



## CHAPTER 3

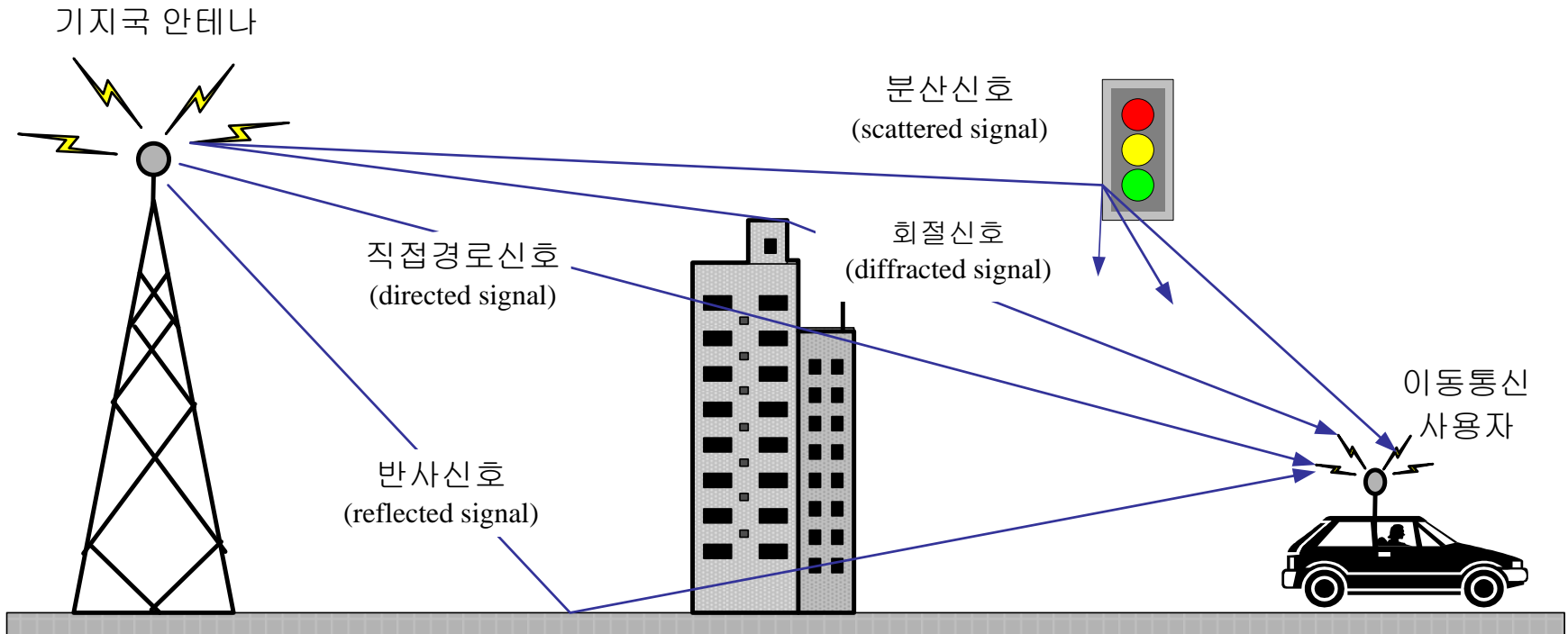
# 이동통신의 채널환경

- 이동통신 채널특성
- 전파 손실 모델
- Small scale fading 해석(다중경로, 도플러)
- 정보전송속도와 fading의 상관관계

## 3.1 이동통신 채널의 특성

- 자연 지형 환경(natural terrain configuration)
  - ◆ 개방 지역(open area)
  - ◆ 평지(flat terrain)
  - ◆ 언덕 지형(hilly terrain)
  - ◆ 산악 지역(mountain area)
- 인공 구조물(human made environment)
  - ◆ 교외지역(rural area)
  - ◆ 준근교지역(quasi-suburban)
  - ◆ 도시근교(suburban)
  - ◆ 도심지(urban)
- 이동 환경(moving medium)
- 분산 환경(dispersive medium)

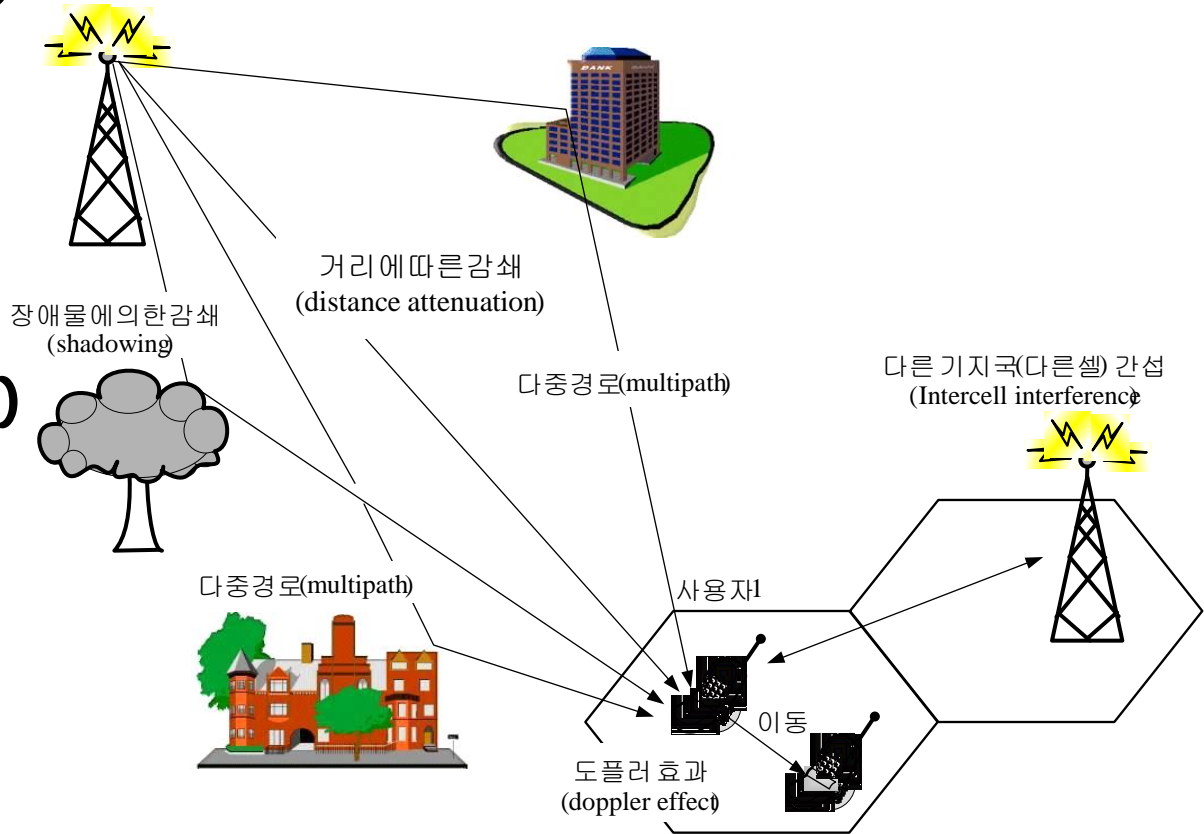
# 3.1 이동통신 채널의 특성



- ✓ 직접 경로(direct path), 반사 경로(reflected path), 분산 경로(scattered path), 회절경로(diffracted path)로 구성된 신호 응답

# 3.1 이동통신 채널의 특성

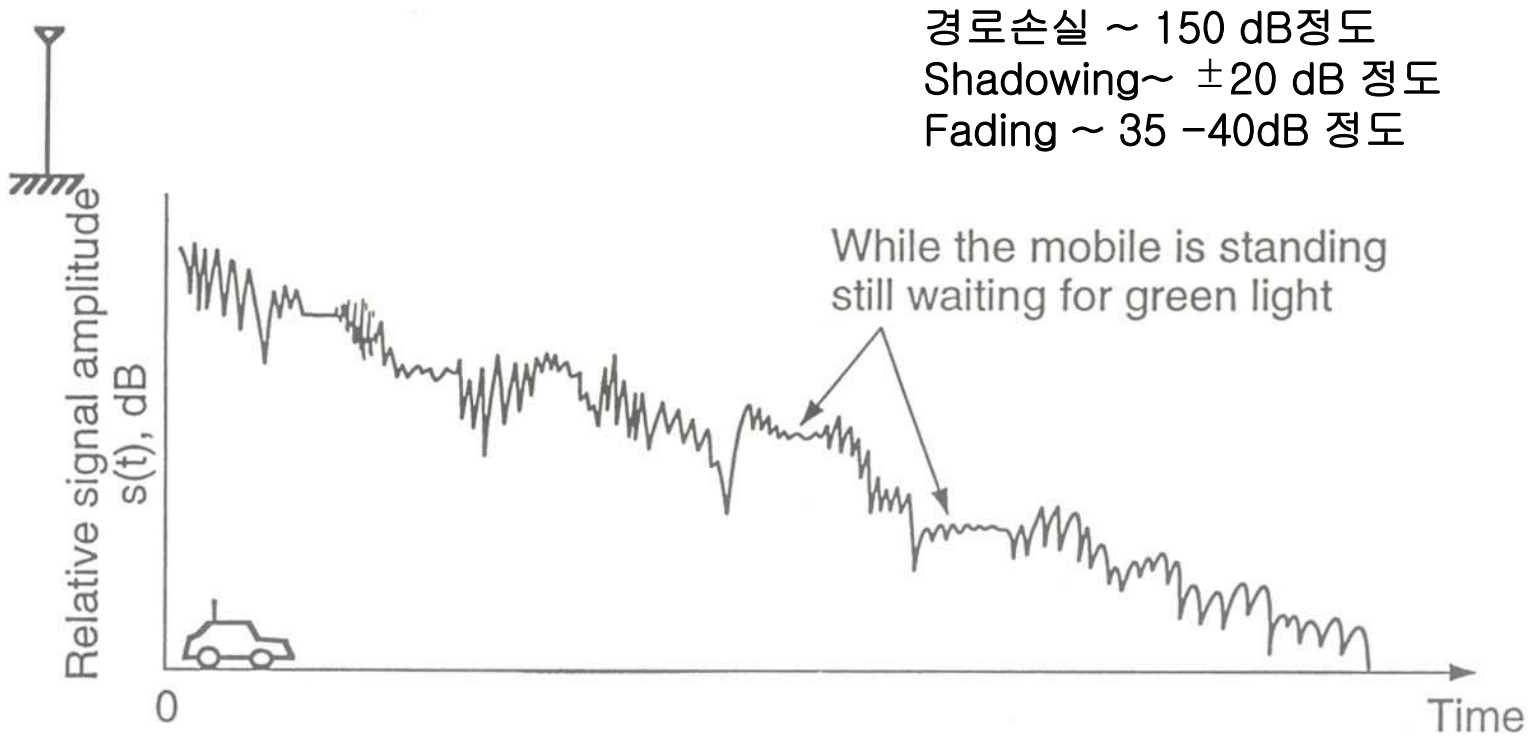
- ▽ 경로손실(path loss)
- ▽ 섀도잉(shadowing)
- ▽ 페이딩(fading)
  - Multi-path,
  - *Doppler effect*
- ▽ 간섭(interference)



✓ 이동통신의 채널환경 모델 도식

# 3.1 이동통신 채널의 특성

## Recorded Signal Strength in Real Time



## 3.2 Large Scale Propagation

### □ Large-Scale propagation model

#### ◆ Why Large?

일정 거리에서 평균 신호 세기는 송신기로부터의 통화권을 추정하는데 사용되며, 수백 미터 혹은 수천 미터 거리에서 신호 세기 상태를 알아보는 것

#### ◆ 송·수신단의 거리에 따른 감쇠(path loss)

#### ◆ 통신 채널의 지형 지물에 따른 감쇠(shadowing)

- ❖ 평균 수신 전력은  $5\lambda$ 에서  $40\lambda$  범위에서 측정된 신호의 평균 값
- ❖ 캐리어 주파수가 1~2GHz인 경우 1m~10m 정도의 거리
- ❖ 신호의 변화는 천천히 일어나며, 신호의 변화 분포는 주로 Log-normal 분포

