

## 수중 이동체 통신망을 위한 접속제어 프로토콜의 설계 및 구현

신 동 우\* · 임 용 곤\*\* · 김 영 길\*\*\*  
(97년 5월 28일 접수)

### Design and Implementation of the MAC Protocol for Underwater Vehicle Network

Dong-Woo Shin\* · Yong-Kon Lim\*\* · Young-Kil Kim\*\*\*

**Key Words** : Underwater Vehicle Network, MAC Protocol, Computer Network, Ultrasonic Communication

#### Abstract

This paper proposes a new efficient MAC(Media Access Control) protocol to establish the ultrasonic communication network for underwater vehicles, which ensures a certain level of maximum throughput regardless of the propagation delay of ultrasonic and allows fast data transmission through the multiple ultrasonic communication channel.

A MAC protocol for underwater communication network that allows 'peer-to-peer' communication between a surface ship and multiple underwater systems is designed, and the proposed control protocol is implemented for its verification.

#### 1. 서 론

해저 탐사 및 개발을 위해 하나의 모선과 하나의 수중 시스템(AUV : Autonomous Underwater Vehicle, 수중 로봇 등)을 사용하는 것이 경제성과 작업 수행 측면에서 불리하기 때문에 하나의 모선과 여러 대의 수중 시스템들을 동시에 사용하기 위한 연구가 최근에 시도되고 있다. 이를 위해서는 모선과 다수의 수중 시스템들 사이에 각종 제어 신호와 수중 정보를 송·수신하기 위한 수중 통신망의 구현이 필수적이다<sup>1)</sup>.

그러나 수중 통신망의 구현을 위해서는 기존의 통신망에서 사용하던 전송 매체가 아닌 초음파를 전송 매체로 사용하기 위한 물리 계층의 구현과 다수의 스테이션들이 초음파 매체를 통해 효율적으로 정보를 전송할 수 있도록 하기 위한 접속 제어 프로토콜의 구현이 요구된다.

수중 통신망은 기존의 유선 근거리 통신망 및 고주파를 이용한 무선 근거리 통신망과 수 km 내에서의 통신망이라는 점과 공통적으로 방송 매체를 사용한다는 측면에서 상당히 유사한 점이 많이 있다. 하지만 초음파를 매체로 사용하는 수중 통신

\* 한국기계연구원 정보전산실

\*\* 한국기계연구원 해양기술연구부

\*\*\* 아주대학교 전자공학과

망 물리 계층의 특성은 다른 근거리 통신망에서의 특성과 다르다. 특히 전파 속도, 전송 속도 및 에러율 등은 접속 제어 프로토콜의 설계시에 고려해야 할 중요한 물리적인 특성으로서 기존 근거리 통신망에서 전기적인 신호와 고주파를 매체로 사용했을 경우와 비교해 불리한 특성을 가지고 있다<sup>2)</sup>.

기존의 유·무선 통신망에서 주로 사용되는 CSMA(Carrier Sense Multiple Access) 방식의 접속 제어 프로토콜은 전기적인 신호 및 고주파 신호와 같이 전파 속도가 빠른 매체를 사용하는 통신망을 위해 개발된 프로토콜로서, 초음파를 매체로 사용하는 수중 통신망에 적용 시 전파 지연(propagation delay) 시간으로 인하여 수율(throughput)이 저하되는 문제점이 있다. CSMA 방식의 접속 제어 프로토콜은  $a(a=T/T_p)$ ,  $T$ : 전파 지연 시간,  $T_p$ : 패킷 전송 시간)가 약 0.01 정도의 작은 값 일 때 수율이 높은 특징을 가지고 있다<sup>3)</sup>. 그러나 초음파를 이용한 수중 통신망에서는  $a$ 의 값이 주로 1 이상의 큰 값을 가지며, 이 경우에 CSMA 방식의 프로토콜은 최대 수율이 급격히 저하된다.

수중 통신망의 응용 계층 서비스들은 주로 수중 시스템의 제어 신호, 해저의 화상 정보 및 센서의 계측 정보 전송 등이다. 이 서비스들 중 화상 정보의 전송을 위해서는 10-50 Kbps 정도 트래픽의 실시간 전송이 요구된다. 그러나 수중 통신망의 물리 계층에서 사용되는 초음파 트랜스듀서들은 1-10 Kbps 정도의 저속의 전송 속도를 지원하고 있다<sup>4)</sup>. 이러한 저속의 전송 채널을 이용해 화상 정보의 실시간 전송과 제어 신호 및 계측 정보들의 전송을 모두 처리하기에는 한계가 있다<sup>5)</sup>. 또한 다수의 수중 시스템들이 단일 전송 채널을 공통 매체로 사용하는 것은 더욱 어려울 것이다.

