

# CHAPTER 5

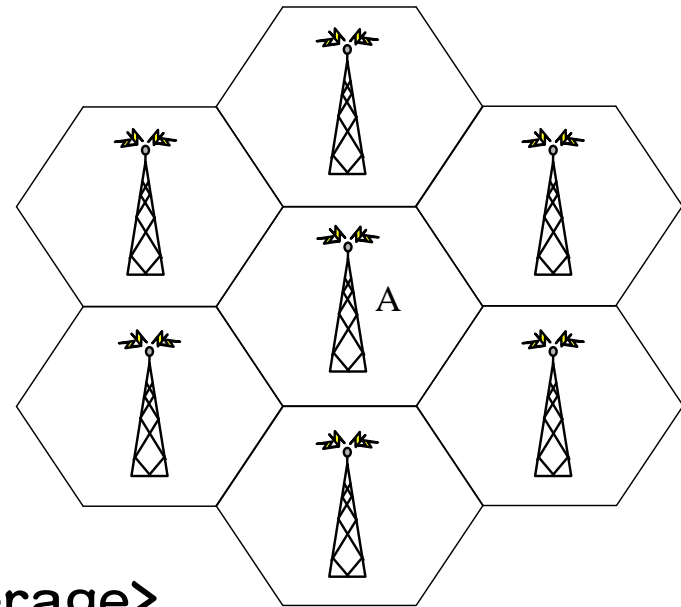
## 셀룰라 통신의 개념 (무선망 설계)

- 셀룰라 시스템 설계목표 및 Performance
- Interferences, 주파수 재사용
- 셀룰라 시스템 용량
- Trunking 이론

# 5.1.1 셀의 의미와 형태

## □ 셀(Cell)

- ◆ 특정 이동 전화 기지국이 가장 양호하게 이동 전화의 호를 처리할 수 있는 구역
- ◆ 셀이 하나로 연결되어 하나의 이동 전화 통화권 구성  
→ Cellular System

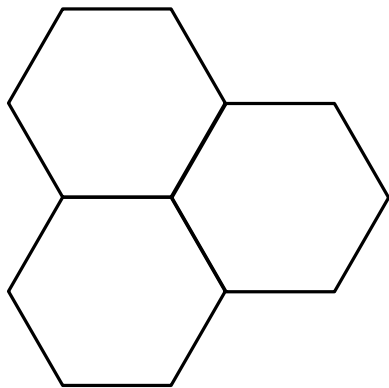


<셀의 coverage>

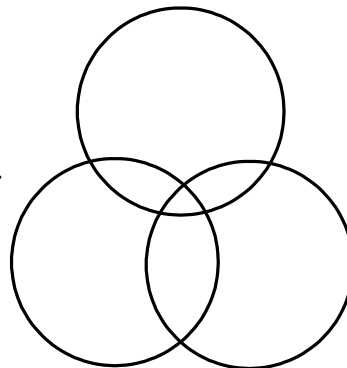
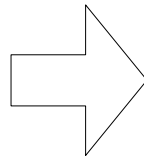
# 5.1.1 셀의 의미와 형태

## □ 셀의 형태

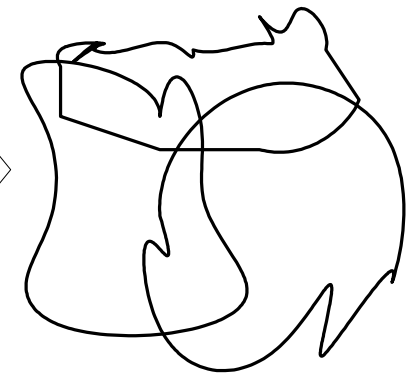
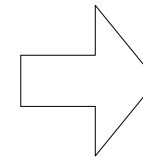
- ◆ 통화품질, 설계의 편의, 경제성의 측면과 관계
- ◆ 정육각형 모양의 셀 사용
- ◆ 실제 전파 도달 모양 → 원형에 가까움



