

해양 적응형 무선센서네트워크 기반의 수중 환경 모니터링 시스템

윤남열[†], 남궁정일^{**}, 박현문^{***}, 박수현^{****}, 김창화^{*****}

요 약

해양 환경 분석은 해양탐사에 필수적인 정보들을 제공한다. 그러나 해양 환경은 해류에 의한 노드의 이동과 염수에 의한 부식, 전파감쇠와 다중경로 발생, 그리고 센서 노드 설치의 어려움 등 다양한 환경변수가 존재한다. 따라서 해양 데이터 통신은 지상통신 환경과는 달리 이러한 환경적 제약 요소로 인해 해양 환경의 데이터들을 수집하는 과정이 복잡하고 힘들다. 이를 해결하기 위해 해양 환경과 유사한 경포호에서 실제 실험을 통해 수중 환경 모니터링을 위한 해양 데이터 통신망을 구축한다. 따라서 본 논문은 경포호 환경 모니터링 시스템의 구축을 통해 환경적 장애요소를 극복하고 해양 환경 모니터링을 위한 센서 노드들의 배치, 그리고 통신 환경의 효과적인 구조를 정의하는데 목적이 있다.

The Underwater Environment Monitoring System based on Ocean Oriented WSN(Wireless Sensor Network)

Nam-Yeol Yun[†], Jung-Il Namgung^{**}, Hyun-Moon Park^{***},
Soo-Hyun Park^{****}, Chang-Hwa Kim^{*****}

ABSTRACT

The analysis of ocean environment offers us essential information for ocean exploration. But ocean environment has a lot of environmental variables such as the movements of nodes by an ocean current, corrosion by salt water, attenuation of radio wave, occurrences of multi-path and difficulty of sensor nodes' deployment. It is accordingly difficult and complex to gather and process the environmental information through ocean data communication due to these constraints of ocean environment unlike the terrestrial wireless networks. To overcome these problems, we organized ocean communication network for monitoring underwater environment by real experiment in Gyeongpoho similar to ocean environment. Therefore, this paper aims at overcoming major obstacles in ocean environment, effectively deploying sensor nodes for ocean environment monitoring and defining an efficient structure suitable for communication environment by the implementation of ocean environment monitoring system in Gyeongpoho.

Key words: Ocean Oriented WSN(Wireless Sensor Network)(해양 적응형 무선 센서 네트워크), Underwater Environment Monitoring System(수중 환경 모니터링 시스템), Ocean Data Communication(해양 데이터 통신)

※ 교신저자(Corresponding Author) : 박수현, 주소 : 서울시 성북구 정릉3동(136-702), 전화 : 02)910-5085, FAX : 02)910-4017, E-mail : shpark21@kookmin.ac.kr
접수일 : 2009년 9월 22일, 수정일 : 2009년 11월 23일
완료일 : 2009년 12월 1일

[†] 정회원, 국민대학교 비즈니스 IT전문대학원 박사과정
(E-mail : anuice@kookmin.ac.kr)

^{**} 정회원, 국민대학교 비즈니스 IT전문대학원 박사과정
(E-mail : greenji@naver.com)

^{***} 준회원, 전자부품연구원 연구원

(E-mail : kimagu@naver.com)

^{****} 중신회원, 국민대학교 정보시스템전공 부교수

^{*****} 강릉원주대학교 컴퓨터정보공학부(컴퓨터공학전공) 교수

(E-mail : kch@gwnu.ac.kr)

※ "본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음" (NIPA-2009-C1090-0902-0044)

1. 서 론

해양 환경을 조사하고 분석한 자료가 미비하고 아직 많은 부분이 미개척지로 남아있는 해양이지만 최근 자원의 보고로 주목 받으면서 해양탐사 기술에 관한 연구가 활발히 진행 중이다[1,2]. 해저 유전, 가스전 및 광물자원의 이용 기술 개발뿐만 아니라 생물자원의 활용에 있어서도 해양 환경 모니터링의 중요성이 어느 때보다도 부각되고 있는 시점이다[3]. 해양 환경 조사에서 가장 기본이 되는 환경요인으로 수질 환경이 있으며 센서들에 의해 수집된 수질 데이터들은 분석을 통해 해양탐사 기술에 응용할 수 있다. 이러한 기본적인 수질 환경 분석을 위하여 경포호에서 진행된 실험은 해양 환경 분석과 환경 모니터링 기술의 기반연구 자료로 활용될 것이다. 따라서 본 논문에서는 수질환경 모니터링을 위해 해양 환경과 유사한 경포호에서 실제 실험에 의한 데이터의 수집 및 데이터의 전송 기법 등을 통해 해양 환경 모니터링 시스템의 기반기술 및 응용방향을 제시한다.

해양 환경은 해류에 의한 노드의 유동성과 염수에 의한 부식, 그리고 센서 노드 설치의 어려움 등 다양한 환경변수들이 존재한다. 그러므로 해양 센서 네트워크는 지상에서의 통신과는 달리 해양 환경의 특성에 의한 제약요소를 고려하여 구성된다[4,5]. 따라서 해양 센서 네트워크를 위한 환경적 요인, 기술적 요인들을 분석하여 경포호에 실제 적용할 수 있는 연구 사례와 해양 환경의 데이터를 분석하는 기법들을 연구한다[6,7].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 경포호의 주위 환경과 실험 개요를 간략히 설명하였으며 3장에서는 통신 환경을 구축하는 과정과 통신 시스템 환경에 대해 설명을 하였다. 4장에서는 환경 모니터링을 위한 센서의 구성과 설치 과정을 설명하였으며 5장에서는 해양 환경 모니터링 시스템에서의 모니터링 환경을 설명하였다. 6장에서는 실제 관측된 데이터를 통해 경포호의 환경을 분석하였다. 결론에서는 현재의 경포호 환경 분석과 미래의 해양 환경 시스템에 적용하기 위한 응용 방안을 제시한다.

2. 수중 환경 모니터링

2.1 환경 모니터링의 목적

해양 환경 분석은 해양탐사에 필수적인 정보들을

제공한다. 그러나 해양 환경의 데이터들을 수집하는 과정은 아직 우리에게 많은 도전적 과제임에는 틀림없다. 지상에서의 통신 환경과는 달리 한정적인 에너지 사용, 가변적이며 긴 전파지연, 다중경로와 전파강도의 감쇠문제, 좁은 대역폭, 그리고 높은 전송 지연 문제 등 환경적 제약 요소로 인해 센서들 간의 통신 환경에 여러 가지 문제가 있기 때문이다[4,5]. 따라서 경포호 환경 모니터링 시스템은 이러한 환경적 장애요소를 극복하고 해양 환경 모니터링을 위한 센서 및 센서 노드들의 배치, 그리고 통신 환경의 효과적인 구조를 정의하는데 목적이 있다.

