

# 무인잠수체 통제를 위한 다중접속 프로토콜 평가

## Evaluation of Multiple Access Protocols for Controlling UUV

정 승 백\*, 조 진 수\*, 심 태 보\*  
(Seungback Jung\*, Jin-Soo Cho\*, Taebo Shim\*)

\*송실대학교 전자공학과  
(접수일자: 2008년 3월 8일; 수정일자: 2008년 5월 14일; 채택일자: 2008년 8월 6일)

본 논문은 수중 무인잠수체 (UUV) 통제를 위한 다중접속 프로토콜의 효율 평가에 관한 연구이다. 수중에서 무인잠수체는 현재 유선에 의한 통제가 대부분이나, 유선 통제시 운용성에 크게 제한을 받기 때문에 무선에 의한 통제가 요구되고 있다. 본 연구에서는 해수면에 위치한 모선, 통신부이 또는 해저 면에 위치한 통신노드에 의한 무선통제를 목적으로 정형화된 다중접속 프로토콜 (순수 알로하 (Pure ALOHA), 슬롯화된 알로하 (Slotted ALOHA), 비영속적 CSMA (Nonpersistent CSMA), 슬롯화된 비영속적 ISMA (Slotted Nonpersistent ISMA)의 효율을 모의 평가하였다. 평가결과 비영속적 CSMA, 슬롯화된 비영속적 ISMA가 비교적 수중에서 높은 효율을 갖는 것으로 확인 되었다.

**핵심용어:** 수중통신, 무인잠수체, 다중접속 프로토콜, 알로하, CSMA, ISMA

**투고분야:** 수중음향 분야 (5.6)

This study includes the efficiency assessment of a multiple access protocol for UUV (Underwater unmanned vehicle) control. Most of UUVs are controlled by wire now; however, wireless control is demanded because of the demerit of the wire control that limits the place and activity. This study simulates efficiency of a standardization multiple access protocol (Pure ALOHA, Slotted ALOHA, Nonpersistent CSMA, Slotted Nonpersistent ISMA) formed for the purpose of performing wireless communication controlled by the ship or communication buoy at the sea surface and by the under water communication node at the bottom in order to efficiently control the UUV's. Results show that no significant changes occur related to changing type of the mother ship and the communication node. In addition, the Non-persistent CSMA and the Slotted Non-persistent ISMA show relatively high efficiency for underwater acoustic communication.

**Keywords:** Underwater acoustic communication, Underwater unmanned vehicle, Multiple Access Protocol, ALOHA, CSMA, ISMA

**ASK subject classification:** Underwater Acoustics (5.6)

### 1. 서론

수중에서 무인잠수체는 산업적, 군사적 목적으로 사용된다. 산업적 목적으로는 해양특성조사, 유전탐사, 해저케이블 조사 및 수리, 해저지형 탐색, 해저광물, 유물 탐사, 구조 활동 등에 사용된다. 군사적으로는 정찰, 감시, 통신감청, 수중감시, 추적, 공격, 기뢰탐색, 소해 등에 유용하게 사용될 수 있다. 그러나 현재 무인잠수체는 유선 통제가 주를 이루고 있으며, 아직 무선 통신 통제는 어려운 실정이다. 유선 통제시 자료 전송의 정확성이나,

전력의 공급 측면에서는 유용하지만 전력 공급선 및 신호 케이블에 의하여 무인잠수체의 운용에 큰 제한이 있다. 또한 해저 지형, (생) 물체 등에 의한 통제선 절단시 무인잠수체를 분실할수도 있으며, 한척의 모선에서 2대 이상의 잠수정을 운영하기에는 많은 제약이 따른다. 그러나 수중에서의 무선통신도 많은 제약점이 있다. 육상에서와 달리 전자기파를 이용한 무선 통신은 수중에서 산란과 감쇄가 심해서 전송거리를 433 MHz에서 120 cm로 매우 짧게 제한한다 [1]. 무선 육상에서 빛의 속도로 전파되는 ( $3 \times 10^8$  m/s) 전자기파와는 달리 수중에서 음파는 약 1500 m/s의 속도로 전파되기 때문에 전파자연 시간이 약 0.67 s/km나 된다 [1]. 이처럼 긴 전파자연은 노드간의 동기를 맞추기 어렵고 정확한 RTT (Round Trip

책임저자: 심 태 보 (tbshim@ssu.ac.kr)  
156-746 서울시 동작구 상도5동  
송실대학교 편남 공학관 525호 수중음향통신연구실  
(전화: 02-825-0918)

Time)를 추정하기 어렵다. 그러므로 수신 단에서 서로 다른 수신 패킷 간의 충돌 확률을 높이고 통신 시스템 성능을 크게 저하시키는 요인이 된다 [2].

