

안테나 측정 및 성능 향상

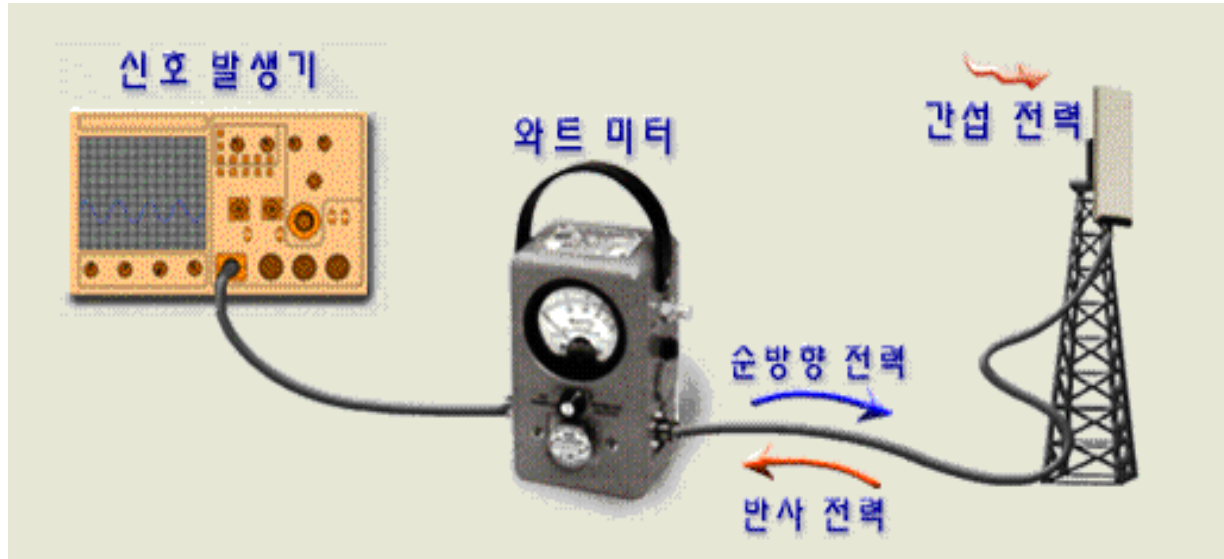
1. 기본적 안테나
2. 측정 안테나의 공간 이격과 분리도
3. 안테나에서 IM

1. 기본적 안테나 측정

리턴로스/정재파비의 측정

- ❖ 정재파비는 입력된 전압(전류)에 대한 반사 전압(전류)의 비.
- ❖ 리턴 로스는 입력 전력에 대한 반사 전력의 비로 측정
- ❖ 일반적으로 리턴 로스를 측정하여 정재파비를 구한다.
- 정재파비 및 리턴 로스의 측정 방법
 - 와트 미터를 이용한 방법
 - 네트워크 분석기를 이용한 방법
 - 스펙트럼 분석기를 이용한 방법

리턴로스/정재파비의 측정-와트미터



$$\text{리턴 로스 (dB)} = 10 \log_{10} \frac{\text{순방향 전력}}{\text{반사 전력}}$$

- **와트 미터 (Wattmeter)** : 방향성 결합기, 다이오드 검출기 (Diode detector)와 측정기 등으로 구성된 전력 측정 계기.
- 일반적인 전력계와의 차이점은 신호 발생기와 안테나를 연결하는 급전선에 직렬로 와트 미터를 연결하여 순방향전력 및 역방향전력을 동시에 측정.

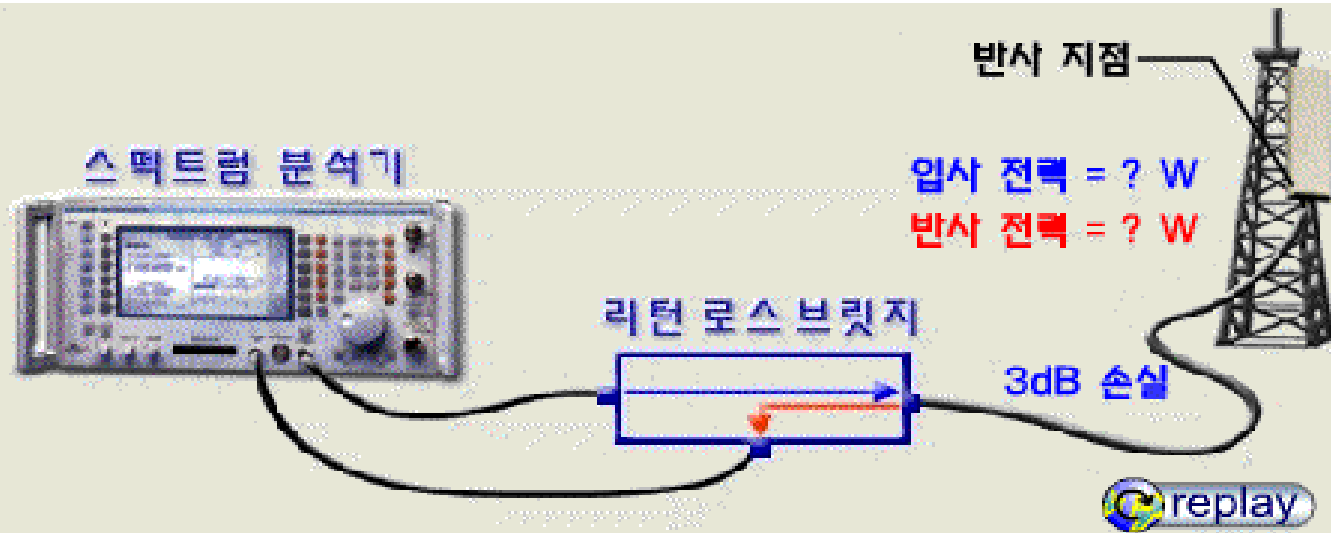
- 외부의 간섭원이 안테나로 유입되었을 경우에는 심각한 오차가 발생할 수 있으므로 전자파 무반사실과 같은 격리된 장소에서 측정
- 기지국 현장에서는 이러한 외부 간섭 전력에 대한 충분한 고려가 있어야 함.

리턴로스/정재파비의 측정-스펙트럼 분석기



- 스펙트럼 분석기 : 주파수 Domain 신호 분석기로서 X축에는 주파수 Y축에는 전력레벨을 표시.
- 어떤 신호에 어떤 주파수 성분을 포함하고 있으며 각 주파수 성분들의 전력레벨을 얼마인가를 분석 할 수 있는 측정기.
- 스펙트럼 분석기는 자체에 신호 발생기를 내장하여 어떤 시스템이나 소자들의 주파수 응답을 측정.
- 리턴 로스 브릿지 : 순방향 전력과 반사 전력 측정하기 위한 장치로써 Isolator 또는 Circulator 와 비슷한 기능을 함.
- 브릿지에는 3개의 포트가 있습니다. 2개의 포트에는 각각 신호 발생기, DUT(Device Under Test, 여기서는 안테나와 급전선)를 연결하면 다른 한쪽포트에서는 반사파 전력이 출력.

