https://doi.org/10.7840/kics.2023.48.12.1593

간섭신호의 영향에 따른 WLAN 서비스품질 측정

김 한 석◆, 최 재 훈*, 노 정 민*, 송 대 원*, 이 상 엽*, 김 근 배°

A Measurement of WLAN Service Quality According to the Influence of Interference Signals

Hanseok Kim◆, Jaehoon Choi*, Jeongmin Noh*, Daewon Song*, Sangyeob Lee*, Geunbae Kim°

요 약

무선랜(WLAN, Wireless Local Area Network)이 서비스되는 ISM(Industrial Scientific Medical)대역은 비면허 대역으로 WLAN 외에도 블루투스, 지그비 등 다양한 신호들이 존재하며 서로 간섭신호로 작용한다. WLAN의 서비스 품질은 이러한 간섭신호들 가운데 동일채널 또는 인접채널에서 동작하는 OBSS (Overlapped Basic Service Set) WLAN 신호에 의해 주로 영향을 받는다. 본 논문에서는 동일채널의 OBSS 간섭신호 영향에 따른 WLAN 서비스 품질을 정량적으로 측정하기 위하여 처리량 효율과 간섭 대응 처리율을 성능지표로 정의하고 이를 기반으로 WLAN 서비스 품질을 측정하기 위한 시험 절차를 제시한다. 또한 이를 상용 WLAN AP(Access Point)의 간섭 영향 평가시험에 적용하고 그 결과를 비교 분석함으로써 제안하는 WLAN 서비스 품질 측정 방법의 유효성을 검증한다. 본 논문에서 제안하는 측정지표 및 시험 절차는 다양한 측면에서 AP제품의 성능을 비교 분석하는데 적용될 수 있다.

Key Words : WLAN, Access Point, Channel Interference, Throughput, IEEE80211

ABSTRACT

WLAN(Wireless local area network) is serviced in ISM(Industrial Scientific Medical) band where Bluetooth, Zigbee, and other WLAN signal coexist. They affect each other as interfering signals. Among these interference signals, WLAN service quality is mainly affected by overlapped basic service set (OBSS) WLAN signals operating on the same channel or the adjacent channels. In this paper, we define the throughput efficiency and interference robustness as performance specifications to quantitatively measure the service quality of WLAN according to the OBSS signal interference. We set up a test procedure for measuring WLAN service quality based on these specifications. In addition, we verify the effectiveness of the proposed method by applying it to the test for the commercial WLAN access points (APs) and analyzing the results. The measurement specification and test procedure proposed in this paper can be applied to product performance comparison and analysis in various aspects when evaluating the performance of APs.

◆ First Author : LG Uplus Corp. Ltd., hskim107@lguplus.co.kr, 정회원
° Corresponding Author : Hanyang University Department of Electronic Engineering, gbkim@hanyang.ac.kr, 정회원
* LG Uplus Corp. Ltd., {jaeh1535, jmnoh, dsong, sangyeob}@lguplus.co.kr
논문번호 : 202307-015-B-RN, Received July 18, 2023; Revised September 6, 2023; Accepted September 18, 2023

Ⅰ. 서 론

무선랜(WLAN, Wireless Local Area Network)은 연결된 세상(connected world)에서 고속 데이터 서비스를 저렴한 비용으로 손쉽게 누릴 수 있는 통신기술이다. 다양한 기기들이 자유롭게 사용할 수 있는 비면허대역인 ISM(Industrial Scientific Medical)대역 이용이 이러한 서비스 경제성을 가져왔다. 스마트폰, 태블릿, 노트북, 그리고 IoT (Internet of Things)단말기 등 WLAN 서비스를 사용하는 기기들의 수가 폭발적으로 증가하고, 어플리케이션이 요구하는 데이터 트래픽 역시 지속적으로 증가하고 있다[1]. 이처럼 증가하는 WLAN 수요를 충족시키기 위하여 기존의 비 면허 주파수 대역과 함께 최근 6GHz 대역이 WLAN 서비스 대역으로 새롭게 제정되었다[2]. 아울러 차세대 WLAN 규격인 802.11 be (Wi-Fi 7)는 기존 규격에 비해 빠르고 효율적인 서비스 제공을 목표로 하고 있어, 데이터 처리량(Throughput, T-PUT) 향상 기술과 사용자수 증가에 따른 효율적인 자원 할당 및 제어 알고리즘 개발을 촉진시키고 있다[3-5].

비면허대역은 누구나 자유롭게 사용할 수 있는 주파수 대역이라는 장점과 함께 한정된 대역을 통제 없는 다수의 사용자가 공유하면서 타 사용자 신호가 간섭신호로 작용하여 통신 서비스 품질이 저하되는 단점이 있다. 이러한 성능 저하를 보완하기 위해 간섭신호의 영향을 차단하고 주파수 낭비를 줄이는 프리앰블 펑처링(Preamble Puncturing)과 같은 혼잡 제거 기술들이 WLAN에 적용되고 있다[6]. 또한 각 Wi-Fi 칩셋 제조사별로 간섭에 대한 개선 알고리즘을 자체적으로 개발하여 적용함으로써 간섭의 영향으로 인한 성능 저하를 보완하고 있다. 그러므로 Wi-Fi 칩셋, 간섭억제 또는 회피 알고리즘의 효율성에 따라 AP(Access Point)가 간섭신호로부터 받는 영향이 달라지게 되며 AP제품들의 WLAN 성능 차이가 발생한다.

최근까지 간섭신호가 WLAN 서비스 품질에 미치는 영향을 분석하고 성능을 향상시키기 위한 다양한 연구들이 진행되어 왔다[7-12]. 2.4GHz ISM 대역의 지그비(Zigbee) 및 무선 전화기와 같은 장치에서 RF 간섭신호가 WLAN 성능에 미치는 영향에 관한 연구가 진행되었다[7]. 또한 주기적인 BSS(Basic Service Set)간 경쟁을 바탕으로 채널 이관을 통한 지능적 간섭회피 기술이 제안되었다[8]. 그리고 신호강도, 전송률, 신호간섭 간의 상호 관계를 분석하고, 데이터 전송률에 미치는 영향을 분석한 연구가 진행되었다[9].

실제 실험을 통해 IEEE 802.11ac의 특성을 제시하고 에너지 효율성 및 간섭의 영향을 모의실험을 통해 분석한 연구가 수행되었다[10]. 이후 무선랜의 네트워크 간 간섭의 영향 하에서 일대일 무선랜의 처리량 분석에 관한 연구가 수행되었고[11], 최근에는 IEEE 802.11 네트워크에 대한 미래 간섭 수준을 예측하기 위한 새로운 프레임워크가 제안되고 실험적으로 평가되었다[12]. 기존의 연구들은 주로 간섭신호 환경에서 AP의 성능을 개선하기 위한 방법들을 제시하고 있다. 간섭신호의 영향에 따른 각 AP의 성능 비교 평가를 위해서는 간섭신호의 정의 및 발생 방법, 성능 측정지표, 시험 절차등에 대한 체계적인 연구가 필요하다.

본 논문에서는 ISM 대역의 AP에 대해 동일한 채널상에서 동작하는 OBSS (Overlapped BSS) WLAN 간섭신호 영향에 따른 WLAN 서비스 품질을 정량적으로 측정하고 평가할 수 있는 측정지표와 시험 절차를 제안한다. 그리고 이를 시장에 출시된 AP제품에 적용하고 그 결과를 비교 분석함으로써 제안하는 측정 방법의 유효성을 검증한다. 제안하는 품질 측정 방법은 객관적이면서 정량적인 WLAN 성능 평가를 가능하게 하고, 각 제조사들이 AP 제품 개발 시 자체적으로 간섭신호의 영향을 실험 분석함으로써 제품의 성능을 개선하는데 도움이 될 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 WLAN 서비스 품질 저하에 영향을 미치는 성능 열화 요인들에 대해 알아보고, 3장에서는 간섭신호의 영향을 객관적으로 평가하기 위한 성능지표 및 시험 절차 등 평가 규격을 정의한다. 4장에서는 정의된 평가 규격에 기반한 시험환경을 구축하여 WLAN 제품을 시험하고 그 결과를 분석한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 맺는다.

