Journal of The Korea Institute of Building Construction
Vol. 24, No. 1, pp. 67-75 / February, 2024
https://doi.org/10.5345/JKIBC.2024.24.1.067

pISSN 1598-2033
eISSN 2233-5706
www.jkibc.org

Research Paper

# 온돌 파이프라인 관리를 위한 초음파 캐비테이션 효과에 대한 실험적 분석

# An Experimental Analysis of Ultrasonic Cavitation Effect on Ondol Pipeline Management

이웅균*

Lee, Ung-Kyun*

Associate Professor, Department of Architectural Engineering, Catholic Kwandong University, Gangneung-Si, Gangwon-Do, 25601, Korea

*Corresponding author
Lee, Ung-Kyun
Tel : 82-33-649-7548
E-mail : uklee@cku.ac.kr

**Received :** July 9, 2023
**Revised :** October 22, 2023
**Accepted :** November 14, 2023

**ABSTRACT**

In the context of Korean residential heating systems, Ondol pipelines are a prevalent choice. However, the maintenance of these pipelines becomes a complex task once they are embedded within concrete structures. As time progresses, the accumulation of sludge, corrosive oxides, and microorganisms on the inner surfaces of these pipelines diminishes their heating efficiency. In extreme scenarios, this accumulation can induce corrosion and scale formation, compromising the system's integrity. Consequently, this research introduces an ultrasonic generation system tailored for the upkeep of Ondol pipelines, with the objective of empirically assessing its practicality. This investigation delineates three variants of ultrasonic generating apparatuses: those employing surface vibration, external generation, and internal generation techniques. To emulate the presence of contaminants within the pipelines, substances in powder, slurry, and liquid forms were employed. The efficacy of the cleaning process post-ultrasonic wave application was scrutinized over time, with image analysis methodologies being utilized to evaluate the outcomes. The findings indicate that ultrasonic waves, whether generated externally or internally, exert a beneficial effect on the cleanliness of the pipelines. Given the inherent characteristics of Ondol pipelines, external generation proves impractical, thereby rendering internal generation a more viable solution for pipeline maintenance. It is anticipated that future endeavors will pave the way for innovative maintenance strategies for Ondol pipelines, particularly through the advancement of internal generation technologies for pipeline applications.

**Keywords :** ondol pipeline, ultrasonic wave, cleaning effect

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

한국은 주택 난방 방식으로 대부분 온돌 파이프라인을 이용한 방법을 채택하고 있다. 온돌 난방 방식은 실내 바닥 콘크리트 속에 설치된 금속 또는 플라스틱 계열의 난방 배관에 뜨거운 물을 통과시켜 실내를 난방한다. 이러한 난방 배관의 경우 콘크리트 속에 매립된 특징으로 인해 설치 후 지속적인 관리를 하기가 쉽지 않으며, 장기간 사용을 하면 슬러지나 부식 산화물, 미생물 등이 배관 내벽에 퇴적되면서 난방의 효율이 나빠져서 심한 경우에는 열화에 의한 부식, 스케일 등의 문제를 일으키기도 한다[1]. 공공주택이나 각종 대형건물에는 급수탱크가 설치되어 있고, 정기적으로 청소를 해야 하는 규정이 있지만, 배관의 세척에 대해서는 특별한 규정이 없고[2] 내구연한이 될 때까지 사용하고 있다[3]. 배관 검사와 청소를 하려고 해도 배관

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright © 2024 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

이 바닥 콘크리트 속에 묻혀 있어서 한번 설치하면 재시공하기 전에는 관내 확인 및 청소가 쉽지 않은 것이 현실이다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 연구 및 개발이 이루어지고 있으며, 스케일 부스터, 배관교체, 에폭시 라이닝, 세척 공법 등 여러 가지 방법을 이용해서 배관 청소를 시도하고 있다[4]. 스케일 부스터는 자석, 전기, 약품 등을 사용하지 않는 물리적 수처리 방식으로 배관 내 녹, 스케일, 물 때 등을 제거하고 방지하는 역할을 하며 인체에도 전혀 해가 없는 방법이다[3]. 에폭시 라이닝 공법은 연마(클리닝) 공정과 라이닝(도장) 공정으로 나뉘고, 연마 공정은 관내에 부착 형성된 스케일을 연마재를 혼입한 고속 선회 기류에 의해 연삭하여 도장을 위한 바탕처리를 행하고, 라이닝 공정은 에폭시수지도료를 고속 공기류에 의해 관내 면에 도장하는 공법이다. 최근에는 초음파를 통한 관내 이물질 제거 방법들이 다른 유사 배관들에서 제시되고 있다. 초음파를 이용한 세정은 최근 가정용 식기 세척 등의 용도로 많이 보급되었지만[5], 그 이전에는 산업용으로 널리 사용되었다. 산업용 세정은 미세먼지 제거와 LCD 및 브라운관의 오염물 제거를 위해 사용되었으며[5], 캐비테이션 효과를 그 기본 원리로 하고 있다.

