KIPS Tr. Comp. and Comm. Sys.
Vol.5, No.9 pp.247~260 pISSN: 2287-5891

http://dx.doi.org/10.3745/KTCCS.2016.5.9.247

Sensor Network System for Littoral Sea Cage Culture Monitoring

DongHyun Shin† · Changhwa Kim††

ABSTRACT

Sensor networks have been used in many applications such as smart home, smart factory, etc. based on sensor data. Sensor networks can change system requirements and architectures depending on their application areas. Currently, sensor network application cases in ocean environments are very rare because the ocean environments have much difficult accessibility more poor conditions, higher wave heights, more frogs, much heavier salinity, etc., compared with ground environments. In this paper, we propose the requirements, architecture and design of a sensor network system for the littoral sea cage culture monitoring and we also introduce its operation results through the development. The developed system based on our research provides users with functionalities to extract, monitor, and manage underwater environmental conditions suitable to littoral sea cage culturing of fishes.

Keywords : Underwater Monitoring, Littoral Sea Cage Culture, Sensor Network, Underwater Environment Monitoring, Sensor Node, Gateway

연근해 가두리 양식장 모니터링을 위한 센서네트워크 시스템

신 동 현† · 김 창 화††

요 약

센서네트워크는 스마트홈, 스마트 팩토리 등 다양한 분야에서 센서 데이터 기반으로 활용되고 있다. 이러한 센서네트워크는 그 활용 분야에 따라 시스템 아키텍처, 요구사항, 설계 등이 달라지게 된다. 현재 해양 환경은 지상 환경에 비해 접근하기가 굉장히 어렵고 높은 파고, 안개, 염분 등의 열악한 조건을 가지고 있어 센서네트워크의 응용분야가 굉장히 적은 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 연근해 가두리 양식장 모니터링을 위한 센서네트워크 시스템의 요구사항 분석과 아키텍처를 제안하고 이를 기반으로 연근해 가두리 양식장 모니터링을 위한 시스템을 설계한다. 또한 본 논문에서 설계한 시스템에 대해 실제 개발을 통해 운용하면서 얻은 결과를 제시한다. 본 연구를 기반으로 개발한 시스템은 연근해 가두리 양식을 위해 수집한 수중 데이터를 중심으로 양식에 필요한 각종 연관성 분석을 통해 가두리 양식에 적합한 수중 환경조건을 도출하고, 모니터링 및 관리할 수 있는 기능을 제공한다.

키워드 : 수중 모니터링, 연근해 수산양식, 센서네트워크, 해양 환경 모니터링, 센서노드, 게이트웨이

1. 서 론

센서네트워크는 IoT (Internet of Things)의 기반이 되는 기술로서 해양환경, 스마트 홈, 스마트 팩토리, 군사시설 등 여러 분야에 활용되고 있다[1-3]. 센서네트워크는 Fig. 1과 같이 기본적으로 센서, 센서노드, 게이트웨이(싱크)노드, 통합모니터링 센터 등의 구성요소가 연관관계를 가지며 센서 데이터를 기반으로 응용되고 있지만, 응용 분야에 따라 센서네트워크를 구성하고 있는 요소들의 통신, 프로토콜, 아키텍처 등이 달라질 수 있다. 예를 들면, 일반적으로 지상에서의 각 노드들은 통신을 위해 RF (Radio Frequency)를 사용하지만, 수중에서는 음파 통신을 사용한다[4, 5].

하지만 센서네트워크는 일반적으로 사람이 쉽게 접근할 수 없는 곳에 설치되어 운용되기 때문에 주로 무선 전원을 공급받는다. 해양 환경의 경우 높은 파고, 안개, 태풍 등의 극한 환경으로 인해 지상 환경에 비해 접근성이 더 떨어져 무선 전원 교체가 더욱 어려운 단점이 있다[5-7].

특히 해양 환경은 우리 식탁에 자주 올라오는 고등어, 갈치 등의 생선 등의 자원과 하이드트레이드, 메탄가스 등의

※ This research was a part of the project titled 'Development of the wide-band underwater mobile communication systems' funded by the Ministry of Oceans and Fisheries, Korea.
※ This work way partly supported by the ICT R&D program of MSIP/IITP [10041813, Technology Development for USN-based Energy Management, Marine Sensors, Sensor Nodes and Middleware for Efficiencies and Enhancement of Marine Industry]
† 준 회 원 : 강릉원주대학교 컴퓨터공학과 박사과정
†† 정 회 원 : 강릉원주대학교 컴퓨터공학과 교수
Manuscript Received : August 9, 2016
Accepted : August 29, 2016
* Corresponding Author : Changhwa Kim(kch@gwnu.ac.kr)

자원이 풍부한 곳으로 이 자원들에 대한 다양한 생육환경의 실시간 모니터링, 데이터 수집, 저장, 분석 등의 기술이 요구되지만 개발 가치가 매우 높음에도 해양 환경에서의 응용분야와 개발 사례가 매우 적다.

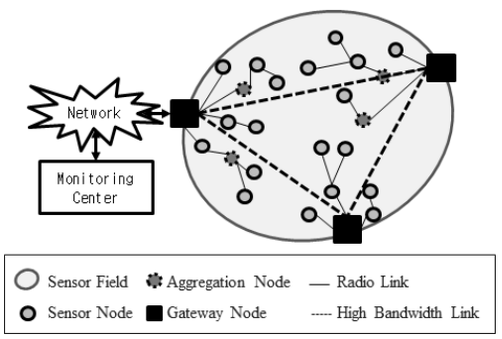

Fig. 1. Components of Wireless Sensor Network

이를 위해 본 연구팀은 2012년 6월부터 2015년 8월까지 연근해 수산양식 모니터링을 위한 센서네트워크 시스템 응용기술을 개발 및 운용하였다. 본 논문에서는 본 연구팀에서 개발한 연근해 수산양식 모니터링을 위한 센서네트워크 시스템 응용기술에 대해 소개하고, 시스템 개발을 통해 얻은 결과물을 다룬다.

또한, 본 연구를 통해 개발한 시스템은 연근해 가두리 양식을 위한 데이터를 수집하여 각종 연관성 분석을 통해 가두리 양식에 적합한 수중 환경조건을 도출하고 모니터링 및 관리할 수 있는 기능을 제공하여, 일반적인 양식뿐만 아니라, 참치양식에도 응용할 수 있다. 참치는 육질이 좋은 2m 이상의 성어의 경우 한 마리 당 최대 1억원이 넘는 등 수익이 매우 높은 어종으로 전 세계적으로 3~4개국이 보유하고 있다.

본 논문은 2절에서 관련연구, 3절에서 연근해 가두리 양식장 모니터링을 위한 센서네트워크 시스템의 요구사항과 아키텍처, 4절에서 시스템 설계, 5절에서 시스템 구성요소간 통신 프로토콜 설계, 6장에서 통합 시스템 구현, 7장에서 욕지도 가두리양식장 해양환경 분석, 8장에서 결론으로 구성된다.

2. 관련 연구

센서네트워크는 지상 환경에서 주로 활용되고 있으며 초기의 센서네트워크는 단순히 환경의 모니터링을 위한 용도로 개발되었다. 최근 들어 센서네트워크는 기술이 발전하면서 초기에 모니터링을 위한 용도와 더불어 데이터 마이닝 등의 여러 분야에 활용이 가능하도록 개발되고 있다.

최근의 센서네트워크 연구 분야와 활용에 대해 정리하면 다음과 같다[8-11].

