

원방감시 시스템의 원리와 응용(6)

글/윤 갑 구(에이스기술단 대표/기술사)
이 두 수(한양대학교 전자공학과 교수)

목 차

- I. 서론
- II. 사업수행과 관리
- III. 단말장치
- IV. 원격통신
 3. 무선주파수 통신
- V. 중앙제어소 구성
- VI. 인간-기계연락장치
- VII. 진보된 SCADA 개념
- VIII. 국내현황
- IX. 외국의 기술동향
- X. 결론

IV. 원격통신

3. 무선주파수 통신(Radio Frequency Communications)

전력회사의 시스템 운영에 대한 무선주파수 사용이 최근 40년에 걸쳐 꾸준히 증가하고 있다. 전력회사들은 HF대역에서 시작해서 VHF, UHF, EHF대역에 걸쳐서 무선주파수의 발전이 수반되었다. 초기 적용은 급전소(Dispatch Centers)와 현장작업원(Crews)사이의 음성통신을 위한 것이다. 최근 50년 동안 VHF, UHF주파수들은 원격검침용과 음성통신

을 공유한 SCADA 적용에 사용되었고, 특별히 점대다중점 무선링크는 원격검침과 SCADA 시스템에 응용하기 위해 개발되었다. 24채널 펄스폭변조(Pulse Width Modulated)무선은 전력회사 사무실과 서비스스테이션, 급전소간에 기존 선로시스템을 대체하기 위하여 최근 전력회사가 40년동안 사용한 제1차 마이크로웨이브 시스템이다. 마이크로웨이브 시스템은 전력회사의 중추 통신망이 된 주파수 분할 다중화(FDM: Frequency Division Modulation)방식으로 발전되었다. 데이터 회로수가 상당히 증가함에 따라 디지털변조 마이크로웨이브 시스템이 개발되었다. 초기에는 전력회사에서 디지털변조 마이크로웨이브 무선방식의 이용이 제한적이었다. 왜냐하면 디지털 마이크로웨이브 단말의 비용은 아날로그 마이크로웨이브 단말보다 약 2배이기 때문이다. 그러나 디지털무선의 높은 비용은 디지털 채널뱅크가 사용될 때 실현되는 비용절감으로 상쇄된다. 4선 E&M 채널카드 구조를 가진 표준 D4 디지털 채널뱅크는 비슷한 아날로그 마이크로웨이브 채널장비보다 가격이 25% 절감된다. 데이터 전송비율이 9600bps 이상일 때 데이터 요구수가 증가함에 따라 비용절감효과는 훨씬 더 커진다. 또한 전력회사가(디지털 변조가 주로 사용되는)광섬유 시스템을 일찍 채택하려면 디지털 마이크로웨이브 시스템으로 전환하는 일을 서둘러야 한다. 그러나 아직도 많은 전력회사들은 장기계획에 아날로그 마이크로웨이브 시스템을 포함시키고 있다.

3.1 전자기적 전파(Electromagnetic Propagation)

전자기적 스펙트럼 범위는 표 4-2에서 보듯이 시

물변 주파수(0Hz)에서 한계값이 약 1×10^{25} Hz인 우주선까지이다. 저주파수 무선전파 방사는 감쇄없이 지구표면을 따라 진행한다. 지구표면 위를 진행하는 지표파는 수백, 수천 마일 주야로 쓸 수 있다. 고주파수인 경우 지표파의 에너지는 표면을 이동하면서 눈에 띄게 흡수되기 때문에 지표파는 약화된다. 500~1,500kHz 주파수 범위에는 50~600마일에서도 유용한 지표파가 있기도 하다.

주파수가 5MHz 이상으로 증가함에 따라 지표파 신호는 수마일에만 존재한다. 이들 주파수에서 직접파에 의해 더 멀리 전송이 가능하다. 수신과 송신안테나가 서로서로 보이는 곳에 있을 때 신호는 직접파에 의해 전파하는 것으로 생각된다. 지표파 신호가 약한 고주파수에서 고공 비행체가 100마일 또는 그이상 멀리에서 직접파를 수신하기도 한다. 즉, 통신위성은 수천 마일에서 수신할 수 있다.

