

博士學位論文

모바일 **RFID** 리더 시스템  
설계 및 제작



濟州大學校 大學院

通信工學科

姜奉秀

2008年 2月

# 모바일 RFID 리더 시스템 설계 및 제작

指導教授 金興洙

姜奉秀

이 論文을 工學 博士學位 論文으로 提出함

2007年 12月

姜奉秀의 工學 博士學位 論文을 認准함

審査委員長	梁斗	
委員	康鎮	
委員	金成	
委員	左政	
委員	金興洙	

濟州大學校 大學院

2007 年 12 月

# Design and Implementation of Mobile RFID Reader System

**Bong-Soo Kang**

**(Supervised by professor Heung-Soo Kim)**

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the  
degree of Doctor of Engineering

2007. 12. 14.

This thesis has been examined and approved.

.....  
Thesis director, Doo-Yeong Yang, Prof. of Telecommunication Eng.

*Doo Yeong Yang*  
.....  
Thesis director, Jin-Shig Kang, Prof. of Telecommunication Eng.

*Jin Shig Kang*  
.....  
Thesis director, Seong Baeg Kim, Prof. of Computer Education

*Seong Baeg Kim*  
.....  
Thesis director, Jeong-Woo Jwa, Prof. of Telecommunication Eng.

*Jeong Woo Jwa*  
.....  
Thesis director, Heung-Soo Kim, Prof. of Telecommunication Eng.

.....  
(Name and signature)

*Kim Heung Soo*

2007. 12. 14

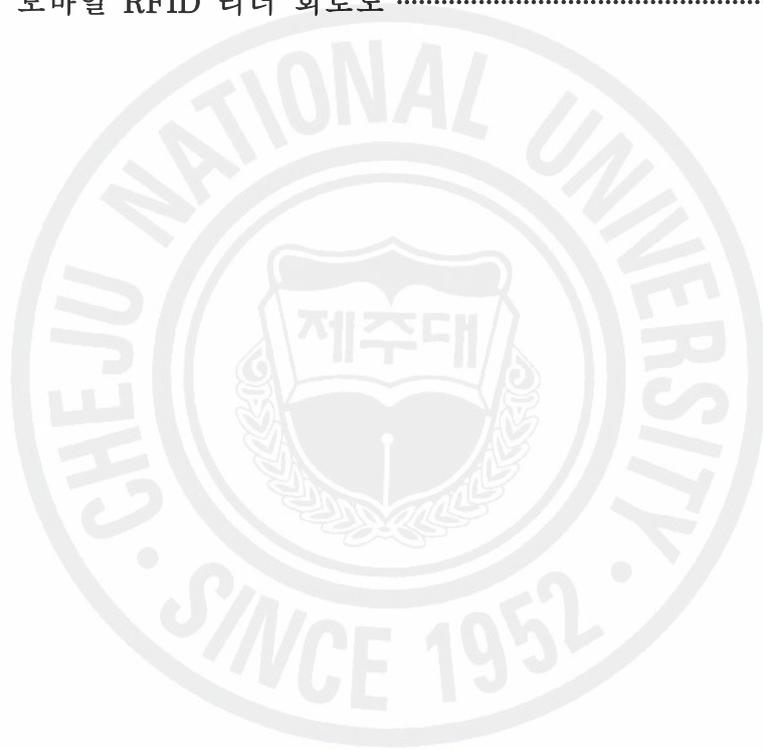
.....  
Date

**Department of Telecommunication Engineering  
GRADUATE SCHOOL  
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY**

# 목 차

목 차 .....	i
표 목 차 .....	iii
그 립 목 차 .....	iv
Abstract .....	1
I. 서론 .....	3
II. UHF 대역 RFID 무선접속 표준 .....	6
1. ISO 18000-6 무선접속 표준 .....	6
1) ISO 18000-6 A 타입 무선접속 표준 .....	7
2) ISO 18000-6 B 타입 무선접속 표준 .....	7
2. EPC 무선접속 표준 .....	8
1) EPC 클래스-0 무선접속 표준 .....	8
2) EPC 제1세대 클래스-1 무선접속 표준 .....	10
3) EPC 제2세대 클래스-1 무선접속 표준 .....	19
III. UHF 대역 RFID 충돌방지 알고리즘 .....	31
1. EPC 클래스-0 충돌방지 알고리즘 .....	32
2. EPC 제1세대 클래스-1 충돌방지 알고리즘 .....	33
3. EPC 제2세대 클래스-1 충돌방지 알고리즘 .....	36
IV. UHF 대역용 모바일 RFID 리더 설계 및 구현 .....	39
1. UHF 대역용 모바일 RFID 리더 .....	39
2. UHF 대역용 모바일 RFID 리더 설계 .....	41
1) 시스템 구성 .....	41
2) 시스템 제원 .....	47
3. 시스템 펌웨어 구성 .....	49
V. 제작 및 측정 .....	59
1. 모바일 RFID 리더 측정 .....	59

1) EPC 클래스-0 .....	60
2) EPC 제1세대 클래스-1 .....	82
3) EPC 제2세대 클래스-1 .....	87
2. 충돌방지 알고리즘 구현 결과 .....	92
3. 안테나 특성 .....	93
VI. 결과 및 고찰 .....	95
VII. 결론 .....	98
참고문헌 .....	100
부 록 I : 모바일 RFID 리더 회로도 .....	104



## 표 목 차

표 1. ISO 18000-6 A 타입과 B 타입의 주요 파라미터 .....	7
표 2. 오실레이터 캘리브레이션 신호의 타이밍( $\mu\text{s}$ ) .....	9
표 3. 데이터 캘리브레이션 신호의 타이밍( $\mu\text{s}$ ) .....	10
표 4. 북미와 유럽에서의 리더-TO-태그 변조 파라미터 .....	11
표 5. 리더 빈 변조 타이밍 .....	15
표 6. 북미와 유럽에서의 태그-TO-리더 변조 파라미터 .....	16
표 7. 일반적인 리더-TO-태그 Tari 값 .....	21
표 8. 태그-TO-리더 데이터 전송속도 .....	27
표 9. 태그-TO-리더 접속 주파수 .....	28
표 10. 링크 타이밍에 대한 파라미터 .....	29
표 11. CC1020 RF 트랜시버의 주요 제원 .....	42
표 12. 레지스터 설정을 위한 접속에서의 타이밍 기준 .....	44
표 13. EPC RFID 무선 접속 표준과 설계 시스템의 제원 비교 .....	48
표 14. 데이터 심벌과 캘리브레이션 신호의 타이밍 관계( $\mu\text{s}$ ) .....	65
표 15. 클래스-0 태그의 인식 거리 비교 .....	80
표 16. 단일 태그 인식시의 주요 파라미터 비교 .....	81
표 17. 제1세대 클래스-1 표준과 제안 시스템의 주요 파라미터 비교 .....	87
표 18. EPC 충돌 방지 알고리즘 시뮬레이션 결과 .....	93
표 19. 제작된 모바일 RFID 리더의 제원 .....	97

## 그림 목 차

그림 1. EPC 클래스-0 프로토콜 구조 .....	8
그림 2. 오실레이터 캘리브레이션 신호 .....	9
그림 3. 데이터 캘리브레이션 신호 .....	9
그림 4. 데이터 심벌과 캘리브레이션 신호의 관계 .....	10
그림 5. 리더-TO-태그 변조 개요 .....	12
그림 6. 데이터 변조 .....	13
그림 7. 빈 변조 .....	13
그림 8. 빈 응답 창 .....	14
그림 9. 쿼리스트 인터벌 .....	14
그림 10. 이진 데이터 '0'에 대한 데이터 변조 타이밍 .....	15
그림 11. 이진 데이터 '1'에 대한 데이터 변조 타이밍 .....	15
그림 12. 최대 전송속도에서의 데이터 변조 타이밍 .....	15
그림 13. 싱크 펄스로부터 'ScrollID' 명령에 대한 응답까지의 지연시간 .....	17
그림 14. 빈 펄스로부터 'PingID' 명령에 대한 응답까지의 지연시간 .....	17
그림 15. 'ScrollID' 명령에 대한 태그의 응답 지속시간 .....	18
그림 16. 태그로부터 리더로 전송되는 데이터 비트의 셀 변화 .....	18
그림 17. 리더로 전송되는 데이터에 대한 비트 셀 부호화 .....	18
그림 18. PIE 심벌 .....	20
그림 19. 리더-TO-태그 통신에서의 프리앰블과 프레임 싱크 .....	21
그림 20. FM0 기저 함수와 심벌 생성을 위한 상태도 .....	23
그림 21. FM0 심벌과 데이터 수열 .....	24
그림 22. 태그-TO-리더 통신에서의 FM0 신호의 종료 유형 .....	24
그림 23. FM0에서의 태그-TO-리더 프리앰블 .....	25
그림 24. Miller 기저 함수와 심벌 생성을 위한 상태도 .....	25
그림 25. Miller 부반송과 수열 .....	26

그림 26. Miller 부반송파 신호 전송에서의 종료 유형 .....	26
그림 27. Miller 부반송파에서의 태그-TO-리더 프리앰블 .....	27
그림 28. 리더와 태그간의 접속 타이밍 .....	29
그림 29. EPC 클래스-0 태그의 상대천이도 .....	33
그림 30. 리더와 태그의 변조 과정 .....	35
그림 31. EPC 제2세대 클래스-1의 태그 인식 과정 .....	36
그림 32. 하나의 태그에 대한 인벤토리, 액세스 과정 예시 .....	38
그림 33. 모바일 RFID 시스템 전체 구성도 .....	40
그림 34. 모바일 RFID 리더 블록도 .....	41
그림 35. MCU와 RF 트랜시버 간의 접속도 .....	43
그림 36. 설정 레지스터 정보의 기록과 조회 .....	44
그림 37. 클래스-0에서의 태그 데이터 수신 절차 .....	50
그림 38. 클래스-0에서의 태그 데이터 판별 과정 .....	51
그림 39. 구현된 EPC 클래스-0 충돌 방지 알고리즘 흐름도 .....	52
그림 40. 오실레이터 캘리브레이션 신호 생성 흐름도 .....	53
그림 41. PWM 신호 생성에서의 글리치 .....	55
그림 42. 레지스터값 변경과 조회 프로그램 흐름도 .....	56
그림 43. 시스템 펌웨어 흐름도 .....	57
그림 44. 설계된 RFID리더 보드 레이아웃, 부품 배치도와 제작 사진 .....	59
그림 45. 측정에 사용된 클래스-0 태그 .....	60
그림 46. RF 트랜시버 레지스터 설정 신호 파형 .....	61
그림 47. MCU의 출력 신호와 태그의 수신 신호간 지연 .....	63
그림 48. MCU의 출력 신호와 태그 응답 신호의 복조 출력 .....	64
그림 49. 리더의 출력 스펙트럼 측정환경과 출력 스펙트럼 .....	65
그림 50. MCU 출력 신호 측정 환경과 측정 파형 .....	66
그림 51. 마스터 리셋 신호의 지속 시간 .....	67
그림 52. 오실레이터 캘리브레이션 신호 측정 파형 .....	67
그림 53. 데이터 캘리브레이션 신호 측정 파형 .....	68
그림 54. 데이터 펄스 측정 파형 .....	69

그림 55. 태그 리셋 신호에 대한 태그의 응답 파형 측정 환경과 응답파형 .....	70
그림 56. 리더의 출력 스펙트럼, 태그의 응답 스펙트럼과 측정환경 .....	72
그림 57. 태그 응답 신호의 복조 출력 .....	73
그림 58. 클래스-0 태그와 리더의 이격 거리에 따른 수신 복조 파형 .....	74
그림 59. 태그 응답 신호, 표본화 신호와 주파수 변경 신호 파형 .....	75
그림 60. 1비트 태그 응답 데이터 인식 과정 .....	76
그림 61. 2비트 태그 응답 데이터 인식 과정 .....	77
그림 62. 3비트 태그 응답 데이터 인식 과정 .....	77
그림 63. 클래스-0 태그의 전체 데이터 송신시의 응답 파형 .....	78
그림 64. 인식된 태그 데이터 .....	78
그림 65. 측정에 사용된 상용 RFID 리더 .....	79
그림 66. MPR5000 RFID 리더의 데이터 전송속도와 단일 태그 인식 시간 .....	80
그림 67. AR-400 RFID 리더의 데이터 전송속도와 단일 태그 인식 시간 .....	81
그림 68. 측정에 사용된 Alien 사의 제1세대 클래스-1 태그 .....	82
그림 69. 리더의 명령과 파워업 신호 .....	82
그림 70. 트랜잭션 갭과 RF 파워온 지속시간 .....	83
그림 71. 데이터 변조 파형 .....	84
그림 72. 'TALK', 'ScrollID' 명령에 따른 태그의 응답 신호 .....	84
그림 73. 제1세대 클래스-1 태그의 응답 스펙트럼 .....	85
그림 74. 제1세대 클래스-1 태그의 응답 신호와 복조 출력 .....	85
그림 75. 제1세대 클래스-1 태그와 리더의 이격 거리에 따른 태그 응답 파형 .....	86
그림 76. 측정에 사용된 제2세대 클래스-1 태그 .....	87
그림 77. 'SELECT', 'QUERY', 'QUERYAdjust' 명령 파형 .....	88
그림 78. 제2세대 클래스-1에서의 Tari .....	88
그림 79. 'SELECT' 명령과 명령 구성 형태 .....	89

그림 80. 'QUERY' 명령과 명령 구성 형태 .....	90
그림 81. RTcal과 TRcal .....	90
그림 82. 태그의 RN16 응답 파형 .....	91
그림 83. 태그 응답 신호의 데이터 전송속도 .....	92
그림 84. 충돌 방지 알고리즘 구현 결과 비교 .....	92
그림 85. 측정에 사용된 안테나 .....	93
그림 86. 안테나의 반사손실 .....	94
그림 87. 안테나의 방사패턴(910 MHz) .....	94



## Abstract

In this thesis, the mobile RFID reader having simplified hardware is proposed, and the performance of the RFID reader is verified through measurement.

In general, the activation power of tags is about  $-10$  dBm, and the maximum tag recognition distance is considered about 1m for mobile RFID services. From this, the RF output power of the proposed RFID reader is determined to 20 dBm that is the minimum level required to provide application service properly. Lowering the output power enables to decrease the size and the number of the required electronic elements for proper design of the RFID reader. In designing the RFID reader, single chip RF transceiver, CC1020 manufactured by Chipcon AS., is used for reducing the size and for simplifying the design of hardware. However, a general-purpose RF transceiver can not meet the requirements in modulation scheme, data encoding method, and data transmission rate required to recognize the RFID tag data properly. These requirements are fulfilled through the implementation of the well-designed system firmware. To satisfy these requirements, the system firmware is designed as follows. First, in the modulation scheme, the system firmware of the RFID reader is designed to use ASK modulation scheme and to change the receiving frequency in confirmation process of the received signal. Second, in relation to the data encoding method, the PWM signals required to recognize the tag are generated using loop structure by the micro-controller, and those are transmitted through the transparent mode of RF transceiver. By using this process, the transmission of the pulses having proper width for recognizing the tag can be carried out. Last, the data transmission rate is determined somewhat slower than the value in the

standard. The appropriateness of decided data transmission rate is verified through measurement. And the measurement on the overall characteristics of manufactured RFID reader such as the transmitting and receiving frequency characteristics, the timing characteristics of the pulse signals for tag recognition, the receiving characteristics of the tag response signal at the determined data transmission rate and the receiving characteristics of the tag response signal by distance is carried out. Through this process, the conformance to the EPC RFID standards is verified. Also, the comparison with commercial RFID readers is carried out.

From the measurement results on the overall characteristics of the manufactured RFID reader, it conforms to EPC RFID standards. The manufactured mobile RFID reader has 11kbps minimum data transmission rate, and can recognize tags at a distance of 50cm maximum. The overall size of the manufactured RFID reader is 71mm × 55mm, that is the maximum 90%, minimum 14% reduced size compared with marketed product. The advantage of the proposed RFID reader is that the RFID application service network is established without additional communication hardware.

## I. 서론

최근 많은 연구 개발이 진행되고 있는 유비쿼터스 컴퓨팅 분야는 기존의 시장 구조, 교육 환경 및 경제 활동에 큰 변화를 가져다 줄 것으로 전망하고 있다<sup>[1]</sup>. RFID(radio frequency identification)는 기존의 바코드나 자기(magnetic) 인식 장치의 단점을 보완하고 사용의 편리성을 향상시켜 줄 차세대의 유비쿼터스 센서 네트워크(USN)와 텔레매틱스 서비스 구현에 있어 가장 핵심적인 기초 기술로서 인식되고 있다. 이와 관련하여 정부는 IT839 전략을 발표하여 IT산업의 새로운 서비스 도입과 신규 수요 창출에 역량을 집중하며 신규 서비스로서 RFID/USN 도입을 강력하게 추진하고 있다. 정보통신부는 RFID/USN용 주파수 대역을 908.5~914MHz(5.5MHz)로 확정하였으며<sup>[2]</sup>, 한국정보통신기술협회(TTA), 한국 RFID/USN 협회, RFID 산업화 협의회를 중심으로 RFID 관련 표준화 그룹이 구성되어 RFID 기술의 다양한 방면에 대한 작업이 진행되고 있다. 국제적으로 RFID에 관한 하드웨어 규정과 리더와 태그간의 통신방식 등에 대한 표준화 작업은 ISO/IEC, ITU-T, EPCglobal 및 AIM Global 등의 기구 및 단체에 의하여 주도적으로 진행되고 있다<sup>[3]</sup>.

RFID 시스템은 무선주파수 신호를 매개로 태그에 부착된 IC칩에 저장되어 있는 고유 정보를 비접촉식으로 판독하는 식별장치이다. 또한 이 시스템은 리더의 인식영역 내에서 여러 개의 태그를 아주 짧은 시간 동안에 인식할 수 있고, 태그에 비교적 대용량의 데이터를 저장할 수 있으며, 반영구적인 사용이 가능하다는 장점이 있다. 이러한 RFID 시스템은 태그, 리더, 미들웨어 및 응용 서비스 플랫폼으로 구성되고, 유무선 통신망과 연동되어 사용된다. RFID 시스템에서 태그는 그 자신을 유일하게 식별할 수 있는 정보를 가지고 공간상에 위치한다. 리더는 태그와의 통신을 통해 태그의 정보를 획득하고, 태그에서 수집된 정보를 미들웨어로 전송하는 기능을 한다. RFID 태그와 리더는 사용하는 주파수 대역과 활용되는 분야에 따라 다양한 크기, 모양 그리고 특성을 갖도록 설계 할 수 있다<sup>[4][5][6]</sup>. 특히 리더의 경우 응용 분야에 따라 그 성능 및 특성에 큰 차이를 나타낼

수도 있다. RF 출력 전력, 태그 인식 거리, 전원 공급 방식, 무선 통신 환경에 따른 데이터 통신 속도 등 장치의 설계 개념에 따라 다양한 인자들이 변수가 될 수 있다. 따라서 기존의 고정형, 휴대형 및 모바일 리더 이외에도 시장의 요구에 따라 응용 분야에 맞는 다양한 플랫폼 기반의 리더가 개발될 것으로 예측하고 있다. 리더가 태그를 인식하는 과정에서는 수많은 태그들이 하나의 리더 인식영역 내에 존재할 수 있다<sup>[3]</sup>. RFID 시스템에서 리더는 인식영역 내의 태그로 정보 요청 메시지를 전송하고, 이러한 요청 메시지를 수신한 태그는 자신이 저장하고 있는 정보를 리더로 전송한다. 그러나 인식영역 내에 다수의 태그가 존재하여 이러한 태그들이 동시에 요청 메시지에 대한 응답을 하게 되면 무선 통신 채널 상에서 정보의 충돌(collision)이 발생한다. 이러한 상황에서 리더는 태그의 정보를 정확하게 수신하지 못하게 된다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해 충돌방지 알고리즘(anti-collision algorithm)이 사용되며, 이는 RFID 리더 시스템의 인식 성능을 결정짓는 중요한 요소가 된다. 현재 다양한 충돌방지 알고리즘이 제안되고 있으나, 이진탐색(binary search) 방식을 기반으로 하는 결정적 알고리즘(deterministic algorithm)과 ALOHA 방식을 기반으로 하는 확률적 알고리즘(probabilistic algorithm)에 기초하고 있다<sup>[7]</sup>.

여러 문헌에서 언급되고 있듯이 RFID 기술에 대한 활용도 및 그 기능성에 대한 기대 전망은 기존의 유통, 물류 및 기타 개별 데이터의 통합 관리가 요구되는 분야에 혁신을 일으킬 기술로 인식되고 있으며 막대한 잠재 수요를 가지고 있다고 예측되고 있다. 그러나 태그 가격, 인식률, 보안 및 프라이버시 문제 등 기술 보급에 따른 해결 과제는 여전히 존재하고 있다<sup>[6][7][8]</sup>. 그리고 현재 시중에 보급되고 있는 RFID 리더의 대부분은 일정 규모 이상의 관리 체계에 적합한 고정형이 대부분이고 휴대용 RFID 리더에 있어서도 그 크기가 휴대에 용이하지 않은 경우가 많다.

본 논문에서는 하드웨어 설계를 단순화한 900MHz 대역용 모바일 RFID 리더 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 낮은 출력 전력을 가지며, 단일칩(single chip) 범용 RF 트랜시버를 사용한다. 낮은 출력 전력은 소요 부품의 크기와 수량을 감소시키며, 단일칩 RF 트랜시버의 사용은 장치의 크기를 감소시켜 하드웨어 설계가 단순화된다. 또한 RF 트랜시버는 그 자체가 소출력 무선 통신망 구축에

활용될 수 있으므로, 제안하는 시스템을 활용한 RFID 서비스망 구축시 효과적인 수단이 될 수 있다. 하지만 범용 트랜시버는 태그 데이터 인식 시 필요한 변조 방식, 부호화 방식 그리고 전송속도 조건을 충족시키지 못한다. 그래서 제안하는 시스템에서는 ASK 방식을 사용하고 신호 수신시 주파수 절환을 수행하여 변조 방식에서의 문제를 해결한다. 부호화 방식에서의 문제는 MCU에서 생성된 PWM 신호를 RF 트랜시버에서는 특정 부호화 방식을 사용하지 않고 전송하여 적절한 폭의 펄스가 태그로 전송되도록 한다. 전송속도는 RF 트랜시버의 송수신 타이밍 특성을 만족하는 범위 이내에서 설정한다. 수신 주파수는 하나의 프로그램 루틴을 이용하여 플래그의 상태에 따라 해당 주파수로 절환되도록 한다. 펄스의 생성과 태그 인식을 위한 부분은 EPC 클래스-0, EPC 제1세대 클래스-1, EPC 제2세대 클래스-1에 대하여 별도의 루틴으로 구성하며 각각의 루틴에서는 순환 구조를 이용하여 태그 인식에 필요한 펄스가 생성되도록 한다. 그리고 태그 데이터의 수신은 타이머 인터럽트 방식을 이용하도록 시스템 펌웨어를 설계하여 제안한 모바일 RFID 리더 시스템을 제작한다. 그리고 제작된 시스템에 대해서는 각각의 EPC RFID 표준을 기준으로 송수신 주파수 특성, 태그 인식을 위한 펄스의 타이밍 특성, 설정된 속도에서의 태그 응답 신호 수신 특성, 그리고 거리에 따른 태그 응답 신호 수신 특성을 측정하여 그 성능을 확인한다.

본 논문은 다음과 같은 순서로 구성되어 있다. II장에서는 UHF 대역 RFID 표준인 EPC 표준에 대한 내용 설명이 다루어지고, III장에서는 EPC 표준에서 제안하는 충돌방지 알고리즘에 대한 개요가 기술되며, IV장에서는 UHF 대역용 모바일 RFID 리더의 설계 및 구현과 관련된 내용이 하드웨어 구성과 시스템 펌웨어로 구분되어 설명된다. V장에서는 제작된 리더의 특성을 EPC RFID 표준을 기준으로 측정하여 표준과의 부합 여부를 확인하고, 범용 RFID 리더와의 비교를 통하여 그 성능을 확인한다. VII장은 이러한 결과를 토대로 설계 결과에 대하여 종합적으로 고찰하는 부분으로 할애하였고 VIII장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. UHF 대역 RFID 무선접속 표준

UHF 대역 RFID 관련 표준화는 국제 표준화 단체인 ISO/IEC와 민간 표준단체인 EPC Global이 주도하고 있다. ISO/IEC에서는 무선 접속과 관련된 표준으로 태그 식별, 파라미터 규정 그리고 상이한 주파수별 무선 접속을 포함하여 모두 8 가지 표준을 제안하고 있으며, EPC Global에서는 13.56MHz와 900MHz 주파수 대역에 대한 무선 접속 표준을 제안하고 있는데 이 중 900MHz UHF 대역에 해당하는 표준으로는 EPC 클래스-0, EPC 제1세대 클래스-1 그리고 EPC 제2세대 클래스-1이 있다. EPC 제2세대 클래스-1 규격은 ISO/IEC 18000-6 A 타입, B 타입에 이어 900MHz 대역의 국제 단일 표준인 18000-6 C 타입으로 2006년 6월에 확정되었다. EPC 제2세대 클래스-1 규격은 기존 EPC 클래스-0, EPC 제1세대 클래스-1 및 ISO 18000-6 A 타입, B 타입에 비해 높은 인식속도와 동시에 태그를 액세스할 수 있는 다중 리더 기능, 유연한 태그 식별 프로토콜, 보안 기능의 강화, 밀집리더 모드 지원 등 다양한 측면에서 기술적 우위를 갖는다. UHF 대역 국제 단일 표준이 확정됨에 따라 다양한 응용 분야에서 RFID 시스템 도입을 위한 기술적 검토와 요구사항의 도출이 활발해지고 있으며, 이에 따라 RFID 기술의 고도화와 여러 가지 시스템 통합기술이 개발되고 있다. 본 논문에서는 900MHz UHF 대역 RFID 무선 접속 표준인 ISO/IEC의 ISO 18000-6 A 타입/B 타입과 EPC 클래스-0, 제1세대 클래스-1 그리고 제2세대 클래스-1에 대하여 살펴보고 이러한 표준에 근거하여 EPC Global에서 제안하는 표준에 적합한 모바일 RFID 리더 시스템을 설계한다.

### 1. ISO 18000-6 무선접속 표준<sup>[9][10]</sup>

ISO의 900MHz 대역 표준인 ISO 18000-6에는 A 타입과 B 타입의 두 가지 무선 접속 표준을 포함하고 있다. 본 절에서는 ISO 18000-6의 RFID 무선 접속

표준에 대하여 기술한다.

### 1) ISO 18000-6 A 타입 무선접속 표준

ISO 18000-6 A 타입은 860~960MHz 대역을 이용하고, 충돌 방지 알고리즘으로는 알로하 알고리즘을 사용하며, 변조 방법은 AM(amplitude modulation)을 사용한다. 데이터 부호화는 리더에서 태그로 전송되는 데이터의 경우 PIE(pulse interval encoding) 방식을 사용하며, 태그에서 리더로 전송되는 데이터의 경우에는 FM0(bi-phase space) 방식을 사용한다.

### 2) ISO 18000-6 B 타입 무선접속 표준

ISO 18000-6 B 타입은 리더에서 태그로의 데이터 전송에서는 맨체스터(manchester) 부호화 방식을 사용하여 데이터를 부호화하며, 태그에서 리더로 데이터가 전송되는 경우에는 FM0 방식을 사용하여 데이터를 부호화한다. 변조 방법은 ISO 18000-6 A 타입과 마찬가지로 AM 방식을 사용한다. 그리고 충돌 방지 알고리즘으로는 이진트리(binary tree) 방식을 사용한다. 표 1에 ISO 18000-6 A 타입과 B 타입에서 리더와 태그 간의 통신에 있어서의 주요 파라미터를 요약하여 나타내었다.

표 1. ISO 18000-6 A 타입과 B 타입의 주요 파라미터

분 류	ISO 18000-6 A 타입	ISO 18000-6 B 타입
동작 주파수	860~960MHz	860~960MHz
리더 → 태그 부호화	PIE	Manchester
태그 → 리더 부호화	FM0	FM0
변조방법	AM	AM
전송속도	33 또는 40kbps	8 또는 40kbps
충돌 방지 알고리즘	ALOHA	Binary Tree
태그 Bit 수	64 bits(40 bits SUID)	64 bits
에러 체크 방법	16 bit CRC	16 bit CRC

## 2. EPC 무선접속 표준

본 절에서는 민간 표준 단체인 EPCglobal에서 900MHz 대역 무선 인터페이스 표준으로서 제안하는 EPC 클래스-0, EPC 제1세대 클래스-1, EPC 제2세대 클래스-1 무선 접속 표준에 대한 내용을 기술한다.

### 1) EPC 클래스-0 무선접속 표준<sup>[11]</sup>

그림 1은 EPC 클래스-0(이하 클래스-0) 무선 접속 표준에서의 기본적인 프로토콜 구조를 나타낸다. 그림 1에서 파워업과 마스터 리셋 과정에서는 리더가 RF 출력을 발생시키기 위한 동작과 인식영역 내의 태그들을 리셋시키기 위한 동작이 이루어진다. 마스터 리셋 신호는 안테나를 통하여 출력되는 변조되지 않은 RF 반송파로서 인식영역 내의 태그들이 적절하게 이 신호를 감지할 수 있도록 충분한 시간 동안 출력이 지속되어야 하며 클래스-0 표준에서는 약  $800\mu\text{s}$  정도로 제안하고 있다. 그리고 오실레이터 캘리브레이션과 데이터 캘리브레이션 과정은 태그와의 데이터 교환을 위한 타이밍 정합 관련 동작이다.

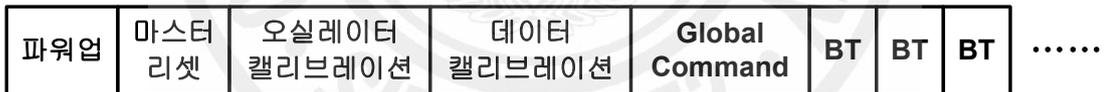


그림 1. EPC 클래스-0 프로토콜 구조

그림 2는 오실레이터 캘리브레이션 신호의 파형을 나타낸다. 오실레이터 캘리브레이션 신호는 주기가  $116\mu\text{s}$ 인 8개의 펄스로 구성되며, 각 펄스의 사이에는 지속시간이 각각  $15\mu\text{s}$ 인 RF 온, 오프 신호를 펄스 사이에 구분자로 삽입하여 캘리브레이션 펄스를 구분한다.

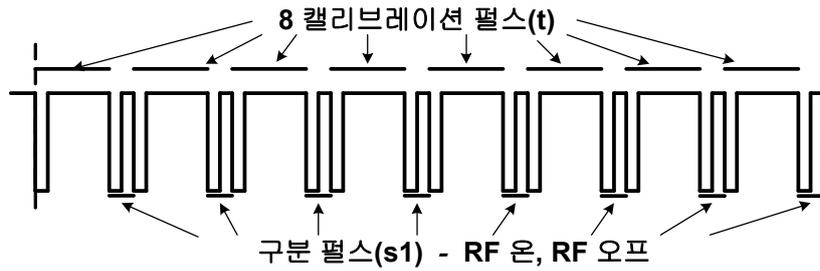


그림 2. 오실레이터 캘리브레이션 신호

표 2는 오실레이터 캘리브레이션 신호의 타이밍 관계를 나타낸다.

표 2. 오실레이터 캘리브레이션 신호의 타이밍( $\mu s$ )

파라미터	최소	Typical	최대
캘리브레이션 펄스(t)	115	116	117
분리폭(s1)	6	...	15

그림 3은 데이터 캘리브레이션 신호의 상세 파형을 나타낸다. 데이터 캘리브레이션 신호는 '0' 캘리브레이션 신호(리더 'T0' 신호), '1' 캘리브레이션 신호(리더 'T1' 신호) 그리고 'Null' 캘리브레이션 신호(리더 'T2' 신호)의 세 가지 펄스로 구성된다. 데이터 캘리브레이션 신호는 태그에서 '0', '1' 그리고 'Null' 데이터를 식별하기 위한 참조 신호이다. 데이터 캘리브레이션 신호의 타이밍 관계는 표 3에 나타내었다.

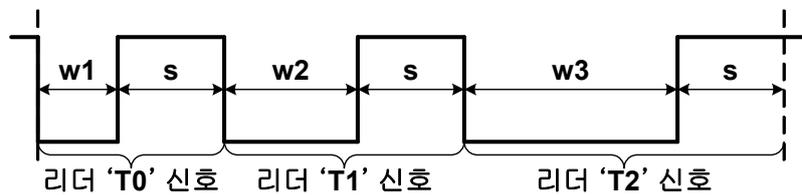


그림 3. 데이터 캘리브레이션 신호

표 3. 데이터 캘리브레이션 신호의 타이밍( $\mu s$ )

파라미터	최소	제약 조건	최대
w1	4.5	...	18
w2	6.5	$>w1$	20
w3	9.5	$>w2$	25
s(separation)	6	...	20

그림 4는 데이터 캘리브레이션 신호의 파형과 '0', '1' 그리고 'Null' 데이터 심벌 파형을 비교한 것이다. 그림 4에서 데이터 심벌의 주기 및 캘리브레이션 신호의 주기는 구현되는 리더의 성능에 적절하도록 가변적으로 설정이 가능한 부분이다. 이 때 w1의 타이밍은 데이터 심벌 '0'과 데이터 심벌 '1'의 중간에 놓이도록, 그리고 w2의 타이밍은 데이터 심벌 '1'과 데이터 심벌 'Null'의 중간에 놓이도록 설정하게 된다. 그리고 w3는 비트주기 이내에서 다른 신호와의 구분이 뚜렷이 이루어지도록 설정하면 된다.

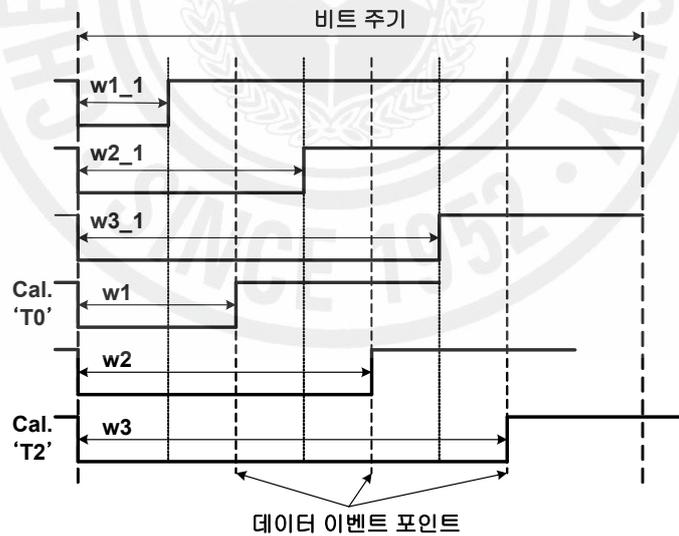


그림 4. 데이터 심벌과 캘리브레이션 신호의 관계

## 2) EPC 제1세대 클래스-1 무선접속 표준<sup>[12][13][15]</sup>

리더와 태그 간 그리고 태그와 리더 간의 통신은 반이중 방식(half-duplex)

manner)으로 이루어지며 리더와 태그의 통신은 리더가 완전한 명령을 변조하여 태그로 전송함으로써 개시된다. 그 이후 리더는 변조되지 않은 CW(continuous wave)를 태그로 전송하고 태그는 리더로부터의 CW 신호를 안테나 단자의 반사 계수를 변경시킴으로써 변조한다.

EPC 제1세대 클래스-1(이하 클래스-1)에서 리더와 태그는 30%~100% 변조도의 진폭 편이 변조 방식을 이용하여 통신한다. 변조 파형, 변조도 및 변조율(rate of modulation)은 아래에 설명되는 범위 내에서는 가변적이다. 클래스-1 표준을 따르는 태그는 리더 명령의 '[CLKSYNC]' 구간 동안에 리더의 전송신호에 lock시키기 위하여 변조율의 범위 안에서 타이밍을 자동적으로 조정하게 된다.

표 4는 북미와 유럽 규격에 대한 일반적인 파라미터를 나타낸 것이다. 데이터 교환 기간 동안 리더 클럭은 1% 범위 내에서 안정한 것이 바람직하며, 그 이외의 기본 클럭 사이클 타이밍은 변조 클럭 주기  $T_0$ 에 비례적이다.