1998년경 미국의 SeaWeb 프로젝트는 FDMA (Frequency Division Multiple Access)를 접속제어 프로토콜로 사용하였다. 그러나 수중채널과 같이 대역폭 제한을 갖는 환경에서는 효율성이 떨어지는 단점이 있었다 [3]. 2003년 Salva는 클러스터링을 통한 CDMA/TDMA를 제안하였다 [4]. 이는 인접해 있는 여러 무인잠수체들이 클러스터를 형성하여 네트워크를 구성하는 방식이다. 그러나 CDMA에서 발생하는 근원효과 (near-far)문제는 미해결 상태였다. 우리나라에서는 2006년 조아라 등에 의해 MAC (Medium Access Control)기반의 CSMA (Carrier Sensing Multiple Access) 프로토콜을 제안 하였다 [5]. 그러나 상기의 연구들은 단일 프로토콜에 대하여만 연구 되어져 있으나 본 연구에서는 순수 알로하, 슬롯화된 알로하, 비영속적 CSMA, 슬롯화된 비영속적 ISMA 등 4가지의 다중 접속 프로토콜을 평가하였으며 각 프로토콜간 전송률을 평가함으로써 어떠한 프로토콜이 더 효율 적인지 판단하였다. 시뮬레이션 환경은 해수면에 위치한 모선이나 통신부이 또는 해저면 에 위치한 통신노드에서의 무인잠수체 통제를 가정하였다. 본 논문은 총 4장으로 구성되어있고 2장에서는 수중음파전달 관련 이론을 3장에서는 실험 내용 및 결과를, 마지막 4장에서는 결론을 논하였다.

## II. 이론

### 2.1. 수중음파의 전달 및 손실

수중통신은 일반적인 무선 통신에서 사용되는 RF (Radio Frequency)나 빛은 감쇄가 심해서 전파가 불가능하기 때문에 수중에서 전파가 가능한 음파를 통신에 사용한다. 음파는 음속의 변화, 다중경로, 도플러 효과 그리고 제한된 주파수 대역폭으로 인하여 수중음향 무선통신에 어려움을 준다.

본 연구에서 수중음파의 전달은 음선이론을 적용하였으며 음속은 식(1)을 사용하였다 [6].

$$C = 1449 + 4.6T + (1.39 - 0.012T)(Sa - 35) + 0.017z \quad (1)$$

여기서 C는 음속 (m/sec), T는 수온 (°C), Sa는 염분도 (‰), z는 수심 (m)이다. 각 음선의 전달손실은 확산에 의한 손실, 해수면과 해저면 에 의한 손실로 구분되고 [7]

전달 손실 (TL)은 식(2)로 정의하였다.

$$TL \equiv 10 \log \frac{I(r)}{I_0} = 20 \log r + \alpha_a r 10^{-3} \quad (2)$$

여기서  $I_0$ 는 음원으로 부터 1 m 거리에서의 음 강도이며,  $I(r)$ 은 거리 r에서의 음강도 이다. 또한  $\alpha_a$ 는 흡수계수이며 사용주파수를 f [kHz]라 할 때 식(3)과 같다.

$$\alpha_a = 3.3 \times 10^{-3} + \frac{0.11f^2}{1+f^2} + \frac{44f^2}{4100+f^2} + 3.0 \times 10^{-4}f^2 \quad (3)$$

또한 해수면의 산란손실 ( $\alpha_s$ )은 식(4)와 같다.

$$\alpha_s = -10 \log [1 - 0.0234(fH)^{\frac{3}{2}}] \quad (4)$$

여기서 H는 평균 파고 [ft]이다. 해저면에서의 산란손실 ( $\alpha_b$ )은 식(5)와 같다.

$$\alpha_b = -20 \log_{10} |R| \quad (5)$$

여기서 R은 반사계수이며 식(6)으로 표현된다.

$$R = \frac{Z_2/Z_1 \sin \theta_i - \sin \theta_t}{Z_2/Z_1 \sin \theta_i + \sin \theta_t} \quad (6)$$

여기서  $Z_1, Z_2$ 는 매질 1과 매질 2에서의 임피던스,  $\theta_i$ 는 입사각,  $\theta_t$ 는 투과 각이다.

