

UHF 대역 RFID 리더의 순방향 링크 신호 특성에 관한 연구

Study on Characteristics of the Forward Link Signal for the UHF RFID Reader

김도윤 · 장병준* · 윤현구** · 박준석* · 육종관

Do-Yun Kim · Byung-Jun Jang* · Hyun-Goo Yoon** · Jun-Seok Park* · Jong-Gwan Yook

요 약

본 연구에서는 MATLAB를 이용하여 UHF RFID 시스템의 순방향 링크를 구현하고, 구현된 모델을 통해 국내 RFID 기술 기준인 200 kHz 채널 대역폭을 만족하기 위한 순방향 디지털 필터의 설계 변수와 송신 신호의 특성을 분석하였다. 구현된 순방향 링크 모델은 PIE 소스 코딩과 디지털 송신 필터, 변조 블록, 국부 발진기 및 안테나로 구성되어 있다. 모의 실험 결과를 통해서 EPCglobal class 1 generation 2(EPCglobal C1G2) 규격의 변조 방식과 Tari값에 따른 디지털 송신 필터의 roll-off factor, 차단 주파수, 탭 수의 사용 가능 범위를 제시하였다. 또한, 각각의 변조 방식이 다중 리더 환경 및 밀집 리더 환경에 따라 EPCglobal C1G2 규격의 시간 영역 파형과 스펙트럼 마스크에 대한 만족 여부를 확인한 결과, 다중 리더 환경에서 Tari값 6.25 μsec 의 경우는 DSB/SSB-ASK 변조 방식을 국내 채널 규격에 맞춰 사용하기 어렵다고 판단되었다. 따라서 본 논문은 RFID 리더 제작 시 국내 기술 기준을 만족시키기 위한 설계 지침으로서 중요한 의미를 지니며, 향후 다중 리더 및 밀집 리더 환경에서 주파수 간섭 문제를 분석하기 위한 중요한 선행 연구라 판단된다.

Abstract

In this paper, the forward link of UHF RFID system is modeled in accordance with the EPCglobal class 1 generation 2(EPCglobal C1G2) UHF Radio-Frequency Identity protocol specification at 860~960 MHz. Based on the constructed model, characteristics on the forward link signal for the EPCglobal C1G2 RFID reader are simulated with the help of a MATLAB software in order to extract the design parameters of a transmit digital filter which meets the Korean RFID regulations. Herein, the forward link model is consisted of PIE source coding, transmit digital filter, modulation, local oscillator, and antenna. From the simulation results, the ranges of three design parameters(roll-off factor, cutoff frequency, the number of tabs) for transmit digital filter are obtained with different modulation techniques and the Tari(type a reference interval) values. Finally, DSB/SSB-ASK modulation technique can not satisfy the EPCglobal C1G2 specification when Tari equals to 6.25 μsec in a multiple-reader environment. Consequently this paper can provide a guideline for design parameters of a RFID reader as well as the basic scheme of analyzing frequency interference problems in RFID environments, including multiple-reader and dense-reader environments.

Key words : UHF RFID, Digital Filter, EPCglobal C1G2 Specification, Frequency Interference, Multiple-Reader Environment, Dense-Reader Environment

「본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음」(IITA-2005-C1090-0502-0012).」

연세대학교 전기전자공학부(Department of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University)

*국민대학교 전자공학부(Department of Electronics Engineering, Kookmin University)

**명지대학 컴퓨터전자과(Department of Computer and Electronic Engineering, Myongji College)

· 논문 번호 : 20070206-021

· 수정완료일자 : 2007년 4월 9일

I. 서 론

최근에 전세계적으로 RFID 기술에 대한 관심이 증가하면서 유통 물류 분야를 시작으로 국방, 환경, 의료, 항공, IT 등 다양한 분야에 RFID 기술을 적용하려는 연구가 활발히 전개되고 있다. 특히 Wal-Mart와 Tesco와 같은 대형 유통 회사에서는 2005년부터 RFID 보급이 가시화되었고, 또한 같은 해에 EPCglobal class 1 generation 2(EPCglobal C1G2) 규격이 ISO 1800-6 Type C로 규격화되면서 RFID 서비스의 확대가 가속화되었다^{[1]~[3]}.

인식 거리와 Tag 제작 가격에 있어서 유리한 UHF 대역의 RFID 시스템은 전세계적으로 유통, 물류 등의 용도에 가장 적합하다고 평가되고 있다. 우선 미국은 902~928 MHz의 ISM(Industrial, Scientific, and Medical) 대역을 RFID 주파수 대역으로 사용하기로 결정함에 따라 채널당 점유 대역폭 500 kHz로 50개 이상의 채널을 사용할 수 있다. 유럽은 865~868 MHz 대역에 채널당 대역폭을 200 kHz로, 총 15개 채널을 이용하기로 결정하였다. 국내의 경우도 유럽과 비슷하게 200 kHz의 점유 대역폭을 가지고 있으나 전체 주파수 대역은 유럽보다 넓은 5.5 MHz를 사용하고 있으므로 상측 보호대역과 하측 보호대역을 빼면 27개의 채널을 사용할 수 있다^{[4],[5]}. 이렇듯 국가별로 상이한 전파 규격을 만족하기 위해 EPCglobal C1G2에서는 다양한 코딩 방식 및 모뎀 방식을 권고하고 있다. 이에 따라 FM0 코딩을 사용하는 다중 리더 환경과 밀러 코딩(miller sequence)을 사용하는 밀집 리더 환경을 정의하고, 이를 통해 제한된 공간에 다수의 RFID 리더가 분포하는 환경에 대한 방안을 제시하였다. 이와 같은 환경에서는 다수의 리더가 신호를 동시에 전송하기 때문에 발생하는 리더간 간섭이 매우 중요한 문제로 대두되고 있으며, 이에 따라 송신 신호의 규정이 명확히 규제되고 있는 현실이다. 이에 EPCglobal C1G2 규격은 송신 신호의 시간 영역 파형에서 setup 시간, rise(혹은 fall) 시간 및 신호 리플(ripple)의 크기 등을 제한하고, 또한 주파수 영역에서 각 리더의 근접 채널 대역에 대한 사용 가능 전력을 스펙트럼 마스크를 통해 제한하고 있다. 따라서 RFID 시스템의 순방향 링크의 송신 신호가 규정된 스펙트럼 마스크를 만족하고 시간

