



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년06월21일  
(11) 등록번호 10-1869802  
(24) 등록일자 2018년06월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
G01S 3/801 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
G01S 3/801 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2017-0135907  
(22) 출원일자 2017년10월19일  
심사청구일자 2017년10월19일  
(56) 선행기술조사문헌  
KR101094786 B1  
KR1020030034885 A  
JP2000197595 A  
KR1020160127259 A

(73) 특허권자  
한국해양과학기술원  
부산광역시 영도구 해양로 385(동삼동)  
(72) 발명자  
조성호  
경기도 안산시 상록구 반석로 8, 6동 408호(본오 2동, 한양아파트)  
박지성  
경기도 안산시 상록구 본오공원2길 5-7, 404호(본오동)  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
김정수

전체 청구항 수 : 총 10 항

심사관 : 변영석

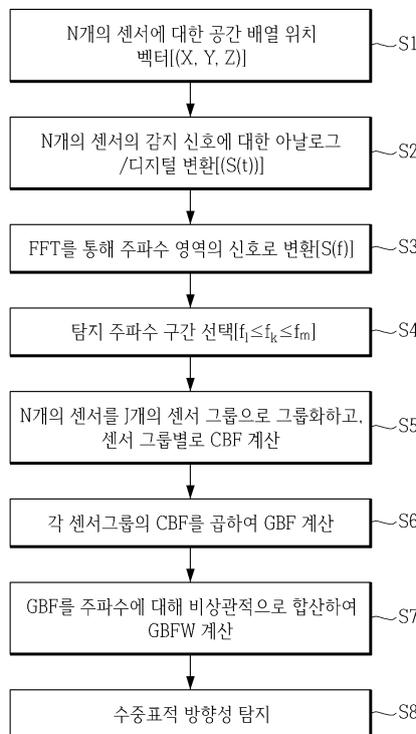
(54) 발명의 명칭 복수의 그룹 빔 형성 기법을 이용한 수중음원 방향성 탐지 방법

(57) 요약

본 발명은 수중음원 방향성 탐지 방법에 관한 것으로서, 공간상에 배열된 N개의 센서를 이용하여 수중 음원을 탐지하는 수중음원 방향성 탐지 시스템에 의해 수행되는 수중음원 방향성 탐지 방법에 있어서, 상기 N개의 센서로부터 수신되는 감지 신호를 디지털 감지 신호로 변환하고, 상기 변환된 디지털 감지 신호를 시간-주파수 분석을

(뒷면에 계속)

대표도 - 도2



통해 주파수 영역의 신호로 변환하는 단계; 수중음원 탐지를 위한 탐지 주파수 구간( $f_l \leq f_k \leq f_m$ )을 선택하는 단계; 상기 N개의 센서를 J개의 센서 그룹으로 그룹화하고, 컨벤셔널 빔 형성(Conventional Beamforming, CBF) 기법을 이용해 상기 J개의 센서 그룹별로 CBF값을 계산하는 단계; 상기 J개의 센서 그룹의 CBF를 조합하는 그룹 빔 형성(Grouped Beamforming, GBF) 기법을 이용해 GBF 값을 산출하는 단계; 및 상기 GBF 값을 이용해 상기 탐지 주파수 구간에서 수중 표적의 방향성을 탐지하는 단계를 포함한다. 따라서, 본 발명은 N개의 센서를 소형 공간에 자율적으로 배열할 수 있고, 주파수 간의 빔 패턴을 조합하는 그룹 빔 형성 기법(GBF)을 통해 기존의 컨벤셔널 빔 형성 기법(CBF)에 비해 탐지 성능 및 탐지 방위 정확도가 향상될 수 있으며, 기존의 수중 음향 센서보다 공간적으로 소형화가 가능하고, 소형화로 인한 이동성이 용이해질 수 있다.

(72) 발명자

**강돈혁**

경기도 안산시 상록구 학사5길 4-1, 402호(사동)

**김미라**

경기도 안산시 상록구 초당1안길 4(사동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 E99575

부처명 한국해양과학기술원

연구관리전문기관 한국해양과학기술원

연구사업명 방향성 탐지용 prototype 하이드로폰 개발 및 해상 적용

연구과제명 방향성 탐지용 prototype 하이드로폰 개발 및 해상 적용

기여율 1/1

주관기관 한국해양과학기술원

연구기간 2017.03.01 ~ 2017.12.31

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

공간상에 배열된 N개의 센서를 이용하여 수중 음원을 탐지하는 수중음원 방향성 탐지 시스템에 의해 수행되는 수중음원 방향성 탐지 방법에 있어서,

상기 N개의 센서로부터 수신되는 감지 신호를 디지털 감지 신호로 변환하고, 상기 변환된 디지털 감지 신호를 시간-주파수 분석을 통해 주파수 영역의 신호로 변환하는 단계;

수중음원 탐지를 위한 탐지 주파수 구간( $f_l \leq f_k \leq f_m$ )을 선택하는 단계;

상기 N개의 센서를 J개의 센서 그룹으로 그룹화하고, 컨벤셔널 빔 형성(Conventional Beamforming, CBF) 기법을 이용해 상기 J개의 센서 그룹별로 CBF값을 계산하는 단계;

상기 J개의 센서 그룹의 CBF를 조합하는 그룹 빔 형성(Grouped Beamforming, GBF) 기법을 이용해 GBF 값을 산출하는 단계; 및

상기 GBF 값을 이용해 상기 탐지 주파수 구간에서 수중 표적의 방향성을 탐지하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 수중음원 방향성 탐지 방법.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 GBF 값을 이용해 상기 탐지 주파수 구간에서 수중 표적의 방향성을 탐지하는 단계는,

상기 GBF 값을 주파수에 대해 비상관적으로 합산하여 대역폭을 갖는 그룹 빔 형성(Goruped Beamforming With band, GBFW) 값을 계산하는 단계를 더 포함하고,

상기 GBFW 값을 이용해 상기 탐지 주파수 구간에서 수중 표적의 방향성을 탐지하는 것을 특징으로 하는 수중음원 방향성 탐지 방법.

#### 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 N개의 센서로부터 수신되는 감지 신호를 디지털 감지 신호로 변환하고, 상기 변환된 디지털 감지 신호를 시간-주파수 분석을 통해 주파수 영역의 신호로 변환하는 단계는,

직교 좌표계에서 N개의 센서에 대한 위치 벡터를 계산하는 단계;

상기 N개의 센서로부터 수신되는 감지 신호를 디지털 감지 신호로 변환하여 저장하는 단계; 및

고속 푸리에 변환을 이용하여 상기 디지털 감지 신호의 시간 영역을 주파수 영역으로 변환하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 수중음원 방향성 탐지 방법.

#### 청구항 4

제1항에 있어서,

상기 N개의 센서를 J개의 센서 그룹으로 그룹화하고, 컨벤셔널 빔 형성(Conventional Beamforming, CBF) 기법을 이용해 상기 J개의 센서 그룹별로 CBF값을 계산하는 단계는,

상기 N개의 센서에서 수평각( $\theta$ ), 수직각( $\phi$ ), 주파수( $f$ ), 센서( $n$ )에 대한 위상 값을 계산하는 단계;

상기 N개의 센서를 J개의 센서 그룹으로 그룹화하기 위해 센서 인덱스 행렬을 오퍼레이터( $U_{N,J}$ )로 사용하여 그룹화하는 단계; 및

상기 센서 그룹별로 CBF 기법을 통해 형성된 빔 패턴을 CBF 값으로 출력하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 수중음원 방향성 탐지 방법.

**청구항 5**

제4항에 있어서,

상기 N개의 센서에서 수평각( $\theta$ ), 수직각( $\phi$ ), 주파수( $f$ ), 센서( $n$ )에 대한 위상 값을 계산하는 단계는 하기 수학식을 이용하는 것을 특징으로 하는 수중음원 방향성 탐지 방법.

$$Ph(\theta, \phi, f, n) = S_n(f) \exp(-i2\pi f(X(n) \cos(\theta) \cos(\phi) + Y(n) \sin(\theta) \cos(\phi) + Z(n) \sin(\phi)) / c)$$

**청구항 6**

제4항에 있어서,

상기 센서 인덱스 행렬의 크기는 경우의 수( ${}_N C_J$ ) $\times$ J( $2 \leq J \leq N$ )인 것을 특징으로 하는 수중음원 방향성 탐지 방법.