- 스펙트럼 분석기 측정 시 가장 큰 장점은 스펙트럼 분석기의 주파수 선택도 때문에 외부에서 유입된 신호를 추출할 수 있으므로 측정의 정확도를 상당히 높일 수 있다.
- 스펙트럼 분석기에 의해 반사 전력을 측정하는 경우는 측정기와 안테나 고장 위치 사이의 거리에 의해 실제 반사 전력보다 측정된 값이 더 작게 나타난다는 것에 주의.



스펙트럼 분석기의 RF OUT이 100W 이고 RF IN이 1W입니다. 브릿지에서부터 고장지점까지의 손실이 3dB이고 리턴 로스 브릿지까지의 점퍼 케이블 손실과 브릿지에서의 손실이 없다고 가정하면 다음의 값들은 얼마가 될까요?

측정된 리턴 로스 = 20 dB

확인

반사 지점에서의 반사 전력 = 2 W

확인

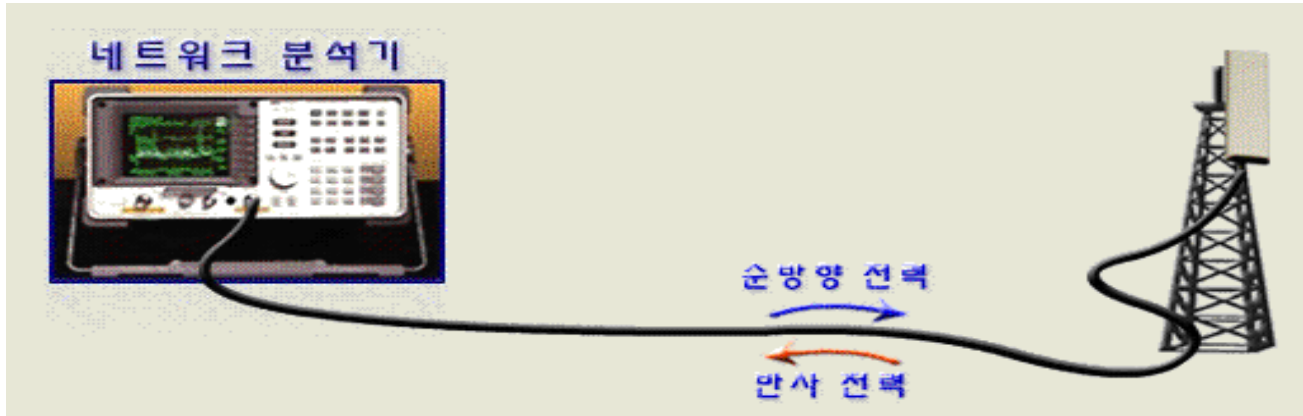
반사 지점에서의 입사 전력 = 50 W

확인

반사 지점에서의 리턴 로스 = 14 dB (= $10 \log_{10} 50/2$)

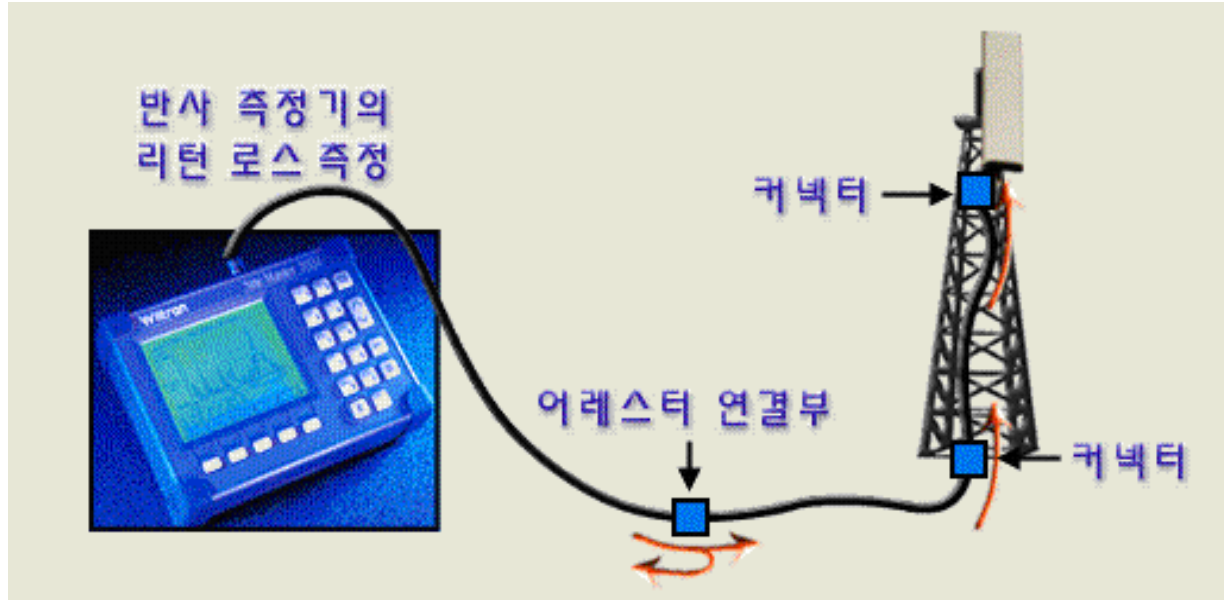
확인

리턴로스/정재파비의 측정-네트워크 분석기



- 네트워크 분석기(Network Analyzer)는 RF 소자의 특성을 분석하기 위한 측정기로서 RF 분야에서 가장 폭 넓게 활용되는 장비.
- 일반적으로 2개의 측정 포트가 있는데, 정재파비를 측정할 경우에는 하나의 포트만 안테나의 입력단에 연결하여 사용.
- 네트워크 분석기의 장점
 - 다른 장비나 소자가 없이도 간단히 필요한 값을 측정.
 - 측정된 값을 손으로 환산하지 않고도 결과의 표시 방법을 다양하게 선택 가능.