또한, 해양 환경 모니터링 시스템 모형과 측정 결과를 통해 해양 환경의 분석 결과를 도출하고 해수면에서 노드 설치를 위한 기술을 확보하는데 목적이 있다. 경포호 환경의 수질환경 모니터링은 해양 환경 모니터링 시스템의 기반기술 및 응용방향을 제시한다.

2.2 관련 연구

기존의 해양 모니터링을 위한 통신 모델 연구[8]는 온도과 수압을 측정하는 센서의 설치를 통해 원하는 위치의 데이터를 수집하는 형태를 지닌다. 계선 부표(Mooring Buoy)로 위치를 고정하여 송수신을 위한 안테나를 설치하였으며, 수중으로 유선으로 연결된 센서 패키지(Sensor Package)를 설치하였다. 이렇게 설치된 센서 노드들은 스타 형태(Star Type)의 네트워크 토폴로지(Network Topology)를 가지는 간단한 구조로 상호 통신을 한다.

그러나 다중경로를 고려하지 않아 멀티 홉(Multi-hop)방식을 사용할 수 없어 네트워크의 확장이 어려울 뿐만 아니라 클러스터 헤드(Cluster-head)에 수집된 데이터의 모니터링을 위한 이후의 시스템 설계가 부족한 면이 있다.

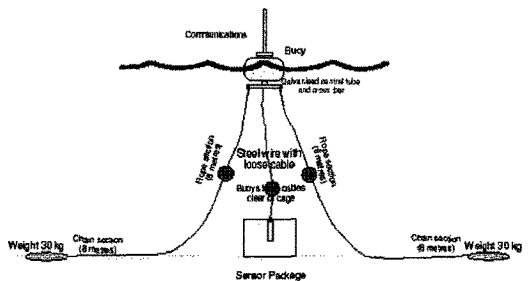


그림 1. 센서 노드의 디자인

2.3 경포호 환경 및 조사 방법

강릉시에 위치한 경포호는 우리나라 동해안 자연 석호중 하나로 자연성과 경관이 뛰어나 생태학적으로는 물론 관광자원으로도 귀중한 가치를 인정받고 있는 호수이다. 유역면적이 54.1km²인 경포호는 호수 둘레가 4.35km에 이른다. 특히 경포호는 수심이 얕고 동해안과 연결되어 있어 밀물 및 썰물과 같은 해류의 흐름이 원활하여 해양 환경과 유사한 형태의 생태계를 유지하고 있다.

경포호에서 해양 환경 모니터링 시스템을 갖추기 위해 2007년 5월 8일 부터 수질 데이터를 측정할 수 있는 센서들을 설치하는 작업을 진행하여 그림 2와 같은 네트워크 구조를 구성하였다. 경포호 환경 모니터링 시스템의 네트워크 구조는 크게 측정 구역과 백본(Backbone)망으로 구분되고, 각각 2가지로 세분화 할 수 있다. 그림 2에서 보듯이 모니터링(Monitoring)과 게이트웨이(Gateway) 부분 그리고 서버 그룹(Server Group)으로 구성할 수 있으며, 이것을 원격으로 접속하여 측정 분석하는 디스플레이(Display) 부분으로 나눌 수 있다.

경포호 현장에는 이더넷(Ethernet) 및 CDMA(Code Division Multiple Access)를 이용할 수 있는 게이트웨이와 이더넷 기반의 실시간 웹 카메라 그리고 xDSL과 연결할 수 있는 모뎀으로 구성되어 있다. 또한 온도, 염도, 용존산소량 등 수질 환경을 측정할 수 있는 센서 9개를 경포호에 설치하였다. 해수면 센서 노드는 염도와 온도를 측정할 수 있는 EC-250 해양 센서 모듈과 용존산소량과 온도를 측정할 수 있는 DO-100이라는 모델이 장착된 노드로 구분되어 있다. 또한 서버 부분에서는 웹 서버(Web Server)

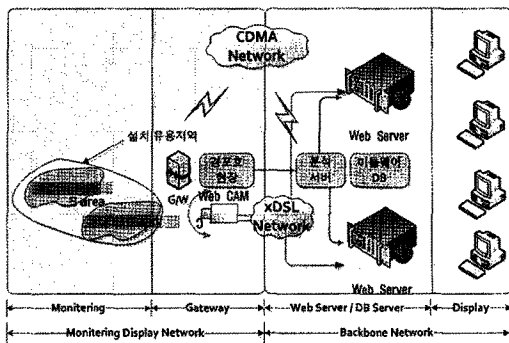


그림 2. 경포호 환경 모니터링 시스템의 기능적 분류

기능과 데이터베이스 기능을 사용하여 실시간 데이터 분석이 가능하도록 하였으며 60일 동안 POSTGRE DB에 측정 데이터 값을 저장하였다. 그리고 웹 서버를 통하여 수집된 해양 환경 데이터는 그래프를 통하여 실시간으로 관측 가능하며 이를 통하여 해양 환경의 분석이 가능하게 하였다.

3. 해양 환경 모니터링을 위한 통신 구성

3.1 네트워크 통신 장비

각 통신 장비들은 기본적으로 폭우에 대비하여 반투명한 케이스의 방수 제품으로 구성을 하였으며, 내부에는 CDMA와 IEEE 802.15.4 [9] 기반의 게이트웨이와 애드혹 기반 구조(Ad-hoc Infrastructure)를 지원하는 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 기반의 AP(Access Point)와 WLAN과 이더넷 모두를 지원 할 수 있는 웹 카메라 그리고 xDSL 모뎀으로 구성되었다. 게이트웨이는 경포호에 설치되어 있는 해수면 노드로부터 측정된 값을 전달 받기 위해 IEEE 802.15.4 기반으로 구성을 한 반면 서버로의 데이터 전송을 위해서 CDMA방식으로 전송할 수 있도록 구성하였다. CDMA 방식을 채택한 이유는 지역적 특성으로 인해 xDSL로의 전송이 매우 불안정한 모습을 보였기 때문이다. 즉 데이터 전송 속도보다는 목적지까지의 전송 데이터의 드롭 확률이 높았기 때문이다. 그러나 웹 감시 카메라의 경우 영상을 1초에 30프레임을 전송하기 때문에 약간의 데이터 드롭이 발생한다고 하여도 실시간 감시에 문제가 없으며, 선로에 문제가 발생하여 이더넷이 문제가 될 경우 바로 WLAN으로 연결되어 동작 할 수 있도록 구성하였다. 또한 장시간의 전원공급을 위해서 전신주 상단에서 안정적으로 전원을 공급 받았다.

