

# 수중 센서 네트워크에서 노드 그룹화를 통한 전송전력 절약 방안

## A Node Grouping Method for Transmission Power Saving in Underwater Acoustic Sensor Network

황 성 호\*, 조 호 신\*  
(Sung-ho Hwang\*, Ho-Shin Cho\*)

\*경북대학교 전자전기컴퓨터학부  
(접수일자: 2009년 10월 8일; 채택일자: 2009년 10월 20일)

본 논문은 수중 센서 네트워크에서 송수신 노드간 거리가 증가함에 따라 통신을 위한 전송전력이 급격하게 증가하는 단점을 효과적으로 극복하여 보다 낮은 전송 전력으로 통신할 수 있도록 하기 위한 방안을 제안한다. 제안한 방식은 각 노드들을 싱크노드로부터의 거리에 따라 몇 개의 그룹으로 나누고, 해당 그룹에 지정된 대역을 활용하게 한다. 즉, 멀리 떨어져 있어 주파수 증가에 따른 감쇠가 큰 노드들은 저주파수를, 가까운 거리에 있어 주파수 증가에 따른 감쇠가 적은 노드들은 고주파수를 활용하여 전체 노드가 일정 수준 이상의 신호 대 잡음비를 유지함으로써 전송전력을 줄일 수 있게 된다. 각 센서노드들의 거리에 따른 주파수 별 신호 감쇠 특성을 활용하여 그룹의 크기에 따라 가변되는 전송전력을 최소화하는 최적 그룹의 크기를 찾고 그룹의 크기에 비례하여 그룹 별 대역을 할당하는 알고리즘을 제안한다. 제안한 방식은 기존의 그룹을 나누지 않는 방식에 비해 10 dB이상 감소된 전송 전력을 보였다.

**핵심용어:** 수중 음향 센서 네트워크, 신호 대 잡음비, 전송전력, 노드 그룹화

**투고분야:** 음향 통신기술 분야 (6.5)

This paper proposes a transmitted power saving method for underwater acoustic sensors considering the acoustic wave propagation characteristic that propagation loss increases more rapidly in higher frequency band. In the proposed scheme, sensor nodes are divided into a few groups based on the distance between sink node and the sensor node, and each group uses its own frequency band. The node group with longer distance uses lower frequency and the node group with shorter distance uses higher frequency. By means of such a distance-dependent frequency allocation, all sensor nodes are able to maintain a certain target signal-to-noise ratio (SNR), but also save transmitted power. In addition, the optimum size of node group is obtained, and also a frequency allocation algorithm is proposed accordingly. Numerical results show that the proposed scheme saves transmitted power by more 10 dB comparing non-grouping methods.

**Keywords:** Underwater Acoustic Sensor Network, Signal-To-Noise Ratio, Transmitted Power, Node Grouping

**ASK subject classification:** Acoustic Communication (6.5)

### I. 서론

최근 해양관련 산업의 급속한 발전으로 해양 정보 수집을 위한 수중 센서 네트워크가 큰 관심의 대상으로 떠오르고 있다. 수중에서 무선 센서 네트워크를 구성하기 위한 통신 방식은 지상과는 다른 특수한 환경으로 인해 음

파를 통신 매체로 사용한다. 수중 센서 네트워크에서 음파 통신은 주로 10 kHz에서 15 kHz사이의 낮은 주파수대역을 사용하고 있으며 따라서 통신 대역폭도 5 kHz정도로 매우 좁다. 또한 음파의 전달 속도도 약 1500 m/s로 지상의 라디오 신호 전달 속도에 비해 매우 느리다. 이렇게 열악한 통신 환경은 수중 센서의 송수신 전력을 증가시키는 원인이 된다.

지금까지 센서의 송수신 전력을 많이 소모하는 수중 음향 통신 환경을 극복하기 위해 센서들의 효율적 에너지

책임저자: 조 호 신 (hscho@ee.knu.ac.kr)  
702-701 대구광역시 북구 산격3동 경북대학교 공대 11호관 501호  
(전화: 053-950-7577; 팩스: 053-950-5508)

활용 방안이 연구되었다. 특히 송수신의 실패를 줄여 재 전송의 전력 소모를 줄이는 라우팅 방식 [1]이나 센서간 전송 충돌을 줄이거나 슬립간격을 늘임으로써 전력 소모를 줄이는 UWAN-MAC [2]과 T-Lohi MAC [3]이 제안되었다. 하지만 이러한 방식들은 모두 전송 실패를 줄임으로써 통신 횟수를 줄여 전력 소모를 줄이거나 대기 전력을 줄임으로써 전력 소모를 줄이는 방식으로 전송 횟수가 작거나 전송 과정에서 충돌이 일어날 확률이 작은 경우 거의 효과가 없는 방식이다. 따라서 실제 통신 전력을 물리적으로 줄이기 위한 방안이 필요하다.