단순화한 형태



이론상의 형태



실제영역에서의 형태

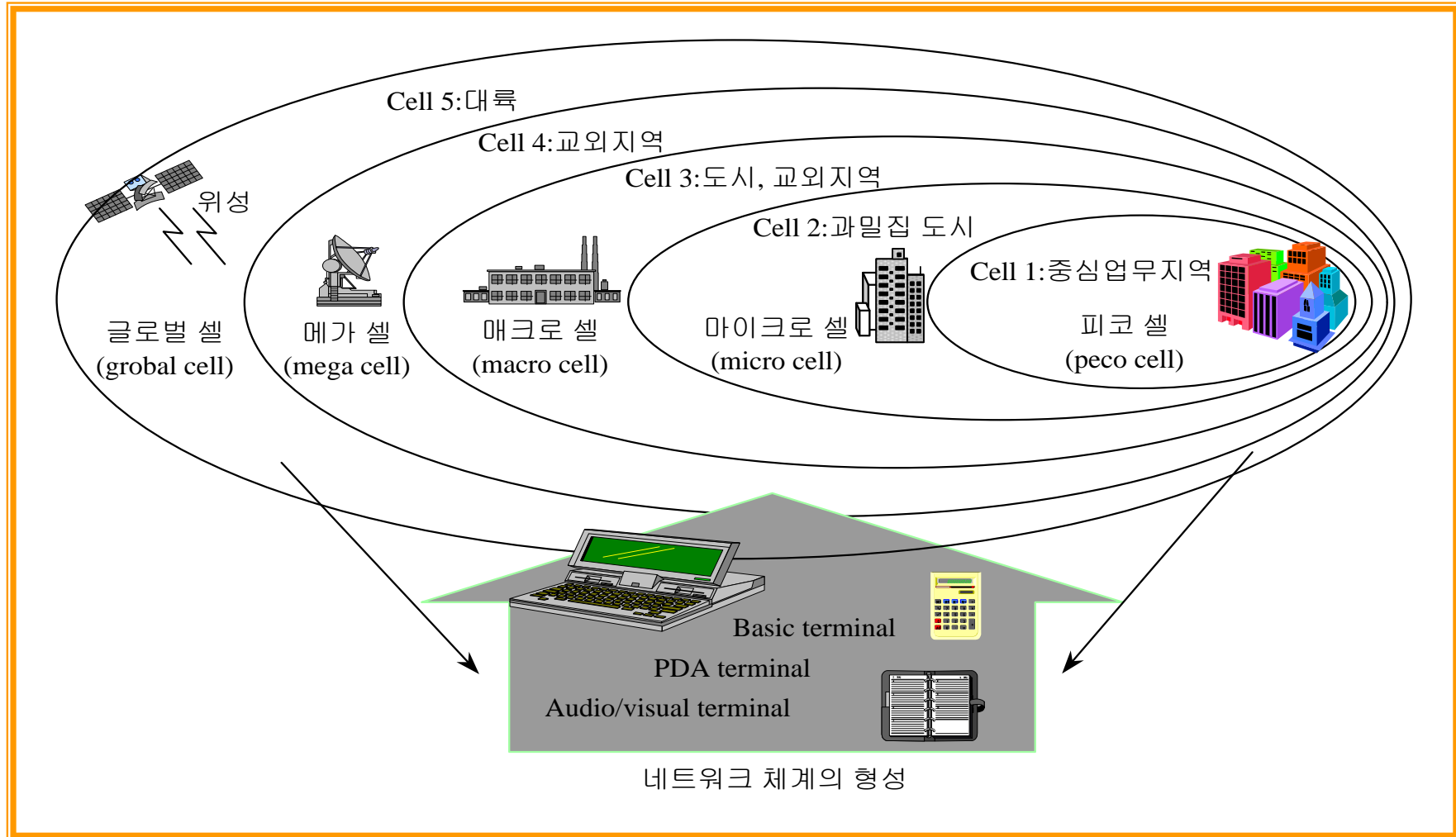
# 5.1.1 셀의 의미와 형태

## □ 셀의 크기에 따른 셀의 분류

셀 형태	셀 반경	적용 범위	서비스
글로벌 셀 (global cell)	750km	대륙(continents)	위성 통신 (satellite)
메가 셀 (mega cell)	5km~	시골(rural)	셀룰러통신 (cellular)
매크로 셀 (macro cell)	2~5km	도시(urban)/ 시골(rural)	셀룰러통신 (cellular)
마이크로 셀 (micro cell)	200~2km	과밀집 도시 (dense urban)	셀룰러통신(cellular) /Low-Tier System
피코 셀 (pico cell)	~200m	사무실(office) 캠퍼스(campus)	Low-Tier System /Wireless LAN