캐비테이션 효과는 초음파에 의해서 만들어지는 미세버블이 터지면서 주변으로 열과 에너지를 발산하는 것을 말한다. 캐비테이션의 발생은 물의 온도, 수위, 진동판, 진동자의 위치 등의 여러 변수의 영향을 받는다[5]. 콘크리트에 묻혀 있는 온돌 파이프의 경우 기존 연구에서 시도한 외부의 초음파를 배관에 직접 보내는 방법이 불가능하다. 내부에서 초음파를 일으키는 방식이 효과적일 것으로 판단되며 이를 위한 가능성을 확인하기 위한 연구가 필요한 상황이다.

따라서 본 연구는 온돌 파이프라인의 유지관리를 위하여 콘크리트 매립 관내 세척이 가능한 방식을 초음파 발생 방식으로 가정하여 이의 가능성을 확인하는데 그 목적을 두었다. 기존 연구 분석을 통해 여러 종류의 초음파 발생 방식을 고려하였으며, 관내 오염물이 초음파의 캐비테이션 효과에 의하여 세척 관리 가능한 지를 확인하기 위한 세척 실험을 진행하였다. 본 실험을 통해 초음파 세기 및 진행 방향과 캐비테이션의 관내 세척력을 확인하고 관내 세척 장비에 사용할 제원을 정하는데 기초자료로 사용하고자 한다.

### 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 기존 연구의 고찰을 통해 온돌 파이프라인에 적합한 청소 방식을 고안하고 이를 실현하기 위한 기초 실험의 성격을 가진다. 따라서 본 연구는 이전 연구에서 실험하였던 내용을 바탕으로 초음파 세척 방식의 온돌 배관 적용 가능성 확인하도록 한다. 초음파 세척 방식은 가정용 및 산업용에서 활용되는 방식에 따라 진행되며, 본 연구는 크게 표면 진동형, 외부 발생형, 내부 발생형으로 구분하여 초음파를 발생하도록 한다. 초음파 발생의 주요 영역대는 20~40kHz로 온돌 파이프 배관 내 용수에서 가장 캐비테이션 효과를 잘 일으킬 수 있는 범위로 하였다[6]. 초음파 발생 영역이 가능한 장비를 바탕으로 실험체를 구성하여 실험을 실시하고 실험 결과를 분석하도록 한다. 실험은 관내 표면에 이물질을 부착하는 방식을 택하였으며, 이물질은 관내에 슬러지로 가정하여 분말형 가루, 슬러지형 가루, 액상 물질로 선정하였다. 실험 결과는 관내 표면의 오염물에 대한 청소 여부를 분석하는 것이며 이를 위하여 이미지분석 방법을 활용하였다. 기존 연구 분야 중 의료분야에서 주로 활용되던 이미지 분석은 이진화를 이용하여 이미지를 전처리한 후 이를 바탕으로 표면적을 산출하는 것으로 표면의 전후 변화 및 효과 분석에 적절한 것으로 판단하였다. 본 연구는 이미지 분석에서 산출한 세척률을 바탕으로 향후 적용 방향성을 제안하였다.

## 2. 기존 연구 고찰

### 2.1 배관 세척 기술

배관 내부를 세척하기 위한 기술은 다양한 방법으로 연구되고 있다. 물리적인 접근 방법과 화학적인 접근 방법으로 나누어볼 수 있으며 물리적인 접근 방법으로는 관련 장비 및 장치의 개발이 있다. Shin and Cho[3]는 건물이나 공동주택의 배관

망에 간편한 설치가 가능한 충격파 세척장치를 이용하여 배관 세척 모델에 대한 실험자료의 분석(사용유량, 적용압력 및 적용시간 등)을 실시하였다. 설치방법, 적용효과 및 유지 관련 방안을 제시하여 기존에 사용하고 있는 급수배관의 적용성을 향상시킬 수 있는 방안을 제시하였다. Yun et al.[7]은 유도코일 방식의 스케일 제거기 프로토타입을 제작하여 유도코일 방식 스케일 제거기의 스케일 제거 및 방지 효과를 확인하였다. Lee et al.[8]은 급수관 세척 공법으로 공기충격파 공법을 이용하였으며, 옥내급수관의 스케일 제거 및 수질개선, 세척에 효과가 있음을 보여주었다. Jeong and Kim[9]은 아연의 희생 양극원리와 전기석 촉매의 전자기 효과에 의한 음이온 발생 원리를 이용하여 상수도 관로의 유체 흐름 시 스케일 방지와 제거 기능이 있음을 확인하였다. Rim and Hong[10]은 노후 바닥 난방 배관 및 설비를 대상으로 내부 스케일 제거에 의한 실내 난방온도 상승 정도를 실험을 통해 분석하고, 연간 난방에너지 소비량의 절감 가능성을 확인하였다.

