

# 콘벌루션 부호를 적용한 900MHz 대역 RFID 시스템 구현 및 성능 분석에 관한 연구

## A Study on the Implementation and Performance Analysis of 900 MHz RFID System with Convolution Coding

윤성기\*\*, 강병권\*

Sung-Ki Yun\*\*, Byeong-Gwon Kang\*

### 요 약

RFID는 각종 서비스 산업은 물론 물류, 산업 현장, 제조 공장과 국방 분야까지 물품의 흐름이 있는 곳이면 어디에서나 적용이 가능하여 사회 여러 분야로부터 큰 관심을 받고 있다. 그러나, 현재 900MHz 대역의 RFID에서 사용하는 ISO/IEC 18000-6의 프로토콜에서는 에러검출을 위한 CRC16만을 사용함으로써 낮은 수준의 보안과 양호한 채널 환경에서 대량의 물품을 빠른 시간 내에 인식하는 상황에서는 적합하나 데이터 양이 적고 높은 수준의 보안이 요구되는 곳이나 채널 환경이 열악한 곳에서는 에러정정능력을 갖추지 못해 데이터의 신뢰성이 떨어질 것으로 예상된다. 본 논문에서는 이와 같은 높은 수준의 보안이 요구되는 곳이나 잡음이 많은 채널 환경에서의 RFID 사용을 가정하여 ISO/IEC 18000-6 규격을 응용하여 적용하는 한 가지 방법으로서 콘벌루션 부호의 적용을 시도하였으며, 이를 구현하고 성능을 측정하였다. 신호의 제어와 전송을 위하여 마이크로프로세서와 RF부를 구현하였고, RFID 시스템의 신뢰성 향상을 위해 리더기에서 태그로의 명령어 및 데이터 전송 시에 FPGA를 이용하여 콘벌루션 부호를 구현하였다. 이러한 채널 부호를 적용했을 때와 적용하지 않았을 때의 프레임 오류율과 채널의 가시 성분이 있을 경우와 없을 경우를 나누어 프레임 오류율을 측정 비교하였다.

### Abstract

In recent years, RFID has received much attention because of spread usage in industrial applications including factory, material flow, logistics and defense areas. However, there is only CRC-16 for error detection in ISO/IEC 18000-6 protocols prepared for 860-960 MHz RFID, high error rates are expected in cases of high level of security and noisy environment. In this paper, we propose a usage of convolution code as a method for satisfying the high level of security requirement and system error performance. The signal control function is implemented in a microprocessor with RF modulation and the convolutional encoding and Viterbi decoding are implemented in an FPGA chip. The frame error rates are measured with and without convolution coding under the channel conditions of line-of-sight and non line-of-sight, respectively.

**Keywords** : RFID; ISO/IEC 18000-6; Convolution Code; Viterbi Algorithm

## I. 서 론

RFID란 사물에 부착된 전자태그로부터 무선 주파수를

\*순천향대학교 정보통신공학과 \*\*하이트렉스(주) 기술연구소

논문 번호 : 2005-3-9 접수 일자 : 2005. 7. 24

심사 일자 : 2005. 9. 2 수정 완료 : 2006. 1. 27

※ 본 논문은 2005년도 순천향대학교 교수 연구년제에 의하여 연구하였음.

이용하여 정보를 송·수신하고 이와 관련된 서비스를 제공하는 기술을 말한다. RFID는 기존의 바코드와 기본적으로는 비슷한 역할을 하지만 바코드에 비해 보다 많은 정보를 저장할 수 있으며, 부착이 용이하고 장거리 정보 송·수신이 가능하다는 등의 장점을 지닌다. 또한 앞으로 센서 기술과 소형화 기술 등이 더욱 발전하면 정보를 능동적으로 획득하고 처리 하는 능력까지 갖추게 되고 기존의 기술과 결합해 통합 응용됨으로써 각종 서비스

산업은 물론 물류, 산업 현장, 제조 공장과 물품의 관리 및 유통 등 어디에서나 적용 가능하여 사회 여러 분야로부터 큰 관심을 받고 있다[1].

RFID 시스템은 리더기(Reader), 안테나, 태그(Tag)등으로 구성되어 사람, 차량, 상품, 교통카드 등을 비접촉으로 인식하는 기술로서 일반적으로 많이 사용되는 수동형 태그 시스템의 RFID의 리더기는 RF 캐리어 신호를 태그에 송신하고, 태그는 RF 신호가 들어오면 진폭 또는 위상 변조하여 태그에 저장된 데이터를 캐리어 주파수 신호를 이용하여 리더기로 되돌려 준다. 되돌려 받은 변조신호는 리더기에서 복호화 되어 태그 정보가 해독되는 것이 기본원리이다. 리더기는 보통 PC에 연결되어 운용되며 응용목적에 따라 운용 소프트웨어에 의해 RFID 시스템을 제어한다[2].

