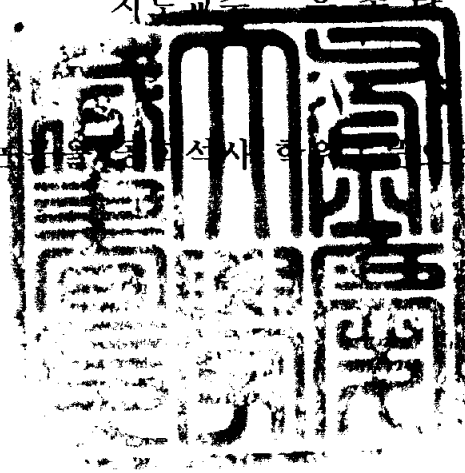


공 학 석 사 학 위 논 문

SSB 방식을 이용한 수중음향통신시스템

지도교수 오 조 라

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함.



2004 년 2 월

부 경 대 학 교 대 학 원

정 보 통 신 공 학 과

김 용 현

김용현의 공학석사 학위논문을 인준함

2004 년 12 월 26 일

주	심	공학박사	하 덕 호
위	원	공학박사	김 석 태
위	원	공학박사	박 규 칠



◆ 제 목 차 례 ◆

Abstract

1. 서론	1
2. 수중음향통신 시스템의 구성	4
2-1 수중음향통신 시스템 모델	4
2-2 수중음향통신의 환경요인.....	5
3. SSB 방식의 특징	9
3-1 SSB 필터방식	12
3-2 SSB 위상천이방식.....	13
3-3 SSB weaver방식	15
4. SSB 변·복조기구성	16
4-1 변조기	16
4-2 복조기	18
4-3 전기음향변환기	21
5. 실험 및 결과	25
5-1 실험 장치의 구성	25
5-2 송·수신 음성파형.....	27
5-3 거리에 따른 송·수신 특성.....	29
6. 결론	32
참고문헌	33

Underwater voice communication system using SSB modulation

Yong Hyun Kim

Department of Telematics Engineering, Graduate school,
Pukyong National University

Abstract

The wireless underwater communication system is commonly used as military, commercial and scientific research equipment for underwater communication. For the purpose of underwater communication, among the modulation methods which is being developed, SSB(Single Sideband) modulation has been widely used with priority while considering ambient noise.

This paper describes the development and characteristics of an underwater voice communication system which has a similar function as a radio mobile telephone

The experimenting electrical and acoustical characteristics of the system components, characteristics of speech sound propagation by means of numerical simulation, the evaluating performance of the system and underwater acoustic communication environment were

conducted in Geoje and Tongyoung grounds.

This work has been done to verify the characteristics of the SSB filter method by doing the experiments in the underwater environment. Also the performance of the system and the sensitivities of received signal are testified and compared based on the our experiments results.

1. 서론

수중통신장치는 수중환경탐사와 해저작업자의 생명과 연결되는 중요한 장비이다. 대표적인 수중통신장치인 무선 수중 전화기는 1945년 미국 해군에서 군용으로 개발되었다. 최근 해양스�포츠의 발전과 해양의 자료수집을 위해 군사용으로 제한되었던 수중통신장치는 1990년부터 여러 나라에서 민간용 수중통신장치의 연구 개발이 진행되고 있으며, 대표적인 수중통화시스템으로는 미국 OTS(Ocean Technology Systems)사가 개발한 제품명 "Buddy Phone", 민간용으로 시판이 되고 있다. 이와 유사한 민간용 수중통신장치는 일본의 Fuji사 제품, 미국의 Nautronix Helle사 및 Neptune사의 제품 등이 있다.[1]

수중에서 송신자와 수신자의 음성통화를 위해서 개발된 수중 음성통신 장치는 유선 식, 무선 식의 수중음성통신장치로 구분된다. 유선식의 경우 반송신호 없이 신호가 송신되는 기저대역(baseband)전송 방법을 사용한다. 그러나 이런 유선식의 장치는 주위 작업선의 진로에서 작업할 경우 선로가 파손되어 수중작업자의 안전을 위협하는 요소가 존재하게 된다. 따라서 최근에는 반송파를 이용한 무선식의 장치가 개발 판매되고 있다. 무선식의 경우에는 선로의 파손과 거리의 제한이 없기 때문에 수중작업자의 안전에 효과적인 방법이다.[2]

초기 무선식 수중음성통신장치는 AM(Amplitude Modulation) 방식으로 배경잡음이 낮은 주파수를 선택하여 수중작업자와 수상작업자와 통신이 이루어졌다. 그러나 기존의 AM방식의 통신장치의 문제점인 주변배경잡음의 증가로 인한 왜곡현상과 높은 송신 출력으로 인한 전력소모로 수중작업자의 작업시간이 문제가 되었다. 최근에는 배경잡음의 영향과 전력 소모를 줄이기 위하여 SSB(Single sideband) 방식을 채택하고 있다.[3][9]

배경잡음은 반송파의 왜곡을 야기 시키기 때문에 연안의 배경잡음 측정을 통해 배경잡음이 낮은 대역을 선택하게 된다. 실험의 결과와 이론을 바탕으로 $30kHz$ 의 대역을 사용한다. 또한 목적에 따라 잠수함간의 무선통화, 잠수함과 수중작업자간의 무선통화를 위해 상대적으로 낮은 $8kHz$ 를 사용하기도 한다.[4][7]

이러한 수중통화장치의 개발을 위해서는 수중의 음파전달 특성, 배경 잡음 등을 위시한 수중음향통신환경 연구, 전기음향변환기에 대한 연구, 원하는 정보추출을 위한 전자회로 하드웨어 및 소프트웨어 설계 연구가 병행되어야 한다.[12]

본 연구에서는 수중음성통신장치의 개발을 위해 수중환경과 시스템의 성능을 고려하여 SSB 통신방식을 채택하였다. SSB 장치의 성능을 알아보기 위해 수신자와 송신자의 거리에 따른

통신특성과 주변배경잡음의 영향으로 인한 통신성능을 알아보
았으며, 수치모의 실험과 실제환경에서의 음성전송을 통한
송·수신 성능을 비교 검토하였다.

2. 시스템의 구성과 수중통신환경 요인

2.1 수중음향통신 시스템 모델

수중음성통신장치는 음성신호를 전송하기 위해 배경잡음이 낮은 대역으로 천이 시키기 위해 변조를 한다. 그리고 전기적인 신호를 음향신호로 변환하기 위해 전기음향변환기를 사용하여 전송하게 된다. 그림1은 수중음성통신 시스템 모델이다.

수신자는 수신측의 전기음향변환기에 입력되는 음향신호를 다시 전기적신호로 변화하여 복조를 하게 된다. 복조과정에서 반송파는 제거되고 음성신호는 스피커를 통해서 음성신호를 전달하게 된다.