영역 요구 사항에 대한 충족 여부를 분석하는 것은 국내 RFID 시스템의 전파 기술 기준의 근거를 마련하는 중요한 연구이다^{[6]~[12]}.

본 논문에서는 EPCglobal C1G2 규격에 명시된 송신 신호의 시간 영역 파형과 스펙트럼 마스크를 만족하기 위한 디지털 송신 필터의 설계 변수에 대한 사용 가능 범위를 제시하였다. 또한, EPCglobal C1G2 규격에서 정의한 다중 리더(multiple reader) 환경 및 밀집 리더(dense reader) 환경에서 변조 방식의 사용 가능 여부를 검증하여 EPCglobal C1G2 규격 중 국내의 전파 기술 기준에 맞는 규격 선별 및 나아가 국내 환경에 적합한 RFID 시스템에 대한 지침을 제시하고자 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 UHF RFID 시스템의 순방향 링크 모델에 대해 기술하고, 3장에서는 EPCglobal C1G2 규격에 따른 RFID 순방향 링크의 송신 신호 특성을 시간과 주파수 측면에서 각각 분석 결과를 기술하고, 마지막으로 4장에서 결론을 맺었다.

II. 순방향 링크 모델

RFID 시스템은 원하는 정보를 얻기 위한 리더와 고유한 정보를 저장하고 있는 태그로 구성되고, 정보의 전송 방향에 따라 순방향과 역방향 링크로 구분된다. 여기서 순방향 링크는 리더가 태그로부터 원하는 정보를 얻기 위해 수행하는 모든 준비 과정으로, 명령 신호 및 태그의 전원을 공급하는 CW(Continuous Wave) 신호의 발생에서부터 역방향 링크가 수행되기까지의 모든 과정을 의미한다^{[7],[8]}.

그림 1은 MATLAB을 통해 구현한 RFID 순방향 링크의 송신부 모델이다^[13]. 우선 정보 비트는 PIE(Pulse Interval Encoding) 방식을 이용해서 소스 코딩이 되고 디지털 송신 필터(raised cosine filter)를 통과한다. 여기서 PIE 방식은 '0'과 '1'의 데이터를 각각 주기가 다른 심볼에 맵핑하는 코딩 방식이고, 디지털 송신 필터의 계수는 송신 신호의 시간과 주파수 특성이 모두 EPCglobal C1G2 규격을 만족할 수 있도록 결정한다. 필터를 통과한 신호는 double-side band(DSB)/single-side band(SSB)/phase-reverse ASK(PRASK) 중에서 하나의 방식으로 변조되며, 이 변조 신호가 반송파에 실려 태그로 전송된다. 여기서 구현된 모

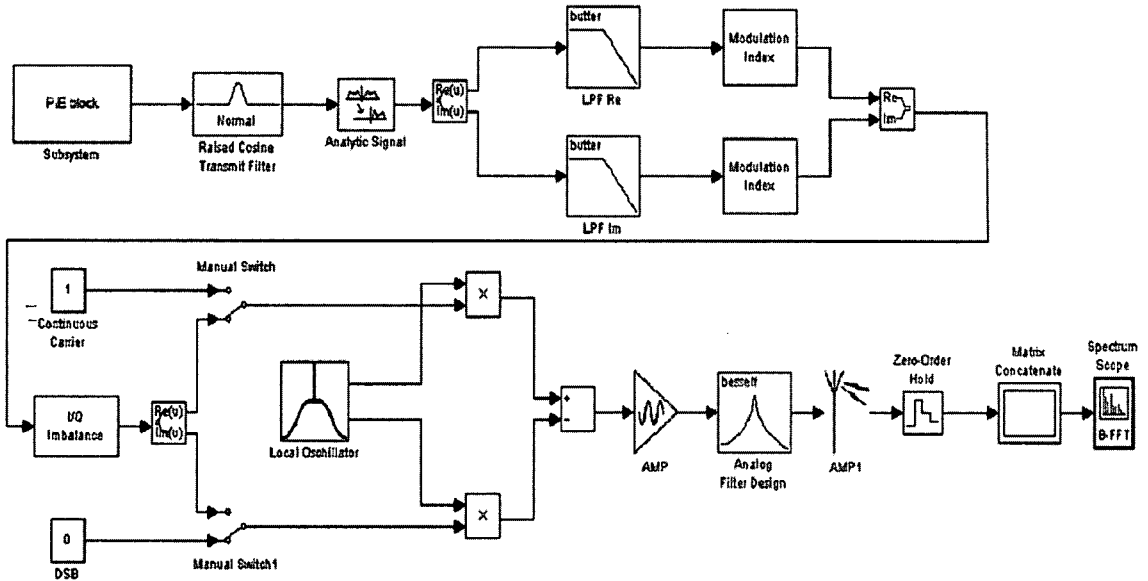


그림 1. 순방향 링크의 RFID 리더 송신부 시스템 모델
 Fig. 1. The reader model for RFID system in a forward link.

