

工學碩士 學位論文

주파수영역 합성 소나 처리 기법의 성능
향상에 관한 연구

A Study on the Performance Improvement of
the Synthetic Aperture Sonar Technique in
Frequency Domain

指導教授 金 基 萬

2005年 2月

韓國海洋大學校 大學院

電 波 工 學 科

姜 珍 錫

차 례

그림차례.....	3
Abstract.....	4
제 1 장 서 론.....	6
제 2 장 빔 형성 기법.....	10
제 2-1 절 선배열의 빔 형성.....	10
제 2-2 절 FFTSA 방법을 이용한 SAS 기법.....	13
제 2-3 절 선 배열 빔 형성과 합성기법.....	17
제 3 장 주파수의 평균을 이용한 합성처리기법 제안	22
제 3-1 절 이론적 FFTSA 기법 적용의 한계	22
제 3-2 절 주파수 평균을 이용한 FFTSA 기법	23
제 4 장 시뮬레이션 결과 및 고찰.....	27
제 5 장 결 론.....	36
참고문헌.....	38

그림 차례

그림 2-1. 센서간의 신호 입사시간 지연.....	11
그림 2-2. FFTSA 기법에 의한 빔 영역 합성 처리 과정도.....	14
그림 2-3. 어레이 형상 추정의 원리.....	16
그림 2-4. 90°로 지향한 단일 선 배열.....	18
그림 2-5. FFTSA 기술을 2번 적용한 경우.....	18
그림 2-6. 합성 회수에 따른 빔.....	20
그림 2-6. 합성 회수에 따른 빔.....	21
그림 3-1. 데이터의 처리 과정.....	24
그림 4-1. 실측 데이터의 스펙트럼.....	28
그림 4-2. 기존의 FFTSA 기법의 탐지 결과(센서 80개).....	29
그림 4-3. 제안하는 기법의 탐지 결과 (센서 80개).....	30
그림 4-4. 기존의 FFTSA 기법의 탐지 결과.....	31
(센서 40개, 합성 2번)	
그림 4-5. 제안하는 기법의 탐지 결과 (센서 40개, 합성 2번).....	32
그림 4-6. 기존의 FFTSA 기법의 탐지 결과	33
(센서 20개, 합성 6번)	
그림 4-7. 제안하는 기법의 탐지 결과(센서 20개, 합성 6번).....	34

ABSTRACT

Uniform Linear Arrays (ULA) are widely used in underwater to measure the spatial field of propagating acoustic waves. Employing conventional beamforming techniques, the angular resolution and the signal gain are proportional to the ratio of aperture length to signal wavelength. In many ocean environments, however, the signal coherence may exceed the length of a long array, the resolution being limited then by its physical size and stability. In sonar systems, high bearing resolution become more important and more difficult to achieve as the frequency regime is made lower performance of arrays in order to increase the detection range. Because increased low-frequency bearing resolution means longer arrays, it is not practical to increase the physical length of line arrays in order to match the coherence length of signals. An approach in these cases is to employ coherent synthesis of subaperture, so-called Synthetic Aperture Sonar (SAS) technique.

This thesis presents the method of noise suppression to

improve performance of SAS technique by using frequency averaging of several short time data. In the result, the array gain is suppressed range from 1.7dB to 9.5 dB when the proposed method is adopted.

The organization of this thesis are as follows. Chapter II introduces the principle of beamforming between Uniform Liner Arrays and Synthetic Aperture Sonar technique. Chapter III explains Synthetic Aperture Sonar technique detailed. In chapter IV, the method of Synthetic Aperture Sonar technique and proposed method are compared in aspect to noise suppression. Finally, chapter V concludes this thesis.

제 1 장 서 론

수중에서 음파 전달 환경은 그 특성이 매우 복잡한 패턴을 갖고 있고 아울러 시시각각 변화한다. 이러한 수중에 존재하는 목표물은 우리에게 큰 위협이 될 수 있다. 수중 환경은 지상 환경보다 복잡한 특성을 갖고 있으며, 이는 수중의 목표물을 원거리에서 조기에 탐지하여 사전에 효율적인 조치를 취할 수 있도록 하는 수중 조기 경보 체계를 구성하는데 어렵게 한다. 따라서 보다 정확한 목표물의 감시, 추적을 위해서는 수신된 자료를 적절한 신호처리 기법을 통하여 그 탐지 확률을 증대시켜야 한다.

수중 음향 시스템은 수중에서 매우 낮은 신호대 잡음비를 나타내는 음원환경에서 동작하며, 기존의 고정된 길이를 갖는 능동 및 수동 소나 검출 방식은 검출거리, 분해능면에서 한계에 이르게 되었다. 따라서 적의 시스템이 방사하는 저주파나 극저주파 대역신호에 대한 조기 경보능력이 크게 요청되고 있다. 이러한 저주파 신호를 검출하고 신호의 방향을 알아내는데 있어서는 어레이가 클수록 성능이 향상되지만 물리적으로 긴 길이를 갖는 어레이를 운용한다는 것은 많은 제약이 따르게 된다. 이를 해결하기 위해 개발된 견인 어레이 (towed array)를 이용하는 방법은 실제로는 한정된 어퍼처를 갖는 어레이를 견인하면서 입력된 신호를 합성함으로써 매우 큰 어

퍼처를 갖는 효과를 내는 것이다[1]. 이때 입력된 신호를 합성해서 표적의 정보를 추출하는 기술을 SAS (Synthetic Aperture Sonar) 기술이라 하며, 이 기술을 이용함으로써 신호에 대한 파라메타, 즉 신호의 주파수 특성, 입사각 등을 추정하여 표적의 방향, 상대속도 등의 정보 분해능을 크게 향상시킬 수 있다.

초창기에 Williams와 Fitzgerald는 수동 견인 어레이에 입사되는 신호가 충분한 코히어런스를 갖음을 보여 SAS 기법의 가능성을 열었다[2][3]. 그 후 Yen과 Carey는 견인된 어레이에서 연속적으로 받은 신호로부터 만든 빔을 코히어런트하게 합성함으로써 수동 SAS의 빔을 만들어냈다[4]. 이 기법은 최초로 만들어낸 수동 SAS 기법이었으며 실측 데이터를 이용하여 그 성능을 입증하였다. 그 후 실제 어레이와 합성해 낸 가상의 어레이에 입사된 신호간의 상호상관계수를 유도함으로써 데이터로부터 얻을 수 있는 합성 어레이의 유효한 길이에 대한 연구가 진행되었다. Stergiopoulos와 Sullivan은 어레이를 견인하면서 입사신호가 겹치는 부분에 대하여 위상 교정 값을 얻어냄으로써 합성 어레이 출력신호를 만들어냈다[5][6]. 이 방법을 ETAM(Extended Towed Array Method)라 하며 직접 입력된 데이터로부터 합성 어레이를 만들어냄으로써 Yen과 Carey의 방법과 달리 견인 어레이의 위치 불안정으로 인한 오차가 없고 특히 표적신호의 주파수를 미리 알 필요가 없는 장점이 있다. 그러나

이 방법은 신호대 잡음비와 신호의 코히어런스 특성에 따라 합성할 수 있는 어레이의 길이가 제한되는 단점이 있다. 최근에 발표된 FFTSA (Fast Fourier Transform Synthetic Aperture) 방법[7]은 Yen과 Carey의 방법과 유사하며 입력된 데이터로부터 FFT를 이용하여 빔을 합성하게 된다. 이때 FFTSA방법이 Yen과 Carey방법과 다른 점은 물리적인 어레이와 목표물간의 상대속도를 사전에 인지하고 있지 않다는 점이다. 그러나, 이 방법에서는 부어레이의 신호 취득과정 수에 비례하여 성능이 증가하지만 ETAM과 마찬가지로 신호의 코히어런스 구간이 한정되어 있으므로 전체적인 빔 전력 합성에 필요한 부어레이 처리과정 수를 늘릴 수 없으며 견인선의 속도와 어레이의 불규칙한 움직임으로 인한 성능의 저하가 있다.