Ⅱ. WLAN 성능 열화 요인

WLAN의 성능을 열화 시켜 서비스 품질을 저하하는 여러가지 요인들 가운데 주요 요인은 크게 세 가지로, 첫째, WLAN AP와 WLAN 단말기 사이의 거리, 둘째, 채널 내에 존재하는 간섭신호, 셋째, AP에 접속된 단말기 수와 단말기들의 요구 데이터양이다. 이러한 성능 열화 요인들이 실제 환경에서 복합적으로 작용하게 되면 WLAN의 성능이 급격히 저하된다. 이 장에서는 각각의 성능 열화 요인들의 특징을 살펴봄으로써 객관적이고 정량적인 평가 지표 수립을 위해 필요한 항목들을 도출한다.

2.1 AP와 단말기 사이의 거리

WLAN 단말기가 AP로부터 멀어질수록 전파의 신

호대 잡음비(SNR, Signal-to-Noise Ratio)가 감소하여 오류율이 증가한다[13]. 이 경우 AP와 단말 간의 재전송 횟수가 증가하게 되어 처리량이 점진적으로 낮아진다. 오류율이 증가하여 일정 횟수 이상 재전송이 발생하면 802.11규격에서는 MCS(Modulation and Coding Scheme)를 낮추어 신뢰성 있는 통신이 가능하게 한다. 이는 MCS가 높은 경우 고차의 변조방식과 높은 채널 부호율이 선택되어 처리량이 높아지지만, 고차 변조일수록 성상도에서 심볼간 간격이 줄어들게 되므로 잡음이나 간섭신호에 의해 변조 품질이 저하되고 오류율이 증가하기 때문이다. 따라서 데이터 전송 속도를 최대한 확보하기 위해서는 우선 현재 통신환경에서 설정 가능한 최적의 MCS를 정한 후에 신호세기, 장애물 유무에 따라 MCS를 가변시키면서 기준 오류율을 벗어나지 않는 최대 처리량을 유지하도록 운영한다.

한편 AP와 단말기의 거리에 따라 모든 AP들이 동일한 MCS를 선택하는 것은 아니다. 이는 각 AP의 하드웨어 제원과 제어 알고리즘에 따라 MCS가 서로 달라질 수 있어 동일한 거리, 즉 동일한 SNR에서도 MCS에 의한 처리량의 차이가 발생할 수 있기 때문이다. 따라서 거리에 따른 WLAN 성능을 측정하고자 할 때 우선 각 단말기의 MCS를 확인하면서 거리를 변화시켜 시험을 진행해야 한다. 실제 시험에서는 감쇄기(attenuator)를 이용하여 신호전력을 변화시킴으로써 거리 변화를 대신할 수 있다.

2.2 채널 내 간섭신호

현재 사용하는 채널에 다른 BSS의 동일채널 WLAN 신호인 OBSS 신호가 영향을 미치는 경우, AP가 이를 인지하면 해당 신호에 의한 영향을 회피하기 위해 채널을 변경하거나 또는 처리량을 낮추더라도 채널을 변경하지 않고 간섭신호와 경쟁하면서 전송 서비스를 제공한다. AP가 간섭신호를 정확하게 인지하지 못하거나 인지하더라도 간섭 처리 알고리즘이 불완전하여 처리하는데 문제가 있다면, WLAN 서비스 품질이 급격히 저하되는 요인이 된다.

간섭신호의 영향으로 인한 AP성능을 평가하기 위해서는 표준 WLAN 규격에 맞는 간섭신호 생성과 함께 시험조건에 맞도록 대역폭, 중심주파수, 전력제어가 가능해야 한다. 또한 의도된 간섭신호 이외의 외부 신호의 영향을 제거하기 위해서 전자파 차폐룸이나 차폐박스를 이용하여 외부 신호를 차단한 상태에서 시험할 수 있는 환경 구축이 반드시 필요하다.

2.3 단말기 수와 요구 데이터 크기

AP에 접속(Association)되어 있는 단말기 수와 각 단말기가 요구하는 데이터양은 처리량에 영향을 주는 또 다른 요인이 된다. AP에 접속된 단말기 수가 증가하고, 각 단말기의 서비스가 요구하는 트래픽(Traffic) 데이터 크기가 증가할수록, 각 사용자의 처리량은 낮아진다. 이것은 AP가 최대 처리량의 한도 내에서 각 단말기별로 개별 처리량을 분배하기 때문이다.

하지만 이러한 성능 저하는 AP가 총 처리량을 AP에 접속된 단말기 수만큼 나누어 제공하기 때문에 발생하는 성능 저하이므로 간섭이나 신호 대 잡음비등의 영향과는 본질적으로 다른 요인으로 볼 수 있다. 따라서 본 논문에서는 AP에 접속된 단말기 수와 관련한 시험은 포함하지 않고 추후 연구 주제로 남겨둔다.

다음 장에서는 WLAN 성능 측정 지표와 시험 절차를 제안하고 상용 제품을 대상으로 제안하는 방식을 적용하여 성능을 비교 분석한다.

Ⅲ. 간섭신호의 영향에 따른 WLAN 서비스 품질 정량적 측정

간섭신호의 영향에 따른 WLAN 서비스 품질을 정량적으로 측정하기 위해서는 객관적이면서 공정한 성능 지표들과 표준시험 절차가 정의되어야 한다. AP의 WLAN 서비스 품질은 첫째, WLAN 칩셋의 모뎀(Wi-Fi SoC), 프로세서, 메모리 등의 H/W사양, 둘째, 안테나 성능을 포함하는 RF 성능, 셋째, 간섭회피 및 처리량 향상 알고리즘을 구현한 S/W성능, 세가지 요인들에 영향을 받는다. 이번 장에서는 이러한 세가지 요인들이 서비스 품질에 미치는 영향을 평가하기 위한 측정 지표 및 시험 절차를 정의한다.

3.1 처리량과 거리에 의한 성능 영향 측정

3.1.1 최대 처리량 및 처리량 효율

IEEE에서 규정된 MCS에는 신호의 변조지수 및 부호율 등이 정의되어 있고 전파환경에 따라 가변적으로 설정된다. 예를 들어 전파 환경이 좋은 경우에는 MCS가 높아져 고차 변조와 높은 코딩율이 설정되므로 데이터 전송률 측면에서 우수하여 높은 링크 속도로 통신할 수 있다.

그러나 이러한 MCS의 링크 속도는 실제 사용자가 체감하는 처리량과는 차이가 있다. 예를 들어 표 1의 802.11ax, 5GHz HE80에서 MCS11 인 경우 링크 속도가 1201Mbps으로 규정되어 있지만, 실제 측정값은 대

표 1. 5GHz 대역에서 2×2 802.11ax 신호의 MCS별 링크속도(Mbps)
Table 1. Link rate according to MCS index of 2×2 802.11ax signal in 5GHz band (Mbps)

MCS	HE20	HE40	HE80
0	17.2	34.4	72.1
1	34.4	68.8	144.1
2	51.6	103.2	216.2
3	68.8	137.6	288.2
4	103.2	206.5	432.4
5	137.6	275.3	576.5
6	154.9	309.7	648.5
7	172.1	344.1	720.6
8	206.5	412.9	864.7
9	229.4	458.8	960.8
10	258.1	516.2	1080.9
11	286.8	573.5	1201.0

략 900Mbps 로 정의된 값보다 낮은 값이 나온다.

