

논문 2011-48IE-4-2

금속 표면 실장용 RFID 태그를 이용한 변압기 자재 관리 시스템 설계

(Design of Electric Transformer Supply Chain System using Metal Surface Mountable RFID Tag)

박 종 렬*, 윤 기 방**, 엄 기 환***

(Chong Ryol Park, Kee-Bang Yun, and Ki Hwan Eom)

요 약

본 논문은 금속 표면에서 안정적으로 동작하는 메탈 접착 RFID 태그를 제안한다. 제안한 방법은 일반 상용 RFID 태그를 이용하는 것으로, 스티로폼103.7을 RFID 태그 뒷면에 부착하였다. 비유전율 1.03인 스티로폼103.7을 2.5mm 두께로 RFID 태그 뒷면에 부착하였다. 제안한 방식의 성능을 확인하기 위하여 RFID를 적용한 변압기 물류 시스템을 제안하여 실험을 수행하였다. 변압기 물류 시스템의 실험에서 제안한 태그는 2m 이상에서 리더기와 통신이 가능하였다. 인식율에서도 일반 금속용 태그와 유사한 성능을 나타내었다.

Abstract

This paper described a metal mount RFID tag that works reliably on metallic surface. The proposed method is to use commercial RFID tags, Styrofoam103.7 material is attached on back side of RFID tag. Styrofoam103.7 material which has 2.5 mm thickness and 1.03 relative permittivity, was attached on back side of RFID tag. In order to verify the performance of proposed method, we evaluated the experiment on the supply chain system of electric transformers using RFID. The experimental results on supply chain of electric transformers show that the proposed tags can communicate with readers from a distance of 2 m. The results of recognition rates are comparable to commercial metallic mountable tags.

Keywords : RFID 태그, 변압기 자재 관리, 금속 태그, 금속 부착

1. 서 론

RFID는 소매업, 운송, 제조, 물류 등과 같은 다양한 응용분야에서 개체를 식별하는 데 사용되는 기술이다. RFID는 리더기와 태그라 불리는 트랜스폰더로 구성된다. RFID 태그는 두 부분으로 구성된다. 한 부분은 정

보 저장과 처리, RF 신호의 변복조, 디지털 로직 기능들을 담당하는 집적회로이고, 다른 부분은 신호의 송수신을 담당하는 안테나 부분이다.

RFID를 통신에 사용하는 전파의 주파수로 구분하기도 한다. 낮은 주파수를 이용하는 RFID를 LFID (Low-Frequency IDentification)이라 하는데, 120~140kHz의 전파를 사용한다. HFID (High-Frequency IDentification)는 13.56MHz를 사용하며, 그보다 한층 높은 주파수를 이용하는 장비인 UHFID (Ultra High-Frequency IDentification)는 868~956 MHz 대역의 전파를 이용한다^{1~4)}.

일반적으로 RFID 태그는 배터리가 없는 수동태그이

* 정회원, *** 평생회원, 동국대학교 전자공학과
(Department of Electronics Engineering Dongguk University)

** 평생회원, 인천대학교 전자공학과
(Department of Electronic Engineering University of Incheon)

접수일자: 2011년9월14일, 수정완료일: 2011년12월11일

고 능동 태그보다 간단하면서 저가이다.

만일 RFID 태그를 금속물체에 직접 붙이면 동작이 안 되는 경우가 많다. 이것은 안테나의 리액턴스가 변화되기 때문에 안테나 성능이 급격히 감소하기 때문이다. 금속은 RFID 태그의 전파를 반사시키기 때문에 태그를 금속용으로 설계하거나 금속에 닿지 않게 특수한 스페이서를 붙여야 한다^[5~7]. 2008년 이후에 금속용 UHF RFID 태그 제품들이 출시되었다. 특히 ODIN technologies에서는 기존 금속 태그들을 벤치마킹하여 25 feet의 인식 거리 성능의 제품을 생산하고 있으나 매우 고가인 단점이 있다^[8].

본 논문에서는 금속물체에 사용이 가능한 유전체 부착 구조의 RFID 태그와 이를 적용한 변압기 자재관리 시스템을 제안한다. 제안한 방식은 일반 저가의 상용 RFID 태그 뒷면에 스티로폼103.7을 부착하는 방식으로 원통형 변압기 물류 관리에 적용하여 인식 성능을 확인한다.