실제 해양 환경에서 SAS 기술을 이용하여 어레이를 합성하는 실험 논문들이 발표되었다[8][9]. 이 논문들은 모두 어레이를 견인하는 견인선의 속도가 일정하고, 어레이가 선형을 유지한다는 가정을 하고 있다. 하지만 실제 상황에서는 견인선의 방향전환 및 속도 변화, 조류나 파도의 영향등으로 인해 어레이가 선형을 유지하기는 불가능하고, 이로 인해 방향 탐지 성능의 저하가 불가피하게 된다 [10]. 여러 환경적인 요소 중 어레이 자체의 요소로 인한 성능의 저하를 해결하기 위하여 어레이 형상 추정기법[11][12]을 이용하여 형상이 왜곡된 어레이의 하이드로폰 위치를 추정하고 형상 왜곡을

보상한 후에 어레이를 합성하는 방법을 사용하였다. 그러나 어레이 형상 추정 성능에 따라 탐지 성능을 좌우하게 되는 문제를 갖고 있다.

본 논문에서는 실측 데이터를 통해 기존의 SAS 기법을 사용하여 물리적으로 한정적인 어레이의 성능을 향상 시키고, 선형 어레이의 성능을 향상 시키기 위하여 합성시 사용되는 실측 데이터를 데이터의 평균을 사용하였다. 이로써 잡음으로 인해 생기는 데이터의 왜곡을 줄이고, 성능을 향상시키고자 하였다. 전반적으로 일정 시간의 데이터의 주파수 평균을 사용한 방법의 FFTSA 기술과 주파수 평균을 사용하지 않은 FFTSA 기술의 전체 이득 차이는 약 1.7dB에서 9.5dB까지 차이가 나타났다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서 선 배열 빔 형성 기법과 합성 기법의 개념을 기술하였다. 제 3장에서는 합성기법에 대한 내용을 기술하고, 제 4장에서는 합성 기법 형성 방법과 제안한 방법을 시뮬레이션을 통하여 결과 비교 분석하였다. 마지막으로 제 5장에서는 결론을 맺는다.

제 2 장 빔 형성 기법

제 2-1 절 선 배열의 빔형성

등속도로 직진하는 N개의 하이드로폰 센서로 구성된 균일 선형 배열인 어레이 상에 단일 방사 물체에 의해 협대역 신호가 입사되는 경우 n번째 센서의 표본화 된 출력은 다음과 같다.

$$x_n(t_i) = A \exp \left[j 2 \pi f \left(t_i - \frac{d_n}{c} \sin \theta \right) \right] + \varepsilon_n(t_i), i = 1, 2, 3, \dots, K \quad (2-1)$$

여기서 d_n 은 기준 센서로부터의 거리이고, A 는 신호의 감쇄와 위상지연을 포함하는 복소 값이며, f 는 도플러 주파수, c 는 수중 환경에서의 음파 전달 속도를 나타내며 대략 1500 m/s이다. $\varepsilon_n(t_i)$ 는 영 평균의 통계적인 특성을 가지는 가우시안 잡음 랜덤 변수를 나타낸다. 또한 t_i 는 각 센서 출력을 표본화 하는 시점을 나타내며, 표본화 시간 간격을 Δt 라고 할 경우 $t_i = i \Delta t$ 로 표현할 수 있다. 이때, K 는 각 센서 출력 신호에 대한 총 측정 표본수를 나타낸다. 식(2-1)에서 나타내어진 $\frac{d_n \sin \theta}{c}$ 는 그림 2-1에서 보이는 바와 같이 공

간상의 센서간 거리로 인하여, θ 의 각으로 입사되는 방사신호가 기준 센서에 대해 n번째 센서의 지연시간을 나타낸다.

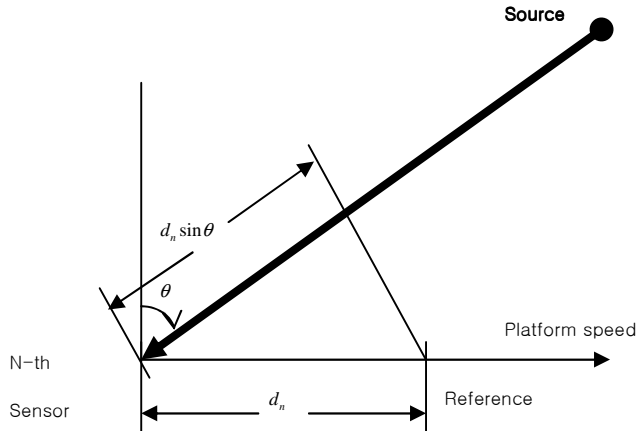


그림 2-1. 센서간의 신호 입사시간 지연.

Fig. 2-1. Time delay between sensors

그러므로, 공간상의 기준 센서와 n번째 센서간의 거리차 d_n 로 인하여 n번째 센서에서 받아 들이는 신호는 기준 센서에서 받아 들이는 평면파 신호에 대해 $\frac{d_n \sin \theta}{c}$ 시간만큼 지연되는 신호를 취득하게 된다.

이때, 목표물과 배열 센서 간에 상당한 거리가 유지된다고 가정하고, 견인 배열이 이동 속도를 v , 방사 신호의 센서 입사각을 θ , 목표물에서 발생하는 협대역 신호의 주파수를 f_0 라 하면, 정지상태의 목표물에서 방사되는 신호의 중심 주파수와 센서 배열의 이동에 의해 생기는 도플러 주파수 사이의 관계는 다음과 같이 나타낼 수

있다.

$$f = f_0 \left(1 \pm \frac{v}{c} \sin \theta \right) \quad (2-2)$$

수중에서 목표물이 견인선에서 멀어진다고 가정하고 식(2-2)을 식(2-1)에 대하여 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} x_n(t_i) &= A \exp \left[j2\pi f_0 \left(1 - \frac{v}{c} \sin \theta \right) \left(t_i - \frac{d_n}{c} \sin \theta \right) \right] + \varepsilon_n(t_i) \\ &= A \exp \left[j2\pi f_0 \left(t_i - \frac{d_n}{c} \sin \theta - \frac{vt_i}{c} \sin \theta + \frac{vd_n}{c^2} \sin^2 \theta \right) \right] + \varepsilon_n(t_i) \end{aligned} \quad (2-3)$$

식(2-3)의 두번째 식의 오른쪽 성분 중 $\frac{vd_n}{c^2} \sin^2 \theta \ll 1$ 을 만족하므로, 위의 식은 다음과 같이 근사화 하여 정리할 수 있다.

$$x_n(t_i) \cong A \exp \left[j2\pi f_0 \left(t_i - \frac{vt_i}{c} \sin \theta \right) \right] + \varepsilon_n t_i, n=1,2,3,\dots,N \quad (2-4)$$

위의 식(2-4)을 입사되는 신호의 파장 길이 $\lambda_0 = \frac{c}{f_0}$, 도플러 천이 값 $f_d = f_0 \frac{v}{c} \sin \theta$ 로 다시 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} x_n(t_i) &= A \exp(j2\pi f_0 t_i) \exp \left[-j2\pi \left(f_d t_i + \frac{d_n}{\lambda_0} \sin \theta \right) \right] + \varepsilon_n(t_i) \\ & \quad n=1,2,3,\dots,N \end{aligned} \quad (2-5)$$

식(2-5)에서 보는 바와 같이 n번째 센서 출력의 i번째 표본화된 샘플은 센서 배열의 이동에 의하여 최초 신호 취득이 이루어지는 시점의 공간상의 n번째 센서의 위치에서 $v t_i$ 만큼 이동하여 받아들여지는 스냅샷을 의미하게 된다. 이때, 각 센서 출력의 총 샘플표본수가 K이고 전체 신호 취득에 필요한 시간을 τ 라고 하면, 전체 신호 취득에 소요되는 시간은 $\tau = K\Delta t$ 이며, 신호 취득을 수행하는 동안의 견인선의 이동 거리는 $v\tau = vK\Delta t$ 가 된다.

