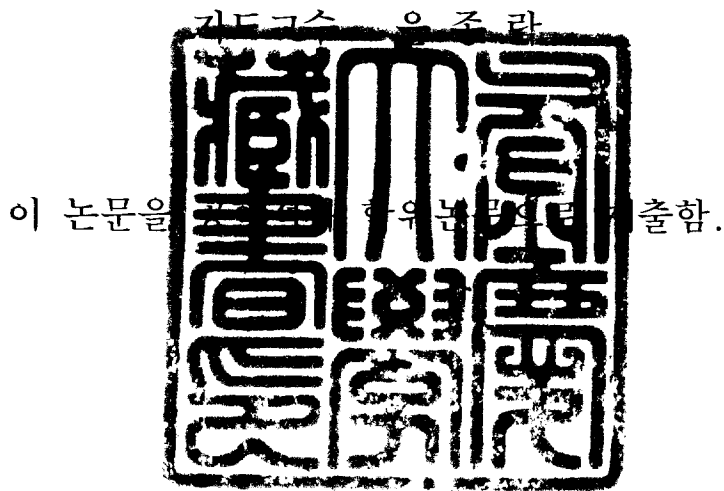


공학석사 학위논문

직접시퀀스 대역확산 방식을 이용한
수중음향통신



2005 년 2 월

부경대학교 대학원

음향진동공학과

임 기 현

임기현의 공학석사 학위논문을 인준함

2004년 12월 23일

주 심 공학박사 하 강 렬 (인)

위 원 공학박사 김 무 준

위 원 공학박사 윤 종 락



목 차

I. 서 론	1
II. 수중 음향 통신 채널의 특성	4
2.1 전달손실	4
2.2 다중경로 및 Doppler Effect	6
2.3 배경잡음	10
III DSSS 시스템	11
3.1 Spread Spectrum	11
3.2 PN sequence	14
3.3 DSSS 시스템	16
3.4 PSD(Power Spectral Density)	19
IV 실험 및 결과	21
4.1 채널모델	21
4.2 수치모의실험 및 결과	23
4.3 수조 실험 및 결과	26
VI 결 론	29
참 고 문 헌	30

Underwater Acoustic Communication
using Direct Sequence Spread Spectrum

Ki Hyun Lim

Department of Interdisciplinary Program of Acoustic and Vibration
Engineering, Graduate School, Pukyong National University

Abstract

In recent years, underwater acoustic(UWA) communications have received much attention as their applications have begun to shift from military toward commercial. In UWA communications, the propagation characteristics of acoustic waves differ from those of radio waves and create a challenging environment for establishing reliable communication. The available bandwidth of an UWA channel is limited and depends on transmission loss and noise, reverberant. Spread spectrum methods are used in communication systems to provide low probability of intercept in hostile environments, to provide multiple access capability in systems shared by many users, and to provide processing gain in channels where the transmitted signal is distorted by multipath propagation. We consider DSSS(direct sequence spread spectrum) among the spread spectrum method for UWA communication. Its performance is examined by numerical simulation and verified by water tank experiment. The intended application is an underwater network of several sources such as AUVs.

I. 서 론

수중음향(UWA : Underwater Acoustic) 통신의 분야별 연구를 살펴보면 6개의 주제로 나눌 수 있다. 수중채널 물리학 및 시뮬레이션(simulation), 수중통신 수신기 구조(receiver structure), diversity exploitation, 에러제어코딩(error control coding), 네트워크 시스템, 그리고 대체 변조기술 개발이다[1]. 국내에서는 다소 늦게 이 분야에 대한 연구가 시작되어 1980년대 후반부터 한국해양연구원 해양시스템안전연구소에서 QPSK변조방식을 이용한 수중통신 시스템 구성에 대해 연구하고 있고, 해외에서는 일찍부터 수중통신에 관한 논문들과 연구가 활발하게 진행되어져 왔다. 처음으로 개발된 UWA 통신 시스템은 잠수함간의 통신을 위해 1945년 미국에서 SSB(Single Side-Band)방식으로 반송주파수 8~11kHz를 사용한 수중전화기이다[2]. 오늘날 UWA 통신 시스템은 심해 해저 광물탐사 작업, AUV, 무인로봇 등의 제어 및 데이터 전송에 이용되고 있고, 군용의 소나로부터 해양산업 개발을 위한 민수용 탐사 장비로 응용범위가 확대되고 있는 추세이다.

수중통신 채널은 일반적으로 시변분산 채널과 같은 특징을 가지고 있다. 채널 임펄스 응답의 변화나 주파수 응답의 변화는 채널에서 전송되는 신호의 주파수 확산(도플러 확산)을 가져오며, 다중경로(multipath) 전파는 시간적으로 전송신호의 확산을 가져온다. 따라서 수중채널은 시간과 주파수에서 이중 확산 채널과 같은

특징을 가지고 있다[3]. 다중경로는 ISI(Intersymbol Interference)의 주요한 원인으로, 보통 사용되는 라디오 채널에서의 다중경로 확산은 비트 주기의 수배이지만 해양에서의 수평채널에서는 수백 배까지 수치가 올라간다. 예를 들어, 보통 중거리 통신(10km~100 km)에서 만약 시스템이 10kbps로 운용된다고 하면 약 10ms 다중 경로 확산이 일어난다고 한다[1].

SS(Spread Spectrum) 시스템은 이러한 수중통신채널에서 다른 채널의 사용자들로부터 일어나는 간섭, jamming에 의한 간섭, 다중경로로 인한 간섭의 제한으로부터 신뢰할 수 있는 데이터 전송을 위해 사용될 수 있고, 낮은 전력으로 전송신호를 숨기는데도 사용할 수 있다. 그러므로 배경잡음이 존재하는 곳에서 간섭자가 신호를 검출하는 것을 어렵게 한다. 확산율(T/T_c)을 높일수록 다른 변조방식과 비교해 넓은 대역폭을 차지하여 전송속도에 제약이 따르지만 일반적인 배경잡음과 간섭잡음에 대해 더 좋은 성능을 나타낸다. SS 시스템은 제한된 지역에서 각각 다른 목적으로 수중 채널에서 사용되어져 왔다. SS 시스템에서 변조 파형의 선택은 다중경로확산(multipath spread) T_m , 도플러 확산 B_d 과 같은 채널 특성들에 의해 영향을 받는다. 예를 들어, 신호반사가 심한 얕은 물이나 전송범위보다 깊이가 더 작은 채널에서의 다중경로 확산은 $2h^2/cr$ 이다. 여기에서 h 는 송수신기 깊이이고 r 은 송수신기 간격, c 는 음파의 속도이다. 보통 고속통신 시스템에서는 소개되지 않지만 anti-jamming SS 시스템에서 관심을 가질만한 낮은 주파수에

서 일어나는 이러한 영향들은 다중확산을 증가시키는 바닥반사일 가능성이 있다. 신호 디자인의 관점으로부터 다중확산은 ISI의 존재를 결정하는데 중요하므로 주로 SS 시스템은 ISI의 영향을 받지 않기 위해 디자인 될 것이다[4-6].

