

논문 2017-54-3-10

파라메트릭 배열을 이용한 은폐 물체 탐지 시스템

(Hidden Object Detection System using Parametric Array)

이 기 배*, 이 재 일***, 배 진 호**, 이 중 현**, 조 정 홍***

(Kibae Lee, Jaeh Lee, Jinho Bae[©], Chong Hyun Lee, and Jung Hong Cho)

요 약

본 논문에서는 은폐 물체 탐지를 위해 인체에 무해한 음향신호 중 파라메트릭 배열을 이용한 음향 탐지 시스템을 제안한다. 제안된 탐지 시스템은 파라메트릭 배열 현상으로부터 생성되는 고 지향성 Chirp 신호를 송신신호로 사용하고, Dechirp 처리 과정을 통해 수신신호의 신호 대 잡음비를 개선하여 거리 분해능을 향상시키는 기법을 사용한다. 제안된 파라메트릭 배열 시스템의 송신센서는 8×2 배열로 구축하였으며, 센서 배열의 빔 폭은 수평방향 약 7° 와 수직방향 약 26° 를 형성한다. 제안된 시스템을 검증하기 위해 물체 탐지 및 가시화를 위한 2축 구동 제어 선형 스테이지를 구축하였으며, 이를 이용하여 은폐된 물체에 대한 A-scan, B-scan 및 C-scan 실험을 진행하였다. 실험 결과, 천에 은폐된 동판과 파이프를 탐지하고 형상을 확인하였으며, 가시화된 형상에서 동판은 0.015 m^2 , 파이프는 0.046 m^2 의 오차를 보여주었다.

Abstract

In this paper, we propose hidden object detection system using parametric array based on acoustic signal that is harmless to human body. A transmit signal of the proposed detection system uses a high directive chirp signal generated from parametric array phenomenon, which uses technique to improve a signal to noise (SNR) of a received signal and a distance resolution through the dechirp processing. The transmit sensor array is constructed as 8×2 and has a horizontal beam width of 7° and vertical beam width of 26° . To verify the detection and visualization of the proposed system, a 2-axis driving control system based on linear stage was constructed, and A-scan, B-scan, and C-scan experiments were addressed for hidden object. From experimental results, we detected and visualized the hidden bronze plate and pipe by cloth and the visualized shapes were confirmed. Especially, the obtained errors were 0.015 m^2 for bronze plate, and 0.046 m^2 for pipe.

Keywords : Acoustic signal, Parametric array, Chirp signal, Hidden object detection

I. 서 론

은폐된 물체의 탐지 기술은 치안 및 군사적 보안 등을 위해 여러 분야에서 요구되고 있다. 오늘날 은폐 물

* 학생회원, ** 정회원, 제주대학교 해양시스템공학과 (Department of Ocean System Engineering, Jeju National University)

*** 정회원, (주)한화(Hanwha Co. Ltd, Gumi)

© Corresponding Author(E-mail : baejh@jejunu.ac.kr)

※ 이 논문은 2016년 (주)한화의 지원으로 수행한 “다중 대역 소나를 이용한 물체 탐지 및 식별 기술 연구”의 결과임.

Received ; November 1, 2016 Revised ; December 25, 2016

Accepted ; February 13, 2017

체 탐지기술은 주로 X선을 이용하여 구축된다. 하지만 X선은 장시간 노출 시 방사선의 누적으로 인해 질병으로 이어질 수 있다. 특히, 공항과 병원 등 X선을 운용하는 장소에서 종사자들의 장시간 간접 노출 문제가 제기되고 있다^[1~2]. 그래서 많은 연구자들은 X선 외에 보안을 위한 다양한 물체탐지 신호원을 연구하고 있다^[3~7]. 특히, 고해상도를 얻을 수 있는 테라 헤르츠 레이저에 대한 많은 연구결과가 발표되고 있으나, 시스템이 매우 복잡하고 제작에 고비용이 요구된다^[5~7]. 이러한 이유로 공항과 같은 장소에서 저비용으로 간단하게 옷 속의 은폐물을 탐지하기 위한 장비 개발의 필요성이 대두되고 있다. 본 논문에서는 인체에 무해하며 단순한 옷 속 물

체 탐지를 목적으로 시스템 개발의 기초를 제공하고자 음향신호를 사용하였다. 음향신호는 X선과 달리 인체에 무해하지만 공기층에 의한 감쇠가 심하고 투과율이 낮으며, 영상의학 등의 분야에서는 주로 초음파 센서에 매칭오일을 사용하는 접촉 방식의 탐지기법을 적용한다. 이와 같이, 음향신호는 X선과 같은 다른 탐지 신호원과 비교하여 낮은 투과력과 해상도를 가진다. 이런 문제를 보완하기 위해 높은 투과율을 가지는 저주파 신호와 좁은 빔 폭의 고 지향성 신호 생성이 요구된다. 따라서 본 논문에서는 파라메트릭 배열 현상을 기반으로 고 지향성 저주파를 생성하고, 이를 이용한 은폐 물체 탐지 시스템을 제안한다.

파라메트릭 배열 현상은 음파전달의 비선형성을 이용하여 트랜스듀서의 고유진동수보다 낮은 저주파 신호를 발생시키는 물리현상이다^[8]. 이는 1960년 Westervelt^[9]에 의해 수학적으로 정리되고 Bellin & Beyer^[10]가 실험적으로 검증하였다. 이후 Berklay^[11-12], Muir^[13], Blackstorck^[14]등에 의해 수학적 또는 실험적으로 연구되어 왔다. 파라메트릭 배열 현상은 강한 음압의 1차 주파수 (f_1, f_2)를 동일한 방향으로 방사시킬 때 비선형 현상에 의해 간접적으로 발생하는 여러 배음성분 중 $|f_1 - f_2|$ 의 차 주파수 신호를 의미한다. 위 현상으로부터 생성된 차 주파수 성분은 작은 방사 면적을 갖는 고주파용 트랜스듀서로부터 1차 주파수의 고 지향 특성을 갖고 가장 원거리 까지 전파된다. 이는 동일한 주파수 신호를 트랜스듀서에 직접 인가하여 얻어지는 지향성 빔 생성 방법과 비교하여 트랜스듀서의 크기, 질량, 비용 측면에서 큰 이득을 갖는다^[15-17].