현재 900Mhz 대역의 RFID에서 사용하는 ISO/IEC 18000-6의 프로토콜에서는 에러검출을 위한 CRC16만을 사용함으로써 낮은 수준의 보안이 요구되는 곳과 양호한 채널 환경에서 대량의 물품을 빠른 시간 내에 인식하는 상황에서는 적합하나 데이터 양이 적고, 높은 수준의 보안이 요구되는 곳이나 채널 환경이 열악한 곳에서는 에러정정능력을 갖추지 못해 데이터의 신뢰성이 떨어질 것으로 예상된다. 본 논문에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 높은 수준의 보안이 요구되는 곳이나 채널 환경이 열악한 조건에서의 RFID 사용을 가정하여 ISO/IEC 18000-6 규격을 응용하여 적용하는 한 가지 방법으로서 콘벌루션 부호의 적용을 시도하였으며, 이를 구현하고 성능을 측정한다. 현재 ISO/IEC18000-6에서 제안하고 있는 규격은 물품의 이동을 보다 효과적으로 관리하는 것을 목표로 하며, 특히 대형 상품 매장에서의 물품 관리와 가격 계산 등을 주요 적용 대상으로 고려하고 있다. 그러나, 900MHz대역의 주파수 특성상 출입 통제와 출입문 관리 등 높은 수준의 보안이 요구되는 분야에도 적용이 바람직 하며, 이를 위해서는 규격에서 제시하는 것 이외의 추가적인 방법이 필요하게 된다.

본 논문에서는 ISO/IEC18000-6에서 제안하고 있는 형식 A, B, C 중에서 형식 A의 FM0와 펄스 간격 부호화(PIE)를 VHDL로 구현하여 기본적인 통신 프로토콜을 구성하고, 리더기에서 태그로의 명령어 전송 시 명령어 CRC16만을 추가하여 에러검출만 가능했던 시스템을 보완하여 시스템의 오류정정 능력을 높이기 위해 리더기에서 태그로의 명령어 전송 시 콘벌루션 부호를 적용하여 기존의 방식과 성능을 비교해 보고자 한다.

## II. 시스템 설계

### 2.1 구성회로

그림 2.1은 시스템 구성도이다. 데이터 송수신 제어를 위한 CPU(마이크로프로세서 89c52)와 채널코딩을 위한 FPGA 블록, 그리고 상용 RF모듈로 구성되어 있다.

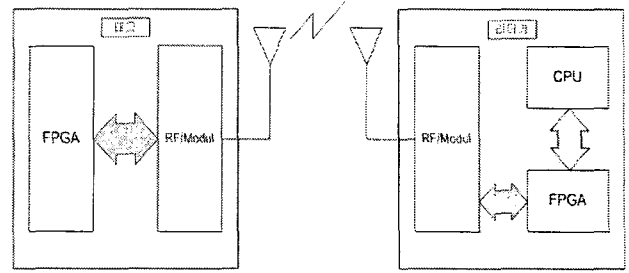


그림 2.1. 시스템 구성도

Fig. 2.1. Structure of the proposed system

본 논문에서 시험을 위해 제작한 시스템의 기본 구성도는 그림 2.2와 같이 리더기는 크게 마이크로 프로세서부와 FPGA부 그리고 FSK 모듈부로 나누어지고, 태그는 FPGA부 그리고 FSK 모듈부로 나누어진다.

마이크로 프로세서부는 데이터 프레임 구성하며 전체 시스템의 I/O를 담당한다. FPGA부는 충돌방지 알고리즘 및 데이터 코딩 등을 수행한다. 그리고 FSK 모듈부는 상용 RF 모듈로서 데이터를 FSK변조하여 전송하는 기능을 수행한다. 시스템 구성시 RF 모듈은 현재 900MHz 대역의 상용화된 RF 모듈이 없으므로 400MHz 대역 상용 RF 모듈로 대체하여 실험 하였다.

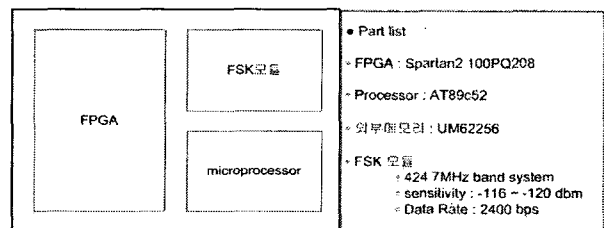


그림 2.2. 시스템 블록도

Fig. 2.2. Block diagram of proposed system

### 2.2 시스템 동작 원리

#### 2.2.1 리더기 동작 알고리즘

리더기의 동작 알고리즘은 다음과 같다.

- ① 명령대기 리더기의 Input port를 감시하며, user의 시작명령을 감시한다.
- ② Tag\_ID 전송요구 슬롯 알로하 알고리즘에 근거하여 각각의 태그는 랜덤한 슬롯에 태그 자신의 ID를 전송한다.
- ③ Collision Search 수신된 값에 충돌 여부를 판단한다.
- ④ 태그 정보 전송요구 충돌 없이 인식된 태그에게 태그 정보를 전송할 것을 명령한다.
- ⑤ Stand Command 전송 충돌없이 인식된 태그와의 통신을 위하여 인식된 태그를 제외한 모든 태그에 Stand 명령을 전송한다.