**청구항 7**

제6항에 있어서,

$$K = \sum_{n=2}^N {}_N C_n$$

상기 N개의 센서를 J개의 센서 그룹으로 그룹화하여 형성되는 전체 빔 패턴 수(K)는 인 것을 특징으로 하는 수중음원 방향성 탐지 방법.

**청구항 8**

제4항에 있어서,

상기 센서 그룹별로 CBF 기법을 통해 형성된 빔 패턴을 CBF 값으로 출력하는 단계는, 상기 위상 값과 오퍼레이터를 이용하여 하기 수학식을 이용하여 계산되는 것을 특징으로 하는 수중음원 방향성 탐지 방법.

$$CBF_{J,h}(\theta, \phi, f) = \sum_{j=1}^J Ph(\theta, \phi, f, U_{N,J}(h, j))$$

(여기서, h는 경우의 수( ${}_N C_J$ )의 인덱스이고,  $1 \leq h \leq {}_N C_J$ ,  $2 \leq J \leq N$  임)

**청구항 9**

제1항에 있어서,

상기 J개의 센서 그룹의 CBF를 조합하는 그룹 빔 형성(Grouped Beamforming, GBF) 기법을 이용해 GBF 값을 산

출하는 단계는, 하기 수학식을 이용하여 탐지 주파수 간의 빔 패턴을 조합하기 위해 각 센서 그룹의 CBF 값을 곱하여 계산하는 것을 특징으로 하는 수중음원 방향성 탐지 방법.

$$GBF(\theta, \phi, f) = \prod_{J=2}^N \prod_{h=1}^{N C_J} CBF_{J,h}(\theta, \phi, f)$$

**청구항 10**

제2항에 있어서,

상기 GBF 값을 주파수에 대해 비상관적으로 합산하여 대역폭을 갖는 그룹 빔 형성(Goruped Beamforming With band, GBFW) 값을 계산하는 단계는, 하기 수학식을 이용하여 상기 탐지 주파수 구간의 최소 주파수에서 최대주파수까지의 GBF 값을 합산하는 것을 특징으로 하는 수중음원 방향성 탐지 방법.

$$GBFW(\theta, \phi) = \sum_{k=l}^m GBF(\theta, \phi, f_k), (f_l \leq f_k \leq f_m \text{ (Hz)})$$

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 수중음원 방향성 탐지 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 복수의 센서를 소형 공간 내에 자율적으로 배열하여 수중음원의 방향성을 탐지하는 수중음원 방향성 탐지 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 최근, 생물 표적 또는 비생물 표적에 의한 수중 음원의 방향성을 탐지하기 위한 다양한 수중 센서가 개발되고 있다. 이러한 수중 음향 센서를 적어도 하나 이상을 사용하는 수중 음원 탐지 시스템은 수상 또는 수중에서 운용되는 수상 또는 수중 이동체(예컨대, 선박, 잠수함, 잠수정, 반잠수정 등)에 탑재되고, 수중 음향 센서에서 감지된 감지 신호를 분석하여 수중 음원의 방향성을 탐지할 수 있다.

[0003] 공간상에 복수 개의 수중 음향 센서를 배열하는 배열 센서는 탐지 거리의 증대와 음원의 방향을 추정하기 위하여 수십 개에서 수백 개의 센서가 1차원 선, 2차원 평면 및 3차원 공간 상에 일정한 간격으로 선형 배열된다.

[0004] 종래 기술에 따른 수중 음향 탐지 기술은, 한국등록특허 제10-1200831호에 따르면 수상 또는 수중 이동체에 적어도 하나 이상의 음향 센서 쌍을 장착하고 이 음향 센서 쌍을 통해 수중 음향신호를 고성능으로 탐지하는 수중 음향 탐지 시스템 및 그 음향 탐지 방법을 기술하고 있다.

[0005] 또한, 한국등록특허 제10-1752672호에서는 수중에서의 설치 위치가 서로 다른 X축 및 Y축 음향센서와 Z축 음향 센서를 활용하여 용이하게 지정된 깊이 이상의 수상신호를 필터링 가능토록 하는 음향센서를 이용한 수중음향 탐지장치를 기술하고 있다.

[0006] 종래 기술에 따른 수중 음향 탐지 기술은 탐지 주파수가 결정되면 각 수중 음향 센서 간의 간격을 고정하여 수중 음향 센서를 설치하기 때문에 수중 음향 센서의 고정된 위치로 인해 제한된 구역에 대한 수중 음원만 감지할 수 있고, 수중 음향 센서의 설치 위치 이동이 불가능하다는 문제점이 있다.

[0007] 수중 물체(잠수함, 포유류 등)의 방위 추정을 위한 수중 음향 탐지 기술의 경우에, 배열 센서를 구축하기 위해 고가의 설치 비용이 소요되고, 그만큼 유지보수 비용 또한 고가일 수밖에 없다는 문제점이 있다.

[0008] 또한, 종래 기술에 따른 수중 음향 탐지 기술은 제한된 구역에 대한 수중 음원만을 탐지할 수 있기 때문에 광범위한 공간을 움직이는 수중 잠수함, 해양 포유류 등의 해상 공간 위치 추정을 위한 연구 장비로 활용이 불가능하다는 문제점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0009] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-1200831호 " 수중 음향 탐지 시스템 및 그 음향 탐지 방법 "
- (특허문헌 0002) 한국등록특허 제10-1752672호 " 음향 센서를 이용한 수중 음향 탐지 장치 "

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0010] 본 발명은 수중 공간상에 배열된 센서를 이용한 빔 형성시, 탐지 주파수에 상관없이 3차원의 소형 공간에 복수 개의 센서를 자율적으로 배치하고, 기존의 컨벤셔널 빔 형성 기법에 비해 탐지 성능 및 방위 정확도를 향상시킬 수 있는 수중음원 방향성 탐지 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

- [0011] 실시예들 중에서, 수중음원 방향성 탐지 방법은, 공간상에 배열된 N개의 센서를 이용하여 수중 음원을 탐지하는 수중음원 방향성 탐지 시스템에 의해 수행되는 수중음원 방향성 탐지 방법에 있어서, 상기 N개의 센서로부터 수신되는 감지 신호를 디지털 감지 신호로 변환하고, 상기 변환된 디지털 감지 신호를 시간-주파수 분석을 통해 주파수 영역의 신호로 변환하는 단계; 수중음원 탐지를 위한 탐지 주파수 구간( $f_l \leq f_k \leq f_m$ )을 선택하는 단계; 상기 N개의 센서를 J개의 센서 그룹으로 그룹화하고, 컨벤셔널 빔 형성(Conventional Beamforming, CBF) 기법을 이용해 상기 J개의 센서 그룹별로 CBF값을 계산하는 단계; 상기 J개의 센서 그룹의 CBF를 조합하는 그룹 빔 형성(Grouped Beamforming, GBF) 기법을 이용해 GBF 값을 산출하는 단계; 및 상기 GBF 값을 이용해 상기 탐지 주파수 구간에서 수중 표적의 방향성을 탐지하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

- [0012] 상기 GBF 값을 이용해 상기 탐지 주파수 구간에서 수중 표적의 방향성을 탐지하는 단계는, 상기 GBF 값을 주파수에 대해 비상관적으로 합산하여 대역폭을 갖는 그룹 빔 형성(Grouped Beamforming With band, GBFW) 값을 계산하는 단계를 더 포함하고, 상기 GBFW 값을 이용해 상기 탐지 주파수 구간에서 수중 표적의 방향성을 탐지하는 것을 특징으로 한다.

- [0013] 상기 N개의 센서로부터 수신되는 감지 신호를 디지털 감지 신호로 변환하고, 상기 변환된 디지털 감지 신호를 시간-주파수 분석을 통해 주파수 영역의 신호로 변환하는 단계는, 직교 좌표계에서 N개의 센서에 대한 위치 벡터를 계산하는 단계; 상기 N개의 센서로부터 수신되는 감지 신호를 디지털 감지 신호로 변환하여 저장하는 단계; 및 고속 푸리에 변환을 이용하여 상기 디지털 감지 신호의 시간 영역을 주파수 영역으로 변환하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

- [0014] 상기 N개의 센서를 J개의 센서 그룹으로 그룹화하고, 컨벤셔널 빔 형성(Conventional Beamforming, CBF) 기법을 이용해 상기 J개의 센서 그룹별로 CBF값을 계산하는 단계는, 상기 N개의 센서에서 수평각( $\theta$ ), 수직각( $\phi$ ), 주파수(f), 센서(n)에 대한 위상 값을 계산하는 단계; 상기 N개의 센서를 J개의 센서 그룹으로 그룹화하기 위해 센서 인덱스 행렬을 오퍼레이터( $U^{N \times J}$ )로 사용하여 그룹화하는 단계; 및 상기 센서 그룹별로 CBF 기법을 통해 형성된 빔 패턴을 CBF 값으로 출력하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

- [0015] 상기 N개의 센서에서 수평각( $\theta$ ), 수직각( $\phi$ ), 주파수(f), 센서(n)에 대한 위상 값을 계산하는 단계는 하기 수학식 2을 이용하는 것을 특징으로 한다.

