

# 싱글 홉 수중 센서 네트워크를 위한 매체접속제어 프로토콜 설계

## MAC Protocol for Single-Hop Underwater Sensor Network

백 승 권\*, 조 호 신\*\*, 장 윤 선\*  
(Seung-Kwon Baek\*, Ho-Shin Cho\*\*, Youn-Seon Jang\*)

\*충남대학교 전기정보통신공학부, \*\*경북대학교 전자전기컴퓨터학부  
(접수일자: 2009년 7월 14일; 채택일자: 2009년 8월 12일)

수중 통신망의 매체접속제어 (MAC: Medium Access Control) 프로토콜 설계 시 반드시 고려되어야 할 사항은 초음파의 느린 속도로 인한 긴 전파 지연, 동기화의 어려움, 그리고 수중 환경에서 배터리 충전의 어려움으로 인한 전력 소비 문제 등이다. 본 논문에서는 TDMA 기반의 매체접속제어 프로토콜이 가지는 동기화 문제, 채널 효율 문제를 해결하고, 경쟁기반 프로토콜이 가지는 충돌율로 인한 전송 효율 저하 문제를 보완하는 매체접속 제어 프로토콜을 제안하였다. 슬립 모드를 도입하여 효율적인 전력 사용으로 에너지 소비를 줄였고, 채널 효율 증가 및 충돌율 감소를 통해 전송 효율을 증가시켰다.

**핵심용어:** 매체접속 제어, 클러스터, 슬립-모드, 전송율, 충돌율

**투고분야:** 음향 통신기술 분야 (6.3)

Main design issues for MAC (Medium Access Control) protocol in underwater sensor networks are long propagation delay caused by the low speed of sound, difficult synchronization, and energy-limited node's life. We aimed to mitigate the problems of strict synchronization and channel inefficiency of TDMA and also the throughput degradation induced by unavoidable collisions in contention based MAC protocols. This proposed protocol improved not only the energy efficiency by adopting a sleep-mode, but also the throughput by reducing collisions and increasing channel efficiency.

**Keywords:** MAC (Medium Access Control), cluster, sleep-mode, throughput, collision rate

**ASK subject classification:** Acoustic Communication (6.3)

### I. 서론

해양 개발, 탐사 또는 군사적 목적에 의해 수중과 육지 간 또는 수중과 수중 간의 정보 교환을 위한 수중 통신이 필요하게 되었다. 수중에서는 긴 전파지연, 큰 전송손실 등 수중 통신채널의 고유한 특성으로 인해 육상과는 다른 여러 가지 통신상의 문제들이 발생된다. 따라서 이런 문제점들을 극복하고자 수중통신 관련 연구가 꾸준히 진행되어 왔다.

지금까지는 수중통신에 사용되는 송, 수신기를 중심으로 물리계층에서 대부분의 연구가 진행되어 왔으나 수중 통신망의 구축이 요구되면서 링크계층 이상의 통신망 구축에 필요한 연구가 최근에 이루어지고 있다 [1-3].

수중 센서노드들 간의 매체접속제어 (MAC, Medium Access Control) 프로토콜도 최근 관심 연구주제들 중의 하나이다.

지상의 통신망과 비교했을 때, 수중 통신망에서 특히 문제가 되는 것은 낮은 데이터 전송율, 동기화의 어려움, 그리고 음파의 느린 속도로 인한 긴 전파지연과 배터리 공급의 어려움으로 인한 전력 소비 문제 등이다.

본 논문에서는 이러한 제약적인 특성을 갖는 수중환경에서도 채널 효율을 높이고, 충돌율을 최소화하여 신뢰성 있는 데이터 전송을 가능하게 하고, 또한 슬립 (sleep) 모드 [4]를 적용하여 노드들의 전력 수명을 최대화할 수 있는 매체접속제어 프로토콜을 제안하였다. 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 고려하고 있는 네트워크 구조에 대해 기술하고, 3장에서 제안하는 수중 매체접속제어 프로토콜에 대해 설명하며, 4장에서 시뮬레이션을 통해 성능을 분석하고, 끝으로 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 고려한 네트워크 구조

센서 네트워크는 센서들을 특정 공간에 배치하여 필요한 정보를 얻어내는 네트워크이다. 센서 노드는 정보를 감지하고, 전달할 수 있으나 기존 통신노드에 비해 데이터 처리 능력 및 배터리의 제한점을 가진다. 수중에서는 센서 노드의 배터리 소진 시 장비 회수에 들어가는 비용이 크기 때문에 에너지의 효율적인 사용이 더욱 중요하게 된다. 최근 효율적인 에너지 소비에 대한 방법으로 네트워크를 구성하는 센서 노드들을 클러스터링 (clustering) 하는 기법이 제안되어 왔다. 네트워크를 클러스터로 나눌 경우 그 계층적인 구조를 이용하여 자원의 효율적인 분산관리를 수행할 수 있다는 장점을 가진다 [5].