통신망간에 데이터 정보를 주고받을 수 있게 하는 장치인 게이트웨이는 경포호에서 수집된 데이터를 수신하고 서버로 데이터를 전송하는 역할을 맡는다. 경포호 환경 모니터링 시스템에 사용된 게이트웨이는 ARM940T 코어 프로세서를 장착하고 이더넷 10/100Mbps 포트를 2개 사용하는 듀얼 게이트웨이(Dual Gateway)이다. 리눅스 기반의 TIP50GW 게이트웨이 센서 노드는 그림 3과 같은 구성을 지닌다[10].

그림 3에서 보는 듀얼 게이트웨이는 무선 센서 네트워크에서 IEEE 802.15.4 표준 기술로 전송되는 데

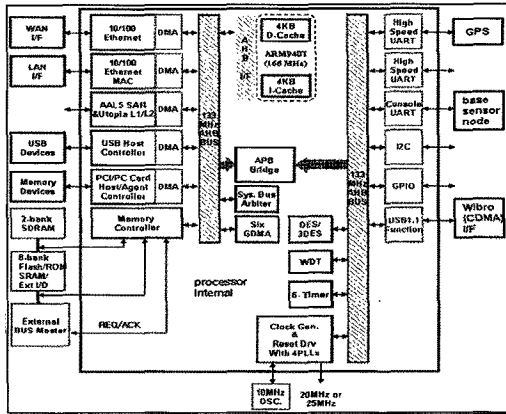


그림 3. 게이트웨이 Block Diagram

이더넷 망을 통해 전송되도록 데이터 변조를 담당한다. 무선 센서 네트워크에서 보내지는 데이터들은 게이트웨이에 부착된 CDMA모뎀을 통해 이더넷 망으로 전송된다.

센서 노드 설치 화면을 실시간으로 사용자에게 보여주기 위하여 D-LINK사의 DCS-5300 무선 인터넷 카메라(Wireless Internet Camera)를 설치하였다. 실시간 감시를 통해 센서의 이동성 및 전복현상을 감지하여 빠른 시간 내 복구가 가능하도록 하는 유용한 장비이다. 웹 카메라는 이더넷 망에 접속되어 실시간으로 경포호의 화면을 사용자에게 보여주며 투명 방수 케이스에 밀봉되어 우천시와 같은 악천후에도 실시간 감시가 지속되도록 구성하였다.

3.2 해양 데이터 통신

해양 환경 조사에서 가장 기본이 되는 환경요인으로 수질 환경이 있으며 센서들에 의해 수집된 수질 환경은 데이터 분석을 통해 해양탐사기술에 응용할 수 있다. 온도, 염도, 용존산소량과 같은 수질 환경을 분석하기 위하여 경포호에 해양센서들을 설치하고 수집된 데이터는 부착된 센서 노드에 의해 무선으로 전송된다. 해수면상에서 무선통신을 위한 센서 노드 및 전송기법 그리고 CDMA방식을 통해 이더넷 망으로 전송되는 과정을 이 장에서 설명한다.

수중 환경에서 측정된 데이터들은 USN (Ubiquitous Sensor Network) 모듈인 TIP810CM 노드에 의해 무선으로 전송된다. 경포호에 설치된 해양 센서 노드의 구성은 그림 4와 같다.

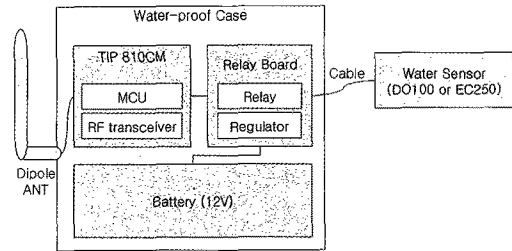


그림 4. TIP810CM 센서 노드 구성도

TIP810CM 센서 노드의 블록 다이어그램(Block Diagram)은 그림 5와 같다.

이 노드는 TinyOS기반에 IEEE 802.15.4 표준 기술로 2.4GHz 대역폭에 250kbps 전송속도를 보장한다. 각 디바이스 노드간의 통신은 멀티 홉 애드혹 네트워크 프로토콜(Multi-hop Ad-hoc Network Protocol)을 사용한다. 멀티 홉 네트워크는 수명이 제한된 배터리에 의해 구동되는 센서 노드로 구성됨으로, 전체 네트워크에서 소모되는 에너지를 최소화하여 시스템 성능을 개선할 수 있다는 점에서 해양 센서 네트워크에서도 필수적인 방식이다.

IEEE 802.15.4 표준 기술에서는 물리계층과 매체 접근제어계층에 대하여 정의하고 있으며 물리계층은 868/915MHz와 2.4GHz의 주파수 범위에서 동작한다. 전 세계에서 공동으로 사용하는 2.4GHz 주파수 대역을 사용하였으며 맥 부계층(MAC Sub-Layer)에서 정의한 CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 메커니즘을 사용하여 무선 채널을 액세스 한다.

수면 위에 설치된 방수 노드에 해양 센서를 연결하여, 해수면 아래의 온도와 염도 그리고 용존산소량을 측정하여 그 정보를 RF(Radio Frequency)를 통하여 USN 게이트웨이에 데이터를 전달한다. 데이터는 각각의 노드마다 매 10분 간격으로 1회의 전송을

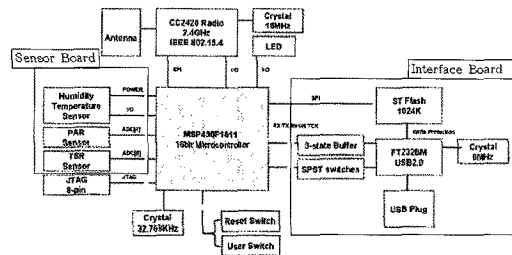


그림 5. TIP810CM 센서 노드 Block Diagram

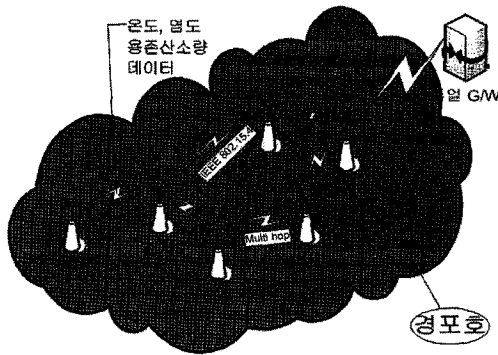


그림 6. 멀티 홵 라우팅 구성도

할 수 있도록 설정되었다. 그림 6과 같은 모형으로 데이터 통신이 이루어지도록 구성된다.