제 2-2 절 FFTSA 방법을 이용한 SAS 기법

그림 2-2과 같이 각각의 부어레이의 출력들을 FFT를 통하여 주파수 영역으로 변환하고 특정시간 t_i 에서 계산되는 빔 패턴 $b(f, \theta_s)_{t_i}$ 는 다음과 같다.

$$b(f, \theta_s)_{t_i} = \sum_{n=1}^M X_n(f) e^{j2\pi f \frac{\delta(n-1)}{c} \sin \theta_s} \quad (2-6)$$

여기서 $X_n(f)$ 는 시간 t_i 에서 n번째 센서출력의 주파수 변환이며, θ_s 는 조절각, θ 는 신호의 입사각이다. 목표물이 부어레이의 위치와 상당한 거리가 있는 경우 식(2-6)에서 도플러 주파수는 입사 신호의 중심주파수 f_0 및 부어레이의 이동속도 v 의 함수로 다음과 같이 표현된다.

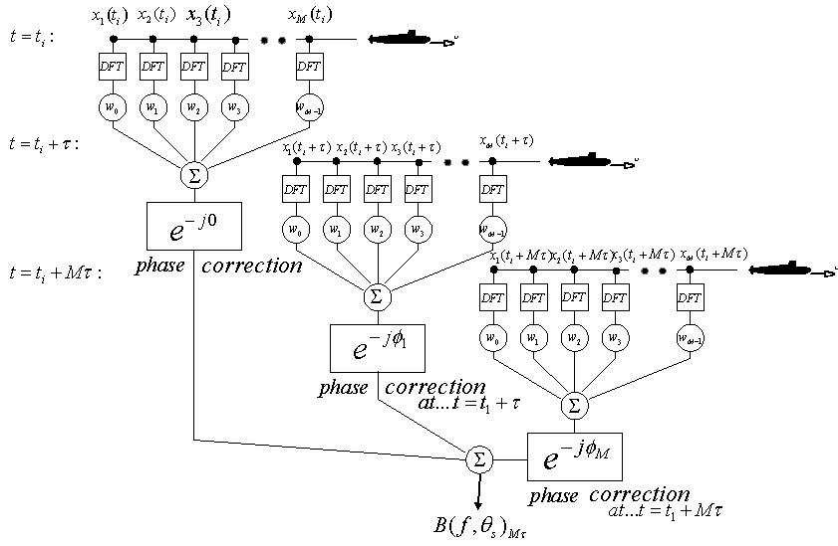


그림 2-2. FFTSA 기법에 의한 빔 영역 합성 처리 과정도.

Fig. 2-2. Synthetic processing of FFTSA technique

$$f = f_0 \left(1 \pm \frac{v \sin \theta}{c} \right) \quad (2-7)$$

τ 시간 후에 n 번째 센서에서 수신된 신호 $x_n(t_i + \tau)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$x_n(t_i + \tau) = A e^{j2\pi f_0 \left(t_i + \tau - \frac{vt_i + \delta(q+n-1)}{c} \sin \theta \right)} + \epsilon_{n,i}^\tau \quad (2-8)$$

여기서 q 는 $\frac{v\tau}{\delta}$ 이다. 이제 τ 만큼의 시간경과 후에, 즉 $t_i + \tau$, 취득된 부어레이의 출력 신호들을 사용하여 계산된 빔 패턴 $b(f_0, \theta_s)_\tau$ 를 t_i 시각에서 구한 빔 패턴 $b(f_0, \theta_s)_{t_i}$ 으로 표현하면 다음과 같다.

$$b(f_0, \theta_s)_\tau = b(f_0, \theta_s)_{t_i} e^{j2\pi f_0 \tau (1 - \frac{v}{c} \sin \theta)} \quad (2-9)$$

식(2-9)에서 두 가지의 빔 패턴 간의 다른 점은 측정 시간간격 τ 에 의한 위상차가 존재한다는 사실이며 이를 보상하게 되면 마치 동일한 시각에서 동일한 부어레이를 사용한 빔 패턴을 갖는 효과를 얻을 수 있다. 식(2-9)을 참조하여 M번째, 즉 시간상 $t_i + M\tau$, 신호 취득과정에서 수신된 부어레이의 출력신호들을 사용하여 계산된 빔 패턴을 최초의 빔 패턴으로 나타내면 다음과 같다.

$$b(f_0, \theta_s)_{M\tau} = b(f_0, \theta_s)_{t_i} e^{j2\pi f_0 M\tau (1 - \frac{v}{c} \sin \theta)} \quad (2-10)$$

이제 M개의 부어레이를 사용하여 계산된 각각의 빔 패턴들을 위상 보정하여 합성된 빔 패턴은 아래와 같다

$$B(f_0, \theta_s)_{M\tau} = \sum_{m=1}^M b(f_0, \theta_s)_{m\tau} e^{-j\Phi_m} \quad (2-11)$$

위의 식에서 위상 보정항 Φ_m 는 다음과 같다.

$$\Phi_m = 2\pi f_0 (1 \pm \frac{v \sin \theta_s}{c}) m\tau \quad (2-12)$$

SAS 신호 처리의 문제는 바로 이 위상 보정항을 얼마나 정확하게 추정하느냐의 문제로 귀결된다. 실제 운용 시에는 각 부어레이가 충분한 coherency를 갖기 어려우며, 입사 신호의 중심 주파수를 미리 알고 있어야 하는 문제점들을 지니고 있다. 식(2-12)에서 표현된 합성 빔 패턴을 사용하여 전체 합성 빔 전력 패턴을 정의하면 다음과 같다.

$$P(f_0, \theta_s)_{M\tau} = B(f_0, \theta_s)B^*(f_0, \theta_s) = \left\{ \frac{\sin[N \frac{\pi\delta}{\lambda} (\sin \theta_s - \sin \theta)]}{\sin[\frac{\pi\delta}{\lambda} (\sin \theta_s - \sin \theta)]} \cdot \frac{\sin[M \frac{\pi\nu\tau}{\lambda} (\sin \theta_s - \sin \theta)]}{\sin[\frac{\pi\nu\tau}{\lambda} (\sin \theta_s - \sin \theta)]} \right\}^2 \quad (2-13)$$

센서 간의 간격이 선형인 경우로 가정할 경우는 위에 수식을 이용하지만, 실제 견인된 어레이는 항상 이동이 직선으로 되지 않는다. 그림 2-3에 어레이 형상 추정의 원리를 도시하였다.

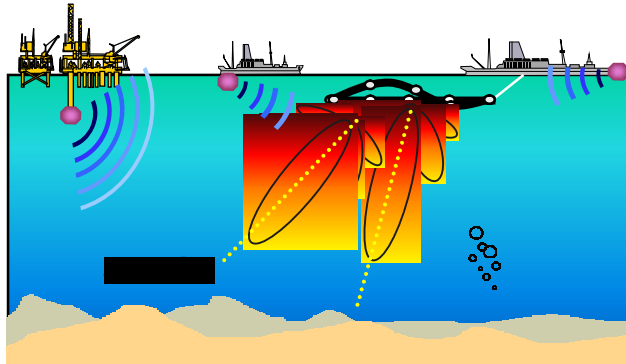


그림 2-3. 어레이 형상 추정의 원리.

Fig. 2-3. Principle of Array Shape Estimation

이 경우 어레이 형상을 추정하기 위하여 이용한 보조 센서의 위치 정보와 실제 보조 센서의 위치 사이에는 오차가 발생하게 된다. 따라서 이러한 오차를 줄이기 어레이 형상 추정 기법을 사용하여 보조 센서의 수평좌표를 수정하고, 여기서 결정된 수평 좌표를 이용하여 다시 기존의 어레이 형상 추정 기법을 적용하는 반복 과정을 사용할 수 있다[11].

