

# 水中 超音波 디지털 多重通信을 위한 프로토콜 設計 및 具現에 관한 研究

朴 沆 植\* · 林 宰 弘\*\*

A Study on the Protocol Design and Implementation for an Underwater Acoustic-based Multi-channel Digital Communication

## Abstract

Recently, due to the increasing interests in deep sea development, all possible efforts to the development of underwater unmanned working vehicles such as AUV(Autonomous Underwater Vehicle) or underwater robot are exerted. The underwater system is autonomously navigated by using the ultrasonic communication system, which receives the control signals from surface ship and sends the underwater information to the surface ship.

Proposed system consists of an acoustic transducer which operates at 136kHz center frequency and it's 10kHz bandwidth, pre-amplifier,  $\pi/4$  QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) modulation/demodulation method, image compressing method using JPEG technique and modified Stop & Wait protocol.

The basic schemes of underwater digital communication network are similar to the existing wired/wireless local area network in the view of communication distance and broadcasting media.

But, the media access control protocol such as CSMA(Carrier Sense Multiple Access) for the existing networks is intended to use in the communication network using the high speed media such as electric signal or microwave signal, and thus it may introduce the reduction in throughput when applying this protocol to underwater communication network.

\* 한국해양대학교 전자통신공학과 박사과정 전자전산 전공

\*\* 한국해양대학교 전자통신공학과 조교수

The CSMA protocol is highly specialized to produce a high throughput when packet transmission time is 100 times longer than propagation delay. But, propagation delay in underwater ultrasonic network is usually longer than packet transmission time, and the maximum throughput decreases dramatically.

The application level services for underwater network include transferring the control signals from surface ship, the underwater images from underwater systems and the data transmission from sensors.

In particular, it is required that the network speed must be about 10-50kbps for transmitting the image data in real-time.

But, service speed range of underwater communication system is only 1-10kbps due to the limited sound speed in underwater.

Therefore, the low speed channel is restricted to the various data transmission in real-time. And it becomes more difficult for multiple underwater systems to use a single channel as a common media.

In summary, a media access control protocol for underwater communication network that allows peer-to-peer communication between a surface ship and multiple underwater systems is designed, in this study and the test results of proposed control protocol is verified for an underwater acoustic-based multi-channel digital communication.

## 제1장 서론

인류 역사 이래 수세기 전부터 생계의 수단으로 잠수를 하여왔고, 수중의 신비함을 연구하기 위한 목적으로 좀 더 깊은 곳으로 잠수하고자 하는 욕구와 더불어 이러한 잠수 도구들을 만들어 왔다.

근래에 이르러 해양 개발, 탐사 또는 군사적 목적을 위하여 수많은 잠수정들이 개발되었고, 이로 인하여 수중과 육지간 또는 수중과 수중간의 정보교환 수단으로 수중에 서도 육상과 동일하게 실 시간적이면서도 효율이 좋은 통신장비의 개발을 필요로 하게 되었다.

수중에서 초음파를 이용한 디지털 통신은 한정적인 물리적 환경 아래 전송효율을 최대한 증대시켜야 하는데 이를 위해서 전송효율을 높일 수 있는 전송오류감소와 효율이 높은 접속제어 프로토콜(Protocol)이 요구된다[1].

수중 통신로의 물리적 특성에 의해 수상의 모선에서부터 수중의 AUV로 각종 제어

명령 및 데이터를 전송하는 경우에는 전송지연이 발생하며, 이러한 전송지연은 AUV를 제어함에 있어 그 명령에 시간적 오차가 발생하므로 시간적 지연을 초래하여 결국은 수중의 물체에 충돌할 가능성이 높다[2].

본 논문에서는 수중에서 초음파를 이용한 디지털 통신에서 발생하는 멀티패스를 모델링(Modeling)하고 이를 이용하여 시뮬레이션(Simulation)한 결과를 가지고 수중에서의 수율을 향상시킬 수 있는 프로토콜을 설계하여, 시스템을 구현하고 그 성능실험을 통하여 설계의 타당성을 입증하였다. 그리고 수중이동체의 수중 무선통신로의 초음파 특성을 고찰하여 접속제어 프로토콜을 구현하고, 기존 육상통신망에서의 프로토콜과 비교 분석한 후, 수중에서 사용될 통신시스템의 전송지연을 줄이기 위한 방법으로 국제 표준화 기구(ISO : International Standards Organization)의 개방형 시스템 상호 접속(OSI : Open Systems Interconnection) 7계층 참조모델의 각 계층별 상호간 정보를 전송하는 새로운 수중 통신 시스템을 구현하고자 한다.

접속제어 프로토콜을 설계하기 위하여 기존의 유·무선 근거리 통신망에서 사용되는 접속제어 프로토콜과 비교하여 수중 통신망의 물리적인 제약조건을 충족시켜 줄 수 있는 프로토콜을 설계한다.

수상제어 모선과 AUV 사이의 초음파 신호를 이용한 각종제어신호, 계측신호, 상태정보, 화상정보 등 다양한 데이터를 전송할 수 있는 통신 시스템을 설계하여 수중 화상정보인 영상을 모니터링 함으로써 수중의 작업 현황과 해저 상황 및 목표물 탐사 등의 작업을 지원할 수 있도록 설계한다.

설계된 시스템을 실제 회로를 제작하여 실험하였고, 그 결과 영상정보의 전송이 가능하였으며, 수중에서 초음파 디지털 다중통신을 위한 프로토콜이 구현되었다.

그 결과 영상정보의 전송이 가능하였으며, 수중에서 초음파 디지털 다중통신을 위한 프로토콜이 구현되었다.

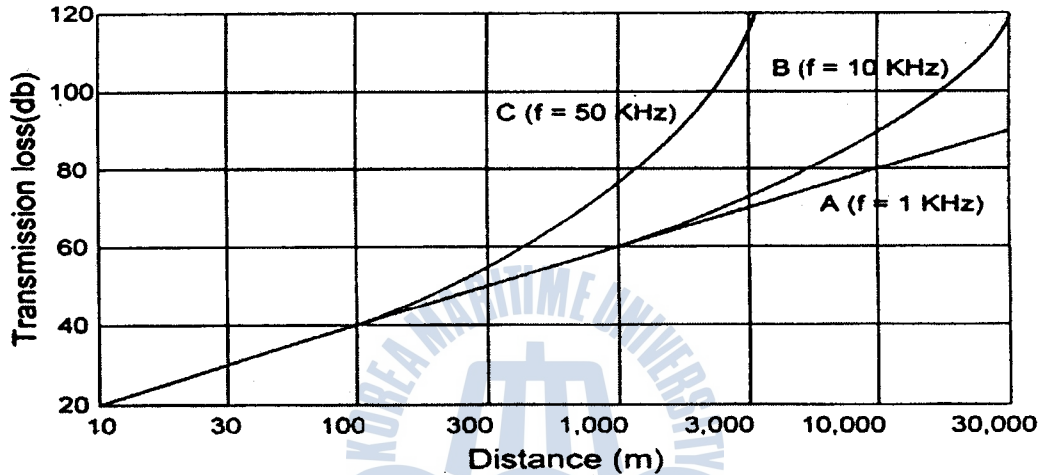
## 제2장 수중 통신채널의 물리적 특성

지구 대기중 증류수내에서 초음파의 전파속도는 온도에 영향을 받지만, 해상에서는 깊이에 따른 온도 및 염도 변화에 영향을 받는다. 그리고 이에 의한 전파속도의 변화는 식(2-1)과 같다[3].

