

선박 엔진관리를 위한 무선 센서 네트워크 기초 특성 연구

Study on Basic Characteristics of Wireless Sensor Network for Engine Management in a Ship

배정철^{†*}, 전구양^{**}, 하연철^{**}, 류한성^{***}

Jung-Chul Bae^{†*}, Goo-Yang Jeon^{**}, Yeon-Chul Ha^{**}, Han-Sung Ryu^{***}

요 약 문

오늘날의 선박은 디지털 선박(Digital-ship)으로 변화하고 있으며, 일부 유비쿼터스(Ubiquitos) 기술을 기반으로 e-Navigation 및 VTS(Vessel Traffic Service) 등 안전 항해 및 편의를 제공하고 있다. 하지만, 아직까지 선박에 대한 안전시스템이 미비하고, 선박의 주요 설비를 실시간으로 관리하기 위한 안전 관리 시스템의 개발이 매우 필요한 시기라 할 수 있다. 지금까지 선박 연구에 있어서 안전을 극대화시키기 위한 노력은 많았으나 선박의 재질(철판) 및 밀폐환경에 의해 무선 통신(Wireless Communication)을 이용한 시스템 개발은 많이 이루어지고 있지 않은 상태이다. 본 논문은 선박 내의 전파 특성을 분석하여 무선 통신을 하기 위한 최적의 조건을 찾고, 유비쿼터스 기술을 적용한 지그비 네트워크 구성으로 선박 내 엔진관리를 위한 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)의 적용 가능성을 검증하였다.

※ 핵심용어 : 유에스엔(USN), 유비쿼터스 센서 네트워크(Ubiquitos Sensor Network),
지그비(ZigBee)

* 한국조선기자재연구원

** 월드이엔지

*** 21세기조선

† 논문주저자

1. 서 론

오늘날의 선박은 점차 대형화 되고 디지털화 되고 있으며, 조선 산업에도 IT가 융합된 조선+IT 산업이 급부상 하고 있어 해상 운송 및 물류수송을 위한 선박에서 해상의 첨단 복합 구조물인 디지털 선박으로 변화하고 있다. 이러한 디지털 선박은 여러 센서(Sensor)로부터 측정된 정보가 데이터 융합(Data Convergence) 기법을 이용하여 선박 내 데이터베이스(Database)에 의해 자동으로 데이터를 처리하며 관리할 수 있는 유비쿼터스 기술을 기반으로 한 선박이다[1]. 그 예로, e-Navigation을 통한 자동 항해와 위험상황에 대한 경보체계, 그리고 VTS (Vessel Traffic Service)라고 하는 교통관제 시스템을 들 수 있으며, 안전 항해에 주목적을 두고 있다.

한편, 선박이 항행할 경우 동력을 전달하기 위해 주 동력기관인 엔진이 구동되고 선박 내의 거주 공간(데크하우스) 및 주변 복지 시설(화장실, 세탁실 등)에 전력을 공급하기 위해서는 발전기가 구동되므로 전기/기계적인 결함과 노후화로 인해 고장의 위험을 가지고 있다. 따라서, 위급 사태 시 즉각 대응하지 못하면 이산화탄소 발생 및 질소의 가스가 발생할 수 있고 이를 방지할 경우 화재에 까지 이르는 대형 사고를 안고 있으므로 선박의 주요 설비에 대한 실시간 안전 관리 시스템이 필요하다.

지금까지 선박 운용의 효율성 및 안전성을 높이 고자 하는 기술은 국내·외 기술진에 의해 제안 되고 개발되어 왔다[2]. 많은 연구자들이 선박의 안전성을 극대화 시키고자 적지 않은 노력을 하였고 최근 건조되는 선박의 경우 자동화율이 높아지고 안전성이 높아졌음에도 불구하고, 육상이나 건물, 교통수단에 적용된 안전을 위한 서비스에 비해

낙후된 것이 사실이다.

특히, 디지털 선박은 무선망(Wireless Network)을 통한 서비스 제공이 적용되어 지고 있어서 무선 통신(Wireless Communication)을 기반으로 한 연구 및 개발이 필요하다. 하지만, 선박은 금속(철판) 재질로 되어 있으며, 수시로 변화하는 해상환경(횡동요/종동요)과 폐쇄적인 환경이 무선 통신에 적합한 환경 조성에 제약조건을 주고 있다.

