

# 능동형 RFID 기반 지능형 재실감지시스템의 개발

최연석\* · 박병태\*\*

\*호서대학교 교양교직학부 · \*\*명지전문대학 산업시스템경영과

## Development of the Active RFID based Smart Occupancy Detection System

Yeon-Suk Choi\* · Byoung-Tae Park\*\*

\*Dept. of General Education, Hoseo University

\*\*Dept. of Industrial & Systems Engineering, Myongji College

### Abstract

For an effective energy management in intelligent buildings it is necessary to gather information about position/absence of people and the level of population. In this paper the smart occupancy detection system using the active RFID is developed to satisfy such a demand based on the results of previous research. First of all the design considerations and functions of the system are introduced. In sequence the functions of the system is presented, and then the performance of the developed system is tested and verified through various field tests. The developed core technology can be also applied to other fields such as security, healthcare, smart home, etc.

**Keywords:** Active RFID, Occupancy Detection, Indoor Wireless Location, Green Building

### 1. 서론

전 세계적으로 국제유가의 급등으로 인하여 에너지 사용에 따른 에너지 고갈문제와 이로 인한 에너지 절약의 중요성이 매우 높아지고 있다. 이에 세계지속가능협의회(WBCSD ; World Business Council for Sustainable Development)에서는 2009년 8월 출간된 보고서를 통해 에너지 효율 특히, 건물 에너지 효율의 중요성을 강조하였다. 여기서 건물 에너지 관리는 거주자의 쾌적도를 저하시키지 않으면서 냉·난방, 환기, 조명등의 실내 환경 조절을 목적으로 소비되는 에너지의 사용을 최소화 하기 위한 기술적인 조치는 물론, 실질적인 에너지 사용 형태, 시스템의 효율, 정상적인 작동 및 운전 스케줄 등에 대해서도 지속적으로 유지·관리함으로써 건물이 생

애기간 동안 최상의 에너지 효율을 유지할 수 있도록 하는 일련의 활동으로 정의할 수 있다[14].

현재 우리나라의 에너지 자원 해외 의존도는 약 97.5%에 달하고 있으며 국가 에너지 총사용량에 대한 건물 부분의 에너지 소비량은 전체 소비량의 약 28%를 차지한다[4]. 건물에 소비되는 에너지 소비비율은 건물의 크기, 건물의 위치, 주거자의 활동패턴 등에 따라 차이가 있지만[13] 사무실 건축물에서 소비되는 용도별 에너지 구성비의 경우 공조용 에너지가 약 50%, 조명 및 콘센트용 에너지가 약 33%를 차지하는 것으로 알려져 있다[8]. 이러한 문제의 근본적인 해결을 위해서는 에너지 저소비형 산업구조로의 개편이 요구되나 기존 건물에 대해서는 효율적인 에너지 관리를 통한 저비용적인 접근방식이 우선적인 실천 방안이라고 할 수 있다.

† 교신저자: 박병태, 서울시 서대문구 홍은3동, 명지전문대학 산업시스템경영과

M · P: 010-3061-5070, E-mail: btpark@mjc.ac.kr

2012년 10월 20접수; 2012년 12월 10수정본 접수; 2012년 12월 13일 게재확정

이의 실현을 위해 건물 근무자들의 행동패턴, 특히 부재 유무를 파악하기 위한 고성능 적외선(PIR : Passive Infra-Red) 센서에 대한 연구와 영상인식을 이용한 고성능 재실 센서 구현 및 건물 내 다양한 센서 정보를 통합하여 재·부재 정보로 활용하려는 연구[1][6][11]가 진행되어 왔다. 그러나 에너지 절약 효과를 기대하기 위해서는 에너지 투입 전체 공간 내에 얼마나 많은 사람이 어느 지역에 밀집하고 있는지를 파악할 수 있어야 하나, 이러한 연구를 통해 구현된 재실 센서 시스템은 특정 공간 내 근무자의 존재 유무만을 판별하는 단순 검출 방식을 사용하고 있으므로 건물 내 존재하는 거주자의 분포 및 거주 형태를 파악하는데 어려움이 있으므로 실질적인 에너지 절약 효과를 기대하기가 어려웠다. 또한 RF의 송수신 특성 중 가장 기본적인 정보인 RSSI(Received Signal Strength Indication ; 수신감도지수) 기반의 위치인식 기술에 대한 연구[3][5][7][10]가 진행되어 높은 위치인식 정밀도를 보여 주었으나 경제성의 결여로 실제 건물에 상업적으로 적용하는데 문제가 있었다.