델은 RF 소자의 비선형성은 고려하지 않았다. 그 이유는 RFID 신호의 경우, PIE 코딩을 사용하므로 증폭기의 비선형성을 고려하더라도 spectrum regrowth 량이 미미하여 주파수 마스크에 큰 변화가 없기 때문이다.

2-1 Pulse Interval Encoding(PIE)

순방향 링크에서 리더가 태그로 전송하는 명령 신호는 PIE 코딩을 사용한다. 리더가 전송하는 신호는 자체의 전원 공급 장치가 없는 태그에 전원을 공급하는 역할을 수행한다. 따라서 전송 신호는 PIE 코딩 방식을 통해 효율적으로 태그에 전원을 공급할 수 있다. 그림 2는 PIE 코딩을 사용하여 발생한 심볼의 신호 파형을 나타낸다^[11]. 여기서 Tari(TypeA Reference Interval)는 신호 파형을 형성하는 최소한의 단위이고, 표 1과 같이 다양한 데이터 전송률에 따라 선택할 수 있다. PIE 코딩 방식은 데이터 '0'과 데이터 '1'을 주기가 다른 심볼에 각각 맵핑시키고, 각 데이터가 끝나는 것을 알리기 위해 심볼의 뒷부분에 펄스 폭(PW pulse width) 시간 동안 심볼 전력을 소멸시키는 방식이다.

2-2 DSB/SSB/PR-ASK 변조

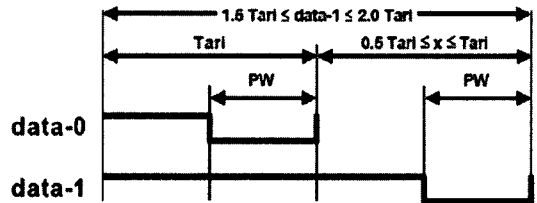


그림 2. PIE 심볼 파형
 Fig. 2. The waveform of PIE format.

표 1. EPCglobal C1G2 규격에 따른 순방향 링크의 Tari 값^[11].

Table 1. Tari values in EPCglobal C1G2.

Tari 값	Tari 값 허용오차	스펙트럼
6.25 μs	+/- 1%	DSB-ASK, SSB-ASK, 혹은 PR-ASK
12.5 μs	+/- 1%	
25 μs	+/- 1%	

PIE 방식을 통해 코딩 된 리더의 전송 비트는 다양한 신호 파형으로 변조된다. EPCglobal C1G2 규격에 따르면 전송 신호는 3가지 변조 방식(DSB-ASK, SSB-ASK, PR-ASK) 중에서 선택하여 생성된다. 그림 3은 송신기가 DSB/SSB ASK 변조 방식을

사용했을 경우에 대한 신호의 변복조 과정을 순차적으로 표현한 것이다. 그림 3의 (a)는 PIE 코딩이 적용된 정보 비트를 의미하고, 여기서 '010'을 예로 사용하였다. 또한, (b)는 PIE 코딩을 거친 정보가 디지털 송신 필터를 통과하여 DSB/SSB ASK 변조된 신호 파형을 나타낸다. 여기서 변조 깊이(modulation depth)는 0.9를 사용하였다. 순방향 링크 모델인 그림 1과 같이 ASK로 변조된 신호는 국부 발진기를 통해 반송파에 실리게 되고, 이 신호는 그림 (c)와 같다. 마지막으로 그림 (d)는 태그에서 수신된 신호 파형을 의미하고, 채널 상태가 이상적인 경우에 송신 신호와 동일한 형태의 신호가 검출된다.

리더의 송신 신호가 태그의 전원을 켜기 위해서 EPCglobal C1G2 규격은 리더에서 변조한 신호 파형의 셋팅 시간(T_s)를 규정하고 있다. 이 규정은 변조된 신호 파형이 기준 값(최대값의 90%) 이상의 크기로 최소한 T_s 시간 동안 지속해야 한다는 것이다. 즉, rise time을 통해 최대값으로 올라간 신호 파형은 기준 값 이상으로 T_s 시간 지속되어야만 태그를 동작

시킬 수 있게 된다는 것이다. 따라서 DSB 혹은 SSB ASK 변조 방식보다는 rise(or fall) time이 짧고 최대값이 오래 지속되는 PR-ASK 변조 방식이 UHF RFID에서 효율적이다. PR-ASK 변조 방식의 신호 파형은 그림 4와 같다. 이 변조 방식은 신호의 크기를 '1'로 고정하고 데이터 비트가 입력될 때마다 위상을 180° 변환시켜 주는 방식이다. 따라서, rise time과 fall time이 짧고, 안정된 신호의 크기를 상대적으로 오래 지속할 수 있는 장점을 갖는다. 또한 신호 파형에 DC 성분이 없다. 그림 4는 PR-ASK 변조 방식에 따른 신호 파형을 나타낸다. 여기서 DSB/SSB ASK 방식과 확연한 차이점은 각 정보 비트마다 대응하는 신호 파형의 위상이 180° 변환된다는 것이다. 언급한 위상 변화는 신호 파형의 크기가 '1'에서 '-1'로 변하는 것으로 표현되며, 이는 rise(혹은 fall) time을 효과적으로 줄일 수 있는 방안이 된다. 그림 3과 그림 4의 결과를 확인함으로써 구현된 UHF RFID 시스템의 순방향 링크 모델에 대한 신뢰성을 검증할 수 있다.