### 2.2. 수중 패킷 통신 시스템

통신에서 사용자들 간의 합의를 프로토콜 (규약)이라고 하고, 사용자들이 공통된 통신수단을 사용할 때 다중접속이라 부른다. 그러므로 하나 이상의 수중잠수체가 공통된 자원을 활용하거나 접속을 시도하려면 다중접속 프로토콜이 필요하다.

그림 1은 접속 터미널에서 접속 프로토콜을 사용하여 해당 통신채널을 통해 접속지점에 접속하는 것을 나타낸다.

본 논문에서는 각 Terminal의 성능은 동일하며, 각각의 Terminal은 버퍼를 가지고 있다고 가정하였다. 통신 채널에서 사용 주파수는 해수의 흡수손실을 고려하여 5 kHz로 가정하였고 [8] 이 주파수 대역에서 수중소음분포는 45~65 dB 정도이므로 [9] 소음준위는 65 dB로, 음원

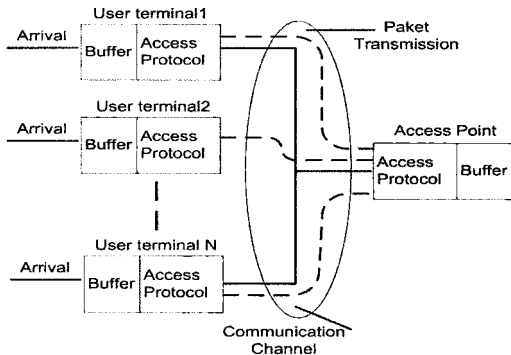


그림 1. 패킷통신 시스템의 구성  
Fig. 1. Composed of packet Comm. system.

준위는 120 dB로 가정 하였다.

음선추적 모델을 이용하여 음선의 전달거리와 해표면, 해저면 에서의 반사 횟수를 산출하고 전달손실은 식 (2)~(5)에 따라 계산하였다. 수중 채널의 채널 용량 ( $C_{max}$ )은 식(7)과 같다.

$$C_{max} = B \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \quad (\text{bit/sec}) \quad (7)$$

여기서 B는 대역폭, S와 N은 신호와 잡음을 나타낸다. 접속 단말기에서 생성된 패킷과 재전송된 패킷의 총량을 트래픽이라 하고 이를 정규화 한 것을 제공된 트래픽 (Offered Traffic) G로 나타내면 G는 식(8)과 같이 정의할 수 있다.

$$G = \frac{T_i}{RCV} \quad (8)$$

여기서  $T_i$  (bit)는 전송정보량을 그리고 RCV (bps)은 데이터 전송률이다. 한편, 성공적으로 전송된 총 패킷의 양을 전송률이라 부르고 전송 데이터 전송률에 의해 정규화된 전송률을 Z라 한다. 단위시간당 n패킷이 성공적으로 전송된다면 Z는 식(9)와 같다.

$$Z = \frac{T_i \times n}{RCV} \quad (9)$$

### 2.3. 프로토콜의 평가

본 논문에서는 순수 알로하, 슬롯화된 알로하 (이후 S-ALOHA), 비영속적 CSMA, 슬롯화된 비영속적 ISMA의 정형화된 랜덤 프로토콜을 대상으로 연구 하였다.

순수 알로하는 접속 단말기가 패킷을 보내고 싶은 대로 전송하는 프로토콜로서 각 패킷의 길이가 고정되어 있고

패킷을 전송하기 위한 시간이 P라면 패킷은 다른 패킷이  $t_1 - P$ 에서  $t_1 + P$ 의  $2P$ 동안 전송을 시작하지 않으면 성공적으로 전송된다. 그러므로 제공된 트래픽 G에서 순수 알로하의 전송률 Z는 식(10)과 같다.

