

# 종합 안전지수 평가체계 수립을 위한 스마트디바이스 기반 HSE 모니터링 시스템에 관한 연구

우종훈\* · 임현규\*\* · 윤경원\*\* · 함동균\*\*†

\*, \*\* 한국해양대학교 조선해양시스템공학과

## A Study on the HSE Monitoring System based on Smart Device for Establishing Evaluation System of the Combined Safety Index

Jong-Hun Woo\* · Hyun-Kyu Lim\*\* · Kyung-Won Youn\*\* · Dong-Kyun Ham\*\*†

\*, \*\* Department of Naval Architecture and Ocean Systems Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

**요 약 :** 본 연구에서는 조선소에서 작업자의 안전 확보를 위하여 스마트디바이스를 기반으로 동작, 체온, 외부온도, 맥박, 호흡, 청각적 기능을 탑재하였고, 이로부터 획득되는 정보들을 취합하여 서버 컴퓨터로 보내기 위한 클라이언트/서버 프로그램을 개발하였다. 또한, 작업자의 안전 상태를 진단할 수 있는 종합안전지수의 개념을 제시하였고 실제 선박에 탑승하여 센서모듈 및 스마트디바이스 테스트를 수행을 통해 획득된 데이터들에 대한 상관관계분석 및 다중 회귀분석을 통해 결과데이터와 센서 값 사이에 유의미한 상관관계를 가지고 있음을 확인하였다.

**핵심용어 :** 생체공학, 종합안전지수, HSE, 해양플랜트, 스마트디바이스

**Abstract :** In this paper, smartphone based measuring device was developed by integration of several sensors such as moving, temperature, pulsation, respiration and hearing and sever/client programs was developed for the data acquisition and communication between smartphone and server computer. Then, the concept of CSI(combined safety index) was proposed for the comprehensive diagnosis of workers status. For the validation of the proposed concept, the real data was acquired by boarding at training ship of Korea Maritime and Ocean University. The acquired data was analyzed with the stochastic method of regression, then the meaningful result was driven that could explain the relation between the risky situation and the measured chronological data.

**Key Words :** Biometrics, CSI(Combined safety index), HSE(Health, Safety and Environment), Offshore plant, Smart device

### 1. 서 론

우리나라의 조선 산업은 1990년대부터 기술 집약적인 선박 건조방식을 도입하여 2000년 이후 세계 선박시장의 35% 이상을 차지하였고, 조선강국으로서 글로벌 리더의 역할을 충실히 이행하고 있었다. 중국의 경우 1995년 이후 정부의 과감한 투자와 막대한 지하자원, 저렴한 노동력을 바탕으로 2010년 이후 우리나라의 조선 산업에 큰 위협이 되고 있다. 이러한 배경에는 일본이 한국을 견제하기 위해 전문적인 정

보와 기술을 공개하면서 발생한 한국과 중국 간의 무한 경쟁도 한 가지 요소지만, 단순히 전통산업에서 발전시켜온 기술만으로는 기술격차를 넓히고 시장을 확장할 수 없다는 점이 가장 중요한 요소이다. 따라서 정체된 조선 산업의 경쟁력을 높이기 위해서는 전통산업과 IT기술의 융합이 필수적이라 할 수 있다.

조선 산업에 IT기술을 접목시켜 생산 공정을 혁신적으로 개선함으로써 동일한 시간에 더 많은 양을 생산해 낼 수 있고, 원가절감을 바탕으로 가격 경쟁력을 향상시킬 수 있다. 또한 조선 산업의 IT화를 통해 생산 시스템의 지능화를 가능하게 할 뿐만 아니라 통신과 네트워크를 기반으로 하는 선박지원 서비스 기술개발을 통해 새로운 시장 창출이 가능

\* First Author : jonghun\_woo@kmo.ac.kr, 051-410-4304

† Corresponding Author : anwb410@naver.com, 051-410-4300

하다. 이미 조선업계에서는 R&D 역량을 바탕으로 선박 및 해양플랜트 건조 수명주기에 대하여 다양한 유형의 IT기술을 개발하여 접목하고 있다. 특히 제품설계 및 생산에 대한 정보는 매우 고도화 된 IT시스템을 통해 연속적이고 통합적인 관리가 가능한 수준에 이르고 있다. 하지만 작업 안전 환경 분야에서는 관리 대상이 인간이기 때문에 대부분 매뉴얼 관리를 통해 Man to Man으로 실행되는 일이 대부분이고, 타 업종에 비하여 조선소 현장 근무가 유해환경이 다수 존재하는 3D 업종이라는 인식이 팽배해있어 현장 근무에 대한 거부감이 매우 높다. 이러한 이유로 고급 인력의 유입을 향상시키기 위해서는 조선소 현장 근무에 대한 작업환경 개선이 필요하고, 여기에는 전통적인 5S와 같은 관리 방법론과 더불어 IT기술이 접목된 첨단 기술의 적용이 요구된다.

최근 IT기술의 발전으로 사물인터넷(IoT: Internet of Things)과 클라우드 서비스, 빅데이터 등 새로운 용어와 기술들이 다양한 분야에 걸쳐 유용하게 사용되고 있다(Jeon et al., 2014). 또한 대부분의 사람들은 스마트폰, 태블릿 PC 등의 스마트디바이스를 하루에도 수 시간 이상을 만지며 사용하고 있다. 10대 이하의 경우 하루 평균 239분을 사용하고 있으며, 30대 220분, 40대 189분, 50대의 경우 151분을 사용하고 있다. 스마트폰을 가장 많이 사용하는 20대의 경우 하루 평균 281분, 약 4시간 40분 이상을 사용하고 있다. 현재 세계 모바일 기기 이용자 수는 약 32억 명에 달하며, 지난 4년 동안에만 10억 명의 이용자가 증가했다. 이러한 잠재적 수요가 모바일 산업의 강력한 성장 동력으로 작용해 2018년에는 세계 모바일 인구가 50억 명(Fig. 1)을 돌파할 것으로 예측되고 있다(Ericsson Mobility Report, 2013).

