

## RFID 기술을 이용한 실내 위치 추적

윤창선\* · 김태인 · 김현진 · 홍연찬

### Indoor Positioning Using RFID Technique

Chang-sun Yoon\* · Tae-in Kim · Hyeon-jin Kim · Yeon-chan Hong

Department of Electronics Engineering, Incheon National University, Incheon 22012, Korea

#### 요 약

RFID 기술은 리더와 태그(Tag)라는 장치를 이용하여 정보를 인식하는 기술로 현재 대중교통 및 고속도로 하이패스 등에 사용되고 있다. 본 논문에서는 RFID 기술을 응용해 실내에서 물체의 위치를 추적하는 시스템을 설계하고자 한다. 대표적인 위치추적 시스템인 GPS는 비가 오거나 실내 공간 또는 지하에서는 효율이 좋지 않고 오차가 커지는 단점이 있다. 제안된 RFID 실험은 실내에서 배치된 물체의 이동에 따른 신호의 변화를 시뮬레이션 하고 실제 실험과 비교하여 위치추적에 필요한 데이터를 산출한 후 그 데이터를 근거로 이동경로와 오차를 분석하여 향후 추적시스템에 필요한 자료를 제공한다. 위치 추적에 필요한 시뮬레이션은 실제 물체의 이동 경로를 분석하여 수행하였고 실제 실험에서는 RFID 기술을 이용하여 실내 곳곳에 리더를 설치한 환경에서 위치를 알고자 하는 물체에 태그를 장착시키고 이동시킨 후 실험 장비에서 얻어낸 데이터를 분석하였다. 본 논문에서는 획득한 데이터를 분석하여 향후 실내 위치 추적이 필요한 시스템에 활용될 수 있도록 관련 분석값을 제시하였다. RFID를 통한 위치 파악 데이터는 위치에 따른 태그 판별 결과를 보여주며 분석된 데이터는 추후 실내 위치 파악 연구에 활용될 것으로 기대된다.

#### ABSTRACT

RFID technology is a technology perceiving information with the device called reader and tag which is now used in public transportation such as Hi-pass. In this paper, we design a system which tracks indoor location using this technology. GPS, the most frequently used location-tracking system, has a defect that its accuracy decreases when the device is indoor. In suggested experiment, we simulate signals according to the moving of located objects, then compare with the result of the experiment. Based on the extracted data, we inform data which is for the purpose of tracking system based on analysis of the route and errors. Simulations for the tracking were performed with relocation of real objects. In the real experiment, we arrange the readers around the room and move the tagged object that we like to know the location, then analyze the data from the equipment. This paper suggests the analyzed data for the future indoor tag tracking applications. We expect that the RFID based location positioning data will be used for other indoor positioning research and development.

**키워드** : 리더, 태그, 유비쿼터스 컴퓨팅, 실내위치추적

**Key word** : Reader, Tag, Ubiquitous Computing, Indoor Positioning

접수일자 : 2015. 11. 09 심사완료일자 : 2015. 11. 30 게재확정일자 : 2015. 12. 14

\* Corresponding Author Chang-Sun Yoon(E-mail:cyoon36@gmail.com, Tel:+82-32-835-4769)

Department of Electronics Engineering, Incheon University, Incheon 22012, Korea

**Open Access** <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2016.20.1.207>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

최근 유비쿼터스 컴퓨팅이 정보 기술의 주요한 인프라 기술로 받아들여지면서 이에 관한 기술 개발이 활발히 진행되고 있다. 유비쿼터스 컴퓨팅 구현에 있어 실내 환경에서 사용자의 상황과 위치 기반 서비스 제공 기술은 유비쿼터스 컴퓨팅의 기반이 되는 기술이라고 할 수 있다. 위치기반 서비스는 교통 및 항법 서비스, 안전 및 구조 서비스, 추적 서비스, 위치기반 상거래 서비스, 주변 정보제공 서비스 등 다양한 분야에 적용되고 있다[1].

