

# 플라스틱 통신용 전선의 기술동향

하 준 영 / 대한전선 (주)

## 통신 케이블의 개발

통신기술의 형태로서는 전신, 전화, 영상통신, FAX, DATA 통신, 무선 이동통신등이 사회의 수요에 적응하여 발전하고 있으며, 전송방식도 아날로그 전송으로부터 디지털 전송으로 현저한 진전을 보이고 있다.

유선통신 케이블의 역사는 전송방식의 진전과 관련하여 고무절연, 지절연 케이블로부터 플라스틱 절연 케이블로 변천하여왔다.

유선 통신케이블의 절연방식은 종이 절연 또는 펄프 절연 및 플라스틱 절연으로 구분되어진다.

종래의 종이(紙)절연에 의한 통신케이블은 가공성 및 전기 절연성 등이 우수한 폴리에치렌이 개발 되어지면서 많은 발전을 거듭하여 FOAM-SKIN 이중(二重) PLASTIC 절연 통신케이블로 대체되어 졌다.

특히 전화 서비스 뿐만 아니라, 사회의 수요에 대응한 비전화계 서서비스의 충족 확대를 목표로 한 시스템 (ISDN)의 요구에 따라 이에 오랫동안 주역을 맡아왔던 지절연 케이블이 폐지되고, 플라스틱 절연 케이블로 대체되어졌다.

전화 통신의 전송 선로로서는 최초로 나선을 사용하여 전주에 애자를 사용하여 가설하였으나, 가입자의 증가로 인한 수용 능력과 비, 바람등의 자연현상에 의한 회선 장애가 많아져 1893년경에 절연체로 고무를 사용한 복수회선을 꼬아서 집합하여 피복한 고무케이블이

사용되었다.

그러나 고무 절연 케이블은 절연체로 사용되는 고무의 유전율이 크기 때문에 케이블의 정전용량이 증가하고 또한 감쇠량도 증가하여 사용기간이 매우 짧았다.

이에 대체하여 근대적인 통신 케이블로서 1897년에 미국의 WESTERN ELECTRIC Co.에서 개발되어 사용된 지절연 연피케이블을 기점으로 하여 1958년에 연피케이블 대신 스타페스 케이블 도입되어 근래까지 약 100여년간 지절연 통신 케이블이 대량으로 사용되어져 왔다.

그러나 20세기 후반 고도의 정보사회 출현에 따라 비전화계 서서비스(FAX, 영상, 데이터 통신)의 요청이 커짐에 따라 가입자 선로도 디지털 전송에 충분히 대응할 수 있는 특성이 요구되어 누화특성의 한계로 인해 지절연 케이블이 폐지되고 플라스틱 케이블 상용시험 결과를 기초로하여 1980년대초부터 플라스틱 절연 케이블(PIC : Polyethylene Insulated Cable)시대가 시작되었다.

초기에는 CCP (Color Coded Polyethylene) 절연 케이블이 주종을 이루었으나, 감쇠량등 전송 품질 특성 향상을 위하여 발포 압출 기술에 의한 PEF(발포 폴리에치렌) 절연 케이블이 개발 되어졌으며 현재에는 FOAM-SKIN 절연방식으로 대체 개발 사용되어지고 있다.

한국전기통신공사(K.T)에서도 1990년부터 CABLE

의 전송품질 향상 및 CABLE의 세심 다대화를 목적으로 FOAM-SKIN 절연 방식을 채택하여 사용하고 있다.

FOAM-SKIN 절연 통신케이블은 종래의 종이 절연 케이블과 비교하였을 때 누화특성 등의 향상으로 고주파 전송 특성이 개선되어 젖음은 물론 기계적 강도가 우수하여, 기존의 종이절연 시내케이블을 대체하여 ISDN등 다양한 TELECOMMUNICATION 서비스를 위하여 본격 채용 되어졌다.

FOAM-SKIN 절연 방식은 FOAMED(發泡) 폴리에치렌 절연체 위에 SOLID 폴리에치렌을 SKIN층으로 코팅하는 이중 압출 절연 방식으로서 CCP 절연 또는 PEF 절연방식에 비하여 전기적, 기계적 특성의 향상 뿐 아니라 신뢰성, 경제성을 갖는 구조로 되어있다.