2.2.2 태그 동작 알고리즘

태그의 동작에 대한 알고리즘은 다음과 같다.

- ① 명령대기 리더기의 명령을 기다리며 리더기에서 전송되는 명령을 판단하여 동작방법을 결정한다.
- ② Tag\_ID 전송여부결정 리더기에서 전송요구한 Tag\_ID와 자신의 Tag\_ID를 비교하여 자신의 Tag\_ID를 전송할지를 결정한다.
- ③ 태그 정보전송 리더기가 Tag\_ID를 충돌없이 인식한 후 인식된 태그에게 태그의 정보전송을 요구하는 명령을 받았을 경우 태그가 갖고 있는 태그 정보를 리더기에 전송한다.

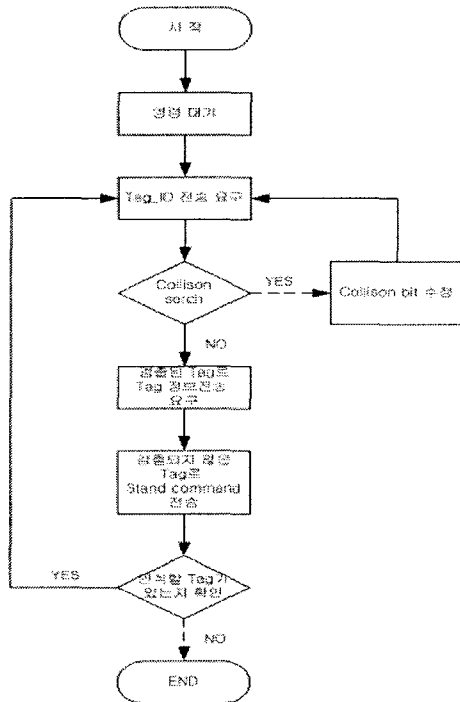


그림 2.3. 리더기 플로우 차트  
Fig. 2.3. Flow chart of reader

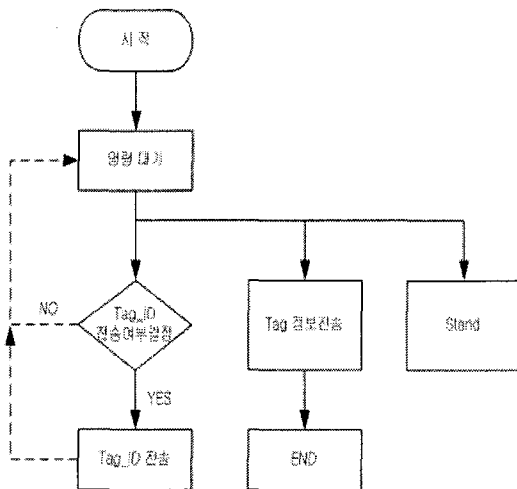


그림 2.4. 태그 플로우 차트  
Fig. 2.4. Flow chart of tag

④ Stand 리더기가 Tag\_ID를 충돌없이 인식한 후 인식된 태그와의 통신을 위해 아직 인식되지 않은 태그에 Stand Command를 전송하면 이 명령을 수신한 태그들은 잠시 동작을 멈추고 대기한다.

⑤ END 리더기에 자신의 정보를 전송한 후 리더기의 전송완료 메시지를 수신한 후 모든 동작을 완료한다.

2.3 리더기와 태그 신호 프레임 구조

ISO/IEC 18000-6에서의 리더기의 명령어 형식은 다음과 같이 구성된다.

SOF	Command	CRC	EOF
8bit	8bit	16bit	8bit

여기서 사용되는 명령어의 종류는 다음과 같다.

- ① Tag\_ID 전송요구 명령
- ② 인식된 태그의 정보전송 요구 명령
- ③ Stand 명령
- ④ 태그의 동작 완료 명령
- ⑤ Reset 명령

한편 태그의 기본적인 응답 신호 프레임 구조는 다음과 같다.

SOF	Tag_ID	CRC	EOF
8bit	8bit	16bit	8bit

이상과 같이 규격에서 정해진 프레임 구조에 대하여 본 논문에서는 명령어 부분과 태그 ID부분을 부호화 대상으로 고려하여 콘벌루션 부호를 적용한 후 프레임 송신 및 수신 시험을 수행하였다. 결과적으로 아래 그림과 같이 리더기 명령어 프레임에서 명령어 부분의 8 비트가 16비트로 변경되었고, 태그 응답 프레임에서 태그 ID 부분의 8 비트가 16비트로 변경되었다. 이것은 전송되는 명령어가 7비트라고 가정하고, 1/2의 비율로 콘벌루션 심볼을 발생시킨 후 2개의 테일 비트를 첨부한 것이다.