이에 본 연구에서는 자체 설계 개발한 위치 추론 기술과 능동형 RFID(Radio Frequency Identification)가 재실 감지 용도로 활용하는데 적합한 지의 여부를 검증한 본 연구자의 선행 연구[12] 결과를 바탕으로, 건물의 효율적인 에너지 관리를 위하여 근무자의 재·부재 정보뿐만 아니라 근무자의 위치와 밀집도를 인식할 수 있는 경제성을 갖춘 능동형 RFID 기반의 지능형 재실 감지시스템(Active RFID based Smart Occupancy Detection System)을 설계하고 개발하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서 건물 에너지 관리와 재실 감지 기술에 대해 소개하고, 3장에서는 지능형 재실감지시스템의 설계 내용을 기술한다. 4장에서는 개발된 지능형 재실감지시스템의 기능을 살펴본 후, 마지막으로 5장에서 개발된 지능형 재실감지시스템의 성능 평가 결과를 제시하도록 한다.

## 2. 건물 에너지 관리와 재실 감지 기술

건물 관리 측면에서 에너지 관리는 자동제어 시스템의 스케줄 제어 기능과 관리자들이 주기적으로 순회하며 근무자 재실여부를 확인하고 불필요한 에너지를 차단하는 형태로 운영되고 있다. 이러한 루틴한 제어논리와 인력동원이 요구되는 방식은 건물이 고층화·대형화되면서 에너지 관리 효율을 저해하는 요소로 작용하고 있다. 이러한 문제점을 보완하고자 지금까지 건물 내 근무자의 재·부재 정보를 이용한 에너지 절감기술은 단

순한 재실 및 조도 센서 정보와 자동제어 알고리즘을 결합하여 사용하고 있다. 재실 센서로는 주로 적외선 방식 및 초음파 방식, 마이크로파 방식을 단독 또는 혼합하여 사용하고 있는데 조도 센서를 사용하여 주간 조도 에너지를 절감하는 기술이 현재 가장 널리 활용되고 있다. 그러나 이러한 기술은 단순한 재·부재 정보의 제공과 주변 환경에 따른 센서의 부정확성이 문제점으로 대두되고 있다.

그러므로 건물의 에너지 효율 저해 요소를 최소화하기 위해서는 층별, 존별 근무자 유무의 파악과 에너지 사용 지역의 밀집도 및 점유 여부를 알 수 있는 재실 감지시스템의 개발을 통해 능동적이며 상황인식기반의 에너지 관리가 가능하여야 하며, 더불어 이러한 유용한 정보의 획득을 위해서는 실내에서의 위치 인식 정밀도가 수 미터 이내 수준으로 제공되어 투자 및 유지비용을 최소화 할 수 있는 시스템의 설계 및 개발이 필수적이라고 하겠다.

## 3. 지능형 재실감지시스템의 설계

본 연구에서 목표하는 건물의 효율적인 에너지 관리를 위하여 근무자의 재·부재 정보와 근무자의 위치 및 밀집도를 인식할 수 있는 경제성을 갖춘 지능형 재실 감지시스템의 개발을 위하여 다음의 사항을 고려하여 시스템을 설계하였다.