- 스마트 홈 : 원격 전등제어, 온도 제어 등
- 스마트 팩토리 : 공장 자동화 시스템
- 군사시설 : 적 침입 모니터링 시스템
- 산림시설 : 화재 모니터링 시스템
- IoT분야 : IoT의 기능 중 센싱 부분 담당
- 기타분야

위와 같이 센서네트워크는 다양한 분야에 활용되고 있지만 해양 환경에서는 파고, 안개 등의 열악한 조건으로 인해 해양환경에서는 주로 연구되지 못했다[7]. 수중 환경에 설치하는 경우는 더더욱 그렇다. 수중 환경에서는 전파통신을 사용할 수 없기 때문에 음파통신을 사용한다. 하지만 음파통신은 높은 에러율, 낮은 대역폭 등의 단점으로 개발이 어려울 뿐만 아니라 아직 연구 초기단계로 음파통신의 문제점이 주로 나타나는 PHY와 MAC에 집중적으로 연구가 진행되고 있다[3]. 따라서 수중 음파통신을 사용하는 센서네트워크의 응용은 극히 제한적으로 활용되고 있으며 가두리 양식장을 위한 응용은 본 연구팀에서 2012~2013년간 연구하였지만 그 당시 통신은 단방향 통신으로 노드의 장애 판단과 에러 처리가 불가능하였으며, 실시간으로 센싱 주기 변경 등을 할 수 없는 문제가 있었다[1].

3. 시스템 요구사항 및 아키텍처

연근해 가두리 양식장 모니터링을 위한 센서네트워크 시스템을 개발하기 위해서는 크게 통신 방법, 하우징, 복합 수중센서, 노드의 에너지 관리 등이 필요하며, 시스템의 설치 환경에 적합한 아키텍처를 설계해야 한다.

3.1 연근해 수산양식용 센서네트워크를 위한 요구사항

1) 전파 통신과 음파 통신

센서노드가 해수면 위에 설치되어 있고, 복합 수중센서는 유선으로 통신을 한다면 통신 방법 측면에 있어서는 커넥터 부분의 방수와 염분에 강한 재질을 사용해야 한다. 하지만 수중 통신을 하는 경우에는 통신 방법에 대한 고려가 추가적으로 요구된다. 음파통신은 전파통신에 비해 낮은 속도, 낮은 대역폭, 높은 에러율 등의 단점이 있지만, 전파통신은 수중에서 굴절, 감쇄 등으로 인해 사용할 수 없기 때문에 수중에서는 음파통신을 사용해야 하지만 아직 수중 음파통신에 대한 기술의 한계로 인해 응용하기에는 어렵다.

또한 통신에 대한 오류 처리가 중요하다. 해양의 경우 안개, 파도 등 통신 환경이 굉장히 열악하며, 특히 게이트웨이는 육지에 있는 통신 기지국과의 거리가 굉장히 멀기 때문에 통신이 굉장히 불안정하다. 따라서 서버 및 노드간 통신 시 발생하는 오류 등에 대한 처리가 필요하다. 안테나의 경우도 외부로 노출되는 경우 방수가 가능한 안테나를 사용해야 하며, 통신이 가능하도록 출력이 충분히 높아야 한다.

2) 복합 수중센서

복합 수중센서의 경우 바다에 존재하는 부유물질과 염분에 의한 센서 손상을 방지해야 한다. Fig. 2와 같이 해양에 센서를 오래 유지하게 될 경우 따개비와 같은 부유물질이 센

서에 달라붙게 되어 정상적인 센서 데이터 수집 기능을 할 수 없게 된다. 또한 방수에 유의하지 않은 경우 해수의 유입으로 염분 성분에 의해 복합 수중센서가 부식될 수 있다.

수중에서 따개비와 같은 부유 물질에 대한 부착 현상을 fouling 현상이라 하는데 fouling 현상과 더불어 염분에 의한 센서 손상을 방지하기 위해서는 주기적으로 센서를 꺼내어 청소하거나, 바다 속에서 자동으로 센서를 세척할 수 있는 자가 세척 장치가 필요하다. 장기적으로는 fouling 현상과 부식을 방지할 수 있는 하우징과 센서에 대한 재료 개발이 필요하다.

Fig. 2. Damaged Underwater Sensor by fouling[11]

3) 센서노드 및 게이트웨이의 에너지 관리

해양 환경에 설치된 센서노드와 게이트웨이는 육지로부터 전원 공급을 받을 수 없기 때문에 대부분 무선 전원을 사용한다. 무선 전원은 주기적으로 충전 및 교체해야 하지만 급변하는 해양 환경으로 인해 무선 전원의 충전 및 교체를 위한 접근이 쉽지 않아 노드의 에너지 관리는 필수적이다.

에너지 관리는 대표적으로 배터리와 소프트웨어 측면에서 취할 수 있는 조치가 있다. 배터리 측면에서는 에너지 하베스팅 장치의 설치를 통해 각 노드에 전원공급을 하여 동작을 유지시킬 수 있으며, 소프트웨어 측면에서는 소프트웨어 개발 시 인터럽트 혹은 사건 기반 방식으로 개발하여, 평소에는 sleep모드로 작동하다 인터럽트 혹은 사건이 발생될 때마다 wake-up하여 핸들러를 수행하면서 에너지 소모를 줄이는 방법이 있다. 특히 에너지 하베스팅 장치를 설치할 경우 노드에 공급되는 전원의 양을 정확하게 측정하여 넉넉하게 제공해야 한다.

4) 노드간 센서 데이터 전송 및 관리기능

해양 환경은 일반 지상 환경에 비해 사람이 더 접근하기 어려운 환경에 노출되어있기 때문에 노드의 무선 전원 교체 혹은 노드의 작동상태를 파악하기 위해 사람이 직접 확인하기에는 많은 애로사항이 존재한다. 따라서 사람이 접근하기 어려운 해양환경에서 노드간 통신을 통해 각 노드가 정상작동 상태인지, 장애가 발생하였는지 알 수 있는 관리 기능이 필요하다.

또한, 센서의 센싱 주기는 상황에 따라 처음에 설정한 주기에서 변경될 필요가 있다. 하지만 주기를 변경하기 위해서는 노드를 수거하여 소프트웨어를 업데이트해야하기 때문에 굉장히 많은 비용이 소모된다. 따라서 모니터링 센터에서 간단한 명령을 통해 주기를 변경할 수 있는 기능이 함께 요구된다.

5) 통합 시스템 관리기능

실제 센서네트워크 시스템을 통해 수집된 센서 데이터가 관리되지 않는다면 센서 데이터를 기반으로 활용되고 있는 센서네트워크는 의미가 없어지게 된다. 따라서 각 센서에서 수집된 센서 데이터들은 통합 시스템을 통해 관리되어야 하며, 이 데이터들을 응용 분야에 맞게 가공하여 응용분야에 적합한 정보를 제공해야 한다.

뿐만 아니라 게이트웨이, 센서노드 등이 정상작동하지 않는 경우 정상적으로 센서 데이터를 전달받을 수 없고, 어디에서 문제가 발생한지 직접 찾아야 하기 때문에 장애를 해결하는데 많은 비용이 발생한다. 이를 위해 통합 시스템에서는 센서 데이터의 센싱 주기 변경, 게이트웨이, 센서노드 등의 상태 확인 기능을 통해 장애관리 및 센서 데이터 수집에 비용을 적게 소모하는 것이 요구된다.

6) 방수하우징케이스 및 하드웨어

노드, 센서 등을 설치하기 위해서는 하우징케이스가 필수적이다. 특히 해양 환경에서는 해양 환경을 고려하여 하우징 케이스를 제작해야 한다. 해양 환경에서는 앞에서 소개했듯이 복합 수중센서의 fouling 현상, 전자기기에 취약한 염분, 물 등으로부터 일차적으로 보호해야 하며, 태풍, 높은 파도 등의 열악한 해양 환경으로부터 이차적으로 보호해야 한다. 따라서 방수하우징케이스는 fouling 현상 및 염분에 의한 부식과 방수뿐만 아니라 태풍, 파고, 너울, 진동 등에 버틸 수 있는 고정 방법 혹은 고도의 내구성 등이 요구된다.

커넥터 부분은 파도 등에 의한 해수유입으로 하우징 내부의 보드가 부식될 수 있기 때문에 흔들림 등에 강한 형태 및 재질의 커넥터를 선택해야 한다. 하드웨어 부품의 경우 정상작동 하는 온도 범위를 가지고 있기 때문에 수중에 설치되는 장비에 포함되는 부품은 영하, 영상에서 작동하는 것을 선택해야 하며, 해수면 위에 설치하는 경우 수중에 설치하는 것 보다 영하에서의 작동 환경에 더 유의해야 한다.

