

논문 2008-45CI-6-25

능동형 RFID 태그에서 자체 시험 모드를 순차적으로 적용한 적합성 평가방법

(Conformance Evaluation Method by Successively Applying
Self-Running Test Mode in Active RFID Tag)

송태승*, 김태연*, 유준**

(Taeseung Song, Taeyeon Kim, and Joon Lyou)

요약

항만물류분야에 적용되는 능동형 RFID 태그는 화물 컨테이너에 부착되어 여러 나라의 항만에 설치된 판독기로부터 인식이 가능해야 한다. 따라서 RFID 적합성 시험방법에 관한 국제표준인 ISO/IEC 18047-7에서 능동형 RFID 판독기와 태그간의 에어 인터페이스 평가방법을 제시하고 있다. 하지만 기존 국제표준에 따라 짧은 시간동안 이루어지는 통신 신호를 감지하여 평가하기에는 측정시간 및 결과의 불확실성이 높아 정확한 평가에 대한 어려움이 존재한다. 본 논문에서는 측정시간을 단축하고, 불확실성을 개선할 수 있도록 능동형 RFID 태그에 '자체 시험 모드' 환경을 갖도록 하는 새로운 평가방법을 제안하고, 그것을 실제 태그에 적용함으로써 기존 방법보다 측정 시간 및 불확도가 개선됨을 검증하였다.

Abstract

Active RFID tags are currently used in harbor transportation; they are attached to cargo containers for sea transportation. They are designed to be able to be identified by RFID readers installed at ports in many countries. The international standard ISO/IEC 18047-7 regarding RFID conformance test methods suggests the use of air interface evaluation between an RFID reader and a tag. However, the test method suggested by the international standard is intended to detect a radio signal over only a very short period. Outcomes were uncertain, making it difficult to evaluate the system accurately. This paper proposes a new evaluation method by incorporating a 'self-running test mode' environment into the RFID tags in order to reduce the test time and increase testing accuracy. We found that the application of the suggested method to actual tags improves measurement time and uncertainty over that obtained using existing methods.

Keywords : active RFID, self-running test mode, conformance test, measurement uncertainty, reader, tag

I. 서론

RFID(Radio Frequency Identification)는 무선을 통해 식품, 동물, 사물 등 다양한 개체의 정보를 관리할 수 있는 차세대 인식 기술이다. 이러한 RFID 기술은 크게 사물의 정보를 포함하고 있는 태그와 그 태그의 정보를

읽어낼 수 있는 판독기로 구성되어 있다. 여기서 태그는 전원으로서 배터리의 사용여부에 따라 배터리가 요구되는 능동형과 배터리가 요구되지 않는 수동형으로 분류된다.

능동형 RFID 시스템은 현재 공항이나 항만의 팔레트, 컨테이너 관리, 공장의 부품 관리 등의 자산추적 관리 시스템 등에 적용하고 있으며, 원거리에서의 사물 인식 및 추적에 주로 활용되고 있다. 미국은 이미 걸프전을 비롯하여 이라크 전쟁 등에서 컨테이너를 이용한 군수 물자 수송에 능동형 RFID 기술을 많이 활용하였

* 학생회원, ** 평생회원-교신저자, 충남대학교
전자공학과

(Dept. of Electronics Engineering, Chungnam
National University)

접수일자: 2008년9월5일, 수정완료일: 2008년11월6일

다. 또한 9.11 테러 이후 미국향으로 들어오는 모든 컨테이너의 안전 검사를 위해 능동형 RFID 기술을 활용한 전자봉인(eSeal)을 의무적으로 장착하도록 하는 것을 조만간 시행할 예정이다^[1-3].

항만물류분야에서 컨테이너 관리에 주로 사용되는 능동형 RFID 기술은 컨테이너 내용물에 관한 정보를 담고 있는 데이터 태그와 컨테이너의 봉인 여부를 관리하는 전자봉인으로 응용된다. 여기서 데이터 태그는 국제표준인 ISO/IEC 18000-7을 통하여 UHF(433 MHz) 대역을 사용하는 것으로 규정하였으며, 전자봉인의 주파수도 UHF(433 MHz)로 결정되었으나 2007년 5월 국제표준화기구 기술위원회(ISO TC104) 회의에서 UHF(433 MHz)와 M/W(2.45 GHz) 대역을 동시에 사용하도록 표준을 수정함에 따라 이 표준을 만족하는 제품이 개발되고 있다. UHF 대역의 경우 ISO/IEC 18000-7의 무선인터페이스를 기본적으로 따르며, M/W 대역은 RTLS 표준인 ISO/IEC 24730-2의 무선인터페이스 규정을 준수하도록 하고 있다^[4].

위와 같이 항만물류분야에 적용되고 있는 433 MHz 능동형 RFID 태그는 화물 컨테이너에 부착되어 선박을 통해 이동되며, 여러 나라의 항만에 설치된 판독기로부터 인식이 가능해야 한다. 하지만, 최근 여러 업체에서 개발된 판독기와 태그 간에 상호 호환되지 않아 서로 간에 인식이 불가능한 사례가 보고되고 있다^[5]. 이런 현상은 항만에서 판독기가 여러 태그를 인식하지 못해 컨테이너 통관의 지연이 발생될 뿐만 아니라 RFID 시스템 전체의 효율을 떨어뜨리게 된다. 따라서 국제표준에서는 433 MHz 능동형 RFID 시스템의 에어 인터페이스 통신 프로토콜 및 그 평가방법을 제시하고 있다^[6-7].