첫 번째로 위치 추론 기술과 관련하여 현재까지는 RF의 송수신 특성 중 가장 기본적인 정보인 RSSI(Received Signal Strength Indication ; 수신감도지수) 기반의 위치인식 기술에 대한 많은 연구[3][5][7][10]가 이루어져 왔으나, 본 연구에서는 경제적인 재실감지시스템의 개발을 위해서, 상업적으로 적용 가능하도록 정밀도가 수 미터 이내이고 별도의 특수 RF 측정 장치 없이도 RF의 세기만으로도 위치를 인식할 수 있는 RSSI 기반의 위치 인식 방법을 선택하여 보완하였다. 개발된 RSSI 기반의 위치 정보 수집시스템은 무선의 기본적인 특성 정보인 세기정보만을 사용하므로 송신기 및 수신기의 구조가 단순하고 전력소모가 작으며 적절한 오차 범위를 보여준다. 더불어 저렴한 회로 구성이 가능하도록 개인 단말기에서의 위치 계산 방식이 아닌 네트워크 방식의 위치인식 계산 방식을 적용하였다.

두 번째로 무선 방식은 건물 내 환경적 요소를 고려할 때 수신기는 건물의 천정 내에 설치하고 다른 무선 주파수와의 간섭 및 사무실내의 각종 집기, 건축자재, 파티션을 고려하여 400Mhz의 UHF(Ultra High Frequency) 대역을 사용하는 것이 바람직하다고 판단하였다. 그리

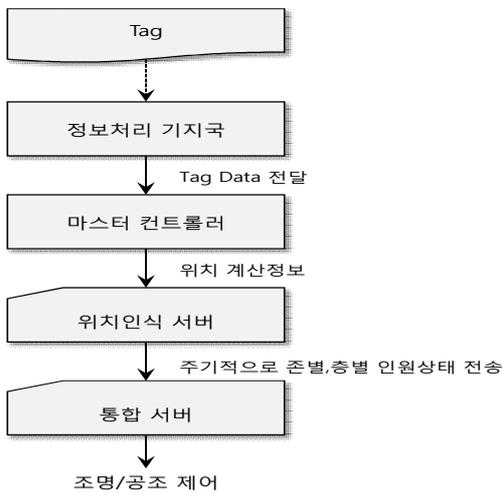
고 제품 개발 및 생산 원가 측면을 고려할 때 송수신을 위한 칩을 원칩으로 구성하는 경우 고가의 RF 스위치와 온도보상형 수정발진기(TCXO) 같은 고가의 부품이 요구되므로 국내 무선기기형식승인 규격에 맞게 송신 전용 방식으로 칩을 새롭게 설계, 개발하였다.

세 번째로 서비스 지속성의 향상과 관련하여, 서비스의 지속성은 개인이 소지하는 단말기의 가용시간에 의존하므로 송신전용 무선 단말기의 에너지 소비는 대기 시 75%, 통신 시 25%이므로 대기 시 전류 소모를 최소화하기 위해 초저전력 중앙처리장치(CPU)를 채택하였다. 또한, 통신 시 소비되는 에너지는 송신 회수와 비례하므로, 능동형 RFID의 유효성 판단을 위한 선행 연구[12]의 정적 및 동적 가동성 실험 결과로부터 최적의 송신 주기를 선정하였으며, 송신주기는 가동성에 관계된 부분이므로 소프트웨어적으로 가변될 수 있도록 하였다.

### 3.1 시스템의 구성 및 정보 흐름

본 연구를 위한 시스템 인프라는 재실 정보를 수집하는 현장 장비들과 재실 정보를 처리 및 가공하는 위치서버, 그리고 마스터 컨트롤러의 정보처리 장비로 구성된다.

건물 내 재실 센서 정보를 이용하여 에너지 관리를 수행하는 장비 간의 제어 정보 흐름을 <Figure 1>에 도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 위치 인식 서버는 일정한 지역 내 객체들의 위치 정보를 수집하여 주기적으로 건물 에너지의 관리를 담당하는 자동제어시스템이나 통합서비스시스템에 증별, 준별 재·부재 정보를 전송하여 해당 지역의 에너지 사용을 통제한다.



<Figure 1> Information flow to control the building energy

### 3.2 시스템 구성 요소 설계

#### (1) 능동형 RFID 단말기

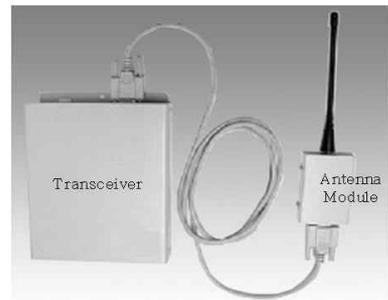
본 연구를 위해 개발된 능동형 RFID 단말기(Tag)는 <Figure 2>와 같다. 능동형 RFID 단말기에 적용된 무선 송신 프로토콜은 ALOHA이며, 송신 주기는 초 단위로 조절이 가능하다.



