

리더 간섭에 의한 RFID 시스템의 인식 거리 감소에 관한 연구

A Study on the Reduction of RFID System's Interrogation Range with Respect to Reader Interference

이운덕 · 김도윤 · 윤현구* · 육종관 · 장병준**

Yoon-Deock Lee · Do-Yun Kim · Hyun-Goo Yoon* · Jong-Gwan Yook · Byung-Jun Jang**

요 약

최근 UHF 대역에서 동작하는 RFID 시스템이 활발히 연구되고 있으며, 유통 물류 분야를 시작으로 다양한 분야에서 사용되고 있다. 본 연구에서는 UHF RFID 시스템의 주파수 간섭 중 RFID 시스템 설계시 가장 문제가 되고 있는 리더간 간섭을 인식 거리 측면에서 분석하였다. RFID 주파수 간섭을 정량적으로 분석하기 위하여 새로운 성능 지표로 IRRR을 정의하고, IRRR의 유용성을 보이기 위해 두 개의 RFID 리더와 하나의 태그로 구성된 측정 시스템을 구성하여 IRRR이 실제 환경의 특성을 반영하고 있음을 확인하였다. 따라서, 실제 다양한 RFID 시스템을 설치할 때 IRRR을 설계 파라미터로 사용함으로써 주파수 간섭 문제를 해결할 수 있을 것이다.

Abstract

Recently UHF RFID system has drawn a great deal of attention because of its potential to revolutionize supply chain management. In this article, RFID reader-to-reader interference is analyzed in terms of interrogation range. For evaluating RFID interference quantitatively, the new figure-of-merit, IRRR, is defined. In order to show the usefulness of IRRR, calculated IRRR is verified by measurement using two RFID readers and a tag in multiple-reader environment. IRRR can be referred to an important design parameter to analyze more complex interfering problems in actual RFID system deployments.

Key words : UHF RFID, Gen. 2 Specification, Frequency, Reader-To-Reader Interference, IRRR, Multiple-Reader Environment, Dense-Reader Environment

I. 서 론

최근에 전세계적으로 UHF 대역의 RFID 기술에 대한 관심이 증가하면서 유통 물류 분야를 시작으로 국방, 환경, 의료, 항공, IT 등 다양한 분야에 RFID 기술을 적용하려는 연구가 활발히 전개되고 있다. UHF RFID 시스템은 기존의 저주파 RFID 시스템에 비하여 긴 인식 거리와 tag 제작 가격에 있어서 유리하여, 전세계적으로 유통, 물류 등의 용도에 가장 적

합하다고 평가되고 있다. 특히 Wal-Mart와 Tesco와 같은 대형 유통회사에서는 2005년부터 RFID 보급을 가시화하고 있고, 또한 같은 해에 Gen. 2 규격이 ISO 1800-6 Type C로 규격화되면서 RFID 서비스의 확대가 가속화되었다^{[1]-[3]}. 국내에서는 RFID 응용 서비스를 물류에 국한하지 않고 전국적인 서비스로 발굴하고, 이를 유비쿼터스의 핵심 요소 기술로 활용하기 위하여 ETRI, 정보사회진흥원(NCA), 한국 RFID/USN 협회 등 관련 기관을 중심으로 2005년 2월에

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

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

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

· 논문 번호 : 20070416-044

· 수정완료일자 : 2007년 6월 14일

모바일 RFID 포럼을 창립하여 휴대폰과 RFID 기술을 융합하는 컨버전스 기술을 연구하고 있다^[4].

이와 같이 UHF RFID 시스템의 보급은 지속적으로 확대될 것으로 전망하고 있으며, 이에 따라 다수의 리더가 동일 지역에 존재하는 밀집 리더(dense reader) 환경이 일반화될 예정이다. 이에 따라 RFID 시스템 간의 주파수 간섭 문제가 중요하게 대두되고 있다. 과거 저주파를 사용하는 RFID 시스템의 경우, 자기 결합(magnetic coupling)을 사용하여 리더와 태그가 통신하므로 인식 거리가 수 cm에 불과해서 RFID 리더 사이에 간섭 문제는 심각하지 않았다. 하지만 전파를 사용하는 UHF RFID 시스템은 리더 사이에 간섭을 줄 만큼 전력 레벨이 큰 신호(~수 W)가 송신되므로 기존의 저주파 RFID에서는 크게 고려하지 않았던 주파수 간섭 문제가 매우 심각하게 대두되고 있는 상황이다^{[5],[6]}.

