

UHF RFID 접시를 사용한 자동회전초밥 자동결제시스템

남 세 현*, 임 용 호*, 정 해 룡**, 석 주 완***, 정 유 정°

Auto Sushi Conveyer-Belt Payment System Using UHF RFID Dishes

Seahyeon Nam*, Yongho Yim*, Haeyong Jung**, Juwan Seok*, You Chung Chung°

요 약

본 논문에서는 초밥용 접시 아랫면에 UHF RFID 태그를 설계하여 회전초밥용 자동합산 시스템을 구현하였다. 일식집에서 식사 후에 먹은 접시의 수를 세어서 계산하던 일반적인 방식과는 달리, UHF RFID 태그가 부착되어 있는 접시를 사용함으로써 전체금액을 자동 합산하여 정확성과 편리성을 증대시켰다. 각각의 접시 정보를 인식하기 위해 직접 UHF RFID 태그 안테나를 설계 하였고 자동합산시스템을 제작하였다. 접시 밑에 붙어 있는 태그는 리더기에 인식이 되어서 접시의 색상, 가격, 수량에 의하여 합산된 금액의 총합을 자동합산 시스템에서 보여준다. 개발한 UHF RFID 태그의 성능과 개발된 RFID 자동계산시스템의 성능을 측정 확인하였다.

Key Words : UHF RFID Tag, RFID Sushi System, RFID Dish, RFID Payment System, Sushi Auto Counting.

ABSTRACT

This paper introduces a development of the auto sushi conveyer-belt payment system using UHF RFID dishes. In a sushi bar, instead of counting the number of the finished sushi dishes, sushi dishes with the UHF RFID have been used in the auto payment system to have accuracy and convenience. To recognize each dish, the UHF RFID tag has been designed, and auto-payment system has been developed. The UHF RFID tag under the dish has been recognized by an RFID reader, and the auto RFID payment system shows the total price of the finished dishes based on the color and number of dishes automatically. The performance of the developed UHF RFID tag and auto RFID payment system have been measured and verified.

I. 서 론

RFID (Radio Frequency Identification) 시스템은 출입관리, 물류관리, 보안시스템 분야에 적용 되어져 왔다. RFID 인식 시스템은 RFID 태그 안테나를 부착한 물건에 관련된 정보를 인식하여서 물건 정보를 인

식하거나, 자동으로 구매 품목들의 합산이나 결제를 도와주는 자동결제시스템 등에 적용이 되어져왔다. RFID 자동결제시스템은 낮은 주파수 대역인 13.56MHz HF (High Frequency) 대역을 사용하는 교통카드 결제 시스템과, 840~960 MHz UHF (Ultra High Frequency) 대역을 사용하는 자동결제시스템으

※ 본 연구는 대구대학교 학술연구비지원에 의한 논문임

• First Author : Daegu University, Information and Communication Dept., shnam@daegu.ac.kr, 정희원

° Corresponding Author : Daegu University, Information and Communication Dept., youchung@daegu.ac.kr, 종신회원

* 정보통신진흥협회 심사원, 대구대학교

** 한글과컴퓨터 연구원, 대구대학교

*** 대구대학교

논문번호: KICS2014-07-270, Received July 18, 2014; Revised October 16, 2014; Accepted November 26, 2014

로 크게 나누어진다^[1-3].

RFID 시스템은 사용하는 주파수 대역에 따라 응용 분야가 다르게 구분되는데, HF대역의 13.56MHz 대역은 근거리용으로, RFID 태그를 리더기 안테나에 근접시켜서 상호유도작용(inductive coupling)에 의하여 태그가 인식된다. 이 HF RFID 시스템은 출입관리 시스템이나 교통카드와 같은 근거리 시스템에 주로 적용되며, UHF 대역의 RFID 태그는 수 미터 이상의 거리에서도 인식이 가능하여서 다중 태그의 인식이 가능하므로 물류관리나, 여러 물품들을 인식하여서 결제하는 시스템에도 적용이 가능하다. 433MHz의 UHF 대역은 능동형으로서 장거리 인식이 가능하므로 컨테이너 관리 등에 사용이 된다. 한편 2.45GHz 대역은 태그가 작고 인식거리가 길지 않은 수표인증이나 여권인식 등에 사용된다^[4-6].

