

# Wi-Fi 간섭 환경에서 ZigBee 소자의 채널 특성 및 링크 품질 평가

안성범<sup>1</sup>, 김현호<sup>1</sup>, 최상진<sup>1</sup>, 노도환<sup>1,2</sup>, 반재경<sup>1,2\*</sup>  
<sup>1</sup>전북대학교 전기공학과, <sup>2</sup>전북대학교 스마트그리드연구센터

## Channel Characteristic and Link Quality Assessment of ZigBee Under Wi-Fi Interference

Seong-Beom Ahn<sup>1</sup>, Hyeon-Ho Kim<sup>1</sup>, Sang-Jin Choi<sup>1</sup>, Do-Hwan Rho<sup>1,2</sup>  
and Jae-Kyung Pan<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrical Engineering, Chonbuk National University

<sup>2</sup>Smart Grid Research Center, Chonbuk National University

**요약** 본 논문에서는 Wi-Fi 환경에서 ZigBee 통신 시 채널별 특성 및 링크 품질을 나타내는 PRR, RSSI, LQI를 측정하고 평가하였다. Wi-Fi의 간섭에 의하여 Wi-Fi와 ZigBee의 겹치는 채널과 겹치지 않는 채널에서의 RSSI와 LQI 값이 PRR과 어떠한 관계가 있는지를 확인하기 위해 Wi-Fi 켜고 끄고, 그리고 Wi-Fi를 이용하여 파일 다운로드 시 세 가지 경우에 대하여 실험하였다. Wi-Fi 간섭 환경에서 ZigBee 채널 특성 및 링크 품질 측정을 위해서 Wi-Fi와 ZigBee 수신단을 고정된 상태에서 ZigBee 수신단과 송신단 사이의 거리를 변화시켜가며 실험하였다. ZigBee 송신단은 ZigBee 수신단으로 매초 256 bits의 패킷을 보낸다. Wi-Fi 송신단과 ZigBee 수신단 위치에 따른 PRR값을 채널별로 측정하였고, ZigBee의 송, 수신단의 위치에 따른 RSSI와 PRR, LQI와 PRR을 역시 앞에서의 세 가지 경우에 대하여 측정하였다. 그 결과 Wi-Fi의 영향이 없을 때는 PRR 및 RSSI, LQI가 채널에 관계없이 비슷하였고, Wi-Fi의 영향이 커질수록 PRR의 값이 ZigBee와 겹치는 채널에서는 감소하였지만, 겹치지 않는 채널에서는 비슷하였다. 또한, RSSI와 LQI의 값은 Wi-Fi의 영향과 채널에 관계없이 비슷함을 확인하였다. 따라서 Wi-Fi 환경에서 ZigBee 통신의 간섭 탐지를 위해서 RSSI와 LQI의 사용은 적절하지 않으며, PRR을 이용해야 함을 알 수 있다.

**Abstract** In this paper, we have measured PRR, RSSI and LQI of ZigBee channels under Wi-Fi environment and have assessed channel characteristic and link quality. To confirm any relationship among RSSI, LQI values and PRR under Wi-Fi interference in overlapping and non-overlapping channels of Wi-Fi and ZigBee, the experiments were performed without Wi-Fi, with Wi-Fi and file download through Wi-Fi. Under Wi-Fi interference, We performed experiments to ensure channel characteristics and link quality by fixing Wi-Fi and ZigBee receiver and varying the distance between ZigBee receiver and transmitter. ZigBee transmitter sends packet of 256 bits every second to ZigBee receiver. PRR was measured from ZigBee with variance of distance between fixed Wi-Fi and ZigBee. RSSI, LQI, PRR were measured from ZigBee with fixed Wi-Fi, fixed ZigBee receiver and variance of distance of ZigBee transmitter. As a result, we confirmed decrease of PRR under Wi-Fi interference but RSSI, LQI values similar regardless of overlapped or non-overlapped channel and Wi-Fi interference. Therefore, PRR should be used for interference detection in ZigBee communication under Wi-Fi environment but RSSI and LQI are not appreciate.

**Key Words** : Wi-Fi, ZigBee, Interference, PRR, LQI, RSSI

---

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (No. 2012-0009151)

