

능동형 RFID 시스템의 표준적합성 시험용 에뮬레이터 설계

송태승*, 유준**

한국산업기술시험원*, 충남대학교 전자공학과**

Design of emulator for conformance tests of active RFID system

Taeseung Song*, Joon Lyoo**

Korea Testing Laboratory*, Chungnam National University**

Abstract - 무선방식으로 원격에서의 인식으로 정보교환을 가능하게 하는 RFID(Radio Frequency Identification) 시스템은 태그 내의 배터리 유무에 따라 수동형과 능동형으로 구분된다. 수동형 태그는 판독기로부터 받은 RF 신호를 에너지로 이용하기 때문에 인식거리가 짧으며, 가격이 싸고, 반영구적으로 사용할 수 있는 장점이 있다. 반면에, 능동형 태그는 금속재질에 취약한 수동형의 단점을 극복하는 동시에 인식거리가 길고, 인식이 좋은 장점이 있다. 따라서 항만물류나 국방 분야에서 능동형 RFID 시스템에 대한 개발이 점차 확대되고 있다. 하지만 동일한 표준으로 개발된 제품의 서로 간에 인식이 불가능한 사례가 보고되고 있으며, 국제적으로 정확한 평가방법 및 장치가 정립되지 않아 개발된 제품들 간의 상호 운용성 및 표준 적합성 평가에 대한 어려움이 존재한다. 본 논문에서는 능동형 RFID 시스템의 적합성 평가를 위한 에뮬레이터의 하드웨어 및 소프트웨어를 설계하고 제작하였다. 설계된 장치는 Matlab의 Simulink를 통한 시뮬레이션으로 성능을 분석하였고, 실제 능동형 RFID 태그의 표준적합성 평가를 통해 에뮬레이터의 적용 가능성을 검증하였다.

1. 서 론

RFID는 유통물류분야에서 상품에 관한 정보를 전자적으로 인식, 추적, 저장하는데 사용되는 자동 데이터 포착 기술로서, 태그, 판독기 및 데이터 수집 시스템으로 구성되어 있다. RFID 태그는 제품에 대한 정보 또는 데이터베이스에 저장된 정보에 상응하는 숫자로 프로그램된 작은 또는 소형화된 컴퓨터 칩이며, 제품의 내부나 표면에 부착할 수 있다. 판독기는 태그로 신호를 전송하거나 응답을 받는 호환 시스템이며, 태그로부터의 응답은 데이터 수집 시스템에 전송된다. 마지막으로 데이터 수집 시스템은 데이터 프로세스 소프트웨어를 운영하는 컴퓨터를 구성하며, 대규모 정보운영시스템과 네트워크로 연결되어 있다. 여기서 RFID 태그는 배터리의 유무에 따라 크게 수동형과 능동형으로 구분되는데, 수동형은 판독기로부터 받은 RF 신호를 에너지로 이용하기 때문에 인식거리가 짧으며, 가격이 싸고, 반영구적으로 사용할 수 있는 장점이 있다. 반면에, 능동형은 수동형에 비하여 가격이 비싸고, 태그 내부에 있는 전월부의 수명이 유한하기 때문에 태그의 수명이 유한해지는 단점이 있다. 하지만, 금속재질에 취약한 수동형 태그의 단점을 극복하는 동시에 인식거리가 긴 장점을 가지고 있다.

능동형 RFID 시스템의 경우 수동형과 다르게 개발된 제품 상호간에 호환성이 제대로 이루어지지 않아 실제로 동일한 표준으로 개발되어도, 해당 기업의 엔지니어의 표준에 대한 이해도에 따라 달리 설계되어 서로 간에 인식이 불가능한 사례가 발생되고 있는 실정이다. 따라서 재현성을 유지하며 표준의 적합성을 평가할 수 있는 에뮬레이터가 반드시 필요하다.