RFID 시스템에서 발생할 수 있는 주파수 간섭으로는 태그 간섭(tag interference), 다중 리더-태그 간섭(multiple reader-to-tag interference) 및 리더간 간섭(leader-to-leader interference)의 3가지 종류가 있다. 먼저, 태그 간섭은 태그 충돌(tag collision)이라고도 부르며, 복수개의 태그가 하나의 리더에 동시에 역산란(back-scattering) 방식으로 응답할 때 발생한다. 보통 RFID 시스템에서는 이를 극복하기 위하여 binary-tree 또는 ALOHA 방식 등의 다중 접속 방식을 규격화하고 있다^[7].

다중 리더-태그 간섭은 두 개의 리더가 하나의 태그에 동시에 접속할 경우 발생하게 된다. 태그는 자체 전지가 없으며, 리더로부터 수신한 신호로 응답을 하기 때문에 주파수를 선택할 수 없으며, 따라서 두 리더의 동작 주파수가 다를 경우에도 태그에서는 간섭이 발생하게 된다. 다행히 이 간섭은 리더 배치 시 인식 거리가 겹치지 않도록 하면 해결될 수 있으므로 고정형 RFID 시스템에서는 큰 문제가 되지 않으나, 모바일 RFID 시스템에서는 리더가 이동하므로 중요한 문제가 되고 있다. 최근에 RF shower 시스템 등, 다양한 해결 방안이 연구되고 있다^[8].

마지막으로 리더간 간섭은 동일 환경에 존재하는 리더가 동시에 동일 주파수 혹은 인접하는 주파수를 사용함으로써 발생하는 주파수 간섭으로 동일 채널

간섭(co-channel interference) 및 인접 채널 간섭(adjacent-channel interference)으로 분리할 수 있다. 동일 채널 간섭의 경우, 수 백 미터 떨어진 리더간에도 영향을 미칠 수 있으므로 RFID 시스템에서 가장 심각한 간섭이라 할 수 있다^[9].

이러한 리더간 간섭을 줄이기 위하여 최근에 다양한 시도가 제시되고는 있으나, 아직 리더간 간섭에 대한 정량적인 분석이 부족한 실정이다. 현재까지 발표된 논문에서는 리더간 간섭을 리더 충돌(leader collision)의 개념으로 분석하여 리더간 간섭이 발생하면 태그를 인식하지 못한다고 알려진 실정이며, 최근에야 리더간 간섭이 SIR(Signal-to-Interference Ratio)을 감소시켜 인식 거리가 감소될 수 있다는 논문이 발표된 정도이다^[10].

따라서 본 논문에서는 리더간 간섭을 정량적으로 분석하기 위하여 IRRR(Interrogation Range Reduction Ratio)이라는 새로운 성능 지표를 도입하고 이를 통해 리더간 간섭의 효과를 분석하고자 한다. 또한, 제시된 개념을 다양한 RFID 동작 환경에서 시뮬레이션과 측정을 통해 검증하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 UHF RFID 시스템에서 발생하는 주파수 간섭을 설명하고, 이를 나타내는 성능 지표로 IRRR 개념을 제시한다. 3장에서는 두 개의 RFID 리더와 하나의 태그로 구성된 측정 시스템을 구성하여 IRRR을 측정하고 이를 시뮬레이션 결과와 비교하여 IRRR의 타당성을 확인하고, 마지막으로 4장에서 결론을 맺었다.

II. RFID 주파수 간섭 및 IRRR

RFID 시스템은 원하는 정보를 얻기 위한 리더와 고유한 정보를 저장하고 있는 태그로 구성되고, 정보의 전송 방향에 따라 그림 1에 나타난 바와 같이 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. 역방향 링크는 태그가 리더로부터 수신한 CW 신호를 바탕으로 역산란 과정을 거쳐 리더의 수신부에 태그 신호가 도달할 때까지의 과정을

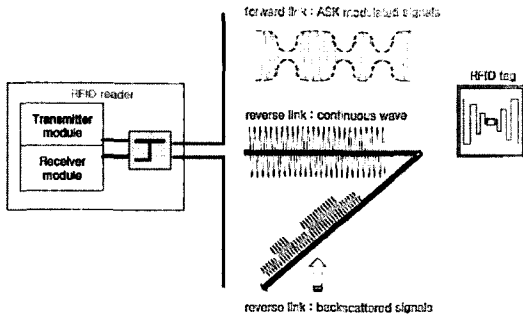


그림 1. RFID 시스템에서의 순방향 링크와 역방향 링크
Fig. 1. A forward link and reverse link in a RFID system.