본 논문에서는 BPSK(Binary Phase Shift Keying) 변조방식을 이용한 DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum) 시스템을 사용하여 수치모의실험 및 수조에서의 실험을 통해 그 성능을 검토해보았다.

II. 수중음향 통신채널 특성

2.1 전달 손실

수중에서의 음파전달은 에너지 확산이나 음파의 흡수로 인한 전달손실, 배경잡음, 다중경로에 의한 잔향과 수중음향채널의 시공간적인 변화를 비롯한 다수의 원인에 의해 그 특성이 결정되어진다. 이러한 특성은 수중통신채널의 대역폭을 제한하는 주요한 이유이며 통신시스템의 성능에도 영향을 미친다. 일반적인 수중에서의 음파전달 손실은 식 (2-1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$TL = 20 \log r + \alpha r \quad (2-1)$$

여기서, r 은 음파전달거리, α 는 주파수에 따른 kyd 당 흡수 손실이다. Fig. 2.1은 흡수손실의 특성으로 온도에 따른 변화보다는 주파수가 높을수록 흡음계수가 상대적으로 증가하는 것을 보여준다. 해면의 상태는 Rayleigh 파라메타 $R(R=kH\sin\theta, k$:파수, H :파고, θ :해면입사각)로 주어지며, 파수와 파고 그리고 해면 입사각의 함수이다.

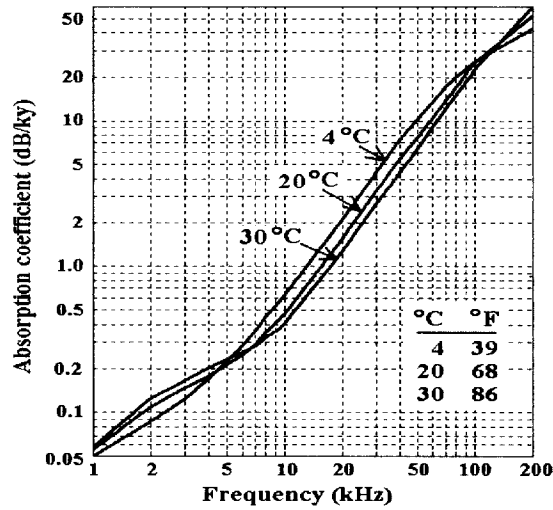


Fig. 2.1. Absorption loss characteristics.

해면의 반사손실을 정확히 정의하기는 어렵지만 3dB이하인 경우에 식 (2-2)로 주어진다. 즉 주파수, 파고에 따라 달라지는 특성을 보인다.

$$\alpha_s = 10 \log_{10} [1 - 0.0234 (fH)^{3/2}] \quad (2-2)$$

여기서 f : 신호 주파수 [kHz] , H : 평균 파고 [ft]이다. 또한, 해저면의 반사 손실은 식 (2-3)과 같다.

$$\alpha_b = -20 \log_{10} R_b$$

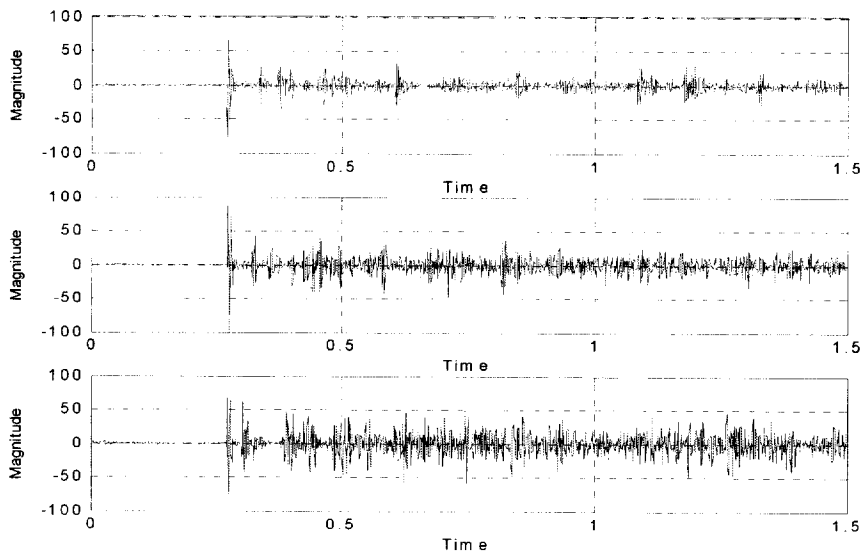
$$R_b = \frac{(Z_2/Z_1) \sin \theta_i - \sin \theta_t}{(Z_2/Z_1) \sin \theta_i + \sin \theta_t} \quad (2-3)$$

여기서, R_b 은 해저반사계수, Z_2/Z_1 은 바닥상태물질과 물의 특성임피던스 비, θ_i 는 입사각, θ_t 는 투과각이다[7].

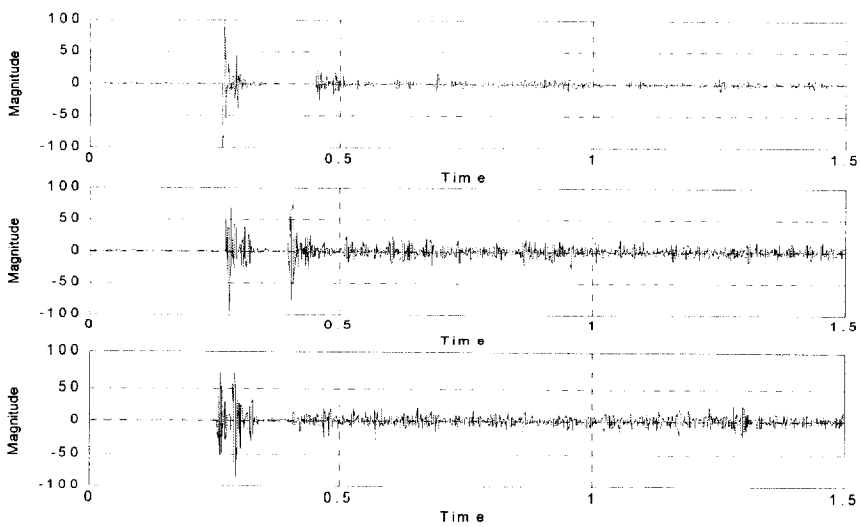
2.2 다중경로 및 Doppler Effect

수신된 신호의 잔향이나 시간 확산은 다중경로에 의해서 발생한다. 해양에서의 다중경로는 UWA 통신시스템에서 가장 중요하게 생각하고 극복하기 어려운 문제로 알려져 있다. 보통 수직과 수평 채널로 표현되어지는 수중 음향채널에서 다중경로의 구조는 수심의 깊고 얕음, 전송주파수와 전달 범위에 따라 다르다. 이러한 다중경로의 구조적인 이해와 해석은 음파전달의 이론과 모델링을 통해 가능하다. 수중에 있는 다양한 장애물이나 바닥형태 및 수면의 상태 그리고 수중에서의 음파 전달형태는 다중경로의 구조를 결정하는데 중요한 요소들이다. 일반적으로 수평채널에서는 극도로 긴 다중경로 확산이 발생하며 수직채널에서는 상대적으로 짧은 확산이 일어나는데, 범위가 2000km가 넘는 원거리 통신에서는 다중경로가 음향통신 신호를 심하게 왜곡시킨다.