\*Corresponding Author : Jae-Kyung Pan

Tel: +82-10-8629-2397 email: pan@jbnu.ac.kr

접수일 12년 10월 04일

수정일 12년 10월 26일

게재확정일 12년 11월 08일

## 1. 서론

21세기에 들어서면서 무선 센서 네트워크의 시대에 돌입함에 따라 무선 센서 네트워크가 중요성을 더 하고 있다. 이미 보편화 되어있는 WLAN을 비롯하여 Bluetooth, ZigBee와 같은 다양한 근거리 무선 네트워크 (WPAN) 기술이 근래에 활용 범위를 넓혀가고 있다[1]. 이러한 무선통신 기술들은 2.4GHz의 ISM 밴드를 사용하고 있다. 하지만 서로 다른 목적으로 개발되었기 때문에 같은 공간에 존재하는 경우가 점점 빈번해짐으로 상호공존 문제가 중요한 문제로 대두되고 있다[2]. Shin 등[3]은 BER(Bit Error Rate)와 ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth의 간섭에 의한 패킷 충돌 시간으로부터 얻어진 PER을 분석하였다. PER을 수식적으로 분석한 값과 OPNET 시뮬레이터를 사용하여 얻은 값을 통해 결과를 뒷받침 하였다. 하지만 실제 환경에서의 실험 내용은 포함하지 않았다. Garroppo 등[4]은 연구실에서 약 9m의 거리로 송, 수신단을 떼어놓고 한 실험을 바탕으로 ZigBee와 Wi-Fi의 간섭에 대한 평가를 하였다. ZigBee와 Wi-Fi, Bluetooth를 각각 송, 수신단으로 나누고 교차할 경우와 평행한 경우 간섭에 대한 영향을 FER(Frame Error Rate)을 통해 확인하였고, ZigBee의 통신에 있어서 Wi-Fi와 겹치는 채널과 겹치지 않는 채널에 대하여 각각 확인하였다. ZigBee의 통신에 있어서 Wi-Fi에 의한 영향은 크지만, Bluetooth에 의한 영향은 거의 없음을 밝혔다. Yi 등[5]은 ZigBee 통신에 있어서 Wi-Fi에 의한 간섭 탐지를 위해 PER-LQI 기반의 도표를 제시하였고, 그에 따른 간섭 회피 순서도를 제시했다. 또한, Wi-Fi의 간섭 하에 ZigBee의 통신에서의 영향을 실험과 시뮬레이션을 이용하여 비교하였고, 이를 바탕으로 Wi-Fi에 의한 영향을 받지 않는 안전거리와 안전 오프셋 주파수를 제시하였다. 위의 논문들은 ZigBee의 채널 품질을 확인하는 또 다른 지표인 RSSI와 LQI에 대한 측정을 하지 않았다.

본 논문에서는 Wi-Fi의 간섭에 의하여 Wi-Fi와 ZigBee의 겹치는 채널과 겹치지 않는 채널에서의 RSSI와 LQI값이 PRR과 어떠한 관계가 있는지를 확인하려고 한다. Wi-Fi 켜를 때와 꺼를 때, 그리고 Wi-Fi를 이용하여 파일 다운로드 시 세 가지 경우에 대하여 AirView2 스펙트럼 분석기를 통하여 Wi-Fi의 RF 파워 스펙트럼을 확인하고, Wi-Fi 송신단과 ZigBee 수신단 위치에 따른 PRR값을 채널별로 실험을 하였고, ZigBee의 송, 수신단의 위치에 따라 Wi-Fi 켜를 때와 꺼를 때, 그리고 Wi-Fi를 이용하여 파일 다운로드 시 세 가지 경우에 대하여 PRR, RSSI, LQI를 측정하고 RSSI와 PRR의 관계와 LQI와 PRR의 관계를 확인하였다. 이 논문의 구성은 2장에서는

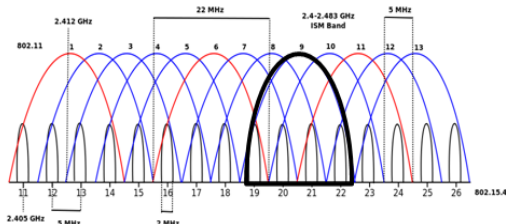
Wi-Fi와 ZigBee의 채널 특성에 관한 이론을 기술하고, 3장에서는 실험 및 결과 분석을 하며, 4장에서는 결론을 맺는다.

## 2. 본론

### 2.1 ZigBee와 Wi-Fi의 물리계층

ZigBee의 물리계층은 868/915MHz 및 2.4GHz 주파수 대역에서의 동작의 선택이 가능하다. 물리계층은 물리적 라디오 채널을 통한 데이터의 송, 수신을 담당하며, 이외에도 라디오 송, 수신기의 활성화 및 비활성화 제어, 채널의 선택, CSMA-CA 방식의 지원을 위한 빈 채널 검출(CCA), 채널 내부 에너지 검출(ED) 및 링크 성능 표시(LQI)의 기능을 수행한다. 에너지 검출은 채널 대역 내의 수신 신호의 강도를 검출하며, 이는 네트워크계층의 채널 선택을 위한 알고리즘에 이용할 수 있다. 링크 성능 표시는 수신된 패킷의 강도 및 품질을 측정하는 것으로 에너지 검출 또는 신호 대 잡음비(SNR) 측정을 이용할 수 있다. 빈 채널 검출은 채널 내부 신호의 존재 유무를 파악하며 에너지 검출, 반송파 감지(CS) 또는 두 방법 모두를 사용할 수 있다. 데이터의 전송은 동작 주파수 대역에 따라 각기 다른 변조 방식과 전송 속도를 가진다[6].