최근 인터넷 인구의 급속한 증가에 따라 일반 가정에서의 ISDN 회선도 급속하게 늘어나고 있으며, 멀티미디어 등의 문자, 화상정보의 증대 및 통신속도의 고속화가 더욱 급진전될 전망이다.

통신 서비스가 기존의 전화 위주의 단순한 형태에서부터 정보통신 멀티미디어 서비스로 바뀌어감에 따라

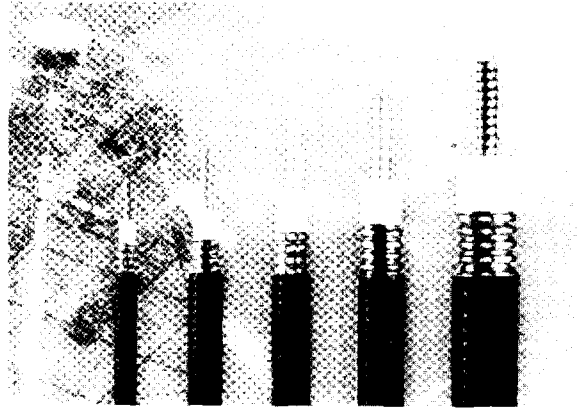
점차로 통신망의 구조나 기능이 변화하고 있고, 특히 가입자 망이 그 변화의 중심이 되어가고 있는 실정이다.

가입자망은 기존의 PLASTIC 절연 동통신 케이블을 이용한 방식에서 다음과 같은 여러 가지의 전송방식을 채택하여 가입자망의 고도화를 통해 음성위주의 서비스에서 정보통신 멀티미디어 서비스로 진화하고 있다.

현재 ADSL등 초고속 통신 서비스의 가입자 선로에는 기존 PLASTIC 절연 통신케이블의 전송품질을 향상시킨 UTP(UnShield Twisted Pair) 및 고발포 동축 케이블등 LAN용 Data 통신 케이블이 주로 사용되어지고 있다.

|                |                  |
|----------------|------------------|
| 銅通信, 同軸 케이블 기반 | ADSL             |
| 光 케이블 기반       | FTTO, FTTC, FTTH |
| 無線 기반          | WLL, IMT-2000    |

한편 휴대전화, 이동통신의 급속한 확산으로 인하여 무선통신기술이 발전함에 따라 기지국 및 전파불감 지역에 RF용 급전 동축케이블, RCX (Radiation Coaxial



Cable)등 고발포 동축 케이블이 널리 사용되어지고 있다.

이에따라 본문에서는 최근 초고속전송망, CATV 및 이동통신에 적용되어지고 있는 고발포 플라스틱 절연 동축케이블에 대하여 기술하고자 한다.

### 동축 케이블의 개요

往復하는 2本の 導體가 中心軸을 共有하는 2個의 원통을 이루고 있는 케이블을 同軸케이블이라 하며 内部導體와 外部導體 사이에 絶緣層으로 구성되어 있다.

이같은 동축케이블을 사용하게 된 이유로는 일반적 통신선로는 모두 平衡形이어서 낮은 주파수에서 충분히 독립성이 있으나, 본래 그 주의에 靜電界·靜磁界에 대하여는 開放性 선로이기 때문에 高周波에서는 누화결합이 현저히 커져서 사용할 수 있는 최고 주파수는 수백~수천 KHz 정도이므로 장거리 전송로로서는 부적당하기 때문이다.

이에 반하여 동축케이블은 不平衡性 線路이어서 저 주파에서는 외부로부터 방해받기 쉬우나 靜電界·靜磁界에 대하여 閉塞性 선로이고, 차폐작용이 우수하여 고주파에서의 차폐성이 우수하고 손실이 적으며 耐電壓性이 높아 경제적인 다중장거리통신이 가능하기 때문이다.

1929年 Bell연구소의 Espenshield와 Affel이 同軸 케이블 方式을 제안하고, 1934年 Schelknoff에 의해 同軸傳送路에 의한 電磁理論과, 같은해 Espenshield와 Strieby에 의해 240 通話路의 廣帶域 同軸케이블 方式으로 高周波傳送路의 획기적인 발전을 이룩하게 되었다.

동축케이블은 한 개의 同軸芯(coaxial core) 內部導體와 絶緣層 그리고 外部導體로 구성된다.

