

커튼월 관련 자재에서 RFID 적용을 위한 인식 성능 테스트

Reading Performance Test of RFID Technology for Curtain Wall Material

김용배* 송재홍** 윤수원*** 진상윤**** 권순욱***** 김예상*****

Kim, Yong-Bae Song, Jae-Hong Yoon, Soo-Won Chin, Sangyoon Kwon, Soon-Wook Kim, Yea-Sang

요 약

최근 RFID 기술은 산업 전반에서 다양한 형태로 적용되고 있으며, 국내 건설 산업 분야에서도 현장 노무관리 및 레미콘, 철골, 커튼월 등의 물류관리를 위한 적용 기술 개발 및 연구가 활발히 수행되고 있다. 그러나 RFID 기술은 주변 환경 및 자재의 특성에 따라 인식성능의 차이를 보임에도 불구하고, RFID 기술 활용은 이론적인 인식 성능에 근거한 적용방안을 제시하고 있다. 본 연구는 이론적 인식거리, 무반사실 테스트, 현장 테스트를 통해 RFID 기술별 인식 성능 테스트를 하였으며, 일반적으로 현장에서의 인식거리는 감소하는 것으로 나타났다. 또한 커튼월의 주요 자재인 알루미늄과 유리를 대상으로 정확한 인식 성능 테스트를 실시·비교하였으며, 유리면이나 금속면에 일반 라벨 태그를 부착하였을 경우 유리 전용 태그나 금속 태그를 부착하였을 때에 비해서 인식이 불가능하거나 인식 거리 감소가 큰 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 위와 같은 테스트를 통해 커튼월에 RFID 기술 적용 시 인식 성능을 최적화하기 위한 고려 요소를 제시하고자 한다.

키워드 : RFID, 커튼월, 알루미늄, 유리, 인식성능

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 RFID 기술은 건설 산업을 포함한 여러 산업에서 다양한 형태로 적용되어지고 있다. 건설 산업에서 RFID 기술 적용 시기는 오래되지 않았으나, 다양한 건설 프로젝트에서 연구 및 적용 기술 개발이 수행되고 있다. 국내 건설 산업에서 RFID 기술은 현장 노무관리 및 레미콘 물류관리 등에 적용되었으며(최철

호 2004), 철골 및 커튼월 등과 같은 long-lead items의 물류관리를 위한 응용 기술이 연구 및 개발되어지고 있다(Chin 2006, 2005).

본 연구진은 “RFID 기반 커튼월 물류 및 진도관리에 관한 연구” 과제를 수행하면서 커튼월 물류관리를 위한 RFID 기술 적용 방법 및 프로세스를 개발하였다. 또한, RFID의 인식성능이 대상물질(tracking target) 및 주변 환경에 영향을 받는다는 것을 확인할 수 있었다.

그러나 기존 건설 산업에서의 RFID 적용에 관한 연구는 RFID 기술별 실제 성능 테스트가 이루어지지 못한 채, 이론적인 성능에 근거한 적용방안을 제시하고 있다는 한계점을 가지고 있다. 또한, 특정 건설 자재에 따른 RFID 태그(tag)의 인식 거리(reading range) 정보가 존재하지 않는다.

이 같은 이유에서 RFID를 적용한, 건설프로젝트의 프로세스 향상을 위한 기회가 줄어들고 프로젝트 관리를 위한 시간과 비용이 낭비되고 있다.

따라서 본 연구의 목적은 RFID 기술을 활용하여 커튼월 자재의 물류관리를 위해 국내 시장에서 활용 가능한 125kHz, 13.56MHz 및 900MHz을 대상으로, 무반사실(anechoic chamber), 커튼월 공장 및 커튼월 설치 현장에서 RFID 기술별 정확한 인식성능을 테스트하고, 커튼월 주요 자재인 알루미늄과

* 일반회원, 현대건설 사원, 공학석사, dragonship@hdec.co.kr
 ** 일반회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 석사과정, jaysong0828@naver.com
 *** 일반회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 박사과정, yoonsuwon@skku.edu
 **** 종신회원, 성균관대학교 건축공학과 부교수, 공학박사(교신저자), schin@skku.edu
 ***** 종신회원, 성균관대학교 건축공학과 조교수, 공학박사, swkwon@skku.edu
 ***** 종신회원, 성균관대학교 건축공학과 교수, 공학박사, yskim2@skku.ac.kr

본 연구는 건설핵심기술 연구개발사업 차세대 지능형 건설물류관리 자동화 체계 개발과제('06~'09) 연구결과의 일부임.

과제번호 06건설핵심D16

유리에 따른 인식 성능을 최적화하기 위한 고려 요소를 제시하는데 있다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 커튼월 자재관리를 위한 RFID 최적 적용방안 고려 요소 도출을 위해 다음과 같이 연구를 진행하였다.

첫 번째 단계는 알루미늄 유닛 커튼월 자재 특성과 물류관리 현황 분석을 통해 RFID 적용을 위한 고려 요소 및 부착 가능 위치를 파악하였다. 이는 알루미늄 커튼월의 특성, 조달·설치 프로세스 분석 및 RFID 기술 전문가와 건설 현장 근로자들과의 워크숍을 통하여 도출하였다.

두 번째 단계는 RFID 기술의 구성 및 원리를 파악하고, 기술별 특성 분석을 바탕으로 앞선 단계에서 도출된 고려 요소 및 부착 가능 위치와 조합 및 분석을 통해 커튼월에 RFID 기술 적용 시 인식성능에 영향을 미치는 주요 요인 및 정확한 인식성능 측정을 위한 필요 테스트가 무엇인지를 도출하였다.

세 번째 단계에서는 앞선 단계에서 도출된 세 가지 테스트를 실시하였다.

- 1) network analyzer를 사용하여 주파수별 RFID 기술의 이론적 인식성능을 측정하였다.
- 2) 주파수별 RFID 기술의 정확한 인식성능을 도출하기 위하여, 주변 물체 및 환경에 영향을 받는 RF(radio frequency)의 특성을 고려하여, 이와 같은 영향이 없는 무반사실에서 인식성능 테스트를 실시하였다. 이 테스트는 실제 커튼월 조달 및 설치과정에 RFID 적용 시 인식성능 및 인식성능 감소에 영향을 미치는 요인 도출을 위해 수행되었다.
- 3) 마지막으로 현장 적용에 따른 각 RFID 기술별 인식성능 테스트를 실시하였다. 테스트는 커튼월 생산 공장과 커튼월 시공 현장 두 곳에서 실시하였다. 커튼월 생산 공장에서 팔렛(pallet)에 커튼월 유닛이 상차된 상태와 커튼월 시공 현장에서 커튼월이 설치된 상태로 나누어 실시되었다. 이는 실제 RFID 적용에 따른 인식성능 테스트와 1), 2)의 테스트를 통해 도출된 데이터와의 비교를 통해 RFID 기술 적용에 따른 인식성능 변화 및 영향 요인 도출을 목적으로 실시하였다.

마지막 단계로 세 단계에 걸친 테스트를 비교·분석하여, 커튼월 구성 주요 자재인 알루미늄과 유리에 RFID 기술 적용 시, 인식성능에 영향을 미치는 요인을 도출하고, RFID 기술별 인식성능의 다양성을 증명하였다. 이를 바탕으로 커튼월의 조달 및

설치 관리를 위한 RFID 기술별 인식성능 개선을 위한 고려 요소를 제시하였다.

