

폭발위험지역 근로자 위험 인지형 스마트밴드시스템에 대한 연구

이병권*

동국대학교 융합교육원 교수

A Study on Workers' Risk-Aware Smart Bands System in Explosive Areas

Byong-Kwon Lee*

Professor, Convergence Education Center of Dongguk University

요약 현재 질식 가스 및 폭발위험이 있는 물질에 대하여 실시간으로 경고를 제공하는 서비스 및 시스템에 관한 연구가 진행되고 있지만, 현재 스마트 형 밴드 형태의 서비스는 미비한 실정이다. 본 연구에서는 작업장 내의 정전기로 인한 폭발위험요소의 실시간 확인 및 사고 발생 요인의 즉각적인 제거를 지원하고 작업자 상태 및 작업장의 위험요소(산소, 유해 화학 물질 농도)등의 실시간 모니터링 및 위험 발생시 즉시 경고 및 데이터 분석을 통한 사전 사고 예방시스템 구축방법을 제안한다. 이로써, 산업현장에서 발생할 수 있는 각종 재해를 IoT 기반의 지능형 센서노드, 무선 네트워크 기술 그리고 데이터 가공 미들웨어 및 통합 관제시스템을 이용해 모니터링하고 실시간 산업현장에서의 위험정보를 전달함과 동시에 사고를 예방해 작업자의 안전한 작업환경 지원으로 사후 수습 비용 대비 획기적 비용절감을 할 수 있다.

주제어 : 질식가스, 폭발위험지역, 스마트밴드모니터링, Iot시스템감시

Abstract Research is underway on services and systems that provide real-time alerts for suffocating gases and potentially explosive materials, but currently smart bend type services are lacking. This study supports real-time identification of explosion hazards due to static electricity in the workplace and immediate elimination of accident occurrence factors, real-time monitoring of worker status and workplace hazards (oxygen, hazardous chemical concentration), and immediate warning and data in case of danger. We propose a method of establishing an accident prevention system through analysis. In this way, various accidents that may occur in industrial sites are monitored using IoT-based intelligent sensor nodes, wireless network technology, data processing middleware, and integrated control system, and real-time risk information at the industrial sites is prevented and accidents are prevented. By supporting a safe working environment, the company can significantly reduce costs compared to post-procurement costs.

Key Words : Choking Gas, Explosive Hazard Area, Smart Bend Monitoring, Iot System Monitoring

*교신저자 : 이병권(sonic747@daum.net)

접수일 2019년 9월 28일 수정일 2019년 11월 14일 심사완료일 2019년 11월 18일

1. 서론

화학계열 공장, 가스를 취급하는 산업현장, 인화물질을 다루는 주유소 등의 산업현장에서 정전기에 의한 위험성이 상존하므로 이를 모니터링하고, 즉각적인 제전 활동이 필요하다. 또한, 위험지역에서 인화성 가스 누출시, 근로자들이 인체의 정전기를 인지하지 못한 상태에서 작업을 수행하는 등 위험 요인 내재되어있다[1]. 2005~2015년간 밀폐공간에서 발생한 질식사고로 사망자 222명 및 부상자 82명 등 밀폐공간내 산소결핍이나 유해가스로 인한 질식사고 증가하고 있다[2]. 현장에서 작업 전에 밀폐공간 내 공기상태가 정상상태라도 작업중에 산소가 소모되거나 유해가스가 발생하여 질식 가능성이 있으므로 작업자가 쉽게 모니터링할 수 있는 시스템이 필요하다[3,4]. 본 연구에서는 휴대성과 이동성이 좋은 스마트밴드와 실시간 모니터링 시스템을 제안했다. 제안된 연구는 밀폐공간이나 위험지역 작업자의 손목에 상시 착용하여 작업장 내 위험요소의 실시간 확인 및 사고 발생 요인의 즉각적인 제거를 지원하고 작업자 상태 및 작업장의 위험요소(산소, 유해화학 물질 농도)의 실시간 모니터링 및 위험발생시 즉시 경고 및 데이터 분석을 통한 사전 사고 예방시스템으로 운용할 수 있다[5,6].

