

대칭섹터 간 주파수 간섭 감소를 위한 편파분리 및 자원 제어 방법

서성원*, 이성민*, 김용신*

Antenna Polarization Isolation and Resource Control for Frequency Interference Reduction Between Opposite Sectors

Sung Won Seo*, Sung Min Lee*, Yong Sin Kim*

요약

본 논문은 대칭섹터 간 주파수 재사용에 따른 주파수 간섭 감소를 위한 편파 분리 및 자원 제어방법에 대한 것이다. 기지국 장비가 운용되면서 발생하는 대칭섹터 간 주파수 간섭을 감소시키기 위한 실험을 진행하였다. 기지국 장비는 대칭섹터에서 같은 주파수를 재사용 하는 구조로 In-Band 주파수 간섭이 야기된다. 따라서 주파수 간섭을 최소화하기 위해 본 논문에서는 2가지 방안을 제시하였다. 첫 번째로 대칭섹터의 안테나 편파 분리 방법이다. 편파 분리 방법을 사용함으로써 CINR이 17dB에서 27dB로 약 10dB의 향상되었다. 두 번째 방법은 기지국 링크별 자원을 제어하는 방법으로 링크별 RF 송신출력을 정렬하여 자원을 할당하는 방법과 링크별 RF 송신출력 제어범위를 조정하는 방법이 있다. 본 논문에서는 제안된 두 가지 방안을 사용하여 주파수 재사용하는 구조에서 주파수 간섭을 줄일 수 있는 방안을 제시하였다.

Key Words : Frequency Reuse, Frequency Interference, Resource Control

ABSTRACT

This paper presents the method of antenna polarization isolation and resource control for frequency interference reduction due to the frequency reuse between opposite sectors. We have examined the frequency interference between opposite sectors which is occurred by operating base station for reducing frequency interference. The base station has a frequency reusing structure in opposite sector. So, the base station can make a in-band frequency interference. In order to minimize frequency interference, we proposed two methods. The first is the antenna polarization isolation method. The CINR was improved to 27dB from 17dB when using the antenna polarization isolation. The second is resource control which is the method for lining up the RF power and limiting RF power control range of each link. In this paper, by using the proposed two methods, presents a scheme that reduces frequency interference in the frequency reusing structure.

◆ First Author : Agency for Defence Development, sw_seo@add.re.kr, 정회원

* 국방과학연구소

논문번호 : KICS2015-04-112, Received April 3, 2015; Revised June 2, 2015; Accepted June 2, 2015

I. 서 론

오늘날 무선 통신 시장이 급속도로 발전함에 따라, 주파수 대역의 수요량이 빠르게 증가하고 있으나 주파수 자원은 한정되어 있다. 한정된 자원인 무선 주파수의 가치는 끊임없이 상승하고 있으며, 이동통신사업자는 필요한 주파수 대역폭을 확보하기 위해 많은 비용을 지불하고 있다. 따라서 이동통신 시스템 분야에서는 주파수 자원을 효율적으로 사용하기 위해 셀을 작게 나누어 주파수를 재사용하기 위한 연구를 활발히 진행하고 있으며, 주파수 재사용 시 발생할 수 있는 주파수 간섭을 최소화하기 위해서도 많은 연구들이 진행되고 있다.^[1-4]

군 통신시스템도 제한된 주파수로 운용되므로 주파수를 효율적으로 사용하는 기술이 필요하다. 이동통신을 기반으로 하는 장비들은 상용 기술 적용이 용이하나, 백본망 링크를 제공하는 장비들은 그 장비의 특성에 맞는 별도의 주파수 활용 방안이 필요하다.

그림 1과 같이 개발 중인 점대 다중점 무선전송장비는 무선 간선링크를 제공하며, 기지국장비와 단국장비로 구성되어있다. 기지국 장비는 4개의 섹터 안테나로 구성되며, 각 섹터 안테나는 90°의 빔 폭으로 전방위각 서비스를 지원한다. 기지국 장비는 주파수 사용 효율을 높이기 위해 주파수를 기지국 단위로 재사용하는 구조로 설계되어 있으며, 대칭이 되는 2개의 섹터가 같은 주파수를 사용하도록 하여 주파수 효율을 높였다.^[5,7]

하지만 대칭섹터가 같은 주파수를 사용함에 따라 동일채널에 대한 간섭의 영향이 있으며, 이를 최소화하여야 신호의 품질을 높여 더 좋은 신호를 송수신 할

수 있으므로 간섭을 최소화 하는 방안은 매우 중요하다. 이렇게 간섭을 최소화 하여 CINR(Carrier to Interference Noise Ratio)을 향상시키면 통달거리, 전송속도, 전송품질 등의 성능을 향상시킬 수 있다.

본 논문에서는 점대 다중점 장비의 기지국 장비가 한정된 주파수 자원을 재사용함에 따라 발생하는 주파수 간섭문제를 해결하기 위한 대칭섹터 편파분리 기법과 자원 할당 정렬 방법을 제시한다. 1장 서론에 이어 2장에서는 관련 연구에 대해 기술하였고, 3장에서는 제안하는 기술에 대한 이론적 고찰 및 시험 결과를 기술하였고, 4장에서는 결론으로 위의 실험결과를 바탕으로 주파수 재사용을 하며 간섭을 최소화 할 수 있는 방안을 제시한다.

II. 관련 연구

2.1 기존의 주파수 간섭 감소 방법 및 주파수 재사용 방법

주파수 간섭은 무선 신호 품질을 저하시키는 가장 큰 요인 중 하나로 통달거리 감소, 통화 품질 불량, 통신 장애등 여러 가지 문제점을 가지고 있다. 이러한 주파수 간섭을 회피하기 위해 많은 연구들이 진행되고 있으며, 그 중 한 가지 방법으로 안테나 편파분리 기법이 있다.^[8] 같은 주파수를 사용하는 두 장비를 인접하여 운용하는 경우 두 장비의 안테나 편파를 다르게 사용하여 주파수 간섭을 감소시키는 방법이다. 하지만 이 방법은 무선 전파가 진행하며 생기는 회절, 산란, 반사등에 의해 편파의 변형이 일어나기 때문에 기대한 효과를 보장할 수 없다.