<표 4-2> 전자기 스펙트럼

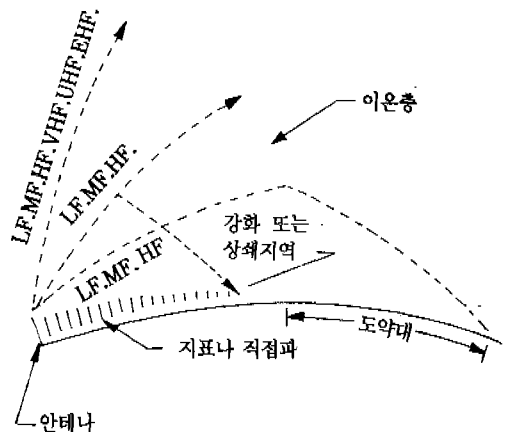
항 목	주파수 제한	파장길이
ELF(Extremely Low Freq.)	30.0~300.0Hz	10,000~ 1×10^3 km
SLF(Super Low Freq.)	0.30~3.00kHz	1,000~100km
VLF(Very Low Freq.)	3.00~30.0kHz	100~10km
LF(Low Freq.)	30.0~300.0kHz	10~1km
MF(Medium Freq.)	0.30~3.00MHz	1,000~100m
HF(High Freq.)	3.00~30.0MHz	100~10m
VHF(Very High Freq.)	30.0~300.0MHz	10~1m
UHF(Ultra High Freq.)	0.30~3.00GHz	1~0.1m
SHF(Super High Freq.)	3.00~30.0GHz	100~10mm
EHF(Extremely High Freq.)	30.0~300.0GHz	10~1mm
열선(Heat or Infrared)	$0.30 \sim 4.30 \times 10^{12}$ Hz	1~0.075mm
이온복사(Ionizing Radiation)		
가시광선(Visible Light)	$0.0043 \sim 1.00 \times 10^{15}$ Hz	75~0.3 μ m
자외선(Ultraviolet)	$1.00 \sim 60.0 \times 10^{15}$ Hz	300~5nm
X선	$0.06 \sim 30.0 \times 10^{18}$ Hz	5~0.01nm
감마선(Gamma Rays)	$30.0 \sim 500.0 \times 10^{18}$ Hz	10~0.6pm
우주선(Cosmic Rays)	$0.50 \sim 8.00 \times 10^{21}$ Hz	600~38fm

VHF, UHF, SHF대역에서 신호는 다소간 송수신자간에 시정선/가시선(Line of Sight)에 따라서 전파된다. 신호의 감쇄는 주로 자유공간 손실에 기인

하며 신호가 이동한 거리의 제곱에 비례한다. 무선파는 대기조건이 변화하는 곳에서 굴절된다. 그리고 이러한 영향은 송수신자간에 시정선 마이크로웨이브 링크 설계시에 고려되어야 한다.

지구 가까이에서 공기는 다소 밀도가 있지만 60~600마일 이상에서 공기는 옅다. 태양 방사에너지는 옅게 분포된 공기분자를 쉽게 이온화시킬 수 있다. 이온화되지 않은 공기보다도 이온화된 공기에서 방사파는 좀 더 빠르게 이동된다. 결과적으로 파두(Wave Front)의 윗부분은 파두의 아래부분보다도 좀 더 빠르게 이동한다.

지구쪽으로 다시 굴절되는 신호의 양은 신호의 주파수, 이온화 양, 파형전단이 전리층에 부딪히는 각도에 달려있다. 그림 4-10에서 보듯이 저주파수는 고주파수보다 침투하지 못하고, 전리층에 직각으로 접근하는 파두는 자유공간으로 침투할 것이다. 대기 궤도에서 활동중인 통신위성은 주야로 안정된 신호 강도를 유지하면서 주파수를 송수신하며 극히 적은 양의 신호가 굴절된다. 전리층에서 굴절된 신호가 유용한 세기로 지구로 되돌아오는 이용가능한 주파수를 MUF(Maximum Usable Frequency)라고 한다. MUF는 시각, 거리, 방향, 접근각도, 태양(혹점)활동에 따라 크게 변한다. 접지파, 자유공간파, 굴절파들이 결합해서 통신으로 사용되는 MF, HF대



<그림 4-10> 무선주파수 굴절

역에서는 도약대(Skip Zone)가 생긴다. 도약대는 유용한 지표파 또는 직접파의 유효구역의 끝과 굴절파가 지구로 되돌아오는 공간 사이의 지역이다. 직접파와 지표파는 수신측에서 세기가 같을 때, 이 신호들은 그들의 위상에 따라 이롭게 또는 해롭게 합해진다.

VHF(윗부분), UHF, SHF, EHF대역의 주파수들은 전리층 변화보다는 의도된 무선경로에 따른 공기밀도에 더 영향을 받는다. 보통 공기의 온도는 고도가 증가함에 따라 비례적으로 감소한다. 때때로 온도의 정규분포는 차가운 공기가 머물고 있는 곳으로 밀려드는 더운 공기면에 의해서 변화된다. 이 경우가 Temperature Inversion이라 불리운다. 이 두 공기 경계에 존재하는 불연속은 파두를 굴절시킨다. Temperature Inversion은 여러 시간 또는 2~3일 동안 존재하기도 하지만 일반적으로 긴 시간이 흐르면 불안정해진다. 공기 불연속의 다른 형태는 Duct와 같이 복잡하게 여러가지의 형태로 존재한다. 즉 Duct라는 것은 서로 다른 공기가 두개 혹은 그 이상의 층을 가지며 의도된 신호를 편광시키고 흡수해버린 덕트가 발생할 때 신호는 수신기로부터 수마일 밖으로 이동되어 버린다. 먼 거리를 전파하는 동안 파두는 여러개의 공기 불연속면을 통과하게 된다. 또한 밤에 대지로부터 방사하는 열은 상층부의 차가운 공기와 접촉할 때 큰 온도변위를 야기시킬 수 있다.

3.2 TWLM(Two Way Land Mobile) 무선

대표적으로 전력회사들은 VHF, UHF주파수 대역에서 TWLM(Two Way Land Mobile)무선으로 동작한다. TWLM무선은 회선과 서브스테이션의 작업반원과 급전소간에 통신용으로 사용된다. HF대역의 높은 부분인 2.8MHz대역과 VHF대역의 낮은 부분인 38MHz대역은 기본적으로 직접파와 지표파에 의해서 통신되는 장거리 통신에 이용된다.