본 논문에서 제안하는 시스템은 공중용 고주파 트랜스듀서 배열을 이용하여 파라메트릭 배열 신호를 생성한다. 이렇게 생성된 신호는 높은 거리 분해능을 얻을 수 있는 널리 사용되는 Chirp 펄스를 갖는다. 또한 2개의 선형 스테이지를 이용하여 2축 방향으로 이동 가능한 실험 치구를 설계함으로써 물체 탐지 및 가시화를 가능하도록 한다. 끝으로, 제안된 시스템의 검증을 위해 천에 의해 은폐된 동판과 파이프의 탐지 실험을 수행하였다. 그 결과, 은폐된 동판과 파이프를 탐지하고 가시화된 형상을 확인할 수 있었으며, 탐지된 형상에서 동판은 0.015m²의 오차를 가지며, 파이프는 0.046m²의 오차를 가진다.

II. 파라메트릭 배열 기반 탐지 시스템

1. 송·수신 신호처리

탐지를 위해 사용되는 송신신호는 파라메트릭 배열 현상을 기반으로 생성되는 Chirp 신호이다. 송신 Chirp 펄스의 파형은 순시주파수 함수와 포락선의 가중치를 적용하여 설계할 수 있다. 음파 전달의 비선형성에 의해 간접적으로 발생하는 파라메트릭 배열 신호의 Chirp 펄스 파형은 1차 주파수의 파형에 의해 설계될 수 있다. 파라메트릭 배열 Chirp 신호 생성을 위한 1차 주파수 신호 $u_c(t)$ 는 다음과 같이 생성 될 수 있다.

$$u_c(t) = A_1 \cos(2\pi f_1 t) + A_2 \cos(2\pi f_0 t + \pi \alpha_c t^2),$$

$$\alpha_c = \frac{f_c - f_0}{T}, 0 \leq t \leq \tau_c \quad (1)$$

식 (1)에서 τ_c 는 신호의 펄스 폭, f_1 은 단일 1차 주파수, f_0 와 f_c 는 Chirp 펄스를 가지는 1차 주파수 신호의 최소 주파수와 최대 주파수를 나타낸다. 또한 α_c 는 Chirp rate이며 Chirp 신호의 주파수 sweep 폭과 f_0 에서 f_c 까지 sweep에 소요되는 시간 T 의 비로 계산된다. 그림 1은 파라메트릭 배열 현상에 의한 Chirp 신호 생성 개념도를 보여준다. 여기서 1차 주파수 신호 $u_c(t)$ 에 의해 발생하는 차 주파수 신호는 $|f_1 - f_0|$ 에서 $|f_1 - f_c|$ 로 sweep하는 Chirp 파형을 가짐을 알 수 있다.

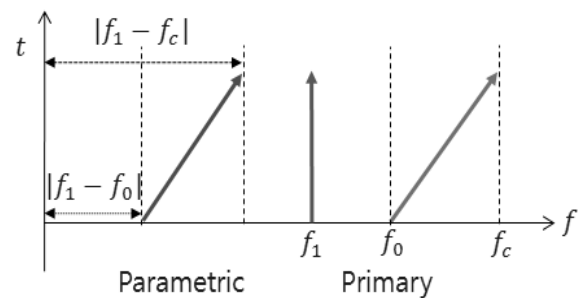


그림 1. 파라메트릭 배열의 Chirp 신호 생성을 위한 개념도
Fig. 1. The concept for chirp signal on generating parametric array.

최종적으로 차 주파수 송신신호 $s_d(t)$ 는 1차 주파수 신호 $u_c(t)$ 에 포락선 함수 $w(t)$ 를 곱한 변조된 1차 주파수 신호 $s(t)$ 로부터 구현되며, 변조된 1차 주파수 신호 $s(t)$ 는 식 (2)와 같다.

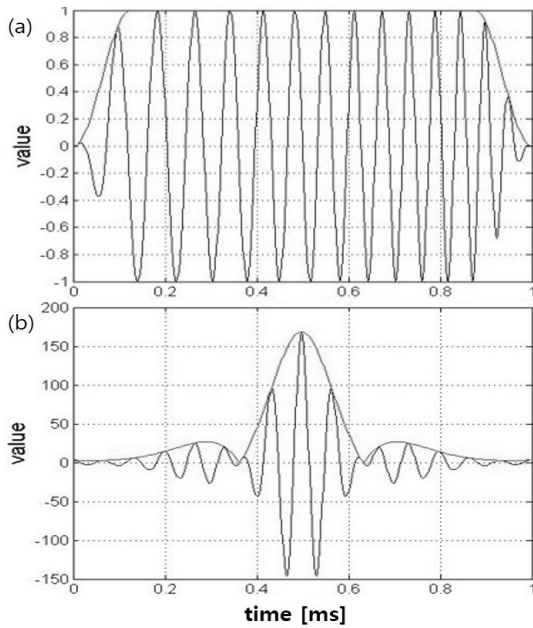


그림 2. Chirp 신호의 송·수신 파형, (a) 송신신호, (b) 정합필터 출력

Fig. 2. Transmitted and received chirp signal, (a) transmit signal, (b) matched filter output.