다음으로 한정된 주파수 자원을 효율적으로 사용하기 위해 주파수를 재사용하는 연구도 발전해왔다. 현재 이동통신사업자들은 주파수 재사용 효율을 높이기 위해서 셀을 3섹터로 나누어 서비스하여 주파수 재사용 효율을 높이고 있다.^[9] 이 방법은 셀 플래닝을 통해 한정된 주파수 자원을 효율적으로 사용할 수 있는 방법이다.

2.2 개발 장비에 보안된 기술

2.2.1 주파수 재사용 방법

개발 중인 점대 다중점 무선전송장비의 기지국도 주파수를 재사용하는 구조를 가지고 있다. 4섹터 구조로 각 섹터가 90°를 서비스하며, 대칭섹터가 같은 주파수를 사용함으로써 기존의 3섹터 구조보다 더 높은 주파수 재사용 효율을 갖는다. 하지만 대칭섹터가 같

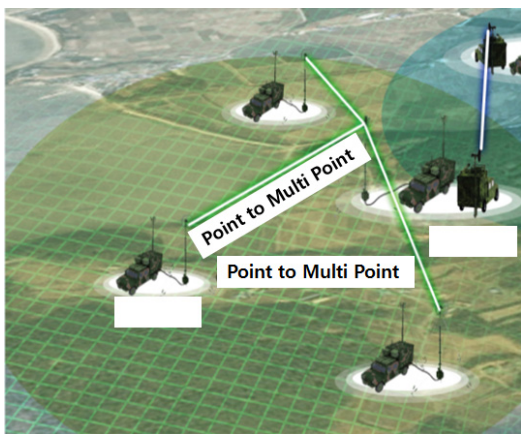


그림 1. 운용 개념도
Fig. 1. The operation concept

은 주파수 대역을 사용하기 때문에 주파수 간섭을 최소화 하는 방안을 강구하여야 한다. 따라서 3섹터가 가지고 있는 인접섹터 주파수 간섭과 대칭섹터의 동일 주파수 간섭을 해결하기 위해 편파분리 및 자원할당 방법을 통해 주파수 간섭을 최소화하였다.^[10]

표 1은 섹터 구조에 따른 주파수 재사용율을 나타내고 있다. 3섹터 구조는 3FA를 사용하고 4섹터 구조는 2FA를 사용하므로 주파수 재사용율은 3섹터 구조는 1이며, 4섹터 구조는 2이다. 따라서 4섹터를 사용하는 구조가 3섹터를 가지는 구조보다 주파수 재사용 효율이 높다.

표 1. 섹터 구조에 따른 주파수 재사용율
Table 1. Frequency reuse factor

Structure	Used FA	Reused
3 Sector	3	1
4 Sector	2	2

2.2.2 링크별 자원 배치 방법

기지국은 단국장비가 접속을 시도했을 때, 단국장비의 자원할당 순서를 기지국에서 링크별로 송신 출력이 높은 순서대로 오름차순으로 배치해주는 것이다. 오름차순으로 정렬을 하면 내 신호와 대칭섹터로 접속되는 신호, 즉 간섭신호가 신호 레벨이 큰 신호는 큰 신호끼리, 신호 레벨이 작은 신호는 작은 신호끼리 묶이게 된다. 정렬을 하게 되면 특정 단국 장비의 신호 품질 열화를 막을 수 있는 장점이 있다. 만약 내 신호는 큰 신호 순으로 정렬이 되고 대칭섹터의 신호는 작은 신호 순으로 정렬되어 접속했다고 하면 첫 번째 슬롯에 할당되는 단국의 신호는 내 신호는 크고 대칭섹터 신호는 작기 때문에 신호 품질이 좋을 수 있겠지만, 마지막에 할당되는 단국의 신호는 내 신호는 작고 대칭섹터 신호가 크기 때문에 간섭신호가 크게 영향을 미쳐 신호 품질이 더욱 더 나빠지게 된다. 따라서 각 링크들이 일정한 품질을 유지하지 못 하는 문제점이 생겨 어느 한 링크는 품질 저하를 가져올 수 있다. 이러한 문제점을 해결하고 기지국에 접속하는 모든 단국들이 일정 이상의 링크 품질을 유지하기 위해서는 단국들의 링크 별 자원을 정렬 하는 것이 유리하다.

2.2.3 안테나 구조

다음은 개발 중인 점대 다중점 무선전송장비의 기지국 장비와 단국 장비의 안테나 방사패턴 및 특성을 무반사 안테나 챔버에서 실측하였다.

그림 2는 단국 안테나 측정 결과이다. 단국 안테나

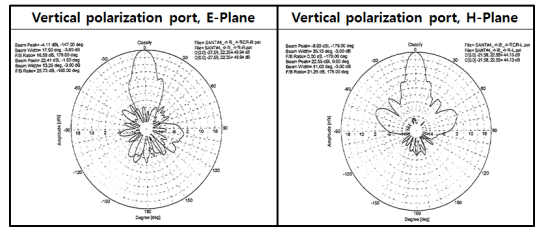


그림 2. 단국장비 안테나 패턴
Fig. 2. The terminal antenna pattern

는 고지향성 특성을 가지는 반사판 안테나 구조로 이루어져 있으며 기계적으로 반사판을 회전시켜 수직/수평편파를 선택하여 사용할 수 있다. 안테나 성능으로는 HPBW(Half Power Beam Width)는 17°, 이득은 22dBi, 전후방비는 25dB의 특성을 갖는다. 단국장비는 기지국 방향을 지향하여 접속한다.