따라서 본 논문에서는 수상의 모션 및 수중 시스템들 사이에 'peer-to-peer' 통신이 가능한 수중 통신망을 위한 접속 제어 프로토콜을 설계하였으며, 프로토콜의 동작 확인을 위해 초음파 모뎀과 접속 제어 프로토콜을 구현하였다.

설계 및 구현한 접속 제어 프로토콜은 전파 속

도가 느린 수중 초음파 통신망에서 전파 지연 시간에 무관하게 일정 수준의 최대 수율을 보장하고, 서로 다른 주파수 대역을 사용하는 다수의 저속 전송 채널을 이용하여 수중에서 고속 데이터 전송을 할 수 있다.

## 2. 수중 통신망을 위한 접속 제어 프로토콜의 설계 조건

### 2.1 물리계층의 특성으로 인한 제약

수중에서의 초음파의 물리적인 특성 중 수중 통신망의 접속 제어 프로토콜의 설계시에 반드시 고려해야 할 사항은 초음파의 수중에서의 전송 속도, 전파 지연 시간 등이다.

수중 초음파 통신을 위한 대부분의 트랜스듀서들은 수 KHz에서 수십 KHz 사이의 주파수를 주로 사용하고 있다<sup>6)</sup>. 따라서 대역폭이 수십 KHz 이내로 한정되고 실제 사용 가능한 데이터 전송 속도는 1-10Kbps 이내이다. 이 정도의 데이터 전송 속도는 유선 근거리 통신망 또는 WLAN(Wireless Local Area Network)에서 사용되는 수 Mbps에서 수십 Mbps의 전송 속도에 비하면 월등히 낮은 속도이다. 따라서 수중 통신망의 접속 제어 프로토콜의 설계시 저속의 전송 속도를 갖는 채널을 기반으로 다양한 응용에서 요구되는 통신 서비스들을 만족할 수 있도록 하여야 한다.

일반적인 근거리 통신망의 접속 제어 프로토콜에서 데이터 송·수신을 위해 여러 비트들을 일정 크기 또는 가변적인 크기의 패킷 단위로 묶어서 처리한다. 이때 전파 지연 시간은 패킷의 크기를 결정하는 주요 요소가 된다. 초음파의 표준 속도를 1500m/sec로 가정했을 경우, 전파 지연 시간은 약 0.67sec/km 가 된다. 이 값은 WLAN에서 사용하는 고주파의 전파 지연 시간 3.33 $\mu$ sec/km 보다 약  $2 \times 10^5$  배가 된다. 패킷의 전파 지연 시간이  $T$ , 패킷의 전송 시간이  $T_p$  일 때 일반적으로  $T_p \gg T$  인 조건을 만족하도록 패킷의 크기를 결정해야 한다.

WLAN에서 사용되는 기존의 CSMA 접속 제어 프로토콜에서 채널의 효율적인 이용을 위해서

는  $a(a=T/Tp)$ 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 값을 WLAN에서와 같이 0.01로 가정했을 때 패킷의 크기는  $1 \times 10^5$  정도가 된다. 이 정도 패킷의 크기로는 수중에서 초음파로의 데이터 전송시 예견되는 오류 발생율을 고려하면 도저히 사용이 불가능하다<sup>7)</sup>. 결국 수중 통신망의 접속 제어 프로토콜에 기존의 WLAN에서 사용되는 방식의 접속 제어 프로토콜의 사용은 불가능하고 수천 비트 이내의 패킷 크기, 즉  $a$ 의 값이 1 이상의 큰 값에서도 수중 초음파 채널을 효율적으로 사용할 수 있도록 접속 제어 프로토콜을 설계해야 한다.