SOF	Data	CRC	EOF
8bit	16bit	16bit	8bit

2.4 콘벌루션 부호

콘벌루션 부호의 사용은 디지털 통신에서 오류 성능을 개선시키는 반면 대역폭의 증가와 데이터 처리 시간의 지연, 하드웨어의 복잡에 따른 비용의 상승 등의 단점을 가지고 있다. 그러나, 적용 분야에 따라서 이러한 단점 보다는 데이터 오류를 줄이는 것이 보다 중요한 경우 콘벌루션 부호는 이동통신 등 여러 분야에서 비교적 광범위하게 사용된다. 본 논문에서 사용한 콘벌루션 부호화기의 구조는 그림 2.5와 같으며, 심볼 1, 2의 생성 다항식은 각각  $u_1 = x^2+x+1$ ,  $u_2 = x^2+1$  이다.

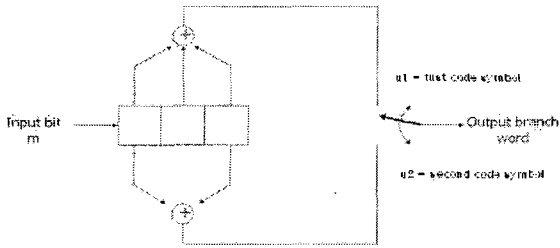


그림 2.5. 사용된 콘벌루션 부호화기의 구조[4]  
Fig. 2.5. Structure of Convolution encoder[4]

### III. 실험 및 결과

위에서 설명한 바와 같이 송수신을 위한 데이터 기본 프레임은 크게 명령어(Command) 프레임과 응답(Response) 프레임으로 나뉘며, 명령어 프레임은 SOF 8비트, 명령 16비트, CRC 16비트, EOF 8비트로 총 48비트로 구현하였다. 응답 프레임 역시 기본 구조는 같게 하였으며 총 48비트로 구현하여 송수신 실험을 수행하였다. 각 단계별 시뮬레이션 및 실험 결과는 다음과 같다.

#### 3.1 펄스 간격 부호화 (PIE)

그림 3.1은 펄스 간격 부호화(PIE)의 타이밍 시뮬레이션 결과파형이다. 그림 3.1의 data\_out\_1은 입력 데이터 이며 data\_out 항목이 그 결과이고, 그림 3.2는 펄스 간격 부호화의 측정 파형이다.

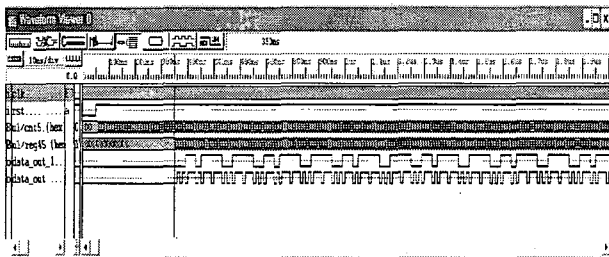


그림 3.1. 펄스 간격 부호화 PIE(Pulse Interval Encoding)의 시뮬레이션 결과  
Fig. 3.1. Simulation results of PIE(Pulse Interval Encoding)

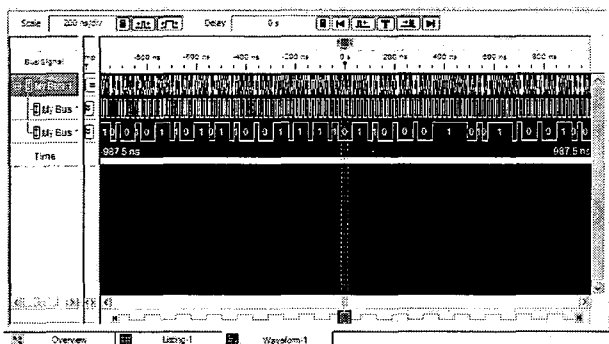


그림 3.2. 펄스 간격 부호화 PIE의 측정 파형  
Fig. 3.2. Measured waveform of PIE

#### 3.2 FM0(Bi-Phase Space) 부호화

그림 3.3은 FM0의 타이밍 시뮬레이션 결과파형이다. in\_s\_data은 입력 데이터이고 data\_out 항목이 FM0 부호화 된 결과파형이다. 그림 3.4는 FM0신호의 측정 결과이다.