본 연구에서는 위와 같은 필요성을 인식하고 그 해결방안의 기초연구로서 능동형 RFID 시스템의 적합성 평가를 위한 에뮬레이터의 하드웨어 및 소프트웨어를 설계하고 제작한다. 성능검증을 위해 Matlab을 활용한 시뮬레이션을 수행하고, 설계된 하드웨어 및 소프트웨어는 FPGA 모듈 및 C-언어로 구현한다. 또한 실제 능동형 RFID 태그를 전자파 무반사실에서의 표준적합성 평가를 통해 에뮬레이터 장치의 활용 가능성을 타진한다.

2. 능동형 RFID 시스템의 소개

2.1 능동형 RFID의 개요

능동형 RFID 태그는 수동형 RFID 태그와는 달리 자체적으로 내부 배터리 및 송신 장치도 내장하고 있어 스스로 송신할 수 있는 RF 단말 장치이다. 특히 능동형 RFID 판독기와 태그는 단일 주파수 대역에서 FSK 신호를 이용하며, half-duplexing 방식으로 상호 통신한다. 따라서 비교적 긴 인식거리를 가지므로 공항이나 항만의 팔레트, 컨테이너 관리, 공장의 부품 관리 등의 자산 추적 관리 시스템에 주로 활용된다.

사용 주파수 범위는 100 MHz로부터 1 GHz 범위에서 최적의 성능을 위해 선택될 수 있지만, 가장 중요한 선택기준은 각 국가의 주파수 할당규정이다. 특히 무선을 송신하는 장치는 다른 기기에 RF 적으로 영향을 미치지 않아야 하므로 여러 가지 규정에 따라 시험 및 평가가 이루어진다. 이러한 규정들은 대표적으로 전력 제한, 듀티 사이클 제한, 변조방식 등이 있으며, 능동형 RFID의 주파수 선택에서 고려되어야 한다.

2.2 능동형 RFID의 적합성 시험

현재까지 능동형 RFID에 대한 적합성 시험방법은 ISO/IEC 18047-7 표준

에서 다루고 있으나, 수동형과 달리 구체적이지가 못해 정확한 시험평가가 어려움이 존재한다. 또한 국제표준회의에서도 이점을 인식하여 표준의 개정 작업을 진행 중에 있는 상황이다. 표준에서는 기본적으로 시험은 전자파 무반사실에서 수행하며, 기준 캐리어 주파수로 433.92 MHz를 가지며, 변조방식은 FSK를 사용하도록 하며, 능동형 RFID 판독기 및 태그의 적합성 시험 항목은 다음 표 1과 같다. 또한 능동형 RFID 시스템의 안테나 출력은 각 국가별 규정에 따라 결정된다. 본 논문에서는 적합성 시험의 재현성을 확보하기 위해 판독기 및 태그 각각의 적합성 평가를 위해 표준 신호를 발생하는 에뮬레이터를 설계하여 표 1의 항목에 대한 적합성 평가를 수행한다.

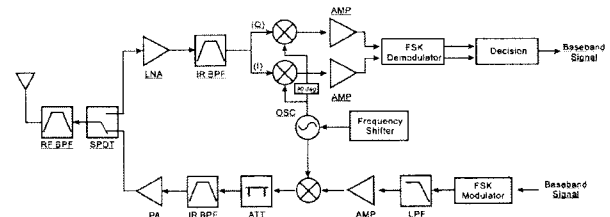
〈표 1〉 능동형 RFID 시스템에 대한 시험 항목

판독기	태그
<ul style="list-style-type: none"> 동작주파수 정확도 측정 FSK 변조도 측정 Wakeup 신호 측정 메시지 프레임형식 및 타이밍 데이터 코딩 및 기준 타이밍 수신기 대역폭 측정 	<ul style="list-style-type: none"> 동작주파수 정확도 측정 FSK 변조도 측정 메시지 프레임형식 및 타이밍 데이터 코딩 및 기준 타이밍 Wakeup 신호 응답