# 5.1.1 셀의 의미와 형태

## □ 거리에 따른 셀의 분류



## 5.1.2 셀룰러 시스템의 기본 기술

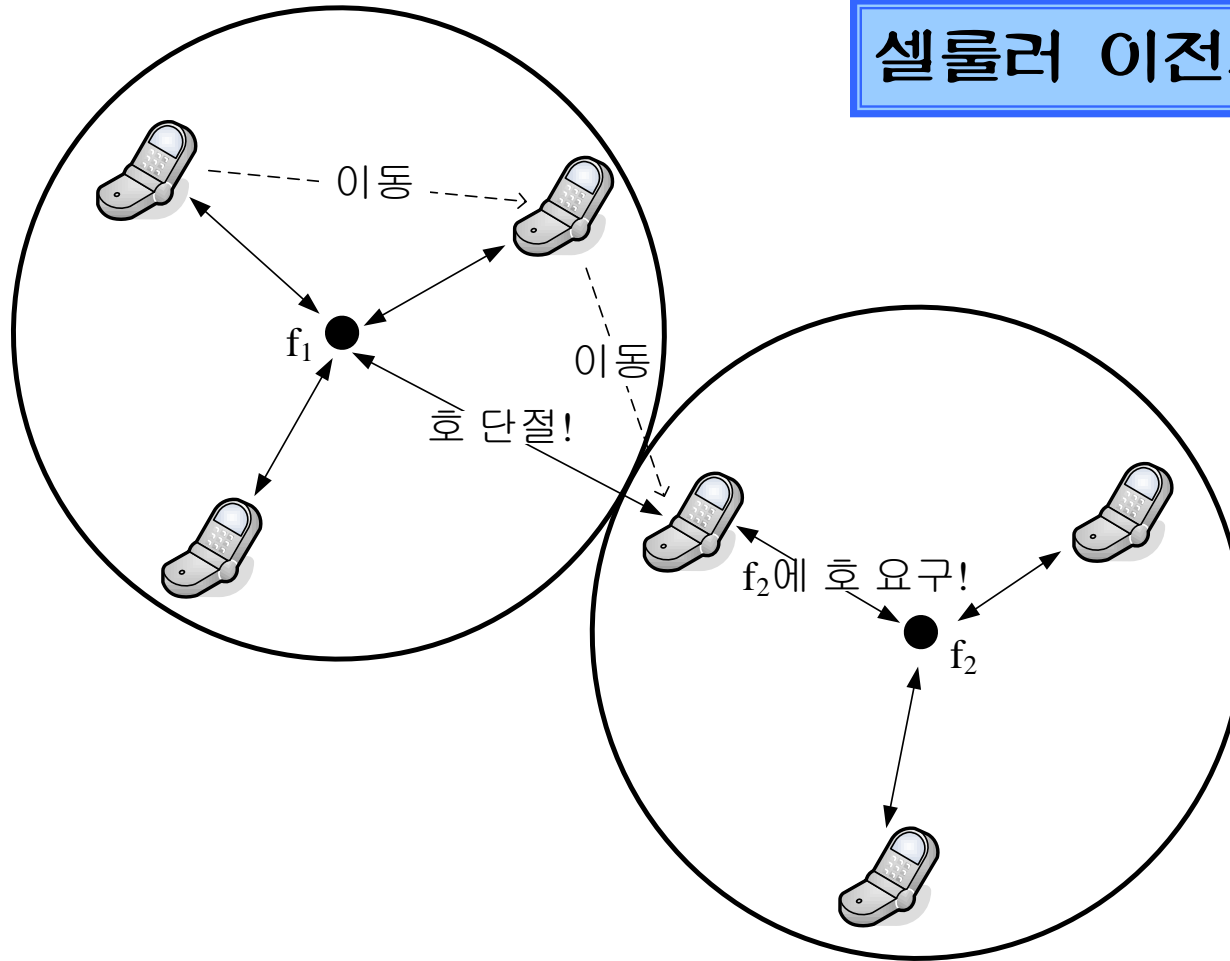
### □ 셀룰러 이전의 시스템

- ◆ 높은 지역이나 탑에 안테나를 장착
- ◆ 고출력 단일 무선 기지국 시스템 통해 넓은 지역 서비스
  - 전력 소모량이 매우 큼
- ◆ 할당된 주파수대역 내에서 사용할 수 있는 채널 수 한계
  - 통화 수요가 증가하여도 통화회선을 늘릴 수 없음
- ◆ Hand-off 기능이 지원되지 않음
  - 인접 셀로 이동 시 호가 끊어짐
  - 재통화를 위해 다시 주파수를 맞추어야 함.