# 3.2.1 경로 손실 모델에 의한 전파 모델

## □ Log-distance 경로 손실 모델

- ◆ 평균 수신 전력은 거리에 따라 로그함수의 값으로 감소
- ◆ 평균 경로 손실은 경로 손실 계수를 이용 거리의 함수로 표현

$$\overline{PL}(d) \propto \left(\frac{d}{d_0}\right)^n \quad \overline{PL}(d)(dB) = \overline{PL}(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right)$$

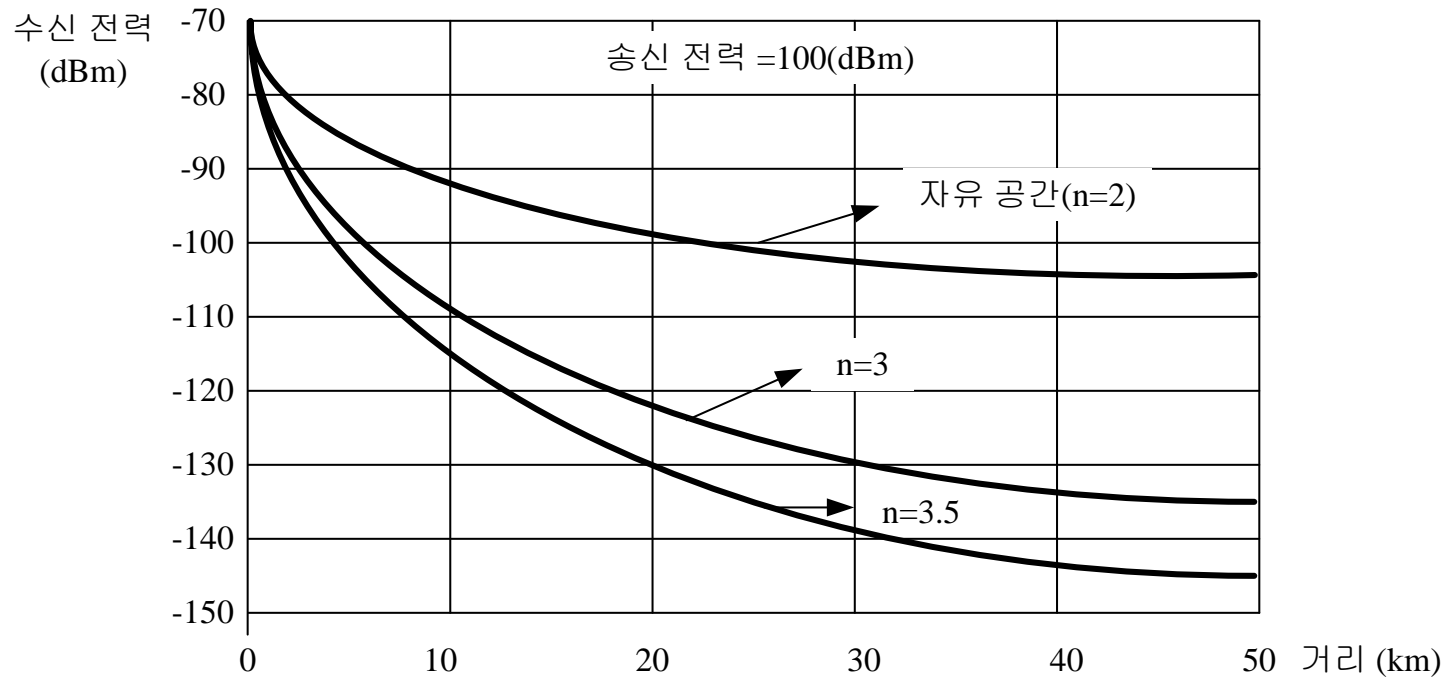
참조 : 2장 식 (2-16)

$\overline{PL}(d)$ : 거리  $d$ 의 경로손실  
 $d_0$ : 기준거리( $d_0 < d$ )  
 $n$ : 전파경로 손실 계수

통신 채널 환경	경로 손실 계수, n
Free space	2
Urban area cellular radio	2.7 ~ 3.5
Shadowed urban cellular radio	3 ~ 5
In building line-of-sight	1.6 ~ 1.8
Obstructed in building	4 ~ 6
Obstructed in factories	2 ~ 3

## 3.2.1 경로 손실 모델에 의한 전파 모델

### ◆ 경로손실 계수 $n$ 에 대한 수신된 전력





## 3.2.1 경로 손실 모델에 의한 전파 모델

### □ Log-normal shadowing 모델

- ◆ 송·수신기 사이의 실제 주변 환경에 따라 경로 손실 변화
- ◆ 실제 환경에서 나무나 빌딩 등에 의해 전파가 감쇠
- ◆ 거리  $d$ 만큼 떨어진 지점에서 경로 감쇠 값은 거리에 따른 경로 감쇠값에 대해 log normal 분포 모델

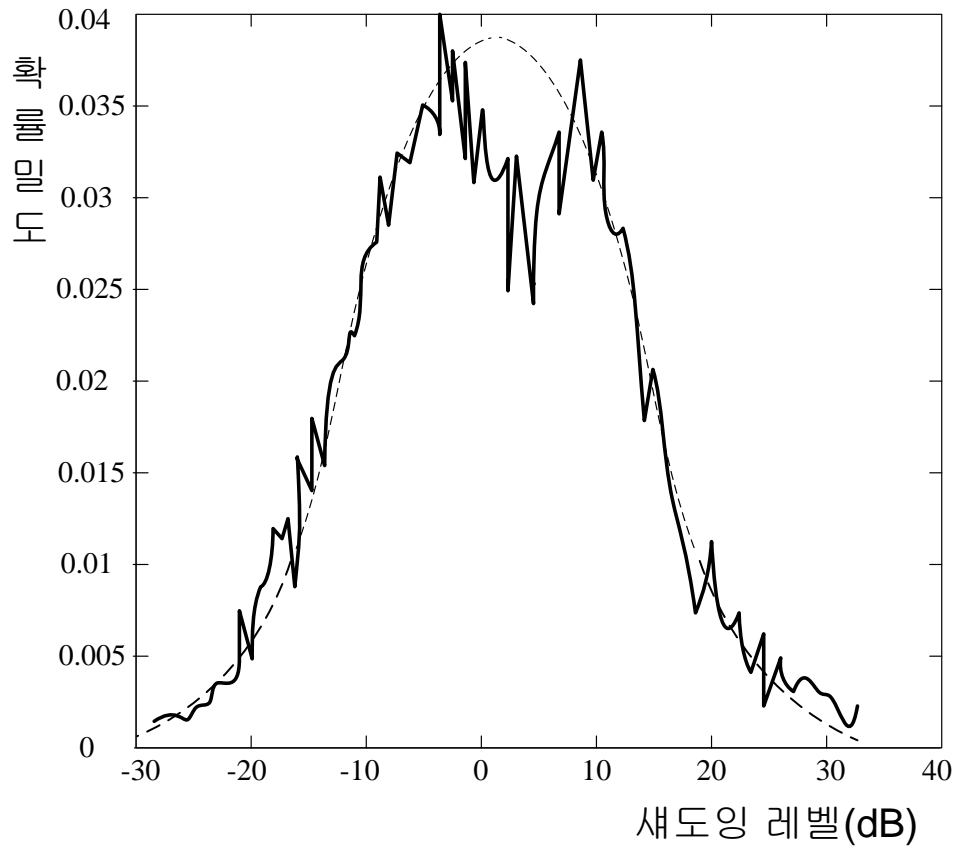
$$PL(d)[dB] = \overline{PL}(d) + X_\sigma = \overline{PL}(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma$$

$$P_r(d)[dBm] = P_t[dBm] - PL(d)[dB] \quad (PL(d): \text{안테나 이득 포함})$$

- ✓  $X_\sigma$  : 평균이 0인 가우시안 랜덤 변수이며 분산은  $\sigma^2$  이다

## 3.2.1 경로 손실 모델에 의한 전파 모델

### ◆ 새도잉에 의한 log-normal 분포 신호



## 3.2.2 Outdoor 전파 손실 모델

### □ Free Space Model

$$L_p = \frac{\lambda^2}{(4\pi d)^2}$$

where,  $\lambda$  : wavelength of the signal

$d$  : distance between transmitter and receiver

따라서 Path Loss in dB,

$$L_p \text{ [dB]} = -32.4 - 20 \log(f) - 20 \log(d) \text{ [dB]}$$

$d$  : distance in kilometers,  $f$  : frequency in MHz

It is mostly used in satellite and deep-space communications systems where the signals truly travel through “free space”

## 3.2.2 Outdoor 전파 손실 모델

### □ Lee model

$$L_p = 1.14 * 10^{-1.3} \frac{h^2}{d^{3.84}}$$

where  $d$  : distance in kilometers,  $h$  : height of the base station antenna in meters or

$$L_p \text{ (dB)} = -129.45 - 38.4 \log(d) + 20 \log(h)$$

- It is used in terrestrial communication system and includes various path condition (direct, indirect path)
- It is strongly influenced by the distance than free space model

## 3.2.2 Outdoor 전파 손실 모델

### □ 오키무라(Okumura) 모델

- ◆ 1968년 오키무라, 카와노, 후쿠다에 의해 제안
- ◆ 1920 MHz의 주파수에 대해 동경 지역의 전계 강도 측정
- ◆ 육상 이동 통신 무선 방식의 설계 기준으로 이용
- ◆ 준평활 지역 : 시가지, 교외지, 개방지
- ◆ 불규칙 지역 : 구릉 지형, 고립 산악, 경사 지형, 혼합 전파
- ◆ 오키무라 모델은 준평활지의 시가지 전계 강도를 기준으로 삼고  
그 외 지형물에 대해서는 기준 중앙값으로부터 보정값으로 표현
- ◆ 오키무라 곡선 : 송신 안테나의 높이, 사용 주파수 이용