의미한다^[11].

RFID 시스템이 기존의 통신 시스템과 차이가 나는 가장 큰 특성 중에 하나가 순방향 링크와 역방향 링크 사이에 가역성(reciprocity)이 성립하지 않는다는 점이다. 이는 순방향 링크의 전송거리가 역방향 링크의 전송 거리보다 매우 큼을 의미하며, 일반적으로 UHF 대역의 RFID의 경우, 역방향 링크는 수 m의 전송 거리를 가지나 순방향 링크의 경우, 자유공간을 가정하면 수 km까지도 신호가 도달될 수 있다. 이러한 링크 비대칭으로 인해 하나의 리더로부터 송신되는 신호는 다른 리더에 간섭을 줄 수 있으며, 이러한 현상은 리더의 인식 영역(interrogation range)이 겹치지 않아도 발생한다.

리더간 간섭에 대한 자세한 설명이 그림 2에 나타나 있다. 하나의 리더가 간섭 리더의 간섭 영역 안에 놓여 있으며, 두 개의 리더는 동일한 주파수를 사용하고 있다고 가정하면, 태그로부터 원하는 리더(desired reader)로 역산란되는 신호와 인접한 간섭 리더(interfering reader)의 순방향 신호의 비는 SIR로 표현할 수 있다. 이 SIR 값이 리더 수신기의 복조기에서 요구되는 최소 SIR보다 작다면 리더 수신기는 태그로부터 역산란 신호를 복조할 수 없게 된다.

이러한 리더간 간섭 현상을 정량적으로 분석하기 위하여 그림 2와 같이 두 개의 리더와 하나의 태그로 이루어진 간섭 모델을 고려한다. 두 리더 사이의 거리는 d 이고, R_{max} 는 간섭 리더가 없을 경우 원하는 리더가 태그를 인식할 수 있는 인식 거리(interrogation range)라 한다. 여기서는 무지향성 안테나를

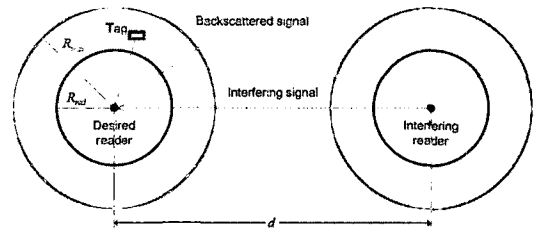


그림 2. RFID 시스템에서의 리더간 간섭
Fig. 2. Reader-to-reader interference in UHF RFID system.

가정하였으므로, 인식 거리는 그림에서처럼 원형의 형태를 갖는다. 이때 간섭 리더가 존재할 경우, SIR이 감소하므로 실제 인식 거리는 R_{red} 로 줄게 된다.

태그로부터 수신되는 역산란 신호는 자유공간의 경로 손실 모델인 Friis 공식으로부터 다음 식 (1)과 같이 주어진다^[16].

$$P_S(x) = \alpha_{BW} E_{tag} P_{TX} G_T G_R \times 10^{2 \times PL(x)/10} \quad (1)$$

여기서, P_{TX} 는 리더의 송신 전력을 의미하고, α_{BW} 는 역산란 신호의 전체 전력과 채널 대역으로 전송되는 역산란 신호의 전력 비를 나타낸다. 또한 $PL(x)$ 는 원하는 리더와 태그 사이의 거리 x [m]로 표현된 경로 손실, E_{tag} 는 태그의 유효 전력 반사 계수를 나타낸다. 태그로부터의 수신 신호는 순방향과 역방향 양쪽으로 경로 손실을 가지므로 총 경로 손실은 $PL(x)$ 의 두 배의 경로 손실을 갖는다. 또한 G_T 와 G_R 는 각각 송신 안테나와 수신 안테나의 이득이 된다. 식 (1)에서 원하는 리더와 태그 사이의 경로는 가시 거리(LOS: Line-Of-Sight)이며, 수 m로 짧은 거리이므로 페이딩 효과는 무시된다.