따라서, 본 논문에서는 선박 내 안전에 가장 중점적으로 체크하여야 할 엔진에 유비쿼터스 기반의 센서 네트워크 기술을 접목하고자 한다. 기초 연구로 선박 내에서의 전파 특성을 분석하여 무선 센서 네트워크 구축을 위한 조건 및 적합성을 분석 하였으며, 지그비 모듈(ZigBee Module)을 소규모 네트워크(예 : Lab. Scale)로 구축하여 엔진 및 주요 설비에 환경정보 획득 및 관리용 무선 센서 네트워크의 적용성을 검증하였다.

1.1 지그비를 이용한 선박 내 엔진관리 시스템의 필요성

지그비 기술을 이용한 센서는 제한된 자원으로 구성된 소형의 내장형 시스템을 이용하여 다양한 물리량을 센싱(Sensing) 및 처리하여 그 결과를 무선으로 전달하기 때문에 저전력의 독립적인 작동환경(애드혹 또는 Ad-hoc)을 제공하므로 구축 및 증설이 무척 쉽고 추가적인 인프라(Infra) 구축이 필요없다[3]. 따라서, 유선망을 기반으로 한 기존 선박 내에 적용할 경우에도 추가 선로 증설이 필요없으며, 선박 노후화 및 유지보수를 위한 공사 비용도 절감할 수 있다. 특히 추가적인 센싱 요소가

필요할 경우 적정한 위치에 센서 노드(Sensor Node)를 배치하고 ID만 부여하면 되므로 네트워크 확장(최대 64,000개의 노드가 하나의 망을 구성)이 쉽고, 사고 및 긴급 사태 발생 위치를 정확히 구별할 수 있다. 또한, 지그비의 특성상 2.4GHz를 사용하여 대역폭이 커서 센싱되는 정보(Sensing Data)의 High-quality를 보장하며, 저전력으로도 정보를 전송할 수 있어 배터리로도 장시간 통신을 위한 전력이 공급될 수 있는 장점을 가지고 있다.

2. 선박 내 적용 분야 연구

선박의 운항을 위해 선박 내에는 크고 작은 장비들이 배치되어 작동을 하고 있으며, 특히 주기관실의 펌프나 모터 등은 기관 동작을 위한 연료 공급, 냉각수의 급배수 및 탱크 조절 등에 관계하기 때문에 이상작동이나 고장 발생 시 큰 어려움을 초래할 수 있어 주요 설비에 싱크노드(Sinc. Node)를 설치하여 필요 정보를 센싱하고, 이를 조타실의 미들웨어(Middleware)로 취합하여 운용모드에 따라 작업자의 PDA(Personal Digital Assistants)를 통해 알려주는 방식이 연구되었다.

또한 운항중인 선박의 경우 화재 시 외부의 도움을 쉽게 받을 수 없으므로 운항 시 화재의 위험성을 감지하여 미리 예방하는 작업이 필요하다. 따라서 USN기술 기반의 화재 방지 시스템 도입 연구가 진행되어 실시간으로 센서를 통해 선박 내의 화재를 사전에 예방하기 위한 방법이 연구되었다.

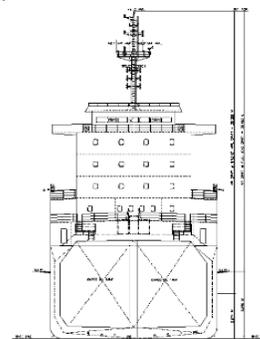
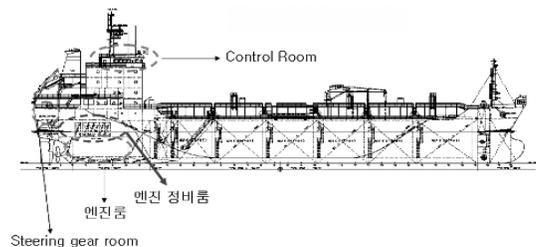
하지만, 기존의 연구는 선박 내 USN 기반의 안전 관련 시스템이 적용될 수 있는 가능성만을 제시하였으며, 실 선박에서의 적용성 검증과 정확한 테스트베드 구현이 이루어지지 않았다[4].

2.1 선박의 전파 특성

선박의 전파 특성 실험 및 분석을 위해 이용한 시험용 선박은 Fig. 1은 D.W.T. 13,000의 Chemical Tanker로서, 5층의 데크하우스(Deckhouse)와 지하 3층의 선박층으로 구성되어 있다.