<Figure 2> Substrate of the Active RFID Tag

#### (2) 기지국(Base Station, BS)

본 연구에 적용된 기지국은 <Figure 3>과 같다. 이는 본체와 수신기로 구성되며 기지국 본체는 기 개발 제품을 활용하였다.



<Figure 3> Base station

#### (3) 위치 정보 계산 알고리즘

본 논문에서 실내 위치추정을 위하여 사용하는 방법은 경제적이면서도 실제 제품으로서 구현이 가능하도록 개발 하였는데, 기본 원리는 수신된 RF신호의 상대적인 수신강도의 세기정보를 이용하는 것이다.

본 연구에서는 본 연구자가 이전에 수행했던 연구 결과물인 이미 알고 있는 수신기의 위치와 각 수신기별 신호세기의 상대적인 크기를 이용하여 능동형 RFID 단말기의 위치를 추정하는 상대위치 추정방식을 적용하였다[2][9]. 이 방법은 면적 중심이나 질량 중심을 구하는 식의 형태와 유사하며, 강하게 수신된 정보 처리기지국에서는 가깝게, 약하게 수신된 기지국의 위치에서는 멀게 능동형 RFID 단말기의 위치를 추정 한

다. 개별 능동형 RFID 단말기들의 수집 정보는 정보처리기지국의 상위기체인 마스터 컨트롤러에 송신된다.

(4) 위치 정보 처리

위치 정보를 추출하기 위해서 위치 추론을 담당하는 마스터 컨트롤러와 위치 인식 서버를 개발하였다. 우선, 마스터 컨트롤러는 개별 단말기에서 송신한 단말기 고유 ID, 단말기별 RSSI, 상태 정보 등을 수신하는 정보처리기지국의 기초 정보들을 취합하여 전항에서 제시한 위치 추론 알고리즘을 적용한다.

이 화면에는 다수개의 기지국에서 수집한 단말기 정보를 이용하여 위치 추론 알고리즘 수행 결과를 단말기별로 표시하며, 특정 단말기별 정보 표시와 특정 정보처리기지국에 대한 집중 감시를 지원하도록 수집 데이터를 필터링하여 원하는 정보처리기지국을 원격 제어할 수 있도록 구현하였다.

다음으로 위치 인식 서버는 지능형 재실 감지 서비스 운영에 필요한 위치 정보 및 기기 정보를 데이터베이스에 저장·관리하고 위치 인식 클라이언트에서 필요한 정보들을 실시간으로 제공하는 정보 처리 시스템이다. 위치 인식 서버는 실시간 정보 처리를 위하여 클라이언트 쓰레드, 태그job 쓰레드, DBjob 쓰레드, 외부타이머 쓰레드와 같은 멀티쓰레드 방식으로 구현하였다. 클라이언트 쓰레드는 비동기 I/O방식인 IOCP 서버에 등록된 쓰레드로써 클라이언트에서 받은 데이터를 실시간으로 처리한다. 또한, 단말기 관련 데이터는 핵심 작업인 단말기 데이터를 처리하는 태그Job 쓰레드에 넣어주며, 태그Job 쓰레드는 단말기 데이터를 처리하고, 내부 타이머 기능을 활용하여 단말기의 상태를 주기적으로 체크한다. DBJob 쓰레드는 데이터베이스의 질의를 처리하며, 외부타이머 쓰레드는 타이머 이벤트함수가 별도의 쓰레드에서 처리되도록 구현하였다.

4. 지능형 재실감지시스템의 구현

본 연구에서는 기존 연구에서의 성능 검증 결과를 바탕으로 건물의 효율적인 에너지 관리를 위하여 근무자의 재·부재 정보와 근무자의 위치 및 밀집도를 인식할 수 있는 경제성을 갖춘 능동형 RFID 기반의 지능형 재실감지시스템을 개발하였다.

