

효율적인 후판 재고관리를 위한 RFID 스캐닝 로봇 시스템 개발

이광형*, 민소연², 이종희³

¹서일대학교 인터넷정보과, ²서일대학교 정보통신과, ³(주)인포에스티

Development of Robotic System based on RFID Scanning for Efficient Inventory Management of Thick Plates

Kwang-Hyoung Lee^{1*}, So-Yeon Min², Jong-Hee Lee³

¹Dept. of Internet Information, Seoil University

²Dept. of Information Communication, Seoil University

³INPOESTI company

요약 본 제철 공장의 후판 재고관리 자동화는 오래전부터 해결하지 못한 난제이었으며, 현재도 효율적인 후판 재고관리를 위해 제철업계에서 부단히 노력 중에 있다. 그동안 후판 적재의 환경적 특성 상 후판의 자동 인식을 위해 진보된 기술 적용이 쉽지 않았다. 본 논문에서는 자동 인식이 어려운 적재 상태에서 후판의 RFID 태그를 자동으로 스캔하여 인식한 후 후판 정보를 취득함으로써 신속하고 정확한 후판의 재고관리가 가능한 RFID기반 후판 스캐닝 로봇 시스템을 제안한다. RFID기반 후판 스캐닝 로봇 시스템은 후판을 끌어올려 이동시키는 크레인에 장착되어 운용된다. 후판에 부착된 태그 정보를 자동으로 식별하기 위해 후판 태그 전용으로 개발된 후판 전용 리니어 다이폴 안테나를 탑재하였고, 후판 전용 리니어 다이폴 안테나가 x축과 y축을 이동하면서 후판 태그의 위치를 스캐닝함으로써 태그의 정보를 취득한다. 시스템에 의해 취득된 태그 정보는 개발된 후판 재고관리 소프트웨어에 의해 재고 및 적지관리에 이용된다. 제안한 시스템은 개발되어 현장 성능평가를 통해 시스템의 효율성을 검증하였으며, 후판태그 인식율은 99.9%, 최대 인식거리는 320cm의 실험 결과를 보여 기존 상용 안테나에 비해 개발된 후판 전용 안테나의 성능이 우수한 것으로 나타났다.

Abstract Automation of inventory management in a steel plate factory was a difficult problem unresolved for a long time. And now, it is also necessary to work diligently in the steel industry on efficient inventory management of thick plates. So far, the environmental characteristics of stacked thick plates means it is not easy to apply advanced technology for their automatic identification. In this paper, we propose a thick-plate robotic scanning system based on radio-frequency identification (RFID) that can provide quick and accurate inventory management by acquiring plate information after the scanning automatically recognizes the RFID tags under difficult load conditions. This system is equipped with a crane to move the plates in a pulled-up operation. It is equipped with a plate-only linear dipole antenna only for scanning the position of the plate tag. Only the linear dipole antenna, while moving the x-axis and y-axis information, automatically identifies the tag information attached to the plate. The tag information acquired by the system is used for stockpiling and is managed by steel plate inventory control software. The effectiveness of the proposed system is verified through field performance evaluation. As a result, the recognition rate of the plate tags is 99.9% at a maximum distance of 320 cm. The developed thick-plate antenna showed excellent performance compared to an existing commercial antenna.

Keywords : Automatic identification, Inventory management, RFID, Steel mills, Thick plates

본 논문은 2016년도 서일대학교 학술연구비에 의해 연구되었음

*Corresponding Author : Kwang-Hyoung Lee(Seoil Univ.)

Tel: +82-2-490-7226 email: dreamace@seoil.ac.kr

Received September 13, 2016

Revised October 6, 2016

Accepted October 7, 2016

Published October 31, 2016

1. 서론

내 제철회사의 주력 수출 상품 중의 하나인 후판(Thick Plates)은 열간압연 강판의 두께 6mm이상의 두꺼운 철판을 말하며, 주로 선박, 보일러, 압력용기, 교량 등의 대형 구조물의 소재로 사용된다.

압연 과정을 통하여 연속적으로 나오는 후판은 공정상 롤러에서 다른 라인의 롤러로, 롤러에서 크레인에 의해 야적장으로 또는 야적장에서 크레인에 의해 롤러로 이동하게 된다. 그리고 야적장에 쌓여진 후판들은 소비자의 수요에 맞는 판을 공급하기 위해서 야적장에서 다른 야적장으로 재배치되고, 최종적으로 야적장에서 고객사로 출하하기 위하여 크레인에 의해 선박에 적재되어 운송된다[1].