리턴로스/정재파비의 측정-FDR



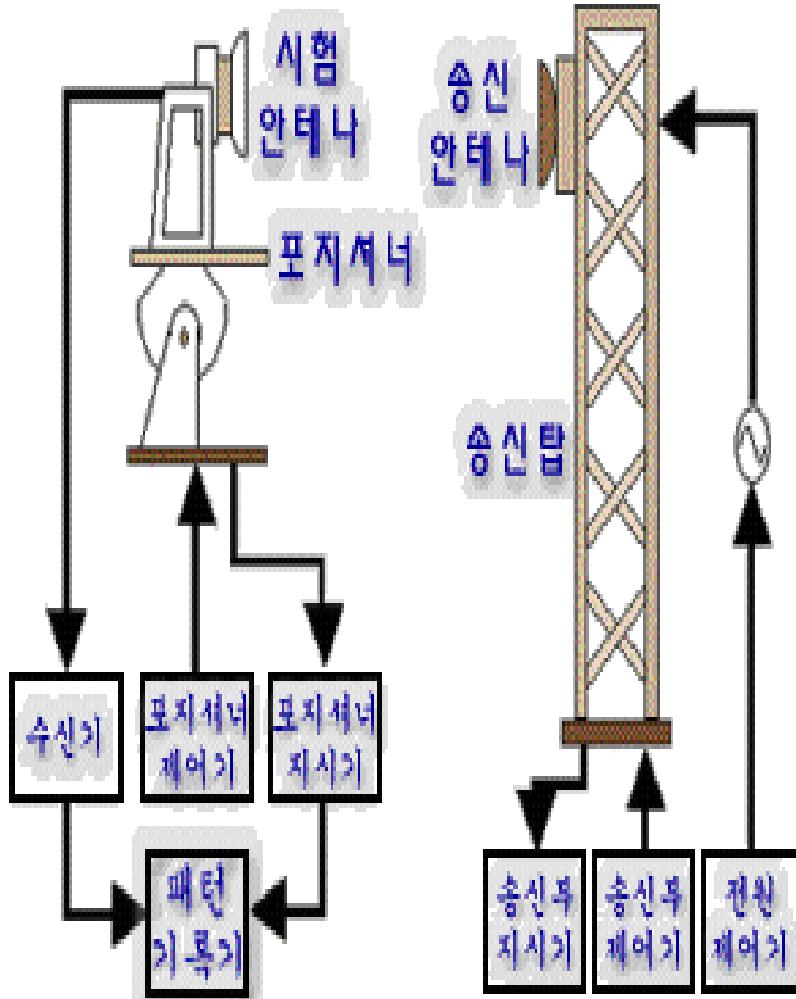
- 반사 측정기는 순수하게 리턴 로스를 측정하기 위하여 고안된 장비로서 정밀한 측정을 할 수 있다.
- 반사 측정기(Reflector meter)는 동작 원리에 따라 TDR(Time Domain Reflector meter, 시간 영역 반사 측정기)과 FDR(Frequency Domain Reflector meter, 주파수 영역 반사 측정기)로 구분.

정재파비의 측정-FDR



- FDR은 연속적인 주파수를 발생시키는 Sweep Generator, 반사되는 전력을 받아서 처리하는 수신기, 송신 및 수신 전력을 분리하는 브릿지 회로와 측정 결과를 표시하는 디스플레이 부분으로 구성.
- FDR의 장점
 - 전파의 지연 시간을 이용한 신호 처리 방법으로 반사되는 지점을 예측할 수 있다.
 - 결과를 거리에 대한 리턴로스의 크기로 나타냄으로써 반사 전력의 크기를 예측할 수 있다.
 - 외부 간섭 전력의 영향을 받지 않고 측정할 수 있다.

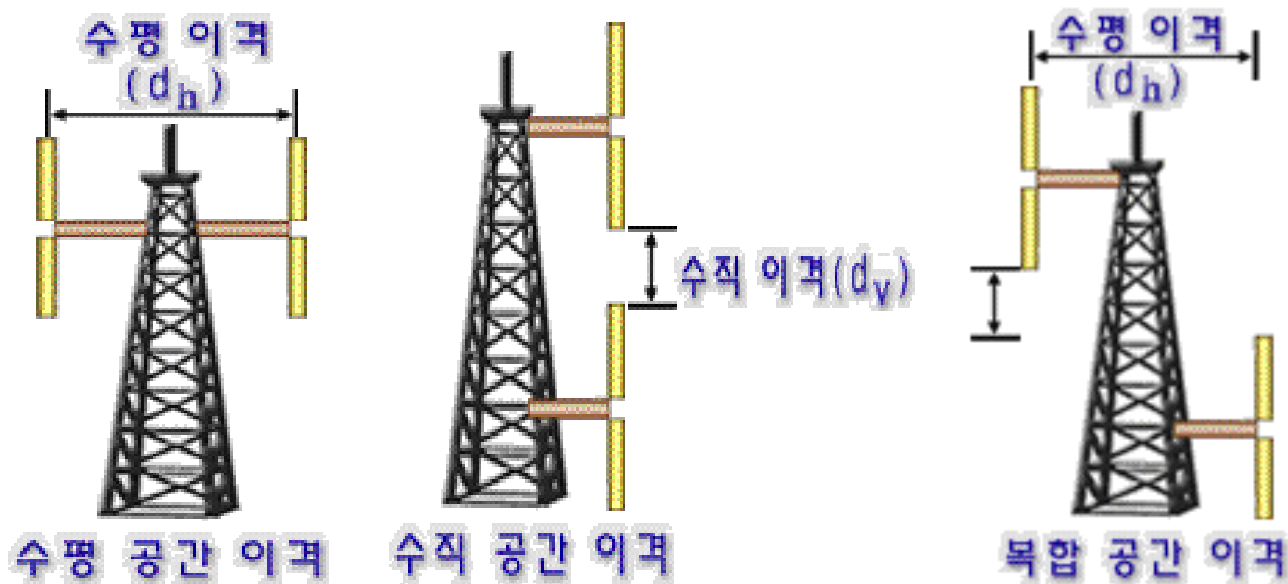
방사패턴 측정



- 안테나의 방사 패턴을 측정하는 방법은 송신 안테나와 시험 안테나 간의 거리에 따라 크게 Far-Field 측정법과 Near-Field 측정법으로 구분.
- 일반적으로 전자파 무 반사실과 같이 넓은 공간에서는 주로 Far-Field 측정법을 이용.
- 안테나의 방사 패턴은 송신 안테나를 고정시킨 상태에서 측정하고자 하는 안테나가 수신 안테나가 되도록 하고 그 수신 안테나를 기준으로 하여 측정.
- 측정은 수신 안테나를 360° 회전시키면서 각 도에 대한 정보와 수신 전력을 기록하는 방법이다.

