

옥내 급수관 탐사 로봇

이 병 주 · 한양대학교 전자컴퓨터공학부, 교수

_e-mail : bj@hanyang.ac.kr

이 글에서는 지름 15mm의 옥내 급수관을 탐사할 수 있는 반자동 방식 로봇과 로봇을 이용한 파이프라인의 효과적인 map 작성 방식에 대하여 소개하고자 한다. 제안하는 탐사 로봇은 현장에 바로 적용할 수 있도록 최적화되었다.

반자동 옥내급수관 탐사 로봇의 개발 배경

최근 대중 사이에서 웰빙이 중요한 라이프스타일로 자리 잡음으로써, 깨끗한 물을 마시는 것이

중요한 문제로 대두되었다. 옥내 급수관은 가정용 수도꼭지로 공급되는 최종 단계의 수도관으로 옥내의 벽체 안에 매설되어 있기 때문에 유지 및 보수가 매우 까다롭다. 특히 '90년대 이전의 옥

내 급수관의 경우 아연도금 강관이 많이 사용되었는데, 이는 강도가 강하고 동결 시 해동이 용이하다는 장점이 있기 때문이다. 그러나 아연도금 강관의 사용 연수가 길어질수록 이종 금속간의 부식현상이 촉진되어 최근에 아연도 강관의 부식 및 2차

오염에 관한 민원이 심각한 문제로 대두되고 있다. 이러한 이유로 수도물을 식수로 바로 응용하는 인구가 1%라는 심각한 수도물 불신이 만연되어 있다.

따라서 벽체의 손상 없이 노출된 옥내급수관의 상태를 진단하고 갱생할 수 있는 기술의 개발이 절실하다. 소형 옥내급수관의 탐사 및 갱생을 위해서는 급수관 크기에 맞는 탐사장비와 갱생 및 수리를 수행할 수 있는 도구 그리고 이러한 장비들을 장착하고 이동할 수 있는 자동화 탐사 시스템이 필요하다. 이러한 자동화 탐사 시스템은 효율적인 급수관 관리 시스템을 구축하는 데 큰

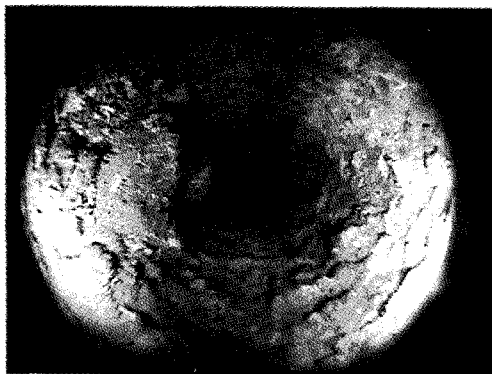


그림 1 오류동 아파트의 10년 사용한 아연도금 강관의 부식 상태

기여를 할 수 있을 것이다. 이러한 요구를 충족하는 대표적인 자동화 탐사 시스템은 배관 탐사 로봇이다. 배관 탐사 로봇은 전기 또는 다양한 에너지를 활용한 환경 친화적인 시스템이며, 좁은 공간에서 이동 및 조향이 가능하며 다양한 센싱 기능을 탑재하고 있다.

탐사 로봇의 작동 원리 및 하드웨어 구성

현재까지 개발된 파이프라인 탐사로봇은 대부분 가스 및 송유관의 진단 및 보수를 위한 목적으로 개발되었다. 대다수가 모터를 부착한 형태로서 지름 15mm의 옥내 배관에 적합한 로봇 개발의 사례는 없으며, 가장 작은 배관의 지름은 50mm~100mm 그리고, 대부분 대형 크기의 배관 탐사 로봇이 주종을 이루고 있다. 예외로 일본 DENSO 사에서 지름 10mm의 탐사 로봇을 제작하였으나 로봇의 길이가 60mm로 길기 때문에, 곡관부를 통과하지 못한다. 사실상 옥내 급수관용 파이프라인 탐사 로봇은 개발 사례가 없는 실정이다.

이에 한양대학교에서는 2006년에 시작된 환경부 수처리 선진화 사업단의 차세대 핵심 환경기술 개발사업의 일환으로 현장에 바로 적용 가능한 반자동형 파이프 탐사 로봇을 개발하였다. 개발된 탐사 로봇은 신속한 사업화를 위해 되도록 간단하고 내구성이

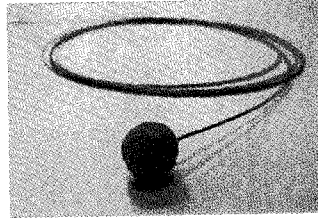


그림 2 견인용 스펀지 : 공압을 이용하여 견인 와이어를 투입하기 위해 와이어와 결속하였다.