$$C = 1449 + 4.6t - 0.055t^2 + 0.0003t^3 + (1.39 - 0.012t)(S - 35) + 0.017d \quad (2-1)$$

여기서 C는 전파속도(m/s), t는 온도(°C), S는 염도, d는 깊이(m)이다.

해상에서 초음파의 전달손실을 측정하면, 식에서 예측되는 값과 상당한 차이가 생기는데, 이러한 차이는 해저와 해면에서 초음파의 굴절, 발산, 수렴, 그리고 반사를 비롯하여 전파경로에 관계되는 회절과 확산 및 상호간섭 등이 원인이 된다. 수중에서의 초음파 에너지 전달은 여러 가지 요인에 의해 제한되지만, 많은 종류의 전자파에 비하면 훨씬 유리한 전달특성을 지니고 있다.



〈그림 2.1〉 주파수와 거리에 의한 음향 전달손실

수신신호는 송신기에서 수신기로 직접 전송되는 신호의 반사로 발생하는 자기 멀티패스(Self multipath) 간섭과, 앞서서 전송된 신호에 의해 발생하는 교차 멀티패스(Cross multipath) 간섭의 영향을 받게 된다. 따라서 신호의 세기  $S$ 는 반사 없이 직접 오는 신호와 자기 멀티패스 신호의 합으로 표현되고, 교차 멀티패스 간섭에 의해 전송된 신호와 충돌하게 되는데, 멀티패스에 의해 영향을 받는 세기는  $M$ 으로 표시한다.

잡음에 의해 저하되는 채널의 성능을 파악하기 위한 파라미터로, 신호 대 잡음비(SNR; Signal-to-Noise Ratio)와 유사한 방법으로 멀티패스에 의해 성능이 저하되는 채널의 신호 대 멀티패스 비(SMR)를 생각할 수 있다[4]. 그러므로 관측영역(Observation window)에서의 신호는 식(2-31)과 같다.

$$S_i = \alpha_i e^{-j2\pi t_i} = \alpha_i e^{-j\phi} \quad (2-31)$$

따라서 전체 신호의 세기  $S$ 는 아래와 같이 멀티패스 신호의 크기와 관측영역에 채

워지는 시간에 비례하게 된다.  $r$ 은 Self multipath 간섭자의 개수이며  $S$ 는 식(2-32)으로 구할 수 있다.

$$S = \left| \sum_{l=1}^r \left( \frac{1 - \tau_l}{T_s} \right) S_l \right| \quad (2-32)$$

한편 멀티패스 신호의 세기  $M$ 은 식(2-33)으로 표현된다. 첫째 항은 관측영역의 앞 부분에 존재하는 멀티패스 신호에 의한 것이고, 둘째 항은 신호폭( $T_s$ )보다 큰 지연을 갖고 앞서 전송된 모든 신호 요소들로 표현된다.

$$M_s = \left| \sum_{l=2}^{r_1} \frac{\tau_l}{T_s} S_l \right| + \sum_{i=r_1+1}^{\infty} |S_i| \quad (2-33)$$

SMR은 신호세기  $S$ 와 멀티패스의 세기  $M$ 의 비로 정의되며, 멀티패스 변수의 값은 식(2-34)과 같다.

$$SMR = \frac{|S|}{|M|} \quad (2-34)$$

수중에서의 멀티패스의 영향을 한국해양연구소 해양개발시스템연구센터에 설치된 수조에서 송신기와 수신기의 수심별 SMR의 변화값을 시뮬레이션 하여 검토하였다. 시뮬레이션을 위한 시스템 및 환경 파라미터들의 값은 표 2.1과 같다. 운영 주파수가 50kHz이고 대역폭이 4kHz인 푸르노(Furuno)사에서 제작한 초음파 센서를 이용하였으며, 깊이가 200m, 수심이 20m인 수조에서 신호에 대한 멀티패스의 영향을 고찰하였다.

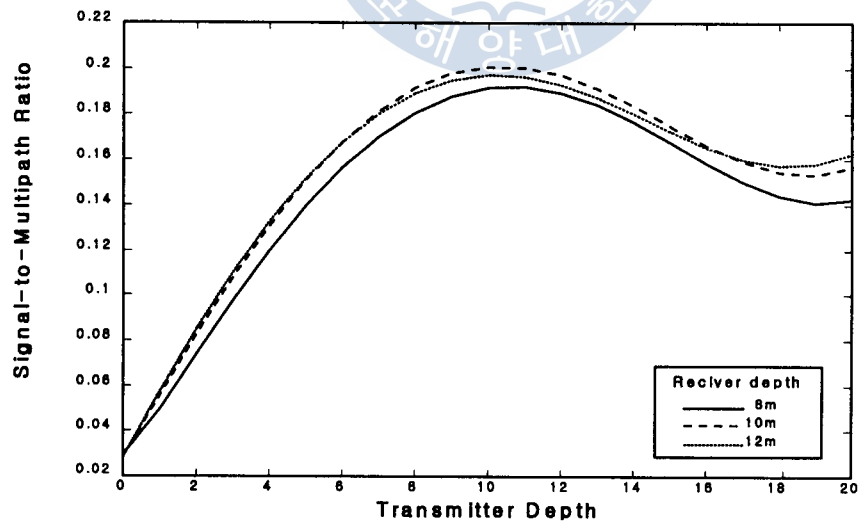
신호에 대한 멀티패스의 영향은 MATLAB(MATrix LABoratory) 프로그램을 이용하여 표 2.1의 조건하에서 시뮬레이션한 결과를 그림 2.2에 도시했고, 그 결과치는 표 2.2과 같다. 그림 2.2에서 수신기의 깊이가 각각 8m, 10m, 12m일 때, 송신기의 깊이에 따른 SMR을 나타내고 있으며, 표는 각각의 수신기의 깊이에 대한 SMR과 Signal Strength(S)와 Multipath(M)의 계산치를 보여주고 있다(a는 송신기의 깊이를 나타내며, b는 수신기의 깊이를 나타낸다).

