

작은 UHF RFID를 이용한 열쇠관리용 철재캐비닛 시스템과 인식률에 관한 연구

중신회원 정 유 정

Study of Reading Rate & Small UHF RFID Tags in The Key Management System in a Metallic Cabinet

You Chung Chung* *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 작은 폐쇄된 철재 캐비닛 안에 설치된 작은 UHF RFID 태그를 사용하여 열쇠관리 시스템을 개발하였다. 보안상 열쇠를 안전한 곳에 보관하기 위해서 잠글 수 있는 철재 캐비닛을 사용하였고, 열쇠의 유무를 실시간으로 파악하기 위해서 RFID 리더기와 안테나 그리고 설계된 태그가 사용되었다. 철재 캐비닛에는 6개의 랙에 360개의 태그 안테나가 있다. 각 1개의 랙에는 60개의 태그안테나와 열쇠, 열쇠고리가 보관되어 관리된다. 태그 안테나용 RFID 칩은 Gen2를 사용하였고, 시스템 안에 응용 프로그램은 태그의 정보 ID와 수신 안테나 정보를 TCP/IP 프로토콜을 통하여 호스트 컴퓨터에게 전달하여 호스트 컴퓨터에 데이터베이스와 연동하는 프로그램이다. 또한 360개의 태그를 읽기를 위한 여러 실험과 비교 결과와 최적의 안테나의 위치에 의한 인식률과 리더기 Bios에 따른 인식률도 비교 하였다.

Key Words : UHF RFID Key Management System, 열쇠관리 RFID 시스템, UHF RFID Tag for Keys

ABSTRACT

This paper shows the key management system in a small metallic cabinet using a small UHF RFID tags. Each key chain with a key has a custom-designed small RFID tag antenna. There are 6 metallic racks in the small cabinet, and each rack can hold 60 key chains. Therefore, the small cabinet can hold 360 key chains with tags. The 360 key chains with RFID tags in a cabinet are recognized by RFID key chain management system. Even though it is hard to recognize 360 tags in the a cabinet, this RFID key management system with small custom designed RFID tags can recognize all the tags in the small cabinet. To read the all the tags, the locations of antennas and tag shapes are optimized. The reading rates based on the bios-version of the reader and the locations of the reader antennas are compared.

I. 서 론

RFID (Radio Frequency Identification) 시스템은 리더, 태그 안테나, 리더 안테나, 그리고 리더와 연결된 컴퓨터로 구분 할 수 있다. 최근 몇 년간

RFID는 물류유통과 여러 산업분야에 다양하게 사용되어지고 있으며, 상업적으로 많은 부분에서 사용되며 발전해 왔다. 현재 RFID는 도서관리 시스템, 고속도로 통행료시스템(Electronic Toll Collection System), 재산증명, 물품관리, 출입통제, 동물 추적,

※ 대구대학교 학술연구비지원에 의한 논문임

* 대구대학교 정보통신공학부(youchung@daegu.ac.kr)

논문번호 : KICS2009-09-422, 접수일자 : 2009년 9월 21일, 최종논문접수일자 : 2010년 2월 11일

그리고 자동차 보안과 같은 여러 분야에서 다양하게 적용되고 있다 [11][12].

RFID 표준으로는 ISO-18000 계열, Class 0, Class 1 Gen1, Gen2, Gen3 등을 사용하고 있다. 많은 적용이 되고 있는 UHF RFID 주파수 범위는 각 나라별로 RFID 주파수가 할당 되어져 있다. 2009년부터 UHF RFID 주파수 대역중에 중국이 840-844.5MHz의 대역을 2W ERP FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)로 사용함에 따라 UHF 대역이 840-960MHz 대역으로 확장되었고, 한국은 기존의 908.5 ~ 914MHz에서 새로이 917 ~ 920.8 MHz 대역에서 4W와 920.8 ~ 923.5MHz 대역에서 200mW EIRP(Effective Isotropic Radiated Power)로 HFSS나 LBT (Listen before talk) 방식으로 2008년 12월에 인가가 되었으며, 2010년 3월까지의 새로운 대역과 기존의 주파수 대역을 공용하여도 되도록 하였다 [13][14].

RFID가 여러 분야에 적용됨에 따라 환자관리, U-Healthcare나 확대노인에 관한 연구가 논문 [5]-[7]에서 소개 되었고, 반도체 패키지 공정관리, 우편물류체계 개선과 항만물류에 RFID가 다양하게 적용이 되었다 [8]-[10].