배관세척을 위한 다른 연구 방법으로는 화학 물질을 이용한 제거 방법이 있다. Kang et al.[11]은 석회동굴 생성 과정을 응용한 천연 유기산 배관 스케일 세정제를 제조하여, 공업용수 배관, 난방 배관 및 화장실 소변기 요석들에 대한 스케일 제거 효과를 확인하였다. Yeom et al.[12]은 퍼머 환원제와 킬레이트 개념을 적용하여 화장품 및 식품 소재를 이용한 친환경 녹 세정제를 개발하였고 산업 및 온수관, 각종 산업 기기의 녹을 기존 처리 방식에 비해 더 효과적이고 안전하게 제거하는 것을 확인하였다.

또 다른 방법으로 초음파의 특성을 활용한 세척 방식에 대한 연구가 있다. Son et al.[13]은 전혀 사용하지 않은 신관과 실제로 일반 주택 등에서 10~20년간 사용된 상수도관을 대상으로 스케일량에 따라 유도초음파의 전파 특성을 연구하였다. 유도 초음파 모드를 사용하면 초음파가 관내부의 스케일에 의하여 크게 감소되므로 유도초음파의 진폭으로부터 스케일량을 추정할 수 있는 가능성을 보여주었다. Cho et al.[5]은 28kHz 초음파 이중반응기를 이용하여 다양한 조건에서의 캐비테이션 물리적 효과 및 화학적 효과를 정량적으로 분석하고, 알루미늄 호일 실험을 통해 각 조건에서의 캐비테이션의 물리적 효과를 확인하였다. Yun et al.[14]은 초음파 및 진동센서 시스템을 각각 이용하여 관내 오염 입자가 존재 시 관내 오염 입자 모니터링 연구에 초음파가 효과적인 방법임을 확인하였다. Jo and Park[15]은 배관 내의 불순물을 상수의 수압에 의한 1차 제거, 고압의 에어에 의한 2차 제거, 버블에 의한 3차 제거 및 초음파에 의한 4차 제거를 순차적으로 반복함으로써 녹, 스케일 및 슬라임과 같은 불순물을 효과적으로 제거할 수 있음을 보여주었다.

기존 연구에서는 다양한 방식으로 관내 스케일 제거를 시도해보았으며 그 중에서 초음파 방식이 효과가 있음을 보여주었다. 다만 기존의 연구에서는 초음파의 특성 상 배관 외부에 있는 용수를 바탕으로 전달되는 특징이 있으나 온돌 파이프라인의 경우 외부는 콘크리트로 묻혀 있어 사실상 외부에서의 초음파 전달이 불가능한 상황이다. 따라서 본 연구는 배관 내부에서 발생하는 초음파가 외부의 환경에서 발생하는 초음파 세척 효과와 실험적으로 차이 여부를 확인하고 이를 바탕으로 온돌 파이프라인 내부 세척을 위한 적용 가능성을 모색하고자 하였다.

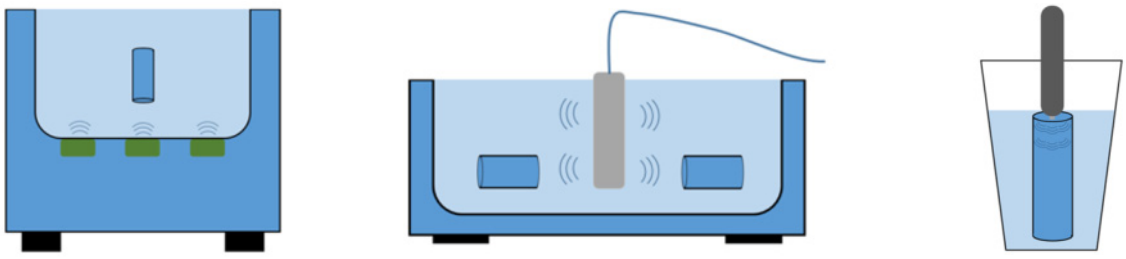
## 3. 실험 개요

### 3.1 실험 재료 및 방법

본 실험에서는 초음파를 발생시키기 위하여 3가지 타입의 초음파 발생기를 이용하였다. 구체적인 사양은 Table 1에 나타난 바와 같다. 본 연구에서는 기존 연구[6]에서 제시한 적정 주파수대인 20~40kHz를 발생시킬 수 있는 장비를 선정하였다. 발생 장비는 3가지 Type으로 선정하였다. Type A는 수조 밑바닥에서 위 방향으로 초음파가 나오는 방식의 초음파 발생기이고, Type B는 스틱 표면을 타고 초음파가 옆으로 나오는 방식이다. Type C는 스틱형으로 스틱 끝 부분에서 초음파가 나오는 방식으로 배관 내부에 삽입이 가능한 형태이다. 초음파 발생기의 발생 개념은 Figure 1에 나타내었다. 3가지 타입의 발생 방식은 기존 연구에서 제시된 외부 부착 방식에 따른 초음파 전송 및 본 연구에서 제시하는 개념인 내부 진동 방식에 대한 차이를 확인하기 위한 목적이 있다.