제 2-3절 선 배열 빔 형성과 합성기법

이번 절에서는 제 2-2절의 FFTSA 방법을 이용한 SAS기법의 성능을 알기 위하여 시뮬레이션을 하였다. 선 배열 빔 형성과 SAS 기법을 사용한 선 배열 빔 형성의 성능을 나타내었다.

그림 2-4와 2-5는 선 배열이 90°방향으로 지향 했을 때 합성 빔 형성 기법으로서 그림 2-4은 단일 선 배열의 이득을 나타내고, 그림 2-5는 선 배열에 두번 합성 처리를 적용한 후의 빔 패턴을 나타낸다. 주파수는 동일한 저주파 신호를 사용하였다. 그림에서 보는 바와 같이 주빔의 빔 폭과 부엽의 이득을 비교하여 보면, 같은 센서의 개수를 사용하더라도 합성 기법을 사용할 때의 어레이 센서의 개수가 합성한 수만큼 늘어나 주빔의 빔폭이 좁게 나타나고 부엽의 이득 레벨 또한 낮아서 음원의 위치를 찾는 문제에서는 나은 성능을 나타낸다는 것을 알 수 있다. 이 경우 후면 빔과 방향 탐지 부분은 제외한다.

그림 2-5는 견인선의 함속이 일정하고 가정하고, 지향방향을 90°로 두었을 때, 합성 회수를 2회로 하였을 때이다. FFTSA 기법을 사용하여 신호처리적으로 어레이의 길이를 확장함으로 어레이의 분해능이 증가하는 것을 알 수 있다.

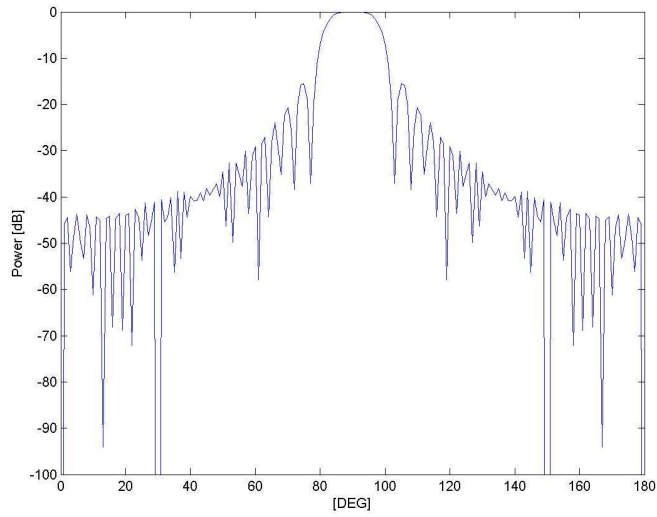


그림 2-4. 90° 로 지향한 단일 선 배열.
 Fig. 2-4. Uniformly Linear Array steering 90°

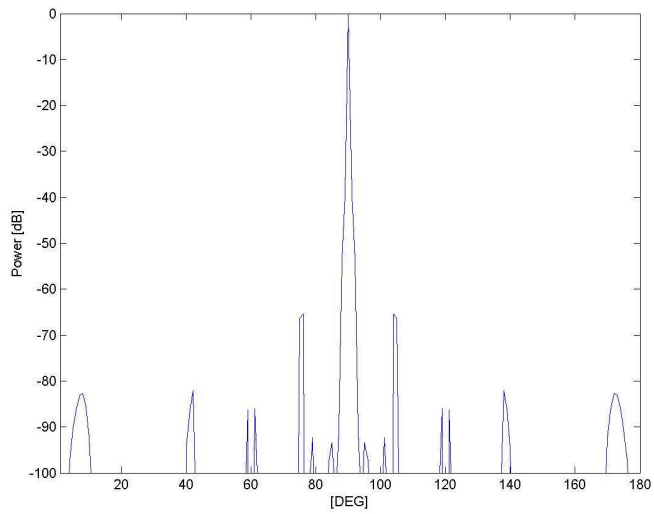
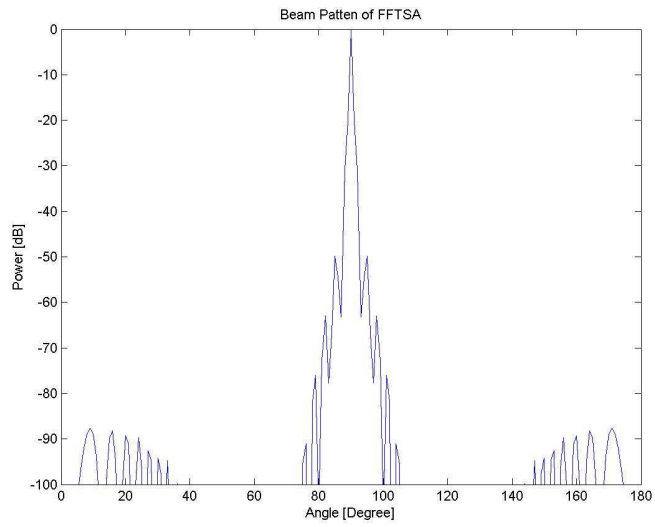


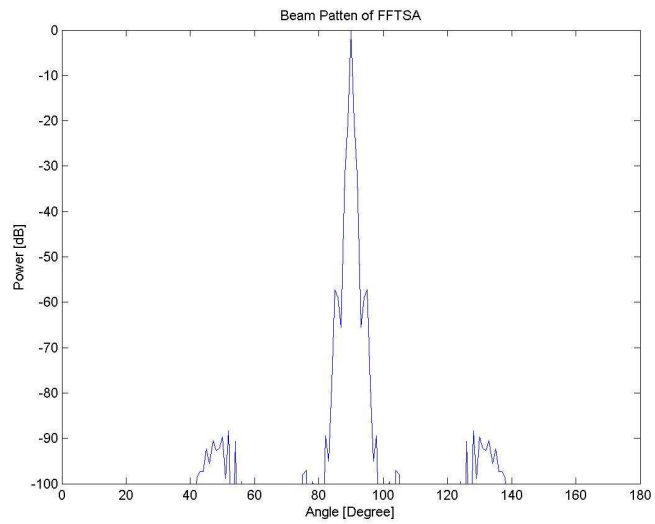
그림 2-5. FFTSA 기술을 2번 적용한 경우.
 Fig. 2-5. FFTSA synthetic times of 2

선 배열에 합성 기법의 빔 형성을 적용할 경우, 단일 선 배열의 어레이를 이용할 경우보다 성능이 향상되는 것을 알 수 있었다. 합성을 할수록 가상적으로 센서 어레이의 개수가 늘어나게 되어 물리적으로 한정적인 센서를 합성하여 신호처리 기법을 이용하면 성능이 향상되는 것을 알 수 있다.

이론적인 경우 SAS 기술을 사용하면 합성횟수가 증가할수록 어레이의 성능은 향상된다. 어레이의 센서수가 일정할 때, 합성의 의한 성능 향상은 그림 2-6을 통해 알 수 있다.



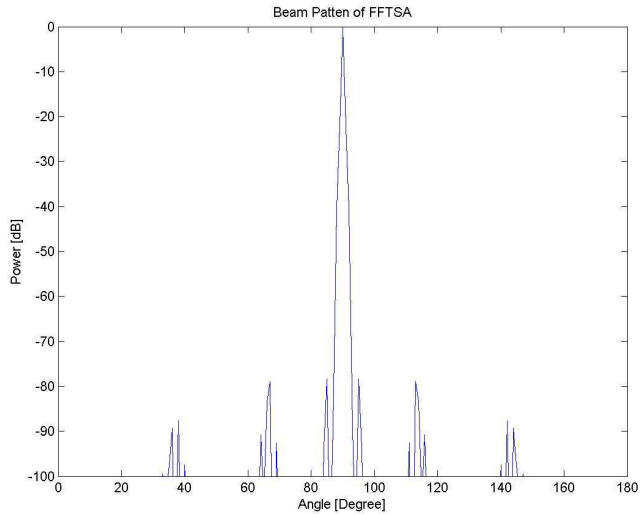
(a)



(b)

그림 2-6. 합성 회수에 따른 빔

Fig. 2-6. Beam following synthetic times



(c)

그림 2-6. 합성 회수에 따른 빔

(a) 합성 회수 2회, (b) 합성 회수 3회, (c) 합성 회수 5회.