Fig 2.2, Fig 2.3은 각각 크기가 다른 수조에서의 임펄스 응답특성을 나타낸다. 실내수조의 크기는 가로 2m, 세로 1m, 깊이 1m 이고, 실외수조의 크기는 가로 12m, 세로 14m, 깊이 5m 이다.

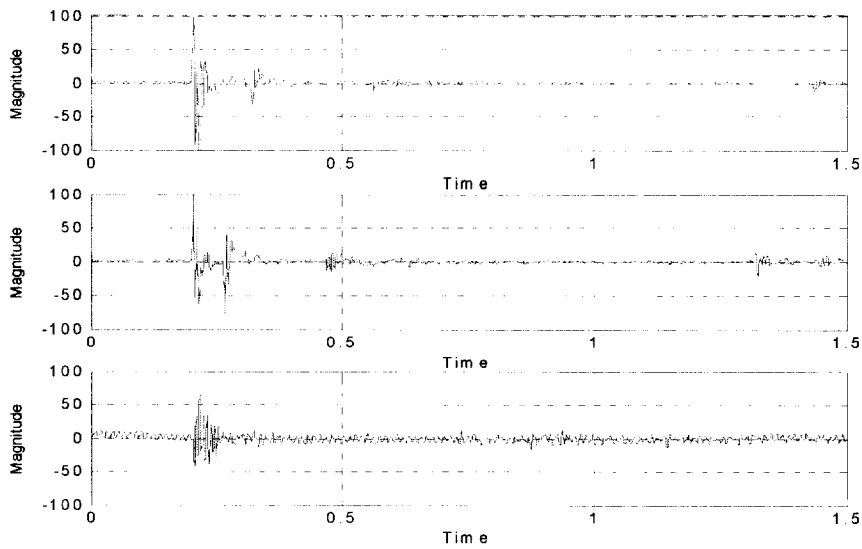


(a) Horizontal channel impulse response.

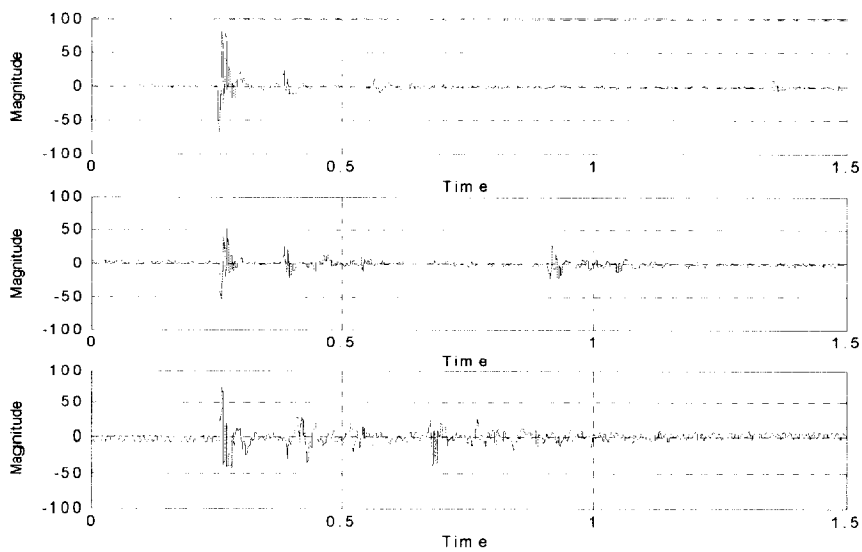


(b) Vertical channel impulse response.

Fig 2.2 Impulse response of the indoor water tank.



(a) Horizontal channel impulse response.



(b) Vertical channel impulse response.

Fig 2.3 Impulse response of the outdoor water tank.

송신기와 수신기의 거리를 기준으로 수평채널은 0.1m, 0.5m, 1m, 수직채널은 0.1m, 0.3m, 0.6m로 하였다. 또한 실외수조인 경우, 수평채널은 0.3m, 1m, 8m, 수직채널은 1m, 2m, 3m이다. 실내수조의 수평채널 임펄스 응답은 상대적으로 수직채널보다 심한 다중경로의 영향을 확인할 수 있다. 실외수조인 경우 거리에 따른 임펄스의 지연시간을 알 수 있으며, 거리가 8m인 수평채널에서 반사파와 직접파가 서로 간섭됨을 알 수 있다. 그러므로 일반적으로 수직채널보다 수평채널에서의 다중경로 영향이 심하다고 할 수 있다. 또한 실내수조의 경우 임펄스의 반사가 심한 반면 실외수조의 경우 반사파의 지연시간이 실내수조보다 길며 상대적으로 다중경로가 적게 나타난다.

B_d 라고 하는 도플러 확산 값은 시간에 따라 채널 임펄스 응답이 얼마나 빨리 변화되는지에 대한 값을 제공하는데 즉, 아주 큰 값은 시간에 따라 채널 응답이 아주 빨리 바뀐다는 것이다. 이것은 $T_{coh} = 1/B_d$ 과 같이 채널 coherence time이라고 하는 또 다른 채널 파라메타를 정의하도록 한다. 그러므로 느린 페이딩 채널은 큰 값의 coherence time을 가지며 빠른 페이딩 채널은 작은 값을 가진다. 채널에서 시간분산 값은 T_m 이라고 하는 다중경로 확산으로 관계되는 파라메타는 채널 coherence 대역폭($B_{coh} = 1/T_m$)이다. 이것은 채널에 의해 마찬가지로 영향 받는 주파수 대역폭에 관한 값을 준다. 즉 다시 말하면, 페이딩과 아주 높은 상관성을 가진 것은 주파수의 대역폭이다. 또한 $B_d T_m$ 은 채널의 확산요소라고 한다. 만약

$B_d T_m < 1$ 이면, 그 채널은 underspread 됐다고 말하고 그렇지 않으면 overspread 인데, 일반적으로 $B_d T_m \ll 1$ 이면 채널임펄스 응답은 신뢰성 있게 측정되어 질수 있고 복조기에서 사용될 수 있다. 만약 $B_d T_m > 1$ 이면 임펄스 응답의 측정은 매우 어렵고 신뢰할 수 없다. 신호의 도플러 확산은 두 가지 별개의 현상인 전송매질에서의 시변특성과 송수신기 각각의 움직임의 결과로 여겨진다.

바람에 의한 해면의 움직임은 시변의 원인이 되며 입사각 θ 로 해면에 도착하는 반사파에서, 도플러 확산은 $0.0175(f/c)w^{3/2}\cos\theta$ 이다. 여기에서 w 는 바람속도이다. 속도 v 인 시스템의 움직임에 의해 야기된 도플러 확산은 $(v/c)f$ 이며 이것은 해면파에 의한 것보다 더 클 수 있다. 신호디자인의 관점으로부터 정규화된 도플러 확산은 시스템 성능감소를 가져오는 요소이다[4].