$$Z = Ge^{-2G} \quad (10)$$

슬롯화된 알로하는 메시지를 두 동기화 펄스 간의 슬롯 시간 내에 전송하고 시간 슬롯의 시작에서만 시작될 수 있도록 함으로써 충돌의 비율을 순수 알로하 방식에 비하여 반으로 감소시킬 수 있다. 시간 슬롯 내에 생성된 패킷이 다음 시간 슬롯에서 전송되고 한 시간 슬롯 내에 두 개 이상의 패킷이 생성되면 충돌이 발생한다. 그러므로 제공된 트래픽 G에서 슬롯화된 알로하의 전송률 Z는 식 (11)과 같다.

$$Z = Ge^{-G} \quad (11)$$

비영속적 CSMA는 충돌을 피하기 위한 프로토콜의 하나로써, 접속 단말기에서 패킷이 생성될 때 접속단말기는 반송파 감지를 시작하고 반송파 감지의 결과에 따라 전송여부를 결정한다. 그러나 비영속적 CSMA의 경우에도 전송지연시간에 의해 패킷의 충돌이 발생하며, 반송파 감지가 어렵게 되는 “숨겨진 단말기 (Hidden Terminal)” 문제를 야기 시킨다. 제공된 트래픽 G에서 비영속적 CSMA의 전송률 Z는 식(12)와 같으며 a는 정규화된 전송 지연이다. 정규화된 전송지연 a는 각 접속 단말기에서 접속 지점 까지의 패킷전송에 필요한 시간과 같다고 가정하였고, 수중이라는 특성에 의해 수중에서의 음속을 고려하여 산출하였다.

$$Z = \frac{Ge^{-aG}}{G(1+2a) + e^{-aG}} \quad (12)$$

슬롯화된 비영속적 ISMA는 비영속적 CSMA의 “숨겨진 단말기 문제”를 해결하기 위하여 제공된 하나의 해법으로 접속자점으로부터 접속단말기까지 통신채널의 상태를 알림으로써 “숨겨진 단말기 문제”를 해결하는 시스템으로 제공된 트래픽 G에서 슬롯화된 비영속적 ISMA의 전송률 Z는 식(13)과 같다.

$$Z = \frac{aGe^{-aG}}{1 + a - e^{-aG}} \quad (13)$$

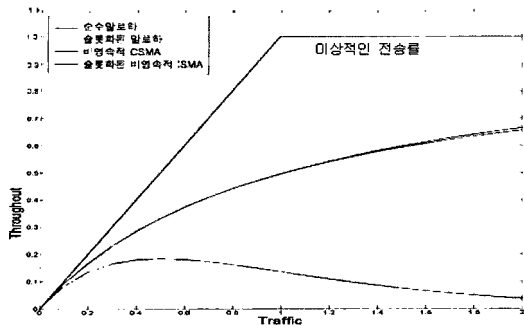


그림 2. 이상적인 전송률 과 이론적인 전송률  
Fig. 2. The ideal and theoretic throughput.

앞서 서술한 네 가지의 프로토콜을 평가하는데 사용되는 가장 기본적인 항목은 제공된 트래픽 G, 전송률 Z, 평균전송지연 D이며 평균전송지연 D는 실제 전달 시간을 산출하여 평가 하였다.

그림 2에서 이상적인 전송률  $Z = \begin{cases} G(G < 1) \\ 1 (G \geq 1) \end{cases}$ 로 표현되며, 트래픽이 1보다 크면 전송률은 1을 유지한다. 그러나 식(10)과 같이 프로토콜의 이론상 전송률은 트래픽 G가 증가함에 따라 증가한다. 그러나 일정한 임계값에서 트래픽이 증가 하더라도 전송률은 감소한다. 본 연구에서는 Z (전송률)의 임계값에 관한 평가를 통하여 수중에서의 다중접속 프로토콜 효율을 논하였다.

### III. 실험 및 결과

#### 3.1. 시뮬레이션 환경 구축

무인 잠수체의 통제를 위한 수중환경은 서해를 모델로 하였다. 음속은 하절기 (8월)와 동절기 (12월)의 KODC (Korea Oceanographic Data Center) 실측 데이터를 활용하였다. 또한 무인 잠수체 (이후 터미널)는 해저면 으로부터 5 m 에 위치한다고 가정하였고, 통신거리는 각각 1 km, 2 km 로 하였으며, 해수면의 모션 또는 해저면의 통신노드에서의 통제를 가정하여 송신지점은 수심 5 m 와 55 m 지점으로 하였다. 통신 거리에 따른 수심은 송신기 위치는 약 59 m 그리고 1 km 지점은 57 m , 2 km 지점은 약 55 m 정도로 서해의 특성상 완만한 경사를 이루고 있다. 그 외 평균과고는 1 ft, 해저면 재질은 모래로 하여  $Z_b/Z_s$ 의 값은 2.4 로, 주파수는 5 kHz로 고정하였다. 또한 Bit Rate는 1e3 을 그리고 Symbol Rate는 0.5e3을 그리고 한 패킷의 길이는 128을 가정 하여 실험 하였으며 각 터미널에서 수신 되는 메시지의 도플러 효과와 페이딩 현상은 일반적인 통신 이론에 음속과 사용 주파수를 적용하였고, 해수면