본 논문에서 고려한 데이터 수집형 네트워크 구조는 그림 1과 같다. 전체 노드를 클러스터 단위로 나누었으며, 각 클러스터는 클러스터헤드와 이웃하는 클러스터헤드의 멤버 노드들로 구성되었다. 클러스터헤드들은 전송범위내 자신의 멤버 노드들로부터 정보들을 수집하고, 수집된 정보들을 해수면에 떠있는 부표에 전달한다. 부표에서는 무선 또는 위성 통신을 이용하여 육상으로 정보를 전달하게 된다. 이처럼 클러스터헤드가 멤버 노드들을 통합하여 정보를 전달함으로써 멀티 홉 네트워크와 같은 복잡한 라우팅 계산이 필요 없는 구조이다. 육지 근처 천해에서 군사정보나 조류 정보 등을 수집할 때 가장 간단하고, 에너지와 망 관리 측면에서 효율적인 네트워크 구조이다.

본 논문에서 고려한 망은 각 단위 클러스터 내에서 클러스터헤드를 중심으로 여러 멤버노드들이 싱글 홉으로 통신하는 센서 네트워크이다. 따라서, 지역적인 중앙 집중형의 네트워크가 된다. 본 논문에서는 이러한 클러스터 내의 싱글홉 중앙 집중형 망에 적합한 수중 매체접속 제어 프로토콜을 연구하였다.

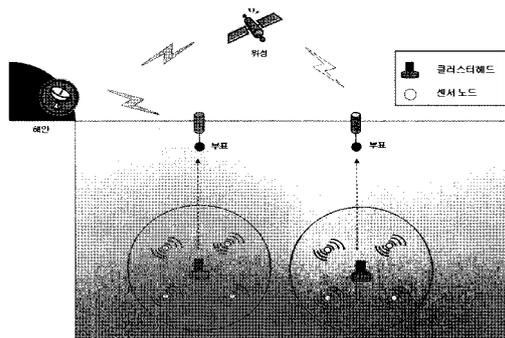


그림 1. 수중 네트워크 구조  
Fig. 1. Under water network topology.

## III. 제안하는 수중 MAC 프로토콜

제안하는 매체접속제어 프로토콜은 클러스터망 내에서 노드들을 거리에 따라 그룹화 하여 제어에 필요한 계산량을 최소화하고, 클러스터헤드로부터 주어진 전송순서와 최적화된 대기시간을 사용하여 각 멤버노드들이 충돌 없이 클러스터헤드로 데이터를 전송하게 한다. 기존 TDMA (Time-Division Multiple Access)의 단점인 비효율적인 채널 사용과 네트워크 전체의 동기 문제 등을 보완하였고, 랜덤 경쟁 기반의 단점인 충돌로 인한 채널소비와 에너지 낭비를 보완하였다. 각 센서 노드들은 전송이 끝나면 다음 전송 때 까지 슬립 모드 상태가 되어 전력 소비를 줄이는 방식이다.

프로토콜 연구에 사용된 네트워크 모델을 자세히 설명하면 다음과 같다. 그림 2와 같이 클러스터의 멤버 노드들은 일정한 간격으로 균일하게 분포되어 있고, 클러스터헤드의 싱글 홉 전송범위 안에 위치한다. 각각의 노드들은 클러스터헤드로부터 전송거리가 비슷한 것끼리 그룹형태로 분류하였다. 이렇게 노드들을 그룹으로 분류하면 제안된 프로토콜에서 클러스터헤드가 각 멤버노드의 대기 시간을 계산할 때 그룹단위로 할 수 있어 각 노드당 대기 시간을 계산할 때보다 계산량을 줄일 수 있다.

