



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시, 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리, 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지, 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位論文

공기중 음향통신에 있어서 임펄스 응답이 미치는 영향에 관한
연구



2007年 12月

釜慶大學校 産業大學院

情報通信工學科

金 洪 年

工學碩士 學位論文

공기중 음향통신에 있어서 임펄스 응답이 미치는 영향에 관한
연구

指導教授 朴 奎 七

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함

2007年 12月

釜慶大學校 産業大學院

情報通信工學科

金 洪 年

이 論文을 金洪年の 工學碩士
學位論文으로 認准함

2007年 12月

主 審 工學博士 金 錫 泰 (印)

委 員 工學博士 金 成 箕 (印)

委 員 工學博士 朴 奎 七 (印)

목 차

I. 서론.....	1
II. 시스템 구성.....	3
II-1 임펄스응답의 측정.....	3
II-2 DBPSK 변조기.....	6
II-3 DBPSK 복조기.....	7
II-4 적응 등화기.....	8
II-5 ADBPSK 복조기.....	11
III. 실험 결과와 토론.....	13
III-1 전송실험.....	13
III-2 음향시스템의 임펄스응답.....	15
III-3 통신실험 결과.....	19
III-3-1 DBPSK 실험의 결과.....	19
III-3-2 ADBPSK 실험의 결과.....	27
IV. 결 론.....	33

그 립 목 차

[그림 1] 임펄스응답 측정을 위한 시스템 블록다이하그램.....	4
[그림 2] DBPSK 변조기 블록다이하그램.....	6
[그림 3] DBPSK 복조기 블록다이하그램.....	7
[그림 4] 이퀄라이저 블록다이하그램.....	9
[그림 5] ADBPSK 복조기 블록다이하그램.....	11
[그림 6] DBPSK 실험시스템 블록다이하그램.....	13
[그림 7] DBPSK 실험시스템 간략도.....	14
[그림 8] ADBPSK 실험시스템 간략도.....	15
[그림 9] 무향실에서 음향시스템의 임펄스 응답.....	15
[그림 10] 일반 실험실에서 음향시스템의 임펄스 응답.....	16
[그림 11] 무향실에서 음향시스템의 임펄스 응답 확대.....	17
[그림 12] 일반 실험실에서 음향시스템의 임펄스 응답 확대.....	17
[그림 13] 임펄스 응답 파워 비교.....	18
[그림 14] 무향실에서의 입출력파형($T=0.1$).....	19
[그림 15] 무향실에서의 입출력파형($T=0.2$).....	20
[그림 16] 무향실에서의 입출력파형($T=0.4$).....	21
[그림 17] 무향실에서의 입출력파형($T=0.8$).....	22
[그림 18] 무향실에서의 입출력파형($T=1.6$).....	22
[그림 19] 일반 실험실에서의 입출력파형($T=0.1$).....	24

[그림 20] 일반 실험실에서 입출력파형($T=0.2$).....	24
[그림 21] 일반 실험실에서 입출력파형($T=0.4$).....	25
[그림 22] 일반 실험실에서 입출력파형($T=0.8$).....	25
[그림 23] 일반 실험실에서 입출력파형($T=1.6$).....	26
[그림 24] 무향실의 이퀄라이저 필터 계수.....	28
[그림 25] 무향실에서 이퀄라이저를 사용한 입출력 파형($T=0.1$).....	29
[그림 26] 무향실에서 이퀄라이저를 사용한 입출력 파형($T=0.2$).....	29
[그림 27] 일반 실험실의 이퀄라이저 필터 계수.....	31
[그림 28] 일반 실험실에서 이퀄라이저를 사용한 입출력 파형($T=0.1$)....	31
[그림 29] 일반 실험실에서 이퀄라이저를 사용한 입출력 파형($T=0.2$)...	32

A Study on Influence of Impulse Response in Acoustic Communication in Air

Hong-Nyeun Kim

*Department of Telematics Engineering
Graduate School of Industry
Pukyong National University*

Abstract

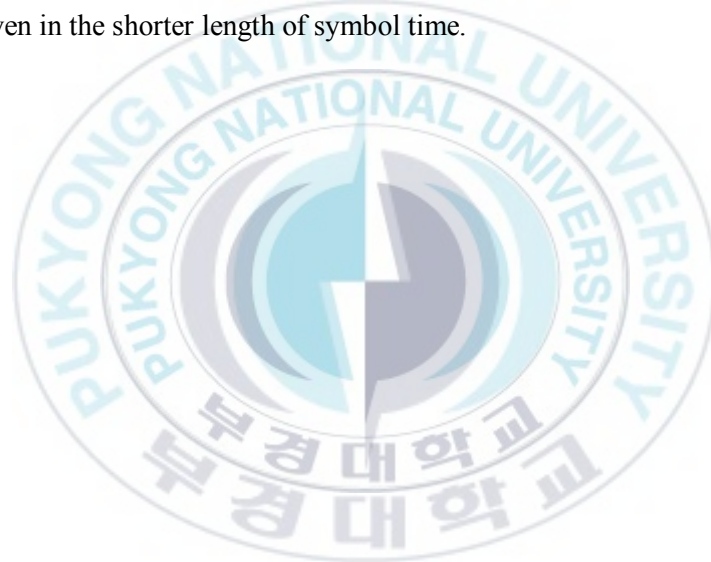
Acoustic communication underwater has often been studied. Since acoustic waves propagate for a longer distance than electromagnetic waves and light waves in water, acoustic communication has a great advantage in such environments. In contrast, acoustic communication is not often used in air, because airborne sound is not very effective compared with electromagnetic waves, particularly for long-distance communication. The disadvantages include the problems of attenuation and slow propagation velocity. However, it may be effective for short-range communication such as that using beacons. Although acoustic beacons are used widely at present, the general purpose of using acoustic waves is only the localization of vehicles, and they are rarely used for data communication

Digital communication in air was experimentally examined for short-range

communication using acoustic signals with a microphone and a speaker. The experiments using the both DBPSK system and ADBPSK system were carried out in a normal room and in an anechoic room.

In the DBPSK system, the length of symbol time was controlled to minimize the influences of the impulse response. Consequently the longer the length of symbol time was, the less the errors were in DBPSK.

On the other hand, the errors in ADBPSK system were less than ones in DBPSK system even in the shorter length of symbol time.



I . 서 론

일반적으로 공기중에서는 전자파를 이용한 정보 통신이 주로 사용되고, 수중에서는 음파를 이용한 음향 통신이 주로 사용되고 있다. 수중에서는 음파가 전자파나 광파보다 손실이 적고 장거리를 전파할 수 있기 때문에 음향 통신이 큰 장점을 가지고 있는 반면, 음향 통신은 공기 중에서는 거의 사용되지 않는데, 공기중에서의 소리는 전파 거리에 있어서 전자기파와 비교가 되지 않고, 감쇠와 느린 전파 속도의 문제가 단점으로 존재하기 때문이다[1].

음향 신호가 주로 사용되는 분야는 이동체의 위치 추적이나 식별[2-3] 등의 분야이며, 정보 통신에는 거의 사용되고 있지 않다. 그러나 본 논문에서 다루고자 하는 거리가 매우 가까운 단거리 통신에서는 음향 신호를 이용하는 것도 효과적일 수 있다. 특히 전파를 이용한 통신에서 문제가 되는 다중 경로 페이딩 효과는 차치하더라도 반사된 음파에 의한 마이크로폰과 스피커 사이의 임펄스 응답의 영향, 주변 잡음의 영향이 크게 나타나므로 그 효과를 최소화 할 수 있는 방안도 강구되어야 한다[4].

본 연구에서는 802.11g 무선 환경에서 변조 방식으로 널리 사용되고 있는 DBPSK(Differential Binary Phase Shift Keying)[11-12]를 이용한 공기중 단거리 음향 통신 시스템의 성능에 대해 평가해 보았다. 실험 공간으로는 무향실과 일반 실험실을 사용하였고, 각각의 실험 공간에서 측정한 임펄스 응답을 바탕으로 공기중에서의 DBPSK 시스템의 성능을 평가하였다.

또한, 임펄스 응답의 영향으로 통신에 에러가 발생하여 이퀄라이저

[5-6]를 적용한 Adaptive-DBPSK를 이용한 공기 중 단거리 음향 통신 시스템의 성능도 평가하였다. 각 심볼 주기의 길이 및 이퀄라이저의 길이에 따른 성능에 대해서도 평가하였다.