응용분야로는 귀중품과 애완동물 관리, 병원 내에서의 환자 및 독거노인들의 위치파악이 가능하다. 또한 단말기 제조 산업, 콘텐츠산업, 통신 산업 등의 성장에 커다란 영향을 미치기 때문에 중요한 연구 분야이다[2].

위치를 추적할 수 있는 대표적인 시스템으로 GPS(Global Positioning System)를 이용한 위치 추적시스템이 있는데 이 시스템은 실외 위치 추적에 더 최적화된 시스템이기 때문에 실내 환경에서는 신호가 잘 잡히지 않아 위치추적 오차가 크다. 즉, 실내에서의 위치 기반 위치 파악 및 추적 시스템 설계를 위해서는 실내 환경에 적합한 위치 추적 방식이 고려되어야 한다. 적외선이나 초음파를 이용한 실내 위치추적의 경우 시스템의 크기와 비용 측면을 고려하면 효율적인 대안이 될 수 없다. 반면, 비교적 가격이 저렴한 RFID(Radio Frequency Identification) 기술을 실내 위치추적에 응용한다면 효율적으로 소형 목표에 대한 실내 위치 파악 및 추적이 용이할 수 있다. RFID 기술이란 극소형 칩에 정보를 저장하고 안테나를 달아 무선으로 데이터를 송수신하는 장치로 IC칩과 무선을 통해 식품·동물·사물 등 다양한 개체의 정보를 관리할 수 있는 인식 기술을 지칭한다. 이 시스템의 대부분은 유도성 결합 이론에 따라 동작하는데 도체 루프(짧은 원통 코일)는 읽기/쓰기 기기에서 교류 자계를 발생시켜 미세한 전류가 흐르게 되고 이 전류로 인해 시스템이 동작한다. 이 자계의 세기는 측정지점이 코일의 중심축에서 멀어진다면서, 거리가 증가함에 따라 감소하게 된다[3].

본 논문은 RFID 기술을 응용한 실내 위치추적을 하고 그 정밀함을 알아보려고 한다. 915MHz 대역의 RFID 시스템을 사용해 인식거리를 높여 실내에서의 위치추적을 용이하게 하였다. RFID 기술을 응용하여 리더와 태그를 통하여 정밀한 실내 위치 파악 및 추적이

가능함을 확인하여 활용 가능성을 가늠하고 논문을 통해 얻은 데이터를 향후 관련 시스템 개발을 위한 자료로서 제시한다. 실험은 915MHz 대역의 RFID 시스템을 사용하여 상용화가 가능한 실내 위치 파악 및 추적에 적절한 거리 범위에서 수행하였다.

## II. RFID를 이용한 거리 측정

RFID 기술을 통한 거리 측정은 안테나와 태그들 간의 신호 크기에 따라 결정되는데, 전송 안테나의 크기는 내부소자의 값에 따라 결정된다.

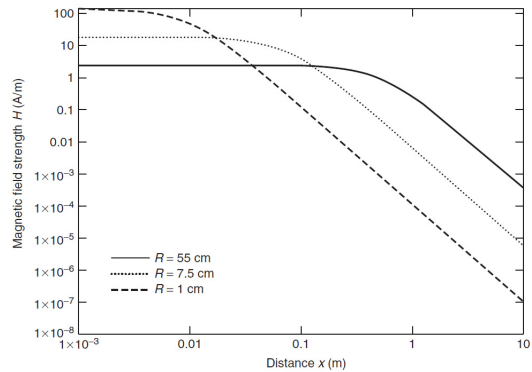


Fig. 1 Change of magnetic field strength according to the antenna size and distance

그림 1에서 자계강도 H는 거리 x에 대한 안테나의 반경 R에 대한 특정 비율에서 가장 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 만약 실내 위치추적을 위한 안테나 반경이 너무 크면 전송 안테나로부터 거리가 0에 가까운 지점에서는 자계 강도가 매우 낮아 시스템이 동작하지 않을 것이다.