표 1. 하절기 시뮬레이션 입력치

Table 1. Simulation parameters of the summer.

Tx	Rx	전송시간 (sec)	전송거리 (m)	전달손실 (dB) (5 kHz)	채널용량 (kbps)
Ship	No.1	0.6753	1019.49	16.4952	63
	No.2	1.3764	2069.58	48.1827	12
Node	No.1	0.6815	1010.38	7.9069	78
	No.2	1.3541	2000.06	13.8638	68

표 2. 동절기 시뮬레이션 입력치

Table 2. Simulation parameters of the winter.

구분	Tx	Rx	전송시간 (sec)	전송거리 (m)	전달손실 (dB) (5 kHz)	채널용량 (kbps)
Ship	No.1	No.1	0.7008	1044.05	26.0888	48
	No.2	No.2	1.3549	2025.14	30.2223	41
Node	No.1	No.1	0.6795	1001.52	0.0308	91
	No.2	No.2	1.4240	2119.98	63.4995	1

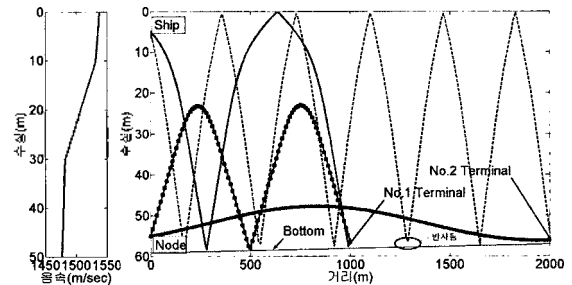


그림 3. 수중통신 채널의 음속구조 및 음선 (하절기)  
Fig. 3. Sound profile and ray of UAC (Summer).

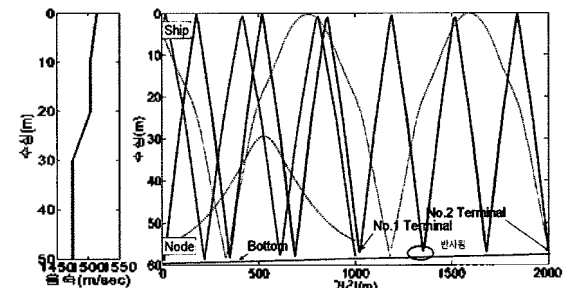


그림 4. 수중통신 채널의 음속구조 및 음선 (동절기)  
Fig. 4. Sound profile and ray of UAC (Winter).

과 해저면의 반사에서는 반사되는 손실을 적용하였다.

그림 3과 그림 4는 하절기와 동절기의 시뮬레이션 환경과 음선추적 이론에 따른 음선도이다. 음선은 해수면 (5 m)과 해저면 (55 m) 에서 송신시 No.1,2터미널에 도달 하는 가장 짧은 고유음선이다. 표 1, 2는 그림 3, 4를 통해 도출된 각각의 터미널로 들어온 고유음선에 대한 도달시간과 도달거리 그리고 전달손실 과 채널용량을 나타낸 값이다. 표 1은 하절기를 표 2는 동절기에 대한 환경 요소

들이다. 본 논문에서 프로토콜 평가는 계절과 송신 위치 그리고 수신 거리에 따라 총 8가지 경우로 실험하여 종합적인 판단이 가능토록 환경을 구축 하였다.