좀더 먼 거리는 굴절파로 통신하지만 일반적으로 유틸리티 실무에는 오히려 신뢰성이 없다.

TWLM 무선 시스템의 대부분은 VHF대역에 있는 150~170MHz범위 안에서 동작한다. 전파(Propagation)의 기본 모드는 직접파에 의한 것이고 신호

양은 육지, 빌딩에 영향을 받고 경미하게 식물생장에도 영향을 준다. 대표적으로 이들 시스템의 신뢰성있는 동작범위는 200피트의 표준 안테나에 대하여 시정거리가 약 50마일이다. 그러나 산악지대의 서비스 지역은 국부적으로 여러 난청지역이 있고 그 원인은 장애물에 대한 손실 또는 수신기 세기를 향상적으로 또는 파괴적으로 상쇄시키는 정재파에 기인한 다중 굴절에 의한 것이다.

특별한 경우에 있어서 송신기 신호가 수백마일의 인근 유저영역에 확대되는 덕트(Duct)가 발생할 때 원하지 않는 간섭이 발생하기도 한다. 또한 날카로운 산등성이 칼날같이 예리한 굴절매체(Knife Edge Refractor)처럼 작용한다면 VHF와 UHF신호의 유효거리는 50%까지 확장될 수 있다. 날카로운 산등성과 부딪치는 파두의 신호는 인근 계곡 또는 서비스 지역으로 굴절된다.

또한 전력회사들은 450~470MHz대역에서 UHF 무선 사용을 인가받았다. 다른 UHF할당 주파수 전 송선무선(Trunk Radio)과 MAS(Multiple Address System)무선시스템에 사용될 수 있는 800~900MHz대역에 있다. 450~470MHz대역에서는 기본적으로 하나의 단일채널 이중통신으로 전 이중통신을 사용한다. 연방통신협회(FCC:Federal Communications Commission)는 송신기와 수신기 사이에 5MHz만큼 분리된 각각의 음성채널에 대하여 두개의 주파수를 할당하였다. 450~470MHz대역의 일부는 하나의 주파수에 하나의 동작을 할당하기 위하여 따로 확보해 놓았다. 이 대역의 기본적인 사용은 음성통신용이지만, 때때로 공동의 150MHz베이스로 연결시키는 원격제어용 또는 중계소(Repeater Station)용으로 사용된다.

150~170MHz와 450~470MHz대역은 SCADA 마스터 스테이션과 여러개의 RTU들을 서로 연결시키기 위해서 사용될 수 있다. FCC는 이러한 2차적 용도의 대역을 의도한 1차적인 용도, 즉 음성통신용으로 활용하도록 허용한다. 부가적으로 데이터 유저들은 한번의 전송에서 두개의 연속적인 순간만의 데이터 버스트를 송출하도록 제한된다. 그리고 전반

적인 데이터 전송시간은 1분동안에 10초를 초과하지 않을 것이다. 이러한 제약에도 불구하고 여러 유틸리티들은 이런 시스템들을 인가받는다. FCC는 데이터 유저가 이러한 대역에서 전시간 베이스로 사용되는 것을 방지하려는 그들의 의지는 확고하다. 그러나 많은 유저들은 음성통신을 위해 주파수를 갖고 있는 유저들과 자기들의 데이터통신이 경쟁되지 않게끔 보장하기 위하여 기본 음성통신수단으로 하나의 베이스 스테이션과 4개의 이동무선 유닛을 인가받아 놓는다. 대표적으로 150MHz와 450MHz무선은 주파수 변조(FM: Frequency Modulation)기술을 사용하며, 전력회사가 가지고 있는 TWLM무선망의 대들보로 여겨진다. 최근에 ACSB(Amplitude Com-pandored Single Sideband)를 사용한 TWLM무선이 소개되었다. ACSB는 12.5kHz와 25kHz대역에서 동작되게끔 설계된 FM무선에 비교하여 5kHz로 제한된 대역폭을 가진 진폭변조(AM: Amplitude Modulation)이다. ACSB는 150MHz와 450MHz대역에 밀집현상을 경감시켜 주지만 현재 12.5kHz와 25kHz대역폭 FM 유저의 수가 많기 때문에 조정하기는 극히 어렵다. 최근 새로운 ACSB주파수 사용을 독려하기 위하여 FCC는 어떤 제약없이 데이터를 전송하기 위하여 권리포기를 받아들이고 있다. 그러나 ACSB는 기존의 FM 무선제품에 관심을 가진 대규모 제조업자로부터 지지 결여로 고생한다.