후판은 생산공정에서 생산된 후 제품 창고 및 야적장으로 이동될 때 크레인으로 이동하여 적재되며, 그림 1과 같이 서로 다른 후판 크기와 두께가 혼재되어 적재되므로 작업자들이 일일이 육안식별에 의존하여 제품을 식별해야하는 어려움이 있으며, 야간의 경우 야적장에서 후태시를 비추어 인쇄된 제품번호를 힘들게 찾아야 겨우 식별이 가능한 제품이 많이 있다.

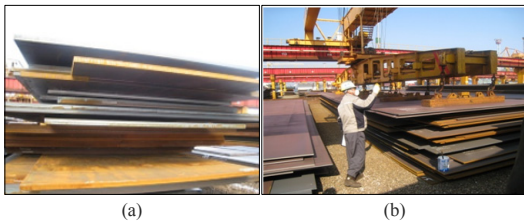


Fig. 1. Thick plates (a) Load Stack (b) Management

또한 일반적인 RFID 기술을 후판에 적용할 시 제품의 크기 및 두께 등 사양이 서로 상이한 제품들이 한 곳에 적재되어 후판 사이에 이폭이 발생하여 부착된 태그 인식율이 현저히 떨어져 적용하기 쉽지 않다.

후판이 적재된 구조를 전파환경 측면에서 분석해 보면 그림 2와 같이 개방, 단면, 양면 오픈 적층 구조로 분류할 수 있다.

따라서 이러한 적층구조로 적재되어 있는 후판을 자동 인식 및 식별하기 위해 RFID 기술을 적용하기 쉽지 않으며, 특히 그림 2의 (b)와 (c) 적층 구조가 많은 후판의 적재 상태에서는 일반적인 RFID 기술이 아닌 후판에 특화된 기술 적용이 필요하다.

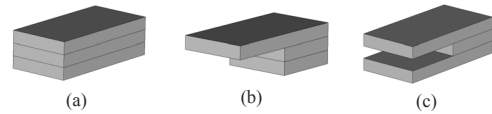


Fig. 2. Layered structure Type (a) All Open (b) One-side Open (c) Both-sides Open

본 논문에서는 후판 재질 및 적재 보관 환경을 분석한 결과 이폭이 많고 적층이 균일화 되어있지 않아 일반적인 Circular 안테나는 반사파 및 노이즈 등으로 인하여 적용이 불가하며, 이에 따라 태그의 인식률 및 안정적인 리딩과 안테나 자체의 전파파형을 분석하여 반사파 및 노이즈가 적은 형태의 안테나를 개발하기 위하여 후판 이동 과정 및 이송형태를 파악하여 태그와의 전파 발진 방향성을 고려하여 후판 전용 Linear Polarized 안테나를 설계 및 개발하였으며, 개발된 안테나를 적용한 자동 스캐닝 로봇을 개발하여 시스템화 하였다.

2. 관련 연구

2.1 후판 식별 자동화 기술

후판을 식별하기 위한 관련 연구를 살펴보면 영상인식기반의 제품 번호 검출방법이 있다. 이 기법은 후판의 제품번호를 추출하기 위해서, 먼저 개별 후판을 분리하며, 이를 위해 후판의 직선 에지를 검출하고 근접화를 수행한다. 다음으로 분리된 개별 후판을 대상으로 배경 정보를 제거하여 후판의 제품번호 문자열을 검출한다. 후판의 배경은 철판의 어두운 부분과 제품번호를 출력하기 위한 흰색 페인트 부분으로 구성되며, 제안하는 방법에서는 두 부분을 구분하여 두 단계로 배경을 제거한다. 배경을 제거한 영상에 대해서 후판의 제품번호 문자열의 특성을 고려하여 개별 문자열을 추출한다[2-5].

영상인식기반의 후판 제품 번호 검출 기법은 카메라와 문자인식 소프트웨어로 구현 가능한 기술이지만 제품 번호가 인쇄되어 있는 측면이 적층 구조에서 이폭이 없이 모두 동일하게 오픈되어 있어야 영상 취득이 용이하며, 제품 이동 시 이물질이 물을 경우에는 제품 번호 식별이 쉽지 않은 단점이 있다[10].

