

# 선형 Dechirping 기법을 이용한 LFM 잔향의 백색화 기법

## Prewhitening Method for LFM Reverberation by Linear Dechirping

최 병 웅\*, 김 정 수\*, 이 균 경\*

(Byung-Woong Choi\*, Jeong-Soo Kim\*, Kyun-Kyung Lee\*)

\*경북대학교 전자전기컴퓨터학부

(접수일자: 2007년 2월 27일, 수정일자: 2007년 4월 17일, 채택일자: 2007년 4월 23일)

본 논문에서는 LFM 잔향 신호를 효율적으로 백색화하여 표적의 탐지확률을 높이는 기법을 제안한다. 제안한 기법에서는 LFM의 주파수 변화율을 역으로 보상하는 선형 dechirping 기법을 이용하여 시간에 따라 주파수가 변하는 LFM 신호의 잔향을 CW와 같이 데이터 블록 내에서 일정한 주파수 특성을 유지할 수 있도록 변환하였다. 또한 표적이 존재하지 않는 인접 빔 신호를 참조 신호로 사용하여 AR (autoregressive) 계수로 각 구간의 주파수 응답을 모델링하고 역 필터를 구현하여 표적이 존재하는 빔 신호를 필터링함으로써 LFM 잔향을 효율적으로 백색화하였다.

핵심용어: 능동 소나, 잔향 백색화, LFM, Dechirping 기법, AR 모델링

투고분야: 수중음향 분야 (5,6)

In this paper, we propose a prewhitening method for the LFM reverberation to enhance the target signal. The proposed algorithm uses the dechirping method which inversely compensates the frequency chirp rate of LFM and transforms the LFM reverberation to have stationary frequency property in each data block. Also, using the left and right adjacent beam signals as reference signals, we model frequency response of each data block by AR coefficients. From these coefficients, we implement inverse filter and prewhiten the LFM reverberation of the center beam efficiently.

*Key words:* Active sonar, Reverberation prewhitening, LFM, Dechirping method, AR modeling

*ASK subject classification:* Underwater Acoustics (5,6)

## 1. 서 론

잔향환경에서 표적 탐지 성능을 향상시키는 것은 능동 소나를 사용한 표적 탐지에 있어서 주된 목표 중의 하나이다. 그러나 잔향은 표적과 유사한 특성을 가지는 반사 신호로써, 이러한 잔향환경 하에서 표적을 탐지하는 것은 매우 어려운 문제이다 [1]. 잔향의 영향을 감소시키기 위한 방법 중 하나로 적응 (adaptive) 기법을 이용하여 잔향을 제거하는 방안은 오랜 기간 활발한 연구가 진행되어 왔다 [2-5]. S. Kay 등은 AR 모델링을 통한 CW 잔향의 백색화를 제안하였다 [3]. 이는 특정 빔으로 수신된 잔향

신호를 송신 신호의 길이만큼의 시간 간격으로 구간화한 후, 각 구간의 잔향 신호를 AR 계수로 모델링하여 인접 구간의 잔향을 순차적으로 제거한 것이다. 또한 D. Alexandrou는 CW 송신 신호를 사용하여 표적이 존재하는 방향이 아닌 인접한 빔의 잔향을 모델링하여 표적이 존재하는 빔 신호의 잔향을 공간적으로 제거하였다 [4]. 그러나 위와 같은 방법으로 잔향 모델링을 하기 위해서는 각 구간마다 최소한 송신 신호 길이만큼의 데이터가 필요하며, 하나의 데이터 구간 내에서의 신호 특성 및 시·공간적으로 인접한 구간의 신호 간 특성은 일정하게 유지된다는 국부 일정성에 대한 가정 (local stationary assumption)이 필요하다 [3]. 주파수의 변화는 신호의 일정성 (stationary)을 판단하는 중요한 기준 중 하나이다 [3]. LFM 송신 신호의 경우 시간에 따라 주파수가 선

책임저자: 이 균 경 (kklee@ee.knu.ac.kr)  
702-701 대구광역시 북구 신격3동 경북대학교 전자전기컴퓨터학부  
(전화: 053-940-8846; 팩스: 053-950-5505)

형적으로 변하는 비일정 특성을 가지고 있으므로 [6], CW 에서와 같은 협대역 잔향환경 하에서 연구된 일반적인 잔향 백색화 기법들을 적용하기 위해서는 추가적인 처리가 불가피하다. V. Camillet 등은 LFM 잔향 백색화에 대한 연구를 수행 한 바 있으나, 이는 기존 CW에서의 AR 모델링 기법을 LFM 신호에 수정 없이 적용한 것이다 [5].

