

---

# 천해에서 SSB 모뎀의 실험결과 분석

주형준\* · 한정우\* · 김기만\*

Experimental Results of SSB Modem in Shallow Sea.

Hyng-jun Ju\* · Jung-woo Han\* · Ki-man Kim\*

---

이 논문은 방위 사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다.

---

## 요 약

본 논문은 SSB(Single Side Band) 변조 기법을 이용하여 실제 해상에서 실험을 수행한 결과를 분석하였다. 현재 수중 통신 분야에서의 연구는 디지털 변조 기법 및 OFDM이나 MIMO 시스템을 적용하고 있으나, 실제 해상에서 사용되는 상용 통신기로는 아날로그 변조 방식을 많이 사용하고 있다. 그에 따라 본 연구에서는 한국 해양 특성에 맞는 고품질의 수중 통신기기 개발을 목적으로 실험을 수행하였다. 실험은 SSB 아날로그 변조 기법으로 경상남도 진해 연안 천해의 조건에서 수행되었으며, 데이터는 수중 채널 특성 파악을 위한 톤 신호와 LFM 신호 및 실제 음성 통신을 위해 한국인 여성의 음성을 사용하였다.

## ABSTRACT

In this paper we achieve experimental data evaluation using SSB(Single-side band) modulation in the ocean. Present research in underwater communication is applying digital modulation, OFDM and MIMO system. However, Commercial modems using analog modulation techniques in oceans. So, we achieved experimental for modem appliance development of correct high quality in South Korea sea characteristics. This experimets achievd useing SSB analog modulation in Jin-hae shore of shallow water condition. Used data are tonal and LFM signal for getting underwater channel characterisitcs and female Korean speech for speech communications.

## 키워드

SSB, Spectral Distance, 상관계수

## I. 서 론

수중 통신은 수중에서 수집된 데이터를 전송하기 위해 그 동안 고속·장거리 전송을 목표로 많은 연구가 이루어져 왔다. 그러나 수중에서는 매질 특성상 전파대신 음파를 사용하여야 하고 음파는 고주파 손실이 커서 대

역폭이 좁고 배경 잡음의 영향을 많이 받는다. 특히 천해 환경에서는 신호의 다중 경로 전달로 인한 시간축 퍼짐(time spreading) 현상과 상대적인 이동으로 인한 도플러 퍼짐(doppler spreading) 및 낮은 신호 대 잡음비를 갖게 되어 이를 극복하기 위한 많은 신호처리 기법들이 연구되었다[1,2].

기존에 연구된 수중 통신 시스템을 구체적으로 살펴 보면, 미국의 WHOI (Woods Hole Oceanographic Institution)는 데이터 소닉스사와 함께 미 해군 연구소의 지원으로 15 kHz 대역에서 MFSK (Multiple Frequency Shift Keying) 변조 기법을 사용하여 1200 bps로 데이터 전송 실험을 수행하였다[3]. 일본에서는 수중 영상 전송을 위해 4-DPSK (Differential Phase Shift Keying) 변조 기법과 20 kHz 대역에서 16 kbps의 전송율을 얻었으며[4], 데이터 전송율을 높이기 위해 QAM (Quadrature Amplitude Modulation) 변조를 이용하여 60 m의 근거리에서 500 kbps 전송율을 실현한 시스템도 보고되었다 [5]. 국내의 경우 외국보다는 그 연구 규모가 작지만 전송율을 향상시키기 위해 송신 하이드로폰 어레이를 사용하거나 채널 추정을 이용한 방법을 연구하였다[6,7]. 또한 간단한 수중 채널 모델을 이용하여 FSK 방식의 이론적인 성능을 분석하고[8], DPSK, BPSK (Binary Phase Shift Keying)와 같은 변조 기법에 따른 성능을 시뮬레이션을 통해 고찰하였다[9]. 아울러 수중 영상 전송 시스템이 구현되었으며[10, 11], BFSK 변조 방식 및 BPSK 변조 방식을 이용하여 실험적 고찰이 이루어졌다[12,13].

이러한 수중 통신 채널의 특성 때문에 지난 연구 결과에서 확인하였듯, 과거에는 PSK나 QAM 등과 같은 동기 위상 (phase-coherent) 디지털 변조기법보다는 FSK 등과 같은 비동기 위상 (non-coherent) 변조기법을 이용하여 수중 통신 시스템을 구현하였다[2]. 그러나, 미국 WHOI에서 PSK 기법을 수중 통신에 적용한 결과를 발표한 이후로 동기 위상 변조기법을 활용한 수중 통신 시스템 연구가 활발히 진행되고 있다.

이렇듯 현재 수중통신 분야는 낮은 오류율과 높은 데이터 전송율을 위해 주로 PSK 등의 디지털 변조 기법이 사용되고 있으며, spatial-time coding 등의 오류 정정부호 및 OFDM 이나 MIMO 시스템 등의 적용이 수행되고 있다. 국내에서의 경우 해외보다 연구발전은 뒤처지지만, 앞서 언급된 것처럼 최근 많은 연구결과를 발표하고 있으며, PSK를 이용한 이미지 전송 시스템에 대한 논문도 발표되었다. 하지만 단방향 통신만 가능하며, 실제 통신기 적용에 대한 문제는 남아 있다. 그러나 이러한 디지털 수중 통신 모뎀은 아직 상용화가 되지 않았으며, 현재 수중 통신 기기들은 아날로그 변조를 사용하고 있다. 이에 본 논문에서는 성능향상을 위한 실험적 단계의 모뎀 연구를 벗어나 실제 한국 해양에서 고품질로 통신 가능한 실제

통신기의 개발을 목적으로 아날로그 변조 기법을 이용하여 실제 해양에서 선박을 이용하여 실험을 수행하였다.

## II. SSB(Single Side Band) 변·복조

다양한 정보원으로부터 생성되는 기저대역 신호는 주어진 채널을 통해 직접 전송하기에 항상 적합한 것은 아니다. 이러한 신호들은 보통 전송을 용이하게 하기 위해 수정된다. 이러한 변환 과정을 변조라고 한다. 아날로그 신호를 대상으로 하는 변조 기법에는 진폭 변조(AM), 주파수 변조(FM) 및 위상 변조(PM)의 세 가지가 있다. 이 중 진폭 변조 방식은 DSB (Double-Sideband) 방식과 SSB (Single-Sideband) 방식이 있다. DSB 방식의 스펙트럼은 두 개의 측대파 신호로 구성되어 있다. 각각의 스펙트럼은 기저대역 신호의 정보를 완벽히 가지고 있다. 한 쪽의 측대파 신호만을 전송하는 방식을 SSB(single-sideband) 전송방식이라 부른다.

SSB 신호는 동기검출로 수신이 가능하다. 예를 들면 그림 1(c)처럼  $\cos \omega_c t$ 를 USB 신호에 곱하면 그림 1(e)처럼 스펙트럼이 그려진다. 이 신호를 LPF에 통과시키면 원래의 기저대역 신호가 된다. LSB 신호도 같은 방법으로 구할 수 있다. 따라서 SSB 신호의 수신방법은 DSB-SC 신호와 같음을 알 수 있다. 지금 언급한 방법에서는 추가적으로 반송파 신호를 전송하지 않고 있다. 따라서 이러한 방법을 SSB-SC라고 부른다.

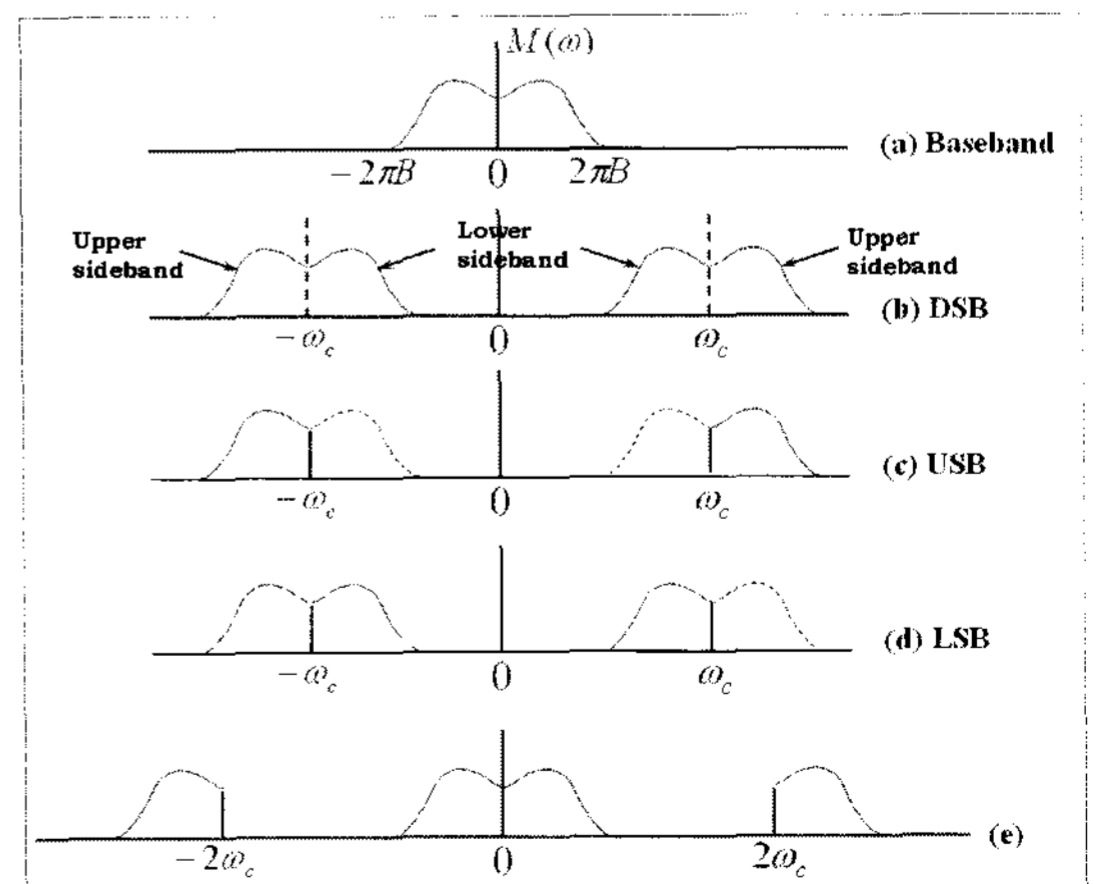


그림 1. SSB의 스펙트럼  
Fig. 1. Spectrum of SSB.