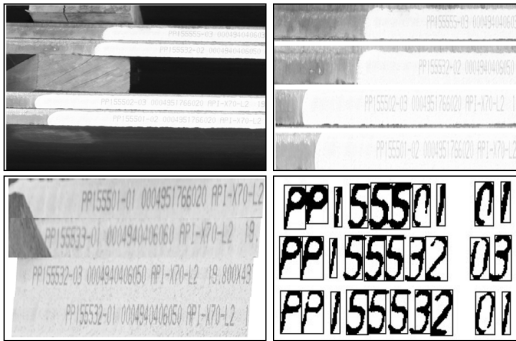


Fig. 3. Detecting Product Number of Tick Plates based on Image Processing

2.2 후판 태그 기술

후판 태그 기술로서는 후판 측면에 부착이 용이한 후판 전용 RFID 태그 기술이 연구되었다.

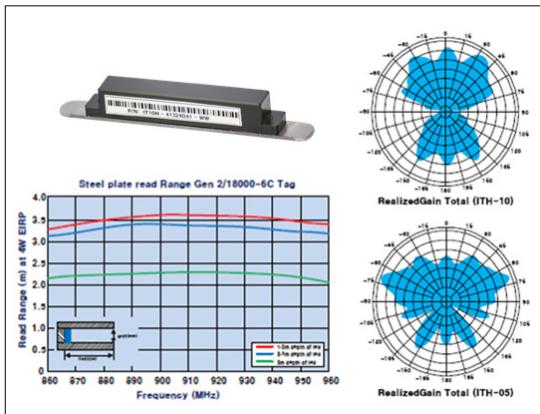


Fig. 4. RFID Tag for Thick Plates only

본 태그는 6~10mm 두께의 후판 측면에 부착할 수 있도록 소형으로 설계된 제품으로 액티브 방식의 RFID 태그이다[6,7]. 후판 전용 RFID 태그는 본 연구의 선행 연구로서 후판 전용 RFID 태그 개발 후 이를 인식하기 위한 전용 RFID 안테나 기술개발이 필요하였으며, 전용 안테나 개발 및 후판에 부착된 RFID 태그를 자동으로 스캐닝하여 인식할 수 있는 크레인 부착형 RFID기반 후판 스캐닝 로봇 시스템을 개발하여 후판 적재 및 재고관리를 자동화 할 수 있도록 시스템화 하였다[8,9,11,12].

3. RFID기반 후판 스캐닝 로봇 시스템 설계

3.1 후판 스캐닝 로봇 시스템 구성

후판 스캐닝 로봇 시스템의 구성은 그림 5와 같이 후판을 들어 올려 옮기는 크레인에 부착 가능한 스캐닝 로봇 머신과 이를 구동하는 소프트웨어로 구성되며, 후판 스캐닝 로봇 머신으로부터 취득된 후판 태그 정보는 무선 AP를 통해 후판관리 서버에 전송된다. 전송된 후판 태그 정보는 MES와 WMS의 생산관리정보와 재고관리정보와 연동되어 관리자와 조업자에게 PC와 모바일 단말기를 통해 적치정보, 재고정보를 제공한다.

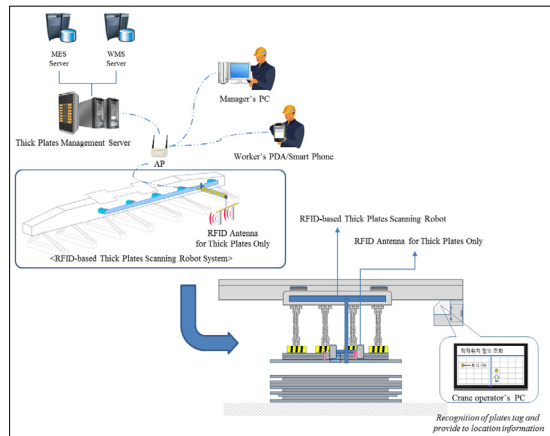


Fig. 5. System Diagram

3.2 후판 전용 RFID 안테나 설계

후판 스캐닝 로봇 머신에 부착되어 후판 태그를 인식할 후판 전용 RFID 안테나는 Linear Patch 안테나, Near Field Loop 안테나, Far Field Yagi 안테나, Far Field Linear Dipole 안테나 순으로 총 4가지 버전의 안테나를 설계하여 개발하였으며, 랩 테스트를 통해 최종적으로 가장 안정적인 인식률을 보인 Linear Dipole 안테나를 최종 제품으로 개발하였다. Linear 다이폴 안테나 설계 도면은 그림 6과 같다.