3. 시스템 설계 및 시뮬레이션

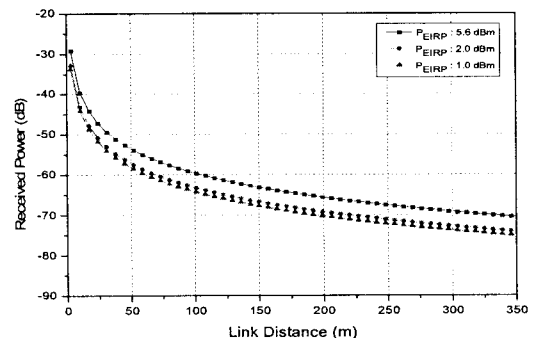
3.1 능동형 RFID 에뮬레이터 설계

능동형 RFID 에뮬레이터는 주파수 변조 방식(FSK; Frequency Shift Keying)을 갖는 직접변환수신기 구조(Direct Conversion Receiver)를 갖는다. 송신과 수신은 동일 주파수를 사용하기 때문에 시분할 듀플렉스(TDD; Time Division Duplex)를 통해 송수신 신호를 구분하게 된다. 다음 그림 1은 능동형 RFID 에뮬레이터의 송수신기 구조를 나타낸다.



〈그림 1〉 능동형 RFID 에뮬레이터의 송수신기 구조

수신 전력은 안테나의 공중선 전력이 0 dBi 일 때의 수신기는 5.6 dBm 이하의 천두 전력을 가지도록 설계된다. 능동형 RFID 태그의 유효방사전력(P_{EIRP})이 5.6 dBm 일 때, 자유공간상에서 d 만큼 떨어진 거리에서 얻을 수 있는 RFID 판독기의 수신 전력은 다음 식과 같다. 이때, A 는 반송파의 파장이다. 따라서 거리에 따른 수신 전력은 그림 2와 같다.



〈그림 2〉 거리에 따른 수신전력

$$P_{rec} = P_{EIRP} G_{rec} \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

송신 기기에서 56 dBm의 송신전력을 가질 때, 100 m 거리에서 수신되는 전력은 -60 dB를 가짐을 알 수 있다. 따라서 최소 100 m 이상의 인식거리를 갖기 위해 수신부는 -60 dBm 이상의 수신 감도가 요구된다.

수신감도는 수신 기기의 출력에서 신호대잡음비(SNR) 혹은 비트에러율(BER) 등이 규정한 값이 되기 위한 최소 신호 입력을 말하며, 즉, 수신 기기가 얼마나 작은 신호까지 충분히 복원할 수 있는가를 나타내는 특성 항목이다. 수신 감도는 수신기의 입력 저항에 따른 열잡음 전력(N), 내부 잡음의 정도를 나타내는 잡음 지수(NF), 수신기의 잡음 대역폭(B), 요구되는 출력의 신호대잡음비(SNR)에 의해 결정된다.

$$MDS = (N_{in})_{dBm} + (NF)_{dB} + (10 \log B)_{dB}$$

$$(P_{min})_{dBm} = (MDS)_{dB} + (CNR)_{dB}$$

최소감지신호(MDS; Minimum Detectable Signal)는 시스템의 잡음지수(NF)가 10 dB 일 경우, -107 dB가 된다. 3 dB의 반송파대잡음비(CNR)를 갖는 수신감도는 최소 -104 dBm이 된다.

$$N_{in} = kT = (1.38 \times 10^{-23} \text{ joules/K}) \times 290K = -174 \text{ dBm}$$

$$(NF)_{dB} = (SNR_{in})_{dB} - (SNR_{out})_{dB} = 10 \log F$$

$$F_{total} = F_1 + \frac{(F_2 - 1)}{G_1} + \frac{(F_3 - 1)}{G_1 G_2} + \dots$$

마지막으로 반송파대잡음비(CNR)는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$\left(\frac{C}{N} \right)_{dB} = 10 \log \left(\frac{R \times E_b}{B \times N_0} \right) = \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{dB} - (PG)_{dB}$$

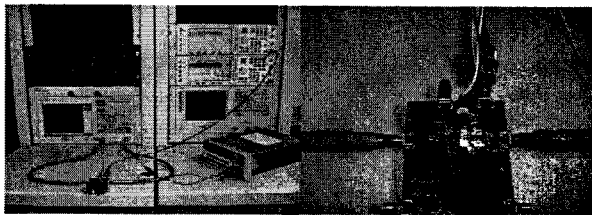
여기서 E_b/N_0 는 데이터 1 비트당 신호전력과 잡음전력의 비(dB)를 나타낸다. R 은 데이터 전송률, B 는 대역폭이며, Noncoherent FSK 시스템의 경우, 비트 에러의 확률은 다음 식과 같다.