그 이유는 각 MCS의 링크속도는 물리계층에서 정의된 값으로 WLAN 패킷 전체에 대한 처리량을 의미하며, 여기에는 payload 이외에 프리앰블(preamble), MAC주소, 그리고 상위 계층에서 처리를 위한 제어 패킷이 포함되기 때문이다. 또한 WLAN 처리량 향상을 위한 알고리즘의 유무 및 우수성, WLAN 칩셋의 모뎀(Wi-Fi SoC) 성능, 프로세서의 처리 속도, 그리고 메모리 용량 차이 등에 의해서도 처리량의 차이가 발생한다. 예를 들면 동일한 WLAN 규격 AP의 경우에도, 엔터프라이즈용(최고사양), 중소형 기업용, 가정용, 보급형 가정용 등 등급에 따라 측정된 처리량이 이론적인 링크속도 대비 차이가 발생한다. 따라서 이러한 처리량의 차이를 측정함으로써 AP의 기본 성능을 가늠할 수 있다.

MCS 링크속도와 실제 처리량의 차이를 객관적으로 측정하기 위한 성능지표로 최대 MCS일때 정의된 링크속도 대비 AP에서 측정한 처리량의 비를 처리량 효율로 정의하면

$$T_{eff} = \frac{T_{measured}}{T_{MCS,max}} \times 100 \quad (1)$$

과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 $T_{MCS,Max}$는 최대 MCS일때 정의된 링크속도, $T_{measured}$는 해당 MCS를 유지하는 거리(SNR)에서 측정한 AP의 처리량이다. 처리량 효율이 기준 이하인 AP는 거리 및 간섭신호에 따른 평가 시 기준에 부합하지 못할 확률이 높다. 본 논문에서 정의한 처리량 효율을 통해 AP의 H/W 기본사양과 알고리즘을 비교할 수 있으므로 AP 성능을 평가하는 주요 지표중의 하나로 활용이 가능하다.

3.1.2 AP와 단말기간 거리 별 처리량

간섭이 없는 상황에서의 처리량은 AP와 단말기 사이의 거리에 따라 달라진다. 거리가 멀수록 단말기에서 수신하는 SNR이 감소하므로 처리량이 감소한다. 또한 동일한 측정 환경에서도 AP별 안테나의 성능에 의한 RF 수신감도, Wi-Fi 칩셋의 처리속도, 제어 방식 등의 차이가 있기 때문에 거리 별 처리량의 차이가 발생한다. 거리에 따른 시험결과에서 급격한 데이터 속도의 변화는 MCS가 변화하는 시점이 되며, MCS의 변화하는 지점과 처리량을 함께 측정하는 것이 필요하다.

거리 별 시험을 통해 AP와 단말기가 최대 MCS로 유지하며 통신이 가능한 영역을 안전지역(Green Zone)으로 정의한다. 다음 절에서 정의하는 간섭신호에 의한 WLAN 서비스 품질 시험을 이러한 안전영역에서 수행함으로써 오직 간섭신호만의 영향에 의한 AP의 성능 측정이 가능하게 된다.

3.2 간섭신호에 의한 성능 영향 측정

이 절에서는 간섭신호가 WLAN 서비스 품질에 미치는 영향을 측정하기 위하여, 간섭신호를 정의하고, 간섭신호 생성 방법과 간섭신호로 인한 WLAN 서비스 품질 성능의 영향을 측정하기 위한 시험방법을 제시한다.

3.2.1 간섭신호 정의

WLAN이 사용되는 비면허대역에서는 블루투스, 지그비(Zigbee)와 같은 다른 방식의 무선통신 간섭이 존재한다. 그러나, 블루투스 신호는 WLAN 및 블루투스 공존(Coexistence) 기술로 주파수 회피가 가능하며, 지그비 통신량은 실제 사용에서 WLAN 서비스에 비해 간헐적으로 운용되므로 미치는 영향은 미미하다. 따라서 WLAN 성능에 영향을 미치는 간섭신호는 그림 1과 같이 인접한 BSS들의 BSA(Basic Service Area)의 일부 또는 전부가 겹치고 서로 동일한 채널 상에서 동작하는 OBSS가 주요 간섭신호로 볼 수 있다. 그림 2는 현재 서비스되고 있는 IEEE 802.11 2GHz 주파수 대역을 나타낸다. 이를 기준으로 살펴보면 OBSS 간섭은 신호가 동일 채널 또는 5MHz, 10MHz, 15MHz offset에서 발생한다.

AP가 초기화 과정에서 간섭신호를 인지하는 경우에는 간섭이 영향을 덜 미치도록 무선 채널을 할당함으로써 회피가 가능하다. 그러나 이미 존재하고 있었지만 AP의 초기 과정에서 데이터 송수신을 하지 않아 감지

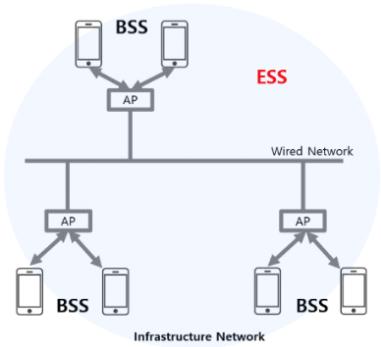


그림 1. WLAN 간섭신호
Fig. 1. Interference signals in WLAN

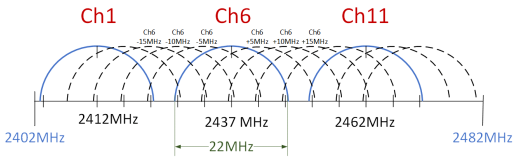


그림 2. 2.4GHz 대역의 채널 구성
Fig. 2. Channels in 2.4GHz band

하지 못한 동일채널 또는 인접채널의 OBSS 간섭신호에 대해서는 대응이 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 간섭신호원으로 OBSS만을 고려한다. 그림 3에서 나타낸 5GHz대역의 경우는 기본 20MHz BW(Bandwidth)에서는 동일 채널 이외에는 간섭이 존재하지 않지만, BW 40MHz 및 BW 80MHz 신호에서는 BW 20MHz 또는 40MHz OBSS 간섭이 존재한다.

3.2.2 간섭신호 생성

간섭이 존재하는 상황에서 측정되는 처리량은 어떠한 경우라도 간섭이 없는 경우의 처리량보다 높을 수는 없다. 2장 1절에서 알아본 바와 같이 WLAN 성능을 분석할 때, 각 거리에 따른 처리량은 달라진다.

간섭 환경에서의 성능 측정을 위해서는 우선 간섭이 없는 조건에서 거리별로 MCS 와 최대 처리량을 측정하여 이를 기준으로 삼는다. 이후 OBSS 간섭신호를 발생시킨 후에 처리량을 측정하여 간섭이 없는 경우의 기준값과 비교한다.

본 논문에서는 2.4GHz 대역의 경우 동일한 채널의 20MHz 대역폭을 갖는 간섭신호를, 5GHz 대역의 경우 동일한 채널의 80MHz 대역을 갖는 간섭신호를 각각 사용한다. 간섭신호는 WLAN 802.11ax 신호를 사용하는데, 이것은 802.11에서 규정한 동일한 Legacy Preamble을 가지므로 AP 입장에서 볼 때 802.11 모드에 상관이 없이 OBSS신호로 인식된다.