**Table 1**. Specification of the ultrasonic devices

| Type | Frequency of vibration(kHz) | Output of maximum power(W) | Size of device(mm) |
|---|---|---|---|
| A | 40 | 150 | 530×480×450 |
| B | 40 | 900 | 180×57×57 |
| C | 51 | 8 | 169×39×33 |

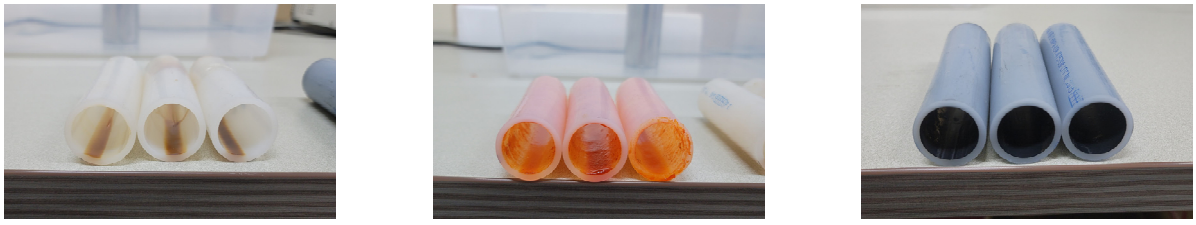


(a) Type A (b) Type B (c) Type C

**Figure 1**. Operational principles of the devices

## 3.2 실험체 설정 및 방법

실험체는 일반적으로 온돌 파이프로 많이 사용되고 있는 내경 15mm 엑셀파이프를 대상으로 하였다. 관내 스케일 제거 효과를 확인하여 위하여 3가지 유형의 오염물을 도포하였다. 실험에 사용할 엑셀파이프 내부의 오염물은 밀도, 농도, 점도 등을 고려해서 선정하였으며, 오염물1(분말형 가루), 오염물2(슬러지형 가루), 오염물3(액상 물질)을 내부에 도포하였다. 도포한 오염물질을 공기 중에서 건조한 후 재도포를 반복하는 형식으로 오염물이 부착된 실험체를 생성하였다. 엑셀파이프의 특성상 내부가 원형이라서 가운데 부분이 특히 두껍게 오염이 되었다. 도포가 완료된 실험체는 다음 Figure 2와 같다.

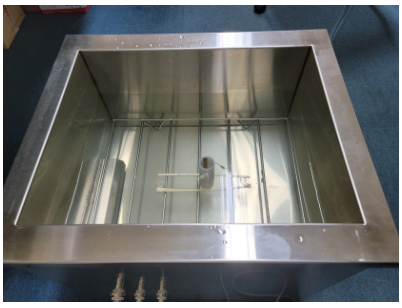


(a) Contaminant 1 (b) Contaminant 2 (c) Contaminant 3

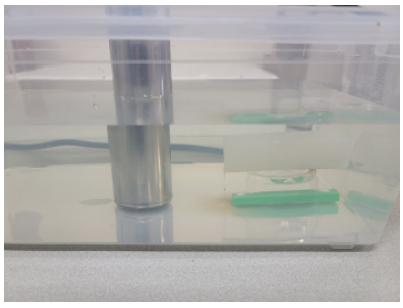
**Figure 2**. Photographs of prepared specimens

## 3.3 실험

앞서 선정한 초음파 발생기와 오염물이 도포된 실험체를 이용하여 다음과 같이 초음파 세척 실험을 진행하였다. Figure 1에서 설정한 초음파 발생 장비의 유형을 Figure 3의 (a), (b), (C)와 같이 설치하였다. 초음파 발생기 Type A는 초음파가 밑바닥에서 위로 나오는 방식이므로 트레이를 이용해서 Figure 3(a)와 같이 바닥에서 거리를 띄워서 초음파 발생 방향과 엑셀파이프 내부를 맞춰서 초음파의 세척력을 높여주었다. Type B는 Figure 3(b)와 같이 초음파의 발생 방향과 엑셀파이프의 내부 방향을 맞추어 실험을 진행하였다. 다음으로 Type C는 Figure 3(C)와 같이 초음파 발생기를 설치하여 오염된 엑셀파이프를 세척하였다. Type C의 경우 다른 초음파 세척기와 달리 초음파 발생부가 파이프 내부로 들어가는 특징이 있다.



