

컴프레시브 수신기가 내장된 RFID 리더의 채널 충돌 회피 성능 분석

Analysis of Channel Collision Avoidance Performance of RFID Reader with Compressive Receiver

조원상 · 박동철*

Won Sang Jo · Dong Chul Park*

요약

본 논문에서는 컴프레시브 수신기가 내장된 RFID 리더의 주파수 충돌 회피 성능을 분석하였다. 다수의 밀집 리더가 동시에 운영되는 환경에서 기존 RFID 리더의 인식률과 컴프레시브 수신기가 적용된 우리가 제안하는 RFID 리더의 인식률을 측정하였다. 시험 결과 제안된 RFID 리더의 인식률은 기존 리더에 비해 2.7배 정도 개선되었고, 특히 제안된 리더들로만 운영되는 환경에서는 인식률의 저하가 거의 나타나지 않았다.

Abstract

In this paper, the interference avoidance performance of the RFID reader with the compressive receiver was analyzed. In the environment of the multiple dense readers operating, the recognition rates of the conventional RFID reader and the proposed RFID reader with the compressive receiver were measured and compared. The recognition rate of the proposed reader was improved more than 2.7 times compared to the conventional reader. Especially, in the environment of two proposed RFID readers operating simultaneously, little degradation of the recognition rate was observed.

Key words : RFID, Compressive Receiver, RFID Reader, Interference Avoidance

I. 서론

UHF 대역의 RFID 기술에 대한 관심과 활용 분야가 급격히 증가하면서 할당된 채널 수 이상의 리더가 동일 공간에 존재하는 밀집 리더(dense reader) 환경이 일반화되고 있으며, 이로 인해 RFID 시스템의 주파수 간섭 문제가 매우 중요한 문제로 대두되고 있다^[1]. 특히 주파수 호핑(Frequency Hopping: FH) 방식을 사용하는 UHF 대역 RFID 시스템에 902 MHz에서 928 MHz까지 26 MHz 대역이 할당된 북미 지역과는 달리 국내에서는 FH를 사용하는 RFID에 할

당된 주파수 대역은 917 MHz에서 920.5 MHz까지 3.5 MHz에 불과해, 주파수 간섭 문제가 국내에서 더욱 심각하다.

UHF 대역 RFID에서 발생할 수 있는 주파수 간섭의 경우는 여러 가지가 있을 수 있으나, RFID 시스템 운영에 가장 심각한 영향을 미치는 간섭은 리더간 간섭(reader-to-reader interference)이다. 리더간 간섭은 서로 다른 리더가 동일한 채널의 주파수를 사용하거나 인접한 채널을 사용할 경우에 발생되는데, 국내에서 허용된 RFID 리더의 출력 세기는 4 W 정도로 수 백 미터 떨어진 리더간에도 영향을 미칠 수

(주)빅텍기술연구소(Victek Co. Ltd., R&D Center)

*충남대학교 전자공학과(Department of Radio Science & Engineering, Chungnam National University)

· 논문 번호 : 20100303-012

· 교신저자 : 박동철(e-mail : dcpark@cnu.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 4월 5일

있다^[2]. 그림 1에 RFID 시스템의 리더간 간섭 개념을 나타내었다. 예를 들어 하나의 리더가 태그와 통신할 때, 태그의 응답(back-scattering) 신호 세기는 보통 -70 dBm인 반면 10 m 떨어진 지점에 위치한 다른 리더가 방사한 간섭 신호 세기는 약 -17 dBm이다. 만약 두 리더가 동일한 주파수를 사용한다면 태그의 응답 신호는 근처 리더의 신호에 간섭을 받아 고유의 정보를 잃게 되고, 결국 통신이 불가능하게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위해 RFID 시스템의 국제 규격인 EPC Global Class1, Gen2 기술 기준에서는 채널 점유 대역폭이 200 kHz 미만인 밀집 모드 리더(dense mode reader) 기능을 정의하였으며, 국내 무선설비 기술 기준에서는 그림 2처럼 RFID 리더 송신채널을 6개로 지정하기도 하였다^[3]. 그러나 이러한 방법은 리더간 간섭의 확률을 줄일 수는 있지만 근본적인 해결책은 될 수 없다. 또한 RFID 시스템에 별도의 통신 장치나 동기화 장치를 두어 리더간 간섭 문제를 해결하는 방법들도 연구되고 있으나^[4], 복잡한 제어 알고리즘과 제작의 어려움으로 인해 많이 사용되지 못하고 있다.