경포호의 수중 환경 모니터링 시스템은 멀티 홵 기반의 네트워크로 구성되었다. 해수면에 설치된 노드는 트리(Tree) 기반의 라우팅(Routing)이면서 멀티 홵 라우팅이 가능하다. 그리고 전송 환경을 분석하여 에너지 상태가 가장 좋은 이웃 노드(Neighborhood Node)를 통하여 데이터를 전달하도록 구성되었다. 해수면에서 멀티 홵 라우팅 방식의 채택은 소모되는 에너지양의 최소화를 통해 무선 센서 네트워크에서 가장 중요한 부분 중의 하나인 배터리 한계를 극복하는 중요한 부분이다.

듀얼 게이트웨이에 전달된 해양 환경 초기 데이터(Raw Data)들은 기지국을 거쳐 Data Only망을 통해 PDSN(Packet Data Serving Node) 라우터를 거쳐 인터넷 망으로 연결된다.

무선 센서 네트워크와 인터넷 망을 연결시키는 방식으로 채택한 CDMA망은 환경적 제약 요소를 극복하는 유용한 방법 중 하나이다.

3.3 서버 전송 및 DB

경포호에 설치된 센서들에 의해 측정된 수질 환경 데이터는 게이트웨이를 통해 관계실 서버로 보내진다. 수신된 해양 환경 초기 데이터들은 PostgreSQL DB에 저장되고 캘리브레이션(Calibration)과정을 거쳐 자바 애플릿(JAVA Applet) 환경 모니터링 시스템을 통해 사용자 인터페이스로 표현된다.

데이터 전송과 초기 데이터의 저장 그리고 자바 프로그래밍에 의한 사용자 인터페이스로의 변환을 그림 7에서 보여준다. PostgreSQL DB에 저장된 초기

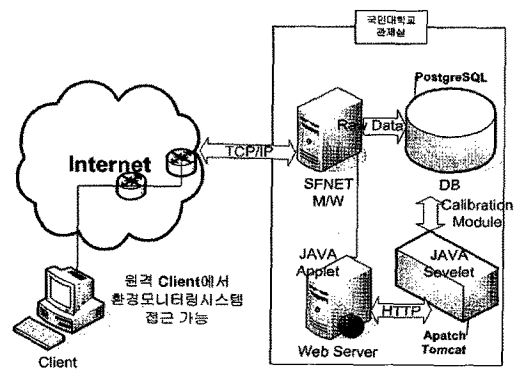


그림 7. 서버로의 데이터 전송 H/W 아키텍처

데이터는 캘리브레이션 모듈(Calibration Module)에 의하여 원격 클라이언트(Client)에서 관측이 가능한 데이터로 계산된다.

4. 해양 환경 모니터링을 위한 센서 노드 구성

4.1 센서 노드의 고려 사항

밀물과 썰물로 인한 해류의 흐름과 파도의 영향에 의해 센서 노드의 위치가 변경될 수 있다. 또한 바다 생물에 의한 노드의 이동성도 고려하여야 한다. 따라서 노드의 이동성을 방지하기 위하여 고정 앵커의 무게를 고려하여야 한다. 경포호는 바다와 연결되어 조석간만의 차이가 있으며 해류와 바람에 의한 파도도 일정 부분 고려하여 그림 8과 같이 센서 노드들을 고정시켰다.

해안 연안의 해조류 및 파개비등이 센서 노드에 부착됨으로써 데이터 수집에 영향을 미칠 수 있으며 센서 부위를 해조류 및 파개비가 가로막아 실제 해양의 측정값들과 상이하게 나타날 수 있다. 또한 바다 미생물에 의한 노드의 파괴와 해수에 포함된 염소이온에 의한 센서 노드의 부식도 해양 환경에서의

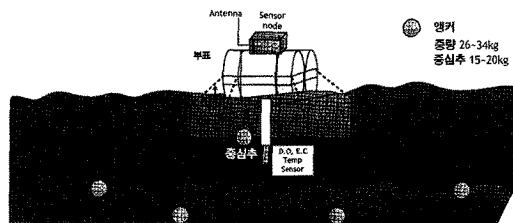


그림 8. 부표(Buoy) 고정 구조

고려 사항이다. 따라서 경포호의 염도에 적합하며 내약품성과 내식성이 우수한 316 스테인레스 강(Stainless Steel)으로 제작된 센서를 사용하였다. 수중온도 및 염도를 측정하기 위해 Stevens Water Monitoring System사의 EC-250 센서를 사용하였으며 온도 및 용존산소량을 측정하기 위해 Stevens Water Monitoring Systems사의 DO-100 센서를 사용하였다[11].

그림 8과 같이 부표는 해수면 노드 당 2개의 장구 부표라는 모델을 사용하였으며, 부표 1개의 부력은 178kg으로 총 356kg의 부력을 지탱할 수 있도록 되어 있다. 또한 해양 노드의 무게는 약 12kg으로 배터리 9.6kg과 노드 및 기타 보충재 무게가 1.4kg~2kg 사이로 구성되어 있다. 한편 앵커의 총 무게는 150kg~194kg으로 구성되어 있다. 방수 하우징 케이스는 물속 1m의 깊이에서 1달 이상 견딜 수 있고 50kg이상의 외부 압력에서도 견딜 수 있으며, 내부의 습기에 대한 방습 기능을 갖추고 있어 우천시나 파고에 의한 침수뿐만 아니라 부표가 장시간 뒤집혔을 경우를 대비하였다.

4.2 센서의 배치 및 안테나의 구성

해양 환경에서의 센서는 데이터 전송 거리를 고려하여 배치되어야 한다. 해상에서 센서의 설치 작업은 지상에서의 설치보다 힘든 과정이다. 따라서 설치 전 노드의 위치 선정을 계획적으로 구상하여야 한다.

데이터 전송 거리는 안테나의 성능에 의해 좌우된다. 경포호 환경 모니터링시스템에 설치된 안테나는 WLAN-Bluetooth 4 dBi Dipole Antenna (WE-2405TO)로서 블루투스 기반의 다이폴(Dipole) 안테나는 일반적으로 사용되는 안테나이다. 경포호 환경 모니터링에 사용된 안테나의 데이터 전송 거리를 고려하여 150M 내외의 노드 배치를 구성하였다.

