

논문 2012-49IE-1-3

MEMS 센서를 활용한 건설현장 작업자 위치/안전 정보 추적 시스템 개발

(Development of Location/Safety Tracking System for Construction Site Workers by Using MEMS Sensors)

김진영*, 안성수**, 강준희***

(Jin Young Kim, Sung Soo Ahn, and Joonhee Kang)

요약

유비쿼터스 기술의 발전과 더불어 다양한 응용 분야가 대두되고 있으며 특히 건설 현장 분야는 유비쿼터스 기술 및 시스템을 도입 하였을 때 많은 기대효과를 얻을 수 있는 분야이다. 건설 현장에는 항상 많은 위험요소가 존재 하며 특히 추락 사고가 높은 발생 비율을 차지하고 있다. 이러한 사고를 방지하기 위해서 안전교육 및 안전장비 착용 등 다양한 노력을 기울이고 있다. 본 연구에서는 무선 회로 (TOA, RSSI)를 구성하여 작업자의 안전정보 및 위치정보를 실시간으로 모니터링 할 수 있는 시스템을 설계하고 제작하여 측정하였다. 산업용 장비에서 많이 사용되는 ATmega128 MCU를 사용하였으며, 무선 회로를 위해서는 나노트론사의 NanoPan 5357 모듈과 TI사의 CC2500 칩셋을 사용하였다. 또한, 주변환경 정보를 취득하기 위해서 3축 가속도 및 압력 MEMS센서를 적용하였다. 이를 통해 작업자의 이동여부 및 고도정보를 판단할 수 있도록 시스템을 개발하였다. 응용소프트웨어는 NI사의 Labview 소프트웨어를 이용하여 개발을 진행하였다. 작업자가 위험지역에서 안전장비(안전고리)를 착용하지 않을 경우 서버 관리자와 작업자에게 경고 알람을 울리도록 시스템을 개발하였다.

Abstract

Fast development of ubiquitous technology prompted the broadening of the related application area. Application of ubiquitous techniques and system into the construction sites may give us many benefits. There are always a lot of hazard situations in construction sites, and the falling is known to have the high accident rate. To prevent the falling, there has been a lot of efforts including safety education and use of safety gears. In this study, we designed, fabricated and tested a system that can monitor the worker's safety and location informations in real time by using the wireless technology of TOA and RSSI. We used ATmega128 that is popular in the industrial equipments as MCU and NanoPan 5357 module from Nanotron and CC2500 chipset from TI for radio circuits. We also used 3-axis accelerometer and pressure MEMS sensors to obtain the environmental information, and therefore to acquire the informations of the worker's movement and altitude. We used Labview software from National Instrument to monitor and control the system. We developed the system to send the warning alarms to the server operator and the workers when the workers in the danger zone did not wear the safety hook.

Keywords : TOA, RSSI, Sensor, MEMS, RTLS

* 정회원, 아이.에이치.에스
(R&D, I.H.S)

** 정회원, 명지전문대학 정보통신과
(Dept. of Information Communication, Myongji College)

*** 정회원-교신저자, 인천대학교 물리학과
(Dept. of Physics, Univ. of Incheon, Corresponding author)

접수일자: 2011년11월1일, 수정완료일: 2012년3월7일

I. 서 론

오늘날 IT산업의 급격한 발전으로 인하여 모든 사물이 지능화, 정보화 및 네트워크화 되어 가는 이른바 유비쿼터스 환경을 기반으로 한 사회로의 전환기를 맞이하고 있으며 이미 모든 정보통신 분야에서의 기술 발전은 유비쿼터스 환경이라는 새로운 패러다임으로 전환, 집중 되고 있는 실정이다. 유비쿼터스 기술의 발전은 센서를 단순한 환경정보 습득 차원에서 벗어나 네트워크와의 연동을 통한 다양한 산업분야로의 접목을 통해 효율성을 극대화하고 삶의 질을 향상시키는데 기여하고 있다. 또한 유비쿼터스 기술의 발달은 기업의 이윤을 극대화하는 좋은 비즈니스모델로 각광을 받고 있다. 이러한 비즈니스 모델로는 현재 헬스 케어, 홈오토메이션, 농작물 관리, 혈액 관리, 재고 관리, 교량 안전 관리 등, 많은 분야에서 사용되어지고 있으며 앞으로 저전력, 소형화를 대표하는 유비쿼터스 기술을 요구하는 곳이 많아 질 전망이다. 특히 위치추적 관련 기술로는 RF를 이용한 WiFi, GPS, ISO 24730-2, UWB 등 매우 다양한 기술이 존재하고 있으며, 지속적인 연구개발이 이루어지고 있다^[1~3].