## 3.2.2 Outdoor 전파 손실 모델

### □ 오키무라(Okumura) 모델

$$L_{50}(dB) = L_F + A_{mu}(f, d) - G(h_{te}) - G(h_{re}) - G_{AREA}$$

$L_F$  : Free space propagation Loss

$A_{mu}$  : Median attenuation relative to free space

$G(h_{te})$  : Base station antenna height gain factor

$G(h_{re})$  : Mobile station antenna height gain factor

$G_{AREA}$  : The type of environment

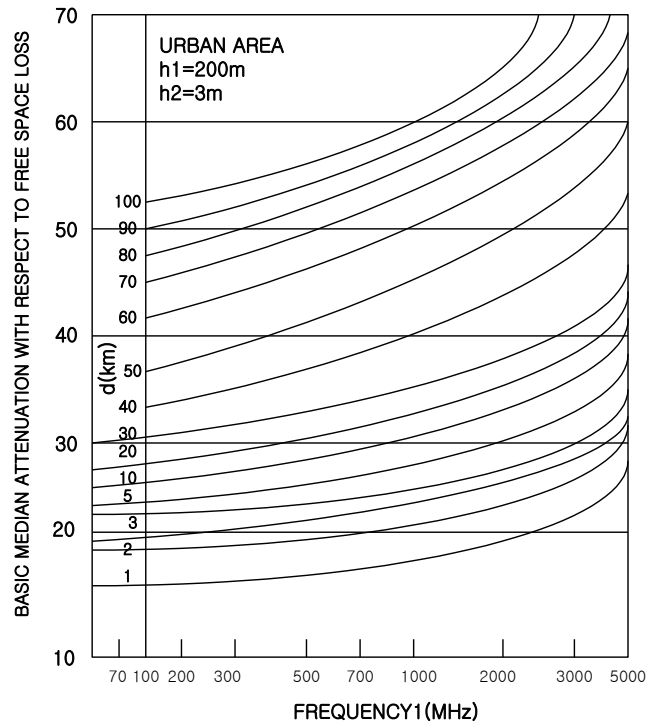
**Where**  $G(h_{te}) = 20 \log \left( \frac{h_{te}}{200} \right)$   $1000m > h_{te} > 10m$

$$G(h_{re}) = 10 \log \left( \frac{h_{re}}{3} \right) \quad h_{re} \leq 3m$$

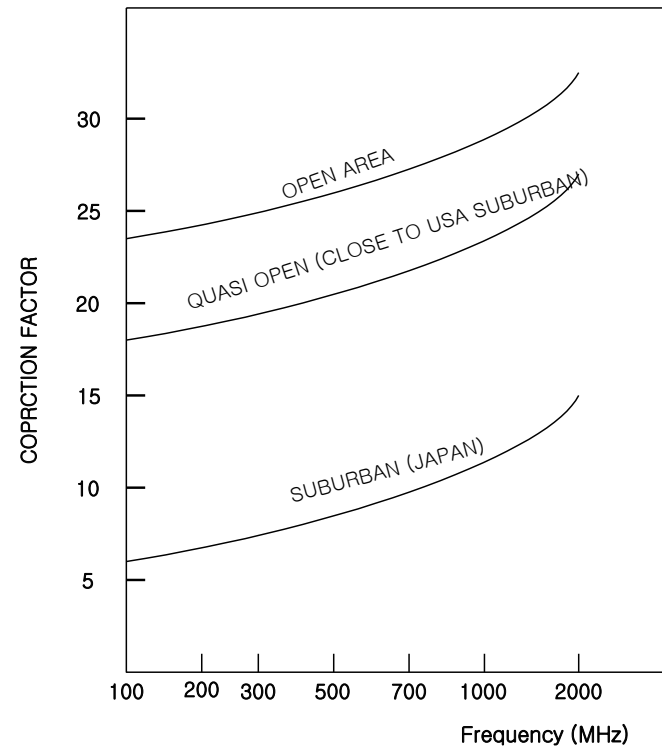
$$G(h_{re}) = 20 \log \left( \frac{h_{re}}{3} \right) \quad 10m > h_{re} > 3m$$

# 3.2.2 Outdoor 전파 손실 모델

## ◆ 오클무라(Okumura) 모델의 도심지역과 도심 이외 지역



Median attenuation relative to free space



$G_{area}$  값 보정

## 3.2.2 Outdoor 전파 손실 모델

### □ Ex) Okumura's Model

$d = 50Km$ ,  $h_{te} = 100m$ ,  $h_{re} = 10m$  in suburban

$EIRP = 1KW$  at  $900MHz$ . (Unity gain receiving antenna)

Sol)

$$L_F = 10 \log \left[ \frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right] = 10 \log \left[ \frac{(3 \times 10^8 / 900 \times 10^6)^2}{(4\pi)^2 \times (50 \times 10^3)^2} \right] = 125.5dB$$

$$A_{mu} (dB)(900MHz, 50Km) = 43dB$$

$$\& G_{AREA} = 9dB$$

$$G(h_{te}) = 20 \log \left( \frac{h_{te}}{200} \right) = 20 \log \left( \frac{100}{200} \right) = -6dB$$

$$G(h_{re}) = 20 \log \left( \frac{h_{re}}{3} \right) = 20 \log \left( \frac{10}{3} \right) = 10.46dB$$



## 3.2.2 Outdoor 전파 손실 모델

Okumura model sol. cont.)

The total mean Path Loss

$$\begin{aligned}L_{50}(dB) &= L_F + A_{mu}(f, d) - G(h_{te}) - G(h_{re}) - G_{AREA} \\ &= 125.5dB + 43dB - (-6dB) - 10.46dB - 9dB \\ &= 155.04dB\end{aligned}$$

The median received power is

$$\begin{aligned}\overline{P_r}(d) &= EIRP(dBm) - L_{50}(dB) + G_r(dB) \\ &= 60dBm - 155.04dB + 0dB \\ &= -95.04dBm\end{aligned}$$

## 3.2.2 Outdoor 전파 손실 모델

### □ 하타(Hata) 모델

#### ◆ 오키무라 모델의 단점을 수학적으로 모델링하여 간편화

$$L_p [dB] = 69.55 + 26.16 \log f_c - 13.82 \log h_t - a(h_r) + (44.9 - 6.55 \log h_t) \log d$$

$f_c$ : 전송 주파수     $d$ : 전파 도달 거리     $L_p$ : 전송 손실

$h_t$ : 기지국 안테나 높이     $h_r$ : 이동국 안테나 높이

#### ◆ 보정 팩터

❖ **중소도시**     $a(h_r) = (1.11 \log f_c - 0.7)h_r - (1.56 \log f_c - 0.8)$

❖ **대도시**     $a(h_r) = \begin{cases} 8.29(\log 1.5h_r)^2 - 1.1; f_c \leq 200MHz \\ 3.2(\log 11.75h_r)^2 - 4.97; f_c \geq 200MHz \end{cases}$

❖ **교외지역**     $L_p [dB] = L_p(\text{도심지역}) - 2[\log\left(\frac{f_c}{28}\right)]^2 - 5.4$

❖ **개방지역**     $L_p [dB] = L_p(\text{도심지역}) - 4.78(\log f_c)^2 - 18.33 \log f_c - 40.94$

## 3.3 Small Scale Propagation

### □ Small-Scale propagation model

#### ◆ Why Small?

아주 짧은 시간(수초 단위) 혹은 짧은 거리(수 파장)에서 수신 신호의 빠른 변화를 나타내는 전파모델

#### ◆ 다중 경로로 수신되는 신호의 Multipath에 의한 영향

#### ◆ 이동국의 차량 속도에 의한 주파수 천이에 의한 감쇠

❖ 다른 방향에서 오는 신호의 합을 나타내기 때문에 짧은 거리 약  $\lambda/2$ 에서 최대 30~40dB의 수신 전력의 변화가 생기기도 한다.

#### ◆ 송신신호와 다중경로채널의 상대적인 대역폭관계

#### ◆ 레일리 페이딩분포(Rayleigh fading distribution) ▶

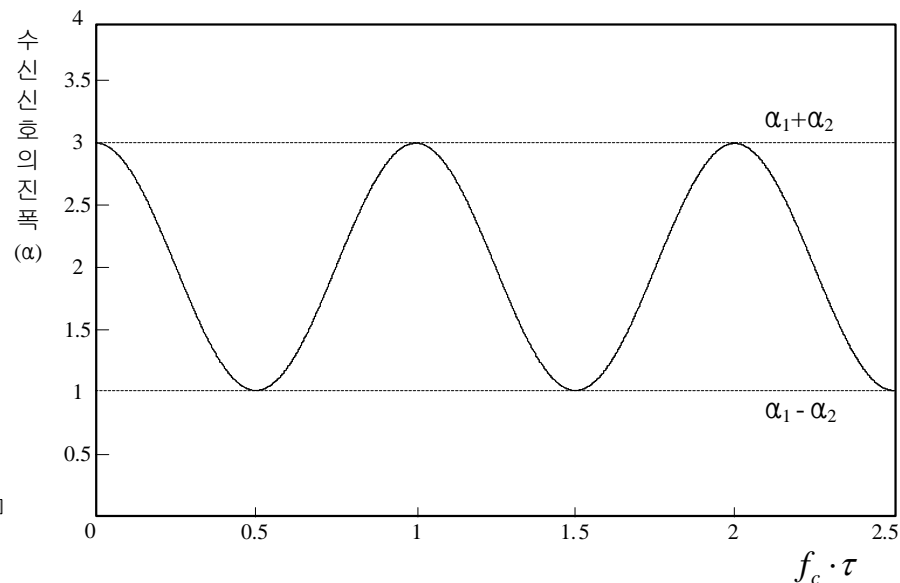
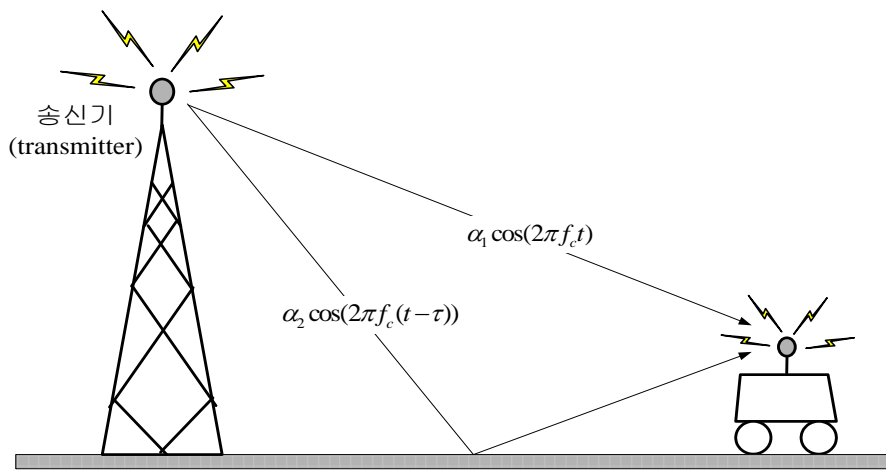
#### ◆ 라이시안 페이딩 분포(Rician fading distribution) ▶

# 3.3 Small Scale Propagation

## ◆ 2개의 전파 경로를 가진 채널의 예

$$r(t) = \alpha_1 \cos(2\pi f_c t) + \alpha_2 \cos(2\pi f_c (t - \tau))$$

$\alpha_1, \alpha_2$  : 각각 두 경로로부터의 신호 진폭

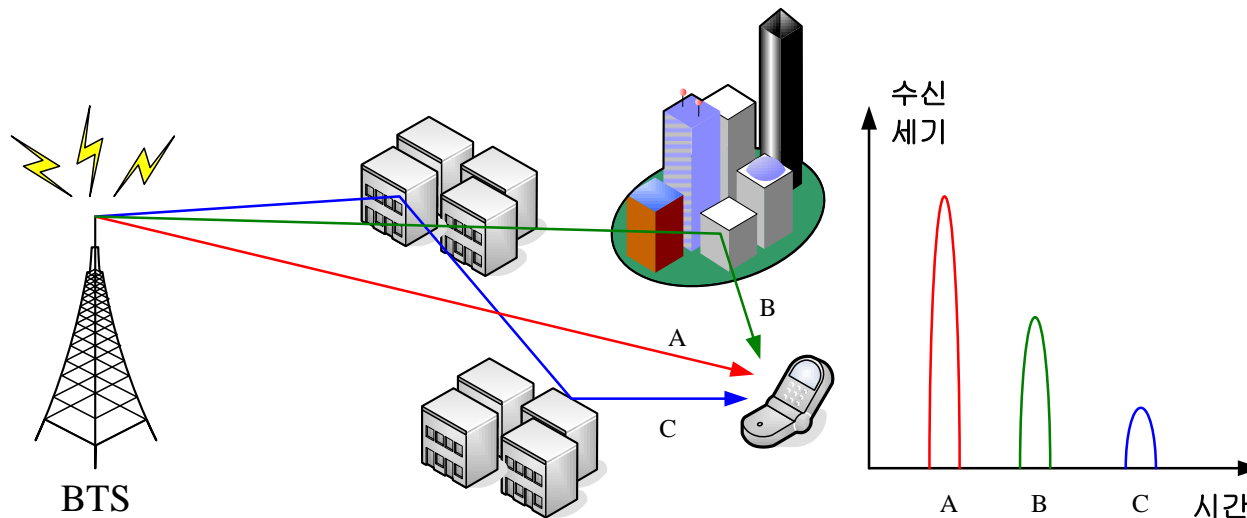


- ✓  $\alpha_1 = 2, \alpha_2 = 1$  인 경우  $f_c \cdot \tau$  에 대해 페이딩에 의한 진폭의 변화
- ✓ 두 신호의 합에 의한 신호가  $f_c \cdot \tau = 0, 1, 2, \dots$  일 경우 좋아지기도 하고,  $f_c \cdot \tau = 0.5, 1.5, 2.5$  경우 나빠지기도 한다.