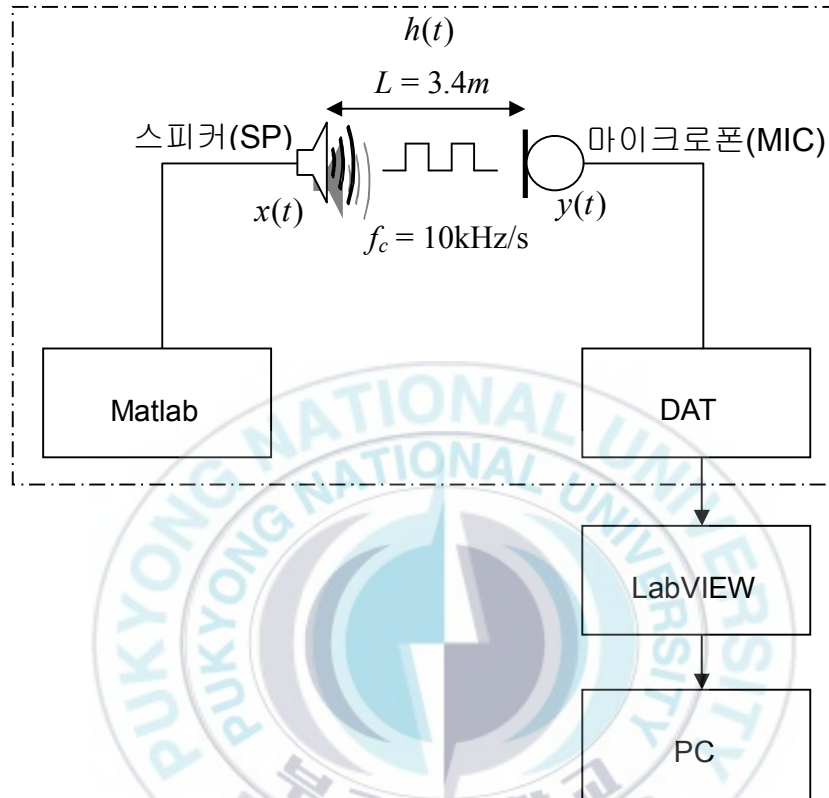


II. 시스템 구성

II-1 임펄스 응답의 측정

공기중 음향 통신시스템으로 하나의 스피커와 하나의 마이크로폰을 이용하는 것으로 구성하였다. 여기서 스피커와 마이크로폰과의 사이에 존재하는 음향 임펄스 응답을 측정하기 위해 그림 1과 같은 시스템을 구성하였다. 이 시스템에 사용된 장비로는 먼저 스피커의 출력을 위해 노트북과 스피커(정격 출력 30W, 대역폭 100-20kHz의 일반 PC 스피커), Matlab 소프트웨어[14]를 이용하였다. 샘플링 주파수 10kHz/s의 주기로 랜덤 신호를 10초 동안 발생시켰다. 이 음향 신호를 마이크로폰(B&K사의 1/4인치 4135, 프리 앰프는 B&K사의 2669, 메인 앰프는 B&K사의 5935)을 통해 디지털 오디오 녹음 장치인 DAT(SONY의 PC216AX)에 녹음을 시켰으며, 데이터 획득 장치(NI사의 USB-6211)와 LabVIEW[13]를 이용하여 PC로 그 데이터를 변환하여 전체 임펄스 응답을 구하였다. 무향실(용적: $8.5\text{m} \times 6.5\text{m} \times 5.5\text{m}$, 암소음 준위: 20dB(A) 이하, 차단 주파수: 약 60Hz)와 일반 실험실(용적: $7.3\text{m} \times 4.5\text{m} \times 2.9\text{m}$)의 2개 장소에서 측정하였다. 스피커와 마이크로폰 사이의 거리는 3.4m로 하였으므로, 공기 중 음파의 속도가 340m/s이므로 약 10msec 지연이 있음을 알 수 있다.

이 측정 데이터를 바탕으로 임펄스 응답[7]을 다음과 같은 방식으로 구하였다. 스피커의 출력 신호 $x(t)$ 가 3.4m 전파한 후의 신호 $y(t)$ 는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.



[그림 1] 임펄스 응답 측정을 위한 시스템의 블록다이어그램

$$y(t) = x(t) * h(t) \quad (1)$$

여기서 $h(t)$ 는 구하고자 하는 스피커와 마이크로폰 사이의 임펄스 응답이고, $*$ 는 컨볼루션(convolution)에 해당한다. 시간 축의 신호로부터 임펄스 응답 $h(t)$ 를 구하려면 deconvolution을 하여 구할 수 있지만, 연산

시간이 문제가 되므로 주파수 축으로 신호를 변환하여 처리하며 다음과 같이 주어진다.

$$Y(f) = X(f) \cdot H(f) \quad (2)$$

여기서 시스템의 주파수 응답 $H(f)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$H(f) = \frac{Y(f)}{X(f)} = \frac{\sum Y_i(f)}{\sum X_i(f)} \quad (3)$$

샘플링 주기 0.1msec의 신호 $y(t)$ 를 4096점씩 한 프레임으로 하고, 중첩은 1024점으로 하였다. 각 프레임의 신호에 4096점 제로 패딩[8]하여 총 8192점 푸리에 변환한 후, 각 결과를 전부 합하는 식 (3)과 같은 연산을 하여 구하였다. 최종적으로 전체 시스템의 주파수 응답으로부터 임펄스 응답은 다음의 역푸리에 변환을 이용하여 구하였다.

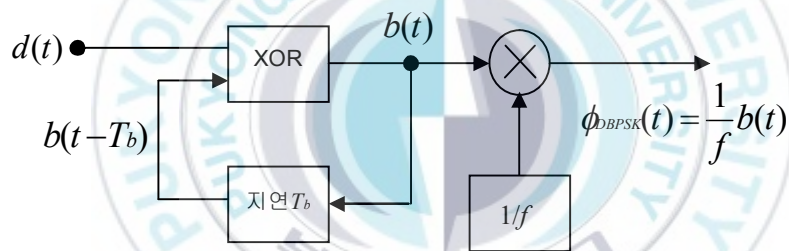
$$h(t) = IFFT[H(f)] \quad (4)$$

총 8192점 중 500점을 선택하여 음향 통신에 사용할 임펄스 응답으로 하였다.

II-2 DBPSK 변조기

DBPSK(Differential Binary Phase Shift Keying) 변/복조 방식은 802.11g 무선 환경에서 널리 사용되는 변조 방식으로 2.4GHz 대역에서는 1Mbps의 전송속도를 보인다. 그리고, DBPSK 통신 방식은 비동기 전송방식으로 복조단에서 반송파 복원 회로가 필요없어 수신기 회로가 동기 전송방식보다 단순하다는 특징이 있다[4].

그림 2에 송신단인 DBPSK 변조기에 대한 블록다이어그램을 도시하였다



[그림 2] DBPSK 변조기 블록다이어그램

DBPSK 변조기에서 중요한 요소 중 하나는 지연회로이다. Exclusive-OR 회로에서 출력된 신호가 지연회로로 피드백되어 T_b 만큼 지연된 $b(t-T_b)$ 신호가 다시 XOR 회로로 입력되어 변조된다.

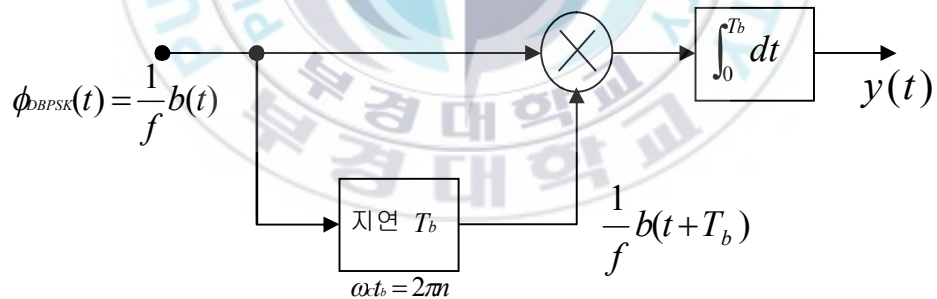
비동기 차동 위상천이 변조는 위상 모호성을 없애주기 위한 방법으로 송수신단에 간단한 차동부호화기와 차동복호화기를 첨가함으로써 구현할 수 있다. 차동 부호화는 데이터를 차동적으로 부호화하는 과정을 일컫는다. 즉, 2진 심볼 0 또는 1의 결정이 그 심볼만으로 끝나는게

아니라 그 이전의 심볼과 비교하여 이루어진다. 차동 부호화된 DBPSK 신호의 검파는 비동기식 검파로 분류된다. 왜냐하면 DBPSK 검파 과정에서 수신 반송파와 기준 신호의 위상이 정확히 일치하지 않을 수도 있기 때문이다[11].

DBPSK의 장점은 위상모호성 제거와 보조에서 반송파를 재생시킬 필요가 없다는 것이다[11].

II-3 DBPSK 복조기

그림 3는 수신단인 DBPSK 복조기에 대한 블록다이어그램을 도시하였다



[그림 3] DBPSK 복조기 블록다이어그램

변조된 신호와 T_b 만큼 지연시킨 신호를 서로 곱하므로 곱셈기의 출력은 식(5)와 같이 주어진다[11].

$$y(t) = \frac{1}{f^2} b(t)b(t-T_b) \quad (5)$$

부호열 $d(t)$ 는 $b(t)b(t-T_b)$ 로부터 쉽게 판단할 수 있다. 즉 $d(t)=0$ 인 경우는 $b(t)$ 와 $b(t-T_b)$ 는 둘 다 +1V이거나 -1V이므로 $b(t)b(t-T_b)=1$ 이 된다. 반대로 $d(t)=1$ 인 경우는 $b(t)$ 와 $b(t-T_b)$ 의 논리 준위가 서로 반대이므로 $b(t)b(t-T_b)=-1$ 이 된다. 따라서 $b(t)b(t-T_b)$ 의 극성, 즉 $y(t)$ 의 극성으로 $d(t)$ 가 0인지 1인지를 구분할 수 있다[11].

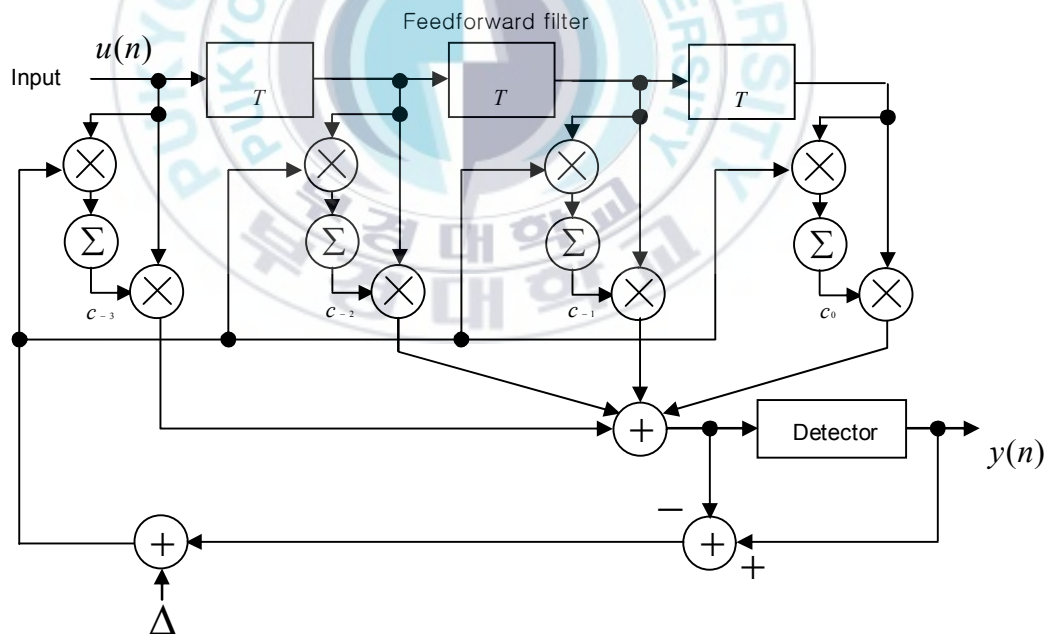
DBPSK는 비트에 대한 오차가 쌍으로 일어날 수 있는 단점이 있으며, 수신 신호의 비트 결정이 두 개의 연속된 비트 구간에 걸쳐 이루어지기 때문이다[11].

