

908.5~914 MHz 대역에서 RFID와 USN 시스템의 주파수 공유 조건에 관한 연구

Coexistence of RFID and USN Systems in the Frequency Bands 908.5~914 MHz

윤현구 · 강민수* · 장병준**

Hyungoo Yoon · Min-Soo Kang* · Byung-Jun Jang**

요약

본 논문에서는 908.5~914 MHz 대역을 RFID와 USN 시스템이 공유하기 위한 간섭 분석 결과를 제시한다. 먼저, 평균 간섭 전력은 통계적인 간섭 분석 모델을 사용하여 이론값과 시뮬레이션 값을 각각 구하고 이를 비교·검증하였다. 그리고 간섭원의 수, 최소 이격 거리에 따른 고출력 및 저출력 RFID 시스템과 USN 시스템 간의 간섭 전력의 누적 확률 분포를 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과, 저출력 RFID 시스템 1개와 다수의 USN node가 서로 보호 영역을 1 m 이상으로 유지할 경우, 상호 최대 허용 간섭 레벨을 만족할 확률은 95 %로 계산되었다. 향후 간섭에 의한 시스템 throughput 등과 같은 추가적인 간섭 영향에 대한 검토가 추가된다면 908.5~914 MHz 주파수 대역 공유를 위한 기초 연구로 본 연구의 결과가 활용되리라 기대된다.

Abstract

In this paper, we present interference power distribution results when radio frequency identification(RFID) and ubiquitous sensor network(USN) systems share the 908.5~914 MHz frequency bands. Average interference powers are obtained by simulation and statistical analysis, respectively. Simulation results are then verified by statistical analysis. According to the number of interferers and the diameter of the protection area, the cumulative density functions(CDFs) of interference power are simulated under the various conditions. From the simulation results, the probability that both USN and RFID systems meet the required maximal interference power levels is 95 % on condition that there are 1 low powered RFID reader and several USN nodes and that the minimum distance between a RFID reader and an USN node is greater than 1 m. Our results can be used as an basic research for coexistence analysis of RFID and USN systems in the 908.5~914 MHz frequency bands.

Key words : RFID, USN, Interference, Coexistence, Minimum Separation Distance, Maximal Permissible Interference Level

I. 서론

‘언제, 어디서나 사용자가 네트워크에 접속하여 원하는 정보를 얻을 수 있는 유비쿼터스 환경’은 최

근에 급속히 발전하고 있는 USN(Ubiquitous Sensor Network) 기술 및 u-city, u-health, 원격 검침(AMR: Automatic Meter Reading) 등의 다양한 USN 응용 서비스의 활성화로 이제 점점 현실로 다가오고 있다^[1]. ET-

「본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT성장동력기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다(2008-S-041-01, u-City용 센서네트워크 PHY/MAC 개발). 연구비 지원에 감사드립니다.」

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

*한양사이버대학교 정보통신공학과(Department of Information and Communication Engineering, Hanyang Cyber University)

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

· 논문 번호 : 20080328-041

· 수정완료일자 : 2008년 6월 2일

RI/IDTechEx/VDC 조사에 따르면 세계 USN 시장은 연평균 25.5 %씩 성장하여, 2010년에는 540억 달러로 성장할 전망이어서 산업·경제적 파급 효과가 매우 클 것으로 예상된다. 이에 미국의 NITRD Program, 유럽의 Ambient Intelligence Vision, 일본의 u-Japan Strategy와 같이 주요 선진국들은 자국의 여건과 강점을 기반으로 한 유비쿼터스 사회 구현을 전략적으로 접근하고 있다. 국내에서도 정부 및 관련 연구기관을 중심으로 USN의 핵심 기술 및 응용 서비스 개발을 위한 노력이 경주되고 있다. 이의 일환으로 첨단 정보 통신 인프라와 유비쿼터스 정보 서비스를 도시 공간에 융합하여 도시 생활의 편의 증대와 삶의 질 향상, 체계적 도시 관리에 의한 안전 보장과 시민 복지 향상, 신산업 창출 등 도시의 제반 기능을 혁신시킬 수 있는 u-City 건설이 추진되고 있다.

이와 같이 USN 응용 서비스는 다양하게 연구되고 있으나, 상대적으로 USN의 기술 기준 및 PHY(Physical)와 MAC(Medium Access Control) 계층에 대한 연구는 미흡한 상황이다. 이제까지는 USN의 PHY/MAC 기술로 간주되던 IEEE802.15.4는 초기에 홈 네트워크와 같은 소규모 센서 네트워크를 위해 개발된 네트워크로서 저속·저전력의 특성은 보장하지만, 통신 반경이 작고, 이동성과 QoS(Quality of Service)가 보장되지 않아 국내에서 고려하고 있는 USN 서비스에 최적이라고는 말하기는 어렵다^[2]. 또한, IEEE-802.15.4에서는 868/915 MHz와 2.45 GHz의 두 가지 주파수 대역에서의 규격을 정의하고 있으나, 국내에서는 주파수 할당 문제로 2.45 GHz의 ISM(Industrial, Scientific, and Medical) 대역에서만 서비스가 가능한 상황이다. 그러나 2.45 GHz 대역은 WLAN(Wireless Local Area Network)과 Bluetooth의 두 가지 응용 시스템이 이미 광범위하게 존재하므로, 이들 시스템과의 주파수 간섭에 의해 USN 고유의 전파 전송 품질을 나타내지 못하는 상황이 자주 발생한다^[2]. 따라서 실내 및 실외에서 다양한 USN 서비스의 요구 조건을 만족시키기 위해서는 2.45 GHz 대역보다는 실외에서 전파 특성이 우수한 sub-GHz 대역을 사용하는 방안에 대한 검토가 현재 USN 포럼 및 ETRI를 중심으로 진행 중에 있다. Sub-GHz 대역에서 USN용 주파수의 신규 할당은 해결해야 할 많은 문제들이 산재해 있는 반면, 908.5~914 MHz 대역은 이미 RFID/

USN용으로 사용될 수 있도록 주파수가 할당되어 있으므로, RFID와의 간섭 문제만 해결된다면 USN과 공유해서 사용하는 것이 가능할 수 있다. 따라서 908.5~914 MHz 대역을 RFID와 USN이 공유하여 사용 가능한지에 대한 검토와, 가능하다면 현재의 기술 기준으로 충분한지 등에 대한 연구가 필요하다.

이에 본 논문에서는 908.5~914 MHz 대역을 RFID와 USN 시스템이 공유하기 위한 간섭 분석 결과를 제시한다. 간섭원의 전력 분포를 예측하기 위해서, 시뮬레이션 결과를 이론값과 비교하여 검증하고, 이를 다양한 공유 조건과 시나리오에 따른 시뮬레이션 결과를 도출하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 본 논문에서 사용한 간섭 분석 방법에 대해 기술하고, III장에서는 공유 조건을 분석하기 위한 공유 시나리오 및 최대 허용 간섭 레벨을 제시하였다. 그리고 III장에서 제시된 공유 시나리오에 기반을 공유 분석 결과를 IV장에 나타내었으며, 마지막으로 본 논문의 결론과 향후 연구 방향을 V장에서 기술하였다.

II. 간섭 분석 모델

본 논문에서는 간섭원의 분포를 모델링하기 위하여 참고문헌 [3]에서 사용한 통계적 간섭 모델을 사용하였다. 간섭 분석 모델에서 간섭원과 피간섭원의 기하학적 위치는 간섭 전력을 계산하는데 가장 중요한 요소라고 할 수 있다. 실제 간섭원과 피간섭원의 위치는 3차원 공간상에 존재하지만, RFID와 USN의 사용 환경은 일반적으로 높이보다는 위치가 전파 특성에 중대한 영향을 미치므로, 다음과 같이 간섭원과 피간섭원의 기하학적인 위치를 가정한다. 그리고, 경로 손실 모델은 IEEE802.15.4에서 제시한 경로 손실을 기반으로 한다^[2].

- 간섭원 송신기의 분포는 2차원 평면에 균일하면서 랜덤하게 분포되어 있으며, 그 평균 밀도는 ρ_u 이다.
- 간섭원과 피간섭원은 최소 이격 거리 r_{min} 만큼 떨어져 있다.
- 간섭원과 피간섭원의 최대 이격 거리는 R 로 정의하며, 일반적으로 radio horizon을 의미한다.
- 간섭원과 피간섭원의 거리를 d 라고 하면, 경로

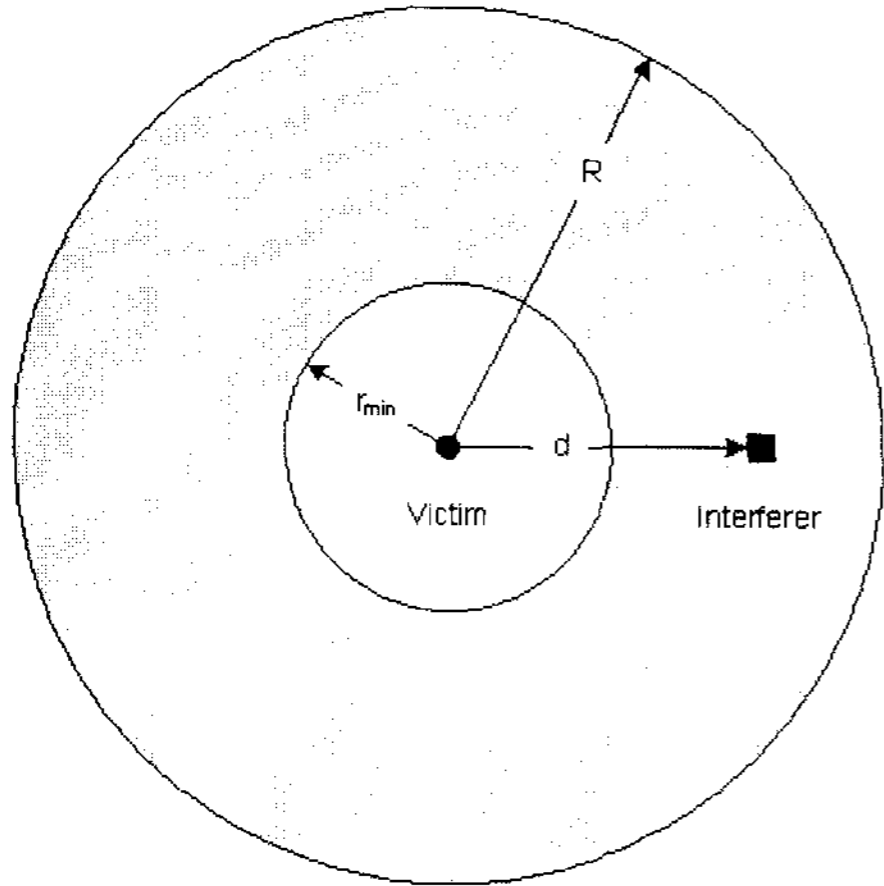


그림 1. 기하학적 간섭 모델
Fig. 1. Geometry of interference model.