개발된 시스템은 인원 현황 검색 기능, 관리 지역 설정 및 검색 기능과 같은 핵심 기능과 통계정보 출력 등의 부가 기능으로 구성된다. 개발된 시스템은 현재 S사 R&D센터에 설치하여 시험 운행 중이다.

4.1 인원 현황 검색

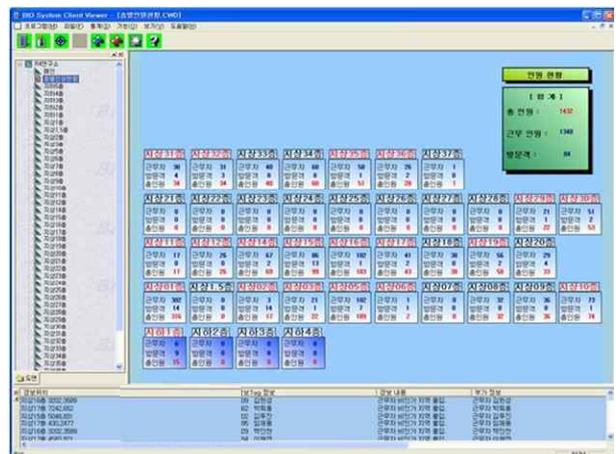
인원 현황 검색 기능은 전체 인원 현황 검색 기능과 층별/특정 지역별 인원 현황 검색 기능으로 나뉜다.

전체 인원 현황 검색은 <Figure 4>~<Figure 6>에서 보는 바와 같이, 건물 내 근무자/방문자 인원과 각 층별 인원 정보 확인 및 도면을 전환할 수 있는 기능을 제공한다. 검색 희망 층을 더블 클릭하면 해당 층의 도면을 출력하여 층이나 특정지역의 인원 정보를 파악할 수 있으며 문제 발생 시 해당 층을 자동 출력하여 총 인원, 근무자/방문자 인원 등 건물 내의 인원을 실시간으로 출력한다.



<Figure 4> Initial main screen

층별 인원 현황 검색은 <Figure 5>에서 보는 바와 같이 건물 내 해당 층의 인원을 확인할 수 있다. 층별 인원 현황 확인 이외에 <Figure 6>과 같이 해당 층의 도면으로 이동 가능하도록 설정할 수 있다.



<Figure 5> Personnel status on each building floor or the specific area

특정 지역 인원 현황 검색은 <Figure 6>과 같이 검색 희망 층의 특정 지역 총 인원과 근무자 인원, 방문객 인원을 표시하는 것은 물론 특정인의 세부정보를 검색할 수 있다. 또한 특별 관리 구역에 인원이 있는 경우 해당지역을 붉은색으로 표시하고 해당 근무자나 방문자의 정보를 바로 검색할 수 있다. 더불어, 특정 근무자/방문자의 실시간 이동정보도 확인할 수 있다.



<Figure 6> Personnel status on the specific floor and the management area

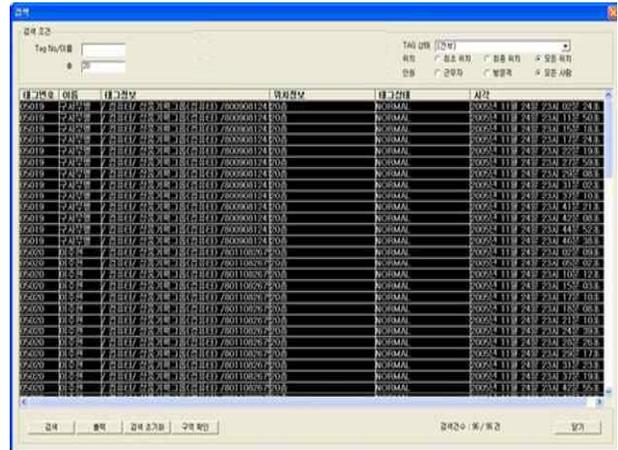
#### 4.2 특별 관리 구역 설정 및 검색

<Figure 7>에서 보는 바와 같이, 특별 관리 지역을 설정하고 다수 근무자/방문자에 대하여 해당 구역 출입 정보를 확인할 수 있다. 검색 희망 근무자/방문객의 태그 번호 태그 정보, 층/구역 정보, 시각 정보가 리스트 되면서 설정된 인원 에 대한 위치 정보가 실시간으로 업데이트 된다.



