

발 간 등 록 번 호

11-1710137-000053-10

2014년도 미래전파이용기반조성 연구보고서

# 시공간 특성을 고려한 간섭방법 연구





# 제 출 문

본 보고서를 「시공간 특성을 고려한 간섭방법 연구」 과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2014. 12. 31

연구책임자 : 배석희(미래전파연구팀 미래2담당)

연구원 : 표유선(미래전파연구팀 미래2담당)

이 준(미래전파연구팀 미래2담당)



## 요 약 문

현재 간섭 분석에는 MC (Monte Carlo) 방법이 가장 많이 쓰이고 있다. MC 방법은 MCL (Minimum Coupling Loss)와 비교하였을 때 다양한 상황에 대한 고려가 가능하다는 점에서 강점을 갖는다. 하지만 해당 방법 역시 간섭 회피에 대한 고려가 되지 않으며, Worst case에 대한 분석만이 가능하다. 이에 본 연구에서는 WLAN (Wireless Local Area Network)를 간섭원으로 하는 환경을 구성하여, 실측과 모의실험을 통해 현재 간섭 분석 방법의 신뢰성을 검토한 후 실환경에 가까운 간섭 분석 방법을 제안하였다.

WLAN에서 사용하는 간섭 회피기술에는 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance)가 있으며, 해당 방법을 사용할 경우 중복적인 전송을 막을 수 있어 실질적인 간섭 전력의 양이 감소하게 되는 효과를 볼 수 있다. 본 연구에서는 CSMA/CA 기법 중 동일 기종에 대한 검출이 가능한 CCA mode 2를 대상으로 하여 간섭 분석 알고리즘을 구현하였다.

구현 결과 기존의 간섭 분석 방식과 실측 사이에는 20 % 정도의 오차가 발생하였으며, 제안 방식의 경우 10 % 이내로 오차가 줄어드는 것을 확인할 수 있었다.



# 제 목 차 례

제1장	서 론 .....	1
-----	-----------	---

제2장	MC 방법의 신뢰도 평가 연구 .....	3
-----	------------------------	---

제1절	연구 진행 순서 .....	3
-----	----------------	---

1. 측정 및 분석 환경 선정 .....	3
------------------------	---

2. 간접 분석 시나리오 .....	5
---------------------	---

3. 측정 및 모의실험 .....	6
--------------------	---

4. 결과 비교 .....	6
----------------	---

5. 개선 방안 도출 .....	6
-------------------	---

제3장	MC 검증을 위한 실 환경 측정 .....	7
-----	-------------------------	---

제1절	측정 시나리오 .....	7
-----	---------------	---

1. 측정 환경 구축 .....	7
-------------------	---

2. 측정 안테나 특성 .....	8
--------------------	---

3. 측정 장비 .....	10
----------------	----

4. 구현 결과 .....	11
----------------	----

제2절	전파전달 특성 측정 .....	13
-----	------------------	----

제3절 측정 결과 .....	19
-----------------	----

<b>제4장</b>	<b>간섭분석 툴을 이용한 MC 모의실험 .....</b>	<b>21</b>
------------	----------------------------------	-----------

제1절 모의실험 시나리오 .....	21
---------------------	----

- |                               |    |
|-------------------------------|----|
| 1. WLAN 규격 .....              | 21 |
| 2. 시나리오에 따른 요구 신호 대 간섭비 ..... | 23 |

제2절 모의실험 설정 및 결과 .....	24
------------------------	----

- |  |    |
|--|----|
| 1. SEAMCAT (Spectrum Engineering Advanced Monte_Carlo Analysis Tool) ..... | 24 |
| 2. Indoor 전파특성 모델 .....  | 25 |
| 3. 모의실험 결과 .....   | 28 |

<b>제5장</b>	<b>실측과 모의실험 결과 비교 .....</b>	<b>31</b>
------------	-----------------------------	-----------

제1절 전파전달 특성 비교 .....	31
----------------------	----

제2절 간섭 확률 비교 .....	32
--------------------	----

- |                          |    |
|--------------------------|----|
| 1. 측정 결과의 간섭 확률 계산 ..... | 32 |
|--------------------------|----|



## 제6장 실환경에 가까운 간섭 분석 방식 제안 ..... 35

### 제1절 제안 분석 방식 ..... 35

1. 간섭 링크 정의 ..... 36
2. 간섭원과 피간섭원의 공간 특성 정의 ..... 36
3. 시간 특성 모델링 ..... 37
4. 간섭 회피 기술 적용 ..... 37
5. dRSS/iRSS 계산 및 간섭 확률 도출 ..... 38

### 제2절 구현 코드 ..... 39

1. Main frame ..... 39
2. Interferer ..... 43
3. Distance ..... 51
4. Path loss ..... 52
5. Pofinterference ..... 52

### 제3절 구현 결과 ..... 53

## 제7장 결 론 ..... 55

## 참고문헌 ..... 56



## 표 차 례

표 3-1	측정 환경 구축 시 고려 사항과 반영 사항 .....	8
표 3-2	사용 Cable 종류와 Loss .....	10
표 3-3	제안 시스템과 구현 결과 .....	11
표 3-4	전파전달 특성 PDF, CDF .....	13
표 4-1	WLAN PHY 특성 .....	21
표 4-2	실내 전파 장애 요인 .....	25
표 4-3	주파수 별 환경에 따른 감쇠 계수 .....	26
표 4-4	주파수 별 환경에 따른 바닥 투과 손실 .....	27
표 4-5	실내 환경 별 표준편차 .....	27



# 그림 차례

그림 2-1	연구 진행 순서 .....	3
그림 2-2	2.4 GHz Noise floor .....	4
그림 2-3	2.4 GHz Noise floor with 3 vacuum cleaner .....	4
그림 2-4	간섭 분석 시나리오 .....	5
그림 3-1	측정 시나리오 .....	7
그림 3-2	안테나 Matching .....	8
그림 3-3	E-Plane 패턴 .....	9
그림 3-4	E-Plane 패턴 .....	9
그림 3-5	거리에 따른 감쇠 특성 그래프 .....	19
그림 3-6	측정 수신 전력 .....	19
그림 3-7	측정 수신 간섭 전력 .....	20
그림 4-1	모의실험 시나리오 .....	21
그림 4-2	모의실험 시나리오 .....	22
그림 4-3	모의실험 파라미터 선정 알고리즘 .....	23
그림 4-4	QPSK의 BER 그래프 .....	23
그림 4-5	SEAMCAT 구조 .....	24
그림 4-6	Simulation 결과 화면 .....	28
그림 4-7	dRSS Simulation 결과 .....	28
그림 4-8	iRSS Simulation 결과 .....	29
그림 5-1	전파전달 특성 비교 그래프 .....	31
그림 5-2	측정 CINR 그래프 .....	32
그림 6-1	제안 간섭 분석 알고리즘 .....	35

그림 6-2	간접 링크 정의 과정 .....	36
그림 6-3	WLAN의 시간 특성 .....	37
그림 6-4	CSMA/CA 알고리즘 순서도 .....	38
그림 6-5	구현 결과 .....	53
그림 6-6	iRSS 결과 .....	53

## 제1장 서론

전파를 사용하는 장비들의 증가에 따라 간섭의 영향이 발생하고 있다. 이에 간섭의 영향을 정확하게 분석하고 평가할 수 있는 방법이 필요한 시점이다. 현재 가장 많이 사용되고 있는 간섭 분석 방법은 MC 방법이 있다. MC 방법은 간섭의 영향을 확률론적으로 분석하는 방법으로 다양한 시나리오에 대해 간섭 분석이 가능하다는 장점을 갖고 있다. 하지만 MC 방법의 경우 그 신뢰도에 대한 평가가 부족한 상황이다. 이에 MC 방법을 사용한 간섭 분석 시뮬레이터와 실측의 비교를 통해 신뢰도를 평가하고 실 환경에 가까운 간섭 분석 알고리즘을 제안하였다.





## 제2장 MC 방법의 신뢰도 평가 연구

### 제1절 연구 진행 순서

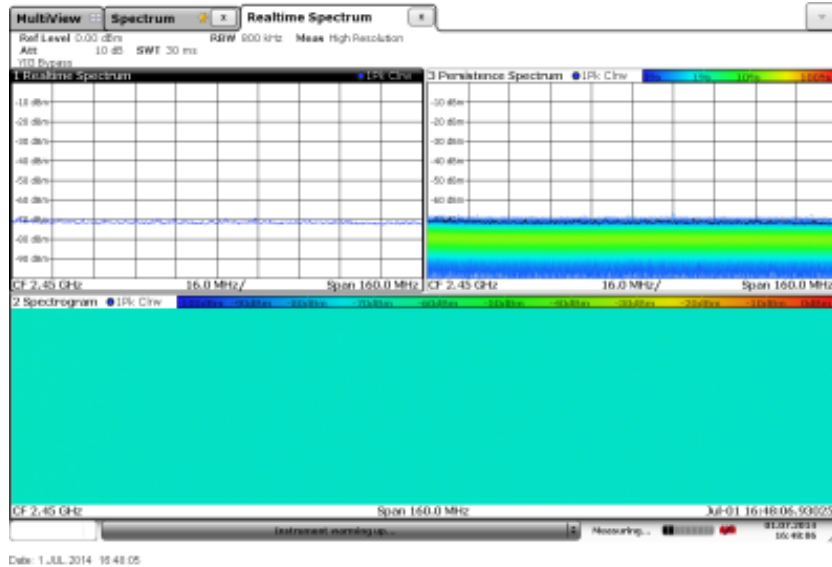


(그림 2-1) 연구 진행 순서

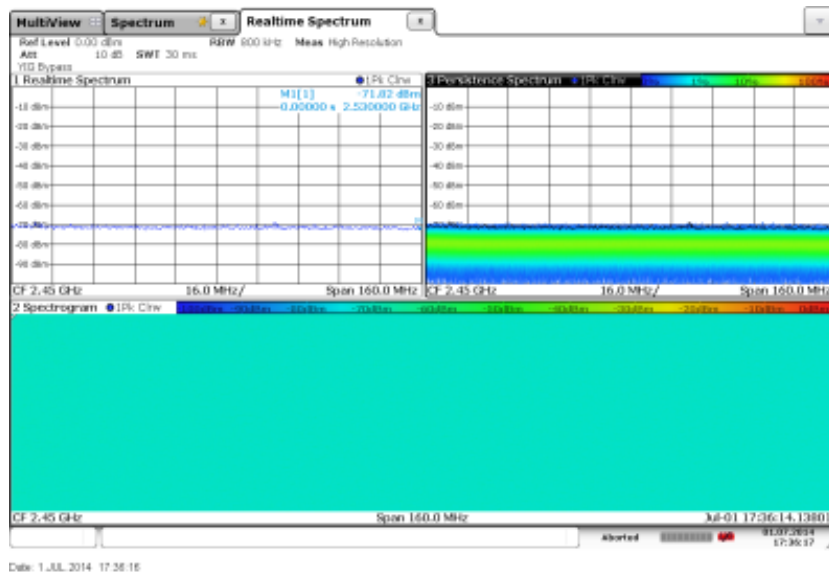
MC 방법의 신뢰도 평가를 위한 연구 진행 순서는 그림 2-1과 같다. 실측과 모의실험을 동일한 환경으로 설정하기 위해 우선 측정 및 모델링을 진행할 환경을 선정한다. 선정한 환경 하에서 측정 시나리오에 대한 정의를 하며, 이를 토대로 모의실험 및 실측을 진행한다. 이번 년도에 선정한 분석 시나리오는 Indoor 환경 내에서의 WLAN 간섭 영향 분석으로 3개의 WLAN 간섭원이 존재하는 것으로 가정하여 분석을 진행하였다.

#### 1. 측정 및 분석 환경 선정

측정 및 분석 환경은 Noise floor가 낮으며, 주변에 인접 혹은 동일 대역을 사용하는 장비가 없어야 한다. 이에 전파사용 장비가 없는 국립전파연구원 용산 청사를 측정 위치로 선정하였다. 국립전파연구원 용산 청사는 기관이전으로 인해 현재 비어있는 상태이며, 사람의 출입이 제한적이기 때문에 상대적으로 외부 요인이 적다.