(a) 데크하우스(Deckhouse)



(b) 선박 외관도

Fig. 1 데크하우스 및 선박 외관도

선박이 해상에서 추진력을 얻기 위해 주기관실의 엔진을 구동하고 샤프트(Shaft)라고 하는 주축을 통해 프로펠러(Propeller)를 회전시켜 동력을 전달하게 되는 구조이다. 일반적으로 선박 하층에는 엔진실이 위치하여 엔진이 구동 중일 때는 주변의 주요 설비(발전기, 라디에이터 등)도 같이 구동된다.

또한, 선상의 데크하우스는 선원 및 작업자의 거주 및 복지공간이다. 하지만, 엔진이 구동 중일 때에는 엔진 및 주요설비에서 발생하는 진동과 소음이 전달되고, 여기서 발생하는 열과 습도, 그리고 진동 및 소음은 무선통신환경에 악조건을 발생하게 된다. 무엇보다도 정박상태일 때 보다 운항중일 때에는 파도에 의한 롤링피치(횡동요/종동요)가 심하여 육상 구조물 보다 환경 분석이 세심하게 이루어져야 한다.

선박은 일반 빌딩과 비교하였을 때 크기 규모나 구조가 매우 다르고 폐쇄된 공간이 많아 전파가 전달되는 범위도 매우 짧아지고 전파 환경의 변화가 급격히 바뀌는 특성이 있다.

독특한 환경과 구조로 무선통신에 대한 초기 도입 당시에는 AP(Access Point)의 배치문제, 두꺼운 철판 및 객실/창고의 벽면, 문 폐쇄에 의한 데드존(Dead-zone)발생이 전파 간섭의 주요인으로 도출되었다[5].

가장 명백한 것은 선박의 철판은 매우 좋은 도체(Conductor)의 역할을 한다는 것이다. 즉, 전계가 완벽한 도체로 들어가면 전부 소멸되는 특성을 가짐을 알 수 있다. 하지만, 해치(Hatch) 및 기타 출입문을 폐쇄(Closed)시키더라도 주변은 폐쇄를 위한 고무재질로 둘러 쌓여있어서 전파를 흡수하거나 감쇄될 수는 있어도 차단되지는 않는다. 이러한 특성을 이용한다면, 선박에서도 무선통신

환경을 구축할 수 있다는 결론을 내릴 수 있다.

선박의 또 다른 무선통신 저해 요인으로는 다중 경로(Multipath)라는 것인데, 선박 상에 전송된 신호는 많은 다른 물체들에 의해 반사되거나 분산된다. 이것은 다른 수신기에 도착하는 신호를 간섭(Interference)하여 다중 복사를 만들어내는 결과를 초래하게 된다[6].

Table 1에서는 일반 빌딩 구조물의 재료에 의한 신호 감쇄를 나타내는 것으로 선박과 같이 전체가 금속 성분으로 되어 있을 경우는 빌딩보다 감쇄가 발생할 수 있다는 것을 단적으로 보여준다.[7]

Table 1 일반 빌딩 구조물에 의한 신호 감쇄 (815MHz)

Material Type	Loss(dB)	Frequency
All Metal	26	815MHz
Aluminum Siding	20.4	815MHz
Foil Insulation	3.9	815MHz

따라서, 선박 내부의 전파 환경 및 간섭 특성을 고려하여 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)를 구성하면, 선박 내부의 각종 센싱 데이터(Sensing Data) 및 화재 정보 뿐만아니라 엔진에서 발생하는 상태정보를 무선으로도 충분히 획득할 수 있음을 보여주는 것이다.

2.2 분석결과

선박 내 전파특성 실험을 위해 DWT 13,000 Chemical Tanker를 이용하였으며, 데크하우스의 최하층에서 최고층(5층)까지의 전파 간섭 및 전파 도달 범위를 측정하였다.

일반적인 경로 감쇠는 아래 식과 같이 설명할 수 있다. 여기서 λ 는 신호의 파장이고, 식 (2)와 같은 데시벨(Decibel) 단위를 갖는 수식으로 풀이할 수 있다.

$$L_p = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (1)$$

$$L_p = -32.4 - 20\log(f) - 20\log(d) \quad (2)$$

식 (2)에서 d 는 거리(Km) f 는 신호의 주파수 (MHz), L_p 는 경로손실(dB)를 나타낸다.