특별히 다중주소 시스템(MAS : Multiple Adress System)무선은 SCADA응용분야에서 발전되었다. MAS는 928MHz와 952MHz를 사용하는데, 한 주파수는 전송하기 위해 사용하고 다른 주파수는 수신을 위하여 사용한다. 마스터 또는 베이스 스테이션이 다중 원격지역들과 통신하기 위하여 하나의 채널을 사용하기 때문에 다중 주소시스템은 흔히 점대 다중점 마이크로웨이브로 간주되어진다. SCADA마스터 스테이션이 각각의 원격주소에 무선전파를 송신하는 동안에 마스터 스테이션 송신기는 계속적으로 온 상태에 있다. 원격무선국은 5ms안에 송신기를 온-오프시킬 수 있도록 설계되었고, 원격무선국에서 마스터 스테이션으로 응답 신호를 연속적으로 보낼 수 있게

끔 허용한다. 기본적으로 MAS무선국이 표준 전화국의 전용선방식을 모방하고 있기 때문에 SCADA시스템은 무선동작에 대하여 특별한 규약을 요구하지 않는다. 인구 집중현상이 과밀지역에 문제인 것처럼 MAS는 전력회사에서 지극히 관심있는 문제로 대두되었다. FCC는 932와 941MHz대역의 새로운 주파수 지정을 공개적으로 배정할 것을 제안하고 있다. 그러나 이러한 배정방식은 규칙의 해석문제와 압도적인 반응이 예견되기 때문에 보류하고 있다.

현재 분산 스펙트럼과 패킷(Packet)은 유틸리티 유저들에게 사용 가능해지고 있다. 원래는 분산 스펙트럼은 자신의 메시지가 탐지 및 해독을 하지 못하게 하기 위한 수단으로 군사용으로 개발되었다. 오늘날 분산 스펙트럼과 패킷기술은 밀집현상과 경로방해를 극복하기 위한 수단으로 저전력 무선에 적용되고 있다. 이들 두 기술의 조합은 현대의 SCADA RTU로부터 장애물에 관한 패킷을 SCADA 마스터 스테이션으로 보낼 수 있는 여러개의 스마트 무선 중계국으로 상태변화를 전송할 수 있는 무선시스템의 개발로 발전되었다. 분산 스펙트럼의 사용은 주어진 대역안에서 여러개의 주파수를 할당받은 사용자로 하여금 현대의 시스템이나 다른 사용자의 시스템안에서 밀집현상을 구제할 수 있게 해준다. 사실상 다른 유저들에게 자원을 분배하도록 허용되는 지능 패킷무선의 사용은 유저사이를 거의 동등하게 하는 어드레싱 기법을 제공한다.

TWLM무선 시스템의 장단점은 다음과 같이 요약할 수 있다.

<장 점>

- 전력선 반송시스템 또는 전화선에 비교하여 전력선 사고의 영향을 받지 않는다.
- 신뢰성 향상과 작업중단 시간의 격감. 임대회로에 비교해서 세분화된 보수 의무의 제거
- 임대전화선 회로비용을 격감 또는 삭제로 인하여 장기간의 절약효과로 초기 설치비와 낮은 유지비가 제공된다.
- MAS무선 시스템은 SCADA 마스터에서 원격 통신용으로 9600bps(비동기)데이터비율까지

제공할 수 있다.

< 단 점 >

- FCC에 허가를 받는 것이 시간 소비적이며, 90~120일이 걸린다. 특별히 150MHz, 450 MHz, 950MHz에 스펙트럼 집중은 앞으로의 문제이다.
- 임대 전화선회로에 비교하여 높은 설치비, 위치, 송수신탑, 사용권 획득에 드는 비용이 높아진다.
- 새로운 중계장소로 호출하는 것은 시스템 가격을 팽창시킬 수 있다. 흔히 이 문제는 다른 유저들에게 현재의 장소를 분배함으로써 경감되어질 수 있다. 그러나 장소당 유저의 수가 증가함에 따라 상호변조 잡음과 간섭의 양이 증가한다.
- 무선 전송기로부터 비이온(Nonionizing) 방사 효과에 대한 일반적인 관심은 송수신의 위치를 멀리 떨어지게 한다.
- 대표적으로 채널능력은 인가된 송신기당 하나의 음성채널을 사용하도록 제한되어 있다.
- FCC는 952/928MHz대역에서 SCADA시스템이 전시간 데이터 전송하는 것을 승인하지 않고 있다.

3.3 지구 마이크로웨이브 무선국(Terrestrial Microwave Radio)

마이크로웨이브 무선국은 포인트대 포인트 또는 포인트대 다중포인트 모드에서 500MHz 또는 그 이상의 주파수에서 동작하는 수신기를 정의하는 데 사용되는 용어이다. 또한 일반적으로 다중음성과 데이터 채널 능력을 가진 무선시스템에 적용된다. 연방정부 주파수대역에서, 4개의 채널의 400MHz송신기를 동작시키는 것이 가능하다. 불행하게도 작은 용량과 포인트대 포인트적용에 대하여 가격이 매우 크게 줄어지기 때문에 이 옵션은 전력회사에서 이용할 수 없게 되었다.

전력회사에서 이용되는 마이크로웨이브 주파수는 FCC의 규칙 94항과 조례에 의해 허용된다. 94항에 따르면 전력회사는 경찰국, 공업, 상업과 같은 다른

개인 유저들과 함께 주파수를 배당받는다. 마이크로웨이브 주파수대역으로 밀집해 있기 때문에 94항의 유저는 이익을 위해서 자신의 초과용량을 다른 94항의 유저들에게 판매하기도 한다. 그러나 94항에서 동작하는데 적당하지 않은 공통 캐리어나 다른 소비자에게 자신의 용량을 판매하는 것은 금지되어 있다. 10, 18, 23, 31GHz대역에서 공통 캐리어와 개인 마이크로웨이브 사용자들은 주파수 할당을 공유할 수 있도록 되어 있다. 표 4-3은 개인 마이크로웨이브 시스템에 이용되는 94항의 주파수대역의 일람표이다.