따라서 본 논문에서는 LFM 잔향을 효율적으로 백색화 하기 위해서 LFM 신호를 송신 신호로 하였을 때 수신되는 잔향 신호를 시간별로 구간화 하고, 각 구간의 신호를 송신한 LFM 주파수 변화율에 대해 역의 기울기를 가지는 주파수 변화율로 변조하는 선형 dechirping 기법을 적용하여 신호의 각 구간 내에서는 주파수의 변화가 없는 일정한 주파수를 가지도록 변환하였다. 이러한 변환과정을 통해서 수신된 각 구간의 LFM 잔향 신호는 다중의 중심 주파수를 가지는 CW 송신 신호들로 간주할 수 있으며 각 구간 내에서 일정한 특성을 가져야 하는 국부 일정성에 대한 가정을 만족시킬 수 있다.

본 논문에서 제안한 알고리즘은 한국의 동해에서 능동형 예인 선배열 소나 (Active TASS)를 통해 얻어진 실측 잔향 데이터 및 합성 표적을 이용하여 그 타당성을 검증하였다.

## II. 일반적인 잔향 백색화 기법

잔향을 백색화 하는 기법에서는 잔향의 스펙트럼을 추정하는 것이 매우 중요하다. 그러나 잔향은 일반적으로 특성이 미리 알려져 있지 않고 짧은 시간 동안에도 그 특성이 급변하기 때문에 스펙트럼의 정확한 추정이 어렵다. 따라서 일반적인 잔향 백색화 기법에서는 잔향의 스펙트럼을 추정하기 위해서 적은 연산량을 필요로 하고 짧은 시간의 데이터만을 가지고서도 비교적 정확한 추정값을 제공할 수 있는 AR 모델링 기법을 사용한다 [7].

AR 모델을 이용해 잔향을 백색화하기 위해서는 모델링 하기 위한 참조 신호 (reference signal)가 필요하다. 참조 신호를 정하는 일반적인 방법으로는  $l$ 번째 빔 신호를 송신 신호 길이로 나누어 구간화한 후, 백색화하기 위한 구간을  $i$ 번째 구간이라고 했을 때 이와 시간적으로 인접하는  $i-1, i+1$ 번째 구간의 신호를 사용하거나, 공간적으로 인접하는  $l-1, l+1$ 번째 빔의  $i$ 번째 구간의 신호를 사용하는 방법이 있다 [3, 4]. 시간적으로 인접하는 구간을 참조 신호로 사용하는 경우  $i$ 번째 구간에 표적이

존재하고 인접 구간인  $i-1$ 번째 구간에 표적이 존재하지 않는다고 가정할 때 AR 모델을 이용해 잔향을 백색화 하는 과정은 다음과 같다.

Step 1. 수신 신호를 송신 신호와 같은 길이의 각 구간으로 나눈다.

Step 2.  $i-1$ 번째 구간의 신호  $x_{i-1}(t)$ 의 스펙트럼을  $p$ 차 AR 모델 계수  $\{1, a_1, \dots, a_p\}$ 를 추출하여 추정한다.

Step 3. 추출된 계수로부터 식 (1)과 같은 역 필터 (inverse filter)  $\hat{A}(z)$ 를 구현한다.

$$\hat{A}(z) = 1 + \sum_{k=1}^p a_k z^{-k} \tag{1}$$

Step 4.  $i$ 번째 구간의 신호  $x_i(t)$ 를 Step 3의 역 필터를 통해 식 (2)와 같이 필터링하여 백색화된 신호  $y(t)$ 를 얻는다.

$$y(t) = x_i(t) + \sum_{k=1}^p a_k x_i(t-k) \tag{2}$$

공간적으로 인접하는 구간을 참조 신호로 사용하는 경우 AR 모델 계수를 추출하는 참조 신호는  $l-1, l+1$ 번째 빔의  $i$ 번째 구간의 신호이며 나머지 과정들은 위와 동일하다.

## III. 선형 Dechirping 기법을 이용한 백색화 기법

AR 모델을 통한 백색화 기법은 현재 구간의 신호와 참조 신호와의 우도 (likelihood)에 의존하는 기법으로, 효율적인 잔향 백색화를 위해서는 국부 일정성 (local stationary)에 대한 두 가지 가정이 필요하다. 첫번째 가정은 현재 구간의 신호와 인접 구간의 신호 간에 일정성이 유지되어야 한다는 것이며, 두번째 가정은 각 구간의 신호를 정확하게 모델링하기 위하여 하나의 구간 내에서도 신호의 일정성이 유지되어야 한다는 것이다 [3]. 첫번째 가정의 경우는 두 신호의 스펙트럼의 닮음 정도를 구하여 인접 시간 구간 및 인접 빔 구간과 현재 구간 간의 일정성의 유지 정도를 확인 하고 일정성이 유지되는 범위 내에서 참조 신호를 결정함으로써 가정을 만족시킬 수 있

다. 두 신호간의 스펙트럼의 닮음 정도는 식 (3)의 Itakura 척도를 이용하여 구할 수 있다 [8].

$$d_i(s_c, s_r) = \ln \left[ \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{2\pi} \frac{s_c(\lambda)/\sigma_c^2}{s_r(\lambda)/\sigma_r^2} d\lambda \right] \quad (3)$$

현재 구간의 신호 및 참조 신호인  $x_c(t)$ ,  $x_r(t)$  에 대해  $s_c(t)$ ,  $s_r(t)$ 는 전력 밀도를 나타내며  $\sigma$ 는 모델링 오차의 분산이다.