논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 제안하는 시스템 구성을 살펴보고, III장에서는 제안한 RFID 태그의 설계와 성능 결과를 설명한다. IV장에서는 변압기 물류 관리에 적용한 실험을 수행하고, V장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 구성

제안한 시스템은 변압기를 자재 창고에서 입·출고 시에 RFID를 이용하여 관리하는 시스템으로 RFID 안테나와 미들웨어로 구성된다.

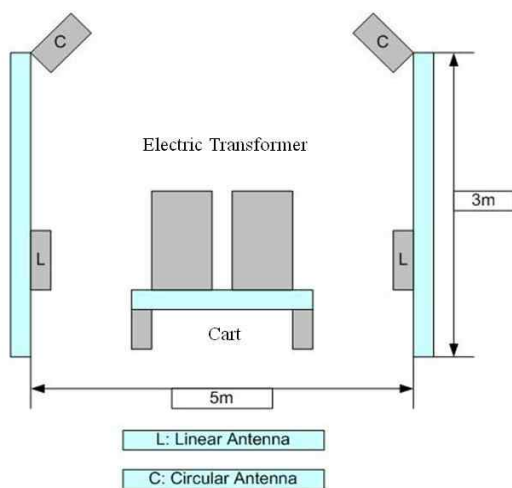


그림 1. 재 창고 출입문
Fig. 1. Warehouse gate.

그림 1과 같이 변압기가 자재 창고의 문을 지날 때 설치되어 있는 4개의 안테나를 통과하도록 한다. 인식 성능을 향상시키기 위해, 900MHz 대역의 두 개의 선형 안테나를 자재 창고의 문 양 옆면에 설치하고, 두 개의 원형 안테나를 자재 창고의 문 위에 설치한다.

RFID 미들웨어 시스템은 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서 다양한 센서를 통해 입력된 대용량 실시간 정보들을 사용자의 요구에 따라 적절히 처리하여 연계된 서비스를 자동으로 호출하기 위한 것으로, 위치기반 서비스, 자동화된 상품 관리, 자동화된 의료 서비스, 재해 및 재난 방지 서비스, 안락한 주거 환경 조성 서비스 등과 같은 고품질 서비스를 가능하게 한다.

RFID 미들웨어 시스템은 연동된 센서로부터 인식되는 센서 데이터를 처리 하여 연계된 서비스를 자동으로 호출해 주는 시스템으로 그림 2에서 보는 바와 같이 센서 데이터 처리, 센서 데이터 저장, GUI 관리 도구 도구 구성된다. 센서 데이터 처리블럭은 연동된 센서들로부터 입력 받은 다양한 센서 데이터를 처리하기 위해 센서 모델관리, 센서 운영관리, 센서 데이터 소스 관리, 센서 데이터 필터링 관리 의 기능을 처리 한다. 센서 데이터 저장 블럭은 RDBMS를 이용하여 사용자가 관심 있는 일부 센서 데이터를 저장 및 관리 기능을 처리 한다.

외부 서비스 연계 블럭은 센서 데이터 처리블럭에서 넘어오는 센서 데이터를 외부 서비스와 연계를 위해 서비스를 정의 하는 기능 처리 한다. GUI 관리도구는

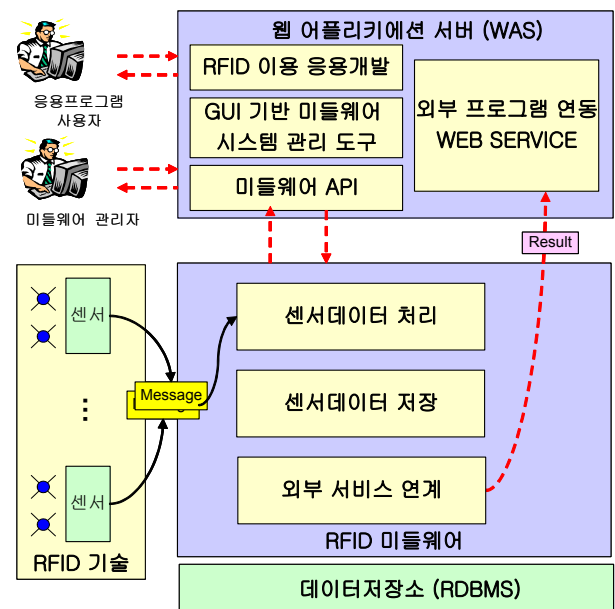


그림 2. RFID 미들웨어
Fig. 2. RFID middleware.