본 논문에서는 국제표준에서 제시하는 능동형 RFID 판독기와 태그간의 에어 인터페이스 평가방법을 보완하여, 측정시간을 단축하고 불확실성을 개선할 수 있는 실용적인 평가방법을 제안하였다. 제안하는 내용은 태그에 '자체 시험 모드'를 갖도록 하고, 순차적으로 적용하는 방법으로 실제 제품에 탑재하여 주기적으로 응답 신호를 발생시켜 쉽게 감지하고 분석함으로써 측정의 효율을 보다 향상시킬 수 있는 방안임을 검증하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 433 MHz 대역의 능동형 RFID 시스템의 에어 인터페이스 통신 규약 및 적합성 평가방법을 알아보고 기존 평가방법의 문제점을 살펴본다. III장에서는 제안하는 평가방법의 절차 및 내용을 설명하고, IV장에서 알고리즘이 탑재된 실제 태그에 대한 평가를 통해 측정불확도를 계산하고,

기존 방법과 비교 분석한다. 그리고 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 능동형 RFID 시스템

능동형 RFID 시스템은 태그(tag), 판독기(reader or interrogator), 호스트(host) 등으로 구성될 수 있다. 하나의 판독기는 다수의 태그를 인식하며, 판독기는 네트워크를 통하여 호스트와 연동되어 응용 서비스를 제공하게 된다. 능동형 RFID 시스템은 일반적으로 긴 인식거리를 가지는 특징이 있으며, 실시간 위치 추적이나 컨테이너 관리 등에 주로 활용된다. 또한 능동형 RFID 시스템은 태그에 전원이 공급됨에 따라 판독기의 필요전력을 줄이고 판독기-태그간의 인식거리를 멀리 할 수 있는 장점이 있다. 하지만 태그에 전원 공급 장치를 제공해야 하기 때문에 태그의 수명이 제한적이며, 수동형 태그에 비해 고가라는 단점을 지니게 된다.

1. 에어 인터페이스 통신 프로토콜

항만물류분야에 적용되는 능동형 RFID 판독기와 태그 사이의 RF 통신 연결은 표 1과 같은 특성을 가지고 있는 UHF 협대역 주파수를 사용한다. 그림 1과 같이 인식 가능한 통신 범위에 존재하는 모든 태그를 기동상태로 전환하기 위하여 판독기는 30 kHz의 부반송파 형태로 최소 2.5초 동안 기동(wakeup) 신호를 전송한다. 그러면 기동 신호를 감지한 모든 태그는 판독기로부터의 명령을 기다리는 준비 상태로 들어간다. 판독기와 태그 사이의 통신은 판독기가 항상 통신을 개시하고 이후 태그의 응답을 경청하는 주-종(master-slave) 형태이다. 복수의 태그로부터 응답이 전송될 경우 '태그 호출 및 충돌 회피 중재' 단계에서 기술되는 호출 알고리즘에 의해 통신하는 태그의 순서가 결정된다^[8].

표 1. 판독기와 태그 사이의 RF 통신 연결
Table 1. Communication link between interrogator and tag.

변수	값
반송 주파수	433.92 MHz ± 20 ppm
변조방식	FSK
주파수 편이	± 50 kHz
LOW 부호	fc + 50 kHz
HIGH 부호	fc - 50 kHz
변조율	27.7 kHz
기동 신호	30 kHz

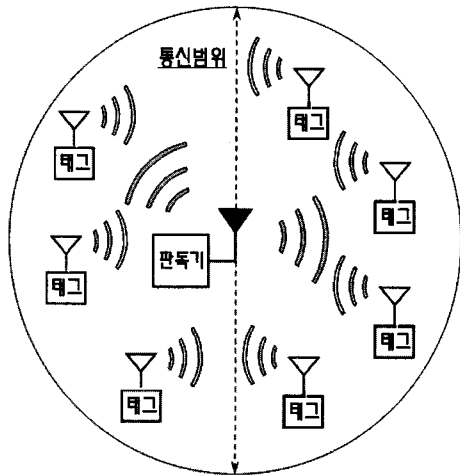


그림 1. 능동형 RFID 시스템에서 판독기와 태그 구성
Fig. 1. Structure of interrogator and tag in the active RFID system.

판독기와 태그 사이의 데이터는 패킷(packet) 단위로 전송되며, 하나의 패킷은 프리앰블(preamble), 데이터 바이트, 그리고 종료 부분인 논리적 LOW 구간으로 구성된다. 프리앰블의 끝과 첫 번째 데이터 바이트의 시작은 프리앰블의 마지막 두 펄스로써 표시된다. 프리앰블의 마지막 두 펄스는 또한 데이터 패킷의 발생원(태그, 판독기)을 가리킨다. 데이터 바이트는 맨체스터 코드 형태로 송신되며, 전송 순서는 최상위 바이트(MSB, most significant 바이트)가 처음에 놓이고, 바이트 내에서는 최하위 비트가 먼저 송신된다. 그림 2는 하나의 패킷인 프리앰블과 첫 번째 데이터 바이트의 데이터 통신 시간 정보를 나타내고 있다.