<Figure 7> Setup and retrieval of the conservation zone

또한, 근무자/방문자별 출입 제한 설정 기능을 제공하여 이들이 허가된 장소 이외의 장소로 이동했을 때 <Figure 8>에서 보는 바와 같이, 특별 관리 구역 출입자 정보를 검색할 수 있다. 관리 구역 번호, 태그 번호, 이름, 주민번호, 회사명, 확인자, 위치정보 등으로 나누어 출력한다.



<Figure 8> Retrieval of access information on the conservation zone

#### 4.3 통계처리

원하는 시간범위내의 시간대별 전체, 층 및 특정 지역의 근무자 및 방문객 인원 현황과 특별 관리 구역 출입 비승인 인원 에 대한 현황 등을 검색하고 출력할 수 있다.

#### 5. 지능형 재실감지시스템의 성능 평가

우선, 건물 내 근무자의 위치 및 밀집도를 파악하기 위하여 이전 연구[12]에서 수행했던 바와 같이 건물 내 근무자의 근무 공간을 에너지 제어 공간(Energy Control Space ; ECS)으로 정의하고 ECS의 기본 단위를 조명 및 공조 제어 존에 부합하도록 구성하였다.

다음으로 개발된 지능형 재실감지시스템의 성능 검증을 위한 실험 항목 및 방법은 이전 연구와 같이 정의하였는데, 평가기준은 밀집도 특성 측면에서 정적 가독성, 평균 가독성 및 동적 가독성으로 구분하였으며, 정밀도 특성 측면에서는 단위 ECS간 정밀도와 단위 ECS내 정밀도로 분류하였다. 여기서 밀집도는 주어진 공간에서 주어진 개수의 단말기가 모두 인식되는데 걸리는 시간으로, 정밀도는 주어진 개수의 단말기가 주어진 공간에 위치할 확률로써 정의하였다.

### 5.1 실험 환경

본 연구에서 개발된 시스템의 성능 평가를 위하여 이전 능동형 RFID의 적용 타당성 연구[12]에서와 같이 100개의 실험 단말기를 설치하였고 단말기의 송신주기는 1분, 실험장소는 S사 R&D센터 기준 층으로 하였으며, 실험 공간 넓이, 조명 단위 존 넓이(ECS) 및 공조 단위 존 넓이(ECS)는 각각 75m×40m, 8m×12m 그리고 8m×12m로 하였다. 마지막으로 조명 존은 일반조명 2개와 비상조명 1개로 구성하였다.

이전 능동형 RFID의 적용 타당성 연구에서는 근무자 부재중 실험이 이루어졌으나 본 연구에서는 개발 시스템의 실제 성능을 평가하기 위해 근무시간 중에 성능 평가 실험을 실시하였다.

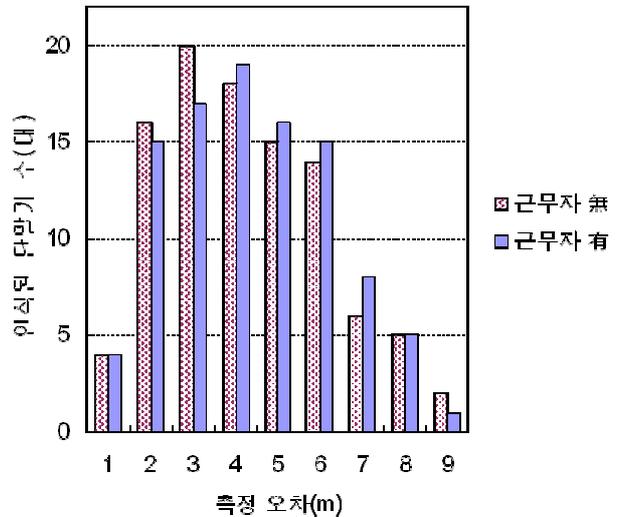
### 5.2 실험 결과

21개의 ECS에 능동형 RFID 단말기 100개를 고루 배치하고 송신주기는 1분으로 하여 능동형 RFID 단말기의 정밀도를 실험한 결과는 <Figure 9>와 같다. <Figure 9>에서 총 100개 능동형 RFID 단말기의 실제 위치와 추정 위치사이의 오차거리별 단말기의 인식 대수를 보여주고 있다.