선박 및 데크하우스에서 거리(Distance) 및 RF(Radio Frequency) 송신전력(Power)에 따른 RSSI(Received Signal Strength Indication)를 Fig. 2 그래프에 의해 분석할 수 있다.

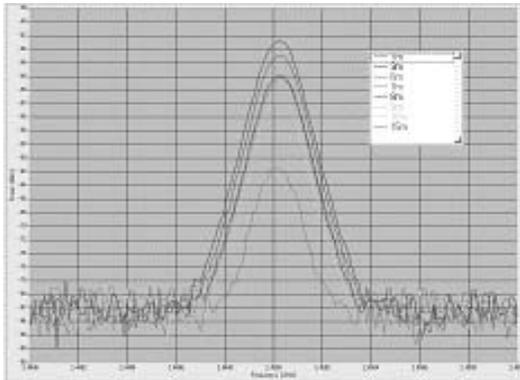


Fig. 2 거리에 따른 신호세기 측정

3. 선박 내 적용된 지그비 기술

본 연구에서 선박 내 엔진관리를 위한 정보 획득 목적 무선 센서 네트워크 구축 적합성 분석을 위해 도입한 지그비 기술은 Fig. 3과 같이 메쉬 네트워크(Mesh Network) 및 애드혹(Ad-hoc)이 가능하고, AODV(Advanced On-demand Distance Vector)를 수행할 수 있다.

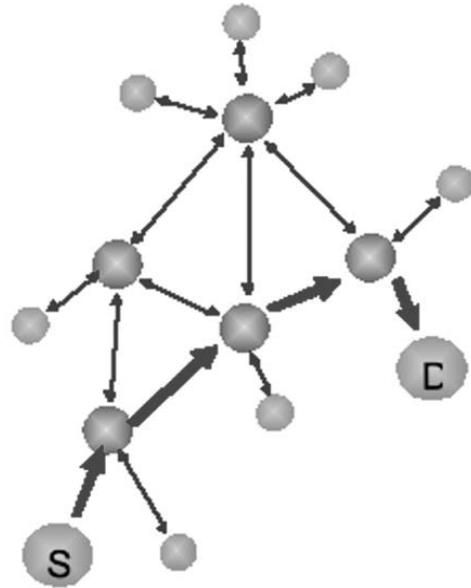


Fig. 3 AODV Performance

Fig. 4와 같이 지그비 노드(ZigBee Node)와 센서(Sensor)를 엔진 및 발전기, 라디에이터 등에

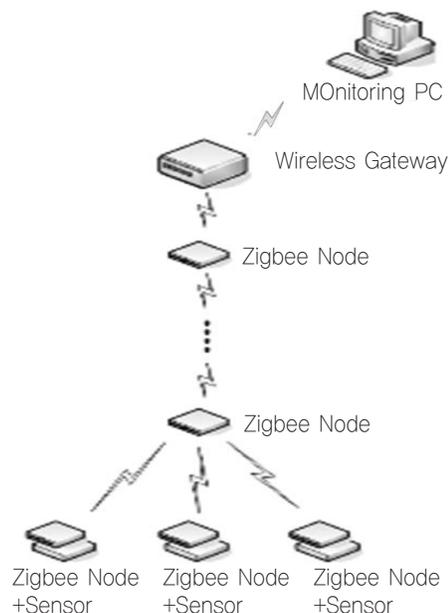


Fig. 4 제안된 무선 센서 네트워크

배치하여 중계기(Router)를 통해 목적지(수신부 및 모니터링 PC) 지그비 노드를 설치하면 엔진 관리를 위해 원하고자 하는 정보(온도, 습도, 현재 상태, 진동 등) 및 환경 정보(연기, 화재 등)를 전송할 수 있다.

지그비 프로토콜(ZigBee Protocol)은 선박 내에서 측정하여야 하는 엔진관리용 센싱 정보를 IEEE 802.15.4(MAC/PHY) Standard의 PAYLOAD(실제 Data) Protocol 규칙을 따른다.

지그비 노드는 무선 센서 네트워크에 적합한 TinyOS 체제를 사용하며, Fig. 5처럼 기본적인 43bytes의 TOS_Msg.를 기본 구조로 한다.

TOS_Msg. 구조 안의 부분 중 PAYLOAD Field를 자신의 어플리케이션(Application)에 맞게 패킷 포맷(Packet Format)을 사용하게 된다. 즉, 최하위 노드인 센싱 노드는 데이터(Data)를 PAYLOAD에 실어 최상위 노드인 수신부 노드(Sinc. Node)까지 TOS_Meg.를 보낸다.