프리앰블은 30 μ s LOW, 30 μ s HIGH로 이루어진 60 μ s 주기의 20개의 펄스로 구성되어 있으며, 여기에 마지막으로 통신 방향을 가리키는 2개의 동기 펄스가 이어진다. 동기 펄스는 태그에서 판독기로 가는 경우는 42 μ s의 HIGH, 54 μ s의 LOW이고, 판독기에서 태그로

MSB		명령어 형식에 따른 선택 필드			명령어 형식에 따른 선택 필드		LSB
명령어 접두어	명령어 형식	소유자 ID	태그 ID	판독기 ID	명령어 코드	파라미터	CRC
1 byte (0x31)	1 byte (8bit)	3byte	4byte	2byte	1byte	Nbyte	2byte

그림 3. 태그 방향 판독기의 메시지 형태
Fig. 3. Interrogator to tag message format.

가는 경우는 54 μ s의 HIGH, 54 μ s의 LOW로 이루어져 있다. 데이터 바이트는 8개의 데이터 비트와 하나의 정지 비트로 구성되며 맨체스터 코드 형태를 갖는다. 비트 구간은 36 μ s이며, 총 바이트 구간은 324 μ s이다. 비트 시간의 중앙에서 나타나는 하강 에지(edge)는 '0' 비트를 의미하며, 상승 에지는 '1' 비트를 의미한다. 정지 비트는 하나의 '0' 비트로 부호화된다. 마지막으로 CRC 검사 합계(checksum)는 프리앰블을 제외한 모든 데이터 바이트에 걸쳐서 국제전신전화자문위원회(CCITT) 다항식(x16+x12+x5+1)에 근거하여 16 비트 값으로 계산되며, 초기값은 모두 '1'(FFFF)이며, CRC는 두 개의 바이트로 데이터에 추가된다. 각 패킷에 대해 CRC 바이트 이후 36 μ s의 연속 논리적 LOW 신호가 마지막에 전송된다^[9].

판독기와 태그 간의 통신에 사용되는 명령어 형식 영역은 현재 데이터 패킷 내에 태그 ID와 소유자 ID 영역의 존재를 나타내기 위해 사용된다. 판독기가 태그 ID를 지정함으로써 하나의 태그를 호출하려면 명령어 형식 영역의 첫 번째 비트는 '접대점 통신'을 나타내도록 '1'로 설정되어야 한다. 하지만 판독기가 무선 통신 범위 내에 있는 모든 태그를 호출하기 원할 경우에는 명령어 형식 영역의 첫 번째 비트는 '다중 통신' 메시지임을 나타내도록 '0'으로 설정되어야 한다. 다중 통신 메시지는 태그 ID 영역을 사용하지 않으므로 태그 ID는 데이터 패킷에서 생략된다. 명령어 형식 영역의 비트 '0'

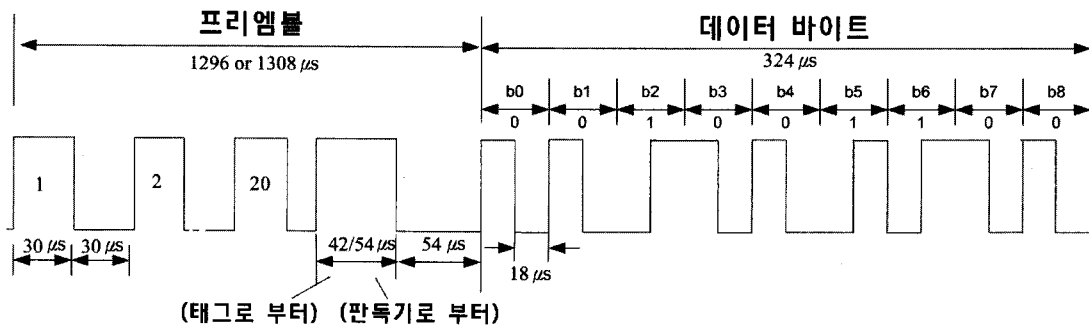


그림 2. 데이터 통신 시간 정보
Fig. 2. Data communication timing.

은 소유자 ID가 태그 방향 판독기 메시지에 포함되는지 여부를 나타낸다. 소유자 ID가 메시지에 포함되면 판독기의 무선 통신 범위 내의 동일 소유자 ID에 속한 모든 태그는 응답하여야 하고, 다른 모든 태그는 그 메시지를 무시해야 한다. 그림 3에 태그 방향 판독기의 메시지 형태를 나타냈다.

2. 능동형 RFID 적합성 평가방법

판독기와 태그의 송수신 RF 특성과 시간 정보 특성이 국제표준인 ISO/IEC 18000-7에 적합한가를 검증하기 위해 에어 인터페이스 표준 적합성 평가가 필요하다. 또한 적합성 평가를 수행하기 위해서는 에뮬레이터와 같은 표준신호발생기, 스펙트럼 분석기 및 오실로스코프 등의 RF 시험장비가 필요하며, 전자파 무반사실에서 시험을 수행하여야 한다. 능동형 RFID 판독기 및 태그의 RF 표준적합성 시험 환경은 그림 4와 같다^[10].