조수간만의 해수면 반사파가 무선센서통신의 전파 환경에 많은 영향을 미치고 있기 때문에 안테나의 높이도 고려하여야 한다. 동해안의 조수간만의 차는 서해안에 비해 덜하지만 해수면이라는 매질적 특성으로 인해 간섭요소가 크기 때문에 해수면의 조수간만의 차이뿐만 아니라 수면반사파의 차이에 의한 전파전파(Radio Wave Propagation) 특성 변화를 분석하고 이에 대한 해결책 및 안테나 설치 요령을 규정하여야 한다. 공기를 전송매체로 하는 안테나의 경

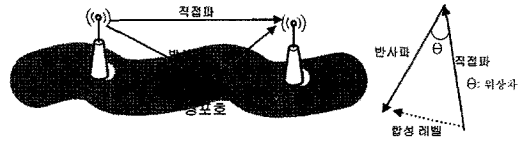


그림 9. 해수면 반사파

우 날씨 및 주변 환경에 많은 영향을 받기 때문에 장마나 해수면 반사파가 전파 환경에 심각한 영향을 발생시켜 데이터 통신의 품질을 저해할 수 있다. 그림 9는 해수면 반사파를 표현한다.

지상에서의 무선 통신과는 달리 수면에서의 데이터 통신은 수면을 통과하면서 수면 반사파에 의한 간섭이 생긴다. 수면반사파는 주변에 장애물이 없기 때문에 전파의 세기가 강하며, 반사파 역시 전계강도가 크기 때문에 총 수신 전력은 직접파와 수면반사파의 합이 된다. 특히 해수의 경우 표 1에서 보듯이 지상의 건조지와 비교해서 유전율과 도전율 모두 크기 때문에 해수면이 도체의 표면과 같이 작용하여 반사가 심하다.

간섭패턴은 안테나 높이에 따라 변화하므로 지향성 안테나로 반사파 레벨을 약하게 하기보다는 안테나 높이를 변화시키는 것이 좋다.

전반거리를 일정하게 하여 안테나 높이를 다소 높게 하면 위상차가 크게 되고, 전반손실이 주기적으로 변화한다. 이것을 해수면에서의 2파 간섭이라고 부른다. 이 현상을 그림 10에 나타내었다.

안테나 하이트 패턴을 통해 전반거리를 일정하게 하여 수신 안테나 높이를 변화시켰을 때 수신 레벨의 변화를 상대적으로 표시한 것으로 안테나 높이가 어느 값을 증가하면 수신 레벨은 역으로 낮아짐을 알 수 있다.

2파 간섭 패턴의 근거리 전반손실 거리 특성은 특

표 1. 대지 전파의 전기정수

대지의 상태	유 전 율	도 전 율(Ω/m)
해 수	81	4
담 수	80	10 ⁻² ~10 ⁻³
습 지	5~15	10 ⁻² ~10 ⁻³
건조건원·삼림	13	5×10 ⁻³
암석·모래땅	12	2×10 ⁻³
도회지	5	10 ⁻³
건 조 지	2~6	10 ⁻⁴

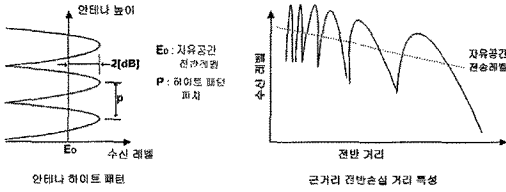


그림 10. 2파 간섭 패턴

히 근거리가 되면 안테나 높이에 따른 패턴과 같이 전송로에 따라서 주기적으로 수신 레벨이 변화함을 나타내고 있다. 이 간섭 패턴의 평균 레벨이 자유공간 전반 레벨이 되어 있고, 실용상 근거리에서 자유공간 전반손실에 대한 것을 대표적으로 나타내었다. 간섭 패턴은 안테나 높이에 따라 변화하므로 지향성 안테나로 반사파 레벨을 약하게 하기보다는 안테나 높이를 변화시키는 것이 좋다.

따라서 안테나의 높이에 의한 직접파와 반사파간의 위상차의 변화를 분석하여 안테나의 높이를 설계하여야 한다. 조수간만의 차가 적은 경포호의 경우 직접파와 반사파의 위상차가 파장의 배수가 되도록 안테나의 높이를 설계하여야 한다.

해수의 매질이 건조지의 매질보다 고유 임피던스가 더 낮기 때문에, 해수가 건조한 지상보다 매질 특성에 의한 효과적인 전파가 가능하게 된다. 이것으로 다음과 같은 등식이 [지상 RF통신 거리(100M) < 해수면 RF통신 거리(140M) < 자유공간 RF통신 거리(270M)] 성립될 수 있게 된다. 경포호에 설치된 안테나 구조 및 높이 설정은 그림 11과 같이 구성하였다.

해양 환경에서의 일반적인 통신은 지상과 비슷하

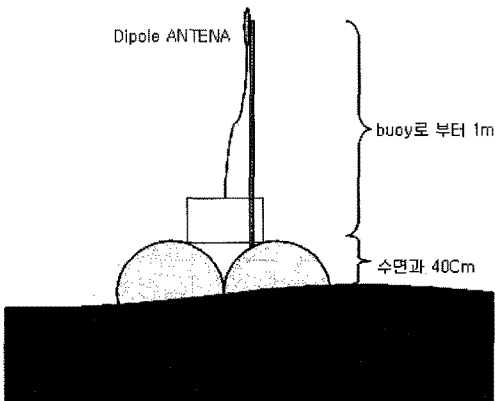


그림 11. 경포호에 설치된 안테나의 구성

표 2. 지상 RF통신과 해수면 RF통신 비교표

	지상 RF 통신	해수면 RF 통신
전송 거리	100m	140m
전파 간섭	주위반사에 의한 다중파 간섭	해수면 2파 간섭
간섭 정도	심함	약함
도전율(Ω/m)	10^{-4}	41
유전율	2 ~ 6	81
설치 여건	용이함	어려움

지만 해수면의 매질 특성에 의해 조금 상이한 성격을 지닌다. TIP810CM 센서 노드를 기준으로 지상 RF통신과 해수면 RF통신의 비교를 통해 표 2와 같이 표현이 된다.

하지만 전파 간섭과 같은 주위 환경이 변화되면 전송 거리 또한 제한적일 수 있다.

5. 해양 환경 모니터링 시스템

해양 환경 모니터링 시스템은 수중 환경 정보를 측정하고 실시간으로 분석한 화면을 관리자 및 사용자가 모니터링 할 수 있도록 구성되었다. 실제로 구현된 경포호 환경 모니터링 시스템의 모습은 그림 12와 같다.

실시간 측정 데이터인 염도, 용존산소량, 온도를 모니터링 할 수 있도록 화면 우측에 그래프로 표현하였으며 웹 카메라에 비춰진 실제 경포호의 모습을 사용자가 볼 수 있도록 좌측화면에 배치하였다. 이러한 환경 모니터링 시스템을 사용자 및 관리자가 원격 클라이언트에서 관측하고 분석할 수 있도록 하는 것이 모니터링 시스템의 본질적인 의도이다.