본 연구의 대상을 조선소로 설정한 이유는 조선소 작업환경은 일반적인 제조업에서 발생할 수 있는 산업재해의 유형이 모두 포함되어 있기 때문이다. 미국 노동부 통계자료(http://www.bls.gov/iif/, 2015)에 따르면, 조선업은 가장 위험한 3대 업종 중의 한 업종으로 규정하고 있는데, 지난 수백 년 동안 선박 건조 방법, 시설 및 장비 등 관련 기술의 발전에도 불구하고 오늘날의 선박 건조 및 정비보수와 관련된 업무와 작업조건들은 과거의 방식과 비교하여 큰 변화가 없다. 또

한 Fig. 2, 3을 보면 조선업의 경우 산업재해율 및 사망만인율이 제조업 전체의 산업재해율과 사망만인율을 보다 각각 20%, 40% 이상 높은 것을 알 수 있다(http://www.kosha.or.kr/board.do?menuId=554, 2015). 따라서 안전한 환경을 확보하기 위한 적극적인 신기술 개발이 필수적이다.

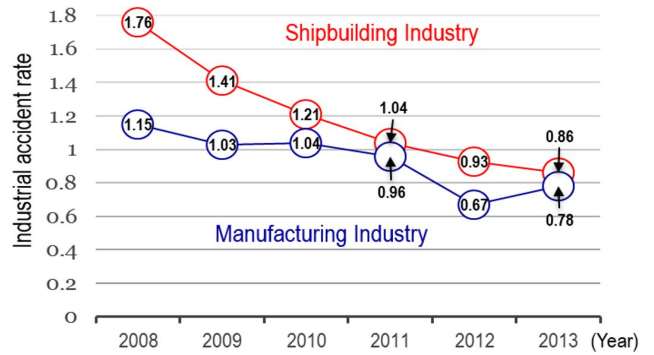


Fig. 2. Industrial accident rate.  
(No. of accidental victims/Total No. of industrial workers)

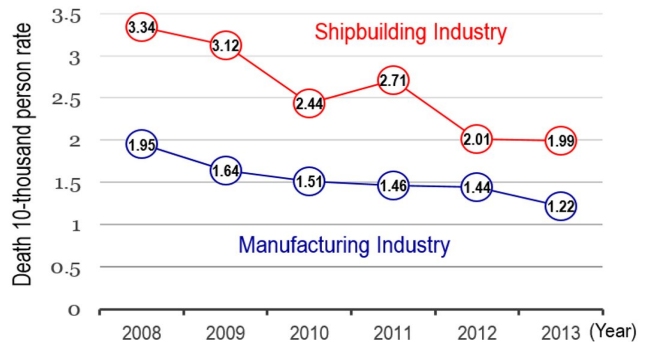


Fig. 3. Industrial death rate.  
(Death 10-Thousand Person Rate)

현재 대부분의 조선소는 조선 및 해양플랜트 현장 안전관리에 필요한 HSE인력이 부족한 상태이다. 조선소 현장에서 빈번히 발생하는 안전사고의 적극적인 예방을 위해서는 HSE와 관련된 전문 인력 양성이 시급하다. D사의 경우 본사와 협력업체 직원 등 하루에 총 3만 7000여 명이 동시에 작업하고 있지만 HSE인력은 총 380명 정도로 전체 작업자의 약 1%를 차지하고 있기 때문에 안전관리를 진행하기에는 쉽지 않은 상황이다.

대부분의 제조업에서는 ERP시스템과 MES를 도입하여 생산성과 작업능률 향상에 기여하고 있다. 조선업에서도 ERP와 MES의 구축을 통해 실시간으로 공정을 모니터링하고, Raw 레벨 하위 정보를 수집하고 분석하는 방법에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있다(Heo, 2010). 본 연구는 MES의



Fig. 1. Increasing user of smart device.

일부분으로, 현대인의 필수품으로 자리매김하고 있는 스마트디바이스와 생체공학적 기능을 접목시켜 작업자의 주변 환경데이터를 실시간으로 수집하고 분석하여 안전한 작업 환경을 구축하고자 한다. 또한 이를 수치화하여 안전에 대해 경각심을 일깨우고, 작업자 스스로가 안전에 능동적으로 대처할 수 있도록 하고자 한다.

## 2. 선행연구

### 2.1 센서를 이용한 작업자 안전관리 사례

Jung(2013)은 6LoWPAN을 이용해 글로벌 네트워크 기반의 모바일 헬스케어 시스템을 구현하였다. 인체의 심전도와 용적맥과 측정을 위해 저전력 웨어러블 센서를 제작하고, M2M 노드를 통해 모바일 기기와 서버로 전송하여 자율 신경계의 활동에 대한 시간 영역 및 주파수 영역에서의 심박 변이도 분석을 실시하였다. 해당연구에서는 이와 같이 최신 IT기술을 헬스케어에 접목한 연구로 착용자의 상태정보를 실시간으로 모니터링 할 수 있는 가능성을 보여주었다.

Yun et al.(2010)은 조선 산업에서의 IT융합기술 중 일부로 신조 선박 도장공정 중에서 열악한 블라스팅 공정에 적용 가능한 위치추적 기술의 적용에 대한 연구를 수행하였다 (Fig. 4). 해당 연구에서는 선체 블록 내, 외부에서 통신이 가능한 위치추적 기술은 RFID를 이용한 근거리 위치추적기술인 Cell-ID와 RSSI(Received Signal Strength Indicator)을 제시하였다. 블라스팅 셀 내의 환경에 적용한 결과, 선체 블록 내에서의 위치추적은 오차범위 5~10 cm 이내로 확인이 되었고 이를 기반으로 작업자 안전 시스템을 구성하였다. 이러한 연구를 바탕으로 무선 네트워크 기술과 센서기술의 상호작용을 통해 새로운 생산 부가가치를 창출할 수 있는 영역이 발굴되고 현재까지 많은 연구가 진행되고 있다.

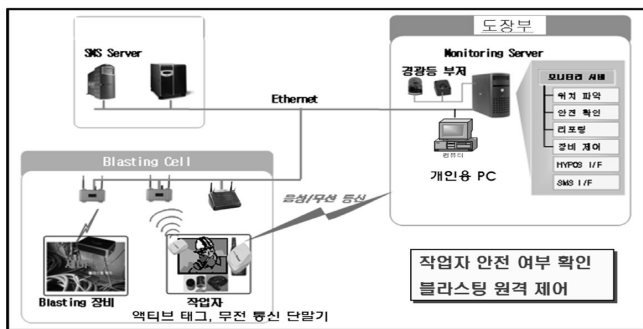


Fig. 4. Architecture of the safety system for blasting workers.

\*\* This system is composed by three element. To upper right is server, left side is painting Dept.'s control room, To right bottom is blasting workplace.

