

## 에너지 효율을 고려한 수중 센서 네트워크 라우팅 기법

김은조<sup>o</sup> 김대영

한국정보통신대학교

{imikej33<sup>o</sup>, kimd}@icu.ac.kr

### Energy Efficient Routing Protocol of Underwater Sensor Networks in the Deep Ocean

Eunjo Kim<sup>o</sup>, Daeyoung Kim

Information and Communications University

#### 요 약

수중 센서 네트워크에서는 물 속이라는 환경적 특성으로 인해 네트워크 구성에 있어서 많은 어려움이 있다. 무엇보다도 배터리를 지속적으로 공급받거나 충전시킬 수 없기 때문에 배터리 고갈로 인한 센서 노드의 손실이 발생하고 이는 전체 센서 네트워크 연결을 방해하는 요소로 작용하게 된다. 따라서 본 논문에서는 지역적으로 소스 라우팅 기법을 적용하여 에너지 소비를 줄이는 라우팅 기법을 제안하였다. 먼저 수중 통신에 사용되는 음파와 에너지와의 관계식을 유도한 뒤에 에너지 소비에 중요하게 작용하는 변수들을 이끌어 냈다. 깊은 바다에 설치된 센서 네트워크에서는 깊이에 따른 환경 변수들의 값이 달라질 수 있기 때문에 링크 메트릭에 영향을 줄 수 있음을 확인했고 이를 바탕으로 에너지 소비에 미치는 환경 변수들의 영향도와 제안된 라우팅 기법이 에너지 소비에 미치는 영향을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

#### 1. 서 론

센서 네트워크의 기술이 발전하고 그에 따른 관심이 커짐에 따라 센서 네트워크 기술을 이용하여 인간이 접근하기 힘든 환경에서 여러 가지 필요한 정보들을 얻으려는 시도가 이루어지고 있다. 특히 수중 센서 네트워크는 강이나 깊은 바다에 설치되어 수중 탐사, 자연재해 방지, 무인 감시 시스템 등의 응용으로 이용이 가능하다. 이러한 희망적인 전망에도 불구하고 수중 센서 네트워크는 물 속이라는 특수한 환경에서 동작을 하기 때문에, 네트워크 통신에 있어서 많은 제약사항을 가진다. 지상 센서 네트워크에서 사용되어 오던 RF통신은 물속에서 심각한 감쇄를 유발하기 때문에 주로 음파통신을 이용하게 된다. 그러나 음파통신은 약 1500m/s의 속도를 가지므로 지연시간이 길고 이에 따라 패킷 충돌이나 배터리 고갈 등의 문제를 가진다. 또한 제한된 대역폭을 가지므로 한번에 보낼 수 있는 정보량이 적고 주변신호와 도플러 편이 현상에 많은 영향을 받게 된다 [1-2].

특히 심해에 설치된 센서 네트워크와 같이 규모가 큰 센서 네트워크의 경우에는 분포된 센서 노드의 수가 많고 네트워크 구조가 복잡해지므로 무엇보다도 배터리

소진으로 인한 심각한 네트워크 성능 감쇄가 나타날 수 있다. 특히 음파 통신에서 쓰이는 모뎀의 경우 송신뿐만 아니라 수신할 때도 많은 에너지를 소비하므로 전송 패킷이 많을수록 센서 노드의 에너지 고갈을 가속화하고 이로 인한 네트워크의 연결 실패는 최적 경로 설정을 방해 함으로써 다른 노드의 에너지 소모를 유도하고 높은 에러율과 긴 지연시간을 발생시킨다.

따라서 본 논문에서는 수중 센서 네트워크에서 차지하는 에너지 소비문제의 중요성에 초점을 맞추고 에너지 소모를 줄이기 위하여 적은 트래픽을 갖는 에너지 효율적인 라우팅 기법을 제안하였다. 먼저, 제안하는 라우팅 기법에서 사용될 링크 메트릭을 전송 전력으로 정의를 하고 전송전력에 영향을 주는 변수들과의 관계를 알아보기 위하여 전력식을 유도하였다. 그 결과 깊은 바다환경에서는 환경변수-온도, 염도, 깊이, 압력등-이 전송전력에 영향을 줄 수 있음을 확인하였고 이러한 환경적 특성을 이용하여 라우팅 알고리즘을 설계하였다. 제안된 라우팅 알고리즘은 국부적으로 소스 라우팅 개념을 이용하여, 전체 네트워크 관리에 드는 트래픽을 줄이기 위하여 원-홉 이웃노드들의 정보들만을 관리하게 된다. 모든 노드들은 자신의 위치를 알고 있으며, 각 노드들은 전송 파워를 조절할 수 있음을 가정하였다.