SSB-SC 변조는 신호의 주파수 스펙트럼을  $\omega_c$ 만큼 한 쪽으로 옮겨 놓는 것이다. 따라서 변조된 신호로부터 메시지 신호인  $m(t)$ 를 복원하기 위해서는 스펙트럼을 원래의 위치에 다시 가져다 놓아야 한다. 이렇게 변조된 신호로부터 원래의 신호  $m(t)$ 를 복원하는 과정을 복조 (demodulation)라고 한다.

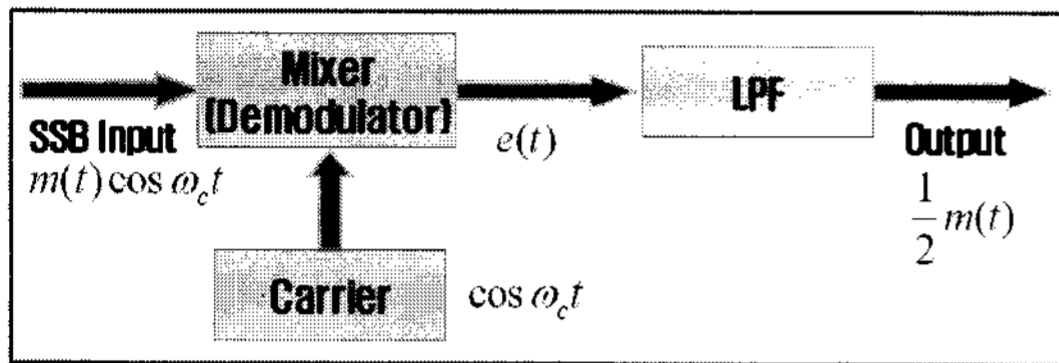


그림 2. SSB신호의 동기 검출기  
Fig. 2. Demodulator of SSB.

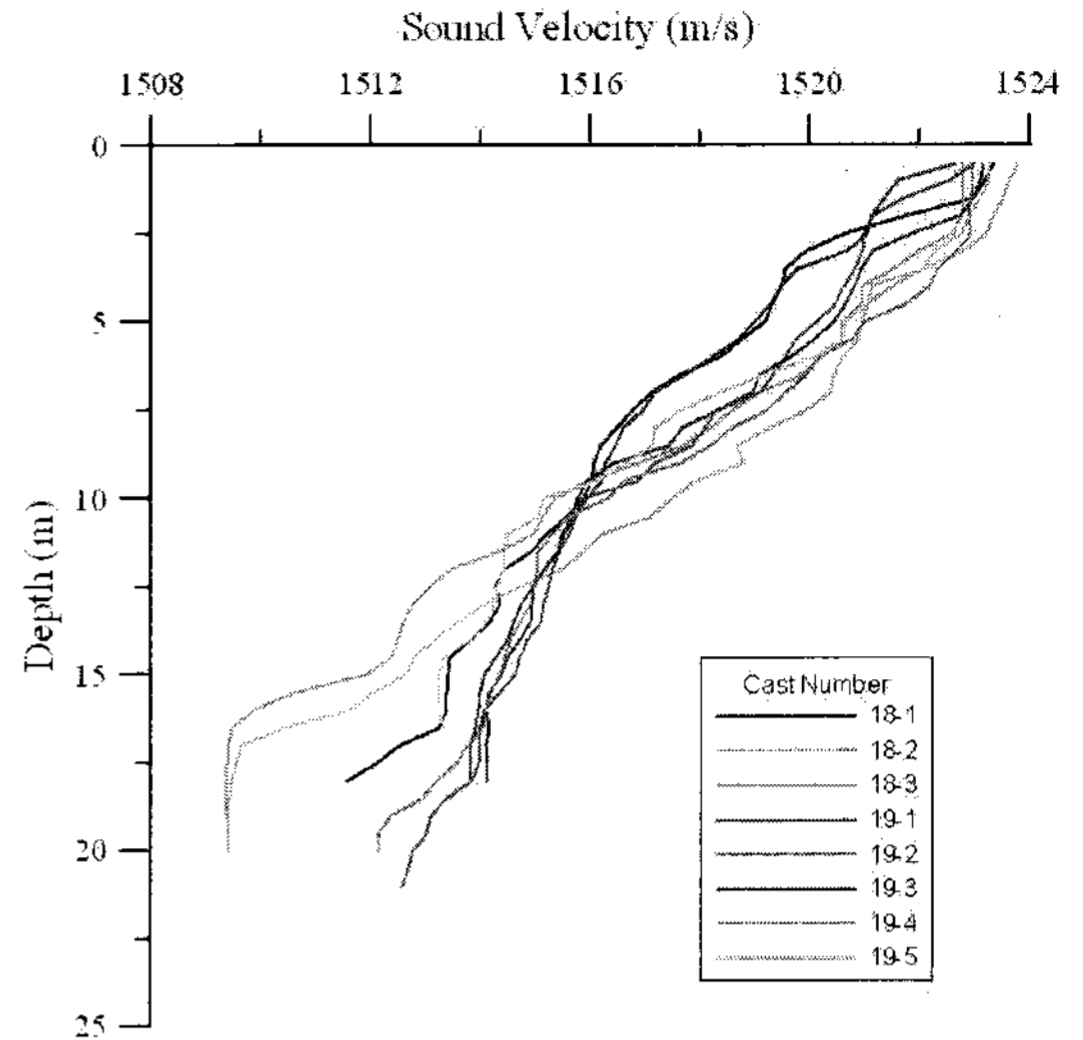


그림 3. 음속 프로파일  
Fig. 3. Sound velocity profile.

### III. 실험 환경

실험은 2007년 06월 이틀에 걸쳐서 경상남도 진해시 연안 천해의 조건에서 수행되었다. 실험에 사용된 데이터는 토널 신호 및 한국인 여성 음성과 LFM 신호를 사용하였다. 수중 환경을 예측하기 위해 총 8회에 걸쳐서 음속을 측정하였다. 그 결과를 그림 3에 나타내었다. 약 20 m의 깊이에 대해서 해수면에서 약 1525 m/s로부터 해저면 약 1514 m/s~1510 m/s까지 비교적 선형적인 음속 프로파일 구조를 보였다.

실험은 약 0.2~1.5km 사이에서 선박을 정박한 이후 수행하였다. 송신단에서는 일반적으로 사용되는 상용 통신기를 사용하였으며, 수신단에서는 수직 센서 어레이(VLA : Vertical Sensor Array)를 사용하여 신호를 수신한 이후 복조하는 과정을 거쳤다. 센서 어레이는 총 9개를 사용하였으나, 본 논문에서는 한 채널에 대한 분석만을 수행한다. 이러한 실험의 개념도가 그림 4에 나타나 있다. 실험 해역의 수심은 약 25m로써 굉장히 얕은 천해의 조건이다.