< 표 4-3 > 개인 마이크로웨이브주파수 대역과 제한

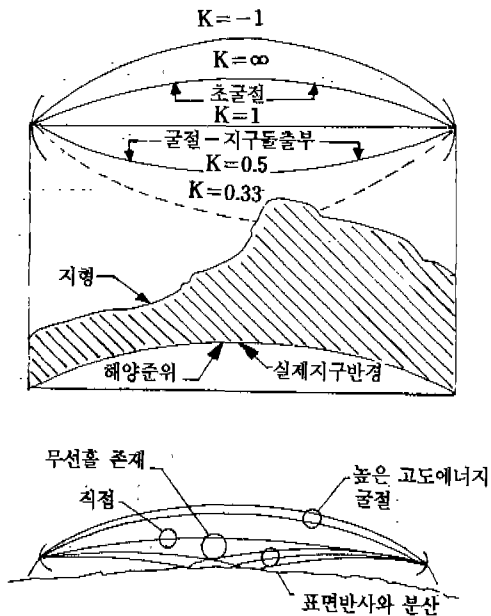
주파수(GHz)	대역폭(MHz)	채널능력 (ANALOG)	채널능력 (DIGITAL)	실제경로거리 (MILES)
0.928~0.952	0.0125	9.6Kb/s	19.2Kb/s	45
0.953~0.960	0.05, 0.1, 0.2	3, 6, 12	N/A	45
1.855~1.990	5, 10	312, 612, 792	192, 384, 672	45
2.130~2.200	0.8, 1.6	24, 48, 96, 120	24, 48, 96	45
6.530~6.870	5, 10	312, 612, 792	192, 384, 672	45
6.525~6.875	0.8, 1.6	24, 48, 96, 120	24, 48, 96	45
10.55~10.66	1.25, 2.5	N/A	24, 48, 96, 192	20
17.7~19.7	5, 10, 20, 40	VIDEO	96, 192, 384, 672	20
21.8~23.6	25, 50, 100	VIDEO	96, 192, 384, 672	20
31.0~31.3	25	VIDEO	96	25

전력회사에 사용되는 마이크로웨이브 무선은 UHF, SHF, EHF대역에서 동작한다. 일반적으로 마이크로웨이브는 사용전력이 수백 밀리와트~5와트의 송신기를 통해 전파되고 보통 마이크로웨이브 에너지를 폭이 좁은 광선에 집중시키는 포물선 접시안테나(Parabolic Dish Antennas)를 사용한다.

마이크로웨이브 주파수는 지표면에 대한 영향이 최소화되어야 하고 전파(Propagation)의 우세 에너지는 직접파 또는 자유공간파와 공간파(Sky Wave) 또는 반사파와 굴절파들에 있다. 때때로 무선빔의 경로는 송수신자간에 교신가능한 시정선으로 간주되기 때문에 공간의 직선으로 생각된다. 그러나 지구 표면에 두점사이의 거리는 직선이 아니고 곡선이며

두점을 통신할 수 있는 전파방법은 대기의 굴절성질이다. 위에서 언급한 굴절현상은 마이크로웨이브 시스템경로 설계에서 K로 표현되어 있다.

마이크로웨이브 경로를 설계할 때 먼저 정상상태하의 K를 결정한다. 그런 다음 비정상 대기조건하에서 굴절되는 마이크로웨이브의 효과도 계산되어야 하고 마이크로웨이브 시스템의 설계에 허용되어야 한다. 그림 4-11은 K가 송수신자간의 시정선에 따른 마이크로웨이브 링크효과와 예를 나타내고 있다.

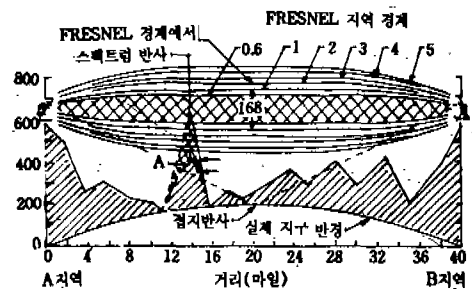
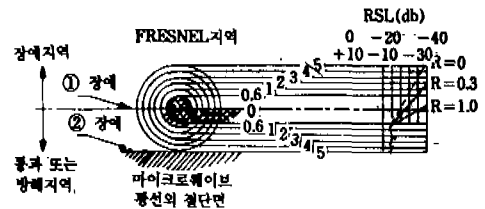


<그림 4-11> 송수신자간의 시정선에 따른 마이크로웨이브 링크의 K의 영향

무선빔은 정확하게 직선광선일 수가 없다. 즉 직선광선에 대해 존재할 수 있는 조건은 $K=1$ 인데 매우 불안정한 상태이다. 가장 안정된 조건은 낮동안 $K=4/3$ 의 조건이 별로 변하지 않을 때이다. 정상조건인 $K=4/3$ 이 유지될 때 대기는 등질이기 때문에 온도 또는 습도의 성층이 경로에 존재하지 않는다. 대표적으로 가상적인 지구반경에 따른 K는 $1/3$ 에서 $4/3$ 의 중간값을 갖는 $1/3$ 까지 변한다.