그 중에서도 특히 건설현장 분야는 이러한 유비쿼터스 시스템을 도입의 필요성이 많은 분야라 할 수 있다. 건설작업 자동화를 위한 실시간위치추적 시스템에 관한 기초 연구가 수행되었으나 실제 상용화를 위해서는 보다 많은 연구가 필요한 실정이다^[4~5]. 왜냐하면 건설 현장에는 많은 위험요소가 존재 하며 무선 기술을 사용할 경우에 발생할수 있는 다양한 간섭, 차폐, 반사 등의 현상이 수시로 발생 할 수 있기 때문이다. 이는 기술의 문제라기 보다는 무선 주파수가 파동으로서 갖는 고유한 성질에 기인한다고 할 수 있다. 현재 건설업계에서는 빈번히 발생하는 추락 사고방지를 위해 안전교육 및 안전장비 착용 등 다양한 노력을 통해 근로자의 안전을 보장하기 위한 투자를 하고 있다. 본 연구에서는 건설 현장에서 작업자의 안전과 위치정보를 취득하여 관리자 와 작업자 본인에게 위험을 알려줄 수 있는 무선 송수신 시스템을 개발하였다. 특히 작업자의 위치정보를 취득하기위해 TOA(Time of Arrival) 방식의 무선 회로를 구성하였으며, 작업자가 착용하는 안전장구의 착용여부를 판단하고 무선으로 송수신하기 위해 RSSI(Received Signal Strength Indication) 방식의 무선회로를 듀얼로 구성하였다. 이렇게 듀얼 방식으로 구성한 이유는 RSSI 방식으로만 위치추적을 진행할 경우 일반적으로 태그와

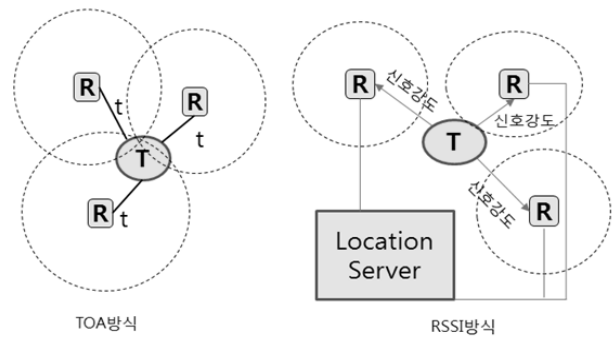


그림 1. TOA 방식과 RSSI방식의 차이점
Fig. 1. Difference of TOA method and RSSI method.

수신기 사이의 거리가 늘어남에 따라 오차가 비례하여 증가하는 문제점이 있다. 그래서 RSSI 방식을 사용할 경우에는 곳곳에 수신기를 설치해야 하는 부담이 있다. 이에 반해 TOA 방식은 태그와 수신기 사이의 거리가 증가해도 오차는 일정하게 유지되는 장점이 있다.

본 연구에서 작업자의 위치정보는 오차가 적은 TOA 방식으로 판단하도록 시스템을 구성하였으며, 작업자가 착용하는 안전장구의 경우에는 RSSI 방식을 적용하여 거리에 따라 착용하였는지 아닌지를 쉽게 판단할 수 있도록 듀얼 시스템으로 구성하였다.