### 3.2. 시뮬레이션 결과

그림 5는 하절기에 수심 5 m에서 송신한 전송률을 나타내고 있다. 그림 5-(a)는 송신기로부터 1 Km에서 No.1 터미널의 전송률을 나타내고 있으며 그림 5-(b)는 송신기로부터 2 Km에서 No.2터미널의 전송률을 나타내고 있다. 그림 5-(a)와 (b)를 보면 비영속적 CSMA와 슬롯화된 비영속적 ISMA는 거의 유사한 형태를 보이는 반면 그림 5-(a)에서 순수 알로하는 트래픽 0.9에서 전송률 0.35의 임계값을 보이는 반면 그림 5-(b)는 트래픽 0.7에서 전송률 임계값 0.3을 갖는다. 이는 전달거리가 증가함에 따라 전송률이 다소 낮아지는 것을 보여준다. 그림 6-(a)와 그림 6-(b)는 하절기에 수심 55 m에서 송신한 경우를 가정한 결과 이다. 그림 5와 마찬가지로 비영속적 CSMA와 슬롯화된 비영속적 ISMA는 거의 유사한 전송률을 갖는 반면 ALOHA 계열의 프로토콜은 다소 낮은 전송률을 갖는다. 특히 그림 6-(a)와 (b)에서 보는 것과 같이 순수 알로하는 수신 지점에 따라 2 Km (그림 6-(b))에서 수신하였을 경우 트래픽 1을 넘으면서부터는 전송률이 떨어지는 반면 1 Km (그림 6-(a)) 지점에서 수신할 경우는 트래픽이 1.5를 넘어도 임계값을 유지하고 있다. 이는 수신 거리가 멀어짐에 따라 전송률이 떨어지는 그림 5와 동일한 결과를 보이고 있다.

그림 7-(a)와 그림 7-(b)는 동절기에 수심 55 m에서 송신하고 송신기로부터 1 Km 그리고 2 Km에 위치한 No.1, No.2 터미널에서 수신 하였을 경우의 전송률을 보여준다. 그림 7-(a)와 그림 7-(b)에서 비영속적 CSMA와 슬롯화된 비영속적 ISMA는 거의 유사한 형태를 보이는 반면 그림 7-(a)에서 슬롯화된 알로하는 임계값이 약 0.5 이다. 그러나 그림 7-(b)에서 수신 하였을 경우는 임계값이 약 0.45로 그림 7-(a) (1 Km에서 수신)보다 다소 낮음을 알 수 있다.

그림 8-(a)와 그림 8-(b)는 동절기에 수심 55 m에서 송신 하였을 경우이다. 그림 8-(a)와 8-(b)에서 순수 알로하를 제외한 나머지 프로토콜은 수신기의 위치와 상관 없이 비슷한 전송률을 보인다. 그러나 그림 8-(a)에서 순수 알로하는 트래픽 0.9에서 약 0.36의 최대 전송률 임계값을 가진다. 그러나 그림 8-(b)에서는 트래픽 0.6에서 약 0.28의 최대 전송률 임계값을 가진다. 그림 8-(a)와 그림 8-(b)을 비교 하였을 경우 1 Km 에서 수신시 (그림

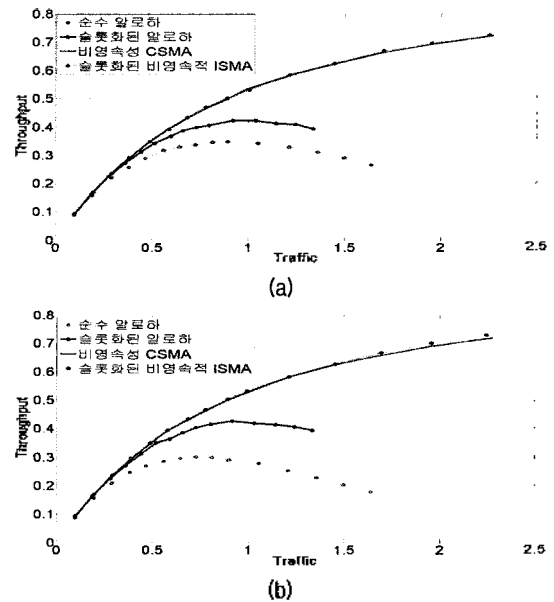


그림 5. 하절기의 전송률 (송신 수심: 5 m)  
(a) 1 Km에서 수신, (b) 2 Km에서 수신  
Fig. 5. The throughput for summer (Transmit depth: 5 m).  
(a) Received at 1 Km, (b) Received at 2 Km