본 논문은 수중 센서 네트워크에서 송수신 노드간 거리가 증가함에 따라 통신을 위한 전송전력이 급격하게 증가하는 단점을 효과적으로 극복하여 보다 낮은 전송 전력으로 통신할 수 있도록 하기 위한 방안을 제안한다. 제안한 방식은 각 노드들을 싱크노드로부터의 거리에 따라 몇 개의 그룹으로 나누고, 해당 그룹에 지정된 대역을 활용하게 한다. 즉, 멀리 떨어져 있어 주파수 증가에 따른 감쇠가 큰 노드들은 저주파수를, 가까운 거리에 있어 주파수 증가에 따른 감쇠가 적은 노드들은 고주파수를 활용하여 전체 노드가 일정 수준 이상의 신호 대 잡음비를 유지함으로써 전송전력을 줄일 수 있게 된다. 각 센서노드들의 거리에 따른 주파수 별 신호 감쇠 특장을 활용하여 그룹의 크기에 따라 가변되는 전송전력을 최소화하는 최적 그룹의 크기를 찾고 그룹의 크기에 비례하여 그룹 별 대역을 할당하는 알고리즘을 제안한다. 제안한 방식을 평가하기 위해 전체 주파수에 대해 목표 신호 대 잡음비(target SNR)를 고정시켜 데이터 전송률을 일정하게 유지시킨 후 여기에 요구되는 전송 전력의 변화를 수치해석으로 알아본다. 이를 통해 제안한 방식이 목표 신호 대 잡음비가 일정한 값으로 고정되었을 때 기존의 그룹을 나누지 않는 방식에 비해 최대 10 dB 이상 감소된 전송전력을 보임을 알 수 있다.

본 논문은 다음과 같은 구성을 가진다. 2 장에서는 그룹화 방안을 적용할 시스템 모델에 대해 알아보고 3 장에서는 본 논문에서 제안한 그룹화 방안에 대해 설명하고 4 장에서는 모의실험 환경을 소개하고 그 결과를 분석하여 제안한 그룹화 방안의 성능을 고찰한다. 마지막으로 5 장에서는 제안한 그룹화 방안의 성능을 바탕으로 종합적 분석을 통해 결론을 맺도록 한다.

## II. 시스템 모델

본 논문에서는 다음과 같은 센서 네트워크 구조를 고려한다. 하나의 싱크노드가 존재하며 그 주변에 균일한 분포로 센서노드가 위치한다. 센서노드는 주변의 정보를 수집하고 이를 1 홉(hop) 통신을 통해 싱크노드에 전달한다. 즉, 모든 센서노드들은 싱크노드와 1 홉 통신이 가능하다고 가정한다. 그리고 각 노드는 싱크노드로부터의 거리를 수십 m 내의 오차로 모두 알고 있다고 가정한다 [4]. 따라서 수 km 반경을 1홉으로 사용하는 본 논문에서의 거리 오차는 무시한다.

센서 노드 간 전송전력 분석을 위해 수중 채널 모형 중 하나인 다음의 Urick 감쇠 모형을 사용 한다 [5].

$$A(d, f) = d^k a(f)^d \quad (1)$$

여기에서  $f$ 는 신호 주파수 이고  $d$ 는 전송거리이다. 감쇠 지수  $k$ 는 확산감쇠의 모형에 따라 달라지며 1과 2사이의 값을 가진다 (1일 때는 원통형의 확산 모형을 2일 때는 구의 확산 모형을 의미한다). 흡수지수(absorption coefficient)  $a(f)$ 는 다음의 Thorp's formula를 활용하여 kHz 단위의  $f$ 에 대한 dB/km 값으로 표현 된다 [6].

$$10 \log a(f) = 0.11 \frac{f^2}{1+f^2} + 44 \frac{f^2}{4100+f^2} + 2.75 \times 10^{-3} f^2 + 0.003 \quad (2)$$

수중에서 잡음은 주파수가 증가할수록 감소하며 바람(turbulence), 배(shipping), 파도(waves), 그리고 열(thermal)의 4가지 원인을 고려한다. 각 잡음 원에 따른 1Hz당 dB re Pa 값은 다음과 같이 주어진다 [7].