(그림 2-2) 2.4 GHz Noise floor



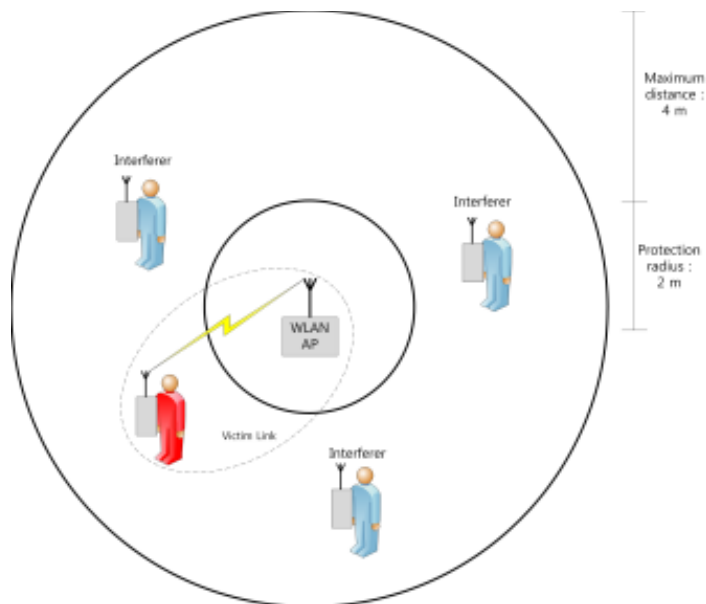
(그림 2-3) 2.4 GHz Noise floor with 3 vacuum cleaner

그림 2-2는 Noise floor를 Realtime Spectrum Analyzer를 통해 측정된 것으로 -70 dBm 이하의 Noise가 검출되는 것을 확인할 수 있다. 좌측 상단의 그림은 Peak hold 기능을 사용한 Noise floor 측정 결과이며 우측 상단은 수신 강도를 누적의 형태로 나타낸 것이다. 하단의

그림은 Spectrogram을 나타낸 것으로 수신되는 외부 잡음이 없음을 나타낸다. 그림 2-3은 측정 사용 장비들을 켜 상태에서 Noise floor를 측정한 것으로 Noise floor가 증가하지 않는다는 것을 확인할 수 있다.

## 2. 간섭 분석 시나리오

간섭 분석을 위해 선정한 시나리오는 3개의 WLAN 간섭원이 한 공간에 위치하는 것으로 가정하였다.



(그림 2-4) 간섭 분석 시나리오

간섭원의 위치는 일정 크기의 Cell 내에 Random하게 움직임을 갖는 것으로 가정하였으며, 피간섭원의 통신 링크에 끼치는 영향을 간섭 확률로 분석을 진행한다. 이 때 사용하는 WLAN 장비는 Cell phone으로 모두 Uplink 상황을 가정한다.

### 3. 측정 및 모의실험

측정 및 모의실험은 개별적으로 진행한다. 같은 환경과 시나리오에 대해 측정과 분석을 진행하며, 모의실험의 경우 측정을 통해 얻어진 데이터들(Emission mask, Propagation model)을 사용하여 분석의 정확도를 높였다.

### 4. 결과 비교

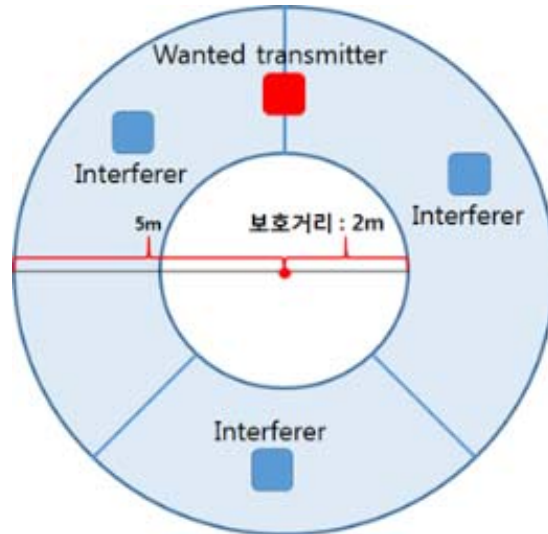
실환경 측정과 모의실험의 결과 비교를 통해 모의실험의 정확도를 평가한다. 또한, 보다 정확도 높은 간섭분석이 가능하도록 하기 위해 실환경과 모의실험과의 차이를 분석한다.

### 5. 개선 방안 도출

결과 비교를 통해 모의실험의 부족한 점을 개선할 수 있는 방안을 도출하고 이를 토대로 간섭 분석을 진행 해 실환경 측정과의 결과를 비교하여 개선도를 평가한다.

## 제3장 MC 검증을 위한 실 환경 측정

### 제1절 측정 시나리오



(그림 3-1) 측정 시나리오

간섭 시나리오의 측정을 위한 구성은 그림 3-1과 같다. 기존의 MC 방법은 간섭원의 위치가 일정 공간 안에 Random하게 분포하며 Snapshot의 형태로 간섭 분석이 가능해야 한다.

#### 1. 측정 환경 구축

측정 환경의 구축을 위해 고려한 사항은 다음과 같다.

〈표 3-1〉 측정 환경 구축 시 고려 사항과 반영 사항

고려사항	반영 사항
이동체가 Random하게 움직여야 함	로봇 청소기 사용
Noise floor가 낮아야 함	용산 청사에서 측정 진행
주변 기기 및 환경에 의한 외부 잡음 영향이 없어야 함	주변 간섭원이 없는 용산에서 측정 진행
적용 Propagation model과 동일한 환경 구축	Maneffect, Shadowing이 없는 환경 구축
이동체 속도에 의한 Doppler effect가 없어야 함	이동체의속도가 35cm/s로 Doppler effect가 없음
이동체 및 거치대에 의한 전파 왜곡이 없어야 함	거치대 및 이동체에 Shielding 처리
충분한 수의 Sample이 있어야 함	20,000 sample 이상의 Data 수집

## 2. 측정 안테나 특성

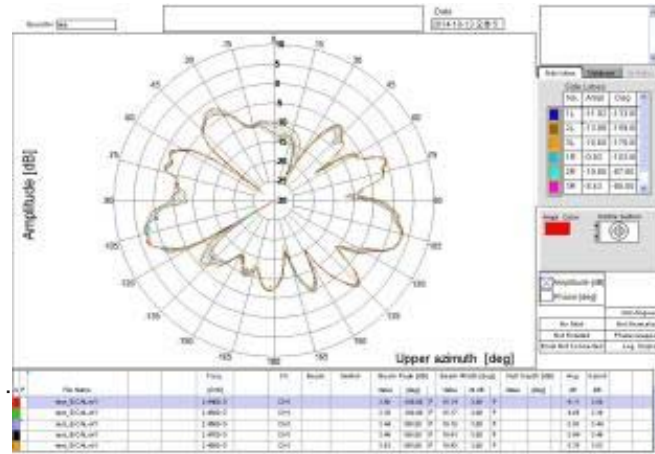
### 가. 안테나 Matching 확인



(그림 3-2) 안테나 Matching

S11 측정 결과 2.4 GHz 대역에서 -10 dB 이하의 낮은 값을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 이는 반사가 거의 없이 정합이 잘되어 있음을 의미한다.

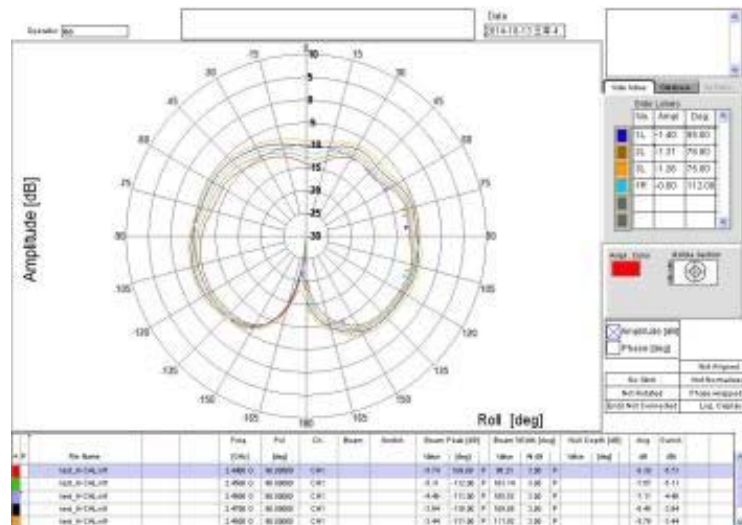
## 나. 안테나 Pattern 및 Gain 측정 (E-plane)



(그림 3-3) E-Plane 패턴

사용 안테나는 Helical 구조이기 때문에 E-plane에 많은 Null이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 측정 결과 약 3.5 dBi의 peak gain을 갖으며, 평균적으로 0 dBi의 Gain을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

## 다. 안테나 Pattern 및 Gain 측정 (H-plane)



(그림 3-4) E-Plane 패턴

H-plane 측정 결과 Omni한 특성을 나타내는 것으로 확인되며, 180°에서 나타나는 Null은 측정 케이블에 의한 영향으로 판단된다. E-패턴에 비해 Gain이 작은 것은 main 빔 방향에서 특성 측정을 하지 못했기 때문으로 판단된다.

### 3. 측정 장비

가. Victim receiver : Realtime spectrum analyzer (160 MHz BW)

- WLAN의 신호의 경우 한 Packet 당 전송 시간이 짧아 정확한 측정을 위해 실시간 스펙트럼 분석기를 사용

나. Wanted transmitter : Signal generator (30 kHz RBW)

- Victim link의 송신원은 CW (Continuous Wave)의 형태로 전송

다. Interferer : 802.11n WLAN device (Cell phone, WLAN AP)

- Interferer는 실환경에 가까운 분석을 위해 핸드폰의 WLAN을 사용하여 측정을 진행 (Uplink)