2. 관련연구

2.1 국내사고 사례

강원도 태백소재 (주)OO 화약에서 화약원료 및 반제품을 포함한 폭발성물질과 기타폐기물이 혼재된 폐기물을 소각하는 과정에서 폭발이 발생하여 2명 사망, 9명 부상했다<Table1>.

<Table 1> Chemical raw material factory explosion

	
Prevention measures	Cause of disaster
In the case of incineration of explosive materials, thoroughly investigate whether it contains explosive sources such as primers, separate them, and incinerate them.	In the case of incineration of explosive materials, hazardous materials such as primers should be separated and removed, but incineration is carried out with the inclusion of primers due to insufficient classification and identification of incineration wastes.

경기도 화성소재 (주)OO 접착제 제조공장에서 접착제 원료를 용해기(Dissolver)에 투입하여 블렌딩(Blending) 하던 중 원인미상의 점화원에 의해 폭발이 발생하여 4명 사망, 9명 부상했다<Table 2>

<Table 2> Glue factory explosion

	
Cause of disaster	Prevention measures
The explosion caused by an unknown source of ignition, or even the use of high-risk substances such as benzoyl peroxide (organic peroxide), which is a reaction initiator, is expected to cause rapid reaction congestion due to the addition of functional fillers and pigments.	In case of using flammable liquids, make a hazard classification diagram, use explosion-proof electrical machinery and equipment, and carry out grounding.

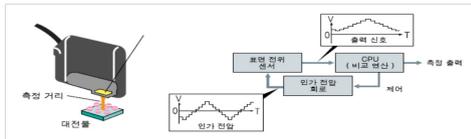
국외의 경우 중국의 텐진항 물류창고 폭발사고는 2015년 8월 12일(수) 23:30분경 중국 텐진항 물류회사의 위험물 적재창고에 야적된 컨테이너에서 최초 폭발이 발생한 후 다른 창고로 번져 30초 후에 2차 폭발이 발생하여 사고가 확대되었다. 피해현황은 소방관 등 139명 사망, 실종자 34명, 부상자 527명, 17,000여명 대피하고, 사고원인 물질(추정) : 질산암모늄(800ton), 질산칼륨(500ton), 시안화나트륨(700ton), 탄화칼슘(500ton) 등으로 알려졌다.

<Table 3> Tianjin Port warehouse detonation in China

	
[사고발생 현장1]	[사고발생 현장2]
Cause of disaster	Prevention measures
It is presumed that a sudden redox reaction started and a fire or explosion occurred, or a fine dust in the mixing chamber formed an explosion atmosphere and a dust explosion occurred due to an electrostatic spark.	Observe work safety rules and thorough training to prevent foreign substances such as explosive and flammable solids from being handled when handling hazardous materials. Thoroughly ventilate the places where flammable dust and flammable solids are used, and use grounding and explosion-proof electrical machinery and equipment.

2.2 정전기 측정기

스파크를 통한 폭발위험을 감지하기 위해서는 정전기 측정이 필요하다. 정전기측정은[Fig 1] 표면 전위 센서에 전압을 계단 형상으로 변화시키면서 인가하여 대상물과의 전위차가 0이 되는 포인트를 산출하는 원리인 V.S.S. 방식으로 측정한다. <Table 4>는 정전기 측정기로 주로 휴대성있지만 밴드 타입으로 되어있지 않다.



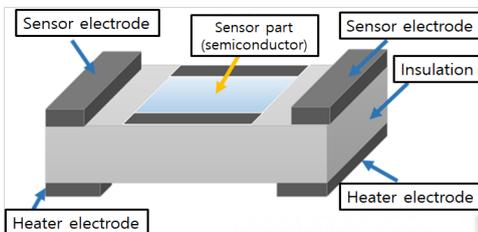
[Fig. 1] Static measuring principle

<Table 4> 정전기 측정기

Measure	Spec.
	[SIMCO] Color LCD Bar Graph Display Digital zero function ERROR indication function in case of sensor failure
	[Handy Type SK-H050] -180 degree rotating head for free measurement -Adopt large screen liquid crystal
	[ARS-S005 Series] Ultra small surface potential sensor RS485 communication control Monitoring program
	[ARM-S050] -All-In-One Type Smart Electrostatic Sensor
	[SVM2 Static Meter] -Compact, lightweight and compact type

2.3 가스센서 특징

질식에 관한 확인을 위해서는 가스 센서가 시스템 포함되어야 한다. 가스센서의 수요는 급격히 증가하는 추세이며, 각종 가스에 대한 감지 소자 개발에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[7,8].