(a) Type A experiment



(b) Type B experiment

(c) Type C experiment

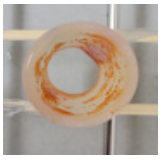
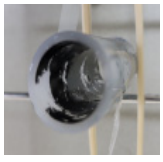
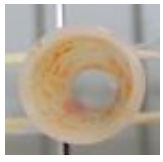
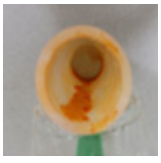
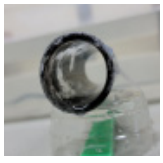
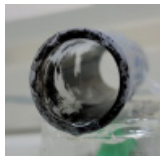
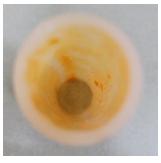
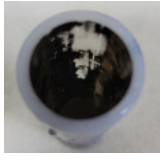
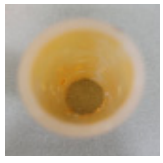
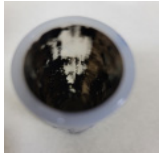
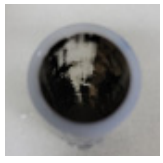
**Figure 3**. Experimental setup and apparatus by the type

초음파 발생기 타입 별 1회 5분씩 실험을 진행하였고, 1회 세척 후 세척이 완료되지 않으면 추가로 초음파 세척 실험을 진행하였다. 1회 5분으로 세척이 더 이상 진행되지 않을 때 1회 10분으로 시간을 늘려서 실험을 진행하고 3회의 추가 세척 후 세척이 진행되지 않으면 실험을 종료하였다. 내부의 세척 정도를 확인하기 위해 1회 세척 실험을 진행 후 배관 내부 사진을 촬영해서 영상처리를 통해서 배관 내부의 세척 정도를 확인하였다. 영상처리는 사진의 촬영 위치와 각도 등의 이유로 약간의 오차가 존재하는 것으로 판단된다.

### 3.4 실험 결과

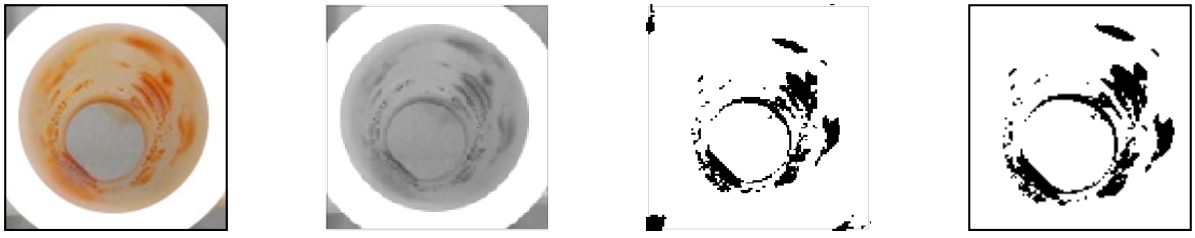
타입별로 1회 5분씩 초음파를 발생시켜 실험하고 실험 완료 후 엑셀파이브 내부를 사진 촬영하였다. 촬영된 사진을 통해 세척력을 확인하였으며, 세척 완료 후 사진은 다음 Table 2와 같다. 분말 형태의 오염물인 오염물1은 5분내에 모든 유형의 초음파 발생 유형에서 세척이 완료됨을 확인할 수 있었다. 오염물2와 3의 경우 초음파 발생 유형에 따라 일부 차이가 있음을 사진을 통해 확인할 수 있었으며, 오염물3의 액상유형의 오염물은 세척력이 다른 두가지 유형에 비해 떨어짐을 알 수 있었다.

**Table 2**. Experimental outcomes

| Types | Time lapses | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 5min | | | 10min | | 15min |
| A | |  |  |  | | |
| B | |  |  | | |  |
| C | |  |  |  |  |  |
| | Contaminant 1 | Contaminant 2 | Contaminant 3 | Contaminant 2 | Contaminant 3 | Contaminant 3 |

## 3.5 영상처리

실험체의 정확한 세척 정도를 확인하기 위해 실험 사진을 이용하여 영상 처리를 실시하였다. 영상처리는 이미지 이진화를 활용하였다. 오염물이 제거된 사진을 그레이 스케일로 전환하고 임계값(흑백을 구분하는 값)을 지정하였다. 이후 임계값을 기준으로 진한 쪽을 검은색, 연한 쪽을 흰색으로 나타낸 후 테두리 제거 작업을 실시하였다. Matlab을 이용하여 300×300 비트의 이미지로 변형한 후 전체 면적 대비 남은 면적을 오염물의 남은 면적으로 산출하였다. 세척 완료된 사진에 대한 영상처리 전후는 다음 Figure 4와 같다.