라. Low loss cable

〈표 3-2〉 사용 Cable 종류와 Loss

Serial number	Cable length	Cable loss
213389/4	15 m	-6.68 dB
27654	5 m	-3.18 dB

- 송신기는 5m의 Cable을 연결시켰으며, 수신기에는 15m Cable을 연결

마. 안테나 거치대



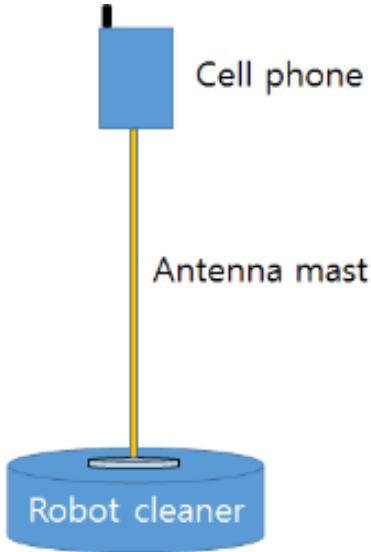

- 안테나 거치대의 높이는 1.2m 로 고정

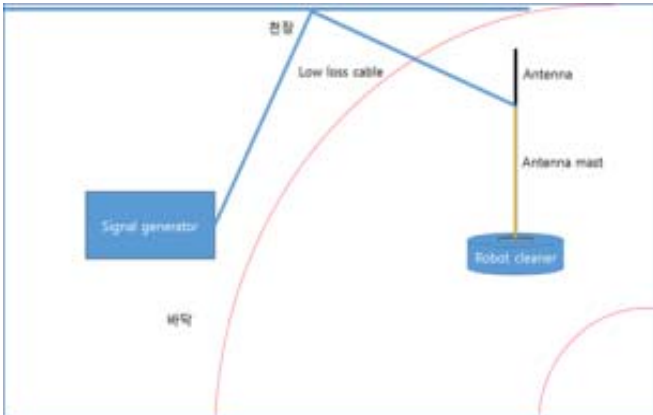


바. Robot cleaner

- 일정 구역 내에서 Random한 움직임을 갖기 위해 사용
- 모터 및 구동 시 발생 가능한 전파 잡음을 제거하기 위해 Shielding 처리

#### 4. 구현 결과

〈표 3-3〉 제안 시스템과 구현 결과

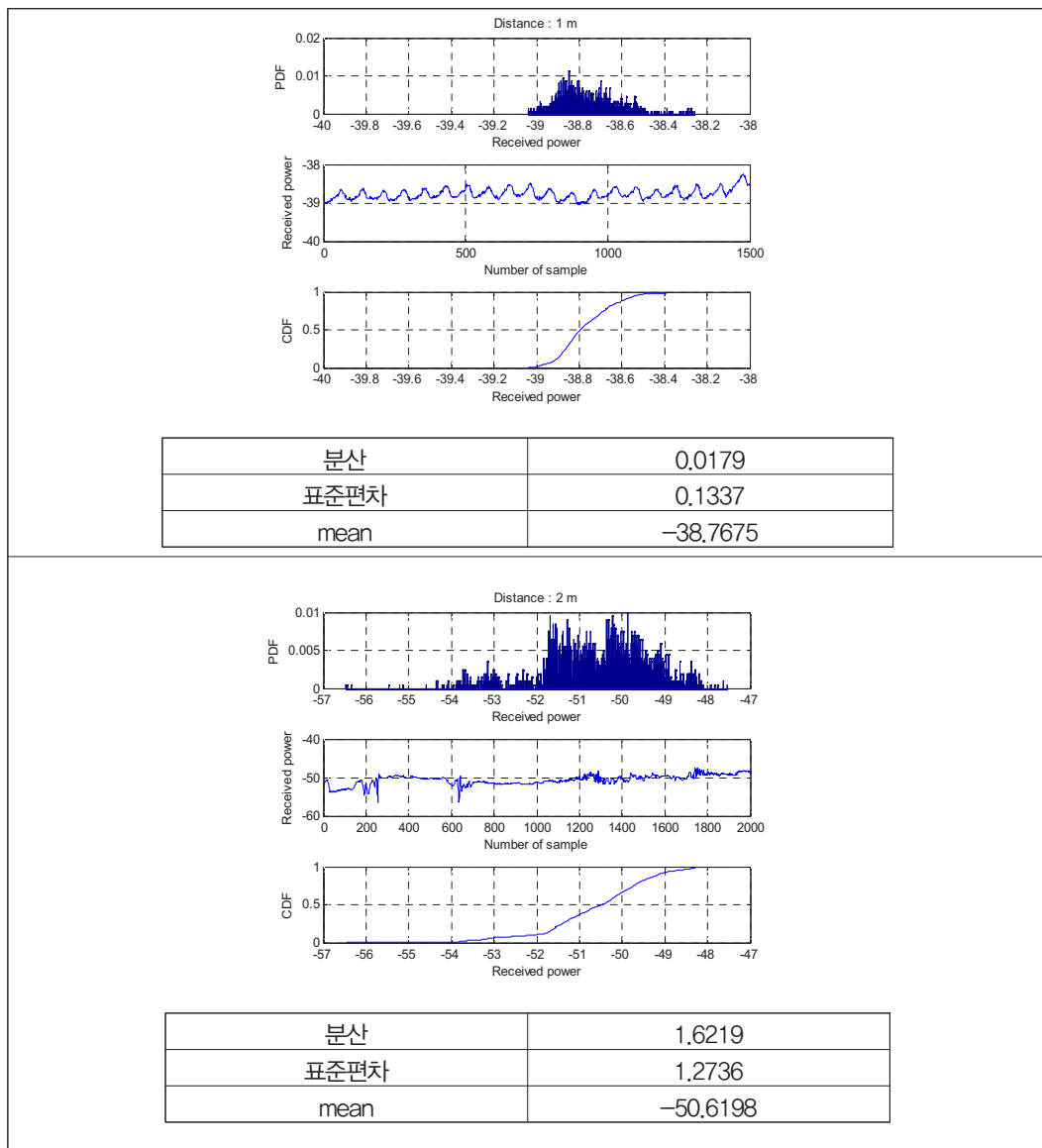
측정 시스템	구현 결과
	

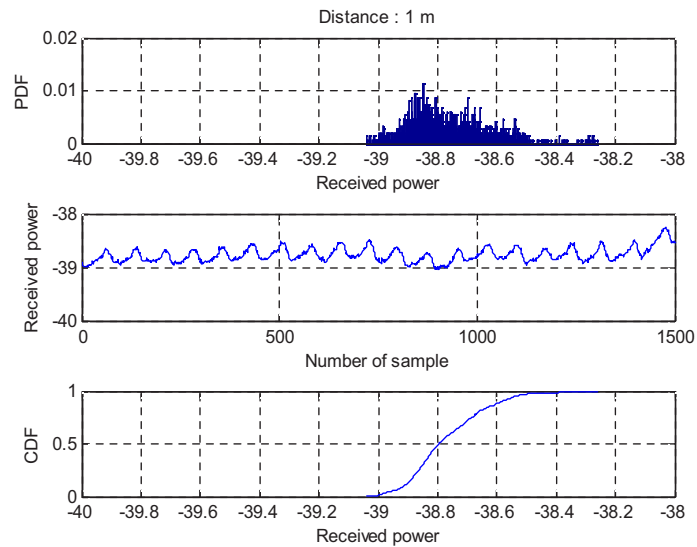
측정 시스템
 <p>Diagram illustrating the measurement system components and layout. The components include a Signal generator, Low loss cable, Antenna, Antenna mast, and Robot cleaner. The layout shows a curved path (red line) and a wall (벽).</p>
구현 결과
용산청사
 <p>Photograph showing the experimental setup in the Yongsan branch office. The setup includes a circular path marked on the floor, a signal generator, antenna, and robot cleaner.</p>
나주 청사
 <p>Photograph showing the experimental setup in the Naju branch office. The setup includes a circular path marked on the floor, a signal generator, antenna, and robot cleaner.</p>

## 제2절 전파전달 특성 측정

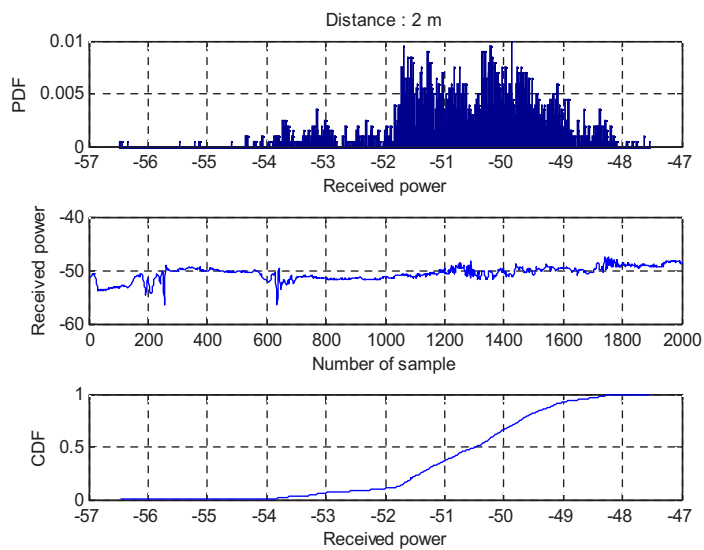
정확한 측정과 모의실험의 비교를 위해 거리에 따른 수신 신호세기 측정을 진행하였다. 해당 결과들을 PDF (Probability Density Function)와 CDF (Cumulative Density Function)로 나타낸 결과는 다음과 같다.