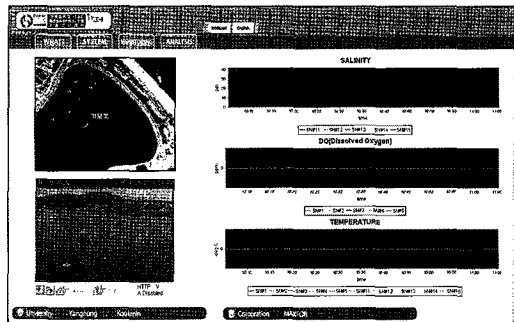


그림 12. 해양 환경 모니터링 시스템

백본 네트워크에서는 원격지에서 전송되는 데이터를 저장하는 미들웨어 DB 서버가 있으며, 센서에서 들어오는 초기 데이터를 수식계산을 통하여 나타내주는 캘리브레이션 모듈이 존재한다. 해양에서 사용하는 센서는 아날로그 값으로 표현되기 때문에 초기에 알 수 없는 매우 큰 값으로 표시됨으로 센서 제공 회사에서 제공하는 캘리브레이션 공식을 통하여 일반화된 값으로 변화시키는 모듈이 필요하다.

경포호 현장에서 CDMA와 인터넷 기반으로 들어오는 데이터를 처리하기 위한 부분이 웹 서버 부분과 DB 서버 부분이다. 기본적으로 인터넷 기반은 TCP/IP 데이터이기 때문에 이것을 IEEE 802.15.4의 프레임과 우리가 제시한 구조에 맞게 프레임 단위로 처리하는 SFNET이라는 파서(Parser)가 존재하며 이 파서를 통해서 재구성된 프레임은 순차적인 노드 ID와 시간을 기준으로 POSTGRE DB에 저장된다. POSTGRE DB의 데이터는 자바를 통하여 다시 노드와 ID, 시간 그리고 시퀀스 넘버를 확인하여, 해당 노드에 맞는 염도, 온도 그리고 용존산소량을 웹 서버로 전송하게 된다. 웹 서버는 원하는 정보를 실시간 그래프로 나타내며, POSTGRE DB에 들어 있는 누적 정보를 참고해서 분석한 그래프를 표기한다. 10초 간격으로 DB의 데이터를 호출하며, 이러한 정보를 웹 서버에 전송하게 된다. 또한 사용자가 표시된 그래프에 특정 시간과 특정 날짜를 줌(Zoom)하여 볼 수 있도록 지원을 하며 데이터 정보를 하나의 그래프로 표시하는 기능도 포함하고 있다. 경포호에서 측정된 초기 데이터가 파싱(Parsing) 과정을 거쳐 모니터링 되는 일련의 과정은 그림 13과 같이 표현된다.

SFNET의 파서에서는 연산 기능이 제외된 범용 구조이기 때문에 그림 13과 같이 자바 서블릿(JAVA Sevelet)에서 수식계산이 이루어진 뒤 자바 애플릿을 통해 우리가 원하는 데이터로 표현이 된다.

디스플레이 부분은 웹 서버를 통해서 원격지의 일반 사용자에게 현재 연구 진행 정보를 실시간으로

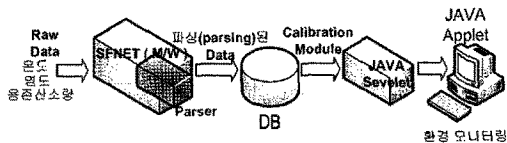


그림 13. 파싱(Parsing)의 구조

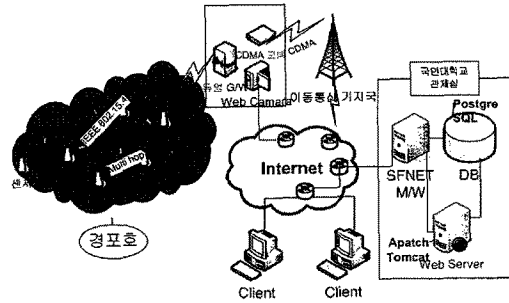


그림 14. 경포호 환경 모니터링 시스템 전체 구성도

제공하는 것을 목적으로 하는 동시에, 원격지에서 데이터를 분석하고 저장하는데 의미를 두고 있다. 또한 문제가 발생했을 경우 원격지에서 서버나 게이트웨이의 원격접속을 통해 웹 감시 카메라의 접근이나 CDMA와 IEEE 802.15.4 듀얼 지원 노드의 문제점을 파악할 수 있으며, 현장에서 문제가 발생할 경우 원격지에서 일부 해결이 가능하다. 따라서 원격지에서 웹 서버나 DB 서버에 대한 접근을 가능하도록 하여 개발이나 모니터링 중에 현장의 문제에 대한 적절한 대처가 가능하다. 이러한 환경 모니터링 시스템의 전체 구성을 그림 14와 같이 도식화 하였다.

6. 실측 데이터 분석

수질 환경을 측정할 수 있는 센서에는 온도, 염도, 용존산소량을 측정하는 센서 등이 있으며 이를 활용하여 60일 동안 해양 환경의 측정 결과를 토대로 경포호의 특성을 파악 할 수 있었다. 그림 15와 16은 경포호에서 실제 측정된 온도, 염도, 용존산소량 데이터 값들을 보여주는 그래프이다.

경포호에서의 실제 수중 환경 모니터링 시스템을

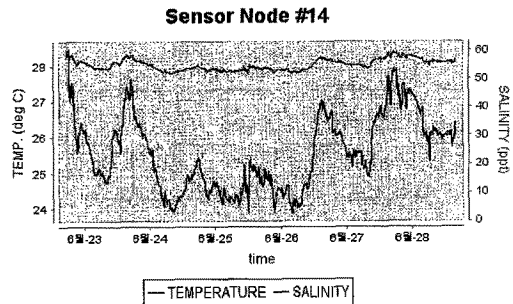


그림 15. 온도 및 염도 측정값

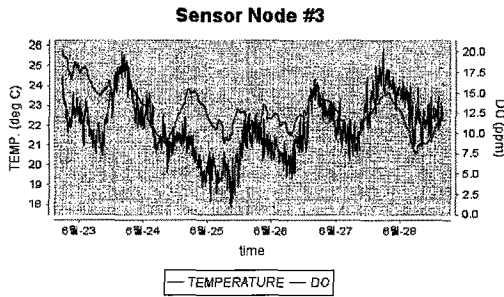


그림 16. 온도 및 용존산소량 측정값

구축하면서 아래와 같이 대략 네 가지의 특징으로 요약할 수 있다.