손실(path loss)은 d^n 에 비례한다. 이때, $n > 2$ 이며 경로 손실이 자유 공간 손실보다 크다는 의미이다.

- 피간섭원의 수신기에 수신된 여러 간섭원의 송신기 신호의 평균 전력 레벨은 각각의 전력을 합한 것이다.

그림 1은 간섭 분석을 위해 위에서 제시한 가정에 따른 간섭 모델 개념도이다. 그림에서 점이 의미하는 것이 N 개의 활성화된 간섭원이고, 간섭원이 피간섭원과 동일한 대역을 사용한다면 전체 수신된 간섭 전력은 각각의 간섭원에서 송신한 전력에서 경로 손실만큼 줄어든 전력들의 합으로 다음 식 (1)과 같이 주어진다.

$$I = \sum_{i=1}^N P_i d_i^{-n} \quad (1)$$

여기서, d_i 는 i 번째 간섭원과 피간섭원과의 거리를 의미하며, P_i 는 i 번째 간섭원의 송신 전력이다.

간섭원이 2차원 평면에 균일하면서 랜덤하게 분포되어 있다고 가정했으므로, 간섭원과 피간섭원 사이의 거리 d_i 의 확률 밀도 함수는 식 (2)와 같이 표현된다.

$$f_{d_i}(\xi) = \frac{2\xi}{R^2 - r_{\min}^2} \quad (r_{\min} \leq \xi \leq R) \quad (2)$$

이 모델에서의 간섭원의 간섭 전력은 간섭원이 피간섭원으로부터 r_{\min} 거리에 있을 때 최대가 되

고, 이를 $I_{\max} = ar_{\min}^{-n}$ 라 하면 거리가 d 인 곳에서의 간섭 전력은 식 (3)처럼 표현할 수 있다.

$$I(d) = I_{\max} (d/r_{\min})^{-n} \quad (3)$$

여기서, a 는 간섭원의 송신 전력이고, n 은 간섭원의 전력이 거리에 따라 감소되는 지수 성분을 의미한다. 이때 단일 간섭원인 경우에 평균 간섭 전력은 간섭 전력을 거리에 대한 확률 밀도로 적분하여 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \bar{I}_1 &= I_{\max} \int_{r_{\min}}^R \left(\frac{\xi}{r_{\min}}\right)^{-n} f_{d_i}(\xi) d\xi \\ &= \begin{cases} \frac{I_{\max}}{n/2-1} \frac{1}{R^2 - r_{\min}^2} \left[r_{\min}^2 - R^2 \left(\frac{r_{\min}}{R}\right)^n \right] & (n > 2) \\ 2I_{\max} \ln\left(\frac{R}{r_{\min}}\right) \frac{r_{\min}^2}{R^2 - r_{\min}^2} & (n = 2) \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

영역 $r_{\min} \leq d \leq R$ 에 존재하는 평균 활성화된 간섭원의 수는 식 (5)와 같이 활성화된 간섭원의 단위 m^2 당의 평균 밀도 ρ_u 에 면적을 곱해서 구할 수 있다.

$$\bar{J} = \pi \rho_u (D^2 - r_{\min}^2) \quad (5)$$

최종적으로 $r_{\min} \leq d \leq R$ 인 영역에 존재하는 다중 간섭원들이 피간섭원에 미치는 평균 간섭 전력은

$$\begin{aligned} \bar{I} &= \bar{J} \cdot \bar{I}_1 \\ &= \begin{cases} \frac{\pi \rho_u I_{\max}}{n/2-1} \left[r_{\min}^2 - R^2 \left(\frac{r_{\min}}{R}\right)^n \right] & (n > 2) \\ 2\pi \rho_u I_{\max} r_{\min}^2 \ln\left(\frac{R}{r_{\min}}\right) & (n = 2) \end{cases} \end{aligned} \quad (6)$$

이다. 간섭 전력은 랜덤 변수이므로 평균뿐만 아니라 분산을 계산해야 간섭 전력에 대한 통계적 특성을 파악할 수 있다. 일반적으로 분산은 제곱의 평균에서 평균의 제곱을 뺀 것으로 식 (7)과 같이 간섭 전력의 분산을 구할 수 있다.

$$\sigma_I^2 = \langle I^2 \rangle - (\bar{I})^2 \quad (7)$$

여기서 간섭의 제곱 평균은 정의에 따라 식 (8)로 주어진다.

$$\langle I^2 \rangle = \left\langle \left(\sum_{i=1}^J I_i \right)^2 \right\rangle \quad (8)$$

여기서 I_i 는 i 번째 간섭원으로부터 수신된 간섭 전력을 의미한다. 서로 다른 두 간섭원으로부터 수신된 간섭 전력 사이에 상관 관계가 없다고 가정하면,

$$\langle I_i I_j \rangle = (\bar{I})^2 + \sigma_{I_1}^2 \delta[i-j] \quad (9)$$

이다. 여기서 $\delta[n]$ 은 Kronecker delta 함수로 $n=0$ 일 때만 1이고 그 외의 값에서는 0을 갖는다. 그리고 $\sigma_{I_1}^2$ 는 단일 간섭원에서 수신된 간섭 전력의 분산이다. 임의의 값 J 에 대한 $\{I_n\}$ 의 평균은 다음 식과 같다.

$$\langle I^2 | J \rangle = J \sigma_{I_1}^2 + J^2 (\bar{I}_1)^2 \quad (10)$$

식 (10)에서 J 가 Poisson 분포를 갖는 랜덤 변수라고 가정하고 계산하면,

$$\begin{aligned} \overline{I^2} &= \overline{N} \sigma_{I_1}^2 + [(\overline{J})^2 + \overline{J}] (\bar{I}_1)^2 \\ &= \overline{J} \overline{I_1^2} + (\overline{J} \bar{I}_1)^2 = \overline{J} \overline{I_1^2} + (\bar{I})^2 \end{aligned} \quad (11)$$

이다. 따라서,

$$\sigma_I^2 = \overline{J} \overline{I_1^2} \quad (12)$$

이다. 단일 간섭원 송신기로부터의 간섭 전력의 제곱 평균은 식 (4)와 같은 방식으로 계산할 수 있으며, 식 (13)처럼 정리된다.

$$\begin{aligned} \overline{I_1^2} &= I_{\max}^2 \int_{r_{\min}}^R \left(\frac{\xi}{r_{\min}} \right)^{-2n} f_d(\xi) d\xi \\ &= \frac{I_{\max}^2}{n-1} \frac{1}{R^2 - r_{\min}^2} \left[r_{\min}^2 - R^2 \left(\frac{r_{\min}}{R} \right)^{2n} \right] \end{aligned} \quad (13)$$

다중 간섭원 송신기로부터의 전체 간섭은 식 (12)에 식 (5)와 식 (13)을 대입하여 계산할 수 있다.

$$\sigma_I^2 = \pi \rho_u \frac{I_{\max}^2}{n-1} \left[r_{\min}^2 - R^2 \left(\frac{r_{\min}}{R} \right)^{2n} \right] \quad (14)$$

여기서 $I_{\max} = \alpha r_{\min}^{-n}$ 을 대입하면 식 (14)는

$$\sigma_I^2 = \pi \rho_u \frac{\alpha^2}{n-1} \left[r_{\min}^{2(1-n)} - R^{2(1-n)} \right] \quad (15)$$

이다. 식 (15)에서 $R \gg r_{\min}$ 이고 $n > 2$ 일 때, 간섭의 분산의 상계(upper bound)는 식 (16)과 같이 주어진다.