판독기에 대한 RF 표준적합성 시험에서는 스펙트럼 분석기와 오실로스코프를 사용하여 시험대상장치(DUT; device under test)인 판독기의 송신 RF 특성을 검증한다. 그리고 태그 에뮬레이터를 사용하여 판독기의 수신 RF 특성과 시간 정보를 검증한다. 태그에 대한 RF 표준적합성 시험에서는 판독기 에뮬레이터에서 표준 명령 신호를 송출시켜, 시험대상인 태그로부터 응답하는 신호의 RF 특성 및 시간 정보가 국제표준에 적합한가를 검증한다. 판독기와 태그의 RF 표준적합성을 검증하기 위한 구체적인 평가항목 및 내용은 표 2에서 보는 바와 같다^[7].

송신 출력 측정 및 적합성 평가를 위해 일반적인 무선 통신 시스템(셀룰러, 무선랜 등)의 경우 안테나 단자의 출력에 RF 케이블을 직접 시험장비에 연결하는 전도(conducted)된 형태의 측정이 이루어진다. 능동형

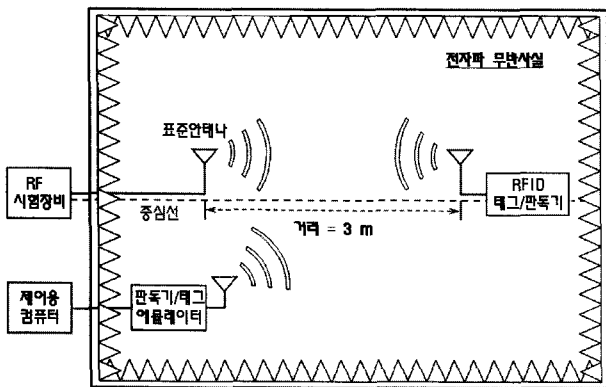


그림 4. RF 표준적합성 시험 환경
Fig. 4. Environment of RF standard conformance test.

표 2. RF 표준적합성 평가항목 및 내용 요약
Table 2. Summary of RF standard conformance test.

평가항목	평가내용 및 기준
송신 출력	• 판독기/태그 측정값 : 5.6 dBm 이하
동작주파수 정확도	• 초기 동작 주파수 : 433.92 MHz • 동작주파수 정확도 : ± 20 ppm
FSK 변조 주파수 편이	• 판독기 측정값 : 50 kHz ± 5.0 kHz • 태그 측정값 : 40 ~ 55 kHz
기동(Wakeup) 신호	• 판독기 주파수 : 30 kHz ± 1.0 kHz • 기동 신호 지속시간 : 2.5 ~ 2.7 초
메시지 프리앰블 형태와 시간정보	• 프리앰블 : 30 μs low, 30 μs high로 이루어진 60 μs 주기의 20개 펄스 • 동기 펄스(마지막 21번째 펄스) - 판독기 → 태그 : 54 μs high, 54 μs low - 태그 → 판독기 : 42 μs high, 54 μs low
데이터 코딩 및 참조 시간정보	• 맨체스터 코딩 검증 : 18 μs duration in time at data bit '1111' - Logic one : 18 μs low, 18 μs high - Logic zero : 18 μs high, 18 μs low

RFID 태그의 경우, 하우징 및 안테나 매칭을 통해 최적화되어 설계된 태그를 전도된 형태의 측정이 가능토록 하기 위해서는 특수하게 제작되어야 한다. 하지만 RFID 태그의 소형화 및 저가화를 위해 외부 추가 단자 설치의 어려움이 존재하므로 무선을 이용하여 방사(radiated)된 형태의 측정이 필수적이다.

그런데 무선을 이용한 방사된 형태의 측정에서 FSK 변조 방식을 갖는 태그의 신호가 판독기 신호와 구별되기 위해서는 시간축과 주파수축을 동시에 관찰할 수 있어야 한다. 그리고 능동형 RFID 태그의 무선 특성을 측정할 때 판독기의 신호에 대해 수 ms의 짧은 통신신호인 태그의 백스캐터(backscatter) 신호를 취득하기 위해 많은 노력과 시간을 소모하게 된다. 따라서 기존 국제표준에 따라 짧은 시간동안 이루어지는 통신 신호를 감지하여 평가하기에는 측정시간 및 결과의 불확실성이 높아 정확한 평가에 대한 어려움이 존재한다.

III. 제안하는 평가방법

기존 능동형 RFID의 적합성 평가방법에 의하면 판독기와 태그 사이에 한 번 이루어지는 기동 신호, 프리앰블 신호 및 데이터의 시간축과 주파수축 정보를 RF 시험장비로 획득하기 위해 많은 시간과 노력이 필요하였다. 따라서 본 논문에서는 그림 3의 메시지 형태에 '자체 시험 모드'라는 명령어 코드를 정의하고, 판독기와

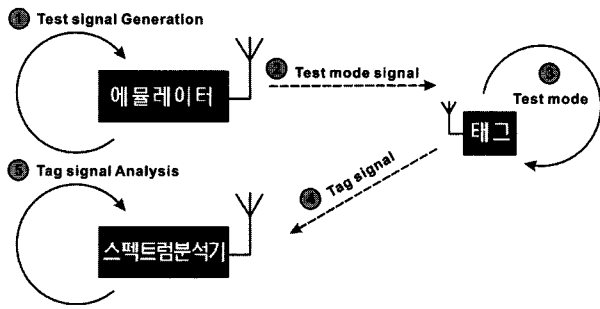


그림 5. 제안하는 방법에 따른 RF 적합성 시험절차
 Fig. 5. RF Conformance testing procedure according to proposed method.