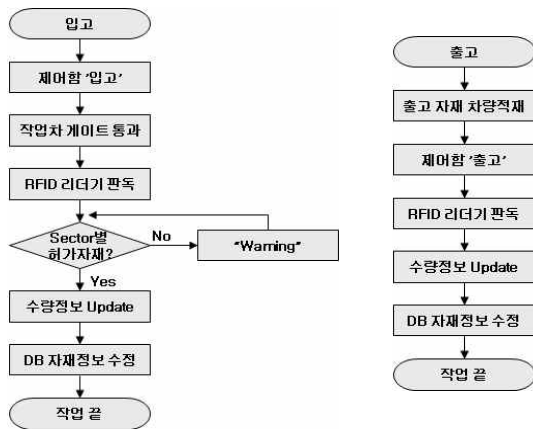


그림 3. 변압기 자재관리시스템 동작순서도
Fig. 3. The flow chart of the electric transformer management system.

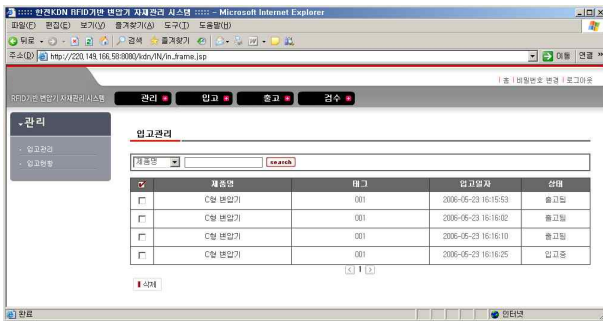


그림 4. 웹 애플리케이션
Fig. 4. Web Application.

RFID 미들웨어 시스템의 지원하는 주요 기능의 편리한 사용 및 운영 관리의 편의성을 위해 GUI 기반의 사용 환경을 제공하는 처리 블록이다.

이러한 미들웨어 시스템을 활용하여 RFID를 이용한 변압기 자재관리시스템을 설계 및 구축하였으며 그림 3 은 시스템의 동작순서도를 나타내며, 그림 4는 인터넷을 통해 변압기 자재관리가 가능한 웹 애플리케이션이다.

III. 금속 표면 실장형 RFID 태그 설계

대부분의 RFID 시스템은 그림 4와 같이 세부분으로

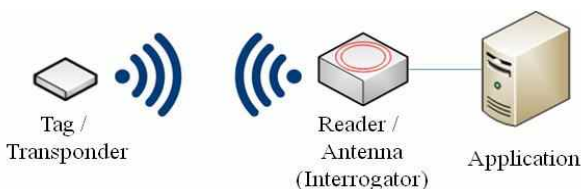


그림 5. RFid 시스템 구조
Fig. 5. RFID system structure.

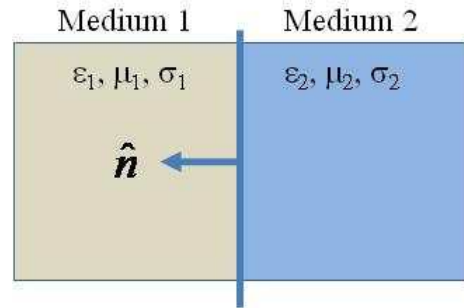


그림 6. 두 매질 사이의 경계
Fig. 6. Boundary between two media.

구성된다.

그림 5에서 첫 부분인 태그는 물류 관리에서 추적하고자 하거나 식별하기 위해 아이템에 붙여지는 부분이다. 리더는 태그에 무선으로 전원을 공급하고, 태그를 식별하고, 데이터를 읽고 쓰며, 상위 데이터 수집 애플리케이션과 통신을 수행한다. 데이터 수집 애플리케이션은 리더로부터 데이터를 전달받고, 데이터베이스에 저장한다. 또한 데이터를 가공하여 다양한 형태로 사용자에게 제공한다.

RFID 시스템은 전자기와 형태로 통신을 하는데, RFID 태그를 금속 물체에 붙일 때에는 금속표면 근접한 거리에서 전자기장의 특성이 입력 임피던스나 이득, 방사패턴 등과 같은 RFID 태그의 안테나 파라미터에 악영향을 미칠 수 있다.

