

지능형 재실 감지 서비스를 위한 능동형 RFID의 적용 타당성 연구

최연석* · 박병태**

*호서대학교 교양학부 · **명지전문대학 산업시스템경영과

Feasibility Research of the Active RFIDs for the Smart Occupancy Detection

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 based on the active RFID is developed to satisfy such a demand. The performance of the developed system is tested and verified through various experiments. Furthermore the feasibility test of the active RFID tag is performed to verify whether it can be used as a location-based occupancy sensor. The developed core technology can be also applied to other fields such as security, healthcare, smart home, etc.

Keywords : Active RFID, Occupancy Sensor, Indoor Wireless Location, Energy Saving, 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. 현재 우리나라의 에너지 자원 해외 의존도는 약 97.5%에 달하고 있으며 국가 에너지 총사용량에 대한 건물부분의 에너지 소비량은 전체 소비량의 약 28%를 차지한다[1]. 건물에 소비되는 에너지 소비비율은 건물의 크기, 건물의 위치, 주거자의 활동패턴 등에 따라 차이가 있지만[2] 사무실 건축물에서 소비되는 용도별 에너지 구성비의 경우 공조용 에너지가 약 50%, 조

명 및 콘센트용 에너지가 약 33%를 차지하는 것으로 알려져 있다[3].

이러한 문제의 근본적인 해결을 위해서는 에너지 저소비형 산업구조로의 개편이 요구되나 에너지 절약과 효율적인 에너지 사용을 통한 저비용적인 접근방식이 우선적인 실천 방안 중 하나라고 볼 수 있다.

건물 에너지 관리는 거주자의 쾌적도를 저하시키지 않으면서 냉·난방, 환기, 조명등의 실내 환경 조절을 목적으로 소비되는 에너지의 사용을 최소화하기 위한 기술적인 조치는 물론, 실질적인 에너지 사용형태, 시스템의 효율, 정상적인 작동 및 운전 스케줄 등에 대해서도 지속적으로 유지·관리함으로써 건물이 생애기간 동안 최상의 에너지 효율을 유지할 수 있도록 하는 일련의 활동으로 정의할 수 있다[4].

† 교신저자: 박병태, 서울시 서대문구 홍은 3동, 명지전문대학 산업시스템경영과

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

2011년 4월 20일 접수; 2011년 6월 1일 수정본 접수; 2011년 6월 3일 게재확정

일반적인 건물 에너지 절약을 위한 방법으로는 건축 계획적인 접근 방법과 에너지 사용기기 및 시스템의 운전효율을 향상시키는 시스템적인 접근방법이 있다.

정보를 통합하여 재·부재 정보로 활용하려는 연구들이 진행되어 왔다. 에너지 절약효과를 기대하기 위해서는 에너지 투입 공간 내에 얼마나 많은 사람이 어느 지역에 밀집분포를 형성하고 있는지를 파악할 수 있어야 하나, 이러한 연구를 통해 구현된 재실 센서 시스템은 공간내 존재 유무만을 판별하는 단순 검출방식을 사용하고 있으므로 건물 내 존재하는 거주자의 분포 및 거주 형태를 파악하는데 어려움이 있어 실질적인 에너지 절약 효과를 기대하기가 어렵다[5][6][7].

그러므로 본 연구에서는 효율적인 에너지 관리를 위하여 근무자의 재·부재 정보뿐만 아니라 근무자의 위치와 밀집도를 인식할 수 있도록 능동형 RFID를 활용한 지능형 재실 감지 시스템을 개발하였다. 더불어 개발된 시스템의 성능은 물론 능동형 RFID 단말기의 지능형 재실 센서로서의 적용 타당성을 다양한 실험을 통하여 검증하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서 재실 감지 기술에 대한 소개 후 3장에서는 지능형 재실 감지 시스템의 설계 및 개발 내용에 대해 언급한다. 4장에서는 개발된 지능형 재실 감지 시스템의 핵심 요소인 능동형 RFID 단말기의 지능형 재실 센서로서의 적용 타당성 평가 결과를 제시한다.

2. 재실 감지 기술 개요

지금까지 건물 내 근무자의 재·부재 정보를 이용한 에너지 절감기술은 단순한 센서(재실 및 조도센서)정보와 자동제어 알고리즘의 결합방식을 사용하였다.

재실 센서에는 주로 적외선(PIR)방식 및 초음파방식, 마이크로파방식을 단독 또는 혼합하여 적용되어지고 있다. 조도센서를 사용하여 주간엔 조명에너지를 절감하는 기술이 현재 널리 활용되는 기술이다. 상기 기술은 단순한 재·부재 정보의 제공과 주변 환경에 따른 센서의 부정확성이 문제점으로 대두되고 있다.