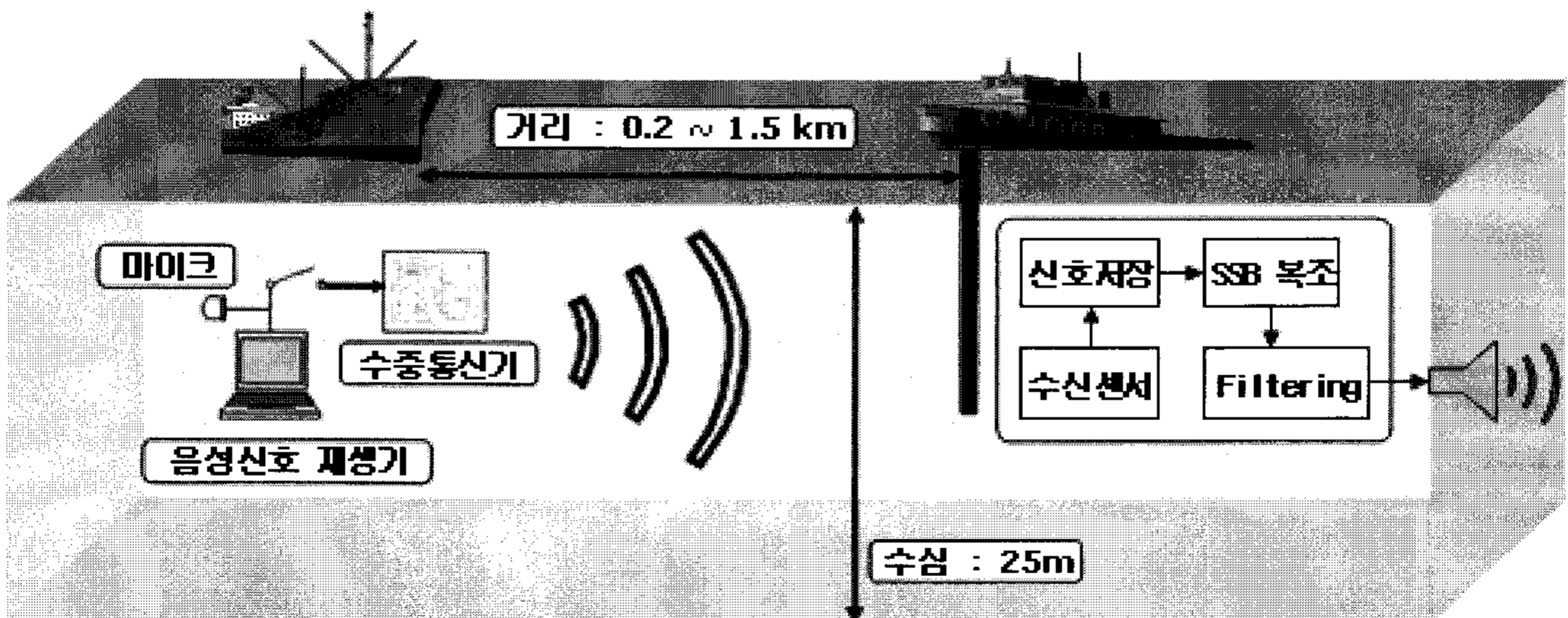


그림 4. 실험 환경  
Fig. 4. Experimental Environments.

### IV. 실험 결과 및 분석

#### 가. 약 0.2km의 경우

실험은 네 가지 거리에 대해서 수행되었으나 본 논문에서는 대표적인 경우만 분석한다. 첫 번째는 약 0.2km의 거리에서 통신한 경우이다. 그림 5에 신호의 파형을 나타내었다.

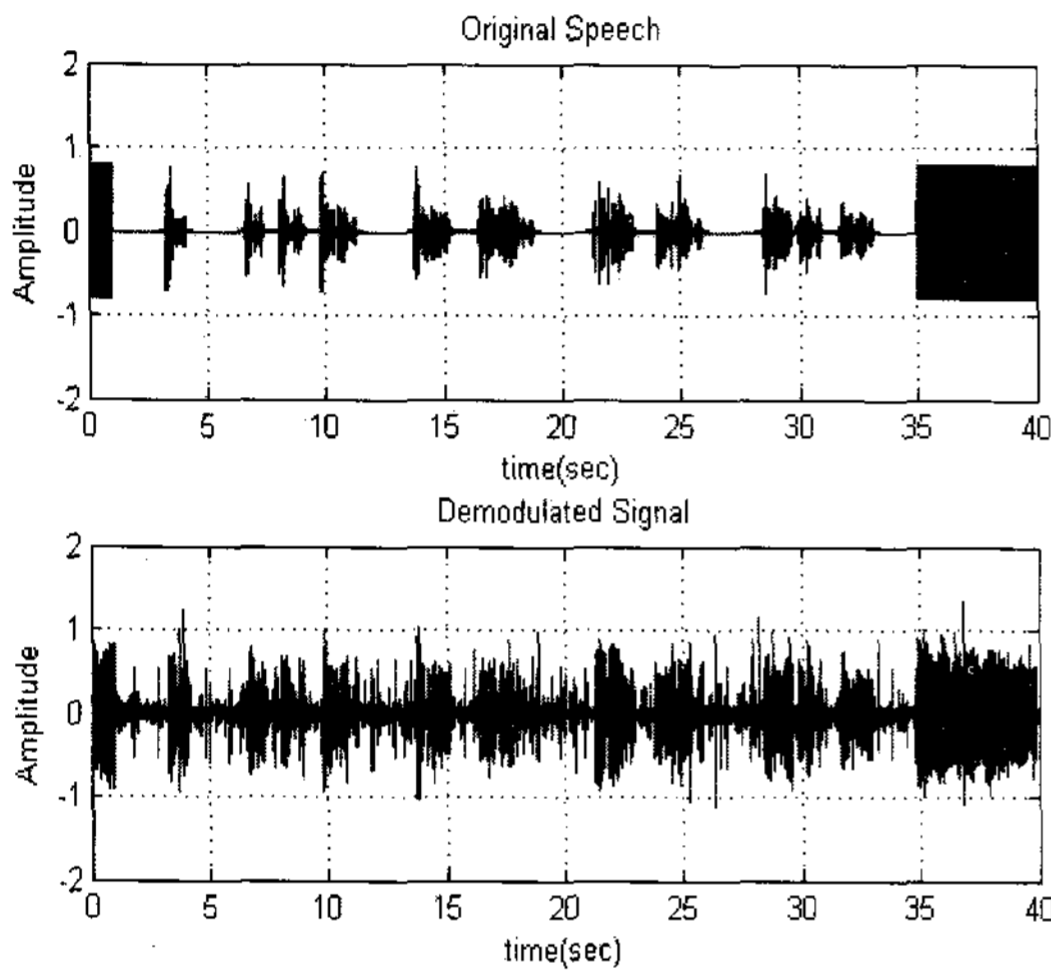


그림 5. 원신호와 복조된 신호의 파형

Fig. 5. Waveforms of original and demodulated signal.

첫 번째 그림은 소스로 사용된 실제 깨끗한 신호이며, 두 번째 그림은 수신된 신호를 복조한 그림이다. 신호의 형태는 최초 1초간의 토널 신호와 이후 음성신호, 끝에 5초간의 LFM신호가 사용되었다. 복조된 신호를 보면, 잡음 및 다중경로에 의한 약간의 잔향효과가 있음을 육안으로 식별할 수 있다. 또한 모든 데이터들에서 공통적으로 나타나는 현상으로써, 음성 샘플들 사이에 spike 형태의 잡음이 주기적으로 발생하고 있다는 것을 알 수 있다. 두 신호는 샘플주기가 일치하며, 파형의 형태도 유사하게 나왔다. 실제 신호를 소리로 들어봤을 때 음성의 내용은 잘 인지 되었으나 spike의 소리가 크고, 잔향으로 인한 약간의 울림 현상이 발생하였다.

주파수 영역 신호 분석은 크게 FFT(Fast Fourier Transform)를 통한 주파수 영역 스펙트럼과 시간-주파수 영역 스펙트로그램 (Spectrogram)의 두 가지 결과를 이용하여 분석하였다. 또한 신호 전 구간 가운데 1초 길이의 음성구간, 1초 길이의 토널 신호구간, 5초 길이의 LFM 신

호 구간으로 나누어서 분석을 수행하였다. 분석 과정에서는 2048-point FFT를 수행하였으며, magnitude 스펙트럼은 선형 및 로그스케일로 표현하였다. 그림 6은 음성 구간의 magnitude 스펙트럼을 로그스케일로 나타낸 것으로 음성의 대역폭이 최대 4 kHz임을 감안하여 4 kHz 대역폭만 표현한 것이다.

각각 표시하는 스펙트럼의 신호 종류는 그림의 상단에서는 변조된 신호, 즉 송신 신호와 수신된 신호를 나타내었으며, 하단에는 변조되기 이전의 원 신호와 수신 후 복조된 신호를 함께 나타내었다. 변조된 신호는 8~9 kHz 영역에서 대역을 이루고 있으며, 복조된 신호에서 음성 신호의 대역은 대부분 1 kHz 이하 영역에서 스펙트럼이 대역을 이룬다. 로그 스케일로 나타낸 그림에서 원하는 신호가 존재하는 주 대역에서 원 소스 신호와 복조된 신호 사이에 5dB 내외의 값이 차이가 발생하였다.