표 4. 북미와 유럽에서의 리더-TO-태그 변조 파라미터

파라미터	내 용	북미	유럽
$T_0$	마스터 클럭 주기	14.25 $\mu$ s	66.67 $\mu$ s
$T_{0Tol}$	마스터 클럭 주기의 변동폭	최대 $\pm 1.00\%$	최대 $\pm 1.00\%$
$1/T_0$	데이터 전송속도	70.18kbps	15.00kbps
$T_{fwhm0}$	데이터 '0'의 지속시간( $1/8 T_0$ )	1.78 $\mu$ s	8.25 $\mu$ s
$T_{fwhm1}$	데이터 '1'의 지속시간( $3/8 T_0$ )	5.34 $\mu$ s	24.75 $\mu$ s
MOD	변조도	90.00%	50.00%
$D_{MOD}$	변조도의 변동폭	10.00%	10.00%
$T_{fwhmBIN}$	빈 펄스 로우 시간( $3/8 T_0$ )	5.34 $\mu$ s	24.75 $\mu$ s
$T_{fwhmBinRW}$	빈 응답 창의 지속시간 ( $8 \times T_0$ )	114.00 $\mu$ s	533.33 $\mu$ s
$T_{trangap}$	트랜잭션 갭의 지속시간( $1.25 \times T_0$ )	17.81 $\mu$ s	83.33 $\mu$ s
$T_{coast}$	EOF와 다음 트랜잭션 갭 사이의 시간	최대 20.00ms	최대 20.00ms
$T_{Reset}$	변조신호에서 태그 파워다운을 위한 로우(low) 시간	최소 200.00 $\mu$ s	최소 200.00 $\mu$ s

클래스-1에서 리더와 태그간의 통신은 크게 다섯 단계로 구분된다. 리더와 태그간의 통신은 최소  $1.25 \times T_0$ 의 오프 구간, 또는 트랜잭션 갭(transaction

gap)(1 단계)으로 시작되며, 그 다음은 변조가 수행(2 단계)되기 이전에  $64\mu\text{s}$ 의 CW 구간이(방사 신호에 변조가 수행되지 않음) 오게 된다. 1단계와 2단계는 리더 명령의 프리앰블을 구성하게 된다. 그 이후 리더는 태그와의 통신을 위하여 명령의 나머지 부분에 대하여 변조를 수행한다. 이것을 데이터 변조창(data modulation window)(3 단계)이라고 한다. 짧은 셋업 주기(setup period)(4 단계)는 태그가 직전에 전송된 리더의 명령을 해석하고 수행하는 시간이다. 마지막으로, 리더는 로우 변조(low modulation) 단계로 들어가게 되는데, 이 기간 동안 태그는 직전에 수신한 리더의 명령에 대한 응답을 수행한다(5 단계). 그림 5에 리더-TO-태그(이하 R $\Rightarrow$ T) 접속에서의 변조 방식에 대한 과정을 나타내었다. 태그 응답 구간에서의 로우 변조는 CW 신호나 빈 변조(bin modulation)가 되며, 빈 변조는 태그의 응답 타임 슬롯 결정을 위한 'PingID' 명령의 태그 응답 주기 동안 이루어진다.

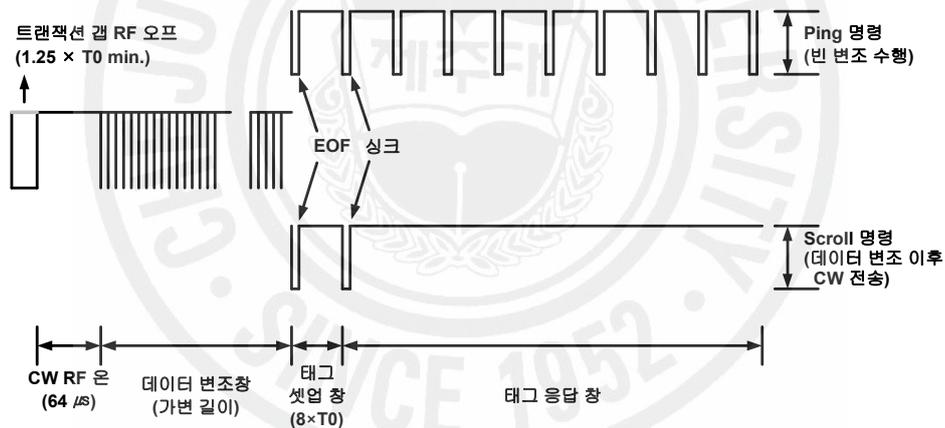


그림 5. 리더-TO-태그 변조 개요

모든 데이터의 교환은 트랜잭션 갭(  $T_{trngap}$  )으로 시작하며, 그 뒤를 따르는 데이터 변조창에 앞서  $64\mu\text{s}$ 의 CW 신호가 따르게 된다. 데이터 변조의 시작부에서 리더는 마스터 클럭 신호를 태그에 공급하게 되는데, 이것은 리더 명령의 'CLKSYNC' 주기에 해당하며 로우 구간(low interval)의 하강 에지 사이의 시간(  $T_0$  )은 리더와 태그 간의 데이터 통신 속도를 결정한다. 태그는 RF 포락선의 로우 구간의 하강 에지에서 리더와 동기가 이루어지며, 모든 후속하는 신호의 교

환은 이 기본 주파수와 비례관계를 가진다.

리더로부터 태그로 전송되는 이진 데이터는 로우 레벨 펄스에 대한 펄스 진폭 변조로서 부호화된다. 논리 데이터 0은 마스터 클럭 신호의 주기  $T_0$ 의  $1/8$  넓이만큼 펄스 진폭 변조가 수행된 신호로서 정의된다. 그리고 논리 데이터 1은  $T_0$ 의  $3/8$  넓이만큼 펄스 진폭 변조가 수행된 신호로서 정의된다.

그림 6은 이러한 데이터 변조 과정을 나타낸 것이다. 그림에서 실선으로 표현된  $1/8T_0$ 의 로우 펄스는 데이터 '0'을 의미하며, 점선으로 표현된  $3/8T_0$ 의 로우 펄스는 데이터 '1'을 의미한다.

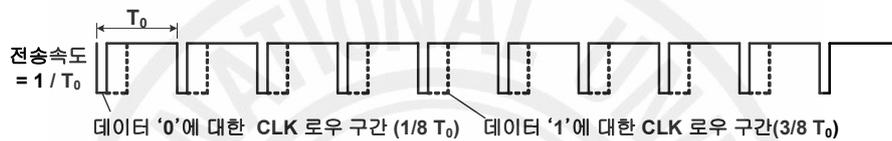


그림 6. 데이터 변조

그림 7은 빈 변조 과정동안 리더가 출력하는 과정을 나타낸 것이다. 빈 변조 주기 동안 9개의 타임 구간(interval)을 구분하기 위하여 리더로부터 9개의 펄스가 태그로 전송된다. EOF(end of frame) 이후의 첫 구간은 태그가 변조에 대한 준비를 하기 위한 시간이다. 나머지 8개의 구간은 태그의 응답 신호를 리더로 전송하기 위한 구간이다. 각 구간을 구분하는 구분 펄스의 폭( $T_{fwhmBin}$ )은  $(3/8) T_0$ 이며 논리 데이터 '1'에 해당한다. 그리고 각 구간의 폭( $T_{fwhmBinRW}$ )은  $(8) T_0$ 이다. 마지막 펄스 이후, 태그는  $2.5 \times T_0$  시간 이전에 다음 트랜잭션 캡을 수신할 준비를 마쳐야 하며,  $T_{coast}$  시간 내에서 수신되는 트랜잭션 캡을 검출할 수 있어야 한다.



그림 7. 빈 변조

하나의 빈 응답 창(bin response window)에 대한 예는 그림 8에 나타내었다. 하나의 빈 응답 창의 지속시간은  $8T_0$ 이며, 각각의 빈은 지속시간이  $3/8T_0$ 인 로우 펄스에 의하여 구분된다.



그림 8. 빈 응답 창

그림 9는 코우스트 인터벌(coast interval)을 나타낸다. 리더는  $T_{coast}$  시간 이 내에서 다음의 데이터 교환(transaction)을 시작하여 태그가 다음의 트랜잭션 갭을 검출할 수 있도록 해야 한다. 태그가 DC 전력을 완전히 소실할 만큼의 충분한 시간동안 반응과 신호가 방사되지 않은 경우에는, 태그가 다음 파워업 시점에 재동기를 수행하므로 이러한 제한이 적용되지 않는다.

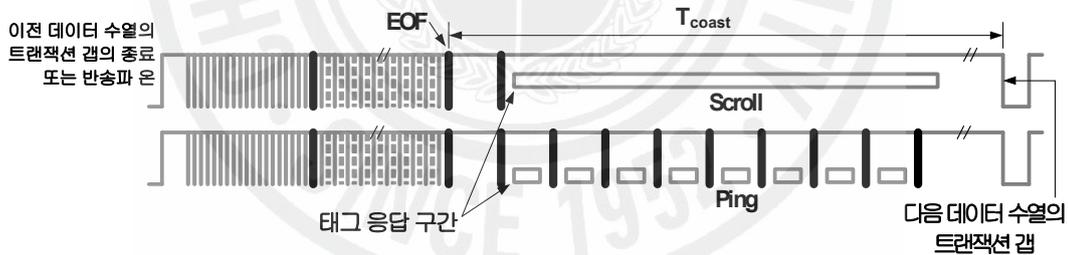


그림 9. 코우스트 인터벌

그림 10과 그림 11은 데이터 '0'과 데이터 '1'의 변조 타이밍을 나타낸다. 리더로부터 태그로 전송되는 이진 데이터는 로우 펄스에 대한 펄스 진폭 변조로서 부호화된다. 연속하는 로우 펄스의 하강 에지 사이의 거리는  $T_0$ 이다. 리더로부터 태그로 전송되는 데이터 '0'은 지속시간이  $T_{data0}$ 인 로우 펄스로 부호화되며, '1'은 지속시간이  $T_{data1}$ 인 로우 펄스로 부호화된다. 여기서  $T_{data0}$ 와  $T_{data1}$ 는 각각  $1/8 \times T_0$ 와  $3/8 \times T_0$ 이다. 또한 데이터 변조 시간  $3/8 \times T_0$ 은 EOF, 싱크(sync)

그리고 빈 펄스(bin pulse)로도 사용된다.

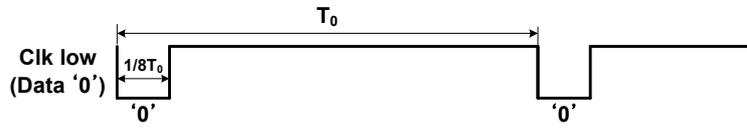


그림 10. 이진 데이터 '0'에 대한 데이터 변조 타이밍

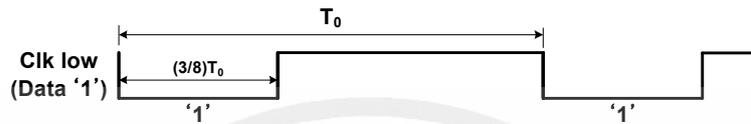


그림 11. 이진 데이터 '1'에 대한 데이터 변조 타이밍

표 5는 빈과 빈 펄스에 대한 타이밍 규정을 나타낸 것이다. 'PingID' 명령이 전송된 이후의 음의 펄스에 대한 펄스폭 변조는 태그의 응답 빈을 지시하기 위하여(즉 RF 인터럽트 주기로서) 사용된다.

표 5. 리더 빈 변조 타이밍

리더 빈 펄스폭	$T_{fwhmBin} = (3/8) \times T_0$
리더 빈 지속시간	$T_{fwhmBinRW} = 8 \times T_0$

그림 12는 마스터 클럭 주파수가 70.175kHz 일 때의 리더의 빈 변조 타이밍을 나타낸 것이다. 마스터 클럭 주파수가 70.175kHz일 때 주기는  $14.25 \mu s$ 이다. 빈 응답 창의 지속시간  $8T_0$ 는  $114 \mu s$ 가 되며, 빈 펄스의 지속시간  $3/8T_0$ 는  $5.343 \mu s$ 가 된다.

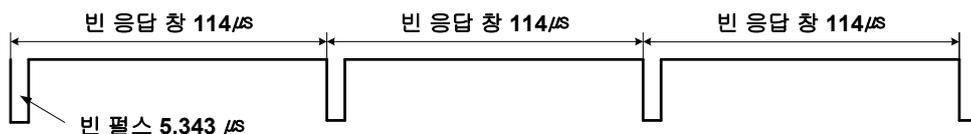


그림 12. 최대 전송속도에서의 데이터 변조 타이밍

태그는 four(4)-interval bit cell 부호화 기법에 따라 리더의 명령에 대하여 후방산란 변조를 수행함으로써 응답한다. 이진 데이터 '0'에서는 하나의 비트 셀(bit cell) 구간에서 두 번의 상태 전이가 발생되며, 이진 데이터 '1'에서는 하나의 비트 셀 구간에서 네 번의 상태 전이가 발생된다. 태그에서 리더로 데이터를 전송하는 경우의 일반적인 데이터 전송속도는 리더에서 태그로의 데이터 전송속도의 2배이지만, 태그 오실레이터의 주파수 편차를 고려하여 전체적인 하나의 80bit 응답창에서 최대 25%까지의 변동을 허용한다. 그리고 데이터는 항상 최상위 비트(MSB)에서 최하위 비트(LSB)의 순으로 전송된다. 표 6은 북미(지역 1)와 유럽(지역 2) 규격에 대한 파라미터를 나타낸 것이다.

표 6. 북미와 유럽에서의 태그-TO-리더 변조 파라미터

파라미터	내 용	북미	유럽
$T_0$	마스터 클럭 주기	14.25 $\mu$ s	66.67 $\mu$ s
$T_{tagbitcell}$	비트 셀 주기( $T_0/2$ )	7.13 $\mu$ s	33.33 $\mu$ s
Tag Data Rate	데이터 전송속도	140.35kbps	30.00kbps
$T_{tagscrollDel}$	리더의 EOF로부터 태그의 Scroll 응답 개시까지의 지연시간( $4 \times T_0$ max.)	57.00 $\mu$ s	267.00 $\mu$ s
$T_{tagpingDel}$	리더의 EOF로부터 태그의 Ping 응답 개시까지의 지연시간( $4 \times T_0$ max.)	57.00 $\mu$ s	267.00 $\mu$ s
$T_{tagreplyNom}$	태그의 88비트 Scroll 응답 지속시간( $T_0/2 \times 88$ bits)	627.00 $\mu$ s	2.93ms
$T_{tagbitcell}$	스크롤 응답에 대한 마지막 88비트 위치에서의 비트 셀 변화량	$\pm 25.00\%$	$\pm 25.00\%$
$T_{coast}$	EOF와 다음 트랜잭션 갭 사이의 시간	최대 20.00ms	최대 20.00ms

그림 13은  $T_{\text{tagscrollDel}}$  을 나타낸 것이다.  $T_{\text{tagscrollDel}}$  은 ‘ScrollID’나 ‘VerifyID’ 명령에 대하여 태그가 응답을 개시할 때까지의 지연시간으로 정의되며, 싱크 펄스의 하강 에지에서부터 측정되는 값이다.  $T_{\text{tagscrollDel}}$  은 최대  $4T_0$  이며, 북미 규격에서는  $57\mu\text{s}$ 가 되며, 유럽 규격에서는  $267\mu\text{s}$ 가 된다.

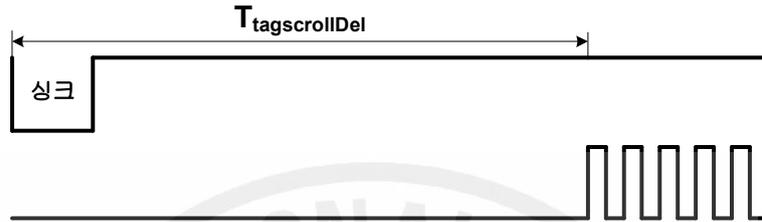


그림 13. 싱크 펄스로부터 ‘ScrollID’ 명령에 대한 응답까지의 지연시간

그림 14는  $T_{\text{tagpingDel}}$  을 나타낸 것이다.  $T_{\text{tagpingDel}}$  은 ‘PingID’ 명령에 대하여 태그가 응답을 개시할 때까지의 지연시간으로 정의되며, 빈 펄스의 하강 에지에서부터 측정되는 값이다.  $T_{\text{tagpingDel}}$  은 최대  $4T_0$  이며, 북미 규격에서는  $57\mu\text{s}$ 가 되며, 유럽 규격에서는  $267\mu\text{s}$ 가 된다.



그림 14. 빈 펄스로부터 ‘PingID’ 명령에 대한 응답까지의 지연시간

그림 15는  $T_{\text{tagreplyNom}}$  을 나타낸 것이다.  $T_{\text{tagreplyNom}}$  은 ‘ScrollID’ 명령에 대한 태그의 응답 지속시간으로 정의된다.  $T_{\text{tagreplyNom}}$  는  $T_0/2 \times 88 \text{ bit}$  이며, 이는 8비트의 프리앰블과 80비트의 태그 데이터의 전송이 지속되는 시간이다. 북미 규격에서는  $627\mu\text{s}$ 이며, 유럽 규격에서는  $2.93\text{ms}$ 이다.

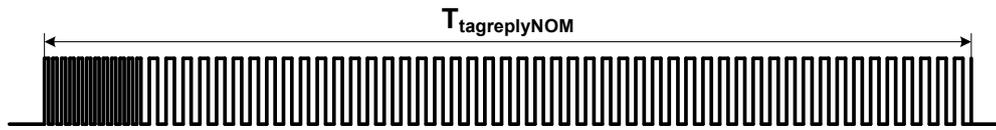


그림 15. 'ScrollID' 명령에 대한 태그의 응답 지속시간

그림 16은 태그로부터 리더로 전송되는 데이터 비트의 셀 변화를 나타낸다. 비트 셀 지속시간( $T_{tagbitcell}$ )은 스크롤 응답에 대한 마지막 88비트 위치에서의 비트 셀 변화량으로 정의된다. 태그 오실레이터의 주파수 편차를 고려하여 최대 25%까지의 변동을 허용한다.

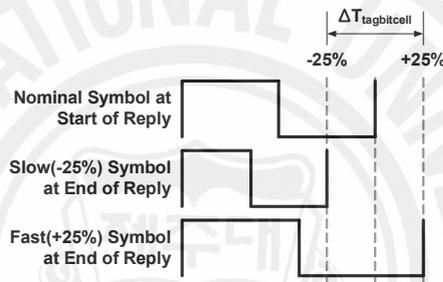


그림 16. 태그로부터 리더로 전송되는 데이터 비트의 셀 변화

그림 17은 리더로 전송되는 데이터에 대한 비트 셀 부호화를 나타낸다. 태그의 후방산란(backscatter) 신호는 하나의 비트 셀 당 두 심벌 중 하나의 심벌을 선택함으로써 변조된다. 비트 셀 지속시간( $T_{tagbitcell}$ )은 태그에서 리더로 전송되는 하나의 데이터 비트의 지속시간으로 정의된다.  $T_{tagbitcell}$ 은  $T_0/2$ 이며, 북미 규격에서는  $7.13\mu s$ , 유럽 규격에서는  $33.33\mu s$ 이다.

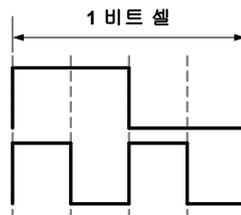


그림 17. 리더로 전송되는 데이터에 대한 비트 셀 부호화

### 3) EPC 제2세대 클래스-1 무선접속 표준<sup>[14][15][16]</sup>

EPC 제2세대 클래스-1(이하 GEN 2) 무선 접속 규격을 따르는 RFID 시스템은 860~960 MHz의 무선 신호를 사용하며 Interrogator-talk-first(ITF), slotted random anticollision 방식을 사용한다. GEN 2에서 리더는 RF 반송파를 PIE(pulse interval encoding) 기법에 따라 양측파대 진폭편이변조(DSB-ASK : double side-band amplitude shift keying), 단측파대 진폭편이변조(SSB-ASK : single side-band ASK) 또는 위상반전 진폭편이변조(PR-ASK : phase-reversal ASK) 방식을 이용하여 변조함으로써 하나 또는 그 이상의 태그에게 정보를 전송한다. 태그는 이 변조된 RF 반송파로부터 동작에 필요한 에너지를 공급받는다. 리더는 무변조 RF 반송파를 송신하고 그에 따른 후방산란 응답을 수신함으로써 태그로부터 정보를 수신한다. 태그는 RF 반송파의 진폭 또는 위상에 대하여 후방산란 변조를 수행함으로써 데이터 통신을 수행하며, 리더의 명령에 대한 응답에서 선택되는 부호화 유형은 FM0(bi-phase space) 또는 Miller-modulated 부반송파가 사용된다. 리더와 태그와의 통신 접속은 반이중 방식을 사용하여 이루어지며, 태그는 후방산란 변조를 수행하는 동안 리더로부터의 명령에 대한 복조를 수행하지 않는다. 리더로부터 에너지를 공급받은 태그는 규정된 최대 정착시간(settling-time) 구간을 초과하지 않는 시간 이내에 리더의 명령을 수신하고 그에 따른 동작을 수행하게 된다. 모든 리더-TO-태그 통신과 태그-TO-리더(이하 T $\Rightarrow$ R) 통신에서 각각의 메시지 내에서는 최상위 워드의 전송이 우선적으로 이루어지며, 각각의 워드 내에서는 최상위 비트(MSB)의 전송이 우선적으로 이루어진다.

GEN 2에서 리더는 다음의 세 가지 기본적인 동작을 수행함으로써 태그 집단을 관리한다.

- a) 선택(select) : 인벤토리 및 액세스를 위하여 태그 집단을 선택하는 동작이다. 'SELECT' 명령은 사용자에게 의하여 정의된 기준에 준하여 특정 태그 집단을 선택하기 위하여 연속적으로 사용될 수 있다. 이 동작은 데이터베이스로부터 레코드를 선택하는 것과 유사하다.
- b) 인벤토리(inventory) : 태그를 식별하는 동작이다. 리더는 네 개의 세션 중 하나의 세션에서 'QUERY' 명령을 전송함으로써 인벤토리 라운드를

시작한다. 하나 또는 다수의 태그가 응답할 수 있으며, 리더는 하나의 태그 응답을 검출하고 검출된 태그로부터 PC, EPC, 그리고 CRC-16을 요청한다. 인벤토리는 여러 개의 명령으로 구성되며, 인벤토리 라운드는 일정 시점에 오직 하나의 세션에서만 수행된다.

- c) 액세스(access) : 하나의 태그와 통신을 수행하는 동작이다. 각각의 태그는 액세스에 앞서 고유하게 식별이 이루어져야 한다. 액세스는 여러 개의 명령으로 이루어지며, R⇒T 접속에서의 cover-coding에 기반하는 일회용 난수표(one-time-pad)를 채용하고 있다.

리더는 하나의 인벤토리 라운드동안 고정된 변조 포맷을 사용하며 데이터 전송속도도 일정하게 유지한다. 리더는 라운드를 시작하는 프리앰블을 이용하여 데이터 전송속도를 결정한다.

그림 18은 R⇒T 통신에서는 사용되는 PIE 심벌을 나타낸 것이다. Tari는 리더에서 태그로의 신호 전송에서의 기준 시간(reference time interval)이며, 하나의 데이터 '0' 신호의 전송 지속 시간이다. 하이 구간은 전송되는 CW 신호를 나타내며, 로우 구간은 감쇄된 CW 신호를 나타낸다. 그림 18에서 모든 파라미터의 허용 편차는 ±1%이다.

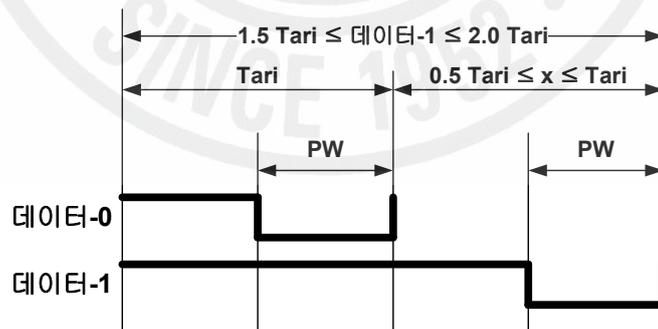


그림 18. PIE 심벌

리더는 하나의 인벤토리 라운드가 지속되는 동안 펄스 변조도, 상승 시간, 하강 시간, PW 그리고 Tari를 일정하게 유지하며,  $6.25\mu\text{s}$ 에서  $25\mu\text{s}$ 사이의 Tari값을

사용하여 태그와 통신을 수행하게 된다. 리더는 하나의 인벤토리 라운드 지속 시간동안 데이터 '0'과 데이터 '1'에 대한 심벌 길이를 일정하게 유지한다. 리더가 R ⇒ T 변조 유형을 변경하기 위해서는 우선 RF 파형에 대한 파워 다운을 수행한 후 사용하는 변조 유형을 변경할 수 있다.

표 7은 일반적으로 사용되는 Tari값을 나타낸 것이다.

표 7. 일반적인 리더-TO-태그 Tari 값

Tari 값	Tari 값 허용편차	변조 방식
6.25 $\mu$ s	$\pm 1\%$	DSB-ASK,
12.5 $\mu$ s	$\pm 1\%$	SSB-ASK,
25 $\mu$ s	$\pm 1\%$	PR-ASK

그림 19는 R ⇒ T 통신에서 사용되는 프리앰블과 프레임 싱크(frame-sync) 신호를 나타낸 것이다. 리더는 모든 R ⇒ T 신호 전송을 프리앰블 또는 프레임 싱크로 시작한다. 프리앰블은 'QUERY' 명령 이전에 태그로 전송되며, 이는 인벤토리 라운드의 시작을 나타낸다. 그 이외의 모든 신호의 전송은 프레임 싱크로 시작된다. Tari를 단위로 하는 모든 파라미터의 허용 편차는  $\pm 1\%$ 이다. 태그는 프리앰블의 유효성 확인을 위하여 데이터 '0'의 길이와 RTcal의 길이를 비교하게 된다.

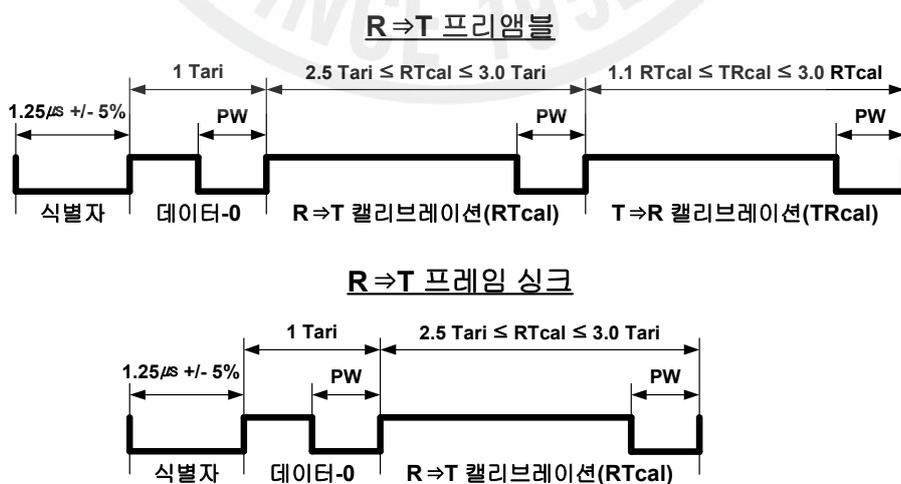


그림 19. 리더-TO-태그 통신에서의 프리앰블과 프레임 싱크

프리앰블은 고정된 길이의 시작 식별자(start delimiter), 하나의 데이터 '0' 심벌, 하나의 R⇒T 캘리브레이션( RTcal) 심벌, 그리고 T⇒R 캘리브레이션 심벌 (TRcal)로 이루어진다.

- ♦ TRcal : 리더는 RTcal을 하나의 데이터 '0' 심벌과 하나의 데이터 '1' 심벌이 더해진 길이(  $RTcal = 0_{length} + 1_{length}$ )로 설정하게 된다. 태그는 RTcal의 길이를 측정하여  $pivot = RTcal/2$ 를 계산한다. 태그는 후속하는 리더의 심벌이  $pivot$ 보다 짧으면 데이터 '0'으로,  $pivot$ 보다 길면 데이터 '1'로 해석한다. 태그는 4RTcal보다 긴 심벌은 불량 데이터로 판단한다. RTcal의 값을 변경하려면, 그에 앞서 리더는 적어도 8RTcal 동안 CW 신호를 전송해야 한다.
- ♦ TRcal : 리더는 각각 프리앰블의 TRcal과 인벤토리 라운드의 시작인 'QUERY' 명령 페이로드의 분주비(divide ratio : DR)를 이용하여 태그의 후방산란 접속 주파수(backscatter link frequency : LF)(FM0에서의 데이터 전송률 또는 Miller 부호화에서의 부반송파 주파수)를 결정한다. 식 (1)은 LF, TRcal, 그리고 DR의 관계를 나타낸다. 태그는 TRcal의 길이를 측정하고, LF를 계산한 후 T⇒R 접속에서의 데이터 전송률을 LF와 같아지도록 조절한다. 임의의 인벤토리 라운드에서 리더가 사용하게 되는 RTcal과 TRcal은 식(2)의 조건을 만족해야 한다.

$$LF = \frac{DR}{TRcal} \quad (1)$$

$$1.1 \times RTcal \leq TRcal \leq 3 \times RTcal \quad (2)$$

프레임 싱크는 RTcal 심벌을 제외하고는 프리앰블과 동일하다. 리더는 인벤토리 라운드의 지속시간동안 라운드의 시작인 프리앰블에서 사용된 것과 동일한 길이의 RTcal을 프레임 싱크에서 사용한다.

태그는 후방산란 변조를 사용함으로써 리더와 통신을 수행하며, 후방산란 변조에서 태그는 전송될 데이터에 따라 두 상태 사이에서 그 안테나의 반사계수를 변화시킨다. 태그에 의한 후방산란 변조에서는 하나의 인벤토리 라운드 지속 시

간 동안 고정된 변조 유형과 데이터 부호화 방식이 사용되며, 전송속도도 동일하게 유지된다. 태그는 변조 유형을 결정하며, 리더는 라운드를 초기화시키는 'QUERY' 명령을 이용하여 부호화 기법 및 데이터 전송속도를 결정한다. 태그는 후방산란 변조 유형으로 ASK 또는 PSK를 사용하며, 변조 유형은 태그 제작사에 의하여 결정된다.

태그는 FM0 기저 대역 신호 또는 해당 데이터 전송속도에서의 부반송파에 Miller 변조를 수행함으로써 후방산란되는 데이터에 대한 부호화를 수행한다. 부호화 기법에 대한 선택은 리더의 명령에 의하여 이루어진다.

그림 20은 FM0 부호 생성을 위한 기저 함수와 상태도를 나타낸다. FM0에서는 매 심벌의 경계에서 기저 대역 신호의 위상이 반전되며, 데이터 '0'에 대해서는 부가적으로 심벌의 중간에서 위상 반전이 이루어진다. 그림 20의 상태도는 전송되는 논리 데이터 수열을 FM0 기저 함수에 대응시킨다. 상태 라벨,  $S_1 - S_4$  는 FM0로 부호화된 생성 가능한 심벌을 가리키며, 각각의 FM0 기저 함수가 나타낼 수 있는 두 가지의 위상에 의하여 표현된다. 또한 상태 라벨은 해당 상태로의 진입이나 전송되는 FM0 파형을 나타낸다. 상태 전이에서의 라벨은 부호화되는 데이터 수열의 논리적인 값을 가리키게 된다. 예를 들면, 상태  $S_2$ 에서  $S_3$ 로의 전이는 심벌 경계에서 위상 반전이 발생되지 않기 때문에 허용되지 않는다.

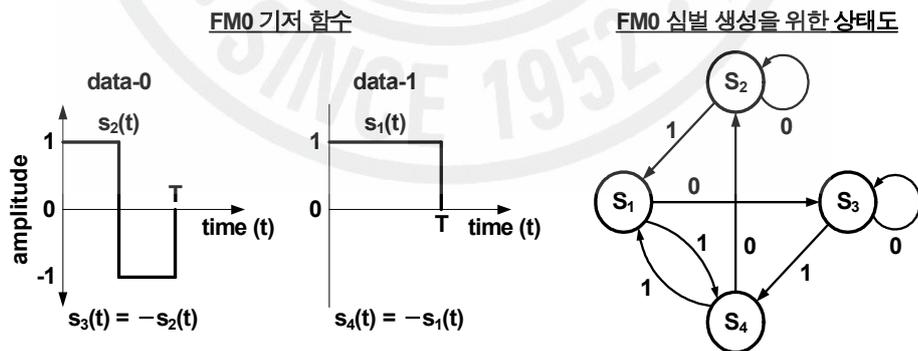


그림 20. FM0 기저 함수와 심벌 생성을 위한 상태도

그림 21은 생성된 기저 대역 FM0 심벌 및 수열을 나타내는 그림이다. 리더의 변조기 출력 단자에서 측정된 '00' 또는 '11' 심벌의 듀티 사이클은 최소 45% 그

리고 최대 55%가 되어야하며, 공칭값은 50%이다. FM0 부호화에서는 기억 장치가 필요하며, 그림 21에서의 FM0 수열의 선택은 이전에 전송된 수열에 의존적이다. 즉 이전에 전송된 데이터 '0'의 파형이 그림에서 ① 이었다면, 현재 전송되는 데이터 '1'의 파형은 ③이 된다. 그리고 다음에 전송되는 데이터 '1'의 파형은 ④가 된다.

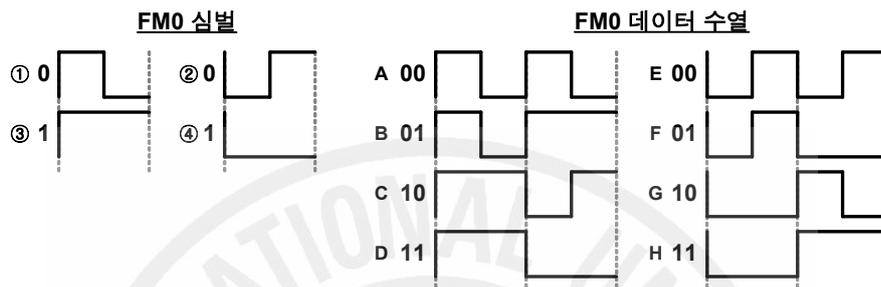


그림 21. FM0 심벌과 데이터 수열

그림 22는 T⇒R 통신에서의 FM0 신호의 종료 유형을 나타낸다. R⇒T 통신에서의 FM0 신호의 전송은 그림 22에서 보이는 것과 같이 전송의 끝부분에 더미 데이터 '1' 비트를 사용함으로써 종료된다.

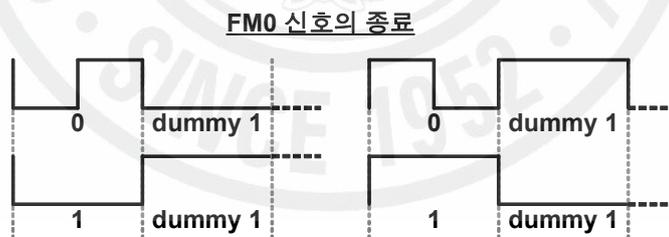


그림 22. 태그-TO-리더 통신에서의 FM0 신호의 종료 유형

그림 23은 T⇒R 통신에서의 FM0 프리앰블 신호를 나타낸다. T⇒R 통신에서의 FM0의 전송은 그림 23의 두 가지 프리앰블 중의 하나를 사용함으로써 시작된다. 프리앰블의 선택은 인벤토리 라운드를 초기화시키는 'QUERY' 명령에서 지정된 TRext 비트에 의해서 이루어진다. 그림에 보이는 'v'는 FM0 부호화에 위배됨을 의미하는 것이다. 즉, 위상 반전이 발생하고 있지 않다.