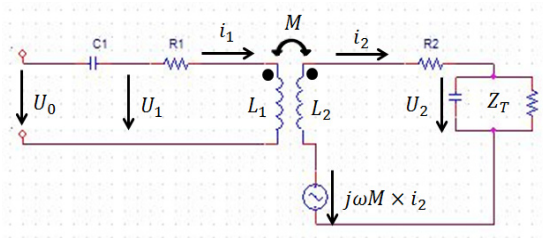


Fig. 2 Equivalent Circuit of Reader and Tag

반대로 안테나의 반경이 너무 작다면 자계 강도는 거리가 증가함에 따라 급격히 줄어들어 사용하고자 하는 범위가 제한될 것이다. 이것은 실내 위치추적에 위한 최적의 안테나 반경이 존재함을 의미한다. 그림 2를 통해 적합한 안테나 반경을 유도하고자 한다[4].

그림 2는 리더와 태그를 전기적 등가회로로 나타낸 것이다. 태그의 임피던스  $Z_T$  는 부하저항  $R_L$ (데이터 반송파)과  $C_L$ 로 이루어진다[3].

왼쪽이 리더, 오른쪽이 태그의 회로이며 두 회로의 결합에는 상호 인덕턴스  $M$ 이 존재한다. 그림2에서 리더 전압  $U_0$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$U_0 = \frac{1}{j\omega C_1} i_1 + j\omega L_1 i_1 + R_1 i_1 - j\omega M i_2 \quad (1)$$

그림2는 직렬 공진회로로서 공진주파수에서 동작하기 때문에 식(1)에서 임피던스  $\frac{1}{j\omega C_1}$  과  $j\omega L_1$ 은 서로 상쇄된다. 그리고 태그에 흐르는 전류  $i_2$ 를  $i_1$ 으로 정리하면,

$$i_2 = \frac{j\omega M}{R_2 + j\omega L_2 + Z_T} i_1 \quad (2)$$

따라서,  $U_0$ 는 다음과 같이 변환 된다.

$$U_0 = R_1 i_1 - j\omega M \frac{j\omega M}{R_2 + j\omega L_2 + Z_T} i_1 \quad (3)$$

상호 인덕턴스는 두 도체루프의 선속 결합의 양적 변화를 나타낸다. 일반적으로 상호 인덕턴스  $M$ 을 도입하는 것은 비현실적이므로 전자결합의 결합정도를 나타낸 수치인 결합계수  $k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$ 를 도입함으로써 그

것들의 기하학적 크기와는 상관없이 도체루프의 결합에 관한 크기 예측을 할 수 있다. 결합계수  $k$ 의 범위는  $0 \leq k \leq 1$ 이지만 실제 유도성 결합 시스템은 0.01 정도의 낮은 결합계수로 동작한다. 결합계수  $k$ 의 값을 대입한  $U_0$ 는 다음 같이 유도된다.

$$U_0 = R_1 i_1 + \frac{\omega^2 k^2 L_1 L_2}{R_2 + j\omega L_2 + Z_T} i_1 \quad (4)$$

만약 리더의 반경이 태그의 반경보다 크거나 같을 때 즉,  $r_T \leq r_R$ 를 만족하면 결합계수는 다음의 식으로 근사화 될 수 있다.

$$k \approx \frac{r^2 r_T r^2 r_R}{\sqrt[2]{r_T r_R} (\sqrt[2]{x^2 + r_R^2})^3} \quad (5)$$

식(5)에서  $x$ 는 리더와 태그간의 인식거리를 뜻하며  $x$ 에 관한 식으로 정리하면,

$$x = \sqrt[2]{\frac{r_T r_R}{\sqrt[3]{k^2}} - r^2 r} \quad (6)$$

식(6)에서  $r_R$ 과  $r_T$ 는 값이 정해져있으므로  $x$ 의 값은  $k^2$ 에 의해 결정된다. (4)의 식을  $k^2$ 에 대하여 정리하면,

$$k^2 = \frac{(R_2 + j\omega L_2 + Z_T)(U_0 - R_1 i_1)}{\omega^2 L_1 L_2 i_1} \quad (7)$$

이 되므로 실내 위치추적을 위해 필요한  $x$ 값과 그에 따른 최적의 안테나 반경을 알 수 있다[4]. 위 식을 근거로 실험에 사용할 수 있는 안테나를 선정하여 적용하였다. 선정된 안테나는 900Mhz 대역의 원형 타입의 편광 안테나이며 상세 사양은 아래 표와 같다[5].