II-4 적응 등화기

이퀄라이저(equalizer)는 경로 지연 현상을 극복하기 위한 수단으로 잘 알려진 등화기를 수신단에서 채널 상태를 추정하여 수신신호로부터 채널에 의한 신호왜곡을 제거하는 장치이다[5-6]. 일반적으로 등화기의 주파수 특성은 채널의 주파수 특성과 역 관계에 있으며, 채널 특성과 등화기의 특성이 이상적으로 역 관계라면 복조기의 출력 신호는 변조기의 입력 신호와 같아지게 된다. 등화기는 많은 계산량으로 인해 수신단에서 신호 검출시간을 길게 하고, 전력 소모가 매우 크다는 문제를 안고 있어 이 신호처리 과정을 간소화하는 것이 주요 연구 대상이다[5]. 현재 계산

알고리즘으로는 LMS(Least Mean Square) 방식과 RLS(Recursive Least Square) 방식이 알려져 있다[9-10]. 전자는 안정성이 있고, 구조가 간단한 반면, 수렴시간이 길기 때문에 채널 상태가 빠르게 변화하는 곳에는 적합하지 않고, 이에 후자는 수렴 속도가 짧으나 구조가 복잡해지고 계산량이 많으며 안정성을 항상 고려해야 하는 문제가 있다[5].

그림 4에 FIR 필터로 구성된 이퀄라이저에 대해 도시하였다. FIR 필터로 구성된 이퀄라이저는 지연 소자와 필터 계수로 구성되며 그 출력 결과와 변조기의 입력 신호와의 오차를 계산하여 계수에 반영하는 작업을 반복적으로 수행하게 된다.



[그림 4] 이퀄라이저 블록다이아그램[5]

일반적으로 전파를 이용하는 통신에서 이퀄라이저는 다른 전파경로로 발생하는 ISI(Inter-Symbol Interference)를 제거하기 위해 주로 사용된다[5]. 본 논문의 음향 통신에서 스피커와 마이크로폰과의 거리가 3.4m이지만 실내 공간의 잔향 특성의 영향으로 이퀄라이저의 도입이 임펄스 응답의 추정 및 보정에 사용된다.

일반적으로 시변 공간에서 이퀄라이저는 적응 알고리즘을 사용하여 필터 계수를 계속적으로 추정을 한다. 크게 두 가지 형태로 나누어 지며, 하나는 제로 포싱 이퀄라이저와 같은 최대 왜곡 표준이고, 다른 하나는 RLS 또는 LMS 이퀄라이저들과 같은 평균 제곱 에러 표준이다. 본 논문에서는 그림 4의 이퀄라이저에 LMS 알고리즘을 적용하였다. LMS 알고리즘을 대략적으로 살펴보면 다음과 같다[6].

먼저 이퀄라이저의 출력은 필터 계수 $c(n)$ 과 지연이 고려된 입력 신호 $u(n)$ 과의 컨볼루션으로 다음과 같이 주어지며, 이 신호는 복조기의 입력 신호로 간주된다.

$$y(n) = c(n)u(n) \quad (6)$$

이 출력 신호 $y(n)$ 과 변조기의 입력 신호인 $d(n)$ 과의 오차를 계산하면 다음과 같다.

$$e(n) = d(n) - y(n) \quad (7)$$

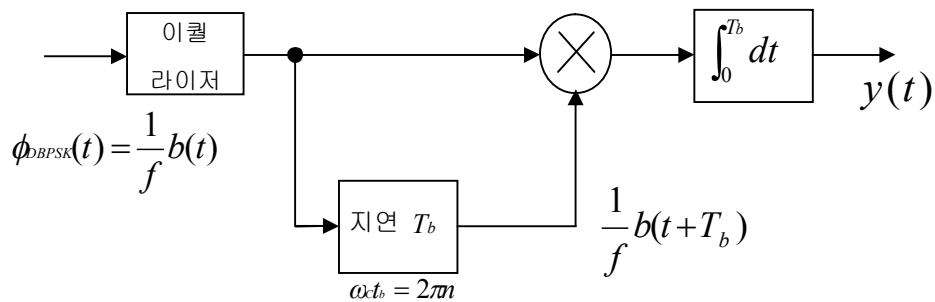
LMS 알고리즘은 오차의 제곱을 최소화시키는 알고리즘이므로, 식 (7)의 오차를 제곱하고 구하고자 하는 계수 $c(n)$ 에 대해 편미분하면 다음과 같이 주어진다[9-10].

$$c(n+1) = c(n) - 2\mu u(n)e(n) \quad (8)$$

여기서 μ 는 알고리즘의 수렴 속도를 조절하는 스텝 사이즈(step size)로 보통 0과 1사이의 값을 가진다. 식 (6)-(8)의 과정을 반복적으로 수행하여 오차가 최소가 될 때, 그 때의 계수 $c(n)$ 은 구하고자 하는 이퀄라이저의 계수가 되며, 통신 채널 특성과는 역관계의 주파수 특성을 가지게 된다.

II-5 ADBPSK 복조기

이 절에서는 앞 절의 적응 등화기를 이용한 ADBPSK(Adaptive Differential Binary Phase Shift Keying) 시스템에 대해 간단히 살펴보기로 한다. ADBPSK의 변조기는 그림 2의 DBPSK 변조기와 동일한 것을 그대로 사용하며, ADBPSK 복조기를 도식하면 그림 5와 같다.



[그림 5] ADBPSK 복조기 블록다이어그램

블록다이어그램을 살펴 보면 II-3절에서 소개한 그림 3의 DBPSK 복조기의 블록 다이어그램과 거의 유사하다. 복조기 앞단에 위치한 이퀄라이저는 ADBPSK 복조기에서 Adaptive한 역할을 하는 중요한 구성 요소이다.

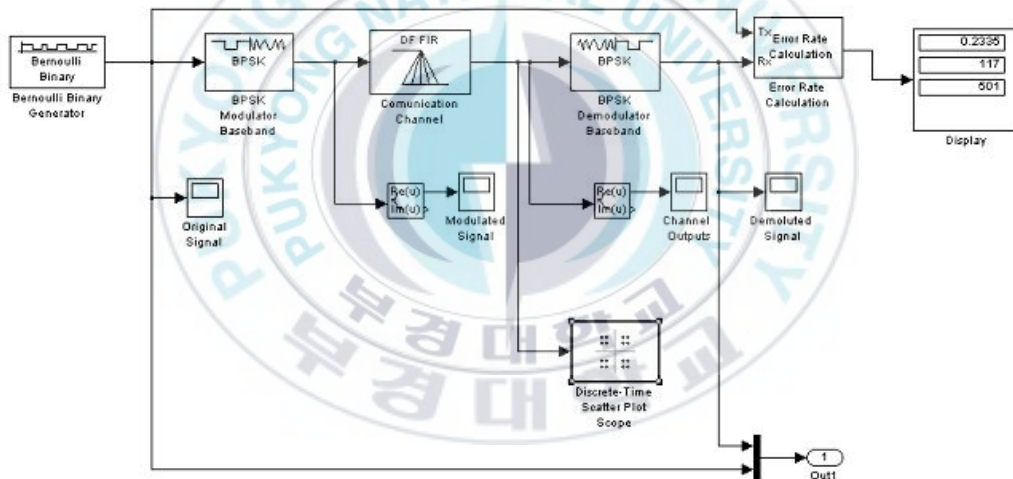
ADBPSK 시스템에서 마이크로폰에 수신된 신호는 Amp를 통해 ADBPSK 변조기에 적용된다. ADBPSK 변조기에서, 지연회로는 하나의 심볼로 수신된 신호를 지연시키고, 그 지연된 신호와 수신된 신호를 서로 곱한다. 지연된 검파신호는 LPF를 통과해서 심볼판단회로에 의해서 2진 자료로 변환된다. 평가된 이진자료는 결국 원래의 자료를 재생하도록 기대된다[11].



Ⅲ. 실험 결과와 토론

Ⅲ-1 전송 실험

그림 6은 Matlab에서 실제 구현한 DBPSK 변/복조 실험 시스템[14]의 블록다이어그램이다.



[그림 6] DBPSK 실험시스템 블록다이어그램

블록다이어그램에서 2진 입력신호에 대한 원신호, 변조신호, 채널 출력신호, 복조신호를 각각 확인할 수 있고, Error Rate Calculator에서 원신호와 복조신호 사이의 에러율(%)을 확인할 수 있다. 실험장소는 무향실과 일반 실험실 2개의 장소에서 실험하였다. 각각의 전송된

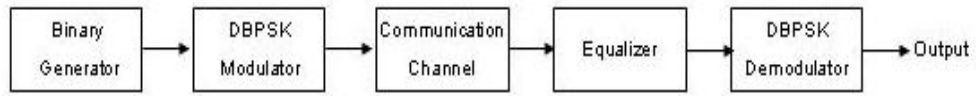
자료는 0과 1로 이루어진 2진 신호이고, 반송 주파수는 10kHz이다. 2진 신호는 DBPSK 변조기를 거치면서 1과 -1의 신호로 변조되며, 통신 채널을 거쳐 수신단에 도달하게 된다. 수신단에 도달한 신호로부터 복조기를 거치면 원래의 0과 1로 구성된 2진 신호로 복원된다.