$$s(t) = w(t)u_c(t) \quad (2)$$

본 논문에서 $w(t)$ 는 실험환경 내에서 가장 높은 에너지 효율을 가지는 8차 Sine-Square 함수로 설정하였다. 이와 같이 만들어진 Chirp 신호는 Dechirp 과정을 통해 신호 대 잡음비 (Signal to Noise Ratio, SNR)를 개선하고 거리 분해능을 향상시킬 수 있으며, Dechirp 과정은 펄스 압축 성능을 가지는 정합필터 처리로 구현된다. 정합필터는 시간 영역 또는 주파수 영역에서 적용 가능하며, 본 논문에서는 시간 영역 모델을 이용하여 정합필터를 적용한다. 수신신호 $r(t)$ 와 차 주파수 송신신호 $s_d(t)$ 에 대하여 시간 영역에서 정합필터 출력 $y(t)$ 는 식 (3)과 같이 계산된다.

$$y(t) = r(t) * s_d^*(t) \quad (3)$$

여기서 '*'는 켈레복소수 (Complex Conjugate)를 나타낸다. 정합필터 출력 $y(t)$ 는 펄스 압축 성능으로 식 (4)와 같은 거리 분해능 ΔR 을 가지며, 식 (5)의 신호 대 잡음비 이득 G_{dB} 를 갖는다.

$$\Delta R = \frac{c}{2BW} \quad (4)$$

$$G_{dB} = 20\log_{10}(BW) + 20\log_{10}(T) \quad (5)$$

여기서 c 는 공기 중 음속, BW 는 신호의 대역폭, T 는 펄스 길이를 나타낸다. 이때, c 는 일반적으로 340m/s 라고 가정한다. 그림 2는 위와 같은 처리에 의한 10~20 kHz의 1ms 펄스 길이를 갖는 차 주파수 송신신호 $s_d(t)$ 와 정합필터 출력 $y(t)$ 의 예시를 보여준다. 그림 2(a)의 신호는 Dechirp 과정을 통해 그림 2(b)와 같이 펄스 압축 성능을 가질 수 있으며, Dechirp 처리 전 0.17 m ($cT/2$)의 거리 분해능과 비교하여 10배 향상된 0.017 m의 거리 분해능을 얻을 수 있다. 또한 식 (5)에 의해 20 dB 신호 대 잡음비 이득을 갖는다.

1. 탐지 시스템 구축

파라메트릭 배열 현상을 이용하여 차 주파수 신호를 효율적으로 생성하기 위해서는 광대역 초음파 트랜스듀서 또는 다 공진 초음파 트랜스듀서가 요구된다. 또한 차 주파수 신호의 음압은 직접 방사되는 1차 주파수 신호보다 약 30 dB 이상 낮게 측정되어 음압 이득을 위한 센서 배열 설계가 요구된다^[8]. 차 주파수 신호 생성을 위해 본 논문에서는 150 kHz의 공진 주파수와 18 kHz의 대역폭을 가지는 MASSA사의 TR-2436/150 소자를 이용하여 송신 센서 배열을 구성하였다. 여기서 송신 센서 배열은 소자 16개를 이용하여 8×2 배열로 구성된다. 또한 신호 수신을 위해 G.R.A.S.사의 40AM 마이크로폰을 사용하였다. 그림 3은 차 주파수 신호 생성을 위한 송신 센서 배열 및 수신 센서를 보여준다. 위 송신 센서는 DSP 보드에서 디지털 신호를 아날로그 신호로 변환하고, 전력증폭기(HV400, TOYO, Japan)로부터 증폭된 신호로 구동한다. 또한 수신 센서로부터 수집된 신호는 전치증폭기(VP1000, Reson, UK)에 의해 증폭된 후 DSP보드에서 변환되고 Matlab을 이용해 Dechirp 처리를 한다.

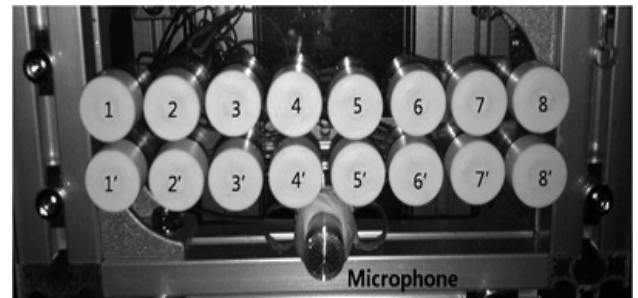


그림 3. 차 주파수 신호 생성을 위한 송신 센서 배열 및 수신 센서

Fig. 3. Transmit sensor array for generating difference frequency signal and receive sensor.

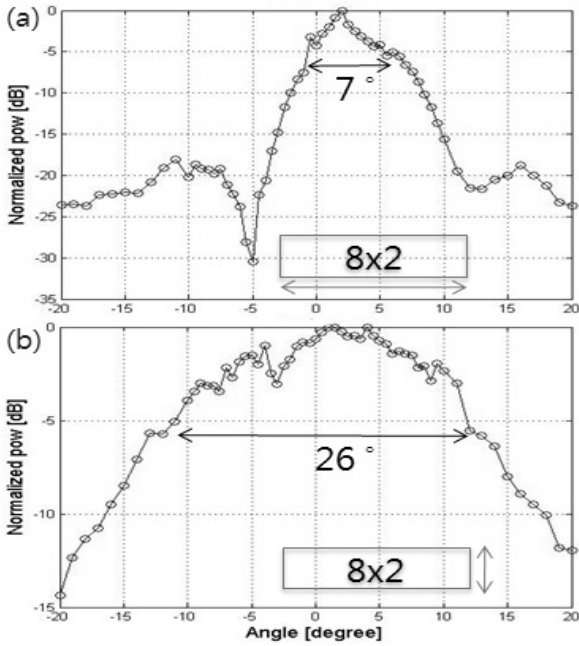


그림 4. 송신 센서 배열의 (a) 수평방향 및 (b) 수직방향 빔 패턴

Fig. 4. Beam pattern (a) Horizontal direction and (b) Vertical direction of transmit sensor array.