초밥집에서 식사를 하는 고객은 자동으로 돌아가는 접시들 중에서 보통 여러 가지의 접시를 선택하여서 식사를 하고나서, 결제를 할 때 접시를 색깔별로 숫자를 세어서 총액을 계산하게 된다. 그래서 본 논문에서는 회전초밥 식당에서 고객이 접시의 색깔별로 수를 헤아려서 총액을 계산하는 수고를 줄이기 위하여, UHF RFID 자동결제 시스템을 설계하였다. 이를 위하여 초밥집에서 사용되는 접시의 유전율에 맞도록 UHF 대역 920MHz RFID 태그 안테나를 설계하였고, RFID 리더기와 연동된 초밥용 자동계산시스템을 개발하였다. 개발된 자동계산시스템은 식사를 마친 RFID 접시를 한 번에 모두 인식하여서 각각의 모든 접시별 초밥의 수를 자동으로 계산하여 총액을 알려주는 시스템이다.

본 논문의 II장 본문에서는 태그 설계 및 제작에 관련된 내용과 이론을 설명하고, 개발된 자동계산시스템의 동작은 스크린 캡처를 통하여 설명을 하였다. 마지막으로 III장에서 본 논문에 대한 최종 결론을 서술하였다.

II. 본 론

초밥집의 자동계산 시스템을 구성하기 위하여 접시에 맞도록 제작된 UHF RFID 태그를 접시의 아래 부분에 설치하였다. 그림 1은 일반적인 초밥용 접시의 자세한 크기와 태그 안테나의 파라미터 값을 보여준다. 그림1-(a)는 접시의 윗면의 크기를, (b)는 높이와 두께에 관한 정보를 보여주고, (c)는 태그가 설치되는 접시의 밑면의 파라미터들을 보여준다. 그림1-(d)는 설치된 태그 안테나의 simulation 된 자세한 파라

미터들을 보여준다. 태그는 접촉되는 물건의 형태와 유전율에 따라서 안테나가 설계되어야 인식거리가 충분히 길게 도출이 되므로 유전율과 접시의 실제 모양과 같도록 프로그램을 사용하여 설계가 되어야 한다^[7-8].

태그의 인식거리 r_{max} 와 정합도 τ 는 아래의 공식 (1)과 같다^[4,5,9].

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

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

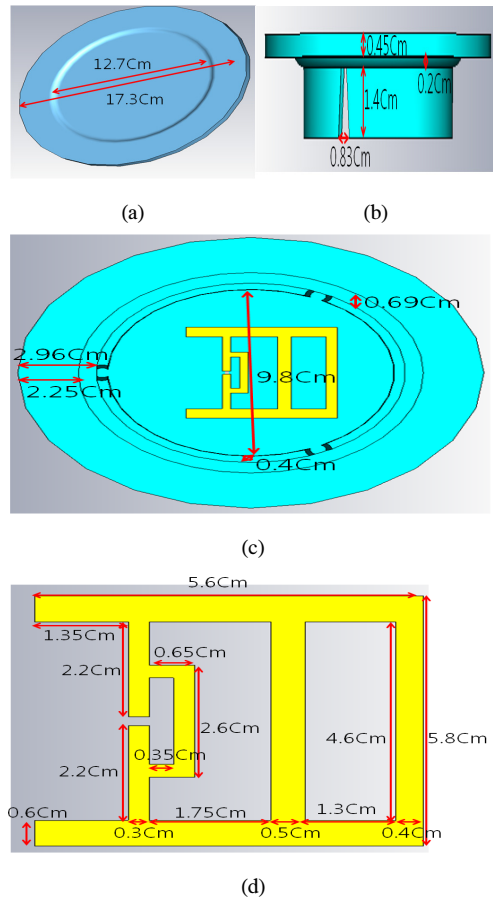


그림 1. (a) 초밥용 접시의 윗면 (b) 초밥용 접시의 옆면 (c) 초밥용 접시의 밑면과 태그 (d) 부착한 UHF 태그
Fig. 1. (a) Top view of dish, (b) Side view of dish, (c) Bottom view of dish and tag, (d) Parameters of attached Tag