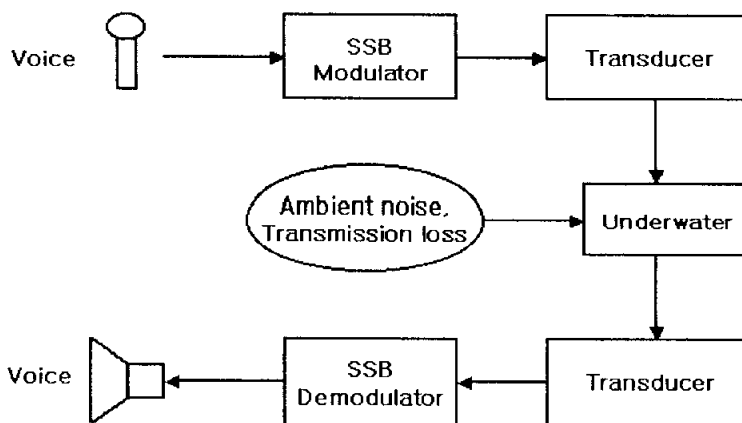


그림 1. Underwater voice communication system model

2.2 수중환경요인

수중음향 시스템 설계나 운용에서 성능에 영향을 미치는 요소 즉, 물표의 전계 강도, 바다의 잔향 등이 수식화 된 소나 방정식이며, 특히 수중음향통신장치에 적용되는 것은 수동 소나 방정식이다. 또한, 수중음성통신장치의 통화 가능 거리는 주로 배경잡음과 주파수에 의존되며 해수 중의 흡수와 산란, 온도 정도에 따른 음선의 굴절, 주위 잡음, 송파 음압의 크기 등에 영향을 받는다. 따라서 최대 통화 가능 거리를 결정하는 것은 FOM(Figure Of Merit)으로서 그것은 전파 손실과 일치하며 다음의 식 2-1과 같이 나타난다.[8][10]

$$TL = SL - (NL - DI_R + DT) = FOM \quad (2-1)$$

여기서, SL : 음원준위(Source Level),

TL : 전파손실(Transmission Loss),

NL : 잡음준위(Noise Level),

DI_R : 수신지향지수(Receiving Directivity Index),

DT : 탐지문턱준위(Detection Threshold)

음원준위(SL)에 대해서 살펴보면 음원 출력 $P(W)$ 는 음원의 모든 방향으로 같은 세기로 방사된다면 음원으로부터 거리 r (m) 떨어진 점의 음의 세기는 음이 $4\pi r^2$ 으로 구면파로써 확산하기 때문에 기준 거리에서의 음원의 세기는 $P/12.6 Wm^{-2}$ 이다.[11][13]

따라서, 음원준위 SL 은 식 2-2와 2-3으로 나타낼 수 있다.

$$SL = 10 \log_{10} ((p/12.6)/0.67 \times 10^{-18}) \quad (2-2)$$

$$SL = 10 \log_{10} P + 167 dB/\mu Pa \quad (2-3)$$

또한, 수중작업자의 자유로운 활동을 위해서 지향지수 (DI_R)는 무지향성으로 $0 dB$ 이 되어야 한다. 전파손실 TL 은 식 2-4와 같이 나타낼 수 있다.

$$(TL) = k \log r + \alpha r \quad (2-4)$$

여기에서, k 는 구면 확산일 때는 20, 원통 확산일 때는 10이고, α 는 주파수 $30kHz$ 에서는 약 0.0009이다. 탐지문턱준위

(DT)는 대부분의 경우 효과적인 통신을 위해서 신호 대 잡음비(SNR)는 10dB이상이어야 한다.

해양의 잡음은 다양한 요인에 의해 결정된다. 수중음성통신시스템의 통화품질을 결정하는 잡음은 전화기 시스템의 열잡음, 해양음향환경의 배경잡음과 해면 및 해저에 의한 다중경로에 기인되는 잔향잡음 및 해면교란에 의한 도플러효과가 원인이 되는 주파수 대역 확산 잡음 등이 있다. 이들 중 가장 중요한 성분은 배경잡음으로 심해에서는 통행 선박과 해상 상태에 의해 잡음 크기가 결정되고 수중전화기가 활용될 것으로 판단되는 천해에서는 이들 요인 외에 육상의 산업시설에 의한 수중전파음과 천해의 다양한 해양생물에 의한 소음에 의해서 배경잡음 크기가 결정된다.

그림 2는 거제 장목지역 및 통영 잠수기 조업 구역의 수중배

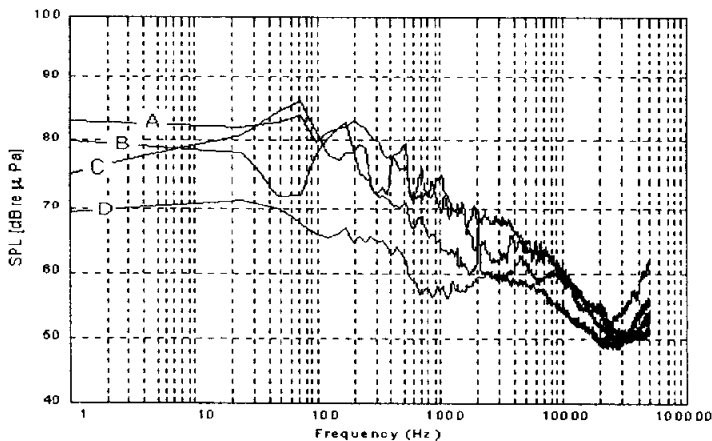


그림 2. Ambient noise spectrum

경잡음의 평균적인 스펙트럼 특성이다. 측정 당시의 해상상태는 1이하였고 측정해역의 수심은 10m~20m였으며, 수중청음기의 깊이는 5m이다. 그림에서 보는 바와 같이 배경잡음이 가장 낮은 주파수 대역은 30kHz 부근으로 잡음 준위는 62~67dB이다. 따라서 흡수손실이 무시될 수 있는 근거리 통화를 위한 반송주파수는 30kHz 대역이 되어야 할 것이다.

3. SSB 방식의 특징

수중음성통신장치는 1905년에 개발된 초기의 유선식 방식에
서의 문제점으로 인해 반송 주파수를 이용한 무선식 변조장치
로 대체되었다.

최근에는 반송주파수를 이용한 AM 변조 방식을 채택하였으
나 이 방식은 송신기 출력의 2/3가 반송파 전송에 소모되어
전원이 낭비되었다. 그러므로 가장 일반적으로 사용되는 수중
음성통신 장치는 저전력 소모의 SSB 변조 방식을 채택되었다.
또한 디지털 수중음향통신의 음성 코딩에 이어서는 공중파 디
지털 통신 기술의 적용에 대해 계속적으로 광범위한 연구가
진행되고 있다.[5][12]

SSB 변조에서 두 측파대 중에서 한 측파대는 메시지 신호
 $x(t)$ 와 함께 전송되는 반송파와의 곱의 결과이다. DSB 신호
를 필터링 하여 상측파대 SSB 신호를 발생하면 그림 3과 같
이 보여진다. 동기 복조에 의한 기저대역(baseband) 신호의 복
구는 그림 3.(b)와 보여지게 된다.