제안하는 매체접속제어 알고리즘을 설명하면 다음과 같다. 알고리즘은 크게 '초기화 과정'과 '데이터 전송과정'으로 나눈다. '초기화 과정'에서는 클러스터 내의 멤버노드들이 매체접속을 승인받기위해 경쟁을 하게 되고 클러스터헤드로부터 선택된 노드들은 승인된 전송순서와 전송시간에 따라 '데이터 전송과정'에서 데이터를 클러스터헤드로 전송하게 된다. 그림 3과 같이, 초기화 과정에서 선택되지 못한 멤버노드들은 N차의 데이터 전송과정 후

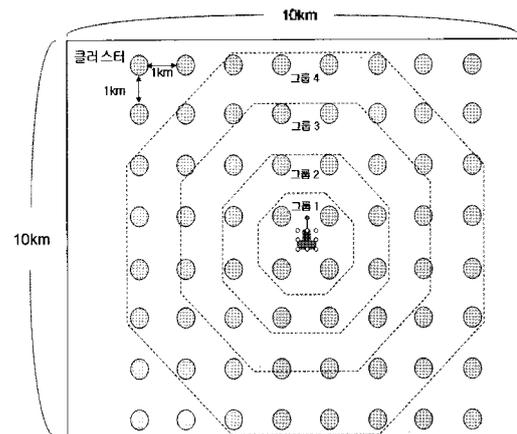


그림 2. 고려한 네트워크 모델  
Fig. 2. Network model.

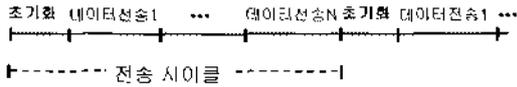


그림 3. 전송 사이클  
Fig. 3. Transmission cycle.

에 다시 초기화 과정을 통해 경쟁하게 된다. 반일, 새로운 노드가 네트워크에 추가되면 초기화 과정을 통해 승인된다. 데이터 전송구간의 횟수 N은 클러스터 내의 노드 수와 데이터 발생율에 따라 결정된다. 초기화주기는 [초기화구간 + (데이터전송구간×N)]가 된다.

초기화 과정은 그림 4와 같다. 먼저 클러스터헤드는 자신의 전송 범위 안에 있는 모든 멤버노드들에게 자신을 알리기 위해 'ID request' 패킷을 브로드캐스트 한다. 이를 수신한 각 멤버노드들은 전송할 데이터가 있을 시에 0~T<sub>0</sub>초 사이의 랜덤한 시간 T<sub>select</sub>을 선택하고, T<sub>select</sub> 시간 후에 자신의 ID와 선택된 시간정보 T<sub>select</sub>를 포함하는 'ID response' 패킷을 클러스터헤드로 보낸다. 여기서 0~T<sub>0</sub>초 사이를 선택하는 이유는 거의 같은 거리에 있는 멤버노드들이 'ID request' 패킷을 받자마자 'ID response' 패킷을 전송하면 클러스터 헤드에서 충돌이 발생하게 되므로 이를 피하기 위해 어느 정도의 랜덤 시간 간격을 두고 'ID response' 패킷을 전송하여 충돌율을 줄이기 위함이다. T<sub>0</sub>값은 제어패킷의 시간길이 (전송율과 데이터 길이에 따라 정해짐)의 배수로 정하며, 이때 배수는 노드 수, 데이터 발생율 등에 의해 결정된다. 전송율이 증가하면 주어진 패킷의 시간길이가 감소하므로 T<sub>0</sub>값도 그에 비례하여 감소된다. 그리고 초기화 구간 뿐 아니라 데이터 전송구간의 시간도 모두 비례해서 감소하게 되므로

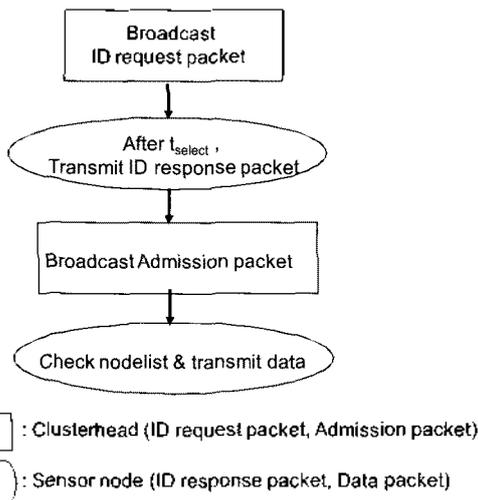


그림 4. 제안된 매체접속 제어 프로토콜의 초기화과정  
Fig. 4. Initialization of proposed MAC.

제한한 프로토콜에서는 전송을 변화에 대한 충돌율, 전송효율 등의 성능 의존성은 없다.