마이크로웨이브 빔의 절단면을 조사할 때 빔의 중심으로부터 비례적으로 증가하는 교번대역이 존재한다. 이 대역은 Fresnel이라 불리는데, 교번위상을 갖는 대역이며 마이크로웨이브 경로에 주 빔과 굴절 원으로부터 강한 신호가 존재할 때는 수신탑 높이의 함수로 측정된다. 굴절률을 알고서 경로를 설계할 때 굴절된 에너지가 언덕, 빌딩, 나무들과 같은 자연 장애물에 의해 방해받을 곳에 안테나 탑을 설치하는 것이 일반적인 관례이고 주 빔은 장애물 위로 통과한다. 장애물 위로 통과기준은 K와 Fresnel반경으로 표현된다. 대표적으로 $4K/3+0.6F^2$ 의 통과 기준은 대부분 경로의 필요조건이다. 어떤 경로들은 굴절된 에너지를 감소시키기 위하여 의도적으로 장애물 손실을 감안하여 설계되어야 한다.

반사파가 장애물을 넘을 수 있도록 안테나 위치가 위로 이동함에 따라 신호세기는 최대 6dB까지 증가할 수도 있다. 이 위치는 주 빔이 1 Fresnel지역(또는 홀수번째)만큼 반사점 위에 있는 곳의 지점이 된다. 이 지점의 요소들은 입사되는 반사 파동의 위상에서 벗어나고, 완벽하게 부드러운 반사점에서 반사되어 180° 의 위상반전을 일으켜서 수신안테나에서



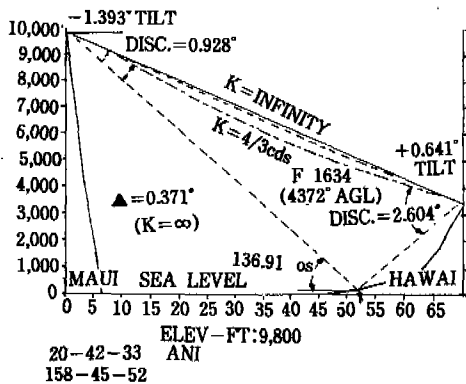
<그림 4-12> Fresnel 지역의 효과

는 신호가 서로 가산되는 효과를 갖게 된다. 주 빔이 반사포인트 위로 두개의 Fresnel반경이 될 때까지 안테나를 타워 꼭대기로 올린다면 반사파두는 180° 상을 벗어나며 결과적으로 신호를 완전히 상쇄시키는 결과가 된다. Fresnel반경과 반사포인트 위의 상대적 통과는 그림 4-12에 나타내었다.

마이크로웨이브 경로가 설계될 때 송수신 위치는 7.5분 USGS(US Geological Survey)지도 좌표계에 따라 결정한다. 경로 길이가 작다(<15마일)면 지도는 겹쳐 놓을 수 있고 직선자를 사용해서 최소한의 오차를 생기게끔 경로를 그을 수 있다.

지도가 사진으로부터 만들어지기 때문에 좌표 표시는 Transverse Mercator Projection에 의해 유래 되었으며 곡선으로 된 3차원 표면을 2차원으로 표시하게끔 보정해준다. 긴 경로에 대하여 Map Crossing 프로그램은 지도의 Edge를 가로 지르는 경로를 계산하는 데 사용된다. 겹쳐 놓고 직선자를 그을 때 생기는 오차의 누적을 피할 수 있도록 각각의 지도 Crossing으로부터 직선경로를 그릴 수 있다.

경로 윤곽과 지구의 굴곡, K요소, Fresnel반경, 굴절장소, Fresnel대역의 수를 표시할 때, 경로는 반사점 위에 놓아야 하고, 반사의 기복요소, 안테나 경사, 빔폭, 안테나 구별 등이 고려되어야 한다. 그림 4-13은 K요소가 4/3~100범위와 안정한 지면반사를 하는 평평한 지구의 지형적 경로를 보인다.



<그림 4-13> 평평한 지구윤곽의 지형적 경로

또한 마이크로웨이브의 흡수는 빔전파의 중요한 요소가 될 수 있다. 특히 10.55GHz대역과 그 이상의 빔전파에서의 전송은 비나 안개에 의해서 심각하게 감쇄될 수 있고 심지어는 전부 소멸되어 버릴 수 있다.

낮은 마이크로웨이브 주파수에서는 반사 또는 굴절된 빔의 양을 변화시키는 다중경로 또는 선택 페이딩은 "Fade Margin"이라 불리는 비교적 높은 예비신호 Margin을 갖게 하고 공간적 또는 주파수 다이버시티방식 또는 루프방지 방식을 채택하게 한다.

공간다이버시티 방식에 있어서 두개 혹은 그 이상의 수신안테나는 똑같은 타워에서 수직적으로 분리되어 있다. 그리고 하나의 송신기로부터 똑같은 정보를 수신하지만 분리된 경로를 거쳐서 받는다. 각각의 수신안테나에 도착되는 신호는 정확하게 똑같은 모멘트에서 깊은 Fading을 경험하지 않을 것이다. 두개의 안테나에서 수신된 신호로부터 합성된 하나의 신호는 모든 시점에서 이용할만한 충분한 세기를 가질 것이다.