한편 OBSS 서비스 영역 내의 무선 서비스 사용량에 따라 간섭채널의 영향 정도가 변동된다. 이러한 간섭채널 영향을 평가하기 위한 간섭신호로 상용 AP를 이용할 수 있지만 매번 동일한 간섭신호를 생성하는 것이 쉽지 않기 때문에 본 논문에서는 벡터신호생성(Vector Signal Generator)장비를 이용하는 방법을 사용한다. 벡터신호생성 장비를 이용하면 간섭신호 지속 구간, Payload 수와 패킷 간의 Idle 시간 등을 정밀하게 조절 가능함으로써 간섭신호를 원하는 조건으로 발생시키는 것이 매우 용이하다. 이를 통해 AP 시험 시 동일한 간섭신호 환경에서 평가가 이루어짐으로써 객관적인 평가가 가능해진다.

간섭신호 지속시간에 따른 성능 영향을 측정하기 위해 기준 시간 내에 OBSS 간섭신호의 지속시간 비율, 즉 OBSS의 채널 점유율(channel utilization)을 간섭량(Interference)으로 정의하면 (2)와 같다.

$$I_{OBSS}(\%) = \frac{t_I}{t_{REF}} \times 100. \quad (2)$$

여기서 t_I는 간섭신호의 지속시간, t_{REF}는 기준 시간 간격으로 5GHz 대역에서는 5ms, 2.4GHz 대역에서는 10ms로 정의한다. 간섭신호는 기준시간 간격보다 클

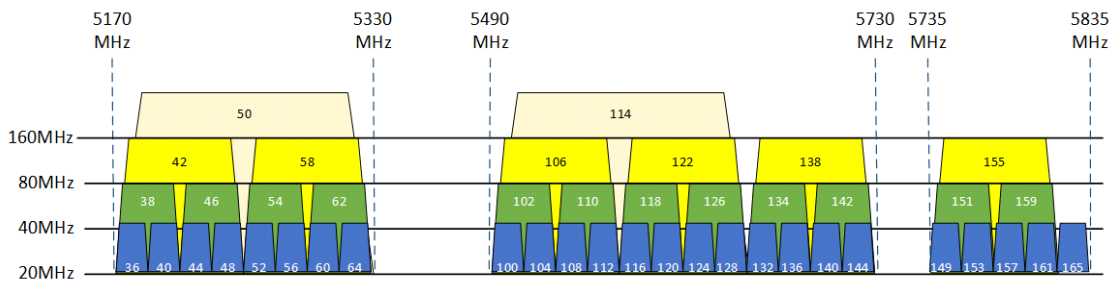


그림 3. 802.11 5GHz 주파수 대역
Fig. 3. 802.11 5GHz Frequency band

수 없으므로 $t_I < t_{REF}$이다.

3.2.3 간섭 대응 처리율

OBSS 신호의 채널 점유시간에 따라 AP의 최대 처리량은 영향을 받게 된다. 예를 들어 5GHz 대역에서 10ms 당 OBSS 간섭신호의 출현 비율에 따라 해당 채널에서의 가용(Idle) 채널 점유시간이 줄어들어 처리량이 저하된다.

간섭신호가 없을 경우의 최대 처리량과 간섭신호가 존재할 경우의 처리량의 비를 간섭 대응 처리율(Interference robustness) 로 정의하면 (3)과 같다.

$$R_{IS}(\%) = \frac{T_I}{T_{free}} \times 100 \quad (3)$$

여기서 T_I는 간섭이 존재할 때 최대 처리량, T_{free}는 간섭이 없을 때 해당 거리(Range)에서 측정한 최대 처리량이다. 간섭 대응 처리율을 측정함으로써 간섭신호로 인한 AP 별 성능 영향 을 측정할 수 있다.

간섭 대응 처리율은 처리량 효율이 비슷한 동급의 공유기 제품 별로 각각 다른 값을 가질 수 있는데, 이는 간섭신호를 회피하기 위한 각 제품의 하드웨어의 사양 및 소프트웨어 알고리즘의 차이에 기인하다. 따라서 동일한 간섭신호 환경에서, 본 논문에서 제안하는 간섭 대응 처리율인 (3)은 AP 제품별로 간섭의 영향에 대한 성능을 측정할 수 있는 새로운 측정 지표로 이용 가능하며, 이 값을 통해 AP 제품별로 간섭의 영향에 강인한 정도를 평가할 수 있다.

다음 장에서는 지금까지 정의한 성능 지표와 측정 방법을 실제 WLAN 품질 측정 시험에 적용하여 상용 AP 성능시험을 진행하고 그 결과를 고찰하도록 한다.

Ⅳ. 성능 시험 및 고찰

4.1 시험 환경 구축

간섭신호를 정확히 제어하기 위해 측정하고자 하는 AP와 기준 단말기의 2×2 안테나가 무반사 챔버 내부에 그림 4와 같이 구성된다. 거리 별 시험을 위해 기준 단말기에 60dB dynamic range를 갖는 2×2 step attenuation장비가 연결되며, 동일한 쉴드박스 안에 같이 장착된다. 간섭신호는 정확한 간섭량과 세기(Power Level) 조절이 가능한 WLAN 신호발생기에서 생성한다. 신호발생기의 최대 출력 범위를 확장하기 위해 증폭기(AMP)가 추가되며, 간섭신호용 안테나와 연결된다. 그림 5는 무반사 챔버 내부의 시험 환경이다.