# 3.3.1 다중경로에 의한 지연 확산

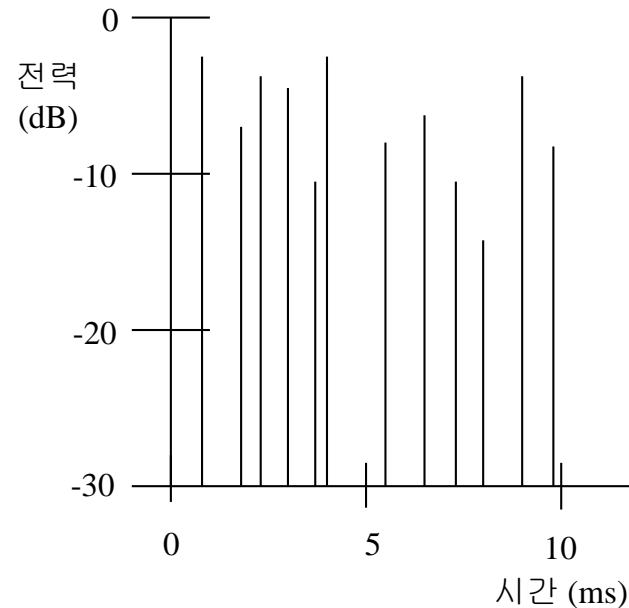
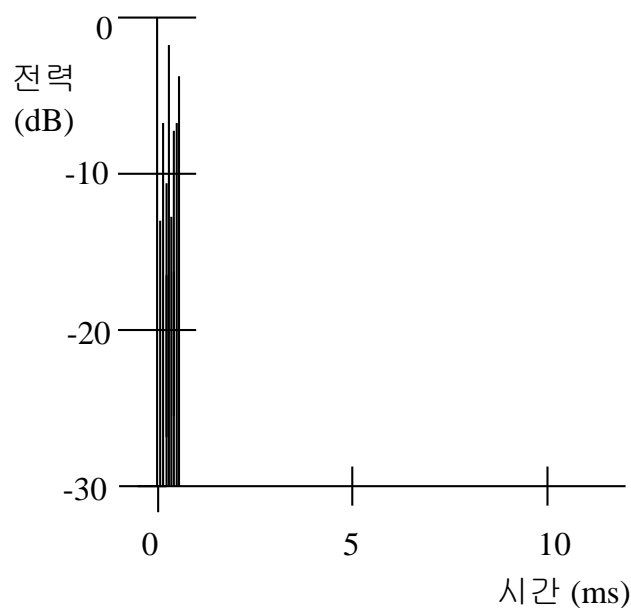
□ 송신된 전파가 다중 경로 전파환경에 의해 산란 및 반사되어 수신 시간이 퍼지는 현상

- ◆ 다중경로는 송신신호가 직접 도달할 뿐만 아니라, 장애물을 통과하거나 반사하여 간접적으로 도달할 때 발생
- ◆ 직접 경로와 반사 경로 사이에 경로차가 발생하여 수신기에 도착하는 시간 차이 발생



### 3.3.1 다중경로에 의한 지연 확산

- ◆ 다중 경로로 전파된 신호는 각 경로의 거리 및 전송 특성 등의 차이에 의해 도달하는 시간과 진폭에 차이가 발생
- ◆ 일반적으로 거쳐오는 경로가 길수록 수신되는 진폭은 작아지고 지연시간도 길어지게 된다.



✓ 시골 지역과 도심지역 지연 확산 비교

# 다중경로에 의한 지연 확산

Type of Environment	Delay Spread $\tau_d (\mu s)$
Open area	< 0.2
Suburban area	0.5
Urban area	3
In-building	0.1

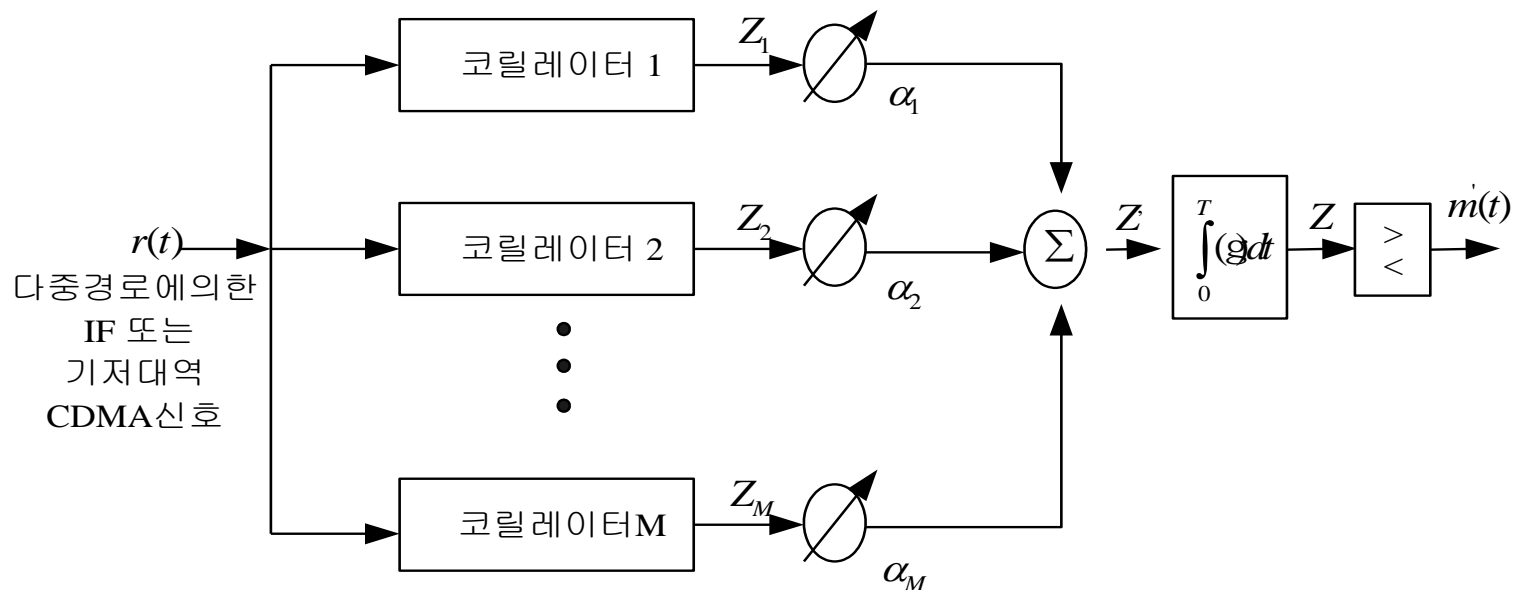
\* 다중경로 환경에 따른 Rake Receiver 분해도 ->교재 193-194쪽 참조

정의 : 송신된 전파가 이동 수신기에 도달되는 시간이 다중경로 전파 환경에 의해서 시간적으로 퍼져 들어오는 정도  
=> **Intersymbol Interference**

특성 : 떨어져 있는 반사체가 많은 환경 내에 이동체가 놓여 있을 때  
**Delay Spread** 값이 커진다.  
또한 **delay spread** 값은 **Higher data rate** 시스템에 심각한 영향을 끼침

## 3.3.1 다중경로에 의한 지연 확산

- ◆ 인접 심볼 간의 간섭(ISI; inter symbol interference)
  - ❖ 원래의 심볼 주기보다 빠르게 혹은 늦게 도착한 심볼은 앞이나 뒤의 심볼에 영향
  - ❖ 고속 데이터전송시스템은 지연확산으로 인한 ISI 영향 증가
  - ❖ 레이크 수신기(Rake receiver) 이용(교재 193-194쪽 참조)





## 3.3.1 다중경로에 의한 지연 확산

### □ 전력지연 프로파일 특성

- ◆ 최대 시간 지연 확산(maximum excess delay spread)
- ◆ 평균 초과 지연(mean excess delay)

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k}{\sum_k P(\tau_k)}$$

- ◆ rms 지연 확산(delay spread)

$$\sigma_\tau = \sqrt{\tau^2 - (\bar{\tau})^2}$$

- ◆ 평균 제곱 지연(mean square delay)

$$\bar{\tau}^2 = \frac{\sum_k a_k^2 \tau_k^2}{\sum_k a_k^2} = \frac{\sum_k P(\tau_k) \tau_k^2}{\sum_k P(\tau_k)}$$

## 3.3.1 다중경로에 의한 지연 확산

- ◆ 최대 초과 지연(maximum excess delay)의 상관 관계

$$B_c = 1 / T_m$$

- ◆ 주파수 상관성이 0.9 이상, coherence bandwidth

$$B_c \approx \frac{1}{50\sigma_\tau}$$

- ◆ 일반적인 경우 상관성이 0.5인 경우,

$$B_c \approx \frac{1}{5\sigma_\tau}$$

# 3.3.1 다중경로에 의한 지연 확산

## ◆ 다중경로에 대한 채널 특성

$$r(t) = As(t) + As(t - \tau)$$

$$R(f) = AS(f) + AS(f)e^{-j2\pi f\tau}$$

$$R(f) = AS(f)[1 + e^{-j2\pi f\tau}] = AS(f)H(f)$$

$$H(f) = 1 + e^{-j2\pi f\tau} = 2e^{-j2\pi f(\tau/2)} \cos(\pi f\tau)$$

$$|H(f)| = 2 \cos(2\pi f(\tau/2))$$

\* Note :

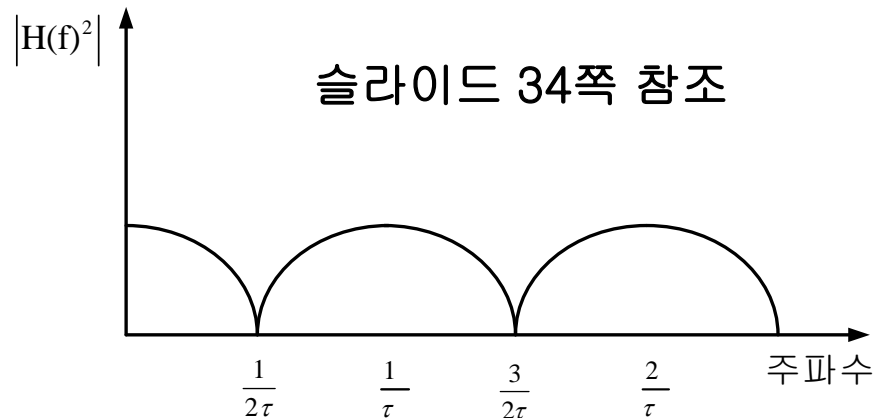
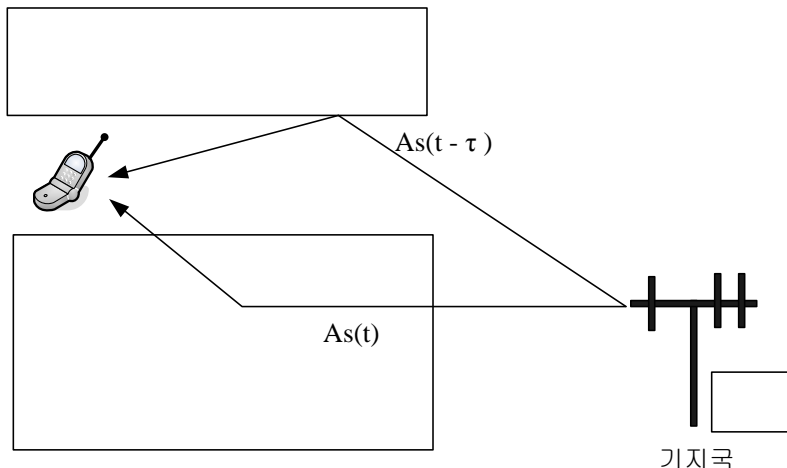
$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{1}{2\tau} \text{ 이고}$$

