

# 트랜스듀서 배열을 이용한 파라메트릭 배열 신호 생성 시스템

## Parametric Array Signal Generating System using Transducer Array

이재일, 이종현<sup>†</sup>, 배진호, 팽동국, 최미흥\*, 김원호\*\*

(Jaeil Lee, Chong Hyun Lee<sup>†</sup>, Jinho Bae, Dong-Guk Paeng, Mi Heung Choe\*, and Won-Ho Kim\*\*)

제주대학교 해양과학대학 해양정보시스템공학과, \*경원웨어이트공업, \*\*국방과학연구소 제6기술연구본부,  
(접수일자: 2012년 5월 31일; 수정일자: 2012년 9월 25일; 채택일자: 2013년 3월 20일)

**초 록:** 본 논문에서는 20 kHz와 32.5 kHz에 공진 주파수를 갖는 다공진 트랜스듀서를 3×16 배열로 구성하여 파라메트릭 배열 신호를 생성하는 시스템을 제안한다. 배열 트랜스듀서를 구동하기 위해 LM1875 증폭기 소자를 이용하여 16채널 다중 증폭기를 제작하였고, 임의의 파형 생성 및 분석을 하기 위해 PXI 시스템과 LabView 8.6을 이용한 시스템이 구축되었다. 구축된 시스템을 이용하여 거리에 따른 음압레벨 변화와 빔 패턴을 측정하여 파라메트릭 현상을 확인하였다. 이론적으로 계산된 차 주파수의 감쇠거리와 회절거리는 각각 15.51 m와 1.9332 m이며, 음압레벨 실험결과 회절거리 이전 근거리 음장에서 차 주파수의 음압이 누적되어 증가되는 현상을 확인 하였다. 실험을 통해 측정된 차 주파수의 빔 패턴은 2개의 1차 주파수가 중첩된 빔 패턴과 유사함을 확인하여 고지향 파라메트릭 신호가 생성됨을 확인하였다.

**핵심용어:** 파라메트릭 배열, 음향 신호처리, 빔 패턴, 차 주파수 음압레벨, 다공진 트랜스듀서

**ABSTRACT:** We present a parametric array signal generating system using 3×16 transducer array which is composed of multi-resonant frequency transducers of 20kHz and 32.5kHz. To drive transducer array, sixteen channel amplifier using LM1875 chips is designed and implemented, and the PXI system based on the LabView 8.6 for arbitrary signal generation and analysis is used. Using the proposed system, we measure sound pressure level and beam pattern of difference frequency and verify the nonlinear effect of difference frequency. The theoretical absorption range and the Rayleigh distance are 15.51m and 1.933m, respectively and we verify that sound pressure of difference frequency is accumulated and increased at the near-field shorter than the Rayleigh distance. We verify that the beam pattern of the measured difference frequency and the beam pattern obtained by the superposition of two primary frequencies are similar, and high directional parametric signal was generated.

**Keywords:** Parametric array, Acoustic signal processing, Beam pattern, SPL of difference frequency, Multi resonant transducer

**PACS numbers:** 43.25. Cb, 43.25. Lj, 43.38. Hz, 43.58. Ry

## 1. 서 론

고지향성 음향 신호를 생성할 수 있는 파라메트릭 배열은 소나 시스템, 해저 저층 탐사, 지향성 스피커 그리고 수중통신 등에 응용 연구되고 있다. 파라메트릭 배열 음향은 Westervelt<sup>[1]</sup>에 의해 개념이 도입된

후 Berklay, 그리고 Moffett와 Mellen등에 의해 이론적인 연구가 진행 되어 왔다.<sup>[2,3]</sup> Coates는 50 kHz의 파라메트릭 배열 신호를 DPSK변조하여 수중 통신 연구를 수행 하였다.<sup>[4]</sup> Bennett<sup>[5]</sup>의 공기 중 파라메트릭 배열 음향 획득 실험 이후 고 지향성 특성을 갖는 지향성 스피커 및 초음파 거리측정기 등에 응용 연구되어 왔다.