$$\sigma_I^2 < \frac{\pi \rho_u r_{\min}^2 I_{\max}^2}{n-1} \quad (16)$$

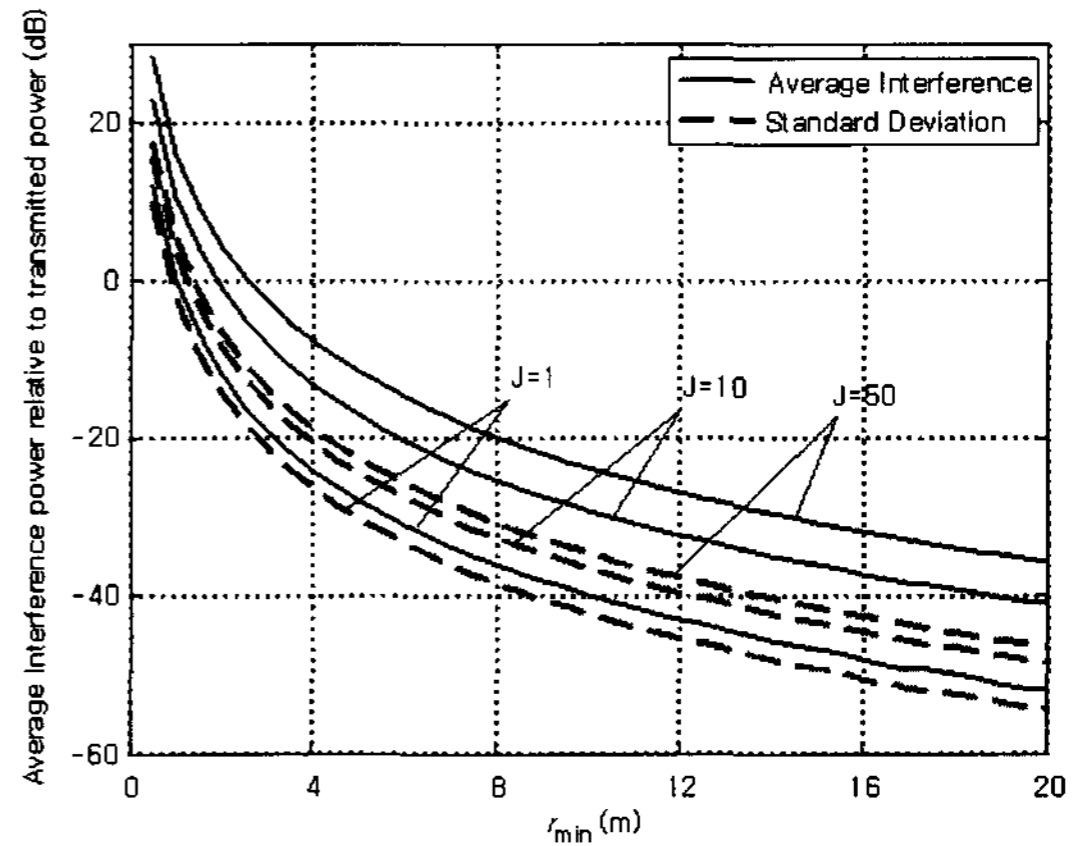


그림 2. 최소 이격 거리에 따른 간섭 전력의 평균 및 표준 편차

Fig. 2. Mean and standard deviation of interference power.

그리고 $R \gg r_{\min}$ 인 조건에서 평균에 대한 표준편차의 비는 식 (17)과 같이 근사식으로 표현된다.

$$\frac{\sigma_I}{I} \cong \begin{cases} \frac{n/2-1}{\sqrt{n-1}} \frac{1}{\sqrt{\pi r_{\min}^2 \rho_u}} & (n > 2) \\ \frac{1}{2\sqrt{\pi r_{\min}^2 \ln(R/r_{\min})}} & (n = 2) \end{cases} \quad (17)$$

그림 2는 식 (16)과 식 (17)을 이용하여 $n=4$ 이고 활성화된 간섭원의 수 J 가 1, 10, 50인 경우, 보호 영역의 반지름 r_{\min} 에 따른 간섭 전력의 평균과 표준편차를 나타낸 그래프이다. 그림에서 간섭원의 수가 증가하면 간섭 전력의 평균값이 증가하고, 표준 편차도 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한, 평균 간섭 전력과 간섭 전력의 표준 편차는 보호 영역의 반지름 r_{\min} 에 반비례하는 것을 확인할 수 있다.

III. 최대 허용 간섭 레벨

900 MHz 대역에서 RFID와 USN과의 공유 시나리오의 다음과 같이 4가지로 나눌 수 있다.

- ① USN node → RFID reader
- ② USN node → RFID tag
- ③ RFID reader → USN node
- ④ RFID tag → USN node

①의 경우는 USN node에서 송신한 신호가 RFID 시스템의 태그 역산란 신호에 간섭으로 작용하는 경

우로 그림 3(a)에 도식적으로 나타내었다. 그림 3(a)는 RFID reader 송신 신호와 tag 역산란 신호를 분리하기 위해, Miller sub-carrier sequence code를 사용하는 RFID 시스템에, USN node에서 송신한 신호가 간섭을 주는 상황을 주파수 영역에서 나타낸 그림이다^[4]. ②의 경우, USN node에서 송신된 신호가 RFID 리더에서 송신한 신호에 간섭으로 작용하지만 RFID 리더와 태그 사이의 거리가 가까운 경우, 그 영향이 그리 크지 않아 이를 무시할 수 있다. 그림 3(b)는 RFID reader에서 송신한 신호가 USN node에 수신되는 신호에 간섭으로 작용하는 ③의 경우를 도식적으로 설명하고 있다. RFID 리더에서 송신한 command 신호가 USN node에 수신되는 신호에 간섭으로 작용하고 있는 것을 나타낸다. RFID 리더의 송신 신호의 전력은 고정형의 경우는 최대 4 W EIRP까지, m-RFID(mobile RFID) 리더의 경우는 0.2 W EIRP까지

가능하다. 따라서 RFID reader가 간섭원으로 작용하는 경우는 고출력과 저출력 RFID 시스템으로 시나리오를 나누어야 할 필요가 있다. 그리고 RFID 시스템이 FH(Frequency Hopping)이나 LBT(Listen-Before-Talk)에 따라 시간상에서 동시에 동일 주파수 대역을 사용할 확률의 차이가 발생하지만, 시나리오의 단순화를 위해 본 논문에서는 활성화된 간섭원의 수만 고려한다. 마지막으로 RFID 태그에서 역산란된 신호가 USN node에 수신되는 신호에 간섭으로 작용하는 ④의 경우는 태그 역산란 신호가 USN 신호에 비해 미약하므로 무시할 수 있다.

3-1 RFID의 최대 허용 간섭 전력 레벨

수동형 RFID 시스템은 일반적인 통신 시스템과 다르게 tag에 전원이 없어서 reader가 송신한 신호를 정류하여 tag가 동작하기 때문에, reader가 공급하는 전력이 tag chip을 구동시키기에 충분해야 통신이 이루어진다. 따라서 reader에서 tag로의 통신 과정은 tag chip을 구동시킬 만큼 충분한 신호의 세기를 가지므로, 간섭에 의한 영향이 tag에서 reader로의 통신 과정보다 일반적으로 적은 편이다. 그러나 reader 수신부로 유입되는 tag의 역산란 신호는 크기가 작기 때문에 간섭 신호의 크기가 특정 레벨 이상이 되면, tag 신호를 reader에서 복조할 수 없게 된다. 이러한 간섭 신호의 레벨을 결정하는데 널리 사용되는 방법이 SINR(Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio)과 BER(Bit Error Rate)의 관계를 이용하는 것이다. 시스템에서 요구되는 BER이 결정되면 이를 얻기 위한 SINR이 BER 곡선을 통해 결정된다. 본 논문에서 최대 허용 간섭 레벨을 구하기 위해 사용한 SINR은 11.5 dB이다^{[5],[6]}.

표 1은 고출력 RFID 시스템의 최대 허용 간섭 레벨(MPIL: Maximum Permissible Interference Level)을 계산하는 과정을 설명하고 있다. Reader와 tag의 거리는 최대 인식 거리 8 m로 설정하였고, reader 송신 전력은 최대 4 W EIRP, tag antenna 이득은 2 dBi로 설정하였다. 이 때 최소 요구 SINR을 만족시키기 위한 최대 허용 간섭 레벨은 -72.7 dBm이다. 또한, 표 2는 저출력 RFID의 최대 허용 간섭 전력을 계산하는 과정으로 최대 허용 간섭 레벨은 -49.6 dBm이었다.