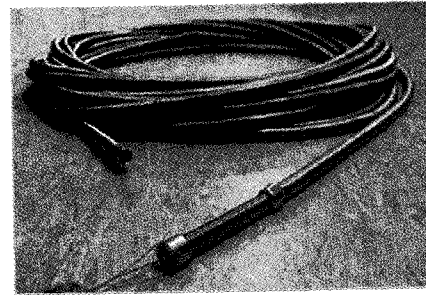


그림 4 개발된 옥내 급수관 탐사 로봇 : 곡관부의 유연한 통과를 위해 여러 개의 스프링 모듈을 결합하였다.

좋은 구조를 택하였으며, 모터를 이용하지 않고, 스테인리스 와이어로 당겨서 이동하는 방식을 택했다. 로봇의 총길이는 17m, 직경은 12mm이며, 구성 요소는 진단을 위한 고성능 CMOS카메라, 조명을 위한 8개의 고휘도 LED, map 작성을 위한 다양한 센서를 장착하여 옥내급수관 진단을 위하여 최적화된 구조로 개발되었다.

로봇의 동작 원리는 다음과 같다.

1. 탐사 로봇을 당길 와이어를 투입하기 위해 와이어 끝에 스펀지를 달고 공압을 이용하여 파이프 입구에 와이어를 투입한다. 이 때 파이프라인의 다른 출구는 모두 닫고, 입구와 원하는 출구만 개방하고

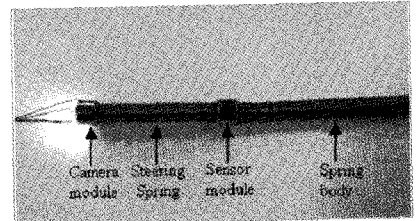


그림 3 개발된 옥내 급수관 탐사 로봇 : 탐사 로봇은 스프링 메커니즘을 이용하여 제작하였으며, 카메라 모듈, 센서 모듈, 조향 스프링, 스프링 몸체로 구성되었다.

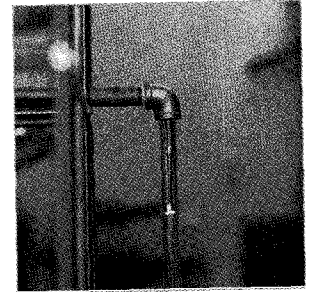


그림 5 곡관을 통과하는 탐사 로봇

입구를 통하여 공압을 불어넣으면, 스펀지가 타겟 출구로 쉽게 관통된다.

2. 와이어 투입이 끝난 뒤, 입구의 와이어 말단에 탐사 로봇을 결속하고, 출구에서 와이어를 잡아당겨 탐사로봇을 견인한다.
3. 적당한 속도를 유지하며, 탐사 로봇이 보내온 영상을 관찰하면서 탐사를 수행한다.
4. 탐사를 끝낸 뒤 로봇을 다시 파이프 입구 쪽으로 회수하거나, 탐사 로봇을 컨트롤 박스에서 분리한 후 파이프 출구로 빼낸다.

옥내 급수관 탐사 로봇은 협소하고 긴 급수관을 원활히 관통하

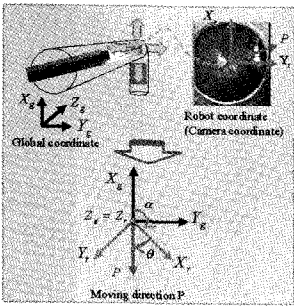


그림 6 센서로부터 얻은 roll angle과 카메라 화면에서 얻은 진행 방향의 각을 더 하여 파이프라인의 map을 작성한다.

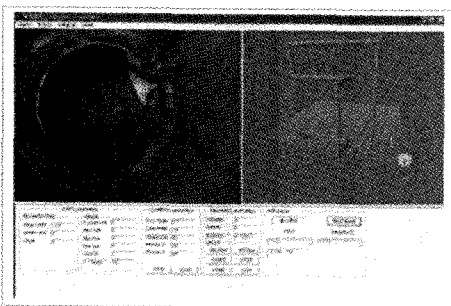


그림 7 파이프 로봇의 응용 프로그램 : 카메라 화면과, 작성된 파이프라인의 map 그리고 컨트롤 창으로 이루어져 있다. 컨트롤 창은 센서의 정보 및 로봇의 위치 등을 나타낸다.