7) 노드의 이동성 및 위치인식

센서네트워크를 위해 설치한 노드는 유지보수를 위해 노드의 위치를 파악하여 수거할 필요가 있는데, 노드를 해수면 위에 고정한 경우는 노드의 위치가 변하지 않기 때문에 노드의 위치를 따로 파악할 필요가 없다, 하지만 수중에 고정 혹은 이동형으로 설치한 경우 GPS를 설치하여 쉽게 위치를 파악할 수 있지만 이동형이면서 수중에 설치한 경우에는 위치 파악이 쉽지 않다.

특히 수중에 설치한 경우 GPS는 전파를 사용하기 때문에 수중에서는 GPS를 사용할 수 없다. 그로 인해 수중에서는 3차원 인식을 바탕으로 하여 수중에 있는 노드의 위치를 파악한다. 3차원 인식의 경우 서로 다른 노드 4개와 음파 통신을 이용하여 노드의 위치를 파악할 수 있지만 음파 통신의 경우

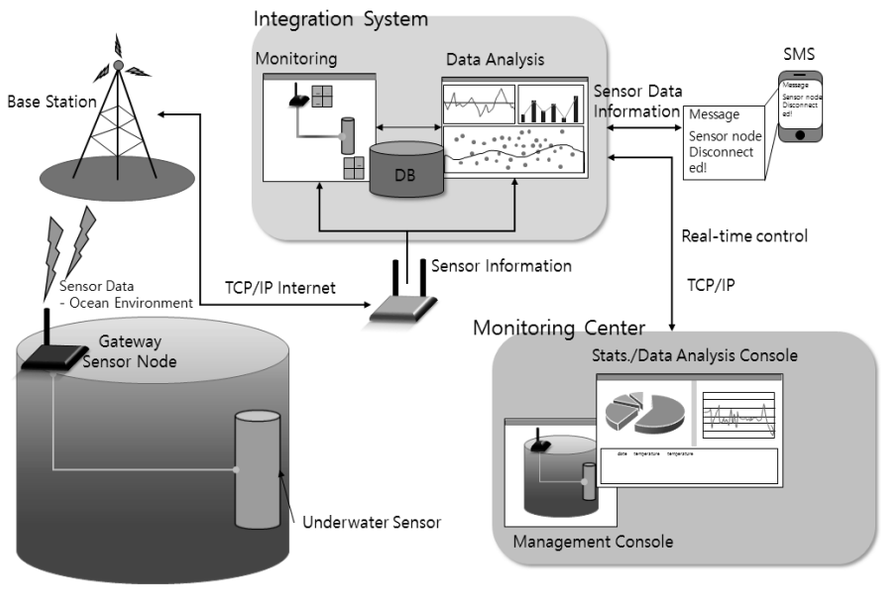

Fig. 3. System Architecture for Littoral Sea Cage Culture Monitoring

속도가 느릴 뿐만 아니라, 수질에 따라 음파의 전파 속도가 다르기 때문에 위치 인식이 어려운 단점이 있다.

따라서 이동형 노드를 수중에 설치할 경우 위치 인식에 대한 문제를 해결하기 위한 방법을 충분히 고려해야 한다.

3.2 연근해 수산양식을 위한 센서네트워크시스템 아키텍처

본 연구팀에서 개발한 센서네트워크 시스템은 Fig. 3과 같다. 시스템을 구성하는 요소는 크게 연근해 수산양식 모니터링과 데이터 분석을 위한 통합 시스템, 게이트웨이, 센서노드, 복합 수중센서로 이루어진다. 복합 수중센서에서 수집된 데이터는 센서노드를 통해 게이트웨이로 전달되고, 게이트웨이에서는 센서노드로부터 수신한 데이터를 통합 시스템으로 전송한다.

1) 통합 시스템과 게이트웨이

통합 시스템은 복합 수중센서로부터 수집된 센서 데이터를 최종적으로 저장하고 응용분야에 맞도록 가공해주는 역할을 하며, 게이트웨이는 센서노드로부터 받은 데이터를 다른 프로토콜을 사용하는 네트워크로 전달해주는 역할을 한다.

이를 위해 게이트웨이는 센서노드로부터 전달받은 데이터를 통합 시스템으로 전달 혹은 통합 시스템으로부터 전달받은 데이터를 센서노드로 전달하는 역할을 하며, 통합 시스템과 게이트웨이 간에는 인터넷을 사용한다.

2) 게이트웨이와 센서노드

센서노드는 게이트웨이로부터 전달받은 메시지를 복합 수중센서로 전달하거나, 복합 수중센서로부터 받은 메시지를 게이트웨이로 전달하는 역할을 한다. 또한, 센싱 주기 변경에 따라 복합 수중센서로 센서 데이터를 요청하기도 한다.

게이트웨이는 통합 시스템으로부터 받은 메시지를 센서노드로 전달하며, 센서노드는 복합 수중센서로부터 수집한 데이터를 게이트웨이로 전달한다. 게이트웨이와 센서노드의 경우 통합 시스템에서 현재 상태를 파악할 수 있는 기능이 존재한다.

3) 센서노드와 복합 수중센서

센서노드는 통합 시스템의 요청에 따라 복합 수중센서로 센서 데이터 요청 주기를 변경할 수 있으며, 복합 수중센서로 센싱 주기에 따라 센서 데이터를 요청한다. 복합 수중센서는 센서노드의 요청에 따라 센서 데이터를 센서노드로 전송하는 역할을 담당한다.

만약 센서노드가 복합 수중센서로 센서 데이터 요청을 했지만 제한시간 내에 센서 데이터를 수신하지 못한다면, 복합 수중센서의 값을 모두 'F'로 처리하여 게이트웨이로 전달한다. 센서 데이터 값이 'F'로 되어있는 것은, 복합 수중센서에서 센서 데이터를 수신하지 못하여 복합 수중센서의 상태가 정상동작하지 않음을 의미한다.

4. 연근해 수산양식용 센서네트워크시스템 설계

본 절에서는 연근해 수산양식용 센서네트워크 시스템 아키텍처의 구성요소들인 통합 시스템, 게이트웨이, 센서노드, 복합 수중센서, 방수 하우징 케이스에 대한 설계 내용을 자세하게 다룬다.

4.1 통합 시스템

연근해 수산양식을 위한 통합 시스템은 Fig. 4와 같다. 센서 자료를 수신하면 통합 시스템에 맞는 포맷으로 변경 후 데이터베이스에 저장하며, 게이트웨이, 센서, 사용자, 알람값, 가두리에 등을 설정할 수 있다. 또한, 수집된 센서 데이터들의 일간, 주간, 월간, 특정기간의 통계를 낼 수 있으며, 현재 센서값과 센서의 상태 이상 유/무에 따라 알람을 제공한다.

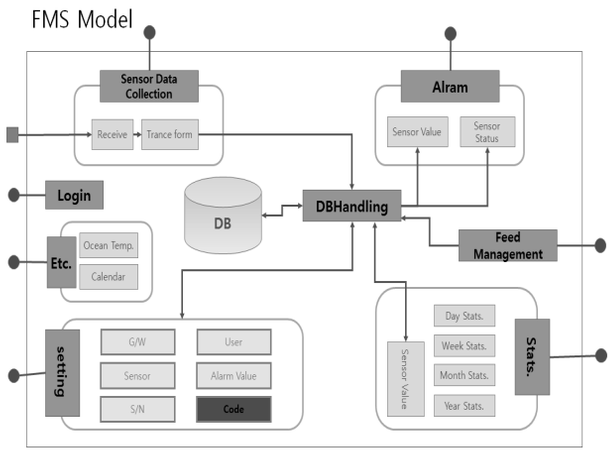

Fig. 4. Monitoring System Design

4.2 게이트웨이

게이트웨이는 Fig. 5와 같은 구조로 설계하였다. 크게 MCU, RF모듈 1, RF모듈 2로 구성하였다. RF모듈 1은 육상의 통합 시스템과의 통신을 위해 사용되며, RF모듈 2는 센서노드와의 통신에 사용된다. 또한 RF모듈로부터 받은 데이터와 메시지들은 MCU를 통해 처리된다.