그리고 작업자 가사용하는 안전장구에 TOA 칩셋을 구성할 수도 있으나 TOA 칩셋의 가격이 RSSI보다 월등하게 비싸기 때문에 듀얼방식을 채택하여 실제 현장에 적용할 수 있도록 생산 단가를 낮추는 방향으로 설계를 진행하였다. 그림 1에 위치추적 방식에 따른 차이를 나타내었다. TOA 방식은 태그가 전송하는 RF 신호가 수신 리더에 도달하는 시간을 측정해서 태그와 리더 간 거리를 구하고 위치계산에 이용하는 방식. 이동체에 부착된 태그가 전송하는 RF 신호가 이동체의 이동구간 외곽에 배치된 적어도 3대 이상의 리더 안테나에서 인식되는 시간을 측정하면, 각 리더와 태그간 거리를 알 수 있고, 각 리더를 중심으로 태그와의 거리를 반경으로 하는 원(또는 구)을 그려서 태그의 위치정보를 찾아내는 방법이다.

이와는 달리 RSSI 방식은 위치추적을 위해 여러 대의 수신장치를 사용하여 태그가 송신하는 신호를 수신장치가 수신하고 3대의 수신장치에서 받은 신호의 강도를 바탕으로 태그와 수신장치까지의 거리를 추정하여 태그정보를 서버에 전달하고, 이 값을 이용해 위치계산을 수행하는 방식이다. 실내의 경우 칸막이나 벽이 신호의 강도를 감쇄시키기 때문에 사전에 검증된 RF 신

호 강도의 맵을 구성하고, 이 기준에 의거해 위치계산 프로세스를 진행하는 것이 일반적인 방식이다. 뿐만 아니라 압력센서와 3축 가속도 센서를 내장하여 주변 환경정보를 수집 분석하여 종합적인 판단이 가능하도록 시스템을 개발하였다. 이러한 작업자의 안전장비의 착용여부를 확인하고 모니터링 할 수 있는 시스템이 건설 현장에 보급되어 진다면 안전 교육비용 및 재해 보상 비용 등을 저감 할 수 있을 것으로 기대된다.

II. RTLS 시스템 설계

1. 하드웨어 설계

건설 현장에서 작업자의 위치 및 안전정보를 취득할 수 있도록 무선송수신 시스템을 설계 하였다. 그림 2는 본 연구의 시스템 구성도를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 건설 현장에 무선 수신기인 AP를 설치하여 인식영역을 구축하게 된다. 본 연구에서는 4개의 AP가 1개의 셀을 구축 할 수 있도록 시스템을 구성하였다.

이러한 인식영역 안에 작업자가 송신기를 착용하고 위치하게 되면 무선 통신을 통해 작업자의 위치정보와 안전장비의 착용여부를 base station이 수집하게 되고 수집된 정보는 서버에 전송되도록 하였다. 관리자는 서버를 통해 수집된 정보를 바탕으로 작업자의 위치정보와 안전장비 착용여부를 실시간으로 확인할 수 있다. 작업자가 위험지역에 위치하고 안전장비를 착용하지 않은 경우에는 관리자와 작업자에게 경고알람을 제공하여 안전사고에 대응 할 수 있도록 하였다.

그림 3은 본 연구에서 개발한 시스템의 블록다이아

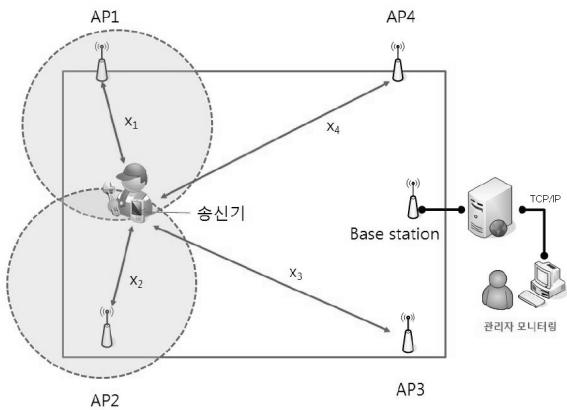


그림 2. 작업자 위치/안전 정보 시스템 구성도
Fig. 2. System diagram of Location and Safety Tracking system for a construction site worker.