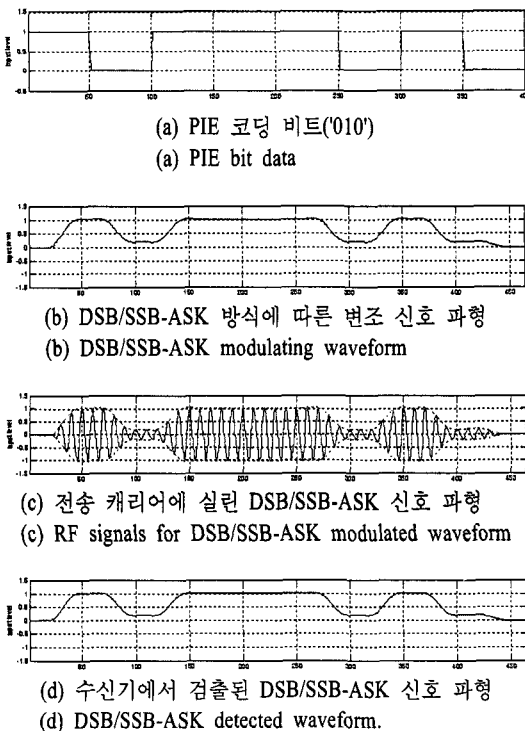


그림 3. DSB/SSB ASK 변조 방식에 따른 신호파형
Fig. 3. The time waveform for DSB/SSB-ASK.

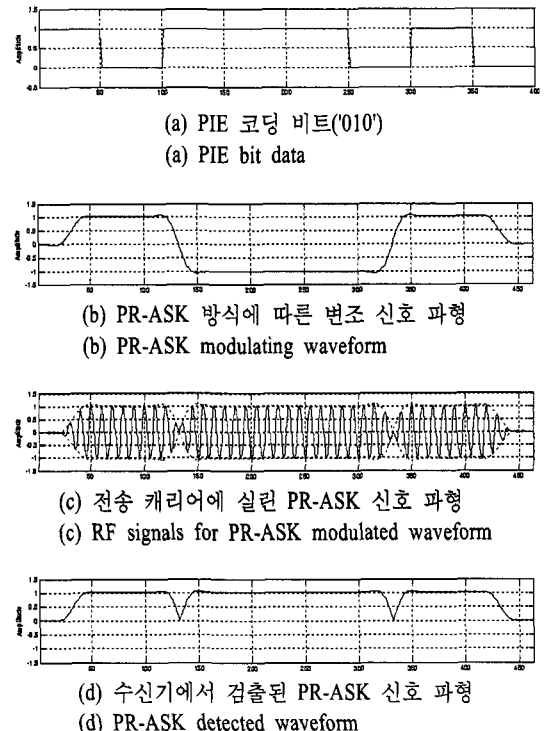


그림 4. PR ASK 변조 방식에 따른 신호파형
Fig. 4. The time waveform for PR ASK.

Ⅲ. EPCglobal C1G2 규격에 따른 모의 실험

3-1 신호 파형 분석

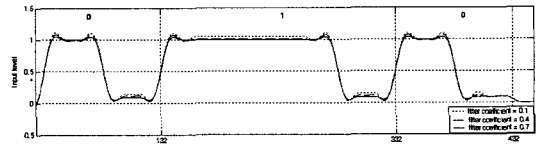
표 2는 EPCglobal C1G2 규격에서 제한한 신호 파형의 5가지 항목을 나타낸다. 우선 변조 깊이(modulation depth)는 변조 신호 크기의 최대값(A)과 최소값(B) 사이에 차이를 최대값에 대한 비율로 나타낸 변수이다. 이와 같은 변조 깊이는 최소 80 %에서 최대 100 % 사이의 값으로 선택되어야 한다. 다음으로 RF 신호의 외형(envelope) 리플은 기준값(A - B)의 5 % 이내 크기를 갖도록 설계되어야 한다. 또한, RF 신호가 '0'에서 '1'로 증가하는데 걸리는 시간을 나타내는 rise/fall 시간과 RF 신호가 '0'으로 지속되는 구간인 PW는 표 2와 같이 범위가 제한된다^[11].

표 2의 각 항목은 순방향 리더 모델에서 FIR 디지털 송신 필터(raised-cosine 필터)에 의해 그 값이 변화한다. 즉, 필터의 시간과 주파수 특성에 따라 송신 신호의 시간과 주파수 특성은 그 영향을 받게 된다. 따라서 본 논문에서는 필터의 시간/주파수 특성과 연관되어 있는 roll-off factor(α), 디지털 필터의 탭 수 및 차단 주파수(f_c)와 같은 3가지 변수에 대한 모의 실험을 수행하였다. 또한, 모의 실험에 사용된 샘플링 주파수는 64/Tari이다.