2. 예비적 고찰

2.1 건설산업에서의 RFID 연구 현황

최근, 많은 국가에서 건설 산업의 RFID 기술적용에 관한 연구 및 개발이 활발히 수행되고 있다. Jaselskis (1995)는 콘크리트의 운송, 양중, 추적에 관한 개념적인 RFID 시스템을 제시하였으며, Furlani and Pfeffer (2000)는 현장에서 건설 자재를 추적(tracking)할 수 있는 Comp-TRAK 시스템을 개발하였다. Comp-TRAK은 철골 자재들의 추적과 관리를 3D laser scanner, 바코드와 RFID 기술을 혼용하여 사용할 수 있는 시스템이며, 현장테스트를 통하여 적용성을 검증하였다.

자재 설치 및 추적과 관련해서는, Akinci et al. (2004)가 precast concrete를 활용하여 공급 사슬 및 자재 설치에 있어서의 RFID 기술 활용방안에 관한 연구를 수행하였으며, precast concrete의 운송 정보 및 현장내 저장정보를 상시 얻을 수 있는 시스템을 구현하고 테스트를 수행하였다.

Jaselskis and El-Misalami (2003)는 플랜트 공사현장에서 pipe hanger와 pipe supports의 추적 및 관리에 수동형 RFID 기술을 이용하여 파일럿 테스트를 수행하였으며, 테스트 결과 수인치 거리의 근접지역에 안테나(antenna)를 가져가야 태그가 인식되는 등의 여러 가지 기술적인 문제점들이 발생하였다.

Shaw Fabricators와 Fluor Corporation은 FIATECH의 Smart Chips 프로젝트의 일환으로 플랜트 공사에서 많이 사용되는 pipe spools, hangers와 supporters를 대상으로 능동형 RFID(active RFID) 기술을 활용한 테스트를 실시하였다. 이 테스트를 통해 건설현장에서 능동형 태그의 기술적인 인식거리와 조달과 관련된 정보의 추적 가능성을 검증하였다(Song 외 2004, 2005).

2003년 이후, 국내 건설 산업에서 노무관리 및 레미콘 타설 관리에 RFID 기술이 적용되었다. 또한 RFID와 4D CAD를 활용한 물류관리 시스템과 품질, 물류 및 진도관리와 연계된 RFID 기반의 물류관리시스템이 개발되었다(Chin 2005). 이 두 시스템은 실제 프로젝트 현장에서 수행되었으며, 자재와 주변 환경에 따른 RFID 기술의 인식 성능 검증을 위한 본 연구의 동기가 되었다.

2.2 RFID 기술 분석

RFID는 태그에 저장된 데이터를 무선주파수(radio frequency)를 이용하여 리더(reader)에서 자동으로 인식하는 기술이다. 이는 크게 정보를 저장하는 태그, 정보를 전달하는 안테나 및 태그에 저장된 정보를 읽는 리더로 구성된다. 태그는 데이터 전달방식에 따라 리더에 의해 발생된 유도 자기장(magnetic field)으로 데이터를 전달하는 수동형 방식(passive type)과 태그 자체의 전원을 이용하여 스스로 데이터를 전달하는 능동형 방식(active type)으로 구분된다(Finkenzeller 2002).

주파수대역에 따라 125-134kHz, 13.56MHz, 433MHz, 868-960MHz, 2.45GHz로 크게 구분되며, 125-134kHz와 13.56MHz 대역은 리더에서 발생된 자기장에 의한 전자유도방식(electromagnetic induction)을 사용하기 때문에 인식거리가 짧은 반면, 868-960MHz 대역은 리더의 안테나에서 발생된 전파(microwave)를 사용하기 때문에 인식거리가 상대적으로 길다(Watanabe 외 2004).

이중 433MHz와 2.45GHz를 제외한 세 영역의 주파수 대역에 대한 사례 연구가 83%를 차지한다 (TechEx 2005). 따라서 본 연구에서는 산업 전반에서 보편적으로 사용되어지고 있는 125-134kHz, 13.56MHz, 868-960MHz 대역의 수동형 방식을 적용 RFID 기술로 선정하였다.

3. RFID 기술 적용을 위한 고려요소

3.1 RFID 기술 적용을 위한 부착 가능 위치

최근 초고층 건물에서 경량화, 공업화 제품 사용 및 현장시공의 자동화 등의 이유로 커튼월의 사용이 두드러지게 증가하고 있다. 커튼월은 알루미늄, 철재, 유리, precast(PC) 등의 재료를 사용하여 창, 마감재, 부속품 등의 벽 구성부재를 공장에서 제조하여 현장에서는 볼트 또는 이와 유사한 접합재료를 이용하여 설치하는 외벽을 말한다.

커튼월은 사용 재료에 따라 금속, 비금속(PC) 커튼월로 구분되며, 조립방식에 따라 stick system, semi-unit system과 unit system으로 구분된다. 이 중 최근 국내 초고층 건물에 대부분 unit system 커튼월이 적용되고 있으며, 주요 구성 자재는 알루미늄과 유리이다. 따라서 RFID의 커튼월 적용 시, 고려되어야 할 주요 재질은 알루미늄과 유리인 것으로 파악되었다.

다음으로 커튼월 제조공장과 커튼월 시공현장에서 요구되는

태그의 부착위치 및 최소 인식거리를 파악하였다.

RFID 개발 전문가와 건설현장 관리자와의 워크숍을 통해 태그 부착 시 고려사항은 다음과 같음이 밝혀졌다. 1) 커튼월 물류 프로세스 상에서 작업 간섭이 발생하지 않아야 하고, 2) 태그 부착 및 육안 확인과 인식작업이 용이해야 하며, 3) 물류관리 프로세스 상 의도하지 않은 태그 탈락이 발생하지 않아야 하는 것으로 파악되었다. 이를 바탕으로 도출된 태그 부착 가능 위치는 그림 1과 같이 내측 커튼월 프레임 측면과 내측 유리보양지 윗면으로 파악되었다.

또한, 그림 1에서 파악된 위치에 태그를 부착하여 인식할 경우 요구되는 최소 인식거리를 파악하기 위해 현장 작업자와의 인터뷰 및 테스트를 실시하였다. 그 결과 그림 2와 같이 커튼월 부재가 조립 완성된 이후 일반적으로 2-3개의 유닛이 팔렛에 상차 후, 비닐에 의해 포장되어 공장출고, 운반, 현장입고 및 양중이

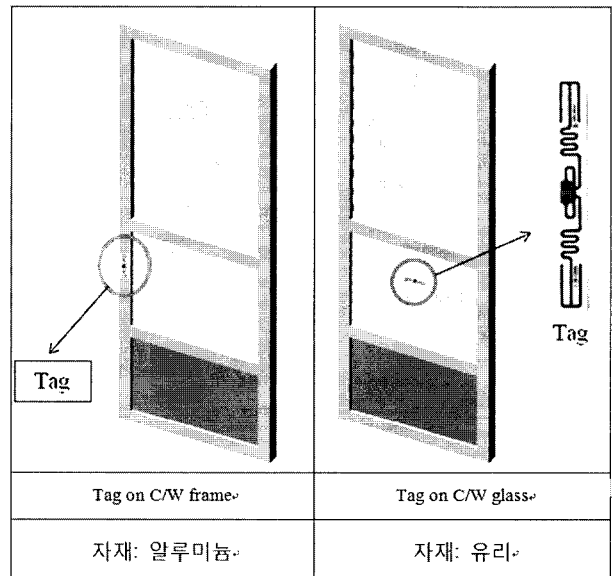


그림 1. 태그 부착 위치

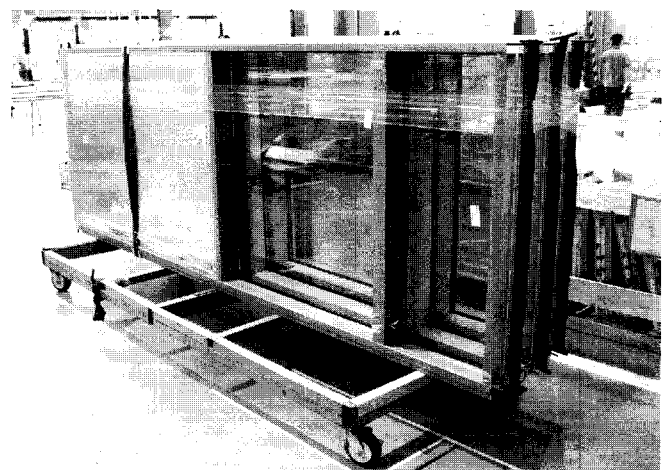


그림 2. 커튼월 Packing 상태

이루어지기 때문에 리더와 태그 간 최소거리가 5cm 이상인 커튼월 유닛이 발생했다.