[Fig. 2] Gas sensor operation principle

가스 센서의 원리는 표면물질과 검출을 원하는 가스가 반응을 일으키면, 전기전도 역할을 하는 전자가 사로잡히는 상태가 되는 원리를 이용한다.<Table 5>는 현재 가장 많이 사용되는 가스센서의 특징이다.

<Table 5> Gas sensor features

Sensor type	feature
	Detection Range: 20 - 2,000 ppm CO Response Time: < 150s Heater Voltage: 5.0V
	Measurement Range: 0 - 25%Vol Max detecting Concentrate : 30%Vol Sensitivity : (0.1 - 0.3) mA (in Air)
	Detection Range: 200 - 10,000 ppm iso-butane propane Fast Response Time: <10s
	Measurement Range: 0 - 500 ppm Response Time: < 90s Resolution : 3 ppm
	Measurement Range: 0 - 20 ppm Response Time: < 30s Sensitivity : (0.55 ± 0.15) μA/ppm

2.4 위치측위기술

위치 측위 기술은 애플의 iBeacon 이 2013년 하반기 첫선을 보였다[Fig 3]. 애플전용의 BLE 통신규격이며 실내 위치를 측량하여 애플의 매장 부가서비스에 적용한다. 또한, 회사의 서비스나 응용 제품으로 적용하기 어렵다는 단점이 있다[9].



[Fig. 3] Apple positioning technology

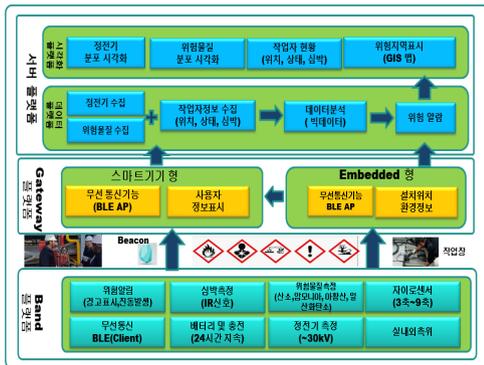
국내의 경우 SKT가 제일 먼저 BLE 전용의 beacon을 협력사를 통해 개발했다. 분당 서울대 병원, 코엑스 지하 매장 등 실내 위치안내 시범서비스 진행중이지만, Bluetooth 4.0 BLE 규격만 지원해서 국내 스마트폰의 20~35%밖에 지원이 되지 않아 범용적이 서비스를 제공하기엔 많은 시간이 소요될 것으로 전망된다. 국내에서는 블루투스를 단순히 해외에서 모듈을 수입조립하여 헤드셋등 오디오 기반의 제품들을 만들 뿐 이런 ICT융합 제품을 개발하기 위한 기업들이 거의 없는 실정이다. 더욱

이, Wi-Fi 역시 대만 등지에서 SOC로 통합보드를 조립하는 수준에서의 제품개발만 이루어지고 있다[10]. 블루투스과 Wi-Fi 프로토콜을 이해하고 응용 서비스에 적용하기 위한 통합기술의 제품은 아직 국내에서나 해외에서 눈에 띄이지 않고 있다. 특히, 비콘 관련 제품은 이제 미국의 애플 등을 중심으로 저전력 블루투스(BLE) 기반으로 아주 최근 첫 상용제품이 나오고 있는 현실이다.