2.3 배경잡음

해양의 배경잡음은 수심이 깊은 심해에서는 통행 선박과 기후에 의한 해상 상태에 의해 배경잡음 크기가 결정되고 상대적으로 수심이 얕은 천해에서는 육지의 산업시설에 의한 수중 전파음과 다양한 해양생물에 의한 소음에 의해서 배경잡음 크기가 결정된다. 이런 배경잡음은 수중채널에서 통신시스템의 주파수대역을 설정하는데 큰 영향을 미친다.

Ⅲ DSSS 시스템

3.1 Spread Spectrum

SS 기술은 초기 군용 통신시스템에서 응용되어져 왔는데, PN(pseudo-random) 시퀀스를 이용하여서 전송되는 신호가 수신자가 아닌 다른 사용자에게는 잡음과 같이 인식되어 데이터를 검출하고 추출하는데 어렵도록 하는 것이다. Fig 3.1은 SS 통신시스템의 블록도를 나타낸다.

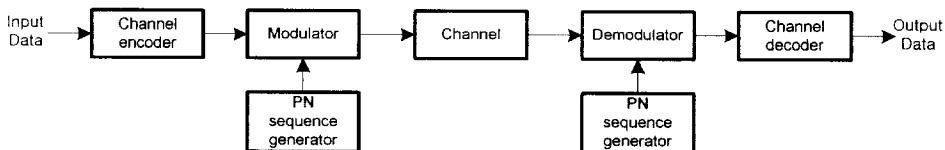
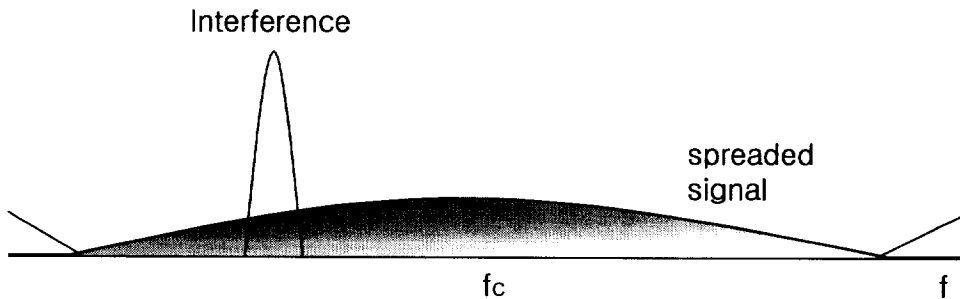


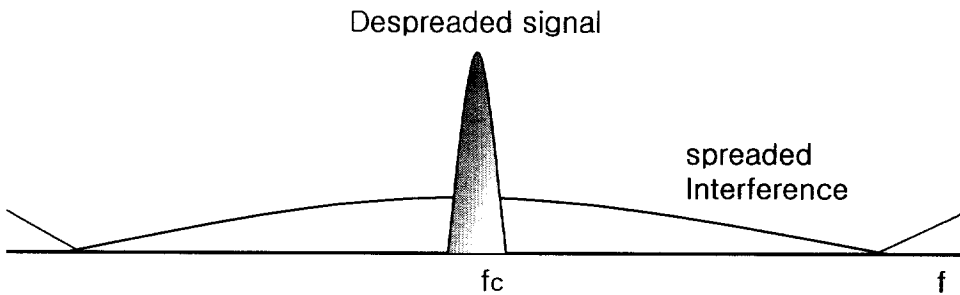
Fig 3.1 Spread Spectrum Communication System.

전달할 메시지가 PN 시퀀스로 인하여 대역폭이 메시지의 대역폭보다 확산되어 이를 대역확산이라 하고 수신단에서 입력 신호를 역확산하여 원래 메시지로 복구한다. 메시지 신호와 비교하여 그 비율의 지표를 확산율(spreading ratio) 또는 처리이득(processing gain)이라고 하는데 일반적인 SS통신에서 확산율은 수십배에서 수천배 정도의 값을 가지며, 또한 점유 주파수 대역폭이 극단적으로 넓게 된다. SS방식은 일반적으로 잡음에 강하고, 다중경로에도 좋

은 성능을 나타내며 한정된 주파수 대역에서 상대적으로 많은 사용자들을 확보할 수 있다. 무엇보다도 외부로부터의 의도적인 간섭이나 정보를 보호하는데 있어서 강점을 가지고 있다.



(a) Spectrum distribution of input.



(a) Spectrum distribution after despreading.

Fig 3.2 Spectrum variation due to despreading.

Fig 3.2는 PN 시퀀스에 의해 확산되어 전송된 SS신호의 스펙트럼에 간섭파가 있는 경우를 보여준다. 단, 간섭파는 무변조의 반송

파라고 가정한다. 수신기에서 역확산을 하면 복조하고자 하는 신호는 협대역의 1차 변조신호로 되돌려지고 간섭파는 확산율의 배수만큼 확산되어 광대역 신호로 변환된다. 이후 대역통과 필터를 통하여 복조단에 입력되면 간섭파의 대부분이 제거되어진다. 그러나 간섭파가 송신신호의 중심주파수 부근에 위치한다면 멀리 떨어져 있을 때보다 상대적으로 더 큰 피해를 받을 수도 있다. 확산율 (T/T_c)을 높일수록 다른 변조방식과 비교해 넓은 대역폭을 차지하여 전송속도에 제약이 따르지만 일반적인 배경잡음과 간섭잡음에 대해 상대적으로 더 좋은 성능을 나타낸다. 또한 수중채널의 대역은 ISI나 다른 환경요인으로 인해 심하게 제한되므로 확산율을 계속해서 높이는 것은 불가능하다.

SS 시스템은 직접시퀀스대역확산(DSSS), 주파수도약대역확산(FHSS:Frequency Hopping Spread Spectrum), 시간도약대역확산(THSS:Time Hopping Spread Spectrum)방식과 이 방식들을 혼합한 여러 가지 Hybrid 방식이 있다.

3.2 PN sequence

보내고자 하는 메시지의 대역확산을 위해서는 PN 시퀀스가 필요하다. 일정한 주기(T)를 가지는 PN 시퀀스는 식 (3-1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$c_i = \{ \cdots, c_{-1}, c_0, c_1, \cdots \} , c_{i+N} = c_i , [단, i는 정수] \quad (3-1)$$

여기서, N을 PN 시퀀스의 길이라고 한다. PN 시퀀스의 상관성이 낮아야 그 특성이 좋은데 즉, 어떤 시퀀스 a_i 와 a_j 가 서로 독립적이어야 한다. 그러기 위해서는 무한대의 주기가 필요하지만 일정한 주기를 가져야 함으로 일반적으로 주기가 매우 커야 한다. DSSS 시스템에서 이진수를 가지는 PN 시퀀스인 경우 PN 신호는 식 (3-2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$c(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k p_{T_c}(t - kT_c) \quad (3-2)$$

여기서, c_k 는 칩(chip)이라고 하며, 시간을 나타내는 T_c 는 칩구간 또는 칩시간이라 한다. p_{T_c} 는 사각펄스이며, PN 시퀀스의 주기는 NT_c 이다. PN 시퀀스 중에서 m-sequence를 예로 들어 주기가 N인 자기상관함수를 나타내면 식 (3-3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_c(k) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} c_{i+k} c_i = \begin{cases} 1, & k = 0, N, 2N \\ -1/N, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3-3)$$

이것을 주기가 NT_c 인 PN시퀀스의 첫 번째 주기 값을 자기상관 함수로 나타내면 식 (3-4)와 같다.

$$R_c(\tau) = \frac{1}{NT_c} \int_0^{NT_c} c(t+\tau)c(t)dt \quad (3-4)$$

여기서 얻어진 자기상관함수는 Fig 3.3과 같이 나타낼 수 있다.