3.2 RFID 인식성능의 영향 요인

RFID 기술 동향 분석 결과, RFID 인식성능 저하를 방지하기 위해서는 태그 부착 시, 태그 안테나 구부러짐을 방지할 수 있는 하우징 또는 부착위치 선정이 필요하며(Zhou 2004), 금속면에 태그 부착할 경우 전자기파(electromagnetic wave)가 반사되는 것으로 인한 인식성능 저하(Ukkonen 2004)에 대한 고려가 필요하였다. 태그를 커튼월에 부착할 경우, 태그 안테나 구부러짐에 의한 인식성능 저하는 발생하지 않는다. 그러나 알루미늄 재질인 커튼월 프레임에 태그 부착 시, 태그와 금속표면으로부터 이격 또는 전자기파의 반사를 차단할 수 있는 차단제의 삽입이 필요한 것으로 분석되었다(Ukkonen 2004). 특히 134kHz 이하 주파수 대역은 장파(long wave)로 전파가 굴절하여 금속 표면에서도 인식되는 반면, 13.56MHz의 경우 HF(high frequency)는 통과할 수 있으며, 금속에 의한 자기장(magnetic field)의 흡수를 방지할 수 있는 페라이트(ferrite)를 태그와 금속표면 사이에 부착하여 금속표면에서 인식성능을 확보할 수 있는 것으로 파악되었다(Watanabe et al. 2004). 그러나 868-960MHz의 UHF(ultra high frequency)대역 경우는 금속에 의한 전자기파 반사(electromagnetic wave reflection)가 발생하기 때문에 금속 태그(metal tag)와 같은 특수 태그의 적용이 필요하였다.

능동형 RFID 시스템의 경우, 온도변화에 의한 배터리 성능저하로 인식성능 감소가 발생하지만(Goodrum 2005), 수동형 RFID 시스템의 경우는 -196℃~125℃ 범위 안에서 인식성능 변화가 발생하지 않는다(RFID Journal 2005). 그러므로 본 연구에서 온도에 대한 고려는 하지 않았다.

RFID 인식성능 분석을 위해 본 연구에서는, 1) 알루미늄과 유리 재질에 태그를 부착할 경우 RFID 인식성능 변화를 측정하였고, 2) 알루미늄에 의한 RFID 인식성능 저하의 최소화 방안을 도출하기 위해 태그 뒷면에 다른 두께의 페라이트를 부착하여, 두께에 따른 인식성능 테스트를 실시하였으며, 3) 다양한 인식 각도에 따른 인식성능 테스트를 실시하였다.

4. RFID 기술 적용을 위한 인식성능 테스트

4.1 RFID 이론적 인식성능 측정

RFID의 인식거리는 주파수대역(frequency range)에 영향을

받는다(Chen&Thomas 2001, Villard et al. 2002). 무반사실 및 현장에서의 RFID 인식 성능 비교를 위해 network analyzer를 사용하여 반사계수 및 주파수 특성 분석을 통해 다양한 주파수 대역별 RFID 기술의 이론적 인식 성능을 측정하였다.

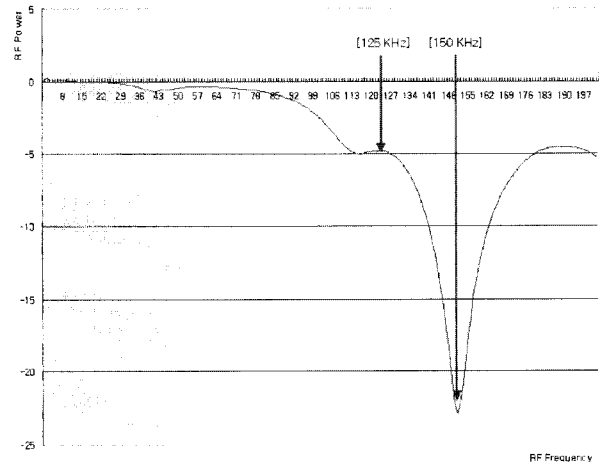


그림 3. 125 kHz RFID의 인식 범위

그 결과, 125kHz 리더의 경우 제품 스펙과는 달리 150kHz 대역으로 맞춰져있기 때문에 태그 인식효율이 크게 떨어지는 것으로 파악되었다(그림 3). LF대역 태그의 경우 인식거리가 짧으며, PCB (Printed Circuit Board)를 이용한 roll to roll 방식으로 일관성 있는 생산이 가능한 HF, UHF대역과는 달리, 그림 4와 같이 코일 형태로 안테나가 제작되기 때문에 제품 간 인식성능의 차이가 발생할 수 있다(ECC report 7 2002, Watanabe 외 2004).

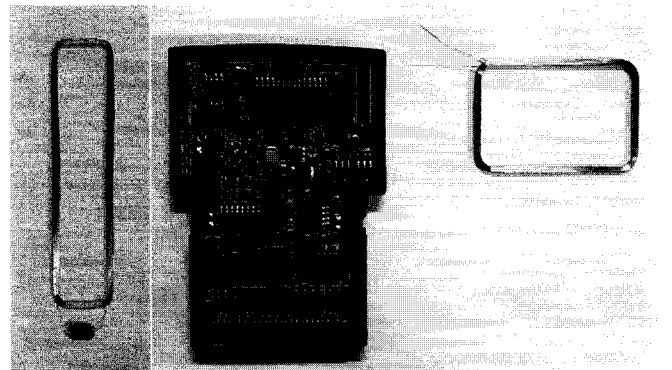


그림 4. 125 kHz RFID 리더 및 안테나

RFID 태그의 인식 거리는 주파수(frequency)가 높을수록, 동일 주파수의 경우 RFID 안테나의 크기가 클수록, RF Power가 높을수록 길어지는 것을 알 수 있다(그림 5).

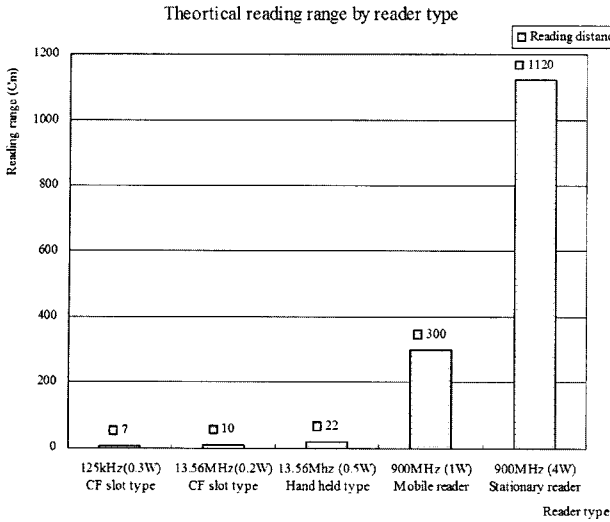


그림 5. 리더 종류별 이론적인 인식거리

4.2 무반사실 테스트

RFID 주파수 및 리더 종류에 따른 정확한 인식성능 측정을 위해 무반사실 테스트를 실시하였다(그림 6).