두번째 가정의 경우 송신 신호가 CW 신호인 경우는 각 구간의 신호들이 구간 내에서 그 주파수 특성이 크게 변하지 않으나 본 논문에서 고려하는 LFM 신호의 경우는 송신 시간 동안 주파수가 선형적으로 변하므로 송신 신호 자체가 하나의 구간 내에서 그 특성이 변하게 되는 상황이다. 따라서 송신 신호의 길이만큼 구간화 하여 신호의 스펙트럼을 추정하는 경우 시간에 따라 선형적으로 주파수가 변하는 LFM 신호의 특성을 제대로 반영하지 못하는 문제가 발생하게 되며, 이는 LFM 잔향 백색화 성능의 저하를 가져오게 된다.

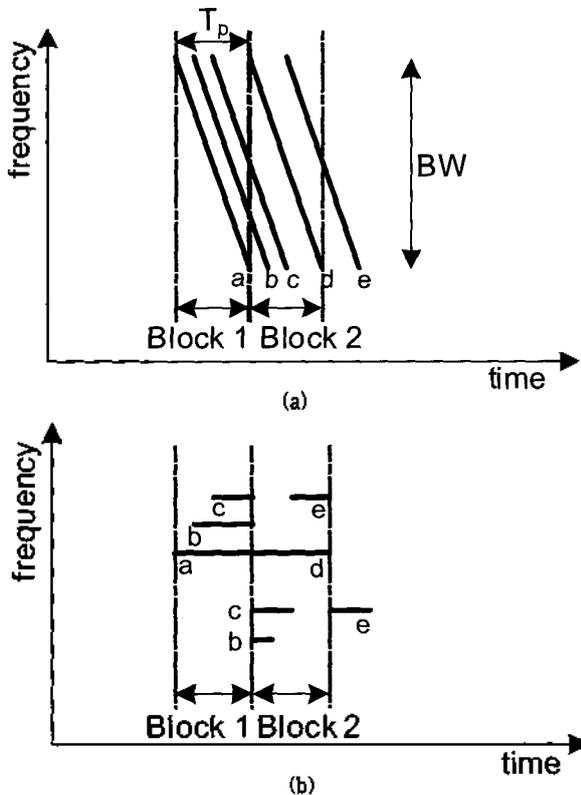


그림 1. LFM 신호의 Dechirping 개념도 (a) Dechirping 전의 시간-주파수 특성 (b) Dechirping 후의 시간-주파수 특성  
 Fig. 1. Concept of LFM dechirping (a) Time-frequency response before dechirping (b) Time-frequency response after dechirping.

따라서 LFM 신호와 같이 신호의 주파수가 송신 신호 구간 내에서 변하는 신호에 대해서는 구간 내에서의 스펙트럼의 일정성을 보장할 수 있는 적합한 전처리 기법이 필요하다.

구간 내에서 LFM 신호의 주파수 비일정성을 개선하기 위한 방안으로 수신된 빔 신호에 송신 신호의 길이만큼 나누는 구간마다 선형 dechirping 기법을 적용한다. LFM 신호가 식 (4)와 같이 주어질 때, 선형 dechirping 기법은 각 구간의 신호에 식 (5)와 같이 LFM 신호의 주파수 변화율의 역수인  $\exp(-j2\pi(\frac{1}{2}mt'))$ 을 곱하여 주파수 변화를 보상하는 것이다.

$$x(t) = \exp\left(j2\pi\left(f_0 t + \frac{1}{2} m t^2\right)\right) \quad (4)$$

$$x_d(t) = x(t) \times \exp\left(-j2\pi \frac{1}{2} m t^2\right) \quad (5)$$

위의 식에서  $f_0$ 는 송신 신호의 중심 주파수,  $m$ 은 송신 신호의 주파수 변화율이다.

그림 1에 다중 경로를 통해 시간지연을 가지고 수신되는 LFM 신호에 dechirping 기법을 적용했을 때, LFM 신호의 주파수 특성이 변환되는 개념을 나타내었다. 다중 경로에 의해 시간 지연된 신호들은 dechirping 기법을 적용한 시간-주파수 특성에서 각각의 주파수 선 (tonal) 들로 사상 (mapping)됨을 확인할 수 있다. 이와 같이 dechirping 기법을 통해 LFM의 시간-주파수 특성을 변환함으로써 구간 내에서 변하는 주파수에 대해서 일정한 주파수를 가지는 Comb 스펙트럼 형태의 신호로 변환하여 AR 모델을 통한 스펙트럼의 추정에 적합하도록 하였다.

