

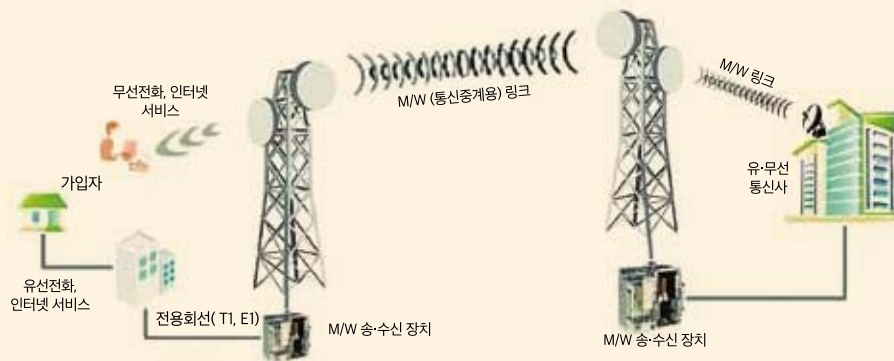
마이크로웨이브 통신기술 소개



강원도 해발 1,573m 함백산 마이크로웨이브 통신소

무선통신은 공기를 매질로 전기적 신호를 전파를 통해 전달하는 통신방식이다. 무선통신의 매질인 자유공간은 본질적으로 매우 넓은 주파수 대역을 가지고 있는데, 오늘날 무선통신 기술은 높은 주파수로의 개발에 주력하고 있다. 마이크로파(Micro Wave)를 이용하는 통신은 지상 마이크로웨이브와 위성을 이용하는 마이크로웨이브 통신이 있으며, 마이크로웨이브 통신은 방송중계와 유선망 구축이 곤란한 도서, 산악지역 등에서 널리 이용되고 있다.

국내 마이크로웨이브 통신은 1967년 서울 ~ 부산 간 아날로그 방식으로 개통한 것이 최초이다. 이후 방송중계와 장거리 시외통신망의 주종으로 공급되다가 1970년대부터 디지털 변조방식으로 마이크로웨이브가 시작되었다. 1990년 중반부터는 종전까지의 비동기식 전송방식에서 동기식 전송방식으로 전환한 디지털 마이크로웨이브 시스템이 상용화에 이르게 되었고, 이즈음에 아날로그 방식의 마이크로웨이브 시설은 자취를 감추게 되었다. 디지털 마이크로웨이브 전송방식은 외부잡음의 영향에 강하여 신호대 잡음비가 양호한 신호재생이 가능하며, 현재는 2,048 QAM 변조방식이 도입되어 기가급(Giga-bps)으로의 용량과 처리기술이 상용화되었다.



마이크로웨이브 통신망 구성

대표적인 마이크로웨이브 시스템의 주요제원은 주파수 범위(3GHz~38GHz), 전송대역폭(3.5MHz~56MHz), 전송속도(약 300Mbps), 송신기 출력(0.3~5.0Watt)으로 장비생산 회사의 모델별로 다소 차이가 있다. 국내 방송사와 통신사업자의 마이크로웨이브 설비는 대부분 외국에서 수입하여 사용하고 있으며, 마이크로웨이브통신 시스템은 일반적으로 신뢰성이 높기 때문에 집중감시 운용센터를 제외하고는 대부분 무인으로 운용하고 있다.

마이크로웨이브 통신장비는 고정형과 이동형의 구조로 사용하고 있다. 고정형은 연주소와 송신소 간(STL) 또는 중계소 간(TTL)에 고정되어 사용한다. 이동형은 방송현장 중계, 스포츠 방송중계, 재난복구 통신망 구성 등에 사용되고 있다.



이동형 마이크로웨이브 통신 구성도

빛의 성질에 가까운 마이크로웨이브

마이크로웨이브는 3GHz~3,000GHz의 넓은 주파수대역을 이용하는 방식으로 마이크로파는 센티미터파(SHF), 밀리미터파(EHF), 데시밀리미터파(THF) 3개의 광대역으로 분류하고 있다. 지상과 위성통신의 마이크로웨이브는 주로 3~30GHz 대역의 센티미터파를 이용하고 있다. 그러나 30GHz~3,000GHz 대역의 밀리미터파와 데시밀리미터파는 마이크로파로 분류하기도 하나 별도로 취급하는 경우가 많다. 전파의 가장 높은 주파수 3,000GHz는 원적외선에 근접한다. 주파수가 높아질수록 파장이 짧아 시스템을 구성하는 부품의 크기가 작아지므로 통신장비가 소형, 경량화될 수 있다. 그렇지만 주파수가 높아질수록 강우나 공기 중의 수증기, 산소분자 등에 의한 신호감쇠가 심해 전송거리가 비교적 짧아지는 특성이 있다.

