

工學碩士學位論文

PCS 주파수 대역의 불요전파  
간섭분석과 해결 방안 연구  
A Study of Analysis And Reduction Method for  
Spurious Interference in PCS Frequency Band

指導教授 河 德 鎬

이 論文을 釜慶大學校 産業大學院 學位論文으로 提出함



釜慶大學校 産業大學院

情報通信工學科

梁 宰 源

이 論文을 梁宰源의  
工學碩士 學位論文으로 認准함

2004 年 12 月

主 審 工學博士 金 錫 泰 (印)

委 員 工學博士 河 德 鎬 (印)

委 員 工學博士 朱 雯 甲



# 목 차

1. 서 론 .....	1
2. PCS 시스템 원리와 간섭 현황 .....	2
2. 1. 시스템 원리 .....	2
2. 1. 1. 순방향 링크 .....	2
2. 1. 2. 역방향 링크 .....	6
2. 1. 3. 전력제어 .....	8
2. 2. 간섭의 종류와 현황 .....	12
2. 2. 1 순방향 링크 .....	12
2. 2. 2 역방향 링크 .....	14
3. PCS 시스템 불요전파 측정과 간섭 분석 .....	16
3. 1. 불요파 측정 원리와 배경 .....	16
3. 1. 1. 불요파 측정을 위한 시스템 구성 .....	19
3. 1. 2. 불요파 측정 데이터 분석 .....	23
3. 2. 이상 신호에 따른 신호 분석 .....	25
3. 2. 1. 중계기에 의한 불요전파 .....	25
3. 2. 2. TV 부스터에 의한 불요전파 .....	29
3. 2. 3. 방송 송출 장비에 의한 불요전파 .....	32
4. 간섭의 해결 방안 .....	35
4. 1. 간섭밀도비에 따른 해결 방안 .....	35
4. 2. 안테나 방향 조작에 따른 해결 방안 .....	37
4. 3. 중계기 설정 및 안테나 분리도에 따른 해결 방안 .....	42
4. 3. 1. 중계기의 위치 선정 .....	42
4. 3. 2. 안테나 선택과 배치 .....	44

4. 3. 3. 안테나 분리도(Isolation) .....	45
4. 4. 증계기 호 처리 및 잡음 영향 분석에 따른 해결 방안 .....	49
4. 4. 1. 증계기 호 처리 .....	49
4. 4. 2. 증계기의 잡음 영향 분석 .....	50
4. 5. LNA 시스템에 따른 해결 방안 .....	55
4. 5. 1. 저잡음 증폭기를 가지지 않는 기본 시스템 .....	55
4. 5. 2. 저잡음 증폭기를 갖는 시스템 .....	58
4. 5. 3. 신호 대 잡음비의 개선 .....	61
4. 5. 4. 용량 증가 .....	63
4. 6. TV 부스터 불요과에 따른 해결방안 .....	64
5. 결    론 .....	66
참고문헌 .....	67

## 그림 목록

<그림 2.1> 다수의 셀과 다수의 이동국 - 역방향 링크 .....	8
<그림 2.2> 두개의 사용자를 가진 기지국 .....	9
<그림 2.3> 전력제어 .....	10
<그림 2.4> 용량과 각 사용자의 전력 비교 .....	11
<그림 3.1> 스펙트럼 분석기의 개요 .....	17
<그림 3.2> 스펙트럼 분석기의 측정 항목 .....	18
<그림 3.3> RF 감시장치 시스템 구성도 .....	21
<그림 3.4> 차량장착 구성도 .....	22
<그림 3.5> 차량내부 구성도 .....	23
<그림 3.6> 정상적인 수신 입력 파형 .....	25
<그림 3.7> 서비스망 구성도(중계기 + 기지국) .....	26
<그림 3.8> Minimum Spurious Emission 특성 .....	27
<그림 3.9> 소형중계기 불요전파 .....	27
<그림 3.10> 송형중계기 설치상태 .....	28
<그림 3.11> 이상 전파 발생시 장비 ALARM 상태 .....	29
<그림 3.12> UHF TV대역과 PCS주파수 분배표 .....	30
<그림 3.13> TV 부스터의 불요전파 .....	32
<그림 3.14> 울산지역 불요파로 인한 발진 전계 표시 .....	33
<그림 3.15> 방송 중계 장비에 의한 불요전파 .....	34
<그림 4.1> 안테나 틸트각 적용 .....	38
<그림 4.2> 정재파비(VSWR : Voltage Standing Wave Ratio)의 측정결과 .....	39
<그림 4.3> 안테나 방사폭 장애물 이격거리 .....	39
<그림 4.4> 최대 옥내 커버리지 확보를 위한 안테나 틸트 조정 .....	40

<그림 4.5> 간섭 억제를 위한 안테나 틸트 조정 .....	41
<그림 4.6> 불요파 간섭에 의한 기지국 절단을 일일 추이 분석 .....	48
<그림 4.7> 불요파 발생하여 기지국 수신감도 10dB 저하된 파형 .....	54
<그림 4.8> 불요파 제거 후 기지국 수신입력 파형 .....	55
<그림 4.9> 저잡음 증폭기 설치 계통도 .....	59
<그림 4.10> 저잡음 증폭기 잡음 계수에 따른 신호대 잡음비의 개선도 .....	63
<그림 4.11> TV 혼신제거용 FILTER 적용방법 .....	65
<그림 4.12> TV 혼신제거용 FILTER .....	65

## 표 목 록

<표 3.1> 기지국 송수신 주파수 할당 .....	20
<표 4.1> 도너와 커버리지 안테나 간의 거리에 따른 분리도(Isolation) .....	47
<표 4.2> 중계시스템에 의한 Link Budget 계산 .....	51
<표 4.3> 중계기에 의한 기지국 영향 .....	53

# **A Study of Analysis And Reduction Method for Spurious Interference in PCS Frequency Band**

Yang, Jae-won

Department of Telematics engineering

Graduate School of Industry,

Pukyong National University

## **Abstract**

It is so important to analyze several kinds of interferences and repeater noise. It is required that appropriate parameter are adjusted to guarantee BTS system coverage, capacity optimizer and best system performance. Whenever repeater transmits subscriber's signal to BTS, repeater transmits background noise and outdoor noise to BTS at both situations. This is basically caused to increase the noise level of the BTS. When this noise level is over the certain level, it raises decrease of base station coverage and capacity. But it can be solved by apt design, settlement and parameter control of a base station.

In this paper it is suggested solutions through interference rate

and antenna direction control, repeater set , antenna isolation and LNA system and PCS system principle, kinds and present condition of noise, Spurious Interference measurement and several kinds of noises analysis. It is proposed that various methods to minimize the interference of Spurious Interference and embody the best system performance in PCS bandwidth through the systematical development in this paper.

In this paper it is suggested solutions through interference rate and antennadirection control, repeater set , antenna isolation and LNA system and PCS system principle, kinds and present condition of noise, Spurious Interference measurement and several kinds of noises analysis

# 1. 서 론

이동통신에서의 기지국에 대한 여러 가지 간섭 및 중계기 잡음 영향 분석은 매우 중요하다. 또한 기지국 시스템의 커버리지 및 용량의 최적화와 중계기의 최상의 시스템 성능을 보증하기 위해서는 중계기의 적절한 파라미터 조정이 요구된다. 중계기가 가입자의 신호를 모기지국에 전달 할 때 혹은 하지 않을 때에도, 중계기는 자체 잡음성분(열잡음 및 잡음지수로 표현되는 시스템 잡음) 및 외부 잡음 성분을 모기지국으로 전송하게 된다. 이것은 기본적으로 모기지국에서의 잡음 레벨을 높이는 결과를 가져오게 되며, 이러한 잡음이 일정수준 이상일 경우에는 기지국의 커버리지와 용량 모두를 줄이는 결과를 가져오게 된다. 그러나, 중계기의 적절한 설치 및 파라미터 조정을 통하여 이러한 문제를 해결할 수 있다. 본 연구에서는 모기지국에 무선 중계시스템을 연결하였을 경우에 중계기 커버리지에서의 Link budget을 먼저 구하였고, 그런 후 이러한 기준에서 중계시스템의 잡음 특성이 기지국에 끼치는 영향과 그 밖의 간섭에 의한 기지국에 영향을 주는 경우를 분석하여, 체계적인 개선방법을 제시하여 PCS에서의 간섭을 최소화 하고 최적의 시스템 성능을 구현하고자 한다.

본 논문의 제2장에서 PCS 시스템 성능, 간섭 현황(순방향 링크) 그리고 전력제 어등을 설명하였고, 제3장에서는 PCS 시스템 원리, PCS 시스템 간섭 현황 및 분석, 각종 간섭에 대한 측정장비 및 측정방법 그리고 불요전파의 신호분석에 대하여 기술 하였으며 제4장에서는 시스템 분석에 따른 해결방안을 간섭 밀도, 이동국, 안테나 방향 조작 등에 대하여 설명한 후 마지막으로 제5장은 본 논문의 결과를 기술하였다.

## 2. PCS 시스템 원리와 간섭 현황

셀, 셀 그룹, 또는 시스템에 있어서 기지국과 이동국 사이에 고품질의 무선 링크를 유지하기에 적절한 무선 파라미터들이 사용되며 이 장에선 순방향 링크와 역방향 링크에서 사용되어지는 무선 파라미터를 규정하고 그 식을 설명한다.

### 2. 1. 시스템 원리

#### 2. 1. 1. 순방향링크

##### (가) 파일럿채널

$E_c/I_0$  는 파일럿 채널의 칩 에너지 대 간섭밀도의 비를 측정한 값으로써 파일럿 채널의 신호 세기를 나타낸다. 이동국 연속적인  $E_c/I_0$  측정으로 파일럿 수신 임계치( $T\_ADD$ )와 파일럿 미 수신임계치( $T\_DROP$ )를 비교할 수 있으며 그 결과를 기지국으로 보고하여 기지국이 이동국을 지금의 기지국으로부터 다른 기지국으로 핸드오프 할 것인지를 결정한다. 그러므로,  $E_c/I_0$  는 이동국이 그 기지국의 통화영역 내에 있는지를 결정하는데 중요한 역할을 한다. 기지국에서 송신되는 파일럿 신호는 다른 순방향 논리 채널의 신호보다 비교적 높은 전력으로 송신된다. 파일럿 채널은, 다른 기능들도 있지만, 다른 논리채널을 복조하도록 코우히-어런트 수신주파수의 위상동기를 순방향 링크를 통하여 제공하기 때문에, 이동국이 파일럿 채널을 수신하지 못하면 통화를 형성 할 수가 없으므로  $E_c/I_0$ 의 세기가 충분해야 한다.  $E_c/I_0$ 를 표현하기 위해서 점진적으로 복잡해지는 다음의 4가지 경우를 고려할 수 있지만 실제적으로 다수의 셀과 다수의 이동국에 대한 경우만 해당함으로 여기에선 이것에 대해서만 언급 하도록 한다.

- 단일 셀과 단일 이동국
- 다수의 셀과 단일 이동국
- 단일 셀과 다수의 이동국
- 다수의 셀과 다수의 이동국

● 다수의 기지국과 다수의 이동국

각각의 기지국은 각자의 통화영역내의 이동국들과 통화를 하고 있다. 탐색 이동국이 수신한다.  $E_c/I_0$ 는

$$\frac{E_c}{I_0} = \frac{a_0 P_0(\theta_0) L_0(\theta_0, d_0) G}{I_h + I_n + I_0 + I_m + I_i + N} \quad (2.1)$$

$T'$  ; 탐색 이동국의 역방향 통화 채널의 실효방사전력 송신패턴은 전방향으로 가정함

$L_0(\theta_0, d_0)$  ; 기지국과 거리가 멀어지고,  $\theta_0$  각도를 갖는 이동국으로 부터의 역방향 경로 손실

$G_0(\theta_0)$  ; 탐색 이동국과 각도  $\theta_0$ 를 가질 때 홈 기지국의 수신안테나 이득

$I_m$  ; 비 CDMA 시스템으로부터의 간섭전력 이 항은 CDMA 대역폭내에 간섭을 일으킬 수 있는 모든 항을 포함한다.

$N$  ; 열 잡음 전력

$W/RO$  ; 처리 이득

$I_0$ 는 다른 기지국으로부터 탐색 이동국이 수신한 전체 통화 채널의 전력이다.

달리 표현하면  $I_i$ 는

$$I_i = G \sum_{k=1}^K X_k(\theta_k) L_k(\theta_k, d_k) \quad (2.2)$$

이며, 여기서,  $X_k(\theta_k)$ 는 기지국  $k$ 에서 송신한 총 통화채널의 전력이다. 식(2.2)은 (자신의 기지국  $k=0$ 은 제외하고) 탐색 이동국이 다른 기지국들로부터 수신한 총 통화 채널의 전력을 단순히 합한 것을 나타내며  $k$ 는 시스템 내의 전체 셀 또는 섹터의 수를 나타내고 있다.  $X_k(\theta_k)$ 는 기지국  $k$ 의 총 통화채널의 유효 방사전력은 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$X_k(\theta_k) = \sum_{j=1}^{J_k} T_{k,j}(\theta_k) \quad (2.3)$$

식(2.3)는 각 기지국  $k$ 에서, 기지국  $k$ 에 속한 모든 이동국에 대한 총 통화 채널 전력의 합을 나타내고 있다. 기지국  $k$ 에서  $T_{k,j}(\theta_k)$ 는 이동국  $j$ 에 대한 통화 채널 유효 방사전력인데, 탐색 이동국쪽으로는  $\theta_k$ 방향으로 방사하는 전력이다. 달리 표현하면  $T_k(\theta_k)$ 는 이동국  $j$ 로 방사하는 기지국의 통화 채널 유효 방사 전력인데, ( $E_c/I_0$ 를 측정하는) 탐색 이동국으로 수신되는 전력이다. 식(2.3)는 기지국  $k$ 와 통화하는 모든 이동국들의 전력 합을 나타내고 있으며, 기지국  $k$ 와 통화하는 모든 이동국의 수는  $J_k$ 이다. 역시 순방향 전력제어에 의하여  $T_{k,j}(\theta_k)$ 는 랜덤하며, 따라서  $X_k(\theta_k)$ 는 랜덤하고, 결과적으로  $I_i$ 도 랜덤하다.

(나) 통화 채널

순방향 태널의  $E_b/N_0$ 는 비트오율과 직접 연관이 있으며 이는 순방향 음성 품질을 나타낸다. 통화품질을 보장하기 위해선  $E_b/N_0$ 가 적절히 유지되어야 한다. 통신 링크의 분석을 간단히 하기 위하여 소프트/소프트 핸드오프시의 다이버시티 이득의 영향을 고려하지 않는다. 이제 또 다시 4가지 상황을 고려할 수 있으며 여기에선 실 상황과 가장 비슷한 다수의 셀과 다수의 이동국에 대해서 논한다.

- 단일 셀과 단일 이동국
- 다수의 셀과 단일 이동국
- 단일 셀과 다수의 이동국
- 다수의 셀과 다수의 이동국

● 다수의 셀과 다수의 이동국

탐색 이동국에서 수신한  $E_b/N_0$ 는

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{T_0(\theta_0)L_0(\theta_0, d_0)G}{I_h + I_n + I_0 + I_m + I_l + N} \left( \frac{W}{R} \right) \quad (2.4)$$

$T_0(\theta_0)$  : 탐색 이동국 0과  $\theta_0$  각도를 갖는 자신이 속한 기지국(섹터0)의 통화채널 유효 방사전력. 일반적으로 통화채널의 유효 방사전력은 안테나 방사 패턴과 관련이 있고, 안테나 방사 패턴은  $\theta_0$ 의 함수이며 유효방사전력은  $\theta_0$ 의 함수이다.

$L_0(\theta_0, d_0)$  : 자신이 속한 기지국과  $\theta_0$  각도에서 거리  $d_0$  떨어져 있는 이동국

과의 경로 감쇄

$G$  : 탐색 이동국의 수신안테나 이득

$I_n$  : 탐색 이동국이 비 CDMA 시스템으로부터 수신하는 간섭 전력. 이 항은 CDMA 대역내로 들어오는 모든 간섭잡음을 포함한다.

$N$ : 열 잡음 전력

$(W/R)$  ; 처리이득

## 2. 1. 2. 역방향 링크

역방향 링크는 파일럿 채널을 사용하지 않기 때문에 역방향 통화 채널의  $E_b/N_0$ 만 관심을 두기로 한다. 링크를  $E_b/N_0$ 는 직접 비트 오류에 영향을 주고, 결국 역방향 통화 품질에 영향을 미친다. 역방향 링크는 링크의 품질의 유지하기 위하여 적합한  $E_b/N_0$ 를 갖도록 해야 한다. 링크 분석의 개념을 복잡한 함수를 도입하지 않고 설명하기 위하여 소프트/소프트 핸드오프시의 다이버시티 이득을 고려하지 않았다. 역방향 링크의  $E_b/N_0$ 를 유도하기 위하여 점차 복잡해지는 다음의  $k$ 같은 3가지 상황을 고려할 수 있지만 여기에선 실제 상황과 가장 유사한 다수셀과 다수의 이동국에 대해서만 규정한다.