보안관련 적용 중에서 중요한 열쇠들을 실시간으로 관리를 해야 할 경우, 열쇠를 철재 캐비닛 안에 보관하여 실시간으로 유무를 확인해야 하는 경우가 있다. 보안 업체들의 보안차량에는 관리대상 건물의 많은 열쇠가 보관되어 1개 또는 2개의 열쇠 보관용 캐비닛이 존재 한다. 캐비닛 안에 열쇠의 유무는 캐비닛을 열어보아야 확인이 되는 불편함이 있다. 또한 호텔이나 커다란 건물의 열쇠를 관리하는 부서에서도 비슷한 상황이 벌어지게 된다. 열쇠가 300개 ~ 1000개를 보안이 필요한 캐비닛이나 잠겨진 안전한 보관 장소에서 실시간으로 열쇠의 유/무를 확인하며 관리하기가 쉽지는 않다. 열쇠관리 시스템은 [11]의 적용에서 각 열쇠별로 저주파 (HF: High Frequency)에서 관리가 되는 열쇠고리형 코일이 열쇠 별로 걸려 있다. 그 고리를 지정된 곳에 꽂아야 열쇠의 유무를 알 수 있도록 되어있다. 열쇠를 꽂는 위치마다 간단한 리더기가 연결되어 있으므로, 전체 크기가 크고 한 시스템에 32개를 한 개의 캐비닛에 보관하게 되어 있다.

태그가 철재 캐비닛 안에서 금속 물체에 근접해야 하는 경우 태그안테나는 금속 물체가 RF파를 반사하여 리더에 의해 방사되는 전력이 전달될 수 없다. 또한 태그 안테나와 금속적인 물체 사이에서 기

생적인 정전용량 때문에 안테나의 공진주파수와 태그안테나의 임피던스가 변화하게 된다. 그러므로 다량의 태그를 인식해야 하는 열쇠보관 캐비닛 안의 인식률에 나쁜 영향을 준다 [12]. 본 논문에서는 작은 철재 캐비닛 안에서의 360개의 개발한 작은 UHF RFID 태그에 걸린 열쇠를 실시간으로 인식하는 시스템 및 응용 프로그램을 개발하였고, 캐비닛 안에서의 최적의 인식률을 갖기 위하여 리더기의 안테나 위치를 최적화 하였고, 리더기 Bios에 따른 인식률등을 비교하였다.

II. 시스템과 환경

많은 수의 열쇠가 보안상 잘 보관되기 위하여 잠글 수 있는 철재 캐비닛 안에 360의 열쇠를 실시간으로 모니터링 할 수 있는 캐비닛이 그림 1에서 보여준다. 하나의 캐비닛에는 6개의 랙을 서랍식으로 앞뒤로 캐비닛 안과 밖으로 움직이게 되어 있고, 닫을 수 있는 문이 양쪽에 있다. 1개의 랙은 그림 2와 같이 3개의 라인 또는 바가 있어서 라인 마다 20개씩 열쇠와 고리로 연결된 태그를 걸 수 있게 되어 있다. 총 60개의 열쇠와 태그가 1개의 랙에 걸리고, 6개의 랙이 있는 캐비닛에 총 360개의 태그와 열쇠고리가 보관 될 수 있다. 열쇠와 태그의 위치는 그림 1에서 랙의 번호와, 그림2에서 랙 안에 라인의 순서 그리고 그 라인에서 열쇠 순서에 따라 정해진다. 열쇠와 열쇠고리 그리고 태그만의 크기는 8cm x 1cm 이고 그림 2 오른쪽에서 보여 준다[12].