SSB 신호의 대역폭 B_T 는 식 3-1과 같이 나타낼 수 있다.

$$B_T = W \quad (3-1)$$

여기에서, W 는 AM 대역폭 $2W$ 의 절반의 대역폭을 가진다는 것을 나타낸다.

평균 전송 전력 S_T 는 식 3-2로 나타낼 수 있다.

$$S_T = \frac{1}{4} A_c^2 S_x \quad (3-2)$$

위 식에서, A_c 는 신호의 amplitude이며, S_x 는 평균전력을 나타낸다.

SSB 신호에 대한 변조 및 복조 과정은 그림 3에서 보는 바와 같이 간단하다. 그러나 실제적인 구현에는 두 가지 이유로 인해 대단히 어려워진다. 첫째는, 변조기는 이상적인 대역제한 측파대 필터이고, 두 번째로는 변조기는 동기 반송파를 요구

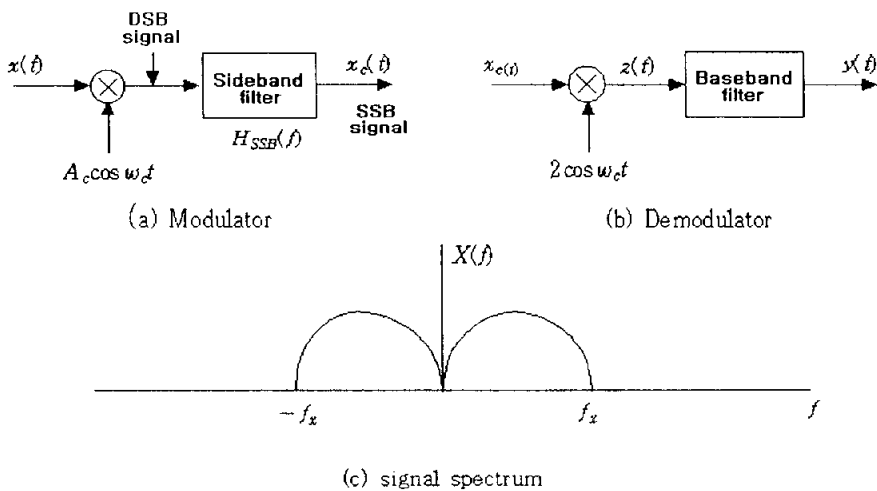


그림 3. SSB modulation

한다는 것이다.

측파대 필터 $H_{SSB}(f)$ 는 가파른 cut-off 특성을 요구하므로 정확하게 동기화 될 수 없다. 그래서 원하는 대역의 일부분을 약하게 하거나 또는 원하지 않는 대역의 일부분을 통과시켜야만 한다. 다행스럽게도, 많은 메시지 신호는 약간의 저주파수를 갖거나 전혀 내용을 담지 않는다. 그러한 신호(음성, 음악)은 zero 주파수에서 "holes"을 갖고, 이러한 "holes"은 반송 주파수에서 비어있는 공간으로써 나타난다. 실제적인 측파대 필터의 전이 영역은 그림 4에서 보는 바와 같이 일치시킬 수 있다.

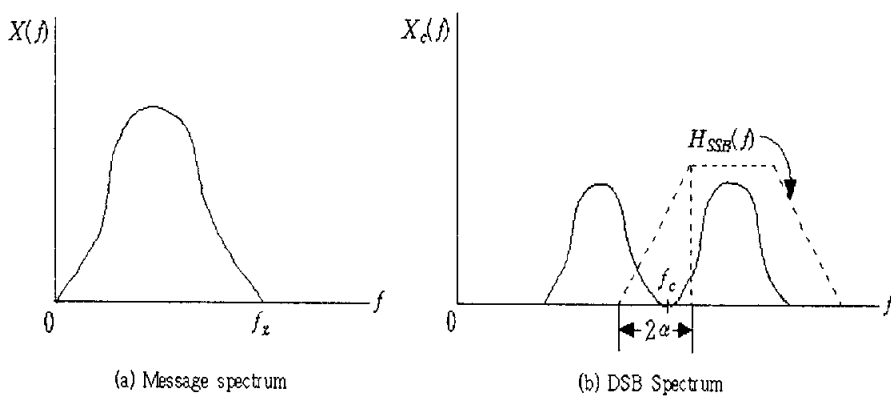


그림 4. Characteristics of sideband filter

3.1 SSB 필터 방식

이 방법은 SSB 변조를 사용하고 있는 거의 대부분의 시스템에 적용되고 있는 방식으로써, 평형 변조기를 통해 발생된 신호를 대역통과필터를 거쳐 SSB 신호를 발생시키는 형태이다.

그림 5에서 보는 바와 같이 인가된 입력은 평형변조기를 거쳐 DSB 신호를 발생하게 되고 대역필터를 거쳐 원하는 대역만 필터링 된다. 이 신호는 L.O(Local Oscillator)에서 발생되는 반송파와 믹싱되어 SSB 신호로 출력되어진다.

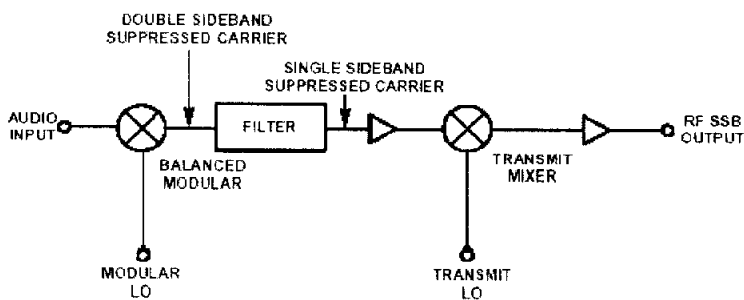


그림 5. SSB generator using filter method

3.2 SSB 위상천이 방식

두 번째로 사용되는 방식은 위상천이 방식이다. 이 방법은 입력되는 신호를 Hilbert Transform 시켜 $+90^\circ$ 또는 -90° 위상천이시켜 상측파대나 하측파대 신호를 얻어내는 것이다.

SSB 신호는 다음식 3-3과 같이 주어진다.

$$c(t) = m(t) \cos 2\pi f_c t \mp \hat{m}(t) \sin 2\pi f_c t \quad (3-3)$$

여기서, - 신호는 USB(Upper Side Band) 와 관련되어 있고, + 신호는 LSB(Lower Side Band)와 관련되어진다.