그림 2.2의 결과로부터 송신기의 깊이가 중앙보다 높으면 수신기의 깊이는 중앙보다 낮아야 멀티패스의 영향을 덜 받음을 알 수가 있다. 반대로 송신기의 깊이가 중앙

보다 낮으면 수신기의 깊이가 중앙보다 높아야 멀티패스의 영향을 덜 받는다는 것을 알 수가 있다. 따라서 멀티패스의 영향을 가장 적게 받기 위해서는 수신기와 송신기의 깊이가 중앙에 위치하여야 함을 알 수가 있다.

〈표 2.1〉 수조환경에 대한 파라미터 값

<b>(a) System Parameters</b>	
Carrier Frequency	50 kHz
Channel Bandwidth	4.0 kHz
Signalling Rate	4.0 ksymbol/s
<b>(b) Channel Parameters</b>	
Channel Depth	20 m
Channel Length	200 m
Wind Speed	20 knots
Sound Speed	1500 m/s



〈그림 2.2〉 송신기와 수신기의 위치에 대한 SMR의 변화

〈표 2.2〉 수신기의 위치에 따른 시뮬레이션 결과치

(a) 수신기의 깊이가 8m일 때

(a) Receiver depth = 8m

	송신기의 깊이(m)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SMR	0.029	0.050	0.074	0.098	0.120	0.140	0.156	0.170	0.181	0.188	0.191
S	1.193	2.033	3.056	4.077	5.042	5.920	6.691	7.340	7.854	8.227	8.454
M	40.57	40.95	41.32	41.69	42.05	42.41	42.77	43.12	43.47	43.82	44.16
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
SMR	0.192	0.189	0.184	0.177	0.168	0.159	0.150	0.144	0.141	0.142	
S	8.539	8.487	8.313	8.038	7.694	7.322	6.976	6.723	6.628	6.745	
M	44.50	44.84	45.17	45.50	45.83	46.15	46.46	46.78	47.09	47.40	

(b) 수신기의 깊이가 10m일 때

(b) Receiver depth = 10m

	송신기의 깊이(m)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SMR	0.029	0.050	0.074	0.098	0.120	0.140	0.156	0.170	0.181	0.188	0.191
S	1.166	2.270	3.421	4.526	5.550	6.471	7.270	7.945	8.452	8.823	9.040
M	40.49	40.96	41.43	41.89	42.36	42.81	43.27	43.72	44.16	44.61	45.05
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
SMR	0.192	0.189	0.184	0.177	0.168	0.159	0.150	0.144	0.141	0.142	
S	9.110	9.044	8.860	8.585	8.256	7.920	7.639	7.476	7.493	7.728	
M	45.48	45.91	46.34	46.77	47.19	47.60	48.02	48.43	48.83	49.23	

(c) 수신기의 깊이가 12m일 때

(c) Receiver depth = 12m

	송신기의 깊이(m)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SMR	0.028	0.058	0.085	0.110	0.133	0.152	0.168	0.180	0.189	0.195	0.197
S	1.140	2.356	3.533	4.641	5.656	6.562	7.343	7.987	8.487	8.839	9.044
M	40.39	40.96	41.052	42.09	42.65	43.20	43.75	44.30	44.84	45.38	45.91
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
SMR	0.196	0.193	0.187	0.180	0.173	0.165	0.160	0.157	0.158	0.163	
S	9.110	9.050	8.885	8.645	8.371	8.111	7.924	7.866	7.987	8.311	
M	46.44	46.97	47.50	48.01	48.53	49.04	49.55	50.05	50.55	51.05	

실제 수조환경에 대한 시뮬레이션의 결과 SMR값이 약 0.2정도 되어 멀티패스의 영향이 심각함을 알 수 있다.



### 제3장 접속제어 프로토콜

수중 통신망의 구축을 위해서는 제2장에서 기술한 초음파의 물리적인 특성을 감안할 때 수중에서 요구되는 각종 서비스들을 충분히 만족시킬 수 있는 접속제어 프로토콜을 설계하여야 한다.

접속제어 프로토콜의 설계에 있어 수중에서 초음파의 물리특성은 육상에서의 무선 근거리 통신망의 물리특성과 비교해 보면 매우 불리한 특성을 가지고 있다[5].

해저 탐사 및 수중 작업을 위한 수중시스템의 통신망은 다음과 같이 크게 3개로 나누어진다.

- ① 모선과 한 대의 수중 시스템 사이의 1:1 통신망
- ② 한 대의 모선과 여러대의 수중 시스템으로 구성된 1:N 통신망
- ③ 수중 시스템들 사이의 Fully connected peer-to-peer 형태의 통신망

화상 정보는 수중 시스템에서 생성되는 정보 중 가장 일반적이고 수중 작업에 있어서 원격 제어를 하기 위해 반드시 필요한 정보이다. 이 정보는 초당 수천 또는 수만 비트(bit) 크기의 트래픽으로서 수중 초음파 채널의 대부분을 차지하게 된다.

모선에서 수중 시스템으로 전송하는 정보들은 대부분 수중 시스템의 동작을 제어하기 위한 신호들로서 실시간 전송은 요구하지 않지만 정확히 목적하는 수중 시스템에 전달 되어야 한다. 수중 시스템에서 모선으로 전달되는 정보들은 수중 시스템의 종류에 따라 여러 가지 형태를 갖는데, AUV 및 수중 로봇(Robot) 등과 같은 수중 작업 시스템에서는 해저의 화상 정보 및 센서를 통해 계측되는 각종 계측 정보들을 모선으로 송신한다. 지속적으로 생성되는 이러한 정보들은 실시간에 모선에 전달되어야 하지만 일부의 정보들이 손실되더라도 수중작업에는 크게 문제가 되지 않는다고 한다[4].

수중 초음파 통신을 위한 대부분의 트랜스듀서들은 수 kHz에서 수십 kHz사이의 주파수를 주로 사용하고 있다. 따라서 전송 대역폭이 수십 kHz이내로 한정되고 실제 사용 가능한 데이터 전송 속도는 수 kbps에서 수십 kbps 이내이다.

이 정도의 데이터 전송 속도는 유선 근거리 통신망 또는 무선 근거리 통신망에서 사용되는 수 Mbps에서 수십 Mbps의 전송 속도에 비하면 월등히 낮은 속도이다. 따라서 수중 통신망의 접속제어 알고리즘의 설계시 저속의 전송 속도를 갖는 채널을 기반으로 하는 통신 서비스들을 만족할 수 있도록 하여야 한다[5].