그림 3은 기지국 안테나 측정 결과이다. 기지국 안테나는 다이폴 어레이 안테나 형태의 구조를 가지며, 수직/수평 편파를 선택할 수 있도록 2개의 독립적인 안테나 포트가 있다. 안테나 성능으로 HPBW(Half Power Beam Width)는 수직 포트 90°, 수평 포트 70°이며, 이득은 11dBi, 전후방비는 25dB의 특성을 갖는다. 기지국은 4개의 안테나가 전 방향을 서비스한다. 기지국은 대칭섹터가 같은 주파수를 사용하기 때문에 안테나의 전후방비가 중요한 성능이 된다. 안테나의 전후방비 성능만을 고려하면 대칭섹터에 주파수를 재사용하는데 문제가 없을 것으로 예상할 수 있다. 하지만 그림 4와 같이 실 지형에서는 섹터 안테나 자체에서 후방으로 방사되는 간섭 전파보다 전방 부엽 신호가 지형 및 구조물에 의해 반사되어 후방으로 방사되는 간섭전파가 있어 실 지형에서 동일 편파에 대한 전

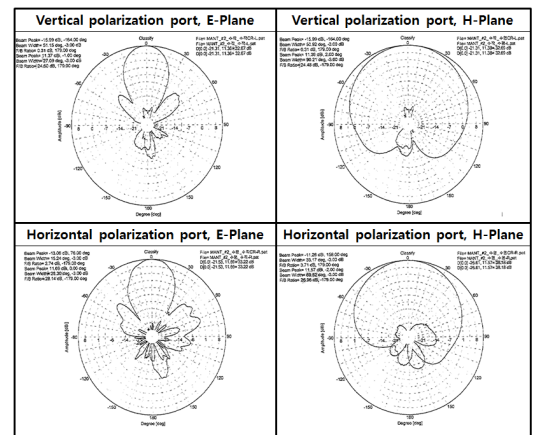


그림 3. 기지국장비 안테나 패턴
Fig. 3. The base station antenna pattern

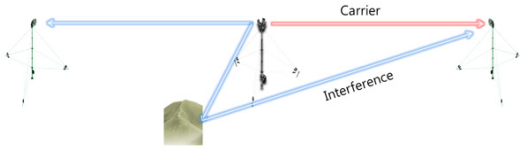


그림 4. 반사파에 의한 전후방비 성능저하
Fig. 4. Front to back ratio degradation caused by reflection wave

후방비 성능은 예측보다 나빠질 수 있다.

2.2.4 MCS(Modulation Coding Scheme) 별 요구 CINR

무선통신에서 신호의 손실을 최소화하기 위해 변조와 코딩 기술을 이용한다. 개발 중인 점대 다중점 무선전송장비는 변조방법으로 QPSK 1/2, QPSK 3/4, 16QAM 1/2를 사용하며, 변조방식에 따라 요구되는 CINR은 아래 표와 같다.

표 2. MCS 별 요구되는 CINR
Table 2. Required CINR

	MCS		
	QPSK 1/2	QPSK3/4	16QAM1/2
Required CINR	6dB	9dB	12dB

III. 시험 방법 및 결과

본 장에서는 단일 섹터 접속, 대칭섹터 동일 편파 접속, 대칭 섹터 편파 분리, 자원 제어, 대칭링크 전력 제어 시험을 개발 중인 점대 다중점 무선전송장비를 사용하여 실험한 결과를 나타내었다.

3.1 단일 섹터 접속 시 시험 방법 및 결과

기지국 장비는 4개의 섹터로 이루어져 있으며, 각 섹터별 90°의 안테나 빔 폭을 갖는 안테나로 구성되어 있다. 단국장비는 고지향성의 안테나로 구성되어 있으며, 기지국 방향을 지향하여 기지국과 접속하고, 기지국 안테나와 단국 안테나는 수직/수평 편파를 선택할 수 있다. 시험환경은 그림 5와 같이 기지국의 섹터 1번, 3번이 동일 대역 주파수를 사용하고 섹터 2번, 4번이 동일대역 주파수를 사용하는 환경에서 기지국의 섹터 2번에 단국 3대, 섹터 4번에 단국 3대를 가입시켜 시험을 진행하였다.

기지국 장비와 단국 장비가 간섭이 없는 환경에서의 신호 품질을 측정하기 위해 한 섹터씩 장비를 접속

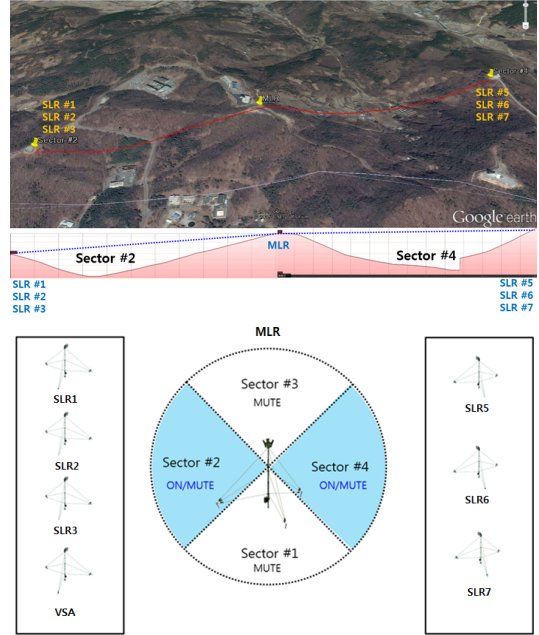


그림 5. 시험 환경
Fig. 5. Test environment

해 가며 측정하였다. 이때 측정된 값은 Up Link(이하 UL)와 Down Link(이하 DL)의 RSSI(Received Signal Strength Indication)와 CINR (Carrier to Interference and Noise Ratio)을 측정하였으며, 기지국 장비의 전면반에 표시되는 값을 아래에 나타내었다. 표 3은 기지국의 섹터 2와 4의 신호품질 측정 데이터를 나타내고 있다.

표 3. 단일 섹터 접속 시 시험 결과
Table 3. Results(Opposite sector OFF)

Measurement	Sector 2			Sector 4					
	SLR1	SLR2	SLR3	SLR5	SLR6	SLR7			
UL RSSI[dBm]	-70	-70	-70	OFF					
DL RSSI[dBm]	-52	-46	-44						
UL CINR[dB]	22	22	23						
DL CINR[dB]	22	23	23						
UL RSSI[dBm]	OFF						-70	-70	-70
DL RSSI[dBm]							-50	-51	-51
UL CINR[dB]				22	22	23			
DL CINR[dB]				25	23	26			

아래의 결과에서 볼 수 있듯이 대칭섹터가 OFF된 상태에서의 섹터 2와 섹터 4의 UL/DL RSSI와 CINR은 양호하였다. 이 데이터는 주파수 간섭이 없을 때 나타난 데이터이며, 이를 기준으로 시험을 진행하였다.