그리고 간섭 전력은 다음 식 (2)와 같이 주어진다^[16].

$$I(d) = h P_{TX} \alpha_{mask} G_T G_R \times 10^{PL(d)/10} \quad (2)$$

여기서, 간섭 전력은 원하는 리더와 간섭 리더간의 채널에서 존재하는 채널 페이딩 효과 h 를 포함하며, 경로 손실은 원하는 리더와 간섭 리더 사이 거리 d 의 함수로 표현된다. 또한 사용된 스펙트럼 마스크(α_{mask})는 EPCglobal class 1 generation 2(EPCglobal C1G2) 규격에 명시된 마스크를 사용한다^[14].

이제 리더 수신부에서의 SIR 값은 열잡음 N 을 포함하여 다음과 같이 계산할 수 있다^[16].

$$SIR(x, d) = \frac{P_s(x)}{I(d) + N} \quad (3)$$

식 (3)은 SIR에 대한 수식이므로 이는 계측기 없이 RFID 시스템에서 직접 측정하기 어려운 값이다. 따라서, 본 논문에서는 계측기 없이 측정이 가능하며, 실제 환경에서 리더와 태그만으로도 측정할 수 있는 새로운 성능 지표를 도입한다. 먼저 SIR이 어떤 주어진 임계값, V_{TH} 이상이면 리더의 수신기는 간섭 신호가 있어도 복조할 수 있다고 가정한다. 임계값 V_{TH} 는 태그에서 사용된 인코딩 방법과 수신기의 BER 특성에 의해 결정된다. 따라서 x 와 d 의 함수로서 감소된 인식 거리 R_{red} 를 정의할 수 있다. 이것은 주어진 d 에 대하여 $SIR(x, d) \geq V_{th}$ 를 만족하는 x 값 중 최대값을 R_{red} 로 정의하는 것이다.

$$R_{red} = \arg \max_{0 < x < R_{max}} SIR(x, d) \geq V_{th} \quad (4)$$

이상의 수식으로부터 원하는 리더의 인식 거리에 있어 간섭 리더의 영향을 평가하기 위한 평가 지표로서 $R_{max} - R_{red}$ 와 R_{max} 와의 비로서 IRRR(Interrogation Range Reduction Ratio)를 정의할 수 있다.

$$IRRR = \frac{R_{max} - R_{red}}{R_{max}} \times 100[\%] \quad (5)$$

식 (5)의 IRRR이 0 %라는 의미는 원하는 리더가 최대 인식 거리 R_{max} 의 영역 내의 모든 태그를 인식할 수 있다는 의미가 되며, 두 리더간에 간섭이 없음을 나타낸다. 마찬가지로 IRRR이 100 %라는 의미는 원하는 리더가 간섭에 의해 태그를 전혀 인식할 수 없음을 의미한다.

III. 시뮬레이션 및 측정 결과

제2장에서는 RFID 간섭 문제를 해결하기 위한 간섭 모델을 제시하였으며, 간섭의 영향을 평가하는 평가 지표로 IRRR을 도입하였다. 본 장에서는 실험 및 측정에 의해 제안된 IRRR이 타당한지를 검증하고자 한다. 특히 리더간 간섭에서 주파수 영향을 분석하기 위하여 두 개의 리더가 동일 채널에서 동작

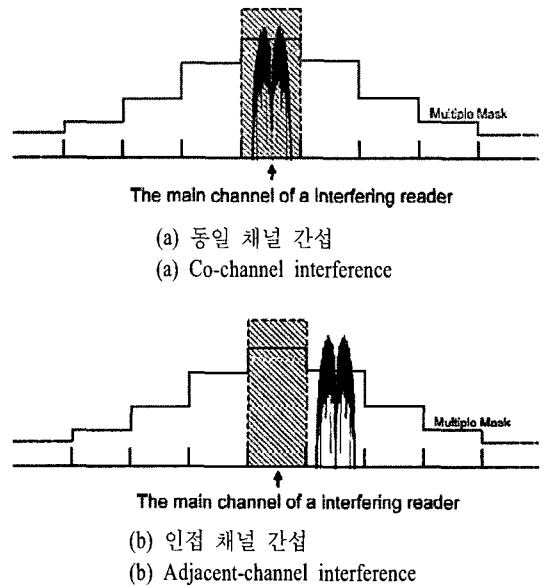


그림 3. 다중 리더 환경에서의 채널 할당
Fig. 3. Channel allocation in a multiple-reader environment.