2. 안테나의 공간 이격과 분리도

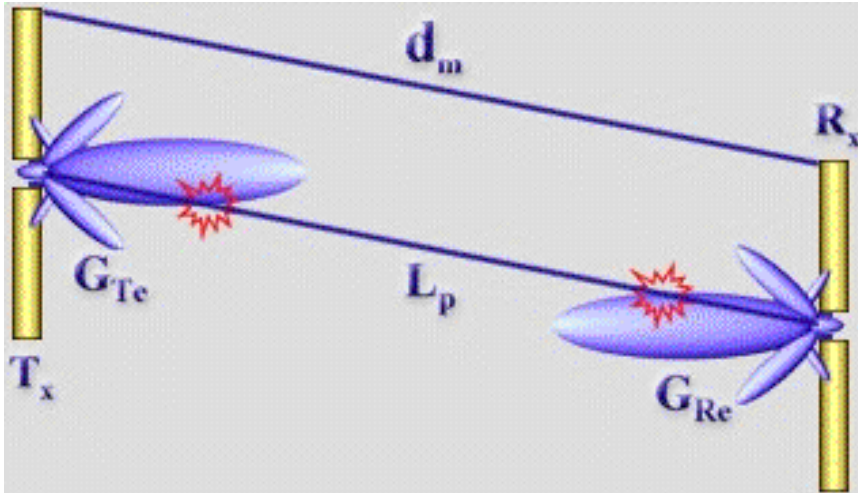
안테나 공간 이격-종류



- 안테나 사이에 특히 송.수신 안테나 사이가 너무 근접하면 수신기에 송신 전력이 유입되어 수신 감도 저하(수신기에 큰 전력이 유입되면 수신기 증폭단을 포화시켜 수신기의 감도가 저하하는 현상이 생깁니다.)나 IM(능동 또는 수동 소자의 비선형 특성때문에 생기는 현상으로서 예를 들어 수신기에 송신 전력이 유입되면 수신 증폭단에서는 송신 주파수와 수신주파수가 결합하여 제 3의 주파수가 생깁니다. 이러한 현상을 IM(Inter Modulation) 이라고 합니다.) 간섭을 일으킨다.
- 이러한 간섭을 피하기 위해서는 두 안테나 사이에 충분한 분리도(송신 안테나의 출력이 수신 안테나로 유입 될 때 발생하는 감쇄량(Attenuation)을 나타낸다.

- 두 안테나 사이의 분리도가 크다는 것은 안테나 간의 영향을 작게 받는다는 것을 의미.
- 분리도의 크기는 안테나 사이의 공간 이격 및 안테나의 이득에 영향을 많이 받게 된다.
- (격리 또는 Isolation)를 확보하도록 시스템을 설계해야 합니다.
- 두 안테나 사이의 분리는 전기적인 방법(두 안테나 사이에 Isolator나 필터 등 RF 소자를 사용하여 분리도를 증가시키는 방법) 또는 공간적인 방법(두 안테나 사이의 거리를 증가 시킴으로써 분리도를 높이는 방법)을 사용하여 얻을 수 있으며 공간적인 방법에는 수평 공간이격(Horizontal Spacing), 수직 공간이격(Vertical Spacing) 그리고 앞의 두가지 방식을 혼용한 복합 공간이격(Combined Spacing)이 있다.

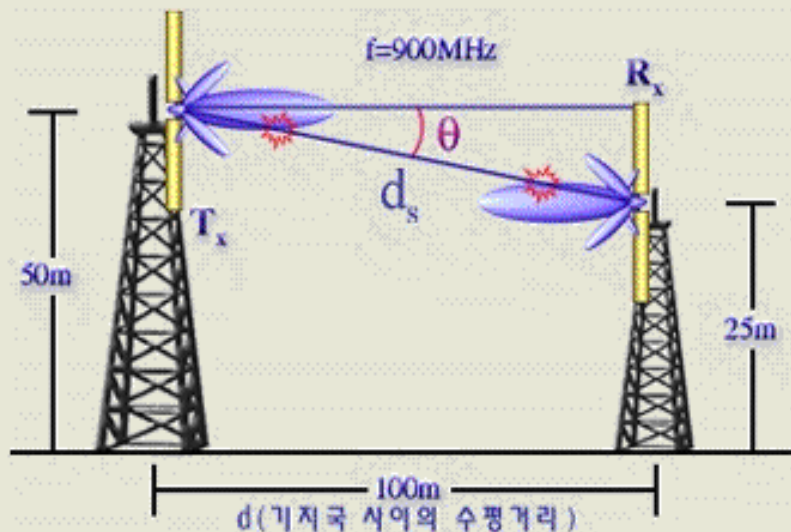
분리도 개념



$$I(dB) = L_p(dB) - G_{Te}(dB) - G_{Re}(dB)$$

- 분리도(Isolation)란 두 안테나 사이에 발생할 수 있는 손실을 의미하며 유효 송신 안테나 이득 (G_{te}), 전파 손실 (L_p) 그리고 유효 수신 안테나 이득(G_{Re})에 의해 결정.

분리도 계산



$$\begin{aligned}
 I(\text{dB}) &= L_p(\text{dB}) - G_{T_e}(\text{dB}) - G_{R_e}(\text{dB}) \\
 &= 131.72 - 10 - 10 \\
 &= 111.72
 \end{aligned}$$

자, 여기서는 두 안테나 사이의 분리도를 계산해 봅시다.

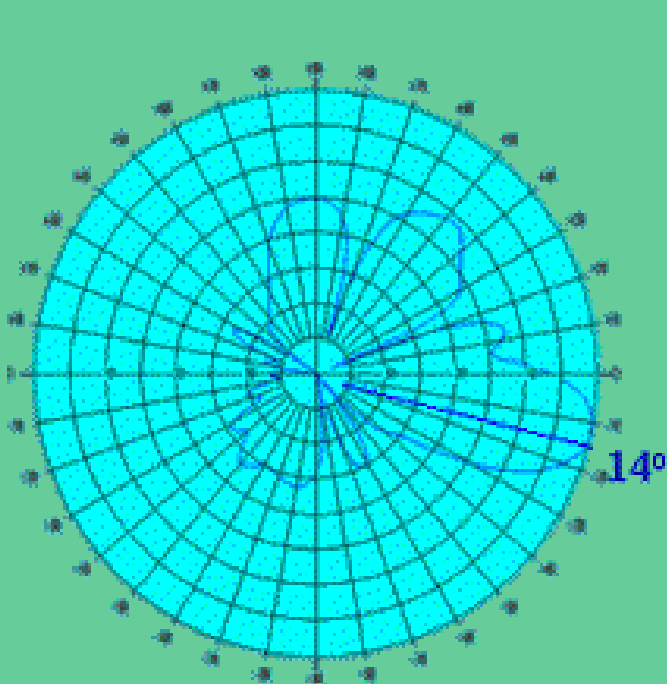
$$\begin{aligned}
 d_s &= [d^2 + (50 - 25)^2]^{1/2} = 103 \\
 L_p &= 20 \log(4 \pi / \lambda) \\
 &= -27.6 + 20 \log(d[\text{m}]) + 20 \log(f[\text{MHz}]) \\
 &= -27.6 + 20 \log 103 + 20 \log(900) \\
 &= -27.6 + 40.3 + 59.1 = 71.8
 \end{aligned}$$

$G_{T_e}(\text{dB})$ 와 $G_{R_e}(\text{dB})$ 를 구하기 위해서는 먼저 θ 를 알아야 합니다.