### 2.2 스마트워크 기반 조선소 적용 사례

Park et al.(2013)은 스마트디바이스를 활용하여 조선생산 품질관리 및 공정관리 지원시스템을 개발하는 연구를 수행하였다. 해당연구에서는 기존의 수기 및 구두에 의해 수행되던 품질 및 공정관리 업무를 스마트디바이스를 활용하여 현장작업자 및 관리자가 실시간으로 작업에 관련된 정보를 확인 및 입력, 수정을 할 수 있도록 하여 시간과 장소의 제약 없이 작업지시를 내릴 수 있고, 수행결과를 조회할 수 있도록 하는 연구를 수행하였다(Fig. 5). 이러한 연구는 조선 산업에서 스마트디바이스의 활용가능성을 보여주었고, 일반제조업에서도 진행상황을 실시간 모니터링 하는 것에 대한 중요성을 보여준 사례이다.



Fig. 5. UI of quality management system.

\*\* This is screen of HSE application. There are situation combo box and Calendar, Query button. Clicking on the button, present the corresponding info. to each column(Type, Dept., Content).

Oh et al.(2013)은 스마트디바이스를 HSE(Health, Safety and Environment) 관리 지원시스템에 적용하는 연구를 수행하였다. 해당연구에서는 현재 HSE 관리시스템의 기능을 분석하고 그것을 바탕으로 안전관리 시스템의 기능을 도출한 뒤 모바일 어플리케이션을 개발하였다(Fig. 6). 이는 현재 조선소의 HSE 관련 업무 수행 시 시간과 공간의 제약 없이 데이터베이스에 접속하여 입력 및 수정, 삭제를 가능하게 하여 안전관리 업무의 효율성과 생산성 향상의 가능성을 보여준 것이다. 해당연구 또한 본 연구와 마찬가지로 업무 진행상황을 실시간으로 확인하기 위해 스마트디바이스를 활용한 예로써, 업무수행의 흐름을 단 방향으로 양 방향으로 전환

시키고자 하는 최근 조선 산업의 IT기술 활용 노력의 일환으로 볼 수 있다. IT기술이 발달함에 따라 조선 산업에서 IT 기술을 도입하려는 노력이 증가할 것으로 예상된다.

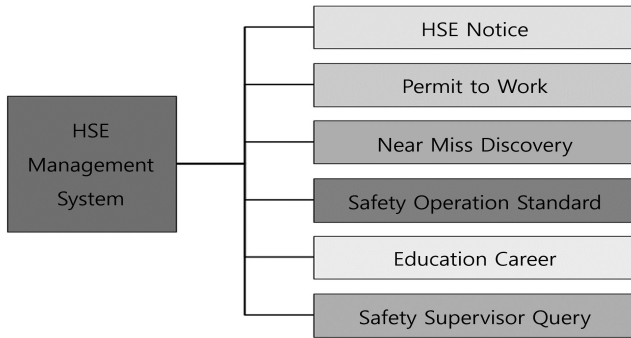


Fig. 6. Function of HSE management system application.

### 3. 조선소 재해유형 분석과 센서 선정

조선소에서 선박 또는 해양플랜트를 건조하는 공정은 가공, 조립, 탑재, 도장, 의장 등 다양한 종류의 공정들이 혼재되어 있기 때문에 다양한 유형의 재해가 발생한다. 따라서

Table 1. Shipbuilding accident of types(www.safetia.com)

Process	Form of Work	Operation Equipment	Risk Factor (MSD is common)
Steel Cargo	Steel Cargo, Transportation	Crane, Forklift, Truck	Narrowness, Falling Objects
Pre-treatment	Steel Pre-treatment	Painting Equipment, Conveyor	Dust, Noise, Fire
Cutting	Steel Cutting	Crane, Cutting (Gas, Plasma)	Dust, Fire, Narrowness
Forming	Steel Forming	Pressure, Heating Torch(Gas)	Narrowness, Burns
Minor Assembly	Major Assembly & Block Minor Assembly	Crane, Welding Machine(Gas), Automatic Welding	Shock, Dust, Conduction, Electric Shock
Major Assembly	Shell Cutting & Block Major Assembly	Crane, Welding Machine, Automatic Welding	Shock, Dust, Conduction, Electric Shock
Outfitting Painting	Hull & Outfitting Painting	Transporter, Crane, Painting Equipment	Fire, Explosion, Fall, Crash
Erection Assembly	Block Erection & Outfitting Installation	Crane, Gondola, Lift, Welding Machine	Fall, Conduction, Electric Shock, Crash, Falling Object
Painting	Hull & Finish Painting	Painting, M/C, Hold Stage	Fire, Explosion, Fall, Gas Poisoning

조선소에서 빈번하게 발생하고 있는 재해 유형 및 요인을 먼저 분석하고, 조선소의 여러 환경들을 감지할 센서를 선정하였다.

Woo et al.(2013)은 조선소의 건조공정의 작업 형태 및 설비에 따른 재해요인들을 분석하고 적용할 센서에 대한 연구를 수행하였다. 작업형태 및 작업 설비에 따른 위험요인을 나열하면 Table 1과 같다.

이를 바탕으로 조선업의 제조공정에서 위험이 발생하는 원인들을 분석해보면 크게 유해물질, 유해가스, 유해소음, 고온, 동작 및 자세불량, 시야확보 미흡, 물리적 외부요인으로 분류할 수 있다. 이런 위험원인들이 단순히 하나의 위험요소로 작용할 수도 있지만, 대부분의 제조업에서는 여러 가지 위험원인들이 복합적으로 발생한다. 사고 유형과 원인을 사람의 인지감각에 연결시키면 Fig. 7과 같이 나타난다.

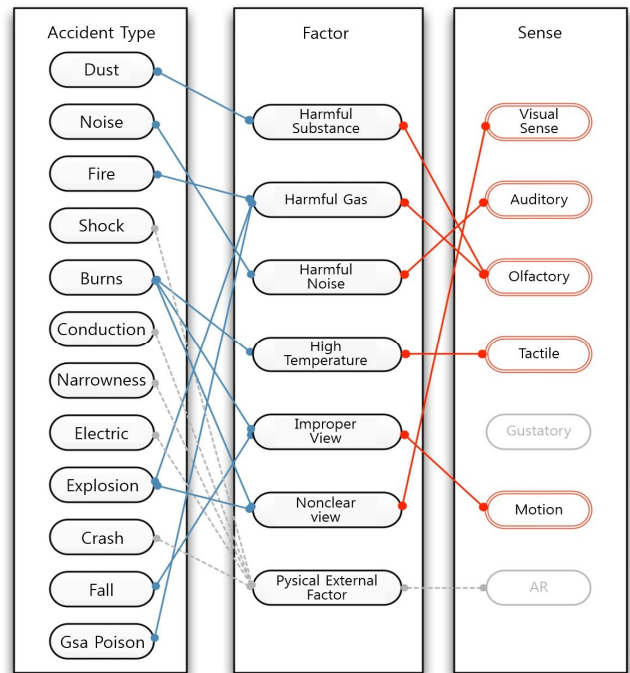


Fig. 7. Accident types and recognition senses.