하는 경우(Co-Channel Interference: CCI)와 인접 채널에서 동작하는 경우(Adjacent-Channel Interference: ACI)를 모두 고려하여 확인하였다. 그림 3에 동일 채널의 경우와 인접 채널의 경우의 리더의 채널과 태그의 주파수 스펙트럼을 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 동일 채널의 경우가 간섭 리더의 순방향 신호의 스펙트럼과 태그의 역산란 신호의 스펙트럼이 겹치므로 간섭이 발생할 수 있음을 알 수 있다. 인접 채널의 경우, 간섭의 효과는 동일 채널의 경우보다는 작지만 간섭 리더의 인접 채널 전력량(Adjacent Channel Power Ratio: ACPR)이 존재하므로 적은 양이나마 간섭이 발생할 수 있음을 알 수 있다.

시뮬레이션 및 측정에 사용된 파라미터는 다음 표 1과 같으며, 기본적으로 미국의 ISM 대역에서 동작하는 경우를 고려하였다. 국내의 경우는 채널 간격이 200 kHz이므로 동일한 코딩 방식을 사용하는 경우, 간섭 확률은 미국보다 더 심각할 수 있다. 시뮬레이션의 경우, 식 (3)과 식 (4)로부터 R_{red} 를 계산하였으며, 경로 손실 모델로는 자유 공간에서의 경로 손실 모델을 사용하였고, 스펙트럼 마스크는 EPCglobal C1G2의 다중채널 마스크를 사용하였다. 채널 대역폭은 미국 RFID 채널 대역폭인 500 kHz를

표 1. 시뮬레이션 및 측정 파라미터

Table 1. Simulation and measurement parameters.

Parameters	Values
Channel bandwidth	500 kHz
Transmit power(P_{TX})	30 dBm
arget SIR(V_{TH}), (BER 10^{-5} 기준)	11.6 dB
Tag's power reflection coefficient(E_{tag})	0.1
Noise figure	10 dB
α_{BW}	0.856
α_{mask}	CCI: 0 dB ACI: -20 dB
Fading coefficient(h)	고려 안함 (LOS 가정)
FM0 data rate	50 kbps
Antenna gain($G_T=G_R$)	6 dBi
Tag's antenna height(H_{tag})	1.5 m
Reader's antenna height(H_{reader})	1.5 m

사용하였으며, 태그는 50 kbps의 데이터율을 갖는 FM0 코딩 방식으로 응답하는 경우를 고려하였다.

측정은 시뮬레이션과 동일한 조건으로 리더의 파라미터를 조절하였다. 측정에 사용된 리더는 ETRI에서 제작된 UHF 대역의 리더를 사용하였으며, 태그는 Alien사의 tag를 사용하였다. 실제 리더는 주파수 호핑을 하므로 간섭의 정도가 시간에 따라 변하게 된다. 따라서 정밀한 IRRR 값을 측정하기 위해 리더의 주파수를 단일 주파수로 고정하였고, 간섭 리더의 경우는 지속적으로 command 신호(여기서는 select 명령어) 만을 전송하도록 하여 간섭을 지속적으로 주도록 설정하였다.

IRRR의 유용성을 검증하기 위한 측정 장비의 구성도는 그림 4(a)와 같으며, 그림 4(b)의 측정 장면을 도시하였다. IRRR을 측정하는 측정 과정은 다음과 같다.

- 1) 태그를 원하는 리더로부터 초기 거리(1 m)에 위치시킨다.
- 2) 리더가 태그를 인식함을 확인한 후 태그의 위치를 이동해 최대 인식 거리 R_{max} 를 측정한다.
- 3) 무반향실의 크기 제한으로 간섭 리더를 고정된 위치(10 m)에 위치시키고 감쇄기를 이용하여 간섭 전력을 조절한다.