이 시스템은 단거리 통신을 위한 것이어서, 공기로 운반되는 소리를 이용하는 몇몇의 통신이 동시에 같은 지역에서 발생하지만 않는다면, 다른 통신이 이 시스템의 밴드 밖 잡음으로 차단되지는 않는다. 그러므로, 좀 더 폭 넓은 주파수를 사용하기 위해 반송 주파수는 10kHz로 맞추며, 그것은 스피커 주파수 특성의 가운데 지점과 가깝다. 먼저, 시스템의 임펄스 응답이 측정된다. 임펄스 응답의 영향을 줄이기 위해 요구되는 하나의 심볼 간격 T 를 정하기 위해 $T = 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6\text{ms}$ 를 샘플로 실험하였다. 즉 $T=0.1\text{ms}$ 의 신호는 반송파 10kHz의 샘플 간격인 0.1ms 단위로 하나의 심볼 신호를 보내는 것이며, $T=0.2\text{ms}$ 는 두 샘플 간격당 하나의 심볼 신호를 보내는 것을 의미하다. 일정한 SNR의 조건하에서 통신의 품질이 실험을 통해 검증된다. 그리고 또한, 통신 품질은 다양한 SNR과 상수 T 의 조건하에서도 검증된다.

그림 7과 그림 8은 DBPSK 실험 시스템과 이퀄라이저를 사용한 ADBPSK 실험 시스템을 간략하게 나타낸 것이다.



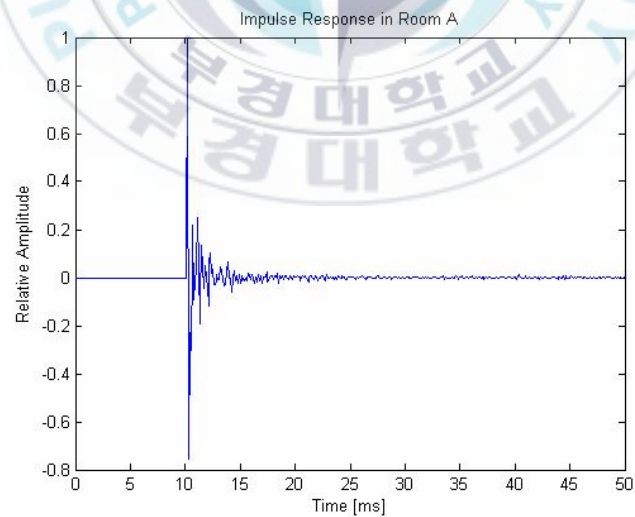
[그림 7] DBPSK 실험시스템 간략도



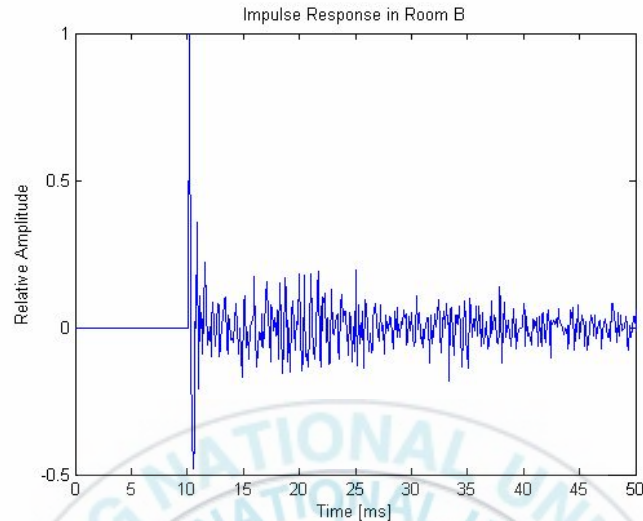
[그림 8] ADBPSK 실험시스템 간략도

III-2 음향 시스템에서 임펄스 응답

공기중 통신 실험을 위해 먼저 그림 1의 시스템을 이용하여 무향실 및 일반 실험실에서 임펄스 응답을 측정하였다. 측정에 앞서 주변 소음의 평균치를 측정한 결과 각각 32.2dB 및 43.2dB로 나타났다.



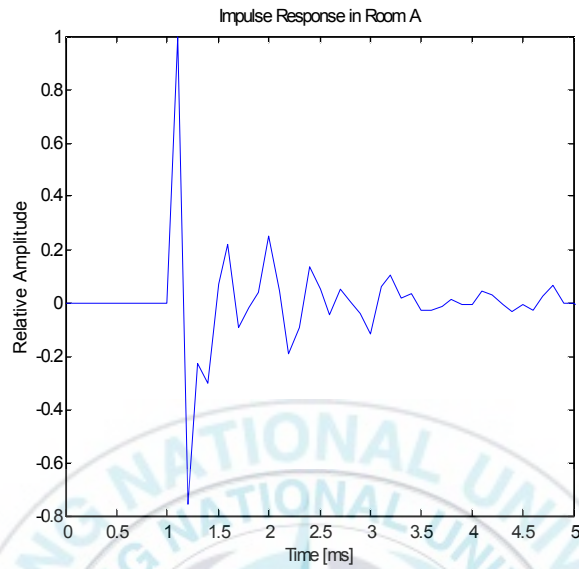
[그림 9] 무향실에서 음향 시스템의 임펄스 응답



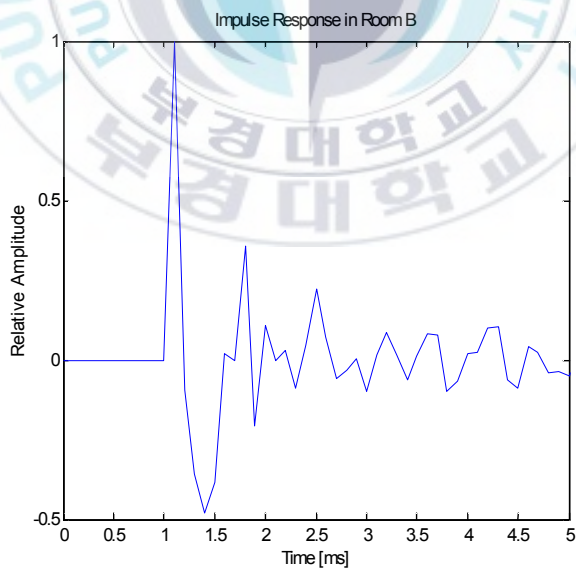
[그림 10] 일반 실험실에서 음향 시스템의 임펄스 응답

스피커의 출력 신호로 랜덤 신호를 사용하고 마이크로폰의 입력 신호로부터 식 (3)-(4)의 처리를 한 후 500점을 취한 임펄스 응답을 그림 9-10에 나타내었다. 그림에서 확인할 수 있듯이 스피커와 마이크로폰의 거리가 3.4m인 관계로 약 10ms의 지연이 있는 것을 알 수 있다. 또한 무향실에서의 임펄스 응답은 급격히 감쇠하여 20ms 이후에는 신호가 거의 없는 것으로 볼 수 있으나, 일반 실험실의 경우 50ms까지 계속되는 것을 알 수 있다. 이 임펄스 응답으로부터 실내 공간에서의 임펄스 응답이 다중 반사 및 주변 잡음의 영향을 많이 받는 것으로 추정할 수 있다.

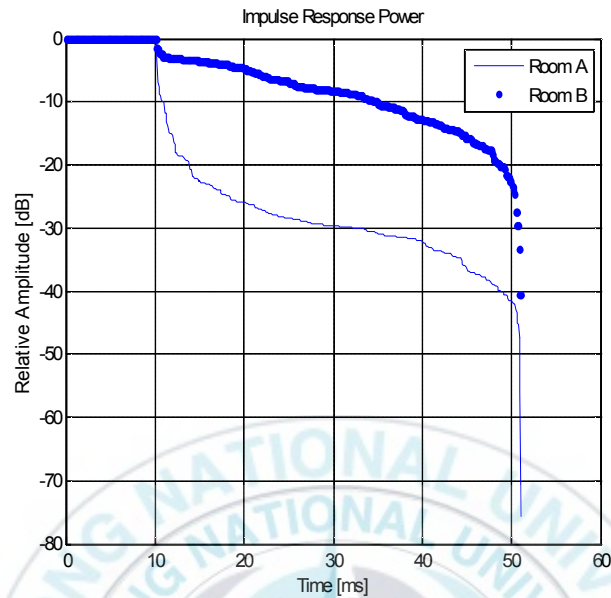
그림 11-12는 10ms 지연을 전후하여 -1ms와 4ms를 확대하여 살펴본 것으로, 최대 피크 이후 4개 정도의 파의 진폭이 상대적으로 크게 나타남을 알 수 있고, 이로 인해 마이크로폰에 입력된 신호의 진폭에 많은 영향을 미칠 것으로 판단된다.



[그림 11] 무향실에서 음향시스템의 임펄스 응답 확대



[그림 12] 일반 실험실에서 음향시스템의 임펄스 응답 확대



[그림 13] 임펄스 응답 파워 비교

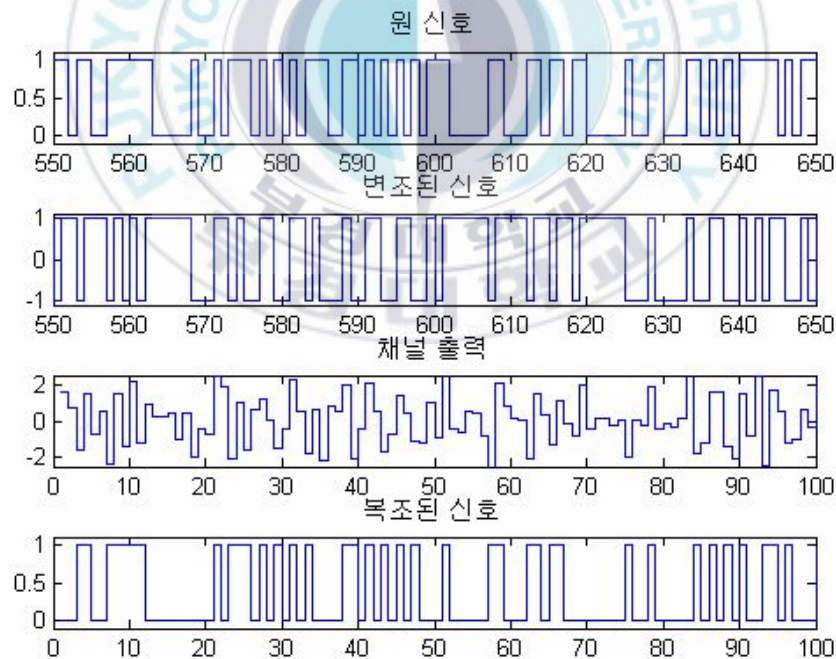
그림 13은 두 실험실의 임펄스 응답을 비교하기 위해 잔향 파워를 도시한 것으로, 무향실의 경우 음의 감쇠가 급격하게 일어남을 알 수 있고, 일반 실험실의 경우 파워가 50ms까지 계속됨을 알 수 있다.