전파 지연시간은 통상적으로 근거리 통신망의 접속제어 프로토콜에서 패킷의 크기를 결정하는 주요 요소가 된다.



패킷의 전파 지연시간이  $T$ , 패킷의 전송 시간이  $T_p$  일 때 일반적으로  $T_p \gg T$  인 조건을 만족하도록 패킷의 크기를 결정해야 한다.

W-LAN에서 사용되는 기존의 CSMA 접속제어 알고리즘에서 채널의 효율적인 이용을 위해서는  $a(a=T/T_p)$ 를 약 0.01 정도의 값이 되도록 패킷의 크기를 정해야 한다. 수중 초음파 채널의 경우 통신망의 최대 거리를 1km, 전송 속도를 1500 bps,  $a$ 의 값은 W-LAN에서와 같이 0.01로 가정했을 때 패킷의 크기는  $1 \times 10^5$  정도가 된다. 이 정도 패킷의 크기로는 수중에서 초음파로 데이터 전송시 예상되는 오류 발생률을 고려한다면 도저히 사용이 불가능하다[6].

수중 초음파 다중 채널을 이용하여 프레임을 전달하기 위해서는 송신을 하기 전에 전송채널을 선택하기 위한 기능이 요구된다.

따라서 제안하는 수중 초음파 통신망에서의 접속제어 프로토콜의 상위계층, 즉 논리적 링크 제어 부계층에 대한 서비스를 다음과 같이 정의하였다.

- ① 논리적 링크 제어 부계층으로부터 프레임을 목적지 스테이션으로 송신
- ② 프레임 송신시 다중 초음파 송신 채널을 이용하여 프레임을 송신하고 상위 계층인 논리적 링크 제어 부계층에 전송채널의 투명성을 보장
- ③ 수신된 프레임을 상위 논리적 링크 제어 부계층으로 전달
- ④ 수신된 프레임의 오류 제어

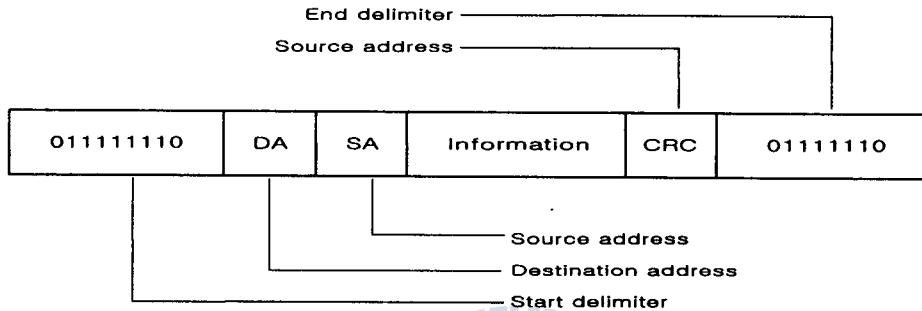
접속제어 프로토콜의 기본적인 기능은 상위의 논리적 링크 제어 부계층으로부터 프레임을 목적지까지 전달하는 것이다. 이 과정에서 서로 다른 스테이션들과 공통으로 전송채널을 사용하기 위한 접속제어 기능과, 다른 스테이션들과의 충돌 또는 전송채널에 의해 발생하는 에러(Error)의 검출 기능이 필요하다. 이를 위해서는 논리적 링크 제어 부계층에서 생성된 프레임에 에러 검출을 위한 순환 중복검사(CRC ; Cyclic Redundancy Check) 비트패턴과 프레임의 시작과 종료를 나타내기 위한 구분자를 첨가하여야 한다.

접속제어 프로토콜의 프레임 형식 설계시 고려해야 할 사항으로는 프레임의 시작과 종료 구분자는 프레임내의 정보들과 구분되어야 하며, 간헐적인 데이터 및 연속적인 실시간 정보의 전달을 위해서는 가변 길이의 프레임이어야 하고, 하드웨어(Hardware)의 구현이 용이하여야 한다.

이상의 조건들을 만족시키기 위하여 설계된 접속제어 프로토콜의 프레임 형식은 그림 3.1과 같다.

프레임 형식은 동기식 접속제어(SDLC ; Synchronous Data Link Control) 프로토콜에서 사용되는 프레임 형식과 유사하다. 따라서 SDLC 프로토콜을 지원하는 통신용

IC (Integrated Circuit)를 이용해 쉽게 구현할 수 있으므로 가변길이의 정보를 용이하게 처리할 수 있다. 또한 SDLC 프로토콜이 비트 지향 프로토콜(bit oriented protocol)이고 정보 필드에는 연속되는 '1'의 다섯 개 뒤에 반드시 하나의 '0'이 삽입되므로 프레임의 구분자와 정보가 구분될 수 있다.



〈그림 3.1〉 접속제어 프로토콜의 프레임 형식

스테이션들 사이의 직접적인 Fully connected peer-to-peer 통신을 위해서는, 각 스테이션들이 송·수신을 위해 장착하고 있는 트랜스듀서에 관한 정보를 모든 스테이션들이 알고 있어야 한다. 이러한 정보들을 이용하여 상대측 스테이션과 송·수신이 가능한 전송채널을 선택할 수 있다.

전송채널의 선택시 각 스테이션들은 다수의 트랜스듀서를 장착하고 있기 때문에 선택 가능한 전송채널이 여러 개 존재할 수 있다. 이 경우 여러 전송채널들의 균형 있는 이용을 위한 별도의 프로토콜이 있어야 한다.

본 논문에서는 간단한 방법으로 선택 가능한 후보 전송채널들 중 가장 오래 동안 'idle'상태에 있는 채널을 우선적으로 선택하였다. 그리고, 이를 위해서 각 스테이션들은 자신이 장착하고 있는 트랜스듀서를 통해 전송채널의 사용 여부를 계속적으로 감시하고 'idle'기간 중의 시간에 관한 정보를 누적하도록 하여, 전파 지연시간에 무관하게 일정 크기 이상의 최대 수율을 보장할 수 있도록 접속제어 프로토콜을 설계하였다.