Fig. 7을 바탕으로 사람의 인지 감각 별로 위험 요소들을 측정할 수 있는 센서를 선정하였는데, 먼저 청각(Auditory)의 경우 소음센서를 이용하여 작업자 주변의 소음을 측정하였다. 후각(Olfactory)의 경우 유해가스 센서와 습도센서를, 촉각(Tactile)의 경우 맥박센서와 온도센서를, 동작의 경우 자이로스코프 센서를 이용하여 작업자의 기울임 상태나 움직임을 판단하고 관리하도록 하였다(Table 2). 하지만 시각 센서의 경우 작업자의 작업 상태를 판단하는데 중요한 요소 중

하나이지만, 본 연구에서는 모바일 계열의 스마트디바이스로 선정하였기 때문에 웨어러블 계열의 스마트디바이스에 탑재되어있거나 탑재될 수 있는 동공인식 센서는 차후 연구에서 진행하도록 하였다.

Table 2. Selection of sensor by sense type

Sense	Sensor Type
Auditory	Noise Sensor
Olfactory	Gas Sensor(CO, CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> ), Humidity Sensor
Tactile	Pulse Sensor, Temperature Sensor
Motion	Gyroscope Sensor

#### 4. 센서모듈 제작

앞서 선정된 센서를 기준으로 상용 스마트디바이스에 탑재되어 있지 않는 가스 센서와 맥박센서, 온도센서를 아두이노를 이용하여 하나의 모듈 형태로 개발하였다. 가스 센서의 경우 산소, 일산화탄소, 이산화탄소센서를 탑재하였는데, 이는 위의 3가지 가스가 작업자의 질식과 관련된 중요한 요소이기 때문이다(Yoo et al., 2009). 온도센서의 경우 스마트디바이스에 기본적으로 탑재되어 있지만, 작업자의 체온을 측정할 수 있는 센서가 필요하기 때문에 센서모듈에 체온측정센서를 탑재하였다. 맥박센서는 컷불이나 피부 층이 얇은 곳에 부착시킬 경우 감도가 증가하는 특징을 가지고 있는 광원투과식 맥박센서를 사용하였다. 센서모듈에 탑재된 센서들의 사양 및 모델은 Table 3과 같다.

Table 3. Specifications of sensor module

Type	Model	Spec.
CO Sensor	MQ-7	0~100%, measure unit: 1%
CO2 Sensor	MG811	20~2000ppm, measure unit: 1ppm
O2 Sensor	SS1118	350~1000ppm, measure unit: 1ppm
Pulse Sensor	Pulse Sensor Amped	Fixed by clip, Light source
Humidity Sensor	HIH-4030	0~100%, measure unit: 0.01%
Temperature Sensor	TMP36FS	-40~125°C, measure unit: 0.01°C

센서모듈 제작은 먼저 센서 종류를 선정하고 그 규격에 맞춰 회로도를 작성한 뒤, PCB를 제작하여 납땀하는 방식으로 수행하였다. 설계 틀은 Dip Trace를 사용하였는데, Dip Trace의 경우 대표적인 기판 설계 프리웨어로써 사용법이 비교적 간단하고 레이아웃 에디터 기능이 뛰어난 장점이 있다. Dip Trace를 바탕으로 설계된 회로도도 Fig. 8과 같다.

제작된 센서모듈은 주변 환경데이터를 측정한 뒤 블루투스 통신을 통해 스마트디바이스로 전송한다. 전송 시 각각의 데이터 값 앞에 특정 이니셜을 넣어, 그 값이 어떤 환경데이터 값을 의미하는지 나타내었다. Fig. 9는 본 연구에서 실제로 제작한 센서모듈의 모습을 나타내며, 'Blue term'이라는 어플리케이션을 이용하여 데이터의 송수신을 테스트한 모습을 나타낸다.

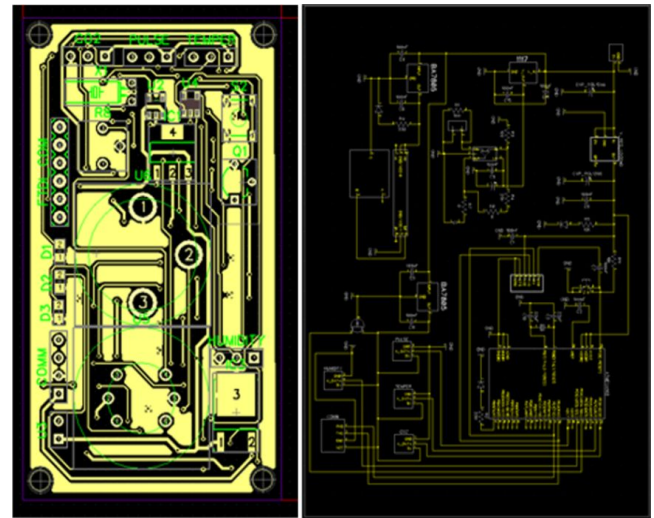


Fig. 8. Drawings(left) and circuit diagram(right) of PCB.



Fig. 9. Sensor module and 'BlueTerm' application.

## 5. 시스템 구현

### 5.1 시스템 개발환경 및 개요

본 연구에서 제작된 센서모듈과 블루투스 연결을 통해 사용된 스마트디바이스는 Galaxy S4이고, Eclipse를 사용하여 서버와 클라이언트 어플리케이션을 개발하였다. 모니터링 프로그램은 Visual studio C#을 사용하였으며, MySQL을 사용하여 서버와 데이터베이스, 데이터베이스와 모니터링 프로그램을 연동하였다. 본 연구에서 수행한 스마트디바이스 기반 HSE 모니터링 시스템의 전체 개요는 Fig. 10과 같다.

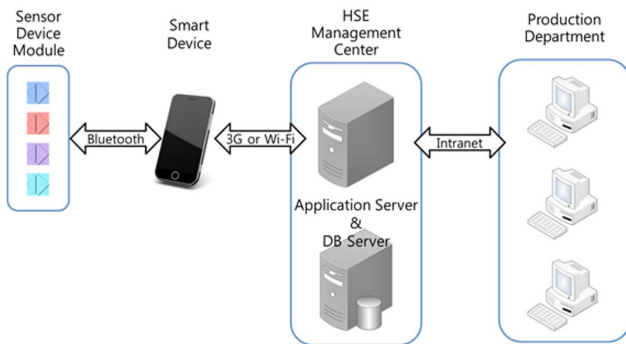


Fig. 10. Overview of HSE monitoring system.