따라서 다음 2장에서는 수중환경 변수에 영향을 받는 전송전력식을 유도하였고 3장에서는 트래픽이 적고 에너지 효율적인 라우팅 알고리즘을 제안 하였다. 4장에서는 제안한 라우팅 알고리즘에 대한 성능을

이 논문은 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업(ITA-2006-C1090-0603-0015) 및 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. ROA-2007-000-10038-0).

검증하고 5장에서는 결론을 내린다.

$$I_i = 10^{\frac{TL+NL+DT-DI}{10}} \times 0.67 \times 10^{-18} \text{ , } W/m^2 \quad (3)$$

## 2. 전력 모델

수중에서 사용되는 음파는 통신방식에 따라서 두 가지 종류로 나뉠 수 있다. 음파를 목표물로 보낸 뒤에 되돌아 오는 신호를 받아서 정보를 얻는 형식의 Active 수중 음파 탐지와 목표물로부터 보내지는 신호를 잡아서 정보를 얻는 Passive 수중 음파 탐지가 있다[4]. 본 연구에서는 각 센서 노드들이 수중 모델을 통한 Passive 수중 음파 탐지 방법을 이용함을 가정하며 이때 사용되는 수중 음파식은 다음과 같다.

$$SL - TL - NL + DI = DT \quad (1)$$

where, SL = Source Level  
 TL = Transmission Loss  
 NL = Noise Level  
 DI = Receiving directivity index  
 DT = Detection Threshold in *dB re μPa*

수중 음파식은 물 속에서 음파가 전달될 때 영향을 구성요소들 상호간의 관계식을 나타내며 (1)에서 소개된 음파식을 바탕으로 각 구성요소의 특징을 알아보고 아래에서 전송파워의 식을 유도하였다.

### 2.1. 소스레벨(Source level)

소스레벨이란 음파를 내보내는 소스로부터 나오는 신호의 세기를 나타낸다. 식 (1)에서와 같이 소스레벨의 단위는 압력단위를 기본으로 하는 dB로 나타내어 지고 소스레벨 식만 따로 분리하여 보면 (2)에서와 같이 밀도레벨(Intensity level)에 관계된 항수로 표현된다. 여기서 밀도레벨이란 단위 면적당 전송되는 평균 에너지 양을 나타낸다. 따라서 밀도레벨을 소스레벨의 식으로 나타내면 다음과 같다[5-6].

$$SL = 10 \log \frac{I_i}{1 \mu Pa} \text{ , } dB \text{ re } \mu Pa \quad (2)$$

$$I_i = 10^{\frac{SL}{10}} \text{ , } \mu Pa$$

여기서 소스레벨은 센서 노드 하나가 모델을 사용하여 신호를 내보낼 때 사용되는 에너지 양과 같기 때문에 전송전력식을 유도할 때 (2)의 식을 인용할 것이다. (1)의 음파식을 소스레벨에 관한 식으로 전개하면 밀도레벨은 전송손실(Transmission loss), 노이즈레벨(Noise level), 방향성(Receiving directivity index), 탐지경계값(Detection threshold) 등으로 재표현될 수 있다. 이 값을 물리변환 공식을 이용하여  $1 \mu Pa = 0.67 \times 10^{-18} W/m^2$  로 바꾸어 나타내면 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

센서 노드가 음파신호를 전방향으로 내보낼 경우에는 물 속에서 퍼지는 에너지의 모양이 구 모양이 되므로 전력식은 (4)와 같이 단위면적당 전송되는 평균 전력량과 에너지가 도달하는 면적의 곱으로 나타낼 수 있다. 그러나 (4)의 식은 음파신호의 전송거리(R)가 1000m 이내일 때 성립을 하고 1000m이외에서는 에너지가 퍼지는 모양이 달라지므로 성립하지 않는다. 본 연구에서는 전송거리가 1000m 이내임을 가정하므로 (4)의 식을 이용하였다.

$$P_i = 4\pi R^2 \times I_i$$

$$= 4\pi R^2 \times 10^{\frac{TL+NL+DT-DI}{10}} \times 0.67 \times 10^{-18} \text{ , } W \quad (4)$$

위에서 유도된 식을 통해서 전송전력은 밀도레벨의 함수로 표현될 수 있으며 전송손실과 노이즈 레벨의 값으로 재표현 될 수 있음을 확인하였다. 따라서 전송 전력 식을 완성하기 위하여 식을 구성하는 각 요소들의 특징에 대하여 살펴보고 각 요소들의 함수를 전송전력에 관계된 형식으로 이끌어 내었다.