3.2 대칭 섹터 접속 시험 방법

기지국 장비는 4개의 섹터로 이루어져 있으며, 각 섹터별로 90°의 안테나 빔 폭을 갖는 안테나로 구성되어 있다. 단국장비는 고지향성의 안테나로 구성되어 있으며, 기지국 방향을 지향하여 기지국과 접속하고, 기지국 안테나와 단국 안테나는 수직/수평 편파를 선택할 수 있다. 기지국은 섹터 1번, 3번이 동일 주파수를 사용하고 섹터 2번, 4번이 동일 주파수를 사용하며, 시험을 진행할 때는 섹터 2, 4번만을 사용하였다. 기지국의 섹터 2번에 단국 3대, 섹터 4번에 단국 3대를 가입시켜 시험을 진행하였다. 추가로 섹터 2에 계측기로 신호를 측정할 수 있는 여분의 단국장비를 설치하여 계측하였다.

시험 진행은 다음과 같다. 첫 번째로 대칭섹터가 동일 편파를 사용할 경우 시험결과, 두 번째로 대칭섹터가 편파분리기법을 사용할 경우 시험결과, 세 번째로 대칭섹터가 편파분리 및 자원 제어시험 결과를 비교하였다. 대칭섹터가 동일 편파를 사용한 경우는 기지국 섹터 2, 4번을 수직편파로 설치하고 단국 역시 수직편파로 접속하여 시험하였다. 대칭섹터 편파 분리 시험은 기지국 섹터 2는 수직편파로 설치 및 접속, 기지국 섹터 4는 수평편파로 설치 및 접속하여 시험하였다. 또한, 그림 5와 같이 단국장비 1, 2, 3과 5, 6, 7은 시험의 편의상 각각 동일 지역에 위치하고 있는데, 실 운용환경은 단국장비들은 각자 다른 위치에 설치되어 운용되기 때문에 단국장비에서 수신하는 기지국 신호의 수신 전력은 다를 것이다. 기지국 장비는 접속된 단국장비를 링크별로 동일 전력을 사용하는 것이 기본 운용이나, 이격 거리가 멀거나 장애물로 인해 경로 손실이 큰 링크에 대해서는 최대 +6dB 송신전력을 증가 시키고, 링크 품질이 양호하거나 가까운 거리에 있는 링크에 대해서는 -6dB 송신 전력을 감소시킬 수 있다. 그러나 기지국 장비의 RF Power Amp의 Input back off는 11dB로 설계되어 있으므로 한 링크의 송신전력을 증가시키면 Back off 마진이 감소하게 되어 RF 출력은 증가하나 Power Amp의 선형성은 열화되며, RF 송신신호 내에 잡음을 포함하게 되어 CINR 성능이 어느 이상 좋아지지 않는다.

3.3 대칭섹터 동일 편파 시 시험 방법 및 결과

대칭섹터가 동일 편파를 사용 하였을 때의 시험 결

과 이다. 기지국 섹터 2와 섹터 4는 수직편파로 설치하였으며, 접속하는 단국 장비도 수직 편파로 설정하여 접속시켰다. 시험은 섹터 2로 접속하는 단국장비 옆에서 DL 신호를 계측기에서 측정하였기 때문에 간섭신호는 섹터 4의 신호가 되도록 하였다. 첫 번째로 단국장비들이 모두 접속하지 않은 상태, 즉 White noise를 측정하여 Noise power를 측정하고, 두 번째로 섹터 4에 접속해야 하는 단국장비 5, 6, 7만 기지국에 접속시켜 계측기가 설치된 지역에서 Interference+Noise를 측정하였다. 세 번째로는 단국 장비 모두를 기지국에 접속시킨 후 계측기에서 Total power를 측정하였다. 이렇게 3가지 케이스를 측정하여 간섭신호에 대한 세기, 내 신호의 세기, 신호 대 간섭 비를 계산하였다.

표 4과 같이 동일 편파를 사용하여 장비를 접속한 결과 CINR이 약 17dB의 무선 환경으로 링크가 접속됨을 알 수 있다.

표 4. 동일편파 시험 결과
Table 4. Results(Opposite sector ON, same polarization)

Item		SLR1	SLR2	SLR3
1	Noise Power[dBm]	-79.3	-79.2	-79.3
2	Interference and noise power[dBm]	-68	-67.9	-67.8
3	Total power[dBm]	-51	-50.7	-50.4
4	Interference power[dBm]	-68.3	-68.2	-68.1
5	Signal power[dBm]	-51.1	-50.7	-50.5
6	CINR[dB]	16.8	17.1	17.2

3.4 대칭섹터 편파 분리 시 시험 방법 및 결과

다음은 편파 분리만 사용한 경우 시험 결과이다. 기지국 섹터 2 및 연결되는 단국 장비는 수직편파로 접속하고, 기지국 섹터 4 및 연결되는 단국 장비는 수평 편파를 사용하여 접속한다. 시험 순서는 Noise power 측정, Noise+Interference 측정, Total power 측정 순으로 진행하였다. 시험 방법으로는 기지국 섹터 2에 단국장비 1, 2, 3이 순차적으로 접속하고 섹터 4에 단국장비 5, 6, 7이 순차적으로 접속한다. 기지국에서 링크별 단국장비의 송신출력을 다르게 하기 위해 단국장비의 부스팅 기능을 사용하였다.