(a) Original (b) Grayscale (c) 300×300 bit image (d) Resized

**Figure 4**. Images illustrating the process of image analysis

## 3.6 결과

타입별, 오염물별 세척률에 대한 결과는 다음 그림과 같다. 오염물의 산출은 영상처리에서 산출된 면적의 백분율이다. Figure 5, 6, 7은 각각 Type A, B, C의 장비에 따른 세척효과를 나타낸 것으로 Figure 5의 Type A 장비의 경우 오염물 1과 2에 대한 효과가 높게 나타남을 볼 수 있다. Type B 장비 역시 오염물 1과 2에 대한 효과가 높음을 알 수 있으며, 오염물 3은 Type A에 비해 세척력이 낮음을 알 수 있다. Type C 장비는 내부 발생 장비로서 오염물 2의 세척력이 높은 것을 확인할 수 있다.

Figure 8, 9, 10은 세척률은 오염물 별로 나타낸 그래프로서 오염물 1의 세척률을 나타낸 Figrue 8에 따르면 초음파를 이용한 세척 효과가 제일 높음을 알 수 있다. 오염물 2의 경우 Type C의 효과가 가장 좋았고 Type B, Type A가 비슷한 세척력을 보여주었고 세척 시간 증가에 따라 대부분의 오염물이 세척되었다. 오염물3의 경우에는 Type A, Type B, Type C 순서로 세척력이 좋았고, 실험을 계속 진행하였지만 일정량 이상은 세척이 진행되지 않고 유지되었다.