內部導體는 高周波抵抗이 적도록 軟銅單線을 사용하고, 임피던스 均等性이 양호하도록 外徑을 정확히 하며, 可撓性을 갖도록 直徑 5mm 이하를 사용하고 있다. 絶緣方式으로는 두 導體의 상호위치를 정확한 同心圓으로 유지하고, 케이블을 구부릴 때나 외부 영향을 피하기 위해 機械的 强度가 충분하여야 하며 減衰量을 적게하기 위해 比誘電率, 誘電體損失이 작은 재료를 사용한다. 外部導體는 電流의 歸路가 되기 위해 양도체이어야 하며 동시에 遮蔽體이기 때문에 전자누설이 없어야 하며, 임피던스 均等性을 위해 어떠한 경우에도 圓形과 정확한 內徑이 유지되어야 하며, 이외에도 强度, 可塑性, 絶緣耐力등이 요구된다.

이를 위해 차폐용 AL테이프나 銅테이프를 사용한다.

이러한 동축케이블은 최근에 초고속 인터넷 전송, CATV 전송 및 무선 이동통신에 널리 적용되고 있다.

### CATV用 동축 케이블

CATV는 이제까지 벽지나 빌딩이 밀집되어 있는 난시청 대책의 일환(난시공청 중심 : 재송신 중심)으로서 개발도입 되었던 역사를 갖고 있지만 원래 TV 신호를 송신하는 이외에 여러 가지 신호를 전송할 수 있는 능력(多Channel 수용 : 광대역)을 갖추고 있고 또 가입자의 각 가정까지 직접 케이블이 들어가는 대규모 Network을 구성할 수 있기 때문에 New Media로서 다양한 발전 가능성을 갖추고 있다고 말할 수 있다.

다양한 발전 가능성의 첫 번째로는 광대역의 전송특성이 가능할뿐 아니라, 두 번째는 Center와 가정 단말 간 또는 단말 상호간에서 쌍방향 통신기능이 기본적으로 설치 가능하며, 세 번째로는 수만 또는 수십만 세대

대상의 광역에서 대형 System 규모로 운영이 가능하기 때문이다. 이 때문에 최근 CATV는 종래 CATV와 구별해서 도시형 CATV라고 불리우는 경우가 많다.

그렇기 때문에 이 도시형 CATV는 대규모 CATV System, VOD등 영상정보 System, 대규모 주택단지 방재감시 System 등에 사용되고 있다.

현재 우리나라에서는 초고속 Data 전송 및 CATV(쌍방향)에 있어서 최근 750MHZ대 광대역 System이 사용되고 있다.

### RF用 동축 케이블

RF用 고발포절연 동축케이블은 우수한 전파방사특성 및 광대역에 걸쳐 안정된 제특성을 가지고 있고, 특히 무선통신장비의 급속한 발전에 따른 GiGa 주파수대역 이동통신 System 분야등에 있어서 광범위하게 활용되고 있다.

예를 들면 달리는 열차와의 전화 및 무선연락, 철도, 도로 등 긴 Tunnel내에서의 교신, 더욱이 지하가, 지하역 등의 방재용(소방, 경찰방법) 통신 System, 대규모 Plant에 있어서의 통신제어 System등, 한정범위 용도뿐만 아니라 Cellular Phone, PCS등 이동전화 및 다양한 부가서비스와 WLL과 같은 특수 System 및 동영상 통신이 가능한 IMT 2000 System에 의한 3세대 M-Commerse 등 각 응용면에 있어서 제한이 없는 가능성을 갖추고 있다.

특히 누설형 동축케이블은 일반동축케이블과 마찬가지로 축방향으로 에너지를 전달하는 것과 동시에 케이블 주위에 축과 수직방향으로 에너지를 방사한다. 역으로 주변에서의 RF신호를 수신하기도 하며 케이블의 축방향으로 이를 전달하여 신호를 케이블 종단까지 전달한다. 그리고 광대역 응용에 적합하도록 설계된 Radiating 케이블은 여러 주파수 대역의 전송에 사용될 수 있다.

예로서 떨어져 있는 Repeater에 접속이 가능하게 하기 위해서 축방향 감쇠가 적은 낮은 주파수를 사용하고 동시에 주변방사를 위해 높은 주파수를 사용하는 것이 가능하다.