그러나 실제 소나의 운용 환경에서는 다중 경로에 의한 시간 지연이 매우 불규칙적으로 발생하기 때문에, dechirping 기법을 적용하여 시간-주파수 특성을 변환하는 경우 그림 1의 (b)와 같이 시간상에서 인접한 구간끼리 상이한 주파수 특성을 가지게 된다. 따라서 잔향 백색화를 위한 참조 신호로 시간상에서 인접한 구간의 신호를 사용할 경우, 앞에서 설명한 국부 일정성에 대한 첫번째 가정인 인접 구간 간의 일정성이 유지되지 못하는 문제점이 발생한다. 그 반면, 중심 빔과 좌·우에 인접한 빔의 잔향 신호들 간에는 일반적으로 거의 동일한 다중 경로 특성을 가지게 되고, 시간상에서 송신 신호의 길이만큼 동기화하여 구간을 나누게 되면 dechirping 적용 후의

주파수 특성은 각 시간 구간별로 서로 유사한 형태를 지니게 된다. 따라서 본 논문에서는 중심 빔에 표적이 존재한다고 가정할 때, 중심 빔의 진향을 백색화하기 위한 참조 신호로 이 중심 빔의 좌·우에 인접한 빔 신호들을 사용한다. 인접한 빔 신호들 간의 유사성 정도는 4장의 실험 결과 및 성능 분석에서 설명한다.

위와 같이 dechirping 기법을 통해 LFM 신호의 시간-주파수 특성을 변환함으로써, 참조 신호인 좌·우 인접 빔 신호를 입력으로 하는 일반적인 AR 모델을 사용하여 스펙트럼을 추정할 수 있다. 추정된 스펙트럼으로부터 역 필터를 구현하고, 이를 중심 빔 신호의 동일 시간 구간에 적용하여 중심 빔의 진향을 백색화 함으로써 표적의 탐지 성능을 높일 수 있다.

제안한 알고리즘을 요약하면 다음과 같다.

- Step 0. 1번째 빔이 표적이 존재하는 중심 빔이라고 가정한다.
- Step 1. 중심 빔 및 좌·우에 인접하는 빔의 신호를 송신 신호의 길이만큼 동일하게 구간화 한다.
- Step 2. 중심 빔 및 좌·우 인접 빔 신호의 각 구간마다 시 불변 주파수 선들이 존재하도록 각 구간별로 dechirping 기법을 적용하여 시간-주파수 특성을 변환한다.
- Step 3. 좌·우 인접 빔의 각 구간 신호들의 스펙트럼을 AR 모델의 계수를 이용하여 모델링하고 역 필터를 구현한다.
- Step 4. 각 시간 구간마다 구현된 역 필터를 중심 빔의 동일 시간 구간에 적용하여 중심 빔의 진향을 제거한다.
- Step 5. 송신 신호의 주파수 변화율로 중심 빔의 각 구간을 rechirping 한다.
- Step 6. 정합 필터를 적용하여 표적을 탐지한다.

#### IV. 실험 결과 및 성능 분석

제안한 기법의 성능 분석을 위해 본 논문에서는 동해상에서 능동형 TASS를 이용해 실제로 LFM 신호를 송·수신 하여 얻은 실제 진향 신호를 사용하여 실험하였다. 실제 진향 신호에는 표적이 존재하지 않으므로 능동 신호 합성기를 이용하여 모의 표적을 합성하고 [9, 10], 이를 실제 진향 신호에 첨가함으로써 제안한 기법의 성능을 비교 분석하였다. 해상 시험에서 사용된 능동형 TASS는 양

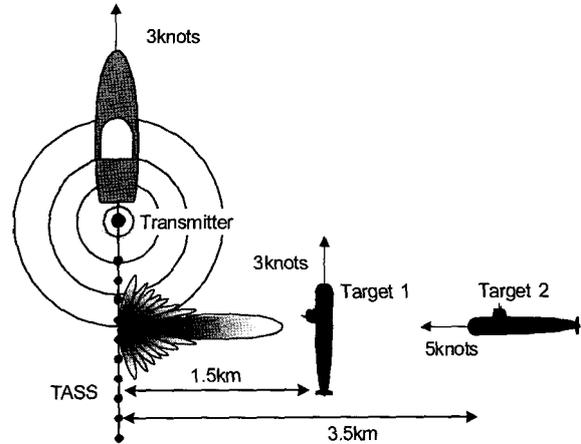


그림 2. 실험환경  
Fig. 2. Experiment Scenario.