건물관리측면에서 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 효율 저해 요소를 최소화하기 위해서는 층별, 존별 근무자 유무의 파악과 에너지 사용 지역의 밀

집도 및 점유 여부를 알 수 있는 지능형 재실 감지 시스템의 개발을 통해 능동적이며 상황인식기반의 에너지 관리가 가능하다고 하겠다.

더불어 이러한 유용한 정보의 획득을 위하여, 실내에서의 위치 인식 정밀도가 수 미터이내의 수준으로 제공되어 투자 및 유지비용을 최소로 할 수 있는 시스템의 설계가 필수적이라고 하겠다.

따라서 본 연구에서는 경제성을 가지는 능동형 RFID를 활용한 지능형 재실 감지 시스템을 개발하고, 능동형 RFID가 근무자의 위치 정보와 밀집도를 유의미하게 인식할 수 있는 지능형 재실 센서로서의 적용 타당성을 다양한 실험을 통하여 검증하였다.

3. 지능형 재실 감지 시스템

3.1 시스템 설계 시 고려 사항

경제적인 지능형 재실 감지 시스템의 개발을 위한 고려사항은 다음과 같다.

(1) 위치 추론 기술

현재까지 RF의 송수신 특성 중 가장 기본적인 정보인 RSSI(Received Signal Strength Indication ; 수신감도지수) 기반의 위치인식 기술에 대한 많은 연구[8][9][10][11]가 이루어져 왔으나, 본 연구에서는 경제적인 재실 감지 시스템의 개발을 위해서, 상업적으로 적용 가능하도록 정밀도가 수 미터이내이고 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 오차범위를 보여준다.

더불어 저렴한 회로 구성이 가능하도록 개인 단말기에서의 위치 계산 방식이 아닌 네트워크 방식의 위치 인식 계산 방식을 적용하였다.

(2) 무선 방식

건물 내 환경적 요소를 고려할 때 수신기는 건물의 천정 내에 설치하는 것이 바람직하다고 판단된다. 또한, 다른 무선 주파수와의 간섭 및 사무실내의 각종 집기, 건축자재, 파티션을 고려하여 400Mhz의 UHF 대역을 사용하였다. 그리고 제품 개발 및 생산 원가 측면을 고려할 때 송수신을 위한 칩을 원칩으로 구성하는 경우 고가의 RF 스위치와 TCXO 같은 고가의 부품이 요구

되므로 국내 무선기기형식승인 규격[12]에 맞게 송신 전용 방식으로 칩을 새롭게 설계, 개발하였다.

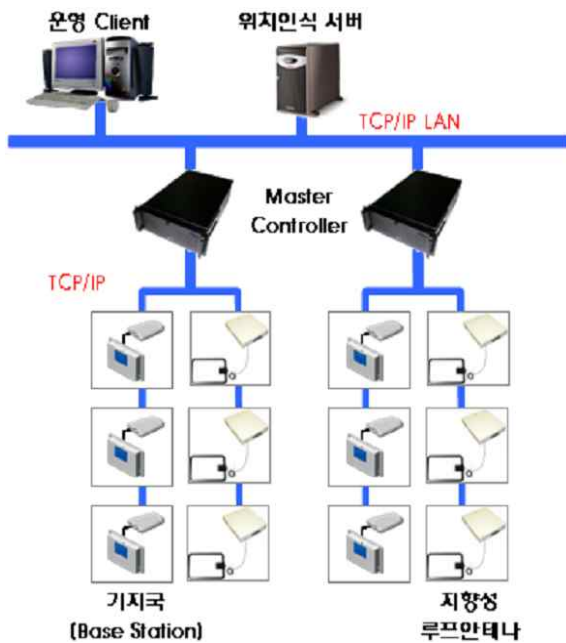
(3) 서비스 지속성 유지

서비스의 지속성은 개인이 소지하는 단말기의 가용 시간에 의존한다. 송신전용 무선 단말기의 에너지 소비는 대기 시 75%, 통신 시 25%이므로 대기 시 전류 소모를 최소화하기 위해 초저전력 CPU를 채택하였다.

또한, 통신 시 소비되는 에너지는 송신 회수와 비례하므로 4장에서 언급한 정적 및 동적 가동성 실험을 통하여 최적의 송신 주기를 선정하였으며, 송신주기는 가동성에 관계된 부분이므로 소프트웨어적으로 가변될 수 있도록 설계하였다.