이러한 Radiating 케이블은 축방향으로 슬롯이 개방된 동축케이블로 방사와 감쇠가 슬롯의 폭에 의해 좌우된다. 따라서 슬롯은 케이블의 총감쇠와 케이블과 주변에 신호 수신원과의 결합손실이 최저가 되도록 최적화시킨다.

이러한 Radiating 케이블의 내부시스템은 정규 RF 케이블로 생각할 수 있다.

여기서 주요특성은 감쇠량, 특성임피던스이며, 이들 주요특성은 설계자에 의해 특정되어지는 값이다. 일반 동축케이블에 비해 감쇠량이 개방에 의한 에너지의 손실이 있어 더 크다 따라서 적은 감쇠량을 가지기 위해서 유전체로 고발포의 폴리에틸렌을 사용하고 있는 것이다.

또한 Radiating Cable은 Giga-Hertz의 고주파 대역에서 사용되므로 신호는 Skin effect에 의하여 전송되어진다. 따라서 내부도체는 Cu. Pipe (케이블 규격이 큰 경우) 또는 CCA Wire (Copper Clad Aluminium Wire ; 케이블 규격이 작은 경우)가 적용되고 그 위에 동심원상으로 고발포 폴리에틸렌 절연체를 형성하고 Cu. Tape를 외부도체로 적용하는 구조를 갖게 된다.

### 고발포 동축케이블의 구분 및 성능

#### 동축케이블의 구분

고발포 절연 동축케이블은 다음식에 의하여 그 기준을 설계한다.

$$Z_0 = \frac{138}{\sqrt{\epsilon_n}} \log \frac{D}{d} \text{ 로 부터}$$

그 케이블 용도에 적합하도록 특성 임피던스 값을 선정하고 적절한 구조를 갖도록 갖도록 절연외경과 내부도체경 비율을 변경 조정하여 발포도가 80% 이하 범위내에서 합성유전율  $\epsilon_n$ 를 산출하는 것이다.

同軸 케이블의 特性 Impedance( $Z_0$ )는 특수용도를 제외하고는 50Ω과 75Ω으로 되어있다. 이

차이는 아래 ①, ②에 나타난 것처럼 同軸케이블의 사용목적에 대하여 最適한 構造, 즉 内部導體外徑( $d_1$ )과 外部導體內徑( $d_2$ )의 比( $\delta = d_2 / d_1$ )를 選擇함으로써 결정된다. (그림 參照)

- ① 長距離傳送을 위해 減衰量을 最小로 하고 싶은 경우 ( $\delta = 3.6$ )
- ② 高周波傳送電力을 最大로 하고 싶은 경우 ( $\delta = 1.65$ )

上記 構造에서 絶緣體를 空氣로 할 경우 (比誘電率 1.0) 각각의  $Z_0$ 는 ①의 경우 約 75Ω, ②의 경우 約 30Ω이 된다. 그런데 ②의 경우와 같이  $Z_0$ 를 30Ω으로 하면 減衰量이 增加하기 때문에 減衰量最小와 電力容量 最大條件의 中間인 50Ω이 선택되고 있다. (表 參照)

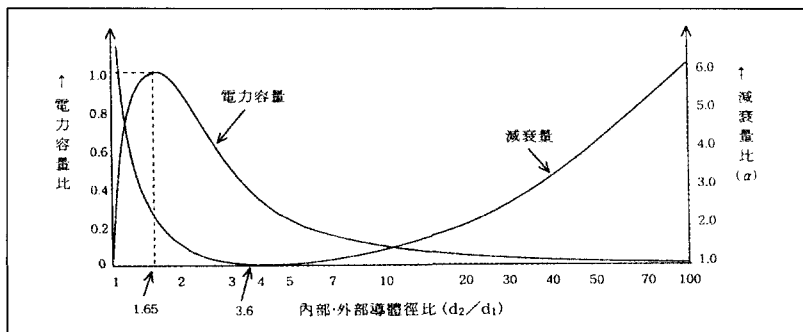
따라서 용도상으로 볼 때 CATV Cable의 경우 전송 손실이 적을수록 유리하므로 75Ω系の 구조를 채택하고 있으며 이동통신 Cable의 경우 전력용량을 크게할수록 유리하므로 50Ω系の 구조를 적용하고 있는 것이다.