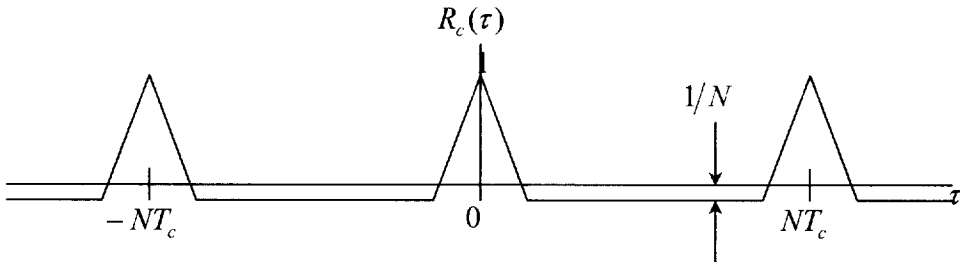


Fig 3.3 Autocorrelation of PN sequence.

3.3 DSSS 시스템

본 연구에서는 BPSK 변조방식을 사용한 DSSS 방식을 사용하였다. 이진신호 ± 1 을 가지는 신호 $b(t)$ 는 식 (3-5)와 같이 나타낸다.

$$b(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} b_k P_T(t - kT) \quad (3-5)$$

여기서 $b_k = \pm 1$ 는 k 번째의 데이터 비트이고, T 는 데이터 비트의 기간이다. 즉 데이터율은 $1/T \text{ bps}$ 이다. 신호 $b(t)$ 는 PN 신호 $c(t)$ 에 의해서 대역이 확산되며 반송주파수를 통해 변조된다. 변조되는 신호를 $s(t)$ 라 정의하면 식 (3-6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$s(t) = Ab(t)c(t)\cos(2\pi f_c t + \theta) \quad (3-6)$$

여기서 A 는 신호의 진폭이며 f_c 는 반송주파수, θ 는 반송주파수의 위상이다. Fig 3.4는 DSSS-BPSK 시스템의 송신기 구성을 나타내며 수신기는 Fig 3.5에 나타내었다. 시스템의 수신부는 신호 $b(t)$ 를 추출하기 위해, 송신부에서 대역확산된 신호를 역확산하기 위한 PN 신호 발생기와 BPSK 복조부로 구성된다.

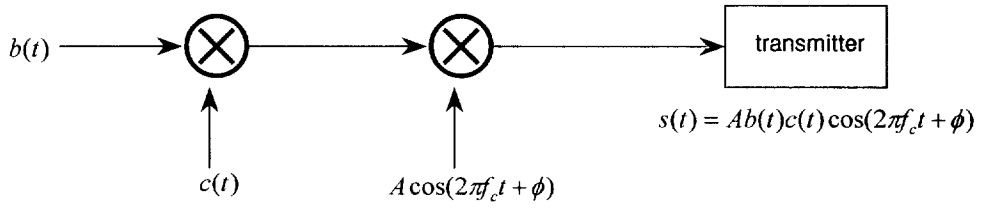


Fig 3.4 DSSS-BPSK transmitter structure.

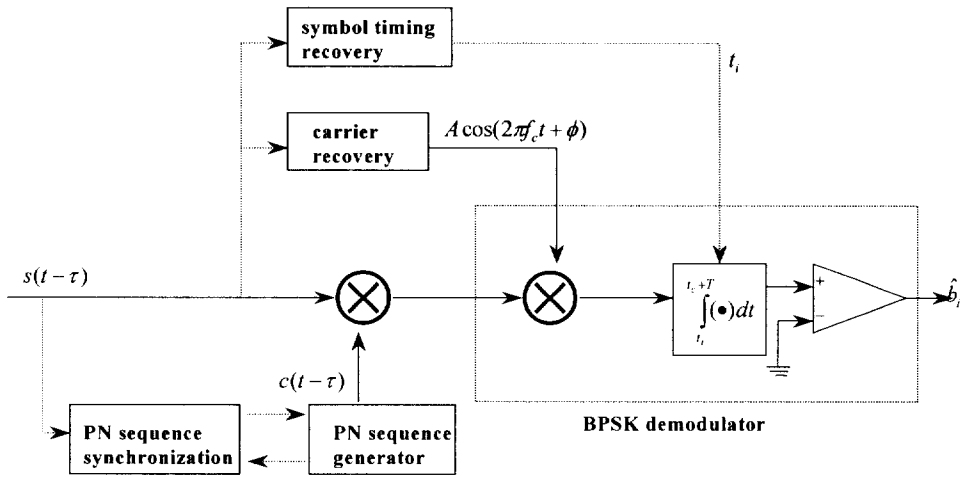


Fig 3.5 DSSS-BPSK receiver structure.

잡음과 함께 전송지연시간 τ 를 고려하여 수신된 신호를 식 (3-7)과 같이 나타낸다.

$$s(t-\tau) + n(t) = Ab(t-\tau)c(t-\tau)\cos(2\pi f_c(t-\tau) + \theta) + n(t) \quad (3-7)$$

$n(t)$ 는 전송채널과 시스템의 잡음이다. 만약 잡음이 없고 반송 주파수의 위상을 안다고 가정하면 대역폭이 $2/T$ 인 협대역 통과

신호는 식 (3-8)이 된다. 단, $\theta' = \theta - 2\pi f_c \tau$ 이다.

$$\begin{aligned} w(t) &= Ab(t-\tau)c^2(t-\tau)\cos(2\pi f_c t + \theta') \\ &= Ab(t-\tau)\cos(2\pi f_c t + \theta') \end{aligned} \quad (3-8)$$

BPSK 복조기는 상관기(correlator)와 판단기준값 회로로 구성되어 있는데 i 번째의 비트를 검출하기 위해 상관기는 식 (3-9)을 계산한다.

$$\begin{aligned} z_i &= \int_{t_i}^{t_i+T} w(t)\cos(2\pi f_c t + \theta')dt \\ &= A \int_{t_i}^{t_i+T} b(t-\tau)\cos^2(2\pi f_c t + \theta')dt \\ &= A/2 \int_{t_i}^{t_i+T} b(t-\tau)\{1 + \cos(4\pi f_c t + 2\theta')\}dt \\ &= \pm \frac{AT}{2} \end{aligned} \quad (3-9)$$

여기서, t_i 는 i 번째 비트의 시작점이고, $b(t-\tau)$ 는 각 비트 동안 +1, 또는 -1을 값을 가지므로 적분하면 T 또는 $-T$ 이다. 그리고 $\{1 + \cos(4\pi f_c t + 2\theta')\}$ 은 적분후의 값이 대략 0인 두 배의 주파수 성분이므로 z_i 의 값은 $AT/2$ 또는 $-AT/2$ 이 된다[8].