표 5는 편파분리를 하였을 때 시험결과를 나타낸다. CINR은 약 27 dB 정도로 링크가 연결되었으며, 동일 편파를 사용한 시험과 비교하였을 때, 약 10dB

표 5. 편파분리 시험 결과
Table 5. Results(Opposite sector ON, polarization isolation)

Item		SLR1	SLR2	SLR3
1	Noise Power[dBm]	-79.2	-79.3	-79.3
2	Interference and noise power[dBm]	-74.3	-75.0	-74.7
3	Total power[dBm]	-47.5	-47.3	-47.1
4	Interference power[dBm]	-75.9	-77.1	-76.5
5	Signal power[dBm]	-47.5	-47.3	-47.1
6	CINR[dB]	26.7	27.6	27.5

정도 링크 품질이 좋아지는 것을 확인하였다.

3.5 대칭섹터 편파 분리 정렬 안했을 때

다음은 대칭섹터 편파 분리를 하고 링크의 정렬을 안했을 때를 시험하였다. 표 6는 편파분리만 사용하고 링크 정렬을 하지 않았을 때의 시험 환경이다. 단국장비의 접속 환경은 최악의 상황으로 링크가 접속되었다고 가정하였다. 각 섹터 별 첫 번째로 접속되는 단국장비 1, 5의 부스팅을 -6, +6으로 세팅한 이유는 단국 #1은 거리가 가까이에 있고, 단국 #5번은 거리가 멀리 있는 것을 가정하기 위해 부스팅에 차이를 두어 기지국 장비에서 단국장비로 송신하는 세기를 다르게 하였다. 두 번째로 접속하는 단국장비는 부스팅을 안한 것이며, 세 번째로 접속하는 단국장비는 첫 번째와 마찬가지로 단국 #3번은 거리가 멀리 있는 것을 가정하고, 단국 #7은 거리가 가까운 것을 가정하여 세팅하였다.

표 7은 대칭섹터 편파 분리하고 정렬하지 않았을 때의 결과를 나타내고 있다. 단국 1번은 CINR이 약 17dB로 편파 분리를 하였을 때 보다 약 10dB가 나쁘게 측정되었다. 그 이유는 단국 1번으로 송신하는 기지국의 송신신호는 -6 dB로 작게 나가고, 반대편 섹터에 접속하는 첫 번째 단국 5번으로 송신하는 기지국 장비의 송신 신호는 +6dB 크게 나가면서 간섭신호의

표 6. 시험 환경(링크 정렬 안했을 시)
Table 6. Test environment(Non arranged terminal link)

		Test environment		
Non-arrange	SLR1	SLR2	SLR3	
	-6 dB	0 dB	+6 dB	
	SLR5	SLR6	SLR7	
	+6 dB	0 dB	-6 dB	

표 7. 시험 결과(링크 정렬 안했을 시)
Table 7. Results(Non arranged terminal link)

Item		SLR1	SLR2	SLR3
1	Noise Power[dBm]	-79.1	-79.2	-79.1
2	Interference and noise power[dBm]	-70.7	-75.1	-77.9
3	Total power[dBm]	-53.2	-47.3	-41.3
4	Interference power[dBm]	-71.3	-77.3	-84
5	Signal power[dBm]	-53.3	-47.3	-41.3
6	CINR[dB]	17.3	27.8	36.5

레벨이 약 10dB 정도 크게 들어오게 되면서 링크의 성능을 열화시켰다. 부스팅을 안한 단국 2번은 편파분리한 시험과 같은 약 27dB를 유지하였고, 단국 3번의 경우는 내 신호보다 간섭신호가 약 10dB 정도 낮게 들어오면서 CINR이 10dB 정도 좋게 나와 약 36dB 정도로 측정되었다. 결과를 보았을 때, 링크 품질이 낮은 링크는 접속 품질이 기존에 비해 약 10dB 정도나 열화되기 때문에 링크 마진이 부족한 지역에서는 링크 접속이 안될 수 있는 문제점이 생긴다.

3.6 대칭섹터 편파 분리 및 정렬

다음은 대칭섹터 편파 분리 및 링크 정렬을 한 경우의 시험이다. 표 8은 편파 분리 및 링크 정렬을 한 시험 환경이며, 각 섹터별 첫 번째로 접속하는 단국 #1, 5는 +6dB, 두 번째로 접속하는 단국 #2, #6은 0dB, 세 번째로 접속하는 단국 #3, #7은 -6dB로 동일하게 부스팅하여 접속시켰다.

편파분리 및 링크 정렬 시험 결과에서 볼 수 있듯이, 각 링크는 약 27dB의 CINR을 유지하였다. 링크를 정렬하였을 때 CINR이 일정 수준을 유지할 수 있는 이유는 세기가 큰 신호 순으로 정렬하여 간섭신호에 대한 영향을 줄여 특정 링크의 열화를 막을 수 있었기 때문이다. 따라서 링크 정렬을 안했을 때의 결과와 비교하였을 때 링크 정렬을 하는 것이 링크 마진이

표 8. 시험 환경(단국링크 정렬)
Table 8. Test environment(Arranged terminal link)

		Test environment		
Arranged terminal link	SLR1	SLR2	SLR3	
	+6 dB	0 dB	-6 dB	
	SLR5	SLR6	SLR7	
	+6 dB	0 dB	-6 dB	

표 9. 시험 결과(단국링크 정렬)
Table 9. Results(Arranged terminal link)

Item	SLR1	SLR2	SLR3
1 Noise Power[dBm]	-79.2	-79.2	-79.1
2 Interference and noise power[dBm]	-69.9	-75.3	-78.0
3 Total power[dBm]	-41.5	-47.6	-53.4
4 Interference power[dBm]	-70.5	-77.5	-84.4
5 Signal power[dBm]	-41.5	-47.6	-53.4
6 CINR[dB]	28.4	27.6	24.5

얼마 없는 링크에 대해 생존성을 보장할 수 있는 장점이 있다.