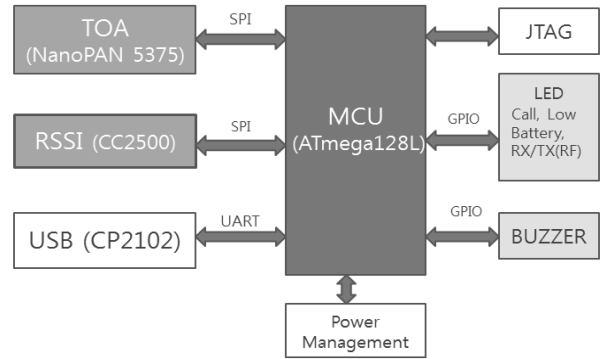


그림 3. 하드웨어 블록다이아그램
Fig. 3. Hardware block diagram.

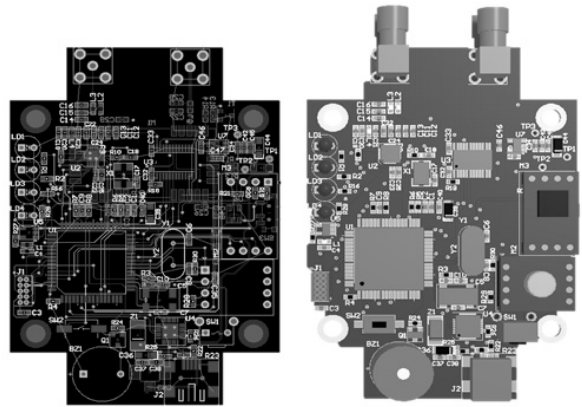


그림 4. 하드웨어 블록다이아그램 (좌) 2D (우) 3D
Fig. 4. Block diagram of Transmitter Hardware (left) 2D result (right) 3D result.

그램을 나타내고 있다. 하드웨어의 주요 구성요소로는 정보를 취득하고 처리하는 MCU(ATmega 128L)와 TOA 무선회로, RSSI 무선회로, 전원회로, 피드백 회로(LED, 부저), 인터페이스 회로(USB)로 구성된다.

그림 4는 송신기 하드웨어의 PCB layout 결과를 나타내고 있다. 송신기 하드웨어의 PCB는 4층 기판으로 디자인 하였다. 그림 3의 좌측은 2D Layout 결과이며, 우측은 3D 결과를 보여주고 있다.

3차원 모델링을 수행하여 부품간 또는 케이스와의 간섭을 최소화 하도록 하였다. TOA 회로는 Nanotron사의 PAN 5375 칩셋을 사용하였으며, RSSI 회로를 구성하기 위해서 TI사의 CC2500 칩셋을 사용하였다.

2. 펌웨어 설계 및 구현

그림 5는 펌웨어 개발 화면을 보여주고 있다. 개발틀은 AVR studio 툴을 이용하였다. 펌웨어는 위치추적 시스템이 정상적으로 동작하도록 송수신기에 탑재할 프

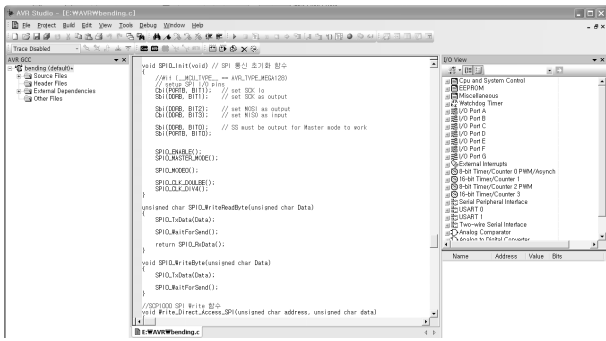


그림 5. 펌웨어 프로그래밍 화면
Fig. 5. Firmware programming snapshot.

로그를 제작하는 것으로 매우 중요하다. 본 연구에서는 무선 통신 기능 및 송신기와 수신기 사이의 거리정보를 추정하기 위한 레인징 알고리즘 및 PC등의 외부 인터페이스와 연동 및 센서데이터 취득을 원활히 할수 있도록 펌웨어 개발을 진행하였다.^[6~8]

3. 응용 소프트웨어 구현

그림 6은 작업자 위치 추적을 위한 응용소프트웨어 화면을 나타내고 있다.