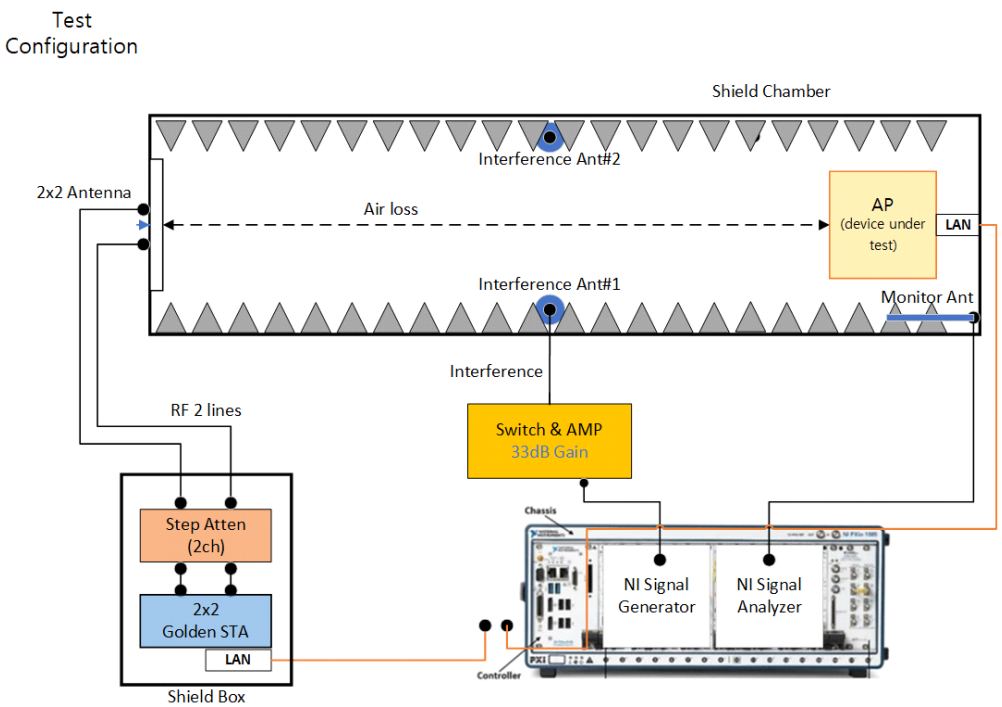


그림 4. WLAN 성능 측정 환경
Fig. 4. Environment of WLAN performance measurement

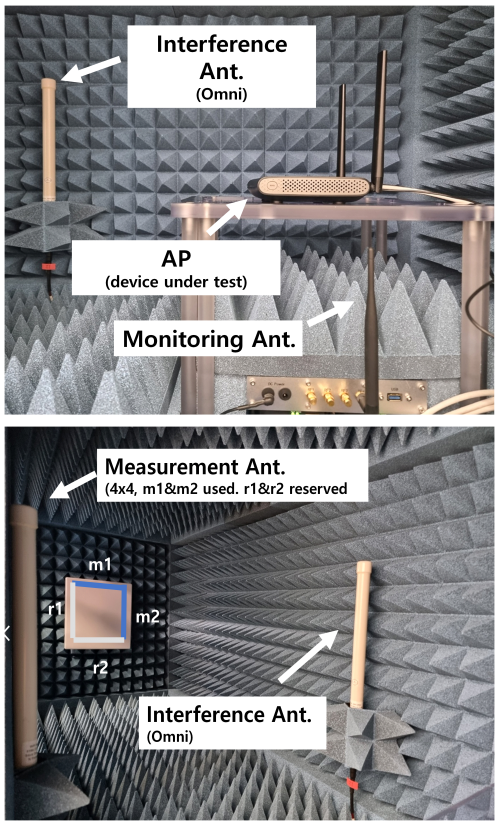


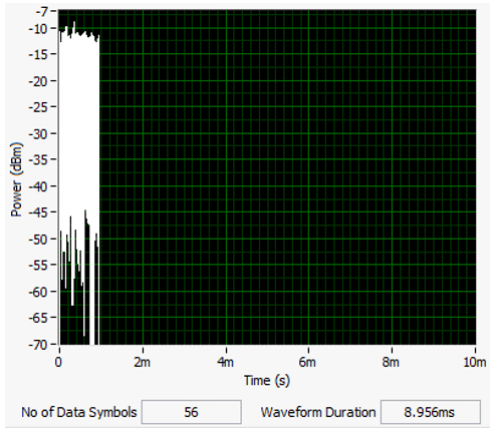
그림 5. 무반사 챔버에서 측정
Fig. 5. Measurement in the antireflection chamber

4.2 간섭신호 생성

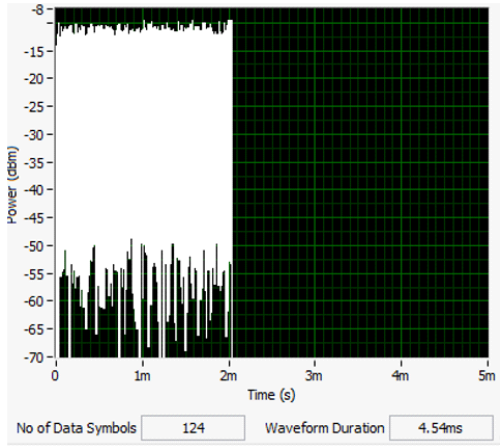
본 논문에서 사용하는 간섭신호 전력은 간섭신호용 AP의 출력전력을 KC인증에서 정의하고 있는 표준 출력으로 맞춘 후에, 아파트 차단벽 1개를 사이에 두고 5m 떨어진 거리에서 반복 실험하여 수신된 전력의 평균값으로 정하였다. 실험 결과 KC표준 출력 전력 대비 2.4GHz대역에서는 38dB, 5GHz 대역에서는 30dB 감쇄된 값으로 나타났으며 이를 간섭신호 세기의 기준으로 한다.

간섭신호는 NI사의 무선신호발생기 장비에서 생성한 802.11ax 신호를 사용한다. 장비에서 생성한 간섭신호는 실제 WLAN AP와 달리 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)로 동작하지 않지만, 시험 대상 AP가 CSMA/CA로 충돌회피 동작을 하므로 결과에 큰 차이는 없다고 가정한다.

그림 6(a)는 2.4GHz 대역에서 10ms 프레임의 10%인 1ms 동안 지속되는 간섭신호를 나타낸다. 그림 6(b)는 5GHz 대역에서 5ms 프레임 길이의 40%인 2ms 동안 지속되는 간섭신호를 나타낸다. OBSS 간섭량에 따라 간섭신호의 지속시간을 변경하면서 처리량을 측정하면 간섭신호로 인한 WLAN 성능 저하를 측정할 수 있다.



(a) I_{OBSS} = 10% at 2.4GHz



(b) I_{OBSS} = 40% at 5GHz

그림 6. 2.4GHz와 5GHz대역의 간섭신호
Fig. 6. Interference at 2.4GHz and 5GHz

4.3 거리에 따른 처리량 및 효율

기준 단말기와의 거리에 따른 MCS 변화는 AP의 RF 성능에 따라 다를 수 있다. 따라서, 간섭신호가 없을 때 거리에 따른 MCS와 처리량을 먼저 측정한다. 챔버에 제품을 위치하고 안테나 방향을 조정하여, 최대 MCS가 가능한 조건으로 AP을 설치한다. AP와 기준 단말기와의 거리 조정은 삽입된 감쇄기의 감쇄량으로 조정한다[13].

표 2는 각 대역에서의 감쇄값과 실측에 의해 환산된 수신 신호 강도 지표(RSSI, Received Signal Strength

표 2. 2.4GHz 및 5GHz대역에서 감쇄값과 RSSI
Table 2. Attenuation and RSSI at 2.4GHz and 5GHz

2GHz		5GHz	
Atten.	RSSI	Atten.	RSSI
0	-40dBm	0	-47dBm
5	-45dBm	5	-52dBm
10	-50dBm	10	-57dBm
15	-55dBm	15	-62dBm
20	-60dBm	20	-67dBm
25	-65dBm	25	-72dbm
30	-70dBm	30	-77dBm
35	-75dBm	35	-82dBm
40	-80dBm	40	-87dBm
45	-85dBm	45	-92dBm
50	-90dBm	50	-97dBm

Indication)이다. 예를 들어 감쇄기의 감쇄 값을 35dB로 설정하면 시료와 AP의 거리는 RSSI가 -75dBm인 위치를 의미한다. 해당 수치는 AP에서 실제 기준 단말기에서 출력하는 신호를 감지하여 실측한 데이터이다. 처리량 측정은 일반적으로 WLAN 속도 측정에 가장 많이 사용하는 iperf 라는 오픈소스 프로그램을 사용하며 최대 속도를 위해 다음과 같이 옵션을 설정한다.

```
D:\iperf-3.1.3-win64>iperf3 -P 20
```

그림 7은 AP별로 거리 대비 처리량 측정 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 그림 7에서 AP #1의 경우 단말의 RSSI가 -60 dBm (Atten. 20dB)까지도 처리량 227Mbps를 유지한다. 이때 MCS는 11을 나타내며 링크속도는 286.9Mbps로 정의되어 있다. 이후, 거리가 멀어지면서 MCS가 낮아지고, 처리량도 떨어진다. 이렇게 최대 처리량을 일정하게 유지하는 구간이 2장에서 정의한 안전지역이다. 안전지역을 벗어난 구간은 MCS 재정의 알고리즘과 재 전송 처리로 일정한 값을 얻기 힘들다. 따라서, 안전지역에서 측정한 평균 처리량은 226.3 Mbps이며, 처리량 효율을 (1)을 이용하여 계산하면

$$T_{eff}(\%) = \frac{T_{measured}}{T_{MCS}} \times 100 = \frac{226.3Mbps}{286.8Mbps} \times 100 = 78.9\% \quad (4)$$