- [0016] 상기 센서 인덱스 행렬의 크기는 경우의 수( ${}^N C_J$ ) $\times$ J( $2 \leq J \leq N$ )인 것을 특징으로 한다.

$$K = \sum_{n=2}^N {}^N C_n$$

- [0017] 상기 N개의 센서를 J개의 센서 그룹으로 그룹화하여 형성되는 전체 빔 패턴 수(K)는 인 것을 특징으로 한다.

- [0018] 상기 센서 그룹별로 CBF 기법을 통해 형성된 빔 패턴을 CBF 값으로 출력하는단계는, 상기 위상 값과 오퍼레이터를 이용하여 하기 수학적 6을 이용하여 계산하는 것을 특징으로 한다.
- [0019] 상기 J개의 센서 그룹의 CBF를 조합하는 그룹 빔 형성(Grouped Beamforming, GBF) 기법을 이용해 GBF 값을 산출하는 단계는, 하기 수학적 7을 이용하여 탐지 주파수 간의 빔 패턴을 조합하기 위해 각 센서 그룹의 CBF 값을 곱하여 계산하는 것을 특징으로 한다.
- [0020] 상기 GBF 값을 주파수에 대해 비상관적으로 합산하여 대역폭을 갖는 그룹 빔 형성(Grouped Beamforming With band, GBFW) 값을 계산하는 단계는, 하기 수학적 8을 이용하여 상기 탐지 주파수 구간의 최소 주파수에서 최대 주파수까지의 GBF 값을 합산하는 것을 특징으로 한다.

**발명의 효과**

- [0021] 본 발명의 수중음원 방향성 탐지 방법은 N개의 센서를 2차원 평면 또는 3차원 공간상에서 자율적으로 배치하여 표적을 탐지할 수 있고, 이로 인해 구조물에 맞춰서 센서의 배열이나 위치를 설계할 수 있으며, 기존의 수중 음향 센서보다 공간적으로 소형화가 가능하고, 소형화로 인한 이동성이 용이하다는 효과가 있다.
- [0022] 또한, 본 발명은 주파수 간의 빔 패턴을 조합하는 그룹 빔 형성 기법(GBF)을 통해 저주파 대역에서도 주배엽의 폭이 기존의 컨벤셔널 빔 형성 기법(CBF)에 비해 현저히 줄어들어 탐지 성능 및 탐지 방위 정확도가 향상될 수 있고, GBF 기법에서 조합되는 빔 패턴 수에 따라 해상력이 증가할 수 있으며, 적은 수의 센서를 이용해 높은 탐지 성능을 도출할 수 있는 효과가 있다.
- [0023] 본 발명은 에일리어싱에 의한 부배엽이 기존의 CBF 기법에 비해 현저히 줄어들고, 단일 주파수에서 미세하게 발생한 부배엽도 상쇄되어 오탐지 방위에 대한 모호성이 상쇄되어 표적 탐지 성능이 향상될 수 있는 효과가 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0024] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 수중 음원 방향성 탐지 시스템의 구성을 설명하는 블록도이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 수중 음원 방향성 탐지 방법을 설명하는 순서도이다.
- 도 3은 수중 공간상에 배열된 N개의 센서의 구성을 설명하는 도면이다.
- 도 4는 도 3의 N개의 센서에 대한 3차원 공간의 배치 위치를 설명하는 도면이다.
- 도 5는 대역폭을 갖는 그룹 빔 형성 기법에 따른 주파수 간 빔 패턴의 총합을 설명하는 도면이다.
- 도 6은 수중 음원의 감지 위치와 신호 크기를 설명하는 그래프이다.
- 도 7a와 7b는 센서 그룹별로 컨벤셔널 빔 형성 기법을 수행하여 빔 형성된 빔 패턴을 설명하는 도면이다.
- 도 8은 도 7의 CBF 기법에 의해 형성된 빔 패턴을 조합한 GBF 결과를 설명하는 도면이다.
- 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 수중음원 방향성 탐지 방법에 적용되는 CBF 기법, GBF 기법, GBFW 기법을 적용한 결과들을 설명하는 도면이다.
- 도 10은 3차원 공간상에 배열된 센서에 대한 CBF 기법, GBF 기법, GBFW 기법을 적용한 결과들을 설명하는 도면이다.
- 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 수중음원 방향성 탐지 방법을 적용한 DOA(Direction of Arrival) 알고리즘의 결과를 설명하는 도면이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0025] 본 발명에 기재된 실시예 및 도면에 도시된 구성은 본 발명의 바람직한 실시예에 불과할 뿐이고, 본 발명의 기술적 사상을 모두 표현하는 것은 아니므로, 본 발명의 권리범위는 본문에 설명된 실시예 및 도면에 의하여 제한되는 것으로 해석되어서는 아니 된다. 즉, 실시예는 다양한 변경이 가능하고 여러 가지 형태를 가질 수 있으므로 본 발명의 권리범위는 기술적 사상을 실현할 수 있는 균등물들을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 또한, 본 발명에서 제시된 목적 또는 효과는 특정 실시예가 이를 전부 포함하여야 한다거나 그러한 효과만을 포함하여야 한다는 의미는 아니므로, 본 발명의 권리범위는 이에 의하여 제한되는 것으로 이해되어서는 아니 될 것이다.
- [0026] 여기서 사용되는 모든 용어들은 다르게 정의되지 않는 한, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자에

의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 것으로 해석되어야 하며, 본 발명에서 명백하게 정의하지 않는 이상 적이거나 과도하게 형식적인 의미를 지니는 것으로 해석될 수 없다.