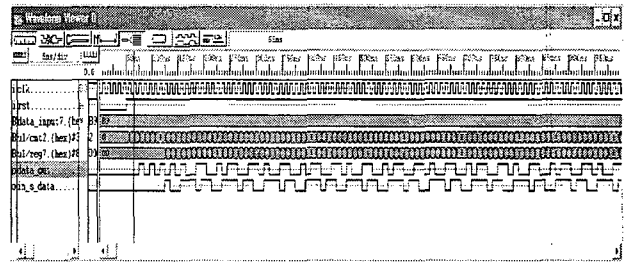


그림 3.3. FM0(Bi-Phase Space)의 시뮬레이션 결과  
Fig. 3.3. Simulation results of FM0

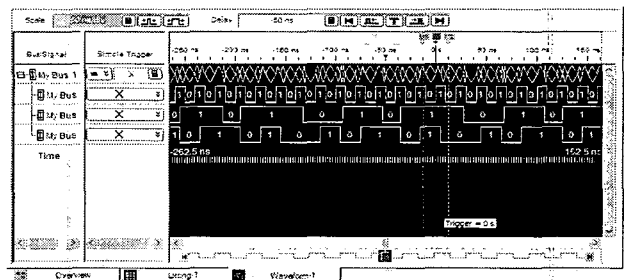


그림 3.4. FM0(Bi-Phase Space) 측정 파형  
Fig. 3.4. Measured waveform of FM0

#### 3.3 콘벌루션 부호기

그림 3.5는 랜덤하게 발생하는 데이터에 채널의 왜곡과 간섭을 보상하기 위한 콘벌루션 부호기(K=3, R=1/2)의 시뮬레이션 결과파형을 보여주고 있다. data\_out은 임의로 발생시킨 data를 의미하며 y0, y1은 콘벌루션부호기를 통해 나온 심볼을 의미한다.

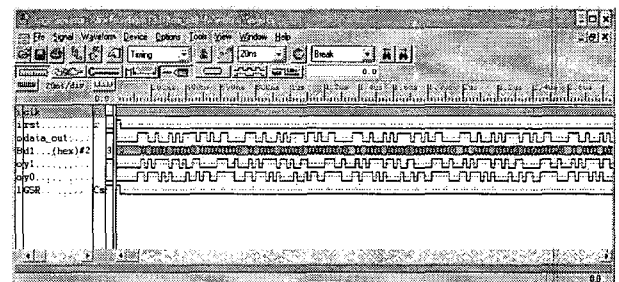


그림 3.5. 콘벌루션 부호기의 시뮬레이션 결과  
Fig. 3.5. Simulation results of Convolution encoder

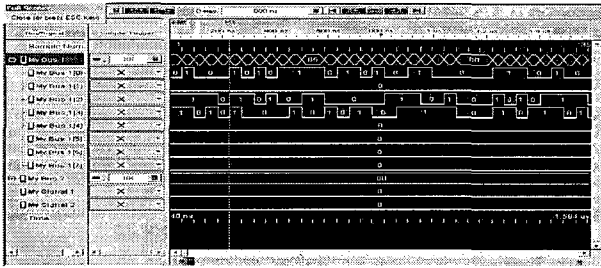


그림 3.6 콘벌루션 부호기 측정파형  
Fig. 3.6 Measured waveform of Convolution encoder

### 3.4 비터비 디코더

그림 3.7은 데이터로부터 비터비 복호를 수행한 시물레이션 결과파형을 보여주고 있다.  $y_{in0}$ ,  $y_{in1}$ 은 콘벌루션 부호기를 통해 부호화된 심볼을 의미하며, output은 수신된 심볼을 복조과정을 거쳐 복조한 data를 의미한다. 그림 3.8은 비터비 디코더의 결과를 측정한 파형이다.

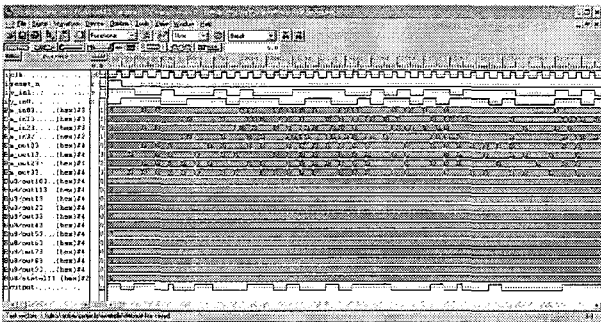


그림 3.7. 비터비 디코더의 결과파형  
Fig. 3.7. Measured waveform of Viterbi decoder

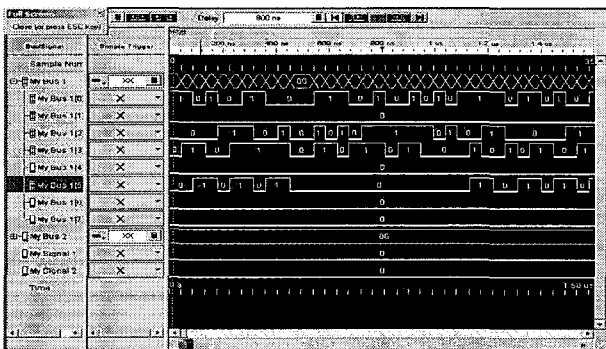


그림 3.8. 비터비 디코더 측정파형  
Fig. 3.8. Measured waveform of Viterbi decoder

### 3.5 ID 인식 테스트

실험은 전송속도 2400bps로 진행하였으며, 리더기 1대와 태그 2대를 사용하여 시스템 동작을 확인하였다. 또한 실험 장소는 리더기와 태그를 동일한 장소에서 가시(line of sight) 상태로 시스템간 거리를 3m로 했을 경우와, 리더기와 태그를 각각 서로 막힌 다른 장소에 두었을 경우에 관

해 측정하였다. 측정된 장소는 그림 3.9와 같은 구조이다. 그림 3.9에서 위치 2는 리더기 위치이고 1, 3은 각각 태그의 위치이다.