이 임펄스 응답에 송신 신호가 컨벌루션되어 복조기의 입력 신호로 취급된다. 각각의 임펄스 응답의 영향으로 송신된 파형이 서로 겹치게 되며, 이로 인해 송신된 파형에서 정보를 줄이는 결과로 나타날 것이다. 그러므로, 송신시 사용될 심볼 주기 T 가 짧아지면 짧아질수록 임펄스 응답의 영향이 증가할 수도 있다. 또한 T 가 길면, 이동 평균과 같은 효과로 인하여 그 영향이 줄어들 수도 있다.

Ⅲ-3 통신 실험 결과

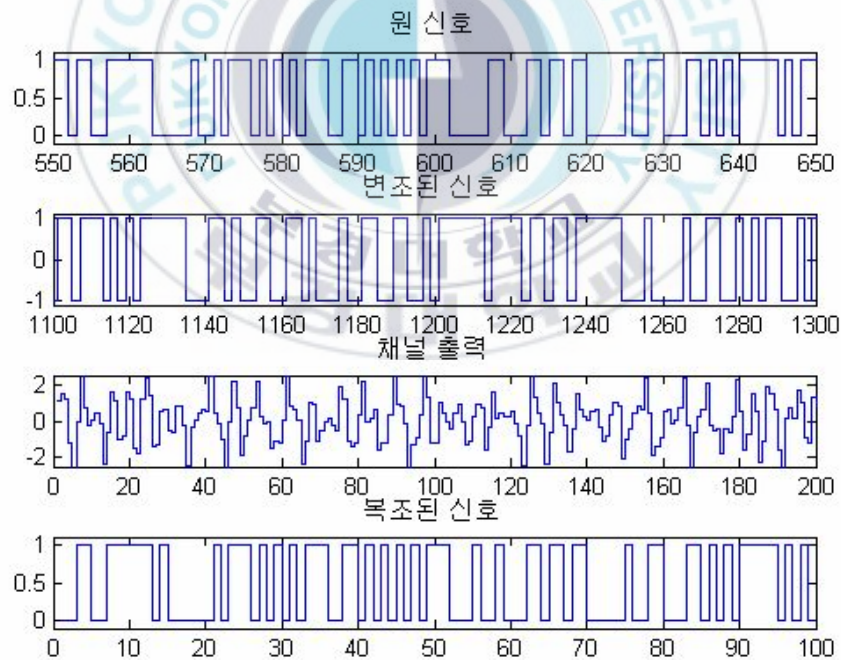
Ⅲ-3-1 DBPSK 실험의 결과

먼저 무향실의 결과를 살펴 보면, 그림 14는 Ⅲ-1절에서 도시하였던 그림 7의 DBPSK 실험 시스템에서의 원신호, 변조신호, 통신채널에서의 출력신호, 그리고 복조신호 파형을 차례대로 나타낸 것이다. 반송파의 주파수가 10kHz이므로 각 주기마다 한 심볼씩 송신되는 $T=0.1\text{ms}$ 인 경우의 결과이다.



[그림 14] 무향실에서의 입출력 파형($T=0.1\text{ms}$)

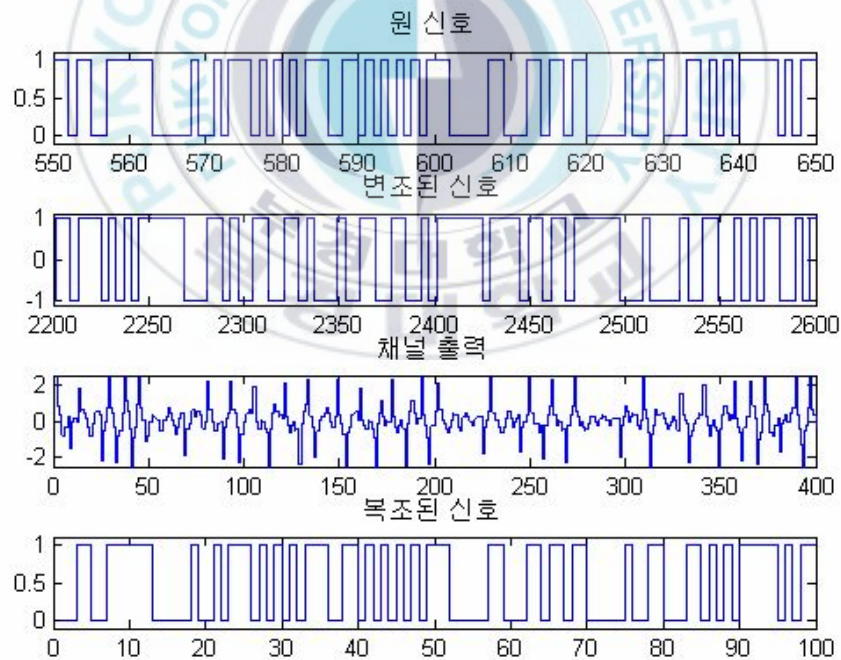
원신호는 0과 1로 이루어진 2진 신호이며, DBPSK 변조된 신호는 -1과 1로 구성된 디지털 신호이다. 채널을 통과한 신호는 임펄스 응답과의 건별루션에 의해 진폭이 -2에서 +2사이의 값으로 나타났다. 이 신호에 0.975의 임계값을 취하여 복조한 신호의 결과는 원신호와 유사한 2진 신호이다. 총 100개의 전송 신호중 15개의 에러가 발생하였다. 즉 $T=0.1\text{ms}$ 로는 전송시 에러가 발생하며 패리티 비트와 같은 다른 보완 시스템이 필요함을 알 수 있다.



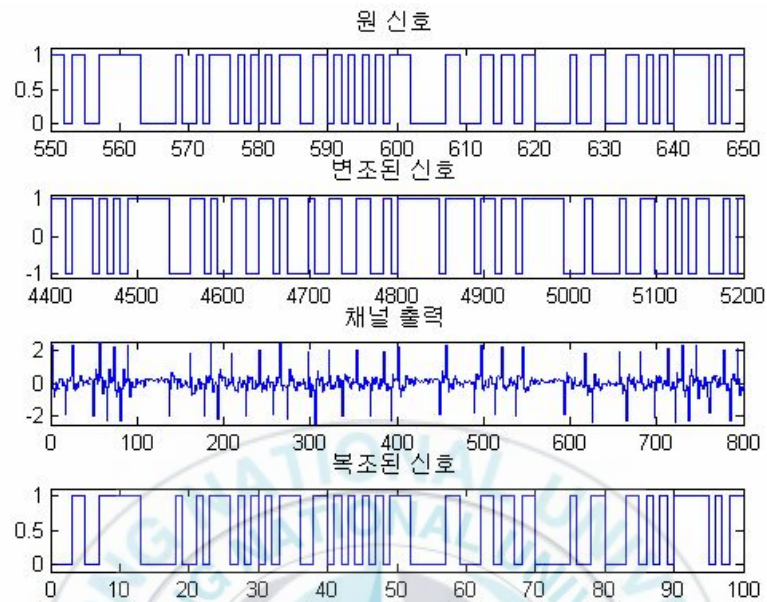
[그림 15] 무향실에서의 입출력 파형($T=0.2\text{ms}$)

다음으로 $T=0.2\text{ms}$ 인 신호의 결과를 그림 15에 나타내었다. 신호의 순서는 그림 14와 동일하다. $T=0.2\text{ms}$ 라는 것은 하나의 심볼을 두 주기에 걸쳐 전송하는 것을 의미한다. 즉, $T=0.1\text{ms}$ 일때보다 전송 속도가 2배 느려지게 됨을 의미한다. 총 7개의 오차가 발생하였다.

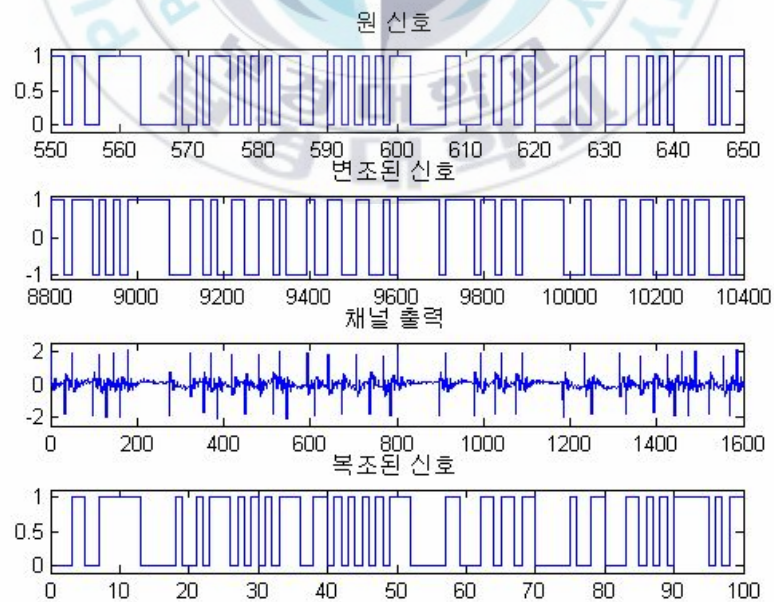
마지막으로 그림 16-18는 각각 주기 $T=0.4\text{ms}$, 0.8ms , 1.6ms 인 일 때의 결과이다. 그림 16-18의 결과에서는 비트 에러가 발생하지 않았다. 즉, 측정된 무향실의 경우 $T=0.4\text{ms}$ 이상의 경우, 에러없이 공기중 음향 통신을 할 수 있다는 것을 의미하며 이 때의 전송 속도는 2.5kbps 가 된다.