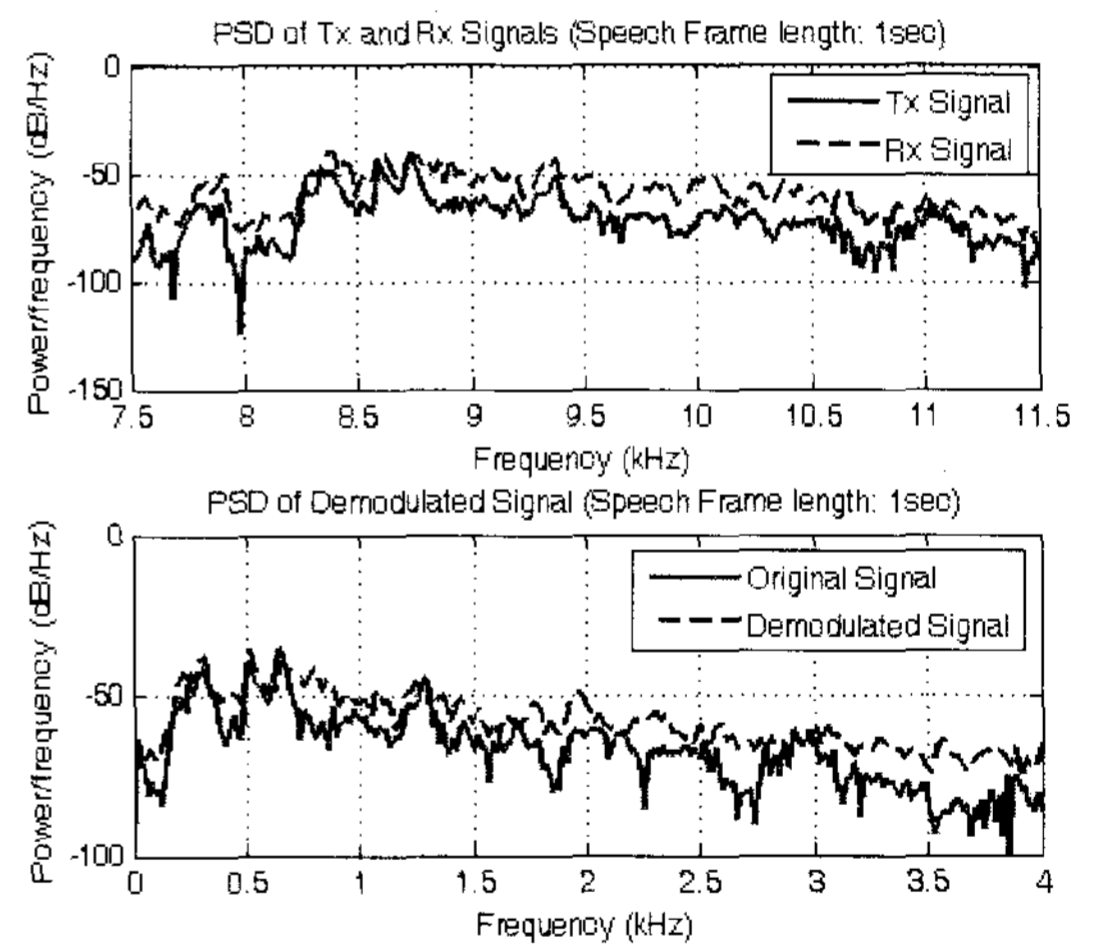


그림 6. 음성 신호의 주파수 스펙트럼

Fig. 6. Frequency spectrum of speech signal.

그림7은 소스 신호와 복조된 신호에서 음성이 있는 부분만을 한 프레임으로 하여 분석한 스펙트로그램으로 프레임의 길이는 1초이다. 위쪽 소스 신호의 스펙트로그램은 전형적인 음성의 스펙트로그램 모습을 잘 보여주고 있다. 복조된 신호는 4 kHz 이하의 영역에서 원 신호와 비슷한 스펙트로그램을 보여주고 있다. 그러나 주파수 스펙트럼에서 확인하였듯 음성 신호 이외의 잡음의 파워값이 증가함에 따라 복조된 신호의 스펙트로그램에서 비 음성 구간의 파워가 진하게 표시되어 있다.



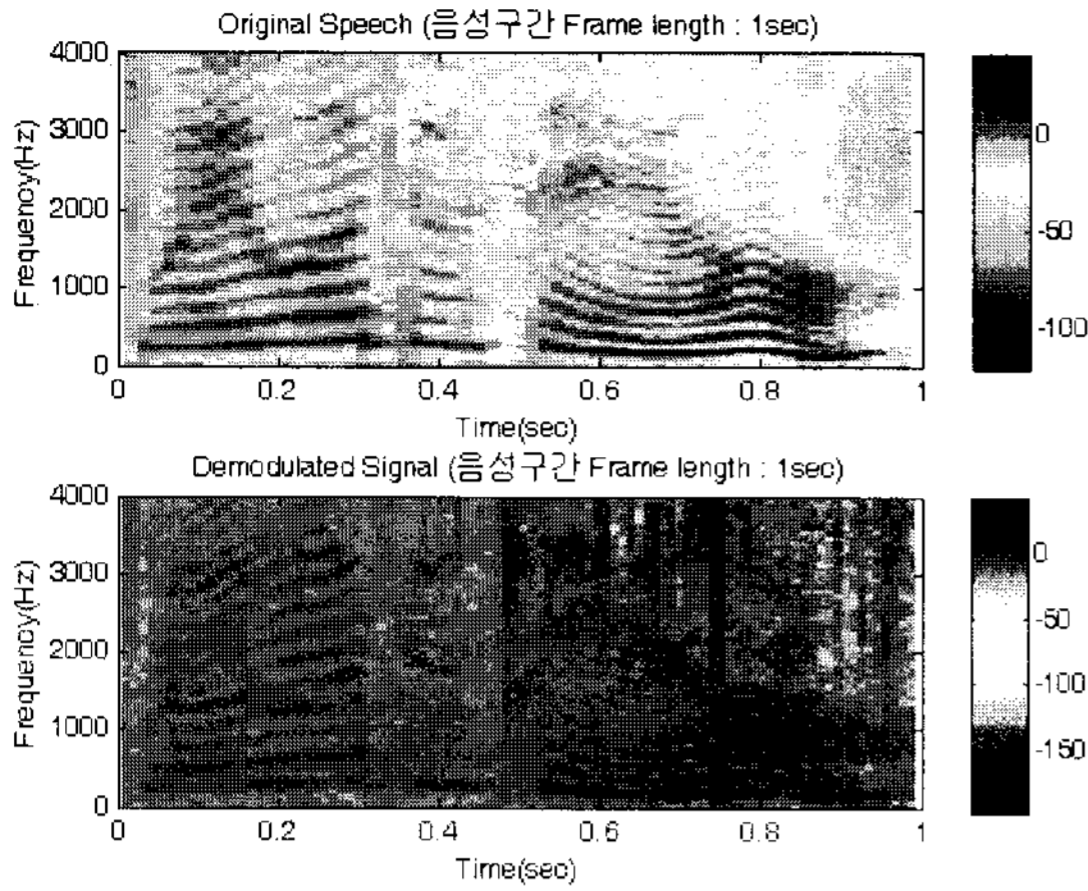


그림 7. 음성 신호의 스펙트로그램  
Fig. 7. Spectrogram of speech signal.

그림 8은 음성신호의 앞부분에 Sync 신호로 사용된 톤 신호의 주파수 스펙트럼을 분석한 것이다. 우선 변조된 신호와 수신된 신호의 스펙트럼에서 수신된 신호가 송신된 신호에 비해 주파수 대역폭이 약간 넓어졌다 (spectrum spreading). 원 신호와 복조된 신호 역시 그 차이는 작지만, 주파수 대역이 조금 더 넓은 것을 확인할 수 있다. 이는 도플러 확산(doppler spreading)의 영향이다. 실제로 도플러 확산은 송신단이나 수신단이 이동시에 발생하지만, 이와 같은 스펙트럼 확산은 실험 당시 파도 등으로 인한 해수면의 거칠기의 영향과 조수에 의한 센서 어레이의 흔들림에 기인한다.

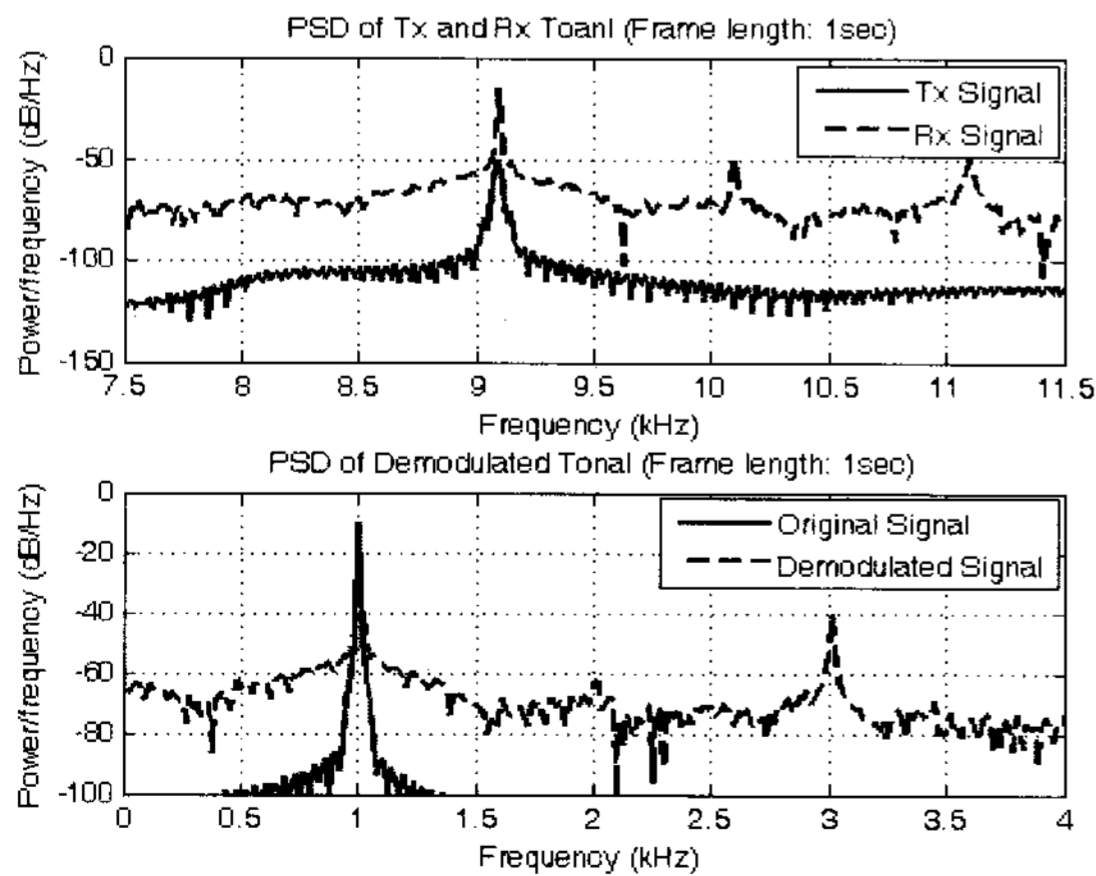


그림 8. 톤 신호의 주파수 스펙트럼  
Fig. 8. Frequency spectrum of tonal signal.