상태 (bistatic) 소나로써 본 실험에서의 운용심도는 약 30m이다. TASS의 앞 단에 위치한 송신기에서 주파수 대역폭 800Hz, 신호 길이 1초의 LFM 신호를 송신하고, 48개의 선배열 센서로 구성된 수신기를 통해 반사 신호를 수신하였다. 수신단에서의 샘플링 주파수는 4096Hz이다. 모의실험을 위한 시나리오는 그림 2와 같다. 본 실험에서 표적은 2개가 존재하며, 각각은 3knots 및 5knots로 이동하는 표적으로 음속구조, 해저지형 및 다중경로 등의 해양 환경을 고려하여 합성한 후, 실제 진향 신호에 첨가하였다. 표적이 위치하는 방위각은 모두 자함을 기준으로 90° 방향이며, 1.5km와 3.5km 거리에 위치해 있다.

센서 신호로부터 빔형성 기법을 통해 49개의 빔 출력 신호를 얻는다. 빔형성 기법은 일반적인 시간영역 지연합 (delay-sum) 빔형성 기법을 사용하였다 [6]. 표적이 위치하는 90° 방향은 25번 빔이 조향하게 되며, 이 경우 좌·우 인접 빔과는 약 2.1° 정도의 조향 방향의 차이를 가진다. 본 실험에서는 실험의 단순성을 위해 표적이 존재하는 25번 빔을 중심 빔으로 정하여 25번 빔에 대해서만 실험을 수행한다. 제안한 기법에서는 연산량 감소 및 AR 모델의 효율적 적용을 위해 기저대역으로 빔 신호를 대역 이동하고 데시메이션 하였다. 그림 3에 빔형성 결과를 나타내었다. 그림 3 (a)는 중심 빔인 25번 빔 방향의 시계열 빔 신호이며, 그림 3 (b)는 25번 빔 신호의 시간-주파수 특성을 나타낸 것이다. 그림 3에서는 3개의 두드러진 크기를 가지는 진향 신호들이 사선 (slant line) 형태로 존재하며, 이러한 두드러진 진향 신호들이 표적 탐지 성능을 크게 저하시킬 것으로 판단된다. 진향 신호들은 5초 이후에는 그 크기가 감소됨을 확인할 수 있다. 표적은 1.5초~2.5초 구간, 5초~6초 구간에 존재하고 있으나 그

림 3의 빔 신호 및 빔 신호의 시간-주파수 특성에서는 표적의 존재 유무를 판별하기가 어렵다.

기저대역의 빔 출력 신호는 송신 신호의 길이만큼 구간화 되고 각 시간 구간은 dechirping 기법을 적용하여 각 구간 내에서의 비교적 일정한 주파수 특성을 가지도록 한다. 그림 4에 중심 빔 신호에 dechirping 기법을 적용한 후의 시간-주파수 특성을 나타내었다. 송신 신호의 길이가 1초 이므로, 빔 신호를 1초의 길이를 가지는 여러 개의 구간으로 나누었다. 표적은 2번째, 3번째 그리고 6번째 구간에 존재한다. 그림 3에서 넓은 범위의 주파수 변화를 가졌던 3개의 두드러진 잔향 신호들이 그림 4에서 dechirping 기법을 통해 각각 특정 주파수 범위 내로 한정되었음을 확인할 수 있다.

Dechirping 후에는 좌·우 인접 빔을 AR 모델로 모델링하여 중심 빔의 잔향을 백색화 한다. 그러나 이를 위해서는 중심 빔과 좌·우 인접 빔의 유사성에 대한 분석이 필요하다. 그림 5는 3장에서 설명한 Itakura 척도를 이

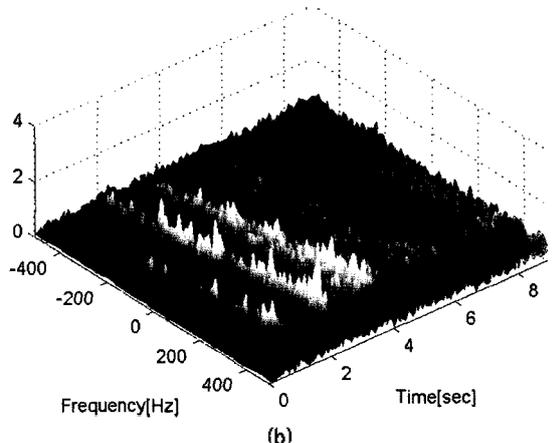
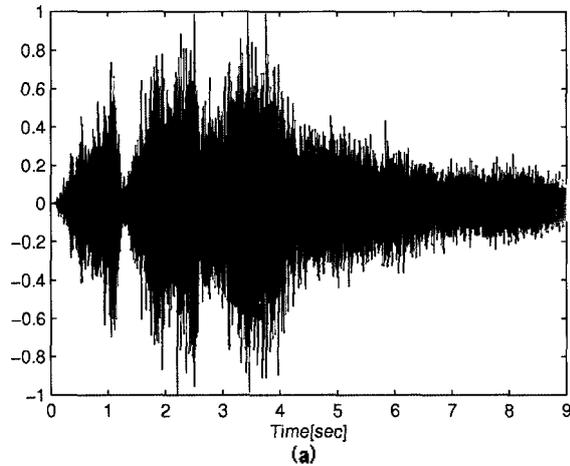


그림 3. 빔형성 결과 (a) 중심 빔 신호 (b) 중심 빔 신호의 시간-주파수 특성  
Fig. 3. Beamforming result (a) Center beam signal (b) Time-frequency response of center beam.