종류	주파수	파장
센티미터파(SHF)	3 ~ 30GHz	10Cm ~ 1Cm
밀리미터파(EHF)	30 ~ 300GHz	10mm ~ 1mm
데시밀리미터파(THF)	300 ~ 3,000GHz	1mm ~ 100um

마이크로파 대역 명칭(IEEE Frequency Bands)

S Band	2 ~ 4GHz	(3.7~4.2)
C Band	4 ~ 8GHz	(4.4~5.0, 5.925~6.425, 6.425~7.125, 7.725~8.275)
X Band	8 ~ 12.5GHz	(10.7~11.7)
Ku Band	12.5 ~ 18GHz	(12.7~13.25, 14.4~15.2, 17.7~18.14)
K Band	18 ~ 26.5GHz	(19.26~19.7, 21.2~23.6)
Ka Band	26.5 ~ 40GHz	(29.3~34)
Millimeter Wave	40 ~ 300GHz	
Sub millimeter Wave	300 ~ 3000GHz	

(괄호)는 국내 사용되는 방송, 통신용 마이크로웨이브 주파수

방송, 통신용 마이크로웨이브

마이크로파 중에서 실제로 방송용과 통신용으로 가장 많이 사용하는 주파수 대역은 3GHz~30GHz의 센티미터파로 파장으로 환산하면 10cm~1cm 크기로 매우 작은편이다. 마이크로파는 빛에 가까운 직진성의 성질을 지닌다고 할 수 있다. 일정한 방향과 두 지점 경로 사이에 장애물이 없는 가시거리 통신이며 적은 전력으로 멀리까지 전달하는 강한 특징을 가지고 있다. 가장 폭넓게 활용되는 분야는 방송 중계, 위성통신, 도서통신, 기상정보 등에 이용되고 있다. 육지와 섬 또는 섬 사이에 유선통신을 위한 케이블을 시설하기는 어렵다. 이러한 유선통신이 어려운 섬 지역에서 대용량의 무선통신으로 실현하는 기술이 바로 마이크로웨이브 통신이다. 마이크로웨이브는 단순한 전파신호를 넘어 대용량의 음성·영상·기가이더넷 통신을 마이크로파를 이용해 수백 킬로미터(km)까지 전달할 수 있다. 마이크로웨이브 전파의 도달이 적절한 거리로 50km를 표준으로 시스템을 설계하고 있으며, 국내 최대 전송거리는 강원도 함백산에서 울릉도에 이르는 172km이다. 1와트(30dBm)의 낮은 전력으로 170여 킬로미터까지 마이크로웨이브 통신을 사용하고 있다. 이렇듯 마이크로웨이브는 다양한 분야에 광범위한 용도로 활용되고 있다.



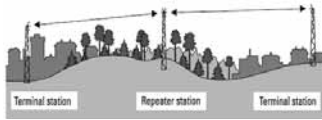
강원도 태백(함백산) - 울릉도(감람계) 간 172km 마이크로웨이브 무선구간

도서 지역의 필수통신 마이크로웨이브

국내 마이크로웨이브 통신은 도서 지역 통신망을 구성하는데 가장 많이 활용하고 있다. 우리나라는 유·무인도를 합한 섬이 3,300여 개에 이르는데, 이곳에 많은 비용을 들여 바닷 속으로 해서 광케이블을 설치하기 곤란한 지역의 통신을 위한 필수장비로 마이크로웨이브를 이용하고 있다. 또한 도서 지역 통신의 보편적 의무제공을 위해서도 필수적인 통신기술이다. 보편적 의무는 지역과 관계없이 통신 이용자 모두에게 동일수준의 서비스를 제공하는 것이다. 농어촌 및 도서지역 거주자에게도 도심지역 사용자와 동일한 수준의 통신 서비스를 제공해야 한다는 규정이다. 마이크로웨이브 통신을 이용한 도서 지역 통신서비스 환경을 도시 수준으로 광대역 기가급 인터넷과 LTE 이동통신, 고화질의 IPTV 등을 제공하고 있다. 앞으로 도서 산간지역에서도 5G, IoT 등 초고속 광대역 서비스가 가능하도록 마이크로웨이브 주파수 확보 및 추가공급 계획을 마련하고 있다.