이전 연구에서의 근무자가 없는 경우와 본 연구에서의 근무자가 있는 경우, 능동형 RFID 단말기의 평균 위치추정오차는 각각 4.27m와 4.36m이내였다. 이는 조명 및 공조기기의 설정값 변경이 15분 이상의 간격을 두고 이루어지고 있으며, 조명과 공조(냉, 난방) 제어 범위가 2개~3개 ECS로 이루어지고 있는 현 건물에너지 관리 상황을 고려한다면, 본 연구의 평균위치추정오차(4.27m, 4.36m)를 활용한 재실센서가 건물의 에너지 관리 및 절약을 위한 도구로써 충분히 활용될 수 있음을 알 수 있다.

#### 5.2.1 능동형 RFID 단말기의 밀집도 특성

에너지를 효율적으로 관리하기 위해서는 근무자의 밀집 정도를 파악하여 불필요한 에너지를 차단할 필요가 있다. 밀집도 특성 실험 결과, 총 21개의 ECS에서 능동형 RFID 단말기의 평균 특성은 송신 주기의 2배에서 정적 가독성을 보이며, 송신 주기의 6배에서 평균 가독성을 보였다. 이 정보는 실제 건물 에너지 관리를 위한 자동제어(조명 및 공조 설비) 시스템의 최소 제어 주기 정보로도 활용될 수 있다.



<Figure 9> Experimental results on the recognition accuracy of the system

#### 5.2.2 능동형 RFID 단말기의 정밀도 특성

전체 21개 ECS 중 상위 9개의 ECS에서 위치 추정 정밀도 실험 결과 1개 ECS 정밀도는 75%±1%의 정밀도를 보이며, 2개 ECS 정밀도(16m×12m) 범위에서는 99%±1%의 위치 추정 누적 정밀도를 보여 주었다. 이러한 결과는 건물 내 근무자의 위치 정보가 건물의 에너지 관리 및 절약을 위한 정보로 활용될 수 있음을 보여주는 데이터이다.

### 6. 결론

근무자의 단순 재·부재 정보를 이용한 건물의 에너지 관리 한계를 벗어나 실질적인 에너지 관리를 위해서는 근무자의 재·부재 정보뿐만 아니라 근무자의 위치 정보와 밀집도를 인식하는 것은 물론이고 실제 현장에 적용 가능한 경제성을 갖춘 시스템이 요구된다. 이에 본 연구에서는 이러한 요구를 만족시킬 수 있는 능동형 RFID를 활용한 지능형 재실감지시스템을 개발하였다.

자체 설계 개발한 위치 추론 기술과 능동형 RFID가 재실 감지 용도로 활용하는데 적합한 지의 여부를 검증한 본 연구자의 선행 연구 결과[12]를 바탕으로 시스템을 개발하였으며 더불어 S사의 R&D센터에 개발된 시스템을 설치하고 다양한 실험을 통해 시스템의 성능을 검증하였다. 이전 능동형 RFID의 적용 타당성 연구[12]에서는 근무자 부재중 실험이 이루어졌으나 본 연구에서는 개발 시스템의 실제 성능을 평가하기 위해 근무시간 중에 성능 평가 실험을 실시하였다.

실험 결과, 개발된 능동형 RFID 단말기는 2개의 ECS에서 99%±1%의 위치 추정 정밀도를 보여 주었다.