프레임 전송을 위한 절차는 스테이션들이 정상 상태에서 항상 사용 가능한 모든 송신 채널들에 대한 감시를 연속적으로 수행하고 'idle'상태의 채널들에 대해 'idle'기간을 누적시킨다. 이 때 수신된 프레임이 있으면 상위 부계층으로 정보를 전달하고 다른 스테이션으로 송신하기 위한 요구가 발생하면 상대측과 교신이 가능한 전송채널들을 검색한다. 이 과정은 시스템의 초기화 과정에서 사전에 보관하고 있는 각 스테이션 별로 장착하고 있는 트랜스듀서에 관한 정보로부터 자신의 스테이션과 교신이 가능한 채널을 검색한다. 만일 교신 가능한 송신 채널의 검색에 실패하면, 두 스테이션 사이에는

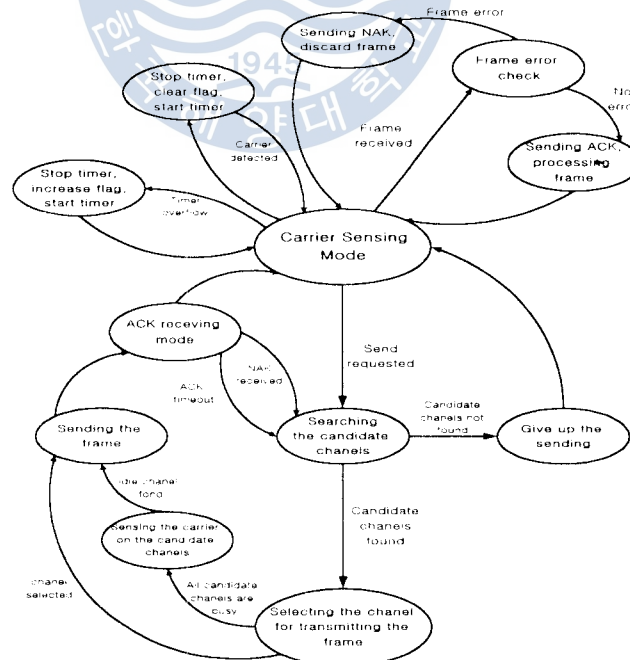
직접적인 통신을 할 수 없으므로 송신을 포기한다.

대부분의 경우에는 다수의 교신 가능한 후보 채널들이 검색된다. 이 여러 후보 송신 채널 중의 하나를 선택하기 위해 각 채널 별로 누적된 'idle'기간을 비교한다. 그중 가장 장시간 동안 'idle'한 채널을 선택하여 프레임의 송신하고 'idle'기간을 '0'으로 세트(Set)시킨다. 그러나 후보 채널 모두가 'busy'상태 인 경우가 발생할 수 있다.

이 경우에는 후보 채널들을 연속적으로 감시하고 그 중 하나의 채널이 'idle' 상태가 되면 즉시 프레임의 전송하고 'idle'기간을 '0'으로 세트시킨다.

1:1 통신망 구조에서 다중전송채널을 사용했을 경우에는 모신과 수중 시스템 사이에서 고속의 데이터 전송이 가능하고, 1:N 통신망 구조에서는 모신과 각 수중 시스템들 사이에 단일 전송채널을 사용할 수 있으며, 경우에 따라서는 여러 수중 시스템들 중 특별한 몇 개의 시스템들에 한하여 다중 전송채널을 구성하여 고속 데이터 전송을 가능하게 할 수 있다.

본 논문에서 제안하는 접속제어 프로토콜은 초음파 다중 전송채널을 사용하여 프레임의 전송할 수 있고, 수신 채널로부터 프레임의 수신한다. 설계된 프로토콜의 전체적인 상태도는 그림 3.2와 같다.



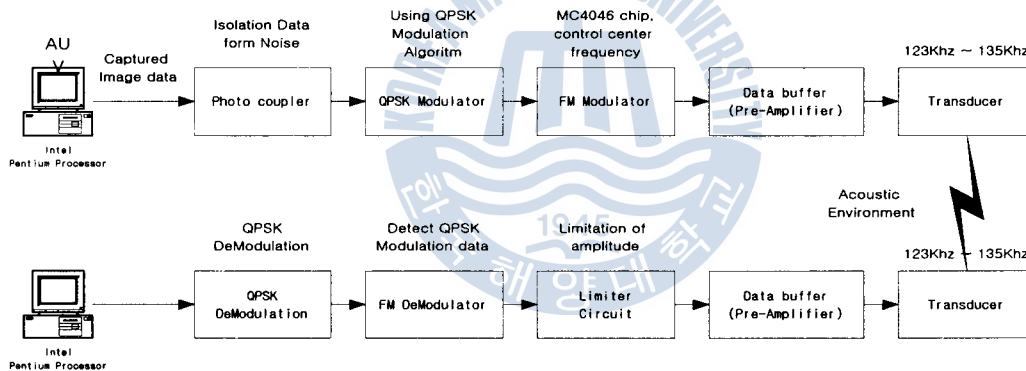
〈그림 3.2〉 접속제어 프로토콜의 상태 천이도

## 제4장 수중 다중 디지털 통신시스템의 설계

수중에서의 데이터 전송을 위해서는 신호의 전송손실이 적은 초음파를 이용하여야 한다. 그러나, 데이터 전송에 사용되는 초음파 트랜스듀서의 대역폭이 제한되어 있고 데이터를 전송하는데 걸리는 시간이 일반적인 통신에서 사용되는 매체보다는 길기 때문에 제한된 주파수 대역폭에서 높은 전송성을 갖는  $\pi/4$  QPSK 변·복조 방식을 사용하여 시스템을 구성하는 것이 바람직하다[7].

$\pi/4$  QPSK 알고리즘을 이용한 변·복조 시스템의 전체 구성도는 그림 4.1과 같이 구성된다.

여기서 광 결합기(Photo coupler)는 다른 시스템이나 보드에서 유입되는 잡음을 방지하기 위해 사용되며, 시스템과 입력 데이터와의 동기를 위하여 클락(Clock) 동기회로를 구성하여 변복조 시스템의 클락으로 사용하고 있다.



〈그림 4.1〉 변복조기의 블록 다이어그램

입력 데이터의 에지(Edge)를 추출하기 위해 4차 고역 통과 필터(4th order high pass filter)를 사용하였고, 전압 비교기(Voltage comparator)를 이용하여 추출된 데이터의 에지로 부터 잡음 에지를 제거하기 위해 잡음 에지의 저전압 부분을 제거하였다. 또한, 10MHz의 발진소자를 바이너리 카운터의 클락으로 사용하여 4800bps로 시스템 클락을 생성한다.

변조회로의 클락은 동기 클락을 이용하고 PLL(Phase Lock Loop)회로와 카운터를 이용하여 sin/cos의 정보를 가지고 있는 ROM(Read Only Memory)의 값들을 불러온다.

QPSK 변조된 신호는 주파수변조(FM ; Frequency Modulation)를 통하여 잡음에 강

한 센서의 중심주파수에 적합한 신호가 된다. FM 회로는 일반적인 FM회로에 사용되는 MC4046 VCO(Voltage Controlled Oscillator)/FM Modulation 칩을 이용하였다.