파라메트릭 배열은 동일한 방향으로 강한 음압의 1차 주파수를 발생 시킬 때 비선형 현상에 의해 발생하는 합 주파수, 차 주파수, 배음 주파수 등 여러 주파

<sup>†</sup>Corresponding author: Chong Hyun Lee (chonglee@jejunu.ac.kr)  
Department of Oceanic Information and System Engineering,  
College of Ocean Science, Jeju National University, 66 Jeju-daehakno, Jeju-si, Jeju Special Self-Governing Province, Republic of Korea  
(Tel: 82-64-754-3481, Fax: 82-64-754-3483)

수 성분 중 차 주파수 성분을 의미한다. 간접적으로 발생된 차 주파수는 1차 주파수의 고지향 특성을 갖고 낮은 전달손실로 원거리까지 전파된다.<sup>[6,7]</sup> 파라메트릭 배열 신호를 효율적으로 발생시키기 위해서는 광대역 또는 다공진 초음파 트랜스듀서를 이용하여 높은 음압의 1차 주파수를 동일한 방향으로 방사시켜야 하며 이러한 광대역 또는 다공진 초음파 트랜스듀서는 현재 연구개발 중이다.<sup>[9]</sup> 기존 공기 중 파라메트릭 배열 시스템은 대부분 협대역의 40 kHz 트랜스듀서를 이용한 것으로 수 m에서의 해석결과가 발표되었다.<sup>[5,10,11]</sup>

본 논문에서는 다공진 초음파 트랜스듀서 배열을 이용하여 파라메트릭 배열 신호를 생성하기 위한 시스템을 구현 하였다. 효율적인 파라메트릭 배열 신호를 생성하기 위해 (주)경원헤라이트에서 제작된 다공진 초음파 트랜스듀서를 3×16 배열로 구성하였다. 트랜스듀서 배열에 전력을 공급하기 위해 16채널 다중 증폭기를 설계 하였으며 임의의 파형을 생성하고 분석하기 위해 PXI 시스템과 LabView 8.6을 이용하여 시스템을 구축하였다. 설계된 파라메트릭 배열 시스템의 성능을 분석하기 위해 거리에 따른 음압레벨 변화와 빔 패턴을 측정 하였다.

## II. 이 론

비선형 현상인 파라메트릭 배열 현상을 해석하기 위해서는 일반적인 선형 미분방정식이 아닌 비선형 모델 미분방정식이 요구된다. 이러한 비선형 모델에는 유체의 국소적 효과는 무시하고 거리를 진행하면서 축적되는 효과만을 고려한 Westervelt 방정식, 음파의 회절 효과를 제외한 비선형과 감쇠효과를 고려한 Burgers 방정식 그리고 1차 주파수의 고지향성과 거리에 따른 느린 변화를 가정한 KZK(Khokhlov-Zabolotskaya-Kuznetsov) 방정식이 존재한다.

지향성 빔의 회절, 감쇠, 그리고 비선형 현상을 고려한 KZK 방정식은 직교 좌표계에서 음원이 xy평면에 위치한 후 z방향으로 방사될 때 식(1)과 같다.<sup>[7,8]</sup>

$$\frac{\partial^2 p}{\partial z \partial \tau} - \frac{c_0}{2} \nabla_{\perp}^2 p - \frac{\delta}{2c_0^3} \frac{\partial^3 p}{\partial \tau^3} = \frac{\beta}{2\rho_0 c_0^3} \frac{\partial^2 p^2}{\partial \tau^2}, \quad (1)$$

$$\nabla_{\perp}^2 = \partial^2 / \partial x^2 + \partial^2 / \partial y^2.$$

여기서,  $\tau = t - z/c_0$ 는 Retarded Time,  $\delta$ 는 Sound Diffusivity,  $c_0$ 는 음속, 그리고  $\rho_0$ 는 매질의 밀도를 나타낸다. 그리고  $\beta$ 는 비선형 계수로 해수는 3.8, 담수는 3.6, 그리고 공기 중은 1.2의 값을 갖는다.<sup>[7]</sup>