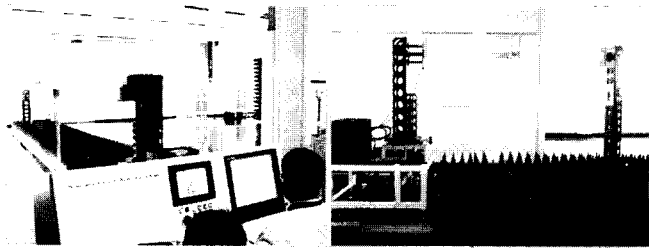


그림 6. 무반사실(Anechoic Chamber)

테스트 당시의 시장성을 고려하여 125kHz(ISO 18000-2), 13.56MHz(ISO 18000-3) 및 900MHz(ISO 18000-6B와 EPC(Electronic Product Code) Class 1을 대상으로 테스트를 실시하였다. 종이 재질의 경우 유전율이 가장 낮기 때문에 (Sahin 2002), 커튼월의 주요 구성요소인 유리 와 알루미늄 재질에서의 RFID 인식성능 변화 정도를 비교하기 위한 기준 태그 부착 재질로 선정하였다.

종이면에 태그를 부착하여 인식거리를 측정한 결과, 125kHz 이동형 리더(CF slot type)의 경우 최대 인식범위는 5.5cm로 이론적 인식거리 7cm 대비 21%의 감소하였다. 그러나 13.56MHz CF slot type 이동형 리더의 경우는 이론적 인식거리와 동일하였으나, hand held type 이동형 리더의 경우는 10%의 감소가 나타났다. 900MHz 대역의 경우, 이동형 리더로 인식성능을 측정한 결과 ISO 18000-6B 태그의 경우 최대인식거리 120cm로 이론적 인식거리 300cm 대비 60% 감소, EPC Class 1 규격 태

그의 경우 129cm로 57%의 인식성능 감소가 나타났다. 고정형 리더의 경우 ISO 18000-6B 태그는 12%, EPC Class 1 규격의 경우는 25%의 인식성능 감소를 보였다. 이 처럼 실제 RFID 기술 적용 시, 13.56MHz를 제외하고 10%에서 많게는 60%의 인식성능 감소가 발생할 수 있다.

유리면에 태그를 부착하여 인식거리를 측정한 결과, 125kHz 이동형 리더(CF slot type)의 경우 인식거리는 5cm로 종이에 부착한 경우에 비해 10%가 감소하였으며, 13.56MHz의 경우 두 가지 이동형 리더(hand held와 CF slot type) 모두 15% 감소를 보여, CF slot type은 8.5cm, hand held type은 17cm의 최대 인식거리를 나타내었다. 그러나 900MHz 이동형 리더의 경우, ISO 1800-6B 태그의 경우 51%, EPC Class 1 태그의 경우 35%의 감소를 보였고, 고정형 리더의 경우 각각 71%와 64%의 인식거리 감소가 있었다. 이는 UHF 리더의 경우 LF, HF 리더에 비해 유리면에서의 전파 반사로 인한 인식거리 감소율이 크기 때문인 것으로 나타났다.

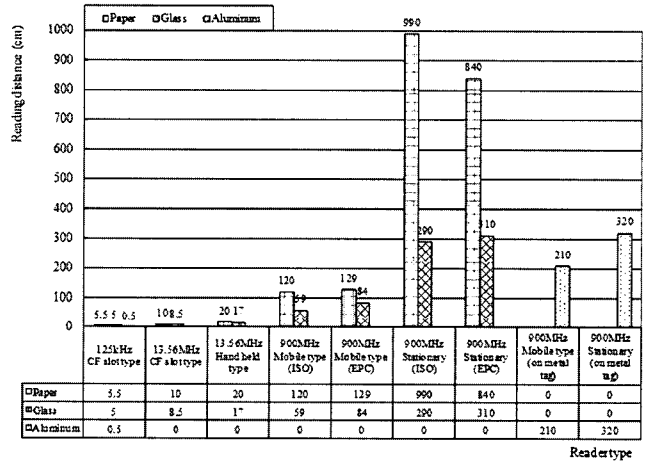


그림 7. 무반사실 인식성능 테스트 결과

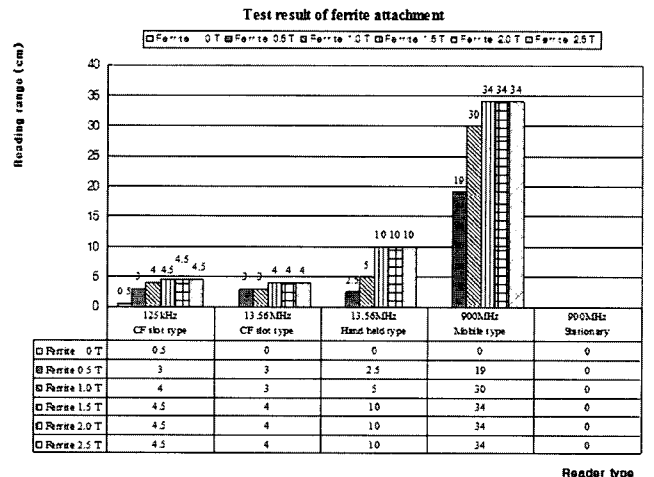


그림 8. 페라이트 부착한 RFID의 알루미늄에서의 인식성능

알루미늄 재질에 태그를 부착한 경우는 장파대를사용하기 때문에 금속에서 인식 가능한 125kHz 이동형 리더(CF slot type)의 경우만 인식이 가능하였으며, 13.56MHz와 900MHz의 경우는 알루미늄에 의한 전자기파(electromagnetic wave)의 반사로 인해 인식이 되지 않았다.

알루미늄 재질에 RFID 태그를 부착한 경우 발생하는 인식성능의 감소 또는 상실 현상을 최소화하기 위해, 금속으로 인해 발생하는 전자기파의 반사를 효과적으로 방지하는 페라이트를 0.5mm 단위로 두께 변화를 주어 태그 뒷면에 부착하여 인식거리 변화를 측정하였다(그림 8). 1.5mm 이상 페라이트를 부착하는 경우는 인식거리에 변화가 없었으며, 900MHz 고정형 리더를 제외한 태그 뒷면에 1.5mm 페라이트 부착한 경우 인식성능이 향상되었다. 각 리더 종류별로 살펴보면, 종이면 부착 대비 125kHz 이동형 리더(CF slot type) 82%, 13.56MHz 이동형 리더(CF slot type) 40%, 이동형 리더(hand held type)의 경우 50%, 900MHz 이동형 리더 26%의 인식성능을 확보할 수 있는

것으로 나타났다. 900MHz 고정형 리더의 경우 RF Power가 높고, 방출되는 전자기파의 면적이 넓어 알루미늄 재질에 의한 반사가 크므로, 페라이트 부착에 따른 인식성능 향상 효과가 없는 것으로 파악되었다(Watanabe 외 2004).

