

# 평판 유도초음파 위상배열의 빔 집속 성능 향상

## Improved beam focusing algorithm in plate guided wave phased array

권휴상† · 박성철\* · 조승현\*\* · 이승석\*\* · 김진연\*\*\*

Hyu-Sang Kwon, Seong-Chol Park, Seung-Hyun Cho, Seung-Seok Lee and Jin-Yeon Kim

### 1. 서 론

구조물의 상태 진단과 감시를 통한 건전성 평가에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 유도초음파를 이용하여 원거리에서 넓은 영역의 결함을 신속하게 검사하고 감지하기 위한 방법이 최근 들어 크게 관심을 받고 있다. 유도초음파를 이용하면서 결함위치를 정확히 찾기 위하여 방향 분해능을 높이기 위한 방법으로 위상배열 (phased array) 방법이 최근 들어 활발히 연구되기 시작했다. 위상배열은 파동이 전파하는 파면, 즉 동 위상면상에 동일한 특성을 가지는 센서를 배열하여 동일하게 측정된 신호를 보강 간섭함으로써 큰 신호를 얻는 방법이다.

유도초음파의 위상배열 기법은 Wilcox 등에 의하여 제안되었는데 최근 들어서 많은 관심을 받고 있다. 이는 원거리의 넓은 영역을 효과적으로 탐상하고자 하는 유도초음파의 원래 목적에 잘 부합하기 때문에 이를 구현하여 실용화하기 위하여 관심이 집중되고 있다. 그러나 아직까지 유도초음파 위상배열 연구는 주파수에 따라 파동의 전파속도가 다른 분산특성을 가지고 있으며 또한 신호처리 기법의 개발과 적용이 미미한 실정이다. 공기 혹은 수중음향 분야에서 위상배열 이론은 오래되었으며 신호의 개선을 위한 많은 처리 기법들이 소개되고 적용되었다. 그러므로 이와 같은 연구결과를 바탕으로 유도초음파 위상배열을 실제 구현할 수 있는 기반 연구를 수행하였다. 이와 더불어 배열 형상에 따른 사상배열 (projected array)의 센서 간격의 불균일성과 그 오차를 해석하였고 이를 해결하기 위한 보정 가중치를 제안하였다. 그리고 이를 이용하여 실제 개선된 빔 형상을 얻었으며 송신 배열로써 빔 집속 성능을 실험적으로 확인하였다. 그리고 이는 이론적인 해석과 이를 이용한 계산결과와 잘 일치함을 확인하였으며 이로부터 제안한 보정 가중치의 우수한 적용 가능성을 확인, 검증하였다.

### 2. 유도초음파 위상배열 이론

2차원 평판에서 음원으로부터 방사하는 유도초음파 음장은 다음과 같이 음원과 센서의 거리로부터 표현되고,

$$s(x, t) = \frac{q(t - |x - x_s|/c)}{\sqrt{|x - x_s|}} \quad (1)$$

m번째 센서의 음장은 다음과 같다.

$$s_m(t) = \frac{q(t - r_m/c)}{\sqrt{r_m}} \quad (2)$$

여기서

$$\tau_m = -\frac{r_m}{c} \quad (3)$$

와 같이 시간지연을 주고 각 센서를 모두 더하면 다음과 같이 보강 간섭된 출력을 얻을 수 있다.

$$y(t) = \sum_{m=1}^M w_m s_m(t - \tau_m) \quad (4)$$

결국 출력신호는 음원신호를 보강하여 얻는 신호로 표현된다. 위상배열의 각 센서 신호에서 위치에 따른 기하학적 거리 관계를 보정하기 위한 시간지연을 적용하면 원하는 목표 위치에서 집속하는 빔을 형성할 수 있다. 이와 같은 시간지연은 결국 각 주파수 별 위상지연으로 표현될 수 있다. 그리고 일반적인 경우에서 가중치는 동일한 값을 가지게 되는데 이는 거리감쇠와 센서의 개수를 보정하는 값으로 동일하게 적용된다. 그러나 이 가중치를 적절하게 적용함에 따라 출력 빔 형상을 최적화할 수 있다. 본 연구에서는 배열 형상과 연관하여 형상에 의한 공간적 누설오차를 보정하기 위한 가중치 계산을 제안하고 이를 적용하였다.

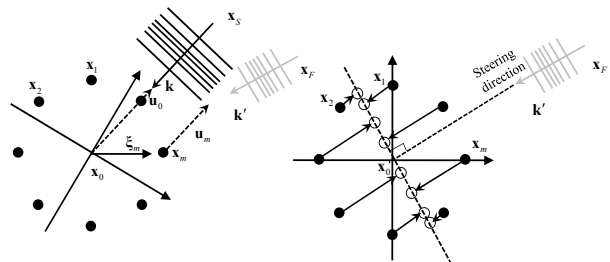


Fig. 1 유도초음파 위상배열과 그 사상배열

† 교신저자; 정회원, 한국표준과학연구원  
E-mail : [hyusang@kriss.re.kr](mailto:hyusang@kriss.re.kr)  
Tel : (042) 868-5057, Fax : (042) 868-5643