지상 마이크로웨이브 통신의 중계방식

마이크로웨이브 중계방식은 직접중계, 무급전중계(반사판, 안테나) 방식으로 크게 분류하고 있다. 두 지점 간에 가시거리 가능한 구간을 직접중계 방식이라 한다. 두 지점 간 거리가 가까워도 높은 산 등의 장애에 의해 전파가 직접 전달할 수 없는 경우가 있다. 이런 경우 두 지점 사이에 직선이 아닌 우회 장소에 반사판(PR, Passive Relais)을 설치하여 전파의 전달 방향만을 변경하는 무급전 중계방식이 있다.



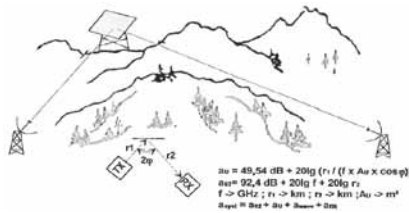
직접중계방식(DL, Direct Link System)

두 지점 간의 공간에 전파경로의 장애가 없어 LOS(Line of Sight) 조건을 만족하며 여러 중계소를 연결하여 전달 가능한 방식이다. 대부분 직접중계 방식을 이용하고 있다.

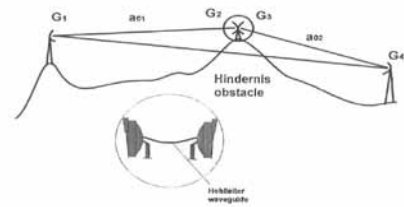
직접중계방식 (LOS)

무급전중계방식(Passive Repeater 또는 Back To Back)

직접중계 방식이 곤란한 구간에 반사판 등을 사용하는 방식이다. 무급전중계방식은 신호손실이 발생하고 특히 반사판의 경우 위상변화에 의한 영향이 있을 수 있다. 여러 구간을 중계하기에는 무리가 있어 대개 한 구간으로 하고 있다. 안테나 중계방식(Back to Back)을 적용할 경우에는 안테나 간 연결하는 급전선(Wave Guide)의 길이는 최소로 하여야 한다. 그리고 2개의 안테나는 동일 선상에 위치하여야 다른 영향 없이 통신에 유리하다. 반사판 중계방식(Passive)에서 반사판의 위치는 두 지점 사이에서 어느 한쪽 지점으로 인접한 대략 5Km 이내 장소에 설치하여야 한다. 만약 통신거리 중간지점에 위치할 경우에는 무리가 있다. 이러한 특수한 경우를 제외하고는 거의 직선경로의 직접중계 방식으로 선택하고 있다.



반사판 중계방식 (PR)



안테나 중계방식 (BTB)

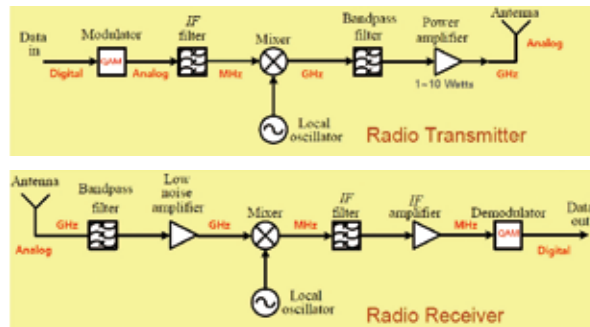
마이크로웨이브 시스템 구성

마이크로웨이브 시스템의 구성은 크게 송수신 무선장비, 파라보라 안테나, 급전선, 공기주입기로 나누고 있다.

송수신 무선장비(RF)

디지털마이크로웨이브 송수신 장비는 디지털 입력신호를 중간주파수(IF)로 변조한 후 국부발진기에서 발생한 주파수를 혼합하여 GHz 마이크로파로 상승변환 한다. 변환된 마이크로파는 고출력 증폭기에 의하여 신호세력을 증폭하여 안테나로 보내진다.