3.2 시스템 설계

본 연구를 위한 시스템 인프라는 [그림 1]에서 보는 바와 같이 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 [그림 2]에 도식하였다. 그림에서 보는 바와 같이 위치 인식 서버는 일정한 지역 내 객체들의 위치 정보를 수집하여 주기적으로 건물 에너지의 관리를 담당하는 자동제어시스템이나 통합서버시스템에 층별, 존별 재·부재 정보를 전송하여 해당 지역의 에너지 사용을 통제한다.



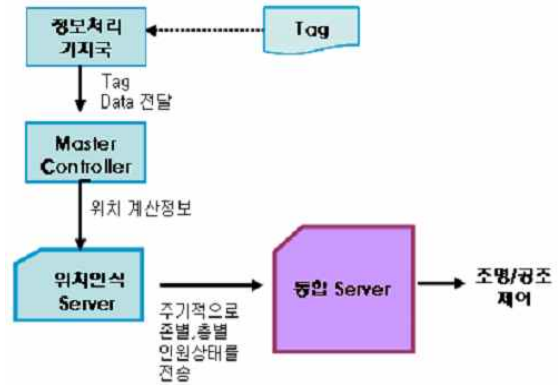
[그림 1] 재실 인식 인프라 구성도

3.3 시스템 구성 요소 설계

3.3.1 능동형 RFID 단말기

본 연구를 위해 개발된 능동형 RFID 단말기(Tag)는 [그림 3]과 같으며, 구현된 능동형 RFID 단말기의 세부 사양은 <표 1>에 제시하였다.

능동형 RFID 단말기에 적용된 무선 송신 프로토콜은 ALOHA이며, 송신 주기는 초 단위로 조절이 가능하다.



[그림 2] 에너지 관리를 위한 제어 정보 흐름도



[그림 3] 능동형 RFID 단말기

<표 1> 능동형 RFID 단말기 사양

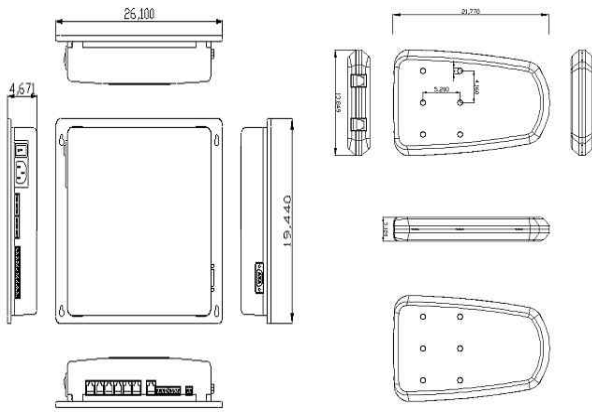
구분	사양	비고
MCU	MSP430F123	초저전력 CPU
RF Chip	CC1070	Narrow band지원
Frequency	447.60~447.85Mhz	12.5K Step
RF Power	-20~10dBm	Programmable
Sensitivity	-110dBm	
변조방식	FSK	
통신 속도	1200bps	MIC규약 만족
채널수	6ch	Programmable
전원	리튬폴리머 2차 전지 300mAh 용량	PMS내장
소비전류	대기 시 : <10μA 무선송신 시 : <7mA	0dBm에서 측정

3.3.2 기지국(Base Station, BS)

본 연구에 적용된 기지국의 설계도는 [그림 4]와 같다. 이는 본체와 수신기로 구성되며 기지국 본체는 기 개발 제품을 활용하였다. 기지국 본체 사양은 <표 2>에서 보는 바와 같다.

3.3.3 수신기

본 연구를 위해 개발된 수신기(안테나)의 사양은 <표 3>과 같다.



<그림 4> 기지국 설계도

<표 2> 기지국 본체 사양

구분	사양	비고
MCU	MPC/ XPC 850	
OS	MQX	RTOS
통신	Ethernet×1EA RS-232×3EA	최대 6Ea확장가능 -
전원	9V DC	Via SMPS

<표 3> 실험에 적용된 안테나 사양

구분	사양	비고
MCU	ATMega128L	
RF Chip	CC1020	Narrow band지원
Frequency	447.60~447.85Mhz	12.5K Step
RF Power	-20~10dBm	Programmable
Sensitivity	-110dBm	
변조방식	FSK	
통신 속도	1200bps	MIC 규약 만족
채널수	6ch	Programmable
전원	5V DC	기지국 본체에서 공급

3.3.4 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 거리-SS 감쇠 모델에 근거한 방법이 아니라 본 연구자가 이전에 수행했던 연구 결과물인 이미 알고 있는 수신기의 위치와 각 수신기 별 신호세기의 상대적인 크기를 이용하여 능동형 RFID 단말기의 위치를 추정하는 상대위치 추정방식을 적용하였다[13][14].