또한, 대부분의 900MHz RFID 태그는 그림 9에서와 같이 직사각형의 모습으로 생산되어지기 때문에, 태그 부착방향에 따라 전파의 수신율이 변화할 수 있다(SAIC 2004). 따라서 태그를 수직 또는 수평으로 부착함에 따른 인식성능 테스트를 통해 인식성능 향상을 위한 부착방향을 도출하였으며, 테스트 결과 그림 10에서와 같이 가로방향 태그 부착 시, 세로방향으로 태그를 부착하였을 경우 대비 12%~91%의 인식거리가 감소가 발생하는 것으로 파악되었다. 그러므로 900MHz 태그 부착 시 인식성능 향상을 위해 세로방향으로 부착 할 필요가 있으나, 125kHz나 13.56MHz 태그의 경우는 영향을 받지 않았다.

4.3 필드 테스트

무반사실 테스트를 통해 도출된 인식성능 결과를 토대로 현장 적용에 따른 인식성능 차이 도출을 위해 필드 테스트를 실시하

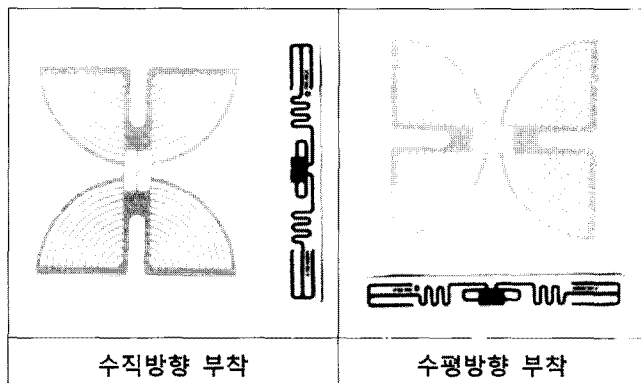


그림 9. RFID 태그의 부착 방향

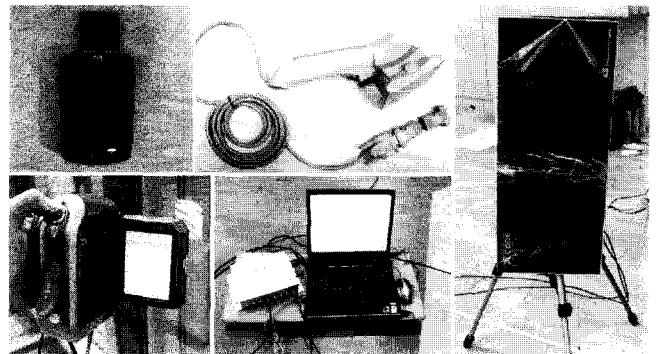


그림 11. RFID 리더

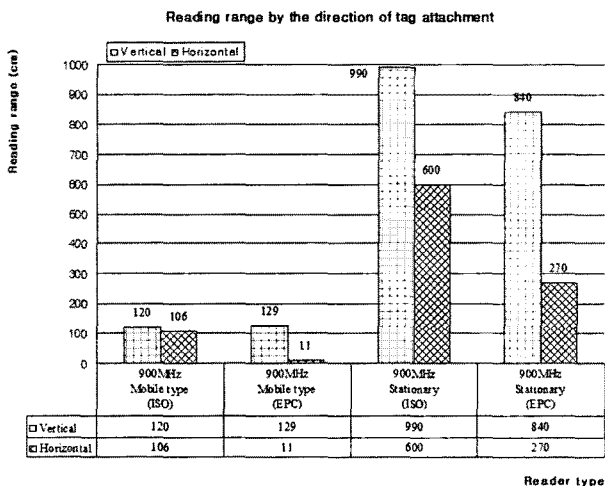


그림 10. 태그 부착방향에 따른 인식성능

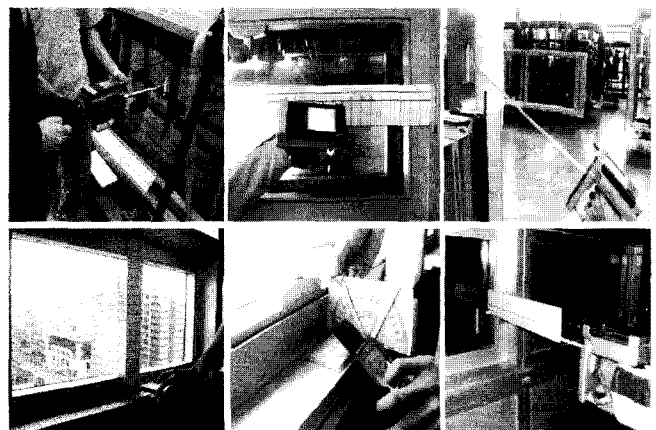


그림 12. 커튼월 공장 및 건설 현장 테스트

였다. 주파수별 다양한 종류의 리더(그림 11)로 테스트를 수행하였으며, 현장 테스트는 커튼월 공장에서 커튼월 유닛이 팔렛에 상차된 상태와 커튼월 시공현장에서 커튼월이 설치된 상태, 두 곳을 대상으로 실시하였다(그림 12). 시공현장은 지상 42층 규모의 철골 구조물로 테스트 당시 지상 8~9층까지 커튼월 공사가 진행되었으며, 현장 테스트는 지상 8층에서 실시되었다.

1) RFID 태그는 인식성능이 뛰어난 세로방향으로 부착하였고, 2) 커튼월 프레임에 태그를 부착하는 경우, 125kHz와 13.56MHz 태그 뒷면에 1.5mm 페라이트를 부착하였으며, 3) 900MHz 대역의 경우 ISO 18000-6B 규격보다 인식성능이 뛰어난 EPC Class 1 규격을 대상으로 테스트를 실시하였다. 또한 4) 900MHz 고정형 리더의 인식성능 테스트는 생산 공장과 설치현장의 기온, 습도, 전파 장애 요소 등 주변 환경 요인이 비슷하여 인식성능 테스트는 커튼월 생산 공장에서만 실시하였으나, 모바일 리더의 경우 커튼월 생산 공장 및 설치 현장 모두에서 인식성능 테스트를 실시하였다.

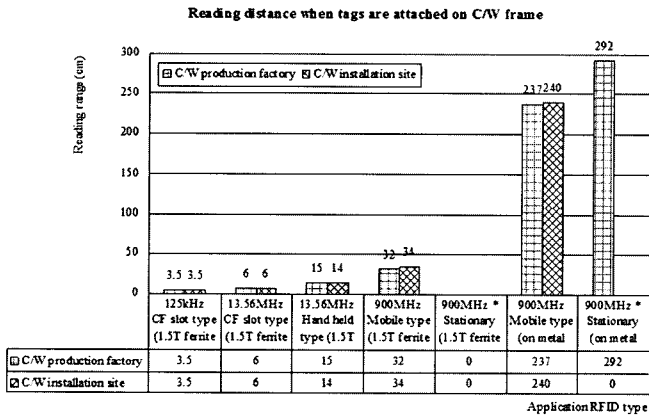


그림 13. 커튼월 frame에 태그 부착시 인식 거리

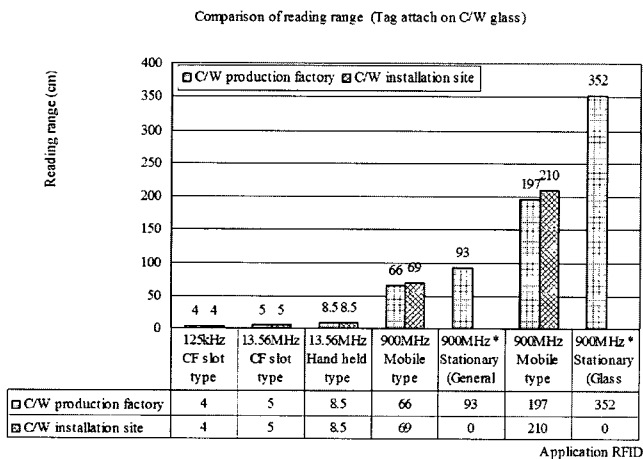


그림 14. 커튼월 glass에 태그 부착시 인식 거리

커튼월 생산 공장과 설치 현장에서의 인식성능 테스트 결과 그림 13, 14에서 보는 것과 같이 RFID 기술별 인식성능의 차이는 거의 발생하지 않았다.