명령어 코드	명령어 변수				
자체시험모드 (0x9F)	신호선택 (1 byte)	반복횟수 (1 byte)	유지시간 (1 byte)	간격 (1 byte)	(태그 ID) (4 byte)

그림 6. 자체 시험 모드의 메시지 형태
 Fig. 6. Message format of self-running test mode.

태그가 이 모드를 순차적으로 적용하여 기동 신호와 프리엠블 신호가 일정 시간동안 반복되도록 하여 측정의 효율 및 정확성을 높이고자 하였다.

측정에 관한 기본 개념은 그림 5와 같이 표준신호 발생기인 에플레이터로 부터 기동 신호를 송신하여 태그를 깨운 후, '자체 시험 모드'라는 명령어 코드 가진 신호를 태그로 보낸다. 이때 자체 시험 모드 명령어 코드 값은 현재 ISO/IEC 18000-7 표준에 할당되어 있지 않은 '0x9F'를 사용한다.

태그는 자체 시험 모드로 전환되어 에플레이터에서의 명령어 내용대로 신호 선택, 반복 횟수, 유지 시간 및 간격으로 응답을 하게 된다. 그 응답은 스펙트럼 분석기, 오실로스코프 등의 RF 시험장비에서 분석되어 표준 적합성을 평가하게 된다. 그림 6은 제안하는 '자체 시험 모드' 명령어 코드의 메시지 형태를 나타낸다. 특히 점대점 통신일 경우만 4 바이트의 태그 ID가 송신된다.

한편 그림 7은 제안하는 적합성 평가방법을 설명하기 위한 순서도를 나타낸다. 평가를 위해 에플레이터에서의 신호 송신은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 먼저 '다중 통신' 신호로 통신범위 내의 모든 태그를 깨우고, 다음으로 태그로부터 응답되는 태그 ID를 이용하여 순차적인 '점대점 통신' 으로 각각의 태그에 자체 시험 모드 명령어를 전송한다. 이때 명령어에는 연속신호(CW; continuous wave), LOW와 HIGH 신호가 30/30 μ s 또는 18/18 μ s로 이루어진 신호를 선택하는 '신호 선택' 변수와 선택된 신호를 몇 회 반복할 것인가를 나타내는

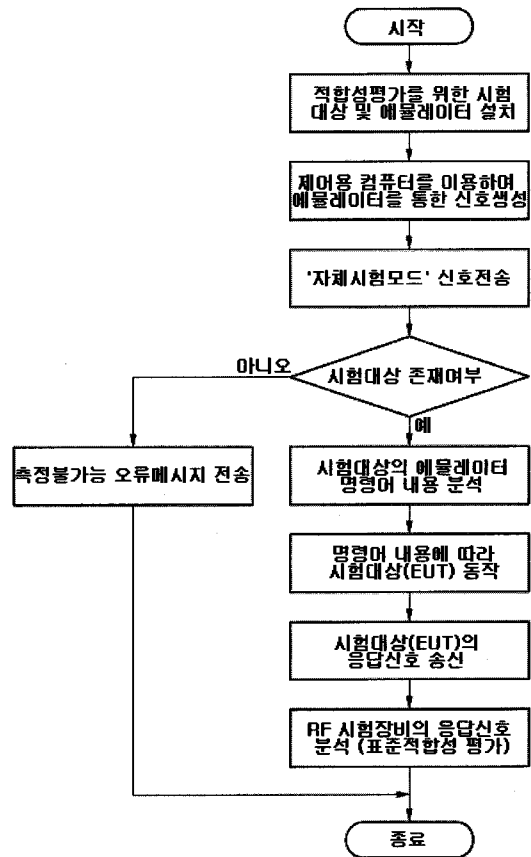


그림 7. 제안하는 적합성 평가방법의 순서도
 Fig. 7. Flowchart of proposed conformance test method.

'반복 횟수', 그리고 신호의 '유지 시간' 및 반복되는 신호의 '간격'을 나타내는 변수가 포함된다. 그리고 마지막으로 시험대상 태그의 ID가 16진수로 4 바이트 추가된다.

IV. 실험 및 측정불확도 검증

1. 능동형 RFID 태그 적합성 평가

본 논문에서 제안하는 평가방법의 성능을 객관적으로 검증하기 위해 국내에서 개발하여 판매하고 있는 두 회사의 실제 능동형 RFID 태그를 선정하여 그림 8과 같은 전자파 무반사실에서 적합성 평가를 수행하였다. 두 회사 각각의 태그와 에플레이터에 '자체 시험 모드' 명령어 코드를 내장시키고, 자체 시험 모드를 갖지 않는 일반태그와 자체 시험 모드를 갖는 변경태그에 대해 적합성 평가의 대표 항목인 송신 출력, 동작주파수 정확도 및 FSK 변조 주파수 편이시험을 각각 20회 반복하였다. 그리고 이들 평가를 위해 획득하여야 하는 신호의 취득시간을 기록하고 표 3에 평균 취득시간을 정리하였다.