1차 주파수의 비선형 현상에 의해 간접적으로 발생하는 차 주파수의 가상음원은 감쇠거리와 회절거리에 영향을 받는다. 감쇠거리  $R_A$ 는 간접적으로 발생하는 차 주파수의 가상음원이 선 배열 형태로 누적되는 구간으로 식(2)와 같이 전 흡음계수( $\alpha_T$ )의 역수로 계산된다.<sup>[3]</sup>

$$R_A = 1/\alpha_T, \quad (2)$$

$$\alpha_T = \alpha_{f1} + \alpha_{f2} - \alpha_s.$$

여기서,  $\alpha_{f1, f2}$ 는 1차 주파수의 흡음계수 그리고  $\alpha_s$ 는 차 주파수의 흡음계수이다. 본 논문에서 흡음계수의 계산은 Bass 모델을 사용하였다.<sup>[12]</sup>

그리고 근거리 음장과 원거리 음장의 경계인 회절거리  $R_R$ 는 식(3)과 같다.<sup>[6]</sup>

$$R_R = S/\lambda_p. \quad (3)$$

여기서,  $S$ 는 트랜스듀서의 방사면적 그리고  $\lambda_p$ 는 평균 1차 주파수( $f_p = (f_1 + f_2)/2$ )의 파장이다. 회절거리를 벗어난 차 주파수의 음원은 더 이상 누적되지 않고 확산현상에 의해 감쇠된다.

## III. 실험 결과

본 논문의 시스템은 효율적인 파라메트릭 배열 신호 발생을 위해 20 kHz와 32.5 kHz에 공진 주파수를 갖는 다공진 초음파 트랜스듀서(경원헤라이트(주)) 배열과, LM1875 전력 증폭기 소자로 자체 제작한 16채널 다중 증폭기 그리고 파라메트릭 배열 신호 생성을 위한 신호처리부로 구성된다. 생성된 신호는 1/2인치 마이크로폰(type 40AM, G.R.A.S., Denmark)

으로 측정하였으며 마이크론의 주파수 대역은 3.15 Hz에서 40 kHz로 1차 주파수(20 kHz와 32.5 kHz), 그리고 2차 주파수(12.5 kHz)를 모두 측정할 수 있다.

### 3.1 시스템 구성

#### 가. 트랜스듀서 배열

파라메트릭 배열 신호는 높은 음압의 1차 주파수  $f_1$ 과  $f_2$ 를 동일한 방향으로 발생시킬 때 매질의 비선형 현상에 의해 발생하는 여러 배음현상 중 2차 주파수 성분을 의미한다. 간접적으로 발생하는 2차 주파수 신호를 효율적으로 생성하기 위해서는 두 개 이상의 공진 주파수를 갖는 트랜스듀서를 높은 음압으로 방사시키는 것이 중요하다. 본 논문에서는 20 kHz와 32.5 kHz에 공진 주파수를 갖는 다공진 트랜스듀서를 이용하여 높은 음압을 획득하기 위해 48개의 트랜스듀서를 Fig. 1과 같이 3×16배열로 구성하였다.

트랜스듀서 배열의 주파수 특성을 분석하기 위해 ±20 V의 전압을 인가하여 16 kHz에서 35 kHz까지의 단일 주파수 신호를 발생시키고 1m거리에서 측정하였다. Fig. 2는 측정된 트랜스듀서의 주파수 특성 분석 결과를 나타낸다.

트랜스듀서 배열의 주파수 특성 분석결과 20.5 kHz에서 104.4 dB, 31 kHz에서 95.87 dB의 음압레벨을 갖는 공진 주파수를 확인하였다. 그러나 31 kHz와 31.5 kHz

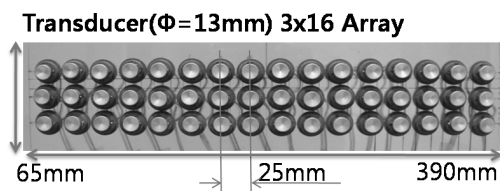


Fig. 1. Transducer array.

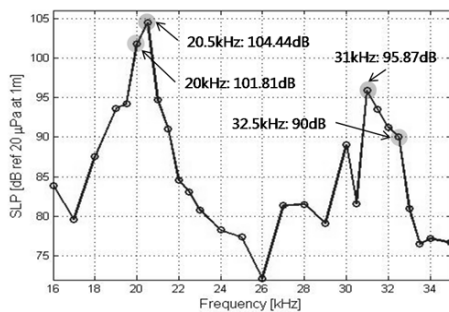


Fig. 2. Frequency characteristics of transducer.