- [0027] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 수중 음원 방향성 탐지 시스템의 구성을 설명하는 블록도이다.
  - [0028] 도 1을 참고하면, 수중 음원 방향성 탐지 시스템은, 센서 모듈(110), 신호 처리 모듈(120) 및 제어 장치(130)를 포함한다.
  - [0029] 센서 모듈(110)은 N개의 센서를 포함하고, N개의 센서는 소형 공간 배열센서로서 탐지 주파수에 상관없이 2차원 평면 또는 3차원 공간상에 자율적으로 배치된다.
  - [0030] 기존의 컨벤셔널 빔 형성 기법에서는 탐지 주파수에서 센서 간의 간격이  $\lambda/2$ 에서 벗어날 경우에 에일리어싱이 발생하고, 에일리어싱의 발생으로 인해 수중 표적이 존재하지 않은 방위에서도 표적이 탐지되는 오류가 발생할 수 있다.
  - [0031] 수중 공간상에 배열된 센서의 조합을 이용하는 그룹 빔 형성 기법은 에일리어싱에 의한 부배엽이 기존의 컨벤셔널 빔 형성 기법에 비해 현저히 줄어들어 오탐지 방위에 대한 모호성을 상쇄시킬 수 있다. 따라서, 수중 음원 방향성 탐지 시스템은 그룹 빔 형성 기법(Goruped Beamforming, GBF)과 대역폭을 갖는 그룹 빔 형성(Goruped Beamforming With band, GBFW)이 적용되기 때문에 N개의 센서는 에일리어싱(Aliasibg)이 발생하지 않도록 하는 센서 간격 조건( $\lambda/2$ )에 따라 센서 위치를 결정하지 않아도 된다.
  - [0032] 신호 처리 모듈(120)은 센서 모듈(110)로부터 감지 신호들을 수신하여 신호 처리하여 디지털 감지 신호로 제어 장치(130)로 전송한다. 이때, 신호 처리 모듈(120)은 신호의 증폭 및 필터링, 아날로그/디지털 변환, 디지털 신호의 입출력, 동작 제어, 데이터 저장 등의 기능을 수행한다.
  - [0033] 제어 장치(130)는 신호 처리 모듈(120)에서 전송되는 디지털 감지 신호에 기초하여 빔 형성(Beamforming) 연산, 고속 푸리에 변환(FFT), FPGA 제어 및 DAQ 입출력을 포함하는 일련의 처리 과정을 통해 실시간 신호 분석 결과를 제공하고, 신호 분석 결과에 따른 시계열 데이터를 저장한다.
  - [0034] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 수중 음원 방향성 탐지 방법을 설명하는 순서도이고, 도 3은 수중 공간상에 배열된 N개의 센서의 구성을 설명하는 도면이며, 도 4는 도 3의 N개의 센서에 대한 3차원 공간의 배치 위치를 설명하는 도면이고, 도 5는 대역폭을 갖는 그룹 빔 형성 기법에 따른 주파수 간 빔 패턴의 총합을 설명하는 도면이다.
  - [0035] 도 2 내지 도 5를 참고하면, 수중 음원 방향성 탐지 방법은, N개의 센서가 탐지 주파수에 상관없이 3차원 소형 공간상에 자율적으로 배치되면 직교 좌표계에서 3차원 공간상에 배열된 N개의 센서의 위치 벡터를 계산한다.(S1)
  - [0036] 이때, 2차원 평면상에 4개의 센서( CH1, CH2, CH3, CH4)가 설치될 경우에 도 3에 도시된 바와 같이 동서남북의 각 방향에 1개씩 설치될 수 있고, 3차원 공간상에 7개의 센서가 설치될 경우에 도 4에 도시된 바와 같이 각 센서는 x축, y축, z축으로 형성된 직교좌표계에서 (X, Y, Z)에 위치한다.
  - [0037] 그리고 3차원 공간상에 설치된 각 센서에 대한 위치 벡터는 하기한 수학적 1과 같다.
  - [0038] [수학적 1]
- $$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_N \end{bmatrix}, \quad Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_N \end{bmatrix}, \quad Z = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \vdots \\ z_N \end{bmatrix}$$
- [0039] , , ,
  - [0040] 수중음원 방향성 탐지 방법은 각 센서로부터 수신된 아날로그 감지 신호를 디지털 감지 신호(S(t))로 변환하고(S2), 빔 형성을 수행하기 위해 고속 푸리에 변환을 통해 디지털 감지 신호의 시간 영역을 주파수 영역의 신호로 변환한다.(S3)
  - [0041] 수중음원 방향성 탐지 방법은 GBF를 계산하기 위해 탐지 주파수 구간을 선택한다.(S4) 이때, 도 5에 도시된 바

와 같이, 센서의 감지 신호는 시간에 따라 특정한 방향에서 입력되는데 단일 주파수에서 신호가 입력되는 것이 아니라 특정한 주파수 대역폭을 가지고 신호가 입력된다. 따라서, 탐지 주파수 구간( $f_k$ )은 최소 주파수( $f_1$ )에서 최대 주파수( $f_m$ )까지의 특정 주파수 대역폭을 포함한 주파수 구간을 선택한다.

[0042] 수중음원 방향성 탐지 방법은 N개의 센서를 J개의 센서 그룹으로 그룹화하고, 컨벤셔널 빔 형성(Conventional Beamforming, CBF) 기법을 이용해 J개의 센서 그룹별로 CBF값을 계산한다.(S5)

[0043] J개의 센서 그룹의 CBF를 조합하는 그룹 빔 형성 기법을 이용해 2개의 센서로 이루어진 그룹들부터 N개의 센서로 이루어진 그룹까지 각 그룹의 조합 수인  ${}_N C_J$ 개 그룹의 CBF 값들을 곱하여 GBF 값을 산출한 후, GBF 값을 주파수에 대해 비상관적으로 합산하여 GBFW 값을 계산한다.(S6, S7)

[0044] 수중음원 방향성 탐지 방법은 GBF 값과 GBFW 값을 이용하여 수중 음원이 입사하는 방향, 즉 방위각 (Direction of Arrival, DOA)을 측정할 수 있고, DOA를 이용해 탐지 주파수 구간에서 수중 표적의 방향성을 정확히 탐지할 수 있다.(S8)

[0045] 도 6은 수중 음원의 감지 위치와 신호 크기를 설명하는 그래프이다.

[0046] 도 6을 참고하면, Pos1에서의 수중 음원이 감지되면 N개의 센서는 Pos1에서의 음원을 각각 감지하고, 수중음원 방향성 탐지 시스템은 센서의 감지신호를 이용해 시간에 따른 신호 크기를 측정할 수 있다.

[0047] 도 7a와 7b는 센서 그룹별로 컨벤셔널 빔 형성 기법을 수행하여 빔 형성된 빔 패턴을 설명하는 도면이다.

[0048] 도 7a와 7b를 참고하면, 센서는 4개의 소형공간 배열 센서이고, 각 센서 그룹은 2개의 센서로 이루어진 그룹부터 4개의 센서로 이루어진 그룹까지 총 11개의 센서 그룹이 생성된다. (N=4, J=11)

[0049] 먼저, 수중음원 방향성 탐지 방법은 각 센서에서 수평각( $\theta$ ), 수직각( $\phi$ ), 주파수(f), 센서(n)에 대한 위상 값을 하기 수학식 2를 이용하여 계산한다.

[0050] [수학식 2]

$$Ph(\theta, \phi, f, n) = S_n(f) \exp(-i2\pi f(X(n) \cos(\theta) \cos(\phi) + Y(n) \sin(\theta) \cos(\phi) + Z(n) \sin(\phi)) / c)$$

[0051]

[0052] 또한, 4개의 센서를 11개의 센서 그룹으로 그룹화하기 위해 센서 인덱스 행렬을 오퍼레이터( $U_{N,J}$ )로 사용하여 그룹화한다. 이때, 센서 인덱스 행렬의 크기는 경우의 수( ${}_N C_J$ ) $\times$ J( $2 \leq J \leq N$ )이다.

[0053] 오퍼레이터( $U_{N,J}$ )는 센서의 개수가 4개일 경우에 수학식 3과 같고, 센서의 개수가 5개일 경우에 수학식 4와 같다.

[0054] [수학식 3]

$$U_{4,2} = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 1 & 3 \\ 1 & 4 \\ 2 & 3 \\ 2 & 4 \\ 3 & 4 \end{bmatrix}, U_{4,3} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 1 & 2 & 4 \\ 1 & 3 & 4 \\ 2 & 3 & 4 \end{bmatrix}, U_{4,4} = [1 \ 2 \ 3 \ 4] \quad (case: if N = 4)$$

[0055]

[0056] [수학식 4]

$$\mathbf{U}_{5,2} = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 1 & 3 \\ 1 & 4 \\ 1 & 5 \\ 2 & 3 \\ 2 & 4 \\ 2 & 5 \\ 3 & 4 \\ 3 & 5 \\ 4 & 5 \end{bmatrix}, \mathbf{U}_{5,3} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 1 & 2 & 4 \\ 1 & 2 & 5 \\ 1 & 3 & 4 \\ 1 & 3 & 5 \\ 1 & 4 & 5 \\ 2 & 3 & 4 \\ 2 & 3 & 5 \\ 2 & 4 & 5 \\ 3 & 4 & 5 \end{bmatrix}, \mathbf{U}_{5,4} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 5 \\ 1 & 2 & 4 & 5 \\ 1 & 3 & 4 & 5 \\ 2 & 3 & 4 & 5 \end{bmatrix}, \mathbf{U}_{5,5} = [1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5] \quad (\text{case: if } N=5)$$

[0057]

[0058] 또한, N개의 센서를 J개의 센서 그룹으로 그룹화하여 형성되는 전체 빔 패턴 수(K)는 수학식 5와 같고, 수학식 5에 N=4를 적용할 경우에 K=11이 되고, N=5일 경우에 K=26이 되므로 적은 수의 센서를 이용하여 높은 탐지 성능을 도출할 수 있다.

[0059] [수학식 5]

$$K = \sum_{n=2}^N {}_N C_n$$

[0060]

[0061] 수중음원 방향성 탐지 방법은 위상 값과 오퍼레이터를 이용하는 하기 수학식 6을 이용하여 센서 그룹별로 CBF 값을 계산하는데, 센서가 4개일 경우에 총 11개의 센서 그룹이 생성되며, 각 센서 그룹별로 GBF에서 조합되는 빔 패턴 수는 11개 된다.