클러스터헤드는 일정기간 (왕복 최대 전파지연 시간 + T<sub>0</sub>) 동안 충돌 없이 수신된 올바른 'ID response' 패킷들을 토대로 멤버노드들의 전파지연을 추정함과 동시에 수신된 순서대로 멤버노드들의 전송순서를 정하여 노드리스트를 만든다. 전파지연은 다음과 같이 계산된다.

$$\text{전파지연시간} = \frac{1}{2}(t_{RX} - t_{TX} - T_{select})$$

여기서, t<sub>TX</sub>는 클러스터 헤드에서 'ID request' 패킷을 전송 완료한 시각이고 t<sub>RX</sub>는 클러스터 헤드에서 'ID response' 패킷을 처음 수신한 시각이다.

추정된 각 멤버노드들의 전파지연 시간을 바탕으로 클러스터헤드로부터 거리가 비슷한 노드들을 그룹화 하여 대기 시간 계산을 간단하게 한다.

클러스터 헤드는 데이터를 전송하도록 승인된 멤버노드들의 ID, 전송순서, 각 멤버노드들이 데이터 전송 전에 얼마만큼 기다려야 하는지에 대한 '대기 시간'이 포함된 노드리스트를 작성한 다음, 'Admission' 패킷에 담아서 각 멤버 노드들에게 브로드캐스팅 한다. 멤버 노드들은 수신된 'Admission' 패킷으로부터 자신의 ID가 포함되어있는지를 확인하여 있다면 클러스터헤드가 일러준 대기시간 후에 데이터를 전송할 준비를 하고, 자신의 ID가 존재하지 않는다면 다음 초기화 과정까지 기다린 후 다시 경쟁에 참여한다. 이로써 초기화 과정이 끝난다.

대기 시간 계산은 그룹 간 지연차를 이용한 1차 계산 단계와 전송순서에 따른 2차 계산 단계로 진행된다. 멤버노드들이 서로 다른 거리에 위치해 있을 때, 각 멤버노드들의 각기 다른 전파지연을 계산하여 충돌을 피할 수 있는 대기 시간을 계산하는 것은 복잡한 일이며 계산량이 많아 에너지 측면에서 비효율적이다. 따라서, 본 논문에서는 충돌율과 에너지 효율의 절충적인 방안으로 멤버노드들을 비슷한 전송거리에 따라 그룹으로 분류하여 1단

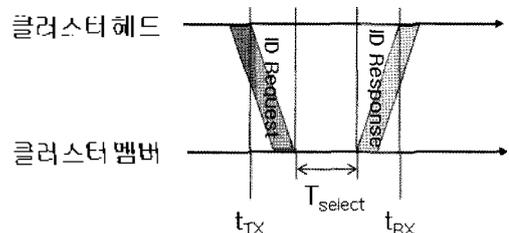


그림 5. 전파지연시간 측정  
Fig. 5. Propagation delay.

계로 그룹 단위로 대기시간을 먼저 계산하였다. 그룹 간의 논리적 위치를 먼저 맞추고 나면, 2단계로 전송 순서에 따라 대기시간을 간단히 패킷길이 ( $T_{pk}$ )만큼씩 차이를 두어 충돌을 피하게 하였다.

만일 그룹간의 논리적 위치를 먼저 맞추지 않고 전송 순서에 따라 단순히 이전 패킷길이 수 만큼씩의 대기시간만을 고려하여 데이터를 전송한다면 충돌은 피할 수는 있으나 그림 6 (a)와 같은 문제점이 발생한다. 클러스터헤드로부터 가장 가까운 그룹인 그룹1의 멤버노드들이 데이터패킷을 먼저 전송하고 그 다음 그룹인 그룹2가 그룹1의 데이터 전송시간만큼 대기한 후, 데이터를 전송하면, 클러스터헤드 측면에서는 그룹간의 전파지연 차이,  $\tau_{12}$ 로 인해 연속적으로 데이터패킷을 수신하지 못한다. 충돌은 없으나 클러스터 헤드에 수신된 데이터사이에 불필요한 시간공백 ( $2\tau_{12}$  또는  $2\tau_{23}$ )이 발생한다. 이 시간공백은 N 회의 데이터 전송 구간마다 발생하므로 채널 효율 및 통신 효율을 크게 감소시킨다. 이를 제거하기 위해 그룹간의 대기시간 조정을 통한 논리적 위치 정렬이 먼저 필요하다.