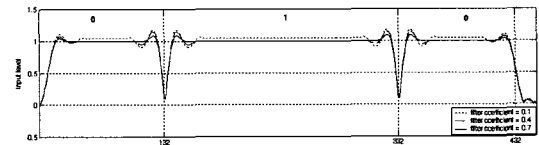
그림 5는 디지털 송신 필터의 roll-off factor(α)에 따른 DSB/SSB와 PR-ASK 변조 신호의 변화를 각각 보여준다. 모의실험에서 필터 탭 수는 64로 고정했으며, 차단 주파수는 200 kHz이고, 변조 깊이는 0.9, Tari는 25 usec로 설정하였다. 결과를 통해 α 가 1에 가까울수록 변조 신호의 리플이 작아지는 것을 알

표 2. EPCglobal C1G2 규격에서 제한한 5가지 항목 표
Table 2. Five points of a signal waveform in EPC-global C1G2 regulation^[11].

Tari	변수	최소값	최대값	단위
6.25 μ s to 25 μ s	변조 깊이	80	100	%
	리플	0	0.05(A - B)	V/m
	Rise 시간	0	0.33 Tari	μ s
	Fall 시간	0	0.33 Tari	μ s
	펄스 폭	Max(0.26Tari Tari,2)	0.525 Tari	μ s



(a) DSB/SSB-ASK 신호 파형
(a) DSB /SSB-ASK waveform



(b) PR-ASK 신호 파형
(b) PR-ASK waveform

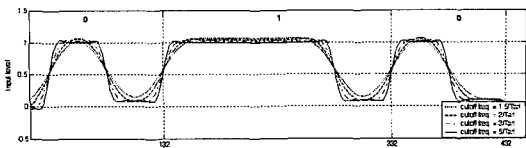
그림 5. Roll-off factor(α)에 따른 신호 파형
Fig. 5. The waveform for each modulation according to filter coefficient roll-off factor (α).

수 있으며, 파형의 리플을 제외하고 다른 규제 항목(rise 시간, RF 펄스폭, 변조 깊이)의 변화는 확인할 수 없었다. 이는 roll-off factor가 1에 가까울수록 디지털 필터의 시간 특성에서 한 주기 이외에 이전 신호에 대한 성분을 고려하는 크기가 작아지기 때문에 나타나는 현상이고, 이러한 필터 특성은 파형의 리플에만 영향을 미치게 된다. PR-ASK 변조 방식에서는 5 % 이내의 리플이 발생하기 위해서는 roll-off factor(α)값을 0.7 이상, DSB/SSB 변조 방식에서는 0.4 이상으로 사용해야 한다는 것을 확인할 수 있었다. 표 3은 α 에 따른 모의 실험 결과를 DSB/SSB ASK과 PR ASK 방식에 따라 각각 정리한 것이다.

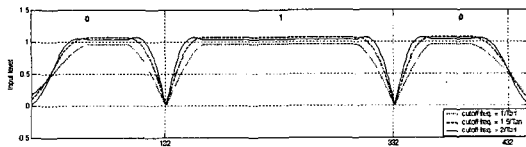
그림 6은 roll-off factor(α)를 0.8로 고정하고, 필터 탭수는 64, 변조 깊이는 0.9인 실험 환경을 가정한다.

표 3. Roll-off factor(α)에 따른 결과표
Table 3. The simulation results according to roll-off factor (α).

변조 방식	α	규정 항목	실험 결과
DSB/SSB ASK	0.1	RF ripple (5 % 이내)	6.7 %
	0.4		4.9 %
	0.7		2.4 %
PR-ASK	0.1		9.7 %
	0.4		8.2 %
	0.7		5.0 %



(a) DSB /SSB-ASK 신호 파형
(a) DSB/SSB-ASK waveform



(b) PR-ASK 신호 파형
(b) PR-ASK waveform

그림 6. 차단 주파수(f_c)에 따른 신호 파형
Fig. 6. The waveform for each modulation according to cut-off frequency(f_c).

이 모의 실험은 디지털 송신 필터의 3가지 변수 (roll-off factor(α), 디지털 필터의 탭 수 및 차단 주파수(f_c))중에서 차단 주파수의 변화에 따른 신호 파형결과를 DSB/SSB-ASK와 PR-ASK 변조 방식에 따라 확인한 것이다. 필터의 차단 주파수(f_c)는 출력 신호의 시간 특성과 주파수 특성에 모두 영향을 미치는 변수이다. 즉, 신호 파형에서는 rise(혹은 fall) 시간에 영향을 주고, 주파수 측면에서는 차단 주파수의 변화에 영향을 준다. 이는 송신 신호의 대역폭과 디지털 필터의 통과 대역폭의 차이에 따라 송신 신호의 시간 파형과 주파수 특성이 달라지기 때문이다. 따라서 필터의 차단 주파수 설정은 시간 파형

분석과 주파수 마스크 분석을 통해서, 두 조건이 모두 만족하는 차단주파수를 선택해야 한다. 본 모의 실험은 필터의 차단 주파수에 따른 rise 시간의 변화를 파악하는 것에 중점을 두고 있다. 두 가지 모의 실험 결과를 통해서 차단 주파수(f_c)가 증가할수록 신호 파형의 rise(혹은 fall) 시간이 작아지는 것을 확인할 수 있다. 즉, 변조 방식의 종류와 상관없이 차단 주파수와 신호 파형의 rise 시간은 서로 반비례 관계임을 확인할 수 있다. 각 변조 방식에 따른 결과는 표 4를 통해 정량적으로 정리하였다. 실험을 통해 DSB/SSB-ASK를 사용할 경우에는 차단 주파수를 $1.5/Tari(=60 \text{ kHz})$ 값 이상 사용해야 한다는 것을 확인했으며, PR-ASK 경우에는 PW 제한 때문에 차단 주파수를 $1/Tari(=40 \text{ kHz})$ 값 이하로 사용해야 한다는 것을 확인할 수 있었다. PR-ASK 변조 방식의 경우에는 차단 주파수를 낮게 사용할수록 rise 시간이 증가하고 이로 인해 PW 값을 EPCglobal C1-G2 규격에 맞추는 것이 가능하기 때문이다.