그림 3은 캐비닛 안에 리더 안테나의 위치를 보

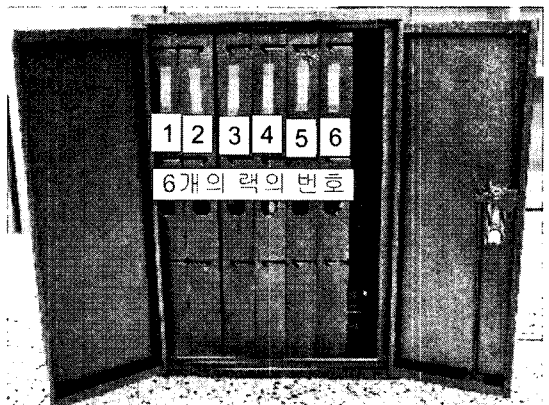


그림 1. 열쇠 보관용 캐비닛안에 6개의 서랍식 랙
Fig. 1. Drawer type 6 racks in a Key management cabinet

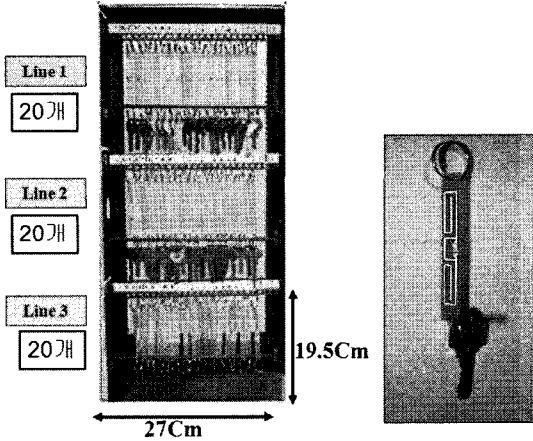


그림 2. 하나의 랙에 60개 열쇠태그와 열쇠 고리형 태그
Fig. 2. 60 tags & keys in a rack, and tag with a key-chain

여 주기 위하여 두 개의 랙을 제거하고 설치 후에 랙을 끼울 수 있도록 되어있다. 그림 3에서 안테나의 위치와 랙의 크기 등을 보여 준다. 안테나의 최적의 위치는 랙 안에서 인식률이 제일 좋은 위치에 설치하였다. 그림 3 시스템에서 동작 순서를 보면 랙 안에 열쇠고리의 태그를 리더기가 읽어서 host 컴퓨터에 읽은 태그의 ID 값을 전달하게 된다. 컴퓨터는 읽은 ID와 미리 저장된 ID와의 비교하여 열쇠의 유/무를 판단하게 된다.

그림 3에서는 열쇠 관리 시스템에서 리더 안테나는 Alien사의 6dBi의 원형 편파를 사용 하였고 리더기는 9800을 사용하였다. 안테나의 최적의 위치는 그림과 같이 아래에서 안테나 밑 부분까지 16cm, 위에서 안테나 중심까지 32cm인 곳에 양쪽으로 리더 안테나를 철재 캐비닛 안쪽에 부착하였다. 안테나의 중심이 캐비닛의 정중앙 보다 1.5 cm 가량 아래쪽인 가로 13 cm, 세로 32 cm에서 최상의 인식률을 나타내었다. 위치별 인식률은 지면 관계상 본

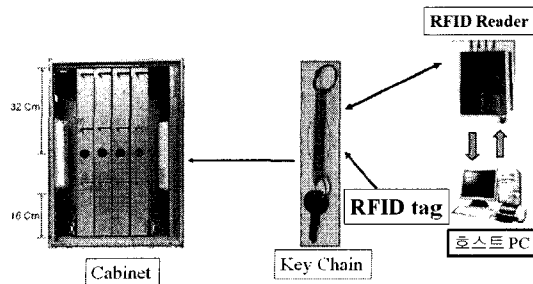


그림 3. 랙과 리더 안테나와 시스템의 구성
Fig. 3. Rack, reader, antennas and system configuration

표 1. 열쇠 관리 시스템의 사용 장비

실험 장비	실험 조건
리더	ALR-9800 4 Channel 리더기
안테나	6dBi Gain, CP(원형편파) X 4개
태그	Gen2 칩을 사용한 태그 360개
캐비닛	45.5cm × 29.3cm × 65cm 랙6개
랙(Rack)	25cm × 58cm, Bar 3개

논문에서 인식률이 최고의 위치만을 보여준다.

표 1에서는 테스트에 사용된 실험 장비들이다. 태그 안테나는 직접 제작을 하였으며 제작에 사용된 칩은 910MHz에서 임피던스가 11.94-133.3j 값을 가지는 Alien사의 Gen2 스트랩을 사용하여 설계하였다. 캐비닛의 크기와 각 랙의 크기를 표1에서 보여 주고 있다.