(a) A사 태그의 적합성 평가 장면



(b) B사 태그의 적합성 평가 장면

그림 8. 능동형 RFID 태그의 표준적합성 시험
Fig. 8. Standard conformance test of active RFID tags.

표 3. 데이터 평균 취득시간 비교
Table 3. Comparison of average time for data acquisition.

태그 순번	기동 신호		프리앰블 신호		데이터 신호	
	일반태그	변경태그	일반태그	변경태그	일반태그	변경태그
평균 취득시간	58초	35초	361초	33초	407초	36초

일반적으로 기동(wakeup) 신호는 최소 2.5 이상 지속 되므로 스펙트럼 분석기와 같은 RF 시험장비를 이용하여 신호를 획득하는 데는 일반태그와 '자체 시험 모드'를 갖도록 변경된 태그 모두 어렵지 않다. 하지만 수 ms의 프리앰블 신호 및 수백 μ s의 데이터 신호를 일반태그에서 취득하기에는 많은 시간과 노력이 필요하다. 이에 반해 변경된 태그는 모두 30초 정도의 제어 노트북 구동시간 안에 항상 모든 신호를 취득할 수 있었다.

그림 9부터 11은 한 회사의 일반태그와 변경태그에 대해 각각 20회씩 반복 측정된 적합성 평가(송신 출력,

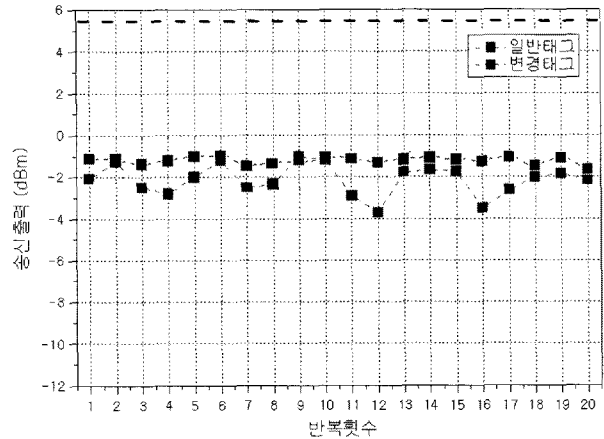


그림 9. 송신 출력 측정결과
Fig. 9. Test results of transmitting power.

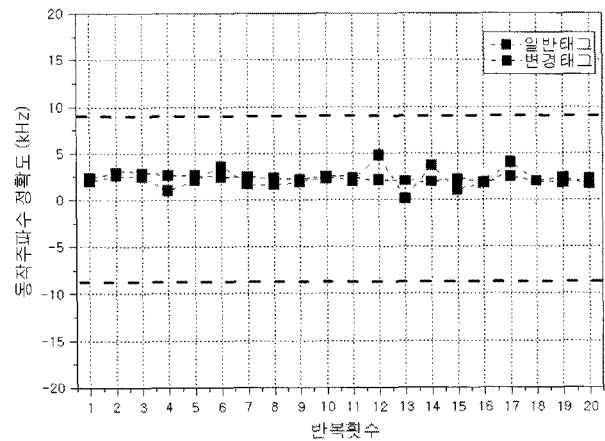


그림 10. 동작주파수 정확도 측정결과
Fig. 10. Test results of operating frequency accuracy.

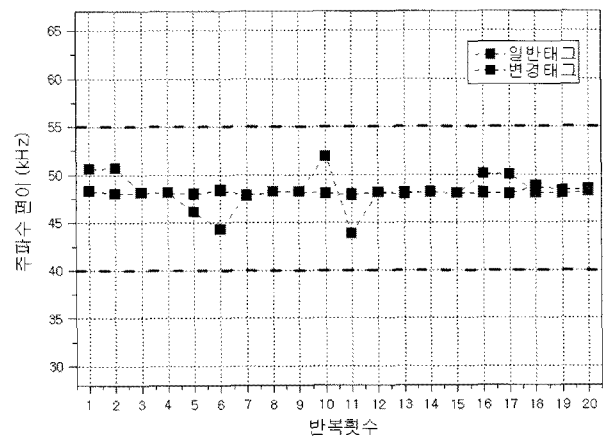


그림 11. 주파수 편이 측정결과
Fig. 11. Test results of frequency deviation.

동작주파수 정확도 및 주파수 편이)의 결과를 요약한 그래프이고, 표 4는 평가결과를 나타낸다. 시험 결과 일반태그에 비해 변경태그의 경우가 측정값의 산포가 작고 안정된 결과를 얻었다.

표 4. 표준적합성 시험 결과
Table 4. Results of standard conformance test.