주파수다이버시티 방식에 있어서 전송된 정보는 다른 주파수에서 동작되는 두개 혹은 그 이상의 분리된 송신기에 적용된다. 반사 또는 굴절상쇄에 기인한 깊은 Fading은 똑같은 시간에 두개의 주파수에서 발생하지 않을 것이다. 이 시스템은 두개 혹은 그 이상의 송신기와 수신기를 요구한다. 그러나 일반적으로 똑같은 안테나를 사용한다. 또한 적어도 주파수다이버시티 방식은 두배의 주파수대역 할당을 요구한다. 그리고 다른 대안이 없는 경우에만 FCC에 의해서 허용될 수 있다.

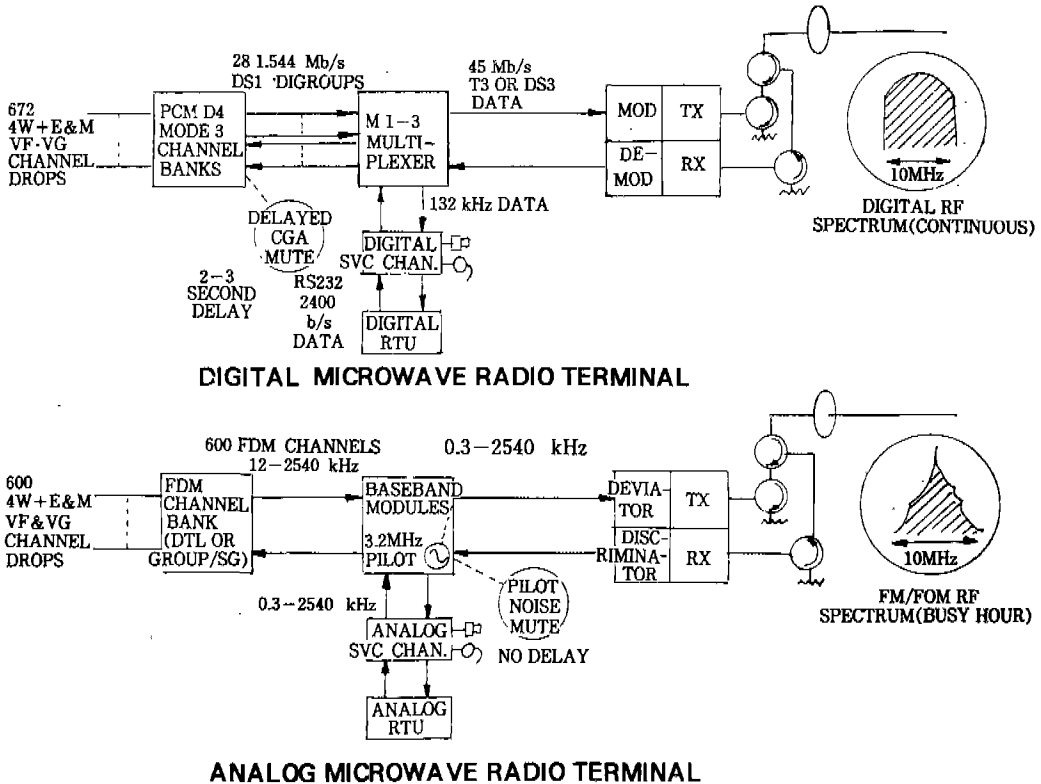
때때로 신뢰성을 향상시키기 위해서 루프마이크로웨이브 시스템이 이용된다. 마이크로웨이브 링크가 Fading, 장비고장 또는 수신된 신호가 모두 잃어버린 경우에, 데이터는 다른 방향으로 루프를 따라 전송될 수 있다. 전력회사는 분산된 서비스지역을 갖고 있기 때문에 공간적 다이버시티와 주파수다이버시티 대신에 루프를 사용할 수 있다. 그러나 루프 마이크로웨이브 시스템은 시스템 정전을 줄이고 신뢰성을 향상시키기 위하여 과다하고 활동적인 다중경로에 의한 애로를 해소하기 위하여 공간다이버시티

시스템과 병행해서 작동시켜야 한다.

어떤 크기의 마이크로웨이브 시스템의 필수적인 특징은 중계장치를 사용하는 것이다. 대표적으로 좋은 신뢰성을 지닌 마이크로웨이브 경로는 45마일 보다 작게 설계된다. 그러나 많은 유틸리티 회사들은 길이가 70마일까지 되는 마이크로웨이브 경로를 설치하고 있다. 전력계통에서와 같이 서브시스템과 발전소에 마이크로웨이브 시스템 터미널을 설치하는 것이 가능하다면 이들은 다음 스테이션에 대하여 중계기로 수행할 수 있다. 그렇지 않으면 선로부지, 건물진입로, 사무실, 탐, 전원 등을 구비하기 위한 비용을 추가시키는 중계기를 설계하여야 한다. 때때로 수동 또는 빌보드(Billboard) 중계기들은 장애가 되는 산주위에서 신호를 다른 길로 전송하는 데 사용된다.

수동 중계기는 전력 또는 값비싼 중계기를 요구하지 않는다.