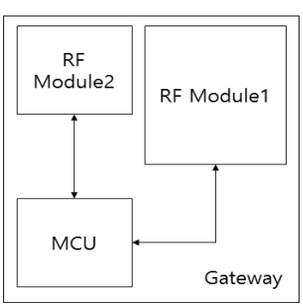

Fig. 5. Gateway Design

4.3 센서노드

센서노드는 Fig. 6과 같은 구조로 설계하였다. 센서노드는 MCU, RF모듈, 센서 인터페이스로 구성되어있으며, MCU는 복합 수중센서에서 수집된 데이터 혹은 RF모듈로부터 수신된 메시지에 대한 처리를 담당하며, 센서 인터페이스는 복합 수중센서와 통신이 가능하게 해주는 역할을 담당한다.

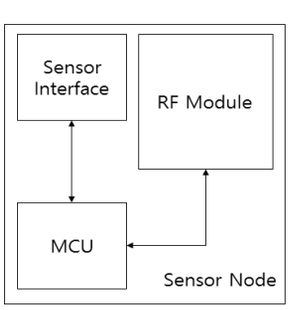

Fig. 6. Sensor Node Design

4.4 복합 수중센서

복합 수중센서는 Fig. 7과 같이 DO, pH, 온도, 탁도를 측정할 수 있는 4가지 센서가 들어가며, 무전원 자가세척장치를 통해 센싱 부위를 깨끗하게 할 수 있도록 설계하였다.

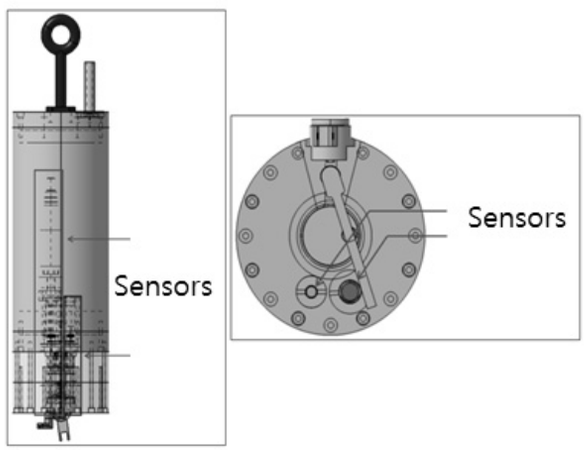

Fig. 7. Underwater Sensor Design[11]

4.5 방수하우징케이스

방수하우징케이스는 해양환경에 설치되는 게이트웨이와 센서노드를 바다의 열악한 환경으로부터 보호해주는 역할을 하므로 매우 중요하다. 특히 해수가 유입되면 쉽게 부식되어 정상적인 기능을 할 수 없으므로 방수와 부식에 강해야 한다. 따라서 방수하우징케이스는 Fig. 8과 같이 설계하였으며, 재질은 스테인리스를 사용하였다.

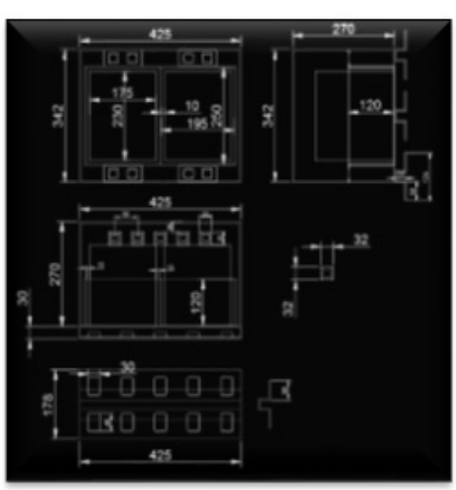

Fig. 8. Housing Case Design[11]

5. 시스템 구성요소간의 통신설계

연근해 가두리 양식을 위한 센서네트워크의 구성요소는 Fig. 9와 같이 통합모니터링시스템, 게이트웨이, 센서노드, 복합 수중센서로 구성된다. 통신을 위해 사용되는 메시지의

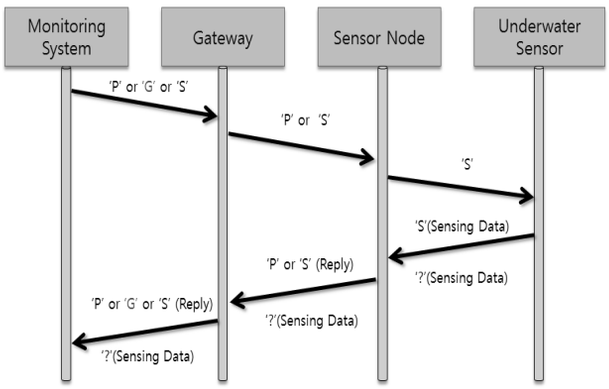

Fig. 9. Communication Sequence Chart

종류는'P'메시지, 'G'메시지, 'S'메시지, '?'메시지가 있으며, 'P'메시지는 복합 수중센서의 센싱 주기를 변경하기 위한 메시지, 'S'메시지는 센서노드의 상태 확인을 위한 메시지, 'G' 메시지는 게이트웨이의 상태 확인을 위한 메시지, '?'메시지는 센서 데이터를 나타낸다.

5.1 통합시스템과 게이트웨이간 통신 프로토콜

통합모니터링시스템과 게이트웨이간 통신에 사용되는 메시지 종류는 'P', 'G', 'S', '?'메시지가 있으며, 종류와 기능은 다음과 같다.

- 'P' 메시지 : 통합모니터링시스템과 게이트웨이간 센싱 주기를 변경하기를 요청하는 메시지를 나타내는 포맷으로 Fig. 10과 같은 형태를 지닌다. 포맷에는 start, command, gateway address, sensor node address, sensing period, end로 구성되며, start의 경우 '<'를 사용하여 시작을 알리고 command는 'P', 'G', 'S', '?'를 사용할 수 있으며, 각 문자에 따라 sensing period에 해당하는 내용이 변경될 수 있다. 그림과 같이 통합모니터링시스템에서는 게이트웨이로 'P'메시지를 통해 센싱 주기를 초 단위로 변경 요청할 수 있으며, 이에 대한 응답으로 그림의 포맷에 해당하는 데이터를 수신한다.
- 'G' 메시지 : 게이트웨이의 상태를 확인하는 것으로 Fig. 10에서 (c)와 같이 start, command, gateway address, end 포맷을 전송하고, 그에 대한 응답으로 Fig. 10의 아래 그림과 같은 포맷이 수신된다.

Byte: 1	1	12	5	10	1
Start	Command	Gateway Address	Sensor Node Address	Sensing Period	End

Byte: 1	1	8	6	12	5	3	3	1
Start	Command	Date	Time	Gateway Address	Sensor Node Address	Gateway LQI	Sensor Node LQI	End

(a) 'P' Message

Byte: 1	1	12	5	1
Start	Command	Gateway Address	Sensor Node Address	End

Byte: 1	1	8	6	12	5	3	3	10	10	10	...	1
Start	Command	Date	Time	Gateway Address	Sensor Node Address	Gateway LQI	Sensor Node LQI	Sensor1	Sensor2	Sensor3	...	End

(b) 'S', '?' Message

Byte: 1	1	12	1
Start	Command	Gateway Address	End

Byte: 1	1	12	2	1
Start	Command	Gateway Address	OK	End

(c) 'G' Message

Fig. 10. Top : Integration System → Gateway, Bottom : Gateway → Integration System

Byte: 1	1	12	5	10	1
Start	Command	Gateway Address	Sensor Node Address	Sensing Period	End

Byte: 1	1	12	5	3	1
Start	Command	Gateway Address	Sensor Node Address	Gateway LQI	End

(a) 'P' Message

Byte: 1	1	12	5	1
Start	Command	Gateway Address	Sensor Node Address	End

Byte: 1	1	12	5	3	10	10	10	...	1
Start	Command	Gateway Address	Sensor Node Address	Gateway LQI	Sensor1	Sensor2	Sensor3	...	End