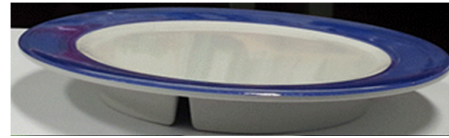
여기서 $Z_c = R_c + jX_c$ 와 $Z_a = R_a + jX_a$ 는 칩 임피던스와 태그 안테나 임피던스이다. λ 는 파장의 길이, G_r 과 G_t 는 각각 리더 안테나와 태그 안테나의 이득을 나타낸다. P_r 은 P_{th} 는 리더 안테나에 공급되는 전력과 칩의 동작에 필요한 문턱 전력이다. 여기서 $P_r \cdot G_r$ 은 EIRP(Effective Isotropic Radiated Power)이며, ISO 18000-6에 의하여 4W 즉, 36dBm 보다 작아야 한다. 이와 같이 전송전력은 한정되어 있으므로 인식거리를 연장하고 안정적인 태그의 인식을 위하여 태그의 인식거리가 중요하며 그를 위하여 두 번째 식에서 보여주는 안테나와 칩의 임피던스 정합도가 중요하므로 안테나의 임피던스는 칩의 임피던스에 공역정합이 되도록 설계가 되어야 한다.

초밥 접시에 안테나를 설계하기 위하여, CST 사의 MWS(Micro Wave Studio) simulation 프로그램을 사용하였다. 설계에서는 접시가 Melamine 소재 Plastic 접시의 유전율을 4.7로 설정하여 접시를 그림 1과 같이 모델화 하였고, 태그의 칩은 Alien사의 Gen2 RFID 칩을 사용하였다. 태그 칩의 임피던스 값은 UHF RFID 중심주파수인 920MHz에서 약 $11.7-j132$ 이며, 태그 안테나는 T매칭 구조를 가지도록 하여 그림 1-(d)에 도시한 바와 같이 접시의 밑 부분 지름 9.8cm 안에 붙일 수 있는 크기로 설계하여 simulation 하였다.

접시의 뒷면 가운데 부분에 설계된 UHF RFID 태그 안테나를 부착하였다. 한편 다른 환경적 요인으로 인한 태그 손상을 방지하기 위해 생산 공정상에서 태그를 접시에 삽입을 하는 방법이 있으나 개발 단계에서는 태그 윗면을 실리콘을 사용하여서 코팅을 하였다. 접시의 윗면의 형태는 그림 2-(a)에서보는 것처럼 실제 접시와 다를 바 없으나, 접시의 밑면의 형태는 그림 2-(b)에서 보는 것처럼 제작 과정을 거치면서 태그가 설치된 접시의 아래면이 실리콘 코팅이 된 형태가 된다.

Simulation한 반사계수(S11)의 크기 값을 그림3에서 점선으로 그리고 측정된 값은 실선으로 그림3에서 보여준다. 반사계수의 크기는 그림에서와 같이 설계 값이 약 -12dB이고, Network Analyzer로 측정된 반사계수의 크기 값이 약 -8.5dB 임을 보여준다. 이 차이는 추가된 실리콘과 본딩시에 본딩 저항이 추가되어서 두 값이 차이가 나는 것으로 사료된다.

그림 4에서는 그림 1과 같이 태그 안테나와 접시를 모델링 하여 simulation한 안테나의 임피던스 결과와 Network Analyzer로 측정된 Tag 안테나의 임피던스



(a)



(b)

그림 2. 제작된 초밥용 접시의 UHF RFID Tag가 부착 된 (a)윗면 및 (b) 밑면
Fig. 2. (a) Top view of the dish, (b) bottom view of the dish with fabricated UHF RFID Tag

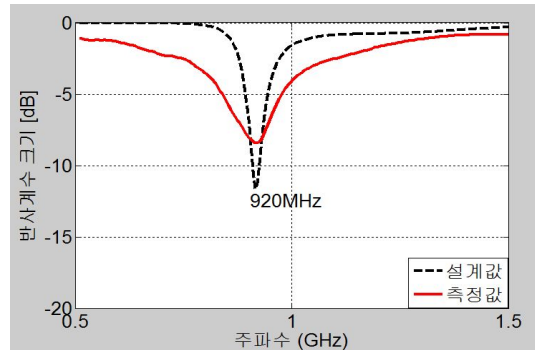


그림 3. 초밥용 접시 UHF RFID Tag 안테나의 simulation 과 측정된 반사계수의 주파수별 크기.
Fig. 3. Simulated and measured |S11| of the fabricated UHF RFID tag on the dish.

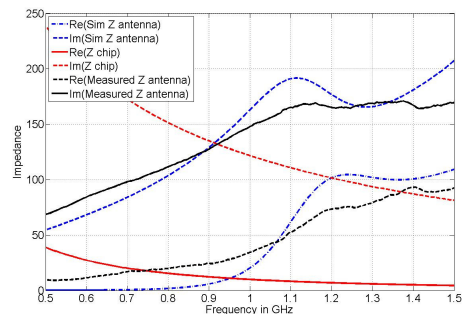


그림 4. UHF RFID Tag 안테나의 Simulation과 측정 임피던스 그리고 Chip 임피던스의 비교
Fig. 4. Comparison of Simulated and measured impedance of the fabricated UHF RFID tag on the dish.