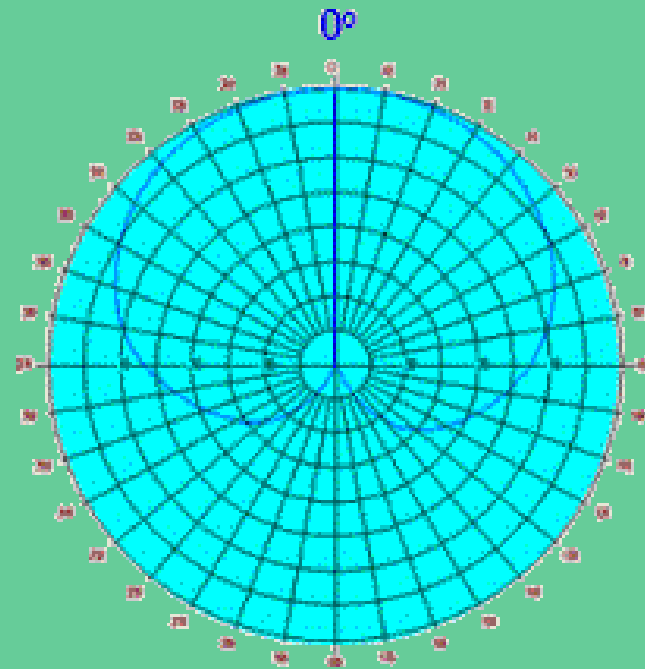
$$\tan \theta = \frac{50 - 25}{100} = 14^\circ$$

안테나 패턴도를 이용하여 $\theta = 14^\circ$ 방향의 이득을 찾아보세요.

$$\begin{aligned}
 G_{T_e} &= 10 \text{ dBi} \\
 G_{R_e} &= 10 \text{ dBi}
 \end{aligned}$$



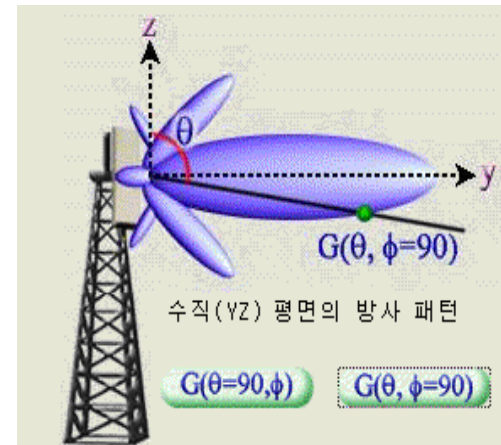
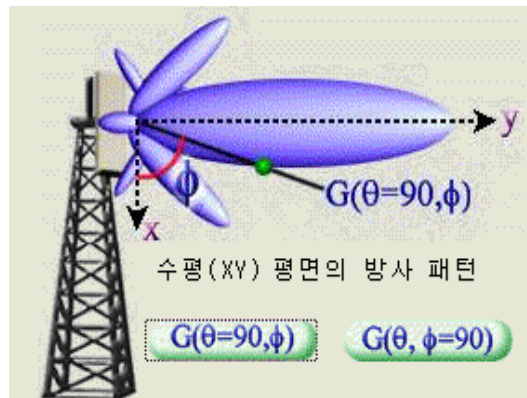
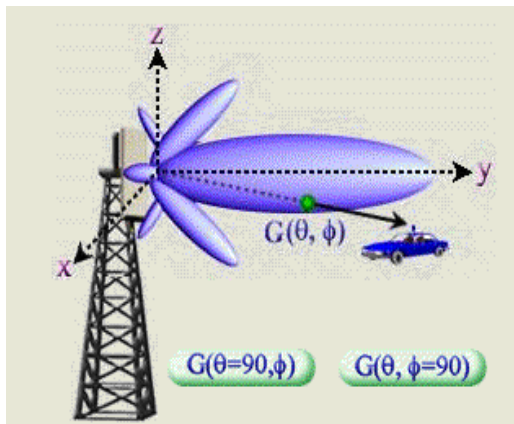
10dBi ,880MHz,
수직 방사 패턴



10dBi ,880MHz,
수평 방사 패턴

앞의 그림에서 사용된 송신 안테나와 수신 안테나의 사양은 동일합니다.





- 안테나 방사 패턴에서 임의의 방향에 대한 이득($G(\Theta, \Phi)$)은 다음과 같이 최대 이득에서 각 방향의 감소량을 빼어서 계산.

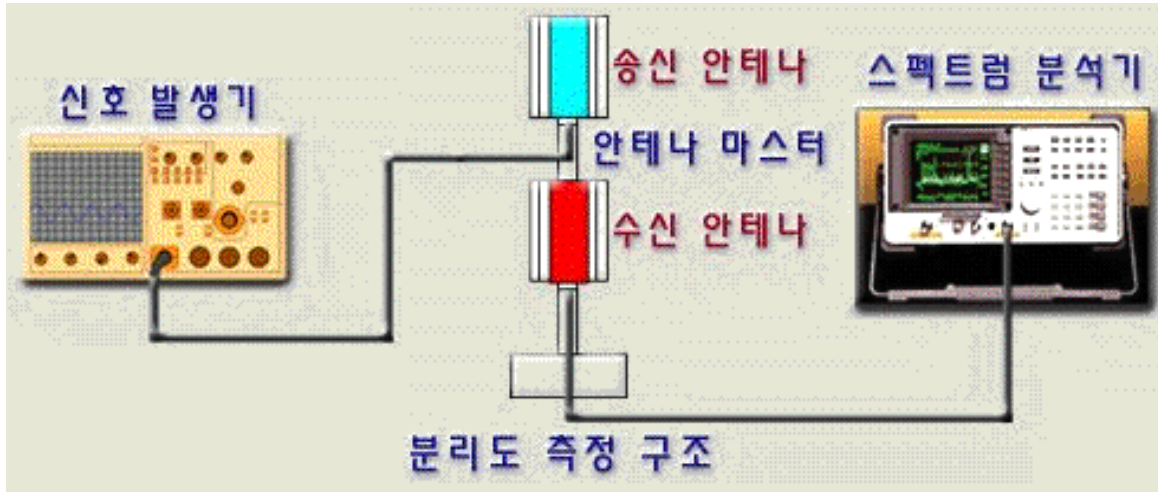
$$G(\theta, \phi) = G_0 - G_\phi - G_\theta$$