Fig. 2-6. Beam following synthetic times

(a) Synthetic times of 2, (b) Synthetic times of 3,

(c) Synthetic times of 5

그림 2-6는 동일한 조건에 합성 회수를 늘렸을 경우의 빔 패턴이다. (a)(b)(c)를 비교 하였을 때 합성을 할수록 주빔의 빔 폭이 더 좁아지고 있고, 평균 부엽의 레벨이 더 작아지는 것을 알 수 있다. 위와 같이 시뮬레이션을 통한 물리적으로 한정된 건인 어레이를 이용해 합성 기법을 적용한 경우에 단일 선 배열 어레이를 사용한 경우보다 FFTSA 기법을 사용한 경우가 성능이 향상되는 것을 알 수 있다.

제 3 장 주파수의 평균을 이용한 합성처리

기법 제안

단일 선형 어레이를 사용할 때보다 SAS 기술 중 FFTSA 기법을 사용한 빔 형성은 성능이 향상되는 것을 앞장에서 보였다. 이 장에서는 환경적인 요소로 인해 떨어지는 어레이의 성능을 향상 시키기 위해 실측 데이터의 주파수 평균을 이용하여 FFTSA 기법을 사용하는 방법을 제안하였다.

제 3-1 절 이론적 FFTSA 기술 적용의 한계

앞 절에서 이론적인 FFTFS 기술을 적용할 때 합성 횟수가 늘어날수록 선 배열 어레이는 성능 차이를 보이는 것을 앞 절의 그림들을 통해서 알 수 있었다. 실측 데이터를 통하여 FFTSA 방법을 사용할 때, 실측 데이터에서 필요한 데이터를 추출하는 과정에서 기존의 방법에서는 일정 시간 동안 얻어진 데이터를 사용하게 된다. 이 경우 어레이 형상 왜곡 이외의 다른 환경적인 요소로 인해 빔 형성을 할 때 잡음으로 인해 데이터 왜곡이 생기게 된다. 실측하는 동안에 탐지된 신호들은 항상 일정하게 유지되는 것이 아니기 때문이다.

뿐만 아니라, 갑작스런 변화를 가지고 있는 환경 요소인 잡음으로 인하여 빔 형성기의 성능은 달라지게 된다. 이러한 실측 데이터에서 음원 및 다른 환경 요소의 정보를 일정하게 유지하기 위하여 FFTSA 기술에 사용되는 데이터의 평균을 이용함으로써 일정하게 유지되는 환경 정보 성분들만으로 이루어진 빔 형성을 통해 어레이의 성능을 향상 시킬 필요가 있게 된다.

제 3-2절 주파수 평균을 이용한 FFTSA 기법

이상적인 경우 보통 신호를 생성해서 시뮬레이션을 수행하였을 때는 생성된 데이터를 한번에 생성하여 두고 필요한 시간 동안의 데이터를 추출하는 방법을 사용하지만, 실측 데이터를 이용하는 경우에 FFTSA 방법을 사용할 때마다 실측 데이터에서 일정한 시간 동안의 데이터를 추출하게 된다.

기존의 합성처리의 과정을 한번 거칠 때마다 τ 초의 시간이 걸리고, 그 후 데이터를 일정한 시간 동안 읽어 들이게 되고, 이 시간의 데이터에서 추출된 데이터 중 약 1초만의 데이터를 사용하여 FFTSA 방법을 사용하였다. 실측 데이터에서 10초 분량의 데이터 중 처음 1초와 마지막 1초로 가드 시간으로 고려하여 그 중 1초간만을 사용한 경우와 일정한 시간 동안의 데이터 데이터의 손실이

없는 8초 동안 데이터를 주파수 별로 평균을 내어 사용한 경우를 고려하였다. 그림 3-1은 FFTSA 기법을 사용하기 전의 데이터 처리를 도시하였다.

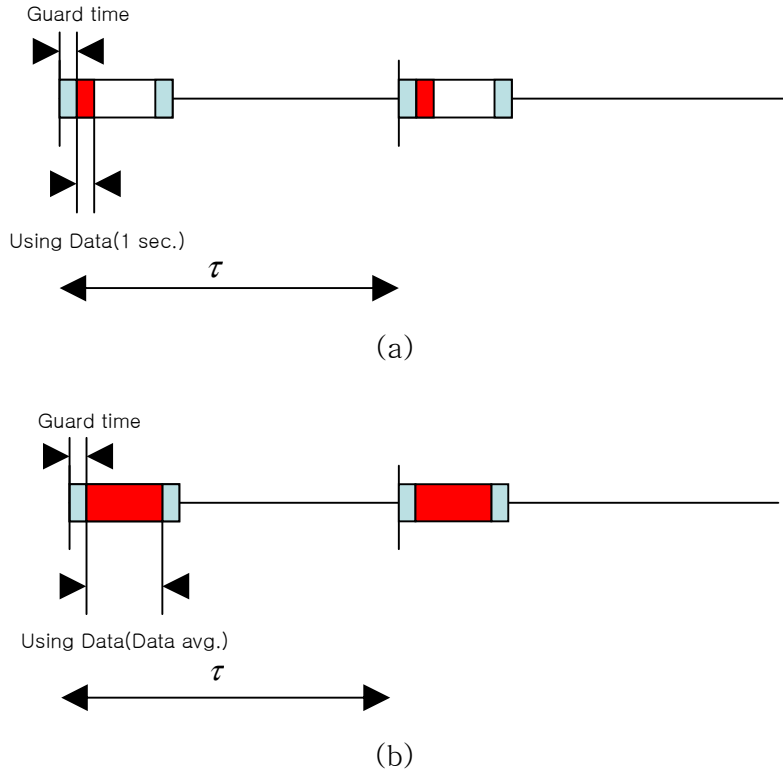


그림 3-1. 데이터의 처리 과정

(a) 1초 동안의 데이터를 사용, (b) 데이터의 평균을 사용.

Fig. 3-1. Data Processing

(a) 1 sec. Data, (b) averaging Data

실측 데이터에서 사용하기 위해 추출한 데이터는 샘플링 시간과 측정시 사용된 어레이의 수만큼의 데이터 양을 가지게 된다.

식(2-9)에서 각 시간 동안의 데이터를 FFT하여 주파수의 평균을 구하는 식은 실측 데이터를 1초마다 데이터를 샘플링하고 1초씩 추출한 데이터의 세그먼트 P개를 FFT 변환하여 주파수 평균을 구하는 빔 패턴은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$b(\hat{f}_0, \theta_s)_{M\tau} = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P b(f_0, \theta_s)_{t_i} \quad (3-1)$$

여기서 $b(\hat{f}_0, \theta_s)_{M\tau}$ 는 1초씩 추출한 P개 동안의 데이터의 주파수 평균을 의미한다. 식(3-1)에서 $b(\hat{f}_0, \theta_s)_{M\tau}$ 는 샘플링 시간의 평균과 어레이의 수만큼의 데이터를 가지는 벡터로 나타나게 된다. 여기서 구한 빔 패턴을 식(2-9)에 다시 대입하면 신호취득 과정에서 사용하게 되는 빔 패턴은 기존의 FFTSA 기법과 동일하다.

본 논문에서는 실측 데이터에서 추출하는 데이터의 분량은 10초의 데이터 중 데이터의 전후 1초의 가드 시간을 제외한 1초간만의 데이터를 추출하는 경우와 10초 중 나머지 8초에 대해 1초의 데이터를 8번 사용하여 평균을 낸 경우의 성능의 차이를 비교하였다. 데이터의 분량은 같게 되지만 데이터 평균 처리를 한 데이터는 급격하게 바뀌는 잡음을 줄여줄 수 있게 되어 데이터의 주파수 평균을 사용하지 않은 1초의 데이터를 사용할 때보다 성능이 향상 되는 것을 예상하였다.