그림 6은 시험결과를 종합하여 CINR 시험 결과를 그래프로 나타내었다. 반대편 섹터가 동일편파 사용하는 약 16dB 정도의 링크 품질을 유지하였고, 반대편 섹터가 편파 분리를 하였을 경우 약 27dB의 링크 품질을 유지하였다. 편파 분리된 상태에서 링크 정렬이 없을 때는 단국 1번이 17dB 정도로 CINR이 열화되고 단국 3번은 36dB 정도로 링크품질이 형성되어 링크마진이 부족한 링크에 대해서는 링크 접속이 안될 수도 있는 문제점이 생긴다. 따라서 제안된 편파분리 및 링크정렬 방법을 사용한다면 대칭섹터에서 주파수를 재사용하는 구조에서 주파수 간섭을 최소화하며, 각 링크별 링크품질을 동등한 수준으로 유지할 수 있는 장점이 있다.

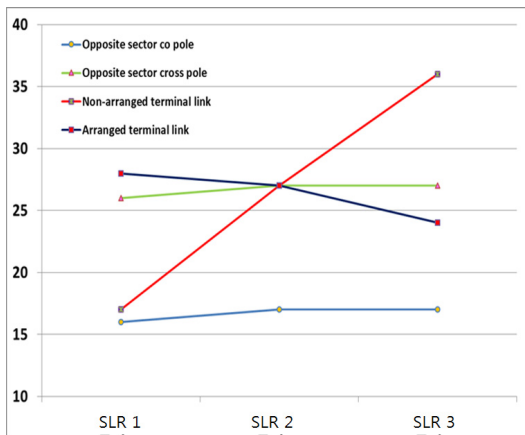


그림 6. 시험 결과 종합
Fig. 6. Test results

3.7 시험결과에의 이론적 고찰 및 출력 조절 범위 제어

대칭섹터 대칭링크의 RF 전력을 증가시키면 해당 링크에 전파 간섭이 증가한다. 본 절에서는 링크별 출력 조절이 CINR 성능에 미치는 영향과 그 CINR이 MCS 별 요구되는 CINR을 충족하는지 마진은 얼마나 되는지를 알아보고자 한다.

신호대잡음비(CINR)는 다음과 같이 표현된다.

$$CINR = \frac{P_r}{N_{th} + P_I} \quad (1)$$

여기서 P_r 은 원하는 신호의 수신전력, N_{th} 은 열잡음 전력, P_I 는 간섭신호의 전력이다.

간섭신호의 전력은 원하는 신호의 수신 전력에 전후방비(FBR)를 나눈 값으로 표현된다.

$$P_I = \frac{P_r}{FBR} \quad (2)$$

대칭 섹터 대칭 링크의 간섭을 고려한 CINR은 다음 식으로 표현될 수 있다.

$$CINR = \frac{P_r}{N_{th} + \frac{P_r}{FBR}} \quad (3)$$

CINR은 P_r 이 높은 경우에는 간섭신호의 전력에 좌우되고, P_r 이 낮은 경우에는 열잡음에 좌우된다. P_r 과 N_{th} 의 비율을 측정된 CINR과 FBR을 이용해 표현하면 다음 식과 같다.

$$\frac{P_r}{N_{th}} = \frac{CINR}{1 - \frac{CINR}{FBR}} \quad (4)$$

원하는 신호는 기준 RF송신전력을 사용하고, 대칭 링크의 RF전력을 B(Boosting)배 만큼 증가 또는 감소시킨다면 대칭 링크에 의한 간섭신호 전력(P_{IB})과 $CINR_{BI}$ 는 다음 식과 같이 표현될 수 있다.

$$P_{IB} = \frac{P_r \cdot B_1}{FBR} \quad (5)$$

$$CINR_{B1} = \frac{P_r}{N_{th} + \frac{P_r \cdot B_1}{FBR}} \quad (6)$$

앞의 시험을 통해 전후방비는 약 30dB 정도가 되는 것을 알 수 있는데, 지형의 영향을 고려한다면 전후방비는 25~30dB 범위에 있을 것으로 추정된다.

전후방비가 30dB인 경우 대칭 링크의 전력제어를 하지 않은 경우의 CINR과 대칭 링크의 전력을 -6dB ~ 6dB 범위에서 제어한 경우의 CINR_{B1}를 비교하면 그림 7 과 같다.

전후방비가 25dB인 경우 대칭 링크의 전력제어를 하지 않은 경우의 CINR과 대칭 링크의 전력을 -6 ~ 6 dB 범위에서 제어한 경우의 CINR_{B1}를 비교하면 그림 8과 같다.

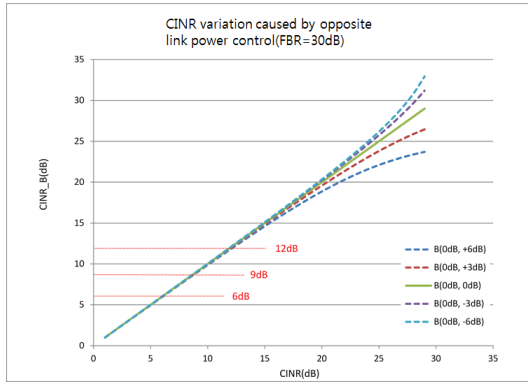


그림 7. 대칭링크 전력제어에 따른 CINR 값 변화 (FBR=30dB)
Fig. 7. CINR variation caused by opposite link power control(FBR=30dB)

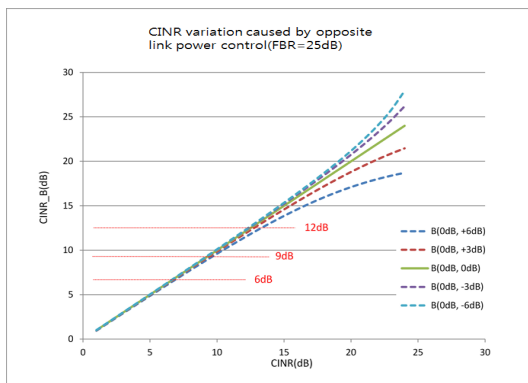


그림 8. 대칭링크 전력제어에 따른 CINR 값 변화 (FBR=25dB)
Fig. 8. CINR variation caused by opposite link power control(FBR=25dB)

위의 2개 그림에서 CINR이 10dB 이하로 낮은 경우 대칭링크의 RF 송신 전력을 제어하던 제어하지 않던 CINR_{B1}의 값은 거의 차이가 없다. CINR이 20dB 이상으로 높은 경우 대칭링크의 전력제어 값에 따라 CINR_{B1}의 값이 차이가 나게 된다.