### 2.2. 전송손실(Transmission loss)

전송손실은 전송전력에 영향을 주는 요소들 중의 하나로써, 물 속에서 퍼짐(Spreading)과 감쇄(Attenuation)에 의하여 발생하는 에너지 손실을 말한다. 전송손실에 대한 구체적인 식은 (5)에서 확인할 수 있으며 단위는 dB이다. 전송손실 역시 음파의 전송거리에 따라서 적용되는 식이 달라질 수 있으며 본 연구에서는 신호의 전송거리를 1000m이내로 가정했기 때문에 (5)와 같은 식이 이용되었다. 전송손실이 전송전력에 어떻게 영향을 미치는지에 관하여 알아보기 위하여 (5)의 식을 (6)에서와 같이 유도하였다.

$$TL = 20 \log R + \alpha \left( \frac{R}{1000} \right) \text{ dB re } \mu Pa \quad (5)$$

$$\frac{TL}{10} = 10^{\frac{20 \log R + \alpha \left( \frac{R}{1000} \right)}{10}}$$

$$= 10^{(2 \log R) + \frac{\alpha}{10} \left( \frac{R}{1000} \right)}$$

$$= R^2 \times 10^{\frac{\alpha}{10} \left( \frac{R}{1000} \right)} \quad (6)$$

(6)의 식을 통하여 전송범위와 흡수계수(Absorption coefficient:  $\alpha$ )가 전송전력에 영향을 미치는 것을 발견하였다. 여기서 흡수계수란 수중 환경의 변수들—수온, 수압, 염도, 동작 주파수—등의 영향을 받는 값으로써, 센서 노드의 위치에 따른 에너지 흡수율을 의미한다. 보다 정확한 전송전력 모델을 구하기 위하여 기존에 제안된 Fisher-Simmon 식을 적용하여 특정 지역의

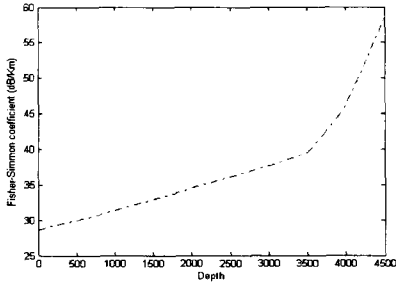


그림 1. Fisher-Simmon absorption coefficient at 12 degrees west and 32 degrees south.

흡수계수 값을 그림 1.과 같이 나타내어 보았다[7]. 본 연구에서 사용된 환경 변수 값들은 위도 12°, 경도 32°의 실측 값을 뽑아내어 사용하였다[8].

$$\alpha_{FS} = \frac{8686 \cdot A1_T \cdot F1_T \cdot (F \cdot 10^3)^2}{(F1_T)^2 + (F \cdot 10^3)^2} \cdot \frac{S}{35} + \frac{8686 \cdot A2_T \cdot P2 \cdot F2_T \cdot (F \cdot 10^3)^2}{(F2_T)^2 + (F \cdot 10^3)^2} \cdot \frac{S}{35} + 8686 \cdot A3_T \cdot P3 \cdot (F \cdot 10^3)^2$$

Where:  $\alpha_{FS}$  = Fisher-Simmons absorption coefficient  
 T = temperature, degrees C  
 F = frequency, Hertz  
 P1 = depth pressure, atmospheres  
 $A1 = 1.03 \times 10^{-8} + 2.36 \times 10^{-10} \cdot T - 5.22 \times 10^{-12} \cdot T^2$   
 $A2 = 5.62 \times 10^{-8} + 7.52 \times 10^{-10} \cdot T$   
 $A3 = (55.9 - 2.37 \cdot T + 4.77 \times 10^{-2} \cdot T^2 - 3.48 \times 10^{-4} \cdot T^3) \times 10^{-15}$   
 $P2 = 1 - 10.3 \times 10^{-4} \cdot P1 + 3.7 \times 10^{-7} \cdot P1^2$   
 $P3 = 1 - 3.84 \times 10^{-4} \cdot P1 + 7.57 \times 10^{-8} \cdot P1^2$   
 $F1 = 1.32 \times 10^5 (T + 273.1) \cdot e^{-1.700/(T+273.1)}$   
 $F2 = 1.55 \times 10^7 (T + 273.1) \cdot e^{-3.052/(T+273.1)}$