$$G_\phi = G_0 - G(\theta = 90, \phi)$$

$$G_\theta = G_0 - G(\theta, \phi = 90)$$

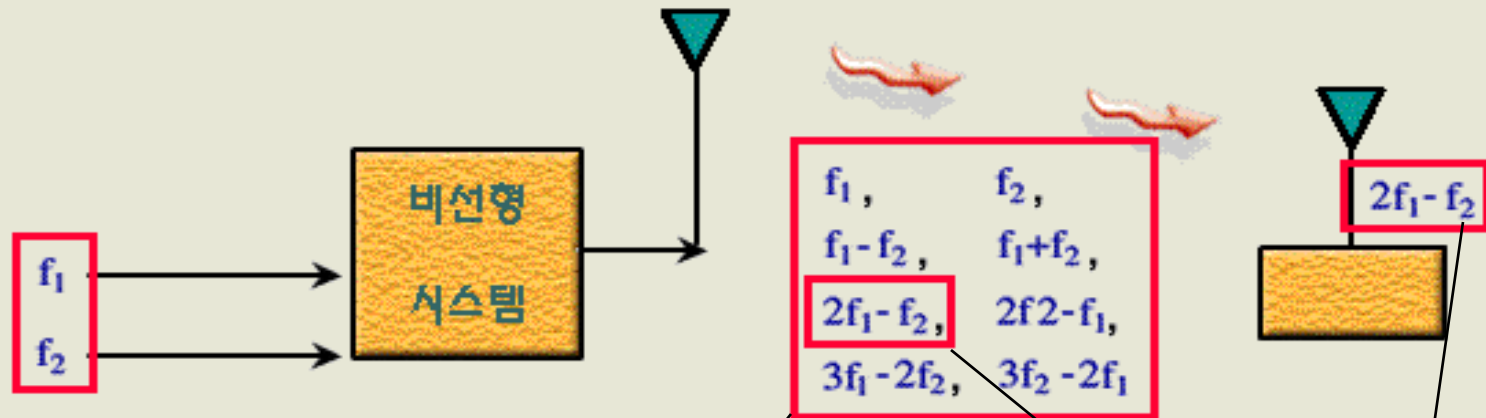
- 최대 이득이 10dBi인 안테나의 임의의 지점 $G(\Theta = 90, \Phi)$, $G(\Theta, \Phi = 90)$ 가 각각 5, 7dB라고 하면 원하는 방향의 안테나 이득은 얼마일까요?
- $10 - (10 - 5) - (10 - 7) = 2\text{dB}$

분리도 측정



- 수평/수직 이격 거리에 따른 분리도는 송신 안테나에 수신기의 수신 대역에 해당하는 신호를 인가한 후 수신 안테나에서 수신되는 신호의 전력을 측정.
- 안테나의 분리도 측정 시스템은 송수신 안테나를 안테나 마스터에 연결하여 이격 거리를 조절할 수 있게 한다. 그 구조를 보면 신호 발생기는 송신 안테나에 연결하고 스펙트럼 분석기는 수신 안테나에 연결하게 되어 있다.

안테나에서 IM

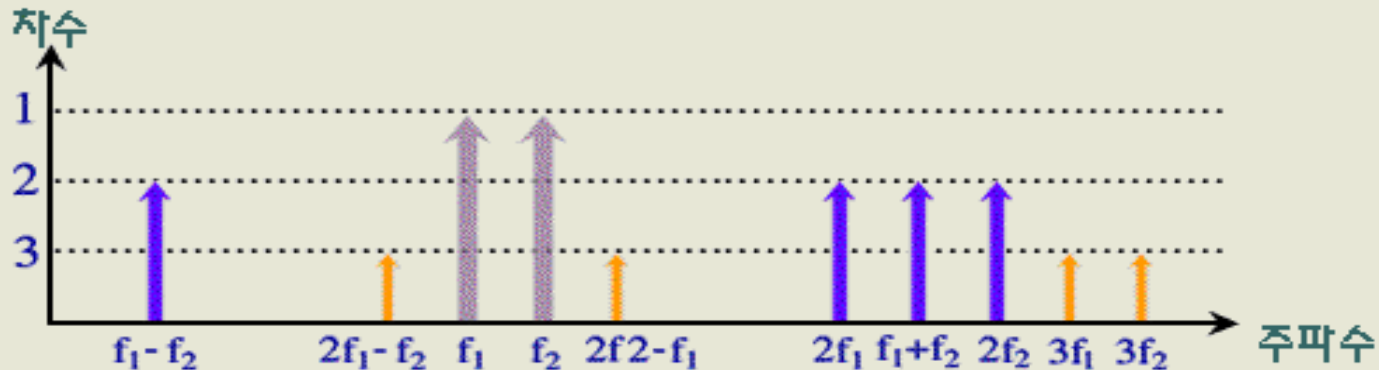


IM(Inter-Modulation, 상호 변조)은 원하거나 혹은 원하지 않는 두 개 이상의 주파수 신호가 비선형 시스템에 들어갔을 때 **비선형 특성에 의해 상호 결합**하여 **불요파를 생성**하는 것을 말합니다.

IM에 의해 생성된 불요파들을 IMP(Inter-modulation Product, 상호 변조적)라고 하는데, 이러한 IMP가 주변에 있는 수신기의 수신 대역으로 떨어지면 전파 간섭을 일으킵니다.

능동 소자에서의 증폭기, 수동 소자에서의 페라이트 아이솔레이터 등은 비선형 특성을 나타내며 금속의 느슨해진 접촉, 녹슨 부위 등도 비선형 특성을 나타냅니다.