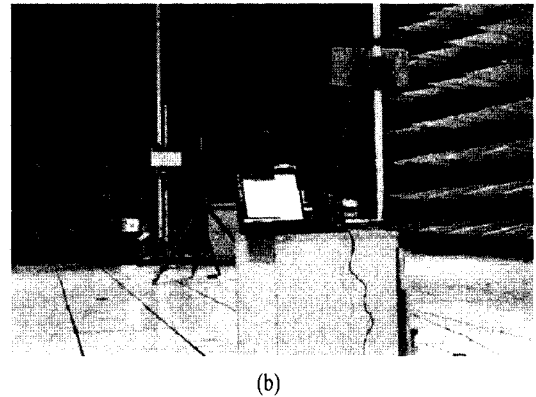
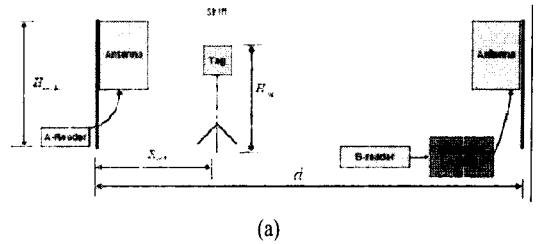


그림 4. (a) IRRR 측정 구성도, (b) IRRR 측정 도시
Fig. 4. (a) Measurement method of IRRR, (b) measurement in the anechoic chamber.

- 4) 간섭 리더를 ON시키고 리더가 태그를 수신하는지를 확인한다.
- 5) 간섭이 있는 경우, 줄어든 인식 거리 R_{red} 를 측정한다.
- 6) 감쇄기의 감쇄량을 조절하여 1)에서 5)까지를 반복한다.

리더의 최대 인식 거리 R_{max} 는 간섭이 없는 경우 4.25 m였으며, 리더와 리더 사이의 거리의 함수로서 IRRR 값을 동일 채널의 경우와 인접 채널의 경우에 대해 측정하였다. 그림 5에 측정 결과와 시뮬레이션 결과를 비교하여 나타내었다. 시뮬레이션과 측정 결과를 동일한 조건에서 비교하기 위하여 감쇄기에 의한 감쇄량을 자유 공간에서의 경로 손실로 변환하여 표시하였으며, 이는 무반향실 조건이므로 타당한 가정이다. 주파수 간섭이 존재하지 않는 경우의 두 리더간 이격거리는 동일 채널의 경우 1,200 m이고, 인접 채널의 경우 35 m로 측정되었다. 이로부터 RFID를 설치할 경우, 인접 리더 간에는 동일 채널이 할당되지 않도록 하거나 두 리더 사이의 거리를 충분히 이격하여야 함을 알 수 있다. 또한 IRRR은 리더간 거

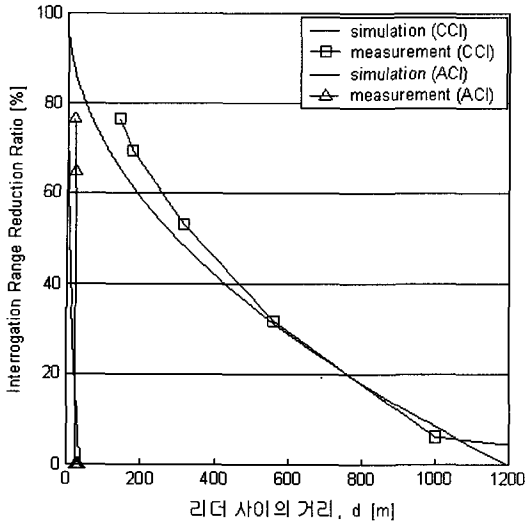


그림 5. IRRR 측정 결과와 시뮬레이션 결과
Fig. 5. Simulation and measurement results of IRRR.