수신된 마이크로파 신호는 우선 잡음지수가 낮은 저잡음 증폭기에서 낮은 신호를 증폭한다. 증폭된 마이크로파 신호는 국부발진기에 의해 발생한 주파수와 혼합기(Mixer)에서 결합하여 중간주파수로 변환한다. 중간주파수로 변환된 수신신호는 복조기에 알맞은 레벨로 증폭시켜 자동이득제어(AGC : Automatic Gain Control) 기능을 한다. 복조기는 중간주파수 신호를 복조하여 디지털 신호로 재생한다.



마이크로웨이브 무선송수신 계통도

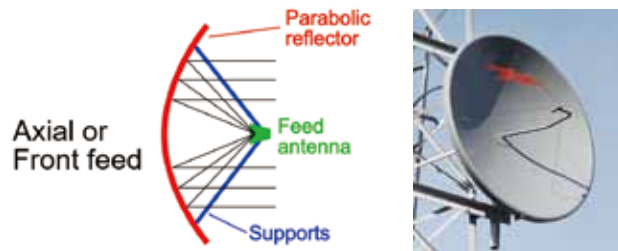


마이크로웨이브 무선송수신 장비

마이크로웨이브 안테나의 종류

동축 반사형 (Axial 또는 Front feed)

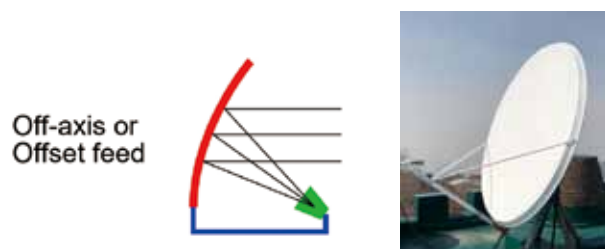
포물선의 꼭짓점이 반사면의 정 가운데 놓이는 방식이다. 이 방식은 설계가 쉽다는 장점이 있지만, 피더-혼 안테나와 피더-혼 삼각 지지대가 반사면의 일부를 가리게 되는 단점이 있다. 지상 마이크로웨이브 통신은 대부분 동축 반사형을 이용하고 있다.



동축반사형 파라보라 안테나

오프셋형 (Off-axis 또는 Offset Feed)

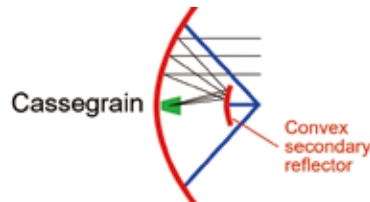
포물선의 꼭짓점을 벗어난 구간으로 반사면을 만드는 방식이다. 초점이 반사면을 벗어나 잡히게 되므로 반사면 전체를 이용할 수 있다. 대신 반사면을 설치할 때 전파원의 방향에 대한 주의가 필요하다. 이와 같이 방물면의 일부분만 반사기로서 사용하는 파라보라 안테나를 Off-Set Parabolic 안테나라고 한다. 이 피더-혼의 위치는 파라보릭면에서 반사된 전파가 발사원의 영향을 받지 않도록 하기 위한 것이다. 피더-혼은 경사지게 놓아서 목적방향으로 최대의 방사가 되도록 설치한다.



오프셋형 파라보라 안테나

카스그레인형 (Cassegrain)

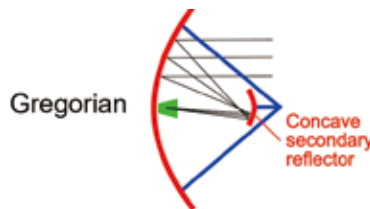
포물면의 초점에 이중으로 반사경을 달고 피더-혼 안테나는 반사면 쪽에 부착하는 방식이다. 전파망원경과 같이 거대한 파라보라 안테나에 쓰이고 있다. 이와 같은 카스그레인 안테나는 초점거리가 짧고 반사기에서 높은 이득을 얻어진다. 또한 대지에서의 잡음방사를 충분히 막을 수 있으므로 특성이 좋은 저잡음 안테나로서 위성통신 등에 사용되고 있다.