- 단일 셀과 단일 이동국
- 단일셀과 다수의 이동국
- 다수의 셀과 다수의 이동국

● 다수의 셀과 다수의 이동국

다수의 셀과 다수의 이동국이 있는 경우에는(그림2.1) 타 셀에 속한 이동국도 탐색 이동국의 역방향 링크 통화 채널에 간섭을 준다. 이 타 셀의 이동국으로부터의 간섭도 분모항에 고려해야한다. 이때의 역방향 링크의  $E_b/N_0$ 는 다음 수식으로 쓸 수 있다.

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{T' L'_0(\theta_0, d_0) G_0(\theta_0)}{I'_m + I'_i + I'_n + N} \left( \frac{W}{R} \right) \quad (2.5)$$

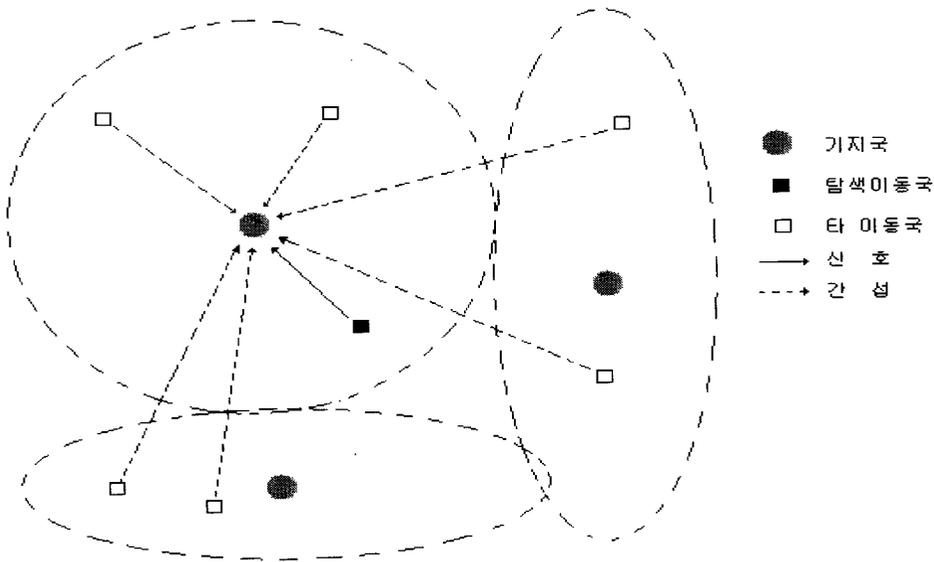
분모는  $I_{cn}$ 가 항인  $I'_i$ 는 타 셀에 속한 이동국의 역방향 통화 채널 전송으로부터 야기된 총 간섭량이다. 그러므로,  $I'_i$ 는 기지국과 통화하는 이동국으로부터 발생된 총 역방향 링크 간섭이며 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$I'_i = \sum_{k=1}^K Y_k \quad (2.6)$$

여기서,  $Y_k$ 는 기지국  $k$ 와 통화하는 이동국들로부터 수신된 역방향 링크의 총 통화 채널 전력이다. 여기서,  $k$ 값은 홈 기지국 0 을 제외한 1부터  $k$ 까지 이다. 그리고  $K$  는 전체 기지국 또는 전체 섹터의 수이며  $Y_k$ 는 기지국  $k$ 와 통화하는 이동국들의 역방향 통화 채널전력을 합하면 얻을 수 있다.

$$Y_k = \sum_{j=1}^J T'_{k,j} L'_{k,j}(\theta_{k,j}, d_{k,j}) G_0(\theta_{k,j}) \quad (2.7)$$

여기서,  $T'_{k,j}$  는 기지국  $k$ 로 송신하는 이동국  $j$ 의 역방향 통화 채널 유효방사전력이다. 그리고  $L'_{k,j}(\theta_{k,j}, d_{k,j})$ 는 홈기지국과 거리가  $d_{k,j}$  떨어져 있고 각도가  $\theta_{k,j}$ 인 이동국  $j$ 의 역방향 경로 감쇄 ; 즉(기지국  $k$ 에 속한)이동국  $j$ 와 홈기지국 사이의 경로 감쇄는 이동국의 방향  $\theta_{k,j}$ 와 거리  $d_{k,j}$ 의 함수이다.  $G_0(\theta_{k,j})$ 는 홈 기지국(기지국0)과 이동국  $j$ 사이의 각도  $\theta_j$  방향의 수신안테나 이득이다.

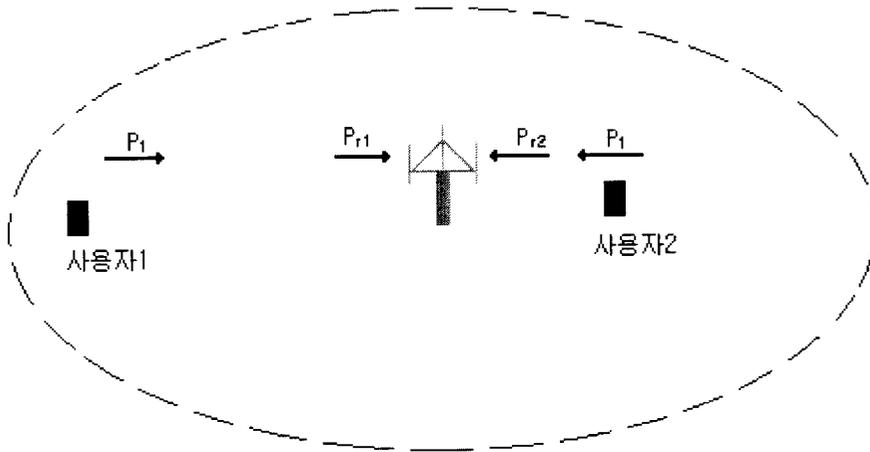


(그림 2.1 다수의 셀과 다수의 이동국 -역방향 링크)

### 2. 1. 3. 전력제어

CDMA 시스템의 모든 사용자들은 타 사용자들에게는 불규칙한 잡음과 같이 보이는 PN 코드를 각각 사용할 뿐만 아니라, 동일한 무선 주파수를 사용함으로써 타 사용자에게 불필요한 간섭을 주지 않도록 매우 주의 하여 조정되어야 한다.

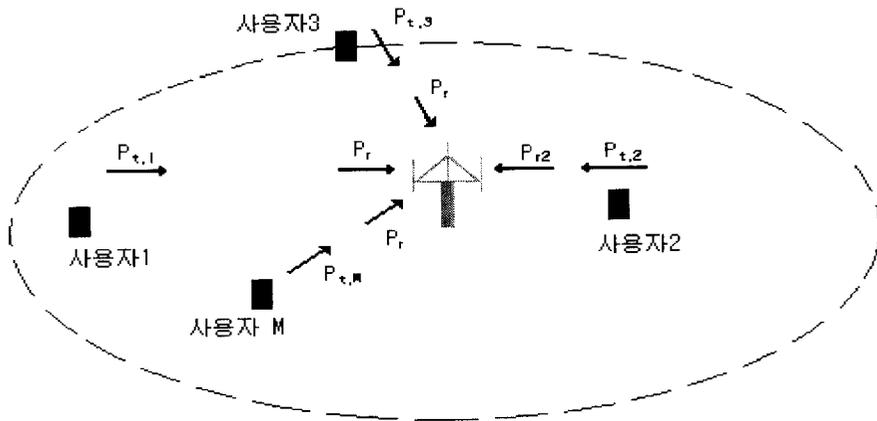
CDMA 시스템에서 전력 제어의 중요성을 설명하기 위하여, 동일한 셀 내에 2개의 사용자가 있다고 가정하자 (그림 2.2). CDMA 에서는 역방향 링크가 시스템의 용량을 좌우하므로 역방향 링크에 대해서 고려하자. 사용자 2는 사용자 1보다 기지국에 더욱 가까이 있다. 만일 전력제어를 하지 않는다면, 두 사용자는 각각 고정된 송신전력  $P_1$ 를 송신할 것이다. 그러나 기지국과의 거리가 각각 다르기 때문에 사용자 2로부터 기지국이 수신한 전력  $P_{r2}$ 는 사용자 1로부터 수신한 전력  $P_{r1}$ 보다 훨씬 클 것이다. 떨어진 거리가 달라서  $P_{r2}$ 가  $P_{r1}$ 의 10배가 된다고 가정하면 사용자 1은 매우 불리할 것이다.



(그림 2.2 두개의 사용자를 가진 기지국)

만일 필요한 신호대 잡음비,  $(S/N)_{\text{필요}}$ 이  $(1/10)$  이라면 두 사용자의 SNR 값이 매우 다르다는 것을 직감적으로 알 수 있다. 그림 2.3 는 이점을 설명하고 있는데; 열잡음을 무시한다면 사용자 3의 신호대 잡음비  $(S/N)_2$ 는 10이 되고 사용자 1의 신호대 잡음비  $(S/N)_1$ 은  $(1/10)$ 이 된다. 사용자 2는 매우 큰 신호대 잡음비를 가지므로 음성 품질이 매우 좋지만, 사용자 1의 신호 대 잡음비는 간신히 필요한 하는 신호대 잡음비  $(S/N)_{\text{필요}}$ 를 유지하고 있을 뿐이다. 이러한 현상을 주파

수 확산 다중화 방식의 원근문제(Near/Far problem)이라고 한다.

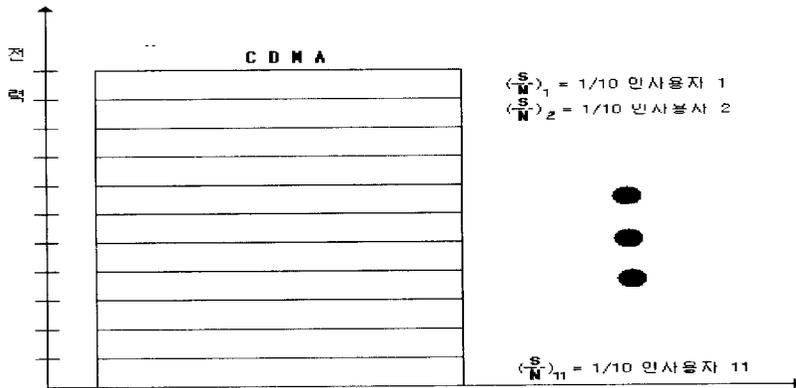


(그림 2.3 전력제어를 함으로 기지국은 더욱 많은 사용자를 지원할 수 있다.)

시스템이 다음에 설명하는 상황에 도달할 때 그 시스템의 용량에 도달했다고 말한다. 만일 셀 내에 P1의 송신전력을 갖는 새로운 사용자를 첨가한다면, 새로운 사용자의 신호 대 잡음비는 필요로 하는 신호 대 잡음비(S/N)에 도달하지 못하게 된다. 그리고 새로운 사용자를 시스템에 첨가하였을 때 새로운 사용자는 필요로 하는 신호 대 잡음비(S/N)에 도달하지 못할 뿐만 아니라, 사용자 2의 신호대 잡음비를 필요로 하는 신호 대 잡음비 이하로 떨어뜨리게 된다.

전력제어는 원근문제를 해결할 뿐만 아니라 용량을 최대화하며 전력제어는 기지국에서 수신하는 전력이 각 사용자의 송신 위치에 무관하게 동일하도록 만든다. 그림 2.4 은 전력제어의 개념을 설명하고 있다. 셀 내에서 기지국이 각 사용자로부터 수신한 전력  $P_r$ 을 동일하도록 각 사용자의 송신전력을 조정한다면 시스템 내에서 더 많은 사용자 통화를 할 수가 있다. 앞에서 언급한 바와 같이, 만

일 필요로 하는 신호 대 잡음비(S/N)<sub>필요</sub>이 (1/10)이면 전체 11명의 사용자가 이 셀 내에서 동시에 통화 할 수 있다. 전력제어를 함으로서 용량은 최대가 될 수 있다.



(그림 2.4 용량과 각 사용자의 전력 비교)

## 2. 2 간섭의 종류와 현황

CDMA는 DS-SS(direct-sequence spread spectrum)기술을 활용한 다중 액세스 기술로써 대역내의 잡음을 제거하는데 중점을 두었다. CDMA시스템 대역내에 존재하는 잡음의 종류는 자체 시스템 내부의 간섭(또는 자체적으로 발생한 잡음), 배경잡음, 인공잡음, 상호 변조나 수신기에서 발생된 잡음 등이 있다.

원하지 않는 잡음은 여러 가지 원인이 있는데, 대표적인 잡음원으로 자연적인 잡음원과 인공적인 잡음원이 있다. 자연적으로 발생하는 잡음에는 대기의 교란, 배경 잡음, 그리고, 수신기 자체에서 발생하는 열잡음 등이 있다. 인공 간섭잡음은 CDMA대역내에 고의적이거나 또는 자연적으로 간섭을 주는 타 통신 및 전기 시스템으로부터 발생된다. 그러므로, 원치 않는 잡음들의 영향을 줄이기 위해서 매우 조심스럽게 설계해야만 한다[1].

### 2. 2. 1 순방향링크

식(2.8)는 순방향 채널에서 하나의 통화 채널이 갖는  $E_b/N_0$ 의 표현식이다. 식(2.8)의 분모항에 포함된 6개의 간섭 항들과, 이 간섭 항들의 각각의 크기는  $E_b/N_0$ 에 직접적으로 영향을 주고 궁극적으로는 음성 품질에 영향을 준다. 각각의 항들은 특정 잡음원에 의하여 발생된 간섭 전력을 고려한 것이다. 식(2.8)의 분모식은 CDMA 순방향 링크의 간섭 항들을 고려한 것이다.

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{T_0(\theta_0)E'_0(\theta_0, d_0)G}{I_h + I_n + I_0 + I_m + I_f + N} \left( \frac{W}{R} \right) \quad (2.8)$$

$I_h$  : 동일기지국의 오버헤드 채널들의 전송에 의한 간섭 전력이다. 오버헤드

채널들(즉, 파일럿, 호출, 동기 채널)은 통화 채널과 동일 대역으로 전송되므로, 오버헤드 채널 전송 통화채널에 대한 대역내 간섭으로 작용한다.

$I_h$ 의 일반적 표현은

$$I_h = P_0(\theta_0)L_0(\theta_0, d_0)G$$

$I_o$  : 다른 기지국의 오버헤드 채널 전송으로 인한 간섭 전력이다. 각 인접 기지국들의 오버헤드 채널들 역시 동일 대역으로 전송하기 때문에, 오버헤드 채널들의 전송은 통화 채널에 대해 대역 내 간섭으로 작용한다.

$I_o$ 의 일반적 표현은

$$I_o = G \sum_{k=1}^K P_k(\theta_k)L_k(\theta_k, d_k)$$

$I_m$  : 항은 동일 기지국의 순방향 통화 채널 전송으로 인한 간섭 전력이다. 이 항은 동일 셀 내에서 존재하는 모든 이동국들로 부터 전송된 모든(간섭) 통화 채널의 합이다. 동일 셀 내에서 각각의 통화 채널들은 동일 대역으로 전송되므로 희망통화 채널의  $E_b/N_o$ 에 대해 간섭으로 작용한다.

$I_f$  : 다른 기지국의 순방향 통화 채널 전송으로 인한 간섭 전력이다. 이 항의 타 셀의 기지국들이 자신들의 이동국들에 대해 전송하는 모든 통화 채널 전력의 합이다. 그러므로 이러한(인접 셀들의)통화 채널들도 동일 대역으로 전송 되므로, 희망 통화 채널의 값에 대해 간섭으로 작용한다.

$I_n$  : CDMA 이외의 다른 시스템으로 인한 간섭이다. 이 항은 대역내의 인공

간섭인데 CDMA시스템이 아닌 다른 통신 시스템이나 전기 시스템으로부터의 간섭이다. 이러한 간섭들을 재머(jammers)라 부른다.

$N$  : 열잡음, 사용 부품의 물리적 온도 때문에 수신기 내에서 발생하는 열잡음이다. 이 잡음은 모든 통신 시스템에서 발생되며, 회피할 수 없다.

## 2. 2. 2 역방향링크

식(2.9)는 역방향 링크 통화 채널의  $E_b/N_0$ 값을 표현한 식이다. 분모는 네 가지 종류의 간섭항을 담고 있는데, 각각의 항들은 특정 잡음원들로 부터 발생하는 간섭 전력을 표현한 것이다. 식(2.9)의 분모항은 CDMA역방향 링크에 존재하는 간섭항들을 표현하고 있다.

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{T' L_0(\theta_0, d_0) G_0(\theta_0)}{I'_m + I'_i + I'_n + N} \left( \frac{W}{R} \right) \quad (2.9)$$

$I'_m$  : 동일 셀내 이동국들의 통화채널 전송으로 인한 간섭 전력이다. 이 항은 동일셀내 이동국들이 전송하는 통화 채널전송(간섭) 전력의 총 합이다. 모든 통화 채널들은 동일대역으로 전송되므로 희망 통화 채널의  $E_b/N_0$ 에 대해 대역 내 간섭으로 작용한다.