3-2 주파수 전력 밀도 분석

스펙트럼 마스크에 영향을 주는 순방향 블록은 기저 대역 저역 통과 필터로, 앞에서 언급했던 필터의 3가지 계수 중에서 신호의 주파수 전력 밀도에 영향을 주는 것은 디지털 필터 탭 수와 차단 주파수(f_c)이다. 그러므로 모의 실험에서는 이 2가지 계수에 따른 신호의 주파수 특성을 살펴보도록 한다. 수행된 모의 실험 환경은 다중 리더 환경과 밀집 리더 환

표 4. 차단 주파수(f_c)에 따른 결과표
Table 4. The simulation results according to cut-off frequency(f_c).

변조 방식	f_c	규정 항목	실험 결과	규정 항목	실험 결과
DSB/SSB ASK	5/Tari	Rise/Fall Time (0.33 Tari 이하)	$0.11 \times Tari$	Pulse width(PW) (Max(0.26 Tari 2) $\leq PW \leq$ $0.525Tari$)	$0.48 \times Tari$
	3/Tari		$0.17 \times Tari$		
	2/Tari		$0.25 \times Tari$		
	1.5/Tari		$0.34 \times Tari$		
PR-ASK	2/Tari		$0.15 \times Tari$		$0.13 \times Tari$
	1.5/Tari		$0.19 \times Tari$		$0.20 \times Tari$
	1/Tari		$0.27 \times Tari$	$0.30 \times Tari$	

경으로 구분되고, 각 환경에 대한 주파수 마스크는 EPCglobal C1G2 규격에 따른다. 또한 roll-off factor (α)는 0.8을 사용하였으며, Tari 값은 25, 12.5, 6.25 usec에 대하여 모의 실험을 수행하였다.

그림 7은 각 변조 방식에 따라 필터의 탭 수와 신호의 주파수 전력 밀도와의 관계를 나타낸다. 변조 방식과는 무관하게 탭 수가 증가함에 따라 신호의 부엽 전력 밀도가 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 이는 필터의 탭 수가 증가할수록 차단 주파수에서 더욱 급하게 여과 효과가 발생하기 때문이다. 실험 결과를 통해 필터 탭 수를 16 이상으로 고정한다면 신호의 주파수 특성은 EPCglobal C1G2 규격을 만족한다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 본 논문에서는 64개의 필터 탭을 사용하도록 한다.

그림 8과 그림 9는 신호의 주파수 전력 밀도와 EPCglobal C1G2에서 제한하는 주파수 마스크의 관계를 보인다. EPCglobal C1G2에서는 리더의 밀집 상황에 따라서 2가지 환경, 즉 다중 리더(multiple-interrogator) 환경과 밀집 리더(dense-interrogator) 환경으로 구분한다. 각 환경에 따라 리더가 사용할 수 있는 채널 대역폭에 차이가 존재하며, 다중 리더 환경에서는 채널 대역폭이 Tari 값에 상관없이 국내의 경우 항상 200 kHz로 고정되어 있고, 밀집 리더 환경에서는 채널 대역폭이 $2.5/\text{Tari}$ [Hz]와 같이 가변적으로 적용된다. 여기서 모의 실험 환경은 송신 신호의 Tari값을 25 usec로 가정하고, 필터의 차단 주파수(f_c)

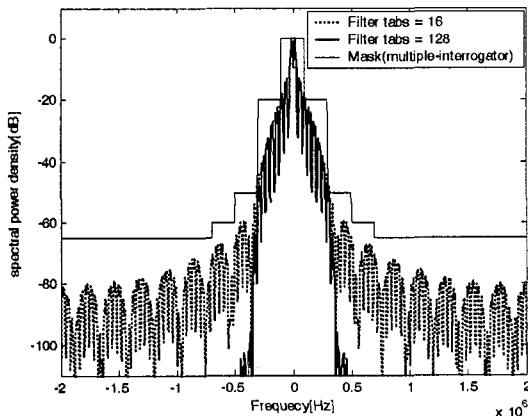


그림 7. 필터 탭 수에 따른 신호의 주파수 밀도 특성(PR-ASK)

Fig. 7. Power spectrum density for PR-ASK according to the number of filter tabs.

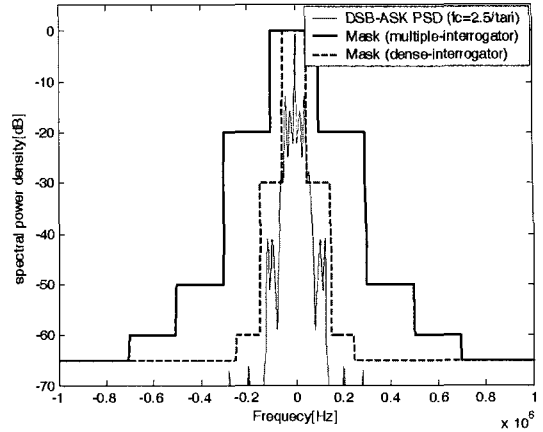


그림 8. 주파수 전력 밀도와 마스크(DSB-ASK, Tari=25 us, $f_c=2.5/\text{Tari}$)

Fig. 8. Spectrum mask and power spectrum density for DSB-ASK(Tari=25 us, $f_c=2.5/\text{Tari}$).