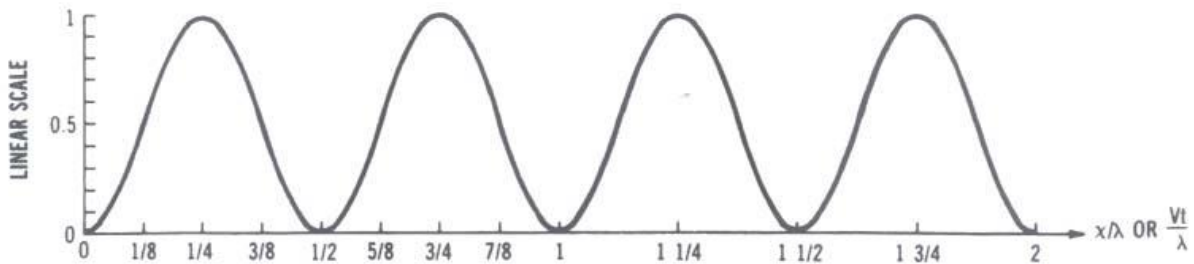
$$\tau = \frac{\text{거리}(x)}{\text{속도}(c)} \text{ 이므로}$$

대입하면,

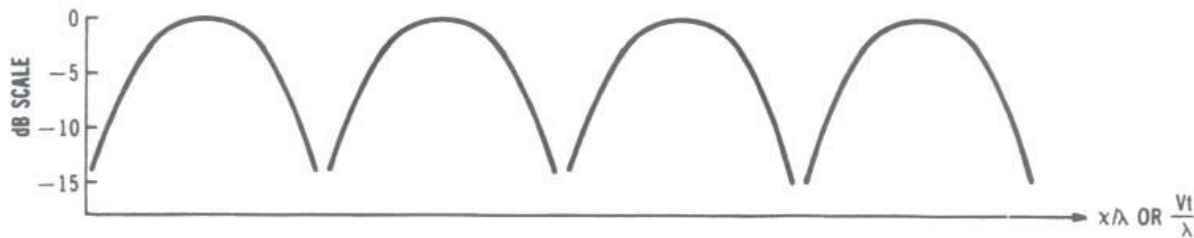
$$\frac{c}{\lambda} = \frac{1}{2(x/c)} \Rightarrow x = \frac{\lambda}{2} \text{ 씩 간격임.}$$

## ◆ 다중경로 성분과 주파수 선택적 페이딩의 전달함수

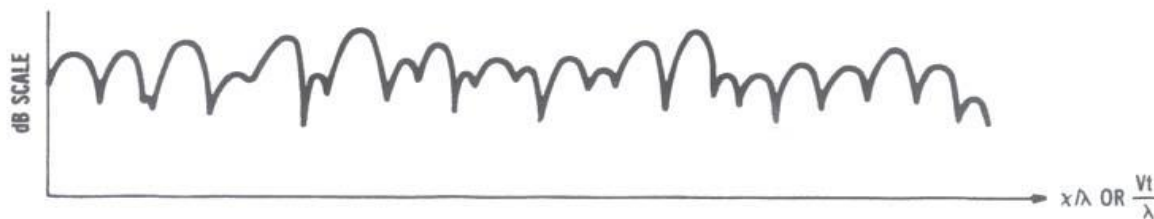




(A) Power  $\propto \sin^2(2\pi V/\tau T)$ .



(B) Power in dB scale (standing wave pattern).



(C) Fading pattern with  $N$  reflected waves.

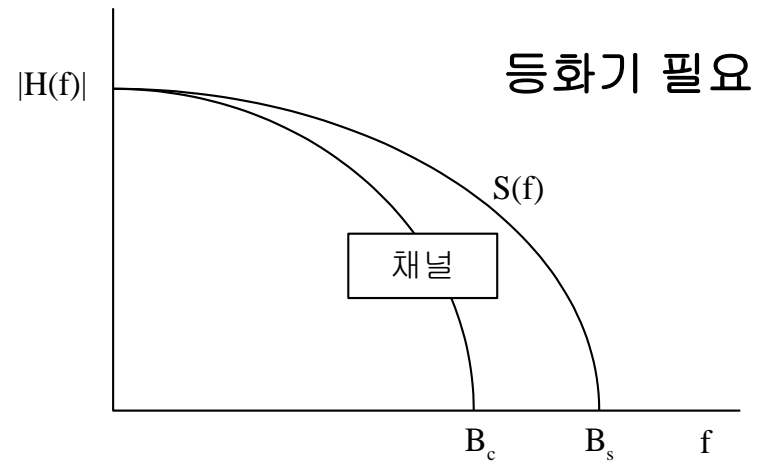
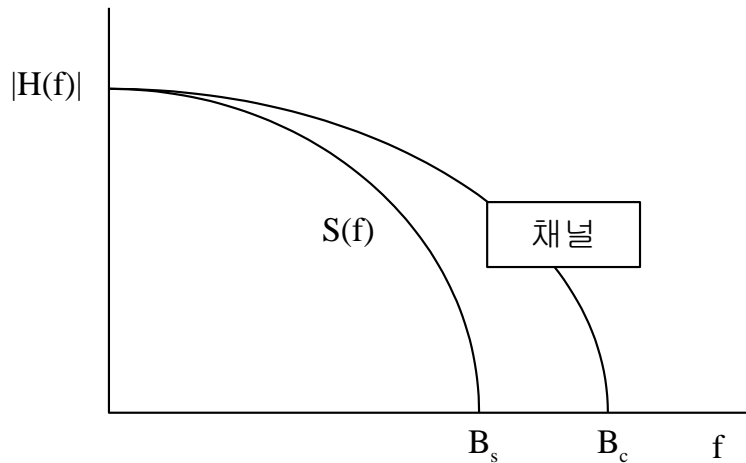
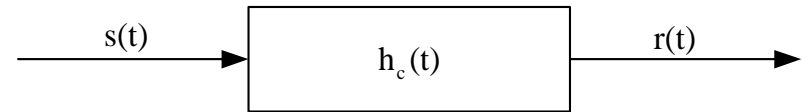
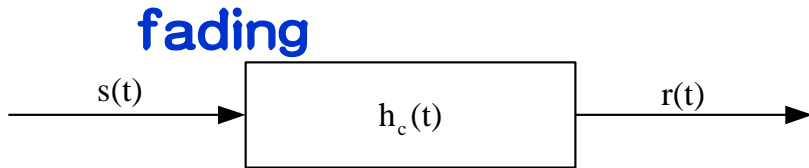
Figure E1.1. Fading illustrations with different scales.

# 3.3.1 다중경로에 의한 지연 확산

## ◆ 기저대역채널 응답(전달 함수)

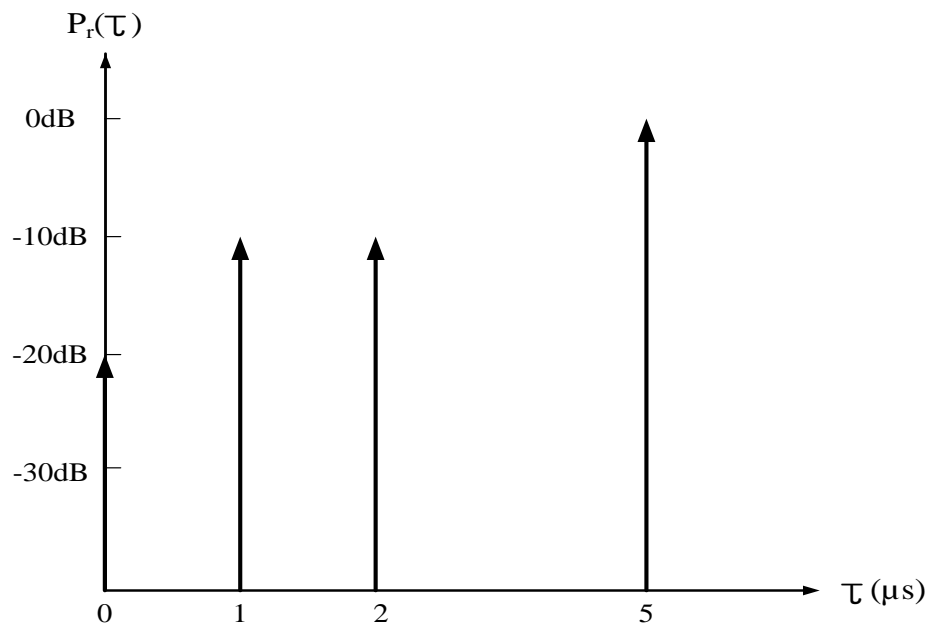
Flat fading

Frequency Selective



### 3.3.1 다중경로에 의한 지연 확산

예제) 아래에 주어진 다중경로 프로파일 대해서 평균 초과지연, rms지연, rms지연 확산, 최대초과( 0 dB)을 계산하라.  
또한 채널의 50%의 코히어런스 대역폭을 추정하라.  
이 때 등화기가 없이도 AMPS(30KHz)나 GSM(200KHz) 시스템 채널에 알맞은가?



## 3.3.1 다중경로에 의한 지연 확산

### ◆ 최대 초과 지연(maximum excess delay)

$$\bar{\tau} = \frac{(1)(5) + (0.1)(1) + (0.1)(2) + (0.01)(0)}{[0.01 + 0.1 + 0.1 + 1]} = 4.38 \mu s$$

### ◆ 전력지연 프로파일 2차 모멘트

$$\bar{\tau}^2 = \frac{(1)(5)^2 + (0.1)(1)^2 + (0.1)(2)^2 + (0.01)(0)}{1.21} = 21.07 \mu s^2$$

### ◆ rms 지연확산

$$\sigma_{\tau} = \sqrt{21.07 - (4.38)^2} = 1.37 \mu s$$

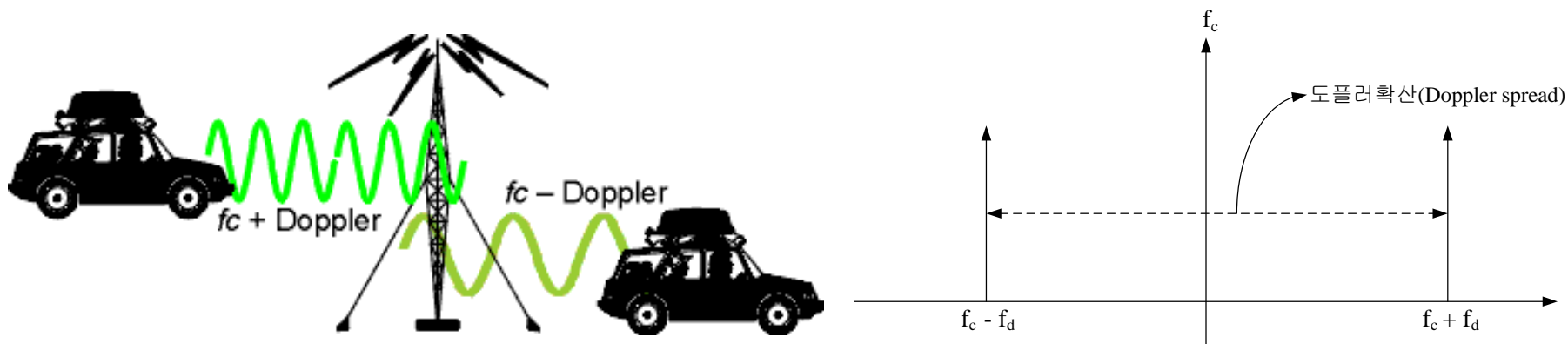
### ◆ 코히어런스 대역폭

$$\frac{1}{5\sigma_{\tau}} = \frac{1}{5(1.37 \mu s)} = 146 \text{ kHz}$$

- ◆ 30kHz보다 크기 때문에 AMPS는 등화기 없이 동작할 수 있다. 그러나 GSM은 200kHz의 대역폭이 요구되므로 등화기가 필요하다.