이에 본 연구팀은 참고문헌 [5]와 [6]에서 소개한 컴프레시브 수신기를 RFID 리더에 적용하여 리더간 간섭 문제를 해결하고자 하였다. 국내에서 주파수 호핑 방식을 이용하는 RFID 시스템에 할당된 채널 수와 동일한 6개의 리더가 근접한 거리에서 동시에 운영되는 환경을 구성하였고, 시험을 통해 기존 RFID 리더와 컴프레시브 수신기가 적용된 리더의 인식률을 비교 측정하였다. 이를 통해 제안된 시스템이 실제 밀집 환경에서 적합하게 운용될 수 있음을 보이고자 한다. 이를 위해 본 논문의 2장에서는 리더간 간섭 정의와 기준에 제시되었던 리더간 간섭 모델을 제시하고, EPC Global Class1, Gen2에서 정의한 밀집 리더 모드 운영 환경에서 근사화된 채널 충돌 회피 확률을 제시하였다. 3장에서는 RFID 리더의 채널 충돌을 회피하기 위한 방법으로 컴프레시브 수신기가 적용된 시스템의 구성과 동작 알고리즘을 기술하였다. 4장에서는 제안된 리더와 일반 리더들의 인식률 비교 시험을 통해 제안된 시스템의 타당성을 확인하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺었다.

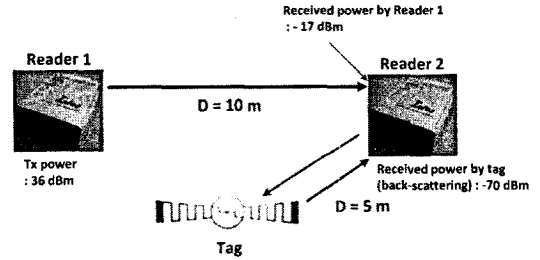


그림 1. RFID 시스템에서 리더간 간섭 개념
Fig. 1. Reader-to-reader interference concept.

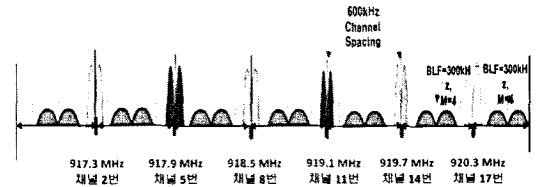


그림 2. 국내 UHF 대역 RFID 주파수 할당
Fig. 2. UHF-band RFID frequency allocation in Korea.

II. 리더간 채널 충돌 회피 확률

2-1 리더간 간섭 모델

수동형 RFID 태그는 배터리와 같은 자체 동력을 갖고 있지 않기 때문에 리더로부터 전달된 고주파 신호 에너지를 동력원으로 사용해야 한다. 이를 위해 리더는 태그에 전원을 공급하고 정보를 얻기 위해 CW(Continuous Wave) 신호를 통신이 종료할 때까지 주기적으로 송신해야 하고, 태그의 역산란(back scattering) 신호를 수신한다. 따라서 리더간 간섭을 회피하기 위해서는 리더-태그간 통신이 완료될 때까지 다른 리더가 해당 채널을 침범하지 않도록 해야 한다.

RFID처럼 역산란된 미약한 신호를 통해 정보를 획득하는 경우, 리더가 태그의 정보를 정확하게 인식하기 위해서는 최소한의 신호대 간섭비(Signal to Interference Ratio: SIR)를 확보해야 한다.

그림 1의 reader 2가 태그로부터 수신하는 역산란 신호의 세기를 P_2^{bs} 라 하면 이는 식 (1)과 같이 정의된다^[7].

$$P_2^{bs} = \frac{\alpha_{BW} E_{tag} P_2 G_{T2} G_{R2} \lambda^4}{(4\pi)^4 d^4} \quad (1)$$

여기서 P_2 는 reader 2의 전송 신호 세기, d 는 리더와 태그간 거리, λ_2 는 reader 2 전송 신호의 파장, G_{T2} 는 전송 안테나의 이득, G_{R2} 는 수신 안테나의 이득, E_{tag} 는 태그의 유효 전력 반사 계수, 그리고 α_{BW} 는 역산란 신호의 전체 전력과 채널 대역으로 전송되는 역산란 신호의 전력비를 나타낸다.

그림 1에서 reader 1이 reader 2에 미치는 간섭 신호의 세기 I_{21} 는 식 (2)와 같이 정의된다^[7].

$$I_{21} = \frac{h_{21}P_1\beta_{mask}G_{T1}G_{R1}\lambda_1^2}{(4\pi)^2d_{21}^2} \quad (2)$$

여기서 P_1 은 reader 1의 전송 신호 세기, d_{21} 는 리더간 거리, λ_1 는 reader 1 전송 신호의 파장, G_{T1} 는 전송 안테나의 이득, G_{R1} 는 수신 안테나의 이득, h_{21} 은 reader 1과 2 사이의 페이딩 계수, 그리고 β_{mask} 는 시스템에서 사용되는 스펙트럼 마스크(spectrum mask) 레벨을 나타내며, 동일 채널에서 최대 값을 갖는다.