실측 데이터를 이용한 실험에서 일정 시간 동안의 데이터 평균

을 구해서 나오는 $b(\hat{f}_0, \theta_s)_{M\tau}$ 를 FFTSA 기법에 적용하여 1초 동안의 데이터를 쓸 경우와 주파수 평균을 이용한 1초씩 4번, 8번 사용하여 구한 데이터의 비교한 실험 결과는 제4장에 나타내었다.

제 4 장 시뮬레이션 결과 및 고찰

실제 해양환경에서 SAS기술을 이용하여 어레이를 합성하는 실험 논문들이 발표되었다. 이 논문들은 모두 어레이를 견인하는 견인선의 속도가 일정하고, 어레이가 선형을 유지한다는 가정을 하고 있다. 하지만 실제 상황에서는 견인성의 방향전환 및 속도 변화, 조류나 파도의 영향등으로 인해 어레이가 선형을 유지하기는 불가능하고, 이로 인해 방향 탐지 성능의 저하가 불가피하게 된다. 따라서 어레이 자체의 휨, 틀림과 같은 왜곡 요소를 보상하기 위해, 이미 구해진 어레이 형상 추정기법을 이용하여 형상이 왜곡된 어레이의 하이드로폰 위치를 추정하여 이를 실험에 적용하였다.

실측 데이터는 2003년 9월에 한국 근해에서 선형 견인 어레이를 통해 획득한 데이터로 저주파 대역 신호에 맞추어진 어레이로부터 획득하였으며, 견인선의 속도가 일정하게 유지되는 부분의 데이터를 사용하였다.

실측 데이터는 견인선의 이동 속도가 일정한 구간 동안 80개의 선형 견인 어레이에서 연속적으로 받아들여진 데이터를 사용하였다. 센서간의 간격은 3.75 m로 두었고, 음원의 주파수는 약 190 Hz를 사용하였고, 음원이 선형 견인 배열 어레이에서 멀어진다고 가정한 경우이다.

그림 4-1은 실측 데이터를 각 어레이의 목표 주파수 대역에 해당하는 대역 통과 필터를 통과시킨 후 스펙트럼을 보인다. 그림 4-1을 통해서 측정하고자 하는 신호의 주파수 190 Hz가 나타나는 것을 알 수 있다

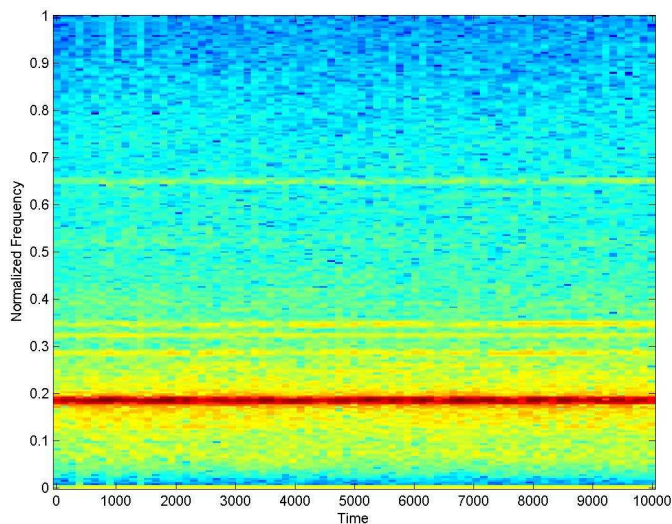


그림 4-1. 실측 데이터의 스펙트럼.

Fig. 4-1. Spectrum of Real Data

실측 데이터를 이용한 FFTSA 방법의 성능 향상을 위해 사용된 데이터는 기존의 일정시간 만을 사용한 경우와 데이터의 주파수 평균을 사용한 경우로 실험하였다. 실측 데이터를 측정에 사용된 선형 견인 어레이 센서의 수가 80개이므로 모든 합성기법을 사용한 실험에 사용된 데이터는 센서의 한계를 80개로 두었다.

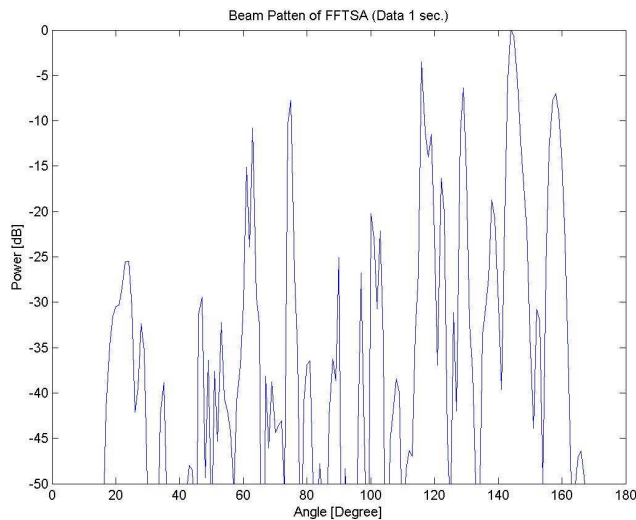
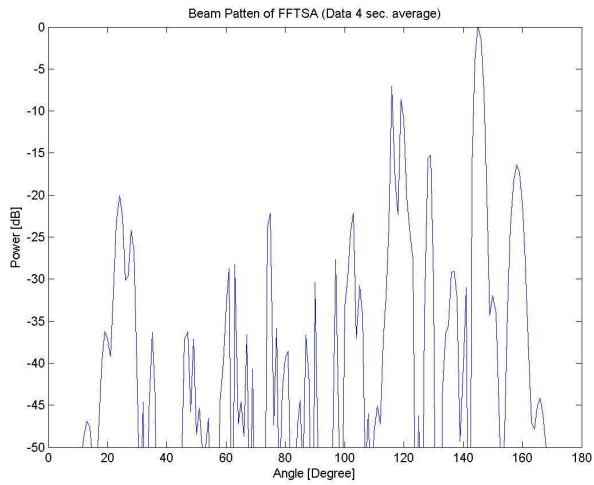


그림 4-2. 기존 FFTSA 기법의 탐지 결과(센서 80개).

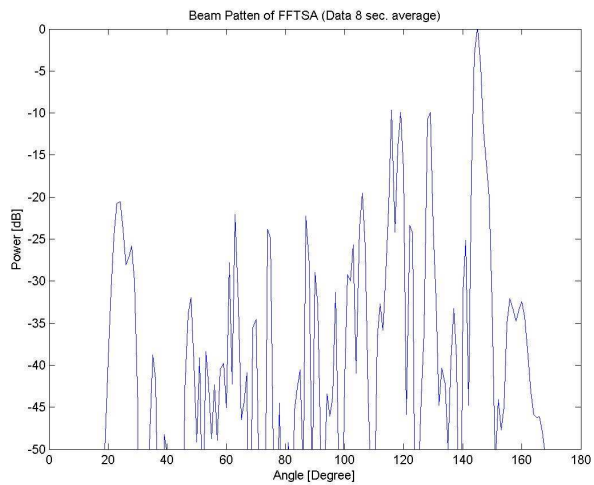
Fig. 4-2. Result of existing FFTSA (80 Sensors)

그림 4-2과 4-3는 센서 개수를 80개로 동일하게 하고 데이터의 분량을 각각 다르게 한 경우이다. 그림 4-2은 데이터 분량을 1초로 사용할 때이고, 그림에서 보면 약 145° 부근에서 주빔이 형성되지만 약 120°와 약 160° 등에서도 부엽이 높게 나타나는 것을 볼 수 있다.