## 3.3.2 도플러 효과에 의한 주파수 천이

- 도플러 천이(*Doppler shift*): 이동체 속도에 따라 주파수가 변화하는 현상
- 도플러 확산(*Doppler spread*): 주파수 천이의 분포



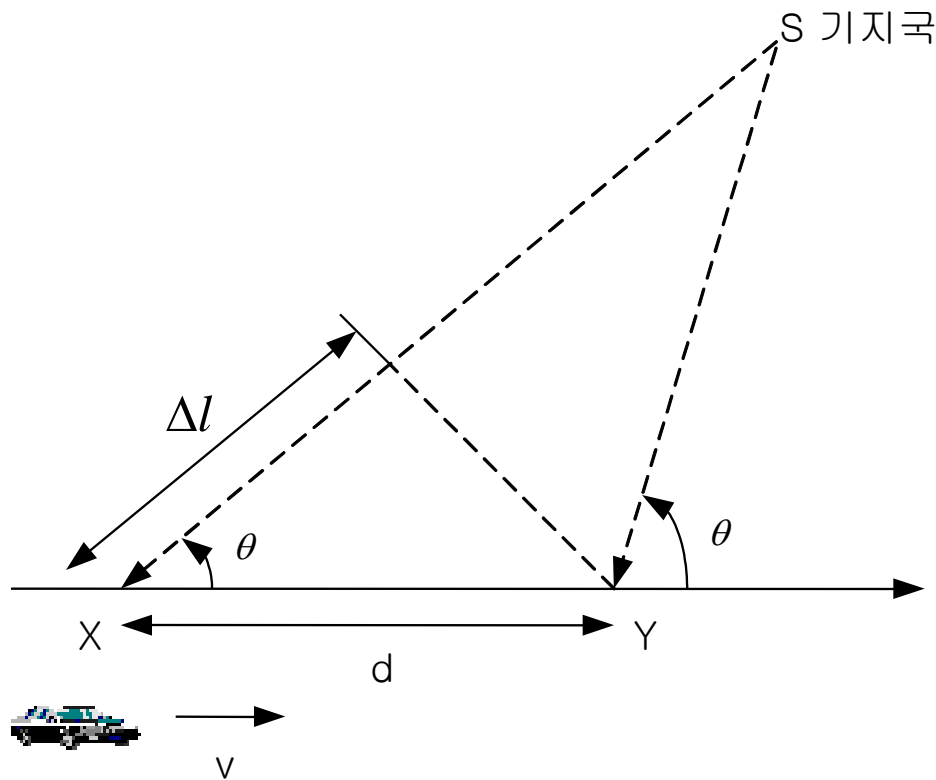
- ✓ 이동체가 움직이면서 경로 길이의 차이에 의한 수신 신호의 위상 변위가 생기며 이는 바로 주파수 변위를 야기시키게 된다. 이러한 주파수 변위를 도플러 천이 라고 한다.



## 3.3.2 도플러 효과에 의한 주파수 천이

### □ 도플러 효과(Doppler Effect)

$$f_d = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{v}{\lambda} \cdot \cos\theta$$



$$\text{Phase Shift : } 2\pi f_c \cdot \Delta t$$

$$\Delta t = \frac{\Delta l}{c} \quad \& \quad \lambda = \frac{c}{f}$$

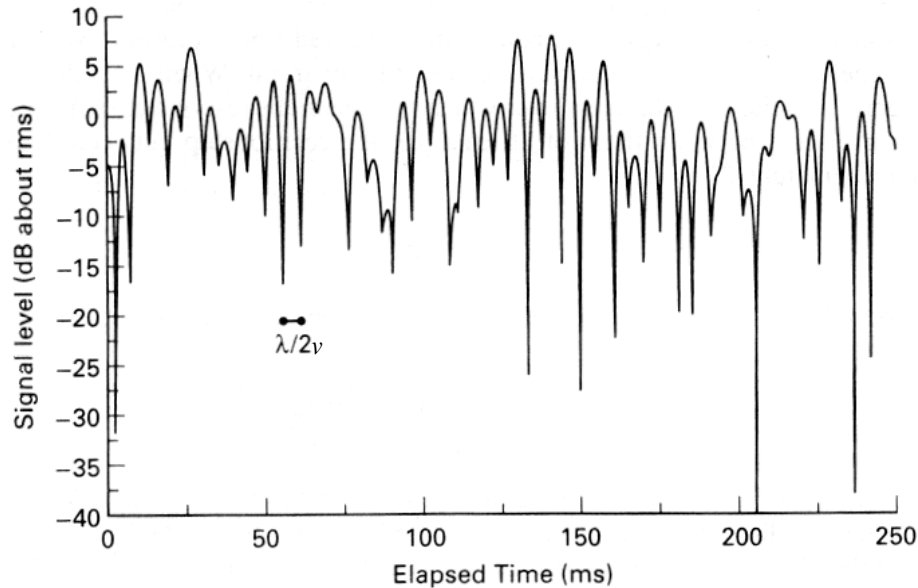
$$\Delta\phi = \frac{\omega\Delta l}{c} = \frac{2\pi\Delta l}{\lambda} = \frac{2\pi v\Delta t}{\lambda} \cos\theta$$

$$f_d = \frac{\Delta\phi}{2\pi\Delta t} = \frac{v}{\lambda} \cos\theta$$

파형 -> 슬라이드 36쪽 참조

## 3.3.2 도플러 효과에 의한 주파수 천이

### □ 900MHz의 전형적인 레일라이 페이딩 포락선



\* Note :

$$\text{최대도플러주파수 } f_d = \frac{v}{\lambda},$$

$$t = \frac{1}{2f_d} = \frac{\lambda}{2v}, \quad \therefore vt = \frac{\lambda}{2}$$



## 3.3.2 도플러 효과에 의한 주파수 천이

□ Ex)  $f_c = 1850\text{MHz}$     $v = 60\text{mph} \longrightarrow 26.82\text{m/s}$

$$\lambda = \frac{c}{f_c} = \frac{3 \times 10^8}{1850 \times 10^6} = 0.162\text{m}$$

◆ 송신기를 향하여 움직일 때 주파수 천이

$$\begin{aligned} f &= f_c + f_d \quad (\rightarrow f_d = \frac{v}{\lambda}) \\ &= 1850 \times 10^6 + \frac{26.82}{0.162} = 1850.00016\text{MHz} \end{aligned}$$

◆ 송신기로부터 멀어질 때 주파수 천이

$$f = f_c - f_d = 1849.999834\text{MHz}$$

◆ 이동국이 송신된 신호에 대해 수직으로 움직일 때

$$\theta = 90^\circ \quad \cos \theta = 0 \quad \therefore \text{No Doppler Shift}$$

## 3.3.2 도플러 효과에 의한 주파수 천이

□ Cellular : 90km/hr, 900MHz

$$\lambda_{\text{cellular}} = \frac{c}{f_{\text{cellular}}} = \frac{3 \times 10^8}{900 \times 10^6} = 0.33\text{m} \quad \Delta t_{\text{cellular}} = \frac{(\lambda_{\text{cellular}} / 2)}{v} = \frac{0.167\text{m}}{25\text{m/sec}} = 6.67\text{msec}$$

$$f_{D,\text{cellular}} = \frac{v}{\lambda_{\text{cellular}}} = \frac{25\text{m/sec}}{0.33\text{m}} = 75\text{Hz}$$

□ PCS : 25m/sec, 1.9GHz

$$\lambda_{\text{PCS}} = \frac{c}{f_{\text{PCS}}} = \frac{3 \times 10^8}{1.9 \times 10^9} = 0.16\text{m} \quad \Delta t_{\text{PCS}} = \frac{(\lambda_{\text{PCS}} / 2)}{v} = \frac{0.079\text{m}}{25\text{m/sec}} = 3.16\text{msec}$$

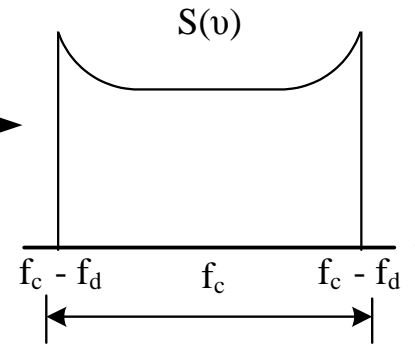
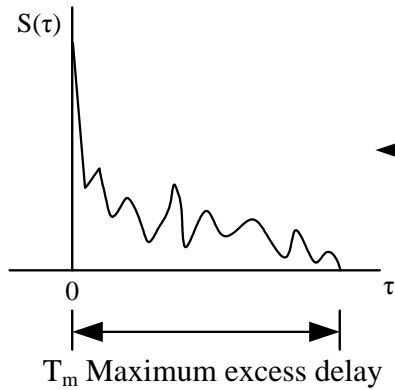
$$f_{D,\text{PCS}} = \frac{v}{\lambda_{\text{PCS}}} = \frac{25\text{m/sec}}{0.16\text{m}} = 158\text{Hz}$$

# 3.3.3 Small Scale Fading

다중경로세기 프로파일

쌍대함수

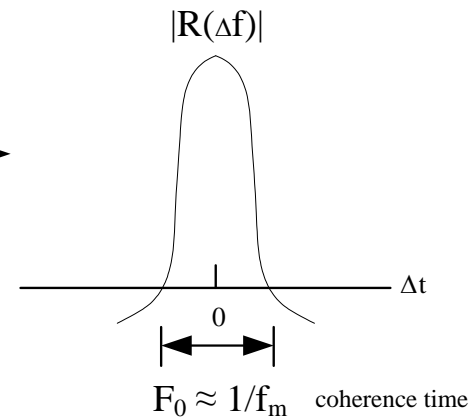
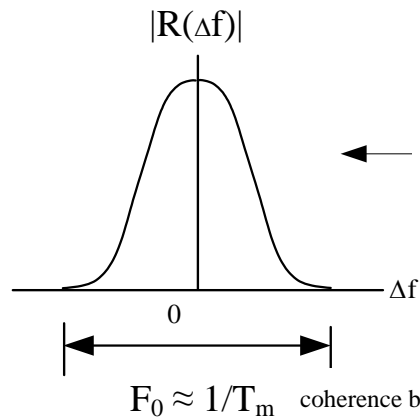
도플러 전력 스펙트럼