그림 9는 톤 신호의 스펙트로그램이다. 위의 그림은 원 신호이고 아래 그림은 수신된 신호의 복조된 데이터이다. 1 kHz의 톤 신호와 2 kHz씩 증가하는 하모닉스 성분들이 존재한다. 복조된 신호에서는 복조과정에서의 필터링의 효과 때문에 3 kHz의 하모닉스만 잔존하고, 나머지 성분은 거의 소멸되었다.

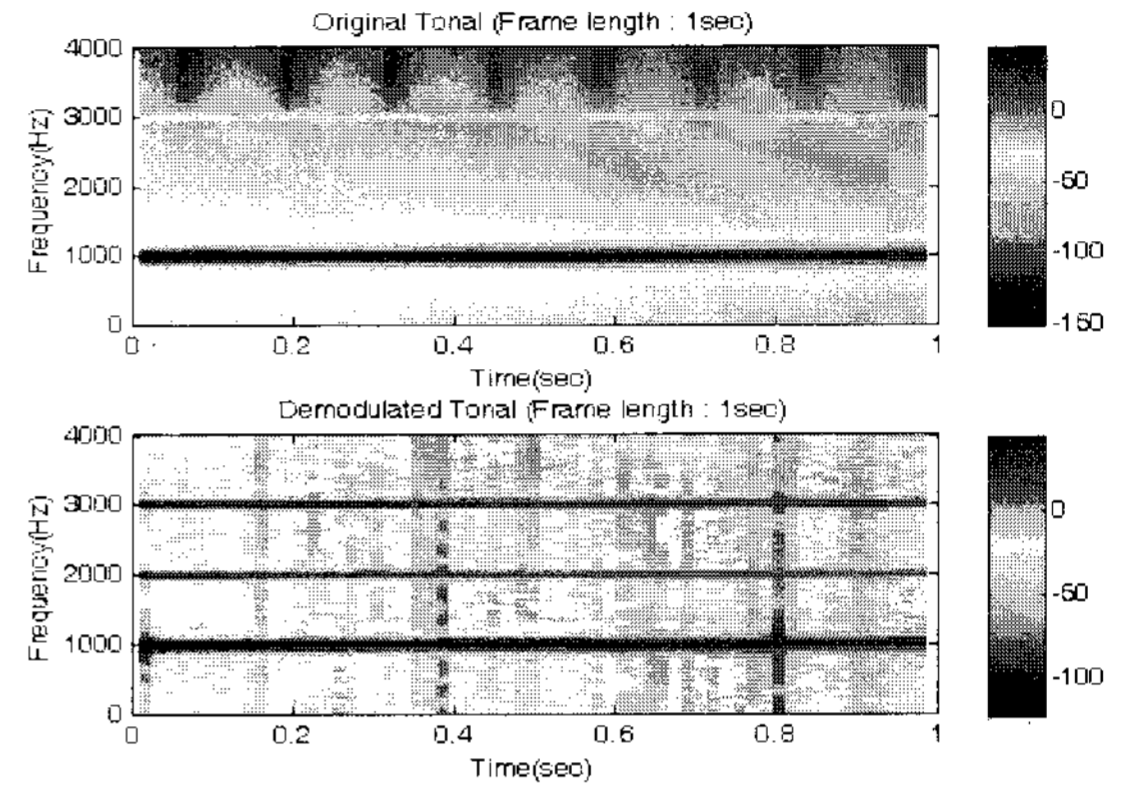


그림 9. 톤 신호의 스펙트로그램  
Fig. 9. Spectrogram of tonal signal.

그림 10에는 LFM 구간의 스펙트럼을 나타내었다. LFM 신호는 대략 500 Hz부터 2.5 kHz까지 대역을 이루고 있다. 음성이나 톤 신호의 경우 비 신호 대역에서 송수신 신호 사이의 PSD (Power Spectral Density) 값의 차이가 5 dB 내외였으나, LFM 신호의 경우 약 50dB 정도로 그 값이 매우 크게 발생하였다.

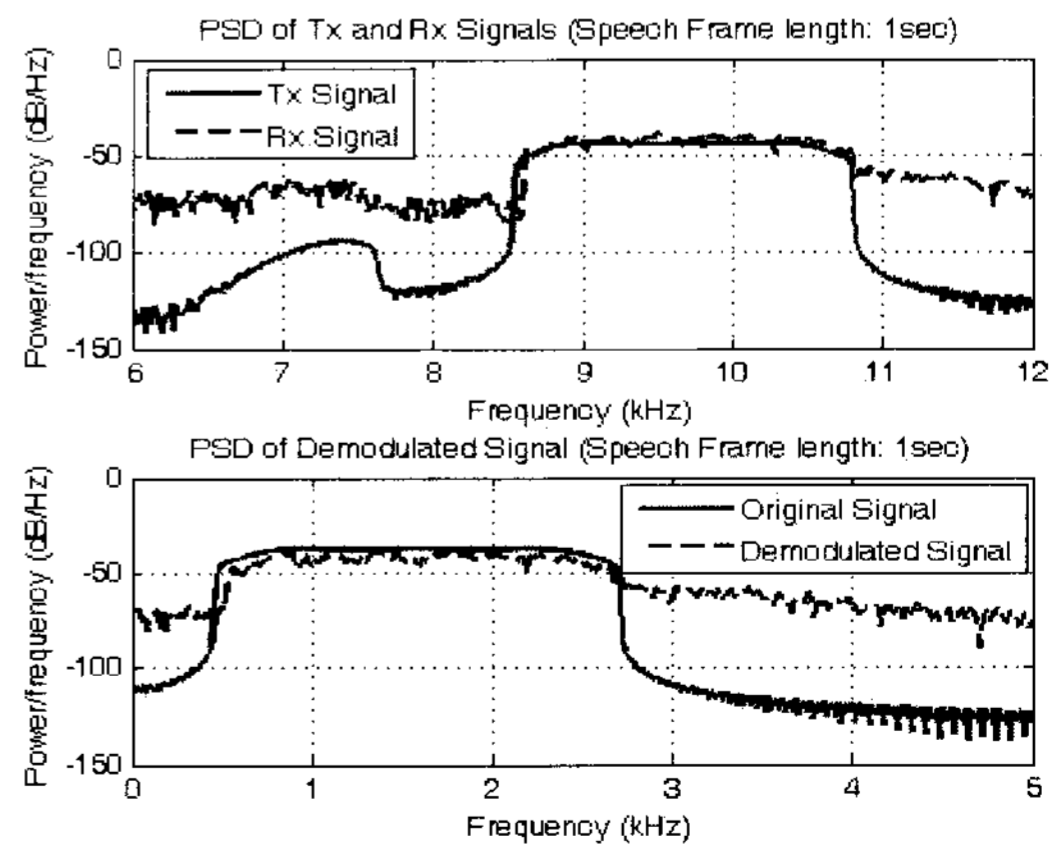


그림 10. LFM 신호의 주파수 스펙트럼  
Fig. 10. Frequency spectrum of LFM signal.

또한 변조신호에서 LSB (Lower Side Band) 성분이 나타나는 것을 볼 수 있다. 파형이 잘려나간 형태로 보아 변조 이후 USB(Upper Side Band) 성분만 남겨놓는 대역 통과 필터링 과정에서 필터의 주파수 cutoff 특성이 예리하지 못해서 LSB 성분이 제대로 제거되지 않은 것이다.