원하는 신호에 대해 RF 송신전력을 B₂ 배 증가 또는 감소시키면 원하는 신호의 수신 전력은 P_rB₂ 가 된다. 원하는 신호와 대칭 링크에 대해 각각 B₂배, B₁배 송신 전력을 제어했을 때 신호대잡음비(CINR_{B2})는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$CINR_{B2} = \frac{P_r \cdot B_2}{N_{th} + \frac{P_r \cdot B_1}{FBR}} \quad (7)$$

CINR 성능은 원하는 링크 신호와 대칭 링크 신호의 전력제어(B₂, B₁)를 비슷한 비율로 증가 또는 감소하는지 또는 한쪽은 증가 한쪽은 감소하도록 제어하는지에 따라 달라진다. CINR 값은 전력 제어가 한쪽은 증가하고 다른 쪽은 감소하도록 제어하는 경우 CINR 값이 나빠질 것이 예상되므로 그 경우의 CINR 값의 변화를 알아보고자 한다. 그림 9는 FBR이 30dB 인 경우 CINR_{B2} 값의 변화를 나타낸다.

다음 그림 10은 FBR이 25dB 인 경우 CINR_{B2}의 변화를 나타낸다.

그림 9, 10에서 전력제어를 잘못된 경우의 CINR 변화를 살펴보면 B(+6dB, -6dB)로 제어한 경우는 CINR이 25dB일 때 CINR_{B2} 값이 32~35dB 정도로 향상되었으나, B(-6dB, +6dB)로 제어한 경우는 CINR_{B2} 값이 13~16dB 정도로 저하되었다.

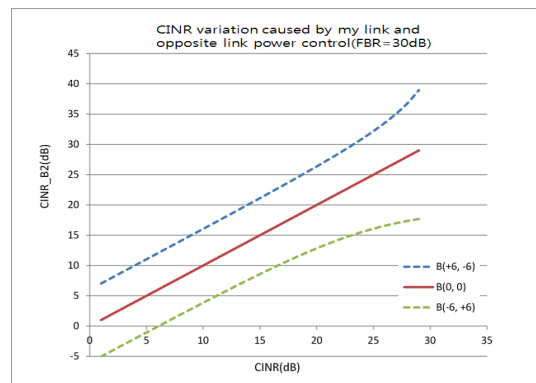


그림 9. 자신과 대칭링크 전력제어에 따른 CINR 값 변화 (FBR=30dB)
Fig. 9. CINR variation caused by my link and opposite link power control(FBR=30dB)

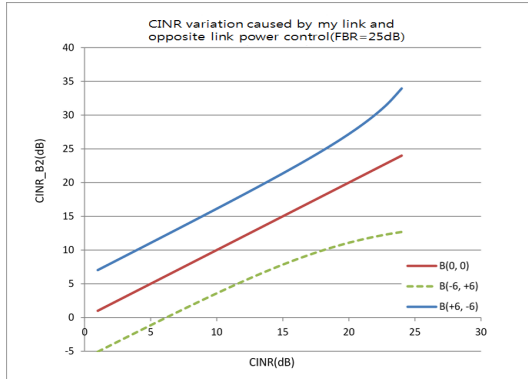


그림 10. 자신과 대칭링크 전력제어에 따른 CINR 값 변화 (FBR=25dB)
Fig. 10. CINR variation caused by my link and opposite link power control(FBR=25dB)

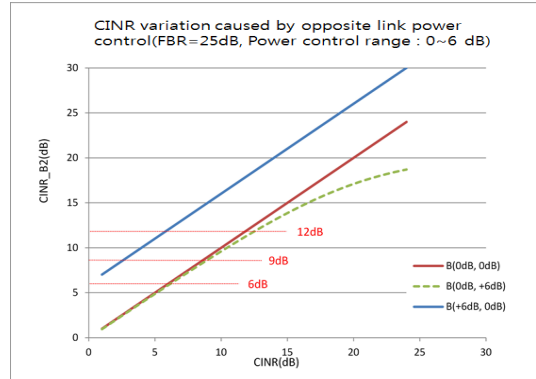


그림 12. 대칭링크 전력제어에 따른 CINR 값 변화 (FBR=25dB, 전력제어 범위 : 0~6dB)
Fig. 12. CINR variation caused by opposite link power control(FBR=25dB, Power control range : 0~6dB)

다음은 전력제어 범위를 0dB ~ 6dB로 제한할 때 CINR 값의 변화를 알아본다. 그림 11, 12는 FBR 30dB인 경우와 25dB인 경우의 CINR 변화이다.

개발 장비가 사용하는 MCS는 QPSK1/2, QPSK3/4, 16QAM1/2이며, MCS별 요구 CINR은 6dB, 9dB, 12dB 등이다. CINR이 6dB 이하로 낮은 경우에는 RF출력을 최대 6dB까지 증가시켜 CINR 값을 높이는 것이 필요하다. 이때 대칭섹터에서 받는 간섭이 증가할 수 있는데, CINR 저하는 CINR 12dB일 때 약 0.2~0.6dB 감소하는 수준이 된다. 즉 장비의 요구 CINR 성능 값 부근에서는 대칭링크의 전력제어가 CINR 변화에 주는 영향은 적다. 따라서 장비가 사용하는 MCS를 고려할 때, 대칭 링크의 RF 송신전력 제어 범위를 0 ~ 6dB 범위로 설정한다면 실용적 면에서 CINR 저하는 감수할 수 있을 정도라고 판단된다.