## 2.2 상위 계층 서비스를 위한 제약

수중 통신망의 응용 계층 서비스들은 앞에서 언급한 내용과 같이 주로 수중 시스템의 제어 신호 전달, 해저의 화상 정보 전송 및 센서의 계측 정보 전송 등이다. 이 서비스들 중 화상 정보의 전송을 위해서는 초당 10-50Kbps 정도 정보의 실시간 전송이 요구되고 있다<sup>8)</sup>. 그러나 수중 통신망의 물리 계층에서 사용되는 초음파 트랜스듀서들은 1-10Kbps 정도의 저속의 전송 속도를 지원하고 있다<sup>9)</sup>. 이러한 저속의 전송 속도를 이용해 화상 정보의 실시간 전송과 제어 신호 및 계측 정보들의 전송을 모두 처리하기에는 한계가 있다. 또한 다수의 수중 시스템들이 단일 통신 채널을 공통 매체로 사용하는 것은 더욱 어려울 것이다.

따라서, 응용 계층에서 요구되는 각종 서비스들을 저속의 통신 채널을 통해 처리하기 위해서는 서로 다른 주파수 대역을 사용하는 다수의 통신 채널을 이용하여야 한다. 즉 모선과 각 수중 시스템에서 생성되는 각종 정보들을 다수의 초음파 트랜스듀서를 통해 전송하는 것이다. 이를 위해서는 상위 계층에서 생성된 정보를 다수의 물리적인 채널을 통해 전송하기 위한 접속 제어 프로토콜의 설계가 필수적이다.

또한, 접속 제어 프로토콜의 설계시 각 물리적인 채널들을 균형있게 사용하기 위한 방안이 고려되

어야 한다. 만일 하나의 물리적인 채널을 다수의 스테이션들이 동시에 사용할 경우 전체 통신 채널의 수율 저하가 발생하게 된다.

## 3. 수중 통신망을 위한 접속 제어 프로토콜의 설계

### 3.1 접속 제어 프로토콜의 프레임 형식

접속 제어 프로토콜의 기본적인 기능은 상위의 논리적 링크 제어 부계층으로 부터의 프레임을 목적지까지 전달하는 것이다. 이 과정에서 서로 다른 스테이션들과 공통으로 전송 채널을 사용하기 위한 접속 제어 기능과, 다른 스테이션들과의 충돌 또는 전송 채널에 의해 발생하는 에러의 검출 기능이 필요하다. 이를 위해서는 논리적 링크 제어 부계층에서 생성된 프레임에 에러 검출을 위한 CRC(Cyclic Redundancy Code) 비트 패턴과 프레임의 시작과 종료를 나타내기 위한 구분자를 추가하여야 한다.

접속 제어 프로토콜의 프레임 형식 설계시에 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

- 프레임의 시작과 종료 구분자는 프레임 내의 정보들과 구분되어야 한다.
- 간헐적인 데이터 및 연속적인 실시간 정보의 전달을 위해서는 가변 길이의 프레임이어야 한다.
- 하드웨어의 구현이 용이하여야 한다.

위의 조건들을 만족시키기 위해 설계된 접속 제어 프로토콜의 프레임 형식은 Fig. 1과 같다. 이 프레임 형식은 SDLC(Synchronous Data Link Control) 프로토콜에서 사용되는 프레임 형식과 유사하다. 따라서 SDLC 프로토콜을 지원하는 통신용 IC를 이용해 쉽게 구현할 수 있으며 가변 길이의 정보를 처리할 수 있다. 또한 SDLC 프로토콜이 'bit oriented protocol' 이고 정보 필드에 연속되는 '1'의 다섯 개 후에 반드시 하나의 '0'가 삽입되므로 프레임의 구분자와 정보가 구분될 수 있다.

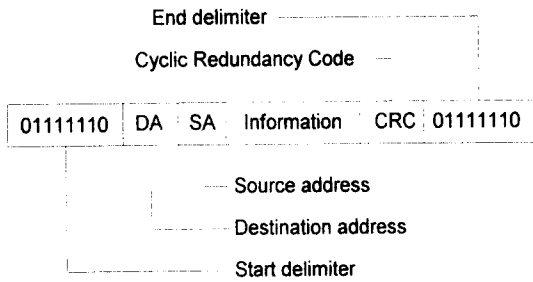


Fig. 1 Frame format of MAC protocol

### 3.2 단일 수중 초음파 전송 채널에서의 접속 제어

전송을 원하는 스테이션은 다중의 초음파 전송 채널들 중 하나의 채널을 선택한 후, 선택된 단일 채널을 이용해 프레임의 전송을 시도한다. 이 때에 기존의 유선 근거리 통신망과 고주파를 이용한 WLAN에서와 마찬가지로 다른 스테이션과의 충돌이 발생할 수 있다.