**Table. 1** Specification of MT-92 Antenna

Model Number	MT-92 Antenna
Frequency	902 MHz ~ 928 MHz
Polarization	Circular Type
Beam Width(3dB)	70 degree nominal
Input Impedance	50ohm
Size	213mm x 213mm

인식 거리는 태그의 칩과 안테나 사이의 임피던스 정합(impedance matching)과 리더의 프로토콜파라미터(protocol parameter) 설정에 따라 직접적인 영향을 받는다[6-10]. 임피던스 정합 또는 읽기 전력 감도(read power sensitivity)에 있어서 3 dB 정도의 부정합이 발생할 경우, 약 40 % 정도의 인식 거리에 있어서 감소가 발생하는 것으로 알려져 있다[6]. 제한한 안테나 외의 상용 안테나를 적용한 경우 리더의 출력 전원을 30dBm으로 설정했을 때 실험을 위한 충분한 인식 거리를 갖는

다[11]. 본 논문 실험에서 제안한 안테나는 충분한 RF Power Capability(31.6dBm)을 만족함을 Table.2의 기술 규격을 통해 확인하였다.

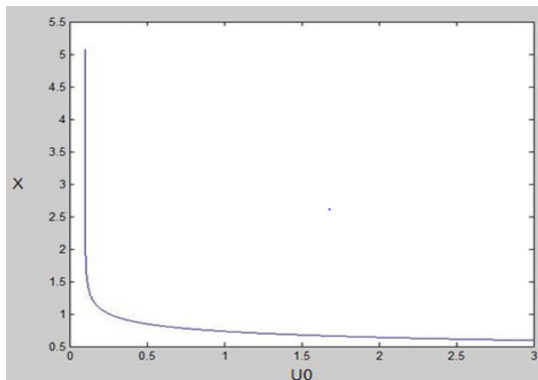
**Table. 2** Specification of ALR-9900+

Model Number	ALR-9900+
Frequency	902 MHz ~ 928 MHz
Transmit Channels	50
RF Power Capability	31.6dBm typical: 4 watts EIRP)
Power	Robust universal AC-DC Power converter, 100~240 VAC, 50/60 Hz
Communications	LAN TCP/IP, RS-232

### III. 위치추적 시뮬레이션

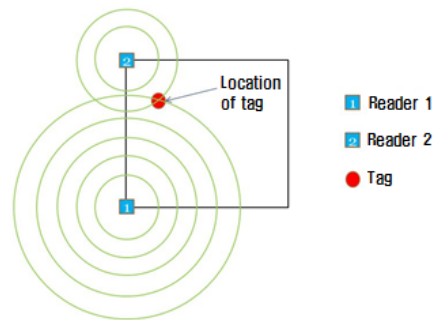
본 논문에서는 UHF 대역 RFID의 국제표준인 ISO/IEC 18000-6 Type C (EPC global class1 generation2) 표준[12]를 따르는 장비를 적용한다. 인식된 신호는 장비 내에서 정류(rectifier), 레귤레이터(regulator), ASK 복조기 (demodulator), bias 회로, 클럭 발생기(clock generator), POR(POR on Reset) 등으로 구성되어 있는 아날로그 블록 및 mask ROM, Ripple counter, word line detector, serializer 등으로 이루어진 디지털 블록을 통해 데이터화 될 수 있다[13].

II장에서 유도한 공식들을 이용하여 각 소자 값들을 MATLAB 프로그램에 대입해 시뮬레이션 해 보았다. 그림 3은  $U_o$ 의 변화에 대한 x의 값을 시뮬레이션 한 결과이다.