← 쌍대함수 →

푸리에 변환

푸리에 변환



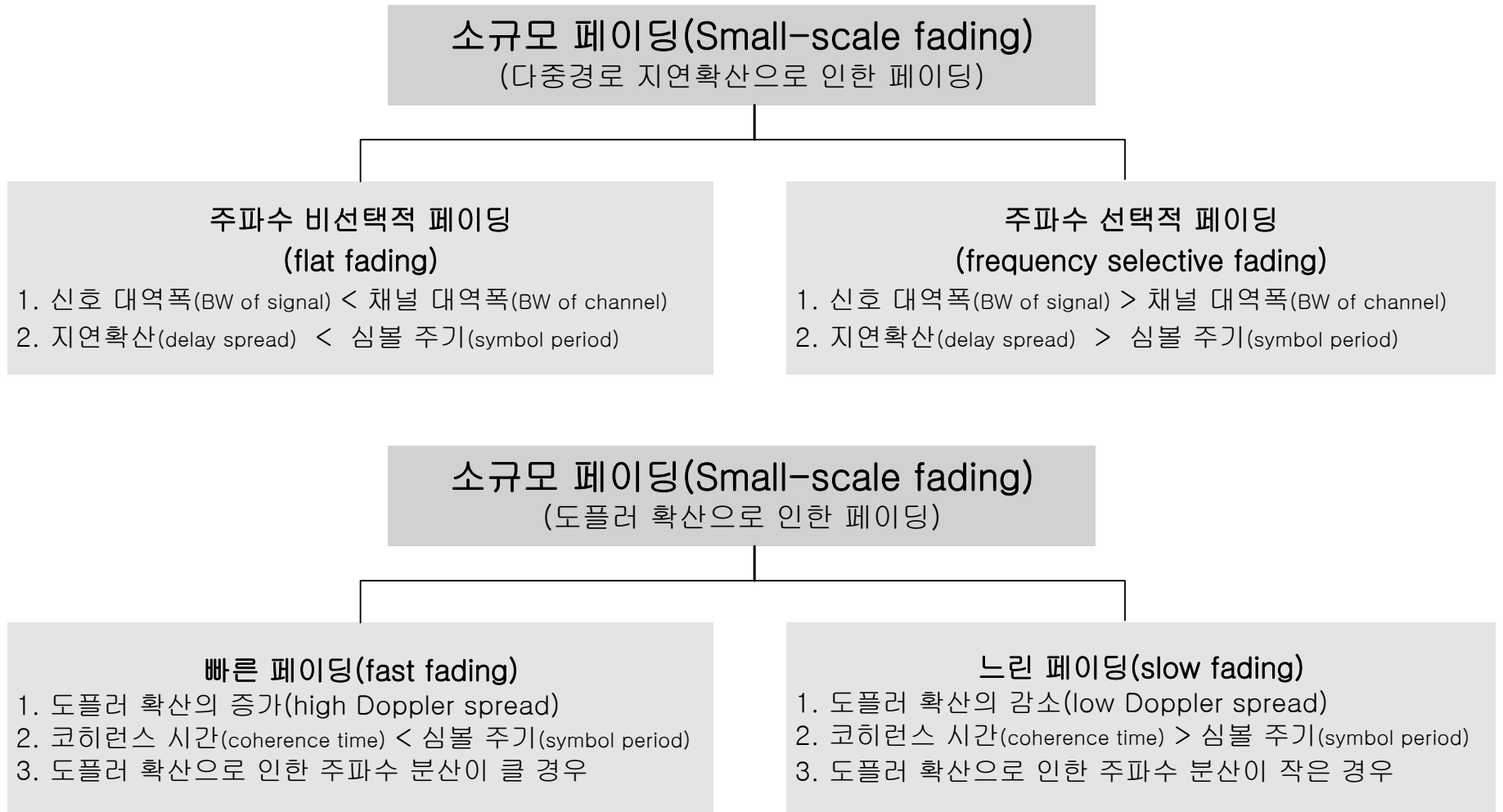
← 쌍대함수 →

주파수 영역의  
코릴레이션 함수

시간 영역의  
코릴레이션 함수

# 3.3.3 Small Scale Fading

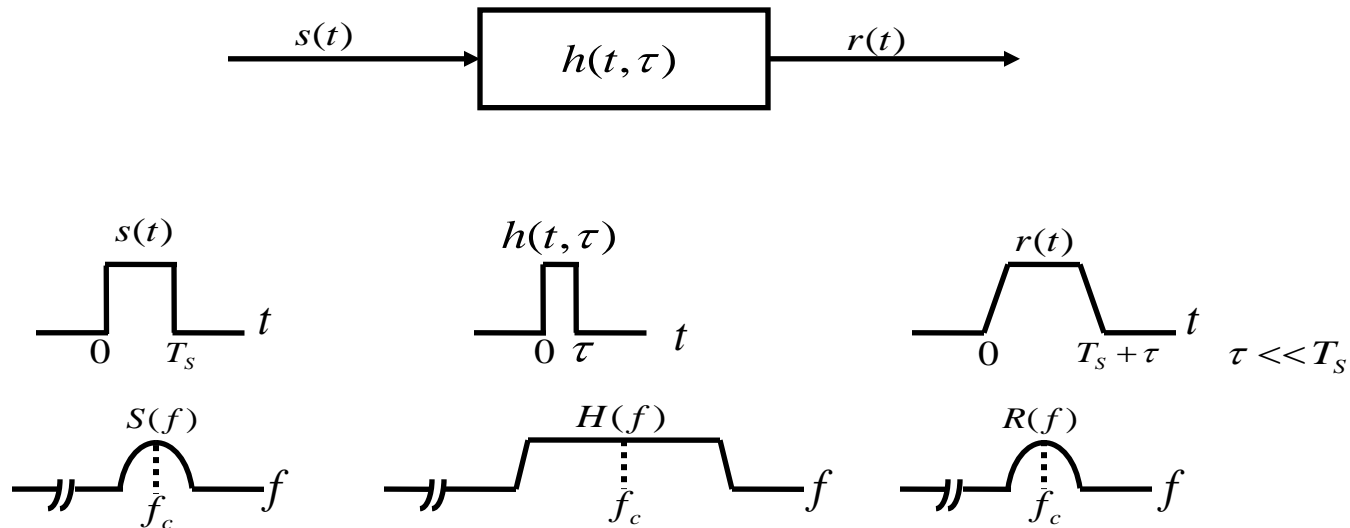
## □ Small Scale Fading의 종류



### 3.3.3.1 다중경로 시간 지연에 의한 Fading 효과

; 다중경로에 따른 수신 신호 시간 dispersion 은 전송신호에 flat fading, frequency selective fading을 야기시킴

i) Flat fading  $\equiv$  Amplitude varying channels  $\equiv$  Narrowband channels



Flat fading channel characteristics

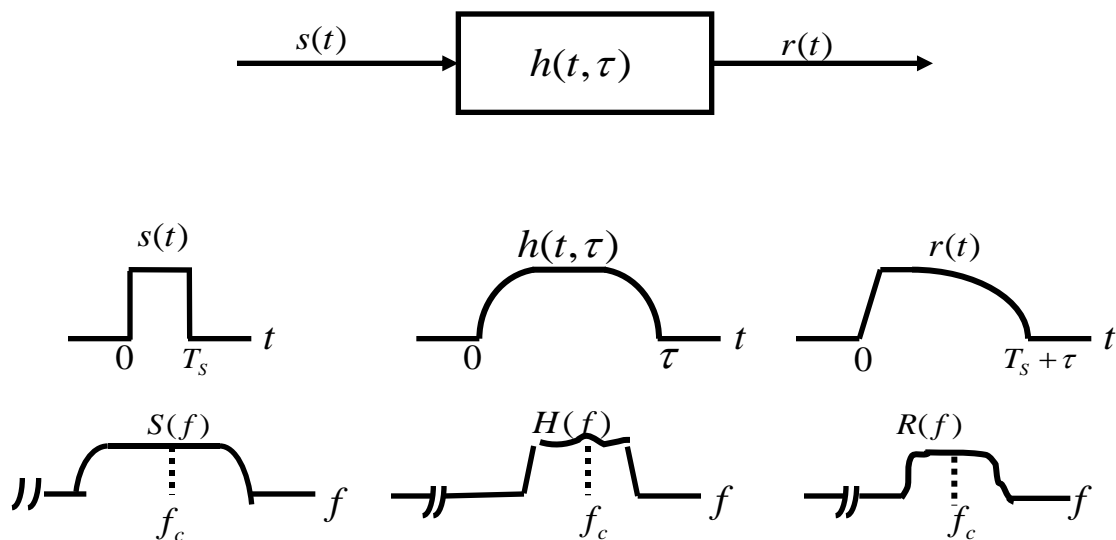
- 전송신호 B.W  $\ll$  Channel flat fading B.W (Coherent bandwidth)  
또는  $T_s \gg \sigma_\tau$  (rms delay spread)
- Deep fade 대책 : 20dB~30dB 정도 전송전력을 증가시킴으로써 bit error rate 를 줄일 수 있음.

### 3.3.3.1 다중경로 시간 지연에 의한 Fading 효과

#### ii) Frequency selective fading

전송신호 대역폭( $B_s$ )  $\gg$  Coherence bandwidth( $B_c$ )인 경우 전송 신호는 주파수 대역에 따라 다른 fading 특성을 가짐