리더가 태그의 정보를 정확하게 인식하기 위한 최소 신호대 간섭비(Signal to Interference Ratio: SIR)를 S_{th} 라 하면 식 (1)과 (2)의 관계에 의해 식 (3)과 같은 조건을 만족해야 한다^[7].

$$\frac{P_2^{ts}}{I_{21}} = S_2 \geq S_{th} \quad (3)$$

그러나 일반적인 환경에서 하나의 리더는 다른 여러 개의 리더들로부터 간섭 신호를 받기 때문에 주변에 존재하는 모든 리더들의 간섭 신호를 모두 더해야 최종적인 간섭 신호 세기가 된다. 이때, 시분할 방식을 적용하여 각 리더가 동작하는 시간을 다르게 함으로써 리더간 간섭을 줄일 수 있다. 만약 임의의 리더 i 가 k 번째 시간 슬롯에서 동작한다고 하면, 동일 슬롯에서 동작하는 모든 리더들의 신호 세기 합이 간섭 신호원이 되므로 리더 i 가 받는 간섭 신호 세기는 식 (4)와 같이 정의할 수 있다^[7].

$$I_i^k = \sum_{j=1, j \neq i}^M \gamma_j^k I_{ji}(d_{ji}) + N_i$$

$$\gamma_j^k = \begin{cases} 1 & \text{if reader } j \text{ has } k^{th} \text{ slot} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

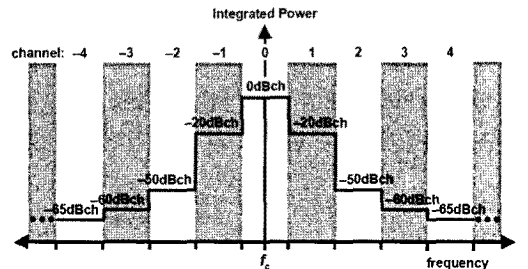
여기서 M 은 전체 리더의 개수, N_i 는 리더 i 가 받는 모든 잡음값을 나타낸다.

식 (2)와 (4)로부터 임의의 리더가 받는 간섭 신호의 세기는 리더간 거리, 할당된 채널, 시간 슬롯에 관계되며, 무작위로 배치되어 있는 리더들에게 최적의 채널과 시간 슬롯 그리고 송신 신호 세기를 할당하는 문제는 수많은 해의 집합을 갖는 해결하기 어려운 문제이다^[7].

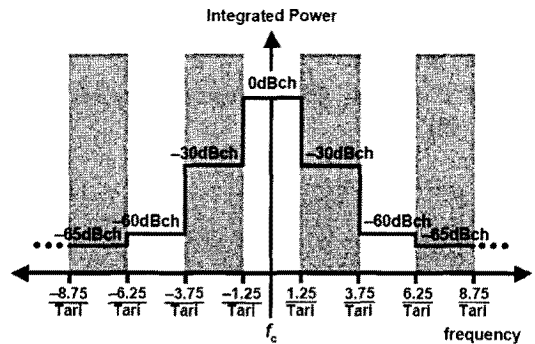
2-2 스펙트럼 마스크와 태그 응답

EPC Global Class1, Gen2 규격에서는 인접 채널 간섭 문제로 리더의 스펙트럼 마스크를 크게 다중 리더 스펙트럼 마스크와 밀집 리더 스펙트럼 마스크로 구분하여 정의하였다^[8]. 그림 3에 EPC Global에서 정의한 스펙트럼 마스크 형태를 나타내었다.

밀집 리더 스펙트럼 마스크는 설정 기준이 그림 3 (b)처럼 'Tari'로 정의된다. 따라서 밀집 리더의 점유 대역폭은 Tari 값에 의해 결정되며, 국내 기술 기준에 의해 200 kHz를 초과하지 않도록 설계되어야 한다. 본 논문에서는 Tari가 25 μ s인 밀집 리더를 기준으



(a) 다중 리더 스펙트럼 마스크
(a) Multi-reader spectrum mask



(b) 밀집 리더 스펙트럼 마스크
(b) Dense reader spectrum mask

그림 3. 리더 운영 환경에 따른 스펙트럼 마스크
Fig. 3. Spectrum mask of reader environments.

로 시험하였으며, 태그는 62.5 kbps의 데이터율을 갖는 miller-4 코딩 방식으로 응답하는 경우를 고려하였다.