(b) 'S', '?' Message

Fig. 11. Top : Gateway → Sensor Node, Bottom : Sensor Node → Gateway

Byte: 1	1	1
Start	Command	End

Byte: 1	1	10	10	10	...	1
Start	Command	Sensor1	Sensor2	Sensor3	...	End

Fig. 12. '?' Message, Top : Sensor Node → Underwater Sensor, Bottom : Underwater Sensor → Sensor Node

- 'S' 메시지 : 센서노드의 상태를 확인하는 것으로, Fig. 10의 (b)의 포맷에 해당하는 제외된 데이터를 전송하고, 그에 대한 응답으로 Fig. 10(b)의 아래 그림에 해당하는 포맷을 수신하게 된다. 이때 gateway address와 sensor node address를 지정할 수 있으며, 모든 게이트웨이 혹은 센서노드로부터 응답을 받고 싶은 경우 해당 포맷에 주소 부분에 'F'를 채워서 보낸다.
- '?' 메시지 : 센서노드로부터 게이트웨이가 센서 데이터를 수신한 경우 통합 시스템으로 전송한다. 이때 포맷은 Fig. 10의 아래 그림을 따른다.

5.2 게이트웨이와 센서노드간 통신 프로토콜

게이트웨이와 센서노드간 통신 프로토콜에 사용되는 메시지 포맷은 Fig. 11과 같다. 게이트웨이와 센서노드간 통신 프로토콜에서도 command에 따라 포맷이 달라지며, command의 종류와 기능은 다음과 같다

- 'S' 메시지 : 센서노드의 동작 상태를 확인하기 위한 메시지로 게이트웨이에서 센서노드로 포맷 전송 시 Fig. 11(b)에 해당하는 포맷을 전송하며 센서노드에서 게이트웨이로 전달할 때는 Fig. 11(b)의 아래 포맷을 전송한다. 이때 센서 값은 복합 수중센서로부터 가짜 데이터 값을 수신한다. 복합 수중센서에서는 에너지 효율을 위해 평소에 sleep모드에 진입해 있다가 1분 후 실제 데이터를 보내지만, 'S'메시지의 경우 센서노드의 상태 확인을 위한 메시지이므로 센서의 실제 값을 받을 필요가 없다. 따라서 센서에서는 실제 데이터가 아닌 센서의 상태가 정상이라는 것을 표현하기 위해 가짜 데이터를 전송하게 된다.
- 'P' 메시지 : 센서노드가 게이트웨이로부터 Fig. 11(a)의 포맷을 수신하면 센서노드에서는 Fig. 11(a)에서 sensing period에 해당하는 주기로 센싱 주기를 변경하고, Fig. 11(a)의 아래 포맷에 해당하는 내용을 게이트웨이로 전송한다.
- '?' 메시지 : 이 메시지는 센서노드가 복합 수중센서로부터 센서 데이터를 수신한 경우 게이트웨이로 전송한다. 이때 포맷은 Fig. 11의 아래 그림을 따른다.

5.3 센서노드와 복합 수중센서간 통신 프로토콜

센서노드와 복합 수중센서간 통신 프로토콜에 사용되는 메시지는 'S'메시지와 '?'메시지이며, 그 종류와 기능은 다음과 같다.

- 'S' 메시지 : 센서노드는 게이트웨이로부터 Fig. 12와 같이 'S'메시지를 수신하게 되면 복합 수중센서로 센서 데이터 요청을 하게 되고, 복합 수중센서는 센서 노드로 가짜 데이터를 만들어 전송한다.
- '?' 메시지 : 센서노드가 센싱 주기에 맞춰 복합 수중센서로 센서 데이터를 요청하는 메시지로 이 메시지를 복합 수중센서가 수신하는 경우 곧바로 센서노드로 센서 데이터를 전송하게 된다. 복합 수중센서의 경우 에너지 소모를 줄이기 위해 평소에 센서의 상태를 sleep모드로 활성화해놓고 있으며 센서노드로부터 센서 데이터 요청을 받은 후 1분 후에 센서 데이터 요청을 또 받아야 정상적인 데이터 전송이 가능하다. 이는 복합 수중센서가 sleep모드에서 활성화 되기 위해서는 약 1분의 시간이 필요하기 때문이다. 하지만 'S'메시지의 경우 릴레이노드의 동작 상태만 확인하기 때문에 가짜 데이터를 전송한다.

6. 통합 시스템 구현

본 절에서는 시스템 구현환경, 시스템 구현, 시스템의 테스트 및 활용결과를 다룬다.

6.1 시스템 구현환경

실제 통영 욕지도 인근 가두리양식장에 연근해 수산양식을 위한 센서 데이터 수집을 위해 센서네트워크를 2015년 1월~8월까지 약 8개월 간 Fig. 13의 경상남도 통영시 욕지면 욕지도에 설치 및 운용하였다. 설치된 시스템 아키텍처는 Fig. 3의 아키텍처를 사용하였고, 노드를 고정시켰기 때문에 노드의 이동성과 위치 인식은 고려하지 않았다.

시스템에 사용된 노드는 게이트웨이 1, 센서노드2, 복합 수중센서노드 2개이다. 이 노드들에서 수집된 센서 데이터는 최종적으로 통합 모니터링센터로 전해져 회유성 어종의 양식을 위한 데이터 마이닝이 이루어진다. 욕지도 테스트베드는 가두리 크기가 지름이 약 20m이며, 가두리간 거리는 수 km 이상 떨어져 있기 때문에 노드간 1-hop통신을 사용하였다.

센서 데이터 수집 관련하여 개발한 노드의 성능은 다음과 같다.

- 게이트웨이 : 1MB의 Cortex-M4(Fig. 14)
- 센서노드 : 512KB의 Cortex-M3(Fig. 15)
- 복합 수중센서 : 센서 종류 - pH, 온도, 탁도

노드간 통신은 게이트웨이와 통합시스템 상에는 CDMA 통신, 게이트웨이와 센서노드 사이에는 Zigbee통신, 센서노드와 복합 수중센서 사이에는 RS-485통신을 사용하였다.

6.2 시스템 구현

1) 노드간 데이터 송수신을 위한 통신모듈

센서노드와 게이트웨이는 가두리 양식장 위에 설치하였으며, 센서노드와 게이트웨이 사이에는 Zigbee통신을, 게이트웨이는 기지국과 CDMA통신을 한다. 센서 4종류(수온, 용존산소, pH, 탁도)를 사용하는 복합 수중센서는 수중에서 센서 데이터를 수집하여 센서노드와 RS-485 통신을 한다. 가두리의 지름은 약 20m로 게이트웨이와 센서노드의 통신에 Zigbee 통신을 충분히 사용할 수 있으며, 복합 수중센서와 센서노드 간에는 RS-485통신을 통해 수심별 센서 데이터를 수집할 수 있는 장점이 있다.