식 1을 이용하여 신호를 송신한 능동형 RFID 단말기의 위치를 추정할 수 있다. 이 방법은 면적 중심이나 질량 중심을 구하는 식의 형태와 유사하며, 강하게 수신된 정보처리기지국에서는 가깝게, 약하게 수신된 기지국의 위치에서는 멀게 능동형 RFID 단말기의 위치를 추정 한다.

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i SS_i}{\sum_{i=1}^n SS_i}, \quad y = \frac{\sum_{i=1}^n y_i SS_i}{\sum_{i=1}^n SS_i} \quad \text{----- (1)}$$

여기서,

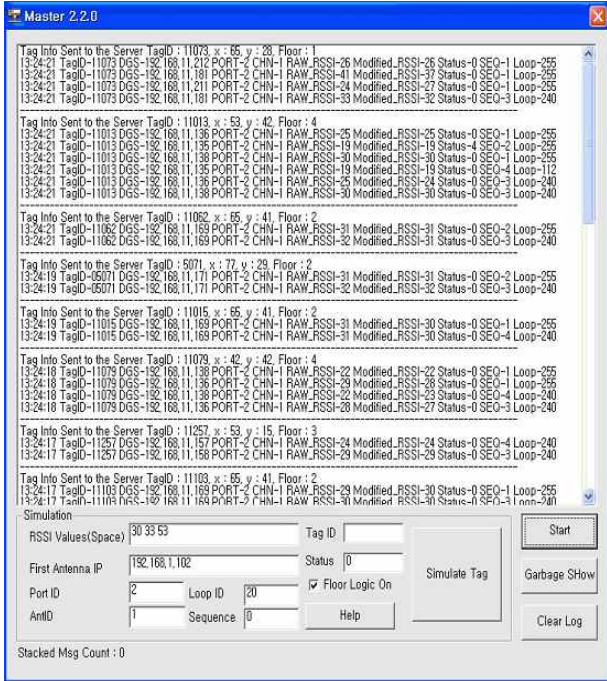
x, y : 추정하고자 하는 능동형 RFID 단말기의 위치
 xi, yi : i번째 정보처리기지국의 공간상의 위치
 SSi : i번째 정보처리기지국에서 수신한 신호세기
 xiSSi, yiSSi : i번째 정보처리기지국에서 수신한 신호 세기의 x, y 성분

상기 위치 추론 알고리즘의 적용을 위해 요구되는 개별 능동형 RFID 단말기들의 수집 정보는 정보처리 기지국의 상위기인 마스터 컨트롤러에 송신된다.

3.3.5 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 정보 처리기지국의 기초 정보들을 취합하여 전향에서 제시한 위치 추론 알고리즘을 적용한다. [그림 5]에 구현된 마스터 컨트롤러의 운영 화면을 보여준다.

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 제



[그림 5] 마스터 컨트롤러의 운영 화면

어할 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 재실 감지 시스템 성능 평가

4.1 능동형 RFID 단말기의 무선 특성 분석

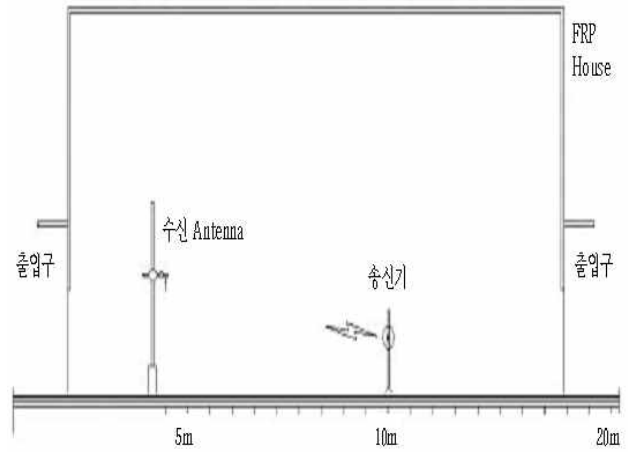
능동형 RFID 단말기의 무선 특성을 분석하기 위하여 [그림 6]과 같은 환경에서 실험을 실시하였다. [그림 7]은 수신기와 단말기 사이의 거리에 따라 능동형 RFID 단말기의 무선 신호(RSSI)를 측정된 결과를 보여 준다.

본 실험을 통해 도출된 능동형 RFID 단말기의 무선 신호 특성은 다음과 같다.