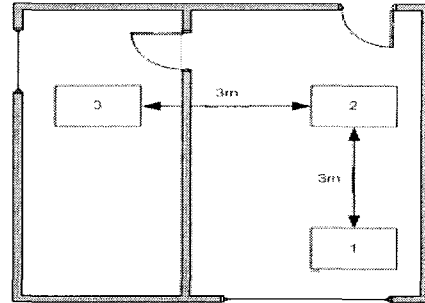


그림 3.9. 측정 장소의 구조  
Fig. 3.9. Outline of test site

리더기에서 태그로 Tag\_ID 전송요청을 했을 때 태그는 자신의 Tag\_ID를 리더기로 전송하며 리더기는 정보신호를 복조하여 원하는 데이터를 수신하게 된다. 아래 그림 3.10은 태그에서 송신한 신호(Tag\_ID)를 복조하여 검파한 신호이다.

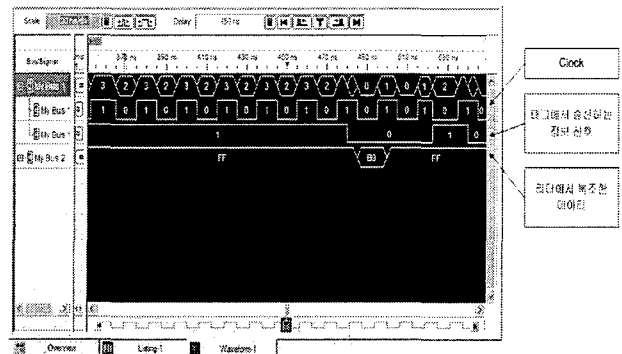
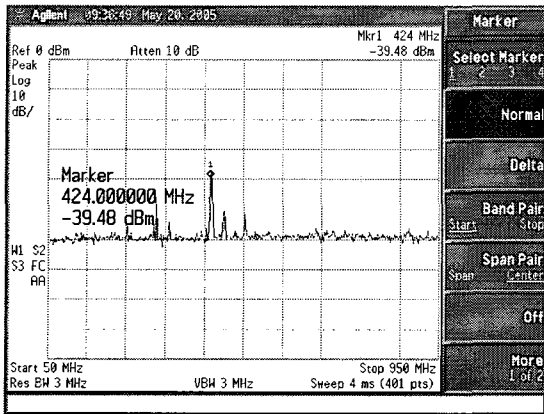


그림 3.10. 리더기에서 복조된 데이터  
Fig. 3.10. Recovered data at reader

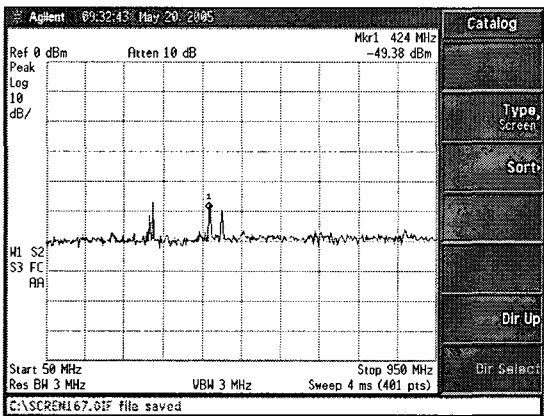
그림 3.10에서 볼 수 있는 바와 같이 맨 위의 신호는 클럭, 중간 신호는 태그에서 리더로 보내는 정보신호를 나타내고, 가장 아래 신호는 리더에서 입력신호를 감시하다가 신호가 검출되었을 때 데이터를 표시한 결과이다. 위의 그림에서 "B9"가 태그가 지닌 데이터로서 복조된 결과이다.

### 3.6 주파수 스펙트럼 측정 결과

그림 3.11은 리더기의 위치 즉 2번 장소에서 스펙트럼 분석기를 이용하여 각각의 태그 위치 1, 3번에서 수신 전력을 측정된 것이다. 비가시 거리인 경우 가시 거리에 비하여 약 10dB 정도 더 감쇠됨을 알 수 있다.



(a) 장소 2에서 측정된 태그 1의 신호  
(a) Measured signal of tag 1 at position 2



(b) 장소 2에서 측정된 태그 3의 신호  
(b) Measured signal of tag 3 at position 2

그림 3.11. 장소 2에서의 수신전력  
Fig. 3.11. Received power at position 2

### 3.7 마이크로 프로세서를 통한 모니터링

태그에서 송신한 임의의 데이터 프레임과 리더에서 수신한 데이터 프레임은 그림 3.12와 같다. 데이터 송수신 실험과 데이터 확인을 간단하게 하기 위하여 태그 1에서는 a라는 문자를, 태그 2에서는 b라는 문자를 전송하도록 하였다.