리에 반비례하여 감소됨을 확인할 수 있었으며, 측정 결과와 시뮬레이션 결과가 유사함을 확인하였다. 측정 결과와 시뮬레이션 결과가 차이가 나는 것은 실제 전파 감쇄가 무반사실에 존재하는 측정 장비 및 기구물에 의해 정확히 자유 공간의 경로 손실을 100 % 따르지 않고, 실제 태그 및 리더의 스펙트럼 마스크가 리더의 제작 방법에 따라 시뮬레이션 조건과 동일하지 않으며, 리더 수신기의 복조 성능도 시뮬레이션과 일부 차이가 있기 때문인 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 UHF RFID 시스템에서의 주파수 간섭 중 리더간 간섭을 정량적으로 분석하였다. 리더간 간섭을 정량적으로 분석하기 위하여 간섭 모델을 제시하고 이를 수식으로 표현하여 SIR 개념에 기반한 성능 지표인 IRRR 값을 유도하였다. 본 논문에서 제시한 IRRR 값은 RFID 시스템 설치 시 발생하는 리더간 간섭의 양을 정량적으로 제시할 수 있으며, 이는 실제 실험환경을 무반사실에서 구축함으로써 확인할 수 있었다. 본 연구의 결과는 UHF RFID 시스템에서 발생하는 주파수 간섭 문제를 정량적으로 분석한 논문으로서 국내 RFID 도입 활성화에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 장병준, 안선일, 이윤덕, "RFID/USN 기술개발 동향", 정보과학회지, 23(2), pp. 83-87, 2005년 2월.
- [2] 표철식, 채종석, 김창주, "RFID 시스템 기술", 한국전자과학회전자과기술지, 15(2), pp. 21-31, 2004년 4월.
- [3] Y. Bendavid, S. F. Wamba, and L. A. Lefebvre, "Proof of concept of an RFID-enabled supply chain in a B2B e-commerce environment", in *Proceedings of the 8th International Conference on Electronic Commerce(ICEC'06)*, pp. 564-568, 2006.
- [4] 장병준, 이윤덕, "모바일 RFID 기술 동향 및 주요 이슈", IITA 주간기술동향 1206호, pp. 31-40, 2005년 7월.
- [5] 장병준, 박준석, 성영락, 오하령, "RFID dense 모드 지원을 위한 medium access 기술", 한국통신학회지, 23(12), pp. 17-28, 2006년.
- [6] D. W. Engels, S. E. Sarma, "The reader collision problem", in *Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 3, pp. 92-97, 2002.
- [7] Feng Zhou, Chunhon Chen, Dawei Jin, Chenling Huang, and Hao Min, "Evaluating and optimizing power consumption of anti-collision protocols for applications in RFID systems", in *Proceedings of the International Symposium on Low Power Electronics and Design*, pp. 357-362, 2004.
- [8] 안시영 외, "모바일 RFID 시스템의 인식 거리 확대를 위한 전력공급용 RF Shower 시스템 개발", 한국통신학회논문지, 32(1), pp. 91-100, 2006년.
- [9] K. S. Leong, M. L. Ng, A. R. Grasso, and P. H. Cole, "Synchronization of RFID readers for dense RFID reader environments", in *Proceedings of the 2006 International Symposium on Applications and Internet Workshop(SAINT'06)*, pp. 48-51, 2006.
- [10] K. Cha, A. Ramachandran, and S. Jagannathan, "Adaptive and probabilistic power control algorithms for dense RFID reader network", in *Proceedings of the 2006 IEEE Conference on Networking, Sensing and Control(ICNSC'06)*, pp. 474-479,

2006.

- [11] www.m-lab.ch/auto-id/SwissReWorkshop/Fudan, "System modeling and Simulation of RFID".
- [12] www.thingmagic.com, "Generation 2 - A user guide".
- [13] www.impinj.com, "The Gen 2 Story - Charting the path to RFID that just works™".
- [14] www.alientechnology.com, "EPCglobal Class 1

Gen 2 RFID Specification".

- [15] Klaus Finkenzeller, *RFID Handbook*, second edition, John Wiley & Sons, 2003.
- [16] D. Y. Kim, B. J. Jang, H. G. Yoon, J. S. Park, and J. G. Yook, "Effects of reader interference on the RFID interrogation range", in *the 2007 European Conference on Wireless Technology(EcWT'07)*.

이 윤 덕



1975년~1979년: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
 1987년~1989년: 연세대학교 산업전산학과 (공학석사)
 1987년~2003년: 삼성전자 정보통신연구소 수석연구원
 2003년~현재: 정보통신연구진흥원

RFID/USN 전문위원

2007년~현재: 연세대학교 전기전자공학과 박사과정
 [주 관심분야] Mobile Communication, Positioning, Location Identification Telematics, Intelligent Vehicle, RFID/USN

윤 현 구

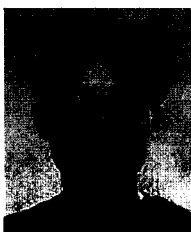


1995년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1997년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 2002년 8월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)
 2002년~2004년: (주)현대시스콤 선

임연구원

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

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

RFID/USN 전문위원

육 중 관

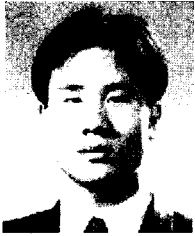


1987년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1989년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1996년 2월: University of Michigan (공학박사)
 1997년 1월~1998년 10월: 미국 University of Michigan (Research Fellow)

RFID/USN 전문위원

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

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