〈표 3-4〉 전파전달 특성 PDF, CDF

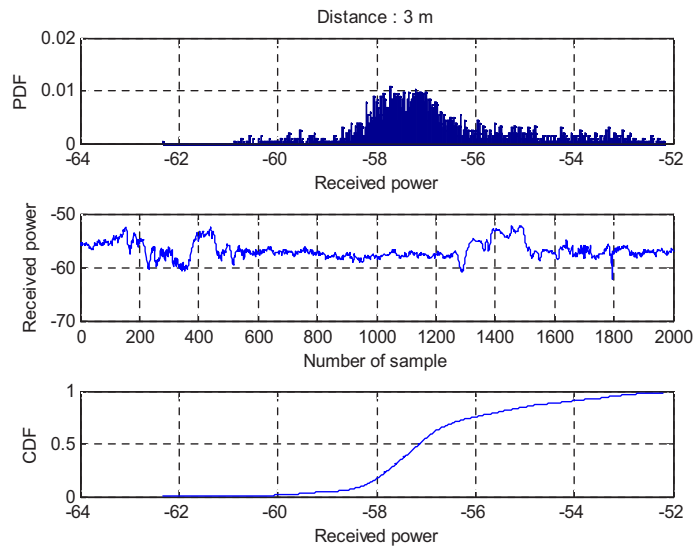




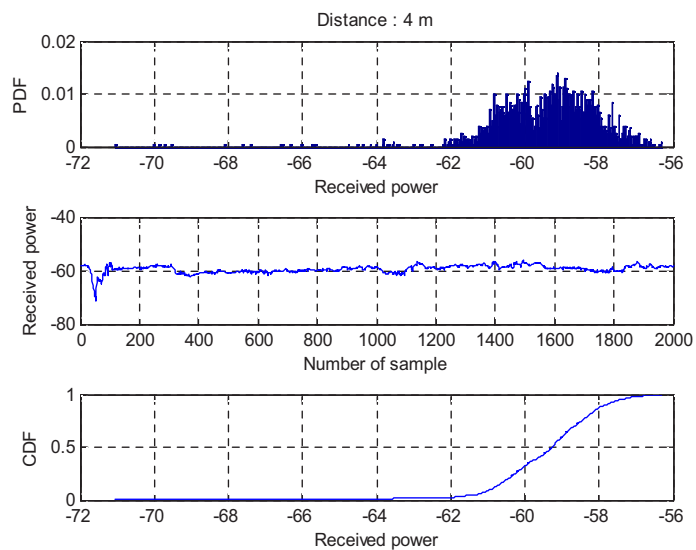
분산	0.0179
표준편차	0.1337
mean	-38.7675



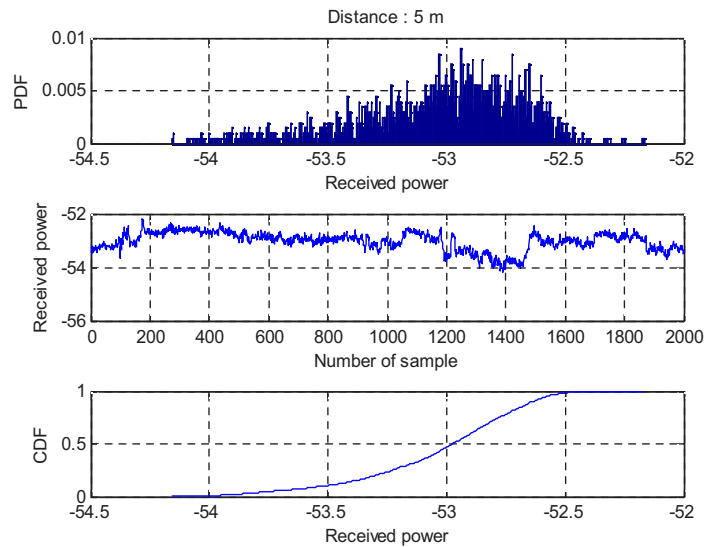
분산	1.6219
표준편차	1.2736
mean	-50.6198



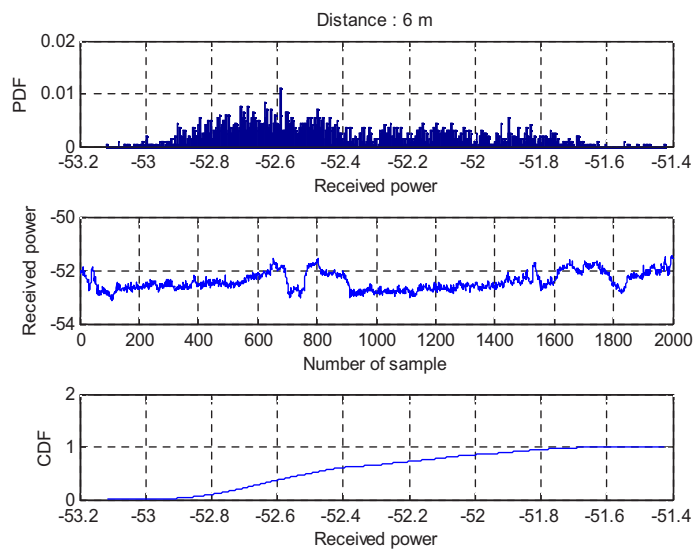
분산	2.4530
표준편차	1.5662
mean	-56.8117



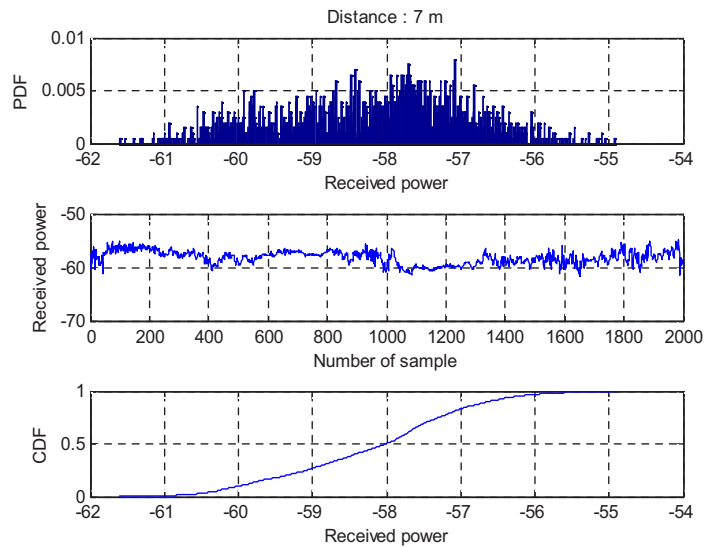
분산	2.0248
표준편차	1.4230
mean	-59.4154



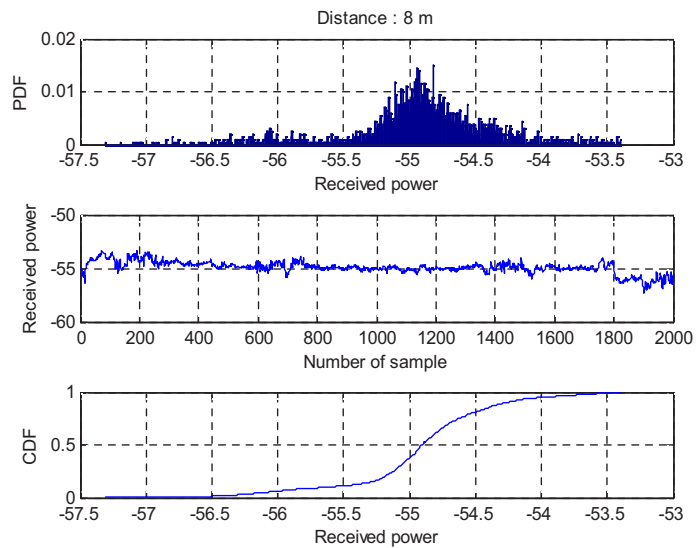
분산	0.1191
표준편차	0.3451
mean	-53.0297



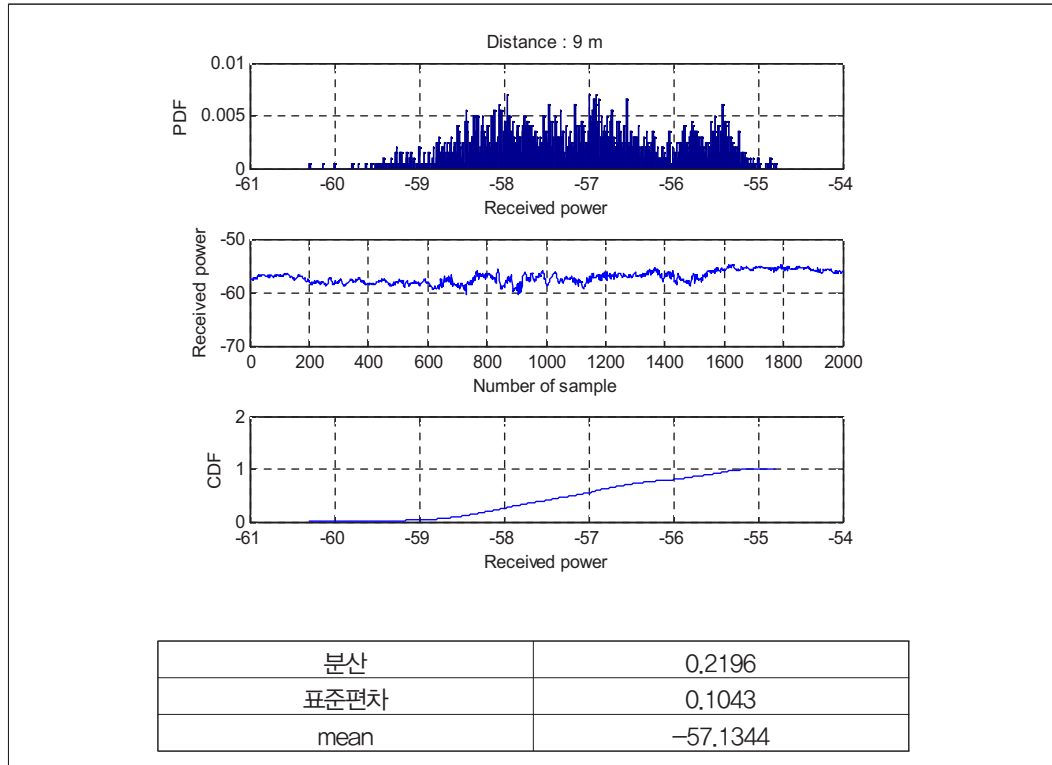
분산	0.1136
표준편차	0.3371
mean	-52.4179



분산	1.5512
표준편차	1.2455
mean	-58.1893



분산	0.3246
표준편차	0.5697
mean	-54.9171

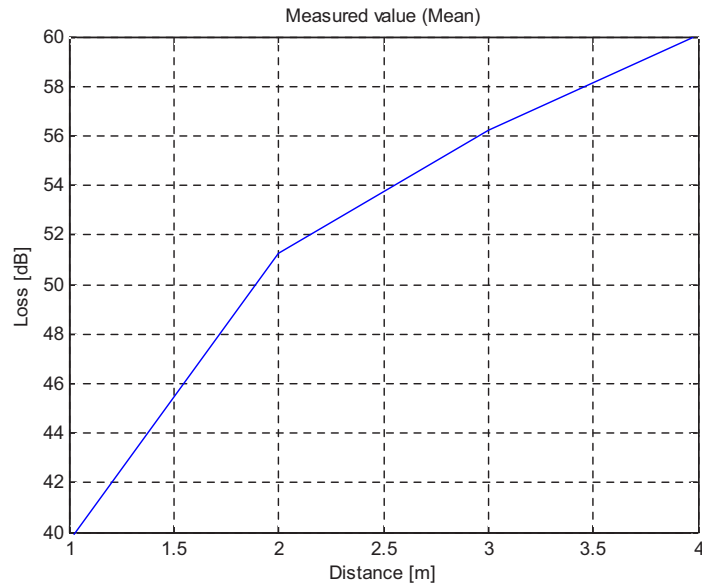


측정 결과 건물 구조 특성에 의해 일정 거리에서 분산 값이 크게 나타나는 것을 확인할 수 있으나, 최대 분산 값이 2 dB 이내로 실제 분석에 끼치는 영향은 작은 것으로 예상이 된다.

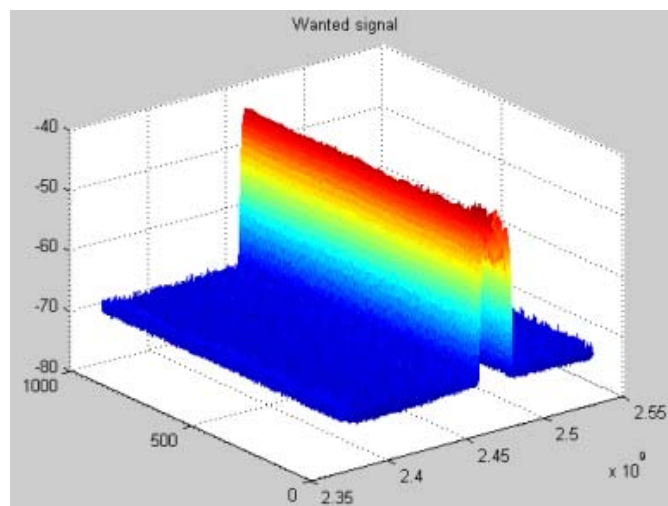


### 제3절 측정 결과

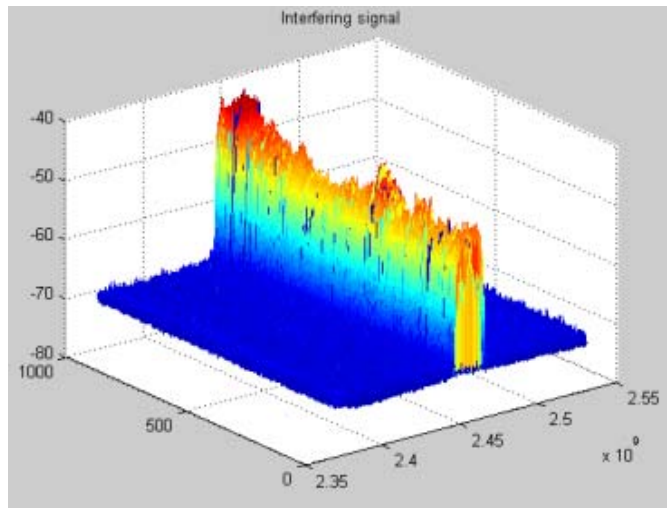
측정 결과 거리에 따른 감쇠 특성은 그림 3-5와 같다. 또한 수신된 dRSS와 iRSS는 그림 3-6, 3-7과 같다.



(그림 3-5) 거리에 따른 감쇠 특성 그래프



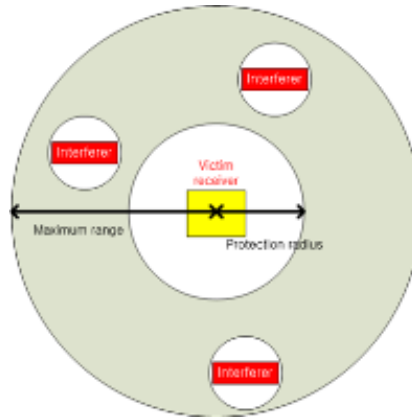
(그림 3-6) 측정 수신 전력



(그림 3-7) 측정 수신 간섭 전력

## 제4장 간섭분석 툴을 이용한 MC 모의실험

### 제1절 모의실험 시나리오



(그림 4-1) 모의실험 시나리오

모의 실험은 위의 측정과 동일한 환경에 대해 분석을 진행하였다. 측정과 같이 일정 범위의 공간안에 3개의 간섭원이 존재하는 것으로 가정하였으며, 이 때 간섭원과 피간섭원 모두 WLAN으로 가정하였다.

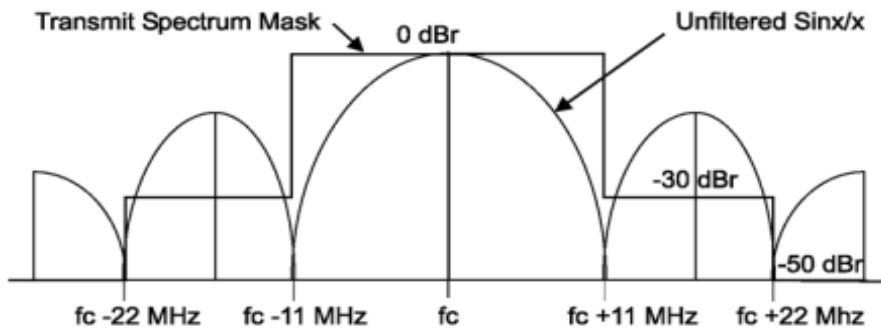
사용 주파수는 피간섭원의 경우 2.45 GHz를 중심주파수로 사용하며, 3개의 간섭원은 2.47 GHz를 사용하는 것으로 가정하였다.