본 논문에서 제작한 태그는 인식거리가 최대로 읽히는 각도 정면에서는 5m 최소로 읽히는 각도 측면에서는 1m이다 [12]. 공기 중에서 태그의 최대 인식거리 (rmax)는 Friis 자유 공간 공식을 이용하여 수식(1)과 같이 식을 이용하여 태그의 이론적 최대 인식거리를 계산 할 수 있다.

$$r_{\max} = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_r G_r G_t \tau}{P_{th}}}, \quad (1)$$

$$\tau = \frac{4R_c R_a}{|Z_c + Z_a|^2}, \quad 0 \leq \tau \leq 1$$

여기서 $Z_c = R_c + jX_c$ 칩 임피던스이고, $Z_a = R_a + jX_a$ 는 태그 안테나 임피던스이다. λ 는 파장, G_r 과 G_t 는 각각 리더 안테나와 태그 안테나의 이득을 나타낸다. P_r 은 리더 안테나에 공급되는 전력이며, P_{th} 는 칩의 동작에 필요한 문턱 전력이다. 여기서, $P_r \cdot G_r$ 은 EIRP(Effective Isotropic Radiated Power)이며, ISO 18000-6에 따르면, EIRP는 4W 즉, 36dm보다 작아야 한다. 두 번째 식은 정합도를 나타내는 상수로서 안테나 임피던스와 칩 임피던스의 정합도를 나타낸다.

III. 응용 프로그램

시스템은 호스트 PC에서 응용프로그램을 실행시키면 리더에서는 철재 캐비닛 안의 태그 아이디 정보를 읽어 온다. 각 태그 아이디의 정보는 데이터

베이스로 작성되어 호스트 PC에 저장된 정보와 읽어 들어온 정보를 비교하여 태그의 인식 여부를 감지하는 것이다. 그리고 미리 저장된 태그의 ID정보는 호스트 PC의 화면에 각각의 열쇠의 위치에 맞게 저장되어 읽어 들어온 ID와 비교하여 위치를 나타내는 것이다. 태그는 각각의 ID 정보를 가지고 있어 어느 위치에 있는지를 모니터를 통해 실시간 확인이 가능하다. 철재 캐비닛은 그림 1과 3에서 보는 바와 같이 4개의 랙을 포함하여 안테나를 장착 후에 왼쪽과 오른쪽에 2개의 랙을 더 장착하여 6개의 랙 360개의 태그 안테나를 포함 하고 있는 열쇠 관리용 캐비닛이다.

RFID 응용프로그램은 RFID 리더를 구동하고, 컴퓨터에서 실제 응용프로그램에서 리더에서 오는 프로토콜을 분석하여 태그의 ID와 입력되는 데이터를 실시간으로 에러 없이 처리하고 원하는 정보를 정확하게 전달해야 한다. 이는 리더와 컴퓨터 장비 간을 네트워크화 함으로써, 지능적으로 리더기를 통제하여 제어가 가능한 프로세스를 제공한다. 이러한 프로그램의 본 논문에서의 기능은 3개로 나누어진다. 리더기와의 인터페이스를 담당하는 리더 인터페이스 부분과, 태그의 데이터를 필터링 하여 데이터 베이스로 전달을 담당하는 데이터 처리부분, 그리고 데이터베이스의 정보를 처리하여 인터페이스 부분으로 보내주는 데이터베이스 부분으로 구성된다. RFID를 이용한 키 관리 시스템을 구현하기 위해서 응용 프로그램과 DBMS (Database Management System)을 연결시키는 표준 인터페이스를 제공하는 ODBC (Open Database Connectivity)를 사용 하였다. 응용 프로그램에는 리더기를 여러 개 사용 할 경우나 리더기 환경이 바뀌었을 때 환경설정이 가능하도록 소프트웨어를 구성 하였다. 리더기는 10개까지 확장이 가능하며 설정된 IP값을 이용하여 리더기와 소켓 통신을 하게 하도록 설계 되었다.

리더기의 환경 설정 화면 또한 고급 사용자를 위하여 Telnet으로 리더기에 접속하여 작업을 할 수 있도록 지원 할 수 있도록 되었다. 이러한 환경은 사용자가 원하는 환경을 독립적으로 설정 할 수 있기 때문에 간단한 테스트를 하거나 가공되지 않은 정보를 얻고 싶을 때 유용하다.