2) 노드의 에너지 관리

노드의 에너지 관리를 위해 전원 공급은 무선 배터리를 통해 공급하고, 소프트웨어 측면에서도 인터럽트 기반의 이벤트 처리를 통해 에너지 효율성을 높였다. 배터리는 노드

Fig. 13. Testbed Environment

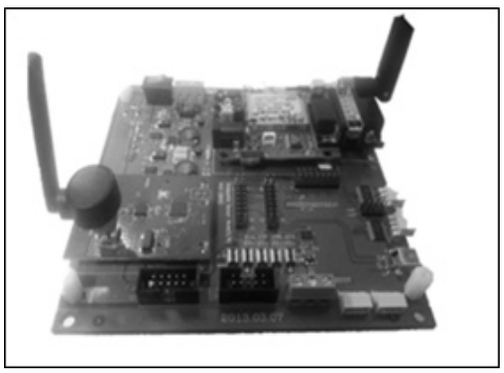

Fig. 14. Gateway[11]

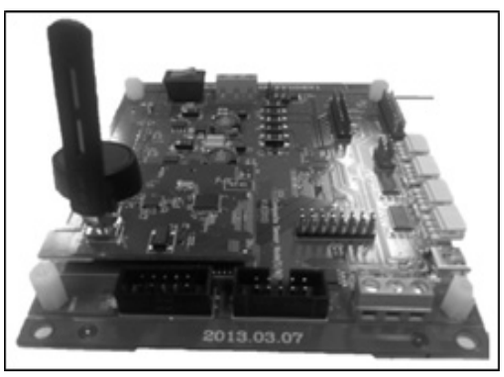

Fig. 15. Sensor Node[11]

의 작동에 필요한 에너지 공급에 12V자동차배터리 2개를 사용하였으며, 주기적으로 교체하여 게이트웨이 1, 센서노드 2, 복합 수중센서 2개에 전원을 공급하였다. 소프트웨어는 폴링 방식에서 인터럽트 방식으로 개선하였다. 인터럽트 방식의 경우 폴링 방식에 비해 실시간성이 높은 장점이 있으며, 평소에는 sleep모드에 진입해 있다가 이벤트가 발생한 경우에만 wake-up하여 폴링 방법에 비해 에너지 소모가 적게 드는 장점이 있다. 특히 센서네트워크의 경우 무선 전원 공급의 어려움으로 인해 에너지 효율이 굉장히 중요하기 때문에 본 연구에서는 게이트웨이와 센서노드의 이벤트 처리 기법으로 인터럽트 방식을 사용하였다. 실제 운용하면서 폴링방식과 인터럽트 방식의 전력 소모를 비교한 결과 Fig. 16과 같이 인터럽트 방식이 폴링 방식에 비해 전력 소모가 약 33% 감소하였다.

3) 통합시스템

통합시스템은 연근해 수산양식을 위한 센서 데이터와 양식장 급이 기록을 이용하여 생장과의 상관관계를 위한 알고리즘이 수행된다. 실제 복합 수중센서로부터 각 노드간 통신을 통해 센서 데이터를 수집하면, 통합 시스템에서는 이 데이터들을 기반으로 어느 정도의 먹이를 주었을 때 판매해야 가장 효과적인지를 제공해주며 양식장 매출 발생시 순익계산, 급이, 약품 투약비 등을 계산하여 개체 크기와 육질의 상관관계를 통한 매출 이익을 산출한다.

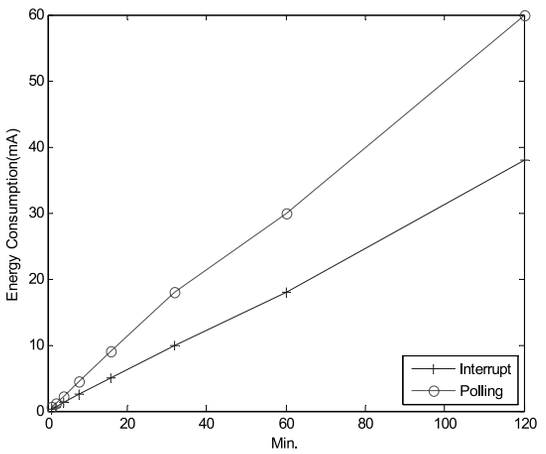

Fig. 16. Energy Consumption Comparison of Polling and Interrupt

4) 복합 수중센서

복합 수중센서의 경우 항상 해수에 있어야 하므로 바다속에 존재하는 부유물질 때문에 주기적으로 사람 혹은 자가세척장치를 통해 센서 부위를 깨끗이 해야 한다. 따라서 복합 수중센서에는 전기 공급 없이 해수의 흐름으로만 자가세척장치를 통해 센서 부위를 청소할 수 있도록 했다.

5) 메시지 프로토콜

각 노드와 통합 시스템간의 정상작동 확인 유무, 센싱 주기 변경, 센서 데이터 요청 등의 기능을 수행하기 위한 메시지 프로토콜을 5절에서 설명하였으며 이 종류에는 크게 센싱 주기 변경을 요청하는 'P'메시지, 센서 데이터를 요청하는 '?'메시지, 게이트웨이 상태를 확인하는 'G'메시지, 센서노드의 상태를 확인하는 'S'메시지, 센서 데이터를 전송하는 '?'메시지로 구성된다.

6) 방수하우징 케이스 및 하드웨어

방수하우징 케이스와 하드웨어의 경우 크게 세 가지를 고려하였다. 첫째, 커넥터 부분이다. 전원 커넥터 부분은 고정 후 돌려서 압착하는 방식의 커넥터를 사용하여 하우징으로의 해수 유입을 방지하였다. 둘째, 하우징의 재질과 고정 방법이다. 하우징은 스테인리스 재질을 사용하여 제작 및 고정하여 염분과 자연환경에 의한 충격과 염분에 대한 내구성을 강화시켰다. 셋째, 해양 환경에 적합한 부품의 사용이다. 게이트웨이의 경우 육지의 기지국과 거리가 멀기 때문에 출력이 높은 안테나를 설치하여 안정적인 통신이 가능하게 하였고 부품의 경우 영하에서도 작동할 수 있는 것을 선택하였다.

6.3 센서네트워크 시스템 테스트 및 운용결과

1) 통합 시스템

통합 시스템의 경우 게이트웨이와 양방향 통신을 사용한다. 양방향 통신의 경우 단방향 통신에 비해 고려해야 할 점이 더 많으며, 통합 시스템이 게이트웨이와 통신 시 쓰레

Table 1. Errors and Solutions of Integration System

Error Types	Causes and Solutions
Thread Overflow Error	**[Cause]** • Continuous thread occurrences of thread routine in integration system server **[Solution]** • Thread close after thread routine close
Overflow of Socket Connection	**[Cause]** • Abnormal socket disconnection due to thread close before socket close **[Solution]** • Thread close after socket close

드 오버플로우에 대한 문제가 발생할 수 있으며. 자세한 내용은 Table 1과 같다.

Table 1과 같은 오류 원인을 분석하고 해결책을 제시함으로써 본 연구를 위해 개발한 통합 시스템은 장기간 오류 없이 Fig. 17과 같이 잘 작동되었다.

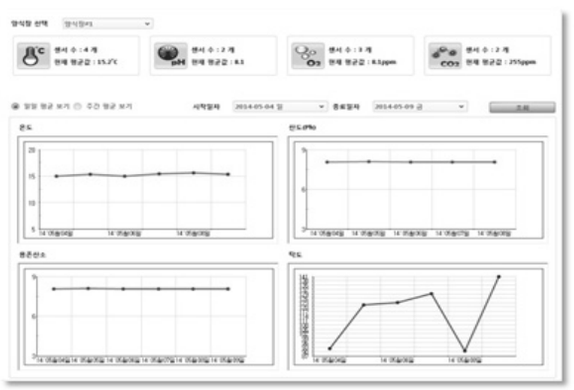

Fig. 17. Integration System[11]

2) 게이트웨이

게이트웨이는 CDMA를 통해 통합시스템으로 메시지를 전송하지만 통신사의 사정으로 2분간 데이터 전송이 없을 시 통신이 끊기게 된다. 이에 대한 대책으로 게이트웨이에서 CDMA를 2분마다 재접속 시켜야 하며 이로 인해 아래의 3가지 메시지에 따라 문제가 발생할 수 있으며, 이에 대한 해결책과 연근해 가두리양식장에서 테스트한 결과는 Table 2와 같다.

- -2 : 정상적인 상황
- -5 : Net Open이 되지 않은 상태에서 TCP Open을 시도하거나, TCP Open이 되지 않은 상태에서 TCP Close를 시도한 경우
- -7 : 통신환경이 좋지 않은 경우

게이트웨이의 경우 3가지 메시지에 관련된 오류 원인을 분석하고 테스트를 통해 바다의 상황이 열악하여 통신이 불안정하여도 센서 데이터를 저장한 후 통신 환경이 좋아지면 모니터링 센터로 전송하였다.