값과 RFID chip 임피던스 값의 실수와 허수 값을 비교하여 보여준다. 측정된 안테나의 임피던스의 실수 값이 제조사에서 주어진 chip의 임피던스의 실수값과 차이 나므로, 위의 그림3에서 측정된 반사계수의 크기가 simulation 값보다 3~4dB 정도 차이가 있는 이유이다. 또한 920MHz에서 시뮬레이션을 통한 RFID Tag 안테나의 안테나 임피던스 값은 920MHz에서 약 $7.8+j135$ 이다. 그리고 제작한 RFID Tag를 측정 안테나의 임피던스는 920MHz에서 약 $25.3+j131.8$ 이다. 안테나를 simulation한 임피던스 값과 chip 임피던스 값의 실수값 차이가 약간 크게 나타남을 보여주고 있다. 이는 위에서 설명한 추가된 본딩 저항값의 원인으로 사료된다.

설계된 태그의 성능은 보통 인식거리로 나타내는데, 초밥용 접시의 측정된 인식거리는 그림 5에서 보는 것과 같다. 접시의 밑면을 0도 기준으로, 360도 회전하며 측정하였다. 0도에서 가장 긴 210cm의 인식거리가 측정 되었고, 180도인 윗면쪽이 접시의 정면에서는 175cm의 거리가 측정 되었다. 접시가 놓이는 테이블에 RFID 리더기 안테나가 설치가 되므로 밑면 쪽에서 인식거리가 길게 나타나는 것이 더 타당하다고 사료된다. 리더기는 접시를 20개 까지 수직으로 쌓아 놓았을 때도 모두 한 번에 인식이 되었다. 인식거리가 2.1m 이상이고, 또 한번에 수직으로 쌓아올려 인식이된 접시의 수가 20개 이상이 되므로 자동 계산하기에 충분하다고 사료된다.

위의 설계된 UHF RFID 태그가 설치된 접시를 사용하여, 그림 6은 본 논문에서 개발된 회전초밥 UHF RFID 자동 계산시스템 프로그램의 메인 창이

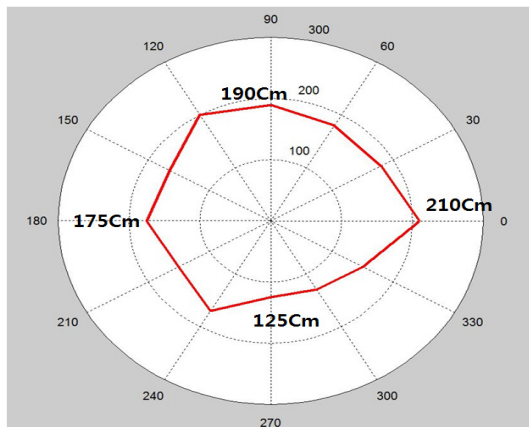


그림 5. 초밥용 접시 UHF RFID Tag 안테나의 인식거리 패턴
Fig. 5. Measured reading range of the fabricated UHF RFID tag on the dish.

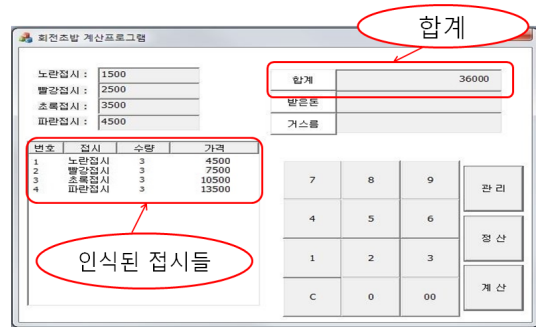


그림 6. 회전초밥 UHF RFID 자동 계산시스템 프로그램의 메인 창
Fig. 6. Main window view of the Auto Payment UHF RFID System for Sushi Conveyor-belt.

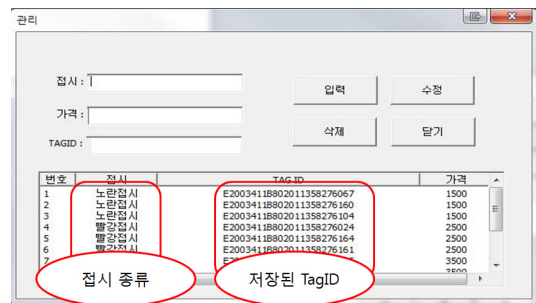


그림 7. RFID 회전초밥 자동계산프로그램의 입력창
Fig. 7. Input window view of the Auto RFID Payment System for Sushi Conveyor-belt.