전력사업에 사용되는 마이크로웨이브 무선시스템은 두가지 형태의 변조기술을 활용하고 있다. 이 두 기술은 아날로그 또는 주파수분할 다중화(FDM: Frequency Division Multiplex)와 디지털 또는 시분할 다중화(TDM: Time Division Multiplex)이다. 앞에서 다양한 형태의 다중화를 설명하였고 펄스폭 변조, 상 변조, ACSS(Amplitude Companded Single Sideband), FDM과 다양한 TDM기술을 장치화하였다. 오늘날 마이크로웨이브 통신에는 FDM과 TDM을 주로 사용한다. 그림 4-14는 아날로그와 디지털 마이크로웨이브 터미널의 차이를 보이고 있다. 최근 30년동안 전력회사는 아날로그 FDM 마이크



<그림 4-14> 아날로그와 디지털 터미널

로웨이브 시스템을 더 선호하였다. 그러나 처음에 신뢰성이 없고 가격이 비쌌던 디지털무선은 개선된 성능과 저가격으로 인하여 광범위하게 재설계되고 있다. 오늘날 많은 전력회사들에서 고속데이터 회로의 요구가 증가하고 있는데 이에 부응하여 디지털 마이크로웨이브의 사용가격이 적정화되고 있다. 그림 4-15에서 보는 바와 같이 디지털 마이크로웨이브는 수신신호준위(RSL: Receive Signal Level)의 범위에서 큰 잡음을 가지고 있다. 이것은 무선전계 수준까지 매우 낮은 비트오차비율로 고속으로 데이터를 전송한다. 반면에 아날로그 마이크로웨이브는 RSL이 감소할수록 잡음이 증가한다.

SCADA 시스템과 상업 통신과 같이 전반적인 전력회사의 통신요구관점으로부터 디지털 통신퍼센트가 증가하는 추세이다. 아날로그 마이크로웨이브 무선보다 오히려 디지털 사용이 증가하고 있음을 알 수 있다. 이미 아날로그 마이크로웨이브시스템을 계

속 사용중인 유틸리티마저도 24채널 디지털 비트열을 하나의 FDM 특별그룹(240kHz대역)으로 변환할 수 있는 T1(1.544Mbit/sec)아날로그 모뎀장치에 의한 디지털 시스템으로 확장하려고 고려한다.

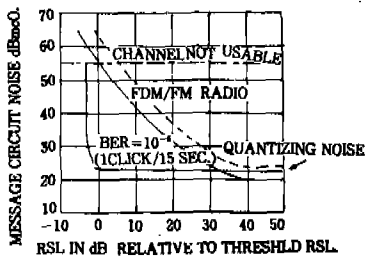
마이크로웨이브 무선은 요약해서 다음과 같은 장·단점이 있다.

<장 점>

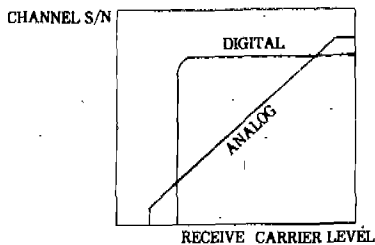
- 대역폭은 전력회사의 요구보다 더 충분하다.
- 마이크로웨이브 무선은 전력선반송 또는 금속 케이블에 비교하여 전력계통 사고로부터 더 신뢰성이 있고 안전하다.
- 마이크로웨이브 무선은 주파수다이버시티 또는 루프배치에서의 중추적인 통신시스템으로서 높은 신뢰성을 제공한다.
- 마이크로웨이브 무선은 금속케이블 또는 전력선 반송보다 더 큰 확장성을 갖고 있다.

<단 점>

- 송신기 위치의 허가는 사용전 FCC에 의해 승인받아야 한다. 부가적으로 여러지역에서 주파수 집중현상으로 이용할만한 주파수를 찾기가 어렵다는 문제가 있다.
- 시스템 설계시 경로에 반사, 굴절, 흡수가 허용되는지 조심스럽게 관찰해야만 된다.
- 필요한 선로부지 획득과 탑설치는 환경에 관련한 이해집단과 맞부딪칠 수 있다.
- 중계장소에 신뢰성 있는 공급전원이 존재하지 않고 더 큰 사용권 획득문제와 가격향상이 있다. 새로운 중계장소에 신 도로를 건설해야 된다.
- 중계기나 터미널의 위치는 25~45마일에 설치되어야만 한다.
- 시정선이 확보되도록 건물을 지어야 하고, 기기의 재배치 문제가 대두된다. 시스템 설치 후 해가 갈수록 키가 커지는 나무는 수용하기 곤란한 장애 손실이 존재할 수 있다.
- 케이블이나 전력선반송과 같은 다른 매체에 비교하여 채널을 축소하고 확장하는 일이 복잡하고 비싸다.



TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF ANALOG AND DIGITAL RADIO SYSTEMS UNDER FADING CONDITIONS. -----SHOWS EFFECT OF DOUBLING SYSTEM LENGTH.



- DIGITAL CIRCUIT PERFORMANCE INDEPENDENT OF SYSTEM LENGTH (UP TO RECEIVER THRESHOLD)
- ANALOG CIRCUIT PERFORMANCE DEGRADES AS PATH LENGTH INCREASES OR RSL DECREASES

<그림 4-15> 디지털 대 아날로그 무선잡음

<다음호에 계속...>