QPSK 변조기와 FM 변조기를 거친 데이터는 일단 증폭기를 거쳐 123kHz에서 135kHz까지로 약 12kHz의 대역폭을 갖는 초음파 트랜스듀서를 거쳐 수상의 모선으로 전송하게 된다.

QPSK를 이용한 복조 시스템은 초음파 트랜스듀서를 통해 들어오는 신호는 반사로 인한 멀티패스의 영향과 주변잡음 등으로 인해 AM성분이 발생한다.

AM성분을 제거하기 위해 리미터(Limiter)회로를 이용하는데, 리미터 회로는 일반 증폭기를 이용하여 구성되며, 1단으로 얻을 수 있는 이득이 낮기 때문에 5단으로 구성된 리미터 회로를 사용하였다.

또한 AM성분이 제거된 신호로부터 QPSK변조신호의 검출을 위하여 FM 복조기(Demodulator)를 이용하여 FM 신호를 제거하는데 복조회로에서도 변조회로에 사용하였던 MC4046칩을 사용하여 구현하였다.

복조회로에도 데이터와의 동기를 위해 동기회로를 사용하며, 동기화 된 클락은 QPSK 복조기에서도 사용된다.

데이터의 대부분을 차지하는 수중의 영상은 일반 영상과는 달리 픽셀(Pixel)들간의 유사성이 매우 심하기 때문에 연속하여 같은 값이 나오는 데이터에 한하여 가장 간단하고 구현하기가 쉬운 런랜스(Run length) 부호화를 이용하여 데이터의 부호화를 수행하였다.

수중 초음파 디지털 다중통신은 정보전송 손실의 원인이 되는 멀티패스, 거품층에 의한 반사, 선박에 의한 물의 산란, 파도 등의 열악한 수중환경하에 정보를 전송하여야 하므로, 이를 극복하고 신뢰성있는 통신을 하기 위한 시스템을 구현하기 위하여 버터비 코딩(Viterbi Coding) 기법을 활용한다[8].

버터비 알고리즘은 일반적인 콘볼루셔널 부호화 방법의 일종으로서 소프트웨어적으로 구성하기가 용이한 장점을 가지고 있다. 일반적인 콘볼루셔널 부호화는 일반적인 무선통신에서 많이 사용하는 부호화 방법으로 다른 부호화 방법에 비해 우수한 성능을 가지고 있어 수중에서의 초음파 통신에서 발생하는 수많은 전송에러에 대해 강한 대처방안으로서 사용되고 있다. 또한 콘볼루셔널 부호화는 약 5dB정도의 부호화 이득을 얻을 수 있어 신호에 잡음이 많이 섞여 들어오는 데이터에 대한 복원이 용이한 특성을 가진다.

콘볼루셔널 부호화는 일반적인 블럭에 의한 부호화 방법이 아닌 정보심볼(Symbol)을 하나씩 이동하면서 부호화를 수행하는 방법을 취하게 되는데, 때면 하나씩 들어오는 데이터와 기존의 데이터들의 콘볼루셔널(convolut-ional)을 거쳐 잡음이 심한 환경

하의 통신에서 강인한 데이터 정보를 갖는 새로운 데이터를 생성하게 된다.

이때 기존의 데이터와 새로운 데이터와의 콘볼루셔널은 제한된 길이 내에서 부호화 작업이 이루어지게 된다.

콘볼루셔널의 일반적인 사용으로는 제한된 길이가 3인 1/3 콘볼루셔널 인코더(Encoder)가 있는데 이 인코더의 구성은 그림 4.2와 같다.

그림에서 S는 상태를 나타내는 레지스터(Register)로 구성하는데 데이터는  $S_1$ 로 들어오게 되며,  $S_1$ 에 있는 데이터는  $S_2$ 로 이동하게 된다.

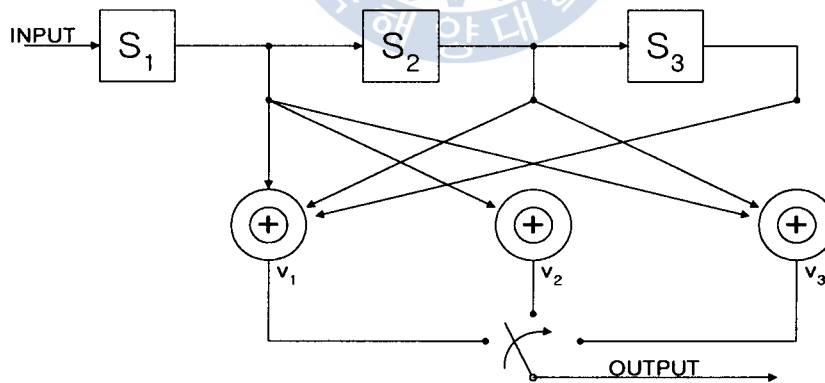
$S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ 의 조합으로 새로운 데이터에 대한 정보심볼이 만들어지며 이 새로운 데이터 심볼은  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $v_3$ 의 형태로 구성된다.

이때 콘볼루셔널 인코더에 대한 수학적 표현은 다음의 식과 같다. 이 식에 의해서 입력데이터가 101001이라고 했을 때 인코더를 거쳐 나오는 데이터는 111101011100111이 된다.