Table 2. Errors and Solutions of Gateway

Message	Causes and Solutions
-2	**[Error Situation and Cause]** • Infinite roof after received '-2' message type • Non-arrival of ACK message for integration system connection message after '-2' message reception **[Solution]** • Setting the time limit of ACK message wait and CDMA re-connection **[Test Case]** • Condition 1 : Antenna separation at the state of normal communication • Condition 2 : LAN cable disconnection before CDMA and server connection • Confirmation : Infinite roof due to instability communication environment **[Result]** • CDMA tries re-connect after '-2' message reception(after time limit) and communication connection
-7	**[Error Situation and Cause]** • Integration system re-connection impossibility • CDMA communication unstable **[Solution]** • Integration system connection after CDMA re-connection **[Test Case]** • Condition 1 : In the case of '-7' message reception, antenna re-integration after antenna separation • Conformation : Communication failure **[Result]** • CDMA re-connection

Table 3. Errors and Solutions of Sensor Node

Error Types	Causes and Solutions
Zigbee Disconnection	**[Cause]** • Gateway status : Off • Zigbee communication instability **[Solution]** • Zigbee re-connection after received orphan message
Sensor Node Down	**[Cause]** • Underwater sensor failure • Sensor node failure • Software failure • Electric power supply instability **[Solution]** • If sensor node did not receive sensor data during the given time, then it returns 'F' • Electric power stabilization

3) 센서노드

센서노드의 경우는 게이트웨이와 Zigbee 연결이 해제되거나 복합 수중센서로부터 데이터를 수신하지 못하여 노드가 다운되는 현상이 발생할 수 있으며, 그 원인과 해결책은 Table 3과 같다. 센서노드의 오류 원인과 분석을 통해 Table 3의 해결책을 적용하여 테스트한 결과 게이트웨이 및 복합 수중센서와의 통신이 정상적으로 작동하였다.

4) 복합 수중센서

복합 수중센서는 센서노드와 RS-485모듈을 사용하여 통신하며, 발생할 수 있는 문제는 센서노드와의 데이터 송·수신이 불가능할 수 있다. 이 경우 데이터를 송·수신하는 측의 핀이 둘 다 Tx 혹은 Rx으로 되어있을 가능성이 높으며, 전송하는 쪽을 Tx로, 수신하는 쪽을 Rx로 변경해야 한다. 또한, 복합 수중센서는 항상 수중에 있으므로 센서 부위에 대한 세척이 주기적으로 필요하다. 센서 세척은 자가세척장치 설계를 통해 Fig. 18과 같이 장기간 수중에 있어도 센서 부위가 세척되어 정상적인 센싱이 가능했다.

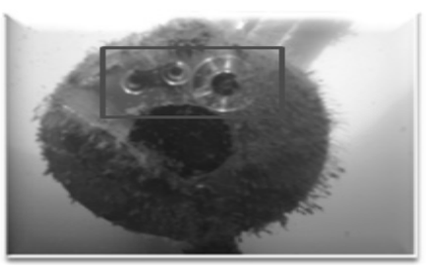

Fig. 18. Underwater Sensor[11]

5) 방수하우징케이스

방수하우징케이스는 스테인리스 재질로 제작하였으며, 가두리 부분에 케이블타이와 스테인리스 재질의 끈으로 묶어 고정하여 Fig. 19와 같이 운용하였다. 그 결과 태풍이 지나간 후에도 노드들이 정상적으로 작동되었으며, 방수하우징케이스 또한 정상적으로 고정되어 있었다.

Fig. 19. Waterproof Housing Case[11]

7. 욕지도 가두리양식장 해양 환경 분석

7.1 통신 LQI 실측자료 및 환경자료

LQI (Link Quality Indicator)란 수신된 전파가 얼마나 에러 없이 해석 가능한지를 나타내는 값이다. 이때 수신된 전파의 에러율이 0%일 때 255, 에러율이 100%일 때 0이며, 상대적인 값을 LQI로 표현한다. LQI에 따라 센서 데이터의 전송률도 달라질 수 있으며, 센서 데이터를 기반으로 하는 센서네트워크에서는 센서 데이터가 많이 손실될수록 그 활용이 어려워진다.

따라서 실제 연근해 수산양식을 위해 측정한 LQI값을 환경 요인과의 상관관계를 알아보기 위해 LQI값은 실제 시스템 설치를 통해 2014년 3~4월분을 측정하였고, 유의파고, 수온, 풍속, 기압, 기온 정보를 국립해양조사원으로부터 제공받았다. LQI와 환경정보와의 관계성을 통계학적으로 확인하기 위한 회귀분석의 정보는 다음과 같다.

- 분석에는 IBM SPSS STATISTICS 22 사용
- 회귀계수 추정 값, 신뢰구간 95% 공분산행렬 설정
- 모형적합, R제곱 변화량, 기술통계, 회귀모형 실행
- 잔차는 Durbin-Watson 적용

Table 4와 같이 기술통계에서 LQI값과 유의파고, 수온, 풍속, 기온, 기압의 관계를 개략적으로 나타내고 있으며, Table 5에서는 상관관계를 나타냈으며 상관관계는 1일 경우 관계가 가장 높다는 것을 나타낸다.

Table 4. LQI Statistics [11]

Stats. / Condition	Average	Standard Deviation
LQI	151.9461	5.98105
Significant Wave Height	.5275	.20656
Underwater Temp.	12.5180	.22536
Wind Speed	5.4291	2.80255
Temperature	11.2581	1.96493
Atmosphere	1015.7213	3.50910

Table 6에서 R 제곱은 결정계수로 전체 환경 데이터가 LQI에 얼마만큼의 분산의 양을 차지하는지 나타낸다. 결정계수가 1에 가까울수록 환경 데이터와 LQI의 연관성이 강하다. 여기서는 0.006으로 연관성이 작은 것을 알 수 있다.

Table 5. Correlation Coefficients according to Environmental Factors [11]

Classification	Factors / Factors	LQI	Significant Wave Height	Underwater Temp.	Wind Speed	Temperature	Atmosphere
Pearson Correlation Coefficients	LQI	1.000	.021	-.031	-.012	-.044	-.030
	Significant Wave Height	.021	1.000	-.504	.781	-.519	-.162
	Underwater Temp.	-.031	-.504	1.000	-.310	.410	-.179
	Wind Speed	-.012	.781	-.310	1.000	-.280	-.307
	Temperature	-.044	-.519	.410	-.280	1.000	-.061
	Atmosphere	-.030	-.162	-.179	-.307	-.061	1.000
Significance Levels	LQI	.	.195	.102	.311	.037	.107
	Significant Wave Height	.195	.	.000	.000	.000	.000
	Underwater Temp.	.102	.000	.	.000	.000	.000
	Wind Speed	.311	.000	.000	.	.000	.000
	Temperature	.037	.000	.000	.000	.	.006
	Atmosphere	.107	.000	.000	.000	.006	.

Table 6. Regression Model Summary [11]

Model		1
R		.078a
R-Square		.006
Coordinative R Square		.003
Standard Estimate Errors		5.97183
Stats. Change	R-Square Change	.006
	F Change	2.032
	df1	5
	df2	1664
	Significance Level F Change	.071
Durbin-Watson		2.241

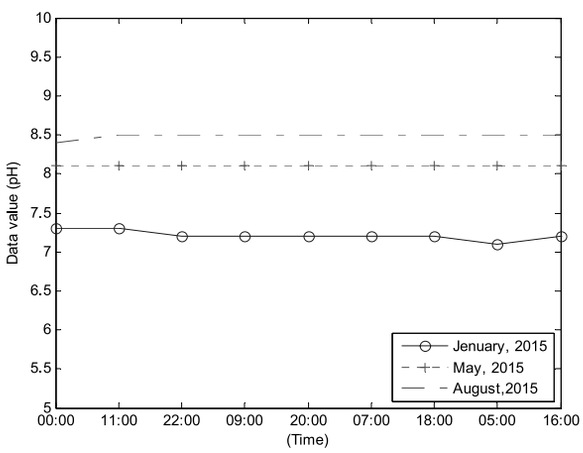

Fig. 20. Underwater pH

7.2 연근해 해양환경 센서 데이터 분석

본 절에서는 실제 연근해 수산양식을 위한 센서네트워크 개발 후 수집된 데이터에 대해 분석한다. 이 데이터는 1시간 간격의 2015년 1월, 5월, 8월에 수집된 데이터 각각 100개를 나타내며 Fig. 20~ Fig. 22는 각각 pH, 해수의 수온, 탁도를 나타낸다. 탁도의 경우 255에 가까울수록 맑으며, 복합 수중센서에 수중의 부유물질이 얼마나 붙어있는지의 척도를 나타낸다.