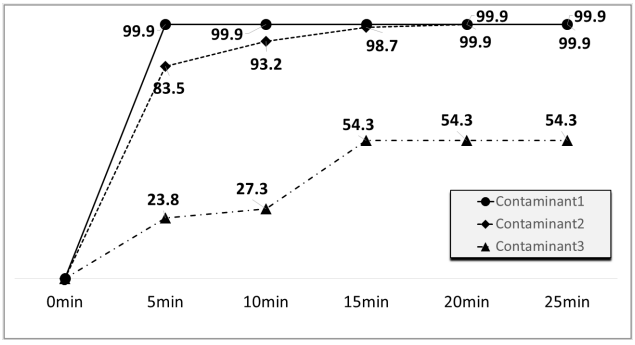



**Figure 5**. Experimental finding for device type A

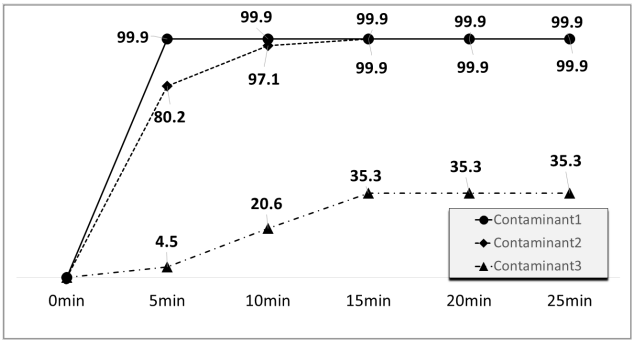



**Figure 6**. Experiment finding for device type B

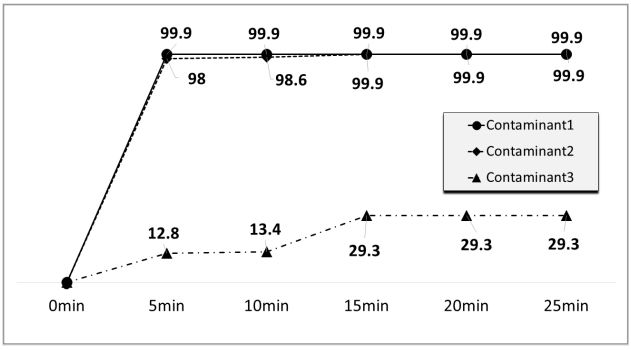



Figure 7. Experiment finding for device type C

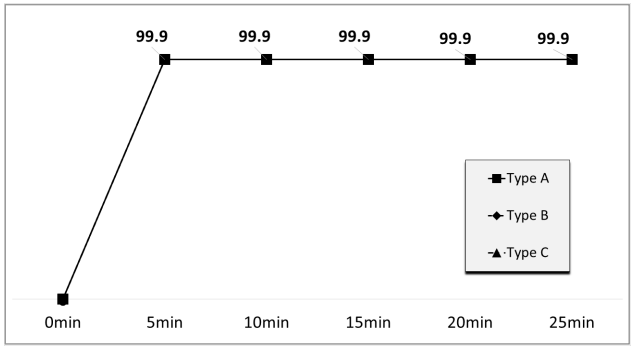



Figure 8. Results corresponding to contaminant 1

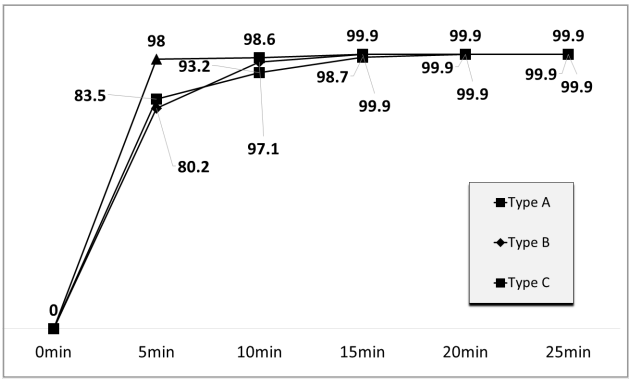



Figure 9. Results corresponding to contaminant 2

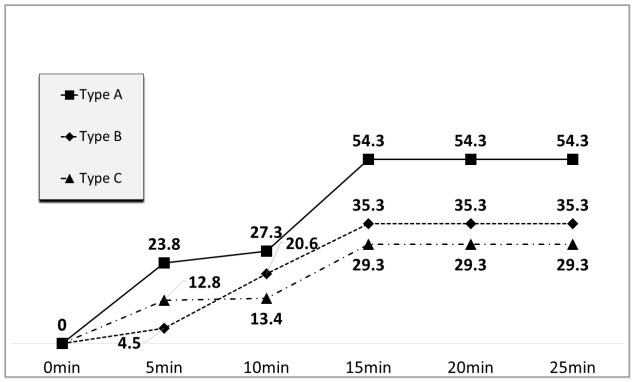



Figure 10. Results corresponding to contaminant 3

## 4. 결 론

본 실험은 온돌파이프 내부를 청소하기 위한 장비 개발의 기초 실험 연구로서 초음파의 캐비테이션 효과로 관내의 스케일 등 오염물의 세척 가능성을 확인하기 위하여 진행하였다. 초음파 발생 장비와 시중에 가장 일반적으로 시공되어 있는 엑셀파이프를 준비해서 실험을 진행하였고, 분말형인 오염물1은 모든 종류의 초음파 발생기에서 1회의 세척으로 세척이 완료되어서 실험이 종료되었다. 슬러지형인 오염물2의 경우 몇 번의 반복 세척을 통해서 세척이 완료됨을 확인하였다. 액상형인 오염물3은 몇 번의 세척을 통해 일정부분 세척이 이루어졌지만 일정량 이상의 세척은 진행되지 않았다.

본 실험을 진행하면서 외부에서 발생한 초음파가 엑셀파이프 내부로 들어가서 세척이 진행될 때는 엑셀파이프 내부가 전체적으로 세척이 진행되는 것이 보였지만, 엑셀파이프 내부에서 초음파가 발생하면서 세척이 진행될 때는 초음파의 발생 부분부터 세척이 진행되는 모습을 확인할 수 있었다. 현재 스케일 제거를 위해 사용되고 있는 배관 청소의 방법은 배관의 마모 가능성이 있는 물리적인 방법으로 세척을 진행하거나 세척 용액을 사용한 화학적 방법으로 배관 세척을 하고 있다. 본 실험을 통해서 초음파의 캐비테이션을 이용한 관내 세척이 가능한 것을 확인하였고, 소형의 관내 초음파 발생 장치를 개발하면 온돌파이프 내의 스케일 제거가 가능할 것으로 사료된다. 이를 통해 향후 매립 배관의 수명을 연장시키고 에너지 효율 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