음파전달의 비선형성에 의해 생성되는 차 주파수의 가상음원은 감쇠거리(Absorption range)와 회절거리(Rayleigh distance)의 음향학적 설계인자로부터 계산된다. 감쇠거리 R_A 는 차 주파수 가상음원이 선 배열 형태로 누적되는 구간을 의미하며^[15, 18], 1차 주파수 평균 ($f_p = (f_1 + f_2)/2$)의 흡음계수 α_p 의 역수로 식 (6)과 같이 표현된다.

$$R_A = 1/\alpha_p \quad (6)$$

$$\frac{\alpha_p}{p_s} = \frac{F^2}{p_{s0}} \left[1.84 \times 10^{-11} \left(\frac{T}{T_0} \right)^{1/2} + \left(\frac{T}{T_0} \right)^{-5/2} \right. \\ \left. \left(0.01278 \frac{e^{-2239.1/T}}{F_{r,O} + F^2/F_{r,O}} + 0.1068 \frac{e^{-3352/T}}{F_{r,N} + F^2/F_{r,N}} \right) \right]$$

여기서 흡음계수 α_p 의 계산은 Bass 모델을 사용하였다^[19]. Bass 모델은 대기에서의 흡음계수를 계산하며, 기압 p_s , 기온 T 에 대한 인자 요구된다. 위 식 (6)에서 p_{s0} 는 기압의 기준 값 (1atm), T_0 는 기온의 기준 값 (273.16K)을 나타낸다. 또한 F , $F_{r,O}$, $F_{r,N}$ 은 기압에 의해 조정된 주파수를 나타낸다. 이때, $F_{r,O}$ 와 $F_{r,N}$ 은 산소와 질소와의 관계를 반영한다^[19].

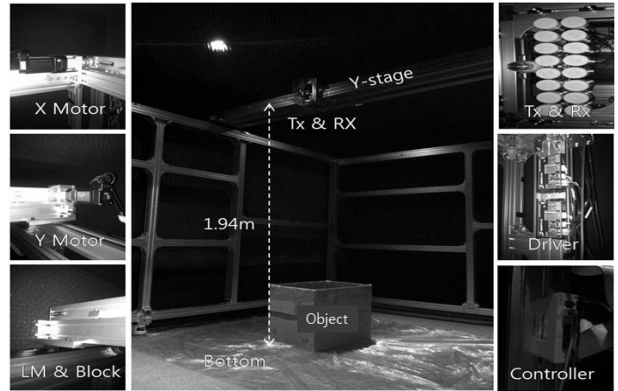


그림 5. 실험을 위한 2축 구동 제어 장치
Fig. 5. 2 axis motion control system for experiments.

회절거리 R_R 은 근거리 음장과 원거리 음장의 경계이며 식 (7)과 같이 계산된다^[8, 15].

$$R_R = k_p a^2/2 \quad (7)$$

여기서, k_p 는 f_p 의 파수, a 는 트랜스듀서의 반경을 의미한다. 회절거리를 벗어난 차 주파수 가상음원은 누적되지 않으며 확산현상에 의해 감쇠된다^[15].

본 논문에서는 구현된 송신 센서 배열에 1차 주파수 150 kHz와 165 kHz를 이용하여 15 kHz의 차 주파수 신호를 생성 한다고 가정하고, 등가 음원 반경 4.51 cm를 고려하여 R_A 와 R_R 을 계산하였다. 계산 결과, 식 (6)과 (7)에 의해 각각 $R_A = 1.76 m$, $R_R = 2.92 m$ 의 거리를 가지는 것을 확인하였다. 또한 센서 배열에 따른 송신 빔 형상을 확인하기 위해 위와 같은 15 kHz의 차 주파수 신호를 이용하여 수신 거리 1.7 m에서 빔 패턴을 측정하였다. 측정은 -20° 에서 20° 범위 내 수평 배열 (소자 8개)과 수직 배열 (소자 2개)에 따라 진행하였다. 그림 4는 측정된 빔 패턴을 보여준다. 그림 4에서 -6 dB를 기준으로 수평방향 빔폭은 약 7° , 수직방향 빔폭은 약 26° 를 가지는 것을 확인할 수 있다.

물체 탐지 및 가시화를 위해 그림 5와 같이 2개의 선형 스테이지(M50, Thomson, USA)를 이용하여 송·수신 센서가 장착된 2축 구동 제어 장치를 제작하였다. 제작된 실험 장치는 선형 스테이지, 스텝 모터, LM 가이드, 알루미늄 프로파일 구조물 등으로 구성된다. 또한 2축 구동 제어를 위해 컨트롤 박스와 PC를 기반으로 스텝 모터를 구동한다. 위 실험 장치는 가로 3.8 m, 세로 2.5 m의 탐지 범위를 가지며 약 2.6 cm 단위로 이동한다. 이때, 최대 이동 속도는 10.4 cm/s이다. 본 실험에서는 도플러 영향을 제거하기 위해 측정지점에서 정지하여 Chirp 신호를 송신하고 측정 신호를 수신하는 방법을

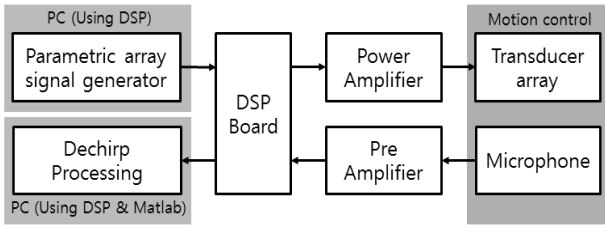


그림 6. 파라메트릭 배열을 이용한 탐지 시스템 블록도
Fig. 6. Detection system block diagram using parametric array.