[그림 16] 무향실에서의 입출력 파형($T=0.4\text{ms}$)



[그림 17] 무향실에서의 입출력 파형($T=0.8\text{ms}$)



[그림 18] 무향실에서의 입출력 파형($T=1.6\text{ms}$)

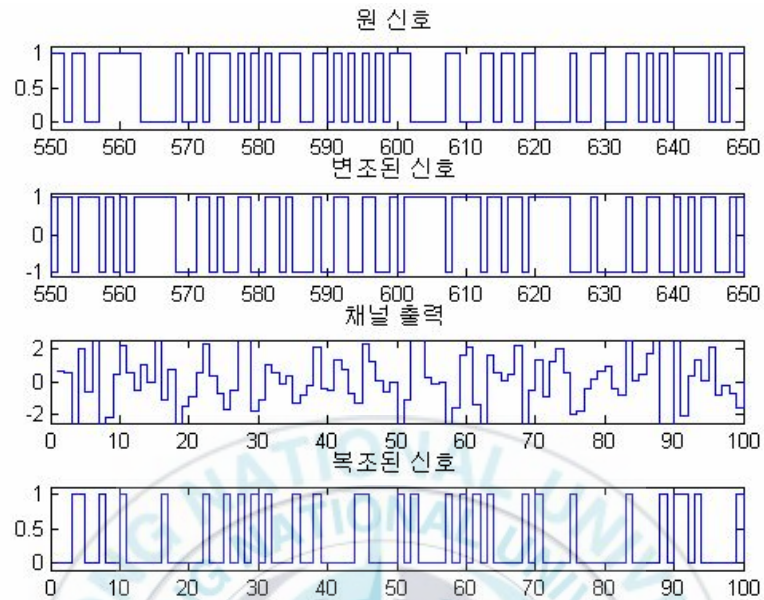
이상의 결과를 정리하여 표 1에 나타내었다. 주기 $T = 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6\text{ms}$ 일 때 원신호와 에러의 갯수를 각각 표로 정리한 것이다. 에러율을 %로 표기하였다.

[표 1] 무향실에서의 에러율

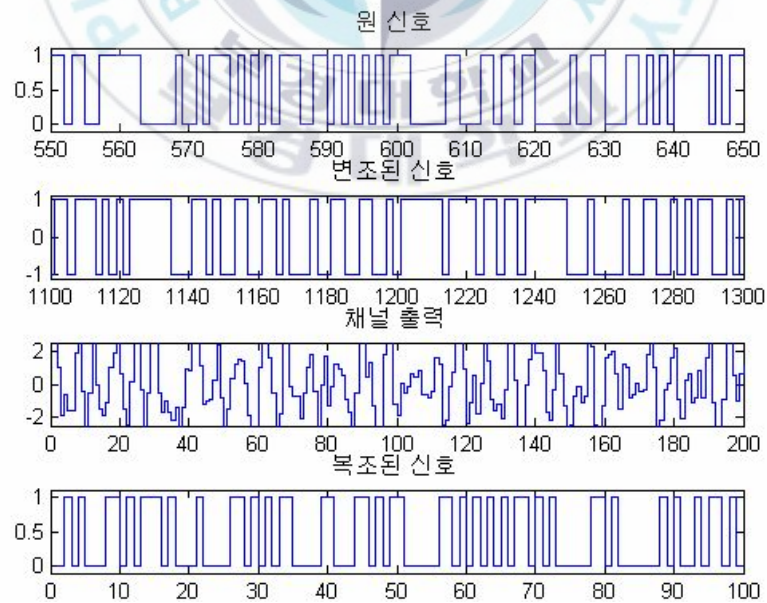
주기 T	무향실			비고
	원신호	에러	에러율(%)	
0.1	100	15	15%	
0.2	100	7	7%	
0.4	100	0	0%	
0.8	100	0	0%	
1.6	100	0	0%	

$T=0.4\text{ms}$ 인 경우 전송 속도는 2.5kbps 이므로, 전파를 이용하는 통신의 경우 사용되는 반송파가 2.4GHz 이므로 10kHz 에 대해 2.5kbps 인 경우를 비교하여 보면, 600kbps 정도의 전송 속도를 보이는 것으로 계산되므로, 1Mbps 보다는 60% 정도의 전송 속도가 나옴을 알 수 있다.

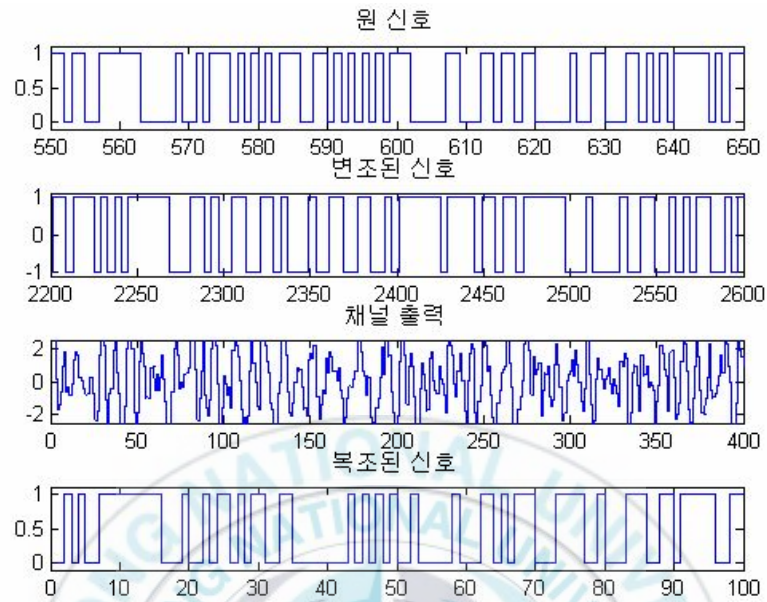
다음으로 일반 실험실의 결과를 도시하면 그림 19-23과 같다. $T=0.1\text{ms}$ 의 채널 출력 신호 자체는 무향실의 것과 별 다른 것이 없어 보이나 실제 복조를 한 결과, 무향실의 결과와는 달리 많은 오차가 발생하였다. 두 실험실의 임펄스 응답의 잔향 파워 감쇠의 결과로부터 유추해 보면, 아주 급격히 감쇠하던 무향실과는 달리 50ms 까지 에너지를 가지고 있던 임펄스의 응답이 영향을 미친 것으로 추정할 수 있다.



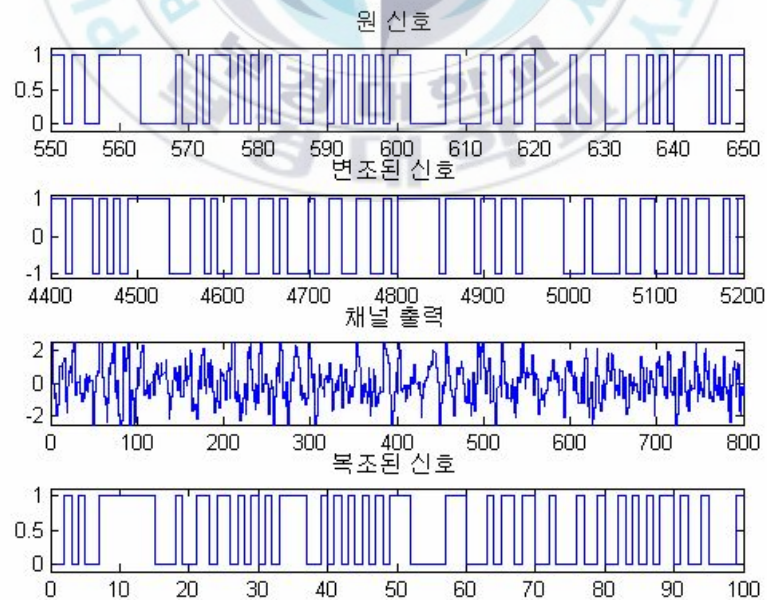
[그림 19] 일반 실험실에서의 입출력 파형($T=0.1\text{ms}$)



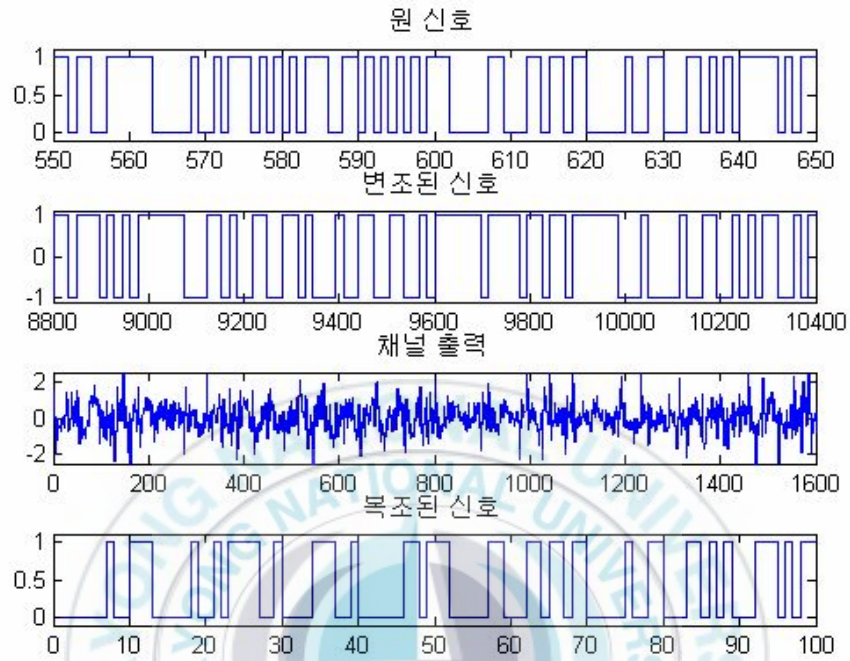
[그림 20] 일반 실험실에서의 입출력 파형($T=0.2\text{ms}$)



[그림 21] 일반 실험실에서의 입출력 파형($T=0.4\text{ms}$)



[그림 22] 일반 실험실에서의 입출력 파형($T=0.8\text{ms}$)



[그림 23] 일반 실험실에서의 입출력 파형($T=1.6\text{ms}$)

그림 22-23의 채널 출력과 그림 17-18의 채널 출력을 비교하여 보면, 그림 22-23의 채널 출력 결과에 잡음이 많이 부가되어 있는 것처럼 보인다. 즉, 일반 실험실의 임펄스 응답의 영향으로 정상적인 통신을 할 수 없는 것으로 나타났다.