### ➔ 셀룰러 시스템 제안

# 5.1.2 셀룰러 시스템의 기본 기술

## 셀룰러 이전의 시스템



## 5.1.2 셀룰러 시스템의 기본 기술

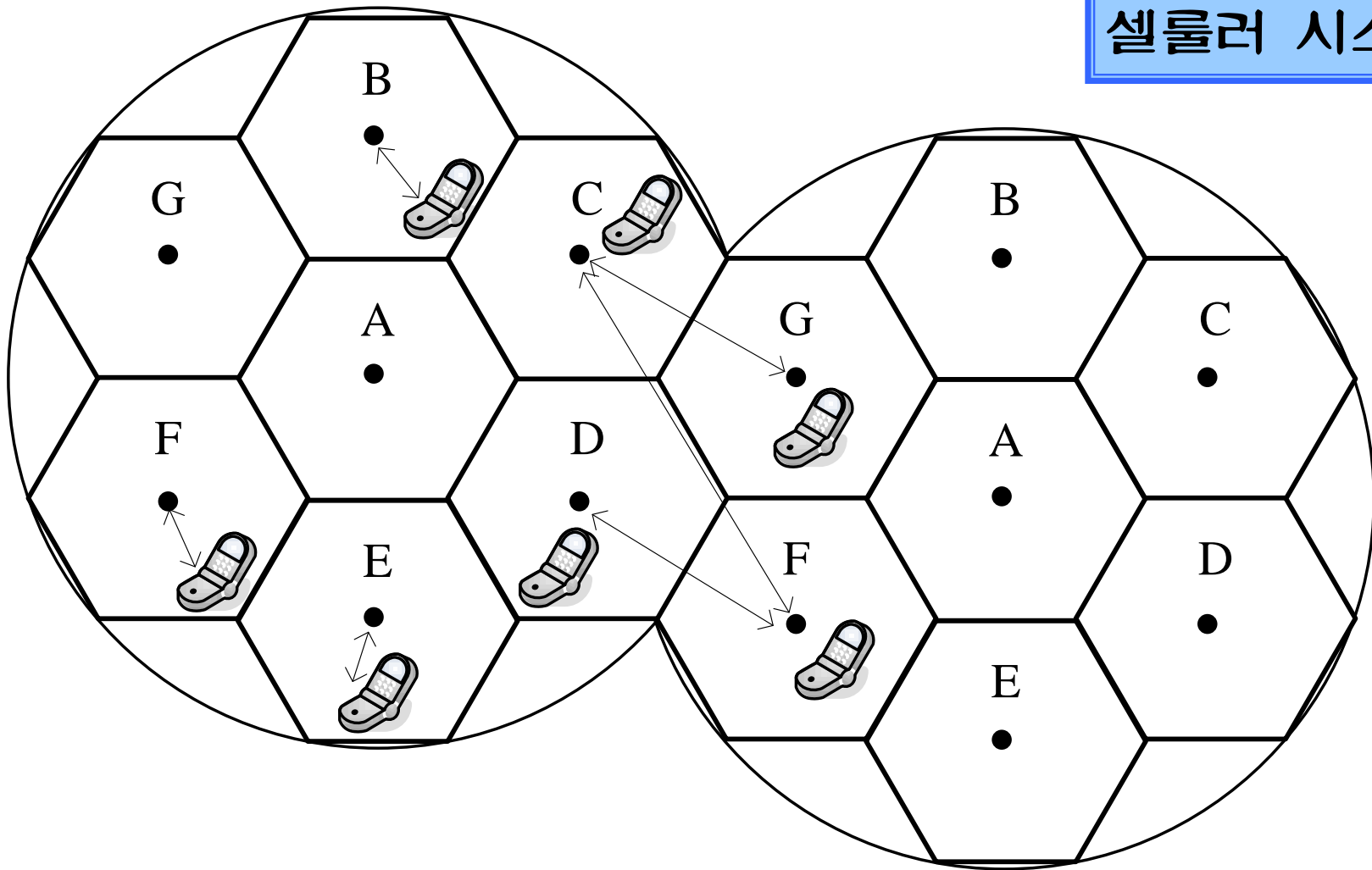
### □ 셀룰러 시스템

- ◆ 저출력 다수 기지국으로 통화권 제공
- ◆ 주파수 재사용 : 서로 충분히 멀리 떨어져 간섭 발생이 없는 두 셀에서는 동일한 주파수 대역을 사용
- ◆ 여러 개의 작은 구역(셀-cell)으로 나누어 주파수 할당  
→ 채널 수를 증가시켜 충분한 가입자 수용 용량을 확보
- ◆ 핸드오프(Hand-off)가 이루어짐  
→ 호의 단락 없이 자동적으로 호의 연결
- ◆ 전파가 잘 전달되지 않는 빌딩이나 산 뒷면과 같은 지역에서도 주파수가 다른 기지국을 설치하여 통화 가능



# 5.1.2 셀룰러 시스템의 기본 기술

셀룰러 시스템



## 5.1.2 셀룰러 시스템의 기본 기술

### 이동통신 시스템 설계목표

- Quality of Service(QoS)

- Voice Quality
- Blocking Probability
- Call Drop Rate
- Data Rate
- Delay

- System Capacity

- System Coverage

- System Features

⇒ 언제, 어디서나, 요구되는 품질의 통신 서비스 제공

## 5.1.2 셀룰러 시스템의 기본 기술

- Voice Quality

- 5 Excellent (Perfectly Understandable)
- 4 Good (Easily Understandable, Some Noise)
- 3 Fair (Understandable with a Slight Effort, Occasional Repetitions Needed )
- 2 Poor (Understandable only with considerable Effort, Frequent Repetitions Needed)
- 1 Unsatisfactory (Not Understandable)