WLAN에서 주로 사용하는 CSMA 접속 제어 방식에서는 채널의 'idle' 여부를 판정하기 위해 전송 채널의 상태를 감시하는 과정에서 실제 케리어가 존재하지 않더라도 전파 지연 시간에 의한 충돌을 방지하기 위해 충분한 시간적인 여유를 두고 전송을 시도한다. 이때의 시간적인 여유는 통신망 내의 최대 거리까지의 전파 지연 시간을 고려하여 결정된다. 따라서 전파 지연 시간이 큰 경우 충돌 방지를 위해 소비되는 대기 시간이 커짐으로 해서 최대 수율이 급격히 감소하게 된다.

따라서 본 논문에서는 이러한 단점을 보완하기 위한 방법으로서 전파 지연 시간에 무관하게 일정 크기 이상의 최대 수율을 보장할 수 있도록 접속 제어 프로토콜을 설계하였다.

설계된 접속 제어 프로토콜에서는 CSMA 방식과 달리 전송을 원하는 스테이션은 채널이 'idle' 상태일 때 전파 지연 시간을 고려하지 않고 Fig. 2와 같이 즉시 전송을 시도한다. 물론, 이 경우 다른 스테이션과의 충돌에 의한 어려움은 높아진다. 그러나 CSMA 방식에서 충돌의 방지를 위해 전파 지연 시간 동안 소비하는 대기 시간을 고려하면 충돌이 발생하더라도 전체적인 수율의 향상을 기대할 수 있다.

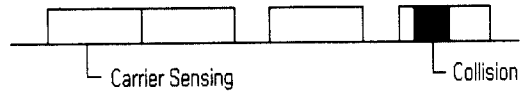


Fig. 2 Transmission procedure in the proposed MAC protocol

### 3.3 다중 초음파 전송 채널을 이용한 프레임의 송·수신

본 논문에서 목표로 하는 수중 통신망에는 다수의 스테이션들이 존재하고, 이들 스테이션들이 사용 가능한 다수의 초음파 전송 채널들이 존재한다. 통신망 내의 각 스테이션들은 이 다수의 전송 채널 중의 하나를 이용해 상대측에 프레임을 전송할 수 있어야 한다. 이를 위해 전송을 원하는 스테이션은 우선 상대 스테이션의 수신 가능한 주파수 대역과 자신이 장착하고 있는 트랜스듀서의 주파수 대역을 알아야 한다. 즉 스테이션들 사이의 직접적인 'peer-to-peer' 통신을 위해서는 각 스테이션들이 송·수신을 위해 장착하고 있는 트랜스듀서에 관한 정보를 모든 스테이션들이 알고 있어야 한다. 이 정보를 이용해 상대측 스테이션에서 수신이 가능하고 자신이 송신이 가능한 전송 채널을 선택하여 송신을 할 수 있다.

전송 채널의 선택시, 스테이션들이 다수의 트랜스듀서를 장착하고 있기 때문에 선택할 수 있는 전송 채널이 여러개 존재할 수 있다. 이 경우 여러 전송 채널들의 균형있는 이용을 위해 별도의 알고리즘이 있어야 한다. 본 논문에서는 간단한 방법으로서 선택 가능한 후보 전송 채널들 중 가장 오래 동안 'idle' 상태에 있는 채널을 우선적으로 선택하였다. 이를 위해서 각 스테이션들은 자신이 장착하고 있는 트랜스듀서를 통해 전송 채널의 사용 여부를 계속적으로 감시하고 'idle' 기간 중의 시간을 누적하고 있어야 한다.

설계된 프로토콜의 모드 별 동작 설명은 다음과 같다.

#### 가. 케리어 감지(carrier sensing)

수중 통신망에 접속되어 있는 모든 스테이션들은 초기 상태에서 항상 Fig. 3의 케리어 감지 모드로서 동작하며, 프레임 송신을 위한 요구와 프레임

의 수신을 대기한다. 또한 다중 전송 채널에서의 접속 제어를 위해 각 전송 채널의 사용 여부를 지속적으로 감지하고 채널 별 'idle' 시간을 누적시킨다.