$\hat{m}(t)$ 는 $m(t)$ 의 모든 주파수 성분을 -90° 위상 천이 시켜서 얻을 수가 있다. $\hat{m}(t)$ 를 $m(t)$ 의 Hilbert Transform 이라고 부르는데, 아래식 3-4와 같이 정의되어진다.

$$\hat{m}(t) = H[m(t)] = m(t) * h(t) = m(t) * \frac{1}{\pi t} \quad (3-4)$$

$$= \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{m(\tau)}{t(-\tau)} d\tau \quad (3-5)$$

여기서, $h(t) = \frac{1}{\pi t}$ 이며, $m(t)$ 의 역 Hilbert Transform은 식 3-5와 같이 표현된다.

$$\hat{m}(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{m(\tau)}{t(-\tau)} d\tau \quad (3-6)$$

Phase method의 장점은, 우선 대역통과필터를 사용하지 않아도 된다는 것이다. 즉 이것은 Filter method에 비해 약 2/3의 파워로 시스템을 구동시킬 수 있다는 것을 의미한다. 이에 비해, 단점은 광대역 90° 위상 천이 회로의 실제적인 구현이 어렵다는 점이다.

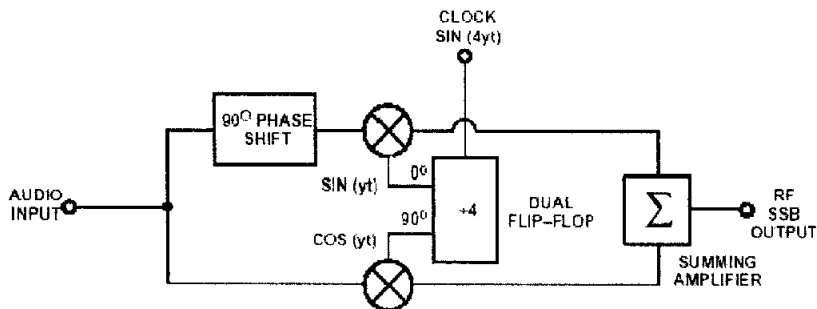


그림 6. SSB generator using phasing method

3.3 SSB weaver 방식

마지막으로 weaver 방식이 있다. 이것은 위상천이 방식과 매우 흡사한데, 위상천이 기술에서 유도된 방식이라 할 수 있다. 그러나 위상천이 방식과 다른 점은, 위상천이 방식이 광대역의 90° 천이를 하는데 비해 낮은(1.8kHz) 부반송파를 사용한다는 것이다. 정확하고 비교적 쉽게 변조를 할 수 있는 장점이 있으나, 수중음향통신시스템에서는 적합하지 않은 주파수를 사용한다.

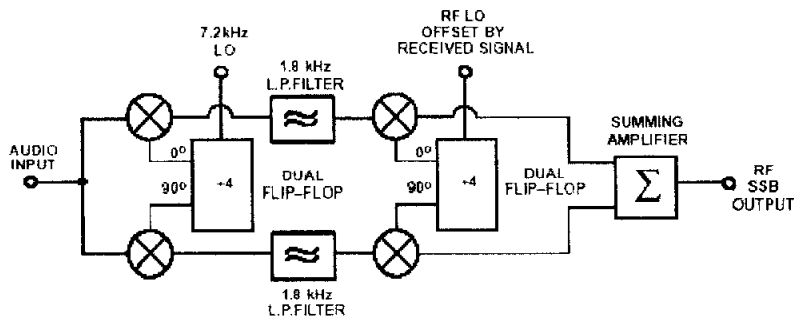


그림 7. SSB generator using weaver method

4. SSB 변 · 복조기 구성

4-1 변조기

수중음성통신시스템에서 송 · 수신을 위해 아날로그 스위치의 역할을 하는 MC4053 Multiplexer를 사용하였으며, 마이크로폰 Push 스위치는 보통 Off 상태일 경우에는 전기음향변환기의 입력 신호를 받아들여 수신기 입력에 연결시켜준다. Push 스위치가 On 상태에서는 송신 동작을 하여 수신기의 입력은 차단되고 송신기의 출력은 전기음향변환기로 연결된다. 전기음향 변환기에서 입력된 음성신호는 증폭기를 이용해 증폭을 하고, 대역통과필터를 통해 소비 전력을 감소시키기 위해 300 ~ 3,000 Hz 음성신호 대역폭으로 제한시켰다.

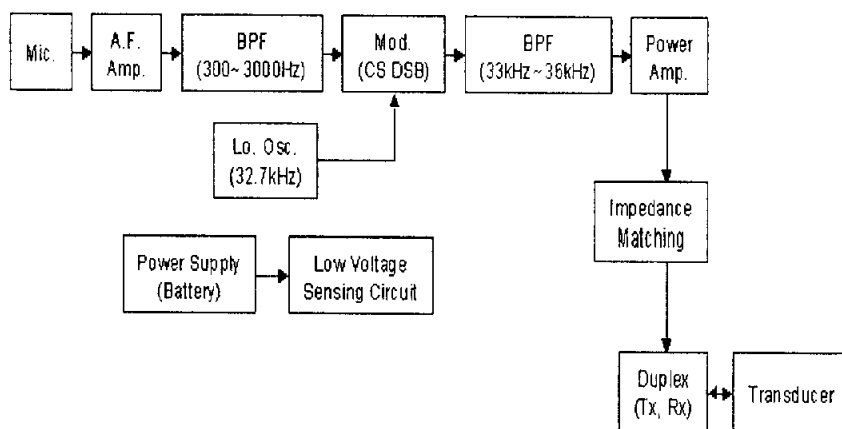


그림 8. SSB modulator

300~3,000 Hz 이하의 주파수는 배경잡음의 영향으로 인해 통신에 문제점을 가져올 수 있다. 그러나 300 Hz 이하를 제거하면 자연성은 저하되지만 전송 전력은 감소로 장시간 운용이 가능 할 것이다.

그림 8은 수중음성통신시스템의 구성도 이다. 이 회로에서는 다중 LC필터로 300 Hz 이상의 음성 신호만 통과하도록 고역통과필터(HPF)를 구성하고, 그 다음 LM358 연산증폭기로 3,000 Hz 이하의 음성 신호가 통과하도록 저역통과필터(LPF) 기능을 하면서 음성 신호 감쇠를 보상하는 증폭 기능을 가지도록 설계하였다. 발진 회로 및 변조 회로는 수중의 통신 환경 소음이 가장 적은 30 kHz 부근인 32.7 kHz 를 반송 주파수로 하는 발진 회로와 반송파를 억압시킨 양측파대(DSB) 변조 회로, 그리고 변조된 신호 중 상측파대(USB) 신호만 추출하기 위하여 33~35.7 kHz 주파수의 신호만 통과하는 대역통과필터(BPF)로 구성하였다. 반송파 억압 진폭 변조 회로는 LM1496 평형 변조기(balanced modulator)로 구성하였고, 음성 신호를 반송 주파수 32.7 kHz 로 변조시킨 신호에서 상측파대 신호만 추출한 단측파대(SSB) 송신 신호를 만들기 위해 33 kHz (32.7 kHz + 300 kHz)와 35.7 kHz (32.7 kHz + 3,000 kHz)의 통과 대역폭 차단 주파수를 가지는 필터를 설계하였다. 증폭 회로는 최종적으로 최대 8 W의 전력 증폭기를 TDA2003으로 구성하여 SSB 송신 신호를 전력 증