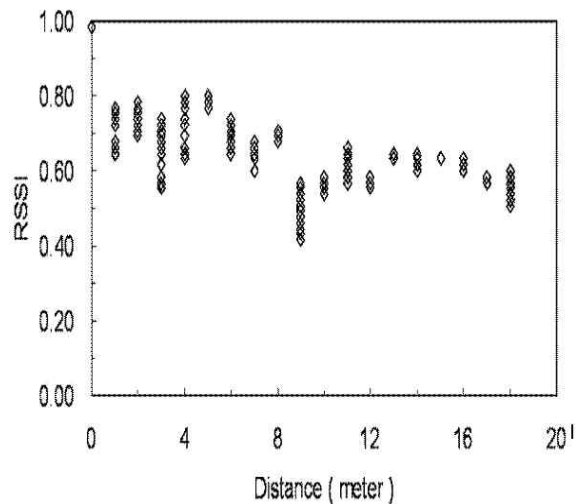
- 수신기와 단말기 사이의 거리에 따른 신호 세기의 변화폭은 좁다.
- 특정 거리에서의 신호 변화폭은 좁다.
- 거리에 따른 신호의 변화량은 적다.

수신율 평가를 위하여 [그림 8]에서 보는 바와 같이 수신시간을 가로축으로 하고 송신주기별(5초, 10초, 20초)로 수신율을 측정하였다.

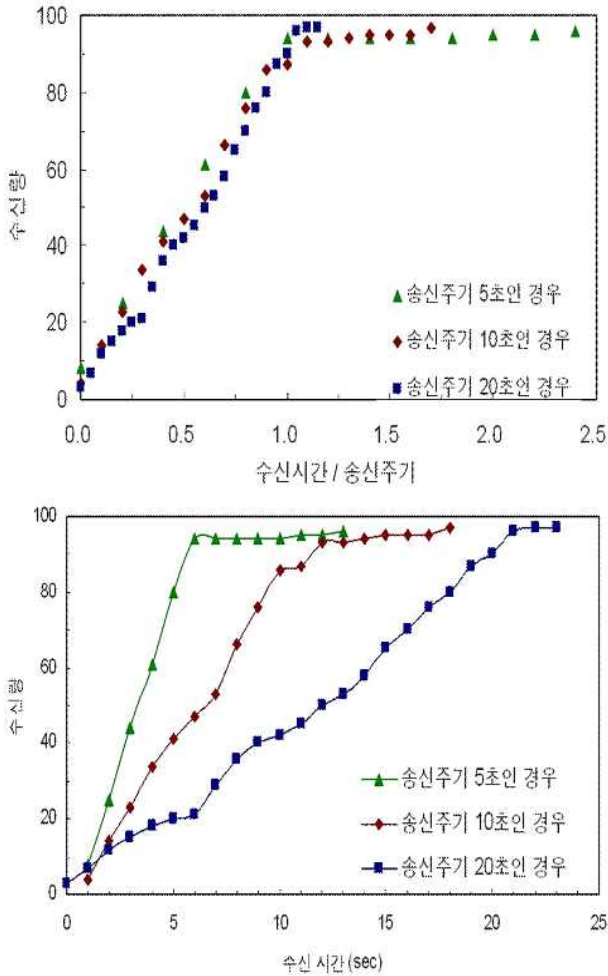
실험 결과에 따르면 본 연구에 적용된 장비의 특성은 평균적으로 송신주기의 2배 시간 이내에서 97%이상 단말기의 신호를 수신함을 알 수 있다. 일반적인 건물의 제어 가능 주기가 10분이므로 수신된 위치 데이터를 3회 이상 수집, 보정한다고 가정했을 때 능동형 RFID 단말기의 배터리 소모량을 최소로 하기 위하여 정보 송신 주기를 1분으로 하는 것이 합리적이라고 판단하였다.



[그림 6] 실험 환경



[그림 7] 거리에 따른 RSSI 값 측정



[그림 8] 수신율 실험 결과

4.2 에너지 제어 공간 특성 분석

추정된 위치의 건물 내 특성에 따라 에너지 소비 제어 특성이 변하므로, 본 연구에서는 건물 내 근무자의 위치 및 밀집도를 파악하기 위해 건물 내 근무자의 근무 공간을 에너지 제어 공간(Energy Control Space ; ECS)이라 정의하였다.

일반적으로 건물에서의 자동제어 시스템인 조명(일반 조명과 비상조명) 및 공조(VAV, CAV) 제어 시스템은 존 제어 방식을 채택하므로 에너지 절감을 위한 ECS의 기본 단위를 조명 및 공조 제어 존에 부합하도록 구성하였다.

주어진 ECS에서 능동형 RFID 단말기의 밀집도 및 정밀도 특성을 평가하기 위한 실험 항목 및 실험 방법을 <표 4>와 같이 정의하였다. 여기서 밀집도는 주어진 공간에서 주어진 개수의 단말기가 모두 인식되는데 걸리는 시간으로, 정밀도는 주어진 개수의 단말기가 주어진 공간에 위치할 확률로써 표현할 수 있다.