2.3. 노이즈레벨(Noise level)

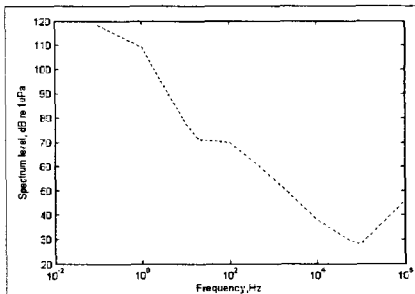


그림 2. Noise level in the deep ocean according to frequency. The Slope is given in decibels per octave of frequency [3].

환경 노이즈는 시스템 자체 노이즈를 제외한 순수하게 외부 환경으로부터 들어온 신호를 말한다. 이러한 환경 노이즈를 발생시키는 주된 요인으로는 풍속, 선박의 위치와 개수, 음향 전송 채널의 상태등이 있으며 이러한 요인들의 상태와 조건에 따라서 다른 값을 갖게 된다. 이러한 이유 때문에 정확한 환경 노이즈를 측정하기란

어려우며 기존의 음향학자들에 의하여 제시된 함수들도 대략적인 값을 나타낼 뿐이다. 본 연구에서는 환경 노이즈가 깊이에 따라서 최고 15dB의 차이를 가진다는 사실을 기반으로 깊이와 환경 변수에 따른 수식을 실측 데이터를 가지고 유도해 보았다. 환경 노이즈 역시 밀도레벨에 의하여 그 양이 표현되며 실측값의 경우 전방향 하이드로폰을 이용하여 측정된다.

그림 2.는 주파수의 크기에 따른 노이즈의 전력 밀도를 나타낸 그림이다. 그림과 같이 물속 환경에서 신호들은 주파수의 영향을 많이 받기 때문에 주파수 구간에 따라서 서로 다른 값을 가진다. 본 연구에서는 환경 노이즈 식을 간단하게 하기 위하여, 음파통신에서 주로 사용되는 1000Hz부터 10KHz까지의 구간을 수학적 모델링 대상으로 제한하였다. 바다의 깊이가 깊어질수록 노이즈레벨의 값은 감소하므로 이 구간 동안 환경 노이즈의 밀도 값이 깊이에 따라서 역선형 값을 취한다고 가정하고 수학적으로 공식을 이끌어 내었다[8].

$$NL = 10 \text{Log}N(f) = 96 - 12 \text{Log}f \tag{8}$$

$$NL = 10 \text{Log}N(f) = 107 - 17 \text{Log}f \tag{9}$$

$$NL = -\frac{(17 \text{log}f - 12 \text{log}f - 11)}{3400} \times \text{Depth} + \left( \log \left( f \left( \frac{199}{17} \right) \right) \right) + \frac{1621}{17}, \text{dB} \tag{10}$$

식 (8)은 깊이 200m에서 노이즈레벨 값을 주파수에 따른 함수로 나타낸 식이고 식 (9)는 깊이 3400m에서 노이즈레벨 값을 주파수에 따른 함수로 나타낸 식이다. 이 두 식을 기반으로 하여 (10)에서와 같이 깊이와 주파수에 따른 노이즈레벨 식을 유도 하였으며 이 값은 전송전력의 영향요소로 작용하게 된다.

앞에서 유도된 소스레벨, 전송손실, 노이즈 레벨에 의하여 많은 환경 변수들이 전송전력을 구성하고 상호 영향력 범위안에 존재하고 있음을 알 수 있었다. 그 외의 구성요소인 방향성(Receiving directivity index)과 탐지경계값(Detection Threshold)은 각각 전방향성과 고정된 상수값을 사용하므로 본 논문에서는 고려되지 않았다.