[0062] [수학식 6]

$$CBF_{J,h}(\theta, \phi, f) = \sum_{j=1}^J Ph(\theta, \phi, f, \mathbf{U}_{N,J}(h, j))$$

[0063]

[0064] 수학식 6에서, h는 경우의 수( ${}_N C_J$ )의 인덱스이고,  $1 \leq h \leq {}_N C_J$ ,  $2 \leq J \leq N$  이다.

[0065] 도 7의 (a)에 도시된 바와 같이, CH1과 CH2의 센서로 이루어진 제1 센서 그룹에 대해 컨벤셔널 빔 형성 기법을 수행하면 제1 CBF 값인 제1 빔 패턴이 형성된다.

[0066] 도 7의 (b)에 도시된 바와 같이, CH3과 CH4의 센서로 이루어진 제2 센서 그룹에 대해 컨벤셔널 빔 형성 기법을 수행하면 제2 CBF 값인 제2 빔 패턴이 형성된다.

[0067] 도 7의 (c)에 도시된 바와 같이, CH1과 CH3의 센서로 이루어진 제3 센서 그룹에 대해 컨벤셔널 빔 형성 기법을 수행하면 제3 CBF 값인 제3 빔 패턴이 형성된다.

[0068] 도 7의 (d)에 도시된 바와 같이, CH1과 CH4의 센서로 이루어진 제4 센서 그룹에 대해 컨벤셔널 빔 형성 기법을 수행하면 제4 CBF 값인 제4 빔 패턴이 형성된다.

[0069] 도 7의 (e)에 도시된 바와 같이, CH2과 CH3의 센서로 이루어진 제5 센서 그룹에 대해 컨벤셔널 빔 형성 기법을 수행하면 제5 CBF 값인 제5 빔 패턴이 형성된다.

[0070] 도 7의 (f)에 도시된 바와 같이, CH2과 CH4의 센서로 이루어진 제6 센서 그룹에 대해 컨벤셔널 빔 형성 기법을 수행하면 제6 CBF 값인 제6 빔 패턴이 형성된다.

[0071] 이와 같이, 2개의 센서로 이루어진 제1 내지 제6 센서 그룹은 CBF 기법을 적용하면 CBF 값이  $CBF_{2,h}(\theta, \phi, f)$ ,  $1 \leq h \leq {}_N C_2$ 이 된다.

[0072] 도 7의 (g)에 도시된 바와 같이, CH1, CH2 및 CH3의 센서로 이루어진 제7 센서 그룹에 대해 컨벤셔널 빔 형성

기법을 수행하면 제7 CBF 값인 제7 빔 패턴이 형성된다.

[0073] 도 7의 (h)에 도시된 바와 같이, CH1, CH2 및 CH4의 센서로 이루어진 제8 센서 그룹에 대해 컨벤셔널 빔 형성 기법을 수행하면 제8 CBF 값인 제8 빔 패턴이 형성된다.

[0074] 도 7의 (i)에 도시된 바와 같이, CH1, CH3 및 CH4의 센서로 이루어진 제9 센서 그룹에 대해 컨벤셔널 빔 형성 기법을 수행하면 제9 CBF 값인 제9 빔 패턴이 형성된다.

[0075] 도 7의 (j)에 도시된 바와 같이, CH2, CH3 및 CH4의 센서로 이루어진 제10 센서 그룹에 대해 컨벤셔널 빔 형성 기법을 수행하면 제10 CBF 값인 제10 빔 패턴이 형성된다.

[0076] 3개의 센서로 이루어진 제7 내지 제10 센서 그룹은 CBF 기법을 적용하면 CBF 값이  $CBF_{3,h}(\theta, \phi, f)$ ,  $1 \leq h \leq N C_3$  이 된다.

[0077] 도 7의 (k)에 도시된 바와 같이, CH1, CH2, CH3 및 CH4의 센서로 이루어진 제11 센서 그룹에 대해 컨벤셔널 빔 형성 기법을 수행하면 제11 CBF 값인 제11 빔 패턴이 형성된다.

[0078] 4개의 센서로 이루어진 제11 센서 그룹은 CBF 기법을 적용하면 CBF 값이  $CBF_{4,h}(\theta, \phi, f)$ ,  $1 \leq h \leq N C_4$  이 된다.

[0079] CBF 기법은 수중에서 1kHz 이하의 저주파 대역의 표적을 탐지하는 경우에 센서 간격이 1m 이하인 소형공간 배열 센서를 이용하여 빔 형성시 주배엽의 폭이 넓어져 탐지 방위에 대한 모호성이 존재하여 표적을 탐지하기 쉽지 않다.

[0080] 따라서, 본 발명의 수중음원 방향성 탐지 방법은 CBF 기법에 의해 형성된 복수의 빔 패턴을 조합하는 GBF 기법을 이용하여 단일 탐지 주파수를 이용하는 CBF 기법에서 미세하게 발생하는 부배엽이 상쇄될 뿐만 아니라 저주파 대역에서도 주 배엽의 폭이 현저하게 줄어들어 수중 표적 탐지시 CBF 기법에 비해 배열 이득 등의 탐지 성능이 향상되고, 탐지 정확도도 향상될 수 있다.

[0081] 도 8은 도 7의 CBF 기법에 의해 형성된 빔 패턴을 조합한 GBF 결과를 설명하는 도면이다.

[0082] 도 8을 참고하면, 수중음원 방향성 탐지 방법은 하기 수학식 7을 이용하여 탐지 주파수 간의 빔 패턴을 조합하기 위해 각 센서 그룹의 CBF 값을 곱하여 GBF 값을 산출한다. 이때, GBF 기법은 조합되는 빔 패턴 수에 따라 수중음원 방향성 탐지시 해상력이 증가한다.

[0083] [수학식 7]

$$GBF(\theta, \phi, f) = \prod_{J=2}^N \prod_{h=1}^{N C_J} CBF_{J,h}(\theta, \phi, f)$$

[0084]

[0085] 수중음원 방향성 탐지 방법은 하기 수학식 8을 이용하여 수학식 7을 통해 산출된 GBF 값을 탐지 주파수 구간의 최소 주파수에서 최대 주파수까지 비상관적으로 합산하여 GBFW 값을 산출한다. 수중음원 방향성 탐지 방법은 GBFW를 적용시 에일리어싱이 현저히 감소되어 오탐지 방위에 대한 모호성이 상쇄되어 수중 표적에 대한 탐지 성능을 더욱 향상시킬 수 있다.

[0086] [수학식 8]

$$GBFW(\theta, \phi) = \sum_{k=l}^m GBF(\theta, \phi, f_k), (f_l \leq f_k \leq f_m \text{ (Hz)})$$

[0087]

[0088] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 수중음원 방향성 탐지 방법에 적용되는 CBF 기법, GBF 기법, GBFW 기법을 적용한 결과들을 설명하는 도면이고, 도 10은 3차원 공간상에 배열된 센서에 대한 CBF 기법, GBF 기법, GBFW 기법을 적용한 결과들을 설명하는 도면이며, 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 수중음원 방향성 탐지 방법을 적용한 DOA(Direction of Arrival) 알고리즘의 결과를 설명하는 도면이다.

[0089] 도 9의 (a)에 도시된 바와 같이, CBF 기법은 단일 탐지 주파수(예를 들어, 1kHz)의 수중 표적을 탐지하는 경우에, CBF 기법을 이용하여 빔 형성시 주배엽의 폭이 넓어져 탐지 방위에 대한 모호성이 존재하여 표적을 탐지하기 쉽지 않다.