응용 소프트웨어는 GUI기반의 프로그래밍 언어인 Labview를 사용하여 개발을 진행하였다. Labview 소프트웨어는 현재 많은 연구자들이 사용하고 있으며 빠른 연구개발 및 응용이 가능하다. 응용소프트웨어는 작업자가 착용한 송신기와 AP사이의 거리 정보를 수집하여 x,y 좌표로 변환하는 기능을 수행하며, 칼만 필터를 적용하여 오차에 대한 필터링 기능을 수행하도록 하였다. 또한 수집된 센서정보를 바탕으로 경고 알람을 동작시키는 여부를 판단하는 기능을 담당한다.

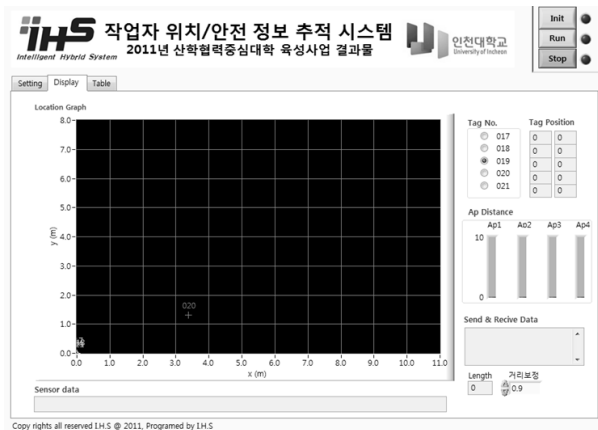


그림 6. 응용소프트웨어 동작 화면
Fig. 6. Application Software snapshot.

III. 제작 및 테스트

그림 7은 제작된 송신기의 사진을 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 높이를 측정하기 위한 압력센서와 사용자의 움직임 여부를 판단할 수 있는 가속도 센서를 내장하였으며, TOA, RSSI방식의 무선회로를 내장하여 단말기를 제작하였다. 작업자 착용 단말기의 크기는 6.3 × 8.8 × 2.6 cm 이며 2.45GHz 통신을 위해 mono pole 안테나와 ship 안테나를 내장하였다. 센서값을 수신하기 위한 통신 프로토콜은 다음과 같다.

구분자(1byte) + ID(5byte) + x,y,z(12byte) + 고도(5 byte)+ 고리정보(1 byte). 데이터 수집 결과를 보면 \$00001080004501020+0038Y000 의 형태로 나타난다. 프로토콜 형식대로 해석하면 TagID 00001, x값 0800 y값 0450, z값 1020, 고도값 0038, 고리정보 Y000 으로 해석할수 있다. 이를통해 작업자가 착용한 태그 ID와 3축 가속도 정보를 확인하고 높이정보를 통해 주변환경 정보를 취득할 수 있도록 하였다. 안전고리 착용여부를 판단할수 있어 실제 현장에 적용할 수 있을것으로 판단된다.

본 연구를 통해 개발된 제품의 위치추적 성능을 측정하기 위해서 실외에서 테스트한 결과를 그림 8에 나타내었다. 측정결과를 통해 볼 때 본 시스템의 오차는 2m 이내의 오차를 나타내는 것을 확인 할 수 있다. 최소오차는 1m 이내 였으며 최대 오차는 1.3m 였다. 위치추적 결과 및 오차를 표1에 정리하여 나타내었다. 각 데이터는 30회 동안을 측정하여 평균한 값을 사용하였다.

그림 9는 측정 시 수집되고 있는 응용소프트웨어의

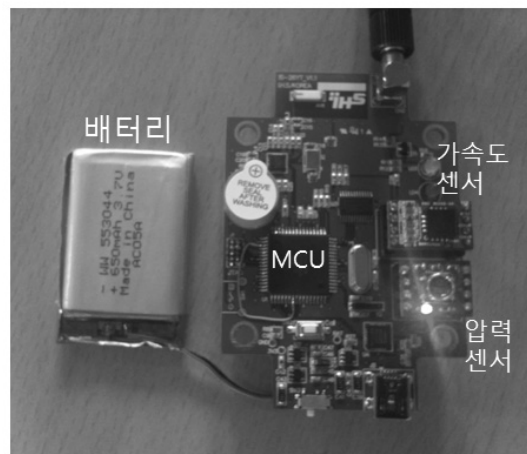


그림 7. 송신기 하드웨어 제작 결과
Fig. 7. Transmitter Hardware Result.