<표 4> 개인 단말기의 특성 평가 항목 및 실험 방법

평가 항목		실험 방법
밀집도 특성	정적 가독성	Tag ID 기록 후, 모든 단말기가 최소 1회 이상 수신된 시간 측정(해당 층의 전원 차단 후, 재투입 시각부터 시간 측정)
	평균 가독성	Tag ID 기록 후, 모든 단말기가 최소 3회 이상 수신된 시간 측정(해당 층의 전원 차단 후, 재투입 시각부터 시간 측정)
	동적 가독성	단말기를 단위 ECS마다 일정량을 분포시킨 후, 단말기 그룹들을 다른 ECS로 이동할 때 이동 후 해당 지역에서 모두 인식되는 시간 측정
정밀도 특성	단위 ECS간 정밀도	단위 ECS별로 단말기를 일정량 분포시킨 후 수신된 데이터 측정
	단위 ECS내 정밀도	단위 ECS내에 단말기를 일정량 분포시킨 후 수신된 데이터 측정

4.2.1 실험 환경

능동형 RFID 단말기의 재실 센서로써의 적용 타당성을 평가하기 위한 실험 환경은 <표 5>와 같다.

<표 5> 실험 환경

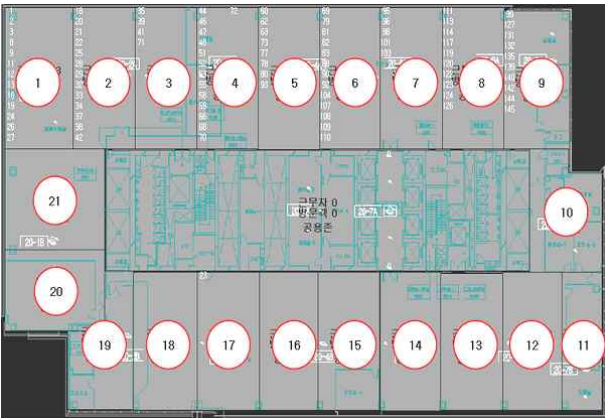
파라미터	내용
실험 단말기의 수	100개
단말기의 송신주기(T)	1분
실험 장소	기업 R&D센터 기준 층
실험 공간의 크기	75m×40m
조명 단위 존 크기	8m×12m
조명 존 구성	일반조명 2개 존과 비상조명 1개 존으로 조명 회로 구성
공조 단위 존 크기	8m×12m

4.2.2 ECS 기본 단위 선정

[그림 9]는 실험을 실시한 건물의 평면도이다. 실험을 위하여 조명과 공조 존의 특성을 고려하여 대상 공간을 크기가 8m×12m인 총 21개의 ECS로 나누었다.

21개의 ECS에 능동형 RFID 단말기 100개를 고루 배치하고 송신주기는 1분으로 하여 능동형 RFID 단말기의 정밀도를 실험한 결과는 [그림 10]과 같다. [그림 10]의 (a)는 총 100개 능동형 RFID 단말기의 실제 위치와 추정된 위치사이의 오차거리(Error in meter)별 단말기의 수와 비율을, (b)는 위치추정 오차거리에 따른 오차 누적률을 보여준다.

그림에서 보는 바와 같이 능동형 RFID 단말기의 성능은 평균 위치추정오차 3.81m, 8m이상 오차 1.5% 이내이므로 ECS의 크기를 8m×12m로 정하는 것이 적절하다고 판단된다.



[그림 9] 실험 대상 건물의 평면도

4.2.3 능동형 RFID 단말기의 밀집도 특성

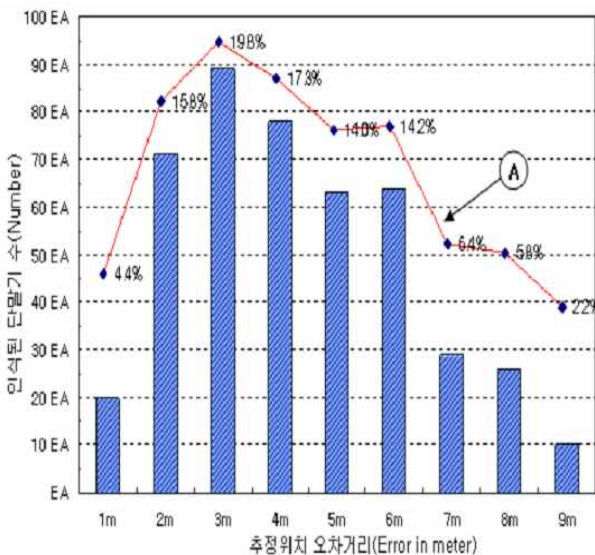
에너지를 효율적으로 관리하기 위해서는 근로자의 밀집 정도를 파악하여 불필요한 에너지를 차단할 필요가 있다. 개발된 능동형 RFID 단말기의 밀집도 특성 분석을 통하여 근로자의 밀집 정도를 인식하는 지능형 재실 감시 센서로써의 적용 타당성을 검증하기 위해 정적 가독성, 동적 가독성, 평균 가독성 측면에서 실험을 실시하였다.