먼저, 그룹간의 대기시간 계산을 설명하면 다음과 같다. 'Admission' 패킷 도착 이전에 데이터 전송은 불가능하므로 클러스터헤드로부터 전파지연이 가장 큰 그룹3을

논리적 위치 기준으로 둔다. 각 그룹의 논리적 위치를 맞추면 그림 6 (b)와 같다. 그룹1의 멤버노드들은 그룹3과의 전파지연차이로 인한 대기시간 ( $2\tau_{12}+2\tau_{23}$ )을 추가 대기 한 후 전송하고, 그룹2의 노드들은 그룹3과의 전파지연 차이로 인한 대기시간 ( $2\tau_{23}$ )을 추가하여 전송을 하면 논리적 위치가 일치하여 클러스터헤드는 시간 공백 없이 연속적으로 데이터 수신이 가능하다. 첫 번째의 데이터 전송을 제외하고 나머지 (N-1)회의 데이터 전송주기 동안에는 시간 공백이 없으므로 채널 효율이 향상된다.

1단계 그룹간의 논리적 위치가 일정하게 정리되면, 2 단계로 전송 순서에 따른 대기시간을 계산한다. 모든 노드들이 같은 논리적 위치에 있다고 가정하면, 클러스터헤드와 노드들 간의 전파지연은 같으므로, 각 노드들은 전송순서에 따라 패킷길이 ( $T_{pk}$ )만큼을 이전 노드 대기시간에 추가하여 데이터를 전송하면 수신측에서 순서대로 충돌을 일으키지 않고 수신할 수 있다. 물론, 노드 간 약간의 전파지연 차이를 보상하기 위해 가드타임이 필요하다.

데이터 전송과정은 다음과 같다. '데이터 전송구간'에서는 초기화 과정에서 승인된 멤버노드들이 주어진 대기시간에 따라 데이터를 전송하게 된다. 할당된 대기시간은 그룹 단위 대기시간과 전송순서 대기시간의 합으로 계산된 것이다. '데이터 전송구간' 이상에서는 각 멤버노드들은 클러스터 헤드에서 승인된 멤버노드 개수에 해당되는 데이터패킷 개수만큼의 주기를 가지고 데이터를 계속 전송하게 된다. 그림 6 (b)와 같이, 대기시간을 사용하여 '데이터 전송구간'에서 정렬된 데이터 패킷들은 '데이터 전송구간' 이상에서는 승인된 노드들의 데이터 패킷 수를 주기로 계속 반복하면 된다.

본 MAC 프로토콜은 자신이 데이터를 전송할 시간을 알고 있으므로 데이터 전송 시간외에는 슬립 (sleep) 모드로 동작하여 전력 소모를 줄일 수 있다.

그림 7에 보인 예를 통해 전체 프로토콜 과정을 설명하면 다음과 같다. 클러스터 헤드와 멤버 노드 A, B, C, D, E가 있을 때, 먼저 클러스터헤드는 자신을 알리는 'ID request' 패킷을 모든 노드들에게 브로드캐스트한다. 수신한 멤버노드들은 0~ $T_{th}$ 초 사이를 랜덤하게 선택하여 선택된 시간에 'ID response' 패킷을 전송한다. 만일, 노드 B와 C의 패킷이 충돌이 났다면, 클러스터헤드는 충돌이 일어나지 않은 A, D, E 노드들의 패킷 정보를 가지고 'Admission' 패킷을 작성하여 다시 브로드캐스트 한다. 그림 7과 같이 노드 A, D, E의 순서로 'ID response' 패킷이 클러스터헤드에 도착하였다면 데이터 전송순서 또한 거리 순서대로 A, D, E의 순서가 된다. 멤버노드들은 브

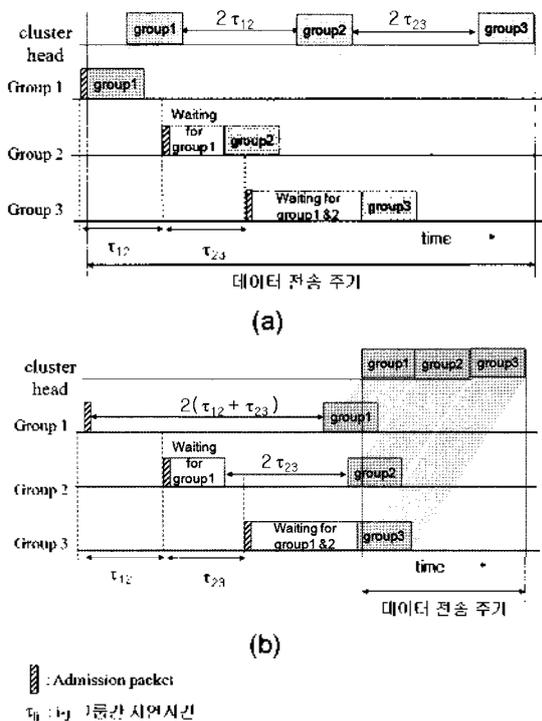


그림 6. 그룹 간 대기시간 계산방안 (a) 논리적 위치 파악 없을 시 (b)논리적 위치 파악 고려 시.  
 Fig. 6. Waiting time calculation for group (a) without logical localization (b) with logical localization.