금속 표면 근처에서 전자기장의 특성을 살펴보면 다음과 같다. 그림 6과 같이 두 매질의 경계면에서 전자기파의 일반적인 특성은 다음과 같다.

$$\hat{n} \times (E_1 - E_2) = 0 \tag{1}$$

$$\hat{n} \cdot (D_1 - D_2) = \rho_s \tag{2}$$

$$\hat{n} \times (H_1 - H_2) = J_s \tag{3}$$

$$\hat{n} \cdot (B_1 - B_2) = 0 \tag{4}$$

여기서 \hat{n} 은 매질2에서 매질1로 향하는 단위 법선 벡터이고, E 는 전기장의 세기(V/m), D 는 전기력선의 밀도(C/m²), H 는 자기장의 세기(A/m), B 는 자기력선의 밀도(W/m²), ρ_s 는 표면 전하 밀도(C/m), J_s 는 표면 전류 밀도(A/m²) 이다.

만일 매질1이 금속이라면, 매질1을 전도도가 무한대인 완전 도체로 가정할 수 있다. 그러면 매질1의 내부

에서는 전기장이 없는 상태이므로 $D_1 = 0$, $B_1 = 0$, $H_1 = 0$ 이 된다. 이 경우에는 경계조건이 다음과 같다.

$$\hat{n} \times E_1 = 0 \tag{5}$$

$$\hat{n} \cdot D_1 = \rho_s \tag{6}$$

$$\hat{n} \times H_1 = J_s \tag{7}$$

$$\hat{n} \cdot B_1 = 0 \tag{8}$$

위의 식이 나타내는 것은 완전 도체에서는 전기장의 법선(수직) 성분이 없다는 것이다. 다른 말로는 법선 성분의 자기장만이 완전 도체에 존재한다는 것이다. 그러므로 전자기장의 모든 요소들이 완전 도체 근처에서는 유효하지 않다. 전자기파의 경계 조건에 따르면 금속표면에서는 수직 성분의 자기장이 없기 때문에 금속 표면과 RFID 태그 사이에 간극을 두어 전자기장을 형성할 수 있도록 설계해야 한다.

인식률 향상을 위해 태그에 적용하는 방법으로는 새

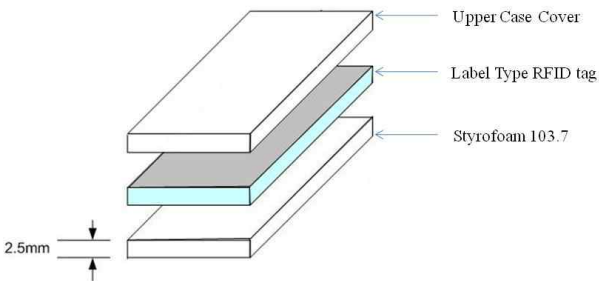


그림 7 제안하는 RFID tag 구조
Fig. 7. Proposed RFID tag structure.

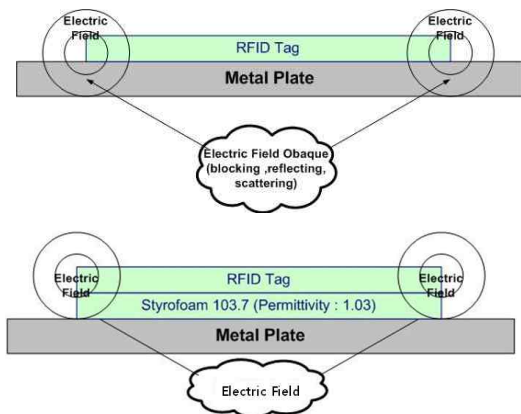


그림 8. 제안한 RFID 태그에서의 전자기장
Fig. 8. Electromagnetic field of proposed RFID tag.

Label type RFID tag Case Styrofoam103.7



그림 9. 제작된 제안한 RFID
Fig. 9. Proposed RFID tag.

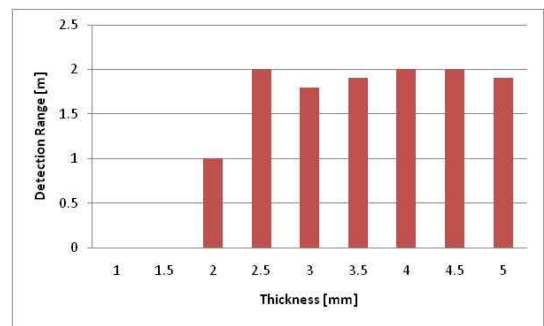


그림 10. 스티로폼 두께에 따른 인식거리
Fig. 10. Detection range vs. Styrofoam thickness.