또한, 커튼월 공장에서 팔렛에 적재된 커튼월 unit의 인식성능 테스트를 통해 그림 1에서와 같이 커튼월의 프레임과 유리면에 태그를 부착할 경우 부착위치에 따른 인식거리의 변위를 측정하기 위해 실시되었다.

4.3.1 커튼월 유리에 RFID 태그 부착

커튼월 유리면에 태그 부착 시, 125kHz 이동형 리더(CF slot type)의 인식거리는 4cm로 무반사실의 대비 1cm 감소하였으나, 13.56MHz의 경우는 8.5cm로 무반사실 결과와 동일하였다. 900MHz 이동형 리더의 인식거리는 66cm로 84cm 대비 21%, 900MHz 고정형 리더는 93cm로 310cm 대비 70% 감소하는 것으로 파악되었다. 또한, 커튼월 유리 뒷면에 태그를 부착할 경우 인식하지 못하였다(그림 15).

125kHz, 13.56MHz와는 달리 900MHz 대역의 RFID 기술은 리더와 태그간의 통신에 있어 전자기파의 간섭이 발생하여 태그의 인식이 불가능하거나 인식성능이 저하되는 것을 알 수 있었다. 이는 커튼월 유리의 경우 이중유리로 되어있으며, 유리사이의 중공층 및 자외선 차단을 위한 보호필름을 유리면에 코팅하기 때문에 이 같은 반사현상이 발생하는 것으로 파악되었다.

또한, 커튼월은 일반적으로 특수 강화유리로 되어 있기 때문에, 900MHz의 인식성능은 125kHz나 13.56MHz와는 다르게 상당히 좋지 않은 것으로 나타났다. 이에 따라 유리 전용 태그(glass tag)를 통해 이중 강화유리로 인한 인식성능 감소를 보완할 수 있는지 테스트를 실시하였다. 그림 16와 같이, 테스트 결

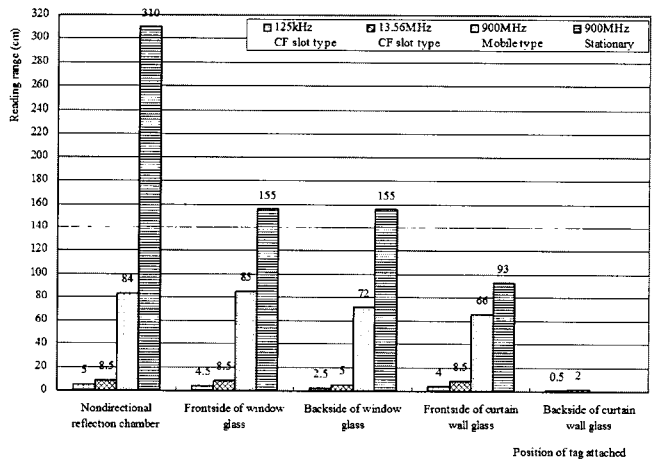


그림 15. 단일유리와 이중유리의 인식거리 비교

과 900MHz 이동형 리더의 인식거리는 라벨 태그(label tag) 부착 시 최대 66cm인 반면, 유리 전용 태그 부착 시 인식거리가 197cm로 증가하였다. 이는 무반사실에서 라벨 태그의 인식거리 84cm보다도 증가한 것이다. 또한 900MHz 고정형 리더를 사용한 경우, 일반 라벨 태그 부착 시 최대인식거리 93cm보다 약 378% 증가한 352cm로 인식거리가 증가하였다. 이 또한 무반사실 테스트 결과보다 42cm 증가하였다.

그러나 라벨 태그와 마찬가지로 커튼월 반대쪽 유리에 유리 전용 태그를 부착하였을 경우 자외선 차단을 위한 코팅 물질로 인해 전자기파 반사를 일으켜 인식이 되지 않았다.

따라서 커튼월 유리면에 라벨 태그나 유리 전용 태그를 리더의 맞은편에 부착할 경우 인식을 못하였으며, 커튼월이 팔렛에 적재되는 방향(태그가 부착된 방향)에 따라 인식을 못하는 경우가 발생할 수 있는 것이다. 그리고 커튼월 유닛 사이에 적재된 커튼월 유리면에 부착된 태그 또한 인식하지 못할 수 있다.

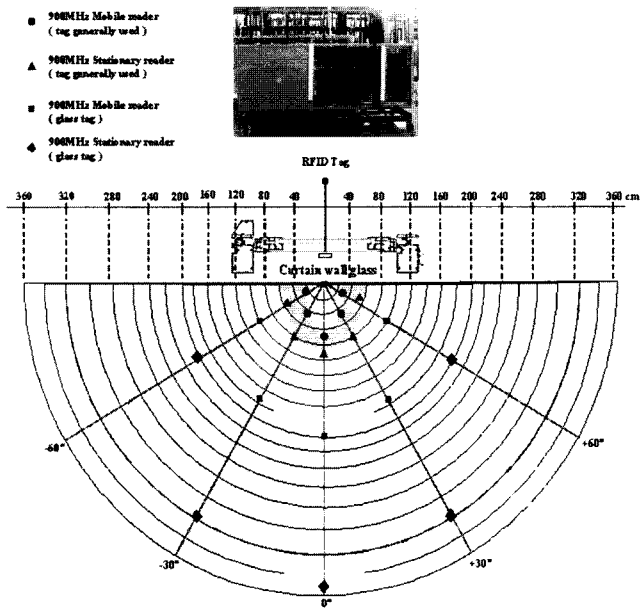


그림 16. 900MHz label 태그와 glass 태그의 인식거리

4.3.2 커튼월 프레임에 RFID 태그 부착

다음으로 커튼월 프레임에 태그를 부착하여 RFID 기술별 인식성능 테스트를 실시하였다. 무반사실 테스트를 통해 최대의 인식성능을 보여준 1.5mm 페라이트를 태그 뒷면에 부착하여 테스트를 실시하였으며, 900MHz 고정형 리더의 경우 무반사실 테스트에서 인식성능이 측정되지 않았기 때문에 건설 현장 테스트는 실시하지 않았다.