$I'_i$  : 다른 셀의 이동국들이 전송하는 통화 채널에 의한 전체 간섭 전력이다. 이 항은 다른 셀 내 이동국들의 통화 터널 전송으로 인한 모든 간섭전력들의 합이다.

$I'_n$  : 비CDMA 시스템으로부터의 간섭이다. 이 항은 재머와 같은 비 CDMA 시스템의 간섭을 나타낸다. 이 방해파들은 CDMA시스템 대역내에 (고의적이든 또는 자연적이든)불법적으로 발생된다.

N : 열잡음, 열잡음은 모든 통신 시스템 내에 존재한다.

이미 알고 있듯이 피할 수 없는 잡음은 열 잡음N이다; 열 잡음은 도체내의 전자들의 열운동 때문이다. 모든 통신시스템은 내부에 도체를 갖기 때문에 열 잡음은 항상 존재한다. 시스템 성능에 근본적인 제약을 주는 것이 열잡음이다.

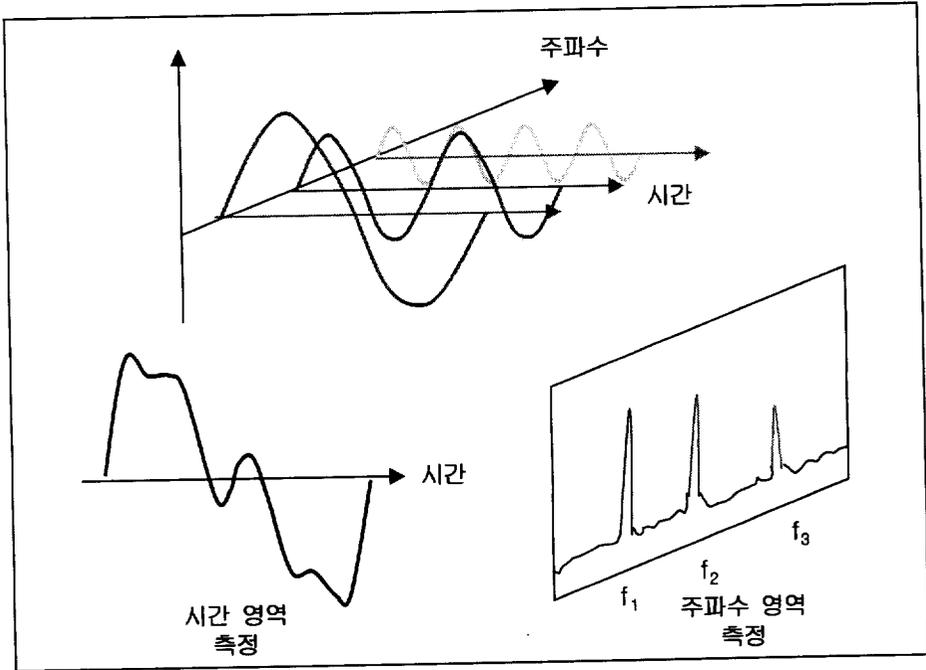
## 3. PCS 시스템 불요파 측정과 간섭 분석

### 3. 1. 불요파 측정 원리와 배경

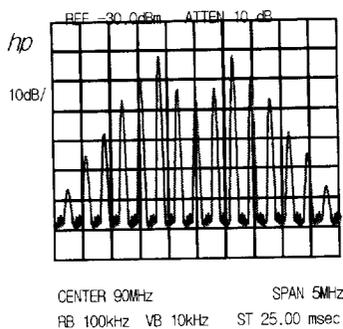
시간 영역에서 정보를 분석할 수 있도록 해주는 측정기로 오실로스코프(Oscilloscope)를 들 수 있다. 오실로스코프는 정보의 전압특성을 시간 축을 기준으로 나타내 주며, 이를 통해 정보가 담겨 있는 전기적 신호의 파형을 분석할 수 있도록 해 준다. 반면, 통신시스템에서 주고받는 정보는 시간과 관련된 특성 뿐만 아니라 주파수와 관련된 특성도 있으며, 경우에 따라서는 주파수 영역 특성을 관찰하는 것이 시간 영역의 특성을 관찰하는 것보다 더 중요한 경우도 있다. 주고받는 정보가 하나 이상의 주파수 성분들을 포함하고 있는 경우에는 시간 영역에서의 측정으로는 정보 특성을 명확하게 관찰하기가 어렵다. 그림 3.1은 스펙트럼 분석기의 원리와 개요를 나타낸 것이다. 스펙트럼 분석기는 신호의 주파수 영역에서의 특성을 측정할 수 있는 측정기로써 하나 이상의 정현파로 이루어진 신호를 적절한 필터링을 통해 각각의 주파수 성분으로 분해해서 나타내 주는 측정기이다. 이것은 푸리에 변환의 원리와 같다. 그림 3.2에 나타낸 바와 같이 스펙트럼 분석기를 통해 주로 측정되는 항목은 변조 특성, 고조파 특성, 상호 변조 특성, 불요파 방사(Spurious Radiation) 특성, 스펙트럼 점유 특성 등이 있다.

무선 통신 시스템에서는 신호 주파수보다 높은 주파수에 정보를 실어 보낸다. 이러한 주파수 성분을 반송파(Carrier Signal)라 하고, 이러한 과정을 변조라 한다. 스펙트럼 분석기는 이러한 변조가 어떠한 특성을 갖는 지를 측정할 수 있다. 고조파(Harmonics)는 임의 주파수의 정수배에 해당되는 주파수 성분들을 통틀어 일컫는 말이다. 무선 통신 시스템에서는 보다 멀리 보기 위해

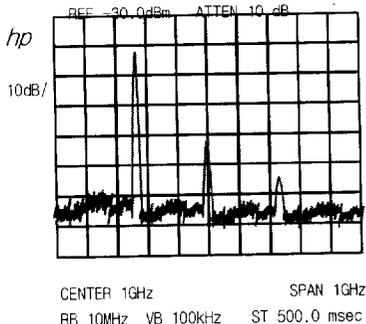
신호를 증폭을 하게 되는데, 증폭기는 자체가 갖고 있는 비선형 특성에 의해 증폭기에 인가된 주파수 성분 이외에 고조파 성분들을 발생시킨다. 스펙트럼 분석기는 이러한 고조파 특성들에 대해 측정하고 이를 통해 시스템에 미치는 영향을 파악할 수 있다.



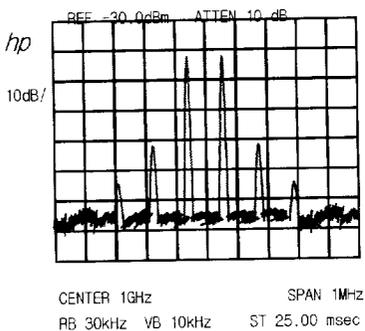
(그림 3.1 스펙트럼 분석기의 개요)



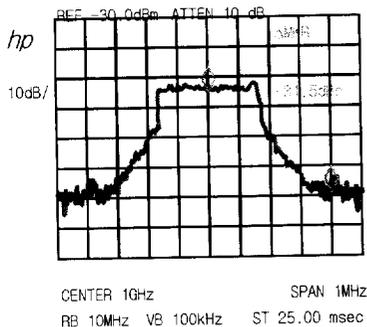
(a) 변조 특성



(b) 고조파 왜곡



(c) 상호 변조



(d) 불요 방사

(그림 3.2 스펙트럼 분석기의 측정 항목)

증폭기의 비선형 특성에 의해 고조파 성분 이외에 상호 변조적 (Intermodulation Product)이 발생할 수 있다. 상호 변조적은 증폭기에 다른 주파수 특성을 갖는 두 개 이상의 신호들이 인가되면, 신호들 간의 비선형성으로 인한 상호 작용에 의해 발생하는 신호로서 인가된 신호와 다른 주파수 특성을 갖는다. 불요파 방사(Spurious Emissions)는 시스템에서 발생시키는 신호가 완

전하지 않음으로 인해 발생하는 것이다. 신호 발생기(Signal Generator)의 사양 중에서 중요 한 것이 스펙트럼 순도(Spectral Purity)이다. 스펙트럼 순도는 위상 잡음(Phase Noise), 잔류 FM 등이 있다. 발생한 신호가 한 주파수 성분만을 갖는다면, 하나의 직선으로 나타날 것이나, 발생한 신호는 위상 잡음이나 잔류 FM의 영향으로 대역을 갖는 신호가 발생된다. 스펙트럼 분석기는 이러한 특성들에 대해 자세한 정보를 제공해 주게 된다.

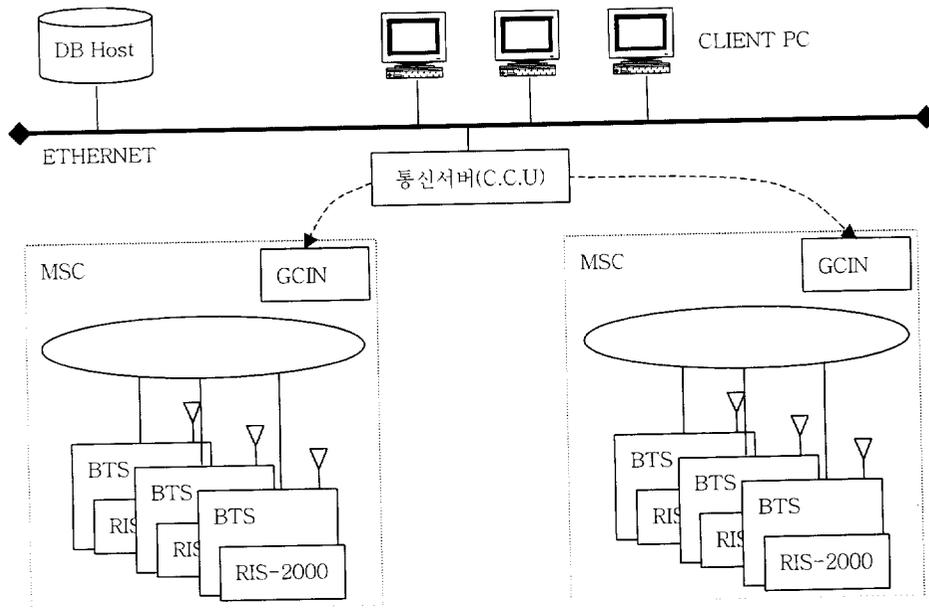
지금까지 기지국들의 이상 유무를 조사하기 위하여 운영자가 위에 기술한 스펙트럼 분석기를 휴대하고, 기지국을 순회하며 점검하고 문제를 해결해 왔다. 하지만 많은 기지국들과 시설용량이 증가되고 있는 현재는 기존의 방법으로는 기지국의 문제를 모두 해결하기 힘들다. 그래서 기지국내에 설치하게 된 것이 RF 감시장치이다. 이 시스템은 BTS(Base Station Transceiver Subsystem)의 RF 신호 상태를 원격 측정하고, 정보를 관리함으로써 운용 효율을 획기적으로 개선하고 장비유지 보수수준을 한 단계 높이는 것을 목적으로 하고 있다.

### 3. 1. 1. 불요파 측정을 위한 시스템 구성

기지국(BTS)과 이동국(MS:Mobile Station) 간의 무선 접속을 위한 주파수 할당은 [표 3.1]과 같이 각기 1.23 MHz 간격으로 14개의 FA들로 되어있으며, 각 BTS는 몇 개의 FA 번호를 지정 받는다. BTS는 안테나의 지향성에 따라 3 sector, 2 sector, 및 Omni의 세 종류로 구분되며, 수신 안테나는 송신 안테나의 두 배로 설치되어 두 개의 수신 경로를 갖는다.

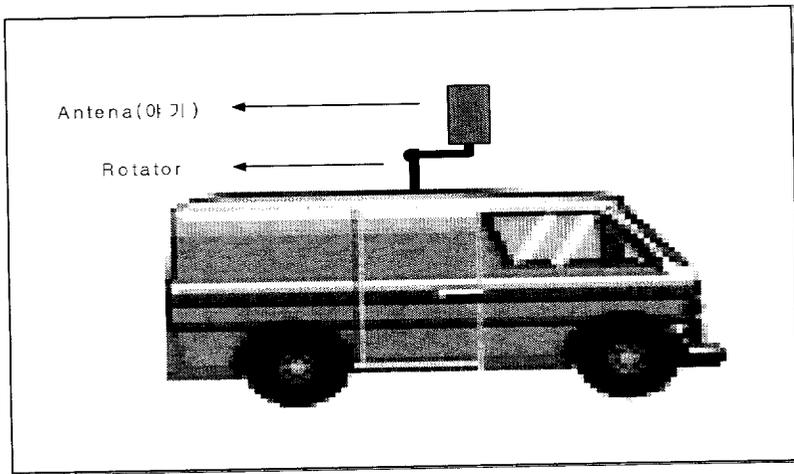
FA 번호	AMP 채널번호	송신 주파수 (MHz)	수신 주파수 (MHz)
1	25	1841.25	1751.25
2	50	1842.5	1752.5
3	75	1843.75	1753.75
4	100	1845	1755
5	125	1846.25	1756.25
6	150	1847.5	1757.5
7	175	1848.75	1758.75
8	225	1851.25	1761.25
9	250	1852.5	1762.5
10	275	1853.75	1763.75
11	300	1855	1765
12	325	1856.25	1766.25
13	350	1857.5	1767.5
14	375	1858.75	1768.75

[표 3.1] 기지국 송수신 주파수 할당



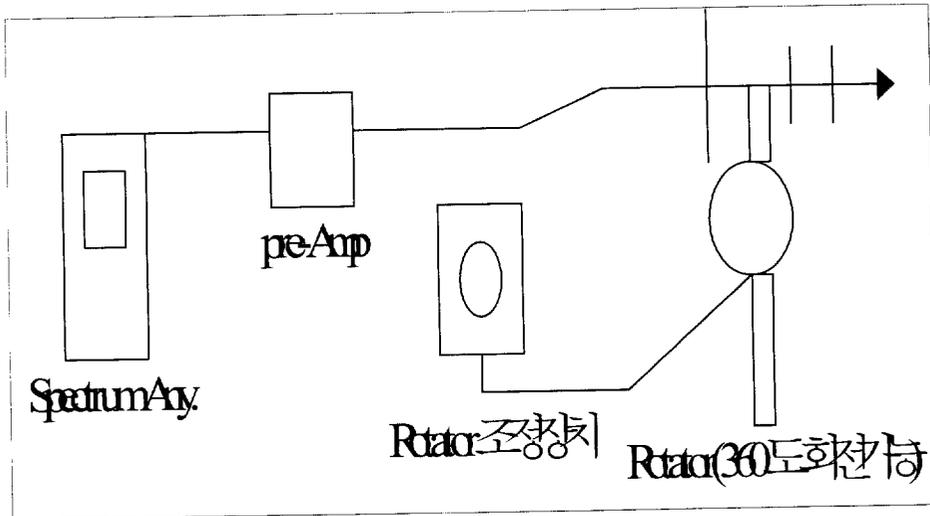
(그림 3.3 RF감시장치 시스템 구성도)

즉, 3 sector 기지국인 경우 송신 안테나는 3개이고 수신 안테나는 6개이다. BTS는 2개의 수신경로 중 보다 좋은 신호를 선택하여 사용한다. BTS에서 MS로의 송신에 대한 이상 유무는 송신 안테나에 송출되는 최종 RF 대역 신호의 상태 점검으로 이루어진다. BTS의 수신에 대한 이상 유무는 수신신호 처리과정에서 각 FA별로 IF대역으로 변환된 신호의 상태점검으로 이루어진다. CDMA RF 감시시스템은 그림 3.3과 같이 기지국에 설치되어 신호의 Spectrum을 측정하는 감시장치단말기(RIS-2000)와 운영센터에서 각 단말기를 제어하고, 수신된 정보들을 관리, 분석하는 중앙관리시스템으로 구성된다.



(그림 3.4 차량장착 구성도)

CDMA RF 감시 시스템의 기능은 기지국의 BTS 감시 지점 신호들의 주파수 Spectrum 측정 및 원격 표시, BTS 감시 지점 신호들의 이상 유무 판별 및 경보, 기지국의 BTS 감시 지점 신호들의 정보와 일별 정보 기록 관리, 기지국 단말장치의 프로그램 및 설정 정보들의 원격 변경할 수 있다. 각 단말기와 중앙관리시스템 사이의 통신은 BTS의 T1/E1 트렁크를 통하여 운영센터와 PACKET 형태로 정보를 교환한다. 그리고 앞에 언급한 스펙트럼 분석기를 그림 3.4와 같은 차량에 탑재하여 출동의 신속성, 추적의 편리성 등을 고려하여 제작한 것이 불요파 추적장치 차량(방탐차량)이다. 이 장치를 제작/운용함으로써 불요파 추적을 위한 준비시간 최소화, 신속한 불요파 추적 및 발생원 제거방법등이 개선된다. 또한, 최상의 전파환경 구축으로 우수한 통화 품질유지, 기상의 악천우시에도 추적작업 가능하게 되었다. 불요파 발생시에 스펙트럼 측정기를 장치차량에 세팅한 후, 그림 3.5와 같이 차량내부에서 로테이터 조정장치로, 차량지붕에 설치된 야기 ANT를 회전시켜 가면서, 혼신 발생요인을 추적/제거 한다.