\* 경북대학교 기계공학과 대학원

\*\* 한국표준과학연구원

\*\*\* School of Civil and Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology

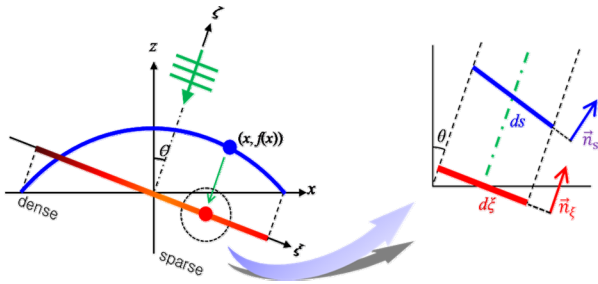


Fig. 2 입사파면에 일치하는 곡면배열의 사상과 배열밀도

### 3. 실험 및 결과

유도초음파 위상배열의 빔 집속 성능을 확인하기 위하여 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 탄소강 판의 크기는 두께 4.5mm, 가로 2400mm, 세로 1200mm이다. 송신자는 공진주파수 235kHz로 지름 8mm, 두께 4.3mm의 PZT 압전소자에 전극을 동판으로 붙여 제작하였으며, 다채널 파워앰프를 연결하여 송신자로 사용하였다. 수신자는 송신자와 동일한 PZT 압전소자를 상용 전치증폭기를 연결하여 사용하였다.

Fig. 3과 같이 송신자 15개 센서를 강관에 반원형 배열로 부착시키고 수신자 1개 센서를 거리 0.6m 떨어진 지점에서 2.5°(범위 -90°~90°) 간격으로 측정하였다. 다채널 파워앰프로부터 100kHz의 tone-burst 신호를 송신자에 보내고, 1채널의 수신자에서 측정된 신호를 NI-PXI 시스템으로 수집하였다. 샘플링 주파수는 2MHz, 샘플링 개수는 4000개였다.

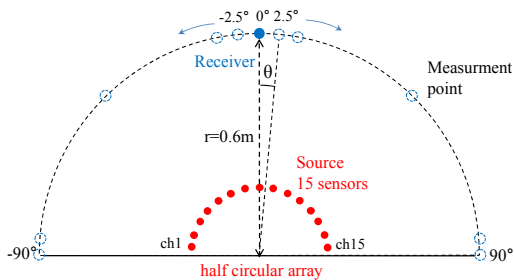
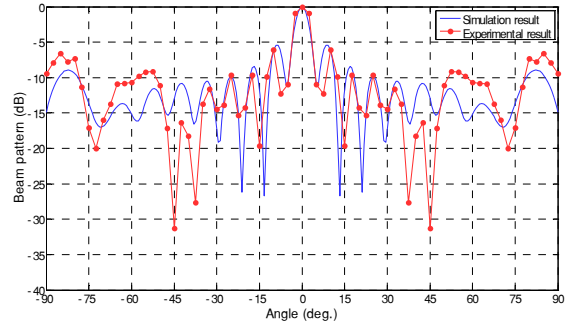
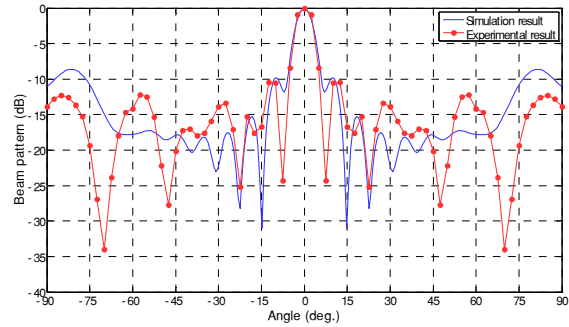


Fig. 3 실험 구성도 및 사진



(a) 보정 전



(b) 보정 후

Fig. 4 보정 가중치 사용에 따른 빔 집속 성능의 향상

Fig. 4에서 확인할 수 있듯이 보정 가중치를 사용하여 부엽(sidelobes)의 크기가 줄어들면서 배열 간격의 불균일성에 의한 공간적 누설오차를 보정할 수 있었다. 이는 이론적인 계산결과와도 잘 일치함을 보여준다.

### 4. 결론

구조물의 결함 탐지를 위한 유도초음파 위상배열의 빔 집속 성능에 대한 연구를 수행하였으며 빔 집속 성능을 향상시키기 위한 신호처리 기법에 관한 연구를 수행하였다. 축대칭의 원형 배열을 사용함에 따라 사상된 배열의 센서 간격 불균일성을 해석하였고 이를 해결하기 위한 보정 가중치를 제안하였다. 그리고 이로부터 개선된 빔 형상을 얻었고 송신 배열을 이용한 빔 집속 성능 향상을 실험적으로 확인하였다. 이론적인 해석에 근거한 계산결과와 비교하여 잘 일치함을 확인하였으며 이로부터 제안한 보정 가중치의 우수한 적용 가능성을 확인, 검증하였다.

### 후 기

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국 과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2007-00467)