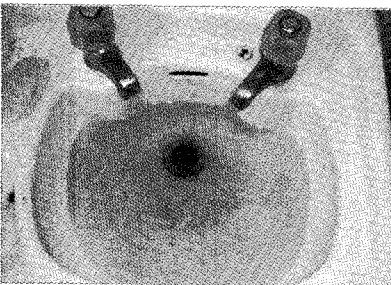


그림 8 시공 전 수돗물(탁도: 13.9NTU, pH: 6.8, 철: 2.12mg/L, 아연: 0.63mg/L, 잔류염소: 불검출)

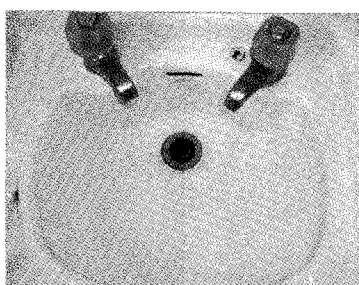


그림 9 시공 후 수돗물(탁도: 0.24NTU, pH: 7.1, 철: 불검출, 아연: 불검출, 잔류염소: 0.3mg/L)

도록 디자인되어 있다. 특수 스프링 재질로 탐사 로봇의 몸체가 제작되어 여러 곡관부를 유연하게 관통하도록 설계되었다. 그러나 곡관부를 여러 개 통과할 경우 스프링 내부의 각종 신호선이 팽팽해져서 스프링이 꺾이지 않는 현상이 발생한다. 이런 현상을 방지하기 위하여 스프링은 내부의 신호선과 함께 50cm의 모듈이 결합된 형태로 이루어져 있으며, 신호선은 스프링 모듈에 비해 여유 있는 길이로 삽입되어져 있다. 그리고 곡관부의 날카로운 턱을 부드럽게 통과하기 위하여, 카메라 헤드 부분은 유선형으로 디

자인되었다. 강한 충격에 견딜 수 있도록 조명부는 폴리카보네이트 재질의 덮개로 보호되었다.

개발한 탐사 로봇은 곡관부 12개를 포함한 15m 파이프 라인을 통과할 수 있으며, 입구와 출구 양쪽으로 탐사 시 최대 30m의 파이프라인을 탐사할 수 있다.

옥내 급수관의 맵빌딩

옥내 급수관은 벽체나 바닥에 매설되어 있기 때문에, 그 내부 구조를 알기 어렵다. 보수가 필요한 오래된 급수관은 설계도면이 존재하지 않거나, 존재하여도 수

차례의 보수로 인하여 원형을 유지하는 경우가 거의 없기 때문에, 파이프라인의 구조를 아는 것은 유지 보수에 있어서 매우 중요한 일이다. 개발된 탐사 로봇은 1축 자이로 센서와 2축 가속도 센서 그리고, 엔코더와 카메라를 이용한 센서퓨전 알고리즘을 이용하여 옥내 급수관의 맵빌딩(map building)을 가능하게 한다. 자이로 센서와 가속도 센서는 로봇의 roll angle을 측정한다. 상대 오차가 누적되는 자이로 센서를 보완하기 위해, 중력 방향을 감지하여 절대 roll angle을 출력하는 2축 가속도 센서를 사용하였다. Yaw angle과 pitch angle은 카메라로부터 정보를 얻는다. 옥내 급수관은 항상 좌우, 위아래 방향으로 90도 꺾이므로 기존의 모바일 로봇의 복잡한 환경과 비교하여 비교적 쉬운 환경이므로 상대적으로 간결한 맵빌딩 알고리즘이 적용된다. 또한, 로봇이 진행한 거리를 측정하기 위하여 파이프 입구에 탐사 로봇이 투입된 길이를 측정하는 롤러와 엔코더 센서를 이용한다.