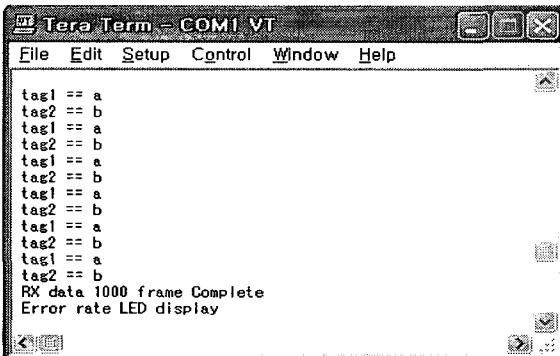


그림 3.12. 리더기에서 수신한 데이터  
Fig. 3.12. Recovered data received at reader

### 3.8 시스템 성능 평가

본 논문에서 실험은 앞에서 설명한 바와 같이 ISO/IEC18000-6의 형식 A를 적용하여 구현하였으며 기존 논문에서 발표된 결과인 ASK모듈을 사용한 경우[5]와 본 논문에서 사용한 FSK모듈을 사용한 시스템 경우를 비교하였고, 또한 콘벌루션 부호를 적용한 방식의 성능을 비가시 채널과 가시 채널 상태에서 2000개의 프레임을 30번씩 전송하여 그 오류율을 측정하였다.

일반적으로 FSK 방식이 ASK 방식보다 성능이 우수한 것으로 알려져 있으며, 이것은 본 실험에서도 증명된 바와 같이 ASK는 신호의 크기에 의존하여 신호를 검파하는 방식으로서 실내 환경에서의 신호의 반사 등으로 신호의 크기가 항상 일정한 크기를 유지하는 것은 매우 어려운 일이며, 따라서 신호의 크기 보다는 신호의 주파수를 검파하여 데이터를 결정하는 FSK 방식이 ASK 방식보다 우수한 성능을 나타낸다.

비가시 채널인 장소 3에서 측정시, ASK모듈의 평균 프레임 오류율은 294.5개로서 14.7%이고[5], FSK모듈의 평균 프레임 오류율은 212.6개로서 10.6%이며, FSK모듈에 콘벌루션 부호까지 적용한 평균 프레임 오류율은 20.3개로서 1%였다. 또한 각각의 오류율 평균으로부터 표준편차(Sample Standard Deviation) 및 동일한 방법으로 얻은 데이터들이 서로 일치하는 정도를 가리키는 정밀도를 나타내는 성능계수인 상대 표준편차(Relative Standard Deviation)를 구하였다.

ASK모듈의 표준편차는 28.83%이고, 상대 표준편차는 9.8%이며, FSK모듈의 표준편차는 17.96%이고, 상대 표준편차는 8.4%였다. FSK모듈 사용하고 콘벌루션 부호를 적용하였을 경우 표준편차는 3.8%이고, 상대 표준편차는 19%였다. 평균 프레임 오류율 결과로 볼 때 FSK모듈에 콘벌루션 부호를 적용하여 실험한 결과 평균 프레임 오류율이 평균 20.3개로 오류율이 급격히 감소한 것을 알 수 있다.

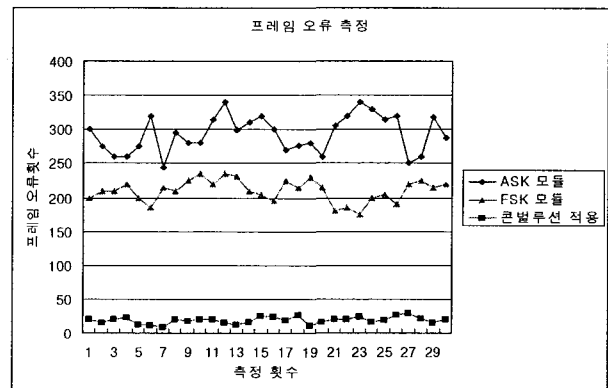


그림 3.13. 장소 3에서의 측정 결과(비가시 채널)  
Fig. 3.13. Measured results at position 3(non-LOS)

가시 채널인 장소 1에서 측정시, ASK모듈의 평균 프레임 오류율은 185.7개로서 9.3%이고[5], FSK모듈의 평균

프레임 오류율은 151.6개로서 7.6%이며, FSK모듈에 콘벌루션 부호까지 적용한 평균 프레임 오류율은 9.6개로서 0.5%였다. 또한 각각의 오류율 평균으로부터 표준편차 및 상대 표준편차를 보면, ASK모듈의 표준편차는 11.1%이고, 상대 표준편차는 5.9%이며, FSK모듈의 표준편차는 8.9%이고, 상대 표준편차는 5.8%였다. FSK모듈 사용하고 콘벌루션 부호를 적용하였을 경우 표준편차는 4.8%이고, 상대 표준편차는 50%였다. 평균 프레임 오류율 결과로 볼 때 FSK모듈에 콘벌루션 부호를 적용하여 실험한 결과 평균 프레임 오류율이 평균 9.6개로 오류율이 급격히 감소한 것을 알 수 있다.