Wi-Fi의 물리계층은 2.4GHz 주파수 대역의 13개의 채널에서 동작의 선택이 가능하며, 그 중 겹치지 않는 3개의 채널을 사용하도록 권장된다. Wi-Fi는 대역확산 방식으로 직접 시퀀스 확산대역 방식(DSSS)을 사용하며, 확산용으로 사용되는 코드방식에 따라 1, 2, 5.5, 11Mbps의 전송속도를 가진다. 1, 2Mbps에서는 Barker Coding방식이, 5.5, 11Mbps에서는 CCK방식이 사용되며, 모두 DQPSK 변조방식을 사용한다[7].



[그림 1] ZigBee와 Wi-Fi의 채널 분포  
[Fig. 1] Channel coexistence between ZigBee and Wi-Fi

### 2.2 ZigBee와 Wi-Fi 채널 분포 및 PRR 분석

ZigBee는 2.4GHz 대역에서 16개의 채널로 각 채널은 2MHz의 대역폭을 가지고 5MHz의 간격으로 분포해 있

다. Wi-Fi는 13개의 채널로 이루어져 있으며, 각 채널은 22MHz의 대역폭을 가지고 2.4GHz 대역에 분포해 있다. 그림 1에서 살펴보면, Wi-Fi의 하나의 채널에 4개의 ZigBee 채널이 겹쳐있는 것을 확인할 수 있다. 예를 들어 Wi-Fi의 9번 채널이 사용될 때, ZigBee가 19, 20, 21, 22 채널을 통해서 통신을 하게 된다면 원하는 신호가 제대로 전송이 되지 않을 수 있다.

ZigBee의 2.4GHz 대역에서는 OQPSK 변조 방식을 사용하며, AWGN(Additive White Gaussian Noise) 환경에서 BER은 식 (1)과 같다[5].

$$BER = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \quad (1)$$

$E_b$ 는 신호의 평균에너지를,  $N_0$ 는 잡음의 스펙트럼 밀도를 나타내며,  $E_b/N_0$ 는 신호대 잡음비(SNR)로 표현할 수 있고,  $Q(x)$ 는 가우시안 분포의 Q 함수이다.

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du \quad (2)$$

ZigBee 채널이 Wi-Fi 채널과 겹칠 때, Wi-Fi 신호는 ZigBee 신호에 대하여 부분대역 채밍잡음으로서 고려된다. 그리고 SNR은 SINR(신호대 잡음 및 간섭비)로 나타낼 수 있으며, Wi-Fi의 파워 스펙트럼이 ZigBee 보다 11배 넓고, 균등하게 분포되어 있지 않은 것에 관해 고려해 볼 때, in-band 파워 팩터  $r$ 이  $P_{\text{간섭}}$ 에 곱해지게 된다. 즉, SINR은 식 (3)과 같다[5].

$$SINR = \frac{P_{\text{신호}}}{P_{\text{잡음}} + r \cdot P_{\text{간섭}}} \quad (3)$$

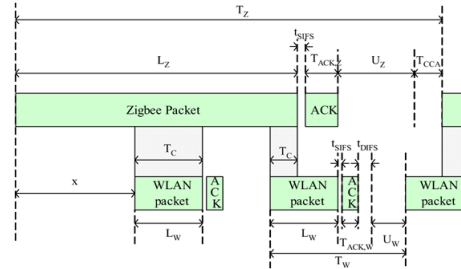
$P_{\text{신호}}$ 는 ZigBee 수신단에서의 신호의 전력이고,  $P_{\text{잡음}}$ 은 잡음전력,  $P_{\text{간섭}}$ 은 간섭신호의 전력이다. 팩터  $r$ 을 얻기 위해, Wi-Fi의 파워 스펙트럼 밀도와 ZigBee와 Wi-Fi의 중심 주파수 사이의 오프셋 주파수가 고려된다. 파워가 중심 주파수에 가까울수록,  $r$ 이 증가한다. 본 실험에서 동작하는 Wi-Fi 9번 채널의 중심 주파수는 2.452GHz이며, 9번 채널과 겹치지 않는 11번과, 26번의 경우 중심 주파수는 2.405, 2.480GHz 이므로, 채널 11번에서 오프셋 주파수는 47MHz, 채널 26번에서 오프셋 주파수는 28MHz이고,  $r$ 이 0이 되므로, SINR 수식이 SNR 수식이 된다. 9번 채널과 겹치는 ZigBee의 채널인 19번과 21번

의 중심 주파수는 각각 2.445, 2.455GHz 이므로, 채널 19번에서 오프셋 주파수는 7MHz, 21번에서 오프셋 주파수는 3MHz가 된다. 채널 21번에서  $r$ 값이 크므로 더 큰 영향을 받게 된다.