폭하였다. 이 TDA2003 증폭 회로가 50 kHz까지 평탄한 증폭 이득 특성을 가질 수 있도록 피드백 저항 및 캐패시터로 조정 설계하였다. 그리고, 32 kHz 부근에 공진 특성을 가지는 송·수신기로 최대의 출력 신호 방사 효율을 가지도록 임피던스 정합 회로를 임피던스 매칭 트랜스로 설계하여 최대의 수중 음향 신호를 출력하는 회로를 포함시켰다. 즉, 제작한 전력 증폭기의 출력 임피던스는 약 4 Ω 이고 제작한 트랜듀서의 입력 임피던스는 공진 주파수에서 약 350 Ω 이므로 권선비 약 1:9.4의 코일로 정합 회로를 구성하였다.

4.2 복조기

수중음향통신장치에서 SSB 수신 시스템은 상대측의 발신 신호인 수신 신호가 매우 작더라도 충분한 수신 감도를 유지할 수 있는 AGC회로 및 배터리 수명에 의한 저전압을 인식하여

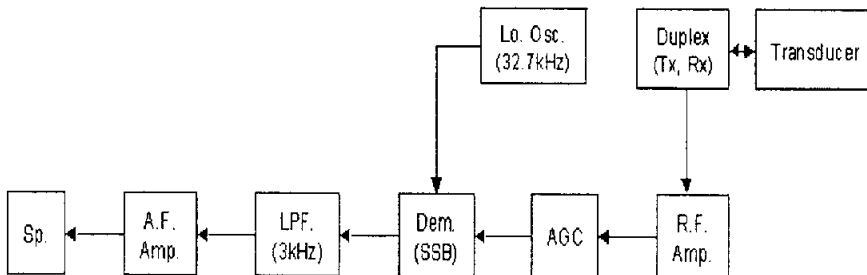


그림 9. SSB demodulator

충분한 송신 출력 성능을 가질 수 없음을 인지시키는 회로 등 꼭 필요한 주변 회로를 포함시키고, 단전원으로 동작할 수 있도록 설계하였다.

초단 증폭 회로에서 송·수신기의 약한 입력 신호를 다음 단계 최대로 전달하기 위해 고입력 임피던스를 가지는 JFET를 사용한 증폭기 회로를 사용하였으며, 또 거리나 송수파시의 방향에 따른 음압 변화를 보정하기 위하여 CD4007AE 2개를 사용한 AGC회로를 구성하여 설계하였다. 이 AGC회로에서 첫단의 CD4007은 신호를 전송하는 게이트로써 한 출력만 선택하는 2선 디멀티플렉서로 동작하도록 배선을 하였고 두 번째 CD4007은 고이득 증폭기와 AGC의 안정적인 동작을 위한 피드백 회로로 구성하여 설계하였다. 이 회로에서 AGC는 최소 70 dB이상의 이득을 가지므로 초단 증폭기의 동작을 활성화하면 더 큰 이득의 AGC 설계가 가능하다.

복조 회로는 송신 시스템의 반송 주파수와 똑같은 주파수를 발진하는 32.7 kHz의 국부 발진 회로와 AGC회로를 거친 SSB 수신 신호를 원음성 신호로 복조하는 검파 회로로 구성되어 있다. SSB 복조기는 변조기로 사용했던 LM1496을 사용하여 곱셈-검출 회로로 구성하였다.

SSB 수신 신호와 국부 발진 회로의 신호가 서로 곱하여져서 합 주파수 성분 및 고조파 성분은 필터로 제거되고 차 주파수

성분의 음성 대역 신호만 전달되어 복조 기능을 하게 된다. 설계한 복조기로 복조한 결과 원음성과 일치되었다. 증폭 회로는 수신기의 청음기를 구동할 수 있도록 복조된 음성 신호를 전력 증폭하는 회로로 구성되어 있다. 이 파워 앰프는 소형화를 위해 KA2201의 DIP형태의 IC를 사용하였으며 최대 2 W의 충분한 전력 증폭도를 가지도록 설계하였다. 설계된 송·수신 회로는 전기 에너지 공급원인 배터리의 수명으로 공급 전압이 떨어질 경우 수신기의 성능은 크게 문제가 되지 않으나 송신기의 출력은 치명적으로 저하되는 현상이 발생하게 된다. 따라서, 사용하는 배터리의 공급 전압이 기준이하로 감소될 경우 수중음향통신장치의 원활한 사용을 위해 배터리 교환을 알려주는 저전압 감지 회로를 설계하였다. 저전압 감지 회로에서 기준 전압은 제너 다이오드의 제너 전압을 사용하여 기준 이하의 전압으로 감소할 경우 컴퍼레이터의 출력이 동작하도록 구성하였고, 9 V 혹은 12 V의 어느 배터리를 사용하더라도 기준 전압을 조정할 수 있도록 가변 저항기로 설계하였다.

4.3 전기음향변환기

4.3.1 공진특성 및 전압감도

전기음향변환기는 공진 주파수가 $36kHz$ 인 압전 세라믹을 조합하여 $25kHz \sim 50kHz$ 의 대역폭을 가지도록 만들었다.

회로분석기를 사용하여 측정한 공기 중 임피던스 특성을 그림 10에서 나타내고 있다. 그림에서 나타나는 바와 같이 $36kHz$ 에서 공진 주파수가 나타나고 있음을 보여준다.

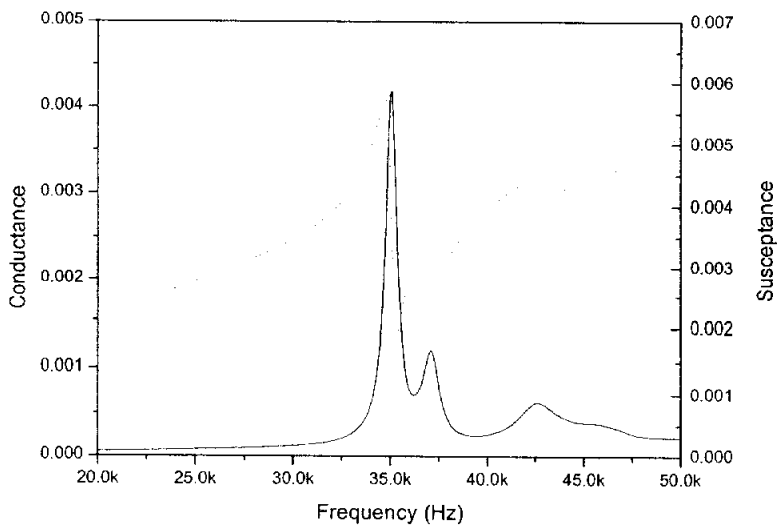


그림 10. Admittance characteristics of bare ultrasonic piezoelectric transducer.