(그림 3.5 차량내부 구성도)

그 외에 불요파를 측정할 수 있는 많은 측정장비들이 연구 개발되고 있으나 본 논문에서는 위에 언급한 측정장비를 가지고 불요파를 감시하고 측정하여 그 원인을 제거하는 과정을 열거할 것이다.

### 3. 1. 2. 불요파 측정 데이터 분석

주파수를 이용한 서비스와 또 이것을 이용하는 가입자의 증가에 따라 서로 인접한 주파수 또는 전혀 다른 주파수의 이상 고조파로 인하여 서비스가 불량해지는 경우의 수가 늘어가고 있다. 기지국 시스템이 문제없다는 가정하에 불요파를 감지할 수 있는 가장 쉬운 것은 소통을 추이를 감시한 후 불량국소를 분석하면 나타난다. 정상적으로 운용되는 기지국과 비교하면 Secret별로 작게는 5~10% 정도에서 많게는 20~30%까지 저조하고 그 지역의 실제 통화상태도 좋지 않다. 이와 같은 지역에서 불요파 측정차량을 이용하며 불요파 요인을 조사하였다. 본 절에서는 이를 측정한 과정을 분석하는 것을 서술하려고 한다.

우선 불요파가 감시되면 다음과 같이 점검하는 순서가 있다.

- (1) 기지국 시스템 성능 점검(기지국내 송수신관련 cable 연결상태 이상유무 및 송수신 unit 특성 시험)
- (2) 기지국 RSSI 및 특정 지역에서의 단말기의 Tx-adjust 및 Ec/Io 의 급격한 상승
- (3) 파형에 따라 RF중계기, 타사의 송신기설치 유무, TV부스터 설치여부 등을 파악 및 점검
- (4) 이상 전파 유입 확인 시 섹터별 이상 전파 Level을 비교하여 발생 방향 추적
  - ※ 모든 섹터에서 거의 같은 크기로 유입 시 고지대에서 발생했을 가능성이 높음
- (5) 측정 장비 및 스펙트럼 Setting 방법

기지국 AFEU의 Rx out 출력 파형 확인

※ 정상적인 Rssi값

표준BTS : 1FA -78~-83 , 2-4FA -83~-88

※ S/A setting

C.F:1755MHz , SPAN:15MHz(10M Noise floor의 발생 유 무 확인

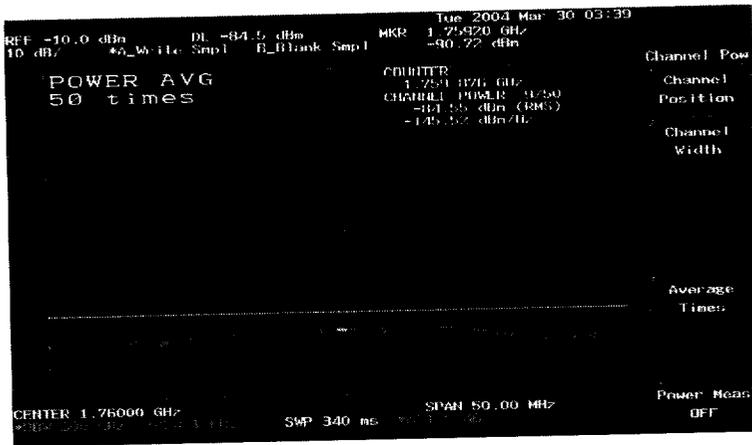
RBW:30KHz , VBW: 1KHz정도(상황에 따라 가변) , ATTN:0dB

dB/dBi: 5 ,10dBi

※ 스펙트럼의 dB/dBi를 5dB로 지정하면 방향에 따른 Level의 변화를

좀더 자세히 알 수 있음

위 순서에 의하여 불요파 발생지를 파악하고 조치하게 된다.

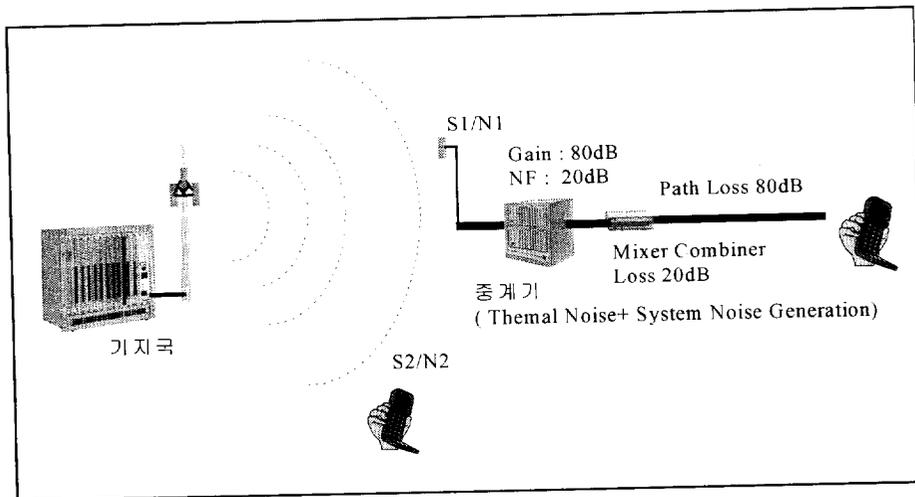


(그림 3.6 정상적인 수신 입력 파형)

## 3. 2. 이상 신호에 따른 신호 분석

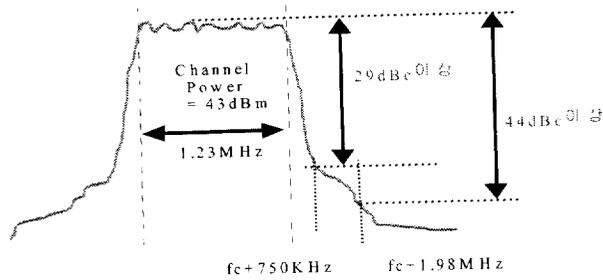
### 3. 2. 1. 중계기에 의한 불요전파

CDMA방식을 채택하고 있는 사업자에게 주된 관심사는 용량증대, 품질 향상, 서비스영역 확대 등이다. CDMA 시스템의 용량과 품질은 간섭에 의하여 크게 영향을 받으므로 간섭을 최소화하려는 여러가지 노력들이 이루어지고 있다. 아울러 서비스 영역을 확대하기 위한 방법 중의 하나로 지하공간 또는 음영지역 해소를 위한 방안이 강구되고 있다. 이를 위해서 마이크로 기지국, 중계기 등의 사용이 고려될 수 있고 이 중 비교적 비용이 저렴하고 설치가 용이한 점으로 인해 중계기가 CDMA 시스템에도 많이 활용되고 있다. 그러나 중계기의 사용은 기지국의 성능 및 지상 서비스 또는 타 서비스에 영향을 줄 수 있으므로 중계기 서비스시 여러 가지 사항을 고려하여야 하고, 중계기에 의한 영향 분석을 통하여 적절한 운용조건을 도출하는 것이 필요하다.



(그림 3.7 서비스망 구성도(중계기 + 기지국))

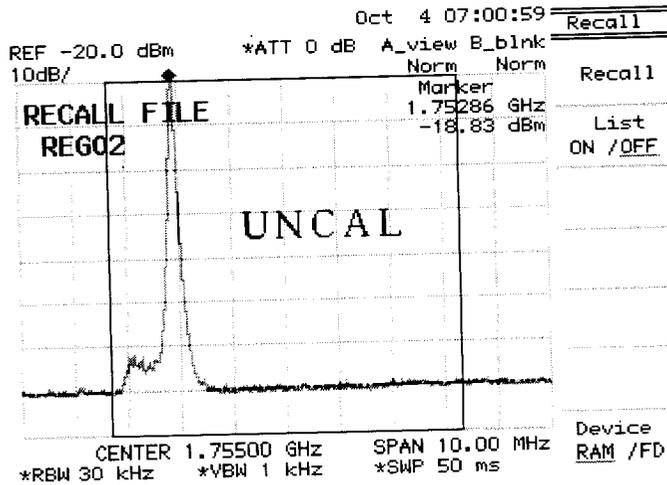
상호변조에 의한 잡음성분은 CDMA방식인 경우 Other Interference의 상승효과 뿐만 아니라 대역 내에 불필요한 잡음성분을 증가시키는 것을 의미하므로, 현재 CDMA 상용기지국에서 송신출력 조건의 규제는 매우 엄격하다. 따라서 중계기를 통한 Forward 및 Reverse Path에서의 Spurious와 상호변조에 의한 왜곡 등 RF 특성은 상용 기지국 수준의 특성이 요구된다. 그림 3.8는 CDMA 기지국의 Minimum Spurious Emission 요구 조건이다. 따라서 RF중계기는 다음 사항이 필수적이다.



(그림 3.8 Minimum Spurious Emission 특성)

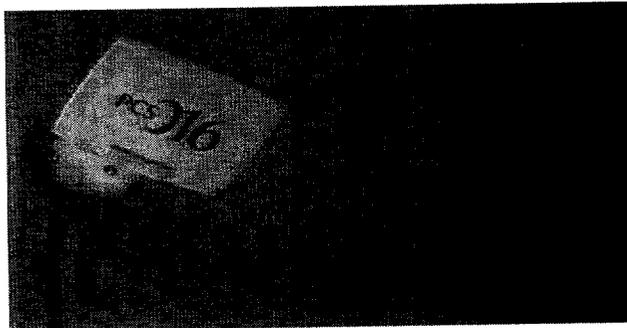
- 1) 중계기에 의한 RF 특성 열화를 최소화
- 2) 대역내 IMD(Inter Modulation Distortion)특성을 최소화
- 3) 타 사업자 영향과 관련된 Out of band Spurious Emission 특성을 고려
- 4) 엄격한 송신 Spurious Emission 특성 필요

\* 중계기에 의한 불요전파

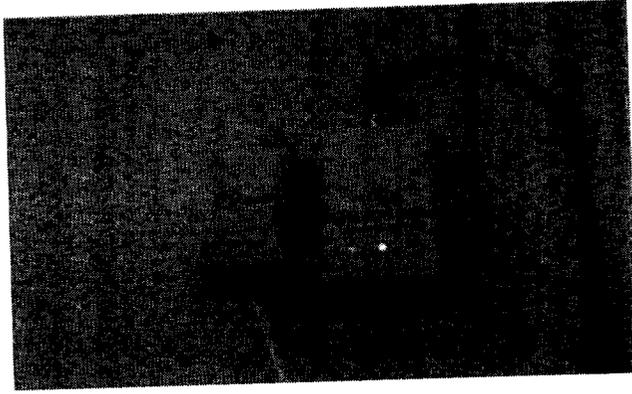


(그림 3.9 소형중계기 불요전파)

- ① 현상: 기지국 알파벳터 1FA Call setup 불량. Tx-adjust 20~40까지 상승 기지국 Rssi A Path= -47.5 B Path= -46.5
- ② 원인: SMART-H의 이득은 55dB로 설치 시 60dB정도의 격리도로 원할한 서비스가 가능하다 시설 시 충분한 사전 지식 없이 공사 된 국소로 동일 벽면에 link ant 와 service ant가 치부되어 있었음
- ③ 조치 사항: 중계기 격리도 미확보 되어 발진이 발생하여 전원 off후 건물 외벽 옥상 부근에 안테나 재설치(Isolation 확보 후 양호)
- ④ 시설 사진



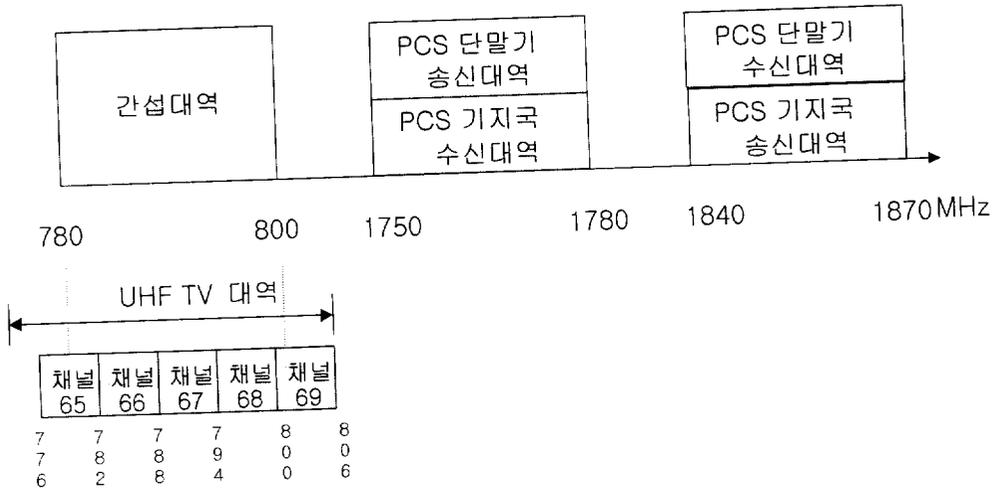
(그림 3.10 소형중계기 설치상태)



(그림 3.11 이상 전과 발생시 장비 ALARM 상태)

### 3. 2. 2. TV 부스터에 의한 불요전파

UHF TV와 1750~1870MHz대의 PCS 이동전화 시스템간에는 다음과 같은 간섭이 발생될 수 있다. PCS 이동전화 시스템과 TV방송서비스간의 사용 주파수는 많이 떨어져 있고, UHF TV방송 송신기는 고출력이므로 PCS 이동전화 시스템이 TV방송에 영향을 주는 간섭은 매우 적다. UHF TV의 주파수가 2채널 증폭되고 그 신호가 150MHz 높은 신호에서는 1750~1870MHz대의 PCS 이동전화 시스템에 간섭이 될 가능성이 있는 경우를 그림 3.12에 예시하였다.



(그림 3.12 UHF TV대역과 PCS주파수 분배표)

그림 3.12에서 나타낸 바와 같이 다음의 두 조건에서는 1750~1870MHz대의 PCS 이동전화 시스템과 TV채널간에 생기는 간섭중에서 단말기에 혼신을 주게 된다.

(1) 단말기가 TV수상기 근처에 있을 때

$$f_{Tm} = 2f_{T,TV} + 150 \quad (3.1)$$

$$f_{Tm} = f_{Rm} - 90 \quad (3.2)$$

$$f_{T,TV} = 1/2(f_{Tm} - 150) = 1/2f_{Rm} - 120MHz \quad (3.3)$$

여기서,  $f_{Tm}$  : 단말기 송신주파수

$f_{Rm}$  : 단말기 수신주파수

$f_{TC}$  : 기지국 송신주파수

$f_{RC}$  : 기지국 수신주파수

$$f_{T_m} = f_{RC} = f_{TC} - 90\text{MHz}$$

$$f_{R_m} = f_{TC} = f_{T_m} + 90\text{MHz}$$

$f_{T.TV}$  : TV 송신주파수

가 된다. 따라서 그림 3.12에서와 같이 수신주파수는 1750MHz에서 1780MHz 이고 TV주파수는 1750MHz와 1760MHz사이에 있으므로 식 (3.3)에서와 같이 이동용 단말기에 혼신을 준다.

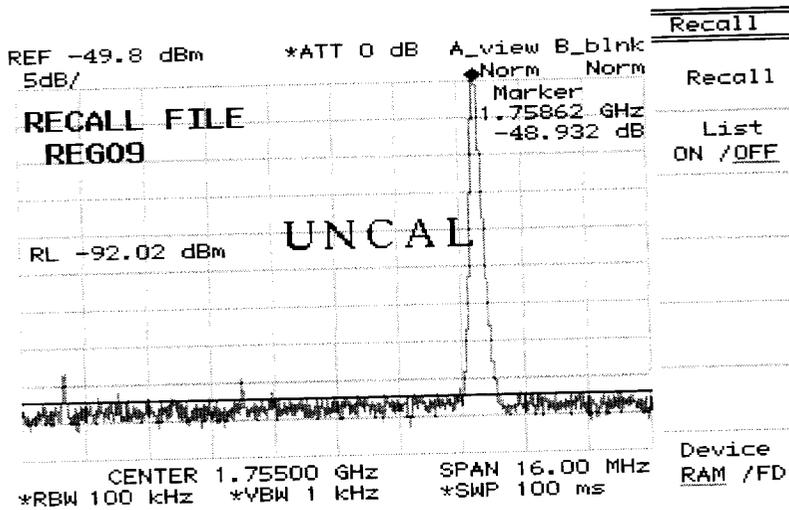
(2) 기지국 근처에 TV가 있을 때

$$2f_{RC} - (2f_{T.TV} + 60) = f_{TC} \quad \text{인 경우} \quad (3.4)$$

$$f_{RC} = f_{TC} - 90 \quad \text{이므로} \quad (3.5)$$

$$f_{RC} = 2f_{RC} - (2f_{T.TV} + 60) - 90 = 2f_{T.TV} + 150 \quad (3.6)$$

가 되어 TV 주파수는 기지국 수신기에 혼신을 준다. 기지국이 TV 방송국으로부터 1.6 Km이내에 있으면 혼신이 일어날 수 있으나 기지국과 TV방송국이 아주 근접해 있으면 혼신은 오히려 감소하지만 TV부스터의 경우는 문제가 될 수 있다. 따라서 차폐와 접지문제를 고려하고 해결하면 이런 경우의 혼신은 발생하지 않을 것이다.