#### 1. WLAN 규격

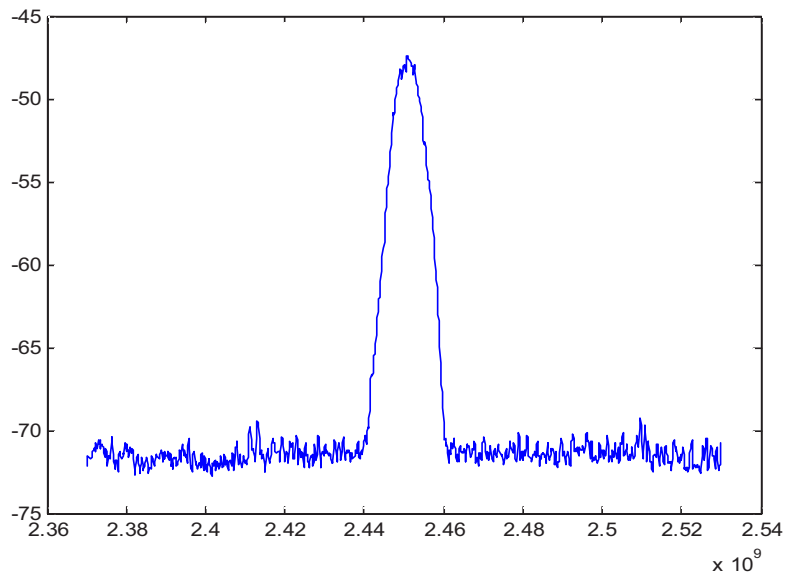
〈표 4-1〉 WLAN PHY 특성

WLAN (IEEE 802.11n)	
Transmitted power	30 mW (14.8 dBm)
Emission mask	$ f-f_c  \geq 11$ : -28 dBc $ f-f_c  \geq 20$ : -45 dBm
BW	20 MHz
Data rate	100Mbps
Receiver sensitivity	-80 dBm
Channel number	$2407+5 \times k$ $k=1,5,9$

WLAN (IEEE 802.11n)의 PHY 특성은 표 4-1과 같다. 일반적인 출력 전력은 14.8 dBm이며 대역폭은 20MHz를 사용한다. 최대 Data rate는 100 Mbps이며 Sensitivity는 -80 dBm이다. 규격 상에 나와 있는 Emission mask는 그림 4-1의 (a)와 같다.



(a) 규격 (Standard) 상의 Emission mask

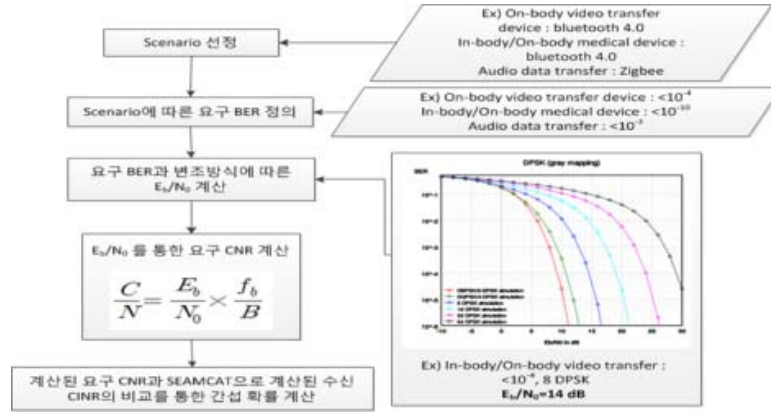


(b) 측정된 Emission mask

(그림 4-2) 모의실험 시나리오

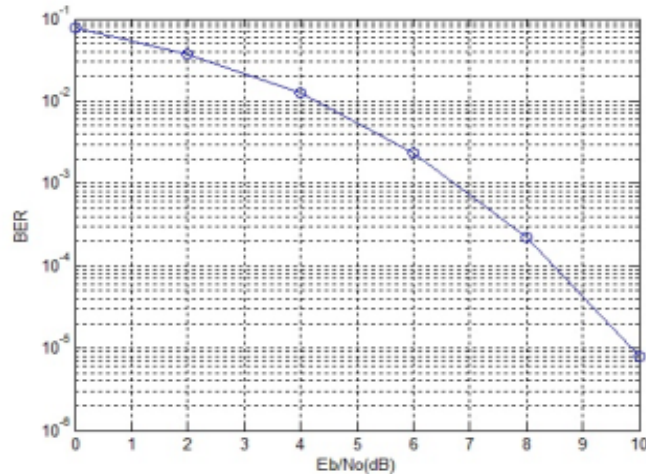
그림 4-2의 (b)는 측정된 Emission mask를 나타낸 것으로 규격과 차이가 있는 것을 확인할 수 있다. 해당 모의실험에서는 측정과의 정확한 비교를 위해 측정된 Emission mask를 토대로 하여 모의실험을 진행하였다.

## 2. 시나리오에 따른 요구 신호 대 간섭비



(그림 4-3) 모의실험 파라미터 선정 알고리즘

그림 4-3은 모의실험의 파라미터를 선정하기 위한 알고리즘을 나타낸 것이다. 위의 알고리즘을 통해 요구 신호 대 잡음비 (CINR)를 계산할 수 있다. 시나리오는 측정과 동일한 것으로 가정하였으며, 요구 BER은 일반적인 대용량 데이터 파일 전송을 하였기 때문에  $10^{-3}$ 으로 정의하였다. 또한 사용 Modulation은 QPSK로 비트오율 (Bit Error Rate)는 그림 4-4와 같다.



(그림 4-4) QPSK의 BER 그래프

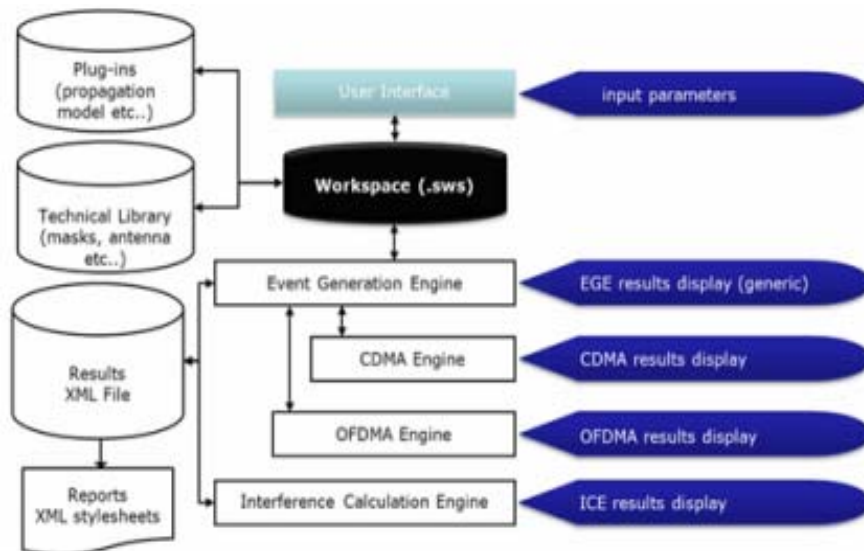
해당 값을 토대로 계산된 요구 CINR은 10 dB로 10 dB 이상의 CINR이 만족될 경우 간섭이 발생하지 않는 것으로 정의할 수 있다.

## 제2절 모의실험 설정 및 결과

모의실험은 가장 일반적으로 간섭분석에 사용되는 Tool인 SEAMCAT (Spectrum Engineering Advanced Monte\_Carlo Analysis Tool)으로 진행하였다.

### 1. SEAMCAT (Spectrum Engineering Advanced Monte\_Carlo Analysis Tool)

위에 언급한 바와 같이 SEAMCAT은 간섭 분석에 가장 일반적으로 사용되는 모의실험 Tool이다. 그림 4-5는 SEAMCAT의 구조를 나타낸 것이다. SEAMCAT은 Workspace, EGE (Event Generation Engine), ICE (Interference Calculation Engine)으로 구성되어 있다. Workspace는 전파전달 모델, Emission mask 등의 파라미터들을 입력받는 역할을 하며, EGE는 간섭 분석을 위한 iRSS (interfered Received Signal Strength), dRSS (desired Received Signal Strength)를 계산하는 역할을 한다. ICE는 계산된 iRSS, dRSS를 토대로 간섭 확률을 계산하는 역할을 한다.



(그림 4-5) SEAMCAT 구조

## 2. Indoor 전파특성 모델

### 가. ITU R P.1238-7

ITU-R P1238-7은 다양한 실내 환경 (Office, Residential, Commercial)에서의 전파 전달 특성을 분석하여 모델링한 것으로, Path loss 모델과 delay spread model, 안테나에 의한 효과, 건물 재질에 의한 효과 등을 나타내었다. ITU-R P.1238-7에서 정의한 Indoor 환경에서의 주요 전파 장애 요인은 표 4-2과 같다.

〈표 4-2〉 실내 전파 장애 요인

실내 환경에서의 주요전파 장애 요인	바닥 및 물건에 의한 반사 및 회절
	벽 및 바닥 등 기타 장애물에 의한 투과 손실
	복도에서 발생하는 에너지의 채널링 효과
	사람과 물건의 움직임
실내 환경에서의 전파 장애 증가 요인	전송 손실의 증가 건물 매질 등에 의한 추가 손실 발생
	시공간 특성에 의한 전송 손실 변화
	다중 경로 효과
	모바일 기기의 편파 불일치

표 4-2에 의하면 실내 전파 전달의 주요 장애 요인은 반사와 회절, 장애물에 의한 투과 손실 등임을 알 수 있다.

○ Path loss model

$$L_{Indoor} = 20\log_{10}f + N\log_{10}d - L_f(n) - 28$$

f는 MHz 단위의 송신주파수를 의미하며, N은 주파수와 환경에 따른 전력 손실 계수를 의미하는 것으로 그 값은 표 4-3과 같다.

〈표 4-3〉 주파수 별 환경에 따른 감쇠 계수

Frequency	Residential	Office	Commercial
900 MHz	—	33	20
1.2~1.3 GHz	—	32	22
1.8~2 GHz	28	30	22
2.4 GHz	28	30	
3.5 GHz		27	
4 GHz	—	28	22
5.2 GHz	30(apartment) 28(house)	31	—
5.8 GHz		24	
60 GHz	—	22	17
70 GHz	—	22	—

2.4 GHz의 경우 사무실 환경에서 30의 감쇠 계수를 갖는다. d는 기기 간의 거리를 m단위로 나타내는 것으로 1m 이상의 값에 대해 유효하다. Lf 는 floor penetration loss를 나타내는 것으로 그 값은 표 4-4과 같으며, 표준편차는 표 4-5와 같다.



〈표 4-4〉 주파수 별 환경에 따른 바닥 투과 손실

Frequency	Residential	Office	Commercial
900 MHz	—	9 (1 floor) 19 (2 floor) 24 (3 floor)	
1.8–2 GHz	4 n	15+4(n-1)	6+3(n-1)
2.4 GHz	10 (apartment) 5 (house)	14	
3.5 GHz		18 (1 floor) 26 (2 floor)	
5.2 GHz	13 (apartment) 7 (house)	16 (1 floor)	
5.8 GHz		22 (1 floor) 28 (2 floor)	

〈표 4-5〉 실내 환경 별 표준편차

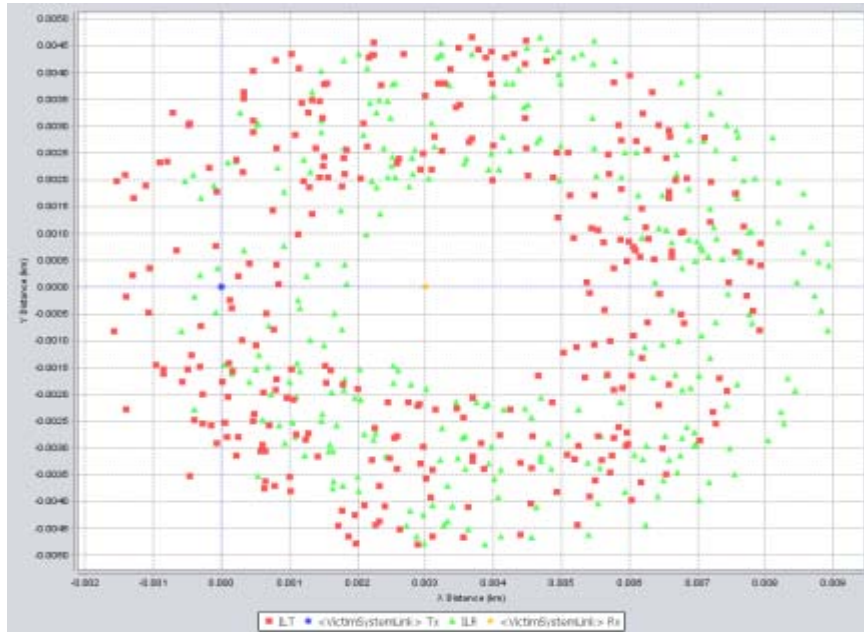
Frequency (GHz)	Residential	Office	Commercial
1.8–2	8	10	10
3.5		8	
5.2	—	12	—
5.8		17	

#### 나. Free space model

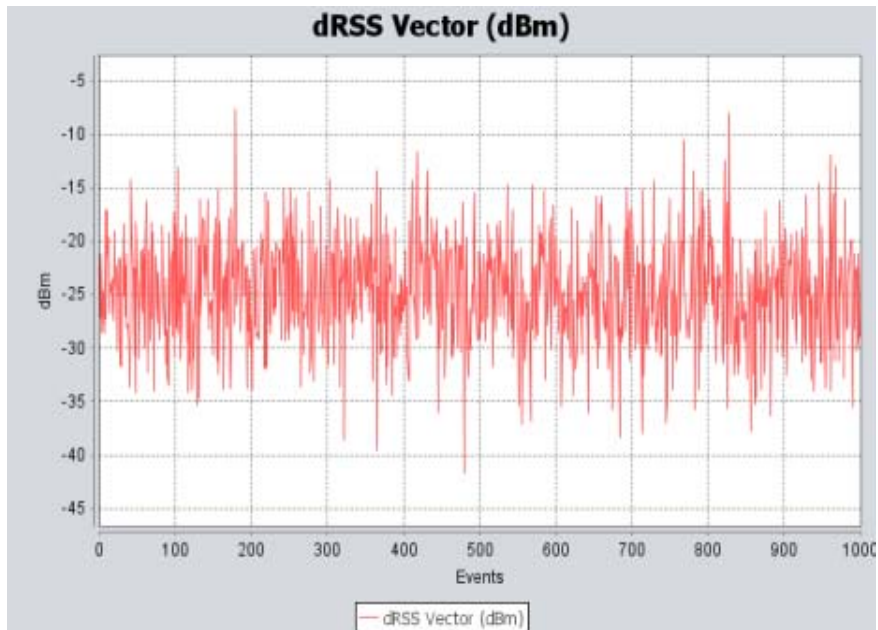
$$L=32.5+10\log\left(\left(\frac{h_{tx}-h_{rx}}{1000}\right)^2+d^2\right)+20\log f$$

자유공간 모델은 가장 일반적으로 사용되는 전파전달 모델로 근거리 전파전달 분석에 사용이 가능하다.