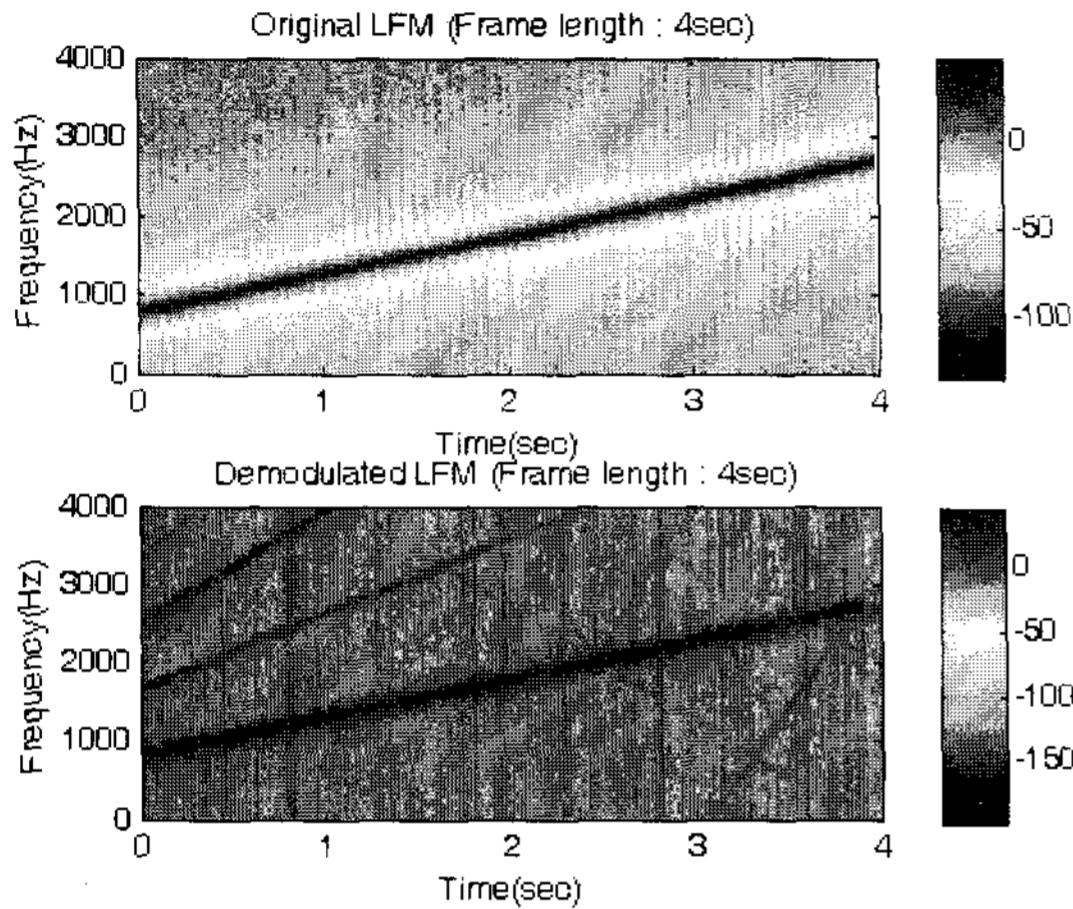


그림 11. LFM 신호의 스펙트로그램  
Fig. 11. Spectrogram of LFM signal.

그림 11은 5초 동안의 LFM 신호중 4초 구간만 나타낸 스펙트로그램으로 4초의 시간동안 주파수가 선형적으로 증가하고 있으며, 그 기울기는  $(2500 \text{ Hz} - 900 \text{ Hz}) / 4 \text{ sec} = 400 \text{ Hz/sec}$  이다. 복조된 신호에서는 음성의 경우와 마찬가지로 원 신호와 같은 부분이 가장 높은 레벨 값을 가지고 있지만, 전체적으로 넓은 대역의 잡음 성분이 존재한다. 특히, 원 신호의 스펙트럼 위로 빗살무늬의 사선 형태로 잡음보다 강한 레벨의 다른 LFM 하모닉스 신호 성분이 존재한다. 이는 다중경로의 영향 및 복조 과정에서 전자기기의 비선형성에 의한 영향으로 볼 수 있다.

나. 약 1.5km의 경우

실험 내용 중 가장 긴 거리인 약 1.5 km의 파형을 그림 12에 나타내었다. 파형을 살펴보면 잡음의 영향이 매우 크다는 것을 알 수 있다. 파형만으로는 토널, 음성신호, LFM 구간을 판별하기 어렵고 복조된 음성을 들었을 경우 잡음의 소리는 매우 크지만, 미약한 음성의 식별은 가능하였다.

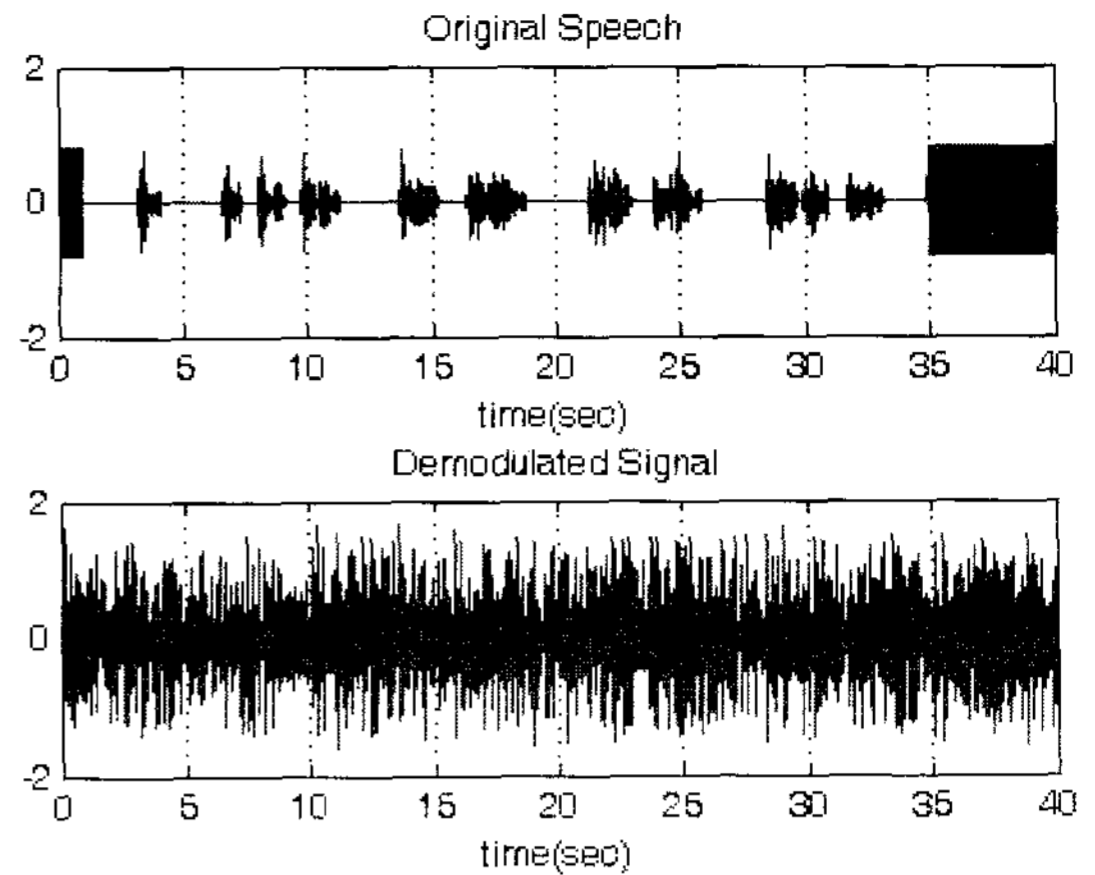


그림 12. 원신호와 복조된 신호의 파형  
Fig. 12. Waveforms of original and demodulated signal

그림 13에는 1초 음성구간의 스펙트로그램을 나타내었다. 위는 원 음성구간이며 아래는 수신후 복조된 신호의 음성구간이다. 파형에서도 확인할 수 있듯이 약 0.2km의 경우와 비교하여 잡음의 크기가 강화되었다.