가 된다. 처리량 효율은 안전지역에서 측정되는 성능지표이다. RSSI가 70dBm(Atten 30dB)이 되면 더 이상 MCS 11을 유지하지 못하고 낮은 MCS로 변경됨을 알 수 있다. AP #2는 내장형 안테나를 사용한 AP로서 안테나 이득이 낮아, 동일한 거리에서 AP #1에 비해 측정

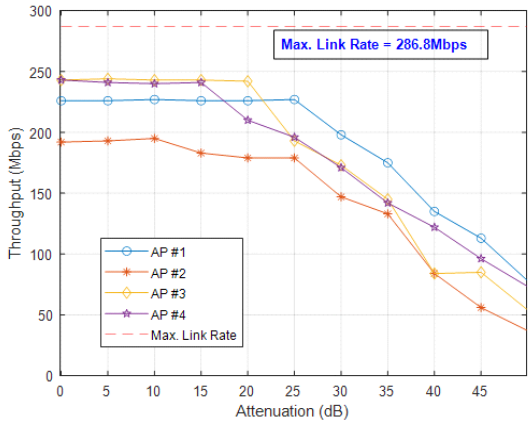


그림 7. 거리에 따른 처리량
Fig. 7. Throughput over range

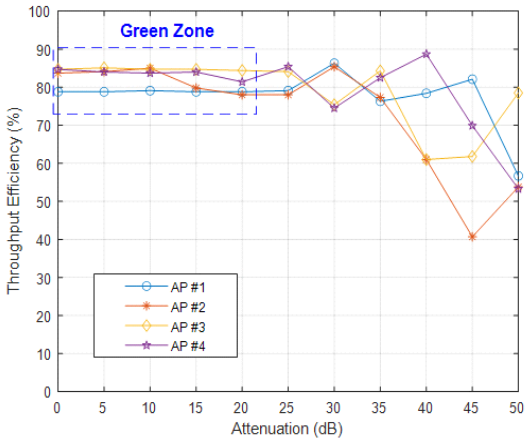


그림 8. 거리 별 처리량 효율
Fig. 8. Throughput efficiency by range

된 MCS 및 처리량이 낮은 값을 나타낸다. 그러나 처리량 효율로 계산하면

$$T_{eff} = \frac{199.3Mbps}{229.4Mbps} \times 100 = 84.2\% \quad (5)$$

가 되어, AP #1에 비하여 처리량 효율은 더 좋게 나타난다. 따라서 처리량 효율과 RF 성능은 독립적인 성능지표로 가져가야 한다.

그림 8은 거리 별 처리량 효율을 나타낸다. 시험결과 RSSI -60dBm이상(Atten. 20 dB이하)인 안전지역에서 처리량 효율은 75%이상 85%이하의 균일한 효율을 가지고 있음을 알 수 있다. 본 논문의 실측 값은 802.11ax 모드에서 구한 데이터로서 802.11a/b/g 레거시(legacy) 제품부터 802.11n/ac까지 확대하여 각 모드에 대한 처

리량 효율을 측정하여 제품 성능 평가에 적용할 수 있다.

AP의 서비스 품질을 측정하기 위한 처리량 효율 기준은 AP의 종류, 용도, 요구 성능에 따라 달라진다. 그러므로 AP의 서비스 품질 평가 시 처리량 효율의 기준은 시스템 파라미터로 설정하여 운영한다. 본 논문에서는 상용 AP들에 대한 처리량 효율 시험 결과를 평균적으로 검토하여 시험 통과 기준으로 정하였다.

4.4 간섭신호에 의한 성능 영향 측정

간섭 조건에서 측정된 처리량은 해당 거리에서 간섭이 없는 경우의 처리량과 비교하여 분석해야 한다. 이것은 간섭에 의한 순수한 영향만을 고려하기 위함이다. 이를 위하여 무간섭 조건에서 측정된 처리량의 값과 간섭 조건에서 처리량의 비인 간섭 대응 처리율을 측정한다.

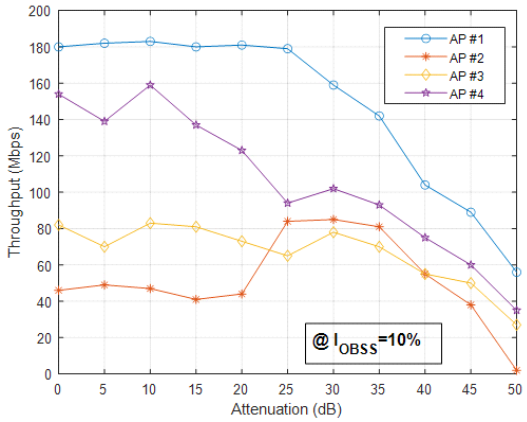
간섭신호는 3장에서 정의한 바와 같이 OBSS신호만을 고려한다. OBSS신호를 생성하기 위하여 벡터신호 발생기를 사용하고 (2)에서 정의된 간섭량에 따라 간섭신호를 챔버에 방사하고 OBSS 간섭신호의 지속시간 비율을 조정하면서 처리량을 측정한다.

간섭에 강한 AP는 주변의 간섭량과 세기를 정확히 감지하여, 간섭세기가 낮을 경우는 채널을 점유하여 처리량을 확보한다. 간섭세기가 강하여 경쟁에서 극복하지 못할 경우는 채널 가용 구간을 정확히 판단하여, 충돌 없는 구간에서의 통신으로 처리량을 보존한다.

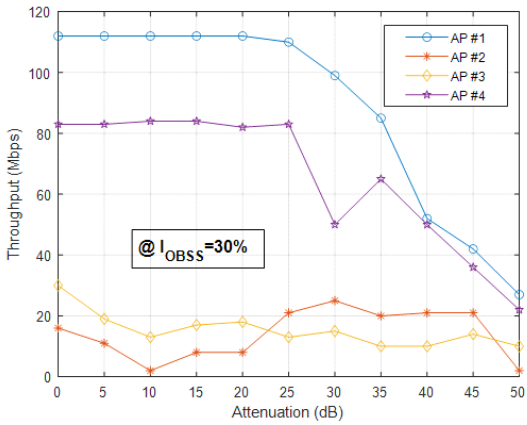
그림 9는 간섭량이 각각 10% 와 30%일 때 거리에 따른 각 AP별 최대 처리량을 나타내고 있다. 동일한 간섭조건에서 거리에 따른 처리량을 비교할 수 있으며, 동일한 거리에서 간섭량에 따른 처리량 성능도 비교할 수 있다. 간섭량 시험에서도 처리량 효율과 같이 안전지역이외의 구간인 Atten. 25dB이상에서는 의미 있는 데이터를 얻기 힘들다. 이는 거리가 멀수록 간섭량과 함께 신호대 잡음비 인자가 혼합되어 MCS 재정의와 재전송이 무작위적으로 발생기 때문이다.

그림 9(a)에서 AP #4의 경우 간섭량이 10%일때 거리에 따른 처리량의 변화가 심하여 안전지역이 명확하게 나타나지 않는 것처럼 보인다. 이것은 Wi-Fi 모뎀 칩 별로 특성이 다른 전송 매체접근제어(MAC)을 사용하기 때문이다. AP#4의 경우 일정 크기 이하의 간섭량에서는 가능한 최대의 처리량과 신뢰성을 동시에 보장하기 위하여 최적의 MCS를 찾아가도록 MCS가 변동된다. 그림 9(b)에서 간섭량이 30%로 증가하게 되면 AP#4는 MCS를 조정하여 처리량을 충분히 낮추어 신뢰성 있는 통신이 가능하도록 동작한다.