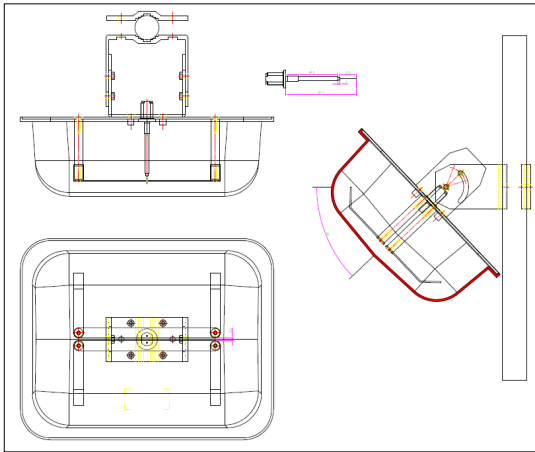


Fig. 6. Design of Linear Dipole Antenna

3.3 후판 스캐닝 로봇 설계

후판 스캐닝 로봇은 그림 7과 같이 후판 이동 크레인에 장착되어 후판 크레인 운전석에서 조종이 가능한 로봇으로 설계되었다.

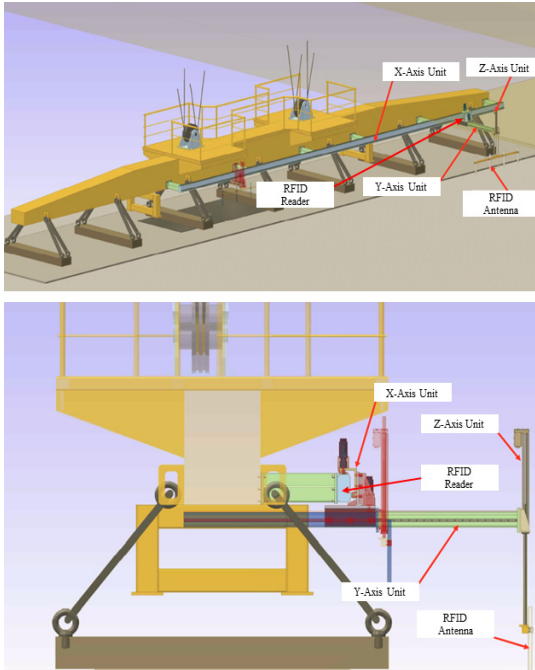


Fig. 7. Design of Thick Plates Scanning Robot

크레인 운전자가 후판을 3~5개씩 권상하여 이동 시 상하좌우로 로봇 암이 이동하여 후판에 부착된 태그를 스캐닝하여 인식한 후 정보를 취득할 수 있도록 설계하

였다.

3.4 후판 관리 운영 S/W 설계

후판 관리 운영 소프트웨어는 모니터링, 운영, 모바일 기능으로 구성되며, 모니터링 기능에서는 후판 적치셀 및 후판종류별 후판 현황조회, 후판 정보관리 등으로 구성된다.

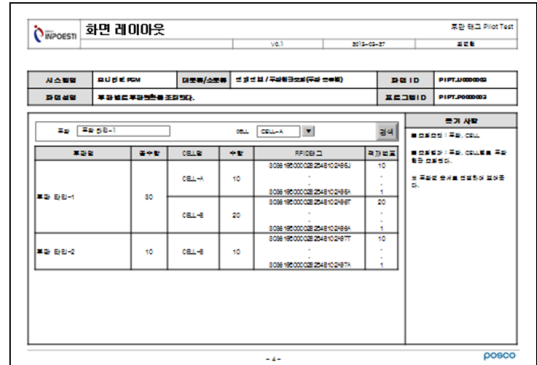


Fig. 8. Design of Operation Software

운영 기능에서는 후판의 적재정보와 이동정보 조회 기능으로 구성되며, 모바일 기능에서는 후판정보, 적재 정보, 환경설정으로 구성된다.

3.5 후판 관리 DB 설계

후판 관리 DB는 그림 9와 같이 태그 ID와 MES에 있는 후판 생산정보 및 사양정보가 매핑되도록 설계되었으며, 적치 스케줄링과 연동할 수 있도록 WMS와 연계되도록 설계하였다.