실험 결과는 <표 5>와 같다. 표에서 보는 바와 같이, 총 21개의 ECS에서 능동형 RFID 단말기의 평균 특성은 송신 주기의 2배에서 정적 가독성을 보이며, 송신 주기의 6배에서 평균 가독성을 보였다. 이는 에너지 관리를 위한 최소 제어 주기가 단말기 송신 시간(T)의 6배(6T) 이상이 적합함을 의미한다. 이 정보는 실제 건물 에너지 관리를 위한 자동제어(조명 및 공조 설비) 시스템의 최소 제어 주기 정보로도 활용될 수 있다.

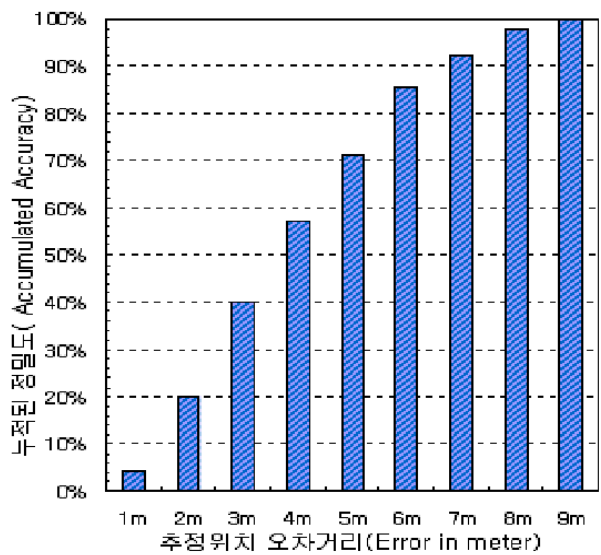
4.2.4 능동형 RFID 단말기의 정밀도 특성

개별 ECS에 분포하는 능동형 RFID 단말기의 위치 정보의 정확도는 개별 단말기의 추정 위치 오차 정밀도로 표현하는 것 보다는 실제 제어 대상이 되는 ECS 단위로 파악하는 것이 더 효과적이다.

<표 6>은 능동형 RFID 단말기의 위치 추정 센서로의 적용 타당성을 검증하기 위한 정밀도 측정 결과이다. 표에서 보는 바와 같이, 전체 21개 ECS 중 상위 9개의 ECS에서 위치 추정 정밀도 실험 결과 1개 ECS 정밀도는 75%±1%의 정밀도를 보이며, 2개 ECS 정밀



(a) 위치추정 오차거리별 단말기 수 및 비율



(b) 위치추정 오차거리에 따른 누적률

[그림 10] 위치인식 시스템의 정밀도 실험

<표 5> 능동형 RFID 단말기의 밀집도 실험 결과

구역	1	2	3	4	5	6	7	8	9	평균
실제 Tag수	10	10	10	10	10	10	10	10	10	-
정적 가독성	1차	4T	3T	3T	2T	2T	2T	1T	1T	2.2T
	2차	2T	1T	2T	2T	2T	2T	1T	2T	1.6T
	3차	1T	2T	2T	2T	2T	2T	2T	2T	1.8T
평균 가독성	1차	9T	7T	8T	4T	6T	6T	5T	4T	6.2T
	2차	4T	4T	9T	6T	6T	5T	5T	6T	5.6T
	3차	6T	5T	7T	4T	5T	4T	4T	5T	5T
동적 가독성	1차	2T	2T	2T	2T	2T	2T	2T	2T	2T
	2차	2T	2T	2T	2T	2T	2T	2T	2T	2T
	3차	2T	2T	2T	2T	2T	2T	2T	2T	2T

단, T : 단말기 송신 시간

<표 6> 능동형 RFID 단말기의 정밀도 실험 결과

구분 존	1	2	3	4	5	6	7	8	9	평균
실제 Tag수	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
계측 Tag수	13	13	4	14	8	13	5	10	10	
1 ECS 정밀도	10	7	4	10	5	7	5	10	10	7.5
	71%	57%	57%	43%	43%	57%	43%	57%	43%	75%
2 ECS 정밀도	0	3	6	0	5	3	5	0	0	2.5
	29%	29%	43%	57%	57%	43%	57%	43%	57%	25%

도(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 보여준다.