MOS  $\geq 4$  : Toll Quality

MOS  $\geq 3.5$  : Communications Quality

\* MOS : Mean Opinion Score

## 5.1.2 셀룰러 시스템의 기본 기술

- Performance

- Blocking Probability

- 호의 시도가 차단되는 비율

- Coverage

- 90%이상의 확률로 기준이상의 QoS의 통신서비스가 제공되는 범위

- 예) AMPS 시스템의 경우

- 90%이상의 확률로  $C/I \geq 17(\text{dB})$ 인 범위

- Flat Terrain: 75(%)users(good/excellent)in 90(%)of service area

- Hilly Terrain: 90(%)users(good/excellent)in 75(%)of the service area

- 예) CDMA 시스템의 경우

- 90(95 또는 98)% 이상의 확률로  $BER \leq 1(\%)$ 인 범위

## 5.1.2 셀룰러 시스템의 기본 기술

- Call Drop Rate

- 연결된 호가 완료 이전에 끊어지는 비율

Coverage 문제

Handover 문제

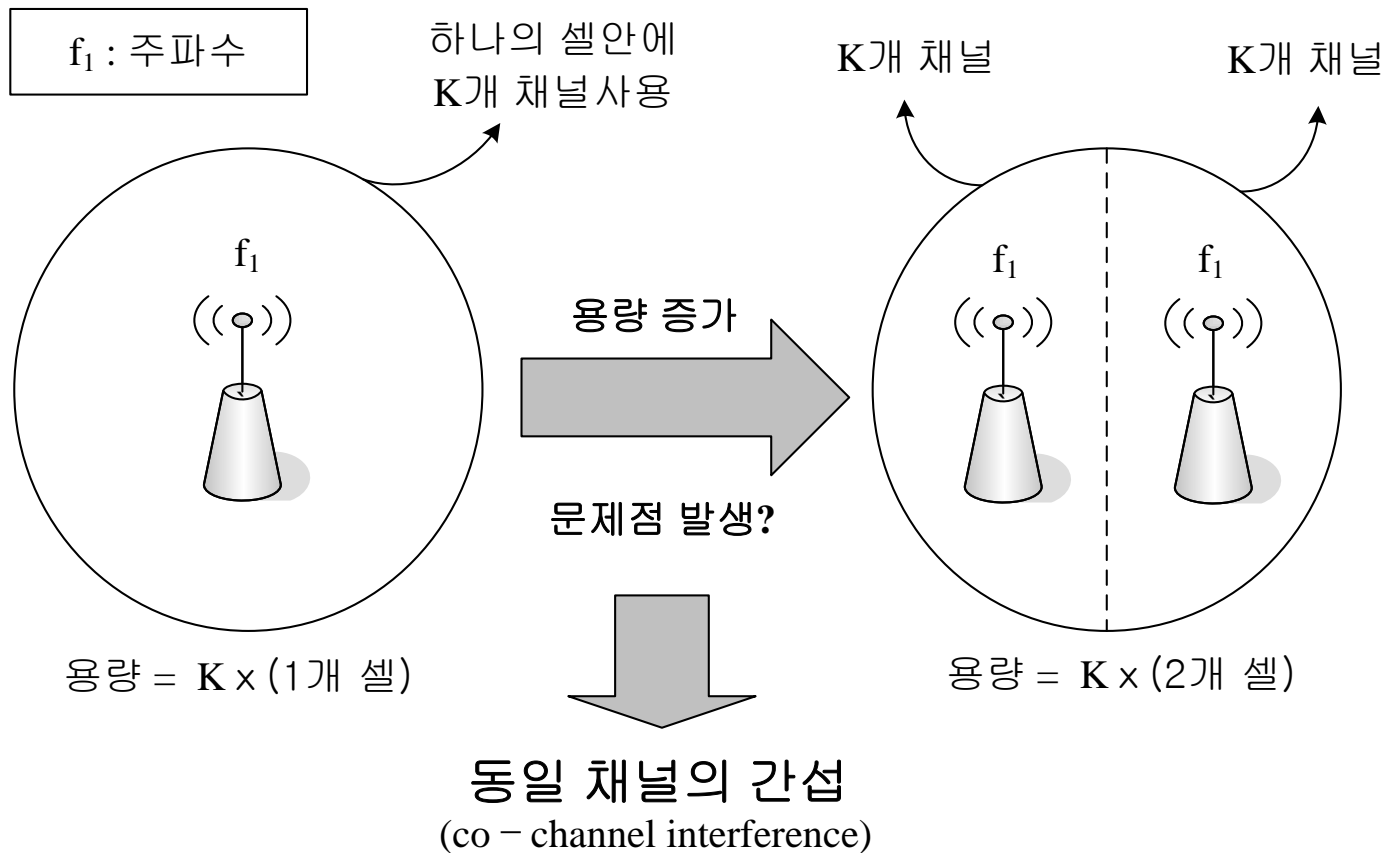
- System Features

- Call forwarding
- Call Waiting
- Voice Mail
- Automatic Roaming
- Navigation Service 등등