$$\begin{aligned} 10 \log N_b(f) &= 17 - 30 \log f \\ 10 \log N_s(f) &= 40 + 20(s-0.5) + 26 \log f - 60 \log(f+0.03) \quad (3) \\ 10 \log N_w(f) &= 50 + 7.5u^{1/2} + 20 \log f - 40 \log(f+0.1) \\ 10 \log N_{th}(f) &= -15 + 20 \log f \end{aligned}$$

물속에서의 주변 잡음  $N(f)$ 는 (3)의 모든 값을 다음과 같이 합하여 얻을 수 있다.

$$N(f) = N_b(f) + N_s(f) + N_w(f) + N_{th}(f) \quad (4)$$

(4)를 (1)의 감쇠 모형과 함께 고려하면 특정 주파수  $f$ 의 신호 대 잡음비(SNR: Signal-to-Noise Ratio)는 다음과 같이 표현 된다 [8].

$$SNR(d, f) = \frac{P_T}{A(d, f)N(f)} \quad (5)$$

여기에서  $P_T$ 는 전송 신호의 전력 스펙트럼 밀도 (Power Spectral Density)를 나타내고  $N(f)$ 는 주파수  $f$ 에서의 잡음을 나타낸다. (5)를 이용하면 협대역 (Narrow band)에서의 신호 대 잡음비를 dB 단위로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$S_{AN}(d, f) = 10 \log_{10} [A(d, f)N(f)]^{-1} \quad (6)$$

그림 1은 통신 거리가 3 km, 6 km, 9 km, 18 km, 30 km 일 때 (6)에서 서술한 주파수에 따른 신호 대 잡음비를 나타낸다.

거리  $d$ 만큼 떨어진 위치의 수신기와 통신을 위해 송신된 전력 스펙트럼 밀도를  $S_d(f)$ 라 하면, 특정 주파수 대역  $B = [f_{\min}, f_{\max}]$ 에서 전체 송신전력은 다음과 같다.

$$P(d) = \int_B S_d(f) df \quad (7)$$

그리고 신호 대 잡음비는 다음과 같다.

$$SNR(d, f) = \frac{\int_B S_d(f) A^{-1}(d, f) df}{\int_B N(f) df} \quad (8)$$

이를 이용하여 (7)을  $A, N, B$ 로 나타내면 다음과 같다.

$$P(d) = SNR_0 \times B \times \frac{\int_B N(f) df}{\int_B A^{-1}(d, f) df} \quad (9)$$

여기에서  $SNR_0$ 는 수신단에서 요구되는 목표 신호 대 잡음비이다 [8].

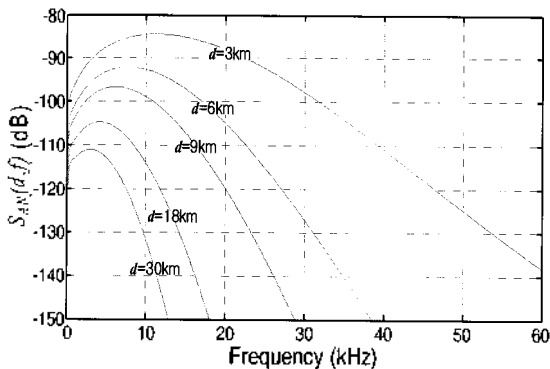


그림 1. 수중채널에서 주파수와 거리에 따른 신호 대 잡음비  
Fig. 1. SNR according to frequency and distance in underwater acoustic channel.

### III. 제안한 전송 전력 절약 방안

본 장에서는 수중 음향 통신 환경에서 전송 전력을 줄이기 위한 조건을 제시하고 조건을 만족하기 위한 그룹화 방안을 제안한다. 센서노드가 균일한 분포로 흩어져 있다는 가정 하에 싱크 노드로부터의 거리에 따라 그룹을 구분하게 되면 각 그룹의 넓이에 비례해서 그룹에 속해 있는 센서노드 수가 결정된다. 따라서 각 노드가 필요로 하는 주파수 대역 크기가 동일하다고 가정하면, 각 그룹 별 주파수 할당 대역폭은 각 그룹의 넓이에 비례하여 결정된다. 시스템의 전체 주파수 대역을  $BW$ 라 할 때, 그림 2에서 볼 수 있듯이, 싱크 노드의 1 홉 최대 통신 거리를  $R$ 이라 하고 가장 멀리 있는 그룹부터 그룹 번호를 부여하면  $i$ 번째 그룹의 거리  $r_i$ 와  $i+1$ 번째 그룹  $r_{i+1}$ 은 다음과 같은 관계식을 만족한다.

$$\frac{bw_i}{\pi r_i^2 - \pi r_{i+1}^2} = \frac{BW}{\pi R^2} \quad (10)$$

여기에서  $bw_i$ 는  $i$ 번째 그룹에 할당된 대역폭이고 그림 2의  $N_g$ 는 전체 그룹의 수를 나타낸다.