3.4 PSD(Power Spectral Density)

전송신호 $b(t)$ 는 크기가 ± 1 , $1/Tbps$ 로 전송되며 대역폭이 $1/THz$ 인 PSD는 식 (3-10)과 같다.

$$\phi_b(f) = T \text{sinc}^2(fT) \quad (3-10)$$

또, 크기가 ± 1 인 PN신호 $c(t)$ 는 $1/T_c bps$ 의 칩률을 가지고 대역폭이 $1/T_c Hz$ 로 PSD는 식 (3-11)와 같다. $b(t)c(t)$

$$\phi_c(f) = T_c \text{sinc}^2(fT) \quad (3-11)$$

T/T_c 는 정수이고, 의 대역폭은 $1/T_c Hz$ 이므로 PSD는 식 (3-12)과 같다.

$$\phi_{bc}(f) = T_c \text{sinc}^2(fT) \quad (3-12)$$

그러므로 대역폭은 T/T_c 배 만큼 증가되며 대역폭이 $2/T_c$ 인 송신신호 $s(t)$ 의 PSD는 전송 신호와 비교하여 크기가 $A^2 \frac{T_c}{4}$ 만큼 감소된 식 (3-13)과 같다.

$$\phi_s(f) = A^2 \frac{T_c}{4} [\text{sinc}^2\{(f-f_c)T_c\} + \text{sinc}^2\{(f+f_c)T_c\}] \quad (3-13)$$

그리고, 역확산 후의 신호 $w(t)$ 의 PSD는 식 (3-14)와 같다.

$$\phi_w(f) = A^2 \frac{T_c}{4} [\text{sinc}^2\{(f-f_c)T\} + \text{sinc}^2\{(f+f_c)T\}] \quad (3-14)$$

여기서, $\phi_w(f)$ 의 대역은 전송신호 $b(t)$ 와 같음을 알 수 있고, f_c 만큼 좌우로 천이된 협대역의 PSD를 가진다는 것을 알 수 있다.

IV 수치모의실험 및 결과

4.1 채널모델

입력되는 신호는 식 (4-1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$r_i = s_i h_0 + \sum_{n=1}^g s_{i-n} h_n + N_i \quad (4-1)$$

여기서, $s_i h_0$ 는 보내는 메시지 신호이며 $\sum_{n=1}^g s_{i-n} h_n$ 는 ISI인데, g 는 직접파를 제외한 다중경로수이다. 다중경로는 Fig 4.1에 나타난 것처럼 표면과 바닥에 반사되는 4개의 경로를 고려하였다[8].

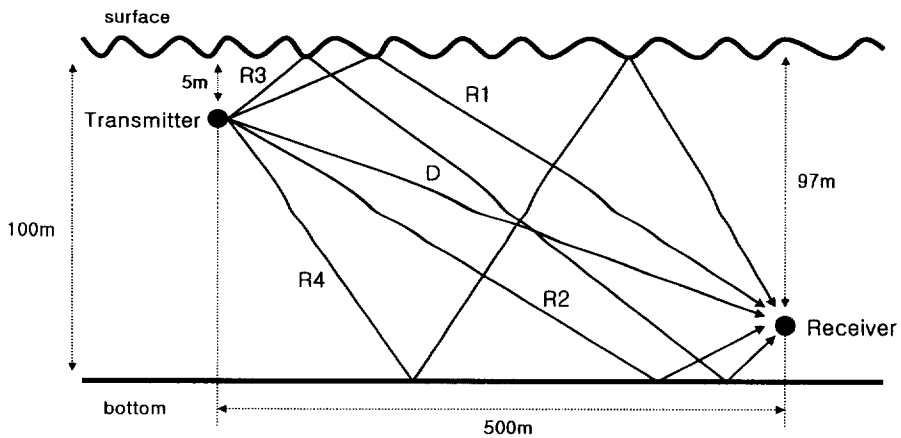


Fig 4.1 Multipath model.

전송되는 채널환경은 해양의 깊이 100m, 송신기는 해수면으로부터 5m, 수신기는 97m이고 송신기와 수신기 사이의 거리는 500m이다. 수면의 평균 파고는 0.18feet, 송신기와 수신 해면의 반사계수는 식 (4-2)로 계산하였다.

$$a = -1 + 0.0234 \times ((f_c/1000) \times h)^{3/2} \quad (4-2)$$

여기서 f_c 는 전송주파수, h 는 해수면의 파고이며 바닥반사는 모래라고 가정하였다. 기하학적으로 계산한 다중경로의 지연시간과 반사계수는 표 4.1에 나타내었다[9].

구분	반사계수	지연시간(msec)
R1	-0.77373	1.2696
R2	0.41089	0.74663
R3	-0.31785	2.09717
R4	-0.2808	47.0842

Table 4.1 Delay time and reflection coefficient.

4.2 수치모의실험 및 결과

수치모의실험은 DSSS 시스템의 데이터 전송속도를 달리하면서 SNR에 따른 BER특성을 해석하였다. 또한 DSSS 시스템의 성능을 비교하기 위해 500bps의 전송속도를 가지는 BPSK 시스템으로도 수치모의 실험을 수행하였다.

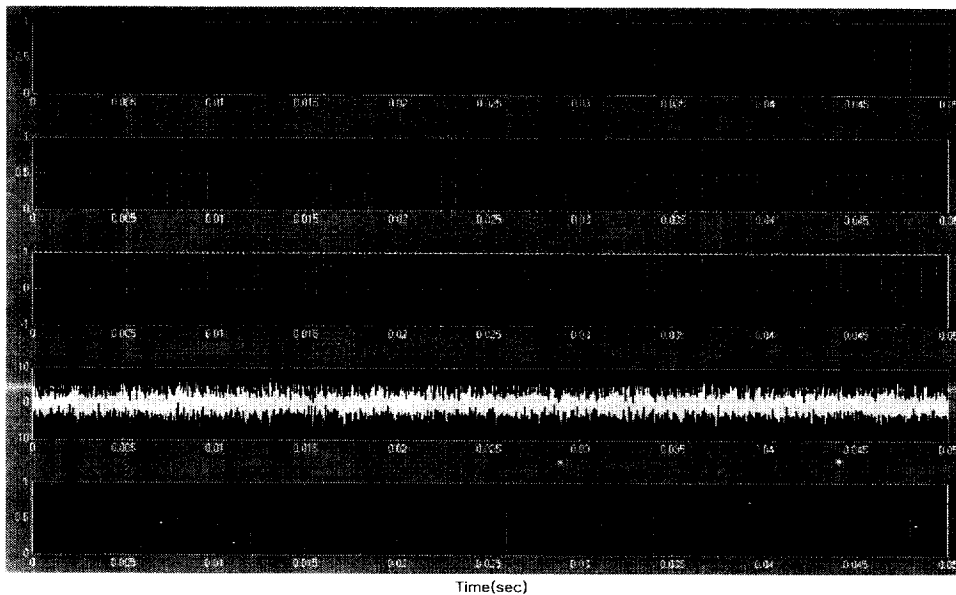


Fig 4.2 DSSS signal.