3. 폭발위험지역 인지형 스마트밴드시스템

3.1 폭발위험지역 모니터링 플랫폼

방폭·밀폐등의 위험한 산업현장에서 정전기에 의한 폭발/화재 사고·산소 및 유해 가스에 의한 직실사고등을 예방하기 위한 웨어러블 통합 위험 인지/경보형 스마트밴드 모니터링시스템 플랫폼이다[Fig 4].



[Fig. 4] Smart Awareness Monitoring Platform

또한, <Table 6>는 스마트 인지형 모니터링 플랫폼의 주요 계층별 특징을 나타낸다.

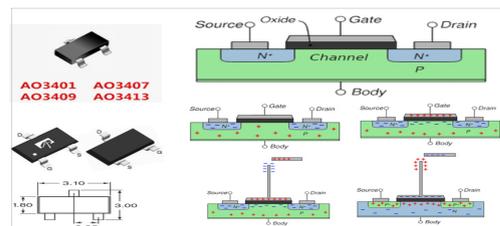
<Table 6> Smart Bend Data Delivery Platform

division	Description of key features proposed
Server Platform	Horizontal Control Portal Platform (Data Platform + Analysis Platform + Visualization Platform) -Support multi-dimensional analysis (prediction) function that can analyze from various three-dimensional perspective Supports more systematic and diverse risk awareness monitoring using operator biometric data and acceleration sensor data -Location of worker location and real-time display of worker risks / harm conditions
	-Raw data collection and DB construction of workplace environment using mobile sensor -Time series analysis and multi-dimensional data model DB generation -Creation of DB for monitoring dangerous area and location information of workers

Gate way platform	<ul style="list-style-type: none"> -Real-time sensor data collection and sensor data transmission and reception from sensor node -Convert and display from sensor node according to sensor unit -Alarm and Display when the set value is exceeded by setting the warning range for each sensor -Collection and transmission of wearer's biometric information through Bio sensor / acceleration sensor of wearable smart band
Industrial Smart Band Platform	<ul style="list-style-type: none"> 0 Compact, low power smart sensor device platform <ul style="list-style-type: none"> -Electrostatic Sensor, Oxygen Sensor, Carbon Monoxide Sensor, Sulfur Dioxide Sensor, Ammonia Sensor -GPS mounting for outdoor positioning: check worker location on server -Server notification and danger alert to worker when detecting its own risk -Heart state / acceleration sensor based worker status information -Development of charging system 0 Wireless data transmission and reception protocol with wearable smart band <ul style="list-style-type: none"> BLE-based low power RSSI signal measurement for outdoor positioning 0 Proposed development of cognitive standards by risk factors <ul style="list-style-type: none"> -Analysis of danger and danger environment of electrostatic explosion -Define unit of cognitive risk -Present risk criteria for each risk factor (static electricity, oxygen concentration, chemical concentration, etc.)

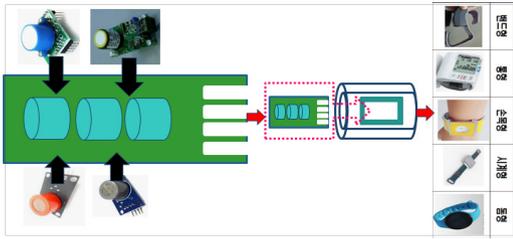
3.2 정전기감지를 위한 손목형 스마트밴드 연구

손목형 밴드 타입을 목표로 한 설계 및 제작 진행함으로써 정전기 센서의 소형화를 위한 설계 및 디자인 작업 진행한다.

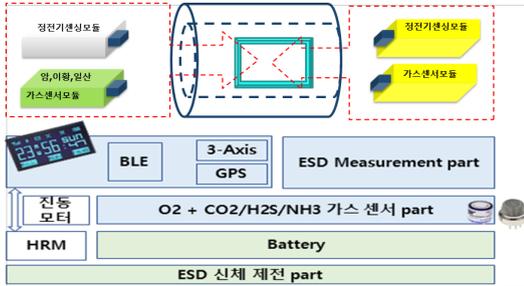


[Fig. 5] MOSFET-based Static Sensing Sensor

또한, 센서를 모듈 단위별 도킹이 가능하도록 인터페이스 제작한다. 측정기를 대상물의 표면에 수직으로 접근시키면서 기기의 유효측정거리에서 측정범위가 크기 때문에 1kv~30kv 이상의 전기장 측정 기술 연구가 필요하다. [Fig 5]은 스마트밴드에 인장될 안테나 타입은 MOSFET 반도체 소자를 이용한 방식으로 개발진행한다. [Fig 6]와 같이 센서의 모듈이 종류 유형별 많기 때문에 현장 맞춤형 센서 제공이 필요하다.