일반적으로 수중 센서 노드는 한번 설치되면 접근이 어렵기 때문에 방전될 경우 교체하기가 어렵고 비용도 많이 든다. 이로 인해 네트워크를 구성하는 여러 센서 노드 중 특정 노드가 방전으로 인해 결손 되는 경우, 네트워크 전체의 수명이 짧아질 수 있다. 따라서 센서 네트워크의 수명을 연장하기 위해서는 각 센서 노드들의 전력 사용량을 일정하게 유지해야 한다.

그림 3은  $R$ 이 10 km인 센서 네트워크에서 센서 노드들을 4 개의 그룹으로 나누고 각 그룹의 넓이를 일정하게 하여 각 그룹에 대역을 동일하게 할당했을 경우 발생하는 그룹 별 신호 대 잡음비의 변화를 나타낸다. 4개의 점선

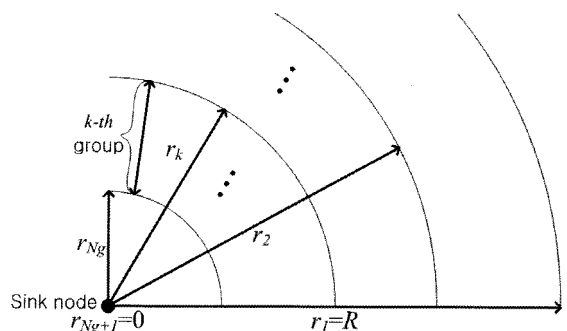


그림 2. 각 그룹 별 거리  
Fig. 2. The distance from sink node to the boundary of each group.

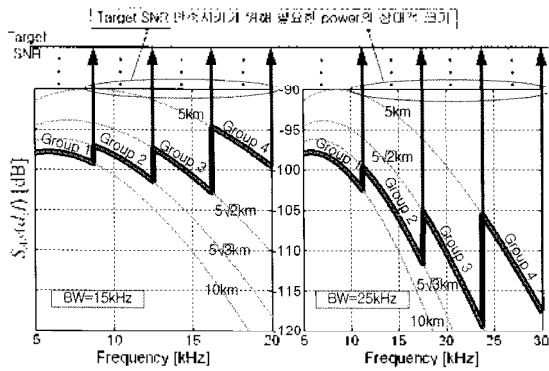


그림 3. 주파수 대역을 각 그룹에 동일하게 할당했을 경우 그룹 별 신호 대 잡음비  
 Fig. 3. SNR of each group having same size of frequency bandwidth.

그래프는 각 그룹의 최외곽 지점 ( $r_1 = 10\text{ km}$ ,  $r_2 = 5\sqrt{3}\text{ km}$ ,  $r_3 = 5\sqrt{2}\text{ km}$ ,  $r_4 = 5\text{ km}$ )에서의 신호 대 잡음비로서 각 그룹에 속한 노드들의 최소 신호 대 잡음비를 나타내고 붉은 실선 그래프는 시스템 전체 주파수를 동일하게 분할한 후 싱크노드에 가까운 그룹 순서로 낮은 주파수를 할당할 경우, 시스템 전체 통신 대역에서의 최소 신호 대 잡음비를 나타낸다. 검은 화살표는 목표 신호 대 잡음비를 만족하기 위해 추가적으로 요구되는 전력 요구량을 각 그룹 최외곽 지점 기준으로 정규화해서 표현한 것이다. 화살표 길이의 편차를 통해 전체 통신 대역이 25 kHz일 때가 15 kHz일 때보다 그룹 별 전력 소모의 불균형이 심하다는 것을 알 수 있다. 그룹 별 전력 소모의 불균형이 심할 경우 특정 그룹의 센서 노드들의 배터리가 다른 그룹의 센서 노드들의 배터리에 비해 빠르게 소모된다. 따라서 각 그룹의 전송 전력은 균일하게 유지하기 위해서는 그룹 별 신호 대 잡음비가 일정수준 이상으로 유지되도록 그룹화해야 한다.