용하여 중심 빔인 25번 빔을 기준으로 각 빔간의 수치적인 거리를 나타낸 거리이다. 값이 작을수록 유사성이 높음을 나타낸다. 그림 5의 (a)는 표적이 존재하지 않는 4번째 구간의 결과로, 중심 빔인 25번 빔의 좌·우 인접 빔인 23, 24번 빔 및 26, 27번 빔은 다른 빔들에 비해 거리가 비교적 작음을 확인할 수 있다. 이는 본 실험 신호의 스펙트럼 유사성이 좌·우의 각각 2개 빔까지 유지된다는 것을 의미한다. 그러나 표적이 존재하는 3번째 구간의 결과인 그림 5 (b)의 경우, 24, 26번 빔은 여전히 거리가 작은 반면, 23, 27번 빔의 거리는 비교적 커짐을 확인할 수 있다. 이는 중심 빔과 가장 근접해 있는 24, 26번 빔에 표적신호에 의한 간섭현상이 나타난 것이며, 이

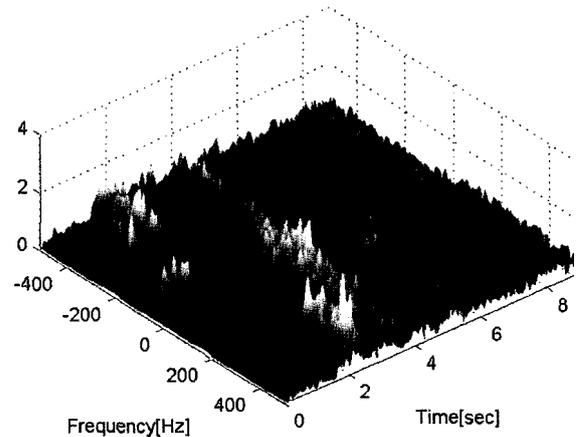


그림 4. Dechirping 후의 중심 빔 신호의 시간-주파수 특성  
Fig. 4. Time-frequency response of center beam after dechirping.

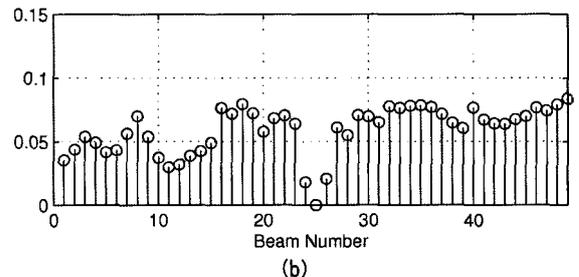
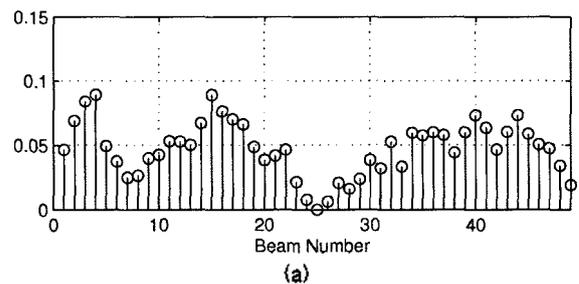


그림 5. 중심빔과 각 빔간의 Itakura 거리 (a) 표적이 존재하지 않는 구간 (b) 표적이 존재하는 구간  
Fig. 5. Itakura distances between center beam and another beam (a) Time block of reverberation only (b) Time block of target.

러한 신호를 기준으로 백색화 할 경우 표적 신호까지 유실되는 현상이 나타나게 된다. 따라서 본 실험에서는, 표적이 존재하는 구간에서는 상이한 특성을 가지며 표적이 존재하지 않는 구간에서는 유사한 특성을 가지는 23번 빔과 27번 빔이 모델링 신호로 적합함을 확인할 수 있다.

모델링 신호로 좌·우 인접 빔 신호가 선택되면 AR 모델을 통해 인접 빔 신호를 모델링하고, AR 모델의 계수로부터 구현된 역 필터를 통해 중심 빔 신호를 백색화 한다. 본 실험에서 사용한 AR 모델의 차수는 10차로 하였다. 그림 6에 역 필터를 통해 필터링된 중심 빔의 신호를 나타내었다. 그림 6에서 1.5~2.5초, 5~6초 구간의 표적 성분만이 통과되고, 그림 4에서 나타난 큰 세기의 잔향 신호들은 제거되었음을 확인할 수 있다.