신호를 발생시켰을 때 저 주파수 대역에서 강한 트랜스듀서 왜곡 현상을 확인하여 본 시스템에서는 20 kHz와 32.5 kHz의 1차 주파수를 사용하여 12.5 kHz의 2차 주파수를 생성하였다.

#### 나. 다중 증폭기

트랜스듀서 배열에 원활한 전력을 공급하기 위해 LM1875 증폭기 소자를 이용하여 16채널 다중 증폭기를 설계하였다. Fig. 3은 설계된 다중 증폭기 외관을 나타낸다.

설계된 다중 증폭기는 직류 ±26 V 공급 전압에 대해 최대 20 W 출력과 최대 23 dB의 증폭 이득을 갖도록 설계하였다. 또한 설계된 전원 공급기는 LM317T와 LM337T 전압 안정기 소자를 이용하여 직류 ±26 V의 전압을 증폭기에 공급한다. 설계된 증폭기의 주파수 특성을 분석하기 위해 1 V 입력 신호에 대해 증폭 이득을 10 dB로 고정한 후 2 kHz에서 600 kHz까지의 주파수 변화에 따른 출력 전압을 측정하였다. Fig. 4는 설계된 증폭기의 주파수 특성 곡선을 보이며 증폭기의 대역폭은 222 kHz로 시스템에 운용되는 20 kHz와 32.5 kHz를 왜곡 없이 증폭할 수 있다.

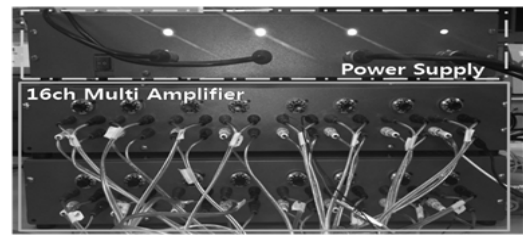


Fig. 3. 16 channel multi-amplifier.

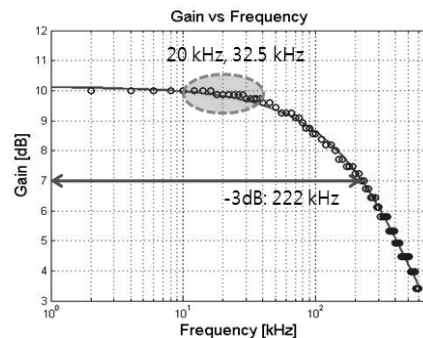


Fig. 4. Frequency characteristics of the designed amplifier.

**다. 신호처리부**

파라메트릭 배열 신호를 생성하기 위한 신호처리부는 NI(National Instrument)사의 PXI 시스템을 이용하여 LabView 8.6 프로그램으로 구현하였다. PXI 시스템은 제어보드(PXI-8106, NI, USA)와 DAQ보드로 구성된다. 신호 생성부는 최대 1.25 MSa/s로 디지털-아날로그 변환이 가능한 DAQ보드(PXI-6259, NI, USA)로 구성되고, 신호 수집부는 최대 3MSa/s로 아날로그-디지털 변환이 가능한 DAQ보드(PXI-6133, NI, USA)로 구성하였다. Fig. 5는 파라메트릭 배열 신호 측정 실험 구성을 나타낸다.

LabView 8.6 프로그램에서 1차 주파수  $f_1$ (20 kHz)과  $f_2$ (32.5 kHz)의 합성( $f_1+f_2$ )된 신호를 생성하고, 생성된 신호는 샘플링 주파수 1 MHz로 디지털-아날로그 변환되어 전력 증폭기를 거쳐 트랜스듀서 배열을 통해 방사된다. 발생된 1차 주파수와 차 주파수는 마이크로폰을 통해 샘플링 주파수 1 MHz로 아날로그-디지털 변환되어 측정된다. 마이크로폰 내부의 비선형성에 의한 신호왜곡을 줄이기 위해 마이크로폰을 음축에 90°로 배치하여 측정하였다.<sup>[10]</sup>

**3.2 실험결과**

파라메트릭 배열 신호 생성 시스템의 성능 평가를 위해 차 주파수의 빔 패턴과 거리에 따른 음압레벨

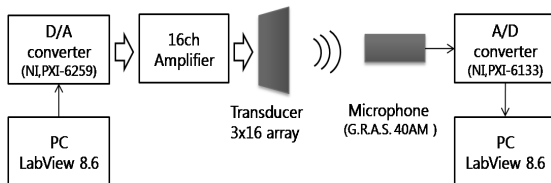


Fig. 5. The experimental setup for measurement of parametric array signal.