2-3 신호원 별 수신 전력

표 1은 리더와 태그간 순방향, 역방향 링크 버짓을 나타낸 것이다. 리더와 태그간의 거리는 0.5 m로 하였고, 리더의 송신출력은 안테나 이득을 합하여 23 dBm으로 정하였다. 이는 좁은 시험 환경을 고려하여 다중 리더 태그간 간섭(multiple reader to tag interference)이 발생하지 않도록 리더의 인식 거리를 최대 1.5 m 이내로 제한하기 위해 설정된 값이다. 태그의 반사 효율은 태그마다 다르지만 본 논문에서는 -14 dB로 가정하였다. 이러한 조건에서 리더가 수신하는 태그의 역산란 신호 세기는 약 -38.2 dBm이다.

태그의 link frequency가 250 kHz이므로 그림 4에 나타난 리더의 IF 수신 필터가 320 kHz의 차단 주파수를 갖는 4차 elliptic 저역 통과 필터라면 필터의 응답 특성은 그림 5와 같고, 국내에서 리더간 채널 간격으로 정의한 600 kHz 부근의 삽입 손실은 약 42 dB이다. 따라서 리더간 거리가 2 m이고, 송신 출력 및 안테나 이득이 표 1과 같다면, 600 kHz 떨어진 주파수를 사용하는 타 리더에 의해 수신되는 신호의

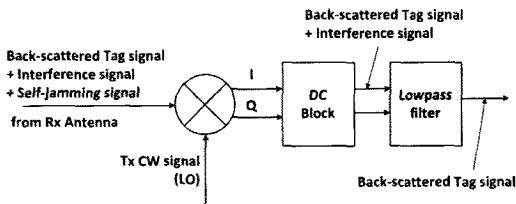


그림 4. 리더의 IF 수신 필터 구성 및 역할
Fig. 4. IF receiving filter structure and function of RFID reader.

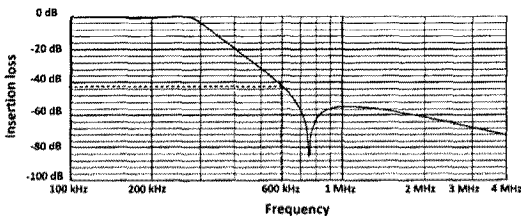


그림 5. 4차 elliptic 저역 통과 필터의 응답 특성
Fig. 5. Frequency response of 4th order elliptic low pass filter.

표 1. 리더 태그 간 링크 버짓
Table 1. Link budget of reader to tag.

Parameters	Values
Frequency	912 MHz
Reader output power	17 dBm
Reader Tx antenna gain	6 dBi
Path loss at 0.5 m	-25.6 dB
Tag antenna gain	2 dBi
Receive power at tag	-0.6 dBm
Tag efficiency	-14 dB
Back scattered power at tag	-14.6 dBm
Received power at reader	-38.2 dBm

표 2. 간섭 리더에 의한 수신 신호 세기
Table 2. Received interference signal level.

Parameters	Values
Frequency	912 MHz
Reader output power	17 dBm
Reader Tx antenna gain	6 dBi
Path loss at 2 m	-37.6 dB
Reader Rx antenna gain	6 dBi
Filter insertion loss	-42 dB
Output power of reader 2's LPF	-50.6 dBm

세기는 표 2와 같이 계산된다.

이는 두 리더의 안테나가 서로 boresight를 바라보고 있다고 가정한 것이며, 만약 각 리더의 안테나 방향이 달라지면 안테나 이득만큼 수신되는 신호의 세기는 더욱 약해진다.

ASK 변조 방식을 사용하는 RFID 시스템에서 Bit Error Rate(BER)가 10^{-5} 이하인 조건을 만족하기 위한 최소 SIR은 약 11.6 dB이므로^[9] 표 1과 2의 결과에 의해 600 kHz 이상 떨어진 다른 채널을 사용하는 타 리더에 의한 간섭은 무시할 수 있다. 따라서 식 (2)와 (4)에서 정의한 간섭 신호의 세기는 동일 채널을 사용하는 리더로 한정하여 단순화 시킬 수 있다.

2-4 리더간 채널 충돌 회피 확률

앞서 언급하였듯이 우리나라처럼 리더의 송신 채널을 고정한 경우, 리더간 간섭은 동일 채널 간섭 (Co-Channel Interference: CCI)에 의한 것으로 판단할

수 있으며, 인접 채널 간섭(Adjacent Channel Interference: ACI)은 무시할 수 있다.

따라서 리더간 간섭을 일으킬 수 있는 공간 내에 n 개의 리더가 운영되고 k 개의 주파수 호핑 채널이 할당되었다면, 리더간 채널 충돌을 회피할 확률은 리더가 할당 채널을 점유할 수 있는 경우의 수로 연산할 수 있으므로 식 (5)와 같다. 다만, 리더의 주파수 호핑 시간 사이에 존재하는 휴지 시간에 다른 리더가 동작하는 경우는 고려하지 않고, 리더간의 거리가 매우 가까워 채널 충돌시 리더의 인식률은 '0'으로 가정한다.

$$P(k, n) = \frac{kP_n}{k^n} \quad \text{for } k \geq n$$

$$P(k, n) = 0 \quad \text{for } k < n \quad (5)$$

여기서 kP_n 는 n 개의 리더가 k 개의 채널에서 중복을 하지 않고 채널을 선택할 경우의 수를 의미한다.