다. 좌측 상단에 접시의 색깔별 가격 표시와, 인식된 접시의 색깔과 수량, 가격 그리고 총액을 표시하여 쉽게 계산을 할 수가 있다.

그림 7은 관리자가 사용하는 자동계산프로그램의 입력창이다. 관리자용 모드에서 각 접시의 색깔별로 지정된 태그의 ID를 볼 수 있으며, 가격 입력, 태그 ID 입력도 가능하도록 하여서 RFID 접시를 DB에 생성 시킬 수 있도록 되어있다. 또한 접시가 상하거나, 태그가 상했을 경우 그 접시의 태그를 삭제하고, 접시를 DB에서 제거 할 수도 있도록 설계 되었다. 본 논문에서는 접시별로 ID를 지정하였지만, 접시의 같은 색깔에 하나의 ID를 부여 할 수도 있다.

III. 결론

본 논문 연구에서는 초밥집에서 자동으로 돌아가는 벨트 시스템에서 식사를 하고서 결제를 할 때 사용할 수 있는 UHF RFID 자동결제시스템을 설계하였다. 이를 위하여 UHF 대역 920MHz RFID 태그 안테나를 초밥용 접시의 유전율에 맞도록 설계하였고, 반사

계수의 크기와 인식거리를 측정하였다. 인식거리는 2m 이상이며, 접시를 20개를 수직으로 겹쳐도 인식이 가능함을 확인 하였다. 따라서 본 프로그램은 다양한 접시나 계산을 요하는 식당이나 여러 장소에서도 사용이 가능하다.

References

[1] Finkenzeller, *RFID Handbook*, 2nd Ed., John Wiley & Sons, England, 2011.

[2] S. W. Lee, "Studies on the traffic information collection system using electronic toll collection service," *J. Inst. Webcasting, Internet Telecommun.*, vol. 8, no. 6, pp. 165-172, 2008.

[3] D. S. Lee, "The card information input and log management system that use to utilize RFID," in *Proc. KIISE*, vol. 35, no. 2, pp. 139-142, 2008.

[4] Y. C. Chung, "Study of reading rate and small UHF RFID tags in the key management system in a metallic cabinet," *J. KICS*, vol. 35, no. 2, pp. 263-268, Feb. 2010.

[5] J. S. Lee, K. H. Lee, and Y. C. Chung, "Study of the 900 MHz Near field RFID system for the jewelry management," *J. KICS*, vol. 35, no. 1, pp. 78-84, Jan. 2010.

[6] 'Regulatory status of using RFID in the UHF spectrum,' <http://www.epcglobalinc.org> Mar. 2009.

[7] Y. C. Chung, "Necklace type UHF RFID tag antenna for the material with high dielectric constant for a tree," *J. KICS*, vol. 37, no. 1, pp. 34-37, Jan. 2012.

[8] H. I. Kwon and B. S. Lee, "RFID tag antenna mountable on high-conductivity and high permittivity an materials at UHF RFID band," *J. KEES*, vol. 16, no. 8, pp. 797-802, Aug. 2005.

[9] S. H. Nam and Y. C. Chung, "Military entrance control system using military insignia UHF RFID tags," *J. KICS*, vol. 38C, no. 11, pp. 966-971, Nov. 2013.

남 세 현 (Seahyeon Nam)



1985년 2월 : 연세대 전자공학과
 1987년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 1991년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
 1994년 9월~현재 : 대구대학교 정보통신공학부 교수

<관심분야> 컴퓨터통신, 통신시스템, RFID

임 용 호 (Yongho Yim)

2014년 대구대학교 정보통신대 통신공학사
 2014년 정보통신진흥협회, 네트워크인증팀 심사원,
 <관심분야> 안테나설계, RFID 태그

정 해 룡 (Haeyong Jung)

2014년 대구대학교 정보통신대 통신공학사
 2014년 한글과컴퓨터 연구원
 <관심분야> RFID 시스템 프로그램

석 주 완 (Juwon Seok)

2014년 대구대학교 정보통신대 통신공학사

정 유 정 (You Chung Chung)



1990년 : 인하대 전기공학과
 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