사용하였다. 끝으로, 본 논문에서 제안하는 파라메트릭 배열을 이용한 탐지 시스템은 PC, 송·수신 센서, DSP 보드, 송·수신 증폭기, 2축 구동 제어 장치로 구성되며, 이러한 구성에 대한 개념적인 동작은 그림 6의 파라메트릭 배열을 이용한 탐지 시스템 블록도와 같다.

III. 실험 및 결과

제안된 파라메트릭 배열 현상을 이용한 은폐 물체 탐지 시스템의 검증에 위해 천으로 은폐된 동판과 파이프의 탐지 실험을 진행하였다. 실험은 그림 7과 같이 송·수신 센서를 격자형으로 이동하여 수행하였다. 본 논문에서는 은폐 물체에 대한 A-Scan, B-Scan, C-Scan 데이터를 추출한다. A-Scan은 탐지 지점에서 시간에 대한 송·수신 신호의 표현 방법이며, B-Scan은 x축 방향으로 A-Scan을 반복하여 물체의 단면적을 표현하는 선형 Scanning 기법이다. 또한 C-Scan은 x, y축 방향의 수신 신호를 표현하여 물체의 형상을 확인하는 평면 Scanning 기법을 의미한다.

실험환경은 그림 8과 같이 구성되었다. 송·수신 센서로부터 1.1 m 거리에 물체 은폐를 위한 천을 설치하였다. 천으로부터 0.4 m 거리에는 탐지 목표물인 파이프와 동판이 위치한다. 여기서 파이프는 1.25 m 길이에 0.1 m 직경을 가지며 스테인레스 재질로 구성된다. 또한 동판은 가로 0.35 m, 세로 0.2 m 크기의 2 mm 두께를 가진다. 그림 9는 실험을 위한 은폐 물체 설치 환경을 보여준다.

위 실험 환경 내에서 파라메트릭 배열 현상을 이용하여 차 주파수 Chirp 신호를 생성하고 은폐 물체를 탐지하였다. 차 주파수 신호는 10 kHz 에서 20 kHz로 sweep하는 Chirp 신호이며, f_1 은 150 kHz, f_0 는 160 kHz, f_c 는 170 kHz로 설정하고 식 (1)과 같이 1차 주파수 신호를 이용하여 간접적으로 생성하였다. 또한 식 (2)와 같이 포락선 함수를 적용하였다. 이때 $w(t)$ 는 앞

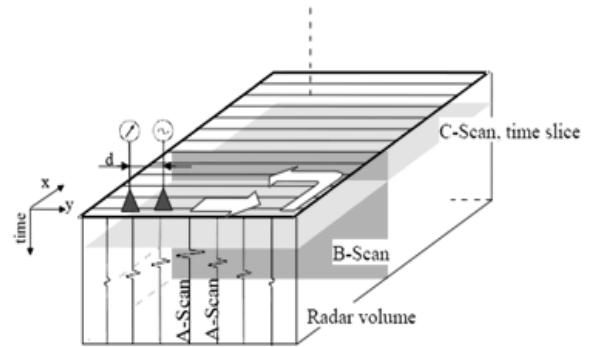


그림 7. 물체 탐지를 위한 실험 시나리오
Fig. 7. Experimental scenario for object detection.

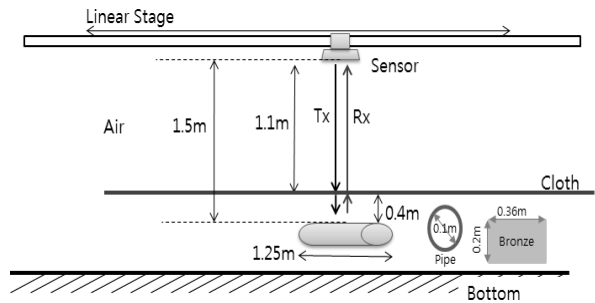


그림 8. 은폐 물체 탐지 실험
Fig. 8. Hidden object detection experiments.

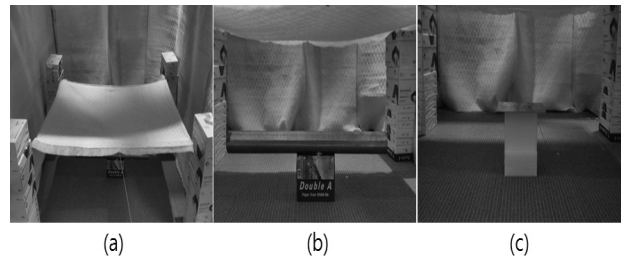


그림 9. 은폐 물체 설치 사진, (a) 천, (b) 동판, (c) 파이프
Fig. 9. Hidden object installation photos, (a) cloth, (b) bronze plate, (c) pipe.

서 언급한 바와 같이 8차 Sine-Square 함수이다. 수신 신호는 식 (3)과 같은 Dechirp 처리 과정을 거쳐 A-scan, B-scan, C-scan으로 표현하였다. 그림 10은 은폐된 동판과 파이프에 대한 A-scan과 B-scan 결과를 보여준다. 그림 10의 신호 크기는 A-scan과 B-scan의 모든 측정 데이터로부터 송신신호를 제외한 가장 큰 신호의 크기를 기준으로 정규화하여 표현하였으며, 이때, 세로 축은 깊이를 나타내며, (a)와 (c)의 가로 축은 정규화된 신호 세기, (b)와 (d)의 가로 축은 B-scan 이동 거리를 나타낸다.