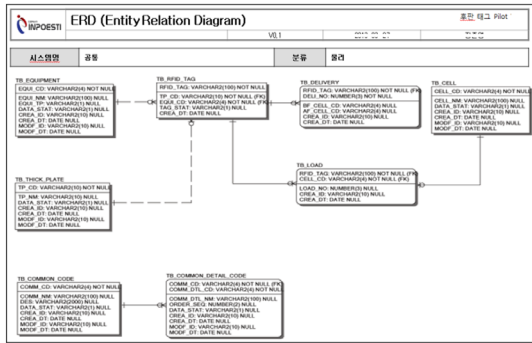


Fig. 9. Design of DB ERD

4. RFID기반 후판 스캐닝 로봇 시스템 구현

4.1 후판 전용 Linear Dipole 안테나 개발

개발된 후판전용 Linear Dipole 안테나는 그림 10과 같이 개발되었으며, 스캐닝 로봇 머신에 장착된 모습을 보이고 있다.

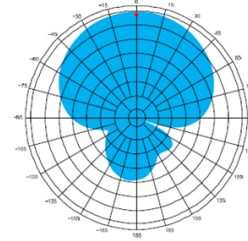


Fig. 10. Linear Dipole Antenna

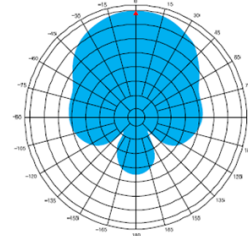
후판전용 Linear Dipole 안테나의 정제파비와 방사패턴은 그림 11과 같다.

Radiation Pattern at 915 MHz (Vertical E-plane)

Please note that all radiation patterns are normalized. See the mechanical dimension drawings to correlate the radiation patterns to the appropriate axes and planes of the antenna.



Radiation Pattern at 915 MHz (Vertical H-plane)



(b)

Fig. 11. VSWR & 3dB Beamwidth (a) VSWR (b) 3dB Beamwidth

후판전용 Linear Dipole 안테나의 spec.은 표 1과 같다.

Table 1. Spec. for Far Field Linear Dipole Antenna

Parameter	Typical	Units	Condition/Note
Frequency	902 to 928	MHz	
Far Field Gain	9.5	dBi	
E-Plane HPBW	45°±0°	Deg	3dB beam Width
H-Plane HPBW	113°±0°	Deg	3dB beam Width
Polarization	Linear		
VSWR	1:1.2		
Front to Back Ratio	29	dB	Vertical E-Plane
Input Impedance	50	Ω	33dBm absolute max
Input Power	30	dBm	33dBm absolute max

4.2 후판 스캐닝 로봇 개발

후판 스캐닝 로봇은 그림 12와 같이 후판제품 공장 마크네틱 크레인에 장착하여 X, Y, Z 축으로 안테나 위치를 이동하면서 후판에 부착된 태그를 자동으로 정확히 인식할 수 있는 시스템으로 개발하였다.



(a)



Fig. 12. Thick Plates Scanning Robot

후판 스캐닝 로봇 하단에 개발된 후판전용 안테나가 장착된 모습을 볼 수 있다.

4.3 후판관리 운영 S/W 개발

후판관리 운영 S/W는 태그 및 후판 기본 정보 입력 UI, 후판태그 인식 및 정보조회 UI, 적재 현황 정보 조회 UI, 후판 제품 관리 통합 UI로 개발되었으며, 그림 13과 같다.

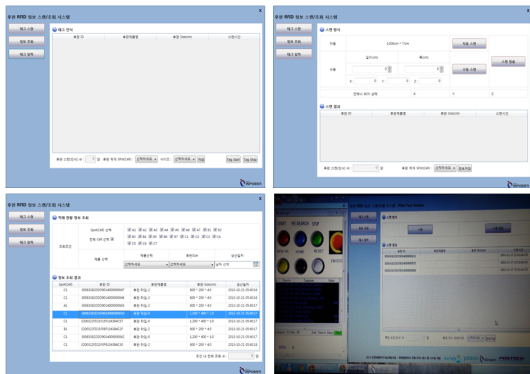


Fig. 13. Operation Software

또한 조업자 확인용 모바일 정보조회 S/W는 그림 14와 같이 메인UI, 후판정보조회, 후판상세정보조회, 적재 정보조회, 정보매핑 기능으로 개발되었다.