$$(\equiv T_s \ll \sigma_\tau)$$

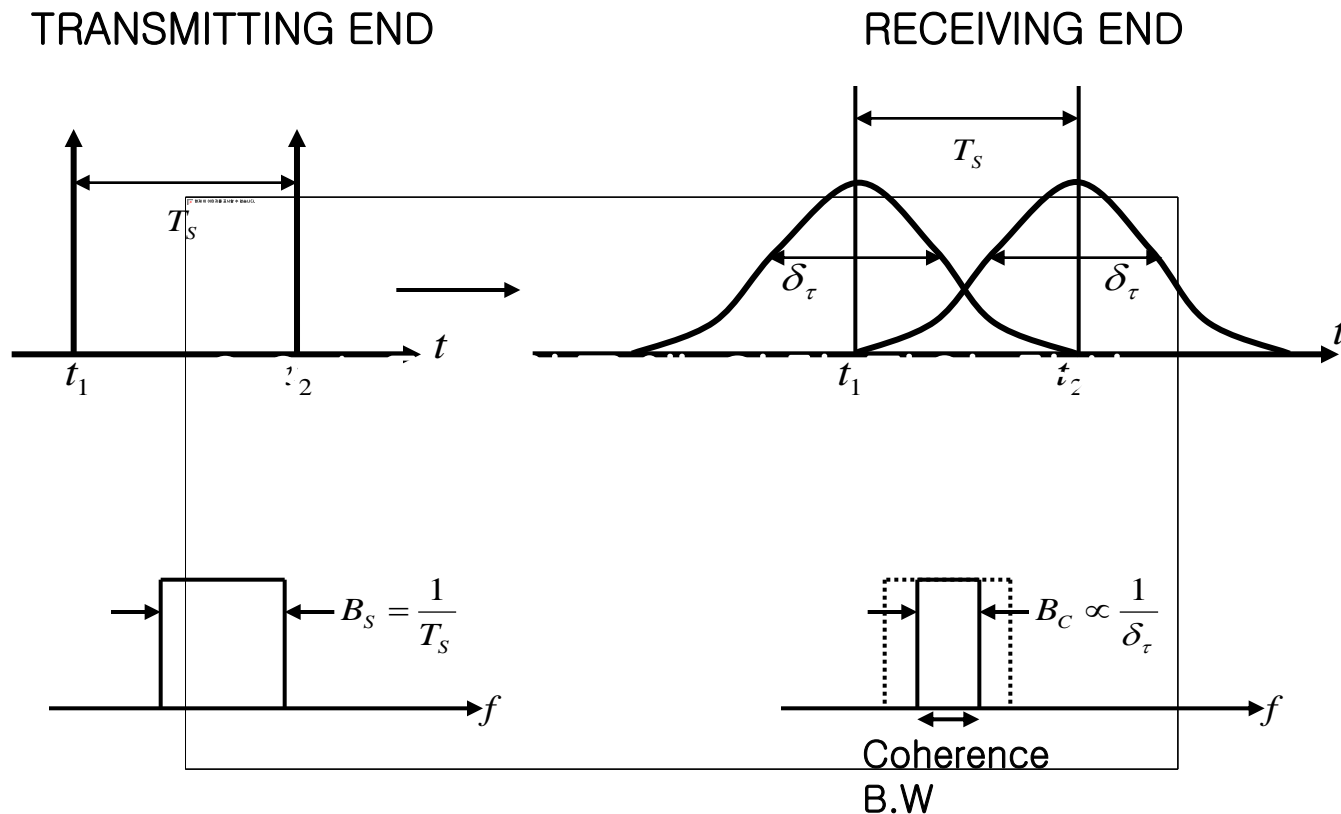


Frequency selective fading channel characteristics



# 3.3.3.1 다중경로 시간 지연에 의한 Fading 효과

## Frequency selective fading(계속)



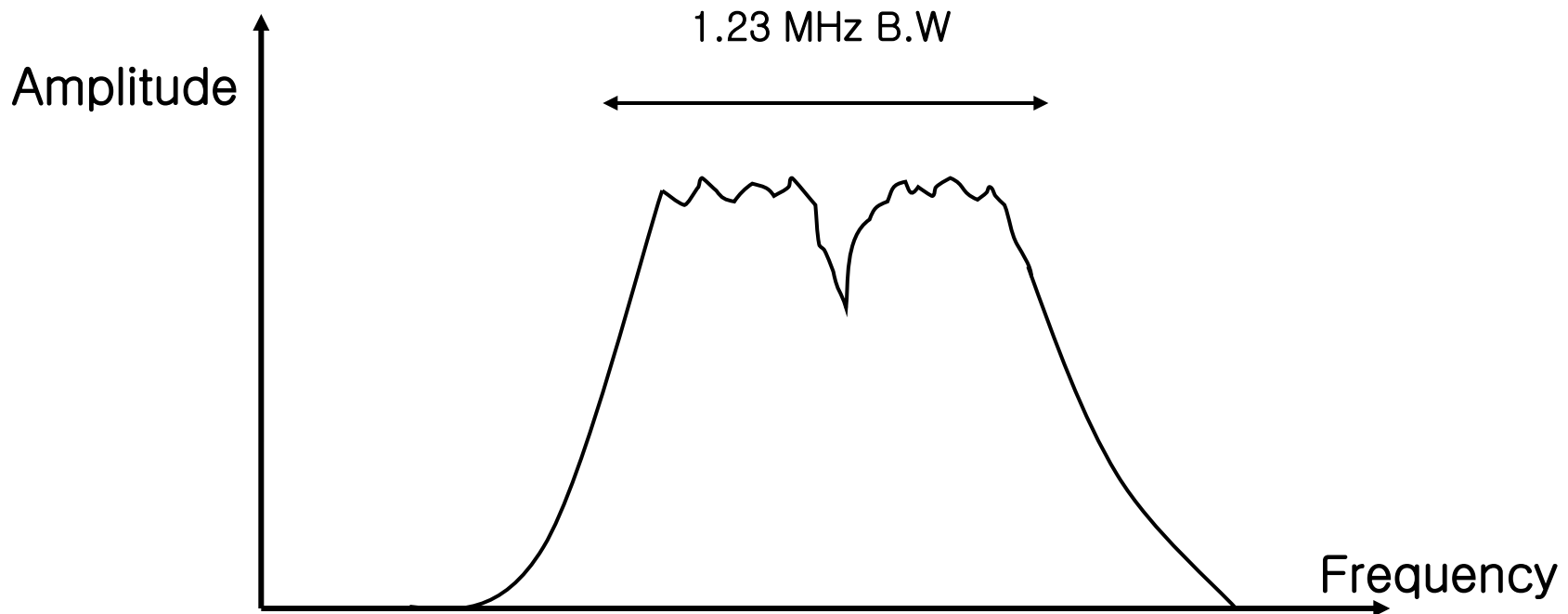
*Time dispersive channels,  $\delta_\tau \gg T_s$  인 경우*

# Frequency Selective Fading

- Note 1 : Frequency selective fading을 활용한 CDMA frequency diversity
  - 거의 대부분의 이동환경 하에서 다중경로 시간지연의 폭은 커지게 되고, 따라서 Coherence B.W는 작아짐. CDMA시스템에서는 아날로그시스템이나 TDMA 시스템보다 Coherence B.W에 비해 전송신호 대역폭이 훨씬 커지므로 전송대역폭의 일부분에서만 fading을 겪게 됨. ⇒ 확산 대역폭이 커질수록 Fading 저항성 커짐.
- Note 2 : 다중경로에 의한 긴 delay spread시 Rake Receiver를 활용한 fading 대책가능.

## *CDMA Frequency Diversity*

- Combats Fading, Caused by Multipath
- Fading Acts like Notch Filter to a Wide Spectrum Signal
- May Notch only Part of Signal



### 3.3.3.2 도플러 확산에 의한 페이딩

- 이동국의 상대적인 이동속도에 따라 전송신호의 Spectrum 천이(Doppler spread)가 야기됨. 이때 Doppler spreading 정도(대역폭)와 전송신호 대역폭과의 상대적인 크기에 따라 Fading 효과가 다름.
- 전송신호 변화율과 채널의 시간변화율과의 관계에 따라 (How rapidly the transmitted base band signal changes as compared to the rate of channel changes) Fast fading과 Slow fading channel로 구분 됨.

### 3.3.3.2 도플러 확산에 의한 페이딩

#### Doppler spread에 의한 Fading 종류

##### i) Slow fading

$$B_S \gg B_D \quad (\text{Doppler Spread, B.W.})$$

$$T_S \ll T_C \quad (\text{Coherence Time} \propto \frac{1}{B_D})$$

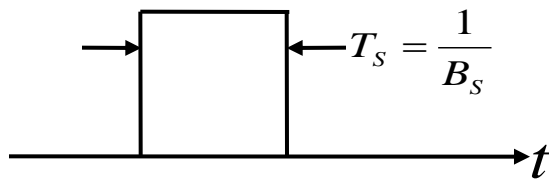
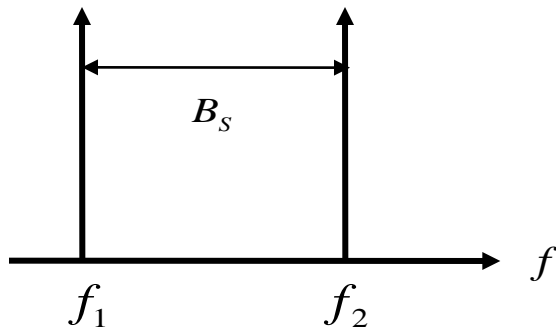
##### ii) Fast fading

$$B_S \ll B_D \quad , \quad T_S \gg T_C$$

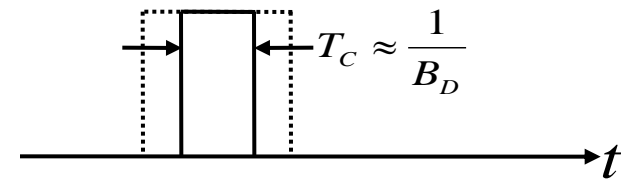
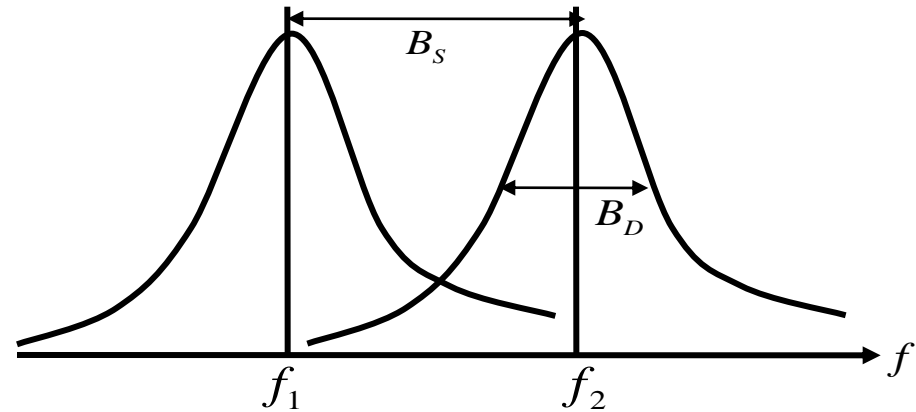
\* Fast fading은 주로 Low-data rate 신호전송 시 발생

# Doppler spread에 의한 Fast fading 현상

TRANSMITTING END

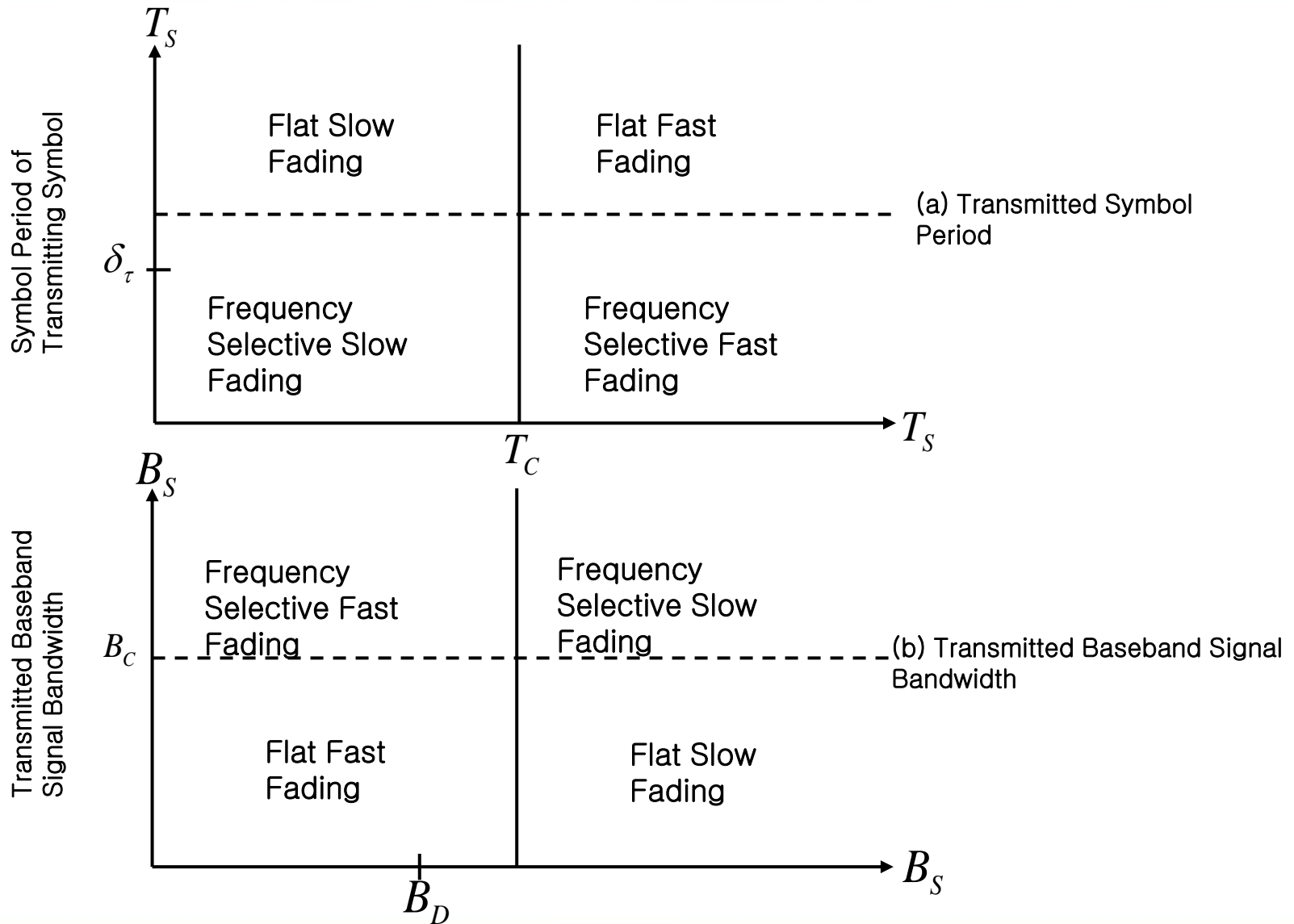


RECEIVING END



*Frequency dispersive channels,  $B_D \gg B_s$  인 경우*

# 전송 Symbol Rate 에 따른 Small Scale Fading 분류



# 3.4 페이딩 채널 모델

□ 라이시안 계수  $K = \frac{\text{dominant path}}{\text{scattered paths}}$

◆  $K=0$  : Rayleigh channel (dominant path=0)

◆  $K=\infty$  : AWGN channel (scattered paths=0)