로운 구조의 태그 설계, 안테나 개선, 전압체배기 적용 등의 방법이 있다.^[9-10]

이에 반해 본 논문에서 제안한 방법은 기존태그에 변형없이 다양한 현장에 적용이 가능한 구조이다.

본 논문에서는 그림 7과 같이 구성하였다. 일반 스티커형 RFID 태그를 사이에 두고 위쪽과 아래쪽에 유전율이 1.03인 Styrofoam103.7을 일정한 두께로 덧붙이는 형태로 그림 8과 같은 전자기파 특성을 보이게 된다.

제안하는 RFID tag 는 ALL-9354-02를 사용하였으며, 그림 9와 같다.

RFID 리더기와 스티로폼103.7의 두께를 1mm에서 5mm까지 변화하며 인식거리를 측정한 결과가 그림 10과 같다. 제안된 RFID 태그는 비유전율 1.03인 스티로폼103.7을 2.5mm의 두께로 태그 뒷면에 부착하고 2m 거리에서 RFID 리더기와 통신이 가능하였다.

IV. 실험

본 절에서는 제안하는 시스템의 성능과 원통형 변압기 물류 관리에 적용한 인식 성능을 실험을 통해 확인하였다. 실제 현장에서 변압기는 차량에 의해 정해진

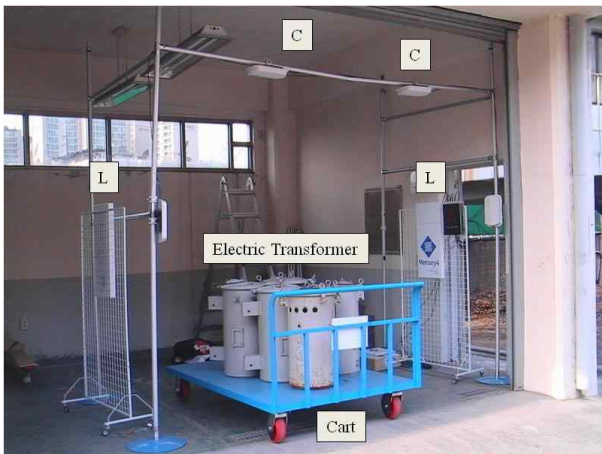


그림 11. 실제 실험 설치
Fig. 11. Experimental set-up.

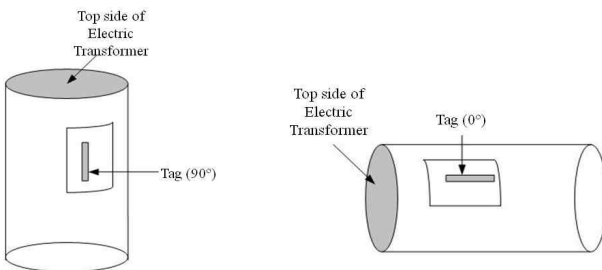


그림 12. RFID tag 부착 방향
Fig. 12. Attachment direction of RFID tags.

위치에 야적하고 이를 관리자가 수기로 수량과약 후, PC를 통해 DB에 저장하는 형태를 보여주고 있다. 이에 비해 본 논문에서 제안한 RFID를 이용한 시스템은 재고 확인의 자동화와 정확도를 높일 수 있는 대안이다.

실제 실험을 위해 설치한 사진은 사진 11과 같다.

RFID태그는 부착방향 및 리더기 안테나와의 방향에 따라 인식률에 변화가 발생할 수도 있다^[11].

본 논문에서는 RFID tag를 금속 표면의 원통형 변압기에 가로방향(0도), 세로방향(90도)의 두 방향으로 부착하였다. 구성은 그림 12와 같다.

제안한 RFID tag와 약 20볼에서 30볼로 시판되고 있는 Sontec 社, Prenix 社, Smart1 社, AWID 社의 tag를 비교했다. 제안한 RFID 태그는 ALL-9354-02를 이용하여 제작하였으며 개당 약 0.5볼의 가격이 소요되었다.