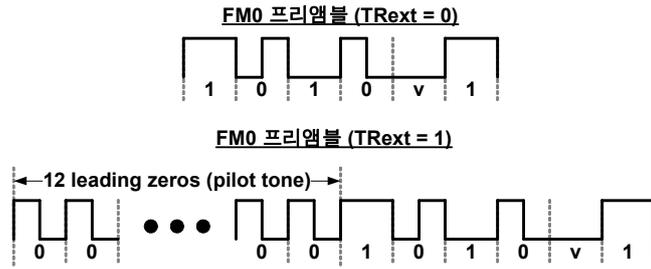


그림 23. FM0에서의 태그-TO-리더 프리앰블

그림 24는 Miller 부호의 생성을 위한 기저함수와 상태도를 나타낸다. 기저대역 Miller 부호는 수열의 연속하는 두 데이터 '0' 사이에서 그 위상을 반전시킨다. 또한 기저대역 Miller 부호에서는 데이터 '1'의 중간에서 위상 반전이 발생한다. 그림 24의 상태도는 논리 데이터 수열을 기저대역 Miller 기저 함수에 대응시킨다. 상태 라벨,  $S_1 - S_4$ 는 Miller 부호화된 생성 가능한 4개의 심벌을 가리키며, 각각의 Miller 기저 함수가 나타낼 수 있는 두 가지의 위상에 의하여 표현된다. 또한 상태 라벨은 해당 상태로의 진입이나 생성되는 기저대역 Miller 파형을 나타낸다. 전송되는 파형은 심벌 전송속도의 M배에 해당하는 주파수의 구형파가 곱해진 기저대역 신호이다. 상태 전이에서의 라벨은 부호화되는 데이터 수열의 논리적인 값을 나타낸다. 예를 들면, 상태  $S_1$ 에서  $S_3$ 로의 전이는 전송신호의 데이터 심벌 '0'과 데이터 심벌 '1'의 경계에서 상태 전이가 발생되기 때문에 허용되지 않는다.

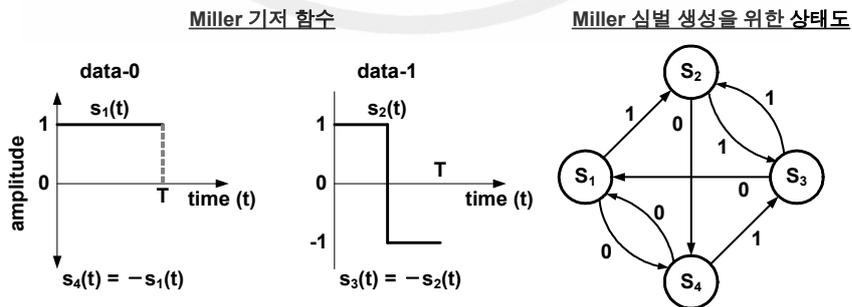


그림 24. Miller 기저 함수와 심벌 생성을 위한 상태도

그림 25는 Miller 변조된 부반송과 수열을 나타낸다. Miller 변조된 부반송과 수열은 인벤토리 라운드를 초기화시키는 ‘QUERY’ 명령에서 지정된  $M$  값에 따라 정확히 비트당 2, 4, 또는 8개의 부반송과 사이클을 포함한다. 변조기 출력 단자에서 측정된 ‘0’ 또는 ‘1’ 심벌의 듀티 사이클은 최소 45%, 최대 55%가 되어야 하며, 공칭값은 50%이다. Miller 부호화는 기억 장치를 필요로 하며, 그림에서의 Miller 수열의 선택은 이전에 전송된 수열에 의존적이다.

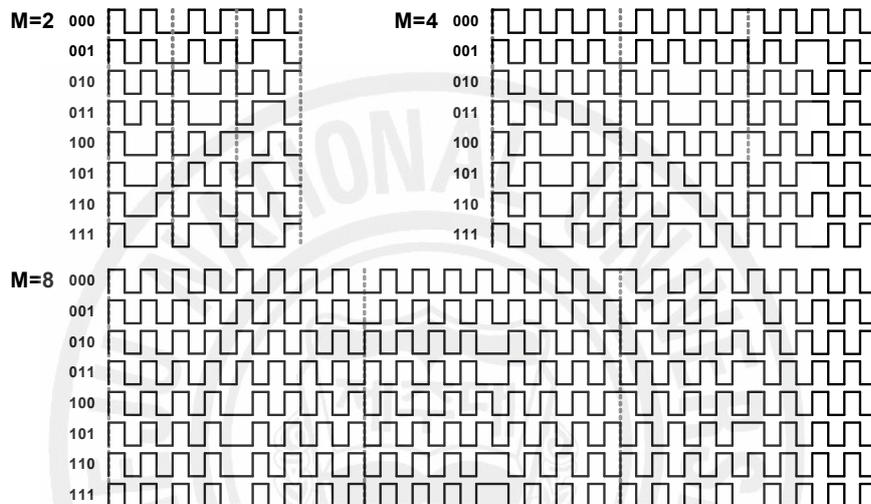


그림 25. Miller 부반송과 수열

그림 26은  $R \Rightarrow T$  통신에서의 Miller 부반송과 신호의 종료 유형을 나타낸다. Miller 부반송과 신호의 전송에서는 그림 26에 보이는 것과 같이 전송의 끝부분에 더미 데이터 ‘1’비트를 사용함으로써 종료된다.

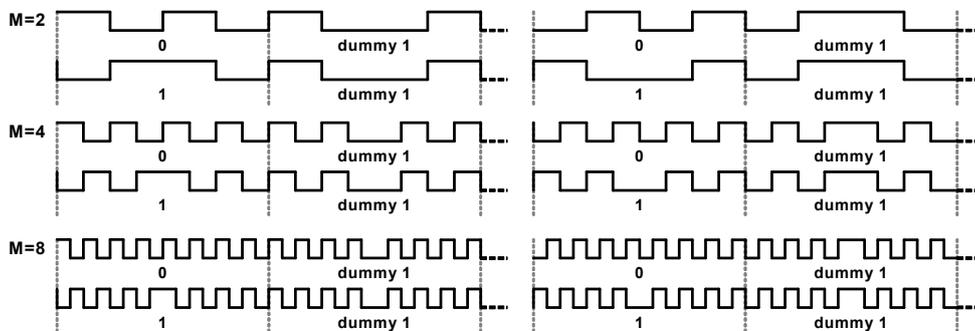


그림 26. Miller 부반송과 신호 전송에서의 종료 유형

그림 27은 T⇒R 통신에서의 Miller 프리앰블 신호를 나타낸다. Miller 부호화를 사용하는 경우의 T⇒R 신호 전송은 그림 27에 보이는 두 가지의 프리앰블 중의 하나를 사용하여 시작된다. 프리앰블 유형의 결정은 인벤토리 라운드를 초기화시키는 'QUERY' 명령에서 지정된 T<sub>Text</sub>값에 의하여 이루어진다.

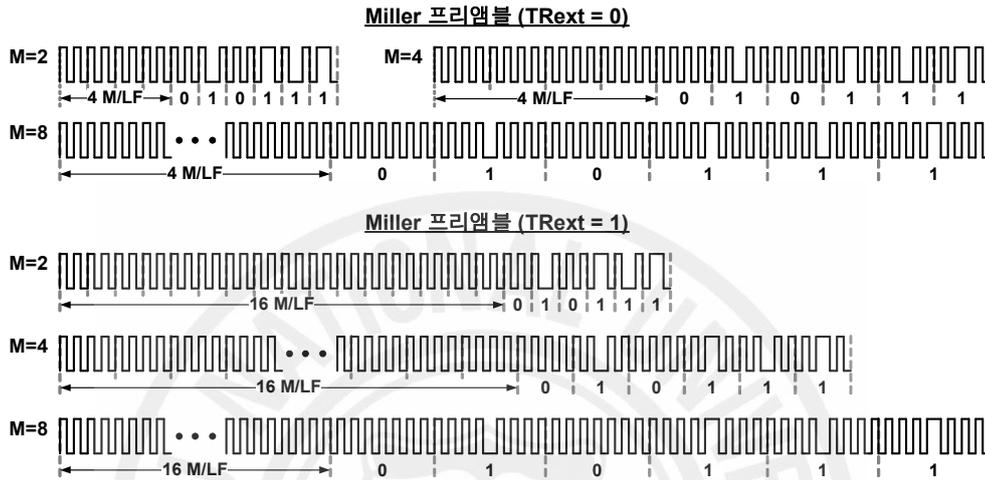


그림 27. Miller 부반송파에서의 태그-TO-리더 프리앰블

태그는 규정된 R⇒T T<sub>ari</sub> 값, 표 8에서 규정되는 T⇒R 데이터 전송속도 그리고 표 9에서 규정되는 T⇒R 접속 주파수와 허용 편차를 지원하게 된다.

표 8. 태그-TO-리더 데이터 전송속도

M : 심별당 부반송파 개수	변조 유형	데이터 전송속도(kbps)
1	FM0	LF
2	Miller 부반송파	LF/2
4	Miller 부반송파	LF/4
8	Miller 부반송파	LF/8

표 9에서의 주파수 변화량은 주파수 편이와 리더 명령에 대한 태그의 응답 동안의 단구간 주파수 변화량(short-term frequency variation)을 포함한다. 인벤토

리 라운드를 초기화시키는 ‘QUERY’ 명령은 표 9에서의 DR과 M값을 결정하게 된다. 그리고 ‘QUERY’ 명령에 앞서 전송되는 프리앰블은 TRcal을 결정하게 되며, LF는 식(1)을 이용하여 계산한다. 이들 네 가지의 파라미터가 라운드에서의 후방산란 주파수, 변조 유형(FM0 또는 Miller), 그리고 T⇒R 데이터 전송속도를 결정하게 된다.

표 9. 태그-TO-리더 접속 주파수

DR <sup>1)</sup>	TRcal ( $\mu s \pm 10\%$ )	LF <sup>2)</sup> (kHz)	FT <sup>3)</sup> (nominal temp.) <sup>4)</sup>	FT (extended temp.) <sup>5)</sup>	후방산란 동안의 주파수변동
64/3	33.3	640	$\pm 15\%$	$\pm 15\%$	$\pm 2.5\%$
	33.3 < TRcal < 66.7	320 < LF < 620	$\pm 22\%$	$\pm 22\%$	$\pm 2.5\%$
	66.7	320	$\pm 10\%$	$\pm 15\%$	$\pm 2.5\%$
	66.7 < TRcal < 83.3	256 < LF < 320	$\pm 12\%$	$\pm 15\%$	$\pm 2.5\%$
	83.3	256	$\pm 10\%$	$\pm 10\%$	$\pm 2.5\%$
	83.3 < TRcal < 133	160 < LF < 256	$\pm 10\%$	$\pm 12\%$	$\pm 2.5\%$
	133.3 < TRcal < 200	107 < LF < 160	$\pm 7\%$	$\pm 7\%$	$\pm 2.5\%$
8	200 < TRcal < 225	200 < LF < 225	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$	$\pm 2.5\%$
	17.2 < TRcal < 25	320 < LF < 465	$\pm 19\%$	$\pm 19\%$	$\pm 2.5\%$
	25	320	$\pm 10\%$	$\pm 15\%$	$\pm 2.5\%$
	25 < TRcal < 31.25	256 < LF < 320	$\pm 12\%$	$\pm 15\%$	$\pm 2.5\%$
	31.25	256	$\pm 10\%$	$\pm 10\%$	$\pm 2.5\%$
	31.25 < TRcal < 50	160 < LF < 256	$\pm 10\%$	$\pm 10\%$	$\pm 2.5\%$
	50	160	$\pm 7\%$	$\pm 7\%$	$\pm 2.5\%$
50 < TRcal < 75	107 < LF < 160	$\pm 7\%$	$\pm 7\%$	$\pm 2.5\%$	
75 < TRcal < 200	40 < LF < 107	$\pm 4\%$	$\pm 4\%$	$\pm 2.5\%$	

1) DR : Divide ratio, 2) LF : Link Frequency, 3) FT : Frequency Tolerance

4) nominal temp. :  $-25^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$

5) extended temp. :  $-40^{\circ}\text{C} \sim +65^{\circ}\text{C}$

그림 28은 R⇒T 그리고 T⇒R 접속 타이밍과 태그 인식 과정에서 태그와 리더 간에 이루어지는 상호 작용을 나타내는 것이다. 태그 인식을 위하여 리더는 ‘SELECT’ 명령을 전송하여 특정 태그를 선택하게 되며, ‘SELECT’ 명령 전송하고  $T_4$ 가 경과한 후 ‘QUERY’ 명령을 전송하여 선택된 태그로부터 RN16을 수신한다. 리더는 수신된 RN16을 태그로 전송하며, 리더가 전송한 RN16과 일치하는 태그는 ‘PC+EPC+CRC16’을 리더로 전송한다.

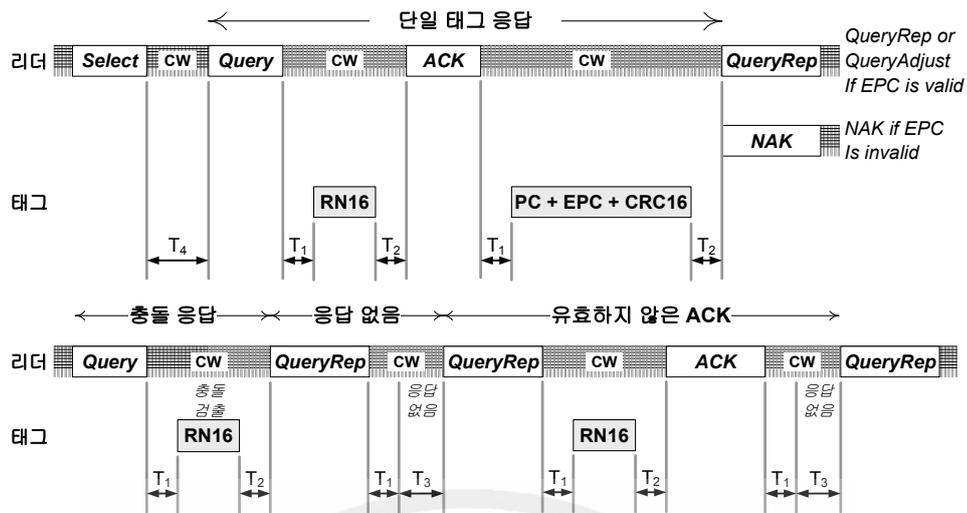


그림 28. 리더와 태그간의 접속 타이밍

표 10은 그림 28에 대한 타이밍 요구조건을 나타낸 것이다. 태그와 리더는 표 10에서 정의되는 모든 타이밍 요구조건에 만족해야한다. 여기서  $T_{pri}$ 는  $T \Rightarrow R$  접속 주기이다( $T_{pri} = 1/LF$ ). 리더는 인벤토리 라운드 지속시간동안  $R \Rightarrow T$  접속 속도를 일정하게 유지하며,  $R \Rightarrow T$  접속 속도를 변경하기 위해서는, 속도 변경에 앞서 최소  $8TR_{cal}$  동안 CW 신호를 전송하게 된다.

표 10. 링크 타이밍에 대한 파라미터

파라미터	최소	Typical	최대
$T_1$	$\max(RT_{cal}, 10T_{pri}) \times (1 - FT) - 2\mu s$	$\max(RT_{cal}, 10T_{pri})$	$\max(RT_{cal}, 10T_{pri}) \times (1 + FT) - 2\mu s$
$T_2$	$3.0T_{pri}$	-	$20.0T_{pri}$
$T_3$	$0.0T_{pri}$	-	-
$T_4$	$2.0RT_{cal}$	-	-

그림 28과 표 10에서  $T_1$ 은 리더 전송 신호의 마지막 비트의 상승 에지에서 부터 태그 응답 신호의 첫 비트의 상승 에지까지의 시간으로서, 태그 안테나 단자에서 측정되는 값이다.  $T_2$ 는 태그의 응답 신호가 수신되는 경우 요구되는 리더

의 응답시간으로서, 태그 응답 데이터의 마지막 비트의 하강 에지에서부터 리더 전송 신호의 첫 비트의 하강 에지까지의 시간이다.  $T_3$ 는  $T_1$  이후, 리더가 또 다른 명령을 전송하기까지의 대기시간이다.  $T_4$ 는 리더의 명령 전송에서의 최소 시간 간격을 나타낸다. 그리고 FT는 주파수 허용편차를 의미한다.



### Ⅲ. UHF 대역 RFID 충돌방지 알고리즘

RFID 시스템의 충돌방지 알고리즘은 크게 리더가 여러 개의 태그를 인식하는 다중 인식 기술과 태그 간 충돌 방지 알고리즘, 그리고 넓은 면적에서 다수의 리더가 태그를 인식하는 경우에 사용될 수 있는 리더 간 충돌 방지 알고리즘 등으로 분류할 수 있다. 본 논문에서는 다중 태그 인식 기술에 해당되는 충돌 방지 알고리즘에 대하여 기술하게 된다. 다중 태그 인식을 위한 충돌 방지 알고리즘은 크게 트리 기반의 결정적(deterministic) 알고리즘과 슬롯 알로하 기반의 확률적(probabilistic) 알고리즘으로 구분할 수 있다. 결정적 충돌 방지 알고리즘은 이진 비트로 표현되는 태그 식별자의 비트들을 사용하여 이진트리를 구성한 후 그 트리의 노드를 순회하며 태그 식별을 수행하는 방법으로써 태그 식별과정이 예측 가능하다는 특징을 갖고 있다. 그에 반하여 확률적 알고리즘은 알로하 프로토콜에 기반을 두고 있으며, 식별 대상인 태그의 개수를 정확하게 산출하기 어려워 프레임당 적절한 슬롯 개수의 산출이 어렵기 때문에 확률적 방식에 의존하게 된다. 따라서 알로하 기반의 충돌 방지 알고리즘은 태그 식별에 있어 완전성을 제공하지 못하며, 충돌이 발생한 슬롯에서의 재전송으로 인하여 태그 식별 성능이 저하되는 단점을 갖는다<sup>[9][19]</sup>. UHF 대역 RFID 충돌 방지 알고리즘 중에서 EPCglobal에서 제안하고 있는 EPC 클래스-0, EPC 제1세대 클래스-1 표준에서는 이진트리를 기반으로 하는 결정적 알고리즘을 사용하고 있으며 EPC 제2세대 클래스-1 표준에서는 충돌 방지 알고리즘으로 확률적 알고리즘을 제안하고 있다.

본 장에서 EPC 표준에서 제안하는 충돌 방지 알고리즘에 대하여 다루고, 이러한 내용을 기초로 본 논문에서는 제작한 모바일 RFID 리더 시스템 상에 이들 충돌 방지 알고리즘을 구현한다. 그리고 구현 결과와 시뮬레이션 결과와의 비교를 통하여 시뮬레이션과 구현에서의 차이점의 유형에 대하여 고찰하고 분석함으로써 그 발생 원인에 대한 규명, 성능 개선점의 도출 및 성능의 차이를 최소화할 수 있는 방법에 대하여 고찰한다.

## 1. EPC 클래스-0 충돌방지 알고리즘<sup>[9][11]</sup>

클래스-0에서는 태그 데이터 인식 과정에서의 충돌을 해결하기 위한 방법으로 이진트리 방식이 사용된다. 이진트리 방식은 비트 단위로 리더와 태그가 신호를 송수신하면서 태그 ID를 식별하는 방식이다. 그 과정에 대한 설명은 다음과 같다.

그림 29는 클래스-0 태그의 상태 천이도를 나타낸 것이다. 클래스-0 태그는 전력을 공급 받으면 ‘Dormant’ 상태가 되고, ‘Dormant’ 상태에서 리셋 신호를 수신하면 ‘Calibration’ 상태, ‘Calibration’ 상태에서 유효한 신호를 수신하면 ‘Global command start’ 상태가 된다. 이 상태에서 태그는 비트 ‘0’을 수신하고 플래그(flag)가 클리어되면 ‘Tree traversal’ 상태로 들어간다. ‘Tree traversal’ 상태는 태그 ID 비트열을 탐색하는 단계로 이 상태에 있는 태그는 자신의 ID 비트열을 최상위비트(most significant bit, 이하 MSB)에서부터 시프트시키면서 리더로 한 비트 씩 전송한다. 리더는 태그의 응답들을 검사하고 태그로부터 수신한 비트를 태그로 재전송한다. 만약, 태그의 응답들이 충돌이면 리더는 내부적으로 결정되는 ‘0’ 또는 ‘1’로 분기하여 선택된 비트를 태그로 전송한다. 리더로부터 수신한 비트가 이전에 리더로 전송한 비트와 동일하면 태그는 한 비트를 시프트하여 다음 비트를 리더로 전송한다. 리더로부터 수신한 비트가 이전에 리더로 전송한 비트와 일치하지 않는 태그는 ‘Traversal mute’ 상태로 전환되어 트리과정에 참여하지 않게 된다. 이 과정은 하나의 태그가 완벽히 인식되기 위해 마지막 비트 위치까지 진행되고, 태그는 마지막 비트를 다시 한 번 더 리더로 전송한다. 리더로 전송한 비트 수가 [태그 ID 길이 + 1] 인 태그가 리더로부터 ‘null’ 데이터를 수신하면 ‘Singulated command’ 상태가 되고 태그 하나가 완벽히 인식된다. 태그 하나가 인식 되고 리더가 ‘null’ 데이터를 전송하면 ‘Traversal mute’ 상태인 태그들은 ‘Tree start’ 상태가 되어 트리에 참여하고, 인식된 태그는 ID 플래그가 세팅되면 ‘Dormant’ 상태가 된다.

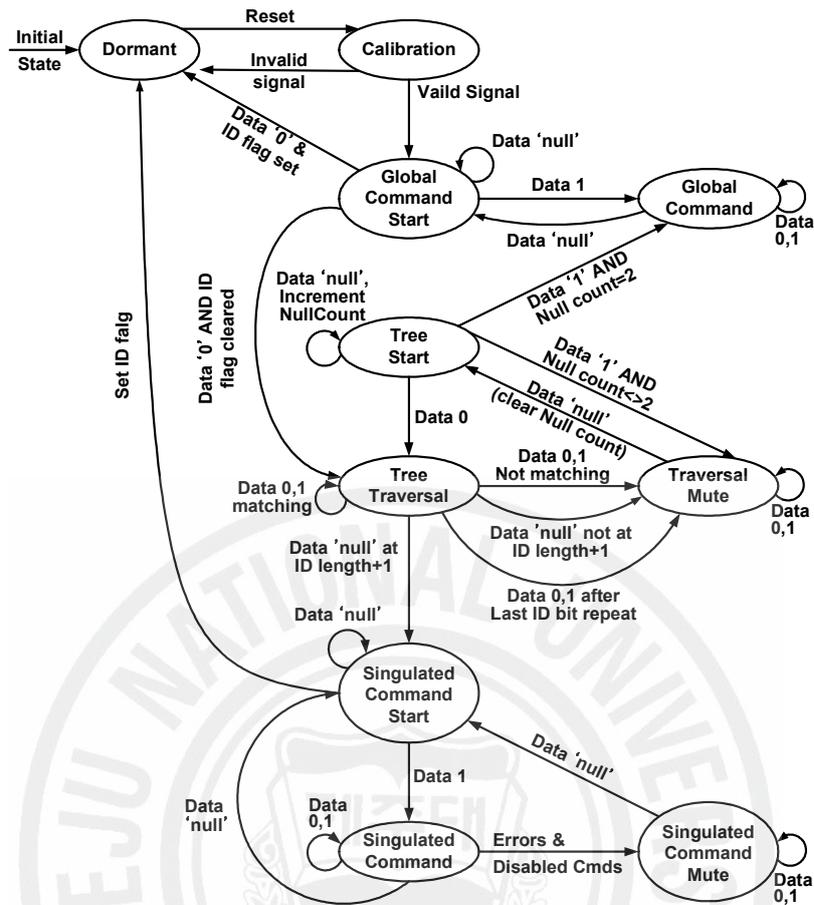


그림 29. EPC 클래스-0 태그의 상태천이도

## 2. EPC 제1세대 클래스-1 충돌방지 알고리즘<sup>[9][12][17][18][19]</sup>

클래스-1에서는 충돌 방지 알고리즘으로 빈 슬롯(bin-slotted) 이진트리 알고리즘이 사용되며, 리더와 태그의 통신이 패킷 단위로 이루어진다. 리더는 완전한 명령을 포함하는 패킷을 태그로 전송하며, 태그는 완전한 응답을 포함하는 패킷을 리더로 전송한다. 리더가 태그로 전송하는 명령은 8개의 필드와 이들 필드에 대한 5개의 패리티비트로 구성되며, 그 형식은 다음과 같다.

[PREAMBLE][CLKSYNC][SOF][CMD][P1][PTR][P2][LEN][P3][VALUE]  
[P4][P5][EOF]

태그는 리더로부터 명령을 수신하면 응답을 하거나, 상태를 변화 시킨다. 태그가 리더 동작 영역으로 들어가게 되어 적절한 크기의 리더 신호를 수신하면 태그는 모든 상태로 전환이 가능한 'Awake' 상태가 된다. 태그는 'ScrollID', 'ScrollAllID', 'VerifyID', 그리고 'PingID' 명령을 수신하는 경우에만 'Reply' 상태가 되어 리더로 응답 신호를 전송한다. 완전히 식별된 태그의 신호는 다른 태그를 인식하는 동안 간접 신호로서 작용하기 때문에 리더는 식별된 태그에 'Quiet' 명령을 전송하고 이 명령을 수신한 태그는 잠시 응답하지 않는 'Asleep' 상태가 되며, 그 반대 과정은 'Talk' 명령을 사용한다. 완전히 인식된 태그 중에 프라이버시 등의 문제로 제거되어야 할 때 리더는 그 태그에게 'Kill' 명령을 보내고 태그는 암호와 비교하여 일치하면 'Dead' 상태가 된다.

태그 인식과정에서 태그가 충돌이 없이 인식되었다면 리더는 해당 태그로 'ScrollID' 명령을 전송하고 명령을 수신한 태그는 그 응답으로 자신의 전체 ID를 리더에 전송한다. 리더는 태그 응답을 수신 후 CRC체크를 수행하고 오류가 없다면 태그의 ID를 저장한다. 'PingID' 명령은 태그 인식과정에서 리더가 태그의 신호를 요구하는 명령이다. 리더는 'PingID' 명령을 인식영역 내의 임의의 태그로 전송한 후 3비트 단위의 빈 변조(bin modulation) 작업을 수행한다. 'PingID' 명령 패킷에 포함되는 [VALUE]의 값과 일치하는 태그는 [VALUE] 다음의 3 비트와 빈 값이 같은 빈에서 8비트로 응답을 하게 된다. 만약 하나의 빈에서 여러 개의 태그 신호가 응답되면 충돌이 발생한 것이고, 하나의 태그 신호가 응답되면 충돌이 일어나지 않은 것이다. 만약, 충돌이 일어나지 않았다면 그 빈 값을 [VALUE]에 추가하여 'ScrollID' 명령을 전송하고, 충돌이 일어났다면 그 빈 값을 [VALUE]에 추가하여 다시 'PingID' 명령을 태그로 전송한다.

그림 30은 리더와 태그의 변조 과정을 나타낸 것이다. 리더에서 태그로 전송되는 신호는 5개의 단계로 구분된다. 리더에서 태그로 전송되는 신호는 첫 번째 단계인 트랜잭션 갭(transaction gap)에서 시작하고, 그 뒤에 64 $\mu$ s의 변조되지 않은 CW 신호가 전송된다. 두 번째 단계까지가 리더 명령 부분 중 [PREAMBLE]에 해당하는 부분이다. 세 번째 과정은 데이터 변조창(data modulation window)으로서 이 단계에서는 리더의 명령 패킷이 전송된다. 네 번째 단계는 태그 셋업창(tag setup window)으로서 태그에게 리더 명령을 해석할

시간을 제공하기 위한 부분이다. 마지막 단계는 태그 응답이 수신되는 부분이다.

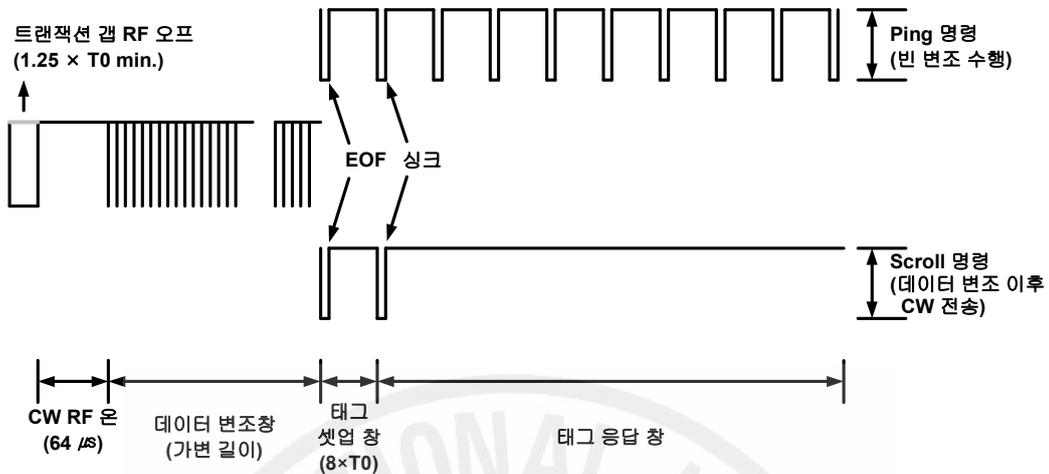


그림 30. 리더와 태그의 변조 과정

리더 명령이 전송되는 부분인 데이터 변조창에서 리더 명령 패킷의 한 부분인 ‘CLKSYNC’는 태그에 동기를 제공하고, 클럭 주기  $T_0$ 는 태그의 전송속도를 결정한다. 태그는 다음 트랜잭션 갭이 시작되기 전까지 리더에서 검출되어야 하고, 데이터 변조의 EOF 다음부터 다음 명령 패킷의 트랜잭션 갭 사이의 시간을 ‘Coast Interval’이라 하여 이 시간을 최대 20ms로 규정하고 있다.

클래스-1의 충돌방지 알고리즘은 이진트리에 기반을 둔다. 이진트리는 원래 1비트 단위로 트리를 확장하는 형태이지만, 클래스-1의 빈 슬롯 이진트리 알고리즘은 3비트 단위로 확장하는 형태이다. 클래스-1에서 태그의 인식은 리더가 VALUE=0, LEN=0을 포함하는 ‘PingID’ 명령을 인식영역 내의 임의의 태그에 전송함으로써 시작된다. ‘PingID’ 명령을 전송한 후 리더는 빈 변조 작업을 수행하고 태그의 비트열이 빈 값과 일치하는 태그가 각 빈에서 응답을 하게 된다. 빈을 검사한 후 각 빈에서 충돌 여부를 판단하고 충돌이 일어나지 않으면, 리더는 빈 값을 [VALUE]에 포함시킨 후 ‘ScrollID’ 명령을 태그로 전송한다. [VALUE]의 값과 일치하는 태그는 자신의 전체 ID를 ‘ScrollID’ 명령에 대한 응답으로 리더로 전송하게 되고, 리더는 CRC체크를 수행한 후 오류 없이 수신 되었다면 식별된 태그의 정보를 저장하고 과정을 처음으로 되돌린다. 만약, 빈에서 충돌이 일어나

먼 리더는 빈 값을 [VALUE]에 저장한 후 다시 'PingID' 명령을 자신의 인식영역 내에 존재하는 태그로 전송한다. 여기서, 빈 검사는 빈의 처음인 '000'에서부터 시작한다.

### 3. EPC 제2세대 클래스-1 충돌방지 알고리즘<sup>[9][16][21]</sup>

GEN 2는 클래스-1의 단점을 보완하고, ISO 18000-6과의 통합을 고려하여 개선된 방식이며, 현재 ISO 18000-6 C로 채택되었다. GEN 2에서의 태그 인식은 슬롯 알로하(slotted aloha) 방식을 기반으로 이루어진다.

그림 31은 GEN 2의 태그 인식 과정을 나타낸 것이다. 인식영역 내의 태그를 인식하기 위해서 리더는 기본적으로 선택(select), 인벤토리(inventory), 그리고 액세스(access)의 세 가지 동작과정을 수행한다.

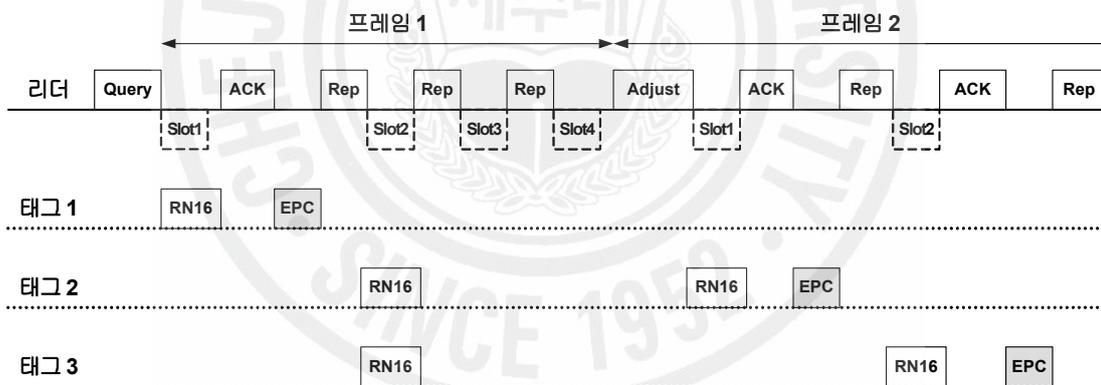


그림 31. EPC 제2세대 클래스-1의 태그 인식 과정

선택 과정에서는 인벤토리 과정에 앞서, 통신할 특정 태그를 리더가 선택하는 과정이고, 인벤토리 과정은 슬롯을 발생시켜 하나 이상의 태그가 응답하게 하고 응답한 태그 중에서 하나의 태그 인식에 필요한 PC, EPC, CRC-16을 요청하는 과정이며, 액세스 과정은 인벤토리 과정을 성공적으로 수행한 태그와 리더가 일대일 통신을 수행하는 과정이다.

인벤토리 과정은 'QUERY', 'QUERYAdjust', 'QUERYRep', 'ACK', 그리고

‘NAK’ 등의 명령들로 구성된다. ‘QUERY’는 인벤토리 프레임의 슬롯 개수를 초기화하고 태그를 프레임에 참여시킨다. 프레임에 참여한 태그는 ‘QUERY’ 명령에 포함되어 있는 슬롯 파라미터 Q를 참조하여 랜덤넘버(random number,  $0 \sim 2^Q - 1$ )를 선택하고 이를 슬롯카운터에 로드한다. 여기서 ‘0’을 선택한 태그들은 ‘Reply’ 상태로 전환되고, 전환되는 즉시 리더로 응답 메시지를 전송한다. 그 밖의 ‘0’이 아닌 랜덤넘버를 선택한 태그들은 ‘Arbitrate’ 상태로 전환되고 ‘QUERYAdjust’ 또는 ‘QUERYRep’ 명령을 기다린다.

하나의 슬롯에 대해 단일 태그가 응답으로 RN16(random number of 16-bit)을 리더로 전송했다면, 충돌이 발생하지 않은 것이다. 이때 리더는 수신한 RN16을 포함하는 ‘ACK’ 명령을 태그로 재전송한다. 이 과정을 통해 리더에 인식된 태그는 ‘Acknowledge’ 상태로 전환되고, PC, EPC, 그리고 CRC-16을 리더로 전송한다. 리더는 ‘QUERYAdjust’ 또는 ‘QUERYRep’ 명령을 전송하여 태그를 대기 상태로 전환시키고 태그 데이터를 메모리에 저장한다. 만약 일정시간동안 태그가 ‘ACK’ 수신에 실패하거나 잘못된 ‘ACK’를 수신하면 태그는 다시 ‘Arbitrate’ 상태로 전환되어 다음 프레임까지 대기하게 된다.

다중 태그가 RN16을 동시에 리더로 전송하였다면 리더는 파형 레벨에서 충돌을 분석함으로써 충돌 태그들 중 신호레벨이 가장 큰 하나의 태그로부터 RN16을 분별해낼 수 있다. 일치하는 ‘ACK’를 받은 태그는 ‘Acknowledge’ 상태로 전환되고 자신과 일치하지 않는 ‘ACK’를 받은 태그는 ‘Arbitrate’ 상태로 전환되어 ‘QUERYAdjust’ 또는 ‘QUERYRep’ 명령을 기다리게 된다. 임의의 특정 시점에서 ‘NAK’가 태그에 전송되면 그 프레임에 있는 모든 태그들은 인식메모리에 저장되지 않고 ‘Arbitrate’ 상태로 전환된다.