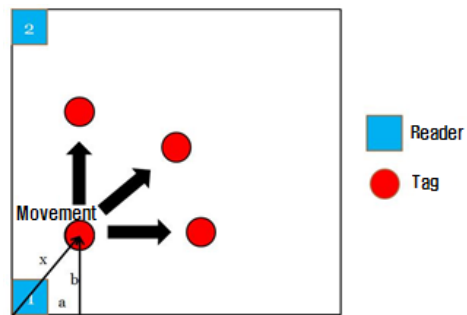
**Fig. 3** Simulation result of X about  $U_o$

그림 3을 통해 일정 범위 내에서 각각의  $U_o$ 에 따른 x값이 존재함을 알 수 있다. 실제로 이 시뮬레이션 값이 이론값과 일치하는지 알아보기 위해 실내 안에서 태그가 이동할 때 리더가 거리를 정확히 인식하여 위치를 확인할 수 있는지 시뮬레이션 해 보았다. 인식 거리에 제한이 있기 때문에 공간의 크기는 가로 세로 3m로 설정하였고 예를 들어 그림 4와 같이 태그가 위치할 수 있다.



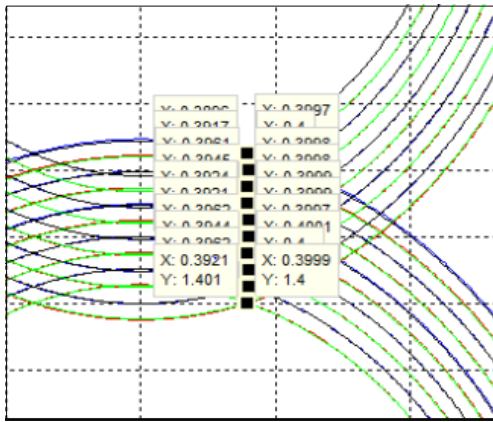
**Fig. 4** Example of location recognition of tag by readers

전압  $U_o$ 에 따른 x값의 자취는 리더를 중심으로 원의 형태가 되어 각각의 리더와 태그간의 전압 차이가 중앙 처리 시스템에 전송되고 받은 정보를 종합해 원이 2개 이상 겹치는 부분이 태그의 위치라고 인식한다[14].

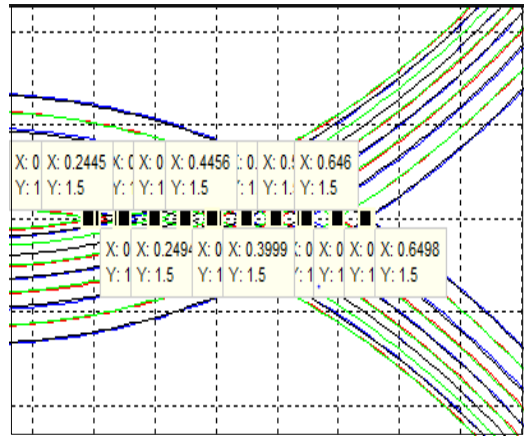


**Fig. 5** Virtual path of a tag indoors

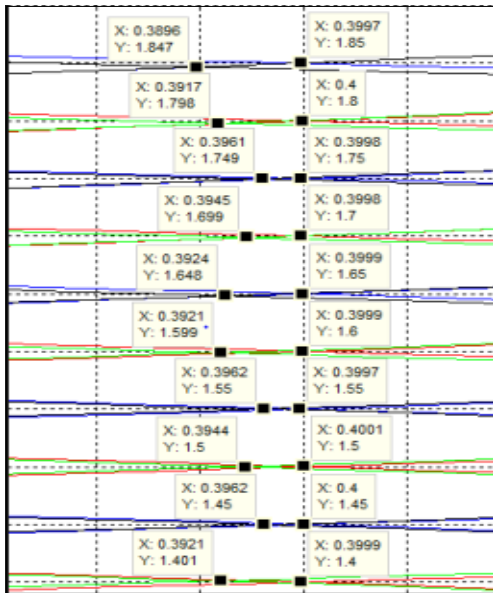
본 논문은 그림5와 같이 태그의 이동 경로를 3가지로 나누어 시뮬레이션 해 보았다. 리더와 태그 간의 거리는  $x^2 = \sqrt{a^2 + b^2}$  이므로 거리 x의 값을 구할 수 있다. 1번 리더와 2번 리더 각각에 대하여 시뮬레이션 해 보았다.