위 결과에서 송·수신 센서로부터 약 1.14 m 깊이에서

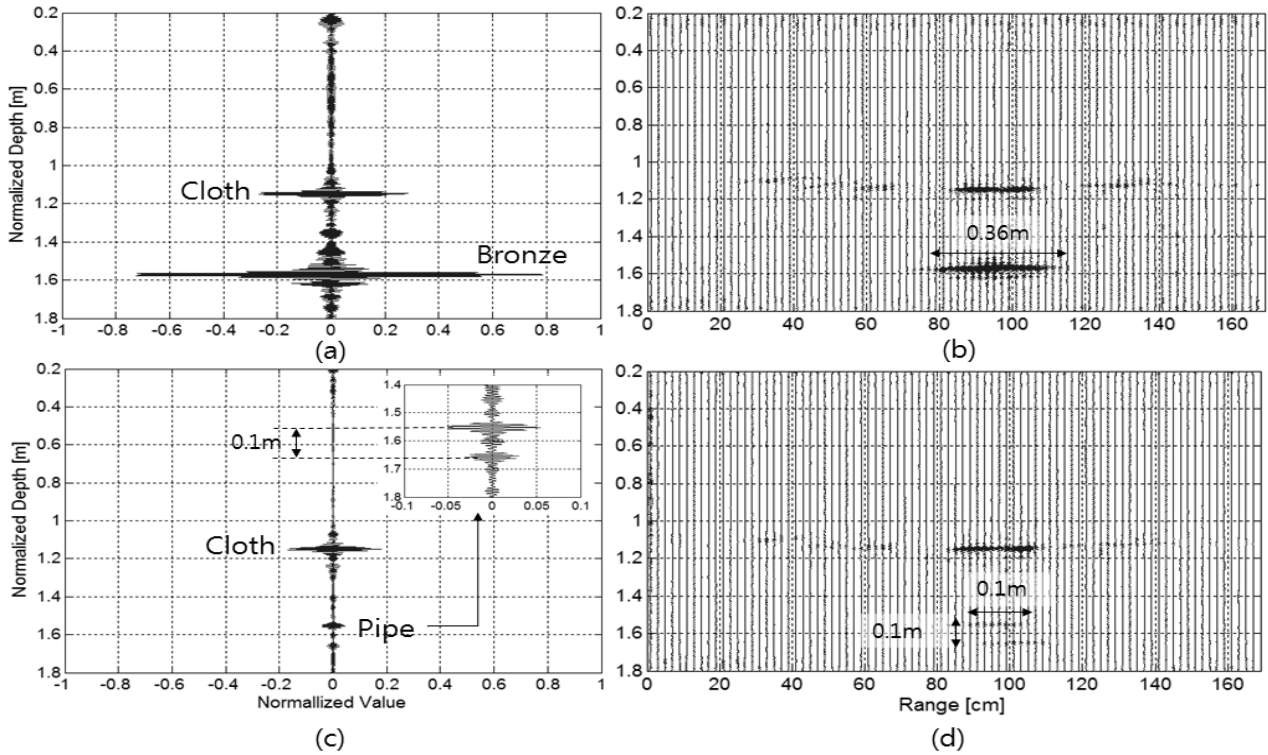


그림 10. 은폐 물체에 대한 A-scan과 B-scan 결과, (a) 동판에 대한 A-scan 결과, (b) 동판에 대한 B-scan 결과, (c) 파이프에 대한 A-scan 결과, (d) 파이프에 대한 B-scan 결과

Fig. 10. A-scan & B-scan results for hidden object, (a) A-scan result for bronze, (b) B-scan result for bronze, (c) A-scan_result for pipe, (d) B-scan result for pipe.

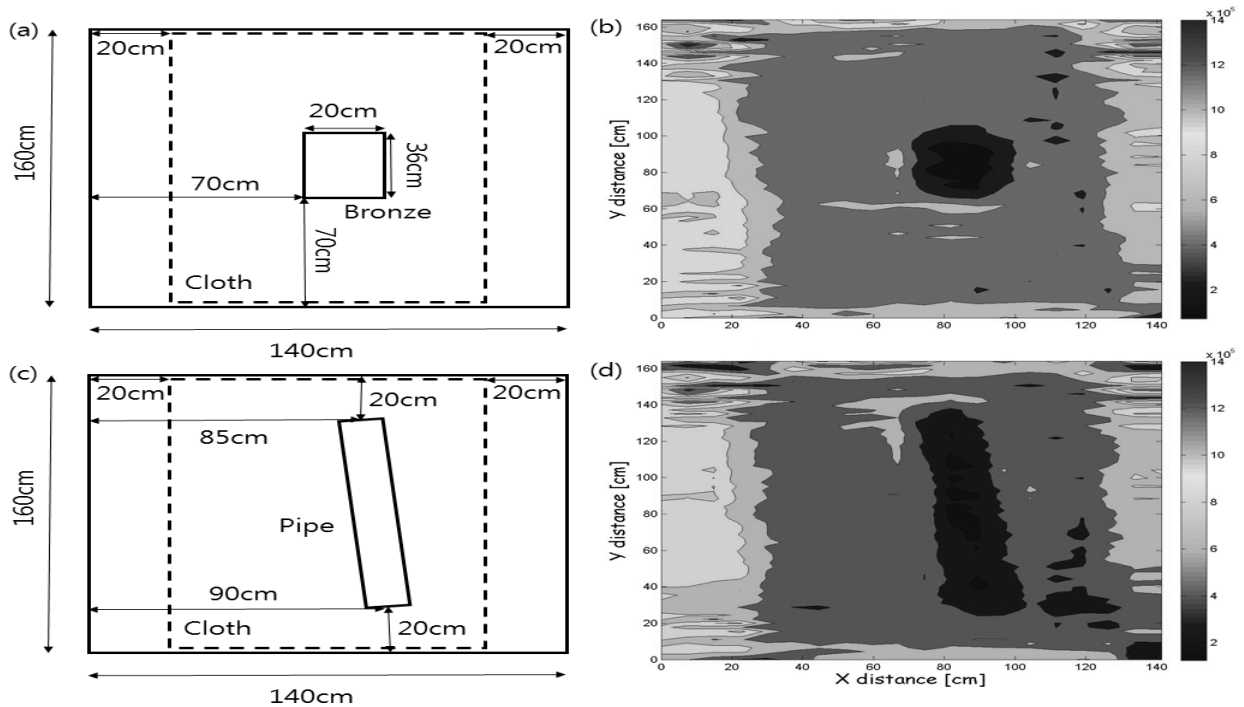


그림 11. 은폐 물체에 대한 C-scan 결과, (a) 동판 설치 위치, (b) 동판에 대한 C-scan 결과, (c) 파이프 설치 위치, (d) 파이프에 대한 C-scan 결과

Fig. 11. C-scan results for hidden object, (a) position of installed bronze, (b) C-scan result for bronze, (c) position of installed pipe, (d) C-scan result for pipe.