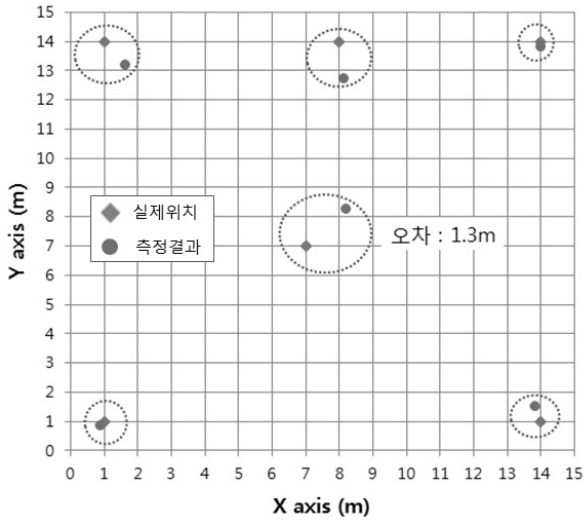


그림 8. 실외 위치추적 성능 테스트 결과
 Fig. 8. Measurement Result in outdoor environment.

표 1. 위치추적 오차 측정 결과
 Table 1. RTLS accuracy measurement result.

좌표	30회 평균		오 차			
	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	X(%)	Y(%)
(1, 1)	0.87	0.87	0.13	0.13	1.3	1.3
(1,14)	1.62	13.20	0.62	0.80	6.2	8.0
(7,7)	8.21	8.29	1.21	1.29	12.1	12.9
(8,14)	8.12	12.74	0.12	1.26	1.2	12.6
(14,1)	13.84	1.51	0.16	0.51	1.6	5.1
(14,14)	14.01	13.81	0.01	0.19	0.1	1.9
평균	-	-	0.38	0.70	3.75	6.97

것을 알 수 있다. 안전 장구(안전 고리)를 착용하지 않은 경우에는 작업자가 착용하고 있는 송신기에서 알람이 울리도록 프로그래밍 하였다.

이를 통해 작업자는 위험지역에서는 반드시 안전장비를 착용하도록 하였다. 뿐만 아니라 관리자는 어떤 작업자 안전 고리를 착용하였는지의 여부를 실시간으로 알 수 있기 때문에 보다 효과적으로 안전관리 업무를 수행할 수 있는 장점이 있다.

IV. 결 론

본 연구를 통하여 TOA, RSSI 방식의 듀얼 무선 회로를 구성하였으며, 위치정보 및 작업자의 안전장구 착용여부를 실시간으로 모니터링하고 주변 환경 정보(이동여부, 고도)를 수집할 수 있는 작업자 위치/안전 모니터링 시스템을 개발하였다. 위치추적 오차는 2m 이내였으며, 건설현장, 산업 생산현장, 물류현장 등에서 사용할 수 있도록 시스템을 설계하고 제작하여 테스트 하였다. 본 연구의 결과물을 실제 건설현장에 적용하여 오차 및 문제점을 보완할 계획을 가지고 있다.