그러나 만약 송신 전 채널의 점유 상태를 스스로 파악할 수 있는 리더가 n 개 중에 α 개가 존재하고, $n-\alpha$ 개의 기존 리더에 의해 채널이 점유된 상태에서 송신 전 채널 감시가 가능한 리더가 동작할 경우, 주파수 탐지가 가능한 α 개의 리더는 점유된 채널을 능동적으로 회피하므로 간섭 회피 확률은 식 (6)과 같게 된다.

$$P(k, n, \alpha) = \frac{kP_{n-\alpha}}{k^{(n-\alpha)}} \quad \text{for } k \geq n$$

$$P(k, n, \alpha) = 0 \quad \text{for } k < n \quad (6)$$

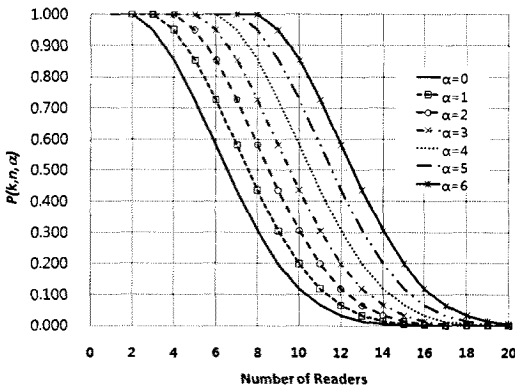


그림 6. 채널이 20개일 때 리더의 수에 따른 채널 충돌 회피 확률

Fig. 6. Probability of channel collision avoidance vs. reader number when $k=20$.

따라서 동작 영역 내에 송신 전 채널 감시가 가능한 리더만 존재하고, 리더의 수가 채널수보다 작다면 이론적으로 리더간 간섭 확률은 없다. 그림 6은 채널과 리더 수에 따른 간섭 회피 확률을 식 (5)와 (6)을 이용하여 계산한 결과이다. 채널과 리더 수에 따른 간섭 회피 확률의 경향을 파악하기 위해 그림 6은 RFID의 채널수를 최대 20개로 가정한 것이다.

III. 시스템 구성 및 동작 알고리즘

2장에서 언급한 것처럼 임의로 배치되어 있는 리더들에게 최적의 채널과 시간 슬롯을 배정하는 것은 매우 어려운 문제이다. 그러나 리더가 송신 전에 RFID 채널 전체를 탐지한 후 능동적으로 채널과 동작 시간을 할당할 수 있다면 리더의 채널 충돌 확률은 획기적으로 개선될 수 있을 것이다.

송신 전 채널을 감시하는 개념은 LBT(Listen Before Talk) 방식으로 이미 정의되어 있으나, 이는 주파수 호핑 방식에 비해 채널의 점유시간이 길어 RFID 시스템의 효율이 나빠지고 국내의 경우 기술 기준이 매우 엄격하게 제정되어 실제 제품에 적용하기가 어려운 상황이다^[1]. 따라서 RFID 리더의 주파수 호핑 시간에 영향을 주지 않으면서 동시에 전 채널의 상태를 파악할 수 있는 별도의 수신기가 요구된다.

컴프레시브 수신기는 입력되는 고주파 신호를 시간 영역에서 압축 펄스로 변환하여 입력 신호의 주파수를 측정하는 수신기로서 광대역에 걸쳐 존재하는 신호를 동시에 탐지하는데 매우 적합하다^[5]. RFID 신호 탐지용 컴프레시브 수신기의 전 대역 주파수 탐지 시간은 최대 30 μ s 이내이므로^{[5],[6]}, 수십 ms에서 수초에 이르는 채널 점유 시간을 갖는 RFID 리더와 동시에 운영된다고 하더라도 리더의 주파수 호핑 기능에 거의 영향을 끼치지 않는다. 그림 7에 컴프레시브 수신기가 내장된 RFID 리더 구성을 나타내었다.

리더가 태그와 통신을 수행하기 전에 컴프레시브 수신기는 리더 안테나로 입력된 RF 신호를 주파수에 따라 시간 영역에서 압축 펄스로 변환하고, 압축된 펄스의 시간 정보는 다시 주파수 정보로 연산되어 리더 주변의 채널 환경을 분석한다^[5]. 컴프레시브 수신기에 의해 점유되지 않은 채널이 확인된 후 RFID 리더는 태그와 통신을 수행하며, 태그와 통신을

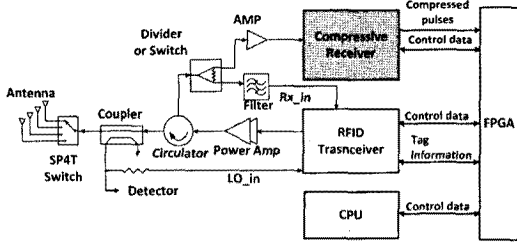


그림 7. 컴프레시브 수신기가 내장된 RFID 리더
Fig. 7. RFID reader with compressive receiver.