[Fig. 6] dock custom sensor fabrication modules



[Fig. 7] Smart Band Hardware Block Diagram

스마트밴드에 각종 센서를 모듈식 장착을 통하여 확장성을 극대화하는 방법을 제안한다. 작업자의 환경 및 특성에 따라 필요한 센서의 유형과 특성이 다르므로 적용형 모듈 교체 방법이 유리하다고 판단된다[Fig 7].

3.3 작업자 위치 및 정보수집 모니터링 연구

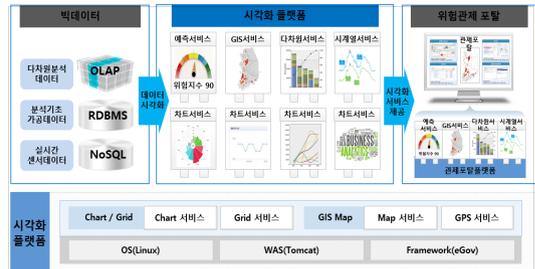
작업자 위치 및 정보수집을 위한 모니터링시스템의 경우 데이터플랫폼, 시각화플랫폼 및 위험관계 포털로 구분할 수 있다<Table 5>[Fig 6].

<Table 7> collection monitoring system elements

Platform	Elements
Risk Control Portal	<ul style="list-style-type: none"> Real-time monitoring and dangerous area display dashboard
Visualization Platform	<ul style="list-style-type: none"> 0 Chart, Grid, Report, GIS Map / Indoor Positioning Components 0 Standardization of risks (risk situation / risk indicators / thresholds / workplace management) 0 Platform Features for Mounting the Monitoring Portal
Data platform	<ul style="list-style-type: none"> Heart rate sensor, acceleration sensor, dangerous gas, electrostatic data collection function ETL function for basic processing data (ODS) generation ETL function for time series analysis, multidimensional analysis and pattern analysis ETL function for risk situation prediction and forecast information extraction



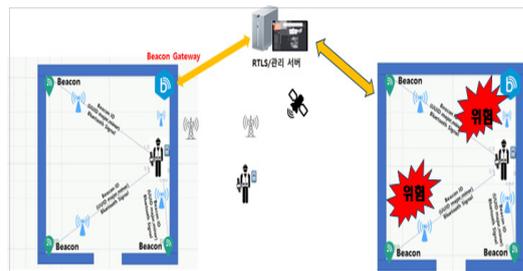
[Fig. 8] Information Collection Monitoring System Service Hierarchy