그림 4는 센서 노드의 그룹화 과정에서 사용되는 몇 가지 파라미터를 나타낸다. 우선 허용된 최소 신호 대 잡음비 (AMS: Accepted Minimum SNR)를 정의한다. 그리고  $i$  번째 그룹에서 AMS 이상의 신호 대 잡음비를 얻기 위한 주파수 대역 중 최대 주파수를  $fb_i$ 라 정의한다. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$fb_i = \max\{f | S_{A/N}(r_i, f) \geq AMS\} \quad (11)$$

(10)과 (11)을 이용하면 그룹 별 거리  $r_i$ 와 대역  $bw_i$ 를 다음과 같이 구할 수 있다. 이때 시스템 전체에 할당된 통신 대역의 최저 주파수는  $fb_0$ 라 한다.

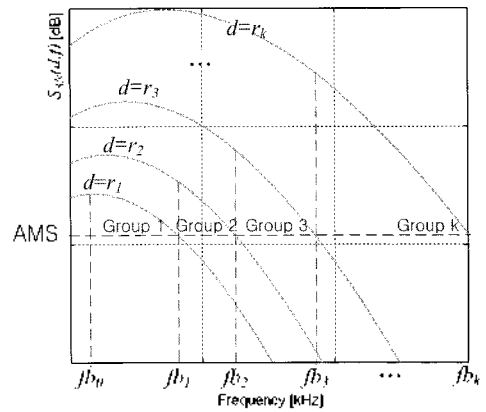


그림 4. 센서 노드의 그룹화를 위해 사용되는 파라미터  
 Fig. 4. Definition of the parameters used in node grouping.

$$r_i = \sqrt{r_{i-1}^2 - \frac{R^2}{BW} bw_{i-1}}, r_1 = R, i = 2, 3, 4, \dots \quad (12)$$

$$bw_i = fb_i - fb_{i-1}, i = 1, 2, 3, \dots \quad (13)$$

정리하면  $r_i=R$ 이므로 식 (11)을 통해  $fb_i$ 를 구하고  $fb_0$ 과  $fb_i$ 를 (13)에 대입하여  $bw_i$ 를 구하며  $r_i$ 와  $bw_i$ 를 (12)에 대입하여  $r_2$ 를 구한다. 이와 같은 방법으로 주어진 BW를 모두 할당할 때 까지  $bw_i$ 와  $r_i$ 를 차례로 구한다.

### IV. 수치해석 및 결과 고찰

본 장에서는 전체 주파수에 대해 목표 신호 대 잡음비를 고정시켜 데이터 전송률을 일정하게 유지시킨 후 수치해석을 통해 AMS 값에 따른 전송 전력량 및 그룹 수의 변화 추이를 분석하고 고찰해 본다. 또한 그룹을 나누지 않는 방법과 그룹으로 나누되 그룹별 넓이와 주파수 대역을 일정하게 하는 방법, 그리고 제안한 방식을 전력량 측면에서 비교 분석한다. 이때 AMS 값에 따른 전송 전력은 (9)와 (13)을 이용하여 다음과 같이 계산한다.

$$P_i(r_i) = SNR_0 \times bw_i \times \frac{\int_{fb_{i-1}}^{fb_i} N(f)df}{\int_{fb_{i-1}}^{fb_i} A^{-1}(r_i, f)df} \quad (14)$$

여기에서  $P_i(r_i)$ 는  $i$  번째 그룹 노드의 전송 전력을 나타낸다. 표 1은 수치해석을 위한 시스템 파라미터를 나타낸다.

그림 5는 BW가 20 kHz이고 R이 10 km일 때 AMS 값의 변화에 따른 전송 전력량 (a)과 그룹 수 (b)의 변화를

표 1. 수치해석을 위한 시스템 파라미터

Table 1. The system parameters for numerical analysis.

| 파라미터                               | 값   |
|------------------------------------|---|
| 시스템 전체 통신 대역폭(BW)                  | 5 kHz, 10 kHz, 15 kHz, 20 kHz, 25 kHz, 30 kHz, 35 kHz |
| 목표 신호 대 잡음비(SNR <sub>0</sub> )     | 20 dB   |
| 최저 통신 주파수(f <sub>0</sub> )         | 5 kHz   |
| 싱크노드에서 1 홉 최대 통신 거리(R)             | 4 km, 10 km   |
| 그룹화 알고리즘을 위한 그룹 수(N <sub>g</sub> ) | 2   |