그림 4는 응용 프로그램을 실행하는 순서를 나타낸 것이다. 먼저 프로그램을 실행 하면, 컴퓨터에서 리더에 접속을 하여 Reader 접속완료 사인에 신호가 켜지면 Reader에 접속이 되어 있는 상태가 된다. Reader에 로그인을 하여 로그인이 완료되면 시스템



그림 4. 시스템 접속 순서
Fig. 4. Order of system connections

과 프로그램은 연결이 완료되어서 태그 인식을 위한 준비가 되어 시스템이 Ready가 되어 태그 아이디 정보를 읽을 준비가 된다. Start 버튼을 누르면 태그 아이디 값을 리더가 응용프로그램으로 읽어 오게 된다. 읽은 태그는 저장된 ID와 태그의 위치와 비교되어, 어느 위치에 어느 태그가 인식되어 있는지를 한눈에 볼 수도 있게 한다. 만약에 하나의 태그가 존재하지 않으면 인식이 되지 않으므로 그 위치에 태그가 읽히지 않음을 표시하여 실시간으로 태그와 열쇠의 유/무를 확인 할 수 있다.

기존에 보관된 태그는 캐비닛 안에 각 랙에 60개씩 태그 ID 값을 입력하여 6개의 랙에 360개의 태그를 사용하여 값을 입력 하였다. 태그 아이디는 지정된 번호를 더블 클릭을 하여 직접 태그 안테나를 읽어서 입력을 가능하게 프로그램을 작성 하였다. 그림 5에서는 읽혀진 태그와 위치를 보여준다. 태그의 ID를 입력 시에 읽은 태그 아이디는 종종 태그의 ID가 같은 칩이 있으므로 ID가 중복이 되지 않도록 중복성을 확인하여 입력이 가능하게 하였다. 두 개의 같은 태그 칩의 ID가 읽히면 두 개 태그 안테나의 ID 값이 표시가 되어 중복된 ID 입력이 안 되도록 하였다.

그림 6에서는 태그 각각의 ID를 DB로 저장한 것이다. 1~360번까지 태그 아이디 번호를 입력 하여 입력된 아이디 번호와 인식되는 태그의 ID를 비

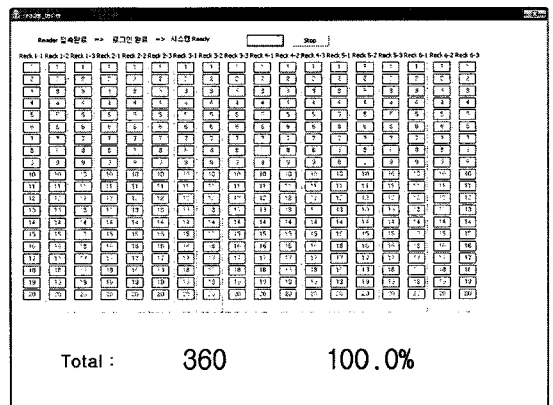


그림 5. 360개의 태그 안테나의 인식 및 인식률
Fig. 5. Recognition of 360 tags and reading rate

ID	TID	check	box_num	doc_num
336 300833630009710765121711		0	17	16
336 300833630009710765121813		0	17	17
337 E2003411B902011044393251		0	17	18
338 E2003411B902011044393451		0	17	19
339 E2003411B902011044393205		0	17	20

그림 6. RFID Tag ID Database 샘플
Fig. 6. RFID tad ID database sample

교하여 매칭이 되면 응용프로그램 화면에 열쇠가 있음을 표시하는 것이다.

IV. Test

개발된 태그와 응용프로그램으로 열쇠관리용 캐비닛 안에 360개의 태그의 인식률을 실험 하였다. 모든 태그의 아이디 값을 인식하면 태그 번호가 빨간색으로 그림 5와 같이 응용프로그램에서 보여 주어서 읽은 갯수와 인식률을 실시간으로 볼 수 있게 하였다. 이중에 하나의 태그가 인식이 안 되었을 경우 원래 빨간색으로 표시되어야 하는 숫자가 검정색으로 숫자가 표시가 되어 태그의 읽히지 않음을 확인 할 수 있게 하였다.

