

시간 반전 기법을 이용한 상수도 관로 구조진단

Inspection of water pipes using the time reversal method

엄원석† · 최영수* · 박경택* · 홍현*

Won-Suk Ohm, Youngsoo Choi, Kyungtaik Park, and Hyun Hong

1. 서 론

지하에 매설된 상수도관 내부 공간의 협소함은 관로의 구조진단시 그 접근성을 떨어뜨리며, 따라서 상수도 관로의 검사는 일반적으로 공사를 통하여 도관을 외부에 노출시킨 상태에서 수행된다. 최근 들어 그림 1에서와 같이 CCTV 및 초음파 검사부가 장착된 관로 내 주행 로봇을 도관 내 결함 탐지를 수행하려는 연구가 시도되고 있는데 이는 공사 없이 실시간으로 상수도 관로의 진단을 수행함으로써 기존 방법에 비해 간편성 및 경제성 면에 있어 우월하다. 본 논문에서는 이러한 상수도 관로 내 결함 탐지용 로봇에 장착될 초음파 비파괴 검사부의 개발을 다룬다.

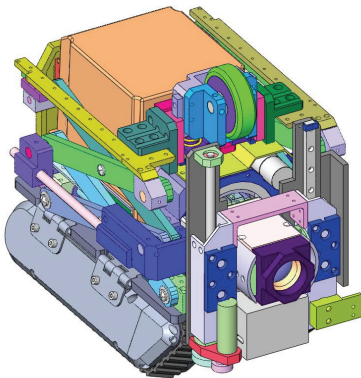


그림 1. 관로 내 주행 로봇.

초음파를 이용한 상수도 관로의 구조진단은 그 작업 환경의 특성상 선결되어야 할 여러 난제를 안고 있다. 일반적으로 효과적인 초음파 검사를 위하여 다음 일련의 작업이 선행되어야 하는데, 첫째, 피검사체 표면에 부착되어 있는 이물질을 제거하여 매끄러운 표면을 만들 것, 둘째, 초음파 탐촉자 (ultrasound probe)에서 생성된 초음파 펄스가 시

† 교신저자; 연세대학교 기계공학부
E-mail : ohm@yonsei.ac.kr
Tel : (02) 2123-5819, Fax : (02) 312-2159

* 연세대학교 기계공학부

편으로 잘 전파할 수 있도록 접촉 매질 (couplant)을 바를 것 등이다. 그러나 그림 2에 도시된 바와 같이 상수도관은 이물질의 침적 등으로 인하여 매우 불규칙한 내부 표면을 가지며, 나아가 수 미터에서 길게는 수백 미터에 이르는 관 내 검사 부위 전체에 couplant를 바르는 것도 현실적으로 불가능하다. 초음파 상수도관 검사에 있어 또 하나의 기술적 난제는 시편 내 초음파의 흡수이다. 특히 주물 제작된 상수도관의 경우 초음파의 흡수가 매우 심한 이유로 결함으로부터의 반향이 미미하게 검출되어 검사의 정확도가 떨어지는 문제가 발생한다. 따라서 상기 기술적 과제를 극복할 수 있는 새로운 강건 (robust) 검사 기술이 요구되는데 본 연구에서는 소위 시간 반전 (time reversal) 기법에서 그 해결의 실마리를 찾도록 한다.



그림 2. 상수도관 내부 모습.

2. 본 론

2.1 초음파 검사부의 구성

본 연구에서 구현하고자 하는 초음파 검사부는 초음파 탐촉자로부터 방사된 초음파 펄스가 도관 내 결함 및 외벽으로부터 반사되어 돌아온 반향을 수신 및 신호처리 하여 B-모드 형태의 2차원 진단영상은 물론 이를 바탕으로 한 3차원 진단영상까지 구성할 수 있도록 제작된다. 이를 위하여 초음파 검사부는 초음파 펄스 빔의 송신 (transmit, TX) 및 수신 (receive, RX)을 위한 2차원 배열형 탐촉자 (2D array probe), 탐촉자의 구동을 위한 RF amplifier, 수신된 반향을 저장하고 처리하기 위한 PC부 및 신호처리 소프트웨어 등으로 구성된다. 상수도관의 경우 검사해야 할 길이 (혹은 면적)가 큰 이유로 1 m/min 정도의 작업 속도가 확보되기 위해서는 초음파 탐촉자가 한 번에 보다 많은 면적

을 스캔할 수 있어야 하는데 이 점에 있어 2차원 배열형 탐촉자는 현재 초음파 비파괴 검사용 탐촉자의 주종을 이루는 단일 소자 (single element) 혹은 1차원 배열 (1D array) 타입보다 뛰어나다. 나아가 2차원 배열형 탐촉자를 이용하면 도관 내 결함 유무는 물론 형태까지도 입체적으로 보여줌으로써 보다 정확한 구조진단이 가능하게 된다. 문제는 2차원 배열형 탐촉자는 제작 상의 난점 및 고비용으로 인해 현재까지 비파괴 검사 분야에 적용된 바 없으며 의료용 진단영상 분야에서 이제 조금씩 그 영역을 확장해 가고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 시간 반전 chaotic cavity를 이용하여 경제성이 뒷받침된 2차원 배열형 탐촉자를 구현하려는 시도를 진행 중이다.