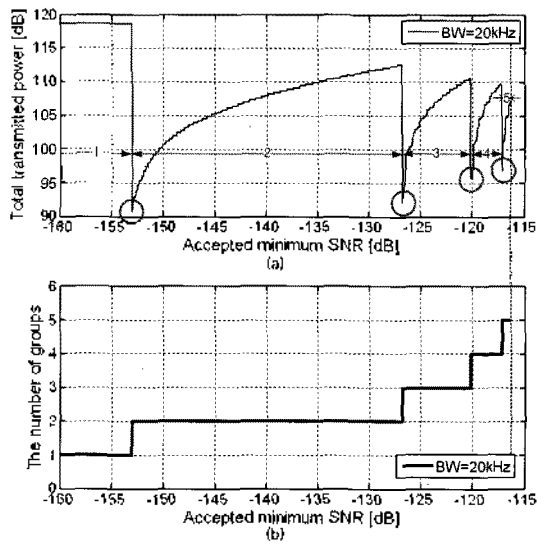


그림 5. BW가 20 kHz일 때 AMS 값에 따른 전송 전력량과 그룹 수의 변화

Fig. 5. The total transmitted power and the number of groups for varying AMS at BW=20 kHz. (a) 전송 전력량의 변화 (b) 그룹 수의 변화

나타내고 있다. 그래프 (a)에서 화살표와 함께 표시한 숫자는 그래프 (b)에서 나타난 그룹 수를 나타내며 화살표는 해당 그룹 수에 대한 AMS 범위를 나타낸다. AMS 값이 증가함에 따라 그룹 수가 증가하고 그룹 수가 증가하면서 각 그룹 수에 대한 최소 전송 전력량(실선 원형 표시)도 늘어나는 것을 확인할 수 있다. 즉 그룹 수가 2일 때 가장 낮은 전송 전력량을 가지는 것을 알 수 있다.

그림 6은 그림 5의 결과를 기반으로 그룹 수를 2로 한정했을 때 다양한 BW값에 대해 AMS에 따른 전송 전력량의 변화를 나타낸다. (a)는 R이 4 km일 경우이고 (b)는 R이 10 km일 경우를 나타낸다. 전송 전력량의 변화를 살펴보면 BW값의 크기가 커짐에 따라 전송 전력의 최소값도 커짐을 알 수 있다. 그 이유는 BW값이 증가하면서 (14)에

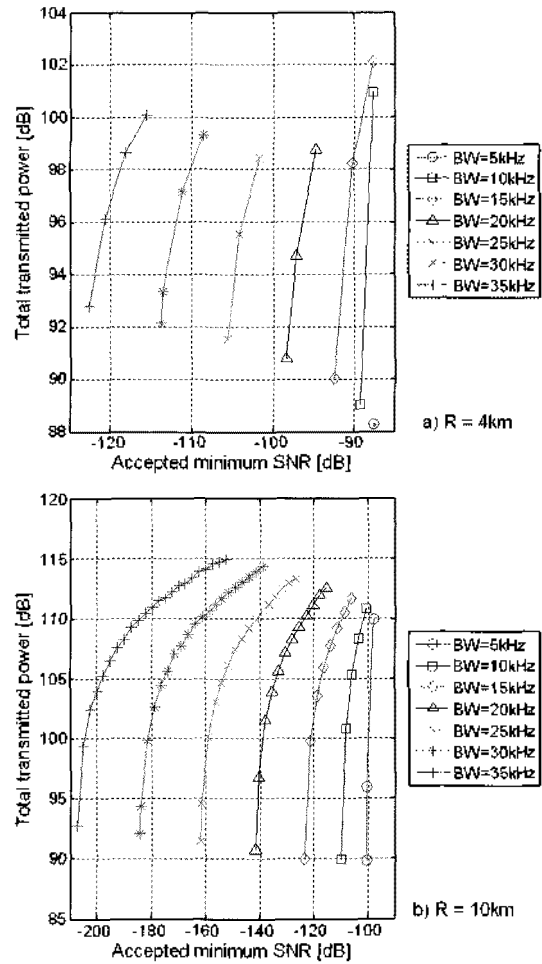


그림 6. AMS 값에 따른 전송 전력량의 변화 (a) R = 4 km (b) R = 10 km

Fig. 6. The total transmitted power for varying AMS, (a) R = 4 km, (b) R = 10 km.