Fig. 3의 캐리어 감지 모드에서 각 채널 별 'idle' 시간의 누적을 위해 타이머를 사용하고 타이머의 'overflow' 발생시 별도의 플래그를 증가시킨 후 다시 타이머를 동작시킨다. 각 전송 채널에서 캐리어가 검출되면 해당 채널의 플래그를 '0'으로 세트하고 타이머를 다시 동작시킨다. 전송 채널에서 캐리어의 검출은 비트 단위로 이루어진다.

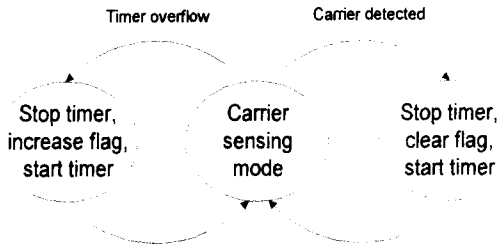


Fig. 3 The sensing state transition diagram

#### 나. 프레임 수신

Fig. 3의 캐리어 감지 모드에서, 프레임이 수신되면 수신된 프레임의 오류 유·무 판정 결과에 따라 오류가 없으면 프레임을 송신한 상대측 스테이션에 ACK 신호를 송신하고 수신된 프레임을 처리한 후 캐리어 감지 모드로 되돌아 간다. 만일 수신된 프레임에 오류가 있으면 상대측 스테이션에 NAK(Negative Acknowledgement) 신호를 송신하

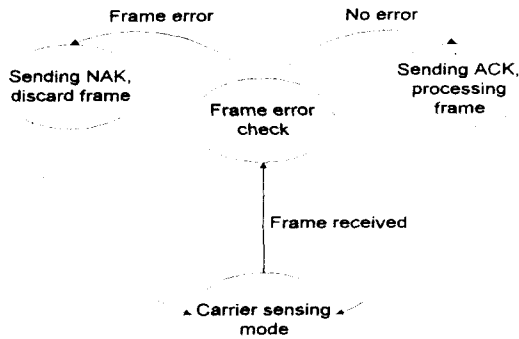


Fig.4 The receiving state transition diagram

고 수신된 프레임을 버린 후 캐리어 감지 모드로 되돌아 간다. 프레임 수신을 위한 상태 천이도는 Fig. 4와 같다.

#### 다. 프레임 송신

캐리어 감지 모드에서 프레임 송신을 위한 요구 발생시 Fig. 5의 절차에 따라 프레임을 송신한다. 목적지 스테이션에 프레임을 전송하기 위해서는 다수의 초음파 전송 채널들 중 실제 전송에 사용하기 위한 하나의 전송 채널을 선택하여야 한다. 이를 위한 첫 단계로서, 목적지 스테이션에서 수신 가능하고 자신의 스테이션이 송신 가능한 후보 채널들을 검색한다. 이 후보 채널 검색 과정에서 Fig. 6과 같이 각 스테이션 별로 장착하고 있는 송·수신 트랜스듀서에 관한 정보로부터 목적지 스테이션과 교신이 가능한 채널들을 검색한다.

후보 채널 검색 과정에서 만일 교신 가능한 송신 채널의 검색에 실패하면, 두 스테이션 사이에는 직접적인 'peer-to-peer' 통신을 할 수 없으므로 송신을 포기하고 캐리어 감지 모드 상태가 된다. 대부분의 경우에는 다수의 교신 가능한 후보 채널들이 검색된다. 후보 채널들의 검색 후 실제 프레임의 전송에 사용하기 위한 채널을 선택하기 위해서, Fig. 7에서와 같이 각 후보 채널 별로 누적된 'idle' 시간을 비교한다. 그 중 가장 큰 값의 'idle' 시간을 갖는 채널을 송신 채널로 선택하여 프레임을 송신한 후 ACK 수신 모드 상태가 된다. 만일 이 과정에서 후보 채널들 중 'idle' 상태인 채널이 존재하지 않으면 각 후보 채널들의 캐리어를 감지하여 'idle' 상태의 채널 발견 후 프레임을 송신하고 ACK 수신 모드 상태가 된다.

#### 라. 오류 제어

본 논문에서 제안한 접속 제어 프로토콜에서는 오류 제어를 위해 stop-and-wait ARQ(Automatic repeat request)<sup>10)</sup> 방식을 사용하였다. Fig. 8은 ACK 수신을 위한 상태 천이도이다. 프레임의 송신 후 스테이션은 ACK 수신 모드 상태가 된다. ACK 수신 모드에서, 일정 시간 이내에 ACK 신호가 상대측 스테이션으로부터 수신되면 캐리어 감지 모드 상태가 된다. 만일 일정 시간 이내에 ACK 신호가 수신되지 않거나 NAK 신호가 수신되면 앞

에서 설명한 프레임 송신 절차에 따라 이미 전송한 프레임을 다시 전송한다.