3. 라우팅 프로토콜

3.1. 라우팅 프로토콜 개요

무선 센서 네트워크에서는 라우팅 작업이 가장 많은 에너지를 소비하므로 에너지 효율적인 라우팅 기법을 찾는 것이 중요하다. 따라서 본 논문에서 소개될 지역 소스 라우팅 프로토콜은 수중 센서 네트워크에서 에너지를 최소로 소비하는 패스를 찾는 것에 그 목적을 두었다. 지역 소스 라우팅 기법은 노드가 신호를 최대로 전송 할 수 있는 전송 거리 안에서 최적 패스를 찾아서 소스 라우팅을 적용하게 된다. 국부적으로 소스

라우팅을 적용하면 에너지 효율 측면에 있어서 여러 가지 장점을 가질 수 있다. 각 센서 노드는 최대 전송 거리 안에 들어 있는 이웃 노드들의 정보와 목적지 노드의 위치, 자신의 위치정보만 관리하기 때문에 전체 네트워크를 관리하고 네트워크 토폴로지를 유지하기 위한 추가적인 트래픽이 필요하지 않게 된다. 따라서 센서 네트워크 상의 트래픽을 줄일 수 있게 되고 이는 센서 노드의 수명을 늘릴 수 있게 도와준다. 또한 센터(sender)에서 구해진 최적 패스는 패킷의 헤더에 저장되어 중간 노드에서는 전달 기능만을 담당하게 되고 루트를 찾더라도 수요가 있을 때만 동작하는 수요 기반 라우팅 이므로 에너지 소비를 줄일 수 있다.

3.2. Initialization

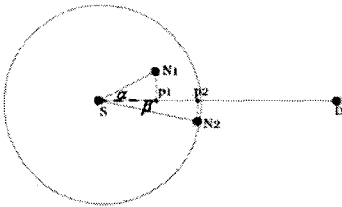


그림 3. A process to find a sub-destination with angle and projected distance on the SD line within a transmission range.

수중 공간에 수중 센서 노드들이 배치되면 수중 센서 네트워크를 구성하기 위하여 각 노드들은 초기화 작업을 시작한다. 초기에 각 노드들은 주변 노드의 정보를 수집하기 위하여 자신의 ID와 위치정보, 환경정보를 담은 initialization 쿼리를 전송 범위 안에서 전송하게 되고 initialization 쿼리를 받은 노드들은 자신이 초기화를 하지 않았을 경우 자신의 정보를 이웃 노드들에게 알린다. 노드들은 자신의 존재를 알림으로써, 이웃 노드들의 정보를 수집할 수 있으며 이 정보들을 통하여 이웃 노드 테이블을 만들고 테이블 안에는 노드 ID와 노드의 위치, 그리고 받은 환경정보들을 이용하여 계산된 링크비용을 저장한다. 여기서 링크비용은 앞에서 전송전력의 값으로 정의 했기 때문에 식 (4)로부터 다음과 같은 비례식을 구할 수 있으며 이 식으로 링크 비용을 계산한다.

$$P_i \propto R^4 \times 10^{10} \left(\frac{\alpha}{1000}\right) \times f \left(\frac{5 \times \text{Depth}}{34000}\right) \times 10^{\frac{11 \times \text{Depth}}{34000}} \quad (12)$$

제안된 지역 소스 라우팅 프로토콜은 특성상 데이터를 보내고자 하는 요청이 있을 때만 네트워크 구성을 하는 수요 기반 라우팅 프로토콜이다. 이미 요청된 목적지까지의 패스가 각 노드에 저장되어 있는 경우에는 단순한 전송만으로 패킷을 전달 할 수 있지만, 새로운 루트를 개척해야 할 경우에는 초기 단계에서

1차적인 루트를 잡아준다. 즉, 최종 목적지가 정해지면, 센터(Sender)들은 자신의 전송범위 안에서 가상 목적지를 지정하게 된다. 가상 목적지는 최종 목적지에 도달하기 위한 중간 노드로서, 후에 지역 소스 라우팅 프로토콜을 적용하기 위한 하위 목적지로 활용하게 된다. 그림 3.에서 센터를 S, 최종 목적지를 D로 가정하고, 이웃노드를 각각 N1, N2, 센터와 이웃노드, 최종 목적지가 이루는 끼인각을 각각  $\alpha, \beta$ , 센터와 최종 목적지를 잇는 라인에 이웃 노드를 투영시켜서 생긴 거리를 각각 p1, p2라고 정의 하였다. 이때 센터의 전송범위 안에서 가상 목적지는 (13)에서 새롭게 정의된 링크비용을 고려한, 가장 작은 링크비용을 갖는 노드가 된다.