표 1에서 실험 결과는 RFID 태그의 방향과 인식거리의 관계를 증명해준다. RFID tag의 인식테스트는 실제 카트의 속도가 0.5 m/sec로 실행하였다. 서로 다른 방향의 RFID 태그를 부착하고, 총 100회 이동 반복 실험을 하였다. 총 100회의 이동 반복 실험동안 제안하는

표 1. 감지 거리 결과

Table 1. Results of detection range.

Tags	Direction	Range [m]
Sontec	90°	4.9
	0°	6.3
Prenix	90°	7.4
	0°	8~
Smart1	90°	7.5
	0°	8~
AWID	90°	5.6
	0°	6.9
Proposed tag (ALR'M' + Styrofoam103.7)	90°	3.8
	0°	4.8

태그를 포함해 모든 태그가 인식 성공하였다.

실험 결과를 통해 직선거리 인식률이 게이트 적용시 요구되는 최소 인식거리 2m를 모두 상회함을 알 수 있었다. 이를 통해 실제 현장 적용 시 요구되는 경제성과 성능 모두를 만족하는 태그는 본 논문에서 제안한 RFID 태그임을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문은 변압기 자재 관리를 위해 금속 표면에서 안정적으로 동작하는 메탈 접착 RFID 태그를 제안한다. 제안한 방법은 일반 상용 RFID 태그를 이용하는 것으로, 스티로폼103.7을 RFID 태그 뒷면에 부착하였다. 비유전율 1.03인 스티로폼103.7을 2.5mm 두께로 RFID 태그 뒷면에 부착하였다. 변압기 물류 시스템의 실험에서 제안한 태그는 최소 상용거리 2m 이상에서 리더기와 통신이 가능하였다. 인식률에서도 일반 금속용 태그와 유사한 성능을 나타내었다.

제안된 태그는 다양한 제품과 물류 시스템 및 자산관리, 유비쿼터스와 접목되어 그 사용 및 응용이 가능하다. 향후 보다 다양한 제품에의 적용과 인식하는 안테나의 높이와 수와 관련하여 추가 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] Rajit Gadh, "The state of RFID: heading toward a wireless internet of artifacts,"COMPUTERWORLD, 2004.
[2] J. L. M Flores, S. S. Srikant, B. Sareen, A. Vagga, "Performance of RFID tags in near and

- far field,"IEEE International Conference on Personal Wireless Communications, pp. 353-357, 2005.
- [3] Bing Jiang, K. P. Fishkin, S. Roy, M. Philipose, "Unobtrusive long-range detection of passive RFID tag motion," IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 55, No. 1, pp. 187-196, 2006.
- [4] Bill Glover, Himanshu Bhatt, RFID Essentials, O'Reilly Media, pp. 55-75, 2006.
- [5] Klaus Finkenzeller, RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification, John Wiley & Sons Ltd., pp. 61-159, 2003.
- [6] Syed A. Ahson, Mohammad Ilyas, RFID handbook: applications, technology, security, and privacy, pp. 249-260, 2008.
- [7] Roy Want, "An Introduction to RFID Technology," IEEE Pervasive Computing, Vol. 5, No. 1, pp. 25-33, 2006.
- [8] ODIN Technologies, <http://www.odintechnologies.com>.
- [9] 이종욱, 이범선, "인식거리 향상을 위한 UHF 대역 RFID 태그용 전압체배기 설계", 대한전자공학회 종합학술대회, 587-590쪽, 2005년 11월
- [10] 장원태, 황기현, "단일 안테나 패턴 기반 복합밴드 RFID 태그 개발 및 성능 향상에 관한 연구", 대한전자공학회 종합학술대회, 585-586쪽, 2007년 7월.
- [11] 진성희, "RFID를 이용한 이동체의 위치 결정에서 리더 태그간 인식을 연구", 대한전자공학회 종합학술대회, 33-34쪽, 2007년 7월.

 저 자 소 개



박 종 렬(정회원)
 2001년 동국대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 2003년 동국대학교 전자공학과
 석사 졸업.
 2011년 동국대학교 전자공학과
 박사 과정.

<주관심분야 : RFID, 초고주파, 시스템응용>

엄 기 환(평생회원)
 대한전자공학회 논문지
 제 48권 TC편 제5호 참조

윤 기 방(평생회원)
 대한전자공학회 논문지
 제 48권 CI편 제5호 참조