표 2에 일반 실험실에서 주기 $T = 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6\text{ms}$ 일 때 원신호와 에러의 갯수를 각각 표로 정리한 것이다. 그리고 에러율을 %로 표기하였다. T 의 길이가 길어짐에 의해 에러가 감소를 하고는 있지만 1.6ms 에도 에러가 발생함을 알 수 있었다.

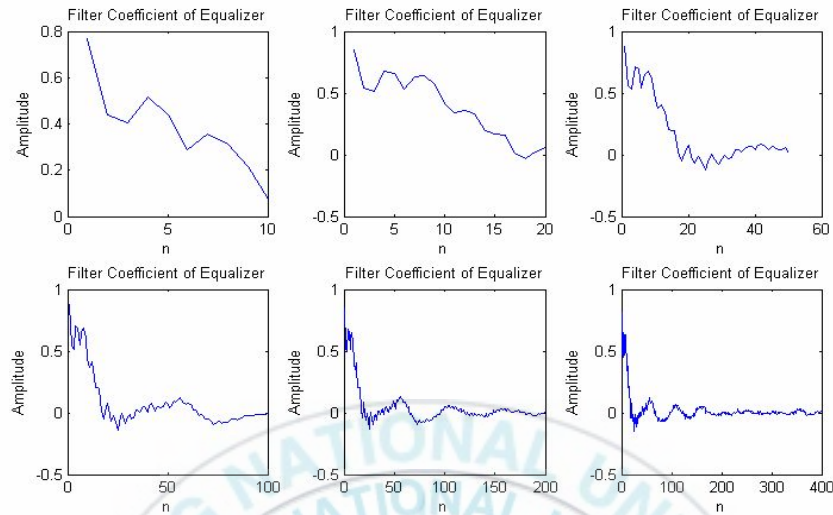
[표 2] 일반 실험실에서의 에러율

주기 T	일반 실험실			비고
	원신호	에러	에러율(%)	
0.1	100	25	25%	
0.2	100	33	33%	
0.4	100	27	27%	
0.8	100	18	18%	
1.6	100	11	11%	

III-3-2 ADBPSK 실험의 결과

ADBPSK 시스템의 성능을 평가하기 위해 그림 4의 적응 등화기를 사용하여 전송 실험을 하였다. 사용한 적응 알고리즘은 LMS 알고리즘이며, 제공 오차가 충분히 작아지도록 무향실의 경우 250,000번의 반복 연산을, 일반 실험실의 경우 500,000번의 반복 연산을 한 후 그 계수를 뽑아내었다. 사용된 임펄스 응답은 총 512점이나 지연까지의 101점은 제거하고 나면 약 400점 정도가 되므로, 적응 등화기의 필터 최대 차수를 400으로 하였으며, 차수를 줄여가면 전송 결과를 비교하였다.

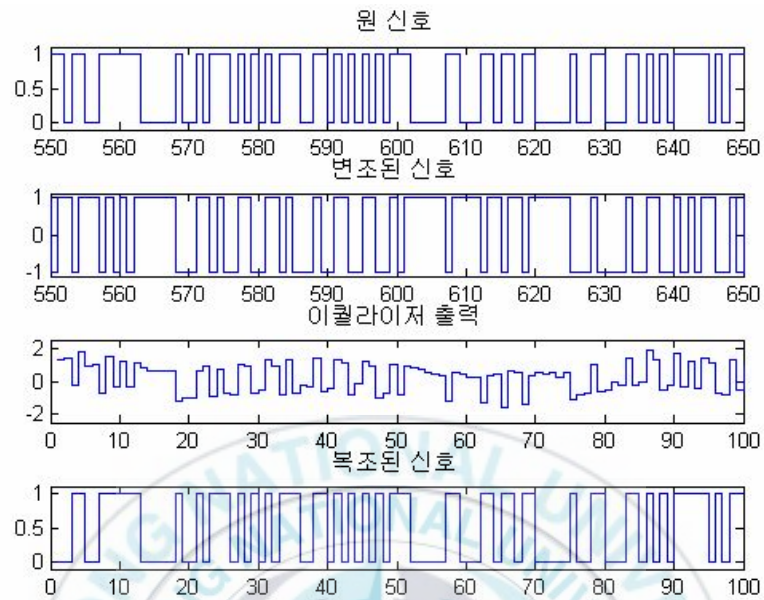
그림 24는 무향실에서의 적응 등화기의 차수 n에 따른 필터 계수를 나타낸 것이다.



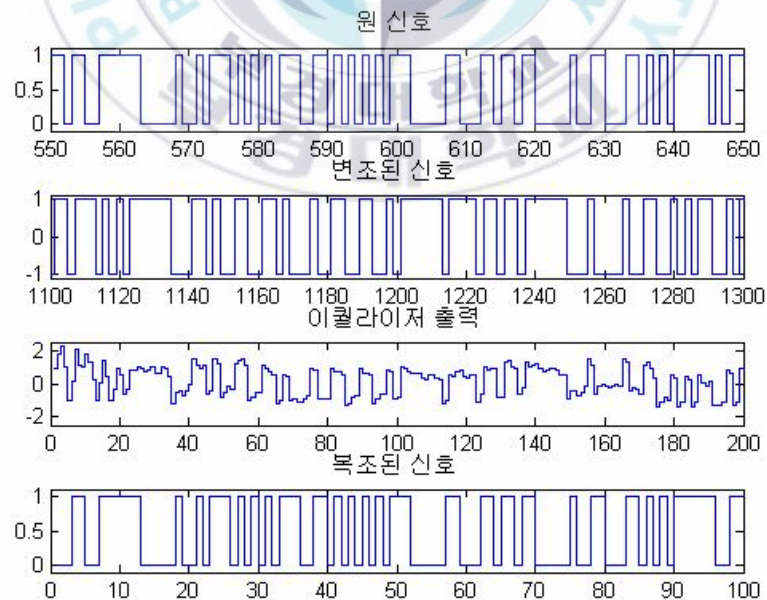
[그림 24] 무향설의 이퀄라이저 필터 계수

왼쪽 위에서부터 $n=10, 20, 50, 100, 200, 400$ 의 결과이며, $n=400$ 의 계수를 살펴보면 약 200 근처에서부터는 거의 신호가 없음을 알 수 있다. 즉, 필터 계수의 길이가 필요 이상으로 사용되고 있음을 의미한다고 볼 수 있다.

그림 25-26에 그 결과를 나타내었으며, 표 1의 결과에 의거하여 $T=0.1, 0.2\text{ms}$ 의 두 경우에 대해서만 살펴보았다. 이퀄라이저의 출력이 비교적 깨끗하게 나와 있음을 알 수 있다. 표 3에 그 결과를 나타내었다. $T=0.1\text{ms}$ 의 경우 필터 길이를 50 보다 크게 하면 에러가 발생하지 않음을 알 수 있고, $T=0.2\text{ms}$ 의 경우는 필터 길이 50에서는 전혀 에러가 없으므로 20 보다 크게 하면 문제없이 통신을 할 수 있음을 알 수 있다. 즉 $T=0.2\text{ms}$, $n=50$ 이면 통신이 가능하며, 반송파 10kHz 의 경우, 5kbps 이상의 전송 속도를 얻을 수 있음을 알 수 있으며, DBPSK의 2.5kbps 보다 2배 이상의 빠른 속도로 전송할 수 있음을 알 수 있다.



[그림 25] 무향실에서 이퀄라이저를 사용한 입출력 파형($T=0.1\text{ms}$)



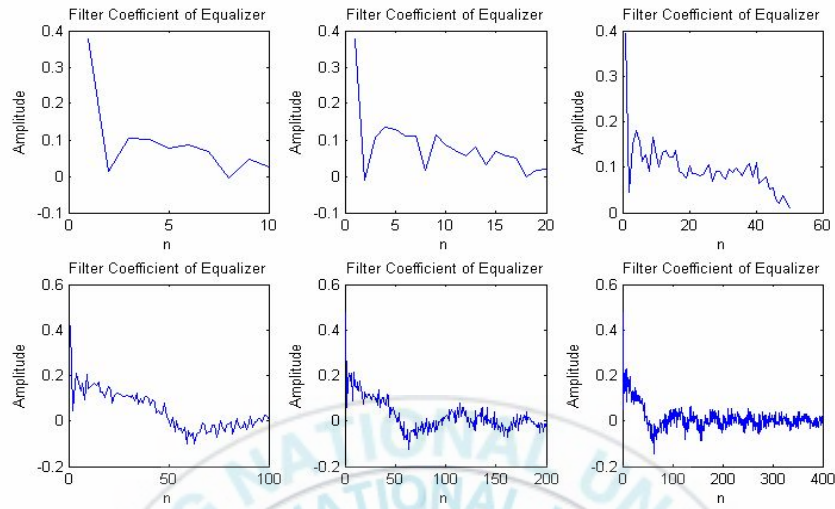
[그림 26] 무향실에서 이퀄라이저를 사용한 입출력 파형($T=0.2\text{ms}$)