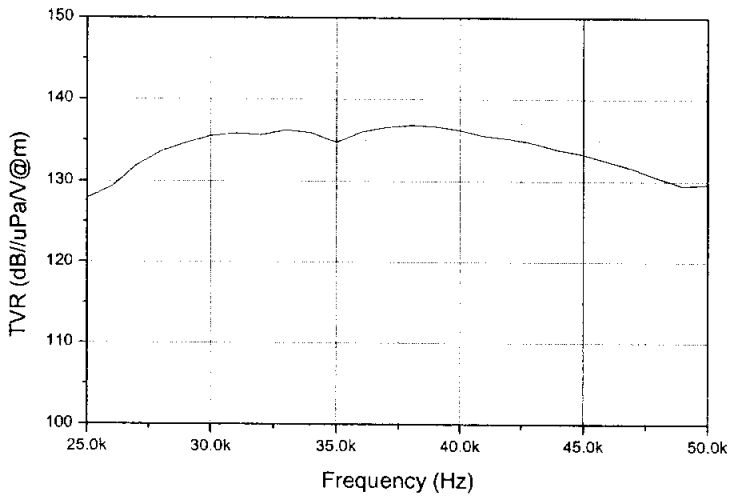


그림 11. Transmitting voltage sensitivity of ultrasonic transducer

그림 11은 전기음향변환기의 송신전압감도를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 $36kHz$ 에서 공진 주파수가 나타나고 있으며, $25kHz \sim 50kHz$ 까지는 거의 평탄한 전압감도 특성을 지니고 있다는 사실을 알 수가 있다. 이것은 이 대역폭 내에서는 측정된 결과가 안정적이라는 것을 말해준다.

4.3.3 전기음향변환기의 빔 패턴(Beam pattern)

그림 12는 전기음향변환기의 수평 주파수 $30kHz$ 에서의 송신 빔패턴을 나타낸 그림이다. 0° 를 중심으로 $\pm 90^\circ$ 방향이 전기음향변환기의 전방향을 나타내고 있고, 180° 를 중심으로 $\pm 90^\circ$ 방향은 후방향을 나타낸다.

그림에서 보는 바와 같이 송신 빔패턴은 360° 모든 방향으로 일정한 에너지의 빔패턴을 보임을 알 수가 있다.

그림 13은 전기음향변환기의 수직 주파수 $30kHz$ 에서의 송신 빔패턴을 나타낸 그림이다. 전방향에서는 거의 일정한 에너지 분포를 가진 빔패턴을 보여주고 있으나 후방향에서는 불규칙한 에너지 분포를 가진다는 것을 알 수 있다. 이것을 수직 주파수에서는 전기음향변환기가 지향성에 많은 영향을 받는다는 사실을 말해준다.

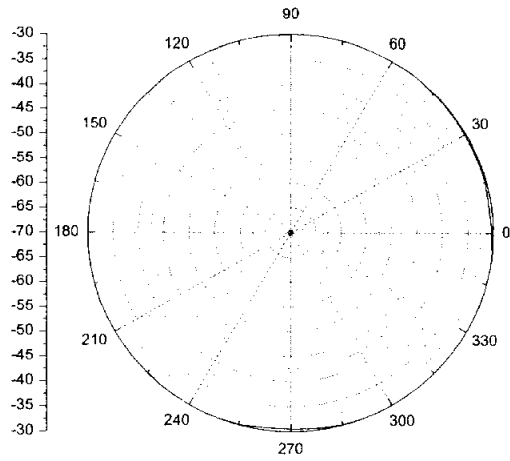


그림 12. Transmitting beam pattern of ultrasonic transducer(horizontal: 30 kHz)

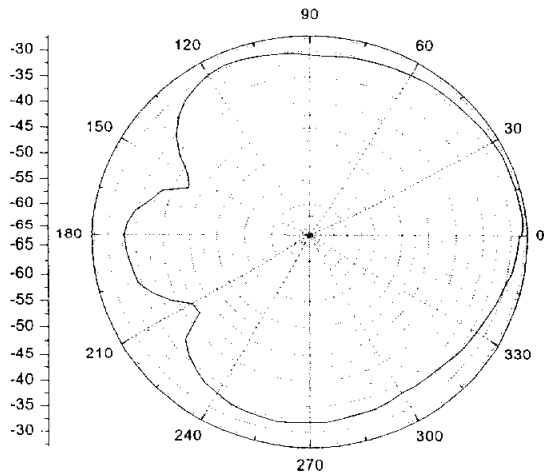


그림 13. Transmitting beam pattern of ultrasonic transducer(vertical: 30 kHz)

5. 실험 및 결과

5-1 실험 장치의 구성

본 연구에서는 SSB 변·복조기의 수중전송특성을 측정하기 위하여 실제 해양환경에서 음성이 수중배경잡음에 대해 어떠한 영향을 받으며 또한 그때의 전달 특성을 알아보려고 하였다.

그림 14는 SSB 변·복조기를 각각 두 척의 선박에 송신국과 수신국으로 나누어 해양에서의 실제 실험을 진행한 구성도를 나타낸 그림이다.

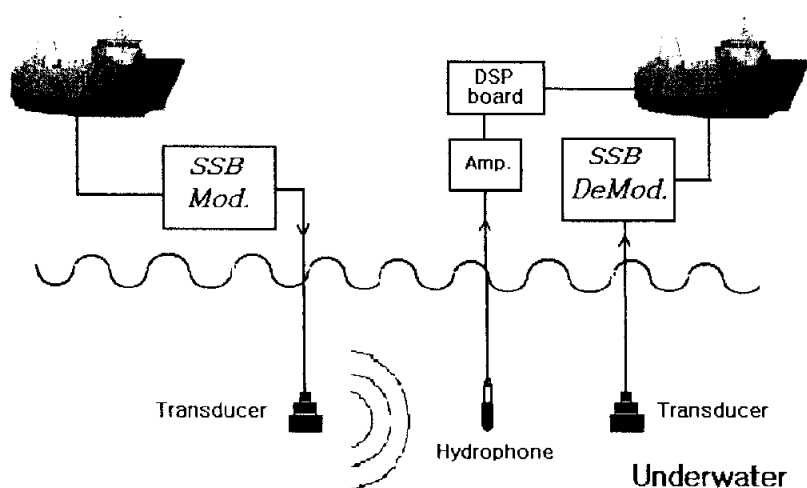


그림 14. Experiment configuration

실험은 용호만에서 수행되었고 기상 상태는 맑았으며 해상상태는 1이었다. 측정을 위한 선박의 크기는 길이 15m, 폭 6m의 두 척의 선박이 사용되었다.