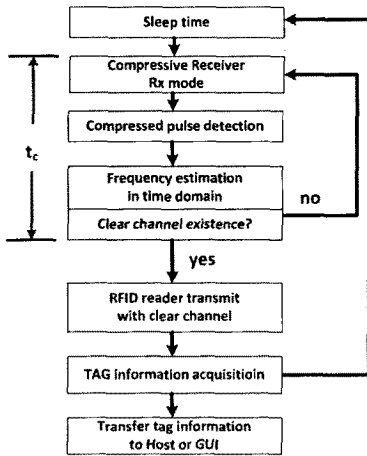


그림 8. 컴프레시브 수신기가 내장된 RFID 리더의 동작 알고리즘
Fig. 8. Operating algorithm of RFID reader with compressive receiver.

끝낸 리더는 송신을 중단하고 다시 컴프레시브 수신기가 수신 모드로 변환하여 위 과정을 반복한다.

그림 8에 컴프레시브 수신기가 내장된 RFID 리더의 동작 알고리즘을 나타내었다. 컴프레시브 수신기는 RFID 전 채널을 동시에 탐지할 수 있으므로 송신 채널만 순차적으로 탐지하여 송신하는 일반적인 적응형 주파수 호핑(adaptive FH)보다 빠르고 효율적이다. 그림 8에 표시한 t_c 가 컴프레시브 수신기가 RFID 채널 점유 상태를 파악하는데 소요되는 시간을 의미하며, 앞서 언급한 대로 최대 30 μ s 이내이다.

컴프레시브 수신기를 내장한 리더들로만 구성된 환경에서는 별도의 동기화 장치 없이 각 리더간 시각 동기화가 자연스럽게 이루어진다. 만약 100 ms의 동작 시간과 300 ms의 휴지 시간을 갖는 리더들이 국내 RFID 시스템 할당 채널수인 6개의 채널에서

동작한다면, 각 채널에서 시각 동기화 효과에 의한 4대 동시 운용이 가능하므로 이론적으로 최대 24대의 리더가 운영 가능하다. 또한 리더의 인식 반경이 중첩되어 태그 인식이 어려워지는 다중 리더 태그간 간섭 문제 역시 해결이 가능하다.

IV. 시험 결과

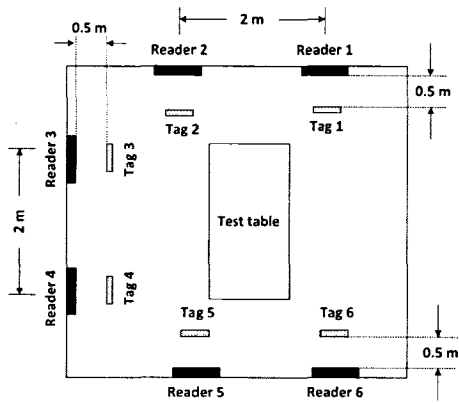
본 장에서는 3장에서 제안된 구조의 리더가 타당한지 검증하기 위해 실제 환경과 유사한 리더 운영 환경을 구성하여 시험하였다. 특히 국내 무선설비 기준고시에서 지정한 UHF 대역 RFID 채널수와 동일한 6개의 리더가 동시에 운영되는 환경을 설정하였다. 시험 환경은 표 3과 같고 그림 9에 리더간 간섭 시험을 위한 각 리더와 태그의 구성을 나타내었다. 다만 제작된 리더의 주파수 범위가 개정 전 국내 무선설비 기준고시를 기준으로 제작되었기 때문에 시험 주파수를 910.5 MHz부터 913.5 MHz까지 600 kHz 간격으로 설정하였다.

리더간 간섭 문제만을 분석하기 위해 다중 리더-태그간 간섭(multiple reader to tag interference) 현상이 발생하지 않도록 리더의 태그 인식 반경을 1.5 m 이내로 제한하였다. 이를 위해 안테나 이득을 포함한 송신 출력을 23 dBm으로 하였다.