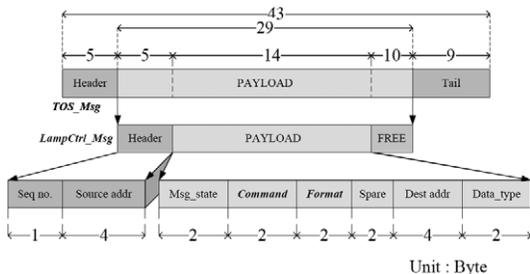


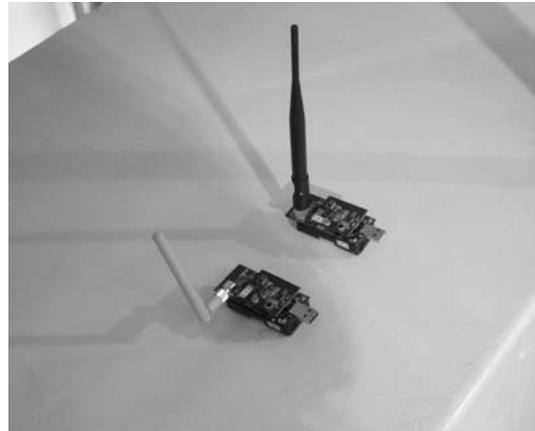
Fig. 5 TOS_Msg. Structure

3.1 실험 노드 구성

무선 센서 네트워크의 정확한 실험과 무선 통신의 악조건 환경을 조성하기 위해 Fig. 6(a)와 같이 구동중인 엔진 및 발전기, 라디에이터에 센싱 노드를

배치하였고, 엔진 상부 층에 중계기를 설치하였다. 또한, 컨트롤 룸(Control Room)은 문이 있어 개폐가 가능하다. 따라서, 폐쇄상태에서도 네트워크가 구성 될 수 있도록 Fig. 6 (b)와 같이 문 안쪽과 바깥 쪽에 밀집하여 중계기를 배치하였다.

모든 노드는 최종적으로 15개가 배치되었으며, 4개의 중계기가 사용되었다. 중계기의 배치는 엔진실에서도 가장 넓고 개방된(Open) 장소를 택하



(a) 엔진 상부의 중계기



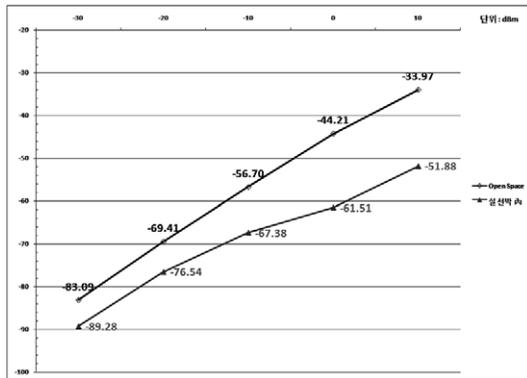
(b) 문 안쪽에 배치된 중계기

Fig. 6 환경에 따른 중계기 위치

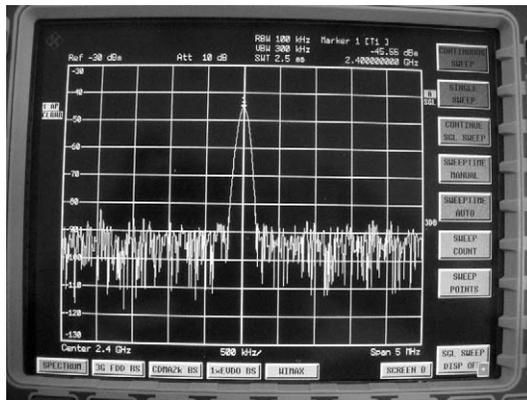
였다. 네트워크의 신뢰성을 위해 모든 노드 RF 송신 전력을 똑같이 설정하였고, 센싱 정보(Sensing Data)의 모니터링을 위해 수신 노드(Sinc. Node)를 PC에 연결하여 출력 값을 읽을 수 있도록 하였다.

노드와 노드사이에는 5m이상의 일정 거리를 유지하였고, AA사이즈의 배터리를 이용하였으며, 주파수 간섭성을 검증하기위해 주변 노이즈(Noise)의 영향을 받도록 설비의 GND부와 전력선 사이 사이에 노드의 안테나가 위치하도록 하였다.