프레임을 초기화시키는 ‘QUERY’를 전송한 후, 리더는 하나 이상의 ‘QUERYAdjust’ 또는 ‘QUERYRep’ 명령을 전송한다. ‘QUERYAdjust’ 명령은 이전 ‘QUERY’를 반복하고 Q 값을 증감시킨다. ‘QUERYRep’ 명령은 Q와 같은 파라미터들을 변화시키지 않고 ‘QUERY’를 반복한다. 하지만 이때 새로운 태그를 프레임에 추가시키지는 않는다. 어떤 시점에서 리더는 새로운 ‘QUERY’ 명령을 전송하는데, 그로인해 새로운 프레임이 시작된다. ‘Arbitrate’나 ‘Reply’ 상태에 있던 태그는 처음으로 ‘QUERYAdjust’ 명령을 수신하고 Q를 조정한다. 그래서 랜



## IV. UHF 대역용 모바일 RFID 리더 설계 및 구현

본 장에서는 모바일 환경에서 적절하게 활용될 수 있는 RFID 리더의 설계에 관련된 내용을 다룬다. 설계에서는 모바일 환경이라는 점을 감안하여 근거리에 위치하는 태그의 인식을 주로 고려한다. 그와 관련하여 리더는 일정 수준 이하의 낮은 전력을 출력하도록 설계한다. 낮은 전력을 출력하도록 함으로써 소모 전력을 감소시킬 수 있으며, 소모 전력의 감소는 소요 부품의 수량과 크기의 감소를 가져오게 된다. 그리고 RF 송수신 장치는 단일칩 범용 RF 트랜시버를 사용함으로써 부품이 차지하는 면적이 최소화될 수 있도록 설계한다. 이러한 것들은 전체 모바일 RFID 리더의 크기를 감소시키는 효과로 나타나게 된다. 출력 전력이 감소됨으로써 대규모 관리 체계에 적합한 고정형 RFID 리더에 비하여 성능이 다소 떨어지지만 근거리에 위치하는 소수의 태그 인식이 주가 되는 모바일 환경에서는 이러한 점이 활용상에 장점이 될 수 있다. 또한 범용 RF 트랜시버를 사용함으로써 별도의 하드웨어를 추가하지 않고도 소출력 무선 네트워크의 구축이 가능하게 된다.

### 1. UHF 대역용 모바일 RFID 리더

RFID는 태그라는 전자적인 메모리 장치에 저장되어있는 임의의 ID 정보를 무선 전파를 이용하여 식별해내는 기술이다. 이를 위한 RFID 시스템은 태그와 리더, 리더를 지원하는 호스트 장치로 구성된다. 태그는 메모리와 안테나를 포함하고 있으며, 메모리에 저장된 정보를 RFID 리더로 전송하는 기능을 수행한다. RFID 시스템은 태그의 전원 공급 방식에 따라 능동형(active)과 수동형(passive)으로 분류할 수 있다. 수동형 RFID 시스템의 경우 태그의 동작에 필요한 전원을 리더가 발생시키는 전파로부터 얻어내게 되며, 능동형 RFID 시스템은 태그 자체

에 별도의 전원을 갖는다<sup>[8][23]</sup>.

그림 33은 이러한 모바일 RFID 시스템의 전체적인 구성도이다. 그림 33에서 모바일 RFID 리더는 자신의 인식 영역 안의 태그를 인식한 후 자신과 연결된 모바일 통신 단말 장치(PDA : personal digital assistant)로 해당 인식 정보를 전송한다. 데이터를 전송받은 PDA는 무선 통신망을 통하여 데이터베이스 서버로 해당 태그 데이터에 대한 정보를 요청하게 되며, 데이터베이스 서버는 이러한 요청에 따라 데이터베이스에 저장되어 있는 정보를 PDA로 전송하게 된다. 최종적으로 이러한 전송정보는 PDA 상에서 문자, 정지영상이나 동영상 등 적절한 표현 방식을 빌어 사용자에게 필요한 정보를 제공하게 된다.

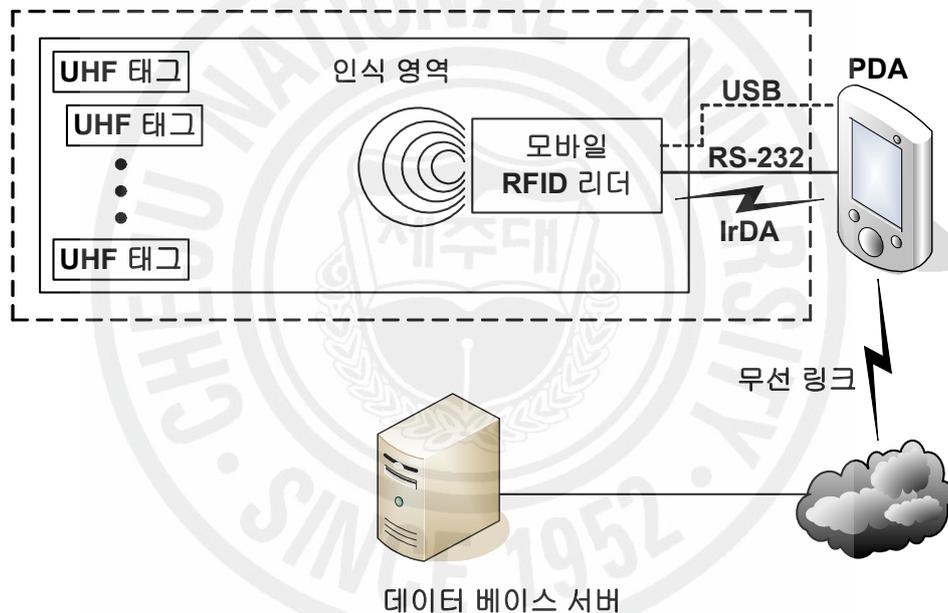


그림 33. 모바일 RFID 시스템 전체 구성도

일반적으로 수동형 RFID 시스템에서 태그가 정상적인 동작을 수행하기 위해서 수신하여야 하는 최소전력은  $-10\text{dBm}(100\mu\text{W})$  정도이다. 모바일 RFID 시스템에서는 단말과 태그와의 접근이 용이하기 때문에 약 1m 이내의 인식거리이면 적절한 RFID 응용 서비스를 제공할 수 있다고 판단되고 있다. 따라서 모바일 RFID와 태그 사이에서의 링크 손실, 2dBi 이하의 태그 안테나의 이득, 0dBi 이하의 모바일 RFID 리더 안테나의 이득(내장형 휴대폰 안테나 기준) 등을 감안하

여 20dBm 이상의 전력이 출력되어야 한다. 그리고 모바일 RFID는 리더의 이동성에 초점을 맞추었기 때문에 다수의 태그를 한꺼번에 인식할 필요는 없다. 따라서 수 개의 태그에 대하여 인식 코드 정보를 요청, 전송하면 되기 때문에 최대 40kbps 정도의 전송속도로 충분히 필요한 응용 서비스의 창출이 가능하다<sup>[22]</sup>.

## 2. UHF 대역용 모바일 RFID 리더 설계

### 1) 시스템 구성

그림 34는 본 논문에서 제안하는 모바일 RFID 리더의 블록도이다. 그림 34의 RFID 리더에서 마이크로컨트롤러(microcontroller, 이하 MCU)는 호스트 장치로부터 전달되는 리더의 구성 정보 변경, 태그 데이터의 인식과 전달의 기능을 수행한다. 그리고 RF 송신 모듈 및 전력 증폭기는 태그 인식 과정에서 태그에 필요한 전력을 공급하고 인식에 필요한 제반 데이터를 태그로 전달한다. RF 수신 모듈은 태그로부터의 응답신호를 수신한다. 그리고 안테나와 접속되는 서큘레이터는 RF 송신 모듈로부터의 출력 신호와 태그로부터 수신되는 신호를 분리하는 역할을 담당하게 된다.

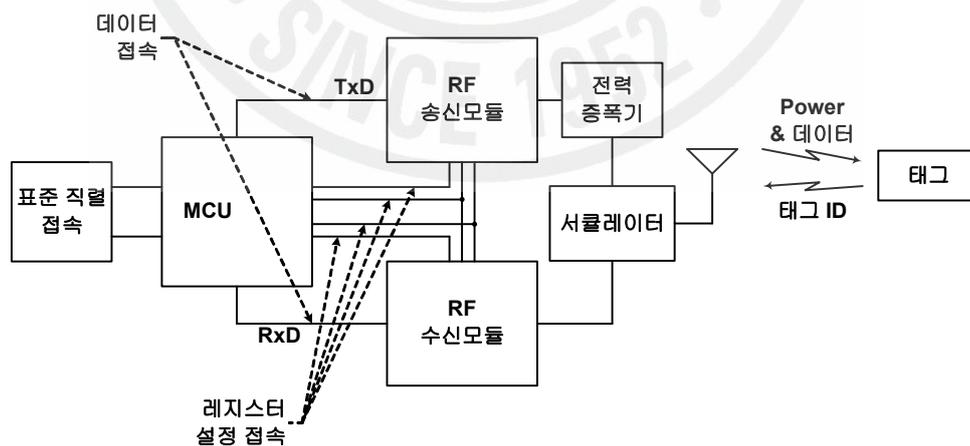


그림 34. 모바일 RFID 리더 블록도

그림 34의 모바일 RFID 리더에서 사용된 MCU는 Microchip 사의 PIC18F2455

USB MCU로써 구동 클럭 주파수는 20MHz이며 이 때 한 명령 사이클이 수행되는 데 소요되는 시간은 200ns이다<sup>[24]</sup>. 그리고 RF 송신 모듈 및 수신 모듈로는 Chipcon 사의 CC1020 RF 트랜시버를 사용한다. CC1020은 최대 데이터 전송률이 153.6kbps이며 장치의 동작 정보 설정에는 최대 10MHz의 주파수를 가지는 디지털 신호를 이용할 수 있다. 직접적인 장치 설정과 관련된 레지스터의 수는 32개이며, 관련된 레지스터에 데이터를 기록하는데 소요되는 시간은 10MHz의 신호를 가정했을 때 송수신 모듈 각각 51.2 $\mu$ s의 시간이 소요되므로 최소 102.4  $\mu$ s이다. 그리고 송신 최대 출력은 5 dBm, 수신 최대 감도는 -110dBm의 성능을 가진다. 표 11에 CC1020 RF 트랜시버의 주요 제원을 요약하여 나타내었다<sup>[25]</sup>.

표 11. CC1020 RF 트랜시버의 주요 제원

파라미터	값
주파수	804 ~ 940 MHz
출력전력	-20 ~ +5 dBm
최대 수신 감도	-116 ~ -94 dBm : FSK
	-107 ~ -87 dBm : OOK
전송속도	2.4 ~ 153.6 kBaud
레지스터 설정 CLK(PCLK)	최대 10 MHz

그림 35는 MCU와 RF 트랜시버 간의 레지스터 설정 접속(configuration interface)와 데이터 접속(data interface)을 위한 접속도를 나타낸다. 그림 35에서 데이터 접속은 태그와의 데이터 교환을 위한 접속을 나타내며, 레지스터 설정 접속은 RF 트랜시버의 내부 레지스터 값의 변경 및 조회를 위한 접속이다. 제안하는 시스템에서는 레지스터 설정 접속에서 PCLK, PDI/PDO는 송신 장치와 수신 장치가 공유하여 사용하며, PSEL 신호는 송신 장치와 수신 장치가 각각 다른 신호선을 사용한다. 그리고 PDI와 PDO는 동일한 신호선을 사용하여 구현한다.

그리고 데이터 접속에서 송신 장치와 수신 장치의 DIO, DCLK 그리고 LOCK 핀은 각각 서로 다른 신호선을 사용하여 MCU와 접속된다.

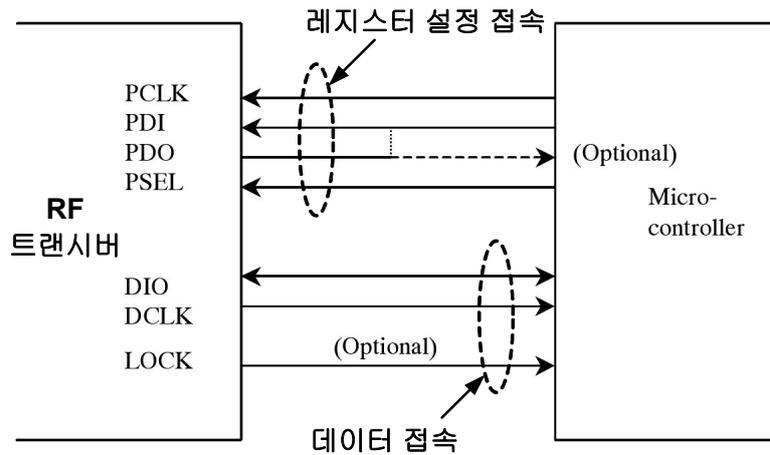
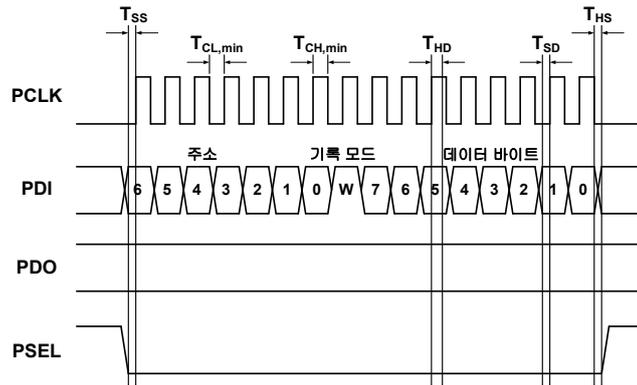


그림 35. MCU와 RF 트랜시버 간의 접속도

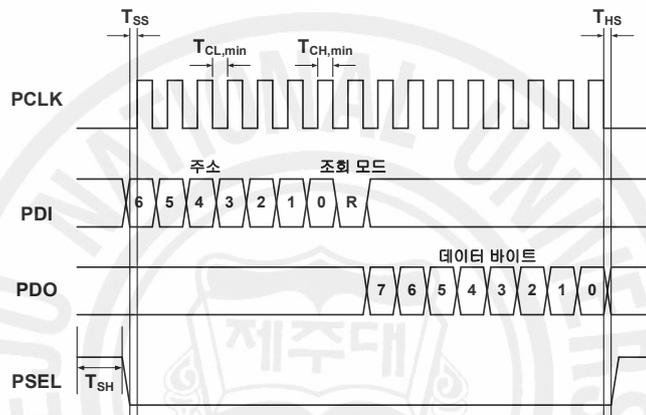
레지스터 설정 인터페이스에 있어 PSEL(programming chip select)은 레지스터 정보의 기록 및 조회를 활성화시키는 신호이고, PDI(programming data input), PDO(programming data output)는 PSEL이 인가된 상태에서 기록 데이터와 조회데이터의 입출력이 이루어지는 신호선이며, PCLK은 이들 데이터에 대한 동기 클럭이 MCU로부터 인가되는 신호선이다.

그림 36은 레지스터 설정 접속에서의 기록과 조회 동작에 대한 과정을 나타낸다. 그림 36 (a)는 레지스터 설정 정보의 기록 동작시 MCU로부터 출력되는 신호 규정을 나타내고 있으며, 그림 36 (b)는 조회 동작시의 신호 규정을 나타내고 있다. 기록과 조회 동작은 총 16 비트 길이의 이진 신호를 이용하여 이루어지며, 7 비트 길이의 주소, 1 비트 동작 설정 비트 그리고 8 비트 길이의 데이터를 이용한다. 기록 동작은 7 비트 길이의 주소와 동작 설정 비트 '1', 그리고 8 비트의 데이터를 RF 트랜시버로 전송함으로써 해당 위치에 데이터를 기록하게 된다. 그리고 조회 동작은 기록 동작에서의 동작 설정 비트 '1' 대신 '0' 비트를 이용함으로써 해당 위치의 설정 정보를 조회하게 된다.

레지스터 설정 정보와 관련된 타이밍 규정은 표 12에 나타내었다<sup>[25]</sup>.



(a) 레지스터 설정 정보 기록



(b) 레지스터 설정 정보 조회

그림 36. 설정 레지스터 정보의 기록과 조회

표 12. 레지스터 설정을 위한 접속에서의 타이밍 기준

파라미터	심벌	최소	최대	단위
PCLK, clock frequency	$F_{PCLK}$	-	10	MHz
PCLK, low pulse duration	$T_{CL, min}$	50	-	ns
PCLK, high pulse duration	$T_{CH, min}$	50	-	ns
PSEL, setup time	$T_{SS}$	25	-	ns
PSEL, hold time	$T_{HS}$	25	-	ns
PSEL, high time	$T_{SH}$	50	-	ns
PDI, setup time	$T_{SD}$	25	-	ns
PDI, hold time	$T_{HD}$	25	-	ns
Rise time	$T_{rise}$	-	100	ns
Fall time	$T_{fall}$	-	100	ns

CC1020 RF 트랜시버가 MCU와의 데이터 인터페이스에서 지원할 수 있는 전송 방식은 NRZ 방식, Manchester 방식, 그리고 transparent 방식이 있다. 그리고 전송속도에 있어서는 2.4kbps ~ 153.6kbps의 속도를 지원할 수 있다. 본 논문에서는 위의 세 가지 전송 방식 중 송신시 transparent 방식을 이용하며, 수신시 NRZ 방식을 이용하도록 설계하였다. 그 이유는 태그와의 통신을 위하여 리더가 전송해야할 펄스의 타이밍과 관련된다. RF 트랜시버가 지원하는 부호화 방식 및 전송속도를 사용하여 신호의 송수신을 수행하게 되면, 태그의 캘리브레이션 및 초기화 수행에 필요한 적절한 폭의 펄스의 생성이 불가능한 경우가 발생하게 된다. 따라서 리더로부터 태그로 전송되는 데이터는 MCU에서 PWM(pulse width modulation) 방식에 의하여 생성된 펄스가 RF 트랜시버의 transparent 모드를 이용하여 바로 태그로 전송된다.

국내에서 채택된 RFID 표준에서 규정하고 있는 출력 최대 전력은 EIRP(effective isotropic radiated power : 실효 등방복사 전력) 4W(36dBm)이다. 이것은 송신기로부터 안테나로 공급되는 전력이 EPC 표준에서 제안하고 있는 30dBm(1W)인 경우, 사용되는 안테나의 이득이 6dBi를 초과하지 못한다는 것이다. 반면에 이득이 0dBi인 무지향성 안테나를 사용하는 경우, 송신기는 최대 36dBm까지 안테나로 공급할 수 있다.

본 논문에서 제안하는 모바일 RFID 리더는 전체 시스템의 크기를 감소시키기 위하여 낮은 RF 출력 전력을 갖도록 설계된다. RF 출력 전력이 낮아지게 되면 출력이 높은 경우보다 근거리에서 태그가 놓여야만 정상적인 동작에 필요한 에너지를 리더로부터 공급받을 수 있게 된다. 따라서 리더의 출력 전력과 관련된 RFID 시스템의 인식 거리는 주로 태그에 의하여 결정된다고 할 수 있다. 일반적으로 RFID 태그가 정상적인 동작을 수행하기 위하여 리더로부터 수신해야하는 전력은 약 -10dBm 정도이다<sup>[22][26][27]</sup>. 그러므로 RFID 시스템의 정상적인 동작을 위해서는 리더의 RF 출력, 사용되는 리더 및 태그 안테나의 이득, 그리고 리더와 태그 간의 링크 손실을 감안하여 태그로 -10dBm 이상의 전력을 공급하여야 한다. RFID 시스템에서 RFID 리더와 태그 간의 최대 인식 거리와 리더의 수신 전력은 식 (3)과 (4)의 Friis 공식을 사용함으로써 예측할 수 있다<sup>[28]</sup>. 식 (3)은 리더

로부터  $d_0$  떨어진 위치에서 태그가 수신하게 되는 전력이다.

$$P_{tag} = P_{CW} \left( \frac{\lambda}{4\pi d_0} \right)^2 G_{reader} G_{tag} \quad (3)$$

여기서  $P_{CW}$ 는 리더로부터의 송신전력이며,  $G_{reader}$ 와  $G_{tag}$ 는 각각 리더 안테나와 태그 안테나의 이득이다. 식 (4)는 태그로부터  $d_0$  떨어진 위치에서 리더가 수신하게 되는 전력이다.

$$P_{rx} = P_{tag} \left( \frac{\lambda}{4\pi d_0} \right)^2 G_{reader} G_{tag} \quad (4)$$

여기서  $P_{rx}$ 는 리더로부터 태그로 전달된 전력이 손실없이 반사된다고 가정하는 경우 리더가 수신하는 전력이다. RFID 시스템에서 태그의 정상 동작에 필요한 전력의 크기는 -10dBm 정도이다. 태그의 수신 전력의 크기를 -10dBm이라고 할 때, 리더의 출력 전력이 30dBm, 리더 안테나의 이득이 3dBi, 그리고 태그 안테나의 이득이 반파장 다이폴 안테나의 이득인 2.15dBi라고 가정하면, 식 (3)으로부터 얻어지는 최대 인식 거리는 약 4.7m이며, 출력 전력이 20dBm인 경우의 최대 인식 거리는 약 1.49m이다. 이 때 리더가 태그로부터 수신하는 전력의 크기는 식 (4)로부터 얻어지며, 리더의 출력이 30dBm인 경우 4.7m 떨어진 태그로부터 리더가 수신하게 되는 전력의 크기는 약 -50dBm이고, 리더의 출력이 20dBm인 경우 1.49m 떨어진 태그로부터 리더가 수신하게 되는 전력의 크기는 약 -35dBm이다. 여기서 설명되는 송수신 전력과 인식거리에 대한 계산 결과는 리더와 태그 간에서 발생하는 에너지 전송과 데이터 전송에서 자유공간에서의 전파손실을 제외한 그 이외의 손실은 무시하였을 때의 결과이다. 하지만 실제적인 경우 자유공간에서의 거리에 따른 전파손실, 안테나의 편파 부정합에 의한 손실, 리더 및 태그에서의 도체 손실, 그리고 신호 처리 과정에서의 주파수 편차에 따른 손실, 신호 변환 과정에서의 정밀도에 따른 손실 등을 고려하면 계산 결과보다 낮은 에

너지를 수신하게 된다. 그러나 제안된 시스템에서 사용된 RF 트랜시버와 상용 RFID 리더는 최소  $-80\text{dBm}$  이상의 신호를 수신할 수 있는 성능을 가지고 있다. 그러므로 RFID 시스템에서는 리더가 수신하는 전력의 크기보다는 태그가 활성화되기에 충분한 전력이 전달될 수 있는가의 여부가 인식거리를 결정하게 된다. 그러므로 RFID 시스템에서의 인식거리 향상은 태그의 에너지 수신 효율의 향상과 가장 밀접한 관련을 갖는다<sup>[24][25][29]</sup>.

본 논문에서는 표준에서 정하는 출력 전력 범위 내에서 RFID 응용에 적합한 최소의 전력을 출력 하도록 함으로써 소모 전력을 감소시키는 물론 휴대가 용이한 모바일 RFID 리더를 제안하였다. 출력 전력의 감소에 따라 태그 인식거리의 감소가 수반되지만 원거리에서 다수의 태그를 신속하게 인식해야하는 고정형 리더와는 달리 모바일 리더의 경우 근거리에 위치하는 수 개의 태그에 대한 정보의 인식과 처리만으로도 응용 서비스의 창출이 가능하다<sup>[22]</sup>. 그리고 모바일 RFID 시스템에서는 대량의 태그 인식에 대한 필요성이 낮으므로 시스템 구현시 고성능 하드웨어 장치의 사용에 대한 필요성 또한 낮아진다. 그러므로 응용 서비스 제공에 적합한 성능을 갖는 하드웨어의 설계가 가능하다. 본 논문에서는 제안한 모바일 RFID 리더의 통신 속도를 결정함에 있어 RF 트랜시버의 송수신 성능을 주로 고려하였다. 즉, MCU로부터 RF 트랜시버로 전송된 신호가 태그까지 도달하는 데 소요되는 시간과 수신된 태그의 응답 신호가 트랜시버로부터 출력되기까지의 소요시간 등을 고려하여 통신 속도를 결정하였다.

## 2) 시스템 제원

EPC 표준에서 규정하고 있는 리더와 태그 간 데이터 전송속도는 클래스-0의 경우는 최대  $80\text{kbps}$ , 클래스-1의 경우는 최대  $70.18\text{kbps}$  그리고 GEN 2의 경우  $640\text{kbps}$ 이다. 또한 최저 전송속도에 대한 부분도 함께 규정하고 있으므로 응용 분야에 적합한 성능을 가지는 시스템의 설계가 가능하다. 즉 규정하는 범위 내에서 응용 용도에 맞는 다양한 성능의 하드웨어 구현이 가능하다. 본 논문에서는 설계에 사용된 RF 트랜시버의 송수신 성능과 제안한 모바일 RFID 리더의 출력 전력에 대한 사항을 고려하여 리더와 태그 간의 통신 속도를 결정하였다.

표 13은 EPC RFID 무선 접속 표준과 설계 시스템의 제원을 요약한 것이다.

표 13. EPC RFID 무선 접속 표준과 설계 시스템의 제원 비교

분류	클래스-0	클래스-1	GEN 2	설계 시스템	
동작 주파수(MHz)	860~960	860~930	860~960	908.5-914	
RF 출력전력(dBm)	30	30	30	20	
부호화	리더→태그	PWM	PWM	PIE	PWM, PIE
	태그→리더	2-tone ASK	비트 셀 부호화	FM0 또는 Miller 변조된 부반송파	- 2-tone ASK - 비트 셀 부호화 - FM0
변조방법	AM	ASK	ASK, PSK	AM, ASK	
전송속도(kbps)	80, 20	15, 76.18	FM0 : 40~640 Miller : 5~320	- 클래스-0 : 11 - 클래스-1 R⇒T : 15 T⇒R : 30 - GEN 2 : 40	
충돌방지알고리즘	Bit-by-bit 이진 트리	Bin-slotted 이진 트리	ALOHA	- Bit-by-bit 이진 트리 - Bin-slotted 이진 트리 - ALOHA	
태그 Bit 수	64, 96	64, 96	최대 256	64, 96	
오류검출방법	16bit CRC	16bit CRC	16bit CRC	16bit CRC	

표 13에서는 동작 주파수, RF 출력전력 그리고 클래스-0의 경우 전송속도에서 표준의 내용과 차이를 갖는다. 동작 주파수의 경우 EPC 표준에서는 세계적으로 통용되는 포괄적인 주파수 대역을 규정하고 있는 것이다. 그리고 제안 시스템은 국내에서 RFID 시스템용으로 확정된 주파수 대역을 기준으로 설계된 것이므로 차이를 갖는다. 그리고 RF 출력전력의 경우 제안하는 시스템은 출력 전력을 일정 수준 이하로 낮추고 단일칩 RF 트랜시버를 사용하여 전체 시스템의 크기를 감소시키기 위한 것이다. 따라서 RF 출력 전력은 20dBm이 되도록 하였다. 또한 리더와 태그 간의 전송속도는 EPC 클래스-0 표준에서는 20kbps를 최저 속도로 규정하고 있으나, 본 논문에서는 사용되는 RF 트랜시버의 송수신 타이밍 특성을 고려하여 클래스-0의 경우 11kbps로 결정하였다. 이 통신 속도는 표준의 내용에는 위배되는 것이나, 제안된 속도로 태그와의 데이터 송수신이 원활히 이루어지는 것을 확인함으로써 적절성의 여부를 판단한다.

### 3. 시스템 펌웨어 구성

본 논문에서 제안된 모바일 RFID 리더는 장치의 크기 감소를 위하여 20dBm의 전력을 출력할 수 있도록 하였으며, 범용 RF 트랜시버인 CC1020을 사용하여 RF 부품이 차지하는 면적이 최소화될 수 있도록 하였다. 하지만 범용 RF 트랜시버의 사용은 RFID 시스템에서 리더와 태그가 통신을 수행함에 있어 변조방식 및 부호화 방식에서 적절한 조건을 만족시키지 못한다. 우선 변조방식의 경우 CC1020에서는 FSK(frequency shift keying : 주파수 편이 변조)와 ASK(amplitude shift keying : 진폭 편이 변조)의 두 가지 변조방식을 사용할 수 있다. 클래스-0 태그는 반송파를 기준으로 각각  $2.2\text{MHz}\pm 2.5\%$ ,  $3.3\text{MHz}\pm 2.5\%$  이격된 주파수의 신호를 이용하여 리더로 응답 신호를 전송한다. CC1020은 FSK의 경우 데이터 '0'과 '1'의 분리 주파수가 최대 216kHz이다. 따라서 클래스-0 태그로부터 수신되는 응답 신호를 FSK 방식을 이용하여 수신하는 것은 불가능하다. 그러므로 본 논문에서는 ASK 방식을 이용하여 태그의 응답 데이터를 수신하도록 하였다. 그러나 ASK 방식을 사용하는 경우, 데이터 수신에 있어 충돌 여부를 확인하는 것이 불가능하다. 그러므로 충돌에 대한 확인이 가능하도록 하기 위하여 제안된 시스템에서는 태그로부터의 응답 신호에 대하여 각각 '0' 수신 주파수 및 '1' 수신 주파수로 수신 주파수를 절환하면서 2회 수신 확인을 수행하도록 펌웨어를 설계함으로써 ASK 방식을 사용하여 데이터의 수신이 가능하도록 하였다.

그림 37은 태그 데이터 수신 절차를 나타낸다. 최초 리더는 태그 데이터의 수신을 위하여 마스터 리셋 신호, 오실레이터 캘리브레이션 신호, 데이터 캘리브레이션 신호, 'ResetIDFlag' 명령, 'Null', 그리고 '0' 데이터를 순차적으로 전송한다. 리더의 수신 장치는 최초 '0' 수신 주파수로 설정되어 태그 데이터의 수신 여부를 확인한다. '0' 데이터의 수신 여부의 확인 과정 이후, 동일한 태그 응답 신호에 대하여 다시 '1' 수신 주파수로 절환하여 '1' 데이터의 수신 여부를 확인한다. 이 때, '0' 또는 '1' 데이터 중 하나의 데이터만 수신된 경우는 충돌이 발생하지 않은 상황이므로 수신 데이터를 메모리에 저장한다. 하지만 '0'과 '1' 데이터가 모

두 수신된 경우는 충돌이 발생한 것이므로, '0'을 메모리에 저장한 후 태그로 다음의 응답 데이터 요청을 위한 전송을 시작한다. 충돌이 발생하지 않은 경우는 수신한 데이터를 그대로 다시 태그로 전송하게 되고, 충돌이 발생한 경우는 기본적으로 '0'을 태그로 전송하게 된다. 즉 리더는 모든 태그 데이터에 대하여('0'과 '1' 모두) 수신 주파수를 절환하면서 '0'인지 '1'인지 확인하는 과정을 수행함으로써 데이터를 정상적으로 수신하게 되며 데이터의 충돌 여부도 판단하게 된다. 수신된 데이터는 리더의 메모리로 저장되며, 다음 비트를 수신하기 위하여 ['Null'+ 모든 이전 수신 데이터]를 태그로 전송한다. 충돌이 발생한 경우는 다음 비트의 수신을 위하여 태그로 전송하는 데이터로 '0'을 선택하고, 그 값을 메모리에 저장한다.

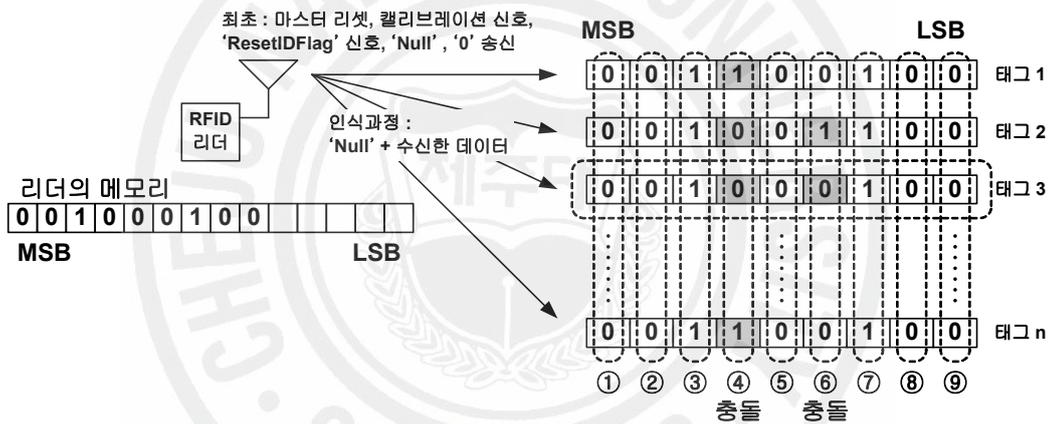


그림 37. 클래스-0에서의 태그 데이터 수신 절차

그림 38은 태그 데이터 수신시의 데이터 판별 과정을 나타낸다. 데이터 판별 과정에서 리더는 이전에 정상적으로 수신된 데이터에 대해서는 판별을 수행하지 않고 그 이후에 수신되는 한 비트의 데이터에 대해서만 주파수를 절환하면서 데이터 판별을 수행하며 데이터의 충돌 여부도 판단한다. 그림 38은 이전에 3 비트의 데이터 수신이 이루어진 경우를 가정하고 있다. 즉 이전에 수신된 3 비트의 데이터에 대해서는 그 값에 대한 판별을 수행하지 않는다. 수신되는 네 번째 비트에 대해서만 점선 표시부 A에서는 '0' 데이터에 대한 판별을 수행하고, 수신 주파수를 '1' 수신 주파수로 절환하여 점선 표시부 C에서는 '1' 데이터에 대한 판

별을 수행하게 된다. 이렇게 두 번의 데이터 판별 과정을 수행한 이후 충돌이 발생하지 않은 경우이면 수신된 데이터가 리더의 메모리로 저장되며, 충돌이 발생한 경우이면 데이터 '0'이 리더의 메모리로 저장된다.

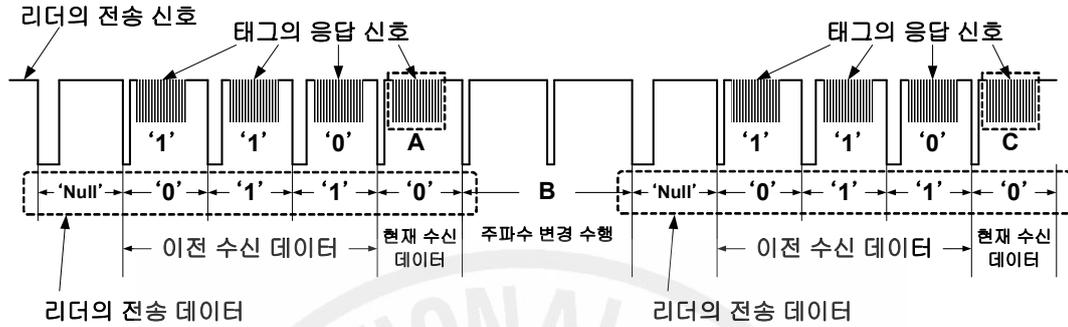


그림 38. 클래스-0에서의 태그 데이터 판별 과정

그림 39에 구현된 클래스-0 충돌 방지 알고리즘의 흐름도를 나타내었다. 태그 인식 과정에서 MCU는 RF 트랜시버의 현재 상태를 파워다운 모드로 변환시킨 후 트랜시버에 대한 리셋 과정을 수행한다. 리셋 과정이후 송신 장치와 수신 장치의 레지스터 값을 초기화시킨다. 레지스터 값 초기화이후 송신 장치와 수신 장치에 대한 주파수 캘리브레이션을 수행하고 태그 인식을 위한 신호의 생성과 전송을 수행한다. 그림 39의 흐름도에서 수신되는 태그 데이터의 '0', '1'의 여부는 플래그를 이용하여 지정하도록 하였으며, 두 번의 수신 확인 과정 수행 이후 이들 플래그의 값을 조회함으로써 '0' 데이터의 수신 여부 및 '1' 데이터의 수신 여부를 결정한다. 그리고 1 바이트의 데이터가 완전히 수신되면 수신된 데이터는 수신 버퍼로 저장되고 쉬프트 레지스터에는 새로이 수신되는 1 바이트의 데이터가 저장된다. 하나의 태그에 대한 데이터 수신에 완료되면 리더는 태그를 'dormant state'로 전환시켜 그 이후의 데이터 교환 과정에서 인식된 태그는 제외시킨다. 리더는 10회의 태그 데이터 인식 과정을 수행하는 동안 수신되는 데이터가 없으면 태그 인식 과정을 종료하고 주 프로그램으로 복귀한다.