Fig 4.2는 가정된 채널모델에서 랜덤한 2진 신호가 PN 시퀀스에 의해 확산되고, 채널을 통해 전송된 확산 신호가 수신단에서 복조되는 과정을 보여준다.

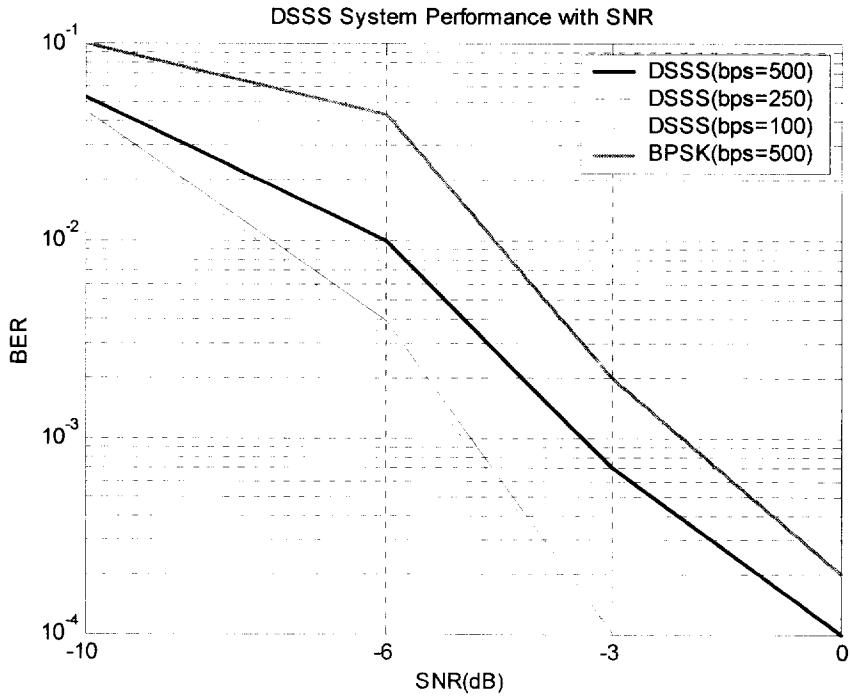


Fig 4.3 DSSS System Bit Error Rate with bps, SNR.

Fig 4.3은 DSSS 시스템의 전송속도와 SNR에 따른 BER특성의 수치모의 실험결과를 나타낸다. SNR은 각각 -10dB , -6dB , -3dB , 0dB 로 하였으며 PN 시퀀스의 칩주기 $T_c = 0.0002\text{msec}$ 이다. 그러므로 PN 시퀀스의 대역폭은 $1/T_c = 5000\text{Hz}$ 이고 이것은 시스템의 전체 대역폭이라고 할 수 있다. 모의 실험에 사용한 PN 시퀀스는 주기($2^m - 1$)가 15인 M-Sequence를 사용하였고, 전송속도에 따른 확산율($T/T_c = N$)은 각각 $N=10$ 배(bps=500), 20배(bps=250), 50배(bps=100)이며 채널잡음으로 백색잡음을 사용하였다. 또한, 실험에 사용된 데이터 비트 수는 10000개이다.

결과에서 보는 것처럼 전송속도가 500bps일 때보다 250bps일 때 BER특성은 상당히 개선되었다. 또한 100bps일 때는 그 개선폭은 상대적으로 줄어들었지만 특성이 좋아짐을 알 수 있다. 이것은 확산율에 따라 잡음에 대한 성능이 좋아졌다고 할 수 있으며 그 폭이 일정하게 비례하지 않는 이유는 잡음의 대부분의 전력이 가운데 몰려있기 때문이다. 즉, 수신단에서 다시 역확산을 할 때 확산율만큼 잡음의 대역폭은 넓어지지만 중앙에 집중되어 있는 전력 밀도는 확산율에 비례하지 않는다. 동일한 환경에서 500bps의 전송속도를 가지는 BPSK 시스템은 DSSS 시스템보다 잡음에 대한 성능이 상대적으로 떨어지는 것을 결과를 통해 알 수 있다.

4.3 수조 실험 및 결과

수조실험에 사용될 DSSS 시스템은 Labview 7.0 프로그램을 사용하여 구성되었으며, 통신 실험은 가로 2m, 세로 1.5m, 높이 1m 인 수조에서 수행하였다.

Fig 4.4는 실험 장치도이다. NI(national instrumental)사의 BNC 2110은 신호의 출력과 입력을 위해 컴퓨터에 장착된 DSP보드와 연결되는 채널로 사용하였고, 제작된 송신기를 통해 수조에서 전파되는 메시지 신호는 B&K 8106 수중청음기를 통해 수신되며 신호의 수신부 증폭기는 B&K사의 2692를 사용하였다.

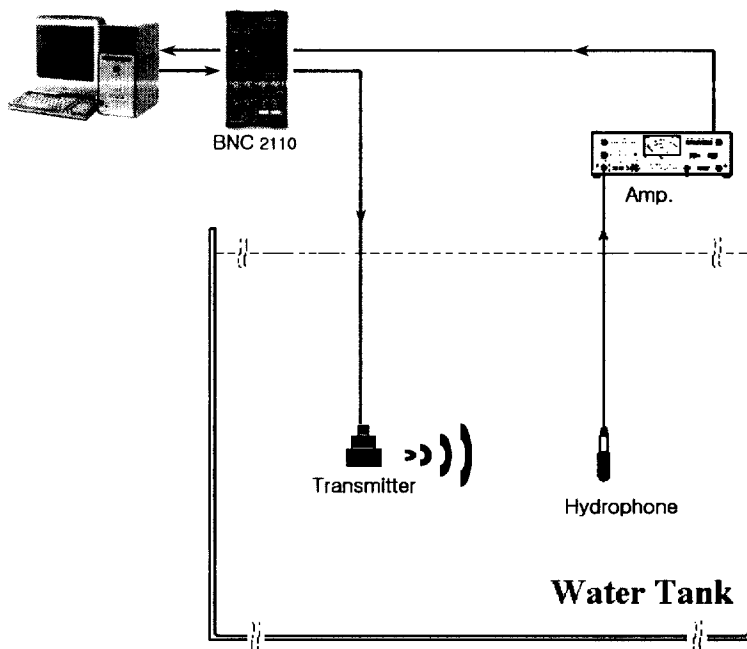


Fig 4.4 Experiment configuration.