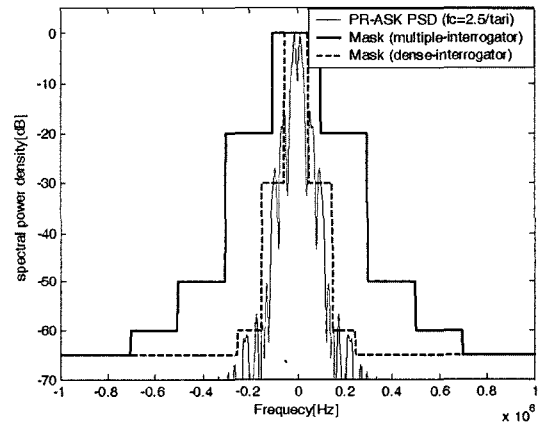


그림 9. 주파수 전력 밀도와 마스크(PR-ASK, Tari=25 us, $f_c=2.5/\text{Tari}$)

Fig. 9. Spectrum mask and power spectrum density for PR-ASK(Tari=25 us, $f_c=2.5/\text{Tari}$).

가 $2.5/\text{Tari}(=100 \text{ kHz})$ 일 경우에 한하여 각 변조 방식에 따른 결과를 도출한 것이다. 여기서 밀집 리더 환경의 채널 대역폭은 $2.5/\text{Tari}=100 \text{ kHz}$ 이기 때문에 신호의 주파수 전력 밀도 곡선은 밀집 리더 환경과 다중 리더 환경 규정에 모두 만족하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 Tari가 25usec일 경우에 DSB/SSB/PR-ASK 변조 방식을 2가지 환경에서 모두 사용하기 위해서는 차단 주파수를 $2.5/\text{Tari}$ 이하로 사용해야 한다. 따라서 2가지 환경의 채널 대역폭을 파악하고 그에 맞는 디지털 필터의 차단 주파수를 설정해야

표 5. 디지털 필터 파라미터의 사용 가능범위에 대한 분석표

Table 5. Summary of the range for each parameter of a digital filter for satisfying the regulation.

분석 항목			변조 방식	
필터 변수	제한 항목	Tari [μ s]	DSB/SSB ASK	PR-ASK
Roll-off factor (α)	RF ripple	25	$\alpha \geq 0.4$	$\alpha \geq 0.7$
		12.5		
		6.25		
필터 탭 수 (tab)	주파수 부엽 특성	25	tab \geq 16	
		12.5		
		6.25		
차단 주파수 (f_c)	DSB/SSB :rise time PR-ASK :pulsewidth	25	$f_c \leq 1.5/\text{tari}$	$f_c \leq 1.0/\text{tari}$
		12.5		$f_c \leq 0.9/\text{tari}$
		6.25		
차단 주파수 (f_c)	다중/밀집 환경 모두 만족	25	$f_c \leq 2.5/\text{tari}$	$f_c \leq 1.5/\text{tari}$
		12.5	$f_c \leq 2.5/\text{tari}$	$f_c \leq 1.5/\text{tari}$
		6.25	$f_c \leq 1.25/\text{tari}$	

표 6. 각 환경에 따른 변조방식 사용 가능 여부

Table 6. Satisfaction for each environment.

환경	Tari [μ s]	DSB/SSB ASK	PR-ASK
다중 리더 환경	25	○	○
	12.5	○	○
	6.25	×	○
밀집 리더 환경	25	○	○
	12.5	○	○
	6.25	○	○

EPCglobal C1G2의 주파수 규격을 만족할 수 있다.

모의 실험 결과를 통해 UHF RFID 시스템의 순방향 링크에 특성을 살펴보았다. 순방향 링크에서 사용 가능한 3가지 변조 방식(DSB/SSB/PR-ASK)에 따라 디지털 송신 필터 변수(roll-off factor(α), 필터 탭 수, 차단 주파수(f_c))를 적절히 조정하면 EPCglobal C1G2 규격을 만족할 수 있다는 결과를 얻었다. 표 5는 3가지 변조 방식에 따라 EPCglobal C1G2 규격을 만족하도록 필터 변수 값의 사용 가능 범위를 정량적으로 정리해 놓은 표이고, 표 6은 표 5의 결과를 통해 3가지 변조 방식의 각 환경에 대한 사용 가능 여부를 정리한 것이다. Tari 값이 6.25 μ sec의 경우

에 신호의 시간 특성을 만족하기 위해서는 송신 필터의 차단 주파수가 1.5/Tari 이상이어야 하지만, 이는 다중 리더 환경의 주파수 마스크의 규제를 만족하지 못한다. 따라서 다중 리더 환경에서 Tari 값이 6.25 μ sec인 경우는 국내 채널 규격에 사용하기는 어렵다고 판단된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 MATLAB을 이용하여 UHF RFID 시스템의 순방향 링크를 모델링하였다. 단일 태그와 단일 리더로 구성된 순방향 링크를 모델링하고 이를 이용하여 송신 신호의 시간 특성을 분석하였고, EPCglobal C1G2 규격의 스펙트럼 마스크 만족 여부도 제시하였다. EPCglobal C1G2 규격의 변조 방식과 Tari 값에 따른 필터의 3가지 변수의 사용 가능 범위를 모의 실험한 결과, 디지털 roll-off factor는 DSB/SSB 변조 방식의 경우는 0.4 이상, PR 변조 방식의 경우는 0.7 이상으로 선택해야 하고, 필터의 탭 수는 16개 이상으로 사용하면 EPCglobal C1G2 규격의 스펙트럼 마스크를 만족시킬 수 있다. 또한, 필터의 차단 주파수는 송신 신호의 시간과 주파수 측면에 모두 영향을 미치기 때문에 이를 동시에 고려하여 사