$$C_{i,j} = \frac{\text{included angle}(j)}{\text{projected distance}(j)} \quad (13)$$

3.3. Route Discovery

초기화 단계에서 센터(Sender)가 가상목적지를 정하고 나면 Route Request 쿼리를 이웃 노드들에게 보냄으로써 가상목적지까지의 최적의 에너지 효율을 갖는 루트를 찾기 시작한다. Route Request 쿼리를 받은 이웃 노드들은 초기화 단계에서 구한 자신의 이웃 노드 테이블을 쿼리를 보낸 센터에게로 전송하게 되고, 자신의 이웃 노드로부터 테이블을 받은 센터는 받은 정보를 기반으로 링크비용 매트릭스(CM)를 생성한다. 링크비용 매트릭스란 전송전력식을 이용하여 자신의 이웃 노드들간에 구한 링크비용을 매트릭스 형태로 나타낸 것을 의미한다. 센터는 이 매트릭스의 정보를 가지고 최소비용 알고리즘을 적용시켜서 가장 비용이 작은 패스를 찾아 낸다. 이때 사용될 수 있는 최소비용 알고리즘은 다익스트라(Dijkstra's) 알고리즘과 플로이드(Floyd) 알고리즘이 있다[9]. 센터로부터 이웃 노드들까지의 최소비용루트만을 찾아내는 다익스트라 알고리즘에 비하여 플로이드 알고리즘은 모든 노드들 사이의 최소비용루트를 찾아낸다. 따라서 복잡도는

```

Algorithm S - Floyd(CMi,j)
1. SMi,j = CMi,j
2. Qi,j ← φ
3. i ∈ {0,1,2,...,n-1}
4. Qi,j ← i
5. for each node j ∈ {0,1,2,...,n-1} do
6.   for each node k ∈ {0,1,2,...,n-1} do
7.     if smi,j > smi,k + smk,j {
8.       smi,j = min(smi,k + smk,j)
9.       Qi,j ← k }
10. Qi,j ← j
11. return SMi,j
    
```

그림 4. S-Floyd Algorithm.

$O(V^3)$  으로 다익스트라보다 복잡한 것으로 보이지만 실제로 구현상에서는 더욱 간단하게 최소비용루트를 구해낼 수 있다[9]. 따라서 본 연구에서는 제한한 지역 소스 라우팅에 맞게 기존 플로이드 알고리즘을 수정하여 다익스트라 알고리즘과 같은 기능을 갖지만 구현에 있어서 더 간단한 S(imple)-Floyd 알고리즘을 제안한다.

그림 4.는 제한한 S-Floyd 알고리즘을 도식화한 것이다. CM은 센터가 구한 링크비용 매트릭스를 나타내고 SM은 S-Floyd 알고리즘을 이용하여 찾은 최소비용 매트릭스를 의미한다. Q는 센터로부터 각 이웃 노드까지의 최소비용 루트를 저장하기 위한 큐를 의미한다. 큐에는 각 노드의 ID가 순차적으로 저장되며 이 정보는 보내고자 하는 패킷의 소스라우팅 헤더 부분에 삽입되어서 가상 목적지까지 전달된다. 이러한 과정은 소스로부터 최종 목적지에 도달할 때까지 반복된다.

#### 4. 성능평가

이번 장에서는 지역 소스 라우팅 알고리즘의 성능평가를 위하여 MATLAB을 이용한 시뮬레이션을 수행하였다. 제안된 프로토콜의 시뮬레이션을 위해서는 우선 깊은 바다와 같은 수중 환경이 설정되어 있어야 하므로 실측된 데이터를 바탕으로 3차원 공간(10km,10km,4.5km)에 깊이와 위도, 경도에 따른 환경 데이터 값(수온, 염도, 압력, 속도)을 설정하였다. 실험할 3차원 공간에 설정된 환경 데이터 값을 이용하여 에너지 소비와 지연시간 등을 계산하여 분석에 사용하였다. 센서 노드들은 설정된 수중 환경에서 랜덤하게 분포되어 있다고 가정하고 소스와 최종 목적지를 설정하였다. 최종 목적지는 해수면 위에 위치하는 싱크노드로 가정을 하고 멀티 소스로 인한 충돌은 고려하지 않았다.