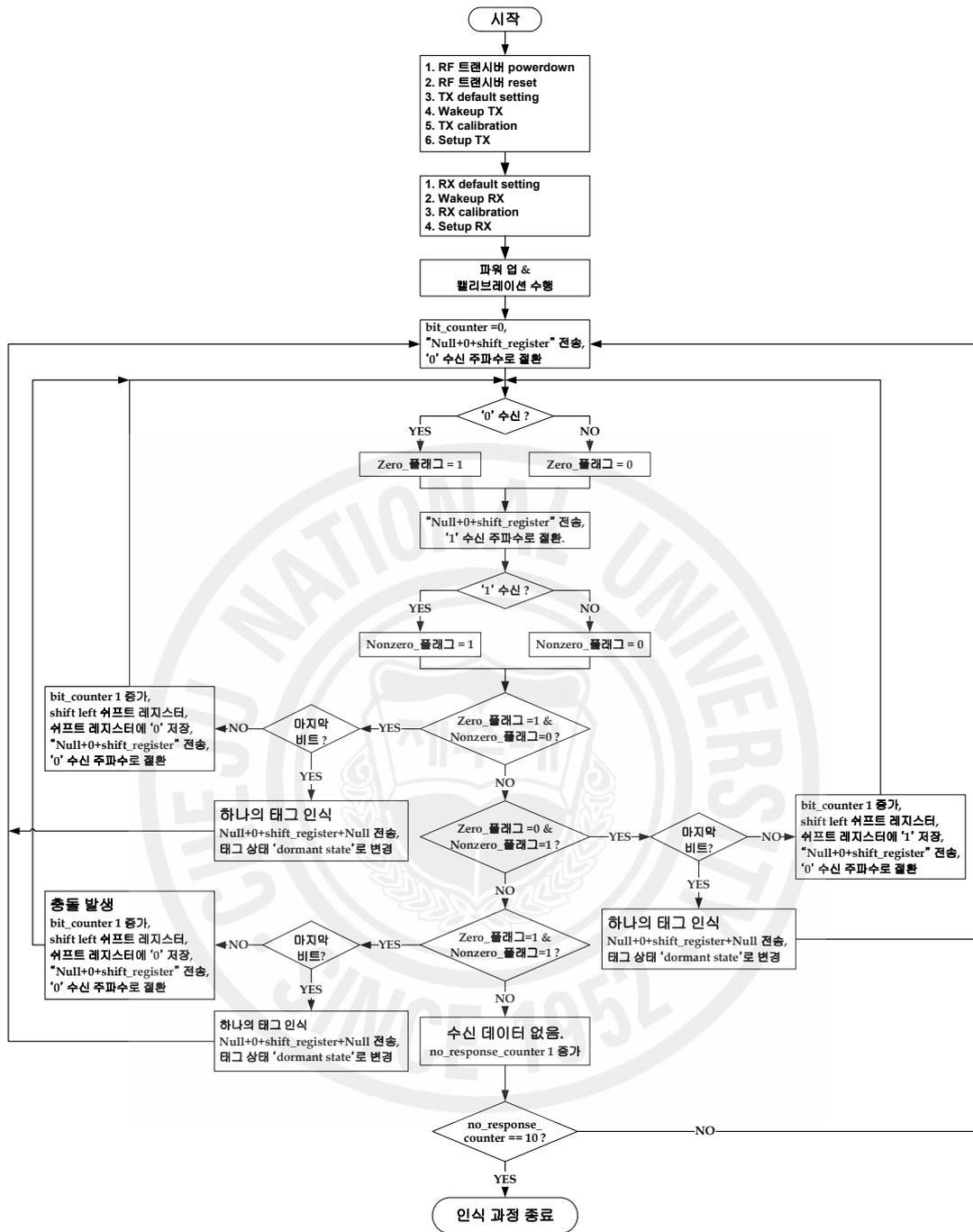


그림 39. 구현된 EPC 클래스-0 충돌 방지 알고리즘 흐름도

제안하는 시스템에서는 리더와 태그의 데이터 교환에 필요한 신호를 소프트웨어 PWM 방식으로 생성한다. 설계에 사용된 RF 트랜시버인 CC1020의 최대 전송속도는 153.6 kBaud이며, 생성 가능한 펄스의 최소폭은 NRZ 방식을 이용하는

경우 약  $6.5\mu s$ 이다. 이러한 펄스폭은 리더와 태그 간의 데이터 교환에서 요구되는 펄스의 타이밍 조건을 충족시키지 못한다. 그러므로 제안하는 시스템에서는 MCU에서 소프트웨어적으로 PWM 신호를 생성하고, RF 트랜시버는 이러한 신호를 transparent 모드로 전송함으로써 태그로 적절한 폭의 펄스가 전송되도록 하였다.

그림 40은 오실레이터 캘리브레이션 신호의 생성을 위한 흐름도이다. 그림의 흐름도에서는 캘리브레이션 신호 생성을 위한 순환 구조문을 수행하기 이전에 타이머2 인터럽트를 디스에이블시키고 최초 생성되는 캘리브레이션 펄스의 듀티 사이클 값을 듀티 사이클 레지스터에 래치시킨다. 이는 오실레이터 캘리브레이션 신호 생성시 글리치를 방지하기 위한 것이다.

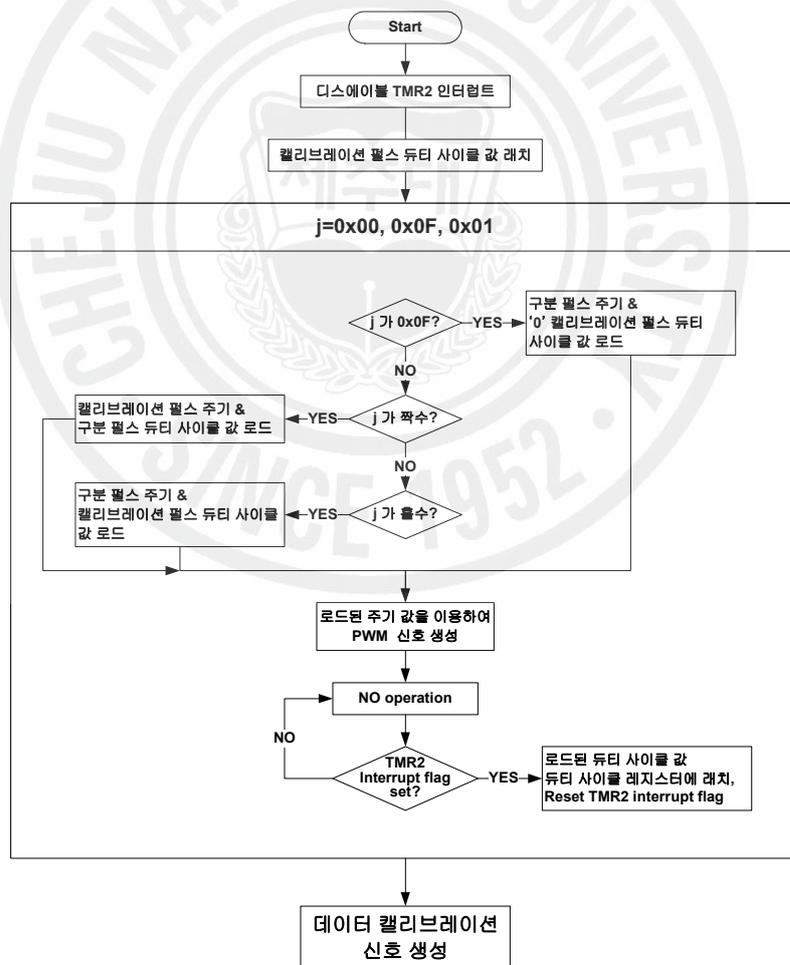
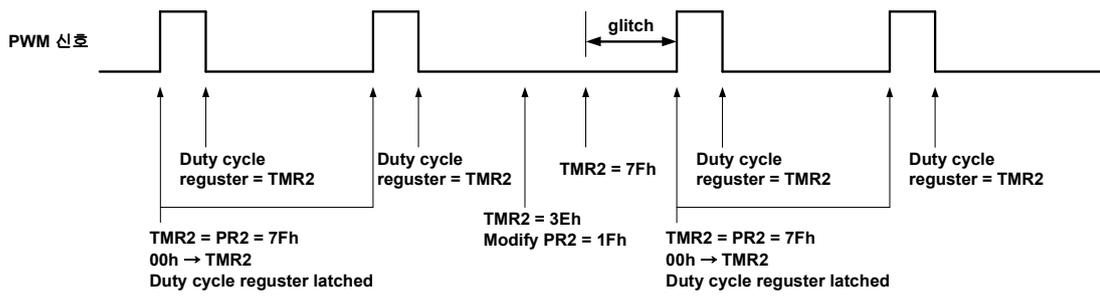


그림 40. 오실레이터 캘리브레이션 신호 생성 흐름도

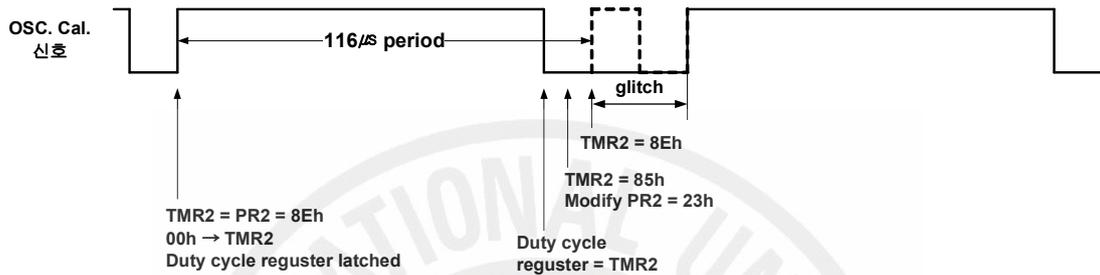
그림 40의 흐름도에서는 캘리브레이션 펄스의 듀티 사이클 값이 듀티 사이클 레지스터에 래치되어 있는 상태에서 순환 구조문을 수행하여  $j$ 가 짝수이면 캘리브레이션 펄스의 주기값과 구분 펄스의 듀티 사이클 값을 주기 레지스터와 듀티 사이클 레지스터에 로드하고,  $j$ 가 홀수이면 구분 펄스의 주기값과 캘리브레이션 펄스의 듀티 사이클 값을 주기 레지스터와 듀티 사이클 레지스터에 로드하여 PWM 신호 생성을 시작한다. 로드된 듀티 사이클 값은 타이머2의 값과 주기 레지스터의 값이 같아지는 시점에 듀티 사이클 레지스터에 래치되어 다음의 PWM 펄스 생성시 듀티 사이클을 결정한다. 오실레이터 캘리브레이션 신호의 생성이 완료되면 프로세스는 데이터 캘리브레이션 신호의 생성을 위한 루틴을 수행한다.

제안한 시스템은 MCU인 PIC18F2455의 내부 타이머2를 이용하여 PWM 신호를 생성한다. 타이머2의 값과 주기 레지스터의 값이 같아지는 시점, 즉 타이머2 인터럽트 플래그가 세트되면 다음의 듀티 사이클 값이 듀티 사이클 레지스터에 래치되어 다음 PWM 신호의 듀티 사이클을 결정하게 된다. 이 때 인터럽트는 디스에이블시켜 인터럽트 서비스 루틴으로의 분기는 억제되도록 하였다. 그리고 PWM 신호를 생성함에 있어서는 MCU에서 생성된 신호가 반전되어 RF 트랜시버로 입력되도록 설계하였다. 그 이유는 현재의 타이머2의 값보다 작은 값이 주기의 값으로 설정되면 새롭게 설정된 펄스의 주기값과 타이머2의 값이 같아지는 시점이 발생되지 않기 때문에 신호에서 글리치가 발생하기 때문이다. 제안한 시스템에서는 MCU에서 생성된 PWM 신호가 반전되어 RF 트랜시버로 입력됨으로써 새롭게 설정되는 주기의 값이 현재의 타이머2의 값보다 항상 큰 값이 되어 글리치가 제거된다.

그림 41은 PWM 신호 생성시의 글리치(glitch)를 나타낸다. 그림 41 (a)와 (b)에서 주기 레지스터의 값이 갱신되는 시점에서의 타이머2의 값은 각각 16진수 3Eh와 85h이다. 이는 새롭게 설정되는 주기값인 1Fh와 23h보다 큰 값이다. 따라서 타이머2의 값과 주기값이 같아지는 시점이 발생되지 않으므로 듀티 사이클 값이 래치되지 못하여 신호에서 글리치가 발생하고 있다.



(a) 주기 레지스터 갱신에 따른 글리치



(b) 오실레이터 캘리브레이션 신호 생성에서의 글리치

그림 41. PWM 신호 생성에서의 글리치

그림 42는 레지스터 값 변경 및 조회에 대한 흐름도를 나타낸 것이다. 호스트로부터 RF 트랜시버의 레지스터 값에 대한 변경 및 조회 명령이 수신되면 RFID 리더의 MCU는 호스트로부터 수신된 데이터를 주소 7비트, 동작 설정 비트 1비트 그리고 데이터 8비트의 형태로 데이터를 재구성한다. 이렇게 재구성된 데이터는 RF 트랜시버로 주소, 동작설정비트 그리고 데이터의 순으로 전송된다. RF 트랜시버는 동작설정비트의 값에 따라 해당 주소의 위치에 데이터를 기록하거나 해당 주소의 레지스터 값을 PDIO 선을 통하여 MCU로 전송한다. 기록 동작인 경우 MCU는 레지스터로 해당 데이터를 전송한 후 바로 주 프로그램으로 복귀하며, 조회 동작인 경우 RF 트랜시버로부터 수신된 레지스터 값을 호스트로 전송한 후 주 프로그램으로 복귀한다.

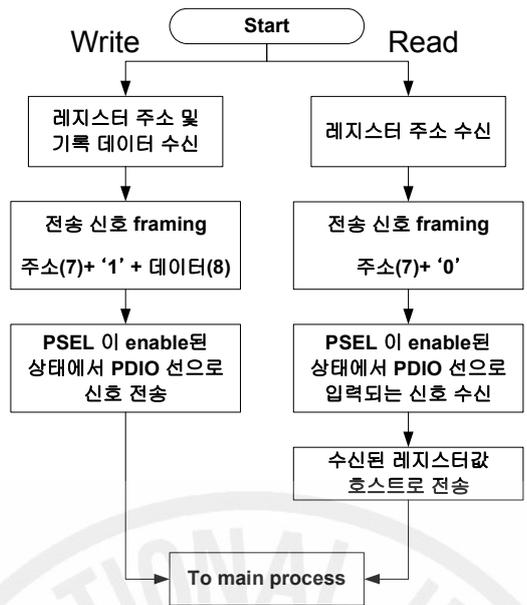


그림 42. 레지스터값 변경과 조회 프로그램 흐름도

그림 43은 설계된 전체 시스템 펌웨어에 대한 흐름도를 나타내고 있다. 전원이 인가되면 시스템 펌웨어는 MCU의 관련 레지스터를 내부적으로 설정된 값에 따라 초기화하게 된다. 초기화 수행 이후 MCU는 표준 직렬 접속 포트로부터의 신호 수신 여부를 감시하면서 연결된 호스트 장치로부터 송신되는 명령을 기다린다. 이러한 상황에서 호스트로부터의 명령이 수신되면 명령의 유형을 결정하고 해당 명령을 수행한다.

리더가 호스트로부터 수신하는 명령의 유형에는 송신과 수신 장치의 특정 레지스터의 값을 변경하거나 조회하기 위한 명령과 해당 EPC 태그의 데이터 인식을 위한 명령 두 가지로 나누어져 있다. 레지스터 값을 변경하거나 조회하기 위한 명령인 경우 프로세스는 해당 프로그램으로 분기하여 호스트 장치로부터 전송된 주소의 레지스터 값에 대한 변경이나 조회 동작을 수행한 후 다시 호스트 장치로부터의 명령을 대기하는 상태로 돌아간다. 그리고 호스트 장치로부터 전송된 명령이 태그 인식과 관련된 명령이면 프로세스는 인식하게 될 태그의 종류가 클래스-0, 클래스-1 또는 GEN 2인지의 여부를 판단한다. 인식해야 할 태그의 유형을 판단하고 난 후 이루어지는 과정은 태그와의 통신을 개시하기 위한 준비과정으로서 우선 RF 트랜시버의 레지스터의 값에 따라 설정되는 송신 및 수신 주

과수에 대한 주과수 캘리브레이션을 수행하고 송수신 장치를 활성화시킨다. 송수신 장치가 활성화된 이후 송신 장치는 태그로부터의 데이터 수신을 위해서 클래스-0의 경우 오실레이터 캘리브레이션 신호, 데이터 캘리브레이션 신호 및 'ResetIDFlag' 명령을 차례로 태그로 전송하며, 클래스-1의 경우 '[CLKSYNC]'로 시작하는 'PingID' 또는 'TALK' 명령을 전송하고, GEN 2의 경우 프레임 싱크로 시작하는 'SELECT' 명령과 프리앰블로 시작하는 'QUERY' 명령을 태그로 전송하여 태그와의 타이밍 동기과정을 수행한 후 태그 데이터 인식 과정을 수행한다.

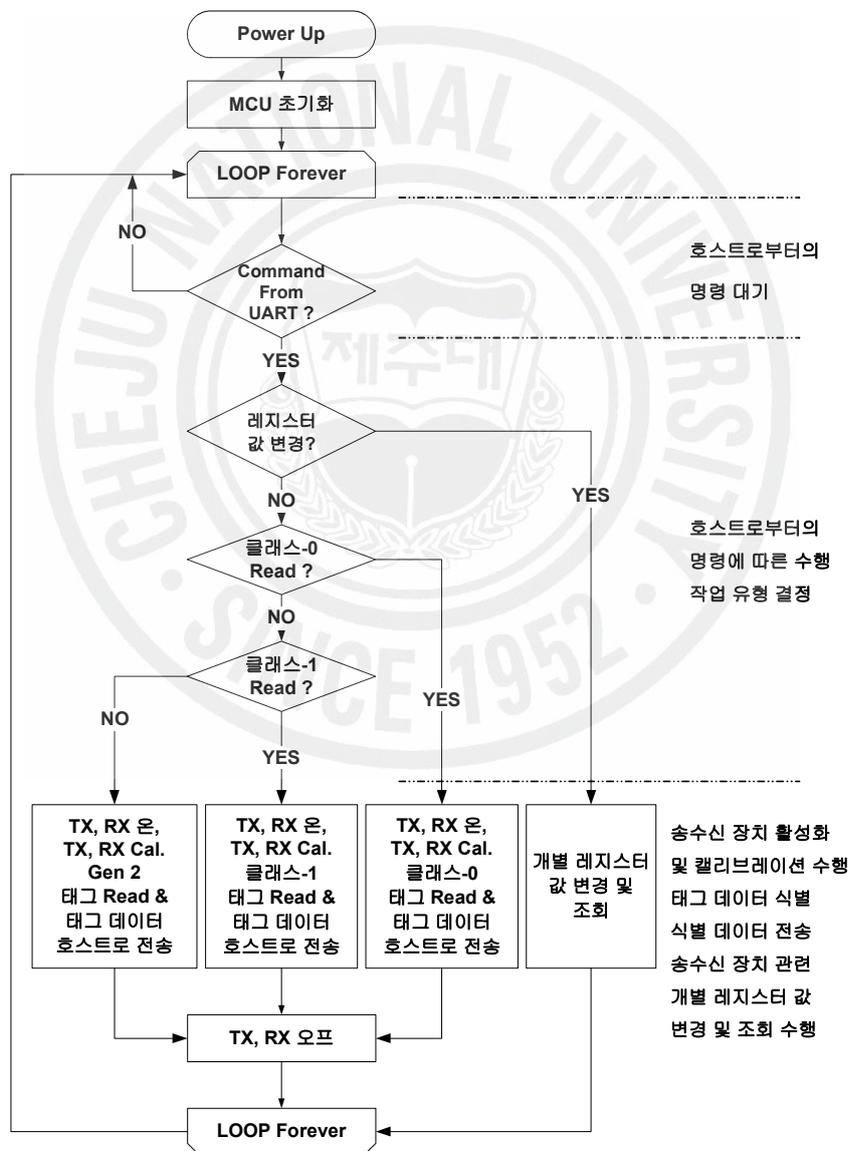


그림 43. 시스템 펌웨어 흐름도

본 논문에서 제안하는 모바일 RFID 리더가 운용되는 환경은 근거리에 위치하는 소수의 태그를 인식하는 상황을 주로 고려하기 때문에 단일 태그를 인식하는 동작 모드를 우선 수행한다. 하지만 일정 시간이 경과한 후에도 적절하게 태그가 인식되지 않으면, 각각의 EPC RFID 무선 접속 표준에서 제안하는 충돌 방지 알고리즘을 기반으로 하는 다중 태그 인식과정을 수행한다. 하지만 EPC 클래스-0의 경우는 태그 데이터를 인식하기 위한 'binary traversal' 과정 자체에 충돌 방지 알고리즘이 포함되기 때문에 단일 태그 인식 과정과 다중 태그 인식 과정이 구분되지 않는다. 태그로부터 수신되는 데이터는 RFID 리더에서 사용된 MCU의 내장 데이터 메모리에 순차적으로 저장됨과 동시에 데이터에 대한 CRC 체크가 이루어진다. 태그 데이터의 수신이 완료되고 CRC 체크에서 오류가 발생하지 않으면 리더는 저장된 태그 데이터를 표준 직렬 접속 방식을 이용하여 접속된 호스트 장치로 전송한다. 리더의 인식 영역 내에서 더 이상 새로운 태그의 응답이 발생하지 않으며 호스트로 인식된 태그 데이터 전송이 완료되면, 모바일 RFID 리더는 태그 인식과 무관한 전력의 소비를 감소시키기 위하여 송신과 수신 장치를 파워다운 모드로 전환시킨 후 다시 호스트 장치로부터의 명령을 대기하는 상태로 돌아간다. 그러나 수신된 태그 데이터에서 오류가 발생하면 저장된 태그 데이터는 무시되고 다시 태그 데이터를 수신하는 과정을 반복 수행한다.

## V. 제작 및 측정

본 논문에서는 900MHz UHF대역에서 사용가능한 모바일 RFID 리더를 설계하고 구현하였으며 EPC RFID 표준인 EPC 클래스-0, EPC 제1세대 클래스-1 그리고 EPC 제2세대 클래스-1에서 제안하는 규격을 기준으로 그 특성을 측정하고 분석하였다. 이러한 측정 결과와 분석 결과로부터 범용 RF 트랜시버의 사용에 따른 제약 사항들이 설계 과정에서 제안한 방법을 통하여 적절하게 해결되는지를 판단하고, EPC RFID 표준과의 적합성을 비교함으로써 본 논문에서의 설계 제안의 적절성을 확인한다.

### 1. 모바일 RFID 리더 측정

본 논문에서 설계한 모바일 RFID 리더의 RF 출력 전력은 최대 20dBm이며, 태그와는 통신 최소 속도는 11kbps이다. 그림 44는 설계 및 제작된 RFID 리더 시스템의 보드 레이아웃, 부품 배치도와 제작 사진을 나타낸 것이다. 제작된 RFID 리더 시스템의 전체 크기는 가로 71mm, 세로 55mm의 크기를 갖는다. 제안된 모바일 RFID의 회로도도 부록 I에 수록하였다.

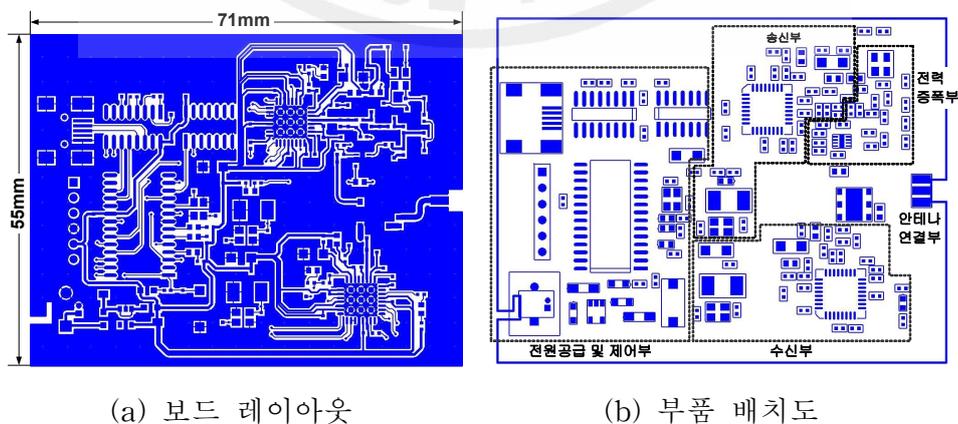
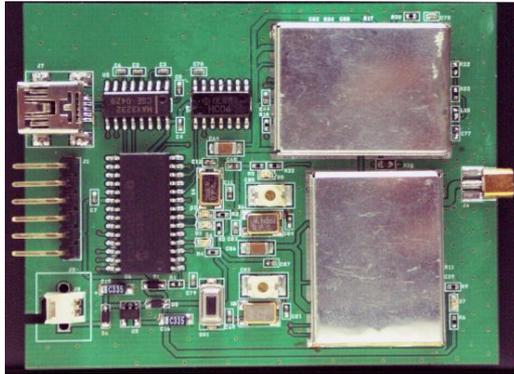


그림 44. 설계된 RFID리더 보드 레이아웃, 부품 배치도와 제작 사진(계속)



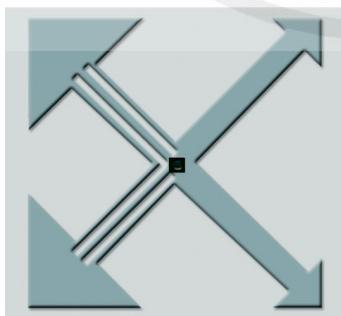
(c) 제작 사진

그림 44. 설계된 RFID리더 보드 레이아웃, 부품 배치도와 제작 사진

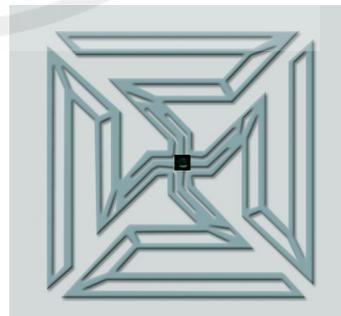
제작된 모바일 RFID 리더의 제반 성능은 무선 송수신 장치의 레지스터 설정 파형, 제작된 모바일 RFID로부터 출력되는 무선 신호의 특성, 리더와 태그의 데이터 교환을 위한 초기화 신호의 특성 그리고 리더와 태그 간의 데이터 교환 시의 파형 특성의 측정을 통하여 분석한다. 이러한 특성의 측정은 EPC 클래스-0, EPC 제1세대 클래스-1 그리고 EPC 제2세대 클래스-1 각각에 대하여 수행한다.

### 1) EPC 클래스-0

그림 45는 측정에 사용된 클래스-0 태그를 나타낸다. 그림의 태그는 Symbol사(이전의 Matrics사)의 제품으로서, 이중 다이폴 안테나로 구성된 태그이다.



(a) Symbol 태그-I

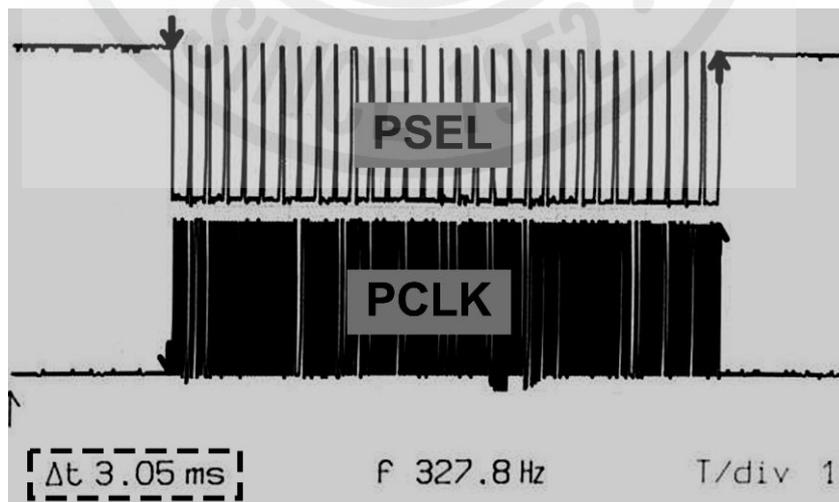


(b) Symbol 태그-II

그림 45. 측정에 사용된 클래스-0 태그

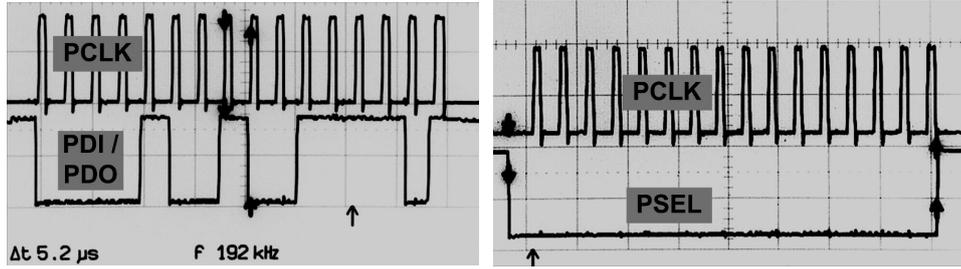
대부분의 특성은 그림 45 (a)의 태그를 이용하여 측정하였으며, Symbol 태그-I와 더불어 Symbol 태그-II는 태그와 리더의 이격 거리에 따른 수신 복조 파형의 측정과 태그 인식 거리 측정에 사용되었다.

그림 46은 제작된 RFID 리더의 무선 송신 장치와 수신 장치의 동작 특성 설정을 위하여 MCU로부터 무선 송신 장치와 수신 장치로 전송되는 신호 파형을 측정하는 것이다. 본 논문에서 사용된 Chipcon사의 CC1020 RF 트랜시버는 레지스터 설정 정보 변경에 최대 10MHz의 클럭 신호가 사용된다. 제작된 리더에서의 클럭 신호 주파수는 192kHz이며, 송신 장치 및 수신 장치 설정 정보의 변경에 각각 약 3ms의 시간이 소요되어 총 6ms가 소요된다. 부품 규격에서 제시하고 있는 10MHz의 신호를 이용하는 경우 보다 빠른 설정 정보의 변경이 가능하나 본 논문에서는 레지스터 설정을 위한 신호 생성시 순환 구조문을 이용하였고, PCLK 신호의 로우 주기 동안 다음 비트의 전송을 위한 준비 과정을 수행하므로 PCLK 신호의 주기는  $5.2\mu\text{s}$ 가 된다. 그림 46의 (d)와 (e)는 PSEL 셋업 타임과 PSEL 홀드 타임을 측정하는 것으로서, 좌측 하단의 점선으로 표시된  $\Delta t$  부분이 PSEL 셋업 타임과 PSEL 홀드 타임에 해당하며, 그 값은  $4.96\mu\text{s}$ 와  $220\text{ns}$ 로서 각각 표 14에서 제시하는 최소값인 25ns 보다 큰 값을 가지므로 기준을 만족한다. 그림 46 파형의 측정에는 Lecroy 사의 9400A 오실로스코프를 사용하였다.



(a) PSEL 및 PCLK 신호

그림 46. RF 트랜시버 레지스터 설정 신호 파형(계속)



(b) PCLK 및 PDI/PDO 신호

(c) PCLK 및 PSEL 신호

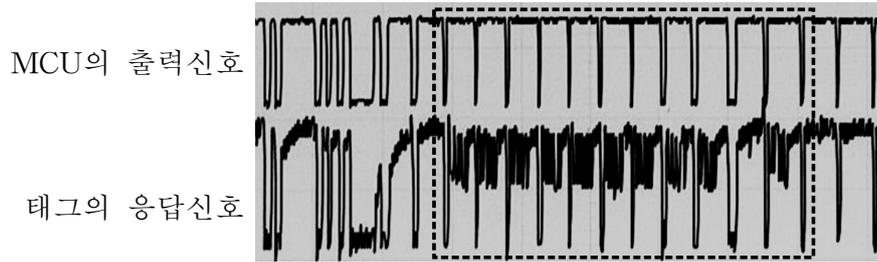


(d) PSEL 셋업 타임

(e) PSEL 홀드 타임

그림 46. RF 트랜시버 레지스터 설정 신호 파형

그림 47과 그림 48은 그림 35에서 표현된 MCU와 RF 트랜시버 간의 데이터 접속에서 발생하는 처리 시간을 설명하기 위한 파형이다. 앞서서도 언급하였듯이 여기서 설명하는 처리 시간은 제안한 모바일 RFID 리더의 데이터 통신 속도를 결정하는 주요한 고려 요소이다. 그림 47은 MCU의 출력 신호가 태그로 전달되기까지의 지연시간을 나타내고 있다. 그림 47의 (a)와 (b)의 두 가지 파형 중에서 위쪽 파형은 MCU의 출력 신호를 나타내며, 아래쪽 파형은 태그의 응답 신호를 나타낸다. 그리고 그림 47 (b)는 그림 (a)의 점선 표시부 중에서 최대 및 최소 지연이 발생하는 부분을 확대한 것으로서 지연시간을 정확하게 측정하기 위한 것이다. 그림 47 (b)에서 점선으로 표시된 부분이 두 신호 간에 발생하는 지연시간이다. 그림에서는 MCU의 출력 신호가 태그에 도달하기까지 약 1.2 ~ 1.6 $\mu$ s라는 시간 지연이 발생하고 있다. 이는 태그가 근거리에서 위치하는 환경에서 측정한 결과이므로 전파지연은 무시할 수 있고, RF 트랜시버가 MCU로부터 입력된 데이터를 변조하고 출력하는 과정에서 소요되는 시간이다.



(a) MCU의 출력 신호와 태그의 응답 신호



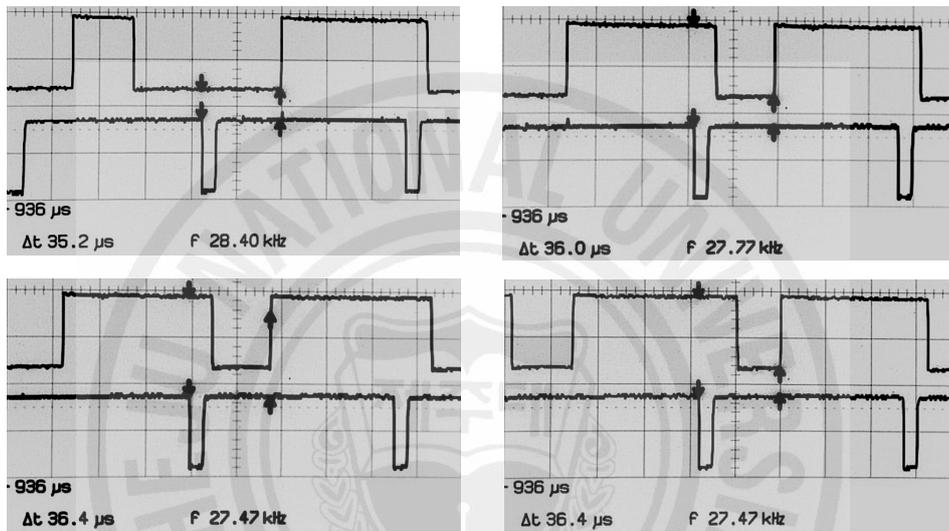
(b) MCU의 출력과 태그까지의 도달 지연

그림 47. MCU의 출력 신호와 태그의 수신 신호간 지연

그림 48은 MCU로부터 데이터가 출력된 이후 MCU가 복조된 태그의 응답신호를 수신하기까지의 지연 시간을 설명하기 위한 측정 파형이다. 그림 48의 (a)와 (b)에 나타난 두 가지의 파형은 위쪽이 태그 응답 신호에 대한 복조 데이터 파형이고, 아래쪽이 MCU의 출력 신호 파형이다. 그림 48 (b)는 MCU의 출력 신호와 태그 응답 신호의 복조 데이터 출력 신호 간의 지연 시간을 자세히 측정하기 위하여 그림 (a)를 확대한 것이다. 그림 48의 측정 파형에서는 MCU로부터 한 비트의 데이터가 출력된 이후 태그의 응답 신호가 복조되어 출력되기까지 평균 약  $36\mu\text{s}$ 의 시간 지연이 발생한다. 측정된 지연시간은 그림 48 (b)의 각 파형에서 좌측 하단에  $\Delta t$ 로 표시하였다. 앞에서 제시한 11kbps의 데이터 통신 속도를 기준으로 할 때 각 데이터 펄스의 주기는  $90\mu\text{s}$ 가 되므로, 그림 47과 그림 48에 나타난 지연시간을 제외하면 태그의 응답 신호의 지속 시간은 최대 약  $50\mu\text{s}$ 이다. 이상과 같은 환경을 고려하여 전송속도를 결정하여야 태그 정보를 적절히 인식할 수 있다.