테스트 결과 125kHz 이동형 리더(CF slot type)는 인식각도와 상관없이 3.5cm의 인식거리를 나타내었다. 13.56MHz의 경우 CF slot type의 이동형 리더와 hand held type 각각 직선 인식거리는 6cm와 15cm이었으나, 60° 각도에서 인식거리는 각각 3.5cm와 6cm로 약40% 감소하였다. 900MHz 이동형 리더는 직선 인식거리 32cm로, 무반사실 최대 인식거리 34cm에 비해 2cm 감소하였고, 60° 각도에서는 14cm로 125kHz와 13.56MHz에 비해 다소 큰 57%의 인식거리 감소를 보였다. 이는 900MHz의 경우 직진성이 강한 UHF를 사용하기 때문이다. 900MHz의 고정형 리더의 경우는 125kHz와 13.56MHz에 비해 긴 인식거리를 가졌다. 그러나 900MHz의 고정형과 이동형 리더 모두 무반사실에서 측정된 인식거리 129cm와 990cm에 비

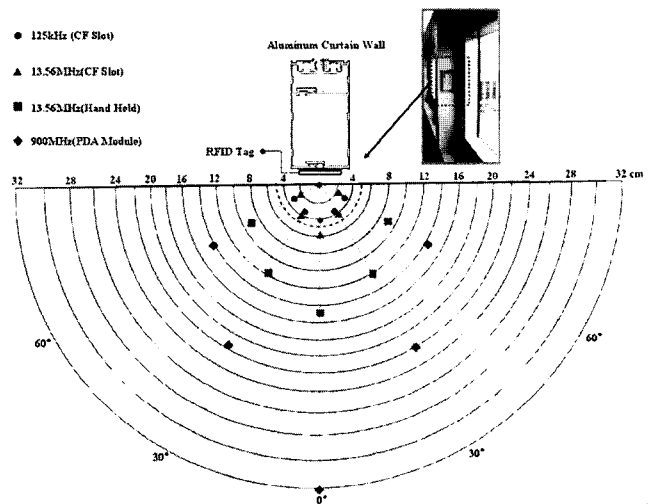


그림 17. 커튼월 프레임에 1.5T 페라이트 부착한 태그의 인식거리

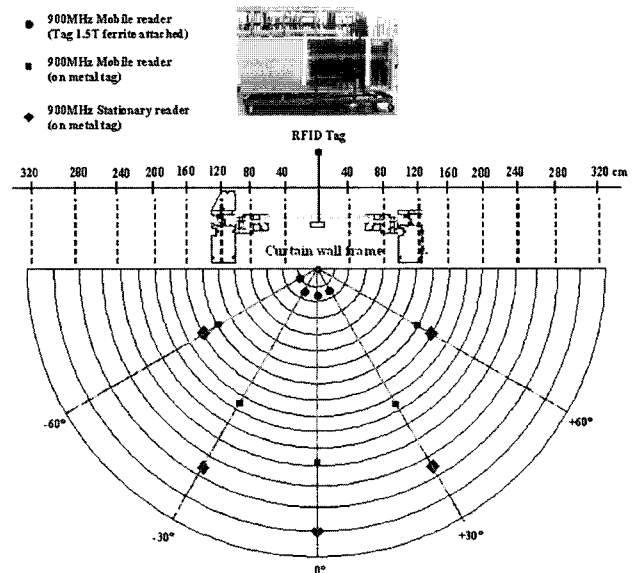


그림 18. 900MHz 1.5T 페라이트 부착 태그와 금속 태그의 인식거리

표 1. RFID 인식성능 테스트 결과

			125kHz (ISO 18000-2)	13.56MHz (ISO 18000-3)		900MHz (EPC Class 1)	
			이동형 리더 (CF slot type)	이동형 리더 (CF slot)	이동형 리더 (Hand held)	이동형 리더	고정형 리더
이론적 인식거리			7	10	22	300	1200
무반사실 인식거리 테스트	종이	label 태그	5.5	10	20	129	840
	유리	label 태그	5	8.5	17	84	310
	금속	label 태그	0.5	인식불가	인식불가	인식불가	인식불가
		0.5mm 페라이트 부착 태그	3	3	2.5	19	-
		1mm 페라이트 부착 태그	4	3	5	30	-
	1.5mm 페라이트 부착 태그	4.5	4	10	34	-	
커튼월 제작 공장 및 설치현장 인식거리 테스트	커튼월 유리	label 태그	4	5	8.5	66(21%)	93(70%)
		glass 태그	-	-	-	197(298%)	352(378%)
	커튼월 프레임	1.5mm 페라이트 부착 태그	3.5	6(71%) (1)	15(82%) (2)	32	인식불가
		금속 태그	-	-	-	237(282%)	292(94%)

해 인식거리가 크게 감소하였다.

다음으로 금속표면에서 전자기장의 반사를 최소화시킨 금속 태그의 인식성능 테스트를 수행하였다.

테스트 결과는 그림 18에서와 같이 이동형 리더의 직선 인식거리는 237cm로 무반사실에서 인식거리 210cm보다 길게 측정되었다. 이는 Watanabe (2004)가 지적한 바와 같이, 무반사실에서는 리더에서 출력된 전자기파의 반사가 없으나, 실제 현장의 경우 바닥면에 의한 반사로 인식거리가 증가되는 것으로 판단된다.

900MHz 고정형 리더와 금속 태그의 인식거리 테스트 결과, 직선 인식거리는 292cm로 측정되었다. 그러나 60°의 인식각도에서 인식거리는 이동형 리더 137cm, 고정형 리더 155cm로 약 43~47% 감소되었다. 이는 1.5mm 페라이트를 태그 뒷면에 부착한 경우의 인식거리 감소율 57%보다 우수하였다. 따라서 커튼월 프레임에 RFID 태그를 부착할 경우 금속 태그를 사용하는 것이 더욱 효과적인 것으로 입증되었다.

그림 16, 17과 18에서 알 수 있는 것 같이 인식성능은 인식각도에 영향을 받는다. 커튼월 자재의 경우 제조업과 달리 획일화된 방향과 동선으로 이동되지 않는다. 따라서 RFID 리더 설치시 직선 방향의 인식성능만 고려한다면, 인식하지 못하는 태그가 발생할 수 있을 것이다.

5. 결론

다양한 RFID 기술별 이론적 인식거리를 바탕으로, 무반사실, 커튼월 생산 공장 및 커튼월이 설치된 건설 현장에서 인식 성능 테스트가 수행되었다. 또한 테스트를 통해 커튼월 유리면과 프레임에 태그를 부착할 경우 인식 성능 저하를 최소화할 수 있는 방안을 도출하였다.

본 연구의 결과는 다음 표 1과 같다. 일반적으로 현장에서의

인식거리는 감소하는 결과를 보였으나, 표 1의 (1), (2)와 같이 현장에서 13.56MHz 이동형 리더(hand held type)를 사용하여 커튼월 프레임에 부착된 태그를 인식 하였을 경우, 커튼월 프레임에 의한 자기장(magnetic field)의 증폭에 의해 인식거리가 증가하는 경우도 발생하였다.

또한, 커튼월에 RFID 기술을 적용할 경우 다음과 같은 사항에 대한 고려가 필요한 것으로 파악되었다.

- 1) 커튼월 유리면에 태그를 부착할 시, 이론적인 인식거리를 기준으로 125kHz 경우 20%, 13.56MHz 경우 41~50%, 900MHz 경우 22~70%의 인식거리 감소가 발생하였다. 또한 125kHz의 경우 인식거리가 조달 및 설치시 현장 최소 요구 인식거리 5cm 이하로 현실적으로 커튼월 물류관리 적용이 권장되지 않는 것으로 나타났다.
- 2) 커튼월 프레임에 태그를 부착 시, 125kHz는 인식 가능하였으나 13.56MHz와 900MHz 태그를 적용할 경우 인식이 되지 않았다. 이와 같은 인식성능 감소는 1.5mm 페라이트를 태그 뒷면에 부착하여 최소화할 수 있었다. 그러므로 커튼월 프레임에 태그 부착 시, 13.56MHz와 900MHz의 경우 태그 뒷면에 페라이트를 부착하여 적용하는 방안이 필요하였으나, 900MHz 고정형 리더를 사용할 경우는 태그를 여전히 인식할 수 없다. 왜냐하면 일반적으로 RF Power가 높을수록 인식거리가 증가하나, 900MHz의 경우 적정 이상, 예를 들어 100W, RF Power를 증가시키는 경우 커튼월 금속면에서의 지나친 전자기파의 반사를 초래하여 인식을 오히려 감소시킬 수 있다.
- 3) 커튼월 유리면에 태그 부착 시, 리더를 기준으로 유리 뒷면에 태그를 부착할 경우 태그를 인식할 수 없었다. 따라서 커튼월 유리면에 태그를 부착할 경우에는 태그의 위치를 확인할 수 있더라도 반드시 리더로 직접 인식 가능한 방향에 태그를 부착하여야 한다.