2.2 시간 반전 chaotic cavity를 이용한 2차원 배열형 탐촉자의 제작

시간 반전 chaotic cavity를 기반으로 한 2차원 배열형 탐촉자는 M. Fink 등에 의해 비교적 최근 제안된 것으로서 (참고문헌 1), 의료용 3차원 진단영상 구성을 염두에 두고 개발되었다. 시간 반전 기법은 그림 3에서 보이는 바와 같이 수신된 반향을 시간 영역 상에서 반전한 신호를 다시 재송신 함으로써 매질 내 해당 반사체 혹은 산란체에 음향 빔을 재집속시킬 수 있도록 한다. 이 시간 반전 기법을 Sinai billiard의 원리에 입각하여 내부적으로 무수히 많은 전반사를 일으킬 수 있도록 설계된 chaotic cavity와 접목하면 2차원 배열형 탐촉자를 구성하는데 필요한 압전 소자 (piezoelectric element)의 개수를 대폭 줄일 수 있다. 예를 들어 64×64개의 소자들로 구성된 위상 배열형 탐촉자 (phased-array probe)를 구성한다고 했을 때 시간 반전 chaotic cavity를 적용하게 되면 약 수십 개의 소자들만으로도 유사한 성능을 가진 2차원 배열형 탐촉자를 제작할 수 있다. 본 연구에서는 이보다 더 나아가 그림 4에서 보듯이 송신 (TX)과 수신 (RX)을 담당하는 단일 소자 트랜스듀서 각각 하나씩만으로 구성된 시간 반전 chaotic cavity 기반 2차원 배열형 탐촉자를 제작 중이다. Chaotic cavity는 알루미늄 등의 금속성 재질을 사용하였으며, 한 번 접촉 시 검사하기를 원하는 시편의 면적에 따라 5cm×5cm에서 10cm×10cm의 aperture 크기를 갖게끔 제작되었다. 이는 오직 2개의 단일 소자 트랜스듀서만을 사용한다는 점, 그리고 수신 모드 작동 시에도 RX focusing 내지는 RX beam steering을 가능하게 한다는 점에서 M. Fink 등의 그것보다 진일보 한 것이다.

3. 결 론

본 논문에서는 상수도 결함 탐지용 관로 내 주행 로봇에 부착될 초음파 비파괴 검사부의 개발 진행 현황을 소개하였다. 특히 시간 반전 chaotic cavity 기반 2차원 배열형 탐촉자

의 구현을 목표로 함으로써 비파괴 검사 일반에 있어 경제성이 확보된 실시간 3차원 진단영상 기법의 보급에 기여할 것으로 기대한다.

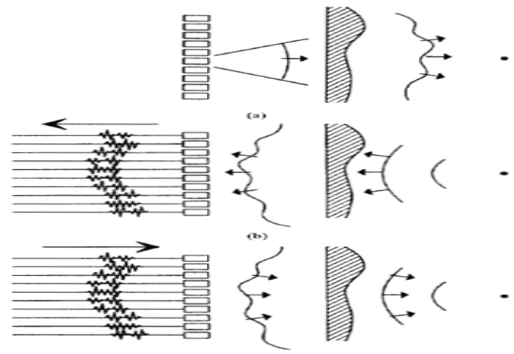


그림 3. 시간 반전 음향 기법의 원리. (출처: 참고문헌 2)

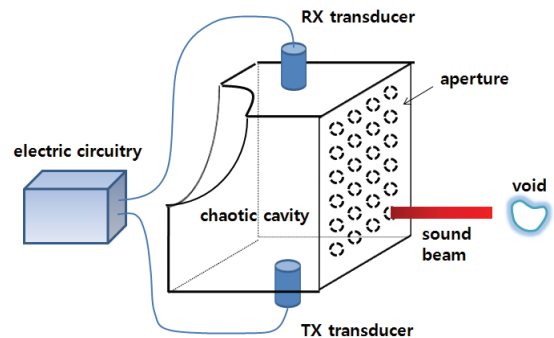


그림 4. 본 연구에서 제작 중인 시간 반전 chaotic cavity를 이용한 2D 배열형 탐촉자의 개략도. Aperture 상의 원들은 2D 배열형 탐촉자를 구성하는 가상의 소자 (virtual element) 들을 나타낸다.

후 기

본 연구는 (주)로보젠의 지원을 받아 수행 중이며, 이에 관계자분들께 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] G. Montaldo et al., "Building three-dimensional images using a time-reversal chaotic cavity," IEEE Trans. Ultrason., Ferroelec., Freq. Contr. 52, 1489-1497 (2005).
 [2] M. Fink, "Time reversal of ultrasonic fields-Part I: Basic principles," IEEE Trans. Ultrason., Ferroelec., Freq. Contr. 39, 555-566 (1992).