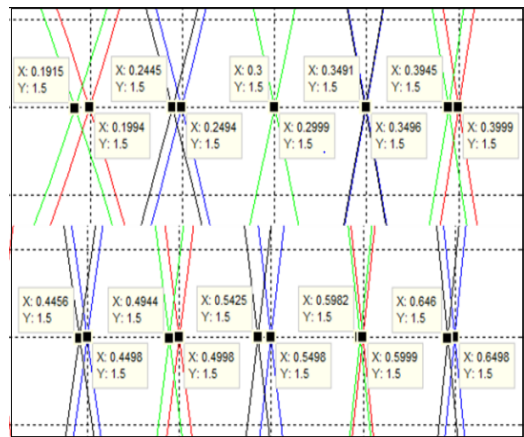
(a)



(a)



(b)



(b)

**Fig. 6** Simulation result of vertical path of a tag (a) whole view (b) enlarged view

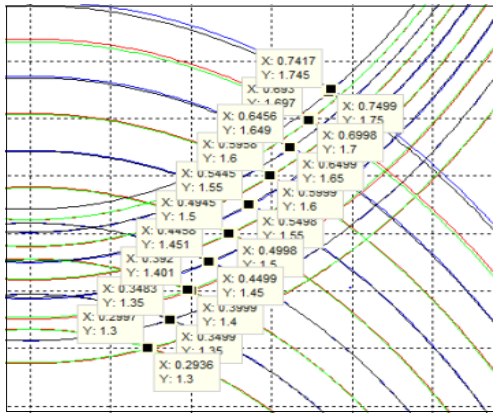
그림 6에서 오른쪽의 점은 태그의 실제 이동경로를 나타낸 것이고 왼쪽의 점들은 리더가 인식한 태그의 이동경로이다. 확대해보니 미세한 오차가 발생하였음을 알 수 있다.

그림 7에서 오른쪽의 점들은 태그의 실제 이동경로를 나타낸 것이고 왼쪽의 점들은 리더가 인식한 태그의 이동경로이다. 그림 6에 비해 오차가 적지만 역시 미세한 오차가 발생한 것을 확인할 수 있다.

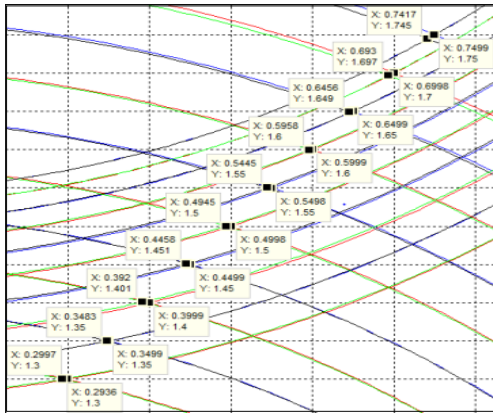
**Fig. 7** Simulation result of horizontal path of a tag (a) whole view (b) enlarged view

마지막으로 그림 8은 오른쪽의 점은 태그의 실제 이동경로, 왼쪽의 점은 리더가 인식한 태그의 이동경로이다. 이 또한 미세한 오차가 발생하였음을 알 수 있다. 정확한 오차 정도를 파악하기 위해 그림 9와 같이 그래프로 정리하였다.

그림 9는 실제의 이동경로를 나타내는 점과 시뮬레이션을 통해 추적된 경로를 나타내는 점 사이의 거리로 오차를 계산해본 결과는 적게는 0cm, 많게는 1.2cm 정도의 오차가 발생했음을 알 수 있다. 실험에서 사용한 주변 환경적인 요소에 따라 랜덤적인 오차를 포함할 수 있다.