### 5.2 스마트디바이스 어플리케이션 개발

안드로이드 기반 어플리케이션의 주요기능은 크게 3가지로 구분할 수 있다. 먼저 센서모듈에서 측정된 환경데이터를 스마트디바이스로 가져오는 기능, 스마트디바이스에서 측정된 환경데이터와 센서모듈로부터 전송받은 환경데이터를 서버로 전송하는 기능, 마지막으로 환경데이터 값이 작업자의 안전에 위험할 정도로 초과하였을 경우 경고하는 기능이다. 센서모듈로 측정된 환경데이터를 스마트디바이스의 화면에 출력하는 기능의 경우, 스마트디바이스에서 센서모듈의 블루투스 신호를 검색하고, 연결하여 데이터를 수신 및 표시할 수 있도록 하였다. 또한 작업자의 안전이 위험할 때 발생하는 경고 기능의 경우 이동평균의 개념을 사용하였다(Fig. 11). 이동평균은 시계열의 각 항에 대하여 그것을 중심으로 하는 전후 일정한 개수의 평균값을 연결하여 경향선을 구하는 방법으로, 전송되는 데이터들의 추세를 통해 현재 작업자의 지속적인 상태를 알기 위함이다. 가령 체온의 기준치가 36°C일 경우 5분간 측정된 작업자의 체온 평균값이 36°C보다 낮을 경우 작업자에게 경고음과 경고메시지를 발생시켜 주의를 환기하도록 하는 것이다.

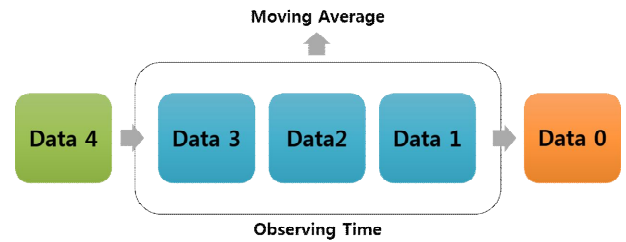


Fig. 11. Concept of moving average.

스마트디바이스에 내장된 센서 중 사용되는 센서는 총 3가지로 자이로스코프 센서, 소음센서, 온도센서이다. 자이로스코프 센서의 경우 6자유도 운동 중 작업자의 움직임을 판단할 수 있는 요소, 즉 Heading(작업자가 바라보는 방향), Rolling(작업자의 좌우 기울임 상태), Pitching(작업자의 전후 기울임 상태)의 3축 운동을 측정한다. 작업자 주변의 소음 측정은 Media Recorder 기능을 사용해 주변 소음을 녹음한 뒤 페어링하여 데시벨 값으로 나타낸다. 마지막으로 온도측정은 스마트디바이스에 내장된 온도센서를 이용하여 작업자 주변 온도를 측정하였다. 반면 체온 측정은 센서모듈에 탑재한 온도센서를 신체와 밀착시켜 작업자의 체온을 측정하였다.

센서모듈과 스마트디바이스에 내장된 센서를 통해 11가지의 환경데이터가 수집되면 각각의 데이터들은 소켓통신을 통해 서버로 전송된다. 본 연구에서는 환경데이터 전송 시간을 1초 간격으로 설정하여 서버로 전송하였다. Fig. 12는 Eclipse에서 제작한 HSE 관리 어플리케이션으로, 11가지 환경데이터를 스마트디바이스 화면에 출력한 모습이다.

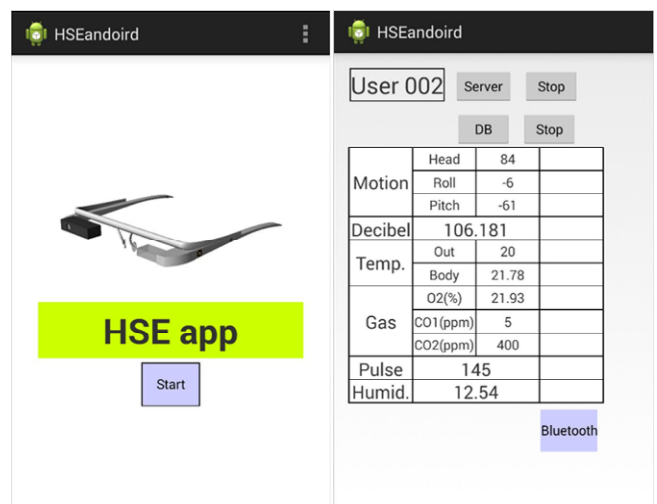


Fig. 12. Opening and main control screen of the application.

### 5.3 서버-데이터베이스 개발

작업관리자가 환경데이터의 저장과 관리를 쉽게 할 수 있도록 테이블 형태로 데이터베이스(이하 DB)를 구축하였다. 외부와 데이터베이스간의 중개역할을 하는 서버는 Java언어를 사용하여 제작하였고, DB가 구축된 PC에서 실행되도록 하였다. DB관리 프로그램으로는 현재 Java에서 가장 많이 사용하고 있는 MySQL를 사용하였다. Java에서 DB에 접속하기 위해 Java API(JDBC)를 사용하여 서버가 직접 DB에 있는 자료를 호출하거나 업데이트할 수 있도록 개발하였다. MySQL의 경우 트랜잭션(Transactions)이나 트리거(Triggers) 등의 기능을 지원하고 있지는 않는 단점을 가지고 있지만 대신 다른 DB보다 속도가 빠르고 표준SQL문을 충실히 지원한다는 장점을 가지고 있다. 무엇보다도 웹서버 구축에 사용되는 PHP와 함께 사용하기 가장 좋은 데이터베이스이다(Jung, 2001). 그렇기 때문에 차후 진행될 모니터링 시스템의 웹 서비스 구현을 대비하여 MySQL을 선정하였다.

테이블은 전송되는 센서 종류별로 Column(열)을 만들고 추가적으로 사용자의 정보를 나타내는 Column(열)과 데이터 수신시간 Column(열)을 만들어 총 13개의 Column(열)으로 구성하였다. 또한 수신시간을 Primary Key(주요키)로 지정하여 중복된 데이터라도 저장이 가능하도록 하여 데이터의 누락을 방지하였다. 제작한 테이블에 대한 스키마는 Table 4와 같다.