## 요 약

한국은 주택 난방 방식으로 대부분 온돌 파이프라인을 이용한 방법을 채택하고 있으나 콘크리트 속에 매설되어 있는 특성으로 인해 설치 후 배관 내부의 지속적인 관리를 하기가 쉽지 않다. 온돌 배관은 장기간 사용을 하면 슬러지나 부식 산화물, 미생물 등이 배관 내벽에 퇴적되면서 난방의 효율이 나빠져서 심한 경우에는 열화에 의한 부식, 스케일 등의 문제를 일으키기도 한다. 따라서 본 연구는 온돌 파이프라인의 유지관리를 위하여 초음파 발생 방식을 제안하고 그 가능성을 실험으로 확인하는데 그 목적이 있다. 본 연구를 위한 초음파 발생 장치는 3가지로 제시되며, 표면 진동형, 외부 발생형, 내부 발생형이 그것이다. 관내 오염물은 분말형 가루, 슬러지형 가루, 액상 물질로 선정하였다. 초음파 발생 이후 시간에 따른 세척 효과를 확인하였으며, 세척 결과는 이미지 분석 방법을 통해 산출하였다. 실험 결과, 배관 외부에서 발생시킨 초음파가 효과적임을 알 수 있었으나 배관 내부에서 발생시킨 초음파 역시 유사한 세척 결과를 얻었다. 온돌 배관의 특성 상 외부 발생이 불가능하므로 내부의 발생을 통한 세척 효과가 있을 것으로 기대된다. 향후 배관 내부 발생 장치의 개발을 통해 온돌 파이프라인의 유지관리를 위한 새로운 방식의 제시가 가능할 것으로 기대된다.

**키워드** : 온돌 파이프, 초음파, 세척 효과

## Funding

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education(2020R1I1A3064165).

## Acknowledgement

This paper is developed version of an article that has been previously published in the 9th International Conference on Construction Engineering and project Management.

## ORCID

Ung-Kyun Lee, https://orcid.org/0000-0001-8625-3305

## References

1. Cho JS. Performance assessment for pipe cleaning machine. Equipment Construction. 2000 Jan;119:71-83.
2. Moon GS. Development of maintenance & management technique for environment-friendly storage tanks and household pipes. Annual report 1 Jun 2003-31 May 2004. Seoul (Korea):Ministry of Environment; 2004. 261 p.
3. Shin HJ, Cho JS. Application of shock wave pipe cleaning device. Magazine of the SAREK. 2001 Mar;30(3):35-42.
4. Yun DW, Park HC, Ham SY, inventors; Korea Institute of Machinery & Materials, Electromagnetic scale remover. Korea patent KR101438765. 2013 Oct 17.
5. Cho SI, Her W, Kim JK. A study on variance of the transducer impedance by fluid condition in ultrasonic cleaning tank. Proceedings of the Korean Society of Mechanical Engineers Conference; 2004 Apr 29-30; Pyeongchang, Korea. Seoul (Korea): the Korean Society of Mechanical Engineers; 2004. p. 2005-10.

6. Lee DY, Son YG. Sonochemial and sonophysical effects in heterogeneous systems. Journal of Korean Society on Water Environment. 2019 Mar;35(2):115-22. https://doi.org/10.15681/KSWE.2019.35.2.115
7. Yun DW, Park HC, Ham SY, Kim YI, Nam TS, Yun YS. Study on the induction coil type scale remover. Proceesings of the Korean Society for Precision Engineering; 2021 May 12-14; Online. Seoul (Korea): the Korean Society for Precision Engineering; 2021. p. 375-6.
8. Lee JH, Son JY, Oh JI. Effectiveness of house pipe cleaning for efficient management in the house pipe condition. Proceedings of the Korean Society of Water & Wastewater and the Korean Society of Water Environment; 2015 Aug 27-28; Goyang, Korea. Seoul (Korea): the Korean Society of Water & Wastewater and the Korean Society of Water Environment; 2015. p. 321-2.
9. Jeong SK, Kim JD. Multifunctional water treatment unit technology. Magazine of the SAREK. 2015 Sep;44:36-45.
10. Rim MY, Hong SG. A study on improvement of heating effect by removing internal scale of floor heating system. Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems. 2017 Dec;11(6):527-35. https://doi.org/10.12972/jkiaebs.20170022
11. Kang HS, Yang WS, Kim YI, Kim SH, Choi DH. A study on the performance of pipe scale cleaner using natural organic acid. Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering. 2017 Oct;29(10):530-7. http://dx.doi.org/10.6110/KJACR.2017.29.10.530
12. Yeom SJ, Jung SD, Oh EH. A study on rust cleaning of various industrial equipment using cosmetic and food materials. Journal of the Korean Applied Science and Technology. 2021 Feb;38(1):19-28. http://dx.doi.org/10.12925/jkocs.2021.38.1.19
13. Son SJ, Kim YH, Lee DH, Lee HD, Bae CH, Park JH. Comparison of utrasonic and vibration diagnostic techniques for the inspection of pipes in CVD system. Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing. 2003 Feb;23(1):1-6.
14. Yun JY, Seong DJ, Shin YH, Lee JH, Moon DK, Kang SW. Comparision of ultrasonic and vibration diagnostic techniques for the inspection of pipes in CVD system. Journal of the Korean Vacuum Society. 2006 Jul;15(4):421-6.
15. Jo JH, Park JM, inventors; ST Holdings Inc., Cleaning Method of Piping Using Ultrasonic Microbubbles. Korea patent KR101515888. 2015 Apr 22.