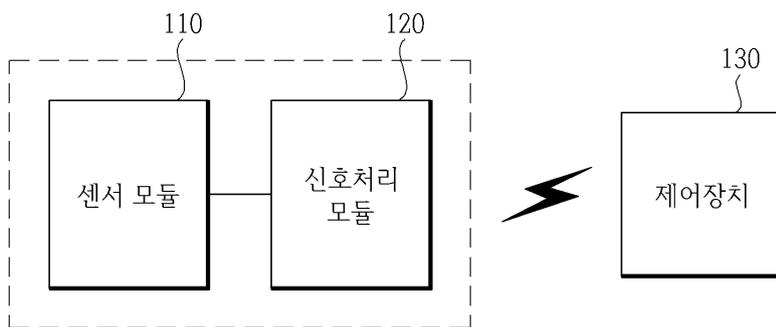
- [0090] 도 9의 (b)에 도시된 바와 같이, GBF 기법은 주파수 간의 빔 패턴을 조합하기 때문에 저주파수 CBF 기법과 동일한 탐지 주파수에서 주배엽의 폭이 현저하게 줄어들기 때문에 CBF 기법에 비해 배열 이득이 증가하고, 탐지 정확도가 향상됨을 알 수 있다.
- [0091] 도 9의 (c)를 참고하여 CBF 결과와 GBF 결과를 비교하면 CBF 기법에 비해 GBF 기법을 이용한 방위 탐지 성능이 현저하게 향상됨을 알 수 있다.
- [0092] 도 10을 참고하면, 3차원 공간상에 배열된 센서의 조합을 이용하여 빔 형성을 수행하면, 1kHz의 탐지 주파수에서 CBF 기법과 GBF 기법 수행시 CBF 결과(a)와 GBF 결과(b)가 산출되고, 700Hz ~1300Hz의 탐지 주파수 구간에서 GBFW 기법을 수행하여 GBFW 결과(c)가 산출된다.
- [0093] 이와 같이, 수중 표적의 방향성 탐지시 방위 정확성이 GBFW 결과 > GBF 결과 ≧ CBF 결과임을 알 수 있다. 수중 음원 방향성 탐지 시스템이 1kHz 이하의 저주파 대역에서 수중 표적을 탐지하는 경우에 기존의 배열 센서보다 공간적으로 소형화가 가능한 센서를 3차원 공간상에 자율적으로 배치하고, 저주파 대역에서도 주배엽의 폭이 현저히 줄어들며, 단일 주파수에서 미세하게 발생한 부배엽도 상쇄되어 탐지 성능이 증가하고 탐지 정확도가 향상될 수 있다.
- [0094] 도 11에 도시된 바와 같이, 수중음원 방향성 탐지 방법은 GBFW 기법을 적용하여 DOA 알고리즘을 수행하면 탐지 주파수 구간에서 수중 표적의 방향성을 정확히 탐지할 수 있어, 생물 및 선박 등 광대역 주파수의 소음을 발생하는 수중음원을 정확하게 탐지할 수 있다.
- [0095] 상기에서는 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구의 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

**부호의 설명**

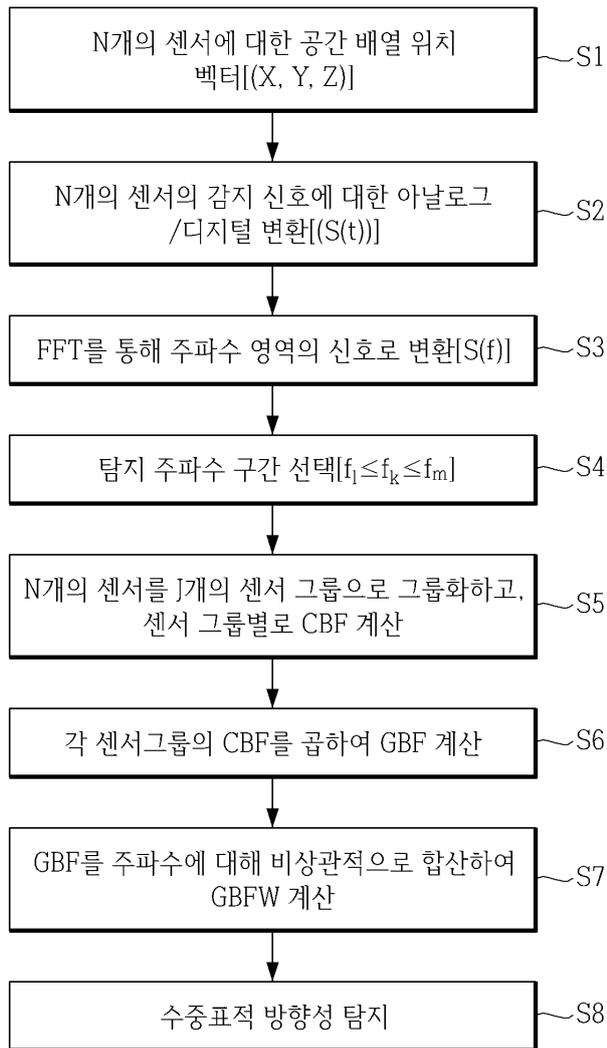
- [0096] 110 : 센서 모듈
- 120 : 신호 처리 모듈
- 130 : 제어 장치