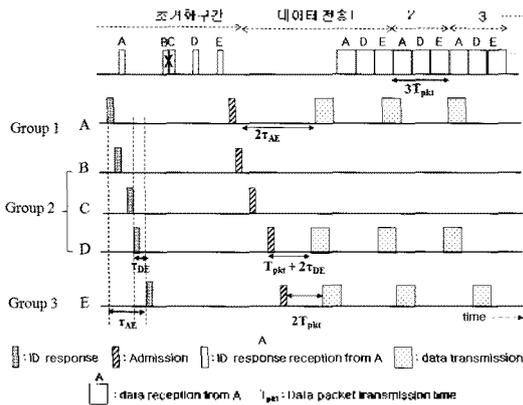


그림 7. 동작 예시  
Fig. 7. Example of MAC procedure.

보드캐스트된 'Admission' 패킷을 수신하여 자신의 ID가 노드리스트에 존재하는지를 검사하여 존재한다면 클러스터헤드가 일러준 대기 시간 후에 데이터를 전송하고, 리스트에 자신의 ID가 존재하지 않는다면 정해진 N차의 데이터 전송과정이 모두 끝난 후에 초기화 과정에서 다시 클러스터헤드의 'ID request' 패킷을 수신할 때까지 기다린다.

A가 그룹1이고, B, C, D 노드가 그룹 2이고, E가 그룹 3에 속하는 노드라고 하면, 전송순서가 가장 빠른 노드 A는 논리적 위치 정렬을 위한 그룹 단위 대기시간,  $2T_{AE}$  후에 자신의 데이터 패킷을 전송하게 된다. 전송 순서가 첫 번째이므로 전송순서 대기시간은 없다. 그 다음 순서인 노드 D는 그룹 단위 대기시간,  $2T_{DE}$ 와 전송 순서 대기시간,  $T_{pk}$  (A노드 데이터 길이)을 포함한 대기시간 후에 데이터를 전송한다. 마지막 노드인 E는 마지막 그룹에 속하므로 그룹 단위 대기시간은 없고  $2T_{pk}$  (A와 D노드 데이터 길이) 후에 데이터를 전송한다. '데이터 전송' 이상의 데이터 전송주기는  $3T_{pk}$ 이 된다.

N번의 데이터 전송구간 후에 다시 초기화구간이 시작되며 클러스터내 모든 멤버노드들이 다시 경쟁에 참여한다.

제안된 알고리즘은 채널 고정형 TDMA 방식의 비효율적 채널사용과 랜덤 경쟁 방식의 충돌로 인한 채널과 에너지 낭비를 줄이는 보완 프로토콜이다. 초기화과정에서 어느 정도의 랜덤 경쟁을 유지하면서 경쟁에서 선택된 멤버노드들에 대해서는 어느 정도의 채널을 보장해주는 시간할당 방식을 적용하고 있다. 각 멤버노드들의 데이터 전송 시에 적절한 대기시간을 두어 충돌 확률을 줄였으며 그 결과 충돌로 낭비되는 에너지 효율성을 높일 수 있다. 또한, 자신의 데이터 전송 시각을 알고 있으므로 슬립모드를 사용하여 에너지를 절약할 수 있다.

### IV. 성능 분석

본 논문에서의 제안된 프로토콜은 Matlab을 이용하여 성능을 분석하였다. 네트워크 모델은 그림 2와 같으며 사용된 조건은 다음과 같다.

- 클러스터의 크기 : 10 km × 10 km
- 데이터 전송율 : 1 kbps
- 데이터 패킷 : 3000 bits
- control 패킷 : 100 bits
- 음파속도 : 1500 m/s
- 데이터 전송 구간 횟수 :10회

그림 8은 초기화 과정동안 'ID response' 패킷이 클러스터헤드에 성공적으로 수신되어 데이터 전송과정에 참여할 수 있는 멤버노드들을 나타낸 것이다.