[Fig. 9] Situation Monitoring Analysis Tool Configuration

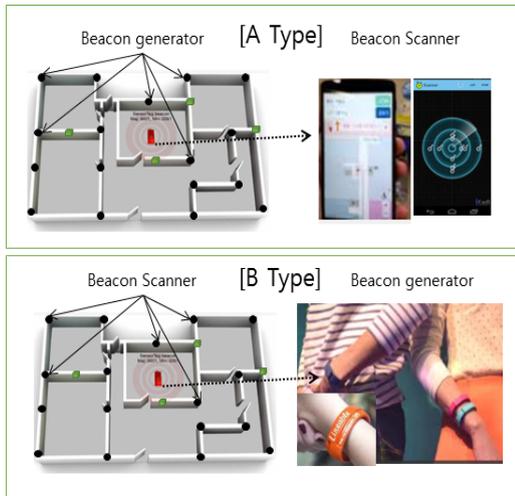
3.4 작업자 위치 및 영역 인지 모듈

작업자 위치 및 영역 인지 모듈은 정전기로 인한 화재 및 폭발 가능 영역 출입시 경보 각종 알림 기능으로 예측된 데이터를 기반으로 작업자의 위치 측위 기능으로 알림을 제공한다. 또한, 위치 측위를 위한 비콘 기능을 활용한 측위 통하여 beacon 및 통신을 위한 Gateway로 구성과 Gateway가 지역에서의 SmartPhone을 활용한 Gateway system 구성 및 실외 위치 측위는 GPS를 활용한다. [Fig 8] 실내에서 각종 위험 지역을 미리 알려주어 작업자의 생명과 건강을 지켜주는 서비스이다. 지역을 벗어나도 GPS 신호 건물 내에 BLE Beacon기능을 이용하여 연장서비스를 진행한다.



[Fig. 10] RSSI positioning service

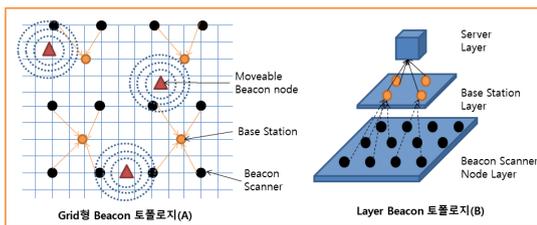
또한, 작업장 내에서는 Beacon Scanner의 경우 두 가지 형태로 구분할 수 있다.



[Fig. 11] Beacon Scanner Type

- A Type : 비콘 발생기가 천정이나 벽에 부착되어 스마트밴드가 신호를 수신해 자신의 위치를 파악하는 방식
- B Type : 비콘 발생기가 스마트기기에 있으면서 천장이나 벽에서 비콘 신호를 받아서 위치를 서버로 보내는 방식

작업자의 위치에 따른 추적할 경우 데이터의 정확성 및 수집의 실시간성이 매우 중요하다. 이러한 경우 이중 게이트웨이 방법이 가장 효율적일 것이다.

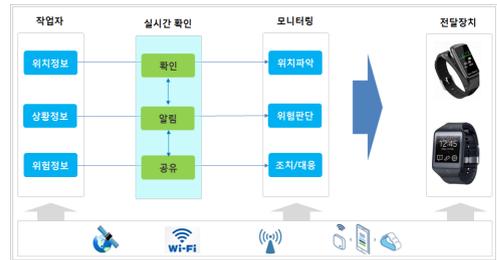


[Fig. 12] Beacon Data Collection Configuration

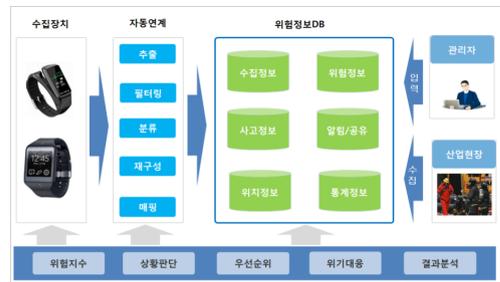
3.5 스마트밴드 활용 서비스 운영 시나리오

제안된 연구는 이동성 및 확장성을 고려해 스마트 밴드를 착용하고 위험지역에 도달했을 경우 자동으로 위치 및 위험정보를 알려주는 서비스를 제안한다. 실시간 위험인지 및 예측 정보를 밴드로 전달은 작업자의 위치를 파악하고 데이터를 필터링하여 알림 서비스 진행한다[Fig 13]. 또한, [Fig 14]은 스마트밴드를 기준으로 진행은 산

업안전 위험정보를 실시간 확인하여 신속한 상황 조치 및 대응체계가 필요하다. 작업자들에게 신속하게 안전정보를 제공하기 인지 정보를 통합하여 DB구축하고 스마트밴드로부터 작업자의 위치정보 및 환경정보(가스, 산소, 맥박)위험 정보 DB에 기록한다.