Table 4. Schema of HSE database

Field	Feature
SNAME	Name of worker
Heading	Indicates the direction of worker
Rolling	Indicates the status of worker (right and left inclination)
Pitching	Indicates the status of worker (the front and the back inclination)
Decibel	Indicates the surrounding noise of worker
OutTemp	Indicates the outside temperature of worker
BodyTemp	Indicates the body temperature of worker
Pulse	Indicates the pulse of worker
CO	Indicates the surrounding carbon monoxide concentration of worker
CO2	Indicates the surrounding carbon dioxide concentration of worker
O2	Indicates the surrounding oxygen concentration of worker
Humidity	Indicates the surrounding humidity of worker
Times	Indicates the database acquire time

### 5.4 모니터링 프로그램 개발

모니터링 프로그램은 서버로부터 작업자 환경데이터를 가져온 뒤 작업관리자가 작업자의 주변 환경상태를 판단하는데 필요한 기능을 가질 수 있도록 개발하였다. 모니터링 프로그램의 역할은 크게 3가지로 구분할 수 있는데, DB에 접근하여 데이터를 가져오는 기능, 불러온 데이터를 각 항목별 그래프로 표시하는 기능, 마지막으로 모바일 어플리케이션에서와 같이 데이터 값이 작업자의 안전에 위협이 될 정도로 높아질 경우 경고음과 경고메시지를 화면상에 발생시키는 기능이다.

C#과 MySQL의 연동을 위해 mysql.data를 참조하였고 mysql Connection 객체를 선언한 뒤 MySqlCommand를 통해 SQL문을 사용할 수 있도록 하고 업데이트 하는 방식으로 구현하였다. 그래프의 경우 오픈 소스인 Zedgraph 라이브러리를 참조해서 사용하였다. 그래프에는 과거부터 현재까지의 전반적인 작업자상태 변화 추이를 알 수 있도록 하여 단순히 숫자로 나타내는 것 보다 작업관리자가 인지하기 쉬운 장점이 있다.

모니터링 프로그램은 작업자 상태를 실시간으로 감지해야 하기 때문에 멀티스레드 방식으로 작동되도록 구현하였다. 이때 스레드 작동 간격을 좁히면 정밀한 관측이 가능하지만 시스템의 부하가 커지는 단점이 있다. 반면에 스레드 간격을 넓히게 되면 정밀한 분석을 할 수 없기 때문에 본 연구에서는 스레드 작동 시간 간격을 1초로 설정하고 테스트를 수행하였다(Fig. 13).

## 6. 종합 안전지수(CSI) 평가체계 수립

### 6.1 종합 안전지수

스마트디바이스와 센서모듈을 통해 수집된 데이터들을 바탕으로 작업자들의 안전 상태를 정량적으로 파악하기 위하여 본 연구에서는 종합 안전지수(Combined Safety Index)라는 새로운 개념의 용어를 정의하고자 한다.

종합 안전지수란 작업자가 얼마나 안전한 작업환경에서 작업을 하는가에 대한 정도를 수치화 한 것으로 정의할 수 있다.

$$CSI = f(a * M, b * T, c * G, d * P, e * D, f * H) \quad (1)$$

M: Motion(Heading, Rolling, Pitching)

T: Temperature(Outside Temperature, Body Temperature)

G: Gas(CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>)

P: Pulse

D: Decibel

H: Humidity



Fig. 13. UI of HSE monitoring program.

식(1)의 Motion(동작)은 Heading · Rolling · Pitching운동의 복합적인 점수, Temperature는 체온·대기온도, Gas는 산소·일산화탄소·이산화탄소, Pulse는 맥박 수, Humidity는 습도에 해당하는 안전점수를 의미한다. 또한 안전점수 앞의 a와 f사이의 알파벳은 가중치로 필요할 경우 작업환경 및 작업내용에 따라 다르게 부여된다. 예를 들면, 작업환경 자체가 소음이 많이 발생하는 작업장의 경우 Decibel(소음)에 대한 가중치를 많이 두어 작업자의 안전점수에 영향을 미치게 하고, 아르곤 용접장의 경우 작업장에 아르곤 가스의 농도가 많아지게 되고 이로 인해 산소의 농도가 줄어들어 질식의 사고가 빈번하게 발생할 수 있기 때문에 Gas의 가중치를 높게 둔다.

### 6.2 환경데이터 안전점수(Safety Score)

안전점수란 작업 환경에 대한 점수로 임의의 기준치를 충족하지 못하였을 경우 100점에서 감점하는 방식으로 점수가 매겨진다. 감점방식은 앞서 언급했던 이동평균 개념을 사용하여 이동평균의 값이 기준치를 벗어난 시간을 계산하여 감점하는데 이동평균 표본 범위는 10초로 설정하였다.

기준치 미달시간과 감점점수가 정비례하는 관계가 아닌 경우 둘 사이의 관계를 새롭게 정의할 필요가 있다. 적은 미달시간으로도 작업자의 안전에 위협이 될 수 있는 경우 초반에는 급격한 기울기로 감소하다가 점점 완만해지는 형태의 로그함수 관계를 설정할 수 있다(Fig. 14).

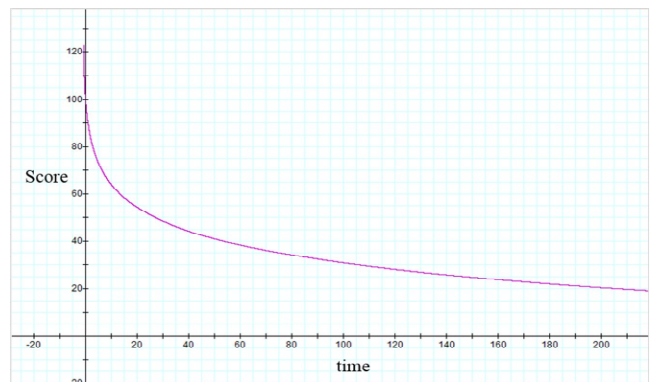


Fig. 14. Relationship between time and score graph by logarithmic function.



### 6.3 실선 탑승 테스트

본 연구를 통해 개발한 센서모듈과 어플리케이션을 한국 해양대학교 실습선인 한나라호에 탑승하여 테스트를 수행하였다. 테스트 목적은 작업현장에서 센서모듈의 활용가능성을 높이고 실제 데이터의 효용성을 검증하기 위해 실시하였다. 테스트를 수행하기 전 센서모듈과 어플리케이션을 신체에 부착하기 위해 암 밴드와 안전모를 Fig. 15와 같은 형태로 제작하였다. 스마트디바이스는 안전모 위에 평형 상태가 되도록 올리고 센서모듈은 암 밴드 안으로 넣되 외부 대기 와 접촉할 수 있도록 밖으로 돌출 시켰다.