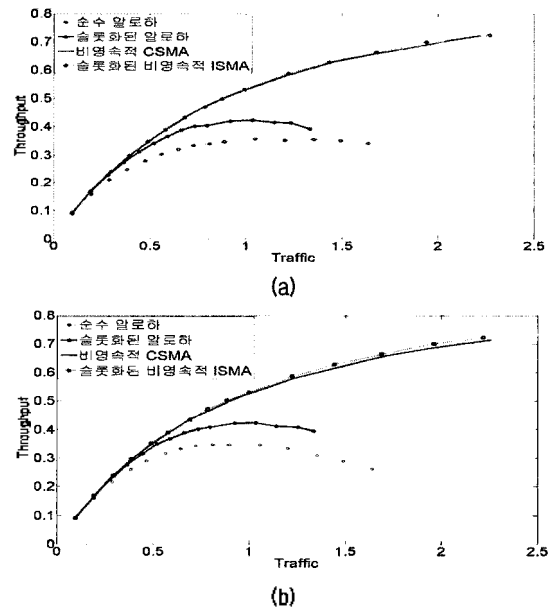


그림 6. 하절기의 전송률 (송신 수심: 55 m)  
(a) 1 Km 수신, (b) 2 Km 수신  
Fig. 6. The throughput for summer (Transmit depth: 55m).  
(a) Received at 1 Km, (b) Received at 2 Km

8-(a)) 트래픽 0.9에서 최대 전송률 임계값을 갖는 반면 그림 8-(b)에서 2 Km 수신시의 전송률은 약 0.25로 약 0.1이상의 전송률 차이를 가진다.

지금까지의 결과를 보면 전체적인 흐름과 각 프로토콜 간의 차이는 유사하게 나타난다. 그러므로 송신기의 수심에 따른 차이는 없는 것으로 판단된다. 이는 수중 환경 모델로 삼은 서해가 매우 얕은 수심 (60 m)이기 때문인

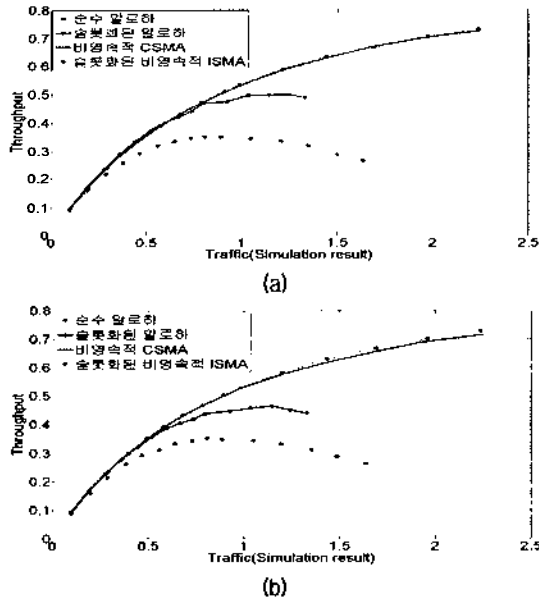


그림 7. 동절기의 전송률 (송신 수심: 5 m)  
 (a) 1 Km 수신, (b) 2 Km 수신  
 Fig. 7. The throughput for winter (Transmit depth: 5m).  
 (a) Received at 1 Km (b) Received at 2 Km

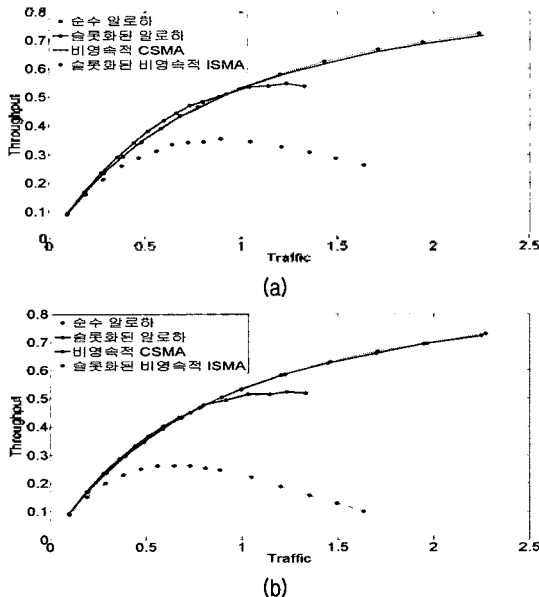


그림 8. 동절기의 전송률 (송신 수심: 55 m)  
 (a) 1 Km 수신, (b) 2 Km 수신  
 Fig. 8. The throughput for winter (Transmit depth: 55m).  
 (a) Received at 1 Km (b) Received at 2 Km