표. 50Ω系와 75Ω系의 減衰量比, 電力容量比

| $d_2 / d_1$ | $Z_0$ | 減衰量比 | 電力容量比 |
|-------------|-------|------|-------|
| 2.3         | 50    | 1.03 | 0.85  |
| 3.6         | 75    | 1.00 | 0.55  |

#### 주요 전기적 성능

(1) VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)



동축케이블의 제조과정에 있어서 기계적인 수치가 잘못되고 재료의 불균형등에 의해 케이블의 특성 임피던스가 부분적으로 불균일하게 되어 신호를 가했을 경우 이러한 임피던스 부정합(Impedance Mismatching) 부분에서 전송 신호의 반사를 일으킨다. 동축케이블의 반사계수는 반사파의 입력신호에 대한 비율을 나타내는 것으로, 일반적으로 케이블의 특성 임피던스의 불연속의 정도를 간접적으로 전압정재파비(VSWR)로 표현한다.

실제의 동축케이블에 대해서는 케이블 제조상의 정밀도가 높기 때문에 VSWR은 1.1(반사손실 26dB) 이하인 작은 값이다. 그러나 케이블 길이가 장조장화 되면 각 부분에서의 반사파가 서로 간섭하여 미소한 변동이 일어나고 주파수별로 반사 손실이 증가되어진다. 일반적으로 CATV의 경우 1.2이하, 이동통신의 경우 열차, 소방 및 경찰무선등 비교적 저주파(900MHz이하)등 협대역 적용에는 1.4이하이나 휴대전화와 IMT 2000등 고주파 및 동영상 전송등에는 1.2이하의 특성이 요구되어진다.

- 반사손실을 표시하는 방법은 다음 4가지로 구분할 수 있으며, 반사손실이 증가하면 영상신호 등 전송 신호의 잡음, 왜곡 등의 현상이 나타나게 된다.

- ① 반사계수  $\rho = \left| \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \right|$
- ② 반사손실  $R(\text{dB}) = 20 \text{ Log } \frac{1}{\rho}$
- ③ 전압정재파비  $VSWR = \frac{1+\rho}{1-\rho}$
- ④ 전파속도 또는 파장단축율  $K = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0}}$

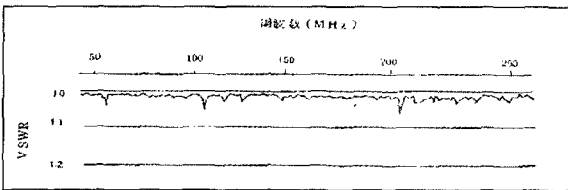


그림 반사손실에 따른 VSWR 측정 Graph 이

(2) 특성 Impedance (Zo)

- 케이블 구조에 대한 Factor로서 50Ω系와 75Ω系

로 구분된다.

- 규격기준

| 구 분 | CATV 및 Data 전송 | 이동통신용 |
|-----|----------------|-------|
| 기준값 | 75±2Ω          | 50±1Ω |

케이블의 구조가 균일하게 유지되어야만 특성 임피던스도 균일하게 된다.

(3) 감쇠량 (Attenuation)

동축케이블의 전기적인 특성 가운데 중요한 것은 감쇠량(a)이다. 케이블의 감쇠량은 도체의 고주파 저항에 의한 도체손실과 그 도체를 지지하고 있는 절연물의 고주파 유전체손실의 합으로 이루어지며 다음 식으로 표시된다.

$$a = \frac{3.56\sqrt{f}}{Z_0} \left[ \frac{k_1}{D_1} + \frac{k_2}{D_2} \right] \sqrt{\epsilon} \tan \delta \quad (\text{dB/km})$$

- Zo : 케이블의 특성 임피던스(Ω)
- f : 주파수 (MHz)
- D1 : 외부도체 내경 (cm)
- D2 : 내부도체 외경 (cm)
- k1, k2 : 내·외도체의 형상과 재질에 의해 결정되는 정수
- ε : 비유전율 = 2.3~1.6 (충실~발포폴리에틸렌)

$$\tan \delta \approx 2 \times 10^{-4}$$

식 우변의 제 1항은 구리선의 고주파손실, 제 2항은 절연물의 유전체 손실이다. 일반적으로 VHF대에서의 감쇠량은 동선의 고주파손실이 그 대부분을 점하고 있으며 유전체 손실은 수% 이하이고 주파수의 제곱근에 거의 비례하여 감쇠량(dB값)은 증가한다. 주파수가 300MHz 이상의 UHF대가 되면 유전체손실이 증가하고 감쇠량은 곡선의 윗쪽이 약한 휘는 커브가 된다.