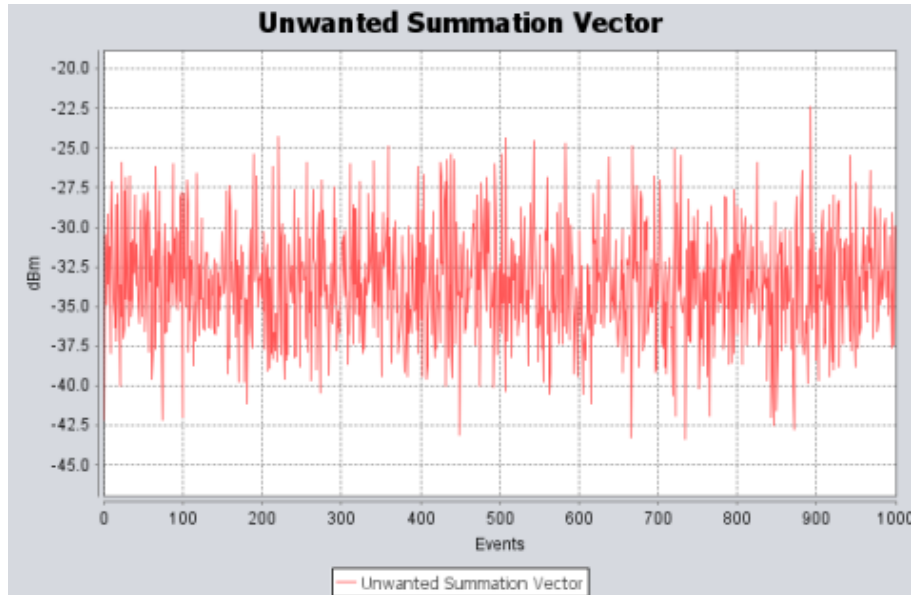
### 3. 모의실험 결과



(그림 4-6) Simulation 결과 화면



(그림 4-7) dRSS Simulation 결과



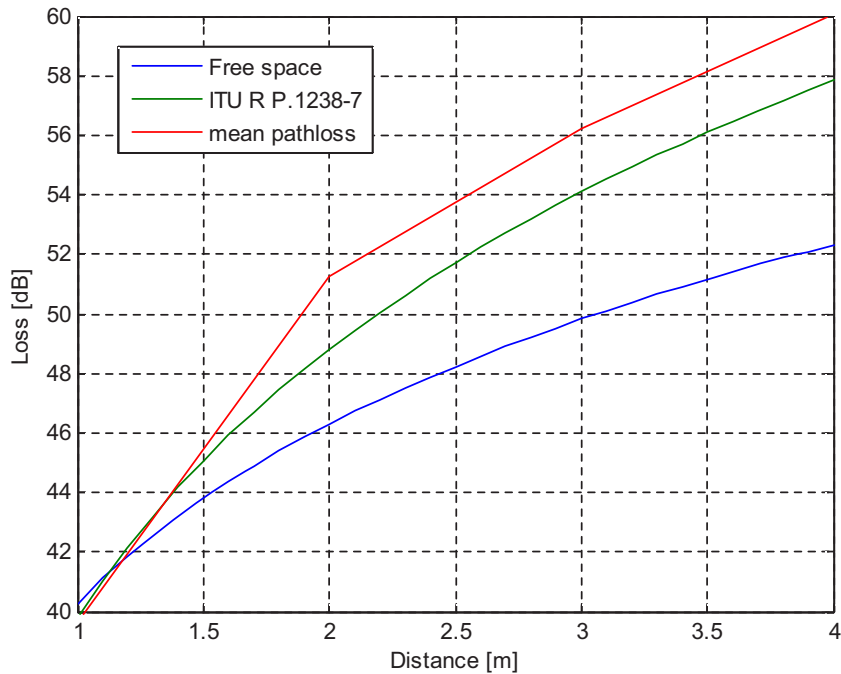
(그림 4-8) iRSS Simulation 결과

해당 모의실험 결과는 ITU-R P.1238-7을 토대로 분석을 진행한 것이다. 그림 4-7은 모의실험의 결과를 나타낸 것으로 보호반경 외에 간섭원이 Random하게 분포되어 있는 것을 나타낸다. 그림 4-8은 수신 dRSS 값을 나타내는 것으로  $-24.85$  dBm의 평균 값을 갖으며,  $5.02$  dB의 분산 값을 갖는 것을 확인할 수 있다. 그림 4-8은 iRSS를 나타낸 것으로  $-33.37$ 의 평균 값을 갖으며,  $3.6$  dB의 분산 값을 갖는다. 이를 토대로 간섭 확률을 계산할 경우  $83.35\%$ 의 간섭 확률이 나오는 것을 확인할 수 있다.



## 제5장 실측과 모의실험 결과 비교

### 제1절 전파전달 특성 비교



(그림 5-1) 전파전달 특성 비교 그래프

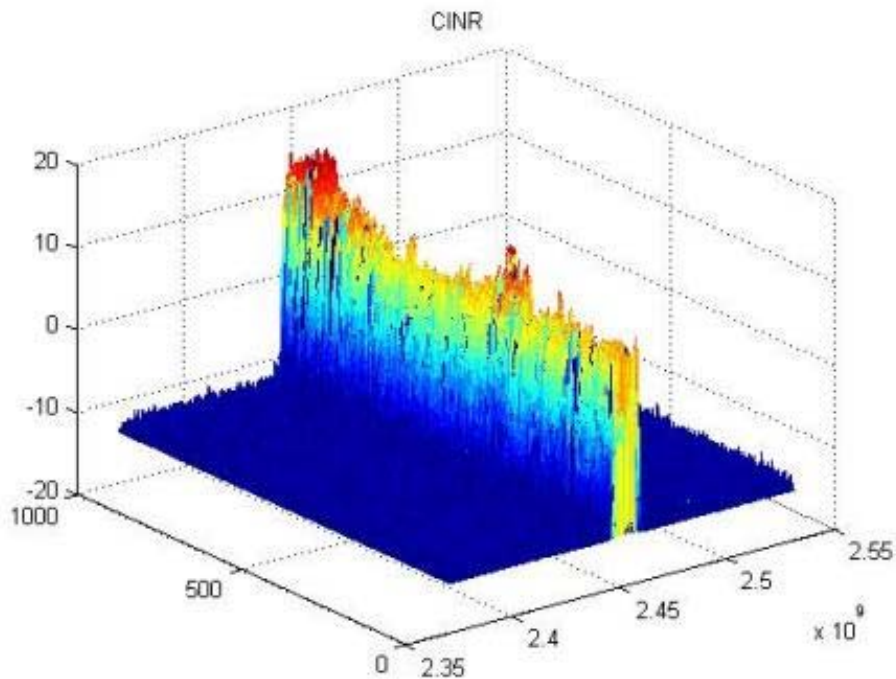
그림 5-1은 측정된 실내 전파전달 특성과 기존의 모델을 비교한 것이다. 전파전달 특성 비교 결과 ITU-R P.1238-7과 거의 같은 형태의 감쇠를 갖는 다는 것을 확인할 수 있다.

## 제2절 간섭 확률 비교

MC 방법의 신뢰도 평가를 위해 모의실험 톨을 이용한 분석 결과와 측정 결과와의 비교 분석을 진행하였다.

### 1. 측정 결과의 간섭 확률 계산

간섭확률의 계산은 위의 모의실험 방식과 동일한 방식으로 진행하였다. 수신된 dRSS/iRSS 값과 CINR 값의 비교를 통해 간섭 발생 여부를 판단하였으며, 조건은 모의실험과 동일하게 진행하였다. 그림 5-2는 수신된 CINR을 그래프로 나타낸 것이다. 이를 토대로 간섭 확률 계산 시 63.7 %가 나오는 것을 확인할 수 있다.



(그림 5-2) 측정 CINR 그래프

모의실험 톨을 이용한 분석과 실환경 측정 결과가 20 % 정도의 차이를 보이는 것을 확인할

수 있다. 이는 실환경의 경우 채널이 비어있는 경우에만 전송을 진행하는 반면, 모의실험의 경우 항상 전송을 진행하는 것으로 모델링이 되기 때문이다. 이를 개선하기 위해 간섭회피 기술이 적용되어 있는 간섭 분석 방법을 제안하고 결과비교를 진행하였다.



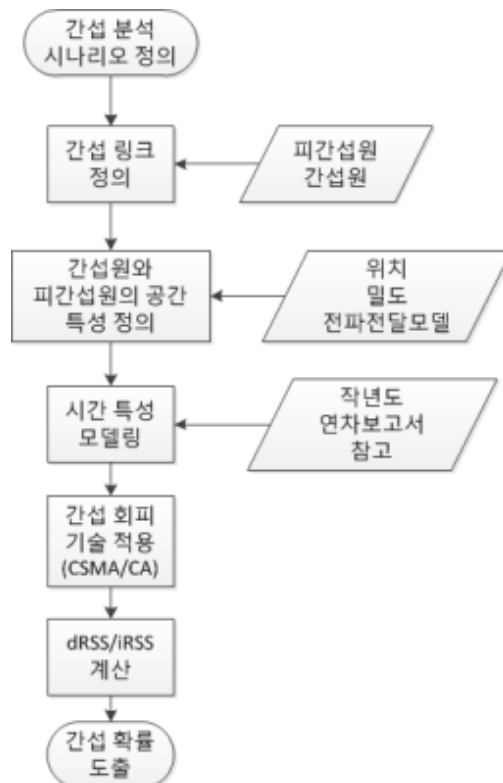


## 제6장 실환경에 가까운 간섭 분석 방식 제안

위의 5장에서 언급한 바와 같이 환경의 경우 항시 전송을 하지 않고 간섭회피 알고리즘을 통해 채널이 비어있는 경우에만 전송을 시행한다. 이와 같은 방식을 간섭 분석에 응용할 경우 간섭 분석이 보다 정밀해지는 효과를 얻을 수 있을 것이라 예상된다.