Fig. 15. Customized safety cap and arm-band.

테스트 후 생성된 데이터들의 분석을 수행하였는데(Fig. 16), 우선 동작정보의 경우 선박의 낮은 천정과 좁은 통로로 인해 Rolling과 Pitching값이 급격하게 변화하는 현상이 많았고 온도 또한 기관실에서는 급격하게 상승하고 갑판에서는 급격히 내려가는 현상을 보였다. 이와 같이 작업현장에서 생성되어 전송되는 환경데이터를 통해 작업관리자가 작업자의 상태를 파악할 수 있을 것이다.



Rolling	Pitching	...	Time
-4	2	...	15:44:39
-1	19	...	15:44:40
0	21	...	15:44:41
1	21	...	15:44:42
2	7	...	15:44:43

Fig. 16. Test scene and data sample related to motion.

## 7. SPSS를 활용한 통계분석

### 7.1 재해결과-환경데이터 간 상관분석

작업현장에서 발생할 수 있는 재해는 여러 환경적 요인들

이 복합적으로 작용하여 일어나는 것이 대부분이다(Park, 2005). 그러므로 7.1절에서는 센서모듈을 통해 수집된 데이터들과 재해결과간의 상관관계를 도출하는 과정을 다루고자 한다.

우선 작업자 한 사람 당 하루 동안의 데이터를 합산하여 안전점수를 산출한다. 관측하고자 하는 기간을 설정하고 이 기간 동안의 안전점수들을 수집하여 평균을 계산한다. 동일한 방법으로 환경데이터를 가지고 있는 모든 작업자 케이스에 대해 작업을 수행하고, 각각의 작업자마다 분석하고자 하는 재해결과 데이터를 매칭해준 뒤 SPSS 통계 툴을 사용하여 상관분석 및 추세분석을 하게 된다. 본 연구에서 활용한 재해결과 데이터는 난수를 활용하여 임의로 생성한 것으로, 환경데이터와 재해결과 데이터의 상관관계 도출을 위한 방법론을 설명하고자 함이다.

상관분석 기법은 Pearson 상관관계, Spearman 서열 상관관계, Phi-coefficient 등 여러 가지가 있는데, 본 연구에서는 가장 보편적으로 사용되는 Pearson 상관분석을 활용하였다(Lee and Im, 2015). 상관분석은 SPSS의 이변량 상관계수를 이용하면 되는데 분석결과는 Table 5와 같다.

Table 5. Correlation analysis between lung disease and sensor data

Sensor	Pearson Coefficient	Significance Probability (Both Sides)	N
Pitching	0.054	0.589	102
Rolling	0.057	0.572	102
Noise	-0.215*	0.030	102
Outside Temperature	-0.241*	0.015	102
Body Temperature	-0.329**	0.001	102
Oxygen	-0.113	0.258	102
Carbon Monoxide	-0.337**	0.001	102
Carbon Dioxide	-0.309**	0.002	102
Pulse	-0.376**	0.000	102
Humidity	-0.104	0.300	102

SPSS의 상관분석을 통해 상관계수(Pearson Coefficient)를 얻을 수 있는데 이는 변수들 사이의 관계를 나타내는 계수로 1에 가까울수록 정비례 관계 가지고 -1에 가까울수록 반비례 관계를 가진다는 것을 알 수 있다. 위에 리포트에서

Pitching(중동요), Rolling(횡동요), Oxygen(산소), Humidity(습도)의 경우 상관계수가 각각 0.054, 0.057, -0.113, -0.104로 나타났지만, 유의확률(Significance Probability)이 p-value<0.05의 조건을 만족하지 못하므로 비유의적이라 할 수 있다. 반면에 Noise(소음)과 Outside Temperature(대기온도), Body Temperature(체온), Carbon Monoxide(일산화탄소), Carbon Dioxide(이산화탄소), Pulse(맥박)의 경우 유의적인 반비례 관계, 즉 안전점수가 높을수록 호흡기질환에 걸릴 확률이 낮아진다는 결과를 본 리포트를 통해 알 수 있다.

### 7.2 사고 예측을 위한 다중회귀분석

앞서 수행한 상관분석을 통해 재해결과와 환경데이터 사이의 관계를 분석함으로써 재해와 관련된 환경요소들을 찾는 연구를 수행하였다. 회귀분석의 경우 한 변수를 종속 변수로 그리고 다른 변수를 독립변수로 설정하여 이들 간의 관계를 분석하게 되는데(Lee and Im, 2015), 환경데이터를 독립변수로 재해결과데이터를 종속변수로 두고 이들의 관계를 일반화할 수 있다면 임의의 환경데이터에 대한 재해결과를 예측하는데 회귀분석을 사용할 수 있다.

회귀분석은 SPSS의 선형회귀분석 기능을 사용하여 구할 수 있다. Pitching(중동요), Rolling(횡동요), Noise(소음), Outside Temperature(대기온도), Body Temperature(체온), Oxygen(산소), Carbon Monoxide(일산화탄소), Carbon Dioxide(이산화탄소), Pulse(맥박), Humidity(습도)는 독립변수로 호흡기 질환은 종속변수로 설정하여 회귀분석 하였다.

먼저 Table 6과 같이 회귀분석 결과물 중 분산분석을 통해 회귀식이 종속변수를 설명할 수 있는지를 검증할 수 있는데, 유의확률이 p-value<0.05에 만족하면 회귀식의 설명력<sup>1)</sup>(R<sup>2</sup>)이 0이라는 귀무가설을 기각하게 되므로 회귀식이 종속변수를 설명하는데 유용할 수 있다고 판단할 수 있다.