또한 상용화 시스템으로 발전하기 위해서 다수 태그가 제한된 영역에 존재할 경우를 고려하여 기술적 보완을 진행할 계획이다. 이를 위해 TDOA방식을 적용할 수 있도록 지속적인 연구개발을 진행할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부·지식경제부의 출연금으로 수행한 산학협력중심대학육성사업의 연구결과입니다. This work is financially supported by the Ministry of Education, Science and Technology (MEST), the Ministry of Knowledge Economy(MKE) through the fostering project of HUNIC

참 고 문 헌

[1] 최장수, “RTLS (Real Time Location System) 기술 동향과 발전,” *대한토목학회지*, 제57권, 제5호, 25-34쪽, 2009년 5월
 [2] 차중섭 외, “능동형 RFID 기반 실시간 위치추적 기술동향”, *전자통신 동향분석*, 제 24권, 제 5호, 87-97쪽, 2009년 10월

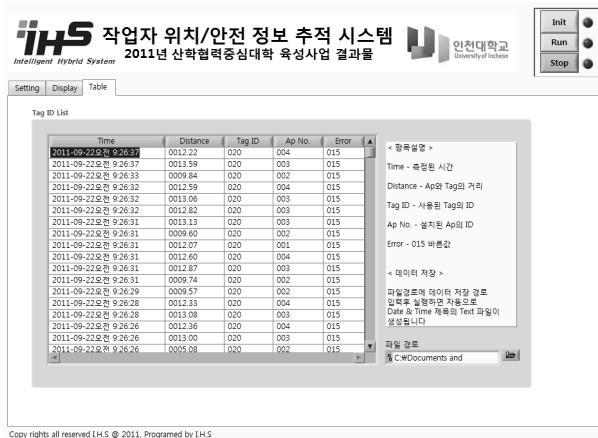


그림 9. 데이터 수집 화면 모습
 Fig. 9. Data measurement snapshot.

화면을 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 작업자 착용 TagID와 각 AP간의 거리가 정상적으로 수집되는

- [3] 정승희 외, “2.45GHz RTLS 고정밀 위치추정 기술”, 한국해양정보통신 학회지, 제7권, 제 1호, 48-54쪽, 2010년 11월
- [4] 김근태, “건설작업 자동화를 위한 실시간위치추적 시스템 분석,” 한국건축시공학회 추계 학술대회 논문집, 제9권, 2호, 15-18쪽, 2009년 11월
- [5] 배정남 외, “실내환경에서 초광대역 무선통신을 이용한 양방향 위치인식 기법의 성능분석”, 대한전자공학회논문지-TC, 제4권 TC편, 제7호, 18-22쪽, 2010.7
- [6] 최훈, 백윤주 “비가시성을 고려한 RF기반 측위 시스템의 설계 및 구현,” 한국 통신학회 논문지, 제 36권, 제7호, 654-661쪽, 2011년 7월
- [7] 조현태 외, “TDOA 기반의 실시간 위치 측정 시스템을 위한 정밀도 무선 시각 동기 시스템,” 한국 통신학회 논문집, 제34권, 제1호, 86-97쪽, 2009년 1월
- [8] 김동혁 외, “TDOA 측정치를 이용한 가중치 추정 방식의 QCLS 측위방법”, 전자공학회 논문지-SC, 제44권 제4호, 1-7쪽, 2007년 7월

— 자 자 소 개 —



김진영(정회원)
 1998년 인천대학교 물리학과 학사 졸업.
 2000년 인천대학교 물리학과 석사 졸업.
 2006년 인천대학교 물리학과 박사 졸업.

2005년~2007년 (주)키스컴 연구개발 팀장
 2007년~현재 아이.에이치.에스 연구소장
 <주관심분야 : RFID, RTLS, Sensor응용>



안성수(정회원)
 1987년 한양대학교 전자공학과 학사 졸업.
 1990년 한양대학교 전자공학과 석사 졸업.
 2001년 한양대학교 전자공학과 박사 졸업.

1990년~1997년 국방과학연구소 연구원
 2002년~현재 명지전문대학 정보통신과 교수
 <주관심분야 : 스마트 안테나, DSP신호처리, 이동통신>



강준희(정회원)
 1977년 서울대학교 물리교육과 학사 졸업.
 1979년 한국과학원 물리학과 석사 졸업.
 1987년 Univ. Of Minnesota 물리학과 박사 졸업.

1987년~1989년 Argonne National Laboratory (Post doc.)
 1989년~1994년 Westinghouse Research Center (Senior Scientist)
 1994년~현재 인천대학교 물리학과 교수
 <주관심분야 : RFID, USN, MEMS, Sensor>