2015년 1월의 욕지도 연근해의 환경은 pH의 경우 7~7.4에서 변화하였으며 해수 온도는 10.3~11로 지상에 비해 그 격차가 크지 않았다. 5월과 8월의 경우도 1월의 데이터 값과는 차이가 있지만 1월 데이터와 마찬가지로 큰 차이는 없었다. 탁도의 경우 대부분 255로 측정되었고, 간혹 253~254로 측정되었다. 이는 복합 수중센서의 자가세척장치가 잘 작동하여 센서의 부유물질을 잘 제거해 준 것을 의미한다.

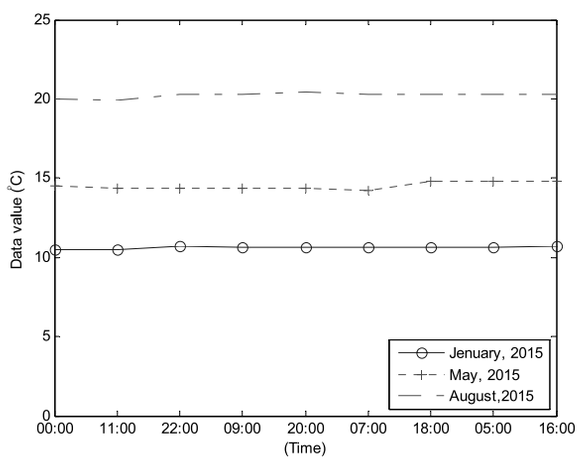

Fig. 21. Underwater Temperature

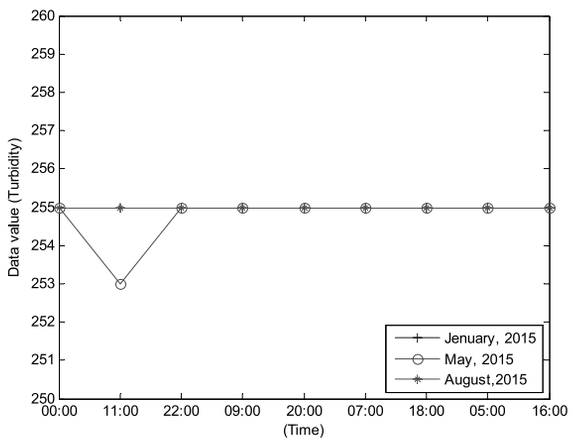

Fig. 22. Underwater Turbidity

8. 결 론

본 논문에서는 연근해 수산양식을 위한 센서네트워크 응용기술 개발을 위해 요구사항을 분석 및 아키텍처를 제안하였다. 센서네트워크는 활용 분야에 따라 아키텍처가 달라져야 하며 특히 해양 환경은 일반 지상 환경에 비해 안개, 높은 파도, 염분 등 고려해야 할 것이 많기 때문에 해양 환경 모니터링을 위한 센서네트워크 기술 개발 사례는 극히 일부이다. 특히 해양 환경의 경우 하이드트레이드, 메탄가스 등의 자원뿐만 아니라 회유성 어종인 고등어, 참치 등의 자원이 풍부한 곳이다.

따라서 본 논문에서는 연근해 수산 양식을 위한 센서네트워크 시스템 개발에 초점을 맞추었으며, 해양 환경에서 발생할 수 있는 센서네트워크 시스템의 다양한 오류와 원인 분석 및 해결책을 제시하였다. 이는 해양 환경의 센서네트워크 시스템 개발을 위해 매우 중요하게 사용될 수 있다. 또한 해양 환경의 경우 지상 환경에 비해 특히 에너지 효율이 중요하며, 기존 폴링방법에서 인터럽트 방법으로 변경하였을 때 소모 에너지는 최대 33% 감소하였다.

실제 활용 결과 시스템은 전체적으로 잘 작동하였으며, 특히 통신에 중요한 LQI의 경우 유의 파고, 기온 등에 영향이 적은 것으로 밝혀졌다.

향후 연구로는 해양 환경에 센서네트워크 운용 시 요구되는 것들을 고려하여 해양 환경에서 센서네트워크에서 소중한 자원인 센서 데이터 손실을 감소시키기 위해 노드의 장애 발생 시 해양 환경에 적합한 동적 라우팅 기법에 대해 연구한다.

References

[1] Heungwoo Nam et al., “Remote Monitoring System based on Ocean Sensor Networks for Offshore Aquaculture,” *Oceans-St, John's*, pp.14-19, 2014.

[2] Robert Herlien et al., “An Ocean Observatory Sensor Network Application,” *Sensors*, pp.1837-1842, 2010.

[3] S. J. Park et al., “Underwater Communications and Underwater Sensor Network Technology,” *Communications of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, Vol.29, No.7, pp.79-88, 2010.

[4] D. H. Shin and C. H. Kim, “Data Compression Method for Reducing Sensor Data Loss and Error in Wireless Sensor Networks,” *Jornal of Korea Multimedia Society*, Vol.19, No.2, pp.360-374, 2016.

[5] Mou Wu et al., “Data Prediction, Compression, and Recovery in Clustered Wireless Sensor Networks for Environmental Monitoring Applications,” *Information Sciences*, Vol.329, pp.800-818, 2016.

[6] D. H. Shin and C. H. Kim, “A 2MC-based Framework for Sensor Data Loss Decrease in Wireless Sensor Network Failures,” *Journal of the Korea Society for Simulation*, Vol.25, No.2, pp.31-40, 2016.

[7] D. H. Shin and C. H. Kim, “Considerations for On-the-spot Application of Ocean Sensor Network Technologies,” *The 2015 Fall Conference of the KIPS*, pp.351-354, 2015.

[8] Jianchao Zheng et al., “Game-Theoretic Multi-Channel Multi-Access in Energy Harvesting Wireless Sensor Network,” *IEEE Sensors Journal*, Vol.16, No.11, pp.2587-4594, 2016.

[9] Douglas S. Kridi et al., “Application of Wireless Sensor Networks for Beehive Monitoring and In-hive thermal Patterns Detection,” *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol.127, pp.221-235, 2016.

[10] Yang Wang et al., “Evaluation on Energy Performance in a Low-energy Building using New Energy Conservation index based on Monitoring Measurement System with Sensor Network,” *Energy and Buildings*, Vol.123, pp.79-91, 2016.

[11] C. H. Kim et al., “Technology Development for USN-based Energy Management, Marine Sensors, Sensor Nodes and Middleware for Efficiencies and Enhancement of Marine Industry,” Final Report, Ministry of Science, ICT and Future Planning, 2015.

신 동 현

e-mail : dhshin@cs.gwnu.ac.kr

2014년 강릉원주대학교 컴퓨터공학과 (공학사)

2014년～2016년 강릉원주대학교 컴퓨터공학과(공학석사)

2016년～현 재 강릉원주대학교 컴퓨터공학과 박사과정

관심분야 : IoT (Internet of Things), WSN (Wireless Sensor Network), Data Mining

김 창 화

e-mail : kch@gwnu.ac.kr

1985년 고려대학교 수학교육과(이학사)

1987년 고려대학교 전산학전공(이학석사)

1990년 고려대학교 전산학전공(이학박사)

1994년~1995년 University of Toronto, Enterprise Integration Lab. Post-Doc. & Visiting Professor

2002년~2004년 미국 Texas A&M대학 Visiting Scholar

1989년~현 재 강릉원주대학교 컴퓨터공학과 교수

2005년~현 재 강릉원주대학교 해양센서네트워크시스템기술연구센터 센터장

관심분야 : Internet of Things, Distributed System, Intelligent System, Underwater Communication and Sensor Network