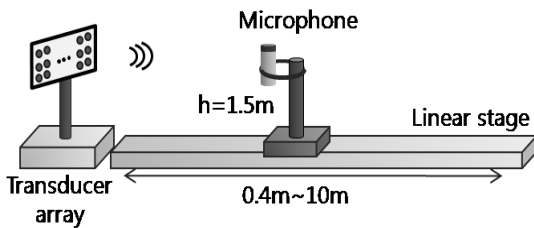


Fig. 6. Experimental setup for measurement of SPL according to range.

을 측정하였다. Fig. 6은 음압레벨 측정 실험환경을 나타낸다. 폭 4m, 너비 50m, 그리고 높이 약 3m 규모의 실내공간에서 트랜스듀서 배열로부터 음축상 0.4m에서 10m까지 마이크로폰을 이동하며 음압을 측정하였다. 이때 측정된 음압은 전압 값으로 기록되고 LabView에서 마이크로폰의 민감도(12.5 mV/Pa)를 고려하여 음압레벨로 표현하였다.

Table 1과 같은 실험 환경에서 1차 주파수의 흡음계수  $\alpha_{f_1}$  과  $\alpha_{f_2}$ 는 각각 0.0554 Np/m와 0.0412 Np/m로 계산되고, 전 흡음계수  $\alpha_T$ 는 0.0645 Np/m로 계산되어 식(2)로 계산된 감쇠거리  $R_A$ 는 15.51 m 그리고 식(3)으로 계산된 회절거리  $R_R$ 는 1.933 m이다. 음압레벨 측정환경에서 차 주파수의 가상음원 거리는 회절거리가 감쇠거리보다 짧기 때문에 회절거리까지 음압이 누적되어 증가된 후 회절거리 이후부터 확산현상으로 감쇠하게 된다.<sup>[13]</sup> 이와 같은 파라메트릭 배열 현상은 Fig. 7의 거리에 따른 음압레벨 측정 결과에서도 확인된다. 측정된 1차 주파수( $f_1$ 과  $f_2$ ) 그리고 차 주파수의 음압레벨은 점으로 표현되고, KZK 시뮬레이션한 차 주파수의 음압레벨은 실선으로 표현된다. 그리고 거리에 따른 1차 주파수의 이론적인 음

Table 1. Experimental parameters.

Parameter	Values [unit]
Sound velocity $c$	344 [m/s]
Density $\rho$	1.2 [kg/m <sup>3</sup> ]
Temperature $T$	15 [°C]
Humidity $H$	20 [%]
Nonlinearity parameter $\beta$	1.2

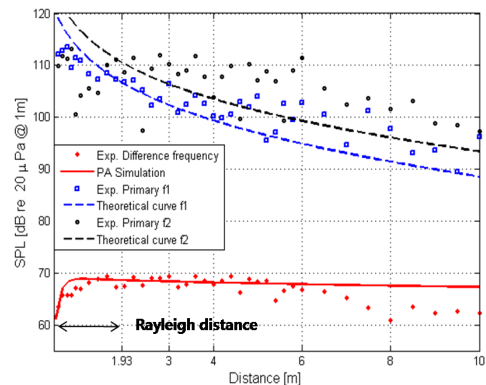


Fig. 7. Measurement result of SPL according to range.

압레벨은 점선으로 표현된다.

측정된 차주파수의 음압레벨은 이론적인 차주파수의 가사음원 계산 결과와 같이 회절거리 이전 근거리 음장에서 1차 주파수의 비선형적 상호작용에 의해 음압이 누적되어 증가되고 회절거리 이후 원거리 음장에서 확산현상에 의해 감소되는 특성을 보인다. Fig. 8은 음축상 2m, 3m, 6m 그리고 9m 위치에서 측정된 신호의 파형과 음압레벨을 나타낸다. 전달거리가 증가하면서 파형에 왜곡현상이 발생하는 것을 확인 할 수 있다.