카스그레인형 파라보라 안테나

· 그레고리형 (Gregorian)

카스그레인 안테나와 유사하나 초점의 반사면을 타원면으로 만들어 안테나 효율을 더 올리는게 특징이다. 카스그레인 안테나의 수신 효율이 60~70%인데 반해 그레고리 안테나는 그 이상이 된다.



그레고리형 파라보라 안테나

마이크로웨이브 급전선(Wave-Guide)

급전선은 무선주파 에너지를 전송하기 위하여 무선 송수신기와 안테나 사이를 연결하는 도선이다. 높은 주파수대 특히 GHz에서는 안테나 급전선으로 동축케이블 사용은 어렵다. 동축케이블은 도체를 포함한 유전체 등에 의해 손실이 매우 크기 때문이다. 이것을 방지하기 위하여 비금속관 내로 전자파를 전송한다. 따라서 유전체 손실은 적어지며 감쇠는 외부도체에만 관련된다. 이와 같이 관으로 되어있는 것을 도파관(Wave Guide)이라고 한다. 도파관은 속이 빈 금속관으로 일종의 고역필터로 관내 모드는 일정한 차단 파장을 가지고 그것보다 긴 파장의 전파는 통과시키지 않는다.

도파관에는 사각형(Rectangular Wave Guide), 원형(Cylindrical Wave Guide), 타원형(Elliptical Wave Guide) 및 변형도파관(Flexible Twistable Wave Guide) 등으로 구분할 수 있다. 실내 마이크로웨이브 장비 간에 결합하는 데에는 사각형 도파관을 사용한다. 마이크로웨이브 장비와 외부에 설치된 안테나 간에 연결 케이블은 주로 타원형 도파관을 이용하고 있다. 도파관의 구경 크기는 사용하는 주파수의 파장에 따라서 내부 치수가 다르다. 주파수가 높아질수록 즉 파장이 짧아질수록 도파관의 내부 치수는 작아지며, 도파관의 굽기에 따라 사용 주파수대를 짐작할 수 있다.



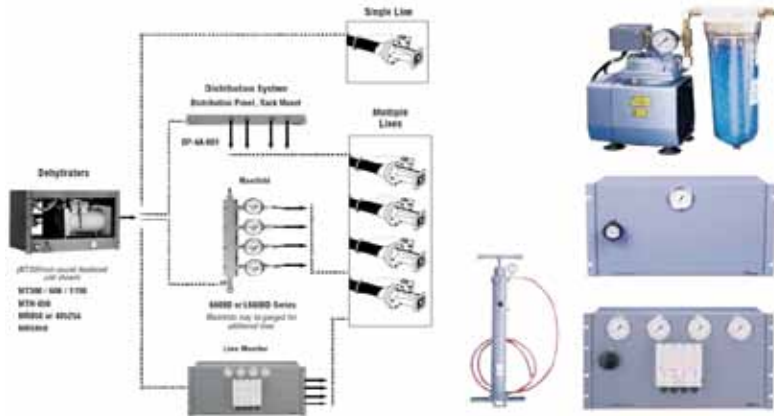
HELIAX Elliptical Waveguide



Rectangular/Flexible Waveguides

공기주입기(DryLine Dehydrators)

급전선 도파관 내에 습기를 배제하기 위하여 공기주입기에서 질소(nitrogen Gas) 또는 건조된 공기(Drying)를 도파관에 주입하여야 한다. Silicagel을 이용한 건조된 공기를 주입하여 도파관 내의 습기발생을 제거한다. 만약 도파관 내에 습기가 발생할 경우 습기에 의한 반사파가 형성된다. 이는 전파진행에 방해가 주게 되며, 특정주파수에서 간섭파가 발생되어 통신에 차질을 일으킨다. 주입된 공기가 누설되는 경우 빠른 시일 내 원인을 찾아 보수하여야 한다. 방지할 경우 내부의 얼음이나 수분이 축적되어 낭패에 이르게 된다. 공기누설의 대부분은 피더-혼 에서의 공기 차단막(윈도우) 파손과 안테나와 도파관 연결 사이점에서 발생한다. 공기 누설의 원인을 찾는 방법으로는 연결점에 비눗물을 묻혀 비눗방울이 올라올 때 공기가 누설되는 것이다. 만약 안테나 피더-혼 파손에 따른 공기누설은 외부에 있는 안테나 카바를 해체하여 보수해야 하는 어려운 환경이 있다. 안테나와 도파관을 연결할 때 완벽하게 조립하여야 공기누설 사고를 예방할 수 있다.