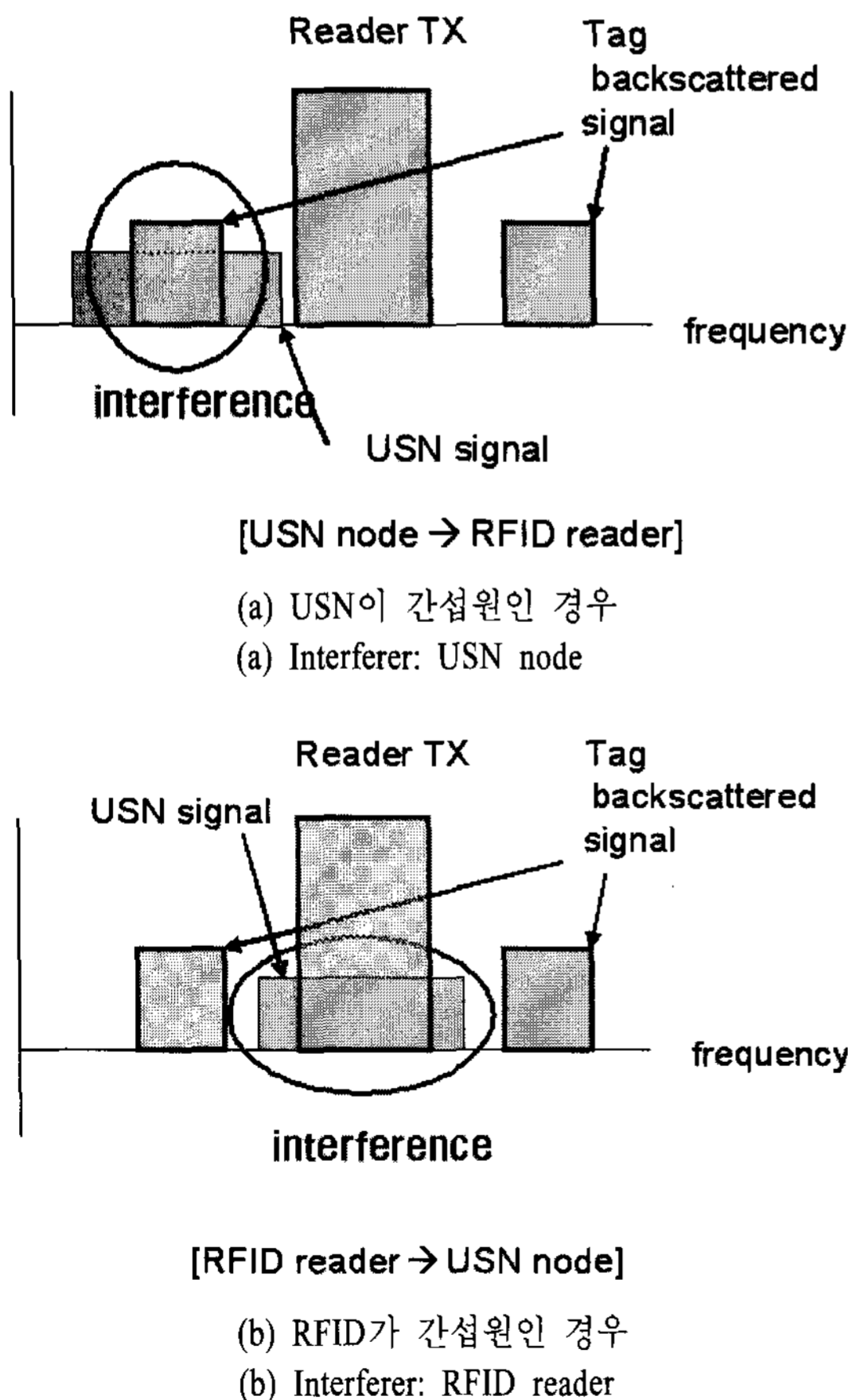


그림 3. 간섭 시나리오
 Fig. 3. Interference scenario.

표 1. 고출력 RFID 시스템의 최대 허용 간섭 레벨 계산

Table 1. Maximal permissible interference level for high power RFID system.

| |
|--|
| RFID reader Tx power : 4 W EIRP |
| Reader-to-tag distance(nominal operating range) : 8 m |
| Pathloss@8 m : $31.53+20*\log_{10}(8)=49.6$ dB (IEEE802.15.4-2006) |
| RequiredSNR@readerreceiver : 11.5 dB(BER= 10^{-3}) |
| Backscattered signal power : 36 dBm(4 W EIRP) $+2$ dBi $-2*49.6$ dB = -61.2 dBm |
| Maximal permissible interference level(MPIL) : -72.7 dBm(= -61.2 dBm -11.5 dB). |

표 2. 저출력 RFID 시스템의 최대 허용 간섭 레벨 계산

Table 2. Maximal permissible interference level for low power RFID system.

| |
|--|
| RFID reader Tx power : 0.2 W EIRP |
| Reader-to-tag distance(nominal operating range) : 1 m |
| Pathloss@1 m : $31.53+20*\log_{10}(1)$ $=31.53$ dB(IEEE802.15.4-2006) |
| RequiredSNR@reader receiver : 11.5 dB(BER= 10^{-3}) |
| Backscattered signal power : 23 dBm(0.2 W EIRP) $+2$ dBi $-2*31.53$ dB = -38.1 dBm |
| Maximal permissible interference level(MPIL) : -49.6 dBm(= -38.1 dBm -11.5 dB). |

3-2 USN의 최대 허용 간섭 전력 레벨

USN 시스템의 최대 허용 간섭 레벨은 IEEE-802.15.4에 있는 BER과 SNR과의 관계식인 식 (18)을 이용하여 계산한다^[2].

표 4. 간섭 분석 파라미터

Table 4. Simulation parameters for interference analysis.

| 파라미터(단위) | RFID(High) | RFID(low) | USN |
|---|----------------------------------|-------------------|--|
| 대역폭(kHz) | 320 | 320 | victim: 600 interferer: 600/1,000/1,600 |
| 송신 EIRP(W) | 4 | 0.2 | 0.01 |
| 수신 안테나 이득(dBi) | 2 | 2 | 2 |
| 최대 운용 거리(m) | 8 (reader-to-tag) ^[7] | 1 (reader-to-tag) | 100 (node-to-node) |
| Required SINR(dB) achieving 10^{-3} BER | 11.5 | 11.5 | -2.6 |
| MAPL(dBm) | -72.7 | -49.6 | -71.2 |
| 간섭원 수, J(명) | 1/10/30/50/100 | 1/10/30/50/100 | 1/10/30/50/100 |

표 3. USN의 최대 허용 간섭 레벨 계산.

Table 3. Maximal permissible interference level for USN system.

| |
|--|
| USN Tx power : 10 mW EIRP (IEEE802.15.4; $-3\sim 10$ dBm, 0 dBm typical) |
| Node-to-node distance : 100 m |
| Pathloss@8 m : $49.59+33*\log_{10}(100/8)=85.8$ dB (IEEE802.15.4-2006) |
| Required SNR@USN receiver : -2.6 dB(BER= 10^{-3}) → spreading gain 때문 |
| Receive signal power@USN receiver : 10 dBm(10 mW EIRP) $+2$ dBi -85.8 dB = -73.8 dBm |
| Maximal permissible interference level(MPIL) : -71.2 dBm(= -73.8 dBm $+2.6$ dB). |

$$BER = 0.5 \exp(-11.25 \text{ SINR}) \quad (18)$$

식 (18)에서 BER= 10^{-3} 을 만족시키기 위한 최소 SINR을 구하면 -2.6 dB이다. USN의 경우는 spreading gain이 있기 때문에 목표 BER을 만족시키기 위한 SINR이 RFID의 값보다 14 dB 정도 작다. 이를 이용해서 required SINR을 만족시키기 위한 최대 허용 간섭 레벨을 계산하는 과정을 표 3에 나타내었다. 시스템의 성능지표 BER= 10^{-3} 을 기준으로 했을 때, USN의 최대 허용 간섭 레벨은 -71.2 dBm이다.

IV. 간섭 분석 결과

4-1 시스템 파라미터

본 논문의 간섭 분석에 사용된 시뮬레이션 파라미터를 표 4에 나타내었다. RFID는 고출력과 저출력

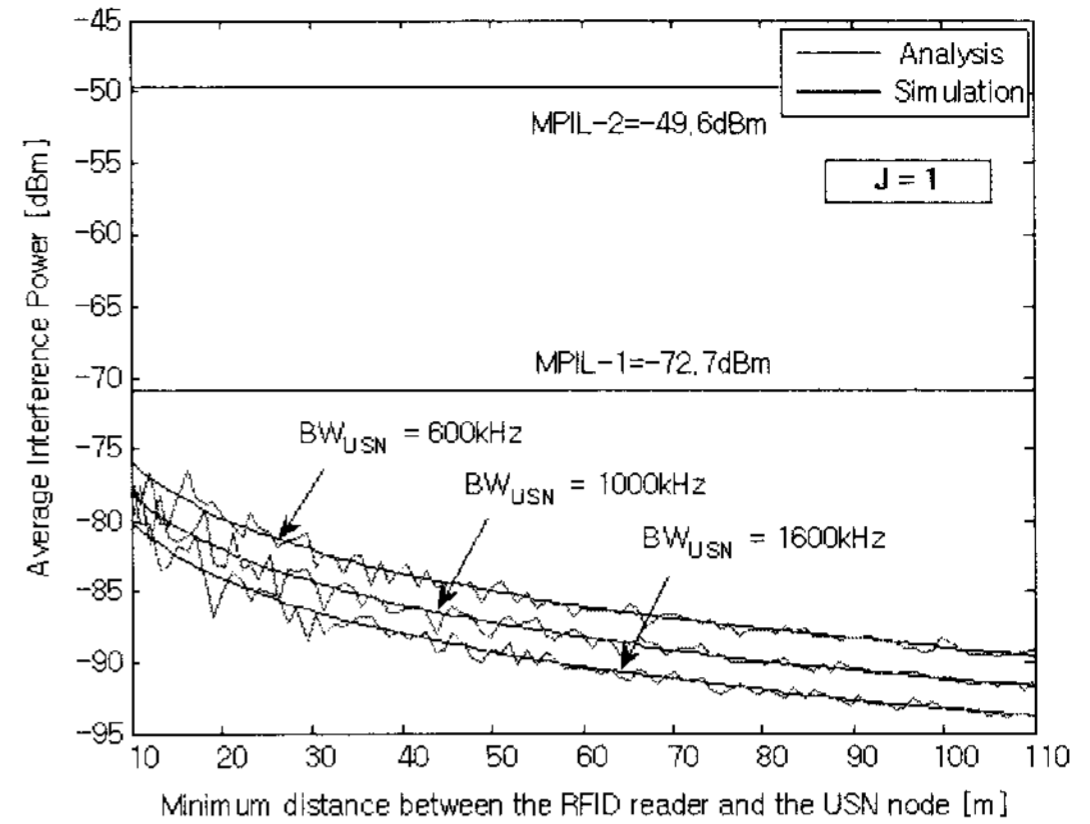
시스템으로 나누었으며, 고출력의 경우는 고정형 RFID로 저출력은 이동형 RFID 시스템의 파라미터로 설정하였다. 그리고 USN은 IEEE802.15.4의 물리계층 파라미터를 사용하였다. 시스템의 대역폭은 RFID의 경우는 320 kHz로, USN은 피간섭원인 경우는 600 kHz, 간섭원인 경우는 600, 1,000, 1,600 kHz를 가정하였다. 운용 거리는 RFID나 USN 모두 간섭이 없을 때 각각의 수신 감도를 만족시키는 최대 운용 거리(operating distance)로 설정하였다. 시스템의 성능을 만족시키기 위해 요구되는 SINR은 10^{-3} BER을 보장하는 값으로 RFID에서는 11.5 dB, USN에서는 -2.6 dB이다^{[2],[5]}. 그리고 간섭 분석에 있어서 가장 중요한 파라미터인 III장에서 계산한 최대 허용 간섭 레벨을 사용한다.