Fig. 9는 차주파수의 빔 패턴 측정 실험환경을 나

타낸다. 반경 20m와 내각 120°규모의 부채꼴 형태의 강당에서 배열 트랜스듀서로부터 13m 거리에 마이크로폰을 배치한 후 음축상 ±15°의 각도에서 배열 트랜스듀서를 1°와 0.5°(5° ~ -5°) 간격으로 회전시켜 빔 패턴을 측정하였다.

Fig. 10은 차주파수의 빔 패턴 측정 결과를 나타낸다. 파라메트릭 배열 신호는 동일한 방향으로 높은 음압의 1차 주파수(f1과 f2)가 진행할 때 비선형적 현상에 의해 발생된다. 따라서 차주파수의 빔 패턴은 두 개의 1차 주파수 빔 패턴이 중첩되는 영역에서 발생되므로 1차 주파수의 빔 패턴을 선형 결합하여 표

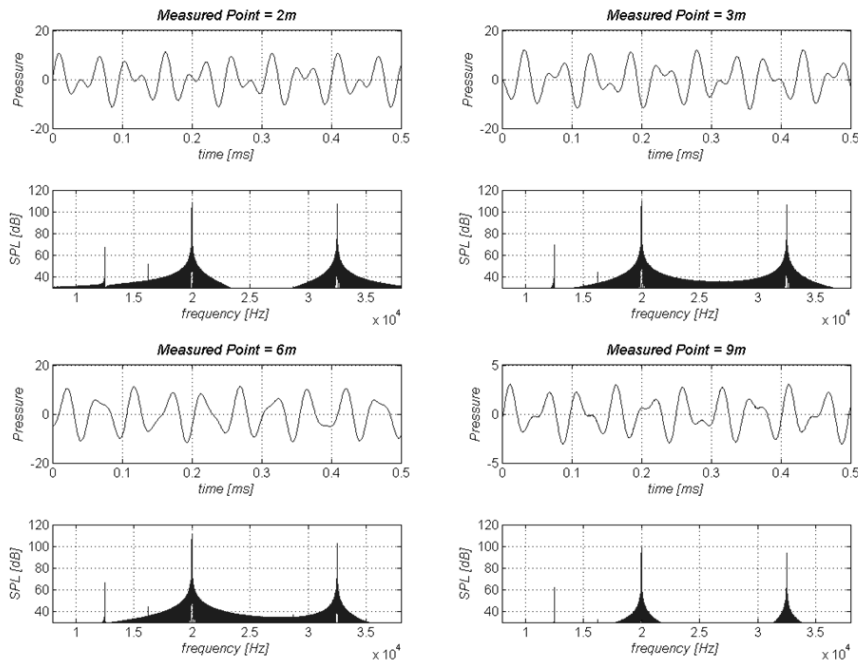


Fig. 8. The measured signal waveform and SPL.

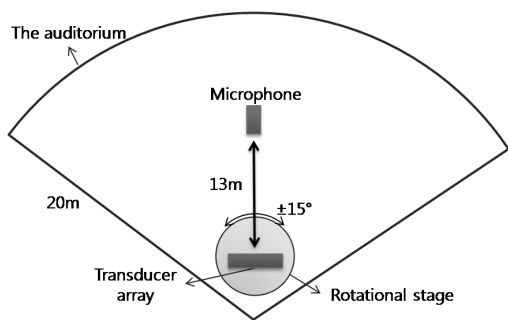


Fig. 9. Experimental setup for measurement of beam pattern.

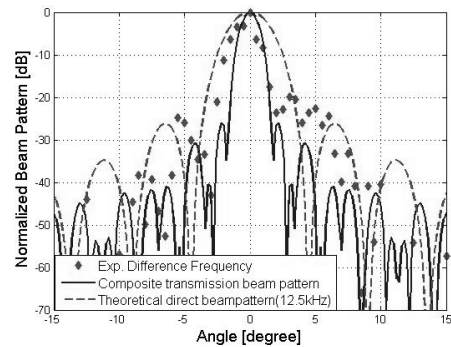


Fig. 10. Comparison of the measured beam pattern and the computed beam pattern of difference frequency.