반복 횟수	송신 출력 [dBm]		동작주파수 정확도 [kHz]		주파수 편이 [kHz]	
	일반태그	변경태그	일반태그	변경태그	일반태그	변경태그
1	-2.08	-1.32	1.97	2.34	50.62	48.34
2	-1.26	-1.47	2.62	2.90	50.68	48.04
3	-2.48	-1.70	2.41	2.87	48.12	48.11
4	-2.81	-1.59	0.98	2.62	48.15	48.13
5	-2.01	-1.33	2.03	2.63	46.10	48.00
6	-1.20	-1.24	3.59	2.46	44.30	48.36
7	-2.53	-1.75	1.65	2.41	47.84	47.83
8	-2.34	-1.67	1.56	2.34	48.23	48.19
9	-1.06	-1.16	1.87	2.55	48.22	48.21
10	-1.17	-1.09	2.53	2.74	51.89	48.04
11	-2.92	-1.15	2.02	2.64	43.86	47.91
12	-3.71	-1.28	4.76	2.41	48.12	48.12
13	-1.79	-1.10	0.11	2.31	47.98	48.10
14	-1.66	-1.09	3.64	2.78	48.18	48.17
15	-1.74	-1.11	1.06	2.11	48.03	48.01
16	-3.51	-1.18	1.80	2.73	50.06	48.09
17	-2.63	-1.06	3.98	2.45	50.01	47.97
18	-2.02	-1.28	1.93	2.97	48.09	48.73
19	-1.84	-1.05	1.82	2.34	48.03	48.34
20	-2.12	-1.34	2.20	2.55	48.19	48.20
최대값	-1.06	-1.05	4.76	2.97	51.89	48.73
최소값	-3.71	-1.75	0.11	2.11	43.86	47.83
평균값	-2.14	-1.30	2.23	2.56	48.24	48.14
표준편차	0.74	0.22	1.12	0.23	1.99	0.20
허용기준	5.6 dBm 이내		± 8.67 kHz 이내		40 ~ 55 kHz	

2. 측정불확도 검증

측정불확도(uncertainty)란 측정값이 알려지지 않은 상태에서 반복 측정에 의해 취득된 다수의 측정데이터의 분산(퍼짐의 정도)의 개념으로 통계적 관점으로 접근하는 것이다. 불확도를 사용하는 이유는 측정결과가 통제된 환경에서 얼마나 정확히 측정이 되었느냐를 말해주는 단적인 지표가 되고, 측정결과의 신뢰성을 나타낸다^[11]. 본 논문에서는 능동형 RFID 태그의 방사된 송신 출력의 측정결과에 대한 불확도를 산출하고 제안하



그림 12. 전체 측정시스템의 구성도
Fig. 12. Configuration of overall measurement system.

는 평가방법의 효율성을 검증하였다. 그림 12는 불확도 검증을 위한 전체 측정시스템의 모델을 나타낸다.

능동형 RFID 태그의 송신 출력(P [dBm])을 측정하기 위한 측정불확도의 수학적 모델링은 식(1)과 같다.

$$P = \delta P_{tag} + \delta F_{loss} + \delta G_{RXant} + \delta C_{loss} + \delta P_{SA} \quad (1)$$

여기서 δP_{tag} 는 태그에서 전송되는 송신 출력의 부정확도에 대한 보정(즉, 표준편차)으로서 일반태그와 변경태그 각각에 대해 표 4의 20회 측정결과인 0.74와 0.22의 값을 가진다. δF_{loss} 는 시험장의 자유공간 손실의 부정확도에 대한 보정으로 433 MHz의 동일한 표준 신호에 대해 0.10의 값을 산출하였다. 또한 δG_{RXant} 는 수신하는 표준안테나 이득의 부정확도에 대한 보정으로 본 논문에서 사용된 표준안테나 (EMCO 3121C)에 대한 교정성적서상의 1.00 dB 값을 이용하고, 직사각형 분포이므로 표준불확도는 $1.00/\sqrt{3}$ 인 0.58 dB이다. δC_{loss} 는 표준안테나와 계측기 사이의 케이블 손실의 부정확도에 대한 보정으로 433 MHz에서 케이블 손실을 반복 측정하여 0.11의 값을 산출하였다. 마지막으로 δP_{SA} 는 스펙트럼 분석기의 입력 레벨 부정확도에 대한 보정으로 사용된 스펙트럼 분석기(Agilent E4443A)의 제조사가 제시하는 불확도인 0.57 dB 값을 사용하고, 직사각형 분포를 따르므로 표준불확도는 $0.57/\sqrt{3}$ 인 0.33 dB이다. 위의 계산결과를 활용하여 일반태그를 사용한 경우의 측정과 제안하는 평가방법이 적용된 변경태그를 사용하는 경우 각각에 대한 합성표준불확도는 식(2) 및 (3)과 같다.

$$u_{e1} = \sqrt{0.74^2 + 0.10^2 + 0.58^2 + 0.11^2 + 0.33^2} \quad (2)$$

$$u_{e2} = \sqrt{0.22^2 + 0.10^2 + 0.58^2 + 0.11^2 + 0.33^2} \quad (3)$$

또한 유효자유도가 ∞ 이므로 보상계수 k 는 2를 적용하고 신뢰수준 약 95%에서 각각의 측정에 대한 확장불확도는 식(4), (5)와 같이 계산된다.

$$U_1 = k u_{e1} = 2.00 \quad (4)$$

$$U_2 = k u_{e2} = 1.44 \quad (5)$$

따라서 우리는 제안하는 평가방법을 적용한 송신 출력 측정에서 정량적으로 계산된 불확도가 0.56 dB 개선됨을 확인했다. 본 논문에서의 측정은 -1.0 dBm 이하의 소출력의 RF를 방출하는 태그에 대한 결과로 자체 시험