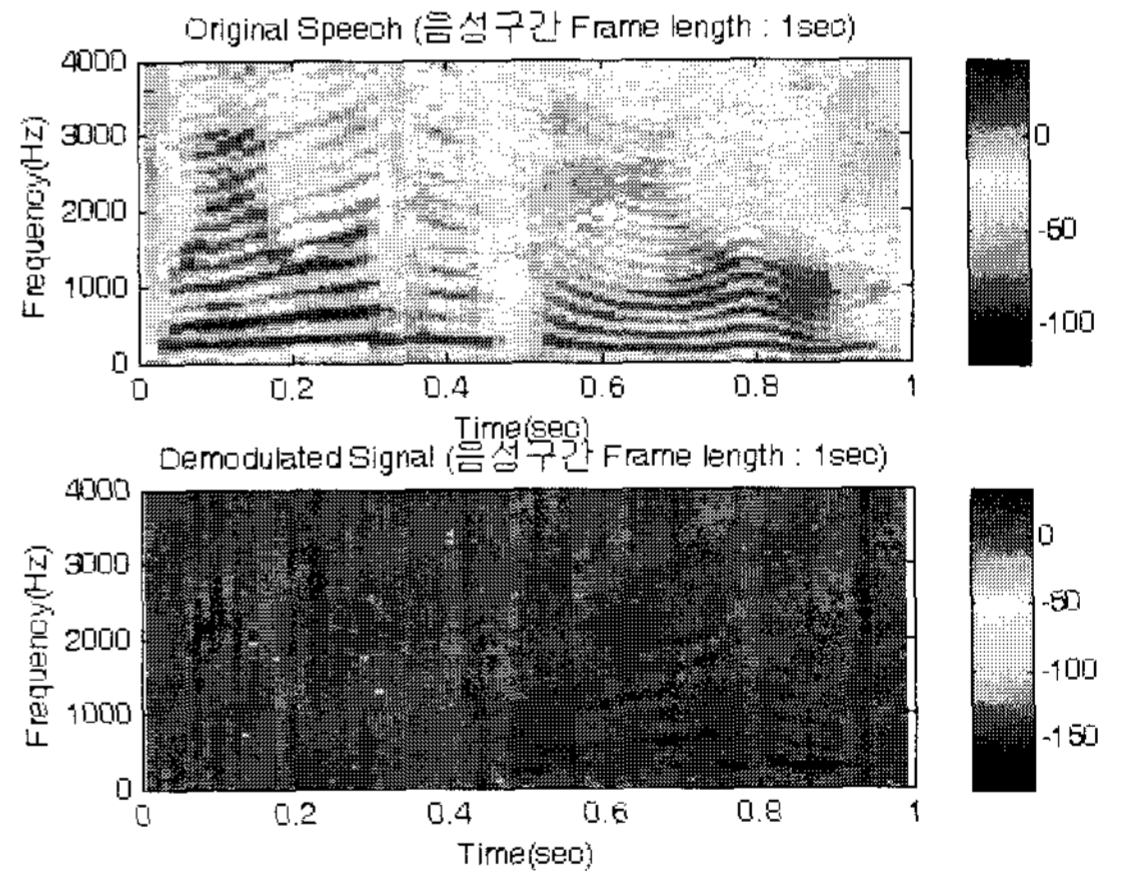


그림 13. 음성 신호의 스펙트로그램  
Fig. 13. Spectrogram of speech signal.

그림 14에는 LFM 신호의 주파수 스펙트럼을 나타내었다. 스펙트럼의 형태는 약 0.2km의 경우와 유사하게 나타났다. 하지만, 원신호와 복조된 신호의 스펙트럼을 비교하였을 경우 약 0.2km의 경우에 비해 약 10~15dB 정도 잡음의 영향이 커졌음을 확인하였다.

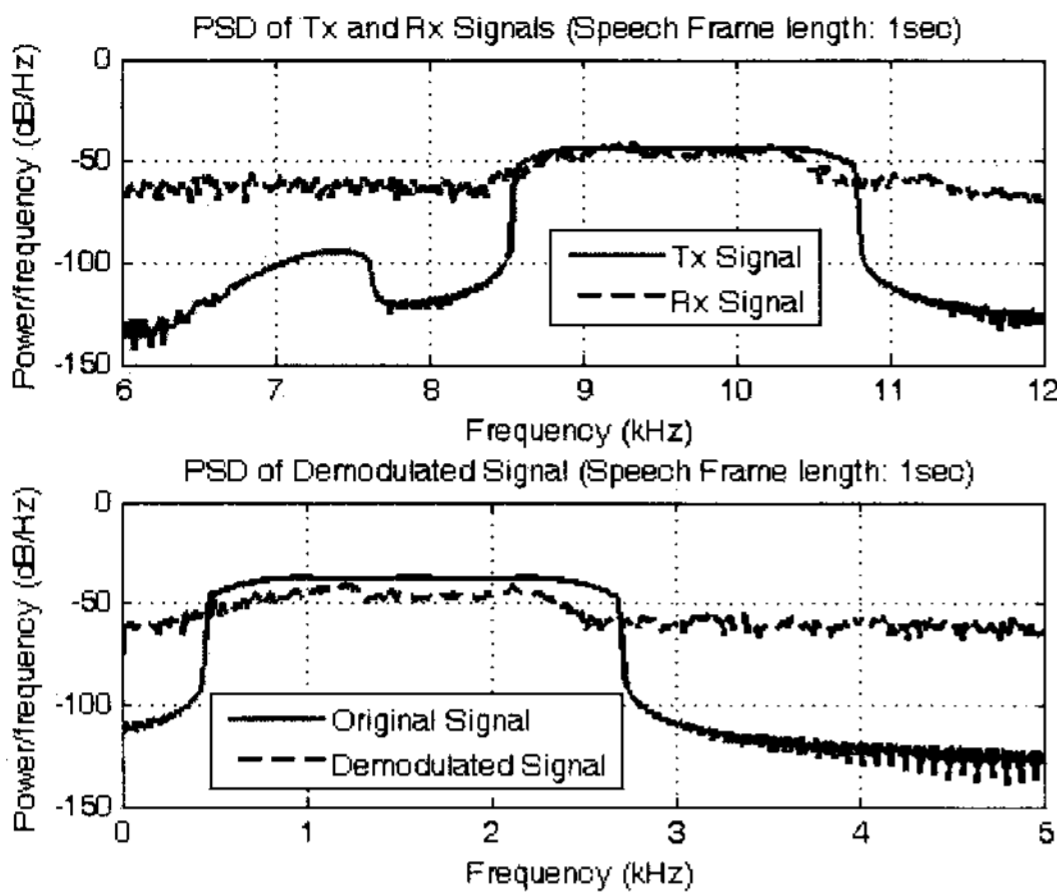


그림 14. LFM 신호의 주파수 스펙트럼  
Fig. 14. Frequency spectrum of LFM signal.

다. 객관적 실험결과 분석 지표

앞서 분석되었던 신호 파형 및 주파수 스펙트럼에 대한 분석 내용은 육안으로 관찰하는 주관적인 척도에 의존하고 있다. 그에 따라 분석 결과들에 대해 객관적 척도로써 상관계수(correlation coefficient)와 spectral distance(SD)를 이용하여 결과를 비교하였다. 디지털 통신의 경우 BER(Bit Error Rate) 등의 분석 지표가 있지만, 아날로그 통신에는 적용 불가능하기 때문에 음성 품질의 척도를 측정하는 상관계수와 SD를 사용하였다.

상관계수는 두 변량 사이의 상관관계의 정도를 나타내는 수치(계수)이다. 우리는 이로부터 수신후 복조된 신호와 원래 소스 신호 사이의 상관계수를 구함으로써, 시간 영역에서 통신 거리별 수신신호와 원 신호 사이의 유사성을 비교한다.

측정값 (x,y)에 대하여 n개인 측정값 (x1,y1) (x2,y2) ,..., (xn,yn)이 주어졌을 때 식 (1)을 x,y 사이의 상관계수라고 한다[14].

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sigma_x \sigma_y} \quad (1)$$

여기에서,  $\bar{x}, \bar{y}$ 는 각각 x, y의 평균값이고,  $\sigma_x, \sigma_y$ 는 각각 x, y의 표준편차이다. 식 (1)의 우변의 분자에 있는 양을 x, y의 공분산이라고 한다. 상관계수 r은 항상 부등식  $-1 \leq r \leq 1$ 을 만족시키며,  $r > 0$ 인 경우는 양의 상관관계로

신호의 모든 성분이 완벽히 일치하면 1의 값을 가진다. 음의 상관관계가 있을 때는  $r < 0$ 으로써 신호의 위상차이가 있는 경우이다. 또 무상관일 때는  $r = 0$ 이 된다.

또한, 음성의 품질을 평가할 수 있는 객관적 척도들 중 주파수 영역에서 음성 스펙트럼의 magnitude에서 야기된 편차를 측정하여 평가하는 방법들이 있다. 그 중 가장 대표적인 방법 중의 하나가 spectral distance(SD)를 구하는 방법이다. SD는 식 (2)와 같이 표현된다.

$$SD = \left\{ \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L |ax(i) - ay(i)|^p \right\}^{\frac{1}{p}} \quad (2)$$

여기에서,  $ax(i)$ 는 원래 음성 신호의 magnitude 스펙트럼을 의미하고, L은 프레임당 계수의 수를 의미한다.

위에서 설명된 두 가지 척도의 이론을 바탕으로 음성 신호 데이터의 경우 결과를 확인하였다.

그림 15의 상단에는 correlation coefficient가 나와 있고, 하단에는 spectral distance가 나와 있다. 결과는 가로축의 가장 왼쪽부터 약 0.2km ~ 1.5km까지 선형적으로 증가하는 네 가지 거리의 경우에 대해서 성능차이를 비교할 수 있도록 나타내었다. 육상의 통신과는 달리 수중에서의 통신은 신호의 감쇄 및 잡음과 잔향음, 그리고 도플러 효과 등에 의해 성능이 매우 떨어진다. 그에 따라 두 가지 지표 값의 magnitude값이 매우 작은 값으로 나타나기 때문에 정규화를 하여 표현하였다.

앞에서 언급되었듯이 correlation coefficient는 두 신호가 서로 상관성이 떨어질수록 0에 가까운 값을 가지게 된다. 위의 그림에서 확인할 수 있듯이 우선 가장 가까운 두 거리의 경우는 양의 값을 가지고, 가장 먼 두 거리의 경우는 음의 값을 가진다. 결과는 가장 가까운 통신거리의 경우 신호의 상관도가 가장 높다고 나왔으며, 가장 먼 통신거리의 경우 음의 값을 가지며 가장 낮은 상관도가 나왔다. 음의 값을 가지는 것은 도플러 천이에 의해 주파수 천이가 발생하면서 위상 왜곡이 발생한 것으로 추정할 수 있다.