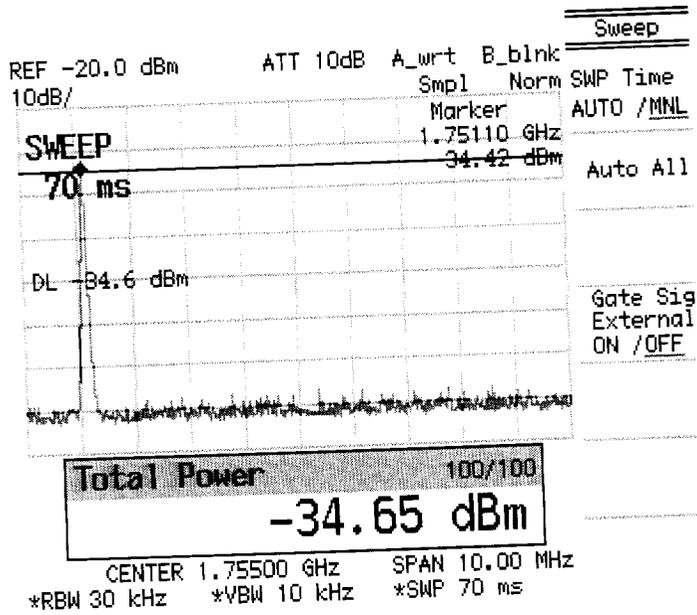
(그림 3.13 TV 부스터의 불요전파)

- ① 현상: 기지국 Rx단 이상 전파 유입에 의해 3FA 절단을 및 완료율 저하
- ② 원인: TV 수신용 부스터의 노화에 의해 접속점 불량에 의해 이상 전파 발생
- ③ 조치사항: TV 수신용 부스터 교체 및 filter 설치 후 양호

### 3. 2. 3. 방송 송출 장비에 의한 불요전파

방송 송출 장비는 앞서 말한 TV 부스터에서 언급한 바와 같이 UHF TV와 1750~1870MHz대의 PCS 이동전화 시스템간에는 다음과 같은 간섭이 발생할 수 있다. PCS 이동전화 시스템과 TV방송서비스간의 사용 주파수는 많이 떨어져 있고, UHF TV방송 송신기는 고풍력이므로 PCS 이동전화 시스템이 TV방송에 영향을 주는 간섭은 매우 적다. UHF TV의 주파수가 2채배 증폭되고 그 신호가 150MHz 높은 신호에서는 1750~1870MHz대의 PCS 이동전화 시스템에 간





(그림 3.15 방송 중계 장비에 의한 불요전파)

## 4. 간섭의 해결 방안

### 4. 1. 간섭밀도비에 따른 해결 방안

각종 디지털 변조방식의 성능을  $E_b/N_0$ 를 함수로 하는 비트오율로 나타내었다. 이 값은 비트 당 에너지가 각 비트에 할당되는 평균 신호전력과 동일하다는 것을 이용하여 신호대 잡음비(SNR)와 연관시킬 수 있다. 즉,

$$E_b = ST \quad (4.1)$$

여기서,  $S$ 는 평균 신호 전력이고,  $T$ 는 각 비트의 주기이다. 식(4.1)은 에너지는 전력에 시간을 곱한 것과 동일하다는 것이다. 식(4.1)에 주기  $T$ 의 역수인 비트 속도  $R$ 을 대입하면,

$$E_b = \frac{S}{R}$$

그러므로,  $E_b/N_0$ 는

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{RN_0} \quad (4.2)$$

이식에서 잡음 전력밀도  $N_0$ 는 전체 잡음 전력  $N$ 을 대역폭  $W$ 을 나눈 것과 같으므로,

$$N_o = \frac{N}{W} \quad (4.3)$$

식(4.3)을 식 (4.2)에 대입하면,

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{S}{N} \frac{W}{R} \quad (4.4)$$

식(4.4)는 비트당 에너지 대 잡음 전력의 비  $E_b/N_o$  는 두가지 요소 즉, 링크의 신호 대 잡음비  $S/N$ 과 전송 대역폭  $W$ 대 비트속도  $R$ 의 비와 관련이 있음을 나타내고 있다.  $W/R$ 의 비는 시스템의 처리이득(Processing gain)으로 알려져 있다.

여기서, CDMA에 사용되는 역방향 링크에서 본다면 한사용자의 SNR은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{S}{B} = \frac{1}{M-1} \quad (4.5)$$

여기서,  $M$ 은 동일한 주파수를 사용하는 전체 사용자의 수이다. 동일한 대역내의 전체 간섭 전력은 각 사용자 전력의 합과 같기 때문이다. 그림4.1 은 식(4.5)의 의미를 나타내는 그림이다. 식(4.5)에서는 열 잡음등의 간섭은 무시하였다.

식(4.5)를 식 (4.4)에 대입하면,

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{1}{M-1} \frac{W}{R} \quad (4.6)$$

( $M-1$ )에 대해서 정이라면

$$M-1 = \frac{(W/R)}{(E_b/N_o)} \quad (4.7)$$

M이 아주 큰 수라 가정하면

$$M = \frac{(W/R)}{(E_b/N_o)} \quad (4.8)$$

이다.

이 처럼 똑같은 통화품질을 보내 주더라도  $E_b/N_o$ 가 낮은 값을 가지도록 한다. 다시 말해서 필요한  $E_b/N_o$ 만 가지게 하고 다른 값들을 조정해서 통화 품질을 개선 할 수 있다는 것이다.

## 4. 2. 안테나 방향 조작에 따른 해결 방안

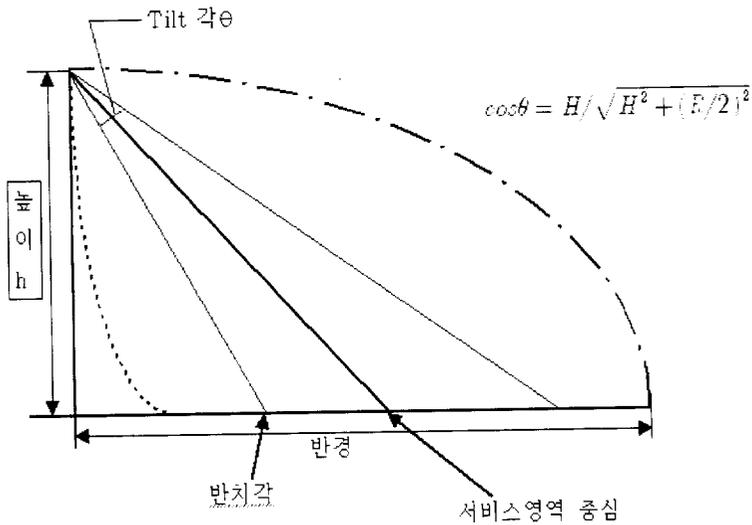
### 1) 틸트 ( Tilt )

안테나의 틸트(Tilt)는 기지국 유효복사전력과 함께 기지국 서비스영역을 조정하는 중요한 요소로서 가급적이면 Line-of-sight 로 주빔이 서비스 영역을 고루 비추도록 계산되어져야 한다.

#### 안테나 틸트각 적용

설계 시 기지국의 셀 반경을 계산한 후 안테나 높이를 계산하며, 안테나 특성 중 수직 빔 패턴을 확인하고, 빔 패턴의 중심이 서비스 영역의 중심으로 가도록 삼각함수를 이용하여 틸트(Tilt) 각을 계산한다.

기지국의 송신 안테나와 수신 안테나의 틸트(Tilt)각은 가급적이면 동일하게 유



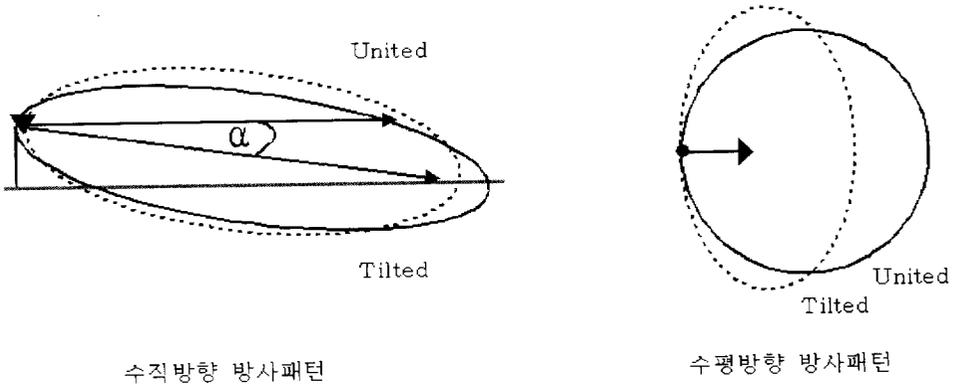
(그림 4.1 안테나 틸트각 적용)

지 되어야 하며, 여기서 안테나의 틸트 각도( $\theta$ )를 설계할 때  $-2^\circ$ ,  $-4^\circ$ ,  $-6^\circ$ ,  $-8^\circ$ 을 사용하며 지역적인 여건이나 주변 환경에 따라 선택 적용한다.

안테나는 설치 장소의 위치 및 틸트 조정에 의해서 서비스 커버리지에 많은 영향을 미친다. 이동통신에서는 옴니 안테나와 섹터안테나가 주로 사용되며 다운틸트는 전기적인 방식과 기계적인 방식이 있으며 기계적인 방식은 안테나를 수직 방향에서 위, 아래로 지정하는 방식이며, 전기적인 방식은 안테나 제작 시 특성 임피던스를 조정하여 틸트를 주는 방식이다. 여기서는 기계적인 틸트를 사용하여 안테나의 커버리지 변화가 어떻게 되는지를 그림에서 보여 주고 있다

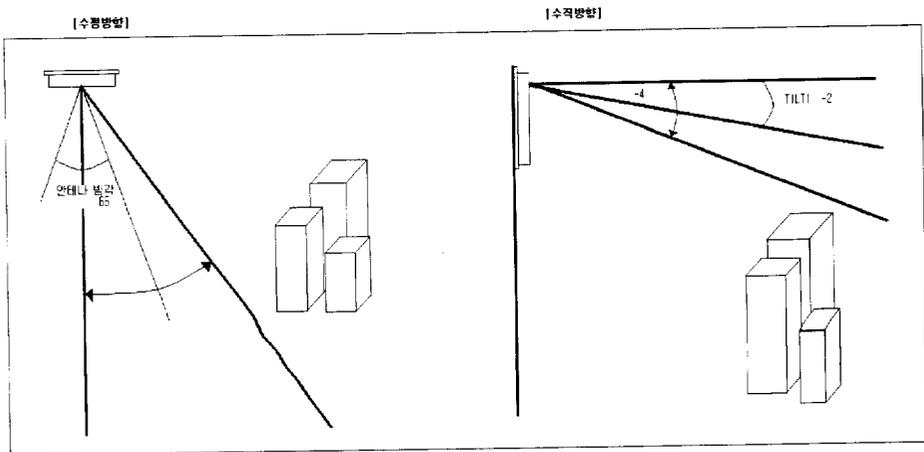
틸트 적용 시 커버리지 변화는 수평방향의 이득이 감소함과 동시에 간섭이 줄어들어 커버리지도 감소한다. 또한 셀 반경을 계산할 때에는 링크버짓 이내에 있어야 하며, 셀 설계 도구로 사용할 경우에는 자동적으로 고려해 준다.

2) 기지국 안테나 조정



(그림 4.2 정재파비(VSWR : Voltage Standing Wave Ratio)의 측정결과)

VSWR이 1.5 이하 일 경우 급전선 상태(절단, 꺾어짐, 작은 굴률반경 등)가 양호한 상태인지 판단해야 한다. 안테나의 방향은 그림과 같이 안테나의 빔폭의 2배 범위에 금속성 장애물 또는 다른 안테나가 존재하지 않도록 시설 조정을 한다.



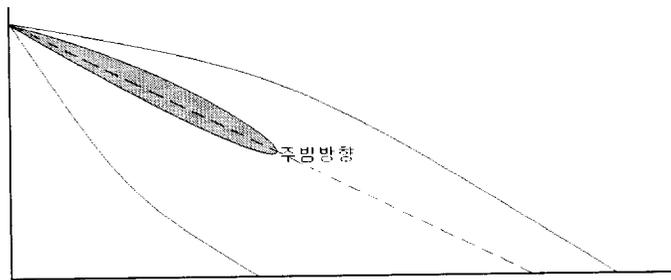
(그림 4.3 안테나 방사폭 장애물 이격거리)

가) 최대 커버리지를 얻기 위한 안테나 Tilt조정

수평선에서의 최대 커버리지를 확보하기 위하여는 전기적, 기계적인 틸트를 사용하지 않은 안테나를 사용하는 것을 기본으로 하며, 지형적인 여건 및 주변환경에 따라 기지국이 확보할 수 있는 최대 커버리지를 얻기 위해 안테나 Tilt를 조정할 경우, 서비스 가능한 최대 커버리지 끝에 안테나 방향을 맞추면 된다. 만약 전기적 Tilt를 사용하고 있는 경우에는 전기적 Tilt를 고려하여 조정하여야 한다.

$$\text{총 Tilt각} = a = \text{전기적 Tilt} + \text{기계적 Tilt}$$

나) 최대 옥내 커버리지를 얻기 위한 안테나 Tilt 조종



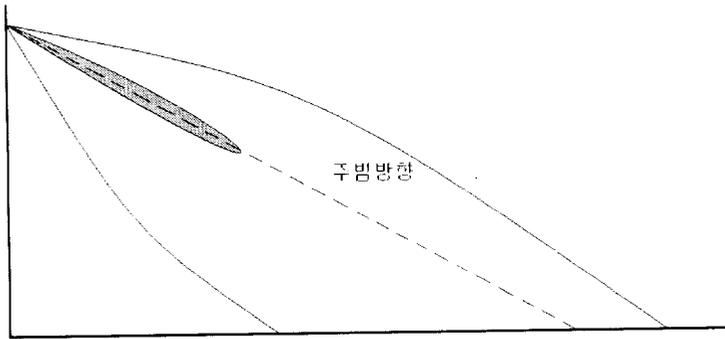
(그림 4.4 최대 옥내 커버리지 확보를 위한 안테나 틸트 조정)

서비스 지역 내 옥내 커버리지를 최대로 유지하기 위해서는 원하는 서비스영역 끝부분의 각도에 안테나 수직방향 빔폭을 더한 만큼의 각도로 Tilt를 조종한다. 이 경우는 통화량이 많은 도시지역에서 사용하게 되며, 최대 커버리지 보다 실제 커버리지가 작은 경우에 사용한다.

$$Tilt각 = a(전기적 Tilt + 기계적 Tilt) + b/2$$

( b : 안테나 수직 방향 빔폭 )

다) 간섭을 최대한 억제하기 위한 안테나 Tilt조정



(그림 4.5 간섭 억제를 위한 안테나 틸트 조정)

안테나 빔폭이상, 첫 번째 null이 되는 각도 사이의 각도를 이용하여 틸트 조정한다. 다른 지역에 간섭을 억제하기 위하여 사용하는 것으로 간섭 지역으로 향하는 방향으로 사용하고 있는 안테나의 패턴에 이득이 거의 0인 각도(Null Angle)가 지향하도록 조정한다. 이 경우 간섭은 다른 기지국의 서비스 지역이므로 조정하는 기지국의 커버리지에 영향이 얼마나 있는지 면밀히 검토하여야 한다.

$$Tilt각 = Null각$$

### 4. 3. 중계기 설정 및 안테나 분리도(Isolation)에 따른 해결 방안

#### 4. 3. 1. 중계기의 위치선정

지상 무선중계기의 설치장소는 중계기 시스템의 전반적인 성능을 결정하기 때문에 장소를 선택하는데 있어서 매우 주의를 하여야 한다. 옥외형 중계기, 주파수 변환중계기는 주파수를 지상에서 전달하는 방식으로 위치 선정에 매우 신중을 기해야 하며, 광 중계기, 레이저 중계기는 광 신호와 레이저를 중계매체로 사용하므로 기지국과 중계기 간에 전달되는 주파수의 간섭을 고려하지 않아도 된다. 먼저, 옥외형 중계기와 주파수 변환 중계기의 위치 선정에 대하여 설명하기로 한다.