반면에 AP#2와 AP#3의 경우는 B, M사 Wi-Fi 칩셋을 사용하는데, 이들의 경우는 간섭신호가 검출되면 거



(a) I_{OBSS} = 10%



(b) I_{OBSS} = 30%

그림 9. 거리와 간섭량에 따른 처리량
Fig. 9. Throughput over range and interference

리에 상관없이 MCS를 낮춰 처리량을 손해보더라도 신뢰성 있는 데이터 송수신을 보장하도록 설계되었기 때문이다. 그러나 Q사 칩셋을 사용한 AP#1는 간섭이 존재할 때에도 간섭이 없는 환경에서 전송 가능한 MCS를 유지하고, 간섭이 존재하는 시간을 회피하여, 최대 처리량을 유지한다.

그림 10은 4개의 AP제품에 대하여 안전지역내에서 간섭 대응 처리율을 측정한 값을 평균하여 구한 그래프이다. 모든 제품들은 간섭량이 증가함에 따라 처리량이 감소하는 추세를 보이고 있다. 또한 간섭량이 10% 일 때 간섭 대응 처리율은 AP #1부터 AP #4까지 순서대로 각각 80%, 24%, 34%, 62% 로 나타나고 있다. AP #1과 AP #4는 AP #2 와 AP #3에 비해 간섭 대응 처리율이 상대적으로 높게 나타나는데, 이것은 AP #1과 #4는 동일한 간섭 상황에서도 AP#2와 AP#3에 비해 최대

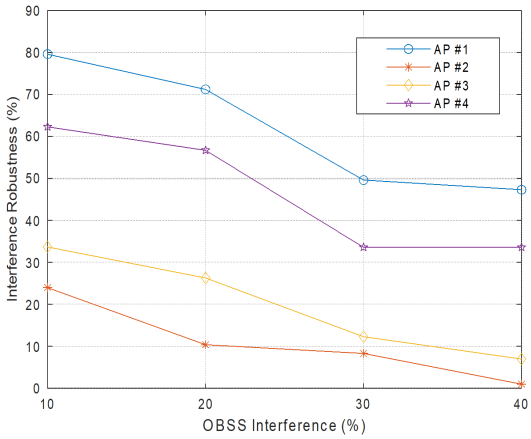


그림 10. 간섭 대응 처리율
Fig. 10. Interference robustness

처리량을 유지하기 위한 대응력이 높다는 것을 의미한다.

4.5 간섭신호 환경에서 성능 시험 절차

이번 절에서는 3장에서 정의한 측정지표를 기준으로 간섭의 영향에 따른 WLAN 서비스 품질 측정을 위한 시험 절차를 정의한다. 성능시험은 크게 3단계로 구성된다. 1, 2단계는 간섭신호가 없을 때 AP의 H/W 사양이나 알고리즘에 의한 기본 성능과 RF및 안테나 성능을 평가하는데 주안점을 둔다. 3단계에서는 1, 2단계를 통해 간섭신호 외의 조건을 동일하게 설정한 후 간섭영향을 시험한다.

각 단계별 진행 절차를 상세히 살펴보기로 한다. 우선 1단계는 최대 MCS에서 처리량 효율을 측정함으로써 AP의 기본 H/W및 S/W성능을 파악한다. 처리량 효율이 기준 이하인 경우에는 이후 시험단계인 거리 및 간섭에 의한 성능시험에서도 기준을 통과하기가 어려울 것으로 판단되어 2, 3단계 시험을 진행하지 않는다.

2단계는 거리에 따른 처리량을 측정하는 단계로, 1단계에서 비슷한 처리량 효율을 보이는 AP들도 거리에 따른 성능의 차이가 발생할 수 있으며, 이것은 주로 안테나의 성능과 RF효율에 기인한다고 볼 수 있다. 기준거리에서 처리량 기준에 미치지 못하는 AP는 3단계 시험을 진행하지 않고 안테나 및 RF성능 개선을 요구된다. 또한 2단계에서는 3단계에서 간섭의 영향 측정을 위한 안전지역을 설정하기 위하여 처리량과 함께 MCS를 측정하여 최대 MCS가 유지되는 영역을 설정한다.

3단계에서는 (2)를 이용한 간섭신호를 생성하여 간섭에 따른 처리량의 변화를 (3)을 이용하여 측정함으로써 성능을 평가한다.

각 단계별 통과를 위한 기준값 설정은 시험목적이나 대상 제품에 따라 시스템 파라미터로 설정하여 수행한다. 표 3은 지금까지 본 논문에서 제안한 간섭신호의 영향에 따른 WLAN 시스템의 서비스 품질 측정을 위한 시험 절차를 나타내었다.

그림 11은 각 시험 과정에서의 산출물을 나타낸 것이다. 여기에는 향후 추가 연구를 위한 단계로 한 대의

표 3. 간섭환경에서 WLAN 서비스 품질 시험 절차
Table 3. Test procedure for WLAN service quality in interference environments

Measurement	Test Procedures
Step 1 : Throughput Efficiency	① Set the reference station (golden device) to 802.11xx mode. (xx: ax, ac, n) ② Set the frequency and bandwidth to be measured. ③ Set the attenuation to zero (Atten=0). ④ Adjust the AP's antenna direction to maximize T-PUT inside the shield room, and place AP at that location. ⑤ Measure T-PUT at the maximum MCS index. ⑥ Calculate the throughput efficiency in (1)
Step 2 : Throughput by range	① Set attenuation from 0 to 50dB in 10dB step increments and measure throughput at each attenuation. ② Measure the MCS index and throughput at each range (Atten). ③ Decide the range that represents the maximum MCS index as **green zone**. ④ Find the receiver sensitivity by increasing attenuation value until the throughput is lower than threshold value.
Step 3 : Throughput by interference and range	① Generate the interference that has 10% of channel utilization in (2). ② Perform the Step.2. ③ Calculate the interference robustness in (3). ④ Repeat the Step.2 while generating the interference with channel utilization of 20, 30, 40, and 50%, respectively. ⑤ Calculate the interference robustness in (3).