### 제1절 제안 분석 방식

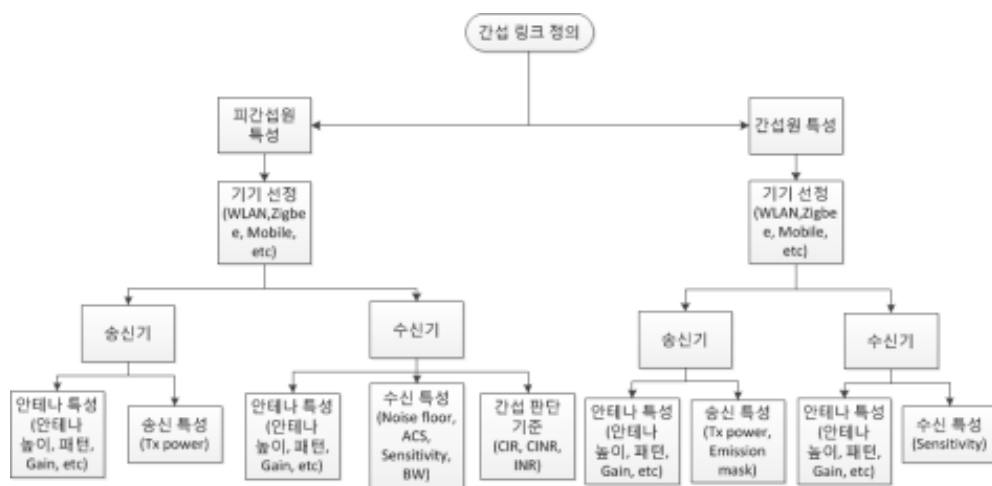
WLAN 장비들의 경우 일반적으로 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)의 알고리즘을 사용하고 있다. 간섭회피 기술을 적용시킨 간섭분석 알고리즘은 다음과 같다.



(그림 6-1) 제안 간섭 분석 알고리즘

작년도 연구 결과의 경우 간섭의 영향을 전송 확률을 통해 분석하였으나, 서로에게 Blind transmitting을 가정하여 간섭 회피 알고리즘을 적용시키지 못하였다. 간섭 회피 알고리즘을 적용하는 경우 보다 실환경에 가까운 간섭 분석이 가능하다. 간섭 분석 알고리즘의 상세 사항은 다음과 같다.

## 1. 간섭 링크 정의



(그림 6-2) 간섭 링크 정의 과정

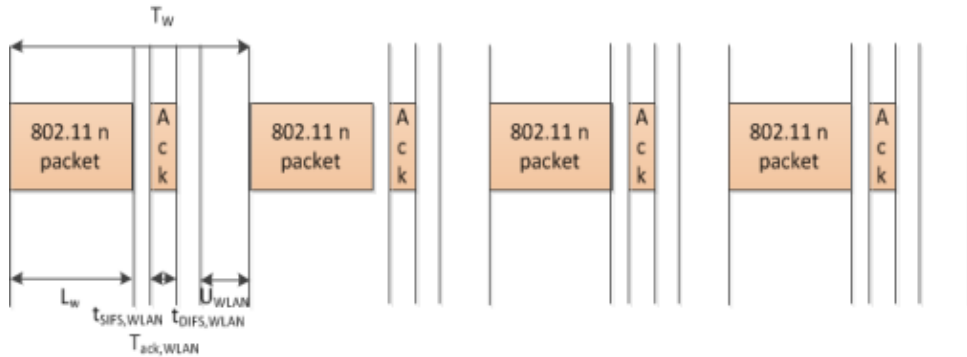
간섭 링크의 정의와 공간특성 정의는 기존의 간섭 분석과 동일한 과정을 따른다. 본 연구에서는 실측과 모의실험의 비교를 위해 간섭분석 모의실험 틀에서 사용한 파라미터들을 동일하게 적용시켜 분석을 진행하였다.

## 2. 간섭원과 피간섭원의 공간 특성 정의

공간특성은 전파전달 모델의 형태로 적용이 가능하다. 이에 측정된 전파전달 모델과 가장 유사한 특성을 갖는 전파전달 모델을 선정하여 이를 사용하였다. 위의 전파전달 특성에서 언급한바와 같이 측정결과와 가장 비슷한 모델은 ITU-R P.1238-7로 이를 모듈화하여 사용하였다.

### 3. 시간 특성 모델링

시간특성 모델링의 경우 작년도에 선행 연구를 진행했었기에, 이를 사용하였다.



(그림 6-3) WLAN의 시간 특성

$T_w$ 는 패킷 간의 inter-arrival time을 의미하는 것이며,  $L_w$ 는 WLAN의 Packet duration을 의미한다. SIFS는 Short Inter frame space로 데이터 프레임과 Ack 사이의 interval을 의미한다. DIFS는 DCF Inter-frame space를 의미하는 것으로 DCF 프로토콜을 사용해 물리계층 접속을 제어한다.  $U_{WLAN}$ 은 Backoff time을 의미하는 것으로 간섭회피 알고리즘의 적용 시 유동적으로 변화하게 된다. 즉,  $U_{WLAN}$ 은 DIFS 구간에서 일어나는 DCF에 의해 정의가 되며 이는 CSMA/CA 알고리즘에 의해 정의되게 된다.

### 4. 간섭 회피 기술 적용

WLAN에서 사용하는 간섭 회피 방법은 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance)이다. CSMA/CA 방식에는 3가지 종류가 있으며 이는 CCA의 종류에 따라 나뉘게 된다.

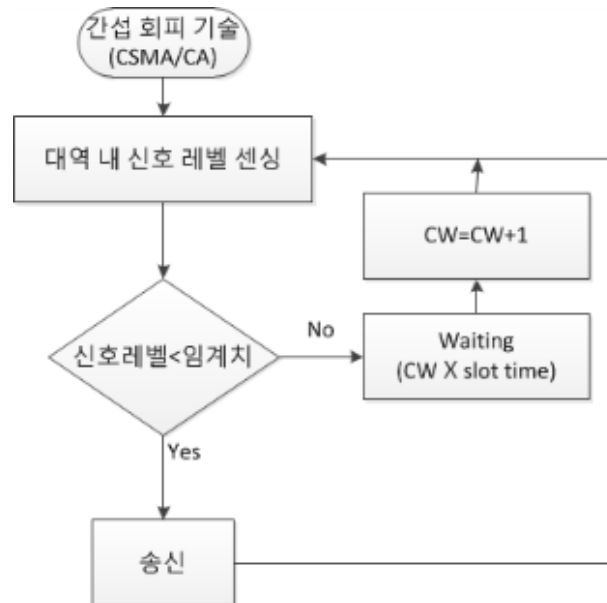
CCA mode 1 : CCA mode 1은 해당 채널 내에 수신되는 간섭 전력량은 DIFS 구간 동안 센싱하여 임계 값을 넘는 경우 간섭이 있는 것으로 판단하고 전송을 뒤로 미루는 방식이다.

CCA mode 2 : CCA mode 2는 해당 채널 내에 동일 변조방식을 사용하는 신호가 있는

경우 간섭이 있다고 판단하는 방식이다.

CCA Mode 3 : CCA mode 3는 CCA mode 1과 CCA mode 2를 합친 것으로 에너지 센싱과 동일 신호 검출을 동시에 진행하게 된다.

현재 실환경에서 사용하는 WLAN 장비의 경우 대부분 CCA mode 2를 사용한다. 즉, 동일 대역을 사용하는 동일 기종의 통신 장비가 있을 경우 일정 시간의 Backoff time을 갖은 후 다시 전송을 시작하게 된다. 이로 인해 간섭전력이 중복이 되는 경우가 줄어들게 되며, 송신이 일어나지 않는 구간도 발생하게 된다. 해당 년도 연구에 적용한 간섭 회피 기술은 CSMA/CA mode 2를 단순화한 것으로 알고리즘은 다음과 같다.



(그림 6-4) CSMA/CA 알고리즘 순서도

CW는 Contention Window를 의미하는 것으로 최초 적용 시 Random하게 그 숫자를 고르게 된다. 전송할 시간대에 채널이 사용중인 것을 확인하면  $CW \times \text{Slot time}$  만큼의 시간을 지연한 후 다시 전송을 시도하게 된다.

## 5. dRSS/iRSS 계산 및 간섭 확률 도출

dRSS, iRSS와 간섭 확률의 계산은 기존의 간섭 분석 툴과 동일한 방식으로 구현하였다.

## 제2절 구현 코드

코드는 Matlab을 이용하여 구현하였으며, 각각의 단계에 따라 모듈화를 진행하였다.

### 1. Main frame

```
clear all

close all

clc

%%%%% Parameter Input %%%%%%%%%%

% Interferer Structure %

Interferer=struct(Interferer,'Position',[3,4],'CW',2,'BE',[
round(10.*rand(1))],'Power',[0],'RSSI',0,'BackoffTime',0);

%%%% Antenna parameters %%%%

Antenna_height=input('Antenna Heightb (m) ');
Antenna_Gain=input('Antenna Gain (dBi) ');
%Antenna_Pattern=input('Antenna Pattern');

%%% General Inputs %%%

% Victim link %

Frequency_VL=input('Frequency of Victim Link (GHz) ');
Bandwidth_VL=input('Bandwidth of Victim link (MHz) ');
```

```

    Emitting_power_VL=input('Emitting power of Victim Link (dBm)
');
    D_Victim=input('Distance of Wanted Tx - Victim Rx (m) ');

    % Interfering link %
    Frequency_IL=input('Frequency of Interfering Link (GHz) ');
    Bandwidth_IL=input('Bandwidth of Interfering link (MHz) ');
    Emitting_power_IL=input('Emitting power of Interfering Link
(dBm) ');

    NofInterferer=input('Number of Interferer ');
    %Emission_mask=input('Emission mask');

    % Path parameters %
    Protection_radius=input('Protection radius (m) ');
    Maximum_radius=input('Maximum radiuis (m) ');

    % MAC parameters %
    Packet_length=input('Packet length (us) ');
    CW=input('Size of Contention Windows ');
    Threshold=input('Threshold of CCA [dBm] ');
    Slot_size=input('Size of time slot (us) ');
    aSlotTime=20;
    DIFS=50;
    aSIFSTime=10;
    aCCATime=15;

```

```

##### Positioning #####

% Position of Environment %
t=[0:0.1:2*pi];
for j=1:length(t)
    x_protec(j)=Protection_radius*cos(t(j));
    y_protec(j)=Protection_radius*sin(t(j));
end
plot(x_protec,y_protec)
hold on

for j=1:length(t)
    x_max(j)=Maximum_radius*cos(t(j));
    y_max(j)=Maximum_radius*sin(t(j));
end
plot(x_max,y_max)
hold on

% Position of Victim Link %
Victim_Rx=[0,0];
Victim_Tx=[0,D_Victim];

% Position of Interfering Link %
for i=1:NofInterferer
    mark_x=1;
    if 0.5 > rand(1,1)

```

```

mark_x=-1;

end

mark_y=1;

if 0.5 > rand(1,1)

mark_y=-1;

end

X_Interferer(i,1)=mark_x*(Protection_radius +
(Maximum_radius-Protection_radius).*rand(1,1));

Y_Interferer(i,1)=mark_y*(Protection_radius +
(sqrt(Maximum_radius.^2-X_Interferer(i,1).^2)-Protection_radiu
s).*rand(1,1));

end

Position_of_Interferer=[X_Interferer,Y_Interferer];


plot(0,0,'go','Linewidth',10);

hold on

plot(Victim_Tx(1,1),Victim_Tx(1,2),'go','Linewidth',10);

hold on

axis([-Maximum_radius,Maximum_radius,-Maximum_radius,Maximu
m_radius]);

for i=1:NofInterferer

plot(X_Interferer(i,1),Y_Interferer(i,1),'ro','Linewidth',10);

drawnow;

hold on

```



```

end

grid on

[iRSS,dRSS]=Interferer (Maximum_radius, Protection_radius,
NofInterferer, Nofevents);

Probability=PofInterference[iRSS,dRSS]

```

Main frame에선 Parameter 입력을 받고 간섭원과 피간섭원을 위치시킨 후 Display를 해주도록 구성하였다.