PRR(Packet Reception Rate)은 BER과 패킷의 충돌 시간에 기반하여 계산되며, PRR에 대한 수식은 식 (4)와 같다.

$$PRR = [(1 - BER)^{N_z - |T_c|b}] \times (1 - BER)^{|T_c|b} \quad (4)$$

여기서  $N_z$ 는 ZigBee 패킷에서 비트의 수를 나타내며,  $T_c$ 는 패킷 충돌 시간,  $b$ 는 비트 전송 기간을 나타낸다 [5]. 그림 2는 ZigBee와 Wi-Fi의 패킷 간섭 모델을 나타낸다.



[그림 2] ZigBee와 Wi-Fi의 패킷 간섭 모델  
[Fig. 2] Interference model between ZigBee and Wi-Fi

[표 1] 간섭모델의 각 파라미터들  
[Table 1] Parameters of Interference model

Parameter	Definition	Value
$T_z$	Inter-arrival time between two ZigBee data packet	6186 $\mu$ s
$L_z$	Duration of a Zigbee data packet	4064 $\mu$ s
$tSIFS$	t Short interframe space of ZigBee	10 $\mu$ s
$T_{ACK,z}$	Duration of a ZigBee ACK packet	352 $\mu$ s
$U_z$	Average backoff time of ZigBee	1120 $\mu$ s
$TCCA$	Clear Channel Assessment time	640 $\mu$ s
$T_w$	Inter-arrival time between two WLAN data packet	1977 $\mu$ s
$L_w$	Duration of WLAN data packet	1303 $\mu$ s
$tSIFS$	Short interframe space of WLAN	10 $\mu$ s
$tDIFS$	Distributed coordination function interframe space of WLAN	50 $\mu$ s
$T_{ACK,w}$	Duration of WLAN ACK packet	304 $\mu$ s
$U_w$	Average backoff time of WLAN	310 $\mu$ s
$X$	Time offset	Varying
$T_c$	Collision Time	Varying

표 1은 모든 파라미터와 그에 상응하는 일반적인 값들이 나타나 있다. 여기서 식 (5), (6)이 얻어진다[5].

$$T_W = L_W + SIFS_W + T_{ACK,W} + DIFS + U_W \quad (5)$$

$$T_Z = L_Z + T_{CCA} + SIFS_Z + T_{ACK,Z} + U_Z \quad (6)$$

$x$ 가 Wi-Fi 패킷과 ZigBee 패킷 사이의 타임 오프셋이라고 하고,  $x$ 가  $[0, T_W)$ 에서 균등하게 분포되어 있다는 가정하에 모델이 단순화 된다. 그 다음에 평균 충돌 시간  $T_C$ 가 식 (8)과 같이 얻어진다[5].

$$T_C(x) = \begin{cases} L_Z - x - 2(T_W - L_W) & 0 \leq x < L_Z - 2T_W \\ 2L_W & L_Z - 2T_W \leq x < L_Z - T_W - L_W \\ L_W + L_Z - x - T_W & L_Z - T_W - L_W \leq x < L_Z - T_W \\ L_W & L_Z - T_W \leq x < L_Z - L_W \\ L_Z - x & L_Z - L_W \leq x < L_Z \end{cases} \quad (7)$$

$$T_C = \frac{\int_0^{L_Z} T_C(x) dx}{L_Z} \quad (8)$$

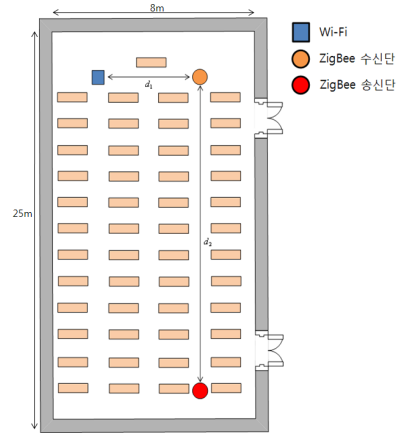
본 실험에서 Wi-Fi를 켜지 않을 때,  $T_C$ 가 0이 되므로, PRR은 BER과  $N_Z$ 에 의해서 결정이 된다. 하지만 Wi-Fi를 켜는 경우  $T_C$ 가 생기게 되고 그로 인하여 식 (4)의  $(1 - BER)^{T_C/d}$  부분이 1보다 작아지게 되어 PRR 값이 Wi-Fi를 켜지 않을 때 보다 작아진다. 또한 Wi-Fi를 이용하여 파일 다운로드 시에  $T_C$ 가 Wi-Fi를 켜지 않을 때 보다 더욱 커지게 되며, 그로 인하여  $(1 - BER)^{T_C/d}$ 이 더 작아짐에 따라 PRR이 더욱 작아지게 된다.