$$P_E = \frac{1}{2} e^{-\frac{E_b}{N_0}}$$

본 논문에서의 능동형 RFID의 적합성 평가용 에뮬레이터는 대역폭(B)이 500 kHz, 데이터전송률(R)이 27.7 kbps 이며, 비트에러율(BER)이 10^{-6} 일 때, E_b/N_0 는 대략 14 dB가 요구된다. 따라서 요구되는 반송파대잡음비(CNR)는 1.435 dB가 된다.

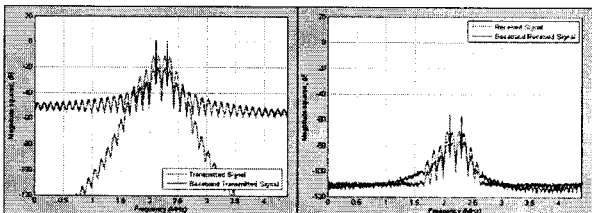
3.2 시뮬레이션 결과

433 MHz 능동형 RFID 평가용 에뮬레이터의 시스템 분석을 위해 Matlab의 Simulink를 이용하여 시뮬레이터를 구성하였다. 시뮬레이터에서 구현된 각각의 통신 블록은 실제 제작되는 평가 장치의 부품과 유사하도록 모델링하였고, 특히 아날로그 부품인 Mixer의 경우는 특성 파라미터를 직접 측정하여 측정된 값을 시뮬레이터에 적용하였다.



〈그림 3〉 Mixer의 특성 파라미터 측정 장면

본 시뮬레이터는 맨체스터 코딩을 갖는 랜덤 신호를 생성하여 FSK 변조 후 송신되며, 송신된 신호는 자유공간 손실을 고려하여 복조한 후, 생성된 신호와 비교를 통해 에러율을 계산하도록 구성된다. 이때, 데이터 전송률은 27.7 kbps를 갖는다. 50 kHz의 주파수 편이를 갖도록 FSK 변조를 한 후, 저역통과여파기를 통과한 신호는 RF 송신단에 입력되어, 중심주파수 433.92 MHz를 갖으며, 200 kHz의 점유주파수대역폭을 갖는 송신신호를 생성한다. 생성된 송신신호는 안테나 이득이 0 dBi 일 때, 국내 규정에 따라 수신 전력이 56 dBm을 넘지 않도록 한다. 다음 그림 4는 제작된 시뮬레이터에서 생성된 송신 및 수신신호의 스펙트럼을 나타낸다.



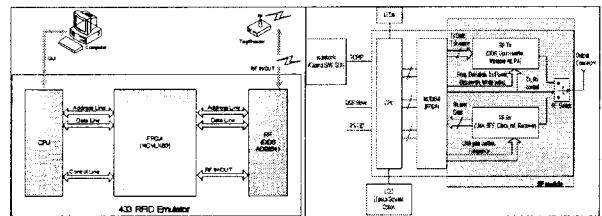
〈그림 4〉 스펙트럼 분석도; (a) 송신신호, (b) 수신신호

수신된 신호의 복조과정은 포락선 검파를 통해 수행된다. 이때 자유공간 경로 손실은 433.92 MHz 주파수에서 100 m 떨어진 거리에서 대략 65 dB를 갖으며 포락선 검파를 통해 얻어진 신호는 비교기를 통해 '0' 과 '1' 을 구분하여 복조된다. 복조된 신호파형은 생성된 신호와 비교하며, 에러를 확인할 수 있다.