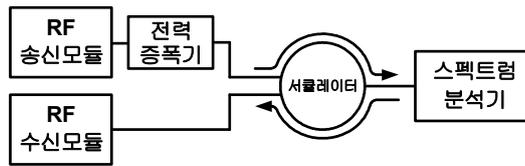
(a) MCU의 출력 신호와 태그 응답 신호의 복조 출력



(b) MCU의 출력 신호와 태그 데이터 복조 출력간의 지연

그림 48. MCU의 출력 신호와 태그 응답 신호의 복조 출력

그림 49는 제작된 모바일 RFID 리더의 출력 스펙트럼을 측정하기 위한 측정 환경과 리더의 출력 스펙트럼을 나타낸다. 그림 49 (a)의 측정환경에서 모바일 RFID 리더의 출력 신호는 서큘레이터를 거친 후 스펙트럼 분석기로 직접 입력 된다. 제작된 모바일 RFID 리더의 최대 출력 전력은 911.25MHz에서 19.58dBm 이다. 측정을 위한 외부 접속 커넥터와 측정 케이블에서의 손실을 감안하면 앞에서 제시한 20dBm의 출력에 근접한다. 측정에 사용된 스펙트럼 분석기는 Anritsu 사의 MS2665C이다.



(a) 모바일 RFID 리더의 출력 스펙트럼 측정 환경

(b) 모바일 RFID 리더의 출력 스펙트럼

그림 49. 리더의 출력 스펙트럼 측정환경과 출력 스펙트럼

표 14는 본 논문에서 제안한 모바일 RFID 리더에서 클래스-0의 경우 설계에 적용된 신호의 타이밍 관계를 요약하여 나타낸 것이다. 여기서 마스터 리셋은 태그에 동작 전원을 공급하고 태그를 초기화시키기 위하여 변조되지 않은 반송파가 출력되는 구간이며,  $t$ 는 오실레이터 캘리브레이션 신호의 주기,  $s_1$ 은 각각의 오실레이터 캘리브레이션 펄스를 구분하기 위한 펄스의 온, 오프 시간,  $w_{1\_1}$ ,  $w_{2\_1}$  그리고  $w_{3\_1}$ 은 각각 '0', '1', 그리고 'Null' 데이터 펄스의 오프 시간, 그리고  $w_1$ ,  $w_2$ , 그리고  $w_3$ 는 각각 데이터 캘리브레이션 신호의 오프 시간을 나타낸다.

표 14. 데이터 심벌과 캘리브레이션 신호의 타이밍 관계( $\mu s$ )

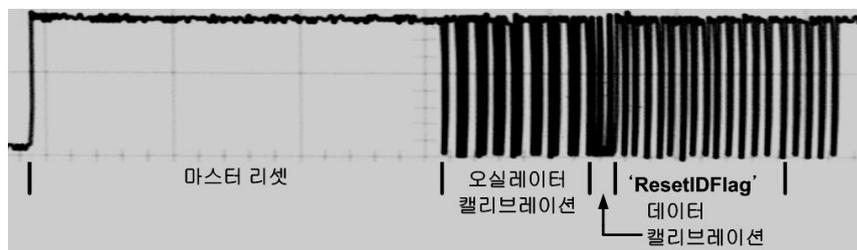
파라미터	마스터 리셋	$t$	$s_1$	$w_{1\_1}$	$w_{2\_1}$	$w_{3\_1}$	$w_1$	$w_2$	$w_3$
값	3300	116	15	6	14	23	11	17	66.7

클래스-0에서 태그는 w1\_1, w2\_1 타이밍을 인식하고 나서 데이터 이벤트 포인트인 w1 또는 w2 시점부터 '0' 또는 '1'에 해당하는 신호를 리더로 전송하게 되는데, 이 때 태그로부터의 응답 신호전송이 종료되는 시점은 w1, w2 타이밍 이후부터 w3 구간이 종료되는 시점까지이다. 그러므로 w3 타이밍을 길게 설정할수록 리더에서 태그의 응답신호를 수신하는 시간이 길어지기 때문에 태그 응답 신호의 수신 성능이 향상된다. 리더로 전송되는 태그 데이터는 리더로부터 공급되는 반송파 신호를 이용하여 ASK 변조 수행 후 리더로 전송하게 된다. 태그 데이터 '0' 과 '1'은 각각 2.2MHz, 3.3MHz의 주파수로 ASK 변조되어 리더로 전송된다.

그림 50은 RFID 리더의 MCU로부터 출력되는 마스터 리셋, 오실레이터 캘리브레이션 신호, 데이터 캘리브레이션 신호와 'ResetIDFlag' 명령에 대한 신호를 측정하기 위한 환경과 그 측정 파형을 나타낸다. 리더로부터 출력되는 신호는 마스터 리셋, 오실레이터 캘리브레이션 신호, 데이터 캘리브레이션 신호, 그리고 'ResetIDFlag' 신호가 순차적으로 태그로 전송되며, 'ResetIDFlag' 명령의 전송 이후 리더와 태그 간의 데이터 교환이 이루어지는 'Tree traversal' 과정이 진행된다.



(a) 송신 파형과 수신 파형 측정 환경



(b) MCU 출력 파형

그림 50. MCU 출력 신호 측정 환경과 측정 파형

그림 51은 마스터 리셋 신호의 지속 시간을 측정한 파형이다. 본 논문에서는 인식 영역내의 태그들이 충분히 리셋 신호를 인식하고 또한 태그에 충분한 초기 동작 전력을 공급하기 위하여 마스터 리셋 신호의 지속 시간을 약 3.3ms로 설정하였다. 그림 51 이후에 나타난 측정 파형은 표 14에서 제시한 타이밍 규격을 기준으로 적절성의 여부를 판단한다.

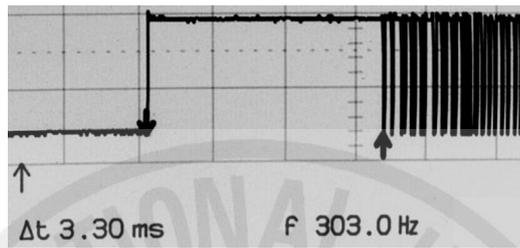
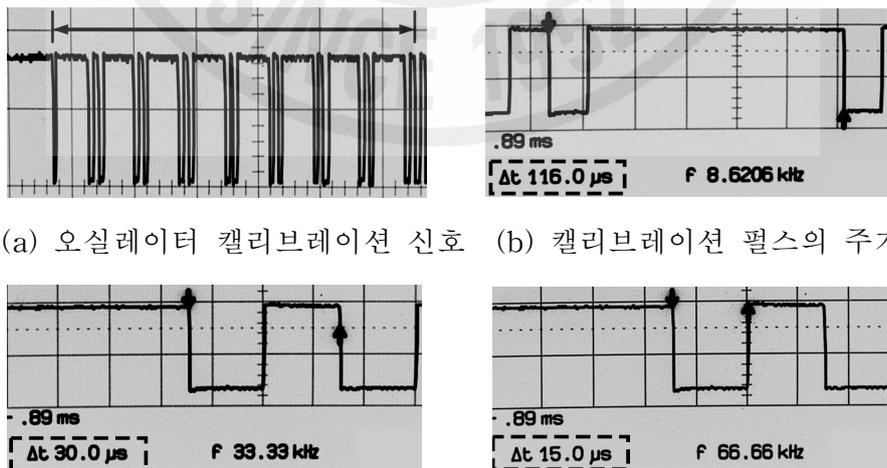


그림 51. 마스터 리셋 신호의 지속 시간

그림 52는 오실레이터 캘리브레이션 신호를 측정한 파형이다. 그림에서는 지속시간이 116 $\mu$ s인 8개의 캘리브레이션 펄스가 각각 펄스 지속 시간이 15 $\mu$ s인 온, 오프 펄스에 의하여 구분되고 있으며, 이는 EPC 클래스-0 표준에서의 규격과 표 14에서 제시한 규격을 만족한다. 오실레이터 캘리브레이션 신호는 태그 내부 발진기의 기준 동작 주파수를 설정하는 신호이다.

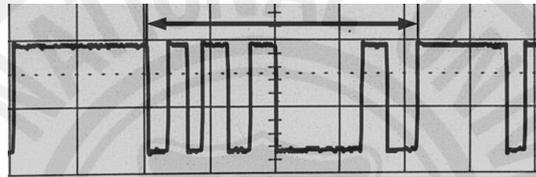


(a) 오실레이터 캘리브레이션 신호 (b) 캘리브레이션 펄스의 주기

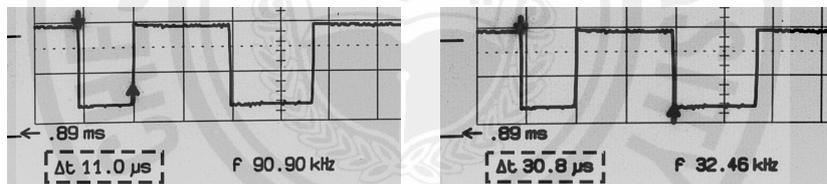
(c) 구분 펄스 주기 (d) 구분 펄스 로우 지속시간

그림 52. 오실레이터 캘리브레이션 신호 측정 파형

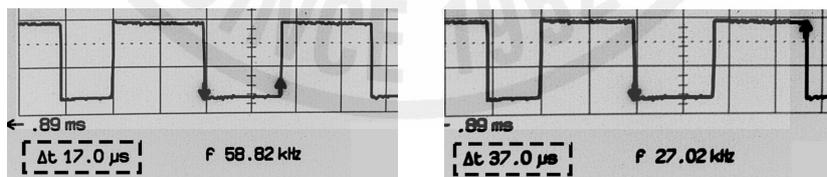
그림 53은 데이터 캘리브레이션 신호를 측정된 파형이다. 그림 53 (a)에서 화살표로 표시된 구간이 데이터 캘리브레이션 신호에 해당된다. 그림 53의 (b), (c), (d)에서 좌측의 파형은 펄스의 로우 지속시간에 대한 측정 결과이고 우측의 파형은 펄스의 주기 측정에 대한 것이다. 각 파형에서 측정된 시간은 좌측 하단에  $\Delta t$ 로 표시하였다. 각각의 캘리브레이션 펄스는 지속시간이  $20\mu s$ 인 하이 펄스에 의하여 구분된다. '0' 캘리브레이션 펄스의 지속시간은  $11\mu s$ , '1' 캘리브레이션 펄스의 지속시간은  $17\mu s$  그리고 'Null' 캘리브레이션 펄스의 지속시간은  $66.4\mu s$ 이다. 측정된 '0', '1' 그리고 'Null' 데이터에 대한 캘리브레이션 펄스의 타이밍은 표 14에서 제시한 규격을 만족한다.



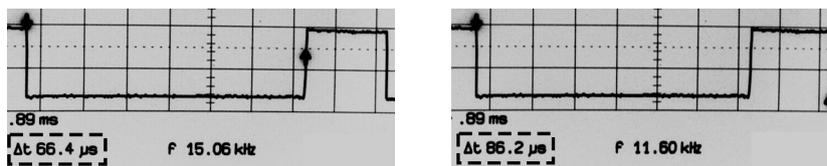
(a) 데이터 캘리브레이션 신호



(b) '0' 캘리브레이션 신호



(c) '1' 캘리브레이션 신호

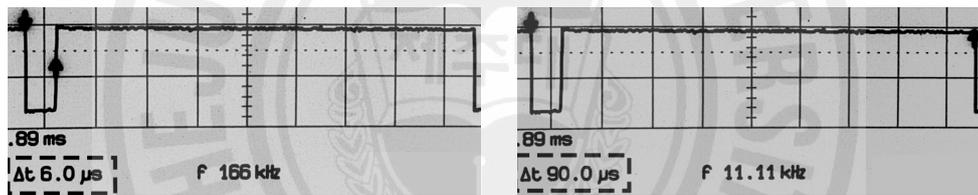


(d) 'Null' 캘리브레이션 신호

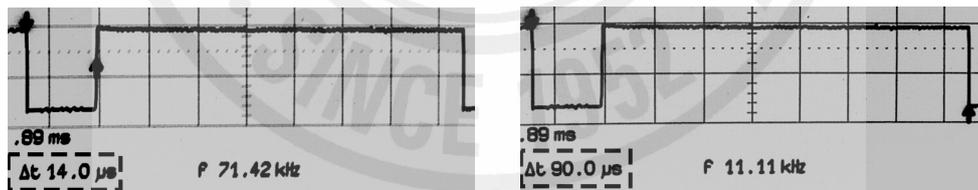
그림 53. 데이터 캘리브레이션 신호 측정 파형

그림 53에서 'Null' 캘리브레이션 펄스의 로우 지속시간과 '0'과 '1' 캘리브레이션 신호의 로우 지속시간은 현저히 차이가 난다. 이는 앞에서 언급하였듯이 태그의 응답 지속시간은 'Null' 캘리브레이션 펄스의 로우 지속시간의 길이와 밀접한 관련을 가진다. 'Null' 캘리브레이션 펄스의 로우 지속시간을 길게 설정하면 태그 응답 신호에 대한 수신 시간이 증가되어 데이터 수신에 있어 신뢰성이 향상된다.

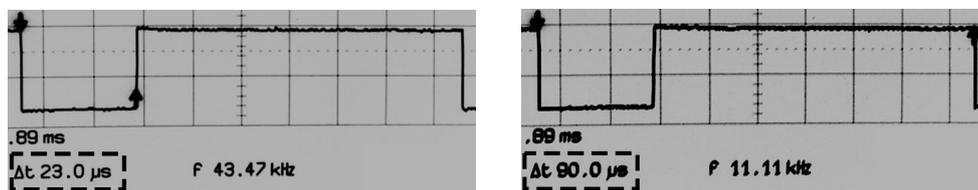
그림 54는 구현된 모바일 RFID 리더로부터 출력되는 '0', '1' 그리고 'Null' 데이터에 대한 펄스 신호를 측정된 것이다. 그림 54의 (a), (b), (c)에서 좌측의 파형은 펄스의 low 지속시간에 대한 측정 결과이고 우측은 주기의 측정에 대한 것이다. 그림 54의 각 파형에서의 측정 시간은 좌측 하단에  $\Delta t$ 로 표시하였다. 각 데이터 펄스의 주기는  $90\mu s$ 이며, '0' 데이터의 로우 펄스 지속시간이  $6\mu s$ , '1' 데이터의 로우 펄스 지속시간이  $14\mu s$  그리고 'Null' 데이터의 로우 펄스 지속시간이  $23\mu s$ 로 표 14에서 제시한 규격을 만족한다.



(a) '0' 데이터 펄스



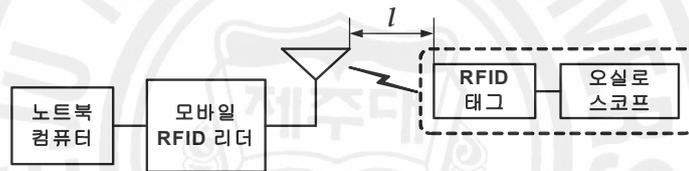
(b) '1' 데이터 펄스



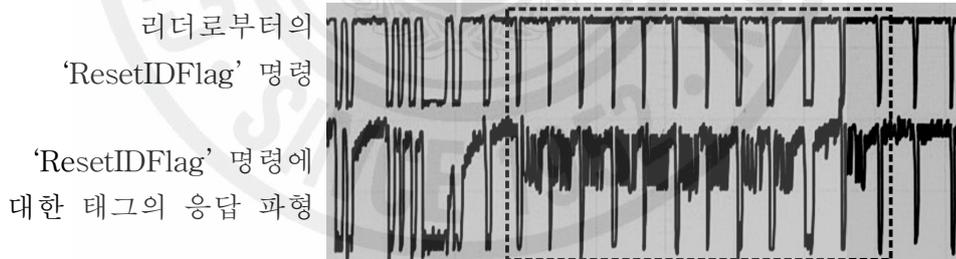
(c) 'Null' 데이터 펄스

그림 54. 데이터 펄스 측정 파형

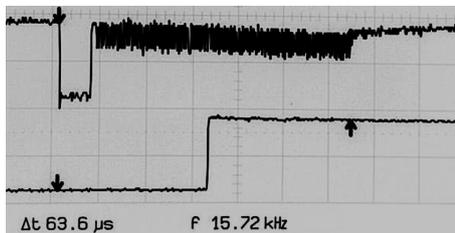
그림 55는 태그로 전송되는 'ResetIDFlag' 명령에 대한 태그의 응답을 측정하기 위한 측정환경과 측정 파형을 나타낸다. 태그의 응답 신호는 태그의 안테나 단자에서 직접 오실로스코프를 이용하여 측정한다. 태그의 응답 신호는 리더로부터 전송되는 '0' 또는 '1' 데이터 펄스의 하이 구간에서 발생된다. 그림 55 (b)에 보인 두 가지 파형 중 위쪽 파형은 리더의 전송 데이터이고 아래쪽 파형은 태그의 안테나 단자에서 측정한 태그의 응답 신호이다. 그림 55로부터 태그는 리더가 전송하는 데이터 신호의 하이 펄스 구간에서 적절하게 응답하고 있음이 확인된다. 이는 앞에서 설명된 마스터 리셋, 오실레이터 캘리브레이션, 데이터 캘리브레이션 과정이 정상적으로 수행되었음을 의미한다. 그림 55의 (b), (c), (d)의 파형은 그림 55 (a)의 측정 환경에서 리더 안테나와 태그의 이격 거리가 30cm인 경우 측정된 파형이다.



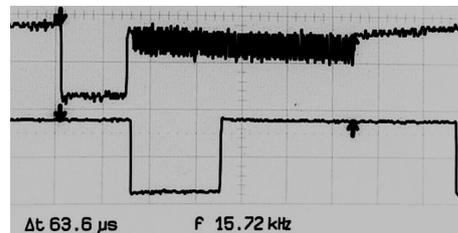
(a) 'ResetIDFlag' 명령에 대한 태그의 응답 파형 측정 환경



(b) 'ResetIDFlag' 명령에 대한 태그의 응답 파형



(c) '0'-응답 신호



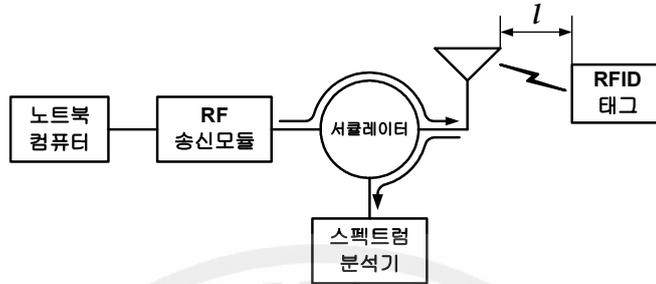
(d) '1'-응답 신호

그림 55. 태그 리셋 신호에 대한 태그의 응답 파형 측정 환경과 응답파형

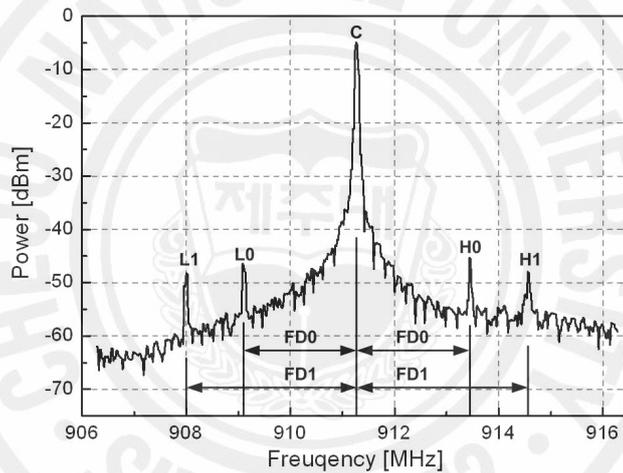
본 논문에서 제안한 모바일 RFID 리더는 표준에서 정하는 전송속도보다 낮은 11kbps의 속도로 태그와 통신을 수행하지만, 태그 응답 신호를 정상적으로 수신하고 있다. 'ResetIDFlag' 명령은 태그의 인식 여부를 지정하는 'ID Flag'를 리셋시켜 이전에 인식되었던 태그를 포함하여 모든 태그가 리더의 인식 과정에 참여할 수 있도록 하는 명령이다. 태그는 'ResetIDFlag' 명령에 대해서 자신이 수신하는 비트('0' 또는 '1')와 동일한 비트('0' 또는 '1')를 리더로 응답하는데 이는 리더와 태그의 통신에의 동기 설정 과정이다. 'ResetIDFlag' 명령이 정상적으로 수행된 이후에 태그는 리더로부터 수신되는 데이터에 따라 자신이 저장하고 있는 ID 정보를 한 비트씩 리더로 전송한다. 그림 55의 (c)와 (d)는 태그의 응답 지속 시간을 측정하기 위하여 그림 55 (b)의 점선 표시부 중의 일부를 확대한 것이다. 그림 55 (c)와 (d)의 파형에서는 태그의 응답 신호가 리더로부터의 데이터 '0' 또는 '1' 펄스의 로우 구간을 포함하여 총 63.6 $\mu$ s 동안 리더로 전송된다. 앞에서 설명하였듯이 태그의 응답 신호가 종료되는 시점은 'Null' 캘리브레이션 펄스의 로우 지속시간이 종료되는 시점까지이다. 본 논문에서는 'Null' 캘리브레이션 펄스의 로우 지속시간을 66.7 $\mu$ s로 설정하였으며, 그에 따라 태그 응답 신호는 태그가 수신하는 데이터 펄스의 하강 에지에서부터 약 63.6 $\mu$ s 동안 지속되는 것이다.

그림 56은 제작된 모바일 RFID 리더의 RF 출력과 태그로부터의 응답에 대한 주파수 스펙트럼의 측정 환경과 측정된 스펙트럼을 나타낸다. 그림 56의 스펙트럼은 제작된 모바일 RFID 리더와 태그 간의 거리( $l$ )가 10cm인 경우의 측정 결과이다. 그림 56 (b)의 주파수 스펙트럼은 국내 RFID용 주파수 대역인 908.5 ~ 914MHz 범위를 만족하며 그에 따라 태그는 정상적으로 응답하고 있다. 수신되는 태그 응답 신호의 강도는 약 -50 ~ -45dBm 정도이다. 그림 56 (b)에서 C로 표시된 부분은 리더로부터 출력되는 반송파의 주파수 스펙트럼을 나타낸다. 그리고 H0와 L0는 각각 태그가 응답하는 이진 데이터 '0'에 대한 상하측 주파수 스펙트럼을 나타내며, H1과 L1은 각각 태그가 응답하는 이진 데이터 '1'에 대한 상하측 주파수 스펙트럼을 나타낸다. 태그의 응답 스펙트럼은 리더의 송신 반송파를 기준으로 좌우측에 형성되고 있으나 제안된 RFID 리더 시스템에서는 하측파대 성분을 이용하여 태그 데이터를 인식한다. 그림 56 (b)에서 FD0와 FD1은 각각 태그의 응답 데이터 '0'과 '1'에 대한 반송파로부터의 이격 주파수를 나타내며,

EPC 클래스-0 표준에서는 FD0를  $2.2\text{MHz} \pm 2.5\%$ , FD1을  $3.3\text{MHz} \pm 2.5\%$ 로 규정하고 있다. 그림에서 태그의 응답 데이터 '0'과 '1'에 대한 주파수 스펙트럼은 RF 반송파를 중심으로 각각 2.2MHz와 3.3MHz 이격되어 있다.



(a) RF 출력 스펙트럼과 태그 응답 스펙트럼 측정 환경

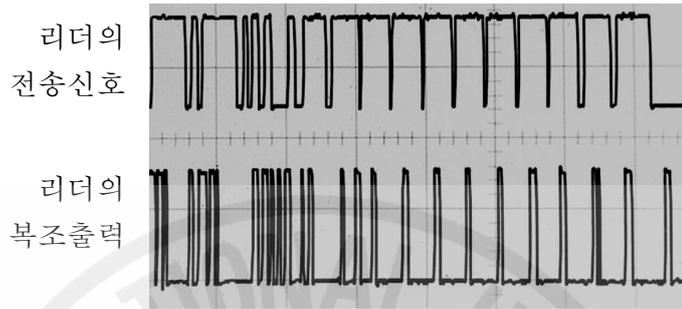


(b) 리더의 RF 출력 스펙트럼과 태그 응답 스펙트럼

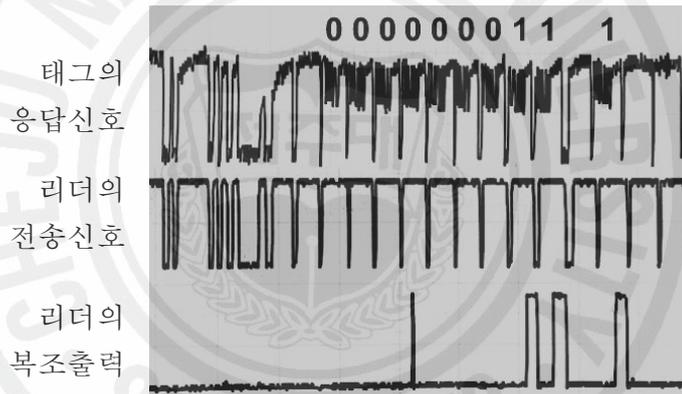
그림 56. 리더의 출력 스펙트럼, 태그의 응답 스펙트럼과 측정환경

그림 57은 태그의 응답신호에 대하여 복조된 디지털 출력 파형을 측정하는 것이다. 그림 57의 (a), (b), (c)에서 위쪽 파형은 MCU의 캘리브레이션 신호와 명령에 대한 신호를 측정하는 것이고, 아래쪽 파형은 그 명령에 대한 수신 신호가 RF 트랜시버에서 복조된 이후 MCU로 전송된 파형이다. 그림 57 (a)는 인식영역 내에 태그가 존재하지 않을 때의 복조 파형을 나타낸다. 그림 57 (b)는 인식영역 내에 태그가 존재할 때 리더로부터 출력되는 '1' 응답 신호에 대한 복조 파형을 측정하는 것이고, (c)는 '0' 응답 데이터에 대한 복조 파형을 측정하는 것이다. 그림

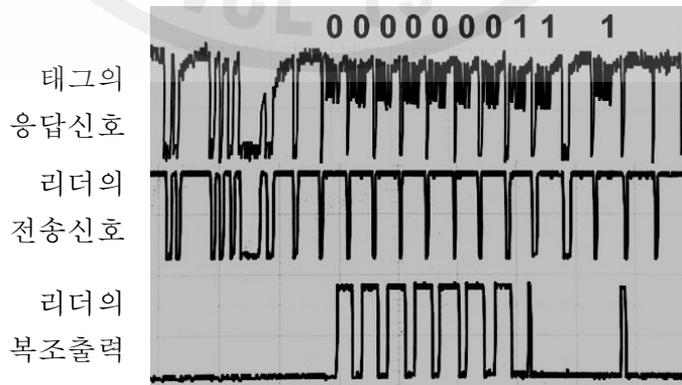
57 (b)와 (c)에서는 태그의 응답 데이터 '0'과 '1'이 적절하게 복조되어 출력되고 있다. 태그로부터 적절한 응답이 수신되는 경우의 주파수 특성은 그림 56에서 설명하였다. 그림 57의 결과를 얻기 위한 측정에는 그림 50 (a)의 측정환경을 이용하였으며 이 때 오실로스코프의 측정 단자는 MCU의 RxD 단자에 접속한다.



(a) 인식영역 내에 태그가 존재하지 않는 경우



(b) 인식 영역 내의 태그로부터의 '1' 응답



(c) 인식 영역 내의 태그로부터의 '0' 응답

그림 57. 태그 응답 신호의 복조 출력

그림 58은 태그와 리더의 이격 거리에 따른 수신 복조파형을 나타낸다. 파형의 측정은 거리에 따른 수신 특성이 명확히 구분될 수 있도록 ‘ResetIDFlag’ 신호에 대한 태그의 응답 신호를 기준으로 수행하였다. 그림의 결과로부터 측정에 사용된 두 가지 태그에 대한 제작된 모바일 RFID 리더의 인식거리를 예측할 수 있다. 제작된 RFID 리더는 최대 50cm 거리에 위치하는 Symbol 태그-I을 인식할 수 있으며, Symbol 태그-II의 경우 최대 인식 거리는 30cm 내외가 되게 된다.

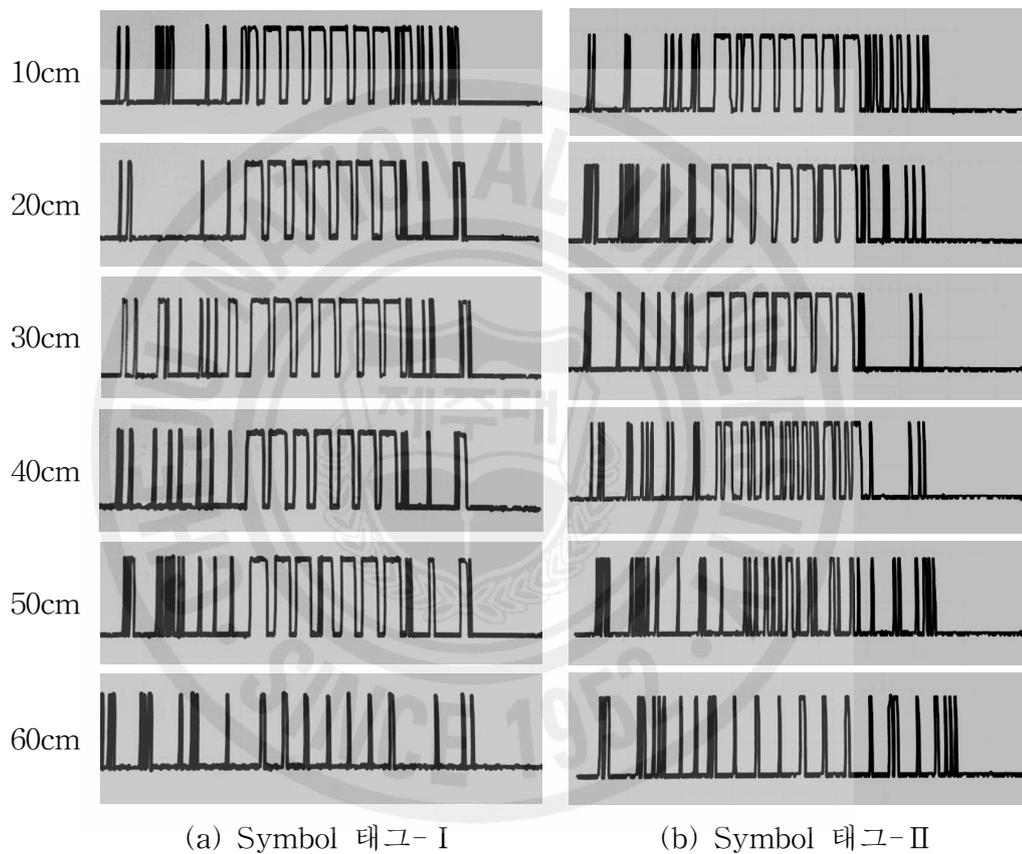


그림 58. 클래스-0 태그와 리더의 이격 거리에 따른 수신 복조 파형

그림 59는 제작된 모바일 RFID 리더가 태그 인식을 위하여 태그로 전송하는 신호에 대한 태그의 응답 신호를 측정한 파형으로서 태그의 인식과정을 설명하기 위한 것이다. 리더는 태그 인식을 위하여 ‘ResetIDFlag’ 명령을 전송한 이후 ‘Null’과 데이터 ‘0’을 태그로 전송하며, 이를 적절히 수신한 태그는 상태를 ‘Tree

traversal' 상태로 전환시켜 자신이 저장하고 있는 ID 정보를 리더로 전송한다. 그림 59에 표기된 수신 데이터 표본화 구간동안 리더는 태그로부터의 응답 신호의 유무를 판단하고 응답 신호 검출을 위한 표본화를 수행한다. 그리고 수신 주파수 변경 구간에서는 데이터 '0' 및 데이터 '1' 수신을 위한 주파수 절환을 수행한다. 제작된 모바일 RFID 리더는 주파수 절환을 통하여 신호를 수신함으로써 태그로부터의 응답 데이터의 유형을 판별하며, 다중 태그 응답시 데이터의 충돌 여부를 판단한다.

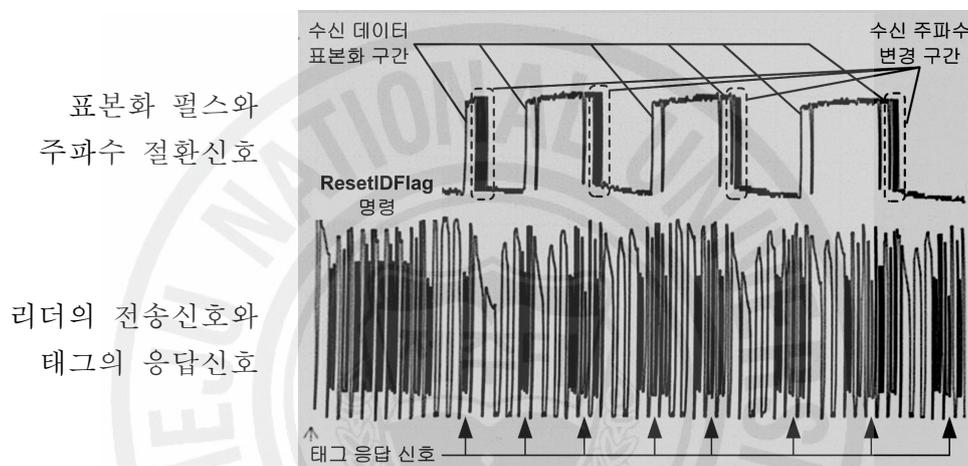


그림 59. 태그 응답 신호, 표본화 신호와 주파수 변경 신호 파형

그림 60, 61, 62는 태그 인식 과정을 자세히 나타내기 위하여 그림 59의 태그 응답 신호 부분을 확대한 것이다. 그림 60은 리더가 'ResetIDFlag' 명령, 'Null' 과 데이터 '0'을 순차적으로 태그로 전송한 후, 태그가 저장된 ID 데이터의 최상위 1 비트를 리더로 전송하는 경우이다. 제안된 모바일 RFID 리더에서는 수신되는 태그의 응답 신호가 '0'인지 '1'인지를 판단하기 위하여 각 수신 비트에 대하여 2회의 수신 과정을 수행하게 된다. 그림 60은 리더가 첫 비트에 대하여 1회 수신 데이터 확인을 수행한 후 주파수를 절환하여 다시 한 번 데이터 확인 과정을 수행하는 것을 나타낸다. 제안한 리더는 최초의 수신 주파수를 '0' 데이터 수신 주파수로 설정하여 태그 데이터를 수신한다.

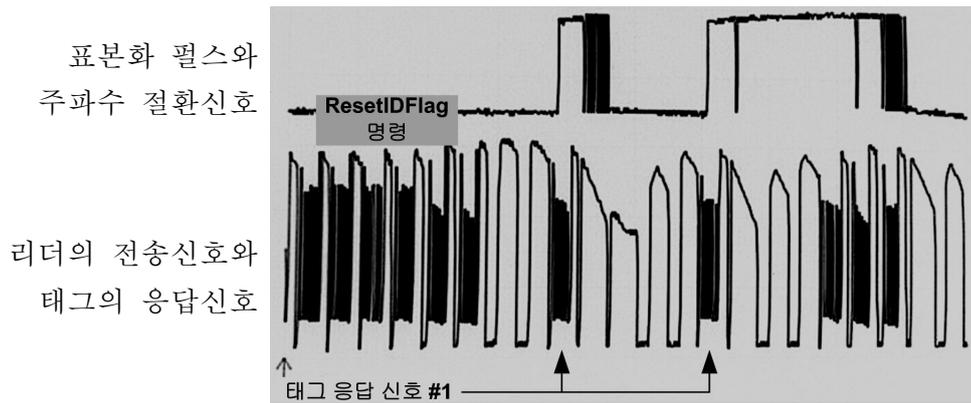


그림 60. 1비트 태그 응답 데이터 인식 과정

그림 61은 태그가 ID 데이터의 최상위 2비트를 리더로 전송하는 경우의 측정 파형이다. 태그의 첫 번째 비트를 적절하게 수신한 후 리더는 첫 번째 수신 비트에 해당하는 신호를 송신하고 그에 따라 태그는 상위 2비트에 대한 데이터를 응답 신호로 전송하고 있는 경우이다. 태그가 리더로 전송하는 상위 2비트는 그림에 태그 응답 신호 #2로 표시하였다. 하지만 그림 61에서는 2비트의 데이터가 아닌 3비트의 데이터가 응답 신호로써 나타나고 있는데, 이는 리더가 태그로 신호를 전송한 후 수신 데이터를 표분화하는 과정에서 태그 인식과는 무관하게 추가적으로 전송되는 비트에 대하여 태그가 응답을 하고 있는 경우이다. 하지만 이러한 부가적인 응답 신호는 리더의 수신 표분화 과정에서 제외되므로 태그 데이터의 수신 과정에 영향을 미치지 않는다. 앞에서 설명하였듯이 RF 트랜시버는 태그의 응답 신호를 약  $36\mu\text{s}$  이후 복조하여 출력한다. 그림 61의 파형에서 리더는 두 번째 비트를 수신한 후  $30\mu\text{s}$  경과 후 약  $80\mu\text{s}$  동안 표분화를 수행한다. 그러므로 부가적으로 수신되는 한 비트는 데이터 판별과정에서 제외된다.