# 5.1.3 셀룰러와 주파수 재사용

## □ 셀룰러 시스템의 용량 증가

### ◆ 주파수 재사용을 적용하지 않은 셀룰러 시스템

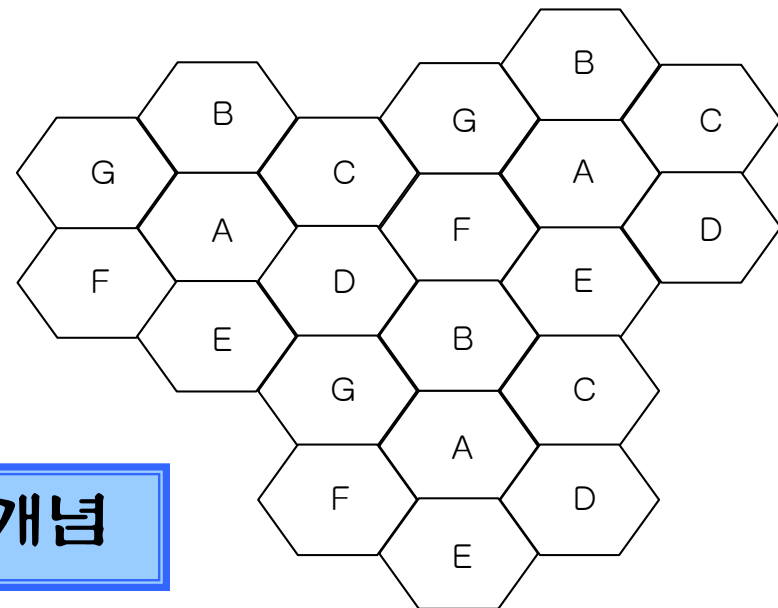


## 5.1.3 셀룰러와 주파수 재사용

### □ 주파수 재사용(frequency reuse)

= 주파수 계획(frequency planning)

- ◆ 통신시스템에서 기지국 채널그룹 할당 및 선택과정
- ◆ 한정된 주파수 자원으로 가입자 용량을 크게 하기 위해서 통화품질에 영향을 미치지 않는 간섭 범위 내에서 주파수 재사용



주파수 재사용 개념



## Channel Assignment

- **Fixed Channel Assignment**

- Each cell is allocated a predetermined set of voice channels

- ⇒ Increase the blocked calls

- **Dynamic Channel Assignment**

- Base station requests channel from the MSC while call is requested

- ⇒ Increase channel utilization

- ⇒ Decrease probability of a blocked call

- ⇒ Increase the storage & computational load



## 5.1.3 셀룰러와 주파수 재사용

- ❖ Frequency Reuse : 한정된 주파수자원으로 가입자용량을 크게하기 위해 통화 품질에 영향을 미치지 않는 간섭 범위 내에서 주파수 재사용
- Trade-off :
  - Capacity Increase
  - Reduce Co-channel Interference
- ❖ 각 셀룰러 기지국은 셀이라는 좁은 통화영역 내에서 채널 할당
- ❖ 인접한 기지국에 다른 주파수를 할당 → 기지국간에 간섭 감소
- ❖ 셀 클러스터(cell cluster) : 다른 주파수 사용하는 셀들의 그룹
- ❖ 셀의 개수 = 클러스터 크기 :  $N$
- ❖ 주파수 재사용 없이 사용 가능한 총 통화 채널 :  $S$
- ❖ 클러스터의 각 셀들은 총 가용 채널의  $1/N$ 을 사용  
→ 주파수 재사용 계수(frequency reuse factor)

## 5.2.1 주파수 재사용과 용량

- ◆ 클러스터 당 가용 총 채널 개수

$$S = K \times N$$

N : 클러스터 크기 (N=4, 7, 12, ...)