그림 4-3은 제안하는 방법을 사용하여 데이터의 주파수 평균을 4초와 8초를 사용한 경우이다. 4초와 8초의 데이터 평균을 사용할 경우는 그리 큰 차이를 보이지 않는 것을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 4-3. 제안하는 기법의 탐지 결과 (센서 80개)

(a) 데이터 4초 동안 평균 사용한 탐지 결과,

(b) 데이터 8초 동안 평균 사용한 탐지 결과.

Fig. 4-3. Result of proposal technique (80 Sensors)

(a) 4 sec. Data average, (b) 8 sec. Data average

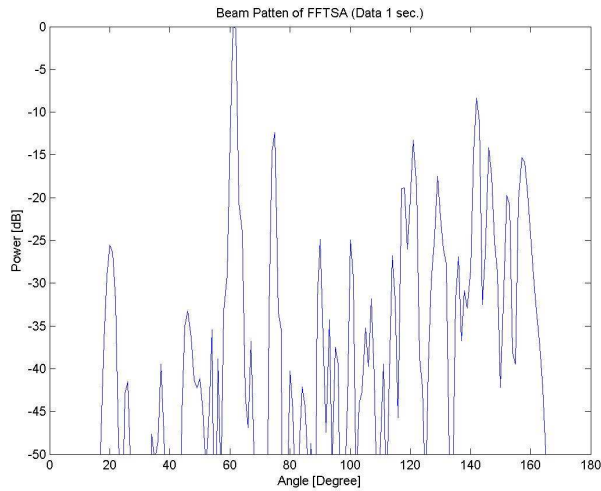
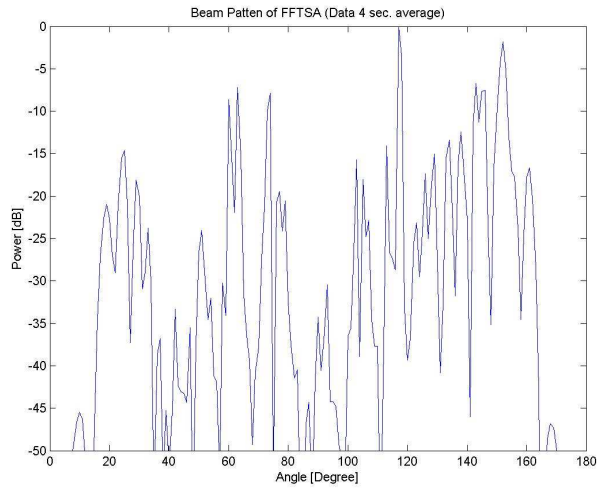


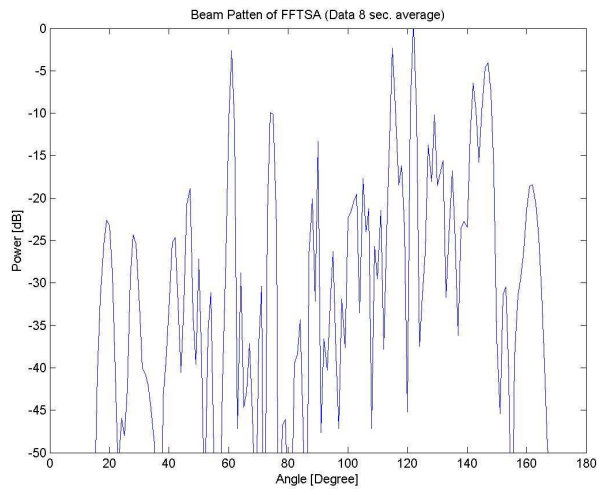
그림 4-4. 기존의 FFTSA 기법의 탐지 결과(센서 40개,합성 2번).
 Fig. 4-4. Result of existing FFTSA technique
 (40 Sensors, Synthetic times of 2)

그림 4-4과 그림 4-5는 40개의 센서를 사용하여 50%씩 중첩하여 2번 합성시켰을 때, 합성 시간 τ 는 약 28초이고 1초의 데이터를 사용한 경우와 데이터의 주파수 평균을 사용한 경우의 그림이다. 50%씩 중첩하는 이유는 좋은 성능이 나타나는 것으로 알려져 있기 때문이다[8].

그림 4-4은 주빔이 약 60° 부근에서 나타나고 약 140° 부근의 이득은 작게 나오는 것을 볼 수 있다. 이 경우 실측 데이터에서는 음원의 주파수보다 다른 환경적인 요소의 성분이 크게 작용하는 것으로 인해 60° 부근에서 주빔이 형성 되는 것을 보여준다.



(a)



(b)

그림 4-5. 제안하는 기법의 탐지 결과 (센서 40개, 합성 2번)

(a) 데이터 4초 동안 평균 사용한 탐지 결과,

(b) 데이터 8초 동안 평균 사용한 탐지 결과.

Fig. 4-5. Result of proposal technique

(80 Sensors, Synthetic times of 2)

(a) 4 sec. Data average, (b) 8 sec. Data average

그림 4-5는 주빔이 약 120° 부근에서 나타나며 1초의 데이터를 사용한 그림 4-4과 다른 방위에서 주빔이 나타난다. 이는 실측 데이터에서 1초의 데이터만을 사용할 때보다 데이터의 주파수 평균을 사용한 실험에서 음원의 주파수뿐만 아니라 다른 선박들과 환경적인 요소의 정보의 변화가 있다는 것을 보여주고, 제안하는 데이터의 평균을 사용함으로써 부엽들의 이득 레벨이 높아지는 것을 보여준다. 센서 40개를 쓸 때, 데이터 8초의 평균을 사용한 경우 전체 이득은 약 9.5 dB의 차이를 보인다.

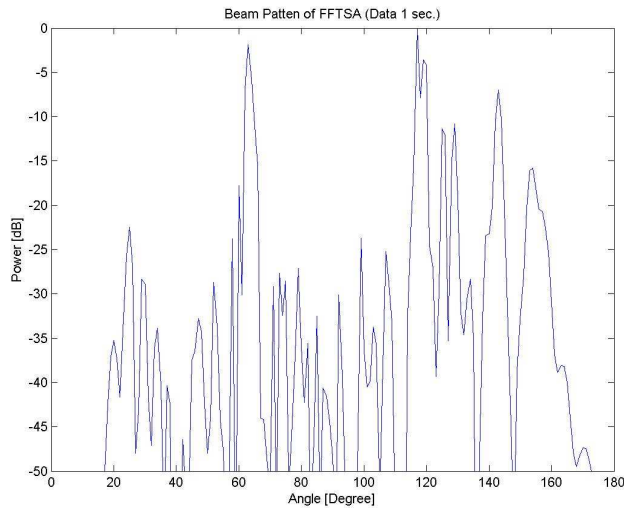
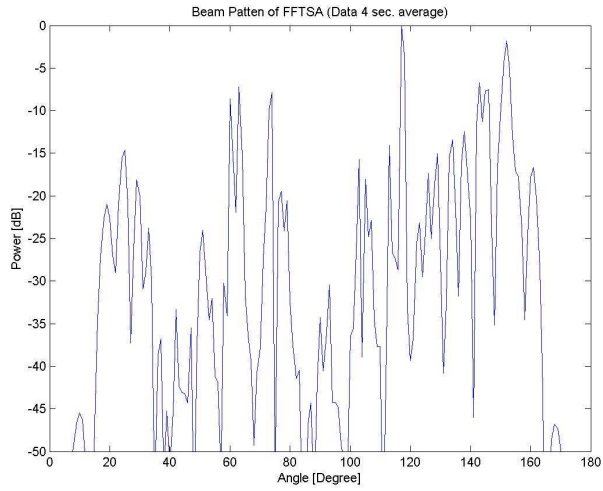
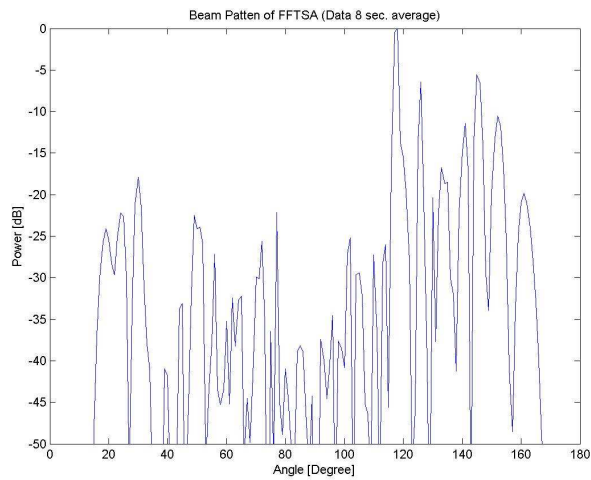


그림 4-6. 기존의 FFTSA 기법의 탐지 결과(센서 20개, 합성 6번).