(a)



(b)

Fig. 8 Simulation result of diagonal path of a tag (a) whole view (b) enlarged view

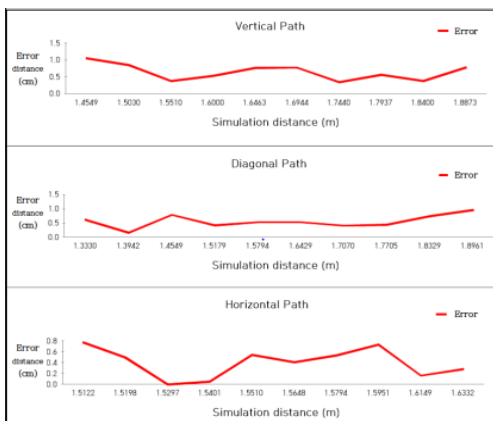


Fig. 9 Error between the actual routing and the tracked routing

이는 리더기가 보낸 신호를 직접 수신하지 못하고 반사, 회절 분산된 신호만 수신하는 NLOS(비가시광선) 측정 오차[15,16], 다중경로 페이딩(multi-path fading) 등과 같은 주변 환경으로 인한 오차와 신호의 송수신 시각 등으로 추정된다[17]. 이러한 오차 발생에도 불구하고 초음파와 RF 신호의 속도차이를 이용한 cricket, 적외선 센서를 이용한 active badge, 무선 랜을 이용한 레이더(radar), 3차원 카메라를 이용한 Easy Living 등의 방법과 비교할 때 장치의 크기와 가격을 고려하면 RFID를 이용한 위치 정보의 활용은 충분한 이점을 가지고 있다고 볼 수 있다[18].

#### IV. 결론

본 논문에서는 RFID 기술을 이용해 실내에서 정확한 위치추적이 가능한지에 대해 연구하였다. 흔히 사용되고 있는 13.56MHz 대역의 리더와 태그는 인식 거리가 짧아 실내 위치추적에 비효율적이기 때문에 915MHz 대역을 사용하였다. RFID를 이용한 태그의 위치 추적이 효율적임을 확인하기 위해 태그의 이동 경로를 3가지로 나누어 실험을 수행하였고 실험 결과는 최대 오차 1.2cm 내로 위치 추적이 가능함을 확인할 수 있었다. 이와 같은 특성은 본문에서 제시한 다른 방법과 비교하여 볼 때 비용 및 그 효율 측면에서 상당히 효율적임을 확인할 수 있었고 본 논문 실험에 따라 얻은 데이터는 RFID를 이용한 실내 위치 파악 및 추적을 위한 시스템 개발에 필요한 자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 나아가 본 실험을 확장하여 더 많은 리더와 태그를 적용하고 배치 방식의 효율성을 추가로 연구한다면 넓은 공간에서의 실내에서 이동하는 태그의 정밀한 위치 파악이 가능할 것으로 기대된다.

#### REFERENCES

[ 1 ] Woo Chool Park, and Hyung Soo Lee, Myung Hyun Yoon, "Development of Indoor Positioning System for Location-aware Services," *Conference on information and control systems*, pp. 286-288, 2005.  
 [ 2 ] Tae-Sung Kim, Hyo-Jung Jun and Kwang Woo Nam,