IM의 발생

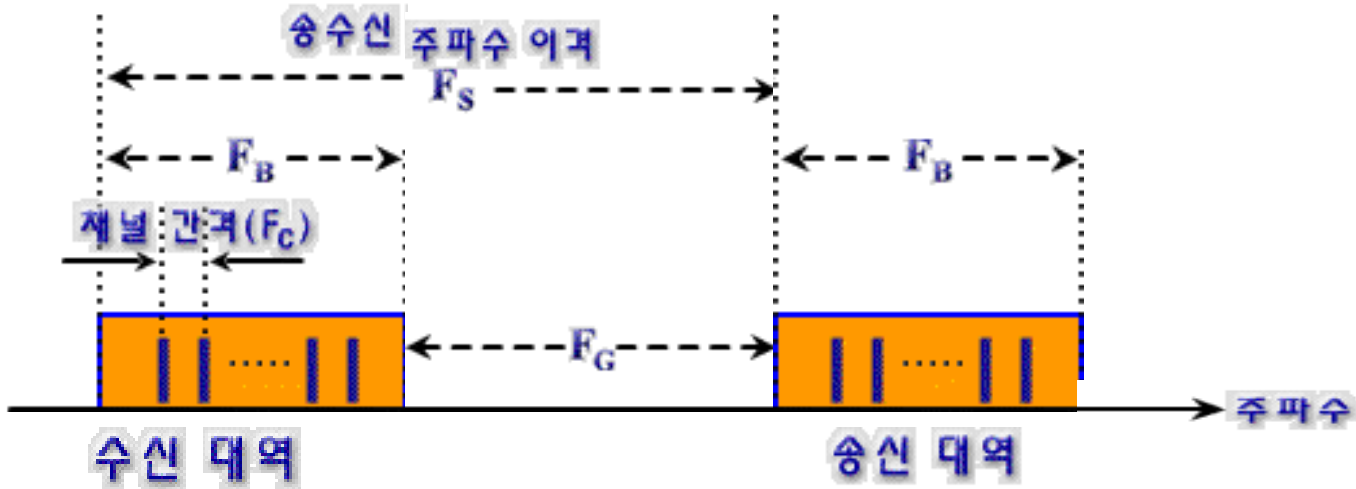


IM에 의해 생겨난 주파수들(IMF)은 반송파(또는 운용 주파수)를 중심으로 상하로 넓게 나타납니다. 짝수차 IM들은 반송파와 멀리 떨어져 있으므로 대역 통과 필터에 의해 쉽게 제거되어 별 문제를 일으키지 않습니다.

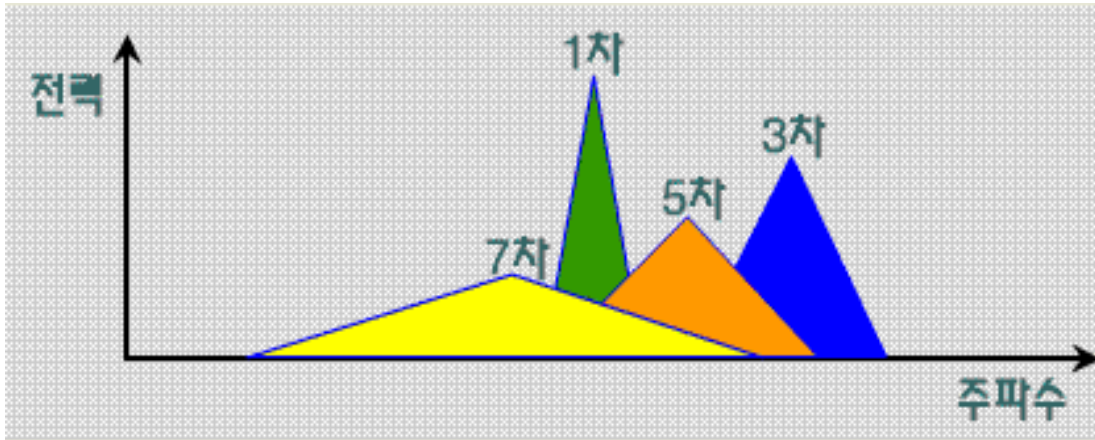
가장 문제가 되는 것은 홀수차 IM 중에서도 3차 IM ($2f_1-f_2$ 또는 $2f_2-f_1$) 으로, 운용 주파수와 가장 근접해 있으며 통과 대역폭 내에 들어 있으므로 타 시스템에 간섭을 일으킬 우려가 가장 많습니다.

- $2f_1-f_2$, $2f_2-f_1$ 형태의 IM을 3차 (제 2고조파와 1고조파가 결합한 형태) IM 이라고 하며, $3f_1$ 고조파와 $2f_2$ 고조파가 결합한 형태의 IM은 5차($3+2$) IM 이라고 한다.

IM의 발생-셀룰러주파수 대역

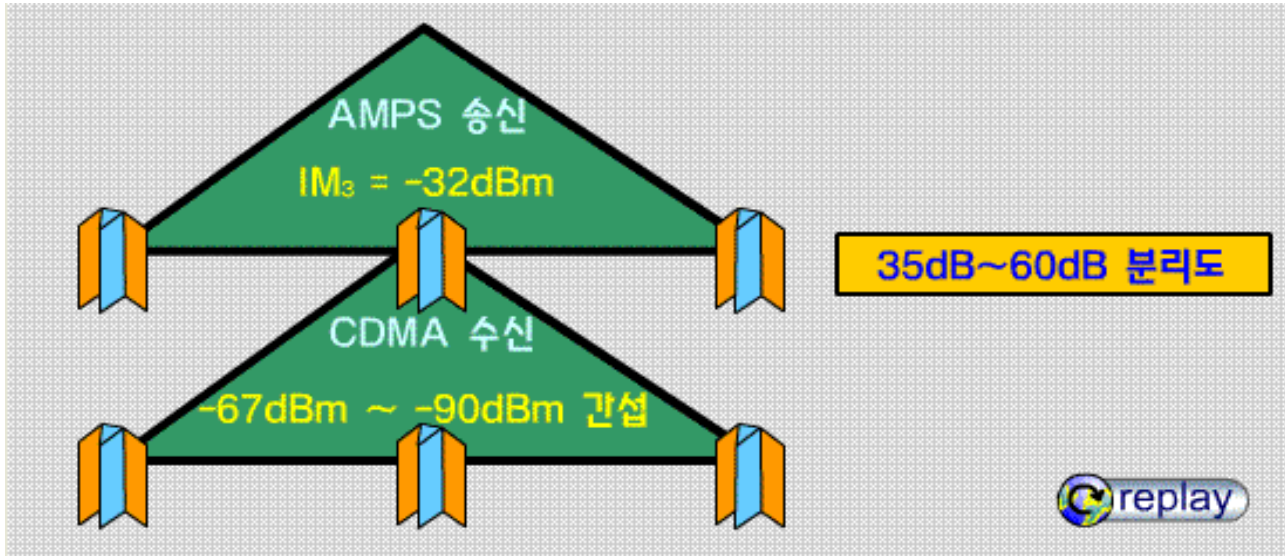


- 홀수차 IM 신호들 (3차, 5차, 7차...)이 송신 주파수 대역 주변에 넓게 나타나면 수신 대역까지 영향을 미치게 된다.
- 송신 안테나와 수신 안테나가 근접하게 설치된 경우 이러한 IM신호들에 의해 수신기가 방해를 받는다.
- F_S/F_C 가 정수이면 IM주파수는 수신 주파수에 정확히 떨어지게 되지만 정수가 아니면 발생한 IM주파수는 정확한 수신 주파수에 떨어지지 않는다.



- IMP(상호 변조적)의 전력 레벨은 차수가 높아질수록 낮아지며 점유 주파수 대역폭은 차수가 높아질수록 증가 .

안테나 IM 문제



- 증폭기에서 생기는 IM은 후단의 대역 통과 필터에서 감쇄를 받는다.
- 안테나에서 생기는 IM은 필터링을 거치지 않고 공간에 방사되기 때문에 반송파 주파수에서 멀리 떨어진 주파수일지라도 수신기를 충분히 방해할 수 있다.