모드를 적용한 적합성 평가가 측정결과의 신뢰수준을 상당히 향상시킬 수 있음을 검증하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 능동형 RFID 태그의 적합성 평가를 위해 태그에 '자체 시험 모드' 환경을 갖도록 하고, 순차적으로 적용하는 실용적인 방법을 제안하였다. 이 방법에 따르면 태그는 빠른 응답신호를 주기적으로 발생시키고 측정시스템에서는 쉽게 감지하고 분석함으로써 측정의 효율을 향상시킬 수 있다. 제안하는 알고리즘은 실제 능동형 RFID 태그에 탑재되어 적합성 평가의 수행을 통해 기존 방법과 비교하였으며, 데이터 취득 평균시간이 최대 371초 향상됨을 확인하였다. 또한 정량적인 측정불확도 계산에서 제안하는 방법이 적용된 측정시스템의 경우 불확도가 0.56 dB 개선되었다. 이와 같은 결과는 많은 샘플 수에 대한 평가가 필요한 항만 물류용 능동형 RFID 태그의 적합성 평가에서 제안하는 방법이 측정시간 단축 및 결과의 신뢰성을 향상시킬 수 있는 방안임을 보여준다.

또한, 향후에는 능동형 RFID 태그 부착물질의 재질 및 구조를 고려하여 측정결과의 재현성을 확보할 수 있는 태그 및 안테나 최적의 위치를 찾는 지속적인 연구가 필요할 것이다.

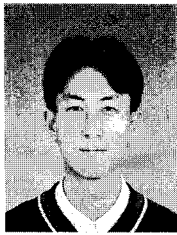
참 고 문 헌

- [1] D. M. Dobkin, *The RF in RFID, Passive UHF RFID in Practice*, Elsevier, 2008.
- [2] 강정용, "무선인식 시스템(RFID)에 적합한 알고리즘 분석 및 전파특성에 관한 연구," 전자공학회 논문지, 제44권 CI편, 제3호, 23~30쪽, 2007.
- [3] L. Chin, and C. Wu, "The Role of Electronic Container Seal (E-Seal) with RFID Technology in the Container Security Initiatives," *Proceedings of the IC on MEMS, NANO and Smart Systems*, pp. 116~120, 2004.
- [4] 최길영, 성낙선, 모희숙, 박찬원, 권성호, "RFID 기술 및 표준화 동향," 전자통신동향분석, 제22권 제3호, 29~37쪽, 2007.
- [5] 최종희, 김수엽, 이호춘, 항만물류 선진화를 위한 RFID 기술 도입 방안, 한국해양수산개발원, 2007.
- [6] ISO/IEC 18000-7, *Information technology-Radio frequency identification for item management-Part 7 : Parameters for active air interface communications at 433 MHz*, ISO/IEC, 2006.
- [7] ISO/IEC 18047-7, *Information technology-Radio frequency identification for item management-Part 7 : Parameters for active air interface communications at 433 MHz*, ISO/IEC, 2004.
- [8] W. Yoon, S. Chung, S. Lee, Y. Moon, "Design and Implementation of an Active RFID System for Fast Tag Collection," *IEEE Conference on CIT*, pp. 16~19, 2007.
- [9] International Telecommunications Union, "Code-Independent Error Control System," *The CCITT Red Book, Volume VIII, Recommendation V.41*, 1986.
- [10] 송태승, 김태연, 유준, "능동형 RFID의 표준적합성 시험용 에뮬레이터 설계 및 구현," 전자공학회 논문지, 제45권 CI편, 제5호, 201~208쪽, 2008.
- [11] R. Pape, K. Munter and T. Schrader, "Characteristics, calibration and measurement uncertainty of RF field strength meters in the frequency range up to 18 GHz," *Advances in Radio Science*, pp. 435~438, 2007.

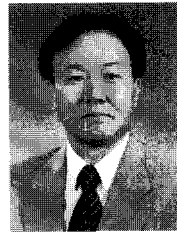
저 자 소 개



송 태 승(학생회원)
 1997년 충남대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 1999년 충남대학교 대학원
 전자공학과 석사 졸업.
 2007년 충남대학교 대학원
 전자공학과 박사 수료.
 2000년~현재 한국산업기술시험원 전자파팀
 선임연구원.
 <주관심분야 : RFID/USN, 전자파적합성(EMC)>



김 태 연(학생회원)
 2006년 충남대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 2006년~현재 충남대학교 대학원
 전자공학과 석박사과정.
 <주관심분야 : RFID/USN, 제어
 시스템, 자율이동로봇 등>



유 준(평생회원)
 1978년 서울대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 1980년 한국과학기술원 전기전자
 공학과 석사 졸업.
 1984년 한국과학기술원 전기전자
 공학과 박사 졸업.
 1984년 9월~현재 충남대학교 전기정보통신
 공학부 교수.
 1989년 2월~1990년 2월 미취건 주립대학교
 객원 교수.
 1993년12월~1994년 2월 독일 후라운호퍼 생산
 공학 및 자동화(IPA) 연구소 방문연구원.
 1997년 2월~1998년 2월 캘리포니아 주립대학교
 (데이비스) 객원교수.
 <주관심분야 : 산업공정제어, 센서신호처리, IT
 기반 로봇, 항법시스템 등>