시뮬레이션 결과의 신뢰성을 확인하기 위하여 이론적 수식 (1)으로 얻은 결과와 비교하였으며 잘 일치하는 것을 확인하였다. 이론적 수식은 어느 정도 비슷한 거리에 있는 노드들을 가정하여 계산한 값이므로 노드 수를 그림 2의 모델에서 클러스터 헤드에 가까운 30개의 노드 정도로 한정하여 시뮬레이션한 결과와 비교하였다.

$$N_{Success} = N \times \left(1 - \frac{T_{res}}{T_0}\right)^{(N-1)} \quad (1)$$

- $T_{res}$  : 'ID response'의 패킷 길이
- $T_0$  : 멤버노드들의 전송 가능한 구간 ( $T_{select}$  구간)
- N : 클러스터내 전체 멤버노드 수

초기화 구간에서 노드 수가 증가함에 따라 노드간 충돌

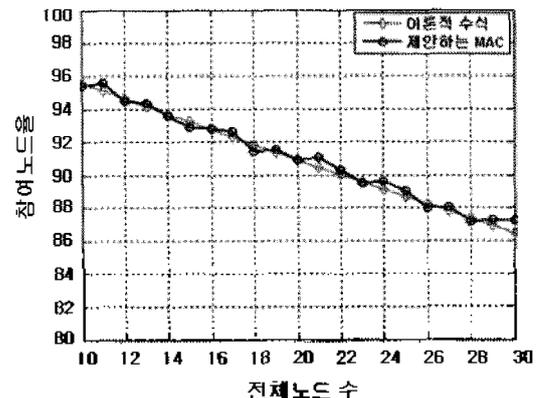


그림 8. 초기화 과정동안 참여 노드율  
Fig. 8. Participated node rate in initialization.

율이 증가하므로 참여노드율이 감소된다. 제안된 MAC 프로토콜 방식에서는 초기화 구간에서  $T_0$  구간내의 랜덤 시간을 선택하여 'ID response' 패킷을 전송하게 된다.  $T_0$  값은 노드간 충돌율에 영향을 주며 이것은 데이터 발생율과 클러스터내 노드 수 등에 의해 최적화 되어야 한다. 본 논문에서는 100개의 클러스터 멤버노드에 대해 80% 이상의 참여노드율을 갖도록  $T_0$  값을 적용했으며 최적화 분석은 추후 진행 할 예정이다.

시뮬레이션 결과, 패킷 충돌율은 노드가 증가함에 따라 증가하였으며 100개의 노드에 대해 약 3%의 충돌율을 나타내었다. 여기서 패킷 충돌율은 전체 시뮬레이션시간 동안 멤버노드들이 전송한 패킷 ('ID response' 또는 Data 패킷)들 중에서 충돌이 어느 정도 발생하였는지를 나타 낸 것이다.

그림 9는 네트워크의 노드 수가 증가함에 따라 전송율을 비교한 것이다.

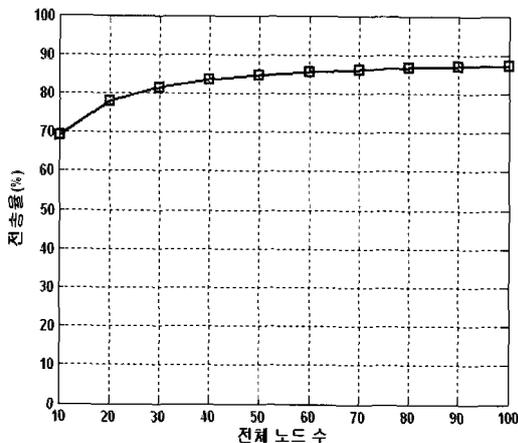


그림 9. 노드 수에 따른 전송율 (%)  
Fig. 9. Average throughput vs number of nodes.

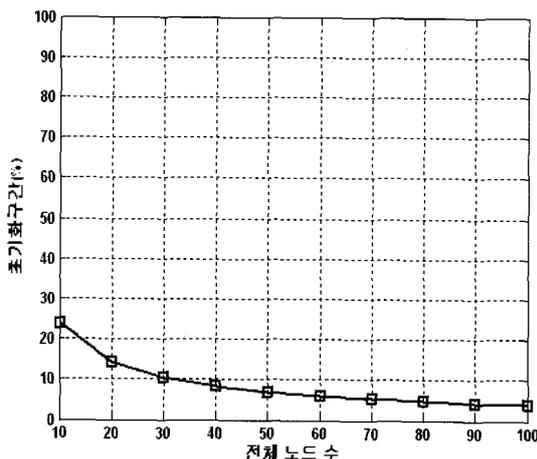


그림 10. 초기화구간이 차지하는 비율 (%)  
Fig. 10. Proportion of initial period to transmission cycle.

$$\text{전송율}(\%) = \frac{\text{성공한 데이터 길이의 합}(s)}{\text{전체 진행 시간}(s)} \times 100$$

약 90%에 가까운 전송 효율을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 이것은 기존의 MAC 프로토콜들에 비해 충돌율을 감소시키고 낭비되는 채널 할당 시간을 제거하였기 때문이다.