### 3. 실험 및 결과 분석

#### 3.1 실험 환경

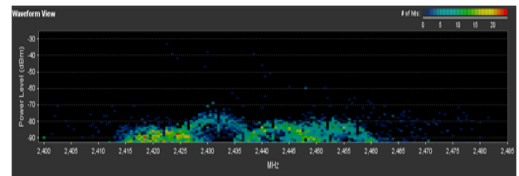
본 논문에서는 ZigBee 수신단이 Wi-Fi의 근거리에서 위치할 때 채널 특성과 Wi-Fi 간섭 환경에서 ZigBee 채널 특성 및 링크 품질 측정을 위해서, 그림 3의 실험 배치를 바탕으로 실험을 하였다. 실험 장소는 대학 강의실이며, 건물 내부에 다수의 Wi-Fi가 존재하고 있지만, 각각의 강의실에서 신호가 미약하게 잡힌다. ZigBee 수신단이 Wi-Fi의 근거리에서 위치할 때 채널 특성을 위해서  $d_2$

를 고정된 상태에서  $d_1$ 을 변화시킨 후 실험하였고, Wi-Fi 간섭 환경에서 ZigBee 채널 특성 및 링크 품질 측정을 위해서  $d_1$ 을 고정된 상태에서  $d_2$ 를 변화시켜가며 실험하였다. 실험을 통해 얻어진 LQI, RSSI 값이 Wi-Fi의 간섭 탐지에 적절한지를 판단하고, PRR과의 관계를 확인한다.

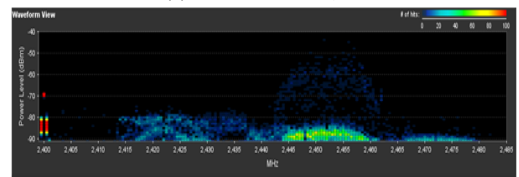


[그림 3] Wi-Fi 간섭 환경에서 ZigBee의 특성에 대한 실험 배치도

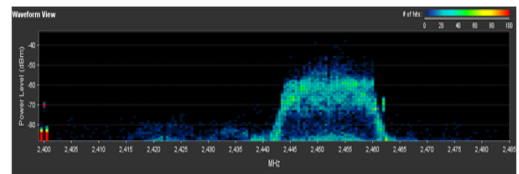
[Fig. 3] Experiment arrangement drawing



(a) Wi-Fi 없을 때



(b) Wi-Fi 켜졌을 때



(c) Wi-Fi를 이용하여 파일 다운로드

[그림 4] 실험 장소에서 측정된 Wi-Fi의 RF 파워 스펙트럼

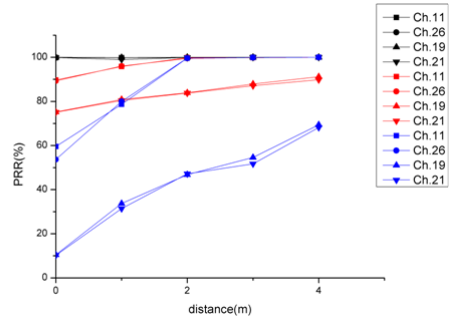
[Fig. 4] RF power spectrum of Wi-Fi measured at experiment place

본 실험에 앞서 실험 장소인 대학 강의실에서 ZigBee의 수신단 근처에서 Wi-Fi의 RF 파워 스펙트럼을 AirView2 스펙트럼 분석기를 통해서 약 1분간 측정 하였다. 그림 4의 (a)는 강의실에서의 RF 파워 스펙트럼을 보여주고 있다. 건물 내부에 Wi-Fi들이 켜져 있기 때문에 이와 같은 스펙트럼을 확인 할 수 있다. 스펙트럼에서 나타나는 그래프를 통해서 어느 주파수에서 Wi-Fi가 사용되는 지 확인할 수 있다. 그림의 오른쪽 상단에 나타나는 number of hits를 통해서 가장 많이 사용되는 주파수 대역과 파워 레벨을 확인할 수 있다. 그림에서 나타난 -70~-80dBm 정도의 파워 레벨은 본 실험에서의 ZigBee 통신에 별 영향을 주지 않는다. (b)는 강의실 내부에서 Wi-Fi 환경을 만들었을 때의 RF 파워 스펙트럼을 보여준다. 2.445MHz에서 2.460MHz 대역의 스펙트럼이 형성되고, Wi-Fi의 9번 채널이며, ZigBee의 채널 19, 20, 21, 22와 겹치게 되는 부분이다. 이는 그림 1에서 굵게 표시된 부분이다. 스펙트럼은 약 -50dBm 정도의 크기를 나타내지만, 많은 패킷 전송이 이루어지지 않기 때문에 스펙트럼 상에서 그림이 잘 확인되지 않는다. (c)는 실험에서 임의로 생성한 Wi-Fi 환경을 이용하여 파일을 다운로드 하고 있는 상황에서의 RF 파워 레벨을 보여준다. 그림 (b)와 비교하여 더 큰 파워 레벨인 -45dBm 정도를 확인할 수 있으며, 많은 패킷 전송으로 인하여 스펙트럼이 확실하게 형성된다.