그림 14에서 SSB 시스템과 연결된 장치들은 변조된 신호를 수조에서 전송하는 전기음향변환기, 이 신호를 수신하기 위해 B&K 8106 하이드로폰이 사용되었다. B&K 2610 measuring Amp 와 ADC64 dsp board를 이용해 신호의 파형과 스펙트럼을 나타내었다.

5.2 송 · 수신 음성파형

그림 15는 수신국과 송신국의 거리가 20m에서 “망태내려”라는 발성을 했을 때 시간파형을 나타내고 있는데, 이것은 같은 거리에서 선박의 기관을 정지한 경우와 가동시킨 경우의 시간파형을 비교하기 위하여 보여주고 있다.

그림 16은 선박의 기관을 완전히 정지시켰을 때의 음성의 시간파형을 나타낸 그림으로 원음성에 비하여 모음 부분에서의 크기가 줄어들었다는 것을 알 수 있다.

그림 17은 선박의 기관 가동시에 음성의 시간파형을 나타내고 있는데, 기관정지시와 비교할 때 발생하는 잡음에 의하여 전체적인 파형의 크기가 증가되었다는 것을 볼 수 있다.

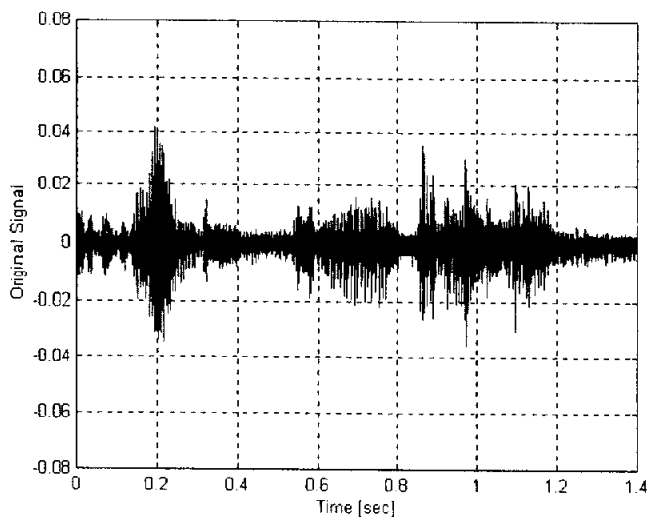


그림 15. Time waveform of source sound

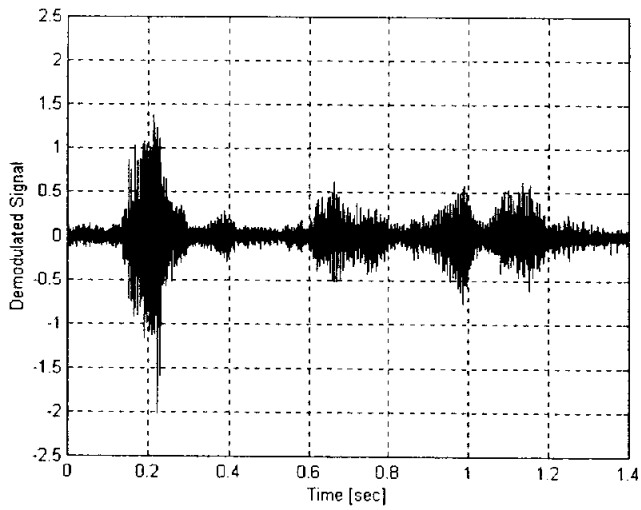


그림 16. Spectra of system speech with
engine stop condition(range:20m)

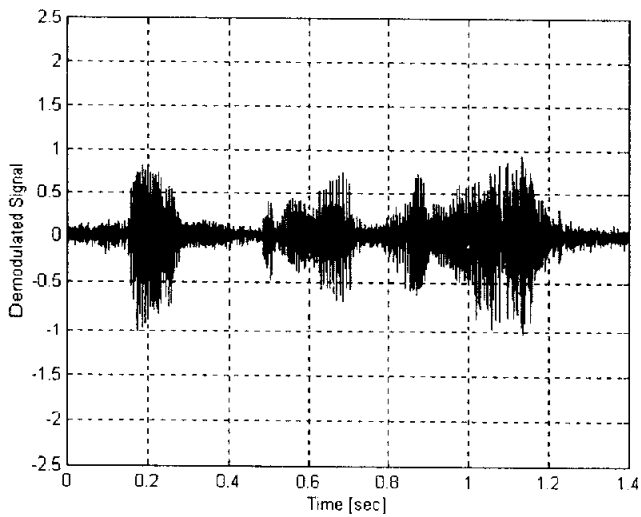


그림 17. Spectra of system speech with
engine idle condition(range:20m)

5.3 거리에 따른 송·수신 특성

그림 18에서 20에서 보는 바와 같이, 송신국과 수신국의 거리를 각각 20m, 50m, 400m 로 하였을 때 거리에 따른 수신신호의 스펙트럼을 나타내는 그림들이다.

32.7kHz 대역을 중심으로 우측에 상측파대가 나타나며 좌측에 필터링된 하측파대의 잔류파가 나타나고 있음을 볼 수 있다.

그림 18은 송·수신국간의 거리가 20m인 경우에 수신신호의 스펙트럼을 보여주고 있는데, 수신신호는 배경잡음에 거의 영향을 받지 않아 원신호의 형태와 유사하다.

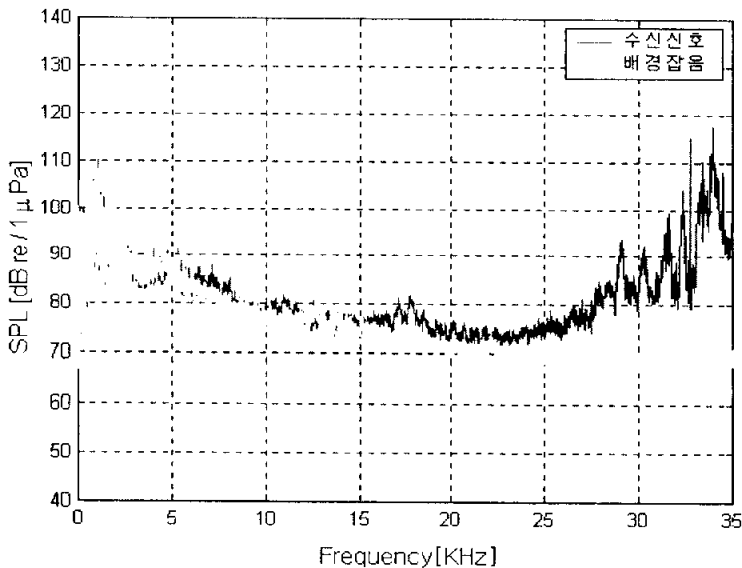


그림 18. Spectrum of received signal(range:20m)