3.2 실험 결과 및 분석



(a) 육상과 선박에서의 RSSI level value 비교



(b) 데크하우스에서의 RSSI Spectrum

Fig. 7 육상과 선박에서의 RSSI 측정

Fig. 7(a)에서 가로축은 Reference 값으로 송신부의 출력파워를 나타내며 세로축은 수신부의 수신감도를 나타낸다. 또한, Open Space에서 측정하였을 때의 평균 RSSI값이 선박 및 데크 하우스 내에서 측정한 RSSI값 보다 좋은데(육상과 비교하였을 때 거리는 약 3/4로 짧아짐) RSSI가 좋다는 것은 수신감도가 좋다고 할 수 있으며 동일한 거리와 출력에 대해 Noise의 영향을 덜 받는다고 할 수 있다.

즉, Open Space 보다는 신호의 감쇄 및 수신감도가 낮지만 선박 내에서의 무선통신(Wireless Communication) 환경조건에 맞지 않다고 판단할 수 없고, 실제로 Fig. 8처럼 송신부와 수신부간의 전파 도달에는 문제가 없는 것으로 도출되었다.

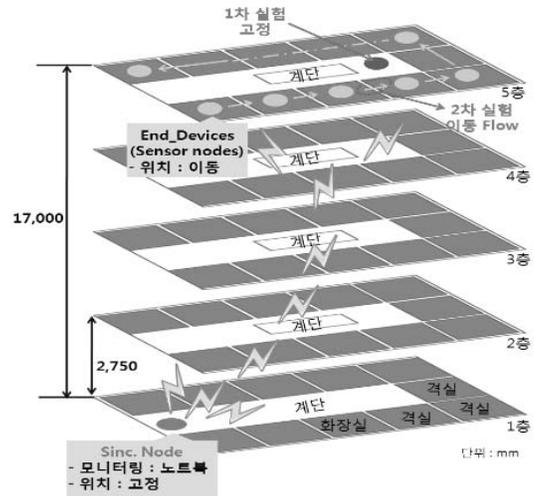
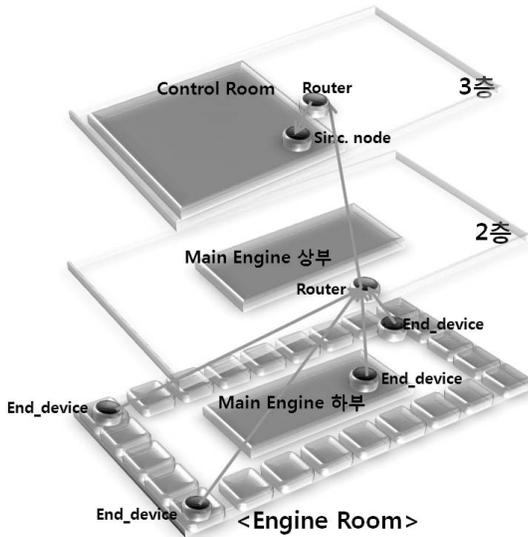


Fig. 8 데크하우스에서의 전파 도달 실험

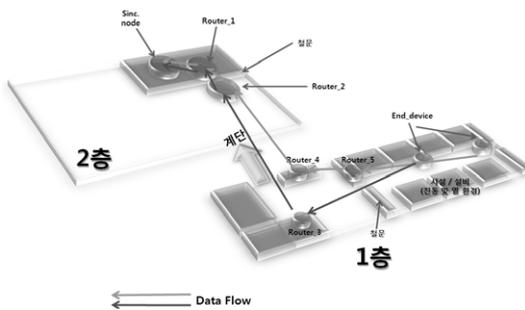
두 번째는 지그비의 선박 내 적용 가능성을 검증하기 위한 실험을 진행하였다.

Fig. 9에서 처럼 지그비 모듈을 이용하여 엔진

및 발전기, 라디에이터 등에 배치하였을 때의 애드혹(Ad-hoc) 과정 및 AODV(Advanced On-demand Distance Vector)의 기능성 분석 실험을 보여준다.



(a) Engine Room



(b) 데크하우스(Deckhouse)

Fig. 9 애드혹 & AODV 과정

실험은 총 4개의 그룹 Fig. 10으로 2회 걸쳐 진행하였으며, RF 송신 전력(Power)를 -10dBm, -5dBm의 2450MHz 네트워크 그룹과 -3dBm,

0dBm의 2420MHz 네트워크 그룹으로 설정하였다.