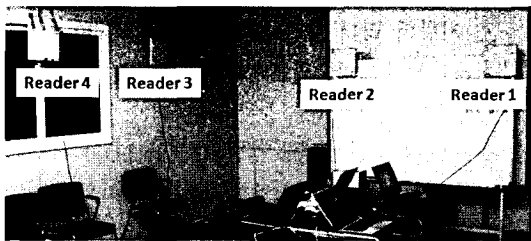
일반 사무실에 시험 환경을 구축함으로써 발생할 수 있는 환경적 오차와 각 리더의 절대적인 성능 차이에 의한 인식을 차이를 없애기 위해, 하나의 리더만 단독으로 동작할 때 100회 read cycle시 각 리더에

표 3. 시험 환경 변수
Table 3. Test parameters.

Parameters	Values
Reader channel space	600 kHz
Channel number	6
Reader Tx power	17 dBm
Antenna gain	6 dBi
Reader distance	2 m
Reader to tag distance	0.5 m
Antenna height	1.8 m
Tag response	Miller-4 62.5 kbps



(a)



(b)

그림 9. (a) 리더간 간섭 시험을 위한 측정 구성도
(b) 시험 환경 사진

Fig. 9. (a) Measurement setup for reader-to-reader interference test, (b) photograph of setup.

서 태그를 인식한 회수를 기준 값 ‘1’로 하여 상대적 결과를 분석하였다.

6개의 채널이 할당된 상태에서 5개의 기존 리더가 그림 6의 reader 1부터 reader 5까지 배치된 상태에서 시험한 결과를 표 2에 나타내었다. Reader 1에 위치한 리더의 인식률이 비교적 높게 나타났으나 각 리더의 평균 인식률은 0.102로 식 (5)에 의한 계산치 0.093과 유사하게 나타났다.

제안된 리더기만이 존재하는 환경에서의 인식률을 파악하기 위해 기존 리더만 동작했을 때의 인식률과 제안된 리더기만 동작했을 때의 결과를 그림 10에 보였다. 정확한 분석을 위해 제안된 리더 6대를 이용하여 시험하여야 하나, 제작된 리더가 2대인 관계로 각각 2대의 경우에 대해서 시험하였다. 리더의 위치는 그림 9의 reader 1과 reader 3으로 하였다. 시험 결과, 기존 리더의 경우 약 10 % 정도의 인식률 저하가 나타났으나, 제안된 리더의 인식률 저하는 거의 없었다. 그림 10의 계산 결과는 $k=6, n=2$ 인

표 4. $k=6, n=5$ 일 때 기존 리더의 인식률
Table 4. Recognition rate of conventional reader when $k=6, n=5$.

	Recognition rate
Reader 1	0.212
Reader 2	0.078
Reader 3	0.059
Reader 4	0.088
Reader 5	0.075
Average	0.102

경우를 고려하여 식 (5)로부터 계산된 결과이다.

그림 11은 5개의 기존 리더와 1개의 제안된 리더를 이용하여 측정한 인식률 결과이다. 그림 9의 reader 3의 위치에 설치하였고, 기존 리더는 reader 1, 2, 4, 5, 6에 설치하였다. 또한 시 분할 효과를 고려하기 위해 각 리더는 100 ms 동작하고, 300 ms의 휴지 시간을 갖도록 하였다. 시험 결과, 기존 리더의 인식률은 30 % 수준에 머문 반면 컴프레시브 수신기를 내장한 리더의 인식률은 81 %로 밀집 환경에서 기존 리더에 비해 2.7배 정도 향상되었다. 다만 제안된 리더는 다른 리더의 채널을 간섭할 우려가 없으나, 제안된 리더가 동작한 순간에 다른 기존 리더로 인한 간섭이 발생하여 인식률이 80 % 수준에 그친 것으로 판단된다.

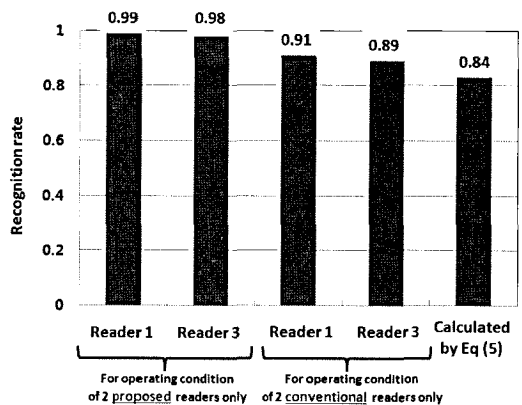


그림 10. 제안된 리더만 2대 운영된 경우와 기존 리더만 2대 운영된 경우의 인식률

Fig. 10. Recognition rate for operating condition of 2 conventional readers only and 2 proposed readers only.