모든 CDMA 기지국은 거의 동일한 주파수로 신호를 전송하기 때문에 중계시스템은 기지국과 가급적 Line of Sight 가 되도록 하여야 한다. 이러한 방법은 도너 안테나가 공중에서 장애물 없이 직접 모기지국과 연결된다는 것을 나타낸다. 즉, 선택된 기지국 신호만이 증폭되도록 허용된다. 기지국과 Line of Sight 가 되지 않는다면, 중계시스템은 다른 기지국 신호를 증폭하게 된다. 순방향 측면에서는 신호대 잡음비(Ec/Io)를 증가시켜 통화채널에 나쁜 영향을 미치며, 역방향 측면에서는 불필요한 신호를 다른 기지국에 전달하게 되어 주변 기지국 시스템 성능을 저하시키게 된다.

중계시스템의 위치를 선정하는데 있어서 또 다른 중요한 문제는 커버리지 안테나를 가급적 도너 안테나 방향과 반대되도록 선정하는 것이 필요하다. 이러한 이유는 첫째 충분한 송수신 안테나간의 분리도(Isolation)를 확보하는 것이며, 둘째는 기지국영역과 중계기에서 커버하는 영역의 중첩되는 부분을 줄임으로써 동일한 신호가 기지국과 중계기를 통하여 전달되는 경로 시간차에 의한 품질저하(Handoff 등)를 방지하기 위해서 이다.

기지국으로부터 중계기까지의 거리 또한 중요하게 고려되어야 한다. 일반적으로 기지국으로부터 중계기까지의 거리는 약 3~4Km 이며, 중계기에서 커버할 수 있는 반경은 약 2~4Km 정도이나, 이러한 거리는 서비스되는 지형 및 인공 지형물에 크게 좌우된다.

중계기의 실효 복사전력(ERP : Effective Radiated Power)을 계산할 때 고려되어야 할 여러 가지 요인이 있다. 중계기에서의 수신신호 세기는 기지국 출력, 안테나 이득, 지형 변화에 따른 공간손실에 의하여 결정된다. 여기서는 계산의 단순화를 위하여 기지국과 중계시스템이 Line of sight로 이루어졌다고 가정하였을 때 자유공간 손실(Ls)은 (4.9)와 같이 표시할 수 있으며,

$$L_s(dB) = 32.45 + 20\log_{10}(fMHz) + 20\log_{10}(dKm) \quad (4.9)$$

f MHz = 주파수, d(Km) = 거리

PCS 주파수 사용 대역(1.84 GHz ~ 1.87 GHz)에서는 (4.10)과 같이 표시할 수 있다.

$$L_s(dB) = 92.45 + 20\log_{10}(fMHz) + 20\log_{10}(dKm) \quad (4.10)$$

예를 들면, 1.85GHz 에서 기지국으로부터 1Km 및 4Km 떨어진 지점에서의 자유공간 손실은 다음과 같다

$$1Km \text{ 지점의 손실} = 92.45 + 20\log_{10} 1.85GHz + 20\log_{10} 1Km = 97.8dB$$

$$4Km \text{ 지점의 손실} = 92.45 + 20\log_{10} 1.85GHz + 20\log_{10} 4Km = 109.3dB$$

중계기는 거의 모든 커버리지 확장을 위하여 이용될 수 있다. 중계기를 설치시 다음과 같은 사항을 고려하여 시설하고 출력조정 및 최적화에 필요한 조치를 강구하는 것이 통화 완료율을 높이는데 매우 중요하다.

- \* 기지국 셀 반경 변화에 따른 중계기의 영향이 최소화 될 수 있는 위치선정
- \* 모기지국 안테나와 중계기 도너 안테나간의 line of sight를 유지하면서 충분한 수신 신호 세기를 갖는 위치를 선택(도심지에서는  $E_c/I_o$ 가 최대값을 갖는 방향을 선택)
- \* 중계기 커버리지와 시스템 잡음 수준을 최적화 하기 위하여 적절한 지향성과 높은 전후방비를 갖는 중계기 안테나를 선정
- \* 분리도(Isolation)가 충분히 유지되는 도너 및 커버리지 안테나를 설치
- \* 모기지국과의 경계 겹침을 최소화하기 위하여 필요한 출력만을 사용
- \* 중계기 링크균형과 중계기 잡음에 의한 모기지국 영향을 최소화하기 위하여 중계기 이득을 최소화

#### 4. 3. 2. 안테나 선택과 배치

지상 무선 중계기(옥외형 중계기, 주파수 변환중계기)의 안테나 선택은 중계시스템을 설치하는데 있어서 결정적으로 중요하며, 우수한 안테나의 선택은 도너 안테나와 커버리지 안테나 사이의 충분한 분리도(Isolation)를 가져오는데 있어서 결정적인 역할을 한다.

CDMA 시스템은 기지국과 중계기가 동시에 주파수를 발사하기 때문에 도너(중계용)안테나는 해당 기지국의 전파만을 수신할 수 있어야 한다. 도너 안테나의 중

류는 파라보라(접시형)안테나, 야기안테나, 판넬안테나가 있으며 수직, 수평 빔폭이 10도 보다 적은 파라보라(접시형)안테나가 가장 이상적이라 할 수 있다. 이것은 기지국과의 정확한 PN Code를 선택하는데 매우 유리하다. 파라보라 안테나는 요구되는 분리도(Isolation)를 확보하는데 있어서 전후방비(front to back ratio)가 매우 크다. 또한 좁은 빔폭을 갖는 판넬 안테나 또는 야기안테나가 고려될 수도 있지만 좀더 많은 주의가 요구된다.

커버리지 안테나는 분리도(Isolation)를 보증하는 범위내에서 희망하는 커버리지를 확보할 수 있도록 선택되어야 한다. 만약 옥외형 중계기를 도입시 같은 주파수를 도너 안테나와 커버리지 안테나가 동시에 사용하므로 기지국의 수신신호와 중계기 증폭신호가 도너 안테나에 입력되어 발진을 일으켜서 반복 발진으로 인한 고장의 원인을 제공한다. 즉, 안테나간에 분리도가 확보되지 않는다. 안테나 도입에 있어서 수평 빔폭은 커버리지 지역의 특성에 따라 30 ~ 120도 범위의 안테나가 선택될 수 있으며, 전후방비는 25dB 이상이 바람직하다.

#### 4. 3. 3. 안테나 분리도(Isolation)

안테나 분리도(Isolation)란 기지국으로부터 도너 안테나에 수신된 신호의 세기와 중계기에서 증폭된 신호가 커버리지 안테나를 통하여 전파 방사되어 도너 안테나에 입력된 신호세기의 차이를 말한다. 중계기 발진을 방지하기 위하여 기지국 수신레벨이 중계기 수신 레벨보다 10dB 이상 높아야 한다.

$$\begin{aligned} \text{안테나 분리도(Isolation)} &= \text{기지국 수신신호 세기} - \text{증폭기 수신 세기} \\ &= 10\text{dB 이상 편차유지} \end{aligned}$$

안테나의 적절한 분리도(Isolation)을 성취할 수 있는 방법은 다음 세가지 방법을 사용하는 것이 바람직하다.

- 1] 높은 전후방비를 갖는 고이득, 지향성 안테나를 사용한다.
- 2] 중계기의 도너 및 커버리지 안테나사이의 이격거리를 크게 한다.
- 3] 안테나 사이에(도너 안테나와 커버리지 안테나) 외부 차폐를 시킨다.

중계기가 지니고 있는 성능을 극대화 하기 위해서는 충분한 수신 신호세기가 있는 곳에 위치하여야 한다. 즉, +30dBm의 출력을 갖기 위해서는 도너 안테나 후단에서 -65dBm(중계시스템 이득 95dB 가정) 이상의 입력 신호세기를 가져야 한다.

이것은 12 ~20dB 의 이득을 갖는 안테나 전단에서는 최소 -85 ~ -77dBm 이상이 필요하다는 것을 의미한다.(여기서 케이블 손실은 포함되지 않음) 만일, -65dBm 보다 적은 신호세기라면, 중계시스템은 30dBm 출력을 갖지 못하게 될 것이다. 만일, 중계기 입력단에서 측정된 수신신호 세기가 -65dBm 보다 크다면 중계기는 최대 이득(95dB)을 요구하지 않는다. 중계기의 이득은 수신된 신호가 -65dBm 보다 큰 양 만큼 감쇄 시킬 수 있다. 그러므로 분리도(Isolation) 요구조건은 같은 양만큼 95dB 보다 적게 할 수 있다.

도너 및 커버리지 안테나 사이에 필요한 분리도(Isolation)를 성취하는데 필요한 물리적인 이격은 다음 공식에 의하여 추정할 수 있다.

$$\text{수직분리} : \text{isolation} (dB) = 48 + 40\log(D/\lambda) \quad (4.11)$$

$$\text{수평분리} : \text{isolation} (dB) = 42 + 20\log(D/\lambda) - (Gd + Gs) \quad (4.12)$$

D = 도너 및 커버리지 안테나 사이의 거리(단위 : m)

$\lambda$  = 파장(단위 : m)

Gd = 커버리지 안테나 방향에서 도너 안테나의 이득

Gs = 도너 안테나의 방향에서 커버리지 안테나의 이득

도너 안테나와 커버리지 안테나 간의 거리에 따른 수직/수평 Isolation은 도너 안테나 이득 16dB와 커버리지 안테나 16dB를 가정하여 산출하면 [표4.1]과 같이 물리적인 거리에 의하여 예상되는 안테나 Isolation에 대한 지침으로써 사용될 수 있다. 여기서 안테나는 반대 방향으로 위치한 높은 지향성 안테나로 가정하였다.

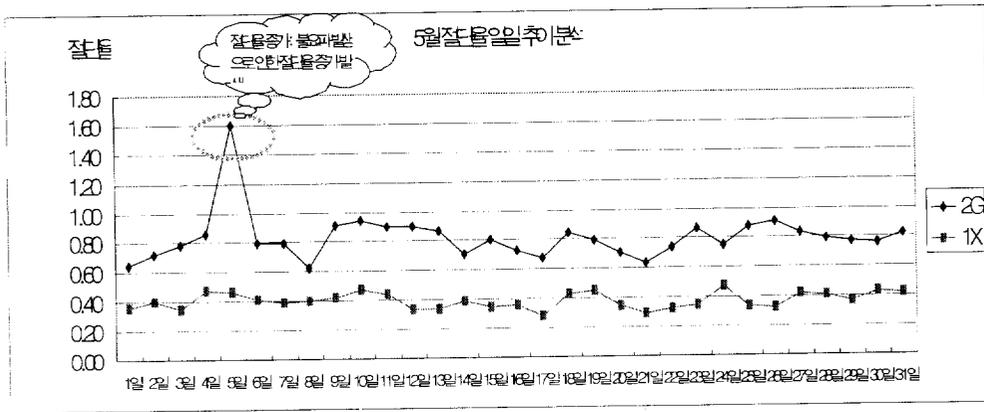
안테나간의 거리	수직거리 Isolation	수평거리 Isolation	비 고
3m	67dB	35dB	도너안테나 이득16dB 커버리지 안테나 이득16dB
10m	88dB	56dB	
15m	95dB	63dB	
20m	100dB	68dB	

[표4.1] 도너와 커버리지 안테나 간의 거리에 따른 분리도(Isolation)

[표4.1]에서와 같이 수직 이격거리가 수평 이격 거리보다 훨씬 더 좋은 결과를 준다는 것을 보여주고 있다.

실질적인 무선환경 여건하에서는 송수신 안테나의 형태, 송수신 안테나간의 방

향 그리고 안테나 지지물의 구조에 따라 분리도(Isolation) 값은 상당히 달라질 수 있기 때문에 중계기 설치시 대략적인 추정으로 인식하는 것이 바람직하다. 중계기를 설치한 후 설정된 이득에 비추어 10dB이상의 분리도(Isolation)가 확보되지 않을 때에는 외부 차폐물을 이용하는 것이 유효한 것으로 입증되었다. 예를 들면, 지상 건물옥상에 있는 차폐물 벽면에 설치하거나 또는 안테나 사이에 금속 그물망 또는 접지된 금속 차폐물을 사용하는 것 등이다. 아래 그림4.6에서는 중계기의 불요파에 의한 기지국 절단율을 5월 한달간 일일 추이 분석한 그래프이다. 그래프에서 보면, 5월5일날 2G 기지국이 불요파에 의해서 절단율이 상승한 것을 알수가 있다. 불요파를 제거(입력 야기 안테나 분리도 확보)한후 그 다음날 2G 기지국 절단율은 정상적인 상태를 나타낸다.



(그림 4.6 불요파 간섭에 의한 기지국 절단율 일일 추이 분석)

## 4. 4. 중계기 호 처리 및 잡음 영향 분석에 따른 해결 방안

### 4. 4. 1. 중계기 호 처리

CDMA 시스템은 중계기에서 처리되는 호는 기지국에서 처리하는 것으로서 중계기는 단순히 기지국의 커버리지를 확장하는 것이므로, 중계기가 서비스 하는 지역에서의 단말기에 대하여 기지국 서비스 지역과 마찬가지로 기지국에서 호 발신, 전력제어, 소프트 핸드오프 등을 처리한다.

단말기가 중계기 지역으로부터 주변 기지국으로 이동할 때 기지국은 기지국지역에 있는 단말기와 같은 방법으로 소프트 핸드오프를 처리한다.

중계기는 대역내에서(허가대역) 높은 선택성을 갖는 SAW(Surface Acoustic Wave) 필터를 사용한다. 이러한 SAW 필터는 CDMA 기지국에서 사용하는 SAW 필터와 유사하다.

필터를 통한 전파 지연은 약4us이며, 이것은 전파가 자유공간에서 1.2km 거리를 전파하는데 걸리는 시간과 거의 같다. 이러한 지연은 CDMA 중계기가 시스템에서 적용될 때 고려되지 않으면 안 된다. 예를 들면, 중계기가 BTS로부터 5km에 위치하고 2km 지역을 서비스 한다면, BTS에 대한 액티브 서치 윈도우 사이즈(Active Search Window Size)는 최소한 적어도 8.2km까지 설정되어야 한다.

$$\text{기지국 액티브 서치 윈도우 사이즈} = 5\text{km}(\text{중계기 위치}) + 2\text{km}(\text{중계기 서비스 거리}) + 1.2\text{km}(\text{장치 지연시간}) = 8.2\text{km}$$

중계기는 효과적으로 모기지국의 커버리지 크기를 증가할 수 있기 때문에 Neighbor list 역시 다시 조정되어야 한다. 몇 명 기지국들이 Neighbor list 로 등록될 필요가 있다.

#### 4. 4. 2. 중계기의 잡음 영향 분석

기지국에 대한 중계기 잡음 영향 분석은 매우 중요하다. 중계기가 최상의 시스템 성능을 보증하기 위해서는 중계기의 적절한 파라미터 조정이 요구된다.

중계기가 가입자의 신호를 모기지국에 전달 할 때나, 하지 않을 때에도, 중계기는 자체 잡음성분(열 잡음 및 잡음지수로 표현되는 시스템 잡음) 및 외부 잡음 성분을 모기지국으로 전송하게 된다. 이것은 기본적으로 모기지국에서의 잡음 레벨을 높이는 결과를 가져오게 되며, 이러한 잡음이 일정수준 이상일 경우에는 기지국의 커버리지와 용량 모두를 줄이는 결과를 가져오게 된다. 그러나 중계기의 적절한 설계, 설치 및 파라미터 조정을 통하여 이러한 문제를 해결할 수 있다.

모기지국에 무선 중계시스템을 연결하였을 경우에 중계기 커버리지에서의 Link budget을 먼저 [표4-2]와 같이 구하였고 그런 후 이러한 기준에서 중계시스템의 잡음 특성이 기지국에 끼치는 영향을 분석하여 본다.

CDMA 시스템에 있어서 정확히 Link budget을 구한다는 것이 매우 어렵다. 이것은 적용되는 시스템 성능(시스템 및 단말기 잡음지수 등) 및 파라미터 설정값(총출력, 파이롯, 트랙픽에 따른 전력 분배비), 그리고 셀 설계에 따른 전파환경(소프트 핸드오프 이득, 타 셀간의 간섭 등)에 의한 변수들이 보편적으로 정량화 할 수 없기 때문이다.