- “Business Models for Location Based Services,” *The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences*, vol. 31 no. 9B, pp. 848-856, Sep. 2006.
- [ 3 ] Jae Ho Shin, and Yeon Chan Hong, “Development of High-Speed RFID Reader System,” *Journal of Control, Automation and Systems Engineering*, vol. 13, no. 9, pp. 915-919, Sep. 2007.
- [ 4 ] Klaus Finkenzeller (Giesecke & Devrient GmbH, Munich, Germany), “RFID Handbook Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification,” Wiley, pp. 61-97, May. 2003.
- [ 5 ] Changsun Yoon, Dongmin Yoon, Youngchan Kwon, Yeonchan Hong), “RFID Based Indoor Localization and Effective Tag Arrangement Method,” *Journal of The Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 16, no. 12, Dec. 2015.
- [ 6 ] P. Nikitin, V. Rao, R. Martinez, and S. Lam, “Sensitivity and impedance measurements of UHF RFID Chips,” *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, vol. 57, no. 5, pp. 1297-1302, May. 2009.
- [ 7 ] A. Ghiotto, T. P. Vuong, and K. Wu, “Chip and antenna impedance measurement for the design of passive UHF RFID tag,” *EuMC*, pp. 1086-1089, Sep. 2010.
- [ 8 ] T. Bjorninen, M. Lauri, L. Ukkonen, R. Ritala, A.Z. Elsherbeni, and L. Sydanheimo, “Wireless measurement of RFID IC impedance,” *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, pp. 3194-3206, Sep. 2011.
- [ 9 ] Yang Zheng, Xiuping Li, “Solution of measuring the impedance of encapsulated RFID chip,” *ICMMT 2010 Proceedings*, pp. 1518-1521, May. 2010.
- [10] P. V. Nikitin, K. V. S. Rao, “Effect of Gen2 protocol parameters on RFID tag performance,” *IEEE International Conference on RFID*, pp. 117-122, Apr. 2009.
- [11] Yongseog Sim, Jeonmo Yang, “Impedance Evaluation Method of UHF RFID Tag Chip for Maximum Read Range,” *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 24, no. 12, pp. 1148-1157, Dec. 2013.
- [12] EPC Global Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation2 UHF RFID, ver 1.0.9, 2005.
- [13] Hyun-chul Shim, Chunghyun Cha, Jongtae Park, Chonggun Yu, “Design of a Low-Power CMOS Analog Front-End Circuit for UHF Band RFID Tag Chips,” *The Institute of Electronics Engineers of Korea Semiconductor and Devices*, vol. 45, no. 6, pp. 28-36, 2008.
- [14] Changyong Han, and Gyeyoung Lee, Jaegeol Yim, Kyubark Shim, “Implementation of AP-Based and RFID-Based Indoor Positioning Web Services,” *Journal of Korea Multimedia Society*, vol.15, no.1, pp. 71-80, Jan. 2012.
- [15] L. Cong and W. huang, “Non-line-of-sight error mitigation in TDOA mobile location,” *Global Telecommunications Conference IEEE*, vol. 1, pp. 680-684, 2001.
- [16] Y.Chan, W. Tsui, H. So, and P. Ching, “Time-of-arrival based localization under NLOS conditions,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 55, no. 1 pp. 17-24. Jan. 2006.
- [17] C. S. Yoon, K. Y. Jeon, and S. H. Cho, “The performance enhancement of UHF RFID reader in multi-path fading environment using antenna diversity,” *Proceedings of 2008 International Technical Conference on Circuits/System, Computers and Communications*, pp.1429-1432, 2008.
- [18] Myunghwan Tak, Sukkun Jee, Younghoon Joo, “Error Revision of the Unknown Tag Location in Smart Space,” *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 16, no. 2, pp 158-163, Feb. 2010.



윤창선(Chang-Sun Yoon)

고려대학교 대학원 전자컴퓨터공학과 공학석사 (2012년 2월)  
 인천대학교 대학원 전자공학과 박사과정 (2015년 12월)  
 한국전력기술(주) 책임기술원 (2004년 3월 ~ 현재)  
 ※관심분야 : 제어계측, RFID, 정보통신



**김현진(Hyeon-jin Kim)**

인천대학교 전자공학과 공학사(2016년 2월)  
※관심분야 : RFID, 마이크로파 회로해석 및 설계, 제어계측



**김태인(Tae-In Kim)**

인천대학교 전자공학과 공학사(2016년 2월)  
※관심분야 : RFID, 마이크로파 회로해석 및 설계, 제어계측



**홍연찬(Yeon-Chan Hong)**

서울대학교 대학원 전자공학과 공학석사(1985년 2월)  
서울대학교 대학원 전자공학과 공학박사(1989년 2월)  
순천향대학교 전자공학과 전임강사 (1990년 3월 ~ 1992년 2월)  
인천대학교 전자공학과 교수 (1992년 3월 ~ 현재)  
※관심분야 : 제어계측, RFID, 홈네트워킹