따라서 케이블의 감쇠량을 경감시키기 위하여 최근에 있어서 발포폴리에틸렌 절연형의 케이블이 사용되고는 것이다.

이것은 절연물에 발포폴리에틸렌을 사용한 경우, 완전충실형에 비해 절연물의 유전율이 적어지며 따라서 동일한 외경치수와 특성 임피던스일 경우 내부도체가

굽어지고 동선의 고주파 손실이 저하하며 다시 절연물의 발포에 의해 유전체 손실도 저하하기 때문에 감쇠량이 저하한다.

또 케이블 자신의 중량도 감소하여 공사 시공상에도 유리하게 되는 등의 장점이 있다.

**고발포 동축케이블의 장점**

(1) 低損失이므로 경제적

- 전기특성(감쇠량)을 동일하게 고려한 경우

| 절연종류     | 총실형  | 50% 발포 | 80% 발포 (고발포) |
|----------|------|--------|--------------|
| 항목       |      |        |              |
| Cable 외경 | 100% | 약 80%  | 약 65%        |
| Cable 중량 | 100% | 약 60%  | 약 45%        |

- Cable 외경을 동일하게 고려한 경우

| 절연종류     | 총실형  | 50% 발포 | 80% 발포 (고발포) |
|----------|------|--------|--------------|
| 항목       |      |        |              |
| 감쇠량      | 100% | 약 80%  | 약 65%        |
| 중계기 소요대수 | 100% | 약 80%  | 약 65%        |

(2) 고 신뢰성

장기간 사용에도 전기적 특성 저하가 거의 없음.  
(밀착특성 및 수축특성 우수)

(3) 단말처리 용이

절연체가 고발포이므로 공극형 구조보다 방수성이 양호하고 단말처리가 용이하다.

(4) 취급용이

동일 특성일 때 중량이 가벼우므로 취급이 용이

**고발포 절연 동축케이블의 동향 및 향후 전망**

前術한 바와 같이, 초기 난시청지역 해소를 위한 CATV 유선방송 System에 적용하기 시작한 고발포 절연 형태의 동축케이블은 ① 주파수 대역의 확장 적용이 가능한 저유전율을 갖는 절연형태와 ② 균일한 Coaxial Capacitance의 유지 관리가 가능한 점의 장점 및 생산설비와 기술의 발전에 따라 내부, 외부도체의 Design을 여러형태로 변형하여 다양한 수요를 충족하도록 급속히 발전하고 있다.

아직도 미국, 일본등의 경우 CATV 종합유선방송에 대하여 光 Cable이 아닌 고발포 동축케이블을 Trunk Line까지 적용하고 있으며, 우리나라의 경우에도 위성방송시대를 맞이하여 50% 이상의 발포절연 케이블 수요 증대가 예상되고 있다. 또한 이동통신 System에 있어서도 현재의 2세대 및 2.5세대가 정착단계이며, IMT2000 상용화가 시작되는 2003년 이후의 3세대등에서는 E-Commerce가 M-Commerce로 대체될 것이 예상되며 이에따라 RF用 고발포 동축 Cable도 기지국에 사용되는 급전선 및 폐쇄공간에 무선신호를 제공하는 RCX(누설형)까지 그 용도의 다양화와 수요증대가 예상되고 있다.

**이동통신용 고발포 동축 Cable의 적용범위**

| 區分     | 서비스 구분         | 주파수 대역             | 적용 Cable 규격 | 비고(한국의 경우)          |
|--------|----------------|--------------------|-------------|---------------------|
| 이동무선통신 | Cellular Phone | 1GHz 이하            | 12D 및 22D   | 800MHz 대            |
|        | PCS Phone      | 1~3GHz             | 22D 및 32D   | 1.7~1.8GHz대         |
|        | IMT 2000       | 1~3GHz             |             | 1.8~2.2GHz대         |
|        | GMPCS          | 3~10GHz            | 5~7GHz 대    |                     |
| 고정무선통신 | WLL            | 22~40GHz 및 40GHz이상 | 32D 및 42D   | 24~27GHz 및 40~42GHz |