4-2 USN이 RFID에 미치는 간섭

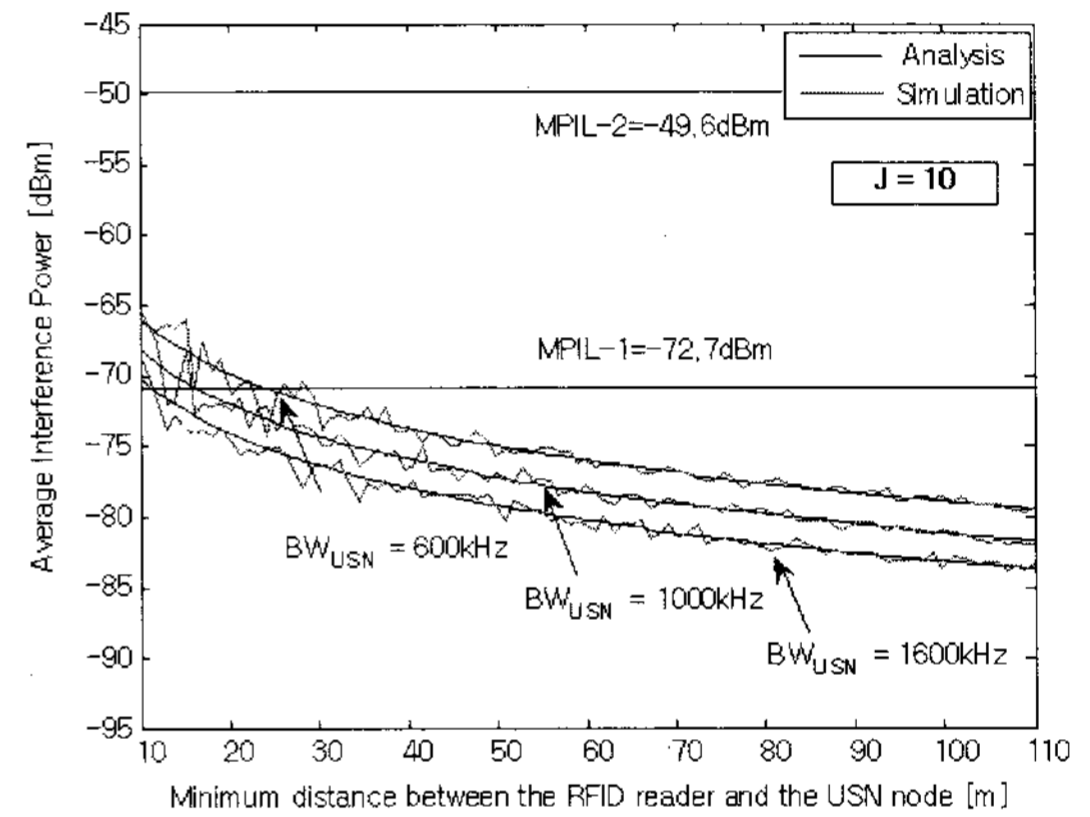
본 절에서는 USN node에서 다른 USN node로 전송되는 신호가 RFID reader에 간섭으로 작용하는 경우에 대한 간섭 분석 결과를 나타낸다. RFID 시스템이 피간섭원인 경우는, reader 수신부와 tag 수신부에서 SINR이 목표값에 이를 수 있는지를 판단하면 된다. Tag 수신부에서의 USN node의 신호는 RFID reader에서 송신된 신호에 비해 그 전력이 상대적으로 작으므로 본 절에서는 USN node 신호가 reader 수신부에 미치는 간섭만을 분석한다.

이를 위해 USN node에서 송신한 신호의 최소 이격 거리에 따른 평균전력을 그림 4에 나타내었다. 그림에서 실선은 이론값이고, 점선은 시뮬레이션 결과를 의미한다. 간섭원이 1개인 경우, 즉 $J=1$ 인 경우는 그림 4(a)에 나타나 있듯이 최소 이격 거리가 10 m 이상이면 간섭 전력의 평균값이 최대 허용 간섭 레벨보다 낮음을 확인할 수 있다. 그러나 간섭원이 10개($J=10$)인 경우는 대역폭에 따라 조금씩 다르지만 최소 이격 거리가 40 m 이상이 되어야 간섭 전력의 평균값이 최대 허용 간섭 레벨보다 낮음을 확인할 수 있다.

실제 환경에서는 평균 간섭 전력보다 간섭 전력의 분포를 통해서 최대 허용 간섭 레벨보다 간섭 전력이 낮을 확률을 구하는 것이 일반적이다. 이를 위해서 간섭원의 수에 따른 간섭 전력의 분포를 그림 5에 나타내었다. 그림 5(a)는 간섭원과 피간섭원간의