Fig. 4-6. Result of existing FFTSA technique
(80 Sensors, Synthetic times of 6)



(a)



(b)

그림 4-7. 제안하는 기법의 탐지 결과(센서 20개, 합성 6번)

(a) 데이터 4초 동안 평균 사용한 탐지 결과,

(b) 데이터 8초 동안 평균 사용한 탐지 결과.

Fig. 4-7. Result of proposal technique

(20 Sensors, Synthetic times of 6)

(a) 4 sec. Data average, (b) 8 sec. Data average

그림 4-6와 그림 4-7은 센서의 개수를 20개로 사용하고, 합성 횟수를 6를 하였을 때 입력 데이터를 조절한 그림이다. 이 때의 합성시간 τ 는 약 14초 이다.

그림 4-6는 주빔은 약 120° 부근에서 나타나지고, 그림 4-4에서 나타나는 환경적인 요소의 영향으로 약 60° 부근에서 부엽의 이득 레벨이 높게 나타나게 되는 것을 볼 수 있다.

그림 4-7은 데이터의 주파수 평균을 사용함으로 약 60° 부근에서 나타나는 환경적인 요소를 줄이고 약 120° 부근에서 빔을 형성하는 것을 볼 수 있다. 전체 이득은 약 1.7 dB의 차이를 보이며 데이터의 주파수 평균을 사용하는 방법이 더 나은 것을 알 수 있다.

위의 실험들을 통해서 FFTSA 기법을 사용하는 선형 견인 어레이의 빔 형성의 성능을 높이는데, 입력된 데이터의 주파수 평균을 사용함으로써 FFTSA 기법을 사용할 때 보다 성능이 더 향상 되는 것을 알 수 있었다. 합성 회수에 따라 성능 차이는 보이지만, 전체 이득에서 대략 1.7 dB에서 9.5 dB정도까지 일정 시간 데이터의 주파수 평균을 사용하는 방법이 나은 것을 알 수 있었다.

제 5 장 결 론

선형 견인 배열 어레이가 가지고 있는 물리적인 제한을 SAS기법을 사용하여 어레이를 합성하기 위해 중첩되는 부어레이간의 위상 차이를 코히어런트하게 보상함으로써 어레이의 길이를 신호 처리를 통하여 가상적으로 늘리는 방법을 사용하였다. 또한 항상 일정하지 못한 해양 환경에서 왜곡되는 어레이의 형상을 어레이 형상 추정 기법을 통해 얻어진 어레이 형상 정보를 이용하여 왜곡을 보정하였다.

이론적으로 합성 회수를 늘릴수록 분해능이 좋아지는 것을 알 수 있었지만, 실제 적용하는 면에서는 이상적인 환경의 실험 결과보다는 합성의 효과가 떨어지게 된다고 판단 할 수 있었다. 이러한 환경적인 요인에 의한 잡음과 급격하게 변화로 인해 어레이의 성능을 떨어뜨리게 되므로 이러한 왜곡을 줄이는 방법이 필요하게 된다.

실험을 통해서 SAS 기술을 사용하는 어레이의 성능을 높이는데, 입력된 데이터를 FFT 처리하여 주파수 평균을 사용함으로써 FFTSA 기술을 사용할 때 보다 성능이 더 향상 되는 것을 알 수 있었다. 센서의 수에 따라 약 1.7 dB에서 9.5 dB정도까지 이득의 차이를 보였다. 이득의 차이는 급격한 변화를 환경적인 잡음으로 인해 발생하는 것으로 이러한 이득 차이는 데이터의 주파수 평균을 적용

한 FFTSA 방법이 실측 데이터를 그대로 쓰는 것보다 성능이 향상되는 것을 보여준다.

다양한 환경의 경우에 대해 합성 효과 실험이 필요하며, 후면 빔과 방향 탐지에 관한 고려하지 않았지만 전반적인 방향탐지의 성능에 관한 연구와 견인선의 함속에 따라 음원의 코히어런스가 어느 정도 유지되는지에 관한 연구가 추후 필요하다.

참고 문헌

- [1] Samuel W. Autrey, “Passive synthetic arrays”, *J. Acoust. Soc. Am.*, vol.84, no.2, pp.592–598, Aug. 1988.
- [2] R. E. Williams, “Creating an acoustic synthetic aperture in the ocean”, *J. Acoust. Soc. Am.*, vol.66, pp.60–73, 1976.
- [3] R. M. Fitzgerald, A. N. Guthrie, and J. D. Shaffer, “Low-frequency coherence transverse to the direction of propagation”, *J. Acoust. Soc. Am.*, vol.60, pp.752–753, 1976.
- [4] N. Yen and W. Carey, “Application of synthetic-aperture processing to towed array data”, *J. Acoust. Soc. Am.*, vol.86, no.2, pp.754–765, Aug. 1989.
- [5] S. Stergiopoulos and E. J. Sullivan, “Extended towed array processing by an overlap correlator”, *J. Acoust. Soc. Am.*, vol.86, no.1, pp.158–172, July 1989.
- [6] S. Stergiopoulos, “Optimum bearing resolution for a moving towed array and extension of its physical aperture”, *J. Acoust. Soc. Am.*, vol.86, no.5, pp.2128–2140, May 1990.

- [7] S. Stergiopoulos and H. Urban, "A new passive synthetic aperture technique for towed arrays", *IEEE J. of Oceanic Eng.*, vol.17, no.1, pp.16-25, Jan. 1992.
- [8] S. Stergiopoulos and H. Urban, "An experimental study in forming a long synthetic aperture at Sea", *IEEE J. of Oceanic Eng.*, vol.17, no.1, pp.62-72, Jan. 1992.
- [9] M. E. G. D. Colin and J. Groen, "Passive synthetic aperture sonar technique in combination with tow ship noise canceling : application to a triplet towed array", *MTS/IEEE Ocean 2002*, vol.4, pp.2302-2309, Oct. 2002.
- [10] P. Felisberto and S. M. Jesus, "Towed-array beamforming during ship's maneuvering", *IEE Proceedings Radar, Sonar and Navigation*, vol.143, no.3, pp.210-215, June 1996.
- [11] 박희영, 김인익, 오원천, 윤대회, 이충용, "소나 시스템을 위한 어레이 형상 추정 기법의 성능비교 및 개선", 한국음향학회지, 제20권, 제4호, pp.12-16, 2001년 5월.
- [12] 강현우, 박희영, 도경철, "한국 근해에서의 실측 데이터를 이용한 합성 어퍼처 소나 실험에 관한 연구", 한국음향학회지, 제23권, 제6호, pp.428-436, 2004년 8월.

- [13] Richard O. Nielsen, *Sonar Signal Processing*, Artech House, Inc., 1991.
- [14] William S. Burdic, *Underwater Acoustic System Analysis*, Prentice-Hall, Inc., 1984.
- [15] Robert A. Monzingo and Thomas W. Miller, *Introduction to Adaptive Arrays*, John Wiley & Sons, 1980.
- [16] A. D. Waite, *Sonar for Practising Engineers Third Edition*, 2002.
- [17] Harry L. Van Tress, *Optimum Array Processing*, John Wiley & Sons, Inc., 2002.
- [18] Joyce Van de Vegte, *Fundamentals of Digital Signal Processing*, Prentice Hall, 2002.