시범사업(field test)

환경부 수처리 선진화 사업단은 '진단용 반자동 마이크로 로봇 및 Vortex 기류를 이용한 옥내급수관 갱생기술'의 현장검증을 통하여 갱생기술의 성능과 안전성 검증 및 갱생공사 시방서,

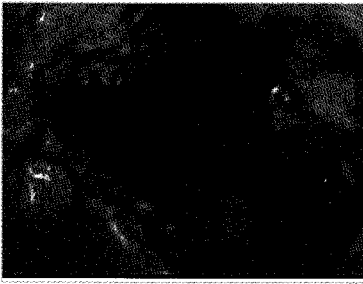


그림 10 탐사로봇이 촬영한 시공 전의 급수관 내벽 상태

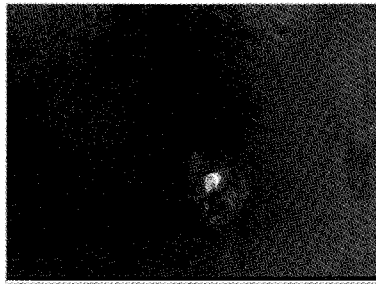


그림 11 vortex 기류를 이용한 급수관 연마 후 탐사로봇이 촬영한 파이프 내벽 상태

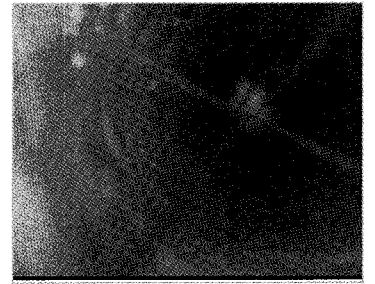


그림 12 에폭시 코팅 후 급수관 탐사로봇이 촬영한 파이프 내벽 상태

갱생공사 품셈 등의 기준을 마련하고, 시범사업지역의 녹물출수, 출수 불량 및 누수 등 문제를 해결하여 수돗물의 신뢰도 향상을 도모하기 위해 2007년 9월부터 11월까지 3개월 동안 둔촌동 주공아파트에서 시범사업을 진행하였다.

옥내 급수관의 갱생을 위한 절차는 다음과 같다.

1. 시공 준비 및 초입관 노후 상태 진단
2. 모래와 vortex 기류를 이용한 급수관 연마
3. 탐사 로봇 투입을 통한 연마 상태 진단
4. 반영구적 보존을 위한 파이프라인의 1, 2차 에폭시 코팅
5. 탐사 로봇 투입을 통한 코팅 상태 진단

Inchworm 타입의 자동 탐사 로봇

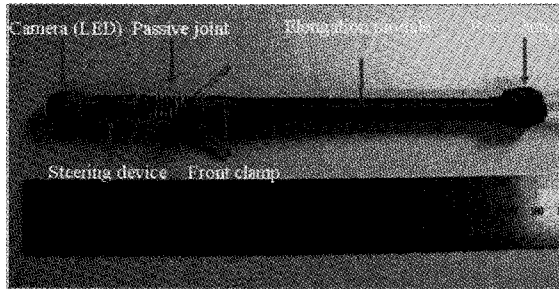


그림 13 Inchworm 타입의 자동 옥내급수관 탐사 로봇

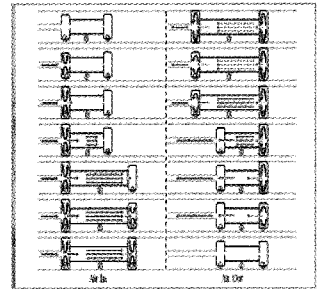


그림 14 Inchworm 타입 탐사 로봇의 동작 원리

반자동 옥내급수관 탐사 로봇의 개발과 동시에 미래 지향적인 탐사 로봇의 개발도 함께 진행되었다. 한국항공대학교에서 개발한 Inchworm 타입의 자동 탐사 로봇은 지름 10mm 이하의 유연한 재질로 구성되었고, 자벌레가 거어가는 동작을 흉내낸 탐사로봇이다. 조명이 탑재된 카메라와 SMA를 이용한 조향장치, front clamp, rear clamp 등으로 이루어져 있다. 공압을 이용하여 수축과 팽창을 반복하면서 이동하는 원리로 작동한다. 현재는 520mm/min의 속도로 이동 가능하며, 계속 보완 연구 중에 있다.

맺음말

옥내 급수관 탐사 로봇은 파이프 내 모든 구간을 육안으로 탐사 가능케 하며, 파이프라인의 map을 제공함으로써 갱생 및 진단에 있어서 신뢰성 있는 자료를 제공한다. 본 옥내 급수관 갱생 및 진단 기술은 기존의 교체 공사에 비하여 50~70% 비용으로 시공할 수 있으므로, 경제적인 파급효과가 크고, 배관 갱생 기술의 자립화 및 국외 수출력 증대를 유발한다. 또한 노후관을 재생하여 사용함으로써 재활용으로 인한 자원절약효과가 크고, 결과적으로 양질의 수돗물을 공급함으로써 국민 건강 증진 및 사회적 신뢰를 확보할 수 있다.