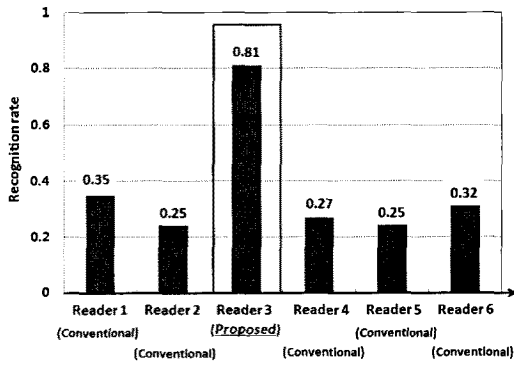


그림 11. 5대의 기존 리더와 1대의 제안된 리더가 운영되었을 때의 인식을

Fig. 11. Recognition rate when 1 proposed reader and 5 conventional readers are operating.

V. 결 론

본 논문에서는 UHF 대역 RFID 리더의 리더간 채널 충돌 문제를 해결하기 위해 컴프레시브 수신기가 내장된 RFID 리더의 운용 알고리즘을 제시하였고, 실제 환경과 유사한 조건에서 RFID 리더의 인식을 시험을 통해 제안된 리더의 우수성을 입증하였다.

시험 결과, 제안된 RFID 리더는 기존 리더에 비해 동일한 조건에서 2.7배 정도 우수한 인식을 보였으며, 제안된 리더만으로 구성된 환경에서는 리더간 채널 충돌에 의한 인식을 저하가 거의 일어나지 않았다. 다만 좀 더 명확한 시험결과를 위해 시험에 사용된 제안된 리더의 수를 최소 6대 이상으로 하여 분석해 볼 필요가 있다.

본 연구 결과를 활용하면 그동안 RFID 시스템 확산에 주요한 걸림돌이었던 리더간 채널 충돌 문제를 해결하고, 특히 별도의 동기화 모듈이나 알고리즘이 없어도 리더간 동기화를 구현할 수 있다. 따라서 일정 범위 내에서 동시에 운영되는 리더의 수를 획기적으로 증가시킬 수 있어 RFID 활용 분야를 더욱 넓힐 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 이윤덕, 김도윤, 윤현구, 육종관, 장병준, "리더간섭에 의한 RFID 시스템의 인식 거리 감소에 관한 연구", 한국전자파학회논문지, 18(7), pp. 731-738, 2007년 7월.
- [2] 장병준, "RFID/USN 주파수 간섭 환경 및 기술 기준", 한국전자파학회지 전자파기술, 19(6), pp. 30-39, 2008년 11월.
- [3] 방송통신위원회, 무선설비규칙 고시 제2010-1호, 2010년 1월.
- [4] 오정석, 유명식, "관리 리더를 이용한 계층적 구조 기반의 리더 충돌 방지 알고리즘", 한국정보처리학회 춘계학술발표대회 논문집, 14(1), pp. 822-825, 2007년 5월.
- [5] 조원상, 박동철, "DDS 기반의 Chirp LO가 적용된 RFID 신호 탐지용 컴프레시브 수신기의 구현", 한국전자파학회논문지, 20(11), pp. 1186-1193, 2009년 11월.
- [6] 조원상, 박동철, "RFID 신호 탐지용 컴프레시브 수신기의 설계 및 제작", 한국전자파학회논문지, 21(3), pp. 321-330, 2010년 3월.
- [7] 서현식, 이채우, "RFID 리더간 간섭 모델에 기반한 최적화 문제와 유전적 자원할당 기법에 관한 연구", 대한전자공학학회논문지, 46 CI(4), pp. 456-465, 2009년 7월.
- [8] EPCglobal, "EPC™ radio-frequency identity protocols class-1 generation-2 UHF RFID protocol for communications at 860~960 MHz version 1.1.0", EPCglobal Standard Specification, 2006.
- [9] 김영환, 어필선, 양훈기, 박승근, 강봉순, 김영수, 육종관, "몬테카를로(Monte-Carlo) 방법을 적용한 수동형 900 MHz 대역의 RFID 간섭 분석", 대한전자공학학회논문지, 43 TC(1), pp. 9-18, 2006년 1월.

조 원 상



1997년 8월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)
2000년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
2000년 1월~현재: (주)빅텍 기술연구소 책임연구원
2002년 3월~현재: 충남대학교 전자공학과 박사과정

[주 관심분야] RFID, 초고주파 회로 설계, 통신 시스템 등

박 동 철



1974년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1976년 2월: 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학석사)
1984년 12월: Univ. of California, Santa Barbara (공학박사)
1977년~1978년: Ruhr University, Bochum, Germany 방문교수

1994년~1998년: IEEE MTT Korea Chapter Chairman
1998년~2001년: IEEE EMC Korea Chapter Chairman
2000년~2001년: 한국전자파학회 회장
2005년~2007년: 대덕 Wireless 포럼 회장
1976년~현재: 충남대학교 전자공학과 교수
[주 관심분야] Microwave and Millimeterwave Passive Components, Antennas, EMI/EMC