여러 가지 상황에서 인식률을 측정 하였다. 철재 캐비닛 안과 밖에서 인식률 테스트를 한 결과 이다. 그림 7에서는 철재 캐비닛의 안과 밖에서의 인식 개수를 측정한 것이다. 시간은 2분정도로 하여 측정을 하였고 철재 캐비닛 안과 밖에서의 인식률을 측정 하였다. 밖에서보다 캐비닛 안에서 인식률이 약간 좋음을 알 수 있었고, 20초가 되었을 때 300개가 넘는 것을 알 수 있었으며, 2분정도 되었을 때

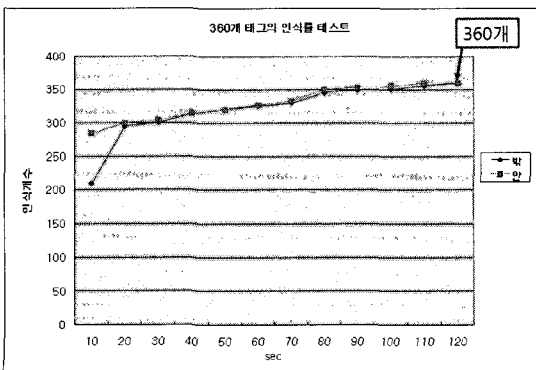


그림 7. 철재 캐비닛 안과 밖의 인식률과 시간과의 관계
Fig. 7. Reading rate vs. time inside and outside of the cabinet

360개 모두 인식됨을 확인 할 수 있었다. 철재 캐비닛 안에서가 2분 중에서 초기 20초에 인식이 첫 300개 까지 되므로 300개까지는 인식률이 빠름을 알 수 있었다. 캐비닛의 문을 닫고 실험 할 때와 캐비닛의 문을 열고 실험 할 때보다 태그의 인식 속도도 빠르고, 문을 닫고 10초 후의 태그의 인식률도 2 ~ 3% 더 좋았다. 그 이유는 전자파의 산란과 반사에 의하여 인식률이 약간 더 좋을 것으로 사료된다.

그림 7에서 보면, 캐비닛의 문을 닫고 2분(120초)에서 초기 10초 후에 태그의 인식률의 실험 결과, 10번의 반복 실험 중에 360개의 태그 안테나를 모두 인식을 할 수 있는 것은 10번 중에서 두 번의 실험만 초기 10초에 100% 인식하는 것을 실험을 통해서 알 수 있었다. 캐비닛의 문을 닫고 읽기 시작한 초기 10초간 10번 반복한 실험을 통해서 모두 100% 모두 인식을 하는 개수는 300개임을 확인 할 수 있었다. 그러므로 초기 10초간 문을 닫고 인식을 시작하여 안정적인 인식 개수는 그림7에서 보 는바와 같이 300개임을 확인하였다. 다음은 360개를 인식하기 위해 얼마간 걸리는지 다양한 실험 결과를 아래와 같이 보여 준다.

그림 8에서는 리더기의 Bios버전별 인식률을 조사 한 것이다. 리더기는 Alien 사의 9800리더기를 사용 하였으며, Bios 번호 06.02.17.00 (06년) 버전에서는 120초간에 100%(360개)인식이 되지 않고 346개가 인식 되었고, Bios 07.01.31.00 (07년) 버전에서는 360개의 태그가 모두 인식됨을 알 수 있었다. 그리고 인식률에서도 07버전의 인식속도가 아래 그림에서와 같이 더 좋음을 확인 하였다. 인식률의 상승을 위해서는 리더기의 Bios 업데이트가 중요함을 알 수 있었다.

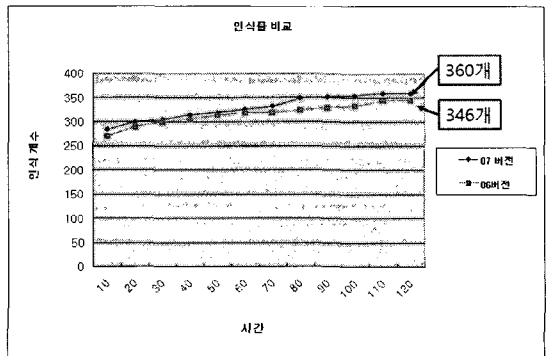


그림 8. 리더기 Bios 버전별 인식률 비교
Fig. 8. Reding rate comparison vy Bios version of reader

V. 결 론

보안상 열쇠가 캐비닛 안에 보관되어 잠겨서 보관되어야 하는 경우 그리고 수시로 많은 열쇠의 유무를 판단해야 하는 경우 효율적인 관리가 힘든 곳에서는 RFID 열쇠 전문관리시스템이 필요하다. 이런 철재 캐비닛안의 환경은 전자파의 누설/반사/굴절로 인해서 태그가 인식이 캐비닛과 근접된 곳에서는 RFID를 활용하기에 어려움이 따른다. 그래서 설계된 RFID 태그를 이용하여 철재 캐비닛 안에 열악한 환경에서 열쇠를 인식하고 효율적으로 관리할 수 있는 시스템을 구현하였다. 이를 위해 열쇠고리형 초소형 Gen2용 태그를 제작 사용하였으며, 실시간으로 화면에 키의 상태를 유무를 표시해 주는 응용프로그램을 구현 하였다.