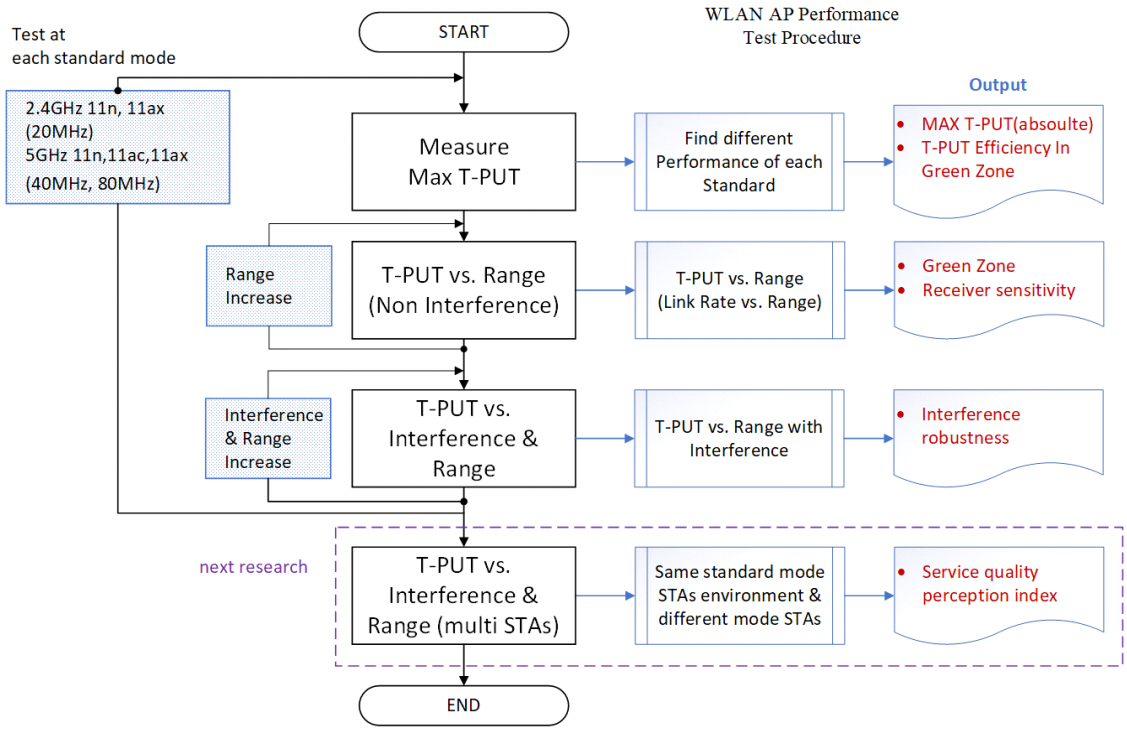


그림 11. WLAN 성능 측정 순서도 및 산출물
Fig. 11. Test procedure and outputs of WLAN performance measurement

AP에 다수의 단말기가 연결되었을 때 간섭의 영향을 측정하는 내용도 포함이 되어 있다.

V. 결 론

WLAN 서비스 품질은 동일한 채널에 존재하는 다른 BSS의 WLAN에 의한 간섭신호의 영향에 민감하다. 본 논문에서는 OBSS 간섭신호 영향에 따른 WLAN 서비스 품질을 정량적으로 측정하기 위하여 처리량 효율과 간섭 대응 처리율을 성능지표로 정의하고 이를 기반으로 WLAN 서비스 품질을 측정하기 위한 시험 절차를 제시하였다. 또한 이를 상용 WLAN AP의 간섭 영향 평가시험에 적용하여 그 결과를 비교 분석함으로써 제안하는 WLAN 서비스 품질 측정 방법의 유효성을 보였다.

본 논문에서 제안한 WLAN 서비스품질 측정 방법은 AP제품 시험 평가뿐만 아니라 제품 개발 시에도 간섭신호의 영향을 정량적으로 측정하고 이를 반영함으로써 AP의 WLAN 서비스 품질 향상에 도움이 될 것으로 기대한다. 향후 한 대의 AP에 여러 대의 단말기가 통신하는 경우 간섭신호에 의한 WLAN 서비스 품질 측정 방법에 관한 연구가 추가로 진행되어야 할 것이다.

References

[1] C. Deng, et al., “IEEE 802.11be Wi-Fi 7: New challenges and opportunities,” *IEEE Commun. Surv. Tuts.*, vol. 22, no. 4, pp. 2136-2166, 4th Quart., 2020. (https://doi.org/10.1109/COMST.2020.3012715)

[2] *Unlicensed use of the 6 GHz band; Expanding flexible use in mid-band spectrum between 3.7 and 24 GHz*, document ET Docket No. 18-295, FCC, Apr. 2020.

[3] A. Garcia-Rodriguez, et al., “IEEE 802.11be: Wi-Fi 7 strikes back,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 59, no. 4, pp. 102-108, Apr. 2021. (https://doi.org/10.1109/MCOM.001.2000711)

[4] E. Khorov, I. Levitsky, and I. F. Akyildiz, “Current status and directions of IEEE 802.11be, the future Wi-Fi 7,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 88664-88688, 2020.

(https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2993448)

[5] N. Korolev, I. Levitsky, and E. Khorov, "Analytical model of multi-link operation in saturated heterogeneous Wi-Fi 7 networks," *IEEE Wireless Commun. Lett.*, vol. 11, no. 12, pp. 2546-2549, Dec. 2022. (https://doi.org/10.1109/LWC.2022.3207946)

[6] D.-J. Deng, et al., "IEEE 802.11ax: Highly efficient WLANs for intelligent information infrastructure," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 55, no. 12, pp. 52-59, Dec. 2017. (https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1700285)

[7] R. Gummadi, et al., "Understanding and mitigating the impact of RF interference on 802.11 Networks," in *Proc. ACM SIGCOMM*, Aug. 2007. (https://doi.org/10.1145/1282380.1282424)

[8] L. Park, G. Lee, W. Na, and S. Cho, "Intelligent interference avoidance scheme for mobile IEEE 802.11 BSSs," *J. KICS*, vol. 35, no. 10, pp. 1471-1478, 2010.

[9] J. Zhang, G. Lee, and H. Kim, "Signal interference of neighboring Wi-Fi networks on data throughput," *J. IEIE*, vol. 49, no. 11, pp. 17-23, 2012. (https://doi.org/10.5573/ieek.2012.49.11.017)

[10] Y. Zeng, P. H. Pathak, and P. Mohapatra, "Throughput energy efficiency and interference characterisation of 802.11ac," *Trans. Emerging Tel. Tech.*, vol. 28, no. 2, pp. 1-14, Feb. 2017. (https://doi.org/10.1002/ett.2946)

[11] J. Liu, et al., "Throughput analysis of IEEE 802.11 WLANs with inter-network interference," *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 6, p. 2192, Mar. 2020. (https://doi.org/10.3390/app10062192)

[12] K. Chounos, et al., "Unlicensed spectrum forecasting: An interference umbrella based on channel analysis and machine learning," *IEEE Trans. Netw. Sci. Eng.*, vol. 9, no. 5, pp. 3421-3436, Sep.-Oct. 2022. (https://doi.org/10.1109/TNSE.2022.3180171)

[13] S. Mazuelas, et al., "Robust indoor positioning provided by real-time RSSI values in unmodified WLAN networks," *IEEE J. Sel. Topics Signal Process.*, vol. 3, no. 5, pp. 821-831, Oct. 2009. (https://doi.org/10.1109/JSTSP.2009.2029191)

김 한 석 (Hanseok Kim)

2000년 : 금오공과대학교 산업시스템공학사
2012년 : LG전자 MC사업부
2013년~현재 : LG유플러스
<관심분야> 통신공학, 근거리통신, IoT(Internet of Things)

최 재 훈 (Jaehoon Choi)

2010년 2월 : 충북대학교 전자공학과 졸업
2012년 2월 : 충북대학교 전자공학과 석사
2012년 1월~현재 : LG유플러스
<관심분야> 통신공학, 통신신호처리

노 정 민 (Jeongmin Noh)

1999년 2월 : 한국항공대학교 통신정보공학과 졸업
2001년 2월 : 한국항공대학교 통신정보공학과 석사
2008년 2월~현재 : LG유플러스
<관심분야> 통신공학, 데이터통신

송 대 원 (Daewon Song)

2007년 12월 : 플로리다공대 전자공학 박사
2016년 12월 : LG유플러스 AI디바이스담당
2020년 1월~현재 : LG유플러스 홈서비스개발Lab장
<관심분야> 미디어공학, 통신공학, 전자공학

이 상 엽 (Sangyeob Lee)

1996년 : 부산대 전자계산학 학사
1998년 : 부산대 전자계산학 석사
1998년~현재 : LG유플러스 CTO, 전무, GSMA TG/ISGA Member 6G 포럼 대표 의장
<관심분야> 이동통신공학, 미디어공학, 전자공학

김 근 배 (Geunbae Kim)

1991년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과 졸업
1993년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과 석사
2012년 2월 : 한양대학교 전자통신전파공학과 박사
2022년 3월~현재 : 한양대학교 융합전자공학부 조교수
<관심분야> 무선통신, 통신신호처리, 채널코딩
[ORCID:0000-0003-3262-091X]