천에 의한 반사신호가 수신되고, 이후 약 1.56 m와 1.54 m 깊이에서 은폐된 동판과 파이프에 대한 반사신호가 천을 투과하고 수신됨을 볼 수 있다. 이는 송·수신 센서에서 천까지 1.1 m, 동판과 파이프까지 1.5 m 깊이와 유사하며, 동판과 파이프 각각 30번, 총 60번 A-scan 실험을 한 결과 평균 제곱 오차(Mean Square Error, MSE)는 천은 0.0018, 은폐 물체는 0.0015~0.0065의 오차를 갖는다.

그림 10의 (b)에서 동판에 대한 스캔 방향은 동판의 가로 방향으로, 측정된 동판의 길이는 실제 동판의 가로 길이 36 cm와 유사함을 확인 할 수 있다. 또한 그림 10의 (c)에서 파라메트릭 배열 현상에 의한 차 주파수 신호는 공기 중 유한한 두께의 층에 대해 높은 투과율을 가짐으로써 실험에 사용된 파이프의 이층 구조가 탐지되는 것을 확인할 수 있다. 파이프에 대한 탐지 실험은 파이프의 길이방향을 가로질러 진행되었으며, 그림 10의 (d)에서 파이프의 직경 약 0.1 m가 나타남을 볼 수 있다.

그림 11은 은폐된 물체를 가시화한 C-scan 이미지 출력 결과를 보여준다. 여기서 C-scan 출력 깊이는 약 1.5 m이다. 그림 11의 (a)와 (b)의 은폐된 동판 탐지 실험에서 천 아래 은폐된 동판에 의한 반사 신호로부터 동판의 이미지가 출력됨을 볼 수 있다. 또한 (c)와 (d)에서 은폐된 파이프 윗면의 이미지가 가시화됨을 확인할 수 있다. 위 결과에서 검출된 동판의 면적은 0.087 m^2 으로 실제 동판의 면적 0.072 m^2 과 0.015 m^2 차이를 보인다. 또한 검출된 파이프 윗면의 면적은 0.171 m^2 으로 실제 파이프 윗면의 면적 0.125 m^2 와 0.046 m^2 차이를 가졌다.

IV. 결 론

본 논문에서는 파라메트릭 배열을 이용한 은폐 물체 탐지 시스템을 제안하였다. 파라메트릭 배열 현상을 이용하여 고 지향 특성을 가지는 저주파의 Chirp 신호를 생성하였으며, Dechirp 처리 과정을 통해 신호 대 잡음비를 개선하고 거리 분해능을 향상시켰다. 파라메트릭 배열 Chirp 신호 생성을 위해 소자 16개를 이용하여 8×2 배열의 송신센서 배열을 구축 하였으며, 구축된 송신센서 배열은 15 kHz의 차주파수 신호로부터 -6dB를 기준으로 수평방향 빔폭은 약 7° , 수직방향 빔폭은 약 26° 를 가진다. 물체 탐지 및 가시화를 위해 2개의 선

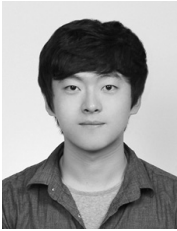
형 스테이지를 이용하여 2축 구동 제어 장치를 제작하였다. 이후 천으로 은폐된 동판과 파이프에 대한 A-scan, B-scan, C-scan 실험을 진행하였다. A-scan과 B-scan 실험결과, 천에 의해 은폐된 물체를 탐지 하고 대략적인 물체의 크기를 확인 할 수 있었다. 이때, 은폐 물체에 대한 탐지 깊이는 0.0015~0.0065의 평균 제곱 오차를 갖는다. 끝으로, C-scan 출력으로부터 천에 은폐된 동판과 파이프의 형상을 확인 할 수 있었다. 이때 검출된 물체의 크기는 동판은 0.015 m^2 의 오차를 가졌으며, 파이프는 0.046 m^2 의 오차를 보였다. 제안된 파라메트릭 배열을 이용한 은폐된 물체 탐지 시스템은 음향 신호를 이용함으로써 인체에 무해하고, 직접 방사되는 저주파와 비교하여 높은 분해능을 가진다. 이러한 이유로 제안된 시스템은 군사적 및 보안 등 여러 분야에서 응용될 수 있으며, 특히 공항과 같은 장소에서 은폐물 탐지에 유용할 것이라 기대한다.