Fig. 14. Mobile Monitoring Software

5. 실험 및 평가

제안한 시스템의 실험은 그림 15와 같이 개발된 후판 전용 안테나를 개발된 후판 스캐닝 로봇에 장착한 시스템의 통합 테스트로 진행하였다.

통합 테스트 환경은 후판 크레인에 후판 스캐닝 로봇 머신을 장착하고, 로봇머신에 개발된 후판 전용 안테나를 장착하였으며, 적재된 후판제품에 이격을 두고 선행 연구로 개발된 후판 태그를 부착하였다. 후판에 부착된 태그를 후판 스캐닝 로봇머신으로 자동 스캐닝하여 인식한 후 후판관리 S/W UI로 인식률 및 정보조회 내용을 확인하였다.



Fig. 15. Performance Test for System

테스트 장비로는 후판태그, RFID 고정형 리더(Motorola FX9500), 휴대형 리더(AT880(Si203)), 후판 전용 RFID 안테나, 후판 운영 관리 응용 S/W, 후판 스캐닝 로봇머신이 사용되었다.

기존 상용 제품 안테나와 본 연구를 통해 개발된 후판 전용 안테나를 각각 후판 스캐닝 로봇에 장착하여 스캔하여 인식률과 인식거리를 측정하였다.

후판 측면의 태그 부착은 양면 오픈 적층 구조의 후판 적재 상태에서 광폭 후판 사이 안쪽의 후판 3장 측면(이 폭 1.3m)에 내부에 태그를 10개를 부착하여 테스트를 진행하였다.

6. 결론

본 연구에서는 후판 적재의 환경적 특성상 자동인식 기술 적용이 어려웠던 한계를 극복하여 후판 관리의 자동화를 위해 후판 적치 및 재고관리 자동화를 위해 후판 태그 인식 전용 안테나와 후판 스캐닝 로봇 및 후판 적치 및 재고관리 응용 S/W를 설계하고 개발하여 이를 통합 시스템으로 운영할 수 있는 후판 재고관리를 위한 RFID기반 후판 스캐닝 로봇 시스템을 개발하였으며, 현장 필드 테스트를 통해 성능을 검증하였다.

테스트 결과 기존 상용 안테나에 비해 개발된 안테나를 장착하여 후판에 부착한 태그에 대한 인식률과 인식거리가 월등히 우수한 것을 입증하였다.

본 연구결과를 통해 향후 자동 인식이 어려운 적재 상태에서 후판의 RFID 태그를 자동으로 스캔하여 인식한 후 후판 정보를 취득함으로써 신속하고 정확한 후판의 재고관리가 가능하여 후판 재고관리 자동화에 기술적으로 많은 적용이 예상된다.

Table 2. Test Results

Test Item	Results		
	Antenna A (Existing commercial - Linear Patch)	Antenna B (Existing commercial - Linear Dipole)	Antenna C (Proposed - Linear Dipole)
Detecting Rate	34.2 %	62.7	99.9 %
Multiple Detecting Tag Numbers (Scanning Boundary Max)	9 EA	15 EA	32 EA
Detecting Distance (Max)	99 Cm	150 Cm	320 Cm
Detecting Distance (Average)	78 Cm	123 Cm	260 Cm

기존 상용 안테나 2종과 본 연구에서 개발된 후판 전용 안테나로 이폭이 있는 후판의 인식률과 인식거리 및 후판 스캐닝 시간(45 sec.) 동안 다중 태그 인식 개수를 비교한 결과는 표 2와 같다.

표 2의 결과에서 나타나듯이 본 연구를 통해 개발된 후판 전용 안테나를 탑재한 후판 스캐닝 로봇으로 후판에 부착된 태그를 스캐닝하여 인식한 결과 인식률은 약 99.9%, 다중인식 태그 개수는 32개, 최대 인식거리는 320cm, 평균 인식거리는 260cm로 기존 상용 리니어 패치 안테나와 리니어 다이폴 안테나에 비해 개발된 후판 전용 안테나의 성능이 우수한 것으로 나타났다. 제안하여 개발된 후판 전용 안테나는 리니어 특성을 가지고 있어 인식 너비가 크지 않은 단점이 있으며, 안테나 좌우상하 각도 이동을 통해 해결할 과제이며. 이는 추후 연구를 통해 개선해나가고자 한다.