□ 일반적으로 공유 기지국에서 AMPS 안테나와 CDMA 안테나 사이의 수직 이격에 의한 분리도 (Isolation) 는 약 35dB ~ 60dB이며, AMPS 안테나 시스템에서 발생한 3차 IM의 레벨은 약 -32dBm입니다. 따라서 약 -67dBm ~ -90dBm의 IMP가 CDMA 수신기에 유입될 수 있다는 것을 알 수 있다.

IM에 의해 발생한 간섭 신호는 CDMA의 수신 감도 -122dBm 보다 무려 55dB나 크기때문에(-67dbm) 통화품질의 열화뿐만 아니라 커버리지(Coverage)의 감소를 초래할 수 있다.

CDMA의 수신 감도

$$\square \text{ 전체 잡음 전력} = kTBF = kTB(\text{dBm}) + F(\text{dB})$$

$$= -113 \text{ dBm} + 5$$

$$= -108 \text{ dBm}$$

여기서 k 는 볼츠만 상수, T 는 절대 온도, B 는 신호의 주파수 대역,
 F 는 수신기의 전체 잡음 지수

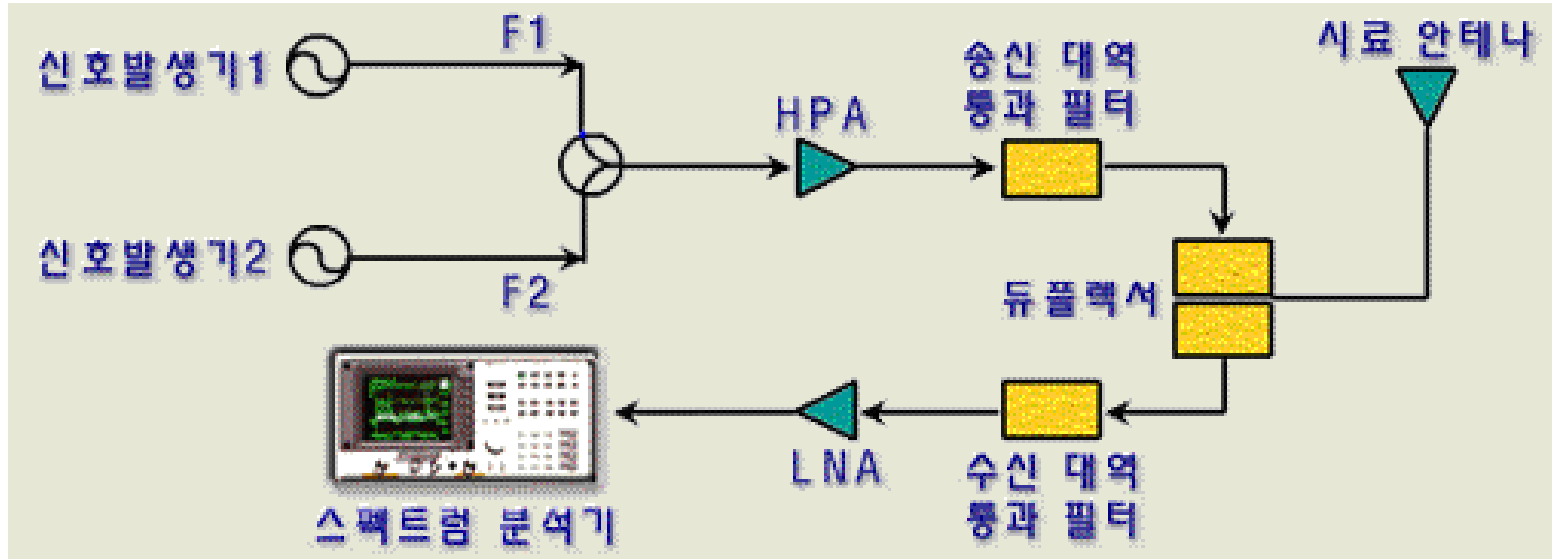
$$\square \text{ 수신기의 감도} = (\text{전체 잡음 전력}) + (E_b/N_0) - (\text{Processing Gain})$$

$$= -108 + 7 \text{ dB} - 21 \text{ dB}$$

$$= -122 \text{ dBm}$$

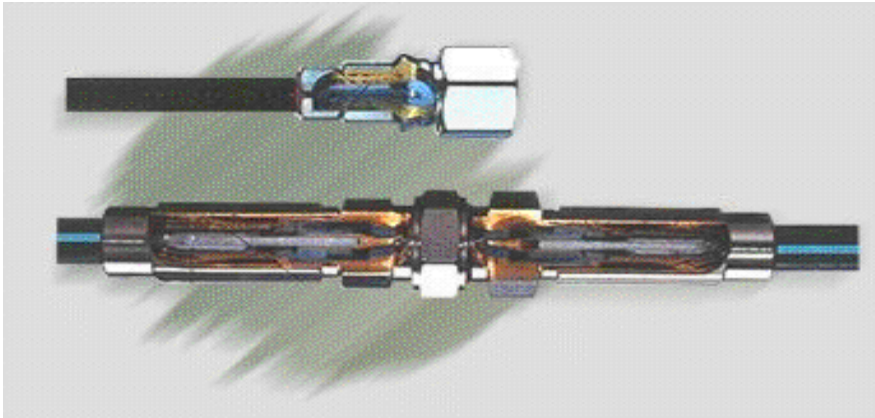
여기서 E_b/N_0 는 목표로 하는 수신기의 성능을 얻기 위한 신호 대 잡음비이며, Processing Gain 은 주파수 확산 방식을 사용하는 CDMA 시스템에서 얻을 수 있는 처리 이득

안테나 IM 측정



- F1과 F2를 고정하고 측정하고자 하는 시료를 여러가지로 바꾸어 가면서 수신단에서 3차 IM 신호(IP3)에 해당하는 주파수의 세기를 측정.
- 기지국 안테나에 요구되는 IMP의 레벨은 140dBc이상을 만족해야 한다.

안테나 IM의 억제



- 수동 IM을 줄이기 위해서는 송신단의 커넥터 갯수를 최대한으로 줄이고,
- 커넥터 접촉이 견고히 유지되도록 하며,
- 항상 청결을 유지하여 부식되지 않도록 해야 한다.

□ 수동 IM의 억제 방법

- 금, 은, 황동, 베릴륨, 동 등의 결합은 IM을 감소.
- 양질의 도금은 IM 발생을 감소.
- 접촉 결합 부위의 청결을 유지하면 IM을 감소.
- 철, 니켈, 알루미늄 등은 IM을 증가.
- 부식은 IM 발생을 증가.
- 오래된 부품은 IM을 증가.