공기주입기 종류와 연결

반사판(PR, Passive Relais)

마이크로웨이브 통신은 가시거리(LOS) 구간이 필요하지만 높은 산 등으로 비가시거리(NLOS) 구간이 발생된다. 이러한 비가시거리 구간에 반사판을 이용하여 마이크로웨이브 통신이 가능하도록 한다. 반사판은 금속판을 사용하여 전파를 반사시킨다. 반사판의 재료에는 도전율을 높이고 무게를 가볍게 하며, 부식을 방지하기 위하여 알루미늄 합금제품을 사용한다. 반사판의 효율은 반사판 면의 손실, 면의 굴곡 및 만곡에 생기는 산란이나 위상에 의한 손실로 정해진다. 반사판의 만곡을 $\pm\lambda/16$ 이내로 하면 손실은 1.0dB 이내로 된다. 반사판의 지향은 대단히 예민하며, 반사판의 입사각과 반사각이 같을 때 최대지향 방향이 얻어진다. 반사판의 이득은 반사판의 크기 및 반사각과 구간 거리에 따라 좌우되며, 반사판 사용은 반사각이 최대 130도를 넘지 않아야 한다. 반사각이 120도 이상일 경우는 2개의 반사판을 사용해야 하며 반사각이 작은 경우에는 위상차로 인한 간섭의 영향을 검토하여야 한다. 반사판 지지철탑은 반사판을



마이크로웨이브 반사판

지지하기 위한 중량물이므로 풍속 60m/s에서 장애를 발생해서는 안 된다. 반사판 사용으로 주파수 간섭문제와 위상변화, 편파분리도 변화 등에 많은 문제점이 내포될 수 있으므로 반사판 사용을 최소화되어야 한다. 반사판의 크기(세로×가로)는 10×16, 12×16, 16×20, 16×24, 20×24, 30×40 등으로 사용하고 있다.

정말 그런가요? 마이크로웨이브 무선통신이 광 유선통신보다 더 빠르다



매질

통신은 매질을 이용하여 전달한다. 무선통신은 공기(Air)를 매질로 이용하는 통신이다. 광통신은 광섬유(Optical) 매질을 이용하는데, 통신 네트워크를 지날 때 매질의 굴절률에 의하여 통신지연이 발생한다. 이를 Delay 또는 Latency 라고 표현한다. 아래와 같이 매질의 굴절률에 의하여 통신속도를 알 수 있다.

빛의 속도와 굴절률 관계

속도를 구하는 공식

$$V = c / n$$

- c: 진공 중의 빛의 속도, 30만km/초 (299,792,458m/s)

- n: 매질의 굴절률(Refractive index)

매질의 굴절률과 속도

- 공 : 1 (속도 2.997×10E8 m/s)

- 공기 : 1.000292 (속도 2.999×10E8 m/s)

- 물 : 1.333333 (속도 2.250×10E8 m/s)

- 청영유리 : 1.46 (속도 2.054×10E8 m/s)

- 울반유리 : 1.52 (속도 1.993×10E8 m/s)

자연에서 가장 빠른 속도는 매질이 없는 진공 중의 빛의 속도이다. 마이크로웨이브 전파는 자유공간인 공기의 굴절률(1.0)로 진행하므로 지연은 적다. 광통신은 유리섬유로 제작된 광케이블의 굴절률(≈1.4)로 인하여 지연이 생긴다.

Km 거리당 통신지연 시간

- 무선, 마이크로웨이브 = 3.3us/km

- 유선, 광케이블 = 5.0us/km

500Km 동일거리에서 통신지연 비교

- 무선, 마이크로웨이브 = 3.3us×500km = 1.65ms delay

- 유선, 광케이블 = 5.0us×500km = 2.50ms delay

마이크로웨이브는 본질적으로 빛의 속도에 가까운 직선성이기 때문에, **지연시간이 적은 마이크로웨이브 통신이 광케이블 통신보다 50% 더 빠르다.** 같은 마이크로웨이브 전파를 이용하는 무궁화위성은 35,786Km의 원거리 구간으로 통신지연이 많이 발생한다. 이를 위성방송 중계를 통해서 느낄 수 있다. ☹