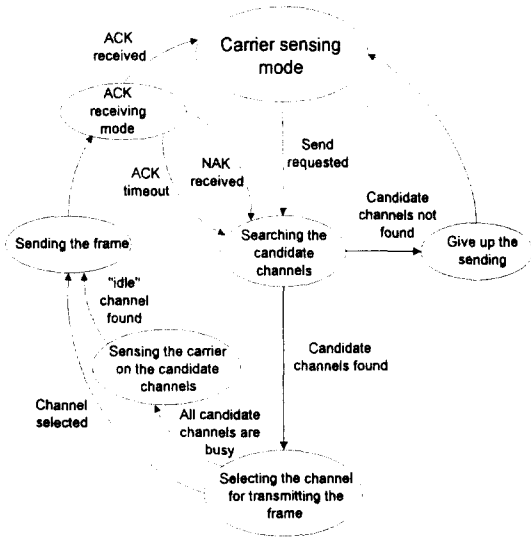


Fig. 5 The sending state transition diagram

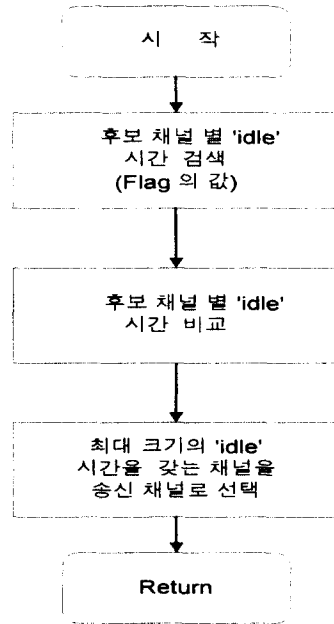


Fig. 7 The procedure for selecting the sending channel

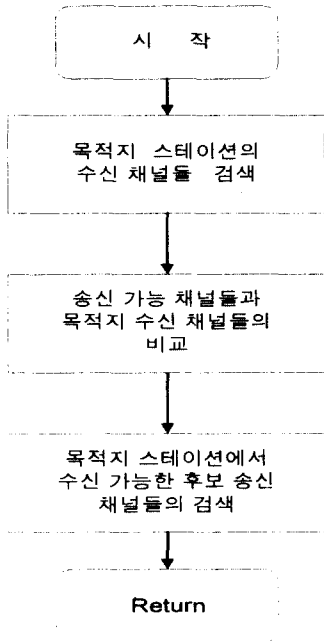


Fig. 6 The procedure for searching candidate channels

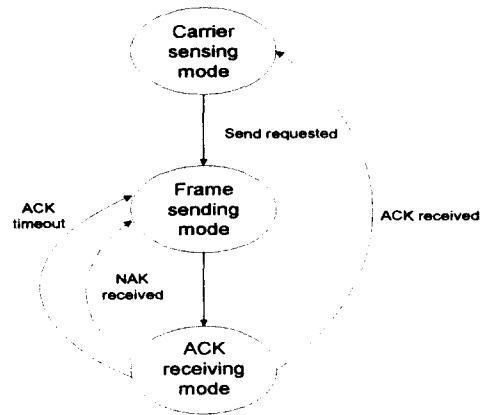


Fig. 8 The state transition diagram for receiving ACK

## 4. 실험 및 실험결과

### 4.1 실험 환경

본 논문에서는 Fig. 9와 같이 수중 초음파 모뎀

을 구현하였으며 접속 제어 프로토콜의 동작을 실험하기 위해 Fig. 10과 같이 실험 환경을 구성하였다. Fig. 10에서, 수조는 지름 120cm, 높이 25cm 크기의 비닐 수조를 사용하였고 두 대의 PC 사이의 통신을 위해 초음파 모뎀을 설치하였다. PC와 초음파 모뎀과의 접속을 위해 RS-232C 통신 방식을 사용하였으며 데이터의 전송을 위해 Fig. 1의 프레임 구성시 사용할 MAC 계층의 주소로서 PC 각각에 A(0x41)와 B(0x42)의 주소를 부여하였다.