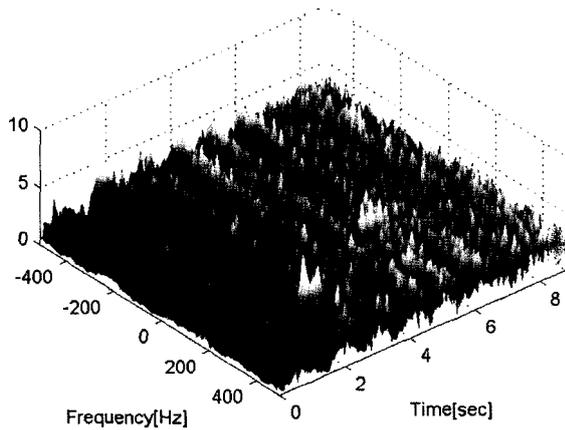


그림 6. 역 필터 통과 후의 중심 빔의 시간-주파수 특성  
Fig. 6. Time-frequency response of center beam after passing through inverse filter.

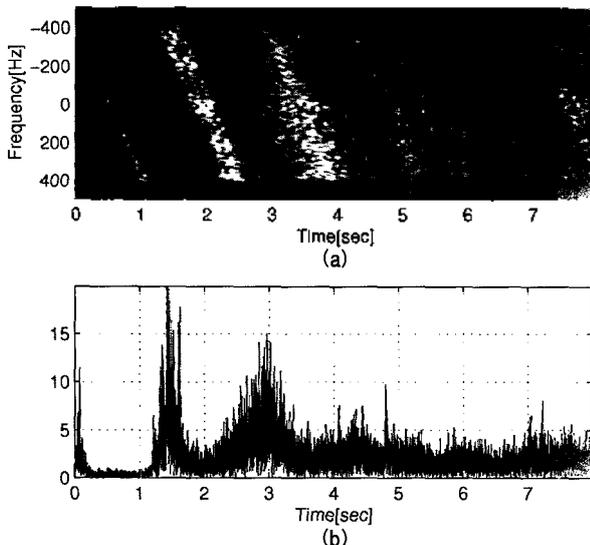


그림 7. 백색화 기법 적용 전의 표적 탐지 결과 (a) 시간-주파수 특성 (b) 정합필터 출력  
Fig. 7. Target detection results before prewhitening (a) Time-frequency response (b) Matched filter output.

필터 출력후의 중심 빔 신호를 각 구간별로 rechirping 하면 기존의 시간-주파수 좌표로 복원된다. 그림 7~그림 9에 시간-주파수 특성 및 정합필터 출력을 통한 표적 탐지 결과를 나타내었다. 그림 7은 백색화 기법을 적용하지 않은 결과이다. 표적이 1.5초~2.5초, 5초~6초 사이에 존재하고 있으나 그림 7 (a)의 시간-주파수 특성에서는 존재 유무를 판별하기가 어려우며, 그림 7 (b)의 정합필터 출력 결과에서도 잔향에 의한 정합필터 출력이 표적에 의한 출력보다 큰 값을 나타내고 있어서 표적의 탐지가 어

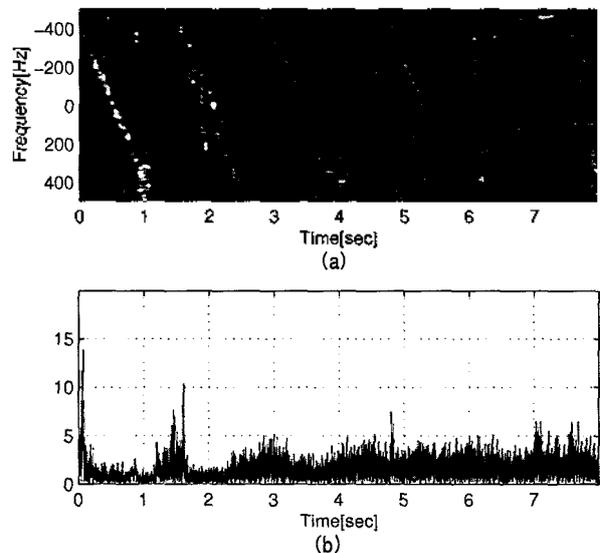


그림 8. 기존의 백색화 기법의 표적 탐지 결과 (a) 시간-주파수 특성 (b) 정합필터 출력  
Fig. 8. Target detection results by conventional prewhitening method (a) Time-frequency response (b) Matched filter output.