구현된 시스템의 성능을 알아보기 위하여 360개의 태그를 이용하여 태그 인식 시험을 하였고, 가장 안정적인 인식 개수는 캐비닛의 문을 닫고 초기 10초 안에 300개임을 실험을 통해 확인 할 수 있었다. 360개가 인식되기 까지는 120초가 필요 하며, 리더기의 Bios에 따라 인식률이 다름을 볼 수 있었으므로 Bios의 업데이트도 중요함을 알 수 있었다. 제작된 응용 프로그램은 데이터베이스와 연동되어 화면에 열쇠의 유무를 출력하여 모두 인식되는 것을 확인 하여 보안상 많은 열쇠관리가 필요한 적용에 사용 가능함을 보였다.

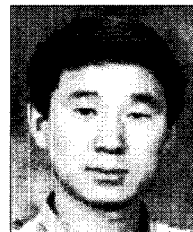
참 고 문 헌

- [1] K. Finkenzeller, "RFID Handbook," 2nd edition, John Wiley & Sons, England, 2003.
- [2] P. R. Foster and R. A. Burberry, "Antenna problems in RFID systems," IEEE Colloquium on RFID Technology, 25 Oct., 1999.
- [3] 'Regulatory status of using RFID in the UHF spectrum,' <http://www.epcglobalinc.org/>, March, 2009.
- [4] 무선설비규칙 방송통신위원회고시 제2008-137호, 2008년 12월.
- [5] 정원수, 오영환, "U-healthcare 기반의 환자 모니터링 시스템", 한국통신학회 논문지, 제33권 제7호, pp.575-582, 2008년.

- [6] 이연호, "학대노인의 학대인식에 관한 정보학적 연구", 한국통신학회논문지, 제34권 제2호, pp. 12-26, 2009년
- [7] 김성식, "이벤트 기반 RFID/WSN을 이용한 환자모니터링 시스템설계에 관한 연구", 한국통신학회논문지, 제 34권 제 4호, pp.94-100, 2009년
- [8] 이옥재, "RFID를 이용한 반도체 패키지 소자 제조 공정의 자동관리 시스템 설계", 한국통신학회 논문지, 제33권 제8호, pp.313-320, 2008년
- [9] 문성계 외 3명, "RFID 기반 우편물류체계 개선에 관한 연구", 한국통신학회논문지, 제33권 제 10호, pp.365-371, 2008년
- [10] 유영환, 김진환, "항만 물류용 RFID 리더-태그간 다중 홉통신 구조" 한국통신학회논문지, 제34권 제5호, pp.532-541, 2008년
- [11] ProxSafe Management system for keys and valuables, www.deister.com
- [12] 남세현, 박용권, 전병돈, 정유정, "태그 상호 간섭과 캐비닛의 간섭을 고려한 열쇠 관리용 캐비닛 안의 소형 UHF RFID 태그 안테나," 한국전자기학회논문지, 제20권 9호, 9월 2009년

정 유 정 (You Chung Chung)

중신회원



1990년 인하대 전기공학사
 1994년 University of Nevada
 전기전자공학과 M.S.
 1999년 University of Nevada
 전기전자공학과 (Ph.D)
 2000년 1월~2003년 4월 Utah
 State University, ECE Dept.

연구조교수

2003년 5월~2004년 8월 University of Utah ECE
 Dept. 연구조교수

2004년 9월~현재 대구대학교 정보통신공학과 교수
 2004년~현재 IEEE Senior Member

2006년~2008년 Associate Editor of International
 Journal of Antenna Propagation (IJAP)

<관심분야> RFID, 유전자알고리즘을 이용한 안테나 최적화, 다중밴드 안테나 최적화, 배열 안테나 최적화, RFID 시스템