[표 3] 무향실에서 이퀄라이저를 사용하였을 때의 에러 갯수

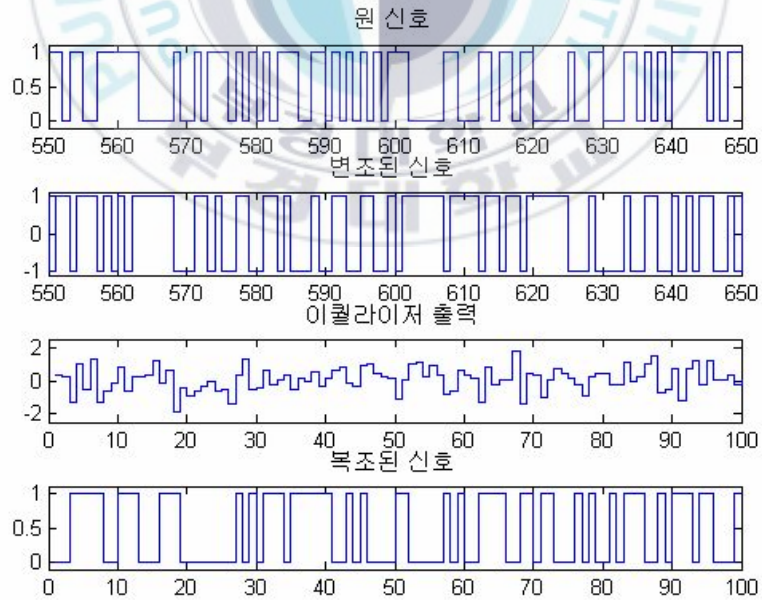
필터 계수의 길이	에러 갯수		비 고
	T = 0.1ms	T = 0.2ms	
10	6	3	
20	3	1	
50	3	0	
100	0	0	
200	0	0	
400	0	0	

또한 $T=0.1\text{ms}$ 의 경우도 필터 길이 n 을 100으로 하면 10kbps의 속도로 통신을 할 수 있음을 알 수 있다.

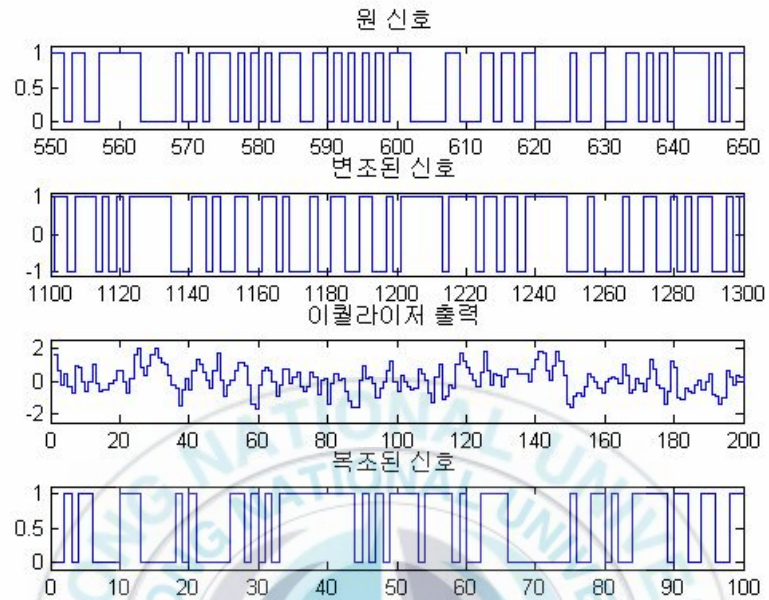
마지막으로 일반 실험실에서 이퀄라이저를 이용한 결과를 살펴본다. 먼저 필터 차수의 길이에 따른 필터 계수는 그림 27과 같이 주어졌다. 무향실의 결과와 비교하여 보면, 전체적인 모양은 비슷하나 많은 진동(fluctuation)이 있음을 알 수 있다. 즉, 주변 잡음의 영향이 큰 것으로 판단할 수 있다. 그림 28-29는 $T=0.1, 0.2\text{ms}$ 인 경우에 적용한 결과를 나타낸다, 이퀄라이저의 출력이 무향실의 것과 비교하여 안정적이지 못함을 알 수 있다. 최종 결과를 표 4에 정리하였다. DBPSK와 비교하여 별다른 소득이 없고 약 20% 정도의 오차는 계속적으로 나타났다.



[그림 27] 일반 실험실의 이퀄라이저 필터 계수



[그림 28] 일반 실험실에서 이퀄라이저를 사용한 입출력 파형($T=0.1\text{ms}$)



[그림 29] 일반 실험실에서 이퀄라이저를 사용한 입출력 파형($T=0.2\text{ms}$)

[표 4] 일반실에서 이퀄라이저를 사용하였을 때의 에러 개수

필터 계수의 길이	에러 갯수		비 고
	$T = 0.1\text{ms}$	$T = 0.2\text{ms}$	
10	24	22	
20	26	18	
50	22	20	
100	20	20	
200	25	21	
400	24	23	

IV. 결 론

전체 시스템을 하나의 마이크로폰과 하나의 스피커로 구성하여, 공기 중에서 음파를 이용한 DBPSK 및 ADBPSK 디지털 통신 실험을 수행하였다. 이 실험에서 공기 중의 디지털 통신에서 임펄스 응답을 토대로 DBPSK 및 ADBPSK 디지털 통신에서 임펄스 응답의 영향이 조사되었다. 실험장소는 무향실과 일반 실험실 2곳에서 수행하였다. 공기 중 디지털 통신에 있어서 임펄스 응답이 영향을 최소화하기 위해 심볼 주기의 길이를 조절하는 실험을 수행하였으며, 적응 등화기를 사용한 실험을 수행하여 그 결과를 비교 분석하였다.

그 결과 DBPSK 시스템의 경우, 무향실에서는 심볼 주기의 길이가 길어질수록 에러가 줄어 들다가 심볼 주기가 반송파의 4배 ($T=0.4\text{ms}$) 부터 에러가 발생하지 않았고, 일반 실험실에서는 심볼 주기의 길이 변화에 관계없이 주변 잡음의 영향으로 에러 발생이 계속적으로 나타남을 확인할 수 있었다.

ADBPSK 시스템의 경우, 무향실에서는 이퀄라이저 필터 계수가 증가함에 따라 에러 발생이 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. $T=0.2\text{ms}$, $n=50$ 인 경우, 5kbps의 속도로 통신이 가능하였으며, $T=0.1\text{ms}$, $n=100$ 인 경우, 10kbps의 속도로 통신이 가능함을 확인하였다.

반면, 일반 실험실에서는 이퀄라이저 필터 계수의 길이 변화에 관계없이 주변 잡음의 영향으로 에러 발생이 불규칙하게 나타남을 확인할 수 있었다.

추후 과제로 공기중 안정적인 음향 통신을 위해서 SNR 별로 통신

성능을 비교하는 실험 및 일반 실험실에서 전송이 가능한 변조 방식에 대한 연구가 계속되어야 할 것으로 판단된다.



參 考 文 獻

- [1] The marine acoustics society of Japan, MARINE ACOUSTICS - Fundamentals and applications, the marine acoustics society of Japan, 1984.
- [2] Masatsugu Sakurai, “A Computational Software for Identification of Noise - an Application for Car Engines,” Kobe International Workshop, 1999.
- [3] Richard H. Mgya, et al., “Vehicle Identifications Using Acoustic Sensing,” IEEE, p.555-560, 2007.
- [4] Keiichi Mizutani, Naoto Wakatsuki, and Koichi, “Acoustic Communication in Air Using Differential Biphase Shift Keying with Influence of Impulse Response and Background Noise.” Japanese Journal of Applied Physics, 46, pp.4541-4544, 2007
- [5] Chun-Dan Lin, “QPSK System Design for Underwater Acoustic Communication,” Department of Telematics Engineering, the Graduate School, Pukyong National University, 2003.
- [6] John Proakis, Contemporary Communication Systems, Blooks/Core Inc., 1999.
- [7] Donald E. Hall, Basic Acoustics, California State University, John Wiley & Sons, Inc. 1987.
- [8] Robert J. Schilling and Sandra L. Harris, Fundamentals of Digital Signal Processing Using MATLAB, Thomson Learning, 2004.
- [9] Simon Haykin, Adaptive Filter Theory 2nd Edition, Prentice Hall Inc., 2001.
- [10] Bernard Widrow, Adaptive Signal Processing, Prentice Hall Inc., 1985.

- [11] 김상연, “2.4Ghz ISM 대역 채널 환경에서 무선데이터 시스템 간의 상호간섭 영향 분석,” 우송대 정보산업 대학원, 2004.
- [12] ETRI, “무선LAN의 기술개발 동향,” ETRI 주간기술동향, 제 853호, 2004.
- [13] 곽두영, LabVIEW Express, Ohm사, 2003.
- [14] Mathworks, <http://www.mathworks.co.kr>



감사의 글

사회생활과 학업을 병행하면서 많은 어려움을 극복하고 마침내 결실을 맺게 되어 가슴이 벅차 오릅니다.

이 학위 논문이 있기까지 모든 면에서 자상한 지도와 보살핌을 주신 박규철 교수님의 은혜에 진심으로 감사드립니다. 또한 본 논문이 책으로 출판되기까지 아낌없는 충고와 조언을 해 주신 심사위원 김석태 교수님과 김성운 교수님께 깊이 감사드립니다.

그 동안 2년여간의 석사과정을 통하여 많이 느끼고 배웠습니다. 힘들때나 기쁠때나 함께 해준 우리 학우 여러분들께도 이글로 감사의 마음을 대신합니다. 그리고 음향정보처리 연구실의 모든 학우들에게도 앞날에 축복이 있기를 기원합니다.

항상 아낌없는 사랑과 용기를 주고 제가 버틸수 있는 원천적 힘을 준 나의 아내 수진이와 딸 나영이에게 감사와 고마움을 전하며 부모님, 처부모님, 누나, 형에게 감사드리고 고마움을 전합니다.

다가오는 2008 년 새해 모두 복 많이 받으시고 하시고자 하는 일 다 성취하는 한 해가 되시길 바랍니다. 감사합니다.

2007년 12월
김 홍 년