4. 시스템 구현 및 검증

4.1 능동형 RFID 에뮬레이터 구현

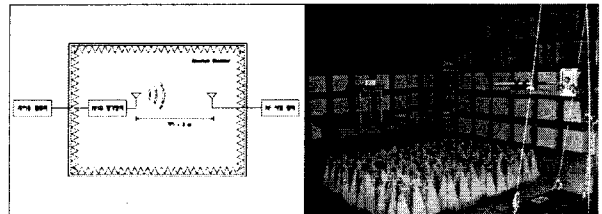
능동형 RFID 평가용 에뮬레이터의 구성은 크게 무선신호 전달을 위한 RF 모듈, 측정된 데이터를 처리하고, 가공하는 FPGA 모듈과 평가 장치에 운영체제 탑재를 위한 CPU 모듈로 나눌 수 있다. 전체 시스템의 개략적인 구성은 그림 5와 같다. RF 모듈은 크게 송신블록, 수신블록, 주파수 생성블록으로 구성되며, 안테나, 디지털부 및 전원부와 인터페이스를 가진다. FPGA 모듈은 CPU로부터 제어 명령 판별하여 RF 모듈을 송·수신모드로 제어하며 데이터를 처리한다. 마지막으로 CPU 모듈은 송신 및 수신을 완료 후 완료 메시지 및 데이터를 제어용 컴퓨터에 전송한다.



〈그림 5〉 에뮬레이터 시스템 구성도

4.2 실험 및 고찰

본 연구에서 설계한 능동형 RFID 평가 장치의 성능을 평가하기 위해 다음 그림과 같이 시험 환경을 구성한다. 평가 장치에서 송신 신호를 수신한 테나로 수신되고, RF 시험 장비를 통해 측정된다. 측정된 신호를 분석하여, 제작된 평가 장치의 성능을 평가한다.



〈그림 6〉 에뮬레이터 성능평가; (a) 구성도 (b) 실제측정장면

구현된 에뮬레이터의 성능을 평가한 결과 433.92 MHz의 Carrier 신호의 송출을 통해 송신출력을 확인할 수 있었으며, 태그를 깨우기 위한 Wakeup 신호를 생성할 수 있었다. 또한 송수신시 동일 채널을 사용하는 능동형 RFID에서 관독기와 태그간의 신호 구분을 위한 데이터 이전의 사전 신호인 Preamble 신호를 표준에 적합하도록 생성하고, FSK로 변조된 신호를 ±50 kHz의 주파수 편이를 갖도록 설정하고 그 값을 가변시켜 보았다.

마지막으로 국산 및 외산제품의 능동형 RFID 태그 각각에 대해 ISO/IEC 18000-7 Air Interface 표준의 적합성 여부를 판단하는 시험을 실시함으로써 에뮬레이터로서의 적용 가능성을 알 수 있었다.

5. 결 론

최근 긴 인식거리를 갖으며, 물류 및 항만분야에서 활용도가 높은 능동형 RFID 시스템에 대한 관심이 새롭게 부각되고 있다. 또한, 미국의 자국 통관절차 간소화를 위해 모든 컨테이너에 태그 부착이 의무화되고 있어 능동형 RFID 시스템에 대한 기술 개발을 가속화 시키고 있다.

본 연구에서는 능동형 RFID의 표준적합성 시험용 에뮬레이터를 설계하고 구현하였다. 개발된 평가 장치는 표준적합성 시험을 위한 재현성을 갖는 표준 신호 발생기로서 에뮬레이터에서 시험대상 관독기 및 태그에 명령을 제공하고, 또는 응답할 수 있도록 설계되었으며, 표준 신호를 통한 관독기 및 태그의 자동작을 확인할 수 있다. 또한, 평가 장치에 임의의 기능변경(송신출력, 주파수편이, 비트율 정확도 등)을 통해 시험품이 갖고 있는 각종 에러 및 이상동작을 확인하고, 이를 통해 개선하도록 하였다.

추후 연구과제로는 에뮬레이터를 활용한 적합성 평가에서 여러 측정 신호에 대한 불확도 개선으로 재현성 및 정확성을 좀 더 향상시키는 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] ISO/IEC 18000-7 "RFID for item management - Part 7 : Parameters for active air interface communications at 433 MHz," ISO/IEC, 2008.
- [2] ISO/IEC 18047-7 "RFID device conformance test methods - Part 7 : Test methods for active air interface communications at 433 MHz," ISO/IEC, 2005.