Spectral distance의 경우 두 신호 사이의 이질성을 의미하기 때문에 값이 낮을수록 유사한 신호라고 할 수 있다. 가장 가까운 거리의 경우 역시 가장 작은 값을 가지며, 송신신호와 수신신호 사이의 가장 높은 유사성을 보였다. 통신거리가 가장 긴 경우 가장 짧은 거리에 비해 약 1.6배 더 높은 값을 가지며, 음성신호의 품질이 훨씬 많이 떨어

졌음을 보여주었다.

상관 계수의 경우 비교 신호 사이의 동기에 따라서 그 값이 많이 차이가 발생할 수 있으나 SD는 주파수 영역에서의 해석이기 때문에 본 논문의 실험에서의 경우 상관 계수보다 신뢰성이 더 높다.

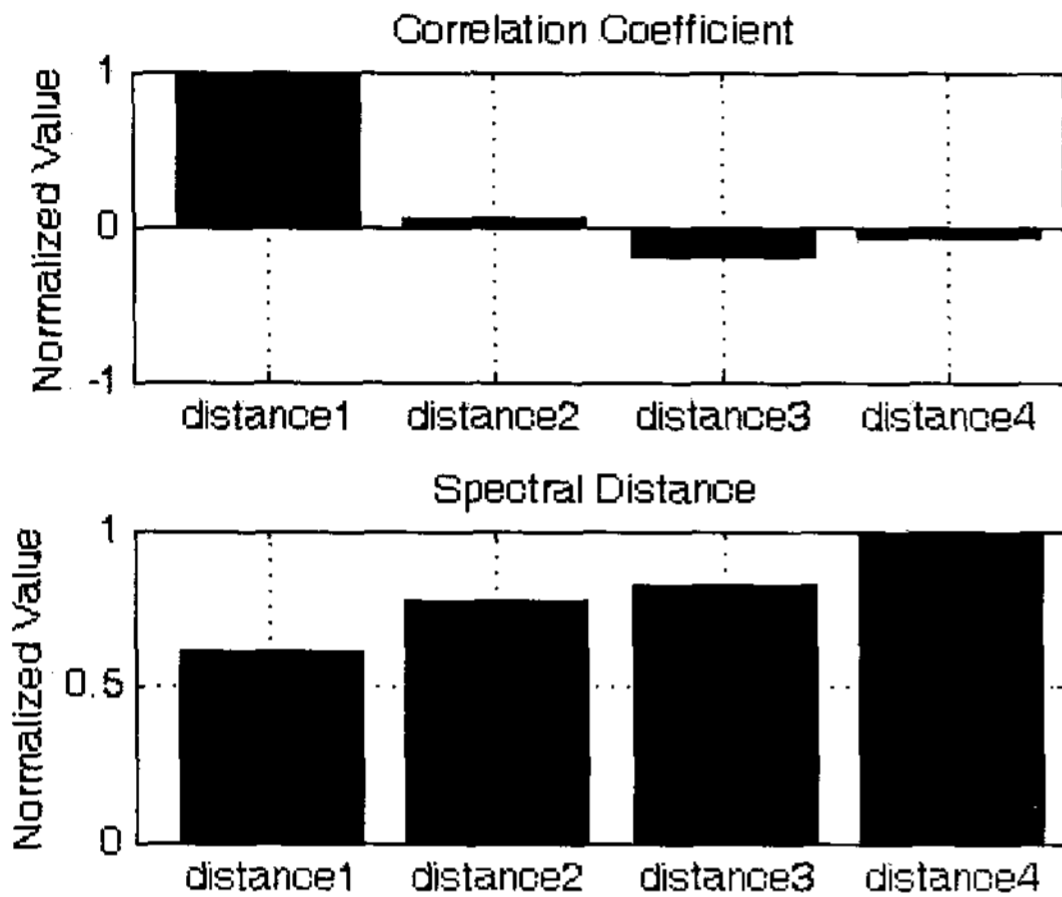


그림 15. 음성 신호의 상관계수와 SD  
Fig. 15. Correlation coefficients and spectral distance of speech signal.

### V. 결론

본 논문에서는 한국 해양에 적합한 수중 통신기 개발을 목적으로 실제 수중 통신용 모뎀의 설계에 앞서 해상 실험의 실측 데이터를 통해 실제 수중 환경에서의 SSB 변조 방식을 통한 음성 통신의 성능을 분석하였다. 하지만 수중에서는 해양의 다양한 환경 요소에 따라 음성 통신에 많은 제약이 따르게 된다. 이러한 통신 제약 조건에는 다중경로, 잔향, 도플러 확산, 수중 배경 잡음 등이 있으며, 이를 극복하기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다.

그에 따라 실험은 기존 수중통신기와 실험용 수중 통신기 세트(송신기 및 수신기)의 송수신 기능을 검증하기 위한 실험을 수행하였으며 본 논문에서는 모뎀의 송수신 기능에 대한 분석이 수행되었다. 그 결과 거리에 따른 객관적 신호 품질 평가 척도인 상관계수(correlation coefficient)와 spectral distance(SD)의 도출을 통해 거리가 가까울수록 통신 품질이 뛰어나다는 것을 확인할 수 있었다. 결과적으로 천해에서 SSB 통신을 할 경우 약 1.5km 이내의 거

리에서 원활한 음성 통신이 가능함을 확인하였다.

### 참고문헌

- [ 1 ] A. Baggeroer, "Acoustic telemetry - an overview," IEEE J. Oceanic Eng., vol.9, no.4, pp.229-235, Oct. 1984.
- [ 2 ] Daniel B. Kilfoyle and Arthur B. Baggeroer, "The state of art in underwater acoustic telemetry," IEEE J. Oceanic Eng., vol.25, no.1, pp.4-27, Jan. 2000.
- [ 3 ] S. Merriam and D. Porta, DSP-based acoustic telemetry modems, Sea Technology, May 1993.
- [ 4 ] M. Suzuki and T. Sasaki, "Digital acoustic image transmission system for deep sea research submersible," IEEE Oceanic Eng. Conf., pp.567-570, Newport, Oct. 1992.
- [ 5 ] A. Kaya and S. Yauchi, "An acoustic communication system for subsea robot," IEEE Oceanic Eng. Conf., Seattle, pp.765-770, Oct. 1989.
- [ 6 ] 이외형, 손윤준, 김기만, "하이드로폰 송신 어레이를 이용한 수중 음향 통신 시스템의 성능 향상," 한국음향학회지, vol.21, no.7, pp.606-613, Oct. 2002.
- [ 7 ] Oe-Hyung Lee, Yoon-Jun Son and Ki-Man Kim, "Underwater acoustic communications using channel estimation," IEEE Oceanic Eng. Conf., vol.3, pp.2453-2456, Biloxi, Oct. 2002.
- [ 8 ] 윤종락, 백승관, 박지현, 임춘단, "FSK 방식의 수중 데이터 전송 특성 해석," 제4회 해상무기체계 발전 세미나 논문집, pp.299-303, July 2002.
- [ 9 ] 손근영, 노용주, 윤종락, "수중 데이터 통신 시스템 개발 - 변조 방식의 성능 분석," 한국음향학회 학술발표대회 논문집, vol.19, no.2(s), Nov. 2000.
- [ 10 ] 임용곤, 박종원, 최영철, "Multipath를 고려한 수중영상 전송 시스템 설계," 한국해양정보통신학회 춘계 종합학술대회 논문집, vol.4, no.1, pp.419-424, May 2000.
- [ 11 ] 박종원, 고헌림, 이덕환 외 "QPSK 방식을 이용한 수중영상 정보전송 시스템의 DSP 구현 및 실험 연구," 한국음향학회지, vol.23, no.2, pp.117-124, Feb. 2004.
- [ 12 ] 이외형, 김기만, "BFSK 변조를 이용한 수중 음향 통



신의 실험적 고찰," 한국음향학회지, vol.22, no.5, pp.418-424, July. 2003.

[13] 주형준, 전재국, 김기만, "BPSK 변조를 이용한 수중 음향통신의 실험적 고찰," 한국마린엔지니어링학회 2005년도 전기학술대회 논문집, June, 2005

[14] Raj Reddy, Spoken language processing, Prentice Hall PTR, 2001.

### 저자소개



주형준(Hyung-jun Ju)

2004년 2월 : 한국해양대학교 전파공학  
학과 (공학사)

2006년 2월 : 한국해양대학교 전파공학  
학과 (공학석사)

2006년 3월~현재 : 한국해양대학교 전파공학과 박사과정  
※관심분야: 수중통신, 소나 신호처리, 잔향음 제거, 센서 네트워크, DSP 및 FPGA 시스템 설계



한정우(Jung-woo Han)

2007년 2월 : 한국해양대학교 전파공학  
학과 (공학사)

2007년 3월~현재 : 한국해양대학교  
전파공학과 석사과정

※관심분야: 수중통신, DSP, 마이크로프로세서 하드웨어 구현



김기만(Ki-man Kim)

1988년 2월 : 연세대학교 전자공학과  
(공학사)

1990년 8월 : 연세대학교 전자공학과  
(공학석사)

1995년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학박사)

1995년 3월~1996년 8월 : 연세대학교 의과대학 의용공  
학교실 (Fellow)

1996년 9월~현재 : 한국해양대학교 전파공학과 교수

※관심분야: 수중통신, 소나 신호처리, 3차원 음향제어, 채널 추정, DSP 및 CPLD 구현