References

- [1] S. H. Park, J. H. Kim, E. S. Kang, "Effective Line Detection of Steel Plates Using Eigenvalue Analysis," The journal of maritime information and communication sciences, vol. 15, no. 7, pp. 1479-1486, Jun. 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2011.15.7.1479>
- [2] Sang-Hyun Park, "An Effective Method of Product Number Detection from Thick Plates," he Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, vol. 10, no. 1, pp. 139-148, Jan. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2015.10.1.139>
- [3] Sang-Hyun Park, "An Effective Steel Plate Detection Using Eigenvalue Analysis," The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, vol. 7, no. 5, pp. 1033-1039, Oct. 2012.
- [4] M.-J. Lim, S.-K. Hyun, J.-E. Park, K.-Y. Lee, "Image Processing for Mobile Information Retrieval Service," The Journal of The Institute of Webcasting, Internet and Telecommunication, vol. 11, no. 1, pp. 103-108, 2011.
- [5] W.-S. Yang, "Implementation of Vision System combining Character and Color Recognition," The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC) vol. 16, no. 1, pp. 221-225, Feb. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2016.16.1.221>
- [6] Jonghee Lee, Development of RFID tags for logistics management of thick plate, R&D Report for Public-private joint venture development project, Small and Medium Business Administration in Korea, Oct. 2014.

- [7] I.-J. Park, "Production Control System Based on RFID," The Journal of The Institute of Webcasting, Internet and Telecommunication, vol. 9, no. 4, pp. 25-31, 2009.
- [8] Y. Myung, "On the Computational Complexity of the Plate Stacking Problem," J. of Korean Operations Research and Management Science Society, vol. 28, no. 4, pp. 31-37, Dec. 2003.
- [9] I.-J. Park, T.-Y. Hyun, D.-J. Park, "Production Work Management System Based on RFID Card," The Journal of The Institute of Webcasting, Internet and Telecommunication, vol. 6, no. 3, pp. 47-53, 2006.
- [10] J. Cho, H. Yang, "A Car License Plate Recognition Using Colors Information, Morphological Characteristic and Neural Network," J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences, vol. 5, no. 3, pp. 304-308, June 2010.
- [11] Soojin Park, Herald Biz News, POSCO, Plates RFID electronic tags (RFID) for developing the world's first, 2014, <http://biz.heraldcorp.com/view.php?ud=20140109000450>, Aug. 2016.
- [12] Injoon Lee, NEWSIS, POSCO, the world's first steel plate only RFID tag development, 2014, http://www.newsis.com/ar_detail/view.html?ar_id=NISX20140109_0012647224&clID=10402&pID=10400, Aug., 2016.

이 광 형(Kwang-Hyoung Lee) [중신회원]



- 1998년 2월 : 광주대학교 컴퓨터 공학과 졸업(공학사)
- 2002년 2월 : 숭실대학교 컴퓨터 공학과 (공학석사)
- 2005년 2월 : 숭실대학교 컴퓨터 공학과 (공학박사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 서일대학 인터넷정보과 부교수

<관심분야>

멀티미디어 데이터 검색, 영상처리, 보안, RFID, USN, 학습 콘텐츠

민 소 연(So-Yeon Min) [중신회원]



- 1994년 2월 : 숭실대학교 전자공학과 (공학사)
- 1996년 2월 : 숭실대학교 일반대학원 전자공학과 (공학석사)
- 2003년 2월 : 숭실대학교 일반대학원 전자공학과 (공학박사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 서일대학교 정보통신과 부교수

<관심분야>

통신 및 신호처리, 임베디드 시스템

이 종 희(Jong-Hee Lee) [정회원]



- 1998년 2월 : 한밭대학교 전자계산학과 (공학사)
- 2000년 2월 : 숭실대학교 대학원 컴퓨터공학과 (공학석사)
- 2004년 2월 : 숭실대학교 대학원 컴퓨터공학과 (공학박사)
- 2004년 8월 ~ 2007년 11월 : (주)리테일테크 연구소장
- 2006년 1월 ~ 2007년 12월 : 동국대학교 산업시스템공학과 연구교수
- 2008년 8월 ~ 현재 : (주)인포에스티 연구소장

<관심분야>

사물지능통신, 사물인터넷, u컴퓨팅, 스마트워크