여기서, 지그비 대역폭(ZigBee Bandwidth) 설정은 실험의 조건에 영향을 주는 것은 아니며, 채널을 16개(11~26)로 설정 가능하다는 것을 보여준다.

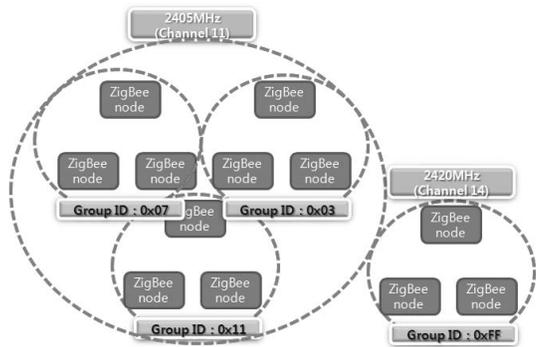
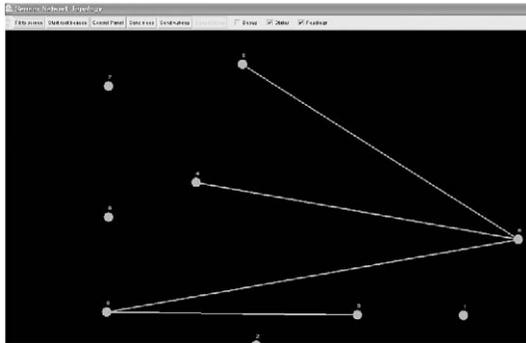


Fig. 10 지그비(ZigBee) 네트워크

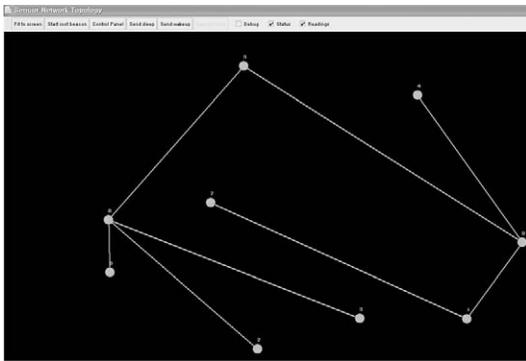
이때 엔진 및 발전기, 라디에이터의 센싱 정보는 중계기를 경유하여 최적의 루트(Route)를 찾아 수신 노드까지 데이터가 이동하는 것을 볼 수 있었으며, 문이 폐쇄하였을 때는 육상에서보다는 보통 4홉(hop) 이상의 경로가 필요하였다.

또한, Fig. 11처럼 데크하우스의 객실 및 창고의 문이 개방(Open) 되었을 때는 센싱 노드가 수신 노드에 즉각 응답하여 조인(Join)되었으나, 문이 폐쇄(Closed) 되었을 때는 문 내·외부에 밀집하여 중계기를 배치하여야 모든 노드가 조인되어 완벽한 네트워크가 형성될 수 있었다.

한번 Join된 노드는 재접속(예 : Power Reset)에서도 처음 조인되었던 중계기를 찾아 네트워크를 재형성 되는 것을 확인하였다. 하지만, -10dBm 보다는 -5dBm이 재접속 시간이 짧았으며 RF 송신 전력을 높일수록(최대 0dBm) 센싱 노드가 중계



(a) Open-door



(b) Closed-door

Fig. 11 애드혹 & Routing Monitoring

기를 많이 요구하지 않았다. RF 송신 전력이 높다는 것은 Table 2 만큼 소모 전류(Current Consumption)가 증가를 의미한다.

Table 2 RF 송신 전력에 따른 소모 전류량 비교

Power Level	Output Power(dBm)	Current Consumption(mA)
31	0	17.4
27	-1	16.5
23	-3	15.2
19	-5	13.9
15	-7	12.5
11	-10	11.2
7	-15	9.9
3	-25	8.5

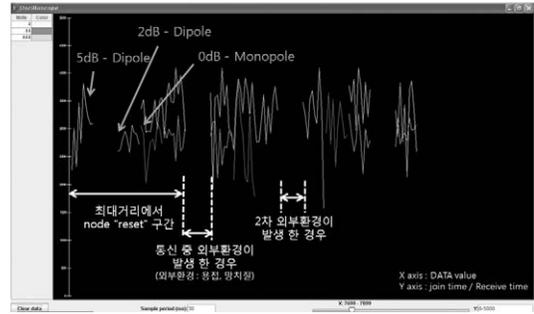


Fig. 12 Antenna Power에 따른 Sening Data 수신 상태

마지막으로, Fig. 12에 보이듯이 안테나의 출력(2dB 이상)과 RF 송신 전력(-3dBm)이상일 경우 객실문이 폐쇄 상태에서도 중계기를 통한 지그비 네트워크가 안정적으로 구현되었다.