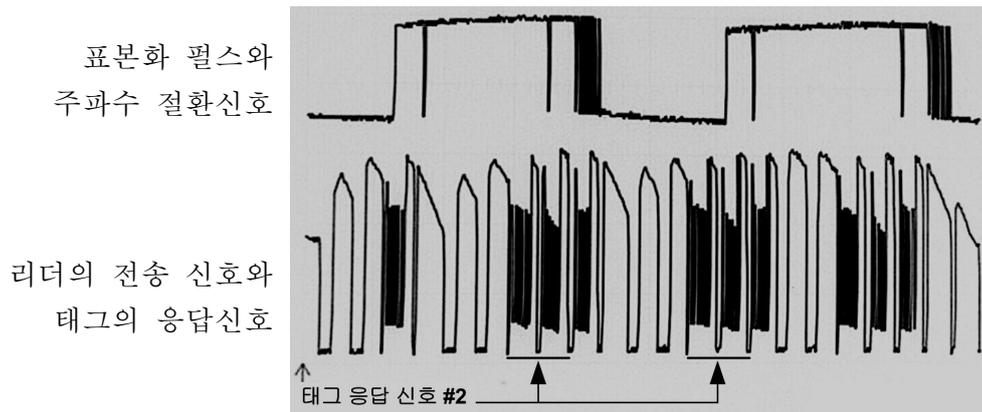


그림 61. 2비트 태그 응답 데이터 인식 과정

그림 62는 태그가 상위 3비트를 응답 데이터로 전송하는 경우이다. 여기서는 표본화가 세 번째 비트가 수신되어 복조되는 구간에서 수행되고 있다. 제안된 모바일 RFID에서는 이러한 과정을 마지막 비트가 수신될 때까지 반복적으로 수행함으로써 전체 태그 ID를 인식하게 된다. 제안된 모바일 RFID 리더는 하나의 태그를 인식하기 위하여 1비트에서 80비트까지의 데이터를 순차적으로 2회 전송하고, 각 데이터 사이의 1비트의 'Null', 수신 표본화 과정에 따르는 추가적인 1비트 그리고 주파수 변환 과정에서 추가적으로 2비트를 전송함으로써 총 7042비트를 태그로 전송한다. 그에 따른 전송 소요시간을 약 633.78ms가 되며, 제안된 모바일 RFID 리더는 초당 약 1.6개의 태그를 인식할 수 있는 성능을 가진다.

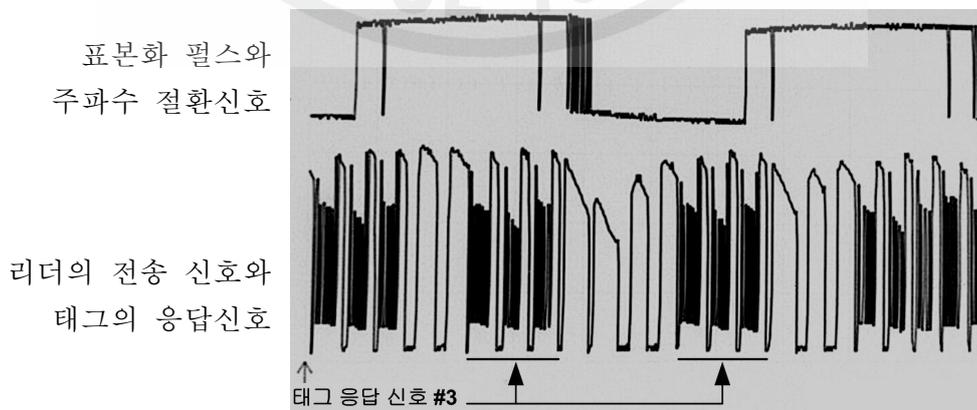


그림 62. 3비트 태그 응답 데이터 인식 과정

그림 63은 태그 인식 과정을 순차적으로 수행하여 전체 태그 ID가 리더로 전송되는 경우의 태그 응답 파형을 나타낸다. 측정에 사용된 클래스-0 태그는 CRC를 포함하며 총 80비트를 리더로 전송한다. 그에 따른 전체 응답 데이터의 전송 시간은 약 7.3ms이다.

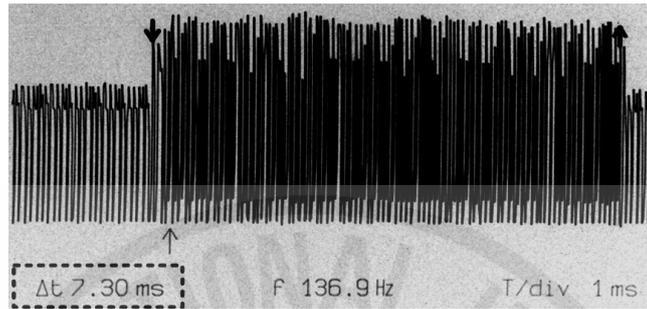


그림 63. 클래스-0 태그의 전체 데이터 송신시의 응답 파형

그림 64는 제작된 모바일 RFID 리더가 인식한 태그 데이터를 나타내는 화면이다. 그림에서 상위 8 바이트는 식별을 위한 ID 정보이고 하위 2 바이트는 ID 정보에 대한 CRC 값이다.

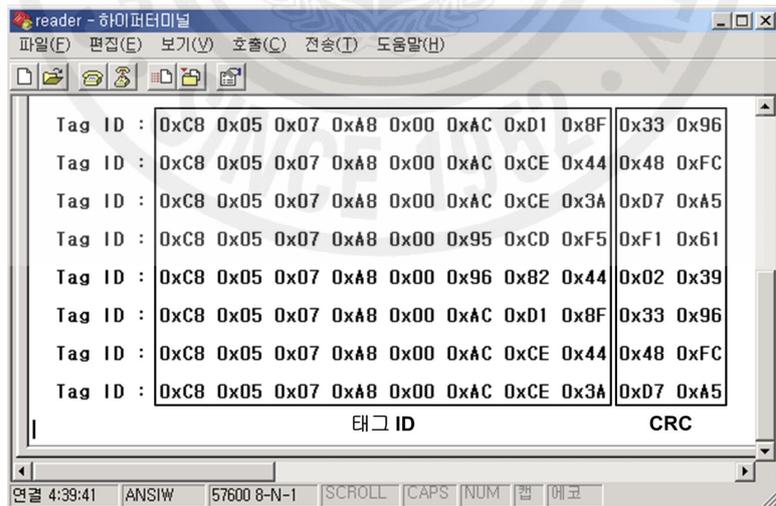


그림 64. 인식된 태그 데이터

그림 65는 제안된 모바일 RFID의 태그 인식 거리와 태그 인식률을 비교하기

위하여 사용된 상용 RFID 리더를 나타낸다. 그림 65의 (a)는 Symbol(이전의 Matrics)사의 AR-400 고정형 RFID 리더이며, (b)는 WJ사의 PCMCIA 방식 휴대용 RFID 리더인 MPR5000이다. AR-400은 RF 최대 출력이 30dBm(1W)이고, MPR5000의 RF 최대출력은 27dBm(500mW)이다. 또한 AR-400은 송수신 안테나를 별도로 사용하며, 측정에서는 5dBi의 이득을 가지는 평판 안테나를 사용하였다. 그리고 MPR5000은 다이폴 안테나가 내장되어 있는 제품이다. 그림 65에서의 각 RFID 리더의 크기는 AR-400의 경우 22cm×30cm이며, MPR5000의 경우 5.4cm×14.2cm이다.



(a) AR-400 고정형 리더 (b) MPR5000 휴대용 리더

그림 65. 측정에 사용된 상용 RFID 리더

표 15에서는 제작된 모바일 RFID 리더와 상용 RFID 리더인 AR-400 그리고 MPR5000과의 최대 인식 거리를 비교하고 있다. 인식 거리 비교를 위한 측정은 그림 44의 Symbol 태그-I와 Symbol 태그-II를 사용하여 수행하였다. 인식거리에 대한 측정 결과 제안한 모바일 RFID 리더는 Symbol 태그-I의 경우 최대 53cm 거리에 위치하는 태그를 인식할 수 있었으며, Symbol 태그-II의 경우는 최대 50cm 이격된 태그의 인식이 가능하였다. 이러한 인식거리는 동일한 전력을 출력하는 상용 RFID와 비교할 때 최소 약 44%에서 최대 70%에 이르는 것이다.

표 15. 클래스-0 태그의 인식 거리 비교

RFID 리더	태그종류	출력 전력 (dBm)	인식 거리 (cm)
제작 리더	Symbol 태그-I	20	53
	Symbol 태그-II	20	50
MPR5000 휴대용 리더	Symbol 태그-I	20	78
		25	113
		27	234
	Symbol 태그-II	20	64
		25	85
		27	106.5
AR-400 고정형 리더	Symbol 태그-I	20	123
		25	235
		27	278
		30	370
	Symbol 태그-II	20	80
		25	184
		27	232
		30	254

그림 66은 MPR5000의 데이터 전송속도와 하나의 태그를 인식하는데 소요되는 시간을 측정된 파형이다. MPR5000의 데이터 전송속도는 40kbps이며, 그에 따른 단일 태그 인식 시간은 약 2ms이다. 이러한 결과로부터 예측되는 초당 태그 인식 성능은 최대 500개 정도이다.

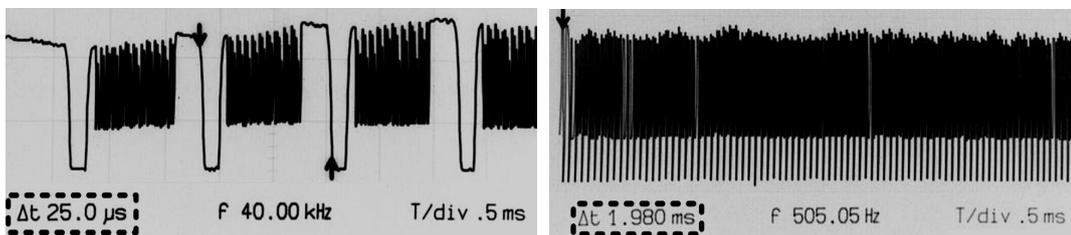


그림 66. MPR5000 RFID 리더의 데이터 전송속도와 단일 태그 인식 시간

그림 67은 AR-400의 데이터 전송속도와 하나의 태그를 인식하는데 소요되는

시간을 측정할 수 있다. AR-400의 경우, 데이터 전송속도는 40kbps이며, 그에 따른 단일 태그 인식 시간은 약 1.64ms이다. 따라서 AR-400은 초당 최대 600개의 태그를 인식할 수 있다.

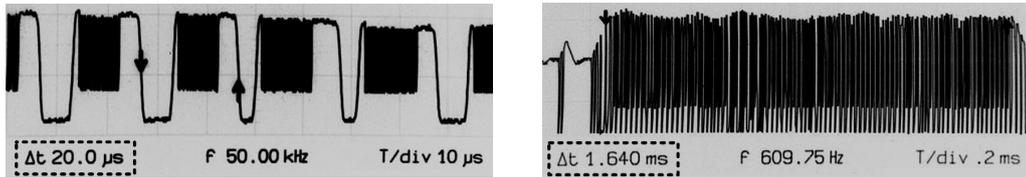


그림 67. AR-400 RFID 리더의 데이터 전송속도와 단일 태그 인식 시간

표 16은 단일 태그 인식시 제안한 모바일 RFID와 측정에 사용된 상용 RFID 리더와의 주요 파라미터를 비교한 것이다. 표 16에서 제안 시스템의 인식 성능이 상용 RFID와 현저한 차이를 보이는데 이는 제안한 설계에 RFID 전용 부품이 아닌 범용 RF 트랜시버를 사용함으로써 발생하는 문제이다. 설계에 사용된 범용 RF 트랜시버는 900MHz 대역에서 사용되는 소출력 무선 통신 장치의 구현을 위한 것이므로 RFID 시스템의 주파수 특성과 데이터 통신 특성을 고려하지 않고 설계와 제작이 이루어진 부품이다. 그러므로 RFID 시스템에 채용하기 위해서는 이러한 부분을 해결하여야 한다. 그 해결 방안으로써 제안된 리더는 태그로부터 수신되는 모든 신호에 대하여 이중의 수신 확인 절차를 수행하도록 하였으며, 데이터 통신 속도 또한 태그의 응답 신호를 적절히 수신할 수 있는 수준으로 낮게 설정하였다. 상용 RFID 리더와의 인식 성능의 차이는 이러한 부분에서 발생하는 것이다.

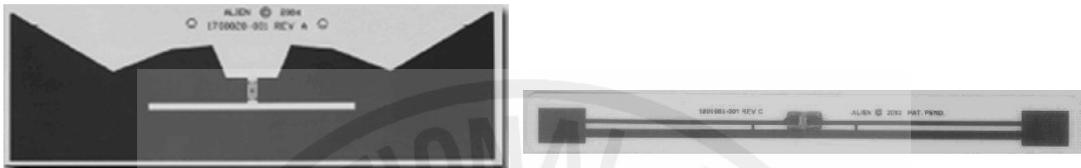
표 16. 단일 태그 인식시의 주요 파라미터 비교

RFID 리더	데이터 전송속도(kbps)	전송 비트수(bits)	단일 태그 인식 시간(ms)
제안 시스템	11	7042	633.78
MPR5000	40	81	1.98
AR-400	50	81	1.64

## 2) EPC 제1세대 클래스-1

본 절에서는 제작된 모바일 RFID에서 EPC 제1세대 클래스-1에 대한 신호의 주파수 특성, 태그 인식을 위한 전송 신호의 타이밍 특성, 태그 응답 신호 파형과 거리에 따른 태그 인식 성능을 측정한다.

그림 68은 측정에 사용된 Alien 사의 제1세대 클래스-1 태그를 나타내고 있다. 일반적인 파형의 측정에는 그림 68 (a)의 M-태그를 사용하였다.



(a) Alien M-태그

(b) Alien I-태그

그림 68. 측정에 사용된 Alien 사의 제1세대 클래스-1 태그

그림 69는 제작된 모바일 RFID 리더로부터 출력되는 파워업 파형과 'TALK', 'ScrollID' 명령에 대한 신호를 측정된 것이다. 'TALK' 명령은 이미 인식이 이루어져 'Asleep' 상태에 놓여있는 태그를 'Awake' 상태로 전환시켜 인식과정에 참여시키기 위한 명령이다. 그리고 'ScrollID'는 초기에 단일 태그를 인식하기 위하여 태그로 전송되는 명령이다. 'ScrollID' 명령이 전송되는 일반적인 경우는, 충돌 방지 알고리즘을 사용하여 태그를 인식하는 과정에서 충돌없이 단일 태그의 응답이 리더로 수신될 때 이 태그에 대한 전체 ID 정보를 태그로부터 수신할 때이다. 그림 69 (a)는 리더가 'TALK' '0' 명령과 'TALK' '1' 명령을 태그로 전송하여 첫 비트위치의 값이 '0'과 '1'인 태그를 'Awake' 상태로 전환시킨 후 'ScrollID' '0' 명령을 전송하여 첫 비트의 값이 '0'인 태그의 전체 ID 정보를 리더로 전송하도록 요구하는 경우의 측정결과이다. 그림 69 (b)는 리더로부터 출력되는 파워업 파형의 지속시간을 나타내며 측정값은 3.27ms이다.



Command	CLKSYNC	SOF	CMD	P1	PTR	P2	LEN	P3	VALUE	P4	P5	EOF
TALK '0'	00000000000000000000	1	00010000	0	00000000	1	00000000	1	0	1	0	1
TALK '1'	00000000000000000000	1	00010000	0	00000000	1	00000000	1	1	0	1	1
ScrollID '0'	00000000000000000000	1	00000001	0	00000000	1	00000000	1	0	1	0	1

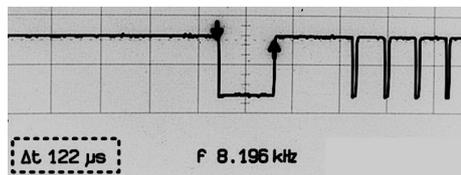
(a) 태그로 전송되는 'TALK' 및 'ScrollID' 명령



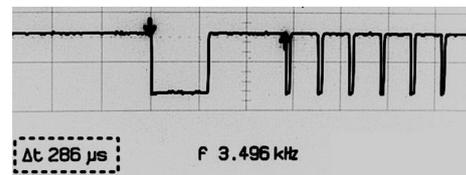
(b) 리더로부터 출력되는 파워업 파형의 지속시간

그림 69. 리더의 명령과 파워업 신호

그림 70은 제안한 모바일 RFID 리더로부터 출력되는 전송 신호 중 트랜잭션 갭을 설명하기 위한 것이다. 트랜잭션 갭의 지속시간은 그림 70 (a)에서  $\Delta t$ 로 표시하였으며, 그 측정값은  $122\mu s$ 로서 표준에서 정하는 최소값인  $1.25 \times T_0$  보다 크게 나타나고 있으므로 표준 상의 내용을 만족한다. 제안한 모바일 RFID 리더에서는  $T_0$ 를  $66.67\mu s$ 로 설정하였다. 그리고 그림 70 (b)는 트랜잭션 갭 이후의 RF 파워온 지속시간에 대한 것으로서 표준에서 정하는 최소값인  $64\mu s$ 보다 큰  $164\mu s$ 로 나타나고 있다. 그림 70 (b)에서는 측정값인  $286\mu s$ 에서 트랜잭션 갭의 지속시간  $122\mu s$ 를 뺀 값이 된다.



(a) 트랜잭션 갭



(b) RF 파워온 지속시간

그림 70. 트랜잭션 갭과 RF 파워온 지속시간

그림 71은 제작된 리더로부터 출력되는 데이터 변조 파형이다. 그림 71 (a)의 '0' 데이터 변조 파형에서 로우 펄스 지속시간은  $8.2\mu\text{s}$ 이고, 신호의 주기는  $66.8\mu\text{s}$ 이다. 그림 71 (b)의 '1' 데이터 변조 파형에서는 로우 펄스의 지속시간이  $24.8\mu\text{s}$ , 신호의 주기는  $67.2\mu\text{s}$ 이다. 그림 71에 나타난 결과는 표준에서 제시하는 규격인  $8.25\mu\text{s}\pm 1\%$ ,  $24.75\mu\text{s}\pm 1\%$ ,  $66.67\mu\text{s}\pm 1\%$ 를 만족한다.



(a) '0' 데이터 변조 파형



(b) '1' 데이터 변조 파형

그림 71. 데이터 변조 파형

그림 72는 리더로부터 전송된 'TALK' '0', 'TALK' '1', 'ScrollID' '0' 명령과 이에 대한 태그의 응답 신호를 측정된 파형이다. 그림에서 위쪽 파형은 태그의 안테나 단자에서 측정된 것이고 아래쪽 파형은 MCU의 출력 단자에서 측정된 것이다. 그림의 파형에서는 리더로부터 전송된 명령에 대하여 태그가 적절하게 응답하고 있음을 알 수 있으며 태그의 첫 번째 비트가 '0'인 경우이다.

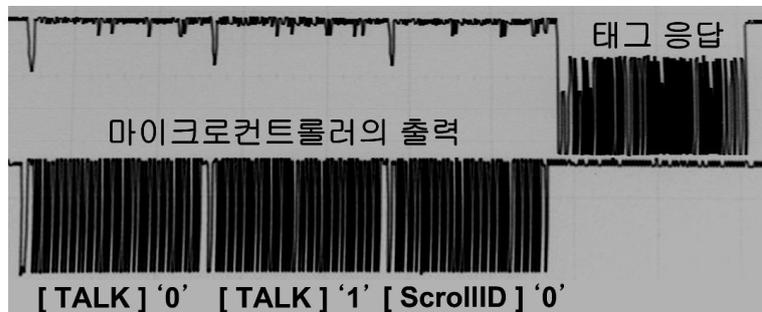


그림 72. 'TALK', 'ScrollID' 명령에 따른 태그의 응답 신호

그림 73은 리더의 명령에 대한 클래스-1 태그의 응답 스펙트럼을 나타낸다. 제작된 모바일 RFID 리더는 클래스-1의 경우 태그에서 리더로 30kbps의 속도로 응답 데이터를 전송한다. 그리고 그 응답 주파수는 데이터 '0'인 경우 반송파와 30kHz, 데이터 '1'인 경우 60kHz 이격된 주파수가 된다. 그림에서 '0'과 '1' 표시는 각각 데이터 '0'의 응답 주파수와 데이터 '1'의 응답 주파수를 의미한다.

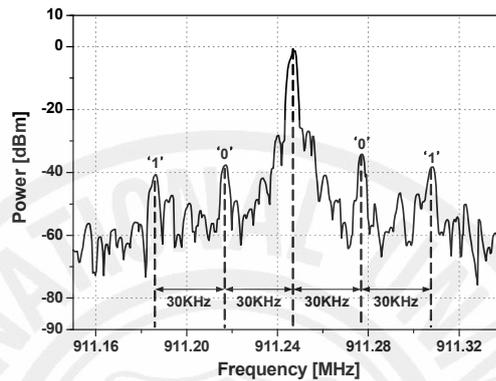


그림 73. 제1세대 클래스-1 태그의 응답 스펙트럼

그림 74는 클래스-1 태그의 응답 신호와 복조된 디지털 신호를 나타낸다. 그림 74 파형의 측정에는 그림 50 (a)의 측정 환경을 사용하였다. 그림으로부터 태그의 응답 신호가 적절하게 복조되어 출력되고 있음이 확인된다. 태그의 응답 신호는 8비트의 프리앰블, 16비트의 CRC, 96비트의 태그 ID로 구성된다. 그림의 복조신호는 태그 응답 데이터의 부호가 반전되어 나타나는 것이다. 리더는 그림 74의 복조된 디지털 신호를 30kHz 표본화 클럭의 하강 에지에서 표본화함으로써 수신한다.

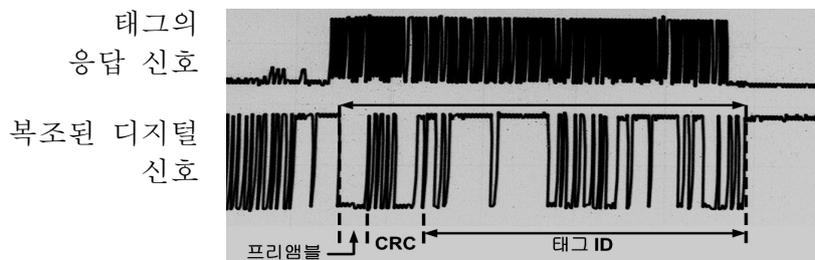


그림 74. 제1세대 클래스-1 태그의 응답 신호와 복조 출력

그림 75는 태그와 리더의 이격 거리에 따른 태그의 응답 파형을 나타낸다. 그림 75의 파형은 단일 태그를 인식하기 위한 명령인 ‘TALK’ ‘0’, ‘TALK’ ‘1’, ‘ScrollID’ ‘0’, 그리고 ‘ScrollID’ ‘1’ 명령 전송에 따른 태그의 응답 특성을 거리에 따라 측정된 것이다. M-태그의 경우 ‘TALK’ ‘0’, ‘TALK’ ‘1’, ‘ScrollID’ ‘0’ 명령의 전송 이후에 리더로 응답 신호를 전송하고 있으며, I-태그의 경우 ‘TALK’ ‘0’, ‘TALK’ ‘1’, ‘ScrollID’ ‘0’, ‘ScrollID’ ‘1’ 명령의 전송 이후에 리더로 응답 신호를 전송하고 있다. 이로부터 M-태그의 첫 비트는 ‘0’이며, I-태그의 첫 비트는 ‘1’임을 알 수 있다. 그림 75로부터 M-태그와 I-태그 모두 50cm까지는 리더의 명령에 따라 적절한 응답을 수행하고 있음이 확인된다.

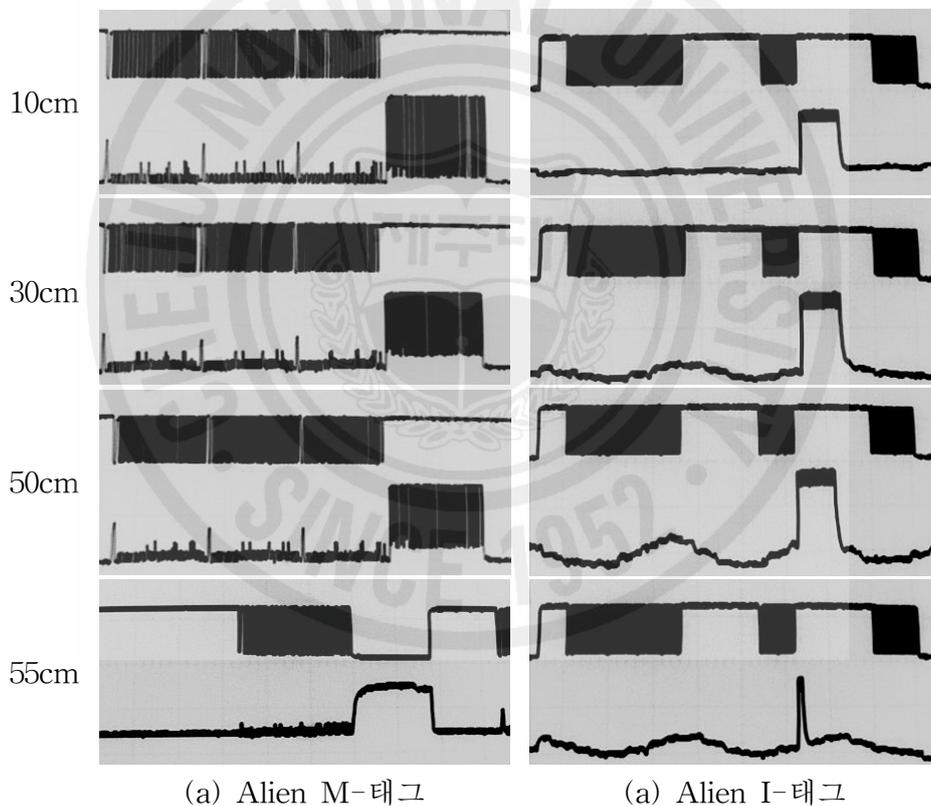


그림 75. 제1세대 클래스-1 태그와 리더의 이격 거리에 따른 태그 응답 파형

표 17에서는 클래스-1 표준에서 제안하는 주요 파라미터와 제안 시스템에 구현된 결과를 비교하고 있다. 제안한 시스템에서는 클래스-1 표준 중 유럽에서의

적용 기준에 따라 타이밍을 정합시켰다. 클래스-1의 경우는 리더로부터의 명령에 따라 태그의 모든 ID 정보가 한 번에 전송되는 방식이므로 트랜잭션 갭 및 RF 파워온 지속시간이 표준에서보다 길게 설정됨에 따른 태그 인식 시간의 증가 정도는 무시할 수 있다. 그 이외의 파라미터는 유럽 기준의 파라미터에 잘 부합하고 있다.

표 17. 제1세대 클래스-1 표준과 제안 시스템의 주요 파라미터 비교

파라미터	북미	유럽	제안 시스템	비 고
$T_0$	$14.25\mu s \pm 1\%$	$66.67\mu s \pm 1\%$	$66.67\mu s \pm 1\%$	
$1/T_0$	70.18kbps	15.00kbps	15.00kbps	
$T_{fwhm0}$	$1.78\mu s$	$8.25\mu s$	$8.25\mu s$	$1/8 \times T_0$
$T_{fwhm1}$	$5.34\mu s$	$24.75\mu s$	$24.75\mu s$	$3/8 \times T_0$
$T_{fwhmBin}$	$5.34\mu s$	$24.75\mu s$	$24.75\mu s$	$3/8 \times T_0$
$T_{fwhmBinRW}$	$114.00\mu s$	$533.33\mu s$	$533.33\mu s$	$8 \times T_0$
$T_{trangap}$	$17.81\mu s$	$83.33\mu s$	$122.00\mu s$	$1.25 \times T_0$ min.
$T_{coast}$	20.00ms max.	20.00ms max.	20.00ms max.	

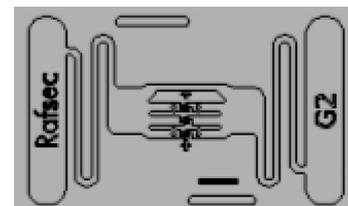
### 3) EPC 제2세대 클래스-1

본 절에서는 제작된 모바일 RFID 리더에서 EPC 제2세대 클래스-1에 대한 신호의 타이밍 특성, 태그 데이터 인식을 위한 전송 신호의 특성과 태그 응답 신호의 특성을 측정한다. 이를 통하여 EPC 표준에 대한 적합성과 제작된 리더의 정상적인 구현 여부를 확인한다.

그림 76은 측정에 사용된 Rafsec사의 제2세대 클래스-1 태그를 나타낸다.



(a)Rafsec 3000843 태그



(b) Rafsec 3000857 태그

그림 76. 측정에 사용된 제2세대 클래스-1 태그

그림 77은 GEN 2에서 태그 데이터의 인식을 위해서 태그로 전송하는 ‘SELECT’, ‘QUERY’, 그리고 ‘QUERYAdjust’ 명령의 파형을 측정한 것이다. ‘SELECT’ 명령은 태그의 ‘inventoried flag’의 설정 상태 및 ‘SL flag’의 설정 상태에 따라 특정 태그를 선택하기 위한 명령이며, ‘QUERY’ 명령은 선택된 태그로부터 인벤토리 과정을 수행하기 위하여 RN16을 요청하는 명령이다. 그리고 ‘QUERYAdjust’ 명령은 다수의 태그가 응답하는 경우 태그의 충돌을 방지하기 위한 과정에서 태그로 전송되는 명령이다.

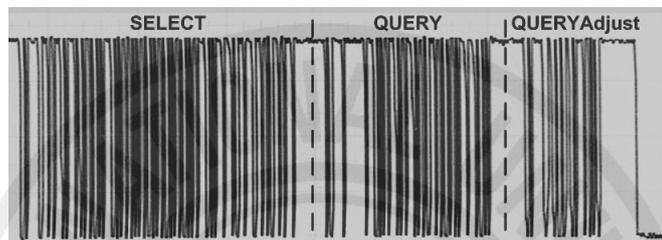


그림 77. ‘SELECT’, ‘QUERY’, ‘QUERYAdjust’ 명령 파형

그림 78은 리더가 태그로 전송하는 신호를 일부를 측정한 파형이다. 그림에서 화살표로 지시되는 구간이  $T_{ari}$ 에 해당하며, 측정값은 표준에서 정하는 최대값인  $25\mu s$ 이다.

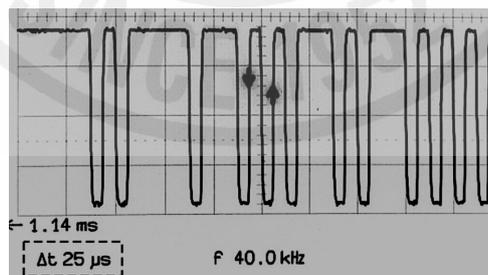


그림 78. 제2세대 클래스-1에서의  $T_{ari}$

그림 79는 그림 77의 파형에서 ‘SELECT’ 명령에 대한 부분을 확대한 것이며, 그림에 명령의 구성 형태를 나타내었다. 명령은 프레임 싱크로 시작한다. ‘Target’은 ‘SELECT’ 명령에서 선택하기 위한 대상 태그의 ‘inventoried flag’의

상태나 'SL flag'의 상태를 지정하며, 대상 태그의 'inventoried flag'나 'SL flag'의 상태는 'Action'에서 지정된 내용에 따라 변경된다. 그림 79의 'SELECT' 명령에서 'Target'은 이진수 '100'이며, 'Action'은 '000'이다. 이 경우 태그는 'Pointer'에서 지정하는 위치에서부터 'Length'에서 지시하는 길이의 데이터를 'Mask'에서 지정된 값과 비교하여 일치하면 'SL flag'를 어서트(assert)시키고 일치하지 않으면 'SL flag'의 상태를 디어서트(deassert)시키게 된다. 하지만 'Action'이 '000'이고 'Length'가 '0'이면 특정 세션의 모든 태그의 'inventoried flag'의 상태를 A로 리셋시키는 명령에 해당한다. 그림 79의 파형은 이 경우에 해당하므로 인식 영역 내의 모든 태그는 'inventoried flag'의 상태를 A로 변경시키게 된다. 그리고 Membank는 이진수 '01'이므로 EPC 영역을 지정하는 것이고, 'truncate' 값은 '0'이므로 디스에이블 되어 있다. 마지막으로 CRC 값은 'CMD'에서부터 'truncate'까지의 데이터에 대하여 계산된 것이며, CRC의 계산에는 다항식  $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$ 을 이용한다.

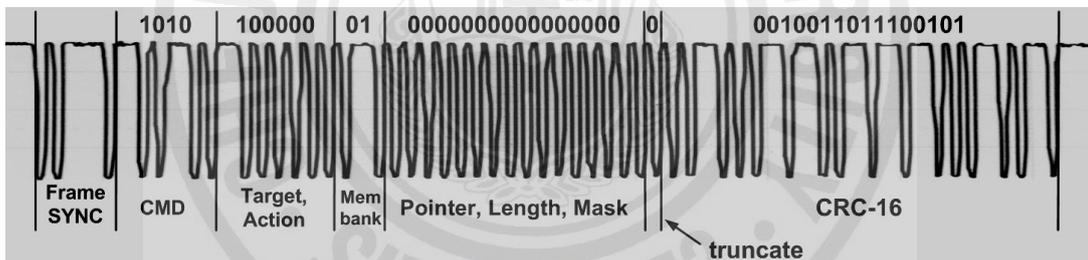


그림 79. 'SELECT' 명령과 명령 구성 형태

그림 80은 그림 77의 파형에서 'QUERY' 명령에 대한 부분을 확대한 것이며, 그림에 명령의 구성 형태를 나타내었다. 명령은 프리앰블로 시작한다. 'QUERY' 명령에서 'DR'과 'M'은 태그 응답 데이터의 전송속도를 결정하며, 'RText'는 태그 응답시 pilot tone의 사용 여부를 결정한다. 'Sel'은 'QUERY' 명령에 응답을 수행할 태그를 지정하며, 'Session'은 인벤토리 라운드를 위한 세션을 결정한다. 그리고 'Target'은 'inventoried flag'의 상태를 지정한다. 그림 80의 'QUERY' 명령에서 'DR'은 이진수 '0'이며, 'M'은 '00'이다. 이는 태그의 응답 데이터의 전송속도 결정시 'TRcal'의 값을 8로 나누고 심벌당 하나의 부반송파를 사용하도록 하

는 것이다. 그리고 'TRext'는 이진수 '1'이므로 태그는 응답시 pilot tone을 사용하게 된다. 'Sel'은 이진수 '00'으로 모든 태그를 지정하고 있으며 'Session'과 'Target'은 각각 '00'과 '0'으로 세션 S0와 'inventoried flag'의 상태가 A인 태그를 지시하고 있다. 마지막으로 CRC 값은 'CMD'에서부터 'Q'까지의 데이터에 대하여 계산된 것이며, CRC의 계산에는 다항식  $x^5 + x^3 + 1$ 을 이용한다.