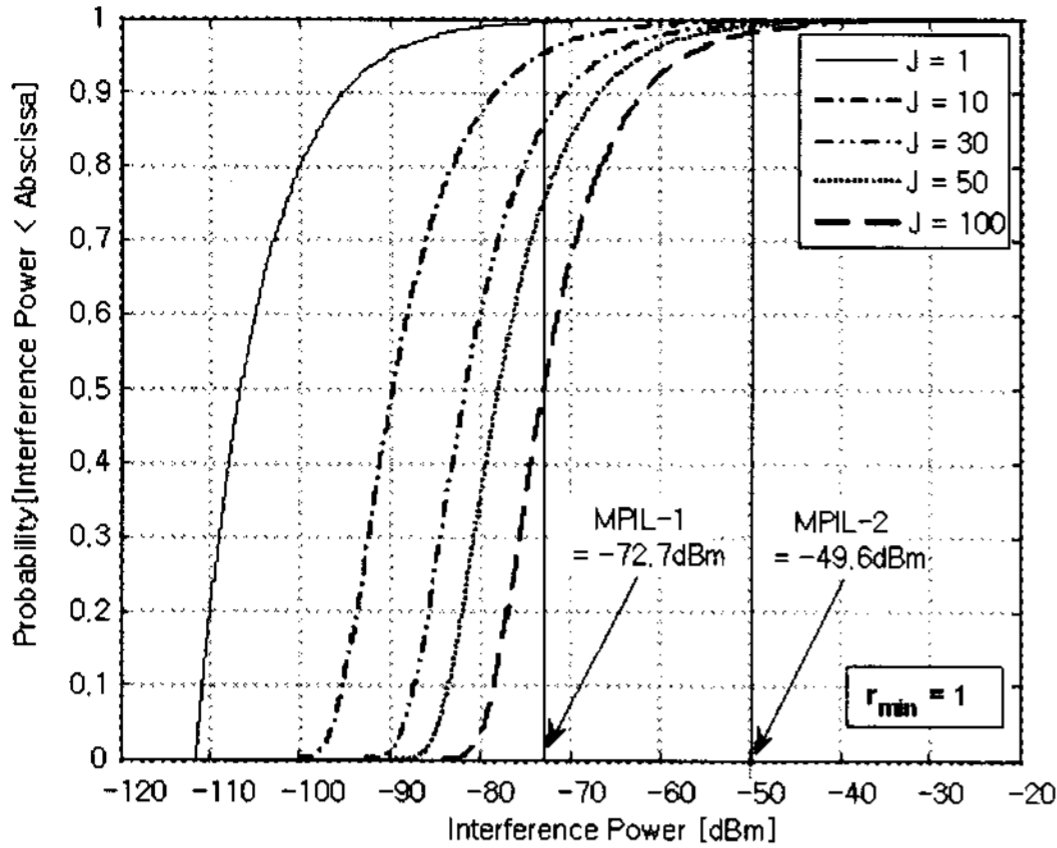
(a) $J=1$



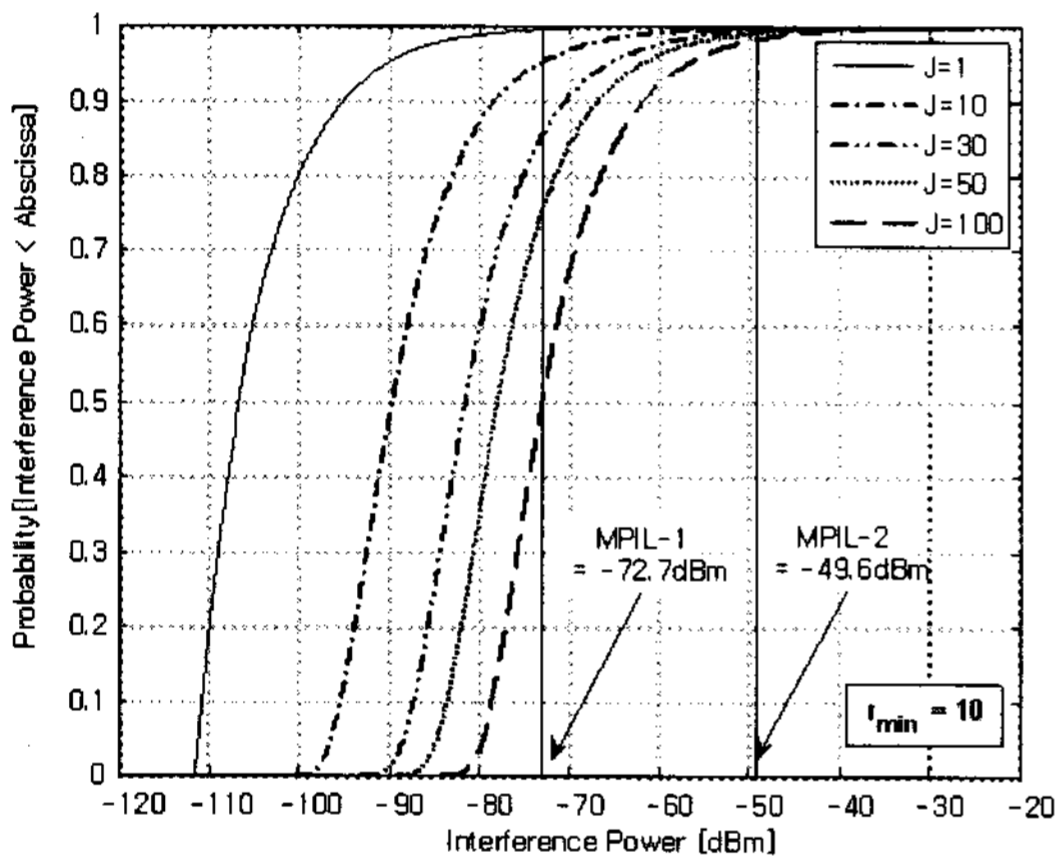
(b) $J=10$

그림 4. USN에 의한 평균 간섭 전력
Fig. 4. Average interference power from USN nodes.

최소 이격 거리가 1 m인 경우이고, 그림 5(b)는 10 m인 경우이다. MPIL-1은 고출력 RFID 시스템의 최대 허용 간섭 레벨이고, MPIL-2는 저출력 RFID 시스템의 최대 허용 간섭 레벨이다. 그림에서 MPIL-2를 기준으로 보면, USN이 저출력 RFID 시스템이 요구하는 최대 허용 간섭 레벨 이하로 간섭을 미칠 확률이 95%라는 것을 확인할 수 있다. 그러나 MPIL-1의 경우는 USN 간섭원의 수에 따라 최대 허용 간섭 레벨 이하로, 간섭을 미칠 확률이 40~99%로 크게 달라지는 것을 확인할 수 있다. 그리고 최소 이격 거리 r_{min} 이 증가할수록 CDF 그래프에서 간섭 전력이 -50 dBm 이상의 값이 나타날 확률이 증가함을 볼 수 있다. 그러나 최소 이격 거리가 변하더라도 USN node가 RFID 시스템의 최대 허용 간섭 레벨 이하로



(a) $r_{\min} = 1$ m



(b) $r_{\min} = 10$ m

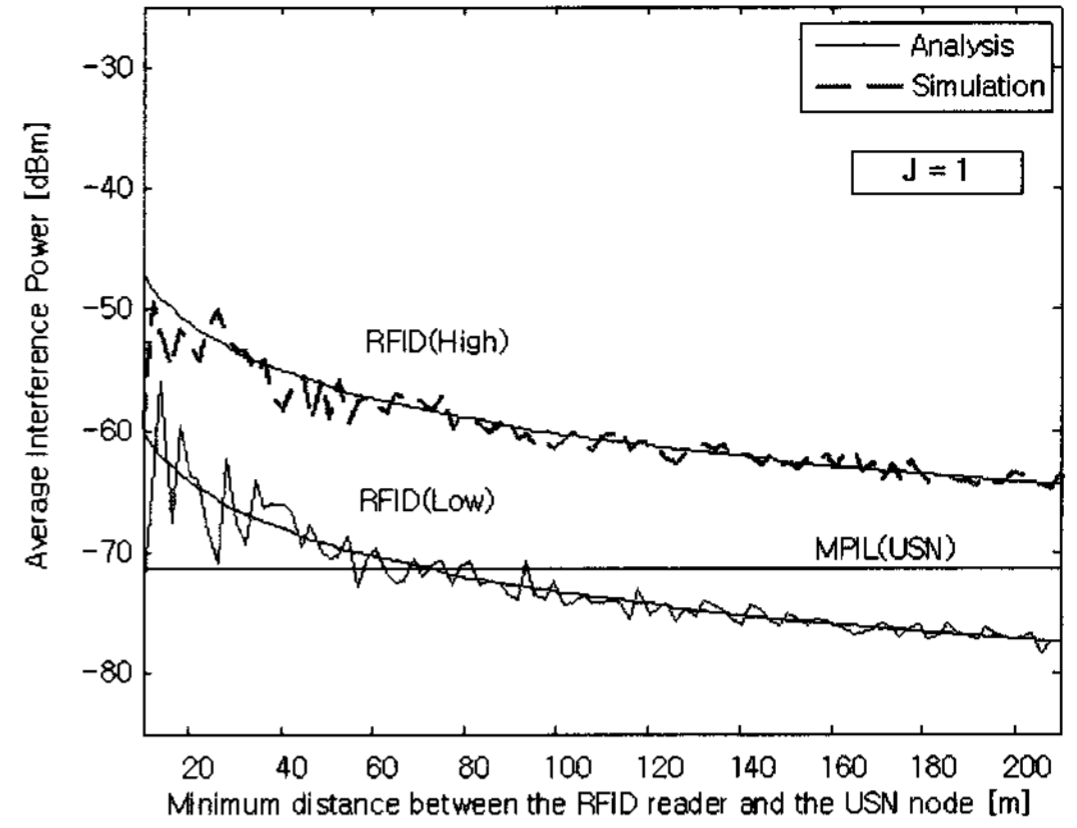
그림 5. USN에 의한 간섭 전력의 CDF($BW_{USN}=600$ kHz)

Fig. 5. CDF of interference power from USN nodes ($BW_{USN}=600$ kHz).

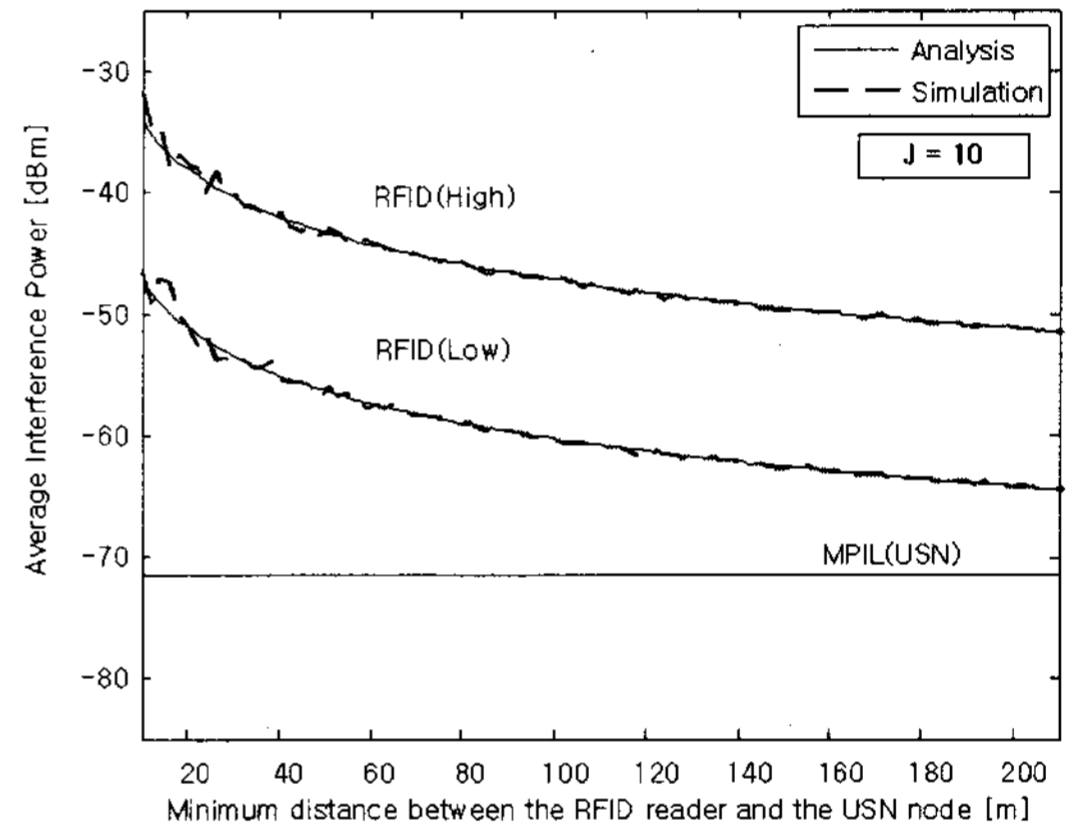
간섭을 미칠 확률은 거의 변하지 않음을 볼 수 있다. 즉, 최소 이격 거리보다는 간섭원의 수가 간섭 전력의 분포에 크게 영향을 미친다는 것을 의미한다.