첫째, 경포호 환경은 기존에 알려져 있던, 담수로 구성된 호수가 아니라는 점이다. 세계 평균 염도가 34.62psu(Practical Salinity Unit) 정도이며, 동해안의 평균 염도는 32.33(psu)이다. 또한 강릉 해안의 1년 평균염도는 32.38(psu)인데 비하여, 경포호의 염도는 27~28(psu) 수준으로 바다에 못 미치는 염도를 가지지만 염수에 해당된다.

둘째, 경포호 환경 분석 결과를 통해 경포호에 바닷물의 유입은 경포호 환경에 많은 이로움을 주는 것으로 판단된다. 경포호 환경에서 호수 안쪽의 경우 용존산소량과 온도의 상관관계는 반대로 나타난다는 것을 알 수 있었으며, 용존산소량의 경우 00시를 기준으로 7.5ppm(Parts Per Million)까지 감소하다가 06시를 기준으로 14시까지 15ppm 증가하는 것으로 나타났으며 14시 이후에는 용존산소량이 감소하는 것으로 나타났다. 일반적으로 20°C의 상온에서 10ppm 정도의 용존산소량을 보유하는 것이 평균으로 보았을 때, 호수 안쪽의 경우 20~22.5°C 사이에 최하 5ppm에서 최고 12.5ppm으로 수질 환경이 안 좋다고 할 수 있다. 그러나 밀물과 썰물현상이 발생하는 장소에서의 분석에는 용존산소량의 변화가 크게 없는 것으로 나타나고 있다. 기본적으로 밀썰물 현상이 발생하는 곳에서는 10ppm 이상으로 용존산소량이 매우 풍부하고, 시간대별로 감소하는 현상이 매우 적으며, 오히려 조수간만이 발생하는 시간에서의 용존산소량의 오차가 약 5ppm 정도 발생하는 것으로 보여주고 있다. 온도 부분에서도 경포호 안쪽에 조수간만의 차가 큰 변화가 없는 곳의 경우 5월에는 20°C~25°C까지 온도가 분포하고 있지만, 바닷물이 만나는 곳의 경우 5월 평균 20°C내의 분포를 보여주고 있다. 온도

변화의 중심이 호수 안쪽의 경우 하루의 주기를 기준으로 대기의 온도의 영향을 많이 받는 반면에, 바닷물이 만나는 경우에는 조수 간만의 차에 의해서 온도의 변화가 발생한다는 것이다. 즉, 호수 안쪽의 경우 14시를 기준으로 높은 온도를 나타내고 05시에 가장 낮은 온도를 나타내고 있지만, 바닷물과 밀물이 만나는 지점의 관측 정보의 경우 조석간만의 차이로 인해 생기는 온도의 차이가 더 크다는 것을 보여 주었다.

셋째, 수심이 낮은 경포호의 경우 계절에 매우 민감한 요소를 나타내고 있다. 경포호의 경우 1m~2m 내외의 낮은 해수면과 2m~4m의 깊은 별로 구성된 호수이다. 측정된 결과를 보았을 때, 5월의 경우 20°C~24°C를 기준으로 계속 증가하고 있으며, 호수 안쪽의 경우 24°C~26°C까지 온도가 분포하고 있다. 또한 밀물과 썰물현상이 발생하는 곳의 경우 5월 초에는 15°C~22°C사이를 나타내고, 6월에는 20°C~25°C의 분포를 보여주고 있다. 즉 바닷물과 만나는 지역의 온도가 호수 안쪽에 있는 지역보다 상대적으로 낮은 것으로 알 수 있으며, 조수간만의 차이로 온도가 크게 변화되는 시간을 제외하고는 일정한 분포의 그래프를 보여주고 있다는 것을 알 수 있다. 하지만 두 지역 모두 수심이 얕아 5월에 비해서 7월의 경우가 1°C에서 최대 7°C까지 더 높은 온도를 나타내고 있었다.

넷째, 장마의 경우 용존산소량을 더욱 낮춘다는 것을 알 수 있었다. 5월 16~19일, 6월 13~15일, 28~30일 모두 경포호 수질 환경이 악화되는 것을 알 수 있었다. 즉 비로 인하여 수질 환경이 좋아지는 것이 아니라 경포호의 용존산소량이 낮아지면서 수질이 더 안 좋아지는 결과를 보여주고 있으며, 호수 내부에는 이러한 차이가 바닷물이 만나는 지점에 비해서 5ppm이상의 차이를 보여주는 것으로 나타났다. 또한 온도 측면에서도 호수 안쪽에서는 비가 오는 기간 동안 3°C이상의 온도 감소가 있었지만, 밀물과 썰물 현상이 발생하는 지점의 경우 1°C안팎의 낮은 감소가 발생하였다.

7. 결 론

해양 환경 모니터링 시스템은 수중의 환경을 무선 센서 네트워크로 구성하여 실시간으로 측정된 수중 환경의 데이터를 사용자에게 보여주는 유용한 시스템이다. 해양 환경 모니터링 시스템을 통해 경포호의

수질 환경을 장시간 분석할 수 있었으며 해양 센서 네트워크를 구성하는 통신 환경의 기반기술도 논의하는 계기가 되었다.

경포호 환경 모니터링 시스템 구축을 통하여 기존의 문제점으로 제기되었던 몇 가지 이론을 현장 설치를 통하여 의문점을 해결할 수 있었다. 그리고 앞으로 해양 환경에서의 해수면 노드 및 앵커를 설치할 경우 고려할 사안에 대한 정보를 획득하였다. 해수면 노드의 설치를 통해 얻은 경험적 토대는 다음과 같이 네 가지로 분석할 수 있다.

첫째, 환경 부분에서 해수면의 경우 파도가 없는 환경에서도 지상 환경보다 더 많은 변화를 가질 수 있다. 해양 환경에서 해수면 노드의 경우 먼 거리의 데이터 전송은 최적의 상태에서는 지상 환경과 마찬가지로 200m 가량의 데이터 전송이 가능하지만, 해수면 환경이 나쁠 경우 근거리(70m) 밖에 전송을 하지 못한다. 즉, 기후 및 주변 환경에 의해 지상 환경보다 더 민감한 영향을 받는다. 또한 더 먼 거리의 전송을 위해서 안테나의 출력을 높이는 것보다 안테나의 위치를 높게 설치하는 것이 전송 거리에 있어서 더 높은 이득을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있었다.