서의 적분 범위가 증가하게 되어 전체 전송 전력이 증가하기 때문이다. 그리고 R이 커지면서 AMS 값이 낮아진 사실을 확인할 수 있다. 그 이유를 살펴보면 R의 크기가 커지면서 (12)에 의해  $r_i$  값이 줄어들게 되고 이로 인해 그룹 수가 늘어나게 된다. 그림 5에서 알 수 있듯이 그룹 수를 감소시키기 위해서는 AMS 값이 낮아져야하므로 늘어난 그룹 수를 다시 줄이기 위해서는 AMS 값이 낮아져야 한다. (a)에서 BW가 5 kHz일 때 값이 한 점으로 표시된 이유는 R이 4 km이고 BW가 5 kHz일 때는 전 주파수 영역에서 SNR 감쇠가 매우 적어 그룹 수 2를 유지하기 위한 AMS 범위가 매우 좁아서 전송 전력의 변동이 거의 발생하지 않기 때문이다.

그림 7에서는 그림 6에서 AMS 값이 증가함에 따라 전송 전력이 증가하는 이유를 설명하고 있다. 그림 7에서 볼 수 있듯이 그룹 수가 같을 경우 AMS 값이 AMS'에서 AMS''로 낮아짐으로 인해 두 번째 그룹의 최외곽 경계가

$r_2$ 에서  $r_2'$ 로 바뀌고 첫 번째 그룹에 할당된 대역의 최대 주파수도  $f_{b1}$ 에서  $f_{b1}'$ 으로 바뀐다. 이로 인해 첫 번째 그룹의 전력 소모량은:  $\int_{f_{b1}}^{f_{b1}'} |S_{AN}(r_2, f) - S_{AN}(r_1, f)| df$  (아래로 향한 화살표)만큼 늘어나고 두 번째 그룹의 전력 소모량은:  $\int_{f_{b1}'}^{BW+f_{b0}} [S_{AN}(r_2', f) - S_{AN}(r_2, f)] df$  (위로 향한 화살표)만큼 줄어든다. 이 때, 각 그룹의 변화된 전력 소모량을 비교하면 두 번째 그룹의 최외곽 경계가  $r_2$ 에서  $r_2'$ 로 바뀌면서 싱크 노드와 두 번째 그룹간의 통신거리가 가까워지고 거리가 가까워질수록 (6)에 의해  $S_{AN}(d, f)$ 의 값이 급격하게 증가하기 때문에 항상 다음을 만족한다.

$$\int_{f_{b1}'}^{BW+f_{b0}} [S_{AN}(r_2', f) - S_{AN}(r_2, f)] df > \int_{f_{b1}}^{f_{b1}'} [S_{AN}(r_2, f) - S_{AN}(r_1, f)] df \quad (15)$$

따라서 그룹 수가 같은 경우 AMS 값이 감소함에 따라 전송 전력이 감소한다.

그림 8은 제안한 방식과 2 개의 그룹으로 나누고 각 그룹 별 대역을 일정하게 한 방식, 그리고 그룹을 나누지 않은, 즉 전체를 하나의 그룹으로 구성한 방식을 비교한 그래프이다. 전송 전력은 그룹을 나누지 않고 전체 통신 대역을 활용하는 방식에서 가장 많이 소모되고, 2 개 그룹을 일정한 대역으로 나누어 할당하는 방식에서는 그룹을 나누지 않는 방식에 비해 감소했다. 또한 이 두 가지 방식의 경우 R 값이 커짐에 따라 전송 전력이 증가하는 것을 확인 할 수 있다. 하지만 제안한 방식의 경우 R 값에 상관

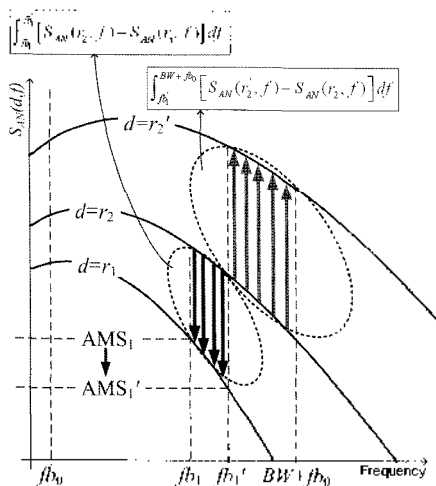


그림 7. AMS 값의 감소에 따른 전송 전력 감소 이유에 대한 해석  
Fig. 7. Analysis on the decrease in total transmitted power as decreasing AMS.