4-3 RFID가 USN에 미치는 간섭

RFID reader의 송신 전력은 시스템에 따라 0.2 W EIRP에서 최대 4W EIRP까지 가능하기 때문에 RFID reader가 간섭원으로 작용하는 경우는 고출력인 경우와 저출력인 경우로 나누어 간섭에 대한 영향을 분석한다. 그림 6은 최소 이격 거리에 따른 평균 간섭 전력을 나타낸 그래프이다. 그림 6(a)는 간섭원의 수가 1개, 그림 6(b)는 10개이다. 그림에서 볼 수 있



(a) $J=1$



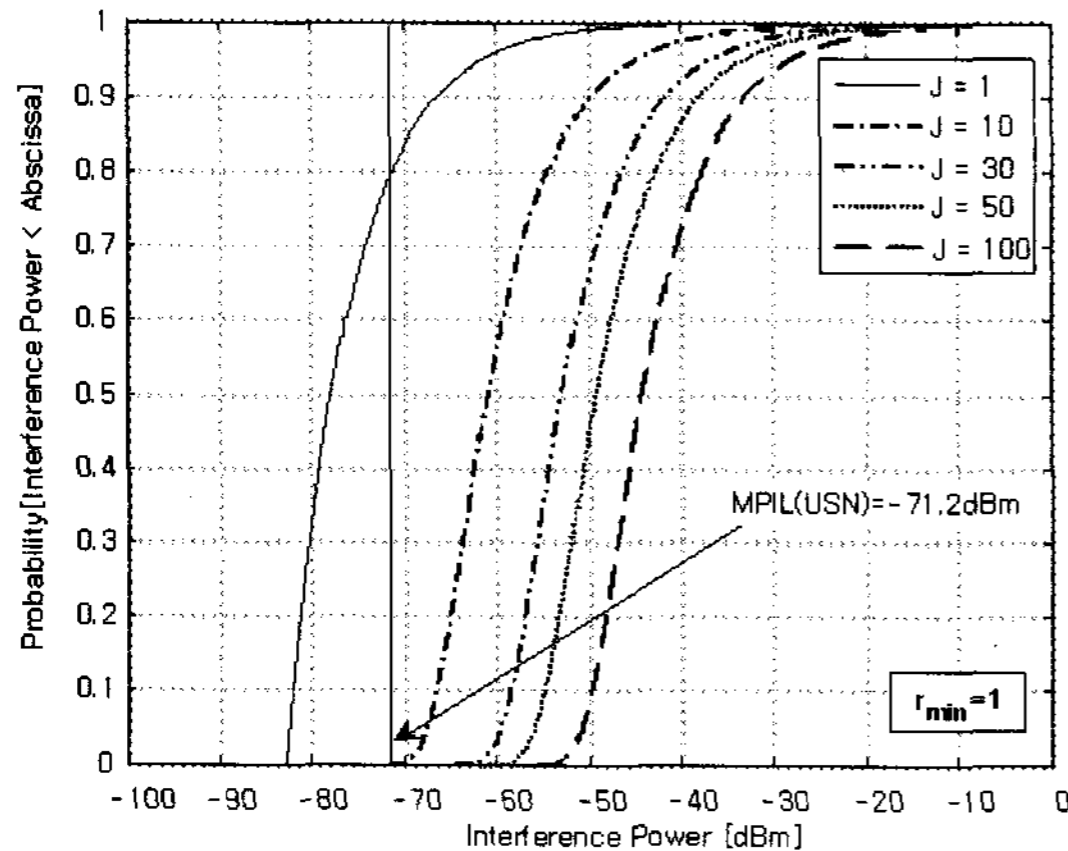
(b) $J=10$

그림 6. RFID reader에 의한 평균 간섭 전력

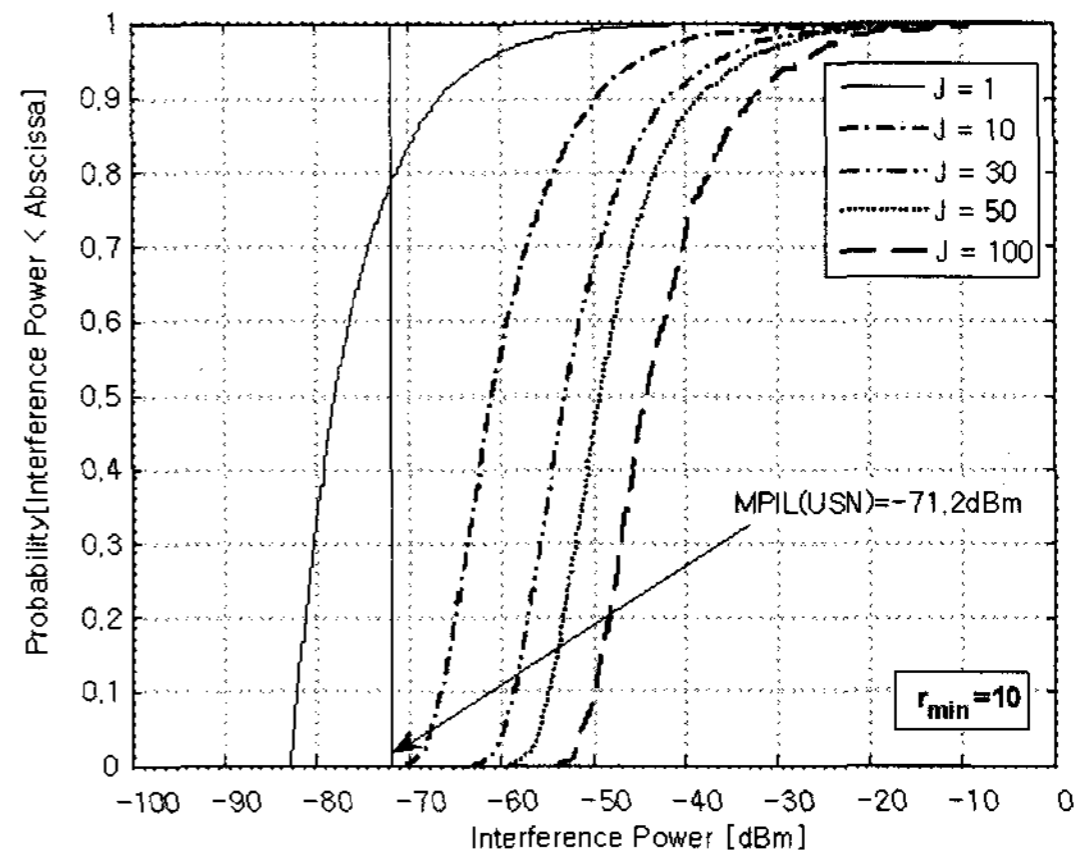
Fig. 6. Average interference power from RFID readers.

듯이 RFID 간섭원의 수가 10개 일 경우는 평균 간섭 전력은 USN이 요구하는 최대 허용 간섭 전력을 만족시키기 어렵다. 간섭원의 수가 1개이더라도 최소 이격 거리를 100 m 이상은 두어야 저출력 RFID 시스템만이 최대 허용 간섭 레벨 이하가 될 수 있다. 고정형 RFID 시스템은 reader 송신 전력이 4 W EIRP 이므로 그 수십 m의 이격거리로는 USN이 요구하는 최대 허용 간섭 레벨 이하로 간섭을 줄 수 없다. 그러나 저출력 RFID의 경우는 이격거리를 조정하고 간섭원의 수를 조정하면 이를 만족시킬 수 있음을 볼 수 있다.

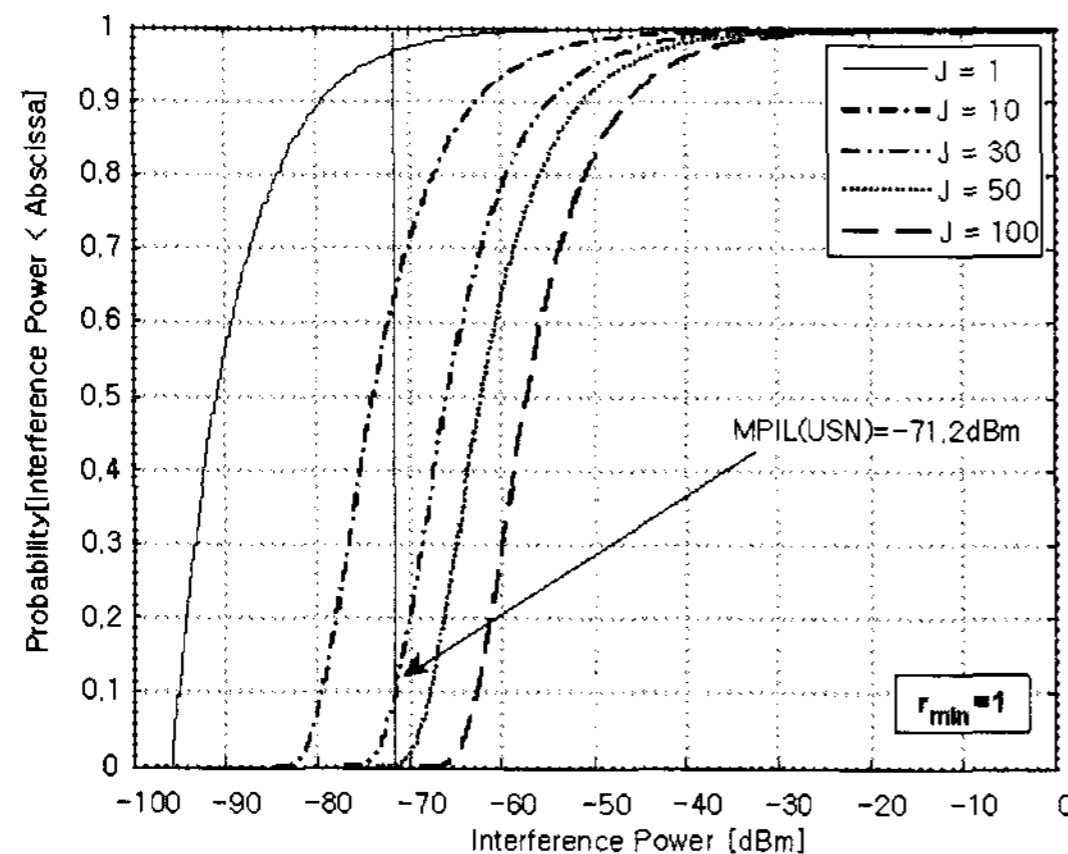
그림 7의 (a)와 (b)는 고출력을 사용하는 RFID 시스템이 간섭원인 경우에 간섭 전력의 분포를 나타낸 것이다. 간섭원이 1개일 때만 USN이 요구하는 최대