$$v_1 = S_1 \oplus S_2 \oplus S_3$$

$$v_2 = S_1$$

$$v_3 = S_1 \oplus S_2$$



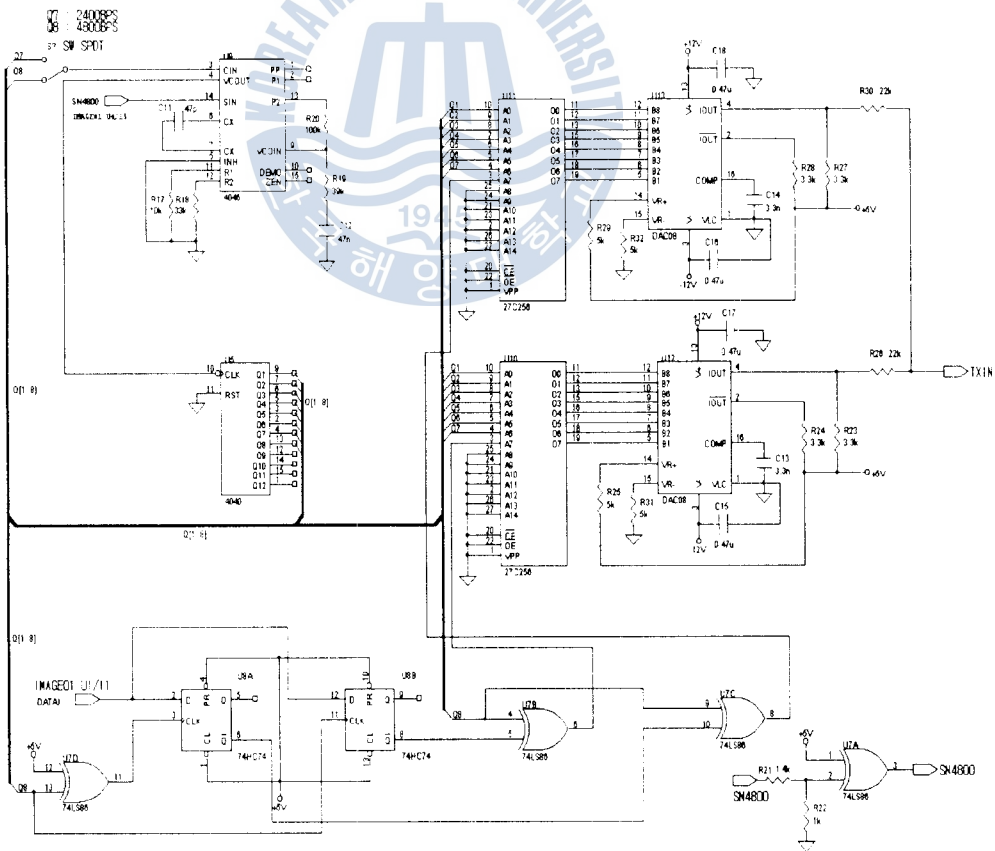
〈그림 4.2〉 1/3 콘볼루셔널 부호화기

데이터의 인코딩과 디코딩은 실 시간적인 처리를 위해 수치연산 전용으로 사용하는 DSP(Digital Signal Processor)보드에서 소프트웨어적으로 수행하게 되는데[9], 이때 사용한 DSP는 모토롤라에서 나오는 DSP56001을 이용하여 처리하였다.

### 제5장 실험 및 결과

초음파 화상 전송을 위해 설계된 세부 시스템은 초음파 전송용 트랜스듀서, 트랜스듀서 구동회로, 신호의 증폭을 위한 전단증폭기, 신호의 잡음 방지를 위한 포토 커플러(Photo coupler), 데이터간의 동기를 위한 동기화 회로, 초음파 통신을 위한 변조회로 및 복조회로로 구현하였다.

수신된 영상 데이터나 계측데이터를 초음파로 송신하기 위해서는 변조과정을 거쳐야 하는데, 이 변조회로는 그림 5.1과 같이 구성된다. 위상천이를 위해 sin/cos에 대한 데이터 값을 ROM에 저장시키고, 또 이 값들을 불러들여 위상천이를 수행하는 방식을 사용하였다. ROM에 저장된 정현파의 데이터 값은 데이터의 통신속도에 맞춰 동기된 동기화 신호에 적절하게 반응하도록 설계하여, 향후 데이터의 통신속도 변화에도 쉽게 적용할 수 있도록 하였다.



〈그림 5.1〉 변조회로의 회로도



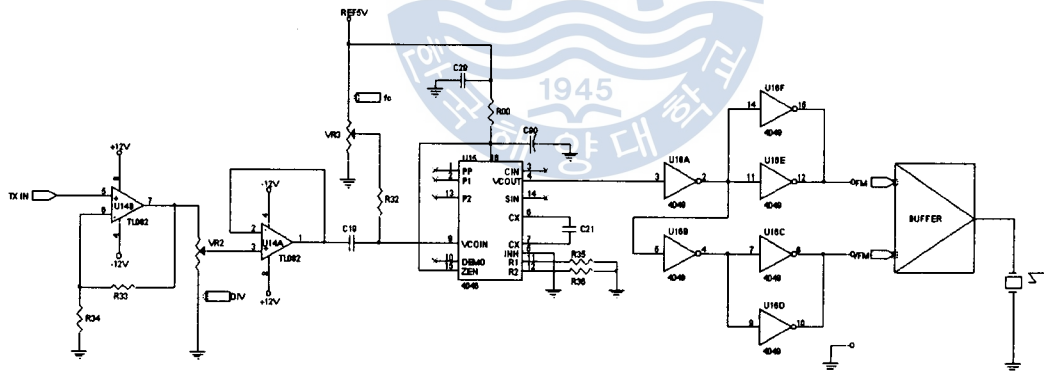
전송중 발생하는 신호의 크기에 대한 감쇠 및 일그러짐을 방지하기 위해 주파수 변조를 동시에 수행하여 잡음에 강한 변조회로를 구현하였다.

위상 및 주파수 변조된 피 변조 데이터 신호는 초음파 트랜스듀서를 통하여 수신된다. 수신될 신호가 수중에서 전파되는 동안 신호의 감쇠 및 잡음을 줄이기 위해 전단 증폭기를 통해 감쇠된 신호의 진폭을 증폭시키고, 증폭된 신호에 대해 어느 정도의 임계값(Threshold level)이 넘는 잡음을 제거하기 위하여 포락선 검파기(Envelope detector)를 통해 데이터 신호를 추출한다.

추출된 신호는 위상변조 및 주파수 변조가 가해진 신호이므로 주파수 복조회로를 거쳐 원래의 위상변조 신호를 추출하게 된다.

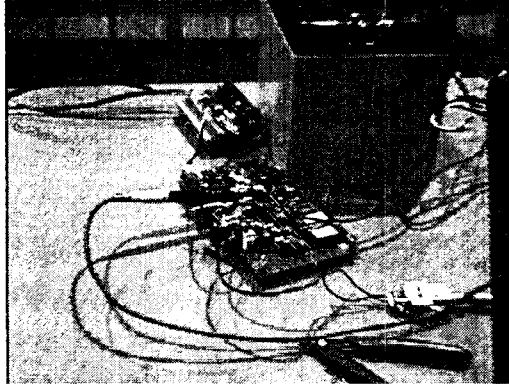
주파수 복조를 거친 신호는 다시 한번 더 증폭기를 거쳐 신호증폭 및 여러 가지 신호처리를 수행토록 하여 보다 신뢰성 있는 데이터 통신이 가능하도록 하였다.

이렇게 처리된 데이터는 sin/cos 값이 저장된 ROM의 데이터와 수신된 신호의 데이터를 대조하여 원래의 데이터 신호로 추출하게 된다.