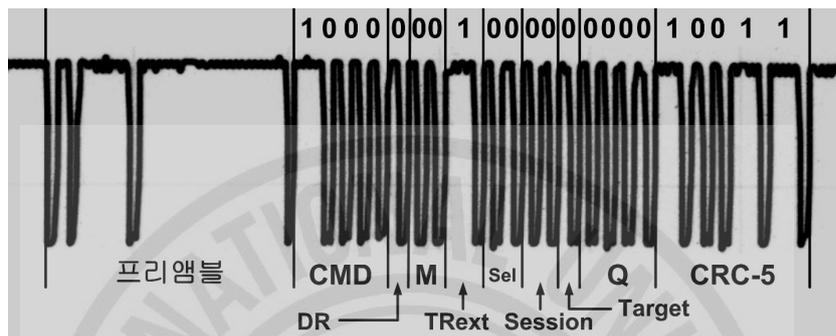
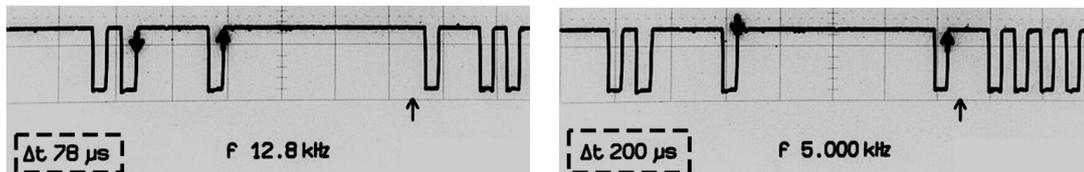


그림 80. 'QUERY' 명령과 명령 구성 형태

그림 81은 'RTcal' 펄스의 폭과 'TRcal'의 펄스의 폭을 측정한 것이다. 'RTcal'은 R⇒T 통신에서 태그가 리더의 데이터 '0'과 '1'을 판단함에 있어서의 기준시간으로 하나의 데이터 '0'과 하나의 데이터 '1'을 합한 시간이다. 그리고 'TRcal'은 T⇒R 통신에서의 접속 주파수를 결정하는 기준시간으로 최대값은  $3RTcal$ 이다. T⇒R 통신에서의 접속 주파수는 'TRcal' 펄스의 폭을 'QUERY' 명령에 포함되는 분주비로 나눈 값이 된다. 그리고 T⇒R 통신에서의 데이터 전송속도는 해당 접속 주파수를 기준으로 'QUERY' 명령에 포함되는 'M' 값을 이용하여 심벌당 사용하는 Miller 부반송파의 사이클 수를 지정함으로써 리더에서 결정한다.



(a) RTcal

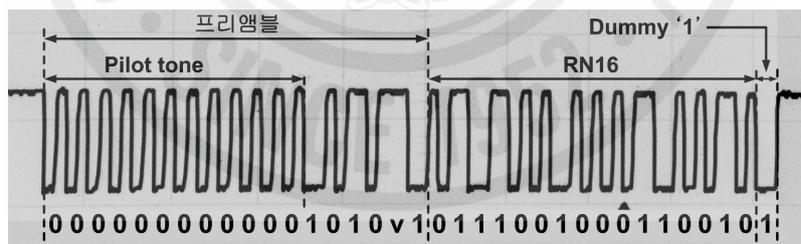
(b) TRcal

그림 81. RTcal과 TRcal

그림 82는 그림 79와 80에 나타낸 ‘SELECT’, ‘QUERY’ 명령 전송에 따라 태그가 응답하는 RAN16을 측정된 파형이다. 그림 82 (a)는 ‘SELECT’ 명령을 전송하여 인식 영역 내의 모든 태그의 ‘inventoried flag’의 상태를 A로 리셋시키고, ‘QUERY’ 명령을 전송하여 ‘inventoried flag’의 상태가 A인 모든 태그의 RAN16 응답을 요청하는 경우이다. 명령을 정상적으로 수신한 태그는 RAN16을 리더로 전송한다. 그림 82 (a)의 파형에서 RAN16은 ‘QUERY’ 명령에서 ‘M’을 ‘00’으로 설정하여 심벌당 하나의 부반송파를 사용하게 되므로 FM0 신호이다. 그림 82 (b)는 그림 (a)에서 RAN16 부분을 확대한 것이다. 리더가 ‘QUERY’ 명령을 전송할 때 ‘TRext’ 값을 ‘1’로 설정하였으므로 태그는 응답 신호의 전송시 pilot tone 을 사용하고 있다.



(a) 리더의 전송신호 및 태그의 응답 신호



(b) RAN16 응답 파형

그림 82. 태그의 RAN16 응답 파형

그림 83은 태그 응답 신호의 데이터 전송속도 측정을 위하여 태그의 RAN16 응답 파형을 측정된 것이다. 태그 응답 신호의 전송속도는 리더의 ‘QUERY’ 명령 전송시의 프리앰블에서 지정되는 ‘TRcal’ 펄스의 폭, ‘QUERY’ 명령에 포함되는 분주비(DR)와 ‘M’ 값에 따라 태그에서 결정된다. 여기서는 ‘TRcal’ 펄스의 폭이

200 $\mu$ s, 분주비는 8 그리고 'M'은 '00'으로 심벌당 하나의 부반송파가 사용되므로 태그 응답 신호의 전송속도는 40kbps가 된다.

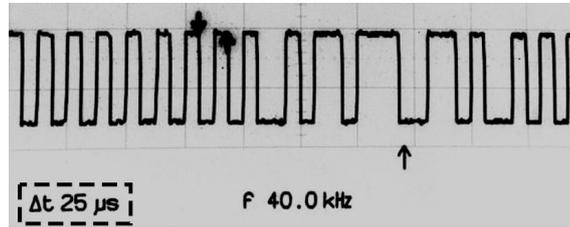


그림 83. 태그 응답 신호의 데이터 전송속도

## 2. 충돌방지 알고리즘 구현 결과

그림 84는 구현한 충돌 방지 알고리즘의 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 시뮬레이션은 본 논문의 설계 과정에서 제시된 데이터 전송속도 및 각 타이밍 규정을 적용하여 수행하였다. 그림 81에서 클래스-0의 경우 태그 수가 증가함에 따라 거의 선형적으로 인식시간이 증가한다. 그러나 클래스-1의 경우는 최초 하나의 태그를 인식하기 위한 소요시간이 가장 길지만 태그 개수의 증가에 따른 변화는 민감하지 않게 나타난다.

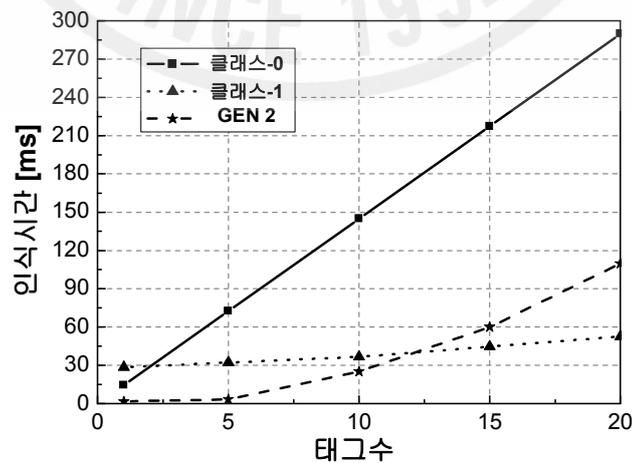


그림 84. 충돌 방지 알고리즘 구현 결과 비교

그림 84의 결과는 송수신 데이터의 길이, 데이터 송수신에 필요한 캘리브레이션 신호와 관련 신호의 타이밍 규정만을 적용하여 계산된 것으로 실제 하드웨어 상에서 구동되는 경우에는 처리에 따르는 소요 시간이 포함되어야 하며 그림 81의 결과보다 다소 낮아진다.

표 18에 시뮬레이션 결과를 요약하여 놓았다.

표 18. EPC 충돌 방지 알고리즘 시뮬레이션 결과

태그수	총 태그 인식 시간 (ms)		
	시뮬레이션		
	클래스-0	클래스-1	GEN 2
1	10.9	30.7	1.5
5	39.9	34.3	3.3
10	76.4	38.7	25.1
15	112.8	46.9	60.0
20	149.3	54.7	109.8

### 3. 안테나 특성

그림 85는 본 논문에서 제안한 모바일 RFID 리더의 특성 측정에 사용된 안테나를 나타낸다. 그림의 안테나는 도체스트립으로 구성된 평판 구조의 안테나이며, 안테나의 전체 크기는 75mm × 100mm이다.

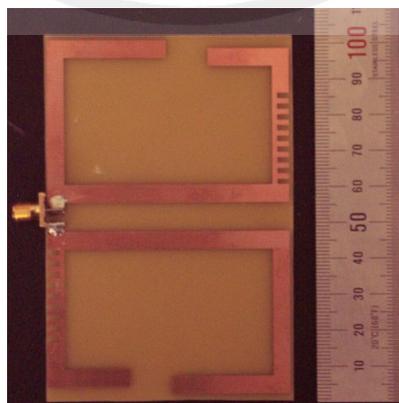


그림 85. 측정에 사용된 안테나

그림 86은 측정된 안테나의 반사손실( $S_{11}$ )을 나타낸 결과이다. 측정된 반사손실은 910 MHz에서  $-11.92$  dB이고 대역폭은 890~965 MHz로서 국제 RFID용 주파수대역인 860~960MHz에서 사용 가능한 특성을 가진다.

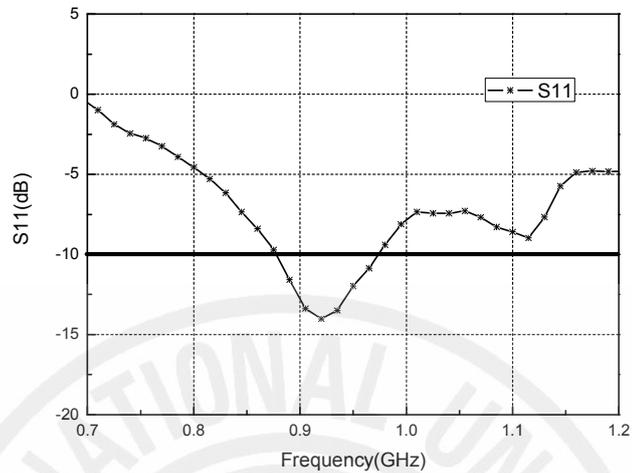


그림 86. 안테나의 반사손실

그림 87은 사용된 안테나의 방사패턴을 나타낸다. 그림 87의 방사패턴은 주파수가 910 MHz에서 측정된 것이다. 사용된 안테나에서는 안테나의 전후방으로 주된 에너지의 복사가 일어나며, 그림 87에서 화살표로 지시된 방향으로 최대 에너지의 복사가 일어난다. 안테나의 이득은 주파수 910MHz인 경우 약 3dBi이다.

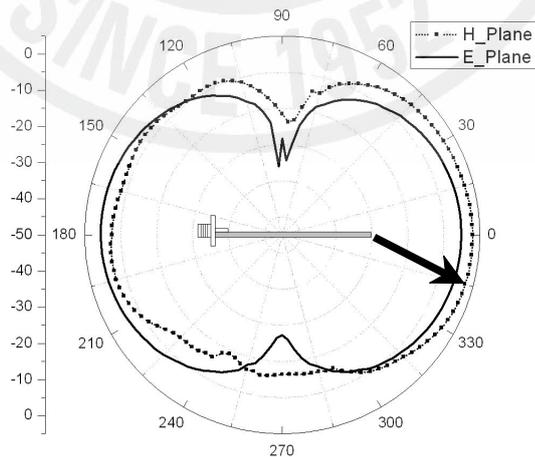


그림 87. 안테나의 방사패턴(910 MHz)

## VI. 결과 및 고찰

본 논문에서는 900MHz UHF대역에서 사용가능한 모바일 RFID 리더를 설계하고 구현하였으며 측정을 통하여 그 특성을 확인하였다. 특성의 측정은 EPC RFID 표준인 EPC 클래스-0, EPC 제1세대 클래스-1 그리고 EPC 제2세대 클래스-1 에서 제안하는 규격을 기준으로 수행하였다. 본 장에서는 측정을 통하여 얻은 결과를 분석함으로써 설계 단계에서 제시된 문제점의 적절한 해결 여부, 그리고 상용 제품과의 성능 비교 결과로부터 성능 차이에 대한 원인을 분석하고 개선 방안을 고찰한다.

제안된 시스템은 20dBm의 RF 전력을 출력하며, 범용 RF 트랜시버인 CC1020을 사용함으로써 전체 시스템의 크기를 감소시켜 휴대를 용이하게 하고 표준 직렬 접속 방식을 사용하는 모든 장치에 용이하게 접속하여 사용할 수 있게 한 것이다. 범용 RF 트랜시버의 사용은 장치의 소형화뿐만 아니라 소출력 무선 통신망의 효과적인 구축을 가능하게 하므로 RFID 응용 서비스를 위한 하드웨어의 추가에 대한 요구를 감소시킬 수 있다. 하지만 범용 RF 트랜시버인 CC1020의 사용을 위해서는 태그와의 데이터 통신에서 사용가능한 변조 방식에서의 제약, 부호화 방식, 그리고 데이터 전송속도와 관련된 문제점을 적절히 해결하여야 한다. 우선 변조 방식에 있어서 본 논문에서 사용한 RF 트랜시버는 FSK와 ASK 두 가지 변조 방식을 지원한다. CC1020은 FSK 분리 주파수가 최대 216kHz이다. 이는 클래스-0 태그의 응답 데이터 '0'과 '1'의 이격 주파수가 1.1MHz임을 고려하면, FSK 방식을 사용하여 클래스-0 태그의 응답 데이터를 수신하는 것은 불가능하다. 그리고 클래스-0 태그는 서로 다른 주파수 성분을 이용하여 응답 데이터를 리더로 전송하므로, 단일 주파수를 사용하는 ASK 방식은 데이터 인식시 데이터의 충돌 여부를 확인할 수 없기 때문에 데이터 인식에 문제를 일으킨다.

본 논문에서는 RF 트랜시버가 지원하는 변조 방식 중 ASK 방식을 사용하도록 하였으며, 태그의 응답 데이터는 주파수를 가변시키면서 수신하도록 하여 변조 방식에서의 문제점이 적절히 해결됨을 확인하였다. 그리고 데이터 부호화 방식에 서는 MCU에서 소프트웨어적으로 생성된 PWM 신호를 RF 트랜시버에서

는 transparent 모드로 전송하여 리더와 태그 간의 데이터 전송에서 필요한 적절한 폭의 펄스의 생성과 전송이 가능하도록 하여 그 문제점을 해결하였다. 그리고 전송속도는 RF 트랜시버의 성능을 고려하여 클래스-0 표준에서 정하는 최소 속도보다 낮은 11kbps로 설정하였으며, 이러한 속도 하에서 태그의 ID 정보가 정상적으로 인식되는 것을 확인하였다.

제안한 모바일 RFID 리더는 태그를 인식하는 과정에서 수신되는 개별 비트에 대하여 주파수 절환을 수행하여 각각 2회의 데이터 확인 과정을 거치도록 설계되었다. 그럼으로써 수신되는 데이터를 정확히 판단함은 물론 수신 데이터의 충돌 여부도 확인한다. 하지만 그 과정에서 태그 인식을 위하여 송수신되는 데이터량이 증가하여 태그 인식 성능을 떨어뜨리게 된다. 이러한 인식 성능의 저하는 수신되는 각각의 비트에 대한 확인과정을 거치지 않고 부정확한 수신이 이루어지는 시점에만 중복 확인을 수행하도록 함으로써 해결하였다.

그리고 제안한 모바일 RFID 리더와 상용 RFID 리더와의 태그 인식 거리에 대한 비교 측정 결과 Symbol Tag-I는 최대 53cm, 그리고 Symbol Tag-II는 최대 50cm 떨어진 거리에서 태그를 인식할 수 있었다. 이러한 결과는 동일한 크기의 전력을 출력하는 상용 RFID 리더와 비교할 때 최소 45%에서 최대 약 70%에 해당하는 인식거리이다.

클래스-1은 표준에서 제안하는 유럽 규격에 적용되는 타이밍을 기준으로 설계하였으며, 해당 표준에서 제안하는 규격에 적합한 설계의 진행 여부를 제작과 측정을 통하여 확인하였다. 그 결과 태그 인식을 위한 명령의 전송에 따라 태그로부터의 응답이 적절하게 이루어지고 있음을 확인하였다.

GEN 2의 경우는 20dBm의 RF 출력 전력, 40kbps의 R $\Rightarrow$ T, T $\Rightarrow$ R 데이터 전송 속도, 그리고 FM0 부호화 방식을 사용하도록 설계하였고, 리더의 출력신호 특성과 태그로부터의 적절한 응답 여부를 측정함으로써 표준에서 제안하는 규격에 부합함을 확인하였다.

표 19에 제작된 모바일 RFID 리더의 제원을 요약하여 놓았다.

표 19. 제작된 모바일 RFID 리더의 제원

파라미터		값
전원 전압(V)		3.3
동작 주파수(MHz)		908.5 ~ 914
출력 전력(dBm)		20
호스트 접속 방식		표준 직렬 접속
호스트 접속 속도(kbps)		2.4 ~ 153.6
사용 안테나 이득(dBi)		3
인식거리(cm)		50 max.
전체크기(가로×세로)		71mm × 55mm
부호화	리더→태그	PWM, PIE
	태그→리더	- 2-tone ASK - 비트 셀 부호화 - FM0
변조방법		AM, ASK
전송속도(kbps)		- 클래스-0 : 11 - 클래스-1 R⇒T : 15 T⇒R : 30 - GEN 2 : 40
충돌방지알고리즘		Bit-by-bit 이진 트리
태그 Bit 수		64, 96
오류검출방법		16bit CRC

## VII. 결론

본 논문에서는 유비쿼터스 컴퓨팅 기술의 핵심 기반 기술로 인식되고 있는 RFID 관련 기술 중에서 EPCglobal에서 제안하는 방식인 EPC 클래스-0, EPC 제1세대 클래스-1 그리고 EPC 제2세대 클래스-1 표준을 따르는 모바일 RFID 리더 시스템을 설계하고 제작하였다. 제작된 모바일 RFID 리더 시스템의 제반 특성은 EPC 클래스-0, EPC 제1세대 클래스-1, EPC 제2세대 클래스-1 표준의 내용을 기준으로 측정하고, 상용 RFID 리더인 Symbol 사의 AR-400 고정형 리더와 WJ사의 MPR5000 PCMCIA 타입 휴대용 RFID와 성능을 비교하였다. 이러한 과정을 통하여 설계된 시스템이 EPC RFID 표준에 부합하는 특성을 가지고 있는지의 여부를 판단하고, 상용 RFID 리더와의 성능 상의 차이점을 확인함은 물론 차이점에 대한 원인 분석 및 개선 방안에 대하여 고찰하였다.

제안된 모바일 RFID 리더는 휴대를 간편하게 하기 위하여 표준에서 제안하는 최대 전력보다 낮은 값인 20dBm의 출력 전력을 갖도록 설계함으로써 소요 부품의 크기와 고출력 신호의 생성을 위한 회로의 필요성을 낮추어 소요 부품의 수량이 감소될 수 있도록 하였다. 그리고 단일칩으로 이루어진 범용 RF 트랜시버인 Chipcon 사의 CC1020을 사용하여 부품이 차지하게 되는 면적을 최소화하여 장치의 크기를 소형화시킴으로써 휴대를 용이하게 하였다. 또한 설계에 사용된 RF 트랜시버는 소출력 무선 네트워크의 구축에도 활용될 수 있으므로, 효율적인 응용 서비스망의 구축을 가능하게 하는 수단을 제공하게 된다.

출력 전력의 제한은 RFID 시스템에서 태그 인식 거리를 감소시키게 되지만 제안된 RFID 리더는 근거리에 위치하는 소수의 태그 인식이 주가 되는 환경을 고려하므로, 이러한 점이 응용 서비스 제공 상에 장점이 될 수 있다. 그리고 RFID 전용이 아닌 상용 RF 트랜시버인 CC1020의 사용은 변조방식, 데이터 부호화 방식 및 데이터 전송속도에서 RFID 시스템에서 요구하는 조건을 정확히 충족시키지 못한다. 그래서 ASK 변조 방식과 각각의 태그 응답 데이터 수신시 주파수를 절환하도록 펌웨어를 구성하여 변조 방식과 관련된 문제점을 해결하였

고, 데이터 부호화에 있어서는 MCU에서 PWM 신호를 생성하고 RF 트랜시버에서는 특정 부호화 방식을 사용하지 않고 그대로 변조된 후 태그로 전송될 수 있도록 펌웨어를 설계함으로써 그 문제점을 해결하였다. 그리고 EPC 제1세대 클래스-1과 EPC 제2세대 클래스-1은 데이터 전송속도를 표준에서 정하는 속도에 정합시켰다. 그러나 EPC 클래스-0의 경우는 사용된 RF 트랜시버의 송수신 타이밍 특성을 고려하여 표준에서 제안하는 속도보다 낮은 11kbps로 설정하였고, 그 동작 특성을 측정함으로써 설정 속도에서의 문제가 해소됨을 확인하였다. 또한 태그와 리더의 이격 거리에 따른 수신 신호 복조 특성 측정으로부터 최대 약 50cm 떨어진 태그를 인식할 수 있는 성능을 가지고 있음을 확인하였다.

측정 및 분석 결과, RF 트랜시버를 사용함에 따라 발생하는 변조방식, 전송속도, 그리고 데이터 부호화의 문제점들은 제시한 방법을 통하여 해결됨을 확인하였다. 제작된 모바일 RFID 리더의 크기는 가로 71mm, 세로 55mm로서 휴대에 용이한 크기이며, 이는 상용 제품 대비 최대 90%, 최소 14% 감소된 것이다. 따라서 본 논문의 설계 제안은 적절하다고 판단할 수 있으며, 제안한 시스템은 인식 거리가 비교적 길지 않은 모바일 RFID 분야에서 활용될 수 있다.

## 참고문헌

- [1] 남상엽, 변상기, 정교일, *RFID 구조 및 응용*, 상학당, 2006.
- [2] 이성휘, *RFID/USN 산업 동향*, 기술정책정보단 정보조사분석팀, 2005.
- [3] 최길영, 성낙선, 모희숙, 박찬원, 권성호, “RFID 기술 및 표준화 동향”, *전자통신동향분석*, 제22권, 3호, 한국전자통신연구원, 2007.
- [4] Klaus Finkeneller, *RFID Handbook*, John Wiley&Sons Ltd., 2003.
- [5] Jerry Banks, David Hanny, Manuel A. Pachano, and Les G. Thompson, *RFID Applied*, John Wiley&Sons Inc., 2007.
- [6] 황재각, 정배수, 김영일, 이용준, “RFID 미들웨어 기술동향 및 응용”, *정보통신동향분석*, 제20권, 3호, 한국전자통신연구원, 2005.
- [7] 양정현, “전자상거래 시대 RFID의 확대 방안에 관한 연구”, *전자상거래학회지*, 제8권, 2호, 한국전자상거래학회, pp. 103-122, 2007.
- [8] 김형준, “모바일 + RFID”, *한국통신학회지 (정보와통신)*, 제24권, 제6호, 한국통신학회, pp. 103-108, 2007.
- [9] 김정곤, 이제경, “UHF 대역 RFID 시스템의 충돌방지 기술 동향”, *한국통신학회지*, 제23권, 제12호, pp. 93-106, 2006.
- [10] ISO/ICE 18000-6 : 20039(E), “Information technology automatic identification and data capture techniques – Radio frequency identification for item management air interface – Part 6: Parameters for air interface communications at 860-960 MHz,” 2003.
- [11] Technical Report, “Draft protocol specification for a 900 MHz Class 0 radio frequency identification tag,” *Auto-ID Center Massachusetts Institute of Technology*, 2003.
- [12] Technical Report, “860MHz - 930MHz Class I Radio Frequency Identification Tag Radio Frequency & Logical Communication Interface Specification Candidate Recommendation, Version 1.0.1,” *Auto-ID Center*

*Massachusetts Institute of Technology, 2003.*

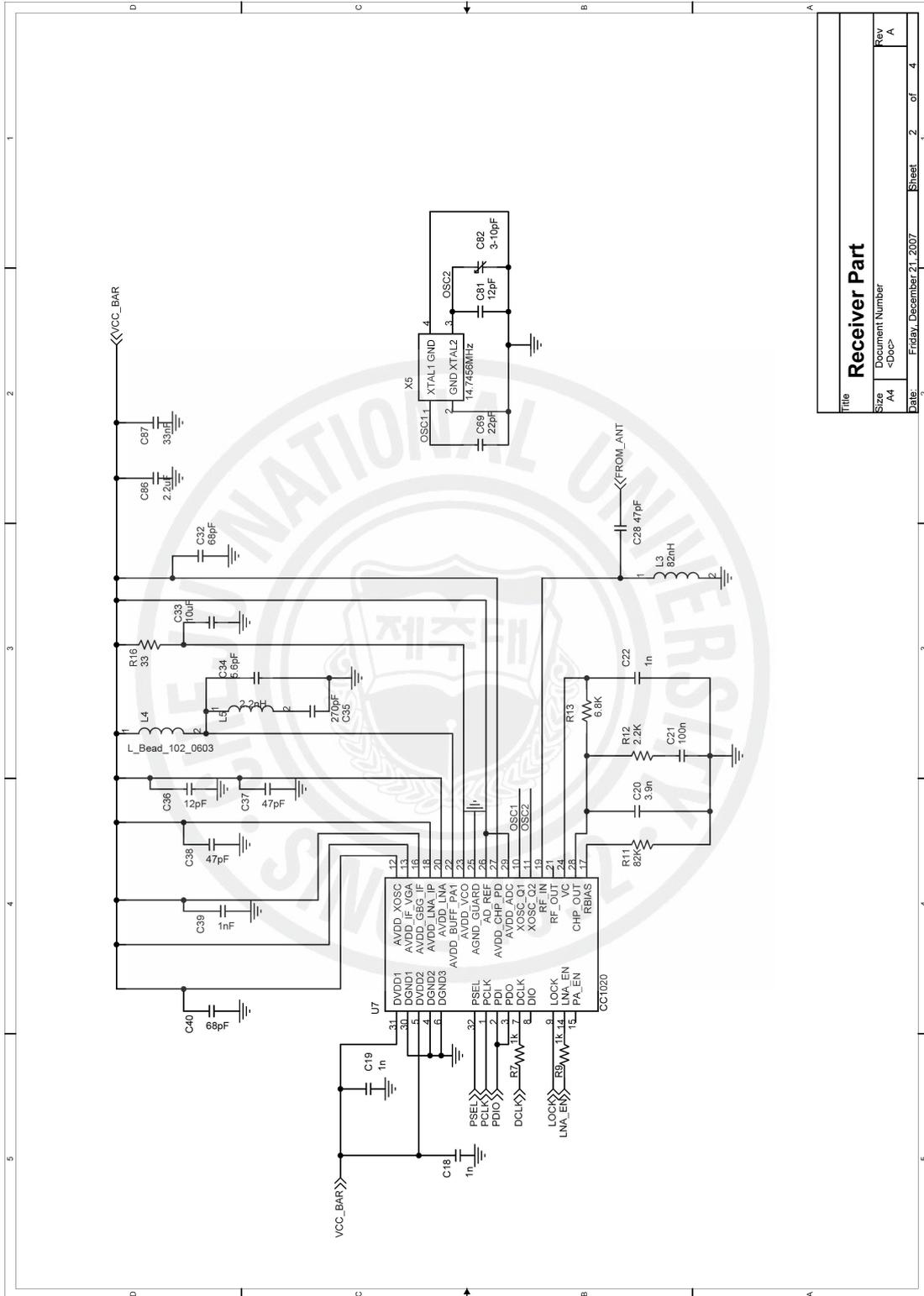
- [13] XRA00 Datasheet, [www.st.com](http://www.st.com).
- [14] EPCglobal, “*Specification for RFID Air Interface : EPC™ radio-frequency identity protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID protocol for communications at 860MHz~960MHz Version 1.1.0*,” 2005.
- [15] 장병준, 오하령, 성영락, 박준석, “UHF RFID Air Interface 기술 동향”, *한국통신학회지*, 제24권, 제8호, 한국통신학회, pp. 14-22, 2007.
- [16] STmicroelectronics, “432-bit UHF, EPCglobal Class1 Generation2 and ISO 18000-6C, Contactless memory chip with user memory,” [www.st.com](http://www.st.com), 2006.
- [17] 최호승, 김재현, “Bin 슬롯 정보를 이용한 UHF 대역 Anti-collision 알고리즘”, *전자공학회논문지*, 제43권 TC편, 제1호, 대한전자공학회, pp. 41-49, 2006.
- [18] 김지윤, “UHF 대역 RFID 시스템에서의 개선된 충돌방지 기법”, 석사학위논문, 제주대학교, 2006.
- [19] 강봉수, 임정현, 김홍수, 양두영, “무선인식 프로토콜의 EPC 클래스-1 충돌방지 알고리즘 개선”, *한국콘텐츠학회논문지*, 제7권, 제4호, 한국콘텐츠학회, pp. 10-19, 2007.
- [20] 임정현, 이권익, 양두영, 김홍수, 고재권, “무선통신 프로토콜의 충돌방지 알고리즘 개선”, *한국방송공학회 동계 학술발표대회 논문집*, 한국방송공학회, pp. 97-100, 2007.
- [21] 안동현, 양훈기, 양성현, 김영수, “RFID 리더의 다중접속 프로토콜”, *한국통신학회지*, 제24권, 제5호, 한국통신학회, pp. 124-134, 2007.
- [22] 박경환, “모바일 RFID 기술 개발”, *TTA Journal*, no. 102, pp. 38-43, 2005.
- [23] Rao, K.V.S., “An overview of backscattered radio frequency identification system(RFID),” *1999 Asia Pacific Microwave Conference(APMC'99)*, vol.3, pp. 746-749, 1999.
- [24] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632D.pdf>
- [25] <http://focus.ti.com/docs/prod/folders/print/cc1020.html>

- [26] 이윤덕, 김도윤, 윤현구, 육종관, 장병준, “리더 간섭에 의한 RFID 시스템의 인식 거리 감소에 관한 연구”, *한국전자과학회논문지*, 韓博文18卷, 한국전자과학회, pp. 731-738, 2007.
- [27] J. Sidén, P. Jonsson, T. Olsson, and G. Wang, “Performance Degradation of RFID System Due to the Distortion in RFID Tag Antenna,” *Proceedings of the 11th International Conference on Microwave and Telecommunication Technology(CriMiCo'2001)*, pp. 371-373, 2001.
- [28] Hsin-Chin Liu, Yung-Ting Chen, and Wen-Shin Tzeng, “A Multi-Carrier UHF RFID System,” *Proceedings of the 2007 International Symposium on Applications and the Internet Workshops(SAINTW'07)*, pp. 21-24, 2007.
- [29] 윤병태 , 김용진 , 이성수 , 김영일, “모바일 RFID의 인식거리”, *전자과학기술*, 제16권, 제3호, 한국전자과학회, pp. 61-66, 2005.
- [30] 양정규, 배성우, 송의석, 안시영, 오하령, 성영락, 박준석, 정명섭, 곽호길, “EPC Class-1 Generation-2 규격에 적합한 RFID 리더 시스템 설계”, *한국전자과학회논문지*, 韓博文18卷, 한국전자과학회, pp. 954-963, 2007.
- [31] 김재준, 이일근, 이영훈, “900MHz 대역 RFID Reader 구현”, *한국정보기술학회논문지*, 韓術文4권, 제2호, 한국정보기술학회, pp. 63-69, 2006.
- [32] 장병준 , 박준석 , 오하령 , 성영락, “RFID dense 모드 지원을 위한 Medium Access 기술”, *한국통신학회지 (정보와통신)*, 제23권, 제12호, 한국통신학회, pp. 81-92, 2006.
- [33] 이승학, 천중훈, 박종안, “수동형 태그 기반 RFID 리더기의 성능 개선”, *한국통신학회논문지*, 제31권, 제11A호, 한국통신학회, pp. 1159-1166, 2006.
- [34] Vladimir Hahanov, Inna Filippenko, and Lena Lavrova, “Contemporary RFID Systems and Identification Problems,” *Proceedings of the 9th International Conference on CAD Systems in Microelectronics (CADSM'07) - The Experience of Designing and Applications of CAD Systems in Microelectronics*, pp. 343-344, 2007.
- [35] AN2106 Application Note : How to Program and Personalize the XRA00

ePC Global Class 1b Memory Chip, [www.st.com](http://www.st.com).

- [36] Kin Seong Leong, Mun Leng Ng, and Peter H. Cole, “The Reader Collision Problem in RFID Systems,” *AUTOIDLABS-WP-HARDWARE-018*, Auto-ID Laboratory, Department of Electrical & Electronic Engineering, The University of Adelaide, 2005.
- [37] 김종호, 이상신, 김영길, 김용득, “ARM920T 기반의 다기능 UHF RFID 리더 플랫폼 기술 개발”, *전자공학회논문지*, 제42권 SC편, 제2호, 대한전자공학회, pp. 19-26, 2005.
- [38] EPCglobal, “Specification for RFID Air Interface : EPC™ Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Conformance Requirements Version 1.0.2,” EPCglobal Inc™, 2005.
- [39] Alien Technology Whitepaper, “EPCglobal Class 1 Gen 2 RFID Specification,” Alien Technology, 2005.

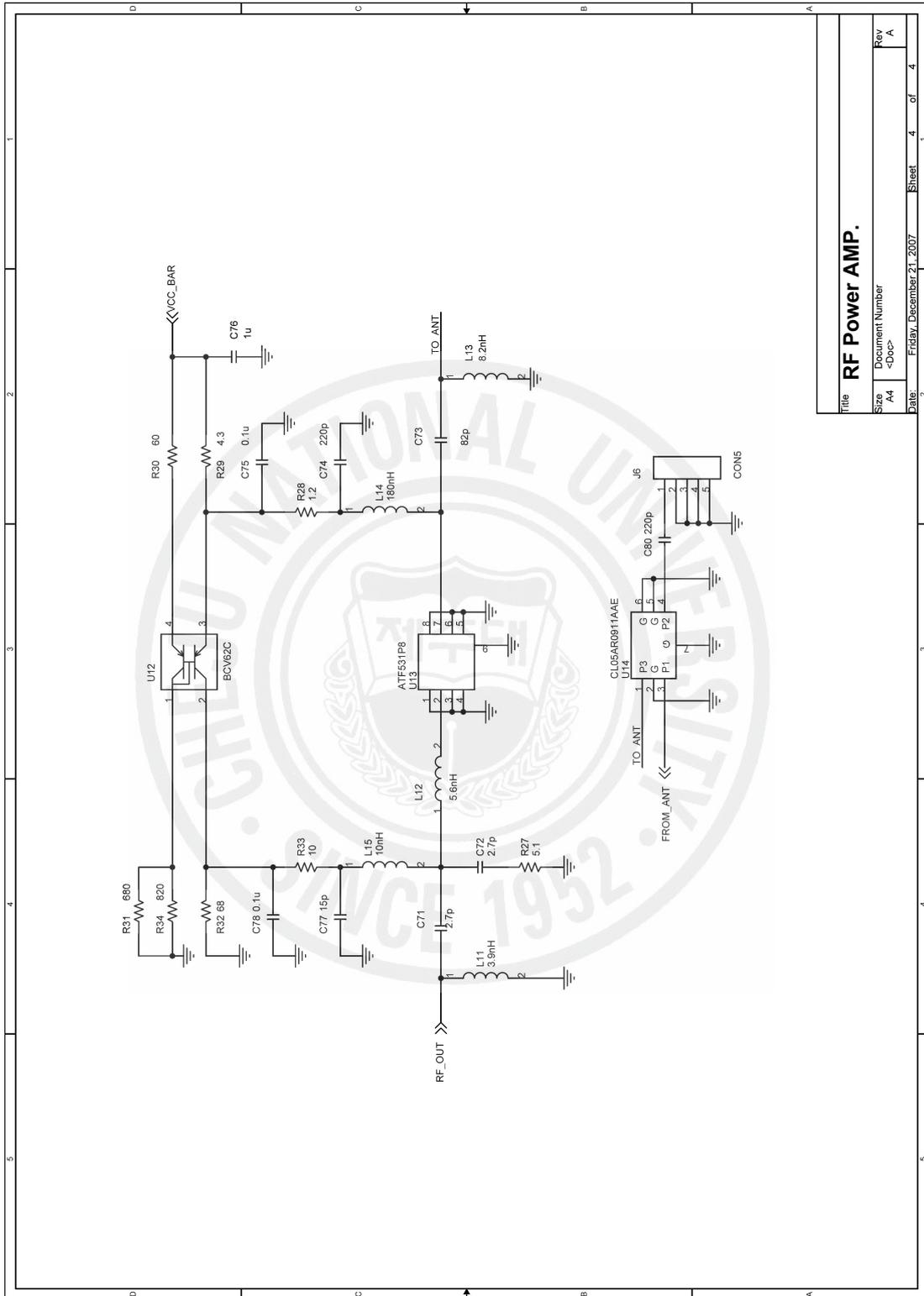




Title			
Size	Document Number	Rev	
A4	<Doc>	A	
Date	Friday, December 21, 2007	Sheet	2 of 4

**Receiver Part**





**Title RF Power AMP.**

Size	Document Number	Rev
A4	<Doc>	A
Date	Friday, December 21, 2007	Sheet 4 of 4