순 방향		역 방향		비고
기지국 특성		중계기 특성		
BTS출력(Pilot)	+ 33dBm	단말기 TX	+ 23dBm	
케이블손실	3dB	중계기와 단말기간의 손실	144dB	
안테나 이득	16dB	커버리지 안테나에서의	-121dBm	
BTS ERP	+ 46dBm	수신레벨		
중계기 특성		커버리지 안테나 이득	12dB	
기지국과 도너안테나	-116dBm	케이블 손실	2dB	
사이의 손실		중계기 입력신호 세기	-111dBm	
도너 안테나 수신레벨	-70dBm	중계기 이득	84dB	
안테나 이득	12dB	중계기 신호 출력	-27dBm	
케이블 손실	-1dB	케이블 손실	1dB	
중계기 입력	-59dB	안테나 이득	12dB	
중계기 이득	84dB	중계기 ERP	-16dBm	
중계기 출력	+ 25dBm	기지국 특성		
커버리지 안테나 이득	12dB	기지국과 도너안테나	116dB	
케이블 손실	2dB	사이의 손실		
중계기 ERP	+ 35dBm	안테나 수신신호 세기	-132dBm	
중계기와 단말기간의 손실	-144dB	안테나 이득	16dB	
단말기 Sensitivity	-101dBm	케이블 손실	3dB	
요구되는 Ec/Io	-8dB	기지국 수신신호 세기	-119dBm	
수신가능 단말기 RSSI	-109dBm	(허용가능한 기지국 수신 레벨)		

[표4.2] 중계시스템에 의한 Link Budget 계산

여기서 고려한 link budget은 이러한 특성을 감안하여 파이롯 출력을 기준으로 하였으며, 최대 호 부하시의 기지국 출력변화(5 ~ 6dB)를 가정하여 호가 없을 때의 중계기 출력을 25dBm(최대 호 부하시 30 ~ 31dBm) 기준으로 중계기 이득을 설정하였다. 그리고 단말기 및 기지국의 수신감도는 통상적인 값을 적용하였다. 셀 설계에 따른 변수는 계산의 단순화를 위하여 기지국, 중계기 및 단말기간의 총 손실에 포함하였으며, 개별적으로 고려하지는 않았다.

[표4.2]의 분석으로부터 모기지국의 셀 확장을 위하여 적용되는 중계기의 양방향 이득을 동일하게 설정한 경우에도 기지국과 단말기간의 양방향 링크가 균형을 이루도록 설계되어 있다면, 중계기 커버리지에서도 이러한 링크 균형은 영향

을 받지 않는 것을 보여주고 있다.

다음으로 상기 분석을 기준으로 중계기에 의한 잡음 영향을 분석한다.

중계기에 의하여 모기지국에 끼치는 영향은 중계기에서 발생하는 잡음 출력이 얼마나 기지국의 수신감도를 저하 시키는데 있다. 중계기의 잡음 출력은 열잡음, 시스템이 갖는 잡음특성(잡음지수로 나타남) 그리고 설정된 이득값에 따르며, 1.23MHz CDMA 대역폭을 기준으로 할 때 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \text{잡음출력} &= -113\text{dBm} / 1.23\text{MHz}(\text{열잡음}) + \text{NF}(\text{시스템 잡음지수}) \\ &+ \text{G}(\text{시스템 이득}) \end{aligned}$$

위 식에서 열 잡음은 상온에서  $-174\text{dBm/Hz}$ 를 1.23MHz로 환산한 값이며, 시스템에 관계없는 변수이다. 잡음지수는 시스템마다 약간씩 차이가 날수 있으나, 보통 5dB이내에 있으므로 중계기 설치와 관련된 변수는 아니다. 그러므로 기지국에 가장 영향을 끼치는 중계기의 가장 중요한 파라미터는 역방향 시스템 이득이 된다.

역방향 시스템 이득을 필요이상으로 크게 하였을 경우에는 중계기 서비스 지역의 UP-LINK 커버리지가 확장되는 장점(PCS 대역에서는 커버리지 제한은 주로 UP-LINK에서 의존됨)이 있으나, 반면에 기지국에의 끼치는 영향은 그 만큼 증가된다. 한편 역방향 시스템 이득을 적정 이하로 적게 할 경우에는 기지국에 끼치는 영향은 줄일 수 있으나, 중계기 서비스 지역에서의 양방향 링크 균형이 깨질 뿐만 아니라, DOWN-LINK와 비교하여 UP-LINK 커버리지가 이득만큼 줄어들게 된다. 그러므로 모기지국에 끼치는 영향과 중계기 서비스지역에서의 커버리지 균형을 고려하여 시스템 이득을 적정하게 설정하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다.

중계기 서비스 지역에서의 양방향 링크 균형을 이루도록 양방향 시스템 이득을 동일하게 하였을 경우에 중계기 잡음에 의한 모기지국 영향을 [표4-3]와 같이 분석하였으며, 다른 파라미터 상기 링크분석에서 적용된 값들을 적용하였다.

중계기에 의한 영향			비고
열잡음		-113dBm/1.23MHz	Thermal noise = 10logKTB
NF	5dB		Typical
시스템 이득	84dB		
중계기 잡음 출력		-24dBm	
도너 안테나 이득	12dB		
케이블 손실	2dB		
도너 안테나에서의 잡음 출력		-14dBm	
기지국과 도너 안테나 사이의 손실	116dB		
기지국 안테나에서의 잡음 수신레벨		-130dBm	
기지국 안테나 이득	16dB		
기지국 케이블 손실	3dB		
기지국 수신 잡음 레벨		-117dBm	
기지국 고유 잡음 강도		-108dBm	
중계기에 영향에 의한 잡음 감도		-107.5dBm	Typical
<b>중계기에 의한 감도 저하</b>	<b>0.5dB</b>		

[표4.3] 중계기에 의한 기지국 영향

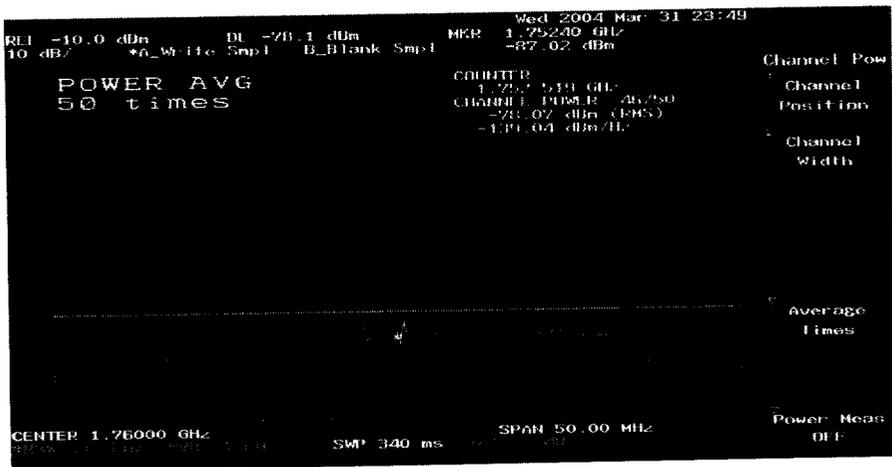
[표4.3]의 분석에서 알 수 있듯이 중계기 출력을 30dBm 기준으로 이득을 설정하고 또한 중계기 서비스 지역에서의 양방향 링크 균형을 이루기 위하여 순 및 역방향 이득을 동일하게 설정하였을 경우에 중계기에 의한 기지국 수신감도 저하는 0.5dB 정도로 나타났다. 이러한 값은 내, 외부 셀에서 발생하는 간섭을 고려할 때 무시할 수 있는 값으로 여겨진다.

결론적으로 중계기에 의한 모기지국 영향을 최소화 하고, 중계기 커버리지의 균형을 이루기 위해서는 양방향 이득을 동일하게 설정하는 것이 바람직하다. 그러나 이러한 rule은 중계기 최대 출력이 30dBm 부근에 한정되며, 이 값 이상으로 중계기 출력을 설정할 경우에는 역방향 이득을 순방향 이득보다 적게 하는 것이 바람직하며, 그 값은 기지국 수신감도 저하가 1dB이내가 되는 범위내에서 가급

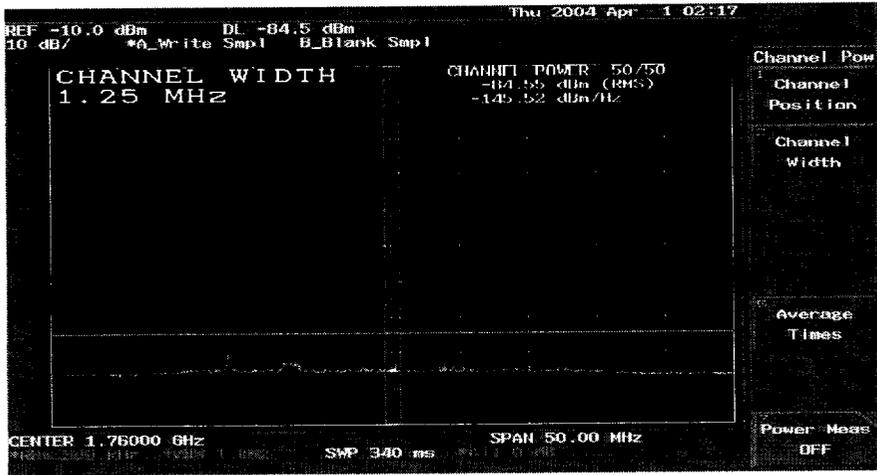
적 링크 균형을 이루도록 설정하여야 한다.

최적 시스템을 유지하기 위하여 중계기는 필요 이상의 출력을 내지 않도록 하여야 한다. 그러므로, 초기에 중계기를 설정할 때, 셀 확장이 요구되는 지역특성을 감안하여 가급적 최소 출력이 되도록 설정하여야 한다. 그런 다음 커버리지 드라이브 테스트 및 필드 테스트를 수행한 후 출력을 희망하는 수준까지 점차적으로 증가하여야 한다.

아래 그림4.7은 중계기에서 불요파가 발생하여 기지국에 수신 입력에 10dB 정도 영향을 주어 기지국 수신감도를 저하 시킨 그림이고, 그림4.8은 역방향 이득과 순방향 이득을 적절하게 조정하여 기지국 수신감도 저하가 1dB이내가 되도록 해서 불요파를 제거 한 후의 기지국 수신 입력 파형이다.



(그림 4.7 불요파 발생하여 기지국 수신감도 10dB 이하된 파형)



(그림 4.8 불요파 제거 후 기지국 수신입력 파형)

#### 4. 5. LNA(저잡음증폭기) 시스템에 따른 해결 방안

역방향 링크 시스템의 잡음계수를 줄이는 방법으로 저잡음 증폭기를 들 수 있다. 저잡음 증폭기를 갖는 시스템과 없는 스템의 신호대 잡음비를 가가 유도하고 그것들을 비교하여 저잡음 증폭기를 사용함으로써 얻을 수 있는 신호대 잡음비의 개선효과를 설명한다.

##### 4. 5. 1. 저잡음 증폭기를 가지지 않는 기본 시스템

안테나의 실효 안테나 온도는  $T_A$ 이다 대기 온도  $T_0$ 는 290K이다. 안테나와 고주파 전단부 사이의 선로 손실은  $L_1$ 이다.

고주파 전단부의 이득은  $G_2$ 이고, 잡음 계수는  $F_2$ 이다. 안테나 바로 뒤쪽의 신호의 세기를  $S_m$ 이라고 할 때, 고주파 전단부 출력의 신호 대 잡음비를  $(S/N)_{out}$ 으로 정의하자.

CDMA 기지국의 수신 시스템은 안테나와 수신기로 구성된다. 수신기는 안테나 다음 단을 말한다. 여기서, 수신기는 선로와 고주파 전단부를 포함한다. 수신기의 전에 잡음계수는 다음과 같다.

$$F_{comp} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} \quad (4.13)$$

선로의 이득  $G_1$ 은 손실  $L_1$ 의 역수이다. 만일, 선로의 잡음 계수를 선로 손실과 같다 (즉,  $F_1=L_1$ )고 가정한다면,

$$F_{comp} = L_1 + L_1(F_2 - 1) \quad (4.14)$$

이다. 수신기 전체의 잡음 온도는

$$T_{comp} = (F_{comp} - 1)T_0 \quad (4.15)$$

이며, 시스템 잡음 온도는 안테나 온도와 전체 잡음 온도의 합이다.

$$T_{sys} = T_A + T_{comp} \quad (4.16)$$

만일, 위성에 탑재된 안테나가 지구를 향하고 있다면, 지구의 실효 온도는 290K 이므로 안테나 온도  $T_A$ 는 290K(즉, 대기온도)가 될 것이다. 그러나 이동통신의 경우에는 안테나가 여러 종류의 간섭들도 수신하기 때문에 실효 안테나 온도는 대기 온도 보다 높아진다. 여기서, 간섭에 의한 증가량을 역방향 링크 증가(rise)

로 정의한다. 역방향 링크 증가를 다음과 같이 정의 하였다

$$R = \frac{I'_m + I'_i + I'_n + N}{N} \quad (4.17)$$

안테나에 대한 유효 잡음은 식(4.17)의 분자항 이므로, 유효잡음은

$$I'_m + I'_i + I'_n N = RN = R(kT_0 W) = k(RT_0) W = kT_A W \quad (4.18)$$

그러므로, 유효 안테나 온도(TA)는 대기 온도와 증가 (Rise)의 곱(RTo)과 같다.

이제 고주파 전단부 출력의 신호대 잡음비(S/N)out를 유도하자. 안테나 바로 뒷단의 신호Sin은 고주파 전단부 출력에 이를 때까지 손실 L1과 이득 G2를 갖는다. 반면, 시스템잡음(kTsysW) 역시 손실 L1과 이득 G2 갖는다. 그러므로 신호대 잡음비는

$$\begin{aligned} \left(\frac{S}{N}\right)_{out} &= \frac{S_m (1/L_1) G_2}{(1/L_1) G_2 (kT_{sys} W)} = \frac{S_m (1/L_1) G_2}{(1/L_1) G_2 k (T_A + T_{comp}) W} \\ &= \frac{S_m}{k (T_A + T_{comp}) W} \end{aligned} \quad (4.19)$$

이다. 그리고  $T_A = RT_0$ 이고,  $T_{comp}$ 는

$$\begin{aligned} T_{comp} &= (F_{comp} - 1) T_0 \\ &= [L_1 + L_1(F_2 - 1) - 1] T_0 = (L_1 F_2 - 1) T_0 \end{aligned} \quad (4.20)$$

이다. 대입하면,

$$\begin{aligned} \left(\frac{S}{N}\right)_{out} &= \frac{S_{in}}{k(T_A + T_{comp})W} = \frac{S_{in}}{k(RT_a + (L_1F_2 - 1)T_0)W} \\ &= \frac{S_{in}}{kT_0(R + (L_1F_2 - 1))W} \end{aligned} \quad (4.21)$$

이고, 식(4.21)을 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{out} = \frac{S_{in}}{k\sigma T_0 W} \quad (4.22)$$

여기서,  $\sigma$ 는 잡음 증가량이며,

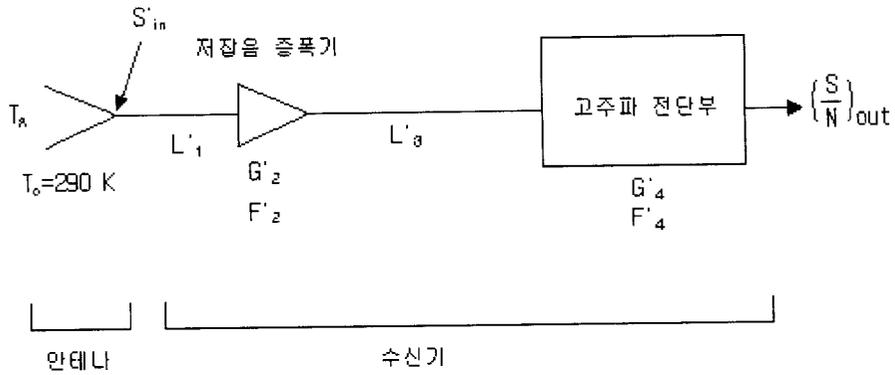
$$\sigma = R + (L_1F_2 - 1) \quad (4.23)$$

이다.

#### 4. 5. 2. 저잡음 증폭기를 갖는 시스템

앞 절에서와 같이 안테나의 실효온도는  $T_A$ 이며, 대기 온도  $T_0$ 는 290KDLKE. 그러나, 앞 절과는 달리 저잡음 증폭기가 안테나와 고주파단 사이에 위치한다. 저잡음 증폭기와 안테나 사이의 선로 손실은  $L'1$ 이며, 저잡음 증폭기의 이득 및 잡음 계수는 각각  $G'2$ 와  $F'2$ 이다. 그리고, 저잡음 증폭기와 고주파단 사이의 선로 손실은  $L'3$ 이고 고주파 전단부는 이들  $G'4$  및 잡음 계수  $F'4$ 를 갖는다. 일반적으로 저잡음 증폭기의 잡음 계수  $F'2$ 가 고주파단의 잡음 계수  $F'4$ 보다 작기 때문에 저잡음 증폭기라고 한다.