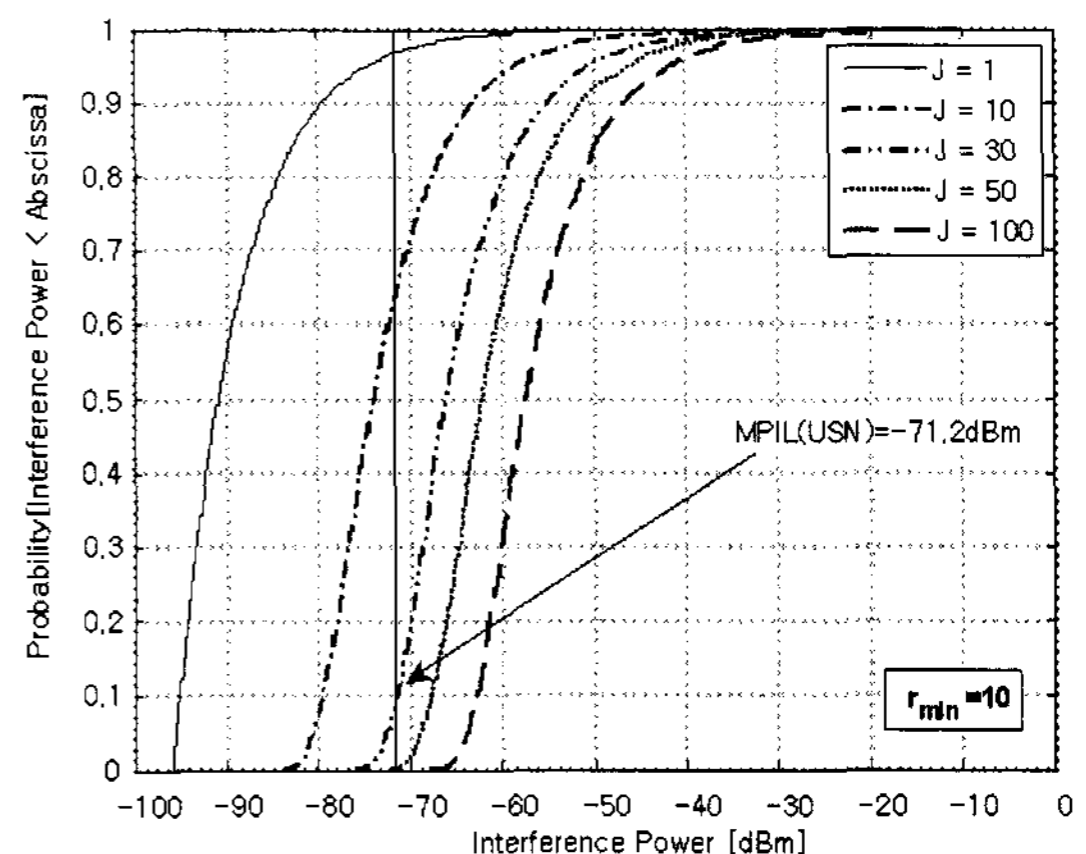
(a) High power RFID ($r_{\min} = 1$ m)



(b) High power RFID ($r_{\min} = 10$ m)



(c) Low power RFID ($r_{\min} = 1$ m)



(d) Low power RFID ($r_{\min} = 10$ m)

그림 7. RFID reader에 의한 간섭 전력의 CDF

Fig. 7. CDF of interference power from RFID readers.

허용 간섭 레벨을 만족시킬 확률이 75 %이다. 그림 7의 (c)와 (d)는 저출력 RFID 시스템이 간섭원인 경우에 간섭 전력의 분포를 나타낸 것이다. 간섭원이 1개인 경우 최대 허용 간섭 레벨을 만족시킬 확률이 95 %로 고출력 RFID보다 높음을 알 수 있다.

이와 같은 결과로부터, USN이 RFID에 미치는 영향이 RFID가 USN에 미치는 영향보다 작으며, 저출력 RFID는 USN에 미치는 영향이 고출력 RFID보다 작다는 것을 알 수 있다. 그러므로 USN과 RFID가 같은 대역을 공유해서 사용한다면 저출력 RFID와 USN이 공유하는 것이 가장 간섭이 적은 조합이라는 것을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 908.5~914 MHz 대역을 RFID와 USN 시스템이 공유하기 위한 간섭 분석 결과를 제시하였다. 간섭원의 전력 분포를 예측하기 위해서, 시뮬레이션 결과를 이론값과 비교하여 검증하고, 다양한 공유 시나리오에 따른 분석 결과를 제시하였다. 시뮬레이션 결과, USN이 RFID에 미치는 영향이 RFID가 USN에 미치는 영향보다 작으며, 저출력 RFID가 USN에 미치는 영향이 고출력 RFID보다 작다는 것을 확인할 수 있었다. 그러므로 USN과 RFID가 같은 대역을 공유해서 사용한다면 저출력 RFID와 USN이 공유하는 것이 가장 간섭이 적은 조합이라는 것을 확인할 수 있다. 이러한 조합에서 최대 허용 간섭 레벨을 만족할 확률은 95 % 이상이 되는 경우는, 저출력 RFID reader 1개와 다수의 USN node가 존재

하는 경우이다.

본 논문의 결과는 간섭 전력의 분포를 가지고 공유 가능성을 판단한 것이므로, 최악의 상황을 적용한 결과이므로, 공유에 의한 간섭 영향을 시스템 throughput 측면에서 보다 깊이 있게 분석할 필요가 있다.

참 고 문 헌

[1] 이기형, USN 기술 동향 분석 연구 최종보고서, Oct. 2005. 한국전산원.
 [2] IEEE Std 802.15.4, Part 15.4, "Wireless medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks(WPANs)", Sep. 2006.
 [3] Jay E. Padgett, Robert A. Ziegler, "Analysis of the interference temperature concept to support spectrum sharing between licensed services and unlicen-

sed devices", *Telcordia Technologies*, 2004.
 [4] www.alientechnology.com, "EPCglobal Class 1 Gen 2 RFID Specification".
 [5] D. -Y. Kim, J. -G. Yook, H. -G. Yoon, and B. -J. Jang, "Interference analysis of UHF RFID systems", *Progress in Electromagnetics Research B*, vol. 4, pp. 115-126, 2008.
 [6] 이윤덕, 김도윤, 윤현구, 육종관, 장병준, "리더 간섭에 의한 RFID 시스템의 인식 거리 감소에 관한 연구", 한국전자과학회논문지, 18(7), pp. 731-738, Jul. 2007.
 [7] 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 *Proc. 37th European Microwave Conference(EuMC'07)*, Munich, Germany, Oct. 2007.

윤 현 구

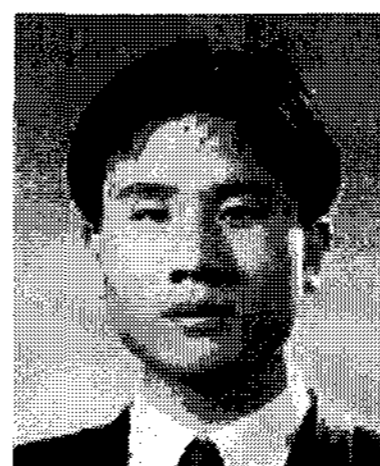


1995년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1997년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 2002년: 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)
 2002년~2004년 2월: (주)현대시스템

선임연구원

2004년 3월~현재: 명지전문대학 컴퓨터전자과 교수
 [주 관심분야] 통신 시스템, 무선전송기술, 채널모델링

장 병 준



1990년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1992년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1997년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
 1995년 3월~1999년 1월: LG전자

(주)

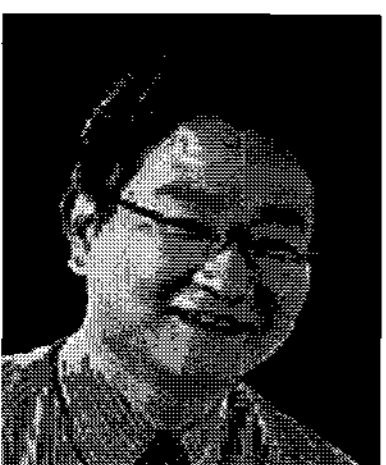
1999년 1월~2003년 9월: 한국전자통신연구원 무선방송연구소

2003년 10월~2005년 8월: 정보통신연구진흥원

2005년 9월~현재: 국민대학교 전자공학부 교수

[주 관심분야] 마이크로파/밀리미터파 회로(MMIC, Hybrid), 무선 통신 시스템, RFID/USN

강 민 수



1993년: 광운대학교 제어계측공학과 (공학사)
 1995년: 광운대학교 제어계측공학과 (공학석사)
 2003년: 광운대학교 제어계측공학과 (공학박사)
 현재: 한양사이버대학교 정보통신

공학과 교수

[주 관심분야] RFID, USN, Fault Tolerant System