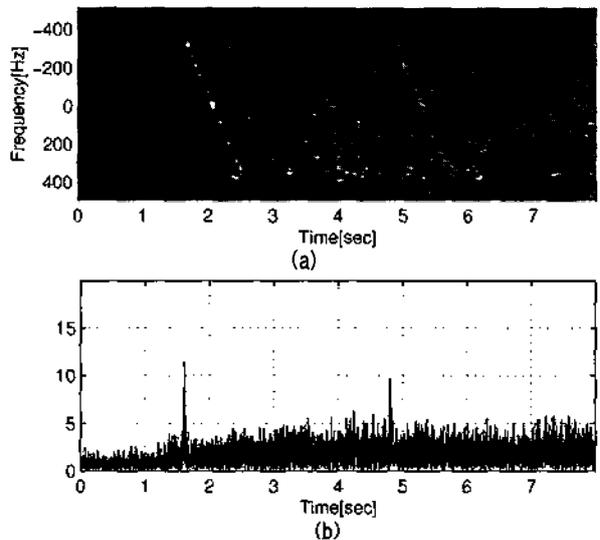


그림 9. 제안한 dechirping 기법을 이용한 백색화 기법의 표적 탐지 결과 (a) 시간-주파수 특성 (b) 정합필터 출력  
Fig. 9. Target detection results by proposed prewhitening method using dechirping (a) Time-frequency response (b) Matched filter output.

롭다. 그림 8 은 LFM의 신호 특성을 고려하지 않고 기존의 CW에서 AR 모델을 이용한 백색화 기법을 그대로 LFM 백색화에 적용한 경우이다. 표적이 존재하는 부분에서 침투값을 확인할 수 있으나, 제거되지 못한 잔향들이 여전히 큰 세기를 가지고 존재함을 확인할 수 있다. 반면, 제안한 기법을 통해 LFM 잔향을 백색화한 결과는 그림 9에서 확인할 수 있듯이, 표적이 존재하는 시간대의 시간-주파수 특성에서 사선형태의 표적 성분을 확인할 수 있으며, 정합필터 결과에서는 잔향으로 인한 큰 세기를 가지는 신호들이 제거됨으로써 표적의 탐지 성능이 향상되었음을 확인할 수 있다. 모든 방향각에 대해 동일하게 위 기법을 적용할 경우 모든 방향의 잔향이 백색화 되고 표적 신호만 두드러지게 됨으로 표적의 존재 유무는 물론 표적의 위치 정보까지 추정할 수 있다.

## V. 결론

본 논문에서는 *dechirping* 기법을 이용하여 LFM 잔향을 백색화 함으로써 잔향환경에서의 표적 탐지 성능을 높이는 방안을 제안하였다. 제안한 기법은 TASS 해상 실험 데이터를 이용한 실험을 통하여 향상된 성능을 확인하였으며, 잔향환경에서의 실제 표적 및 소형 물체 탐지에 적용 가능할 것으로 판단된다. 추후 제안한 기법을 선체 고정형 소나 (HMS) 등의 다른 종류의 소나 및 HFM 등의 다른 종류의 송신 신호에 적용하기 위한 연구를 수행할 예정이다.

## 감사의 글

본 논문은 2단계 BK21사업 및 국방과학연구소의 선체 고정형 소나 자함 소음 적응 제거 및 능동표적 자동 인식 기법 연구 위탁과제 (UD060011DD)에 의하여 지원되었음.

## 참고 문헌

1. R. Urick, *Principles of Underwater Sound*, (3rd Ed., McGraw-Hill, 1983)
2. 성희중, 김기만, 이종용, 윤대희, "능동소나에서 표적 신호 향상을 위한 적응 다지터 필터," *한국음향학회지*, 20 (3) pp.3-7, April 2001.

3. S. Kay, J. Salisbury, "Improved active sonar detection using autoregressive prewhitening," *J. Acoust. Soc. Am.*, 87 (4) April 1990.
4. D. Alexandrou, "Signal Recovery in a Reverberation-Limited Environment," *IEEE Journal of oceanic engineering*, 12 (4) pp. 553-559, Oct. 1987.
5. V. Camillet, P. Amblard, G. Jourdain, "Detection of phase- or frequency-modulated signals in reverberation noise," *J. Acoust. Soc. Am.*, 105 (6) June 1999.
6. R. Nielson, *Sonar Signal Processing*, (Artech House, 1991)
7. S. Kay, *Modern Spectral Estimation*, (Prentice Hall, 1988)
8. F. Itakura, "Minimum prediction residual principle applied to speech recognition," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, 23 (1) pp.67-72, Feb., 1975.
9. 이균경, "능동소나 합성신호를 이용한 표적탐지 기법 연구," 연구보고서, ㈜넥스원퓨처, 2006.
10. 이균경, "능/수동 복합소나 신호처리 기법 개발," 연구보고서, ㈜삼성탈레스, 2006.

## 저자 약력

### • 최 병 용 (Byung-Woong Choi)

한국음향학회지 제25권 4호 참조

### • 김 정 수 (Jeong-Soo Kim)

한국음향학회지 제21권 1호 참조

### • 이 균 경 (Kyun-Kyung Lee)

한국음향학회지 제26권 2호 참조