##### 4.1. 수요 기반 3차원 라우팅 프로토콜과의 성능 비교

제한된 지역 소스 라우팅 알고리즘이 얼마나 에너지를 줄일 수 있는가에 대한 성능 평가를 하기 위하여 기존에 존재하는 수요 기반 3차원 라우팅 프로토콜과의 성능을 비교 하였다. 수요 기반 3차원 라우팅 프로토콜의 종류로는 Ellipsoid 라우팅 알고리즘, Greedy 라우팅 알고리즘, Compass라우팅 알고리즘이 있다. Ellipsoid 라우팅 알고리즘은 자신의 이웃노드 중에서 자신의 위치에서 이웃노드까지의 거리와 이웃노드에서 최종 목적지까지의 거리의 합이 가장 짧은 센서 노드를 다음 노드로 선택하는 알고리즘이다. Greedy 라우팅 알고리즘은 자신의 이웃노드 중에서 최종 목적지까지의 거리가 가장 가까운 노드를

선택하되, 그 길이는 자신의 위치에서 최종 목적지까지 측정된 거리보다 짧아야 한다. Compass 라우팅 알고리즘은 전송 범위 안에 있는 자신의 이웃 노드들 중에서 자신의 위치와 이웃노드의 위치, 최종 목적지의 위치가 이루는 각의 크기가 가장 작은 노드를 선택하는 알고리즘으로서, 선택한 노드에서 최종 목적지까지의

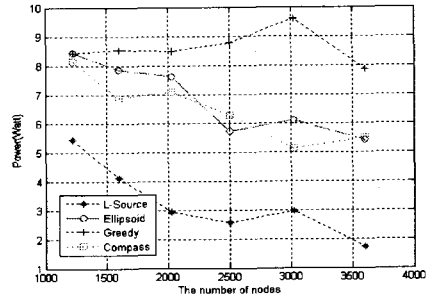


그림 5. Power consumption of respective 3-dimensional routing protocols when DI and DT is zero.

거리는 자신의 위치에서 최종 목적지까지 측정된 거리보다 짧아야 한다[10-12].

그림 5.는 노드 개수에 따른 수요 기반 3차원 라우팅 알고리즘의 에너지 소비량을 나타낸 그림이다. 전송파워의 계산에 있어서 구성요소중의 하나인 탐지경계값(Detection Threshold)은 상수값이고, 방향성(Receiving directivity index)은 전방향성을 나타내므로 각각 계산에서 제외하였다. 그래프를 통해 지역 소스 라우팅 알고리즘이 가장 작은 평균 전송 파워를 가지는 것을 확인 할 수 있다. 이는 지역 소스 라우팅 알고리즘에서 링크비용을 전송파워와 비례하도록 설정을 한 후에 전송 범위 안에서 최소비용 패스를 찾았기 때문에 다른 수요 기반 라우팅 알고리즘 보다 좋은 에너지 효율을 가져올 수 있었다. 또한 분포된 센서 노드의 수가 증가할수록 대부분의 라우팅 알고리즘이 좋은 에너지 효율을 갖는 것을 볼 수 있는데, 분포된 센서 노드가 많을수록 최적의 센서 노드를 찾을 수 있기 때문이다.

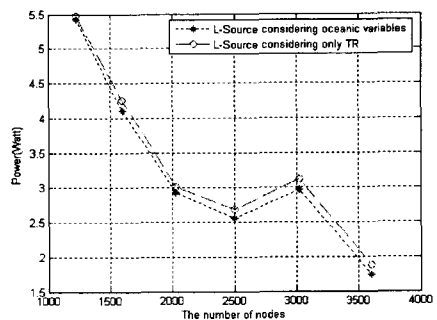


그림 6. Comparison of power consumption between two types of the Local Area Source Routing protocol according to whether oceanic variables, effect factors, are considered in power consumption calculation or not.

4.2. 전송 파워 소비에 대한 환경 변수의 영향도

2장에서 유도한 전송 파워 공식을 통하여 깊이, 흡수 계수, 주파수와 특정 지점의 압력, 수온, 수압등의 환경변수가 전송전력에 영향을 미칠 수 있음을 확인하였다. 본 장에서는 시뮬레이션을 통하여 수중 환경 변수들이 라우팅 결과에 얼마나 영향을 미치는가에 대한 영향도를 그래프로 확인하였다.