### 3.2 ZigBee 수신단이 Wi-Fi의 근거리에서 위치할 때 채널 특성

강의실에서의 스펙트럼을 바탕으로 하여 Wi-Fi와 겹치지 않는 채널인 ZigBee의 11번, 26번, Wi-Fi와 채널이 겹치는 19번, 21번 채널에서 각각의 경우에 PRR을 측정 하였다. 실험 조건은 Wi-Fi가 없을 경우와 Wi-Fi를 켜었을 경우, 그리고 Wi-Fi를 이용하여 파일 다운로드를 하는 경우에서 ZigBee 수신단과 송신단의 거리를 5m로 고정하고 Wi-Fi를 수신단으로부터 0m에서 4m까지 1m씩 증가시켜 가면서 ZigBee의 채널별 PRR을 측정하였다. 우선 강의실의 랜 포트에 EFM 네트워크의 ipTIME N604M 무선 공유기를 연결하여 Wi-Fi 환경을 만들었다. 채널 특성 파악을 위한 PRR 측정 ZigBee 모듈은 Freescale사의 1323x-REM을 이용하였다. 이 모듈은 IEEE 802.15.4를 사용하는 RF 송수신기를 포함한다. 그림 5에서 검은색으로 된 부분은 Wi-Fi가 없을 때, 빨간색으로 된 부분은 Wi-Fi를 켜었을 때, 그리고 파란색으로 된 부분은 Wi-Fi를 이용하여 파일 다운로드시의 채널별 PRR을 나타낸다. Wi-Fi를 켜지 않았을 때에는 Wi-Fi와 ZigBee의 수신단이

근접해 있음에도 PRR이 모두 100에 가깝게 나타났다. Wi-Fi를 켜었을 때, Wi-Fi와 ZigBee의 수신단이 근접해 있을 경우, 1m까지는 Wi-Fi와 채널이 겹치지 않는 Ch.11과 Ch.26도 PRR에 영향을 받는 것을 확인할 수 있으며, 채널이 겹치는 Ch.19와 Ch.21의 경우는 겹치지 않는 채널보다 더 큰 영향을 받았으며, Wi-Fi로부터 ZigBee의 수신단이 멀어지게 되면 PRR이 향상되는 것을 확인할 수 있다. Wi-Fi로부터 파일을 다운로드할 경우 단순히 Wi-Fi를 켜었을 때 보다 각각의 채널에서 Wi-Fi와 ZigBee의 수신단의 거리에 따라 더 큰 영향을 받는 것을 확인할 수 있다. 이러한 특성을 바탕으로 Wi-Fi의 간섭 환경에서 ZigBee의 채널 특성 및 링크 품질에 대한 영향을 확인하기 위해서 Wi-Fi와 ZigBee 수신단을 4m 정도 떼어놓고 실험을 수행했다.



[그림 5] Wi-Fi 켜었을 때, Wi-Fi를 이용하여 파일 다운로드시의 채널별 PRR

[Fig. 5] PRR of each channels for Wi-Fi off, Wi-Fi on and file download with Wi-Fi on

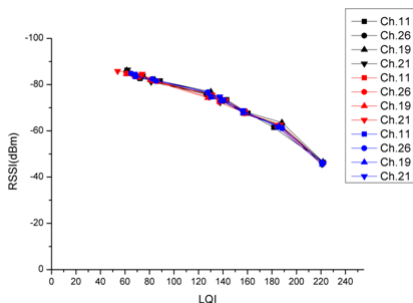
### 3.3 Wi-Fi 간섭 환경에서 ZigBee 채널 특성 및 링크 품질 측정

이번 실험은 Wi-Fi와 ZigBee 수신단의 거리를 Wi-Fi와 ZigBee의 겹치지 않는 채널에서의 간섭이 없도록  $d_1$ 을 4m로 고정시켜 놓고, ZigBee의 송신단의 위치  $d_2$ 를 변화시켜가면서 PRR과 RSSI, LQI를 측정하였다. PRR과 LQI는 Freescale사의 ZigBee 모듈인 1323x-REM[9]으로 측정하였고, PRR과 RSSI는 Digi사의 XBee[10]로 측정하였다. 그림에서 검은색은 Wi-Fi 켜었을 때, 빨간색은 Wi-Fi를 이용하여 파일 다운로드시이다. 그림 6은 RSSI와 LQI의 관계를 나타내는 그래프이다. 그래프를 통해서 RSSI와 LQI값이 채널에 관계없이 비슷한 값을 나타내며, Wi-Fi에 의한 영향에 있어서도 큰 변화가 없음을 확인할 수 있다. 또한, RSSI와 LQI가 선형에 가까운 관계를 가지고 있음을 확인할 수 있다. 이는 맹목 전

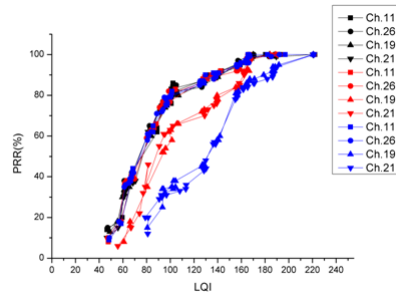
송(blind transmission)의 결과이다.