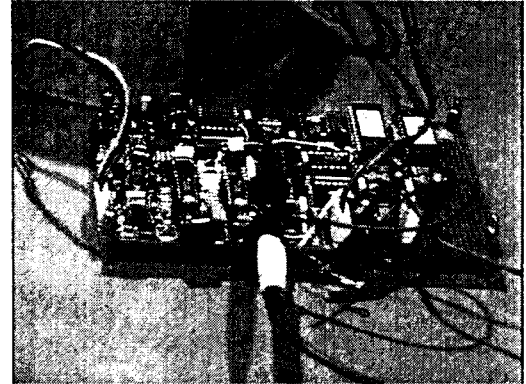


〈그림 5.2〉 주파수변조 및 트랜스듀서 구동회로도

개발된 초음파 영상전송 시스템은 해양공학수중에서 실험하였고, 그 결과 9600bps의 데이터 전송성을 얻을 수 있었다. 그림 5.3, 4는 개발된 수중초음파 영상전송 시스템의 송·수신 변복조 보드의 실험사진이다.



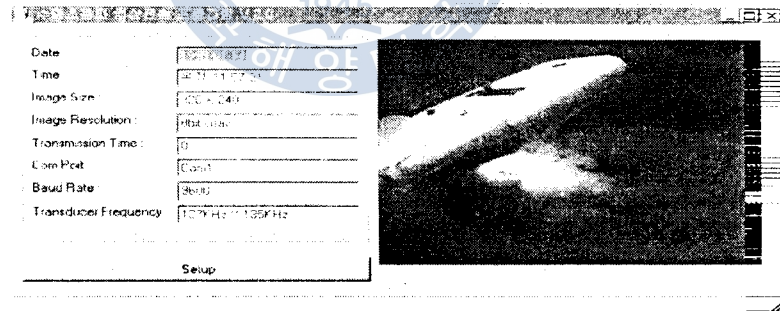
〈그림 5.3〉 수신기 번복조 보드의 사진



〈그림 5.4〉 송신기 번복조 보드의 사진

수중영상전송 시스템의 운용 소프트웨어는 C++ Language 로 코딩하였고, 구성요소로는 초음파 트랜스듀서를 통해 수신된 영상신호의 정보(크기, Resolution)와 트랜스듀서의 주파수 정보, 날짜, 시간, 전송시간, 시스템과 PC간의 직렬통신 환경설정 등으로 구성되어 있다.

트랜스듀서를 통해 수신된 영상정보를 신호 처리한 수신화면은 그림 5.5와 같으며, 순수한 영상정보만 수신하여 표시할 수 있도록 화면구성이 되어 있다.



〈그림 5.5〉 수신된 초음파 영상정보의 사용자 환경

## 제6장 결론

해저 탐사 및 개발을 위해 활용되는 모선과 수중 시스템들 상호, 각종 제어 신호와 수중에서의 상태 정보들을 송·수신하기 위해서는 수중 통신망의 구현이 필수적으로 요구된다.

본 논문에서는 수중 이동체 통신망을 위한 접속제어 프로토콜을 설계하고, 프로토콜의 정상적인 동작 여부를 측정하기 위하여 수중 초음파 모뎀과 접속제어 장치를 구현하였다.

제안한 접속제어 프로토콜은 수중에서의 초음파의 물리적인 특성을 고려하여 전파 지연 시간이 큰 경우에도 통신망의 최대 수율을 일정 수준으로 유지할 수 있었고, 다중 초음파 전송 채널을 이용하여 수중에서 고속 데이터 전송을 할 수 있도록 설계하였다.

이 접속제어 프로토콜은 1:1 통신망, 중앙 집중식 통신망 및 Fully connected peer-to-peer 통신망에 모두 적용할 수 있다.

1:1 통신망 구조에서 다중 채널을 사용했을 경우에는 모선과 수중 시스템 사이에 고속 데이터 전송이 가능하다.

중앙 집중식 통신망 구조에서는 모선과 각 수중 시스템들 사이에 단일 전송 채널을 사용할 수 있으며, 경우에 따라서는 여러 수중 시스템들 중 특별한 몇 개의 시스템들에 한하여 다중 전송 채널을 사용하여 고속 데이터 전송이 가능하다.

Fully connected peer-to-peer 통신망 구조에서는 수중 시스템들 수 보다 적은 수의 다중 전송 채널을 사용하여 다수의 수중 시스템들 사이에 정보 교환을 가능하게 할 수 있으며, 수중 시스템들의 수 보다 더 많은 수의 다중 전송 채널들을 사용하여 고속의 데이터 전송을 할 수 있다.

따라서, 본 연구에서 제안한 접속제어 프로토콜은 향후의 복잡한 형태의 수중 작업 체계에서 여러 형태의 수중 통신망을 구성하기 위한 프로토콜로서 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

향후 연구, 보완되어야 할 사항은 수중에서의 멀티패스, 반향소음에 강인한 화상처리를 위하여 적응 등화기(Adaptive equalizer)에 DSP(Digital Signal Processor)를 이용하는 방안의 연구와, 실제해양에서의 AUV의 활용을 위하여 Doppler shift 현상을 하드웨어적으로 보완되어야 하며, 전송속도를 10kbps 이상으로 향상시킬 필요가 있다고 사료된다.

또한 실제해양에서의 반향소음 및 멀티패스 잡음(Multipath noise)을 억제할 수 있도록 지속적인 기술개발과 개발된 기술의 시스템 적용 등이 남아 있으며, 이들 기술을 실제해양에서의 시험을 통하여 실용화 시킬 수 있어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] D. R. Carmichael and R. M. Dunbar, "Adaptive Estimation of an Underwater Acoustic Communication System for Remote Applications", Proc. of 6th Inter. Symp., Unmanned Untethered Submersible Technology, Jun. 1989
- [2] "ATM Series Acoustic Telemetry Modules User's Manual", Datasonics, Oct. 1995
- [3] T. Curtin, J. Bellingham, J. Catopovic and D. Webb, "Autonomous Oceanographic Sampling Networks", Oceanography, Vol. 6, No. 3, 1983
- [4] J. A. Catipovic, "performance Limitations in Underwater Acoustic Telemetry", IEEE Oceanic Eng., Vol. 15, No. 3, pp. 205-216, jul. 1990
- [5] M. A. Johnson, and L. E. Freitag, "Towards an Autonomous Receiver for Underwater Acoustic Communications", Proc. IEEE Oceans '96, Sep. 1996
- [6] Chu, Wesley, "Optimal Message Block Size for Computer Communications with Error Detection and Retransmission Strategies", IEEE Trans. on Commun., Vol. Com-22, No. 10, Oct. 1974
- [7] 해양연구소, 해양장비 핵심기술 개발 "200m급 탐사용 AUV 개발Ⅲ", 3차년도 최종보고서, 1996.12
- [8] A. J. Viterbi, J. K. Omura, "Principles of Digital Communication and Coding", McGraw-Hill, 1979
- [9] DSP56000 / DSP56001 Digital Signal Processor User's Manual, (DSP56000 UM / AD), Motorola Inc., 1989