Table 6. Variance analysis report of regression

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significance Level
Regression	.514	10	.054	3.614	.000
Residual	1.363	91	.015		
Total	1.904	101			

만약 회귀식이 유용하다는 판단이 내려지면 Table 7의 계수를 활용하여 식(2)과 같은 다중 선형 회귀식을 만들 수 있다. 그 후 상대적으로 유의성이 적은 Pitching(중동요), Rolling(횡동요), Noise(소음) 등을 회귀식 식(2)에서 소거해 주면 식(3)와 같이 다소 간단한 선형 회귀식을 얻을 수 있다.

$$Y = 0.9736X_1 + 0.590X_2 - 0.717X_3 - 1.825X_4 - 1.812X_5 + 1.191X_6 - 1.508X_7 - 0.971X_8 - 2.261X_9 + 0.468X_{10} \quad (2)$$

$$Y = -1.825X_4 - 1.812X_5 - 1.508X_7 - 2.261X_9 \quad (3)$$

Table 7. Coefficient report of regression

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized	t	Significance Level	Collinearity Statistics	
	B	Standard Error	Beta			Tolerance	VIF
Constant	.748	.126		5.938	.000		
Pitching	.000	.000	.090	.973	.333	.926	1.080
Rolling	.000	.001	.055	.590	.557	.898	1.113
Noise	-.001	.001	-.068	-.717	.475	.874	1.144
Outside Temp.	-.002	.001	-.174	-1.825	.071	.869	1.151
Boby Temp.	-.002	.001	-.178	-1.812	.073	.814	1.228
Oxygen	.001	.001	.120	1.191	.237	.780	1.281
Carbon Monoxide	-.002	.001	-.161	-1.508	.135	.686	1.458
Carbon Dioxide	-.001	.001	-.104	-.971	.334	.688	1.454
Pulse	-.003	.001	-.248	-2.261	.026	.656	1.525
Humidity	.001	.001	.047	.468	.641	.758	1.302

1) 설정한 회귀식이 얼마나 종속변수를 잘 설명할 수 있는지를 나타내는 값

다중 회귀식이 실제로 작업자의 정확한 추세를 반영하기 위해서는 본 연구에서 사용한 102개의 데이터보다 훨씬 많은 수의 데이터가 필요하다고 본다. 데이터의 축적이 많아 질수록 더 변수들 사이의 관계를 더욱 명확히 정의할 수 있을 것이고 점차 조선소 전체의 추세가 아닌 작업장별 또는 공정별 특성을 반영한 특성화된 회귀식을 사용할 수 있을 것으로 기대한다.

## 8. 결 론

본 연구는 스마트디바이스와 다양한 센서들을 사용하여 조선 및 해양플랜트 생산 공정에서 작업자의 상태를 실시간으로 모니터링 할 수 있는 시스템을 구현하고자 하였다. 생산현장의 작업자에서 발생할 수 있는 안전사고를 능동적으로 대처하고 사전에 예방하기 위해 6가지 센서를 탑재한 센서모듈을 개발하였고 어플리케이션을 통해 환경데이터를 서버로 전송하도록 하였으며 서버와 모니터링 프로그램을 연동하여 실시간으로 작업자 환경정보를 모니터링 할 수 있도록 시스템을 구현하였다.

또한 센서를 통해 입력되는 데이터를 인지공학 관점에서 처리하고, 이 정보를 기반으로 종합 안전지수 평가 체계에 대한 연구를 수행하였다. 작업자의 안전 및 신체 상태는 체온, 맥박 등의 어느 한 조건만으로 결정될 수 없기 때문에 동작 및 모든 감각 정보를 종합적으로 판단하여 작업자의 상태를 가장 적합하게 진단할 수 있는 평가체계를 연구하였다.

SPSS 통계 프로그램을 이용하여 상관관계분석 및 사고 예측 모델을 구성하기 위한 회귀분석을 수행하였고 이를 통해 제조 환경 개선에 통찰력을 주기위한 통계 분석 방법론을 제시하였다.

향후 개발된 디바이스 및 인프라를 기반으로 감지 데이터에 대한 Calibration 연구를 수행하고, 실제 조선소 또는 해양플랜트 구조물 환경에서 다양한 테스트를 통해 신뢰성 있는 종합 안전지수를 개발할 예정이다.

## 사 사

본 연구는 산업통상자원부 산업핵심 기술개발사업 "중소형조선소 시뮬레이션기반 생산관리 시스템 개발" 과제(과제번호:10050495)의 지원을 받아 수행되었습니다.

## References

- [1] Global smartphone subscriptions to reach 5.6 billion by 2019(2013), Ericsson Mobility Report, <http://www.ericsson.com>.
- [2] Heo, J. W.(2010), The Implementation of The Optimum Production Process Management System By The Manufacturing Execution System Solution, Ulsan University Library, Ulsan, Korea, pp. 1-43.
- [3] Industrial accident rate and death 10-thousand person rate(2015), <http://www.kosha.or.kr/board.do?menuId=554>.
- [4] Jeon, J. A., N. S. Kim, J. G. Go, T. J. Park, H. Y. Gang and C. S. Pyo(2014), IoT device product and technology trend, Journal of The Korean Institute of Communication and Information Sciences, Vol. 31, No. 4, pp. 44-52.
- [5] Jung, J. W.(2001), Building on Internet Survey System Using Apache PHP Mysql and Application to Webmining, Hanyang University, Seoul, Korea, pp. 1-28.
- [6] Jung, S. J.(2013), Mobile Healthcare System using Wearable Physiological Sensors in Global M2M Networks, Pukyong National University, Busan, Korea, pp. 1-186.
- [7] Lee, H. S. and J. H. Im(2015), SPSS 22 Manual, Seoul, Korea, JypHuunJae, pp. 298-363.
- [8] Oh, H. S., S. R. Chang and D. J. Kim(2013), Smart Work Based Development of HSE Management System, Bulletin of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 50, No. 2, pp. 38-43.
- [9] Park, J. Y., H. S. Oh and S. Y. Moon(2013), Smart Device Based Quality Management and Process Management of Shipyard Production, Bulletin of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 50, No. 2, pp. 26-32.
- [10] Park, S. T.(2005), A study for Understanding of Actual Condition and Prevention Countermeasures Regarding Industrial Disaster in Shipbuilding Industry, Ulsan University, Ulsan, Korea, pp. 1-56.
- [11] Statistical Data of Shipbuilding Industrial Disaster(2015), <http://www.bls.gov/iif/>.
- [12] Woo, J. H., M. J. Sung and G. H. Kim(2013), Research on the HSE Application with Smart Device and Biometrics, Proceedings of the Society of CAD/CAM Engineers Conference, pp. 259-267.
- [13] Yoo, K. M., H. H. Park and K. J. Chung(2009), A Study on Statistics for Accidents in Confined Space in Korea,

Korean Industrial Hygiene Association Journal, Vol. 19, No. 4, pp. 363-369.

- [14] Yun, W. J., Y. S. Ro and S. B. Cho(2010), A Study on Safety System for Blasting Workers using Real Time Location System in the Shipyard, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 47, No. 6, pp. 836-842.

---

Received : 2015. 04. 29.

Revised : 2015. 05. 27.

Accepted : 2015. 08. 27.