그림 7에서 Wi-Fi를 켜고, ZigBee와 Wi-Fi가 겹치지 않는 채널인 채널 11과 채널 26, 겹치는 채널인 채널 19와 채널 21이 동일한 그래프 모양을 가지는 것을 확인하였다. 이는 ZigBee 통신이 채널별로 동일하게 되고 있음을 나타낸다. Wi-Fi를 켜고, LQI값이 160정도의 값을 가질 때부터 PRR이 겹치지 않는 채널보다 더 작게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 또한 Wi-Fi를 이용 파일 다운로드 할 때, ZigBee 통신에 있어서 Wi-Fi에 의한 영향을 더 크게 받는 것을 확인할 수 있다. 이를 바탕으로 같은 LQI 값인 140의 값에서 Wi-Fi가 켜지거나 Wi-Fi를 이용하여 파일을 다운로드하는 경우에 있어서 Wi-Fi와 겹치는 채널인 채널 19와 채널 21에서 PRR 값이 Wi-Fi를 켜고 때 보다 낮은 것을 볼 수 있으며, 파일 다운로드하는 경우가 그냥 Wi-Fi를 켜고 때보다 PRR값이 더 낮은 것을 확인할 수 있다.

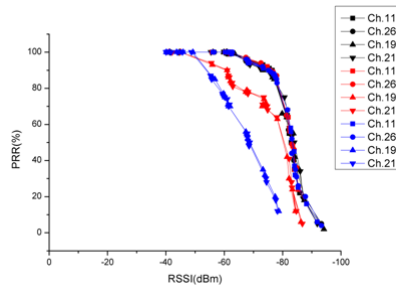
그림 8은 RSSI와 PRR의 관계를 나타낸 그래프로 같은 RSSI값인 -60dBm에서 살펴보면 Wi-Fi가 켜지거나 Wi-Fi에 접속하여 파일을 다운로드하는 경우에 있어서 Wi-Fi와 겹치는 채널인 채널 19와 채널 21에서 PRR 값이 Wi-Fi를 켜지 않았을 때 보다 낮은 것을 볼 수 있으며, 파일 다운로드하는 경우가 그냥 Wi-Fi를 켜고 때보다 PRR값이 더 낮은 것을 확인할 수 있다. 이는 AirView2 스펙트럼 분석기를 통해 살펴본 RF 스펙트럼의 그림 4에서처럼 파일 다운로드를 할 경우 패킷의 전송이 활발하게 되어 식 (4)의 패킷 충돌 시간인  $T_C$ 가 증가하게 되므로 PRR이 더 작아지게 된다.



[그림 6] Wi-Fi 켜고, Wi-Fi 켜고, Wi-Fi를 이용 파일 다운로드 시의 채널별 RSSI와 LQI  
 [Fig. 6] Relationship of LQI and RSSI for Wi-Fi off, Wi-Fi on and file download with Wi-Fi on



[그림 7] Wi-Fi 켜고, Wi-Fi 켜고, Wi-Fi를 이용 파일 다운로드 시의 채널별 PRR과 LQI  
 [Fig. 7] Relationship of LQI and PRR for Wi-Fi off, Wi-Fi on and file download with Wi-Fi on



[그림 8] Wi-Fi 켜고, Wi-Fi 켜고, Wi-Fi를 이용 파일 다운로드 시의 채널별 PRR과 RSSI  
 [Fig. 8] Relationship of RSSI and PRR for Wi-Fi off, Wi-Fi on and file download with Wi-Fi on

#### 4. 결론

본 논문은 Wi-Fi 환경에서 ZigBee의 송, 수신단의 거리에 따른 PRR과 RSSI, LQI를 ZigBee의 채널별로 측정하여 채널 특성 및 링크 품질 평가를 하였다.