안테나 바로 뒷단의 신호 세기를  $S'_{in}$ 으로 가정하고, 고주파 전단부 출력의 신호



(그림 4.9 저잡음 증폭기 설치 계통도)

대 잡음비를  $(S/N)'_{out}$ 로 정의 한다. 이 경우 수신부의 전체 잡음 계수는

$$F'_{comp} = F'_1 + \frac{F'_2 - 1}{G'_1} + \frac{F'_3 - 1}{G'_1 G'_2} + \frac{F'_4 - 1}{G'_1 G'_2 G'_3} \quad (4.24)$$

인데, 선로 이득은 선로 손실의 역수이며, 선로 잡음 계수를 선로 손실로 가정하면 다음식으로 쓸 수 있다.

$$F'_{comp} = L'_1 + L'_1 (F'_2 - 1) + \frac{L'_1 (L'_3 - 1)}{G'_2} + \frac{L'_1 L'_3 (F'_4 - 1)}{G'_2} \quad (4.25)$$

시스템 잡음 온도는 앞 식과 동일하다:

$$T_{sys} = T_A + T_{comp}$$

이제 고주파 전단부 출력의 신호 대 잡음비  $(S/N)'_{out}$ 를 구하자. 안테나 바로 뒤단의 신호( $S'_{in}$ )는 고주파부 출력까지  $L'_1$ 의 손실과  $G'_2$ 의 이득,  $L'_3$ 의 손실  $G'_4$ 의 이득을 갖는다. 시스템 잡음( $kT_{sys}W$ ) 역시  $L'_1$ 의 손실과  $G'_2$ 의 이득, 그리고,  $L'_3$ 의 손실,  $G'_4$ 의 이득을 갖는다. 그러므로, 신호 대 잡음비는

$$\left(\frac{S}{N}\right)'_{out} = \frac{S'_{in}(1/L'_1)G'_2(1/L'_3)G'_4}{(1/L'_1)G'_2(1/L'_3)G'_4(kT_{sys}W)} = \frac{S'_{in}}{kT_{sys}W} \quad (2.26)$$

이고, 위 식은

$$\left(\frac{S}{N}\right)'_{out} = \frac{S'_{in}}{k(RT_0 + T'_{comp})W} \quad (4.27)$$

이 된다.

$T'_{comp}$ 는 대입 함으로써

$$\begin{aligned} T'_{comp} &= (F'_{comp} - 1)T_0 \\ &= \left[ L'_1 + L'_1(F'_2 - 1) + \frac{L'_1(L'_3 - 1)}{G'_2} + \frac{L'_1L'_3(F'_4 - 1)}{G'_2} - 1 \right] T_0 \end{aligned}$$

또는

$$\begin{aligned} T'_{comp} &= (F'_{comp} - 1)T_0 \\ &= \left[ L'_1F'_2 + \frac{L'_1(L'_3 - 1)}{G'_2} + \frac{L'_1L'_3(F'_4 - 1)}{G'_2} - 1 \right] T_0 \end{aligned} \quad (4.28)$$

가 되고, 식을 대입하면,

$$\left(\frac{S}{N}\right)'_{out} = \frac{S'_{in}}{k \left[ R + L_1 F'_2 + \frac{L_1(L_3 - 1)}{G'_2} + \frac{L_1 L_3 (F'_4 - 1)}{G'_2} - 1 \right] T_0 W} \quad (4.29)$$

이 된다. 식(4.29)은 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$\left(\frac{S}{N}\right)'_{out} = \frac{S'_{in}}{k \sigma' T_0 W} \quad (4.30)$$

여기서,  $\sigma'$ 는 잡음 증가량이고 다음 식처럼 주어진다.

$$\sigma' = R + L_1 F'_2 + \frac{L_1(L_3 - 1)}{G'_2} + \frac{L_1 L_3 (F'_4 - 1)}{G'_2} - 1 \quad (4.31)$$

만일  $G'$ 가 크면,  $\sigma'$ 는 식(4.32)로 근사화 할 수 있다.

$$\sigma' \approx R + L_1 F'_2 - 1 \quad (4.32)$$

#### 4. 5. 3. 신호 대 잡음비의 개선

앞 두 절에서는 저잡음 증폭기가 없는 시스템의 신호 대 잡음비  $(S/N)'_{out}$ 를 유도했다. 유도한 이 두식을 서로 나누어서 신호 대 잡음비의 개선도  $Q$ 을 구하자. 신호 대 잡음비의 개선도는 안테나와 고주파단 사이에 저잡음 증폭기를 설치 함으로서 얻는 신호 대 잡음비의 개선도를 의미한다. SNR개선도  $Q$ 는

$$Q = \frac{(S/N)'_{out}}{(S/N)_{out}} \quad (4.33)$$

으로 쓸 수 있고, 앞에서 유도한 값을 대입하면

$$Q = \frac{\left(\frac{S'_m}{k\sigma' T_0 W}\right)}{\left(\frac{S_m}{k\sigma' T_0 W}\right)} = \frac{\sigma}{\sigma'} = \frac{(R-1) + L_1 F_2}{(R-1) + L_1 F'_2 + \frac{L_1(L_3-1)}{G'_2} + \frac{L_1 L_3(F'_4-1)}{G'_2}}$$

(4.34)

만일,  $G'_2$ 가 크면, 식(4.34)은 다음 식으로 근사화 할 수 있다.

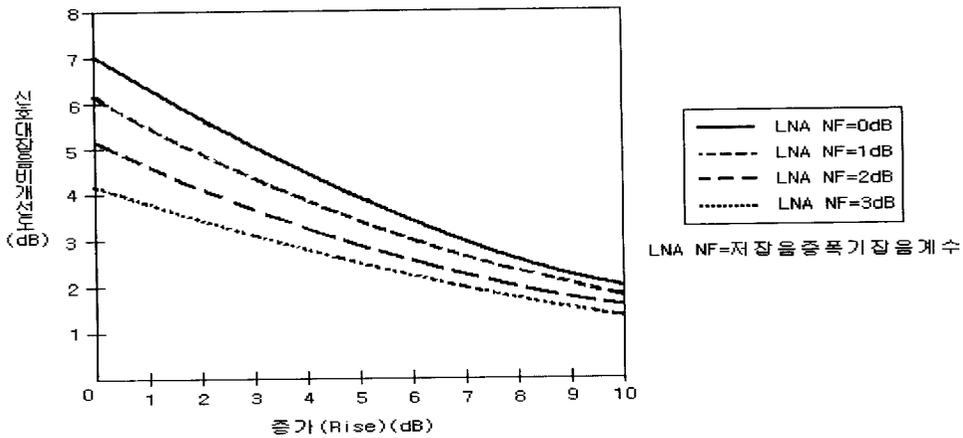
$$Q = \frac{(R-1) + L_1 F_2}{(R-1) + L_1 F'_2} \quad (4.35)$$

CDMA는 역방향 링크 전력제어를 하므로, 신호 대 잡음비의 증가는 이동국의 송신 전력 감소를 의미한다. 만일 신호 대 잡음비가 증가한다면, 이동국의 송신 전력이 필요하나 링크의 신호 대 잡음비보다 충분히 크므로 역방향 전력제어를 통하여 이동국의 전송 전력 감소를 지시한다.

그림 4.8는 역방향 링크 증가와 저잡음 증폭기 잡음 지수의 함수로 신호대 잡음비의 개선도를 보여준다. 예측한 바와 같이, 역방향 링크 증가가 커짐에 따라 (즉, 역방향 링크에 더 많은 잡음 전력을 가짐), 신호 대 잡음비의 개선도는 낮아진다. 또한, 저잡음 증폭기의 잡음 지수가 감소하면 신호 대 잡음비의 개선도는 증가한다.

그림 4.8는 저잡음 증폭기의 이득과 역방향 링크 증가의 함수로 신호 대 잡음

비의 개선도를 나타내었다. 예측한 바 와 같이, 역방향 링크 증가가 커짐에 따라 (즉, 역방향 링크에 더 많은 잡음 전력을 가짐), 신호 대 잡음비의 개선도는 낮아진다. 또한, 저잡음 증폭기의 이득이 증가하면, 신호 대 잡음비의 개선도도 증가한다. 그러나 신호 대 잡음비의 개선도는 저잡음 증폭기의 이득이 증가함에 따라서 점차 포화된다.



(그림 4.10 저잡음 증폭기 잡음 계수에 따른 신호대 잡음비의 개선도)

#### 4. 5. 4. 용량 증가

현장 실험 경로가 저잡음 증폭기가 기지국에 설치될 때, 이동국 전송 전력이 감소함을 알 수 있었다. 이것은 역방향 전력제어 때문이다. 저잡음 전력 증폭기는 수신시스템의 잡음 지수를 감소시키고 역방향 링크의 신호 대 잡음비를 증가시킨다. 링크의 신호 대 잡음비의 증가는 이동국의 송신 전력을 감소시킨다. 역방향 링크의 신호 대 잡음비가 증가하면, 역방향 전력제어는 이동국에 대해 전력 감소를 지시한다; 즉, 이동국이 역방향 링크로 필요한  $E_b/N_0$ 에 반비례한다; 즉,

$$M \approx \frac{(W/R)}{(E_b/N_a)} \left( \frac{1}{1+\gamma} \right) \lambda \left( \frac{1}{\nu} \right)$$

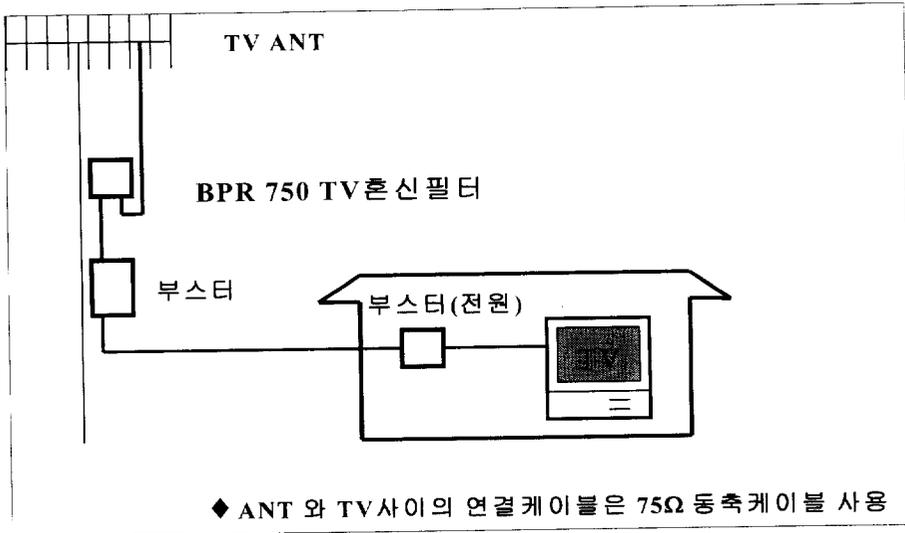
필요한  $E_b/N_0$ 는 변하지 않았으므로, 저잡음 증폭기를 갖는 기지국의 용량은 증가되지 않는다. 그러나 저잡음 증폭기를 갖지 않는 인접 기지국의 용량은 증가할 것이다. 그림 4.10은 그 이유를 설명한다. 그림 4.10에서 양쪽 기지국은 저잡음 증폭기를 갖지 않는다. 기지국 1에 의해 서비스 받는 이동국은 정상적인 전력값으로 전송하고 기지국 2는 기지국 1에 속한 이동국의 전송 전력에 의해 부하가 걸린다. 기지국 1은 저잡음 증폭기가 설치되어있고, 기지국 2는 어떤 저잡음 증폭기도 설치되어 있지 않다. 결과적으로 기지국 1에 의해 서비스 받는 이동국의 송신 전력은 작아지고, 이에 따라서 기지국 2에는 이동국에 의해 걸리는 부하가 줄어든다. 달리 표현하면, 기지국 1에 저잡음 증폭기를 설치함에 따라 기지국 2의 부하계수  $\eta$ 는 감소하게 된다.

그러므로 기지국 2의 용량은 부하계수가 작아졌기 때문에 증가하게 된다. 비록 그 효과를 수치화 하기는 쉽지 않지만, 용량증가 정도는 네트워크의 구성과 네트워크내의 이동국의 분포와 관계가 있다.

#### 4. 6. TV 부스터 필요파에 따른 해결방안

제 3장에서 언급된 내용과 같이 불요파의 종류와 발생경로가 워낙 다양하고 발생시간을 예측할 수없기 때문에 이 모든 경우들을 막는 것은 무리이다. 그러나 어느 정도는 간단한 작업으로 문제해결 및 예방이 가능하기에 그것들을 소개하고자 한다. 먼저 TV부스터에서 발생하는 불요파 해소의 경우 일단 어느 지역에서 신호가 발생하는지까지 Check되었으면 그 부스터를 제거하는 것이 최우선책

이다. 그러나 그렇지 못할 경우 그림 4.11과 같이 필터를 달아주는 것을 가장 많이 사용하고 있다. 기지국을 이설하거나 유선방송을 가입시키는 방법도 있으나 그 비용이 필터를 달아주는 것보단 저렴하지 않다.



(그림 4.11 TV혼신제거용 FILTER 적용방법)

그림 4.11는 TV부스터의 SINGLE TONE NOISE 제거하는 필터로TV부스터의 입력측에 삽입(안테나방향)하여주는 방법으로 간단하게 설치하여 불요파 문제를 해결할 수있다.



(그림 4.12 TV혼신제거용 FILTER )

## 5. 결론

본 논문에서는 PCS 시스템 원리와 여러 가지 종류의 간섭 현황을 기술하여 최근 이동통신 업체간 또는 기타 무선통신기기의 불량으로 인하여 발생하는 불요파에 대해서 살펴보고 그 문제점과 해결 방안을 제시하였다. 그 예로 기지국(BTS)에서 스펙트럼 분석기를 이용하여 기지국 수신감도와 스펙트럼 분석기가 탑재된 차량으로 불요파 발생의 근원지를 추적하여 불요파 발생의 근원지를 추적하고 그 요인을 제거하는 방안을 설명하였다. 불요파가 발생하면 모기지국(BTS)에서의 잡음(noise) 레벨을 높이는 결과를 가져오게 되며, 이러한 잡음이 일정수준 이상일 경우에는 기지국의 커버리지와 용량 모두를 줄이게 된다. 중계기에서 발생하는 불요파는 중계기의 적절한 설계와 설치 및 파라미터 조정을 통하여 이러한 문제를 해결할 수 있다. 또한 본 연구에서는 PCS 시스템의 적절한 파라미터 조정과 안테나 방향 조작 및 LNA 설치전과 후를 설명하여 순방향, 역방향 링크에서의 간섭을 최소화하는 방법을 기술하였다. 그리고, TV 부스터에 필터를 달아서 불요파를 제거 하여  $-60 \sim -80\text{dBm}$  정도로 수신되는 불요파를 약  $-100\text{dBm}$  이하로 제거할 수 있음을 보여주었다. 그리고 각 BTS 성능의 척도가 되는 소통율, 완료율, 절단율에 있어서도 불요파를 제거하기 전후를 비교해 볼 때 절단율이 0.5%이상이 개선된 것을 알 수가 있었다.

불요파의 발생은 무선통신이 대중화되고 더욱 발전함에 따라서 점점 더 다양해 질 수 있다. 불요파의 종류와 그 신호의 세기도 다양해짐은 물론 불요파의 발생은 예측이 어렵기 때문에 지속적으로 예방 연구 차원에서 불요파가 발생되지 않도록 제반 무선 제휴의 표준화 기술이 선행되어야 한다.

## 참고 문헌

- [1] John L.B. Walker, *"High-Power GaAs FET Amplifiers"*, Artech House, 1993.
- [2] T.S. Laverghetta, *"Handbook of Microwave Testing"*, Artech House, 1980.
- [3] PN-3647, *Recommended Minimum Performance Standards for Dual Mode Wideband Spread Spectrum Cellular Base station*
- [4] William C.Y.Lee, *Mobile Communication Engineering*, New York, McGraw-Hill, 1982
- [5] William C.Y.Lee, *Overview of Cellular CDMA*, *IEEE Trans. Commun.*, pp.291-302, May 1991
- [6] Padovani, R., "Reverse Link Performance of IS-95 Based Cellular Systems," *IEEE Personal Communications Magazine*, 1994.
- [7] Sael C. Yang 저, 김남수 역 "CDMA 이동통신 공학", 대영사, 1999.

## 감사의 글

이 학위 논문이 있기까지 모든 면에서 자상한 지도와 보살핌을 주신 하덕호 교수님의 은혜에 진심으로 감사 드립니다.

또한 본 논문이 책으로 출판되기까지 아낌없는 충고와 조언을 해 주신 심사위원 김석태 교수님과 주문갑 교수님께 감사드리며, 또한 불요파 제거 방법에 대한 이론적인 기술자료와 세미나 자료등 많은 도움을 주신 동고동락한 연구실 동료인 안재성 선생님, 박규석, 김태홍, 황인권 이하 여러 후배들에게도 진심으로 감사드립니다.

그 동안 연구실 생활을 하면서 많이 느끼고 배웠습니다. 지금까지 이렇게 학위논문을 무사히 완성할 수 있었던 것은 교수님 이하 연구실 부원들의 한결같은 도움과 충고 덕분으로 이루어낸 결과물이라 여기며 감사드립니다.

그리고 2년 동안 힘들게 뒷바라지를 해 준 우리 가족 모두에게 감사드리고, 아쉽고 부족했던 2년의 석사과정을 뒤로 보내며, 앞으로의 사회생활을 해 나가는데 있어서 이 경험을 바탕으로 더 큰 삶을 살기 위해 최선을 다하겠습니다.

2005년 새해에는 모두 복 많이 받으시고 하시고자 하는 일 다 성취하는 한 해가 되시길 바랍니다.

감사합니다.

2005년 1월

양 재 원