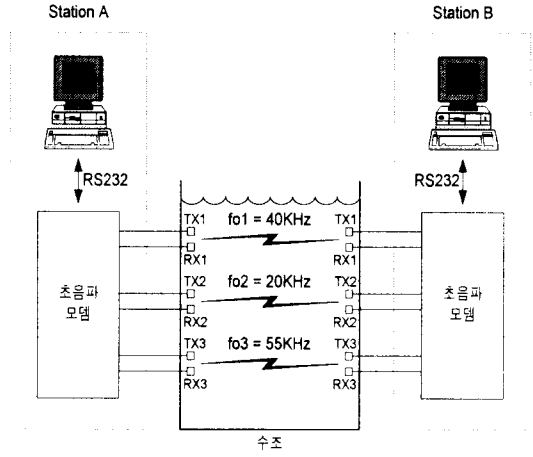


Fig. 10 Experimental environment

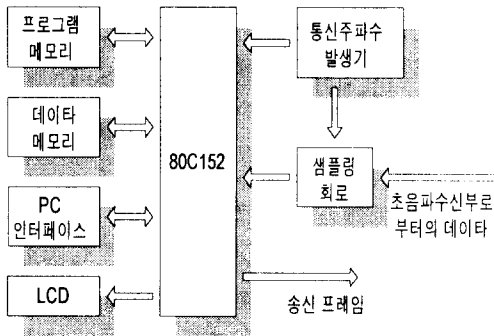


Fig. 9.1 Central processing unit of underwater ultrasonic modem

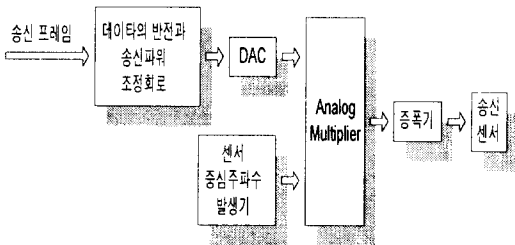


Fig. 9.2 Ultrasonic transmission part

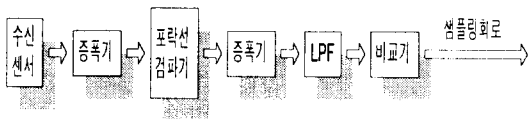


Fig. 9.3 Ultrasonic receive part

Fig. 9 The hardware configuration for underwater ultrasonic modem

#### 4.2 초음파 모뎀의 실험

접속 제어 프로토콜의 동작을 실험하기 위해서는 초음파 모뎀의 정상적인 동작이 요구된다. 따라서 구현된 초음파 모뎀의 데이터 송수신 과정에 대한 실험을 하였다.

통신 속도는 깨끗한 수신 신호의 포착을 위해 각 채널 별로 150bps로 고정하였으며, 수조의 좁은 공간으로 인한 반사파의 영향을 줄이기 위해 반사파의 영향을 가장 적게 받는 위치에 초음파 센서를 고정시키고 실험하였다.

구현된 초음파 모뎀에서 데이터 송신시 중앙처리부에서 초음파 송신부로 전달되는 NRZ 방식의 신호, ASK 변조 신호 및 초음파 센서를 구동시키기 위한 아날로그 신호가 정상적으로 발생되고 초음파 송신부가 정확히 동작하는 것을 확인하였다. 또한 초음파 모뎀의 데이터 수신시 초음파 신호로부터의 포락선, 포락선 검파된 신호, LPF 출력 신호, 비교기 출력 및 샘플링 회로의 출력 신호가 정상적으로 생성되고 초음파 수신부가 정확히 동작하는 것을 확인하였다.

#### 4.3 접속 제어 프로토콜의 실험

초음파 모뎀의 정상적인 동작을 확인한 후 접속 제어 프로토콜이 수행되는 과정과 실제 데이터의

송·수신을 확인하였다.

Fig. 11은 두 대의 PC 사이에 데이터의 송·수신이 이루어지면서 접속 제어 프로토콜이 수행되는 과정을 PC 모니터에 나타낸 것이다. 왼쪽의 화면이 송신 스테이션 A이고 오른쪽의 화면이 수신 스테이션 B이다.