IV. 결론

본 논문에서는 개발 중인 점대 다중점 무선전송장비의 효율적인 주파수 재사용 방법과 자원할당 알고리즘을 제안하였고 주파수 간섭 감소 방법을 시험을 통해 입증하였다. 개발 중인 기지국 장비는 대칭섹터가 같은 주파수를 사용하여 주파수 효율을 높였으나, 같은 주파수를 사용함으로써 생기는 주파수 간섭 문제를 최소화해야 좋은 통신 서비스를 가능하게 한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 편파분리 및 자원 제어방법을 제안하였다. 첫 번째로 기지국의 대칭섹터의 안테나 편파를 서로 다르게 하여 주파수 간섭을 최소화 하였으며 같은 편파를 사용할 때보다 약 10dB CINR 성능 향상 된 27dB를 얻었다. 두 번째로는 자원 제어 방법이다. 기지국과 단국장비가 멀리 이격되어 그 링크에 대해 송신 출력을 증가시키거나 기지국과 단국 장비가 근거리에 위치하여 송신 출력을 감소시키는 경우 기지국에 접속하는 링크 별 송신 신호 세기에 따라 오름차순으로 자원을 배치하면 일정수준 이상의 신호 대 잡음비를 유지할 수 있으며 특히, 접속 마진이 적은 단국장비의 경우도 주파수 간섭을 최소화 하여 링크를 접속시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 이렇게 링크별 전력 제어방법은 원거리 링크에 대해 수신 신호 세기를 보상하고, 근거리 링크에 대해 불필요한 전파 방사를 억제하여 전파 간섭을 줄이는 효과를 갖는다. 이론적 고찰을 통해 링크별 전력을 0 ~ 6dB 범위에서 제어하면 장비에서 구현된 변복조 방식에 대해 문턱값인 CINR 12dB 이하의 성능저하가 0.2 ~ 0.6dB 정도로 미미하여 전력제어 범위를 조정하는 것도 CINR 성능을 유지하는 방법임을 알 수 있

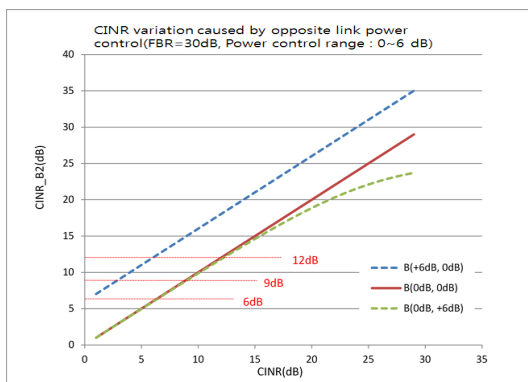


그림 11. 대칭링크 전력제어에 따른 CINR 값 변화 (FBR=30dB, 전력제어 범위 : 0~6dB)
Fig. 11. CINR variation caused by opposite link power control(FBR=30dB, Power control range : 0~6dB)

었다. 본 논문에서 제안된 대칭섹터 안테나 편파 분리 기법과 자원제어 방법을 사용하여 개발 중인 점대 다중점 무선전송장비의 주파수 재사용으로 인한 주파수 간섭문제를 최소화 할 수 있음을 확인하였다.

References

[1] J. H. Son, T. Y. Min, and C. G. Kang, "Staggered resource allocation scheme for co-channel interference mitigation in a cellular OFDMA system," *J. KICS*, vol. 33, no. 12, pp. 1191-1199, Dec. 2008.

[2] T. D. Novlan and J. G. Andrews, "Analytical evaluation of uplink fractional frequency reuse," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 61, no. 5, pp. 2098-2108, May 2013.

[3] S. H. Ali and C. M. Leung, "Dynamic frequency allocation in fractional frequency reused OFDMA networks," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 8, no. 8, pp. 4286-4295, Aug. 2009.

[4] C. H. Park, M. K. Kong, and Y. S. Cho, "Interference mitigation technique for OFDMA-based mesh networks in doubly selective channels," *J. KICS*, vol. 37, no. 1, pp. 17-24, Jan. 2012.

[5] S. M. Lee, Y. S. Kim, J. S. Jung, and S. H. Lee, "Improvement of LCTRS frequency utilization," in *Proc. KIMST Conf. 2011*, pp. 909-912, Jeju Island, Korea, Jun. 2011.

[6] S. W. Seo, S. M. Lee, J. S. Jung, Y. S. Kim, and S. Y. Ryu, "An efficient frequency reuse scheme for LCTRS," in *Proc. KIMST Conf. 2014*, pp. 554-555, Jeju Island, Korea, Jun. 2014.

[7] S. M. Lee, Y. S. Kim, and J. S. Lee, *Transmitting power control device and method of sector antenna system*, Patent Registration number : 1011452040000, KIPO, May 2014

[8] S. G. Zhou, P. K. Tan, and T. H. Chio, "Low-profile, wideband dual-polarized antenna with high isolation and low cross polarization," *IEEE Ant. Wirel. Propag. Lett.*, vol. 11, pp. 1032-1035, 2012.

[9] J. H. Lee, D. W. Kim, and H. S. Lee,

"Performance of frequency planning and channel allocation algorithm for unified inter-cell interference avoidance and cancellation in OFDMA cellular systems," *J. KICS*, vol. 34, no. 2, pp. 99-106, Feb. 2009.

[10] H. Zhu, "On frequency reuse in cooperative distributed antenna systems," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 50, no. 4, pp. 85-89, Apr. 2012.

서 성 원 (Sung Won Seo)



2009년 2월 : 서경대학교 정보통신 공학과 졸업
 2011년 2월 : 광운대학교 전과 공학과 석사
 2011년~현재 : 국방과학연구소 연구원
 <관심분야> 안테나공학, 주파수 간섭

이 성 민 (Sung Min Lee)



1986년 2월 : 중앙대학교 전기 공학과 졸업
 2002년 2월 : 충남대학교 전자 공학과 석사
 2009년 2월 : 충남대학교 전자 공학과 박사
 1989년~현재 : 국방과학연구소 책임연구원

<관심분야> 전자공학, 통신공학, 주파수 간섭

김 용 신 (Yong Shin Kim)



1997년 2월 : 숭실대학교 정보통신 공학과 졸업
 1999년 2월 : 숭실대학교 정보통신 공학과 석사
 1999년 3월~현재 : 숭실대학교 전자공학과 박사과정
 2002년~현재 : 국방과학연구소 선임연구원

<관심분야> 분산이동성 관리, 부하분산 라우팅, 주파수 간섭