- 4) RFID 인식성능은 커튼월의 주요 구성 재질인 유리와 알루미늄에 의해 저하된다. 900MHz의 경우, glass 태그를 적용하면 이론적인 인식거리 대비 114%, 금속 태그를 적용하면 94%의 인식거리를 확보할 수 있었다.
- 5) RFID는 인식각도에 따라 인식성능이 영향을 받았다. 60° 각도에서 인식 할 경우 직선 인식거리 대비 약50~60% 인식거리 감소가 발생했다.
- 6) 추가적으로, RFID 기반 커튼월 물류관리에 있어 13.56kHz와 900MHz RFID 기술의 요구사항은 만족스러웠다. 그리고 최종적으로 경제적인 면을 고려하여 13.56MHz RFID 기술이 선택되었다. 의사결정 단계에서, 비록 RFID 태그의 단가는 13.56 MHz와 900MHz가 거의 비슷하였으나, 900MHz RFID 리더의 가격이 13.56MHz에 비하여 5배정도 고가였다.

본 연구는 RFID 기술 적용을 통한 효과적인 커튼월 물류관리를 위한 인식 성능 테스트를 수행하였다. 향후 연구에서 다양한 건설 자재와 새로운 RFID 기술을 대상으로 인식 성능 연구를 통해 건설 환경에 적합한 RFID 기술 도출 및 적용방안에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

1. 최철호 (2004). "건설분야에서의 RFID 시스템 활용사례 및 발전방향" 학술발표대회논문집, 제 5회, 한국건설관리학회, pp. 140-144
2. B. Akinci, E. Ergen, C. Haas, C. Caldas, J. Song, C.R. Wood, J. Wadehul (2004) "Field Trials of RFID Technology for Tracking Fabricated Pipe", FIATECH Smart Chips Report, FIATECH, Austin, TX
3. B. Akinci, M. Patton, E. Ergen (2002) Utilizing radio frequency identification on precast concrete components, supplier's perspective, Proc. ISARC '02, IAARC, Washington, DC, pp. 381-386.
4. E. Ergen, B. Akinci, R.Sacks (2003) "Formalization and automation of effective tracking and locating of precast components in a storage yard", Proc. 9th EuropIA International Conference, EIA9: E-Activities and Intelligent Support in Design and the Built Environment, Europa, Istanbul, pp. 31-37.
5. E. J. Jaselskis, M. R. Anderson, C. T. Jahren, Y. Rodriguez, S. Njos (1995) "Radio-Frequency Identification Application in construction Industry", Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 121(2), pp. 189-196.
6. E. J. Jaselskis, T. El-Misalami (2003), "Implementing Radio Frequency Identification in the Construction Process" Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 129(6)
7. E. Sahin, Y. Dallery, S. Gershwin (2002), "Performance Evaluation of a Traceability System - An Application to the Radio Frequency Identification Technology", IEEE SMC TAIR2
8. J. Collins (2005) "Labs Use tags for Cold Storage", RFID Journal
9. J. Song, C. Haas, C. Caldas, E. Ergen, B. Akinci, C.R. Wood, J. Wadehul (2004) "Field Trials of RFID Technology for Tracking Fabricated Pipe, Phase II", FIATECH Smart Chips Project Report, FIATECH, Austin, TX
10. J. Song, C. T. Hass, C. Caldas, E. Ergen, B. Akinci (2005), "Automating the task of tracking the delivery and receipt of fabricated pipe spools in industrial projects", Automation in Construction, pp. 166-177
11. J. Siden, P. Jonsson, T. Olsson, G. Wang (2001), "Performance Degradation of RFID System due to the Distortion in RFID tag Antenna", 2001 11th International Conference "Microwave & Telecommunication Technology" (CriMiCo'2001) 10-14 September, Sevastopol, Crimea, Ukraine, IEEE Catalog No. 01EX487
12. K.M. Furlani, L.E. Pfeffer (2000) "Automated tracking of structural steel members at the construction site", Proc. ISARC '00, IAARC, Taipei, pp. 1201-1206.
13. K. Finkensteller (2002), RFID Handbook, Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, Munich/FRG
14. K. Watanabe, H. Aono, S. Ozaki, K. Yoshimura, K. Saito, K. Kudo, A. Watanabe (2004) "Ubiquitous Radio Frequency Identification", Nikkei Business Publications, Inc.
15. L. Ukkonen, D. Engels, L. Sydanheimo, M. Kivikoski (2004), "Planar Wire-Type Inverted-F

- RFID tag Antenna Mountable on Metallic Objects", IEEE, pp.101-104
17. L. Ukkonen, L. Sydanheimo, M. Kivikoski (2004), "Patch Antenna with EBG Ground Plane and Two-Layer Substrate for Passive RFID of Metallic Objects", IEEE, pp.93-96
18. M. Schneider (2003)"Radio Frequency Identification(RFID) Technology and its Applications in the Commercial Construction Industry", University of Kentucky Civil Engineering Department Master's of Science in Civil Engineering Examination Report
19. P. M. Goodrum, M. A. McLaren, A. Durfee (2005), "The application of active radio frequency identification technology for tool tracking on construction job sites", Automation in Construction
20. SAIC Inc. (2004), "Final Report of the Passive Radio Frequency Identification (RFID) Project at the Fleet and Industrial Supply Center, Norfolk, Virginia, Ocean Terminal", ver. 8.0
21. S. Chin (2005), "An RFID-Based Supply Chain Management System for Curtain Walls", CITC-III "Advancing Engineering, Management and Technology" 15-17, September 2005, Athens
22. T. M. Ruff, P.E, Drew Hession-Kunz (2004) "Application of Radio Frequency Identification Systems to Collision Avoidance in Metal/Nonmetal Mines", IEEE Vol. 37, pp.2190-2195
24. W. L. Stutzman, Gary A. Thiele (1998), "ANTENNA THEORY AND DESIGN_Second edition", JOHN WILEY & SONS, INC
25. X. Zhou, G. Wang (2004), "Study on the influence of curving of tag antennas on performance of RFID system", IEEE, pp.54-57

논문제출일: 2007.10.03

심사완료일: 2007.12.04

Abstract

The radio frequency identification (RFID) technology allows various forms of applications in many industries including construction. and in Korea, RFID has already been adopted for the use in daily labor control, logistics monitoring of ready-mix concrete, supply chain management of long-lead items, such as structural steel members and curtain walls. Even though RFID tags have varied reading performances depending on various factors including material of tracking target and surrounding environment, there is no information on how much the reading performance of an RFID tag can be achieved against a specific construction components or materials. Therefore, the objective of this research is to identify the actual reading performance of various RFID technologies and to derive a method to maximize the reading performance for the use in the supply chain management process of curtain wall components.

Keywords : RFID(Radio Frequency IDentification), Curtain Wall, Aluminum, Glass, Reading Performance of RFID