REFERENCES

- [1] T. J. Ji, and B. J. Kwak, "Impact of the Radiation Absorbed dose on Microelements of Tissues in Living Bodies", Journal of The Korea Contents Association, Vol. 11, No. 8, pp. 204-210, 2011.
- [2] C. H. Lim, and C. S. Jeong, "The Study for Radio Protection According to a Possible Danger of Exposure During low energy X-ray Examination", The Korea Contents Society, Vol. 9, No. 1, 2011
- [3] J. S. Yoon, K. K. Jung, and Y. S. Chae, "Development of Passive Millimeter-wave Security Screening System", Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers, Vol. 53, No. 7, pp. 138-143, 2016.
- [4] H. J. Lim, Y. S. Chae, K. K. Jung, M. R. Kim, and J. K. Rhee, "Study of Millimeter-Wave Passive Imaging Sensor Using the Horn Array Antenna", Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers, Vol. 47, No. 2, pp. 67-73, 2010.
- [5] H. T. Chen, R. K. Kersting, and G. C. Cho, "Terahertz imaging with nanometer resolution", Applied Physic Letters, Vol. 83, No. 15, pp. 3009-3011, 2003.
- [6] W. L. Chan, K. Charan, D. Takhar, K. F. Kelly, R. G. Baraniuk, and D. M. Mittleman, "A single-pixel terahertz imaging system based on compressed sensing", Vol. 93, No. 12, 2008.
- [7] J. S. Jang, I. B. Kwon, D. J. Yoon, and D. C.

- Seo, "Terahertz Imaging Using Compact Continuous Wave Sub-Terahertz System", The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 21, No. 4, pp. 340-351, 2010.
- [8] B. Novikov, O. Rudenko, and V. Timoshenko, *Nonlinear Underwater Acoustics*, The American Institute of Physics, 1987.
- [9] P. Westervelt, "Parametric Acoustic Array", *J. Acoust. Soc. Am*, Vol. 35, pp. 535-357, 1963
- [10] J. Bellin, and R. Beyer, "Experimental Investigation of an End-Fire Array", *J. Acoust. Soc. Am*, Vol. 55, pp. 1051-1054, 1962.
- [11] H. Berkta, and D. Leahy, "Farfield performance of parametric transmitters" *J. Acoust. Soc. Am*, Vol. 55, pp. 539-546, 1974.
- [12] H. Berkta, "Possible exploitation of non-linear acoustics in underwater transmitting applications", *J. Sound Vib*, Vol. 2, pp. 435-461, 1965.
- [13] T. Muir, and J. Willette, "Parametric Acoustic Transmitting Arrays", *J. Acoust. Soc. Am*, Vol. 52, pp. 1481-1486, 1972.
- [14] M. Bennett, and D. Blackstock, "Parametric array in air", *J. Acoust. Soc. Am*, Vol. 57, pp. 562-568, 1975.
- [15] C. H. Lee, J. Lee, and J. Bae, "Sub-bottom Profiling Algorithm using Parametric Array", *Journal of Ocean Engineering and Technology*, Vol. 28, No. 1, 2014.
- [16] J. Han, C. H. Lee, D. G. Paeng, J. Bae, and W. H. Kim, "Parametric Array Sonar System Based on Maximum Likelihood Detection", *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 48, No. 1, 2011.
- [17] J. Lee, C. H. Lee, S. W. Lee, J. Shin, and J. W. Jung, "Analysis of Highly Directinal Sonar Communication System", *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 49, No. 12, 2012.
- [18] M. B. Moffett, and R. H. Mellen, "Models for Parametric Acoustic Sources", *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 61, pp. 325-337, 1977.
- [19] H. Bass, L. Sutherland, A. Zuckewar, D. Blackstock, and D. Hester, "Atmospheric absorption of sound: Further developments", *J. Acoust. Soc. Am*, Vol. 93, pp. 680-683, 1995.

저 자 소 개



이 기 배(학생회원)
 2016년 제주대학교 해양시스템공학과 학사 졸업.
 2016년~현재 제주대학교 해양시스템공학과 석사과정.
 <주관심분야: 신호처리, 패턴인식>



이 재 일(정회원)
 2009년 제주대학교 해양산업공학과 학사 졸업.
 2011년 제주대학교 해양정보 시스템공학과 석사 졸업.
 2015년 제주대학교 해양시스템 공학과 박사 졸업.
 2016년~현재 (주)한화 구미사업장 선임연구원.
 <주관심분야: 파라메트릭 소나, 선배열예인센서, 수중음향, 센서 신호처리>



배 진 호(정회원)-교신저자
 1993년 아주대학교 전자공학과 학사 졸업.
 1996년 한국과학기술원(KAIST) 정보통신공학과 석사 졸업.
 2001년 한국과학기술원(KAIST) 전자전산학과 박사 졸업.
 1993년~2002년 (주)대양전기공업 실장.
 2002년~2002년 한국과학기술원(KAIST) BK21 초빙교수.
 2006년~2007년 Texas A&M 방문교수.
 2013년~2014년 UC Santa Cruz 방문교수.
 2002년~현재 제주대학교 해양시스템공학과 교수.
 <주관심분야: 광신호처리 및 통신, 레이더 및 소나 신호처리, 인쇄전자 소재 및 소자, 항해 시스템>



이 중 현(정회원)
 1985년 한양대학교 전자공학과 학사 졸업.
 1987년 Michigan Technological University 석사 졸업.
 2002년 한국과학기술원(KAIST) 전기 및 전자공학과 박사 졸업.
 1990년~1995년 한국전자통신연구원 선임연구원.
 2000년~2002년 (주)KM Telecom 연구소장.
 2003년~2006년 서경대학교 전자공학과 전임강사
 2006년~현재 제주대학교 해양시스템공학과 교수.
 <주관심분야: 통계학적 신호처리, 적응 배열 시스템, 수중 및 이동 통신, UWB 무선전송기술>



조 정 흥(정회원)
 2005년 한국해양대학교 해양건설공학과 학사 졸업.
 2007년 한국해양대학교 대학원 해양공학과 석사 졸업.
 2011년 한국해양대학교 대학원 해양공학과 박사 졸업.
 2011년~2013년 한국해양대학교 수중운동체 특화 연구센터 전임연구원
 2013년~현재 (주)한화 구미사업장 선임연구원
 <주관심분야: 수중음향, 선배열예인센서, 신호처리, 효과도분석>