[Fig. 13] Delivery Mechanism to Smart Band



[Fig. 14] Mechanism to the Server

4. 결론

제안한 연구는 산업현장에서 발생할 수 있는 각종 재해를 IoT 기반의 지능형 센서노드, 무선 네트워크 기술 그리고 데이터 가공 미들웨어 및 통합 관제 시스템을 이용해 지켜보고 실시간 산업현장에서의 위험정보를 전달함과 동시에 사고를 예방해 작업자들의 안전한 작업환경 지원가능한 솔루션을 제공한다. 이를 위해 Band 플랫폼(스마트밴드)기술인 센서 지원 초소형 저전력 스마트밴드 플랫폼제안 함으로써, 센서 노드로 부티의 실시간 센서 데이터수집 및 서버와 데이터송수신 및 실시간 센서 데이터 모니터링 및 위험 발생시 경보를 한다. 또한, 작업자 모니터링 및 위험인지 분석 SW 플랫폼(서버 탑재형 SW) 제안했다. 최종적으로 시각화 플랫폼을 제안함으로써 실시간 모니터링은 물론 미래에 발생 가능한 사고를 예측할수 있도록 했다. 향후 연구과제로 구축된 각종 센서 수집을 데이터를 기준으로 작업자를 이동 동선을 예

측하고 문제 발생 가능성을 예측하는 AI형 폭발사고 예측 시스템을 구축할 필요가 있다고 생각한다.

Network in IoT Environment”, the Korea Internet of Things Society, Vol.2, No.3, pp.37-41, 2016.

REFERENCES

- [1] K.H.Kook, "A Study on the Current Status and Prevention Measures of Accidents in Chemical Plants," Master's Thesis, Chonnam National University, 1999.
- [2] H.M.Kwon, "A Study on the Accident Analysis Factors for Accident Prevention for Chemical Plant Accidents," Yonsei University Graduate School, 1999.
- [3] American Institute of Chemical Engineers, Dow's Fire and Explosion Index Hazard Classification Guide, AIChE, 7th ed, New York, 1994.
- [4] API, Risk-Based Inspection Base Resource Document : API-581, American Petroleum Institute, 1st ed., New York, 2000.
- [5] Britter, R.E. and McQuaid J., "Workbook on the Dispersion of Dense Gases, Health and Safety Executive(HSE), No.17, U.K, 1988.
- [6] H.W.Noh, "A Study on the Introduction of Risk Management in Domestic Chemical Industry," Master's Thesis, Inje University, 2001.
- [7] Korea Sensor Research Institute, "Principles and Importance of Gas Sensors," Korea Sensor Research Institute, 2016.
- [8] Pir sensor , <http://www.komantech.co.kr>, komantech.
- [9] S.G.Kim, T.H.Kim, S.W.Tak, "Performance Evaluation of RSSI-based Various Trilateration Localization", Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol.15, No.2, pp.0493-0496, 2011.
- [10] J.H.Lee, "A Study on Indoor Positioning Algorithm using Combining WiFi and Beacon on Smart Phone ", Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering May 26, 2015.
- [11] H.Liu, "Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and systems,"IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics- Prt C: Applications and Reviews, Vol.37, No.6, 2007.
- [12] J.Jun. et al, "Social-Loc:Improving indoor localization with social sensing,"Proceedings of the 11th ACM Conference on Computing pp.88-106, 2013.
- [13] Z.Li,Z. Deng,W. Liu, and L.Xu, "A Novel Three-Dimensional Indoor Localization Algorithm Based on Multi-Sensors,"China Satellite Navigation Conference, 2013.
- [14] IBeacon, 2018, <http://www.tadlys.co.il/>
- [15] Y.C.Ahn, "Development of Convergence Smart Home Platform Based on Image Processing and Sensor

이 병 권(Byong-Kwon Lee)

[정회원]



- 2007년2월 : 충북대학교 전자계산학과 (이학박사)
- 2013년2월 : 이솔정보통신 연구소장
- 2014년3월 ~ 2018.12 : 동국대학교 멀티미디어공학과 조교수
- 2018년12월 ~ 현재 : 동국대학교 융합교육원 조교수

<관심분야>

비전인식, 멀티미디어시스템, 증강현실, 가상현실, 혼합현실, 센서네트워크, 컴퓨터시스템, 사물인터넷, 정보통신