용 가능 범위를 결정하여야 함을 확인하였다. 마지막으로 다중 리더 환경 및 밀집 리더 환경에서 변조 방식에 따른 디지털 송신 필터와 변조 방식의 사용 가능 여부를 살펴 본 결과, $T_{\text{rise}} \leq 6.25 \mu\text{sec}$ 의 경우는 다중 리더 환경에서 DSB/SSB-ASK 변조 방식은 국내 채널 규격에는 맞춰 사용하기에는 어렵다고 판단된다. 본 연구의 결과는 국내 RFID 기술 기준 제정에 근거로 중요한 의미를 지니며, 향후 다중 리더 및 밀집 리더 환경에서 순방향 링크의 간섭 문제를 분석하기 위한 중요한 선행 연구라 판단된다.

참 고 문 헌

[1] 정보통신부, "국민소득 2만불 달성을 위한 IT839 전략 기술개발 Master Plan", 2004년 6월.
 [2] 조규조, "RFID 정책 추진 방향", 한국전자과학기술지 전자과학기술, 15(2), pp. 5-11, 2004년 4월.
 [3] 표철식, 채중석, 김창주, "RFID 시스템 기술", 한국전자과학기술지 전자과학기술, 15(2), pp. 21-31, 2004년 4월.
 [4] 장병준, 박준석, 성영락, 오하령, "RFID dense 모드 지원을 위한 Medium Access 기술", 한국통신

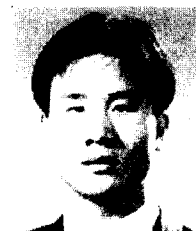
학회지, 23(12), pp. 17-28, 2006년 12월.
 [5] 황태욱, 김영수, 박경환, "900 MHz 대역 RFID 시스템의 무선 인터페이스 표준화 동향", 한국전자과학기술논문지, 16(3), pp. 3-15, 2005년 7월.
 [6] 장병준, 박준석, 오하령, 성영락, "2세대 수동형 RFID 기술", 한국전산원 보고서, 2005년 10월.
 [7] 장병준, 이윤덕, "모바일 RFID 기술 동향 및 주요 이슈", IITA 주간기술동향 1206호, pp. 31-40, 2005년 7월.
 [8] 장병준, 안선일, 이윤덕, "RFID/USN 기술개발 동향", 정보과학회지, 23(2), pp. 83-87, 2005년 2월.
 [9] www.thingmagic.com, "Generation 2 - A user guide".
 [10] www.impinj.com, "The Gen 2 Story - Charting the path to RFID that just works™".
 [11] www.alientechnology.com, "EPCglobal Class 1 Gen 2 RFID Specification".
 [12] Klaus Finkenzeller, *RFID Handbook*, Second Edition, John Wiley & Sons, 2003.
 [13] www.m-lab.ch/auto-id/SwissReWorkshop/Fudan, "System modeling and Simulation of RFID."

김 도 윤



2002년 8월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학사)
 2004년 8월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)
 2004년 9월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 박사과정
 [주 관심분야] 전파전파, 무선 통신 채널 모델링, MIMO/ OFDM, RFID/USN

장 병 준



1990년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1992년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1997년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
 1995년 3월~1999년 1월: LG전자(주)
 1999년 1월~2003년 9월: 한국전자통신연구원 무선방송연구소
 2003년 10월~2005년 8월: 정보통신연구진흥원
 2005년 9월~현재: 국민대학교 전자공학부 교수
 [주 관심분야] 마이크로파/밀리미터파 회로(MMIC, Hybrid), 무선통신시스템, RFID/USN

윤 현 구

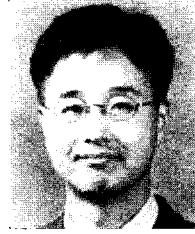


1995년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1997년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
2002년 8월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)
2002년~2004년: (주)현대시스템 선

임연구원

2004년~현재: 명지전문대학 컴퓨터전자과 조교수
[주 관심분야] 디지털 통신, 무선 자원 관리, MIMO 채널 모델링, RFID/USN

육 중 관



1987년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1989년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1996년 2월: University of Michigan (공학박사)
1997년 1월~1998년 10월: 미국 Uni-

versity of Michigan (Research Fellow)

1998년 11월~1999년 2월: Qualcomm Inc. Senior Engineer
1999년 3월~2000년 2월: 광주과학기술원 정보통신과 교수

2000년 3월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 교수
[주 관심분야] 마이크로파 소자 및 안테나, 초고주파 통신 시스템, 전자파환경(EMI/EMC), 수치해석, RF MEMS 설계, 병렬컴퓨팅

박 준 석



1991년 2월: 국민대학교 전자공학과 (공학사)
1993년 2월: 국민대학교 전자공학과 (공학석사)
1996년 8월: 국민대학교 전자공학과 (공학박사)
1998년 3월~2003년 2월: 순천향대

학교 (조교수)

2003년 3월~현재: 국민대학교 전자공학부 교수
[주 관심분야] RFIC, MMIC, LTCC, Hybrid circuit, 필터, 무선통신시스템, RFID/USN