**도면**

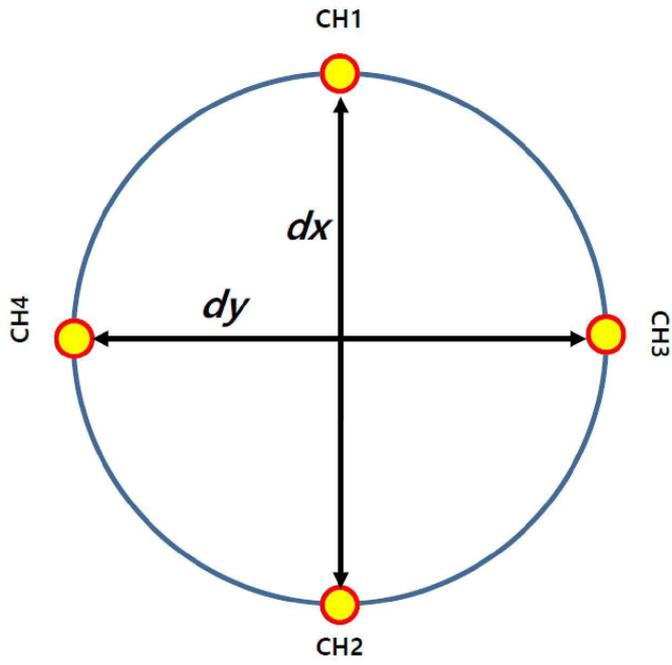
**도면1**



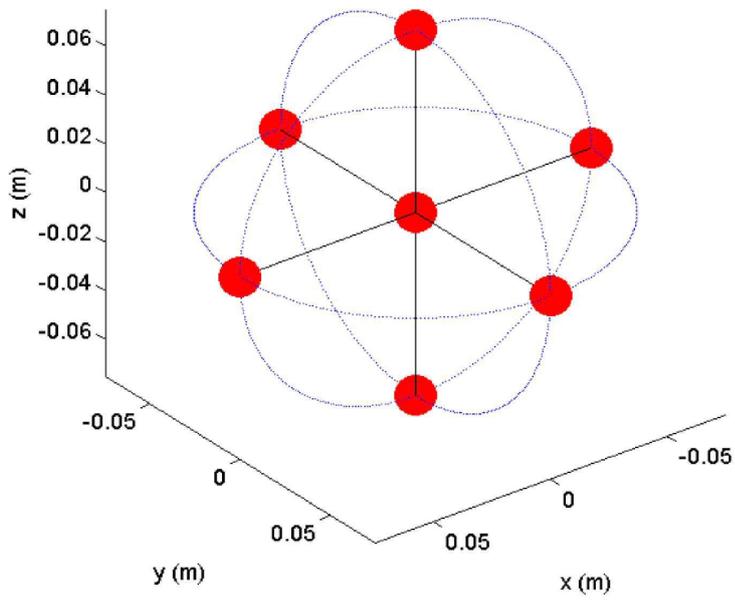
도면2



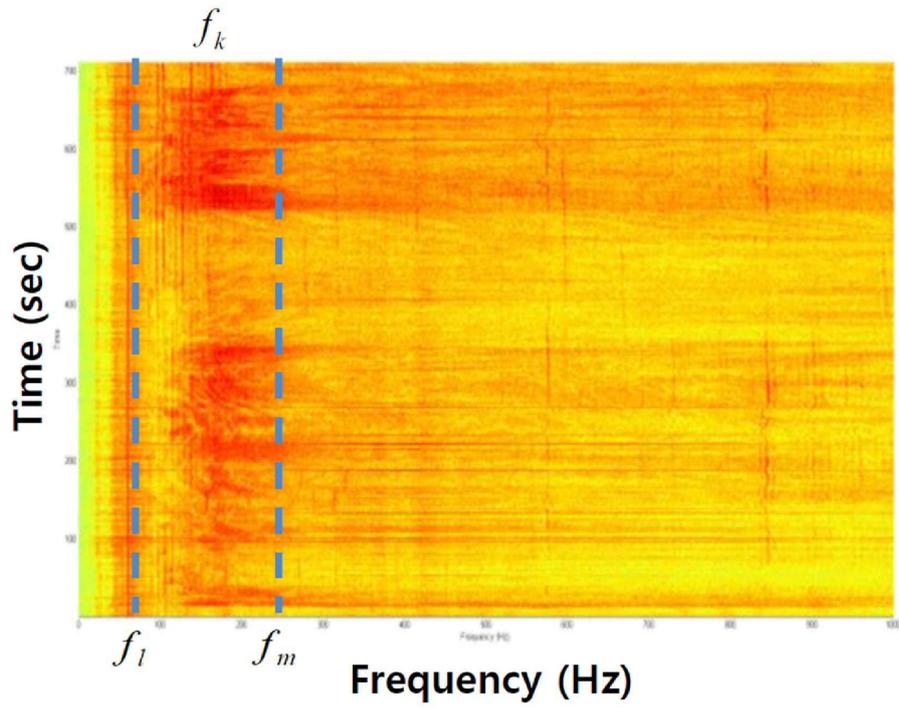
도면3



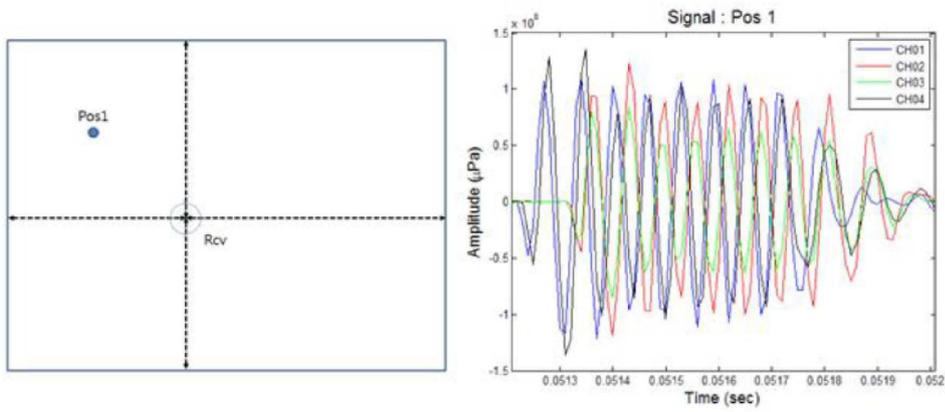
도면4



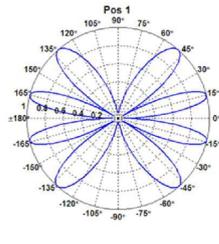
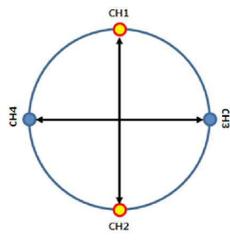
도면5



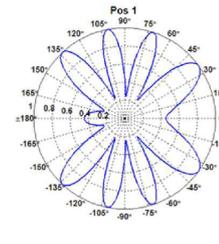
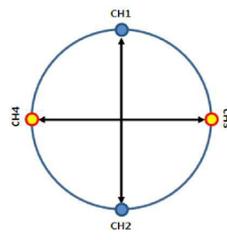
도면6



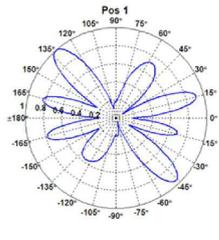
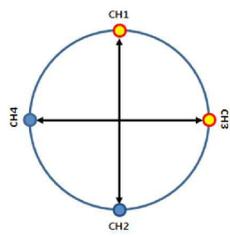
도면7a



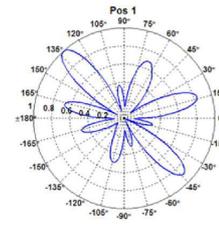
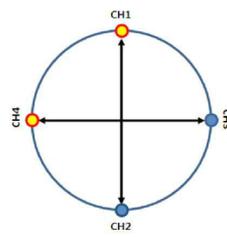
(a)



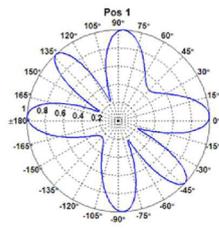
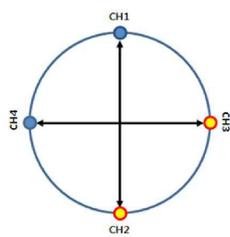
(b)



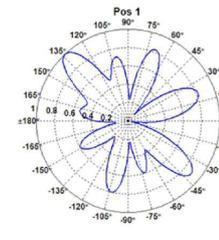
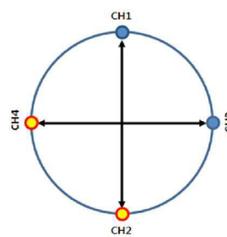
(c)



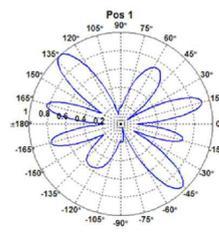
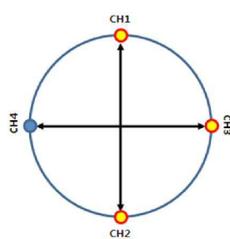
(d)



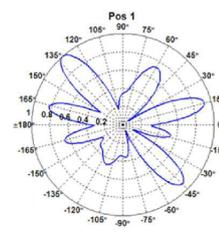
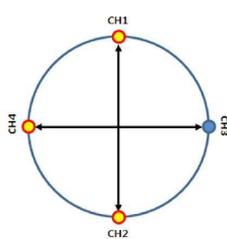
(e)



(f)

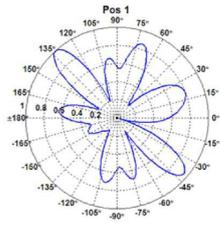
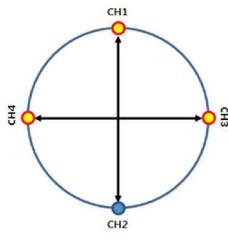


(g)

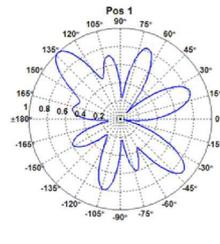
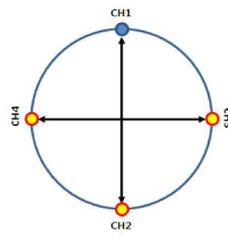


(h)

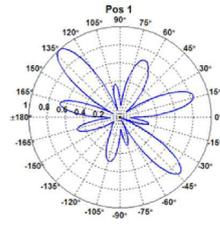
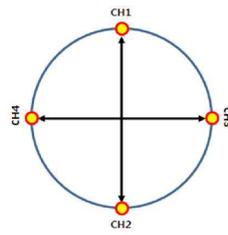
도면7b



(i)

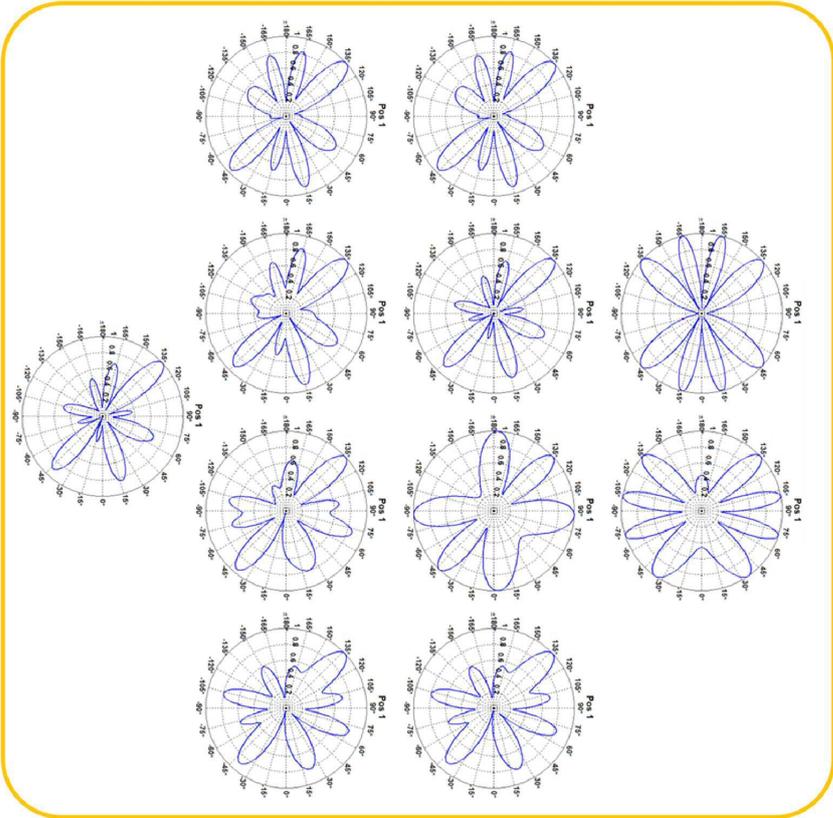


(j)