그림 6. 은 분포된 센서 노드수에 따른 패스당 소비 전력량을 나타낸 그래프이다. 빨간색으로 표시된 선은 오직 신호의 전송거리(R)만을 고려하여 패스를 찾았을 때 소비된 전력량을 의미하고 검정색으로 표시된 선은 전송거리 외에도 여러 가지 환경 변수들을 고려하여 찾은 패스의 전력 소비량의 나타낸다. 보는 바와 같이 두 경우 모두 다른 수요 기반 라우팅 알고리즘에 비하여 적은 전력 소비량을 보이고 있음을 알 수 있었고 특히 환경 변수들을 고려하여 찾은 패스는 전송거리만 고려한 패스보다 전력소비가 더 적은 것을 확인할 수 있었다. 패스당 0.1~0.3Watt의 차이를 보인다는 것은 네트워크 전체로 보았을 때 전력 소비면에서 적지 않은 부분을 차지함을 의미한다.

5. 결론

수중 센서 네트워크에 있어서 전력 소비량은 가장 중요한 고려 요소중의 하나이다. 따라서 본 논문에서는 전력 소비를 줄이기 위한 지역 소스 라우팅 알고리즘을 제안하였다. 지역 소스 라우팅 알고리즘은 자신의 이웃 노드들의 정보만을 관리하며 그 이외의 네트워크 전체의 정보의 유지나 관리가 필요 없기 때문에 전력소비를 줄일 수 있다. 전력 소비 계산을 위하여 환경 변수들과의 관계식을 유도하였으며 이러한 변수들이 전력 소비에 미치는 영향도를 시뮬레이션을 통하여 확인하였다. S-Floyd 알고리즘은 수천개의 노드가 사용될 수 있는 수중 센서 네트워크에서 보다 간단하게 최적 패스를 찾을 수 있도록 설계되었으며, 이러한 기법을 적용하여 얻은 지역 소스 라우팅 패스는 다른 수요 기반 라우팅 패스와 비교하여 에너지 효율면에서 가장 좋은 성능을 나타냄을 확인 하였다.

6. 참고문헌

[1] I. F. Akyildiz, D. Pompili, and T. Melodia, "Underwater acoustic sensor networks: research challenges," *Ad Hoc Networks* (Elsevier), vol. 3, no. 3, pp. 257-279, May 2005.  
 [2] R. Jurdak, C. V. Lopes, and P. Baldi, "Battery Lifetime Estimation and Optimization for underwater sensor networks," IEEE Press, New York, 2004.  
 [3] D. B. Johnson, D. A. Maltz, J. Broch, "DSR: The Dynamic Source Routing Protocol for Multi-Hop Wireless Ad Hoc Networks," Feb

2000. [Online]. Available: <http://monarch.cs.cmu.edu/monarch-papers/dsr-chapter00.pdf>.  
 [4] R. J. Urick, Principles of underwater sound, 3<sup>rd</sup> edition. California: Peninsula Publishing Los Altos, 1983.  
 [5] X. Lurton, An Introduction to Underwater Acoustics: Principles and Applications, Chichester, UK: Praxis Publishing, 2002.  
 [6] RESON Inc, "Acoustic Definition, References and Decibels," [Online]. Available: <http://www.reson.com/sw4811.asp>.  
 [7] P. K. Simpson, "Automated Broadband Acoustic Sound Velocity Profiler, Scientific Fishery Systems, Inc., Anchorage, AK, Tech. Rep. SFS-97-02, 1998.  
 [8] P. C. Etter, Underwater Acoustic Modeling and Simulation, 3rd edition. London and New York: Spon Press, 2003  
 [9] W. U. Lorch, "Floyd Algorithm," Mar 2000. [Online]. Available: <http://www.cs.auckland.ac.nz/~ute/220ft/graphalg/>.  
 [10] G. Kao, T. Fevens and J. Opatrny, "Position-Based Routing on 3D Geometric Graphs in Mobile Ad Hoc Networks," in the Proceedings of the 17th Canadian Conference on Computational Geometry (CCC '05), pp.88-91, August 2005.  
 [11] B. Karp and H. Kung, "GPRS: greedy perimeter stateless routing for wireless networks," in the Proceedings of 6<sup>th</sup> ACM/IEEE Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom 2000), pp. 243-254, August 2000.  
 [12] E. Kranakis, H. Singh and J. Urrutia, "Compass routing on geometric networks," in the Proceedings of the 11<sup>th</sup> Canadian Conference on Computational Geometry (CCC '99), pp.51-54, August 1999.