것으로 생각되어진다. 결론적으로 수중에서의 다중접속 프로토콜은 비영속적 CSMA와 슬롯화된 비영속적 ISMA가 가장 우수한 효율을 보이며, 그 다음은 슬롯화된 알로하 그리고 순수 알로하가 가장 낮은 효율을 보인다. 또한 순수 알로하는 수신기의 거리 등에 많은 영향을 미치는 것을 확인하였다.

## IV. 결론

본 연구는 수중에서의 무인잠수체 통제를 위한 다중접속 프로토콜을 대한민국 서해의 수중환경을 가정하여 모의 실험하였다. 실험결과 송신기의 수심에 대하여는 많은 영향을 받지 않고 다만 송신기와 수신기의 거리에 많은 영향을 받는 것으로 나타났다. 전체적인 전송률 변에서는 비영속적 CSMA와 슬롯화된 비영속적 ISMA가 비슷한 전송률을 나타내고 가장 우수한 것으로 평가 되었다. 반면 ALOHA 계열의 프로토콜은 상대적으로 낮은 전송률을 나타내었다. 특히 순수 알로하는 송신기의 거리에 따라 전송률이 변하는 것을 확인 하였다.

## 감사의 글

본 연구는 숭실대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌습니다. 도움주신 모든 분들에게 감사드립니다.

## 참고 문헌

1. J. Proakis, J. Rice, E. Sozer and M. Stojanovic, "Shallow water acoustic networks," in Encyclopedia of Telecommunications, J. G. Proakis, Ed. John Wiley and Sons, 2003.
2. Xavier Lurton, *An Introduction to Underwater Acoustics*, Springer, pp.347, Dec. 2002.
3. E. M. Sozer, M. Stojanovic, and J. G. Proakis, "Underwater acoustic networks", IEEE journal of oceanic engineering, 25(1), 72-83, January 2000.
4. F. Salva-Garau and M. Stojanovic, "Multi-cluster protocol for ad-hoc underwater acoustic networks", OCEANS 2003, Proceedings, 1, 91-98, September 2003.
5. 조아라, 최영철, 김승근, 임용곤 "수중음향 Ad-Hoc 네트워크를 위한 접속제어 프로토콜 설계", 선박해양기술, 제42호, 35-43, 2006.
6. Rodney F.W. Coates *Underwater Acoustic Systems* (Macmillan New Electronics, 1990), pp.3-4.
7. William S. Burdic *Underwater Acoustic System Analysis* (Englewood Cliffs, New Jersey 07632, 1991), pp.451.
8. 조진수, 정승백, 심태보, "PSK 변조방식이 수중통신에 미치는 영향에 관한 연구", 한국음향학회지, 26(7), 207-213, 2007.
9. L.B. Bertholf, *Shallow Water Ambient Noise Level in The Tongue of The Ocean*, 1969, pp.31.

---

## 저자 약력

---

• 정 승 백 (Seung-Back Jung)



2002년: 한라대학교 컴퓨터 공학과 졸업  
2004년: 송실대학교 산업기술정보통신 대학원 졸업 (공학석사)  
2007년~ 현재: 송실대학교 전자공학과 박사과정

• 조 진 수 (Jin-Soo Cho)



1997년: 해군사관학교 경영과학과 졸업  
2000년~2002년: 해군 군수사 특수무기 정비과정  
2006년~2008: 송실대학교 전자공학과 석사과정  
2008년~ 현재: 송실대학교 전자공학과 박사과정

• 심 태 보 (Taeho Shim)



1974년: 서울대학교 문리대 졸업  
1980년: 서울대학교 문리대 대학원 졸업 (물리 해양학 석사)  
1986년: 미국 Louisiana 주립대학교 졸업 (물리해양학 박사)  
1986년~2005년: 국방과학연구소 해양/음향 연구실장, 해양기술부장, 해군 무기체계 개발본부 본부장 역임  
2005년~ 현재: 송실대학교 정보통신 공학과 교수  
\*관심분야: 수중음향 모델링, 수중음향 신호처리, 수중 음향 통신, 수중음향 영상처리