5. 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 인식할 수 있는 시스템이 요구된다. 이에 본 연구에서는 이러한 요구를 만족시킬 수 있는 능동

형 RFID를 활용한 지능형 재실 감지 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템의 성능은 물론 능동형 RFID 단말기의 지능형 재실 센서로서의 적용 타당성을 검증하기 위해 다양한 실험을 실시하였다.

실험 결과, 개발된 능동형 RFID 단말기는 2개의 ECS에서 99%±1%의 위치 추정 정밀도를 보여 주었는데 이는 건물 내 근무자의 위치 정보 및 밀집 정도가 건물의 에너지 관리 및 절약을 위한 정보로 충분히 활용될 수 있음을 보여주는 것이다. 즉, 공간 인식을 가지는 지능형 재실 센서를 통한 건물 에너지 제어 기술은 상업적인 기술로써 적용될 수 있다는 것을 의미한다.

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 재실 감지 시스템을 개발하였으나 본 연구를 통해 개발된 핵심 기술은 정보통신 및 생활환경, 보안, Healthcare, 실버타운, Smart Home 등 많은 분야에 응용할 수 있다.

향후, 실제 상업용 건물의 조명제어 시스템 및 공기 제어시스템과의 인터페이스를 통하여, 에너지 절감 효과 및 효율에 대한 실증적 연구를 수행할 계획이다.

6. 참고 문헌

- [1] 조항문, 김윤희, “서울시 공공건물의 에너지 절약방안”, 서울시정개발연구원, 시정연 2007-R-20 (2008).
- [2] Yigzaw G. Yohanis, Jayanta D. Mondol, Alan Wright, Brian Norton, “Real-life energy use in the UK: How occupancy and dwelling characteristics affect domestic electricity use”, Energy and Buildings, 40 (2008) :1053-1059.
- [3] 임상채, “USN을 활용한 건축물 에너지 모니터링 기술”, 설비/공조·냉동·위생, (2009) :36-45.
- [4] 박용준, 박남희, 최진원, “디지털 공간모델링 기법과 유비쿼터스 IT 기술을 접목한 빌딩 에너지 관리방법에 관한 기초연구”, 대한주거학회 춘계학술대회 (2009) :181-186.
- [5] Vishal Garg, N.K. Bansal, “Smart occupancy sensors to reduce energy consumption”, Energy and Buildings, 32 (2000) :81-87.
- [6] Robert H. Dodier, Gregor P. Henze, Dale K.

Tiller, Xin Guo, "Building occupancy detection through sensor belief networks", Energy and Buildings, 38 (2006) :1033-1043.

[7] Abhijit Sarkar, Mark Fairchild, Carl Salvaggio, "Integrated Daylight Harvesting and Occupancy Detected Using Digital Imaging", Proc. of SPIE-IS&T Electronic Imaging, 6816 (2008).

[8] 소선섭, 은성배, "Zigbee 태그기반 아파트 위치인식 시스템 설계 및 구현", 전자공학회지, 44 (2007) :13-19.

[9] John Krumm, John Platt, "Minimizing Calibration Effort for an Indoor 802.11 Device Location Measurement System", Microsoft Technical Report (2003).

[10] E. Elnahrawy, X. Li, R. Martin, "The Limits of Localization using RSSI", Proc. of Infocom (2000).

[11] S. Y. Seidl and T. S. Rapport, "914 MHz path loss prediction Model for Indoor Wireless Communications in Multi-floored building", IEEE Transactionson Antennas and Propagation, 40 (1992) :207-217.

[12] 방송통신위원회, "방송·해상·항공·전기통신 사업용 외의 기타업무용 무선설비의 기술기준", 「무선설비규칙」 (2007).

[13] 박병태, 최연석, "고급아파트를 위한 위치인식 기반 u-서비스 시스템의 설계 및 구현", 대한안전경영과학회지, 12 (2010) :99-105.

[14] Sekyung Han, Yeonsuk Choi, Masayuki Iwai and Kaoru Sezaki, "Development of a Dynamic Collision Avoidance Algorithm for Indoor Tracking System Based on Active RFID," KSII Transaction on Internet and Information Systems, 4 (2010) :736-752.

저 자 소 개

최 연 석



KAIST 대학원 생산공학과 공학 석사, 대우전자 중앙연구소 주임 연구원, 호서대학교 교양학부 재직 중.

주소 : 충청남도 아산시 배방면 세출리 165

박 병 태



고려대학교 산업시스템정보공학과 공학박사, 한국과학기술연구원(KIST) 선임연구원, 명지전문대학 산업시스템경영과 재직 중.

주소 : 서울특별시 서대문구 홍은3동 356-1