송신 스테이션에서 상대측 스테이션으로의 데이터 전송을 위해 상대측 스테이션의 주소와 실제 전송코저 하는 정보를 PC의 키보드에서 입력하면, 전송 스테이션의 초음파 모뎀에서는 상대측 스테이션으로 프레임을 전송하기 위해 접속 제어 프로토콜에 따라 송신 채널을 선택한 후 프레임을 전송한다. 프레임의 전송 후 상대 측으로 부터의 ACK 신호가 수신되면 프레임의 전송을 완료한다. 수신 스테이션에서는 수신 모드에서 프레임이 수신되면 오류의 유무에 따라 ACK 또는 NAK 신호를 상대측 스테이션에 송신하고 수신된 프레임을 화면에 디스플레이 한다.

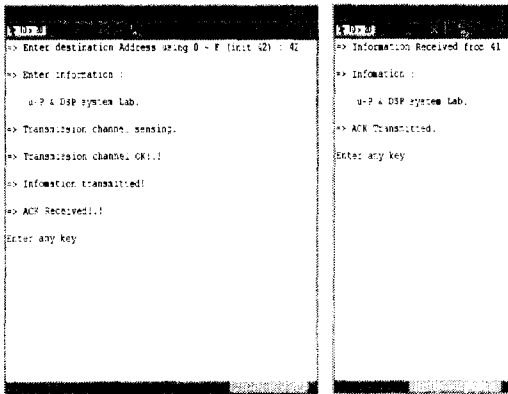


Fig. 11 Experimental result of the proposed MAC Protocol

### 5. 결론

본 논문에서는 수중에서의 초음파의 물리적인 특성을 고려하여 전파 지연 시간이 큰 경우에도 통신망의 최대 수율을 일정 수준으로 유지할 수 있고, 다수의 저속 초음파 전송 채널을 이용하여 수중에서 고속 데이터 전송을 할 수 있는 접속 제어

프로토콜을 설계하였다. 또한 설계한 접속 제어 프로토콜의 동작 확인을 위해 수중 초음파 모뎀, 접속 제어 프로토콜 및 PC들 사이의 데이터 송·수신을 위한 응용 프로그램을 구현하고, 초음파 모뎀을 통해 PC들 사이에 데이터가 정확히 송·수신되는 과정을 실험하였다.

제안한 접속 제어 프로토콜은 세 가지의 통신망 구조(1:1 통신망, 중앙 집중식 통신망 및 'fully connected peer-to-peer' 통신망)에 모두 적용할 수 있다. 1:1 통신망 구조에서 다중 채널을 사용했을 경우에는 모선과 수중 시스템 사이에 고속의 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 전송을 가능하게 할 수 있다. '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, 제안한 접속 제어 프로토콜은 향후의 복잡한 형태의 수중 작업 체계에서 여러 형태의 수중 통신망을 구성하기 위한 프로토콜로서 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

- 1) Atwood, D. K., Leonard, J. J., Bellingham, J. G. and Moran, B. A., "An Acoustic Navigation System for Multi-vehicle Operations," *Proc. of 9th Inter. Symp. on Unmanned Untethered Submersible Technology*, Sep., 1995
- 2) Burdic, W. S., "Underwater Acoustic System Analysis," Prentice Hall, New Jersey, pp.1-10, 1991
- 3) Acampora, A. S. and Zhang, Z., "A Throughput/Delay Comparison : Narrowband



- versus Broadband Wireless LAN's," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, Vol. 42, No. 3, Aug., 1993
- 4) Eck, C., Porta, D. and Fang, C., "High Speed Digital Acoustic Telemetry System," *Proc. of 4th Symp., Unmanned Untethered Submersible Technology*, Jun., 1987
  - 5) Stojanovic, M., "Recent Advances in High-Speed Underwater Acoustic Communications," *IEEE Oceanic Eng.*, Vol. 21, No. 2, Apr., 1996
  - 6) Johnson, M. A. and Freitag, L. E., "Towards an Autonomous Receiver for Underwater Acoustic Communications," *Proc. IEEE Oceans '96*, Sep., 1996
  - 7) 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
  - 8) Baggeroer, A., "Acoustic Telemetry-An Overview," *IEEE Trans. Oceanic Eng.*, Vol. OE-9, pp.229-235, Oct., 1984
  - 9) Herold, D. and Johnson, M., "A Low Cost Compact Acoustic Modem," *1994 IEEE Symp. of Autonomous Underwater Vehicle Technology*, Jul., 1994
  - 10) Halsall, F., "Data Communications, Computer Networks and Open Systems," Addison-Wesley, U.S.A., pp.216-230, 1992