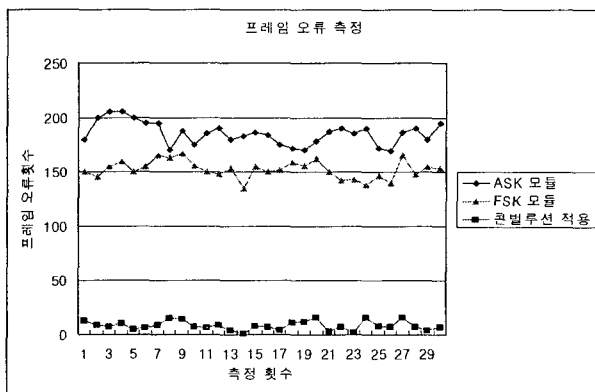


그림 3.14. 장소 1에서의 측정 결과(가시 채널)  
Fig. 3.14. Measured results at position 1(LOS)

비가시 채널(장소 3)과 가시 채널 상태(장소 1)에서의 실험 결과 가시 채널 상태에서 평균 프레임 오류율이 낮음을 알 수 있으며, 표준편차와 상대 표준편차 값 역시 낮았다. 이는 비가시 채널 상태보다 가시 채널 상태에서 실험을 반복해서 했을 경우 프레임 오류율 값의 등락폭이 적음을 알 수 있다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 현재 900MHz 대역의 RFID에서 사용하는 ISO/IEC 18000-6의 규격 중 형식 A의 기능을 구현하고, 그 성능을 측정하였다. ISO/IEC18000-6에 A 형식은 데이터 인코딩 방식으로 펄스 간격 부호화 방식을 사용하며, 충돌 중재 방식으로는 슬롯 알로하 방식을 사용한다. 무선 전송시 성능을 개선하기 위하여 리더기에서 태그로의 명령어 데이터 전송시에 콘벌루션 부호를 적용하였고, 콘벌루션 부호는 구속장  $k=3$ 이며, 부호화율 =  $1/2$  인 부호를 사용하였으며, 또한 비터비 알고리즘을 구현하여 전송된 데이터가 정확하게 복구되는 것을 확인하였다. ISO/IEC 18000-6 형식 A의 기저대역 시스템을 구현하고 콘벌루션 부호를 적용한 후 FSK모듈을 사용하여 프레임 오류율을 측정하였다. 채널 조건으로는 가시(line-of-sight) 채널과 비가시(non line-of-sight) 채널에

서 프레임 오류율을 측정하였으며, 측정 결과 기존 논문에서 발표되었던 ASK모듈을 사용한 방식에 비하여 성능이 크게 향상됨을 보였다.

매 2,000개의 프레임을 30회씩 반복하여 전송한 결과 기존의 ASK모듈을 사용한 시스템의 평균 프레임 오류율은 11.5%였고, 본 논문에서 콘벌루션 부호를 적용하지 않고 FSK 모듈만 사용한 경우는 8.5%, 콘벌루션 부호까지 적용한 경우는 0.75%였다. 따라서, RFID 시스템에 콘벌루션 부호를 적용할 경우 채널 환경이 열악한 장소나 오류를 최소화 시켜야 하는 환경에서 매우 효과적일 것으로 사료된다.

#### 참고 문헌

- [1] 변상기, RFID 태그 기술, 전자부품연구소.
- [2] 강병권, 이근호, 한호현, 조영빈 역, *RFID 핸드북*, 영진닷컴, 2004. 3.
- [3] ISO, ISO/IEC 18000-6 International Standard, 2005.
- [4] Bernard Sklar, *Digital communication*, Prentice Hall, 1998.
- [5] 이규선, 강병권, "RFID 시스템의 구현 및 성능 분석에 관한 연구," 한국정보기술학회논문지, 제3권 제 1호, pp. 13-19, 2005. 3.
- [6] The Programmable Logic Data Book, Xilinx inc, 2000.
- [7] 이동통신용 모뎀의 VLSI 설계, 대영사, 2001.
- [8] 김영철, 정연모, 조중휘, 홍윤식, *디지털 시스템 설계를 위한 VHDL*, 홍릉과학출판사, 2001.



윤성기(Sung-Ki Yun)

1997.3-2001.2 : 순천향대학교 정보통신공학과(공학사)

2001.3-2003.5 : 육군 ROTC 복무

2003.9-2005.8 : 순천향대학교 정보통신공학과 대학원(공학석사)

2005.9-현재 : (주)하이트렉스 기술연구소 근무



강병권(Byeong-Gwon Kang)

1982.3-1986.2 : 연세대학교 전기공학과(공학사)

1986.3-1988.2 : 연세대학교 전기공학과(공학석사)

1988.3-1993.2 : 연세대학교 전기공학과

(공학박사)

1993.3-1997.8 : 한국전자통신연구원 선임연구원

1997.9-현재 : 순천향대학교 정보통신공학과 부교수