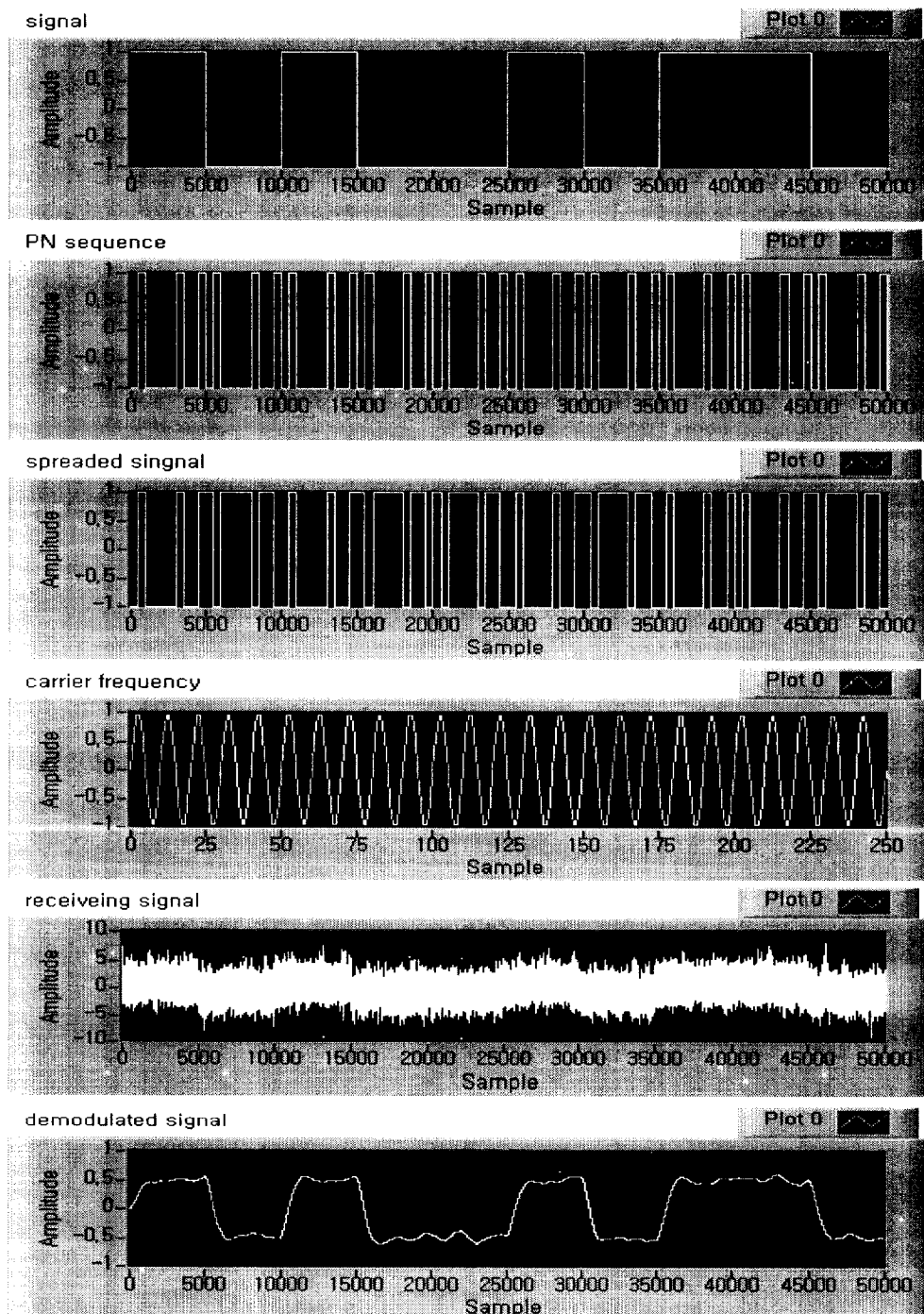


Fig 4.5 DSSS signal in the water tank.

DSSS 시스템의 반송주파수는 25kHz이며, 전달할 메시지 신호로 랜덤한 2진 신호를 송신기를 통해 수조내에서 전송시켰다. 전송된 신호는 수중청음기(B&K 8106)에서 수신된 후, 증폭기를 통해 적정 레벨로 증폭된다. 증폭된 신호는 BNC 2110을 통해 입력된 뒤 프로그램에서 복조가 수행되어진다. PN 시퀀스의 주기 T_c 는 수조의 대역을 고려하여 0.02sec 로 하였다[10].

Fig 4.5는 실험에서 보여지는 DSSS 신호이다. 전달 메시지 신호인 2진 신호와 PN 시퀀스에 의해 확산된 신호, 그리고 반송 주파수에 의해 변조된 신호가 수조내에서 전송되어 수중 청음기에서 수신된 신호를 보여준다. 마지막 그림에서 수신된 신호가 복조되어 전달 메시지 신호인 2진 신호로 복구되는 것을 확인할 수 있다. 전달 메시지 신호와 일치한다.

VI 결 론

본 연구에서는 대역확산 방식에 있어 BPSK 변조기술을 이용한 직접시퀀스대역확산(DSSS)시스템을 사용하여 수치모의 및 실내 수조실험으로 전송특성을 해석하였다.

구성된 DSSS-BPSK 시스템은 수치모의 실험에서 확산율에 따라 잡음에 대한 성능이 변화됨을 알 수 있었고, 확산율이 증가함에 따라 상대적으로 우수한 BER 특성을 나타내었으며, 다중경로가 심한 실내수조에서도 신뢰성이 우수한 통신이 가능함을 확인하였다. 대역이 제한되어 있는 수중통신환경에서 무한한 대역확산은 불가능하므로 채널의 특성에 따른 시스템 설계가 이루어져야 할 것이다.

수치모의 실험이나 수조실험을 통해 다중경로나 도플러 확산 같은 영향으로 대역이 심하게 제한되는 채널에서, 잠재적인 사용자 확보를 위한 SS 방식은 우수한 성능을 보일 것으로 판단되고, 수중 네트워크를 구현함에 있어서 현재 사용되고 있는 FDMA 방식을 비롯하여 PN 시퀀스를 이용해 대역을 확산하는 방식인 CDMA 방식도 가능할 것이라 판단된다.

추후연구는 제안한 시스템의 해상실험과 SS 방식을 이용한 네트워크 구성에 관한 연구가 될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] David Porta, *"Underwater Acoustic Communications,"* Sea Technology, pp.49-55, February, 1998
- [2] Milica Stojanovic, *"Recent Advance in High Speed Underwater,"* IEEE Journal of Oceanic engineering, Vol. 21, No. 2, pp.125-136, 1996
- [3] 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
- [4] Milica Stojanovic, *"Spread Spectrum Underwater Acoustic Telemetry,"* IEEE OCEANS 98', pp.650-654, 1998
- [5] Freitag, L *"Analysis of Channel Effects on Direct Sequence and Frequency Hopped Spread Spectrum Acoustic Communication,"* IEEE Oceanic Engineering, volume 26, pp.586-593, 2001
- [6] Ching-Hsiang Tseng, *"Underwater Spread-Spectrum Communications,"* Proc. IEEE OCEANS 97', volume 1, pp 574-579, 1997
- [7] Robert J. Urick, **Principles of Underwater Sound**, 3rd edition, McGraw-Hill Book Company, 1983
- [8] 대한전자공학회, **CDMA 통신**, 청문당

[9] Chun-Dan Lin, "*QPSK System Design for Underwater Acoustic Communication*," Master thesis, Pukyong National University, 2003

[10] 박지현, "수중 데이터 통신시스템 설계를 위한 수중 음향 채널 특성해석," 석사학위논문, 부경대학교, 2002