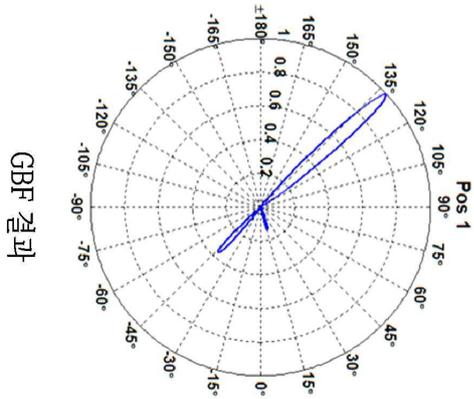


(k)

도면8

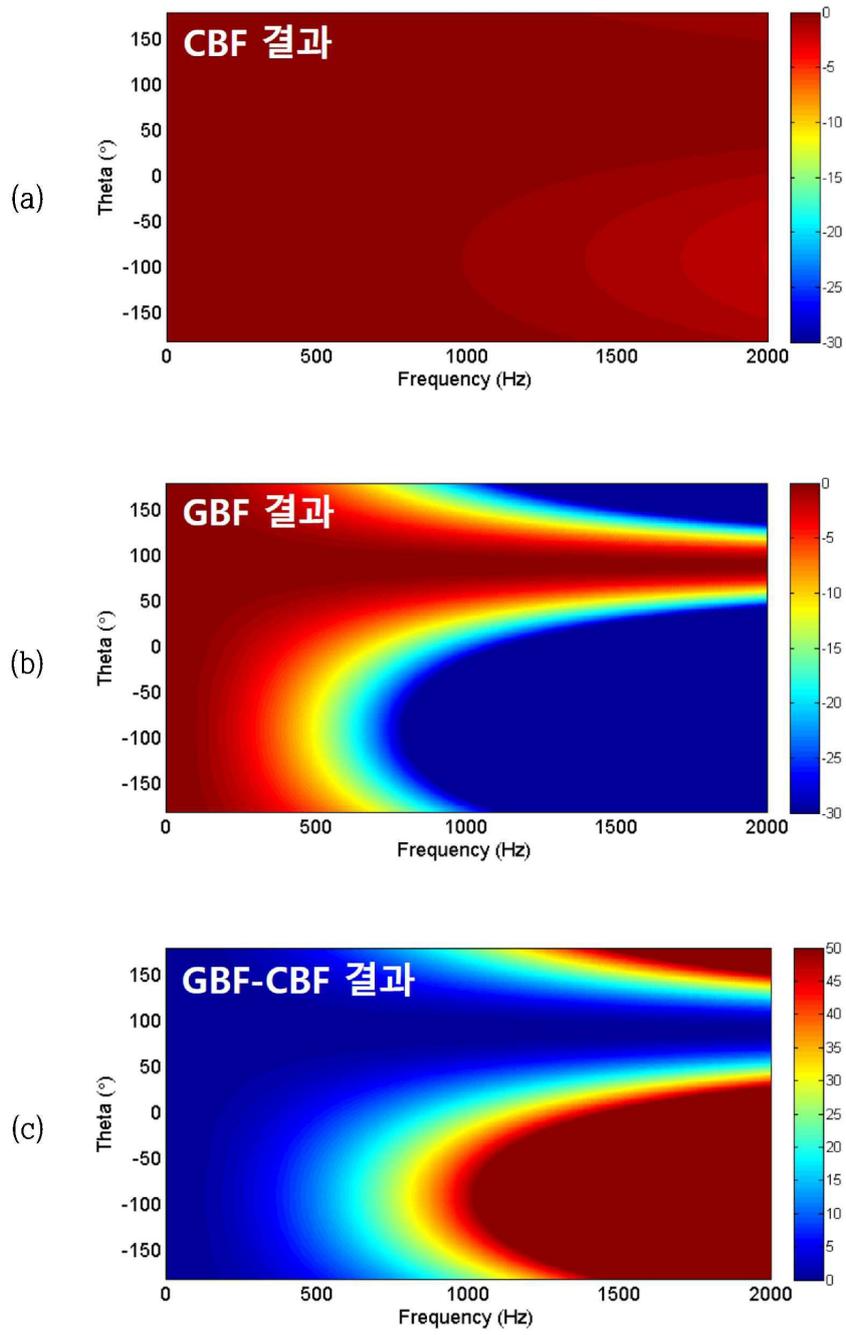


CBF 결과

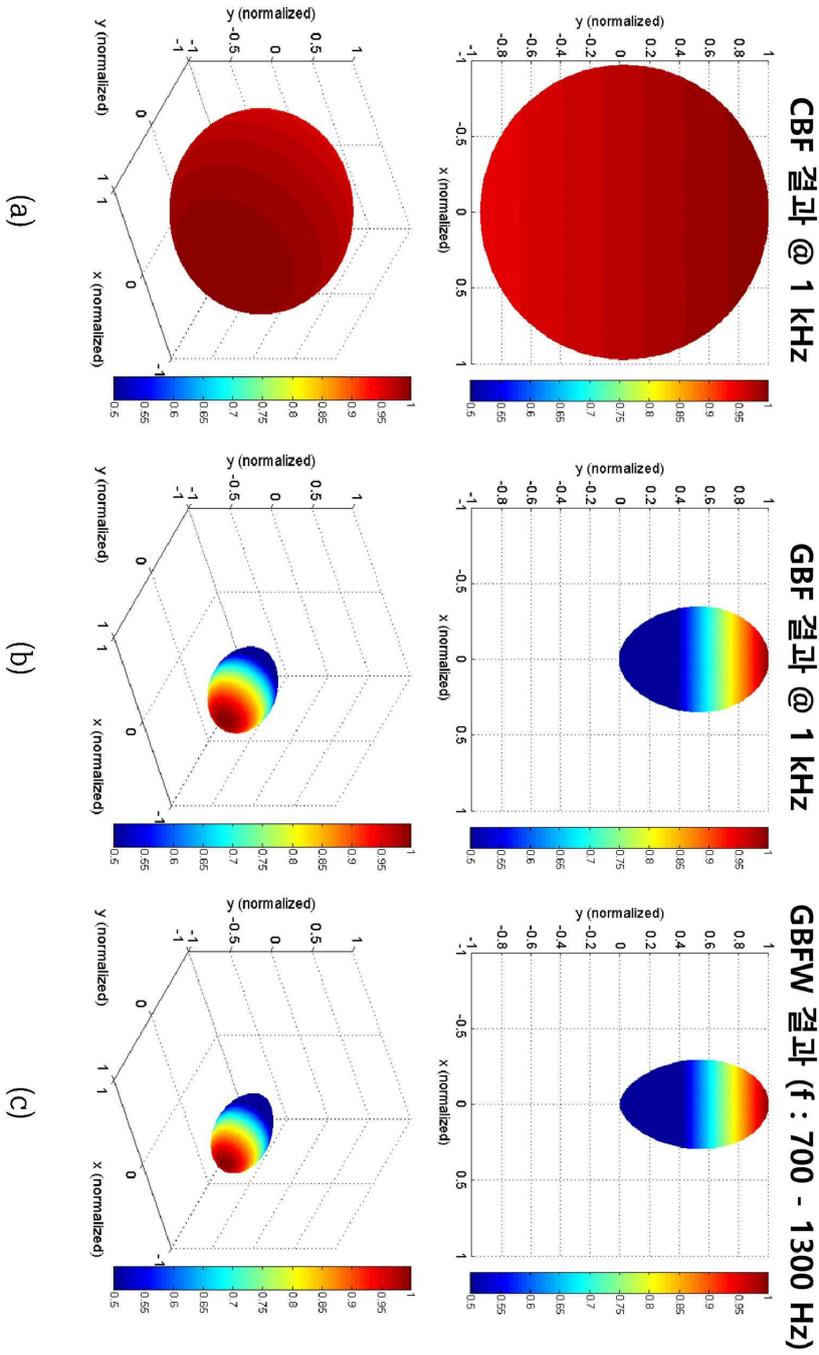


GBF 결과

도면9



도면10



도면11