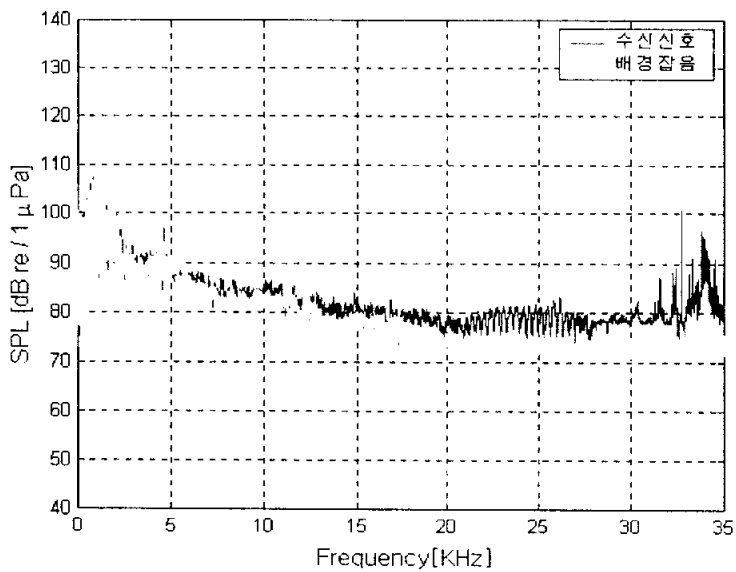


그림 19. Spectrum of received signal(range:50m)

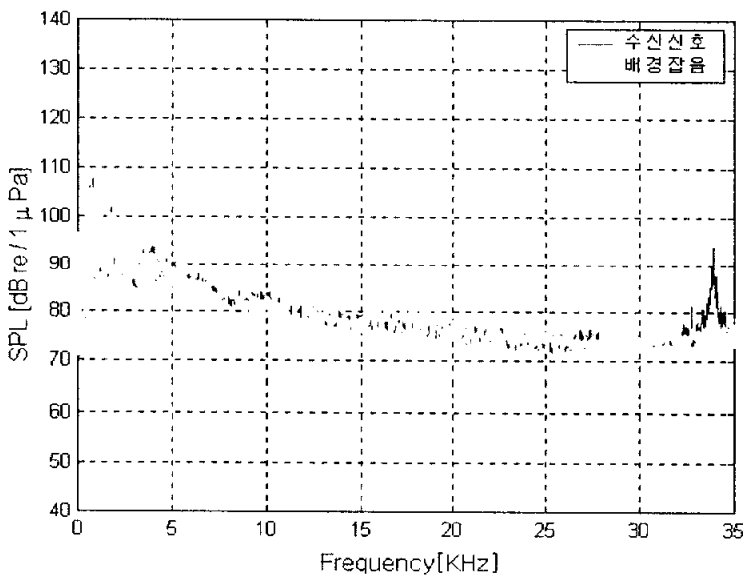


그림 20. Spectrum of received signal(range:400m)

그림 19는 송·수신국간의 거리 50m에서 측정한 수신신호 스펙트럼으로써, 20m에서의 스펙트럼과 비교할 때 수신신호와 배경잡음이 약 7dB의 차이를 보인다. 이것은 거리가 멀어짐에 따라 수신신호의 감도가 떨어진다는 것을 알 수 있다.

그림 20에서 송·수신국간의 거리가 400m가 되었을 때 수신신호와 배경잡음의 차이는 5dB 미만으로 수신신호의 감도는 매우 낮아지게 된다.

6. 결론

본 연구에서는 SSB(Single sideband) 변조 방식의 여러 가지 기법과 SSB 변조 방식을 이용한 무선수중통신시스템의 해양 환경에서의 수중전달특성을 알아보았다.

SSB 변조는 무선수중통신시스템의 수중국의 수상으로부터 전력 공급이 차단되므로 저전력 소모를 위해 일반적으로 채택되고 있는 기법이다. 반 송 주파수는 $32.7kHz$ 로 해양 배경잡음이 낮은 주파수 대역 내에 있어 높은 신호 대 잡음비를 얻을 수 있다.

송신국에서 발생된 음성 신호는 선박의 기관 정지시와 기관 가동시를 비교하였을 때, 기관 가동시에 발생하는 소음에 의해 신호의 크기가 달라지게 된다는 사실을 알 수 있었다.

또한 실험을 통해 나타난 바와 같이, 송신국과 수신국의 거리가 멀어짐에 따라 신호의 파워가 약해지고 그에 따라 수신신호와 해양 배경잡음의 dB 차이가 점차적으로 줄어들기 때문에 수신신호의 감도는 약해진다는 것을 알 수 있다.

추후에 연구되어질 과제로는 수신신호의 감도를 보다 높이기 위한 향상된 시스템의 제작과 본문에서 언급된 다른 SSB 변조 방식을 이용한 시스템의 개발을 통해 수조실험과 해양 환경에서의 실험이 수행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] A. Bruce Carlson, "Communication Systems", pp. 519-522. 3rd edition, 1986
- [2] Milica Stojanovic, "Recent Advances in High-Speed Underwater Acoustic Communications", pp. 125-128. IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol.21, April 1996
- [3] David Porta, "Underwater Acoustic Communications", Sea Technology, pp. 49-55, February 1998
- [4] Daniel B. kilfoyle and Arthur B. Baggeroer, "The state of the art in Underwater Acoustic Telemetry", IEEE Journal of oceanic engineering, Vol. 25, No. 1, pp. 4-27, 2000
- [5] R.J. Urick, "Principles of Underwater Sound", McGraw-Hill, 3rd edition, 1983
- [6] J.R. Hey G3TDZ "Simple SSB generator" Electronics Today in August pp 48-51, 1979
- [7] Lawrence E. Kinsler, Austin R. Frey, Alan B. Coppins and James V.Sanders, "Fundamentals of Acoustics", John Wiley & Sons, INC., 1982
- [8] 김동현, "무선 수중전화기 설계" 부경대학교 대학원 석사 학위 논문, 2000

- [9] Hyeon Ok SHIN, "Development of Underwater Data Communication System(I)-echo signal transfer system-", Bull. Korean Soc, Fish, Tech, 35(3), pp 284-289, 1999
- [10] John G. Proakis, "Digital communications", Fourth Edition, McGraw-Hill Book Company, 2000
- [11] Herman Medwin, Clarence S. Clay "Fundamentals of Acoustical Oceanography" ACADEMIC PRESS, pp 94-97, 1998
- [12] 손근영, 노용주, 윤종락, "수중 데이터 통신 시스템 개발 - 변조방식의 성능비교", 한국음향학회 학술발표회 논문집 10권 2(s)호, pp 281-284, 2000
- [13] Gerard Ayela, Michel Nicot and Xavier Luton, "New Innovative, Multimodulation Acoustic Communication System", Proc. IEEE OCEANS 94', pp I-292-295, 1994