Wi-Fi와 ZigBee 수신단의 거리를 Wi-Fi와 ZigBee의 겹치지 않는 채널에서의 간섭이 없도록  $d_1$ 을 4m로 고정시켜 놓고, ZigBee의 송신단의 위치  $d_2$ 를 변화시켜가면서 PRR과 RSSI, LQI를 측정하였다. Wi-Fi를 켜고, Wi-Fi를 켜고, Wi-Fi를 이용 파일 다운로드 시 모두 채널이 겹치지 않는 부분에서의 PRR, RSSI, LQI 값은 큰 변화 없이 비슷했으며, Wi-Fi를 켜고 때는 겹치는 채널에 있어서도 비슷한 PRR, RSSI, LQI값을 보였다. 또한 채널이 겹치는 부분에서는 Wi-Fi를 켜고 때와 Wi-Fi를 이용하여 파일 다운로드 시에 Wi-Fi를 켜지 않았을 때보다 PRR값이 작게 나왔으며, 파일 다운로드 시 PRR은 가장 작게 나왔고, Wi-Fi에 의하여 더 큰 영향을 받았다. 패킷

충돌 시간인  $T_C$ 가 Wi-Fi를 이용 파일 다운로드 시 더욱 커지게 되어 PRR이 작아지게 된다. RSSI와 LQI의 값은 채널과 Wi-Fi에 의한 영향에 관계없이 비슷한 값을 나타냈다. 이는 맹목 전송의 결과로 볼 수 있다. 따라서 Wi-Fi에 의한 간섭을 탐지하기 위해서는 RSSI와 LQI를 이용하는 것은 적절하지 않으며, PRR을 이용해야 한다.

### References

[1] Hamalainen, Timo D., Ultra-Low Energy Wireless Sensor Networks in Practice, John Wiley & Sons, 2008.

[2] Gilles Thonet, Patrick Allard-Jacquín and Pierre Colle, "ZigBee-WiFi Coexistence", White Paper and Test Report, Schneider Electric, Apr. 2008.

[3] Soo Young Shin, Hong Seong Park, Sung Hyun Choi and Wook Hyun Kwon, "Packet Error Rate Analysis of ZigBee Under WLAN and Bluetooth Interferences", IEEE Transaction on Wireless Communications, vol.6, no.8, pp.2825-2830, Aug. 2007.

[4] Rosario G. Garroppo, Loris Gazzarrini, Stefano Giordano and Luca Tavanti, "Experimental assessment of the coexistence of Wi-Fi, ZigBee, and Bluetooth devices", IEEE International Symposium on a WoWMoM, pp.1-9, June 2011.

[5] Peizhong Yi, Abiodun Iwayemi and Chi Zhou, "Developing ZigBee Deployment Guideline Under WiFi Interference for Smart Grid Applications", IEEE Transactions on Wireless Communications on Smart Grid, vol.2, no.1, pp.110-120, Mar. 2011.

[6] IEEE Std. 802.15.4, "IEEE Standard for Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)", 2003.

[7] IEEE Std. 802.11b, "IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications", 2007.

[8] AirView2 Spectrum Analyzer by Ubiquiti Networks, <http://www.ubnt.com/airview>

[9] IEEE® 802.15.4 RF Modules by Digi, 2009.

[10] 1323x Development Hardware by Freescale, 2011.

**안 성 범(Seong-Beom Ahn)**

[준회원]



- 2003년 3월 ~ 2010년 2월 : 전북대학교 전기공학과 (공학사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 대학원 전기공학과 (석사과정)
- 2012년 3월 ~ 현재 : KCC

<관심분야>

ZigBee 소자 응용

**김 현 호(Hyeon-Ho Kim)**

[준회원]



- 2002년 3월 ~ 2010년 2월 : 전북대학교 전기공학과 (공학사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 대학원 전기공학과 (석사과정)

<관심분야>

ZigBee 소자 및 진동센서를 이용한 풍력발전기 상태 모니터링 시스템

**최 상 진(Sang-Jin Choi)**

[준회원]



- 2004년 3월 ~ 2011년 2월 : 전북대학교 전기공학과 (공학사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 대학원 전기공학과 (석·박사 연계과정)

<관심분야>

광섬유 센서 응용

**노 도 환(Do-Hwan Rho)**

[정회원]



- 1969년 3월 ~ 1973년 2월 : 전북대학교 전기공학과 (공학사)
- 1981년 3월 ~ 1983년 2월 : 동경공업대학 제어공학과 (공학석사)
- 1983년 3월 ~ 1987년 2월 : 동경공업대학 제어공학과 (공학박사)
- 1988년 4월 ~ 현재 : 전북대학교 전기공학과 교수

<관심분야>

로봇 비전, 영상처리, 광응용계측, 센서응용

---

**반 재 경(Jae-Kyung Pan)**

[정회원]



- 1976년 3월 ~ 1980년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학사)
- 1980년 3월 ~ 1982년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1982년 9월 ~ 1987년 8월 : 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
- 1987년 5월 ~ 현재 : 전북대학교 전기공학과 교수
- 2011년 1월 ~ 현재 : 전북대학교 스마트그리드연구센터 센터장

<관심분야>

광섬유 센서 응용, ZigBee 소자 및 진동센서를 이용한 풍력발전기 상태 모니터링 시스템