## 2. Interferer

```

% Basic setting of Interferer %

CW_basic=7;

aSlotTime=1; % aSlotTime= 20us , 1 Slot time

Interferer_=0;

for i=1:NofInterferer

Interferer_Basic=struct('Position',[0,0],'CW',[round(CW_basic.
*rand(1))],'Power',[0],'Backoff',0);

    mark_x=1;

    if 0.5 > rand(1,1)
        mark_x=-1;
    end
end

```

```

mark_y=1;

if 0.5 > rand(1,1)

mark_y=-1;

end

X_Interferer=mark_x*(Protection_radius +
(Maximum_radius-Protection_radius).*rand(1,1));

Y_Interferer=mark_y*(Protection_radius +
(sqrt(Maximum_radius.^2-X_Interferer(1).^2)-Protection_radius)
.*rand(1,1));

Interferer_Basic=setfield(Interferer_Basic,'Position',[X_Inter
ferer,Y_Interferer]);

Backoff=(getfield(Interferer_Basic,'CW')).*aSlotTime;

Interferer_Basic=setfield(Interferer_Basic,'Backoff',Backoff);

v=genvarname('Interferer_',who);

eval([v '=Interferer_Basic']);

Interferers(i,:)=Interferer_Basic;

end

%%%%% Position of Interferers %%%%%%

for i=1:NofInterferer

Position(i,:)=getfield(Interferers(i,:), 'Position');

end

% Distance of Interferer %

```

```

[Dist,D_Victim]=Distance(NofInterferer, Position);

% Pathloss Calculation %
Path_loss_Interferer=Path_loss(Dist);
Path_loss_Victim=Path_loss(D_Victim);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% RSSI total %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Processing %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

p=0
for p=1:10000
    % Wait for Backoff Time %

    B_count1=getfield(Interferer_1,'Backoff');
    B_count2=getfield(Interferer_2,'Backoff');
    B_count3=getfield(Interferer_3,'Backoff');

    if B_count1 == 0
        DIFS_I1=DIFS(Dist, Interferer_1, Interferer_2, Interferer_3
);
        Interferer_2=setfield(Interferer_2,'Backoff',B_count2-1);
        Interferer_3=setfield(Interferer_3,'Backoff',B_count3-1);
        if -80 < DIFS_I1(1,:)

```

```

Interferer_1=setfield(Interferer_1,'Power',16);

Interferer_1=setfield(Interferer_1,'Backoff',[round(CW_basic.*
rand(1))]);

end

elseif B_count2 == 0
    DIFS_I2=DIFS(Dist, Interferer_1, Interferer_2, Interferer_3
);
    Interferer_1=setfield(Interferer_1,'Backoff',B_count1-1);
    Interferer_3=setfield(Interferer_3,'Backoff',B_count3-1);
    if -80 < DIFS_I2(2,:)
        Interferer_2=setfield(Interferer_2,'Power',16);

Interferer_2=setfield(Interferer_2,'Backoff',[round(CW_basic.*
rand(1))]);

end

else B_count3 == 0
    DIFS_I3=DIFS(Dist, Interferer_1, Interferer_2, Interferer_3
);
    Interferer_1=setfield(Interferer_1,'Backoff',B_count1-1);
    Interferer_2=setfield(Interferer_2,'Backoff',B_count2-1);
    if -80 < DIFS_I3(3,:)

```

```

Interferer_3=setfield(Interferer_3,'Power',16);

Interferer_3=setfield(Interferer_3,'Backoff',[round(CW_basic.*
rand(1))]);

    end

end

for i=1:NofInterferer
    Position(i,:)=getfield(Interferers(i,:), 'Position');
end

% Distance of Interferer %
[Dist,D_Victim]=Distance(NofInterferer, Position);

% Pathloss Calculation %
Path_loss_Interferer=Path_loss(Dist);
Path_loss_Victim=Path_loss(D_Victim);

P_I1=getfield(Interferer_1,'Power');
P_I2=getfield(Interferer_2,'Power');
P_I3=getfield(Interferer_3,'Power');
P=[P_I1;P_I2;P_I3];

iRSS(p)=sum(P-Path_loss_Victim);

```

```

mark_x=1;
if 0.5 > rand(1,1)
mark_x=-1;
end
mark_y=1;
if 0.5 > rand(1,1)
mark_y=-1;
end
X_Interferer=mark_x*(Protection_radius +
(Maximum_radius-Protection_radius).*rand(1,1));
Y_Interferer=mark_y*(Protection_radius +
(sqrt(Maximum_radius.^2-X_Interferer(1).^2)-Protection_radius)
.*rand(1,1));

Interferer_1=setfield(Interferer_1,'Position',[X_Interferer,Y_
Interferer]);

mark_x=1;
if 0.5 > rand(1,1)
mark_x=-1;
end
mark_y=1;
if 0.5 > rand(1,1)
mark_y=-1;

```

```

end

X_Interferer=mark_x*(Protection_radius +
(Maximum_radius-Protection_radius).*rand(1,1));

Y_Interferer=mark_y*(Protection_radius +
(sqrt(Maximum_radius.^2-X_Interferer(1).^2)-Protection_radius)
.*rand(1,1));

Interferer_2=setfield(Interferer_2,'Position',[X_Interferer,Y_
Interferer]);

mark_x=1;
if 0.5 > rand(1,1)
mark_x=-1;
end

mark_y=1;
if 0.5 > rand(1,1)
mark_y=-1;
end

X_Interferer=mark_x*(Protection_radius +
(Maximum_radius-Protection_radius).*rand(1,1));

Y_Interferer=mark_y*(Protection_radius +
(sqrt(Maximum_radius.^2-X_Interferer(1).^2)-Protection_radius)
.*rand(1,1));

Interferer_3=setfield(Interferer_3,'Position',[X_Interferer,Y_

```

```
Interferer]);  
  
Interferer_1=setfield(Interferer_1,'Power',0);  
Interferer_2=setfield(Interferer_2,'Power',0);  
Interferer_3=setfield(Interferer_3,'Power',0);  
end
```

Interferer는 실질적인 수신 간섭 전력과 수신 신호를 계산하도록 구현하였다. Backoff time에 따른 실시간 Processing이 가능하도록 구현하였으며, 초기 설정 값에 따라 반복 횟수를 정의할 수 있도록 구현하였다.



### 3. Distance

```
function [ Distance, D_Victim ] = Distance( NofInterferer ,
Position)

for j=1:NofInterferer
    for t=1:NofInterferer
        Distance(j,t)=sqrt(sum((Position(j,:) -
Position(t,:)).^2));
    end
end

for r=1:NofInterferer
    D_Victim(r,:)=sqrt(sum(Position(r,:).^2));
end

end
```

Distance function은 간섭원 및 피간섭원의 위치에 따른 거리를 계산해 행렬로 저장해주는 역할을 하는 함수로 거리에 따른 Power loss를 계산하기 위해 각각의 지점에 따라 상대적인 거리를 계산하도록 구성하였다.

#### 4. Path loss

```
function [ Y ] = Path_loss ( X )

% Calculate the Path loss %

Free_space_model=20*log10(X)+20*log10(2400)-27.55;

Y=Free_space_model;

end
```

Path loss는 거리에 Propagation model을 입력하기 위한 함수로 거리에 따른 감쇠값을 출력으로 하는 함수이다. 해당 코드는 ITU-R P.1238-7을 기준으로 하여 작성하였다.

#### 5. Pofinterference

```
CINR=dRSS/iRSS;

cnt=0;

for i=1:1000

    if CINR(i) >10

        cnt=cnt+1;

    end

end

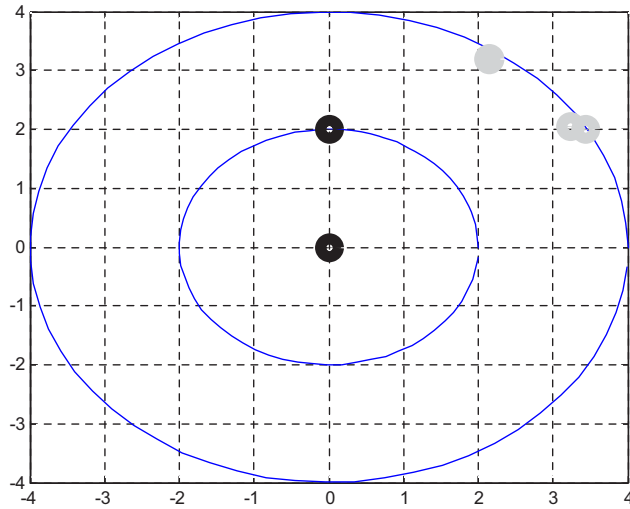
disp('')

disp('Probability of interference')

disp((cnt/1000)*100)
```

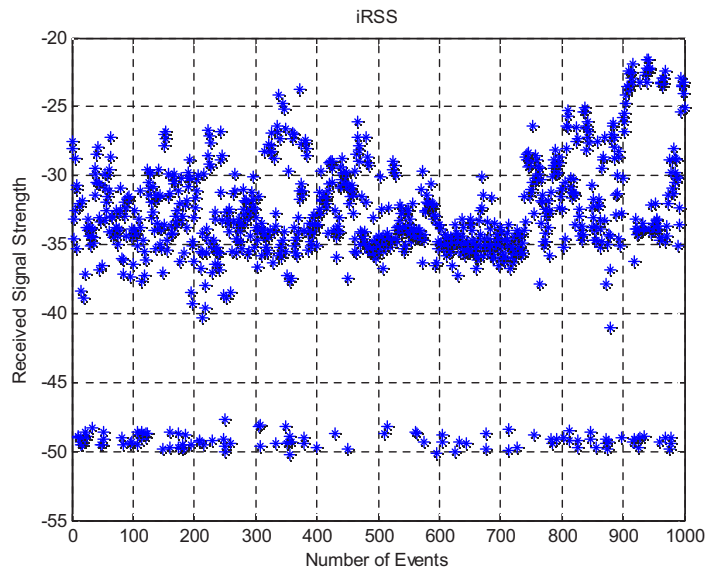
PofInterference는 간섭 확률을 나타내기 위한 함수로 dRSS와 iRSS 값을 입력으로 받아 간섭 확률을 계산한 후 이를 나타내도록 구현하였다.

## 제3절 구현 결과



(그림 6-5) 구현 결과

그림 6-5는 Main frame에서 간섭원의 위치와 피간섭원의 위치를 표시해준 그림이다. 검정색 원은 피간섭원의 위치를 의미하는 것이고, 회색의 원은 간섭원의 위치를 의미한다.



(그림 6-6) iRSS 결과

제안 알고리즘으로 구현한 코드를 사용해 계산된 iRSS는 그림 6-6과 같이 나타난다. -50 dBm으로 표시된 부분은 전송이 발생하지 않은 부분으로 간섭 전력이 없는 부분을 나타낸다.

위의 방식을 사용한 간섭 분석의 경우 간섭 확률은 71.3 %가 나오게 된다.

## 제7장 결 론

본 연구에서는 실환경 측정과 모의실험과의 비교를 통해 현재 사용하고 있는 모의실험 방식의 신뢰성을 검증하고 이를 개선하기 위한 방법을 제안하였다. 현재 사용하고 있는 모의실험 방식인 MC 방법의 경우 통신단에 대한 고려가 이루어지지 않아 Worst case에 대한 분석만이 가능했다. 이에 간섭 분석의 정확도를 높이기 위해 통신단의 특성을 고려할 수 있는 간섭분석 방안을 제시하였다.

제안 분석 방안은 실생활에서 사용 중인 간섭 회피 기술을 적용시킨 것으로 IEEE 802.11n 에 적용되어 있는 CSMA/CA CCA mode 2를 분석 알고리즘에 추가하였다.

CSMA/CA CCA mode 2는 동일 기종의 간섭원이 있는 경우 전송을 뒤로 미루는 방식으로 이를 통해 중복적인 전송을 막고 보다 안정적인 전송을 가능하게 하는 기법이다.

이를 검증하기 위해 실환경 간섭 환경을 조성하여 측정을 진행하였으며, 기존의 간섭분석 방법과 제안방법을 사용하여 간섭 확률을 계산하였다.

기존의 방식과 측정에는 20 %의 오차가 발생한 반면, 제안 방식의 경우 오차를 10% 이내로 줄어드는 것을 확인할 수 있었다.

## < 참 고 문 헌 >

- [1] IEEE P1238-7. February . 2012
- [2] IEEE 802.11n, 2009
- [3] M. Bertocco, 'Is CSMA/CA really efficient against interference in a Wireless Control System? An experimental answer', 2008, IEEE
- [4] Seonhui Yun, 'Throughput Derivation for Analysis of Interference of the System with Interference Avoidance Function in 2.4GHz ISM Band', February, 2011, ICACT2011

---

## 시공간 특성을 고려한 간섭방법 연구

---



주 소 : 58217 전남 나주시 빛가람로 767(빛가람동)

발 행 일 : 2014.12

발 행 인 : 최영진

발 행 처 : 미래창조과학부 국립전파연구원

전 화 : 061) 338-4567

인 쇄 :  장애인생산품판매지원협회  
인쇄사업소  
02)2269-5523~4



### 주 의

1. 이 연구보고서는 국립전파연구원에서 수행한 연구결과입니다.
2. 이 보고서의 내용을 인용하거나 발표할 때에는 반드시 국립전파연구원 연구결과임을 밝혀야 합니다.