현할 수 있다. Fig. 10에서 1차 주파수  $f_1$ 과  $f_2$ 가 중첩되는 빔 패턴은 실선으로 표현되고 측정된 차 주파수의 빔 패턴은 점선으로 표현된다. 또한 차 주파수와 동일한 주파수를 직접 방사할 때 획득 되는 이론적인 빔 패턴은 점선으로 표현된다. Fig. 10에서 측정된 차 주파수의 빔 패턴은 실선으로 표현된 1차 주파수 ( $f_1$ 과  $f_2$ )의 중첩된 빔 패턴과 유사하고 차 주파수와 동일한 주파수를 직접 방사한 빔 패턴 보다 좁다. 이는 동일한 방사면적에서 1차 주파수의 비선형적 현상으로 발생한 차 주파수 신호가 동일한 주파수로 직접 방사된 신호보다 지향성이 우수함을 의미한다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 효율적인 파라메트릭 배열 신호를 생성하기 위해 다공진 초음파 트랜스듀서 배열을 이용하여 시스템을 구현하고 생성된 파라메트릭 배열 신호의 비선형 현상을 실험적으로 검증하였다. 제안된 파라메트릭 배열 신호 생성 시스템은 다공진 트랜스듀서 배열, 다중 증폭기, 그리고 신호처리부로 구성된다. 생성된 차 주파수의 비선형 현상을 분석하기 위해 거리에 따른 음압레벨 변화와 빔 패턴을 측정 하였다. 차 주파수의 가상음원 분포거리를 계산하기 위해 실험 환경변수를 기반으로 이론적인 감쇠거리와 회절거리를 계산하면 각각 15.51 m와 1.933 m로 회절거리가 감쇠거리보다 짧게 계산되어 차 주파수의 가상음원은 회절거리까지 누적되어 증가하며 차 주파수의 음압레벨 실험 결과 차 주파수의 음압은 회절거리 이전까지 증가된 후 회절거리 이후부터 확산되어 감소하는 특성을 확인 하였다. 측정된 차 주파수의 빔 패턴은 두 개의 1차 주파수 빔 패턴이 중첩되는 빔 패턴과 유사함을 확인하였으며 직접 방사된 12.5 kHz의 빔 패턴보다 좁은 고지향성 빔 특성을 확인하여 파라메트릭 배열 신호가 생성됨을 보였다. 구축된 시스템은 향후 통신 변조 기법에 따른 디지털 통신 성능 평가 실험과 트랜스듀서 배열을 이용한 빔 조향 실험에 응용 연구될 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었으며, 이에 대해 깊이 감사드립니다 (계약번호: UD130007DD).

#### 참 고 문 헌

1. P. J. Westervelt "Parametric Acoustic Array," J. Acoust. Soc. Am. **35**, 535-537 (1963).
2. H. O. Berklay and D. J. Leahy, "Farfield performance of parametric transmitters," J. Acoust. Soc. Am. **55**, 539-546 (1974).
3. M. B. Moffett and R. H. Mellen, "Model for parametric acoustic sources," J. Acoust. Soc. Am. **61**, 325-337 (1977).
4. R. F. W. Coates, M. Zheng and L. Wang, "Technical Communications," IEEE J. Oceanic Eng. **21**, 225-232 (1996).
5. M. B. Bennett and D. T. Blackstock, "Parametric array in air," J. Acoust. Soc. Am. **57**, 562-568 (1975).
6. B. K. Novikov, O. V. Rudenko and V. I. Timoshenko, *Nonlinear Underwater Acoustics* (The American Institute of Physics, New York, 1987).
7. Mark F. Hamilton, David T. Blackstock, *Nonlinear Acoustics* (Academic Press, 1998).
8. Lee Yang-sub, *Numerical solution of the KZK equation for the pulsed finite amplitude sound beams in thermoviscous fluids*, (Ph.D. thesis, The university of Texas at Austin, 1993).
9. Haksue Lee, Daesil Kang, Wonkyu moon, "Microelectromechanical-systems -based parametric transmitting array in air-Application to the ultrasonic ranging transducer with high directionality," SICE-ICASE International Joint Conference 2006, 1081-1084 (2006).
10. Hyeong Sick Ju and Yang-Hann Kim, "Near-field characteristics of the parametric loudspeaker using ultrasonic transducers," Applied Acoustics **71**, 793-800 (2010).
11. B. C. Moon, M. J. Kim, K. L. Ha, C. D. Kim, "Development of directional sound source in air by using parametric array" (in Korean), J. Acoust. Soc. Kr. Suppl. 2(s) **19**, 291-294 (2000).
12. H. E. Bass, L. C. Sutherland, A. J. Zuckeerwar, D. T. Blackstock and D. H. Hester, "Atmospheric absorption of sound: Further developments," J. Acoust. Soc. Am. **93**, 680-683 (1995).
13. L. Kopp, D. Cano, E. Dubois, L. Wang, B. Smith and R. F. W. Coates, "Potential Performance of Parametric Communications," IEEE J. Oceanic Eng. **25**, 282-295 (2000).