없이 거의 일정한 전송 전력을 보이고 앞선 두 방식에 비해 10 dB 이상의 낮은 전송 전력을 보인다. 이를 통해 그룹을 나누는 것이 그룹을 나누지 않는 방식에 비해 낮은 전송 전력을 나타내고 더불어 제안한 방식으로 그룹을 나누게 되면 더욱 낮은 전송 전력을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

### V. 결론

본 논문에서는 수중 센서 네트워크에서 송수신 노드간 거리가 증가함에 따라 통신을 위한 전송전력이 급격하게 증가하는 단점을 거리에 따른 그룹화 방안으로 극복하여 보다 낮은 전송 전력으로 통신할 수 있는 방안을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 센서노드가 균일하게 분포되어 있다는 가정 하에 각 그룹 별 거리와 거리에 따른 면적에 비례한 대역을 할당하는 방식이다. 제안한 알고리즘으로 AMS 값을 변화 시키면서 각 그룹의 크기를 변경시켜 AMS 값에 따른 전송 전력 변화 추이를 비교 분석했고 이를 통해 제안한 방식과 기존의 그룹화를 하지 않은 방식의 전송 전력량을 비교하여 제안한 방식이 그룹화를 하지 않은 방식에 비해 더 우수한 성능을 나타냄을 확인하였다.

본 논문에서 제안한 알고리즘은 시스템 설계 시 적용되어 시스템의 고정 파라미터 값을 결정함으로써 시스템의 동작과정에서 복잡도 증가로 인한 불필요한 전력 소모를 일으키지 않아 저전력 수중 센서 네트워크 구성에 활용될 수 있다.

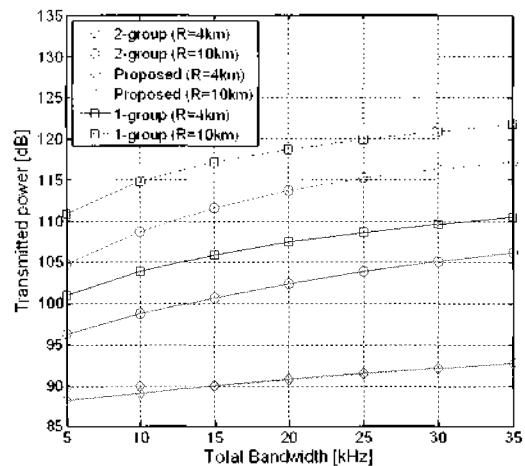


그림 8. 각 방식의 전송 전력 비교  
Fig. 8. The transmitted power comparison.

## 감사의 글

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었으며, 이에 대해 깊이 감사드립니다 (계약번호 UD070054AD).

## 참고 문헌

1. M. Zorzi, P. Casari, N. Baldo and A. Harris, "Energy-efficient routing schemes for underwater acoustic networks," *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, vol. 26, no. 9, pp. 1754-1766, 2008.
2. P. Min Kyoung and V. Rodoplu, "UWAN-MAC: An energy-efficient MAC protocol for underwater acoustic wireless sensor networks," *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 32, no. 3, pp. 710-720, 2007.
3. A. Syed and J. Heidemann, "Comparison and evaluation of the T-Lohi MAC for underwater acoustic sensor networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 26, no. 9, pp. 1731-1743, 2008.
4. K. W. K. Lui, M. Wing-Kin, H. C. So and F. K. W. Chan, "Semi-Definite Programming Algorithms for Sensor Networks Node Localization With Uncertainties in Anchor Positions and/or Propagation Speed," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 57, no. 2, pp. 752-763, Feb. 2009.
5. R. Urlick, *Principles of underwater Sound*, McGraw-Hill, 1983.
6. L. Berkhovskikh and Y. Lysanov, *Fundamentals of Ocean Acoustics*, Springer, 1982.
7. R. Coates, *Underwater Acoustic Systems*, Wiley, New York, 1989.
8. M. Stojanovic, "On the relationship between capacity and distance in an underwater acoustic communication channel," in *Proc. ACM WUWNet, CA*, pp. 41-47, Sept., 2006.

## 저자 약력

### •황 성 호 (Sung-ho Hwang)

2004년: 경북대학교 전자전기공학부 (학사)

2006년: 경북대학교 전자공학과 (석사)

2006년~현재: 경북대학교 전자공학과 박사과정

※ 주관심 분야: 수중 음향 통신, 센서 네트워크, 무선 자원 관리, MAC 프로토콜

### •조 호 신 (Ho-Shin Cho)

1992년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학 (학사)

1994년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학 (석사)

1999년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학 (박사)

1999.3~2001.2: 한국전자통신연구원 선임연구원

2001.3~2003.2: 한국항공대학교 전임강사

2003년~현재: 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 부교수