결과에서 노드 수가 작을 때, 충돌율이 낮으나 전송 효율이 떨어지는 이유는 아직 네트워크의 노드 개수에 대한 최적화 값을 따로 사용하지 않았기 때문이다. 노드 개수에 상관없이 큰 규모의 네트워크에 적합한 큰 값의  $T_0$ 를 일괄적으로 적용하였기 때문에, 그림 10과 같이 노드 개수가 작은 경우에는 필요 이상의 큰 랜덤 구간으로 인해 초기화 구간이 차지하는 시간이 늘어나게 된다. 이로 인해 전체 전송 효율이 나빠지게 된다.

$T_0$ 시간 최적화를 통해 전체 전송 시간 대 초기화구간의 비율을 줄여 전송 효율을 높이고, 멤버노드들의 데이터 전송 마다 가드타임을 고려하여 데이터 전송 과정에서의 충돌율을 감소시켜 프로토콜의 성능 향상을 얻을 수 있다.

## V. 결론

지상의 통신망과 비교했을 때, 수중 통신망에서 특히 문제가 되는 것은 낮은 데이터 전송율, 동기화의 어려움, 그리고 음파의 느린 속도로 인한 긴 전파지연과 배터리 공급의 어려움으로 인한 전력 소비 문제이다.

본 논문에서는 경쟁 기반의 프로토콜과 TDMA 기반의 프로토콜의 단점들을 보완하여 수중환경에서도 네트워크 전체의 동기를 맞추지 않더라도 적절한 알고리즘을 통해 얻은 시간정보를 이용하여 데이터 패킷의 충돌을 최소화하고 신뢰성 있는 데이터 전송을 가능하게 하였다. 또한 슬립 모드를 이용하여 노드들의 전력 수명을 최대화할 수 있는 매체접속제어 프로토콜을 제안하였다.

전송 효율 90%에 가까운 성능을 보였으며, 앞으로 설계 조건 최적화를 통하여 성능 향상을 추진할 예정이다.

## 감사의 글

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었으며, 이에 대해 깊이 감사를 드립니다 (계약번호UD070054AD).

## 참고 문헌

1. I. F. Akyildiz, D. Pompili, and T. Melodia, "Underwater Acoustic Sensor Networks: Research Challenges," *J. Ad Hoc Networks*, vol. 3, no. 3, pp. 257-281, 2005.
2. 조아라, 최영철, 김승근, 임용곤, "수중 음향 Ad-Hoc 네트워크를 위한 접속제어 프로토콜 설계", *J. Ships & Ocean Engineering*, vol. 42, no. 12, pp. 35-43, 2006.
3. E. M. Sozer, M. Stojanovic, and J. G. Proakis, "Underwater acoustic networks", *IEEE J. Oceanic Engineering*, vol. 25, no. 1, pp. 72-83, 2000.
4. V. Rodoplu, M.K. Park, "UWAN-MAC: An Energy-Efficient MAC protocol for underwater acoustic wireless sensor networks," *J. Oceanic Eng.*, vol. 32, no. 3, pp. 710-720, 2007.
5. F. Salva-Garau and M. Stojanovic, "Multi-cluster protocol for ad hoc underwater acoustic networks", in *proc. Oceans*, pp. 91-98, Sep. 2003.

---

## 저자 약력

---

### •백 승 권 (Seung-Kwon Baek)

2006년 : 한남대학교 정보통신멀티미디어공학부 졸업(공학사)  
 2008년 : 충남대학교 전자공학과 졸업(공학석사)

### •조 호 신 (Ho-Shin Cho)

1992년 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업 (공학사)  
 1994년 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업 (공학석사)  
 1999년 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업 (공학박사)  
 1999년 ~ 2001년 : 한국전자통신연구원 선임연구원  
 2001년 ~ 2003년 : 한국항공대학교 전자정보통신컴퓨터공학부 교수  
 2003년 ~ 현재 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수

### •장 윤 선 (Youn-Seon Jang)

1992년 : 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학사)  
 1994년 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업 (공학석사)  
 1999년 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업 (공학박사)  
 1999년 ~ 2006년 : 한국전자통신연구원 선임연구원  
 2006년 ~ 현재 : 충남대학교 전기정보통신공학부 교수