**저자 약력**

▶ 이 재 일(Jaeil Lee)



2009년 8월: 제주대학교 해양산업공학전공 (이학사)  
 2011년 8월: 제주대학교 해양정보시스템 공학과 (공학석사)  
 2011년 9월~현재: 제주대학교 해양시스템공학과 박사과정  
 <관심분야> 통계학적 신호처리, 센서 신호처리, Parametric Array, 수중통신

▶ 팽 동 국(Dong-Guk Paeng)



1991년 2월: 한양대학교 지구해양과학과 (이학사)  
 1993년 2월: 한양대학교 지구해양과학과 (이학석사)  
 1997년 8월 Massachusetts Institute of Technology 해양공학과 (공학석사)  
 2002년 8월 Pennsylvania State University 음향학과 (공학박사)  
 2003년~현재: 제주대학교 해양시스템 공학과 부교수  
 <관심분야> 수중음향, 음파산란, 신호처리, 수중통신

▶ 이 종 현(Chong Hyun Lee)-(교신저자)



1985년: 한양대학교 전자공학과 (공학사)  
 1987년: Michigan Technological University (공학석사)  
 2002년: KAIST 전기 및 전자공학과 (공학박사)  
 1990년~1995년 한국전자통신연구원 선임연구원  
 2000년~2002년: (주) KM Telecom 연구소장  
 2003년~2006년: 서경대학교 전자공학과 전임강사  
 2006년~현재: 제주대학교 해양시스템 공학과 부교수  
 <관심분야> 통계학적 신호처리, 적응 배열 시스템, 수중 및 이동 통신, UWB 무선전송기술

▶ 최 미 흥(Mi Heung Choe)



1984년 2월: 금오공대 전자과 (공학사)  
 1995년 2월: KAIST 정보통신과 (공학석사)  
 2005년 2월: 광주과학기술원 정보통신 (공학박사)  
 1984년 1월~2000년 2월: 금성정밀연구소, 책임연구원, 수중음향시스템설계  
 2000년 3월~현재: 경원산업(주) 연구소, 상무이사  
 <관심분야> 수중음향 시스템 설계, 음향 센서 응용기기 설계

▶ 배 진 호(Jinho Bae)



1993년: 아주대학교 전자공학과 (공학사)  
 1996년: KAIST 정보통신공학과 (공학석사)  
 2001년: KAIST 전자전산학과 (공학박사)  
 1993년~2002년: 대양전기공업(주) 기술 연구소 실장  
 2002년~2002년: KAIST BK21 초빙 교수  
 2006년~2007년: Texas A&M 방문 교수  
 2002년~현재: 제주대학교 해양시스템 공학과 부교수  
 <관심분야> 광신호처리 및 통신, 레이더 및 소나 신호처리, 항해 시스템

▶ 김 원 호(Won-Ho Kim)



1984년 2월: 단국대학교 전기공학과 (공학사)  
 1993년 2월: 부경대학교 전자통신공학과 (공학석사)  
 2003년 8월: 부경대학교 음향진동공학과 (공학박사)  
 1984년 3월~현재: 국방과학연구소 음향 센서연구팀 선임연구원  
 <관심분야> 파라메트릭 배열, 음향센서 설계 및 측정 기법