데 이는 건물 내 근무자의 위치 정보 및 밀집 정도가 건물의 에너지 관리 및 절약을 위한 정보로 충분히 활용될 수 있음을 보여주는 것이다. 특히, 위치 인식 기술을 건물의 에너지 운영시스템과 융합하는 본 연구의 독창적인 접근 방법은 전형적인 센서와 자동제어 시스템의 단점을 극복할 수 있으며, 스마트 빌딩 및 그린 빌딩 건축의 추세에 새로운 에너지 관리 비즈니스 모델을 제공할 수 있다고 사료된다. 또한, 본 연구에서는 건물의 에너지 효율 향상을 위한 방안으로써 지능형 채실감지시스템을 개발하였으나 본 연구를 통해 개발된 핵심 기술은 정보통신 및 생활환경, 보안, Healthcare, 실버타운, Smart Home 등 많은 분야에 응용할 수 있다.

향후, 현재 개발된 시스템을 시험 운영 중이므로 이로부터 수집되는 다양한 데이터를 수집 분석하여 시스템의 일반화는 물론 상용화를 추진할 계획이다.

## 7. 참고 문헌

- [1] Abhijit Sarkar, Mark Fairchild, Carl Salvaggio(2008), "Integrated Daylight Harvesting and Occupancy Detected Using Digital Imaging", Proc. of SPIE-IS&T Electronic Imaging, 6816
- [2] Byoung-Tae Park, Yeon-Suk Choi(2010), "Design and Implementation of Location Based u-Apartment Service System", Journal of the Korea Safety Management & Science, 12:99-105
- [3] E. Elnahrawy, X. Li, R. Martin(2000), "The Limits of Localization using RSSI", Proc. of Infocom
- [4] Hang-Moon Cho, YoonHea Kim(2007), "Energy Savings Program for Public Building in Seoul", Seoul Development Institute, 1-167
- [5] John Krumm, John Platt(2003), "Minimizing Calibration Effort for an Indoor 802.11 Device Location Measurement System", Microsoft Technical Report
- [6] Robert H. Dodier, Gregor P. Henze, Dale K. Tiller, Xin Guo(2006), "Building occupancy detection through sensor belief networks", Energy and Buildings, 38:1033-1043
- [7] S. Y. Seidl, T. S. Rapport(1992), "914 MHz path loss prediction Model for Indoor Wireless Communications in Multi-floored building", IEEE Transactionson Antennas and Propagation, 40:207-217
- [8] Sang-Chae Lim(2009), "Building Energy Monitoring Technology Using USN", Journal of the KARSE, 26(3):36-45
- [9] Sekyung Han, Yeonsuk Choi, Masayuki Iwai and Kaoru Sezaki(2010), "Development of a Dynamic Collision Avoidance Algorithm for Indoor Tracking System Based on Active RFID," KSII Transaction on Internet and Information Systems, 4:736-752
- [10] Sun-Sup So, Seong-Bae Eun(2007), "Design and Implementation of A Location Positioning System based on ZigBee Tags in Apartment", The Institute of Electronics od Korea, 44:13-19
- [11] Vishal Garg, N.K. Bansal(2000), "Smart Occupancy Sensors to Reduce Energy Consumption", Energy and Buildings, 32:81-87
- [12] Yeon-Suk Choi, Byoung-Tae Park(2011), "Feasibility Research of the Active RFIDs for the Smart Occupancy Detection", Journal of the Korea Safety Management & Science, 13:147-155
- [13] Yigzaw G. Yohanis, Jayanta D. Mondol, Alan Wright, Brian Norton(2008), "Real-life Energy Use in the UK: How Occupancy and Dwelling Characteristics Affect Domestic Electricity Use", Energy and Buildings, 40:1053-1059
- [14] Yong-Jun Park, Nam-Hee Park, Jin-Won Choi,(2009), "A Basic Study on the Method of Building Energy Management Based on Digital Space Modeling and Ubiquitous IT Technology", The Korean Housing Association, 181-186

## 저 자 소 개

### 최 연 석



KAIST 대학원 생산공학과 공학 석사,  
대우전자 중앙연구소 주임연구원,  
호서대학교 교양교직학부 재직.

주소: 충청남도 아산시 배방면 세출리 165

### 박 병 태



고려대학교 산업시스템정보공학과 공학박사,  
한국과학기술연구원(KIST) 선임  
연구원,  
명지전문대학 산업시스템경영과 재직.

주소: 서울특별시 서대문구 홍은2동 356-1