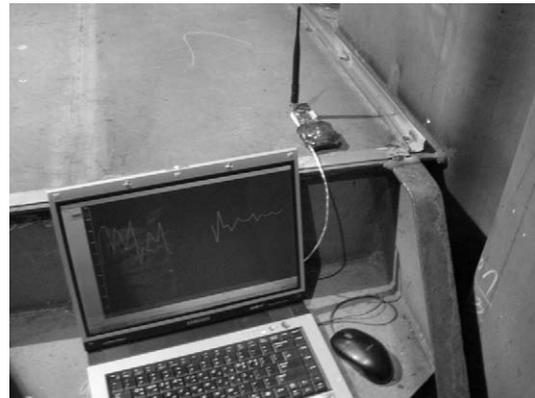


Fig. 13 선박에서의 모니터링

결론적으로 Fig. 13처럼 실험을 통해 선박 및 데크하우스 내부에서의 지그비 기반의 무선 센서 네트워크 구축이 가능하다는 것을 확인하였다.

4. 결론 및 향후 연구방향

육상에서 급속도로 발전하고 있는 유비쿼터스 기술을 첩판으로 되어 있는 선박에서, 기초 환경

실험과 분석 결과를 통해 선박 내 엔진관리용 상태 정보 획득을 위한 지그비 기반의 무선 센서 네트워크의 적용성을 검증하였다.

유비쿼터스 기술을 선박에 적용하려는 선행 연구는 국내 외 기술진에 의해 많이 이루어지고 있지만, 무선랜(Wireless LAN)에 대한 적용성 검토가 가장 원활히 이루어지고 있고 저용량 저속의 지그비 기술의 적용은 아직도 연구 및 표준안 정립이 필요한 실정이다.

본 실험은 선박에 도입하기에 앞서 테스트베드(Testbed) 구축보다는 실 선박을 이용하였으므로, 다른 선행연구보다도 정확한 분석이 이루어질 수 있었고, 이 도출된 결과 값으로 실제 지그비 모듈을 개발하여 선박용 지그비 네트워크 및 인프라 구축을 해 볼 예정이다.

후 기

본 연구는 2008년도 미래해양기술개발사업 “선박 엔진관리용 무선네트워크 시스템 개발”의 일환으로 수행하였습니다.

참고문헌

(1) 김재양, 정선태, 임준석, 박종원, 홍기용, 임용곤,

“디지털 선박을 위한 선박 통합화 네트워크 설계 및 구현,” 한국해양정보통신학회논문지, 제9권, 제6호, pp1202-1210, 2005.10

(2) 백부근, 조성락, 박범진, 조인성, 이동곤, 윤종휘, 배병덕, “무선센서통신망과 전력선 통신망의 선내 및 실험실 실험결과 비교,” 대한조선학회 논문집, 제45권, 제3호, 2008.6

(3) 신성식, 서현곤, “유비쿼터스 센서 네트워크를 이용한 실시간 화재감시 시스템,” 한국정보과학회 학술 심포지움 논문집, 제2권, 1호, 2008

(4) 조성락, 백부근, 박범진, 이동곤, 2007, “유비쿼터스 기술의 선박 적용 분야 개발 및 기초 특성 연구,” 대한조선학회 논문집, 제44권 제6호

(5) 시스코사, http://www.ciscom.com/global/KR/about/packet/es/24_3.html

(6) P. Hafesi, D. Wedge, M. A. Beach and M. Lawton, “Propagation Measurements at 5.2GHz in Commercial and Domestic Environments,” Proc. IEEE PIMRC’ 97, pp. 509-513, Setp. 1997.

(7) D.R.J. Estes, T.B. Welch, A. A Sarkady, and H. Whitesel, “Shipboard radio frequency propagation measurement for wireless network,” Proc. IEEE MILCOM 2001, vol. 1, pp. 247-251, October 2001.