둘째, 해양 설치 노드는 파고에 매우 민감하다는 것을 알게 되었다. 경포호 환경 모니터링 시스템에 설치된 부표의 경우 356kg이 넘는 무게를 견디는 제품이었고, 고정을 위해서 170kg에 가까운 앵커를 설치하였지만, 파고에 의해서 중심이 흔들리면서 센서 및 부표에 영향을 주며 최악의 경우 센서 및 부표가 뒤집혀 해수면 아래로 침수되는 경우도 발생하였다.

셋째, 수중 환경 모니터링 시스템에서는 에너지 기반의 멀티 홉 라우팅 기법이 매우 유용함을 알 수 있다. 시연에서 사용된 라우팅 기법은 트리 라우팅을 이용한 에너지 기반의 멀티 홉 라우팅 알고리즘이다. 수중 환경 모니터링 시스템의 경우 전송 거리가 기본적으로 멀기 때문에 게이트웨이에 데이터를 전송하기 위하여 중계 노드를 이용한 멀티 홉으로 전송된다. 그리고 외부, 내부 환경이 변화하여 전송 환경이 나쁠 경우 에너지 상태가 가장 좋은 이웃 노드를 통하여 데이터를 전달하도록 구성된다.

넷째, 센서 노드에 연결된 센서의 에너지 효율을 고려해야 한다. 시연에서 사용한 배터리의 경우 일반적인 환경에서는 오래 사용할 수 있는 고용량 배터리임에도 불구하고, 해양 센서에서 소모하는 전력이 일

반적으로 사용하는 지상 환경 센서의 전력과 비교했을 때 10배 이상 많은 전력을 소모하기 때문이다. 그렇기 때문에 해양 환경 관측을 위해서는 지상 환경보다 10배 이상의 고용량 배터리 장착이 요구되며 이와 함께 해수면 환경에서 장시간 동안 노드를 유지하기 위해서 태양열이나 풍력 등의 보조 충전을 위한 장치가 필요하다는 것을 알게 되었다.

본 논문에서는 해양 환경을 모니터링 하기 위한 센서 네트워크를 설계하고 구성하는 과정을 설명하였다. 수집된 해양 환경 데이터들을 DB화하여 해양 환경을 분석하는 유용한 자료가 됨을 보여주는 실험이다. 또한 시스템을 갖추기 위한 기반 여건들을 분석하고 해결함으로써 획득한 지식들을 통해 향후 응용 연구 과제에 필요한 기반기술로 이용될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] J. S. Jaffe, R. Glatts, C. Schurgers, D. Mirza, P. J. S. Franks, P. Roberts, and F. Simonet, "AUE: An Autonomous Float for Monitoring the Upper Water Column," *IEEE Oceans 2007-Europe*, pp. 1-4, June, 2007.
- [2] <http://www.oceanleadership.org/> Consortium for Ocean Leadership.
- [3] I. F. Akyildiz, D. Pompili, and T. Melodia, "Underwater acoustic sensor networks: research challenges," *Ad Hoc Networks (Elsevier)*, Vol.3, pp. 257-279, May, 2005.
- [4] J. H. Cui, J. Kong, M. Gerla, and S. Zhou, "Challenges: Building Scalable Mobile Underwater Wireless Sensor Networks for Aquatic Applications," *IEEE Networks, Special Issue on Wireless Sensor Networking*, Vol.20, No.3, pp. 12-18, May/June, 2006.
- [5] J. Partan, J. Kurose, and B. N. Levine, "A Survey of Practical Issues in Underwater Networks," In *Proc. ACM WUWNet*, pp. 17-24, Sep, 2006.
- [6] A. Mainwaring, J. Polastre, R. Szewczyk, D. Culler, and J. Anderson, "Wireless sensor networks for habitat monitoring," in *1st ACM International Workshop on Wireless Sensor*

Networks and Applications (WSNA 2002), Atlanta, Ga, USA, Sep, 2002.

- [7] J. G. Proakis, E. M. Sozer, J. A. Rice, and M. Stojanovic, "Shallow Water Acoustic Networks," *IEEE Communications Magazine*, pp. 114-119, Nov, 2001.
- [8] J. Tateson, C. Roadknight, A. Gonzalez, T. Khan, S. Fitz, I. Henning, N. Boyd, C. Vincent, and I. Marshall, "Real World Issues in Deploying a Wireless Sensor Network for Oceanography," in Proc. of the Workshop on Real-World Wireless Sensor Networks (REALWSN 2005), Stockholm, Sweden, Jun, 2005.
- [9] Wireless Medium Access Control (MAC) and physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), IEEE 802.15.4, Sep., 2006.
- [10] <http://maxfor.co.kr/> Maxfor Technology Inc.
- [11] <http://www.stevenswater.com/> Stevens Water Monitoring Systems Inc.



윤 남 열

2003년 안동대학교 정보통신공학과 공학사
 2009년 국민대학교 BIT 비즈니스 정보통신 이학석사
 2009년~현재 국민대학교 비즈니스 IT전문대학원 유비쿼터스시스템 박사과정

관심분야 : USN, UW-ASN 통신 프로토콜, 임베디드 시스템



남궁정일

1995년 인천대학교 기계공학과 공학사
 2005년 국민대학교 BIT 비즈니스 정보통신 이학석사
 2007년~현재 국민대학교 비즈니스 IT전문대학원 유비쿼터스시스템 박사과정

관심분야 : 센서 네트워크, 애드혹 네트워크, 통신 프로토콜, 임베디드 시스템



박 현 문

2004년 한세대학교 정보통신학부 공학사
 2006년 국민대학교 전자공학과 정보통신학 석사
 2006년~2008년 8월 국민대학교 BIT 비즈니스 정보통신 박사수료

2008년 9월~현재 전자부품연구원 연구원
 관심분야 : 위치인지, USN, WLAN, 해양 통신



박 수 현

1988년 고려대학교 컴퓨터학과 이학사
 1990년 고려대학교 수학과 전산학 이학석사
 1998년 고려대학교 컴퓨터학 이학박사
 1990년 (주)LG 전자 중앙연구

소 선임연구원
 1999년~2001년 동의대학교 공과대학 컴퓨터·소프트웨어 조교수
 2002년~현재 국민대학교 정보시스템전공 부교수
 관심분야 : 유비쿼터스 네트워크, Underwater Sensor Network



김 장 화

1985년 고려대학교 수학교육과 이학사
 1987년 고려대학교 전산학 이학석사
 1990년 고려대학교 전산학 이학박사

2002년~2004년 Visiting Scholar, Dept. of Computer Science, Texas A&M 대학
 1989년~현재 강릉원주대학교 컴퓨터정보공학부(컴퓨터공학전공) 교수
 2005년~현재 강릉원주대학교 해양센서 네트워크시스템 기술연구센터(ITRC) 소장
 관심분야 : USN, UW-ASN, 분산시스템