- ◆ 셀룰러 시스템의 총용량

$$C = M \times K \times N = M \times S$$

M : 셀룰러 시스템을 구성하는 전체 클러스터의 수

- ◆ 셀 사이즈 유지하면서 클러스터 크기(N)을 줄이면 각 셀에 할당되는 채널 수(K)는 증가
- ◆ 가용 총 채널(S)이 일정한 값을 가지면 주어진 전체 통화 영역권 서비스를 위해 많은 클러스터를 반복하여 할당
- ◆ S가 일정할 때, 클러스터 M의 증가는 시스템 용량 증가

## 5.2.1 주파수 재사용과 용량

□ 예제 1) FDD(Frequency Division Duplex)방식의 셀룰러 시스템은 두 개의 25KHz simplex 채널을 사용하고 있으며, 총 주파수 대역은 33MHz 이다. 클러스터 크기(N=4, 7, 12)에 따른 셀 당 가용 채널 수를 계산하시요.

◆ 총 주파수대역 = 33MHz

◆ 채널 주파수대역 = 25KHz x 2 채널 = 50KHz/duplex 채널

◆ 총 가용 채널 수 =  $33,000/50 = 660$  채널

◆ 클러스터 크기 N=4 인 경우

❖ 셀 당 가용 총 채널 수 =  $660/4 = 165$  채널

◆ 클러스터 크기 N=7 인 경우

❖ 셀 당 가용 총 채널 수 =  $660/7 = 95$  채널

◆ 클러스터 크기 N=12 인 경우

❖ 셀 당 가용 총 채널 수 =  $660/12 = 55$  채널

## 5.2.1 주파수 재사용과 용량

□ 예제2) 통화량 제어를 위하여 1001개의 무선 채널이 존재하는 셀룰러 시스템이 있다고 생각하자. 셀 당 면적은  $6\text{km}^2$ 이고 전체 시스템의 면적은  $2100\text{km}^2$ 이라고 가정하자. 클러스터 크기(N)가 7이면 이 시스템의 용량을 계산하라.

◆ 총 가용 채널 수(S) = 1001, 클러스터 크기(N) = 7

◆ 셀 당 면적( $A_{\text{cell}}$ ):  $6\text{km}^2$ , 총 시스템 면적( $A_{\text{sys}}$ ):  $2100\text{km}^2$

◆ 셀 당 가용채널(K)

◆  $K = S / N = 1001 / 7 = 143(\text{채널/셀})$

◆ 한 개 클러스터의 면적( $A_{\text{cluster}}$ )

◆  $A_{\text{cluster}} = N \times A_{\text{cell}} = 7 \times 6 = 42\text{km}^2$

◆ 총 클러스터 수(M)

◆  $M = A_{\text{sys}} / A_{\text{cluster}} = 2100 / 42 = 50\text{개}$

◆ 시스템 용량(C)

◆  $C = K \times M \times N = 143 \times 50 \times 7 = 50,050 \text{ 채널}$

## 5.2.1 주파수 재사용과 용량

□ 예제2) (예제 1)에서 전체 시스템 영역의 통화권을 유지하기 위하여 클러스터 크기  $N = 4$ 인 클러스터를 사용하면 반복하는 총 클러스터 수는 얼마인가? 그리고  $N = 4$ 일 때 이 시스템의 용량을 계산하라. 클러스터 수가 증가하면 시스템 용량은 증대되는가?

◆  $N = 4$ 이면, 클러스터의 면적( $A_{\text{cluster}}$ )

◆  $A_{\text{cluster}} = N \times A_{\text{cell}} = 4 \times 6 = 24 \text{ km}^2$

◆ 총 클러스터 수( $M$ )

◆  $M = A_{\text{sys}} / A_{\text{cluster}} = 2100 / 24 = 87.5 \approx 87 \text{ 개}$

◆ 셀 당 가용채널( $K$ )

◆  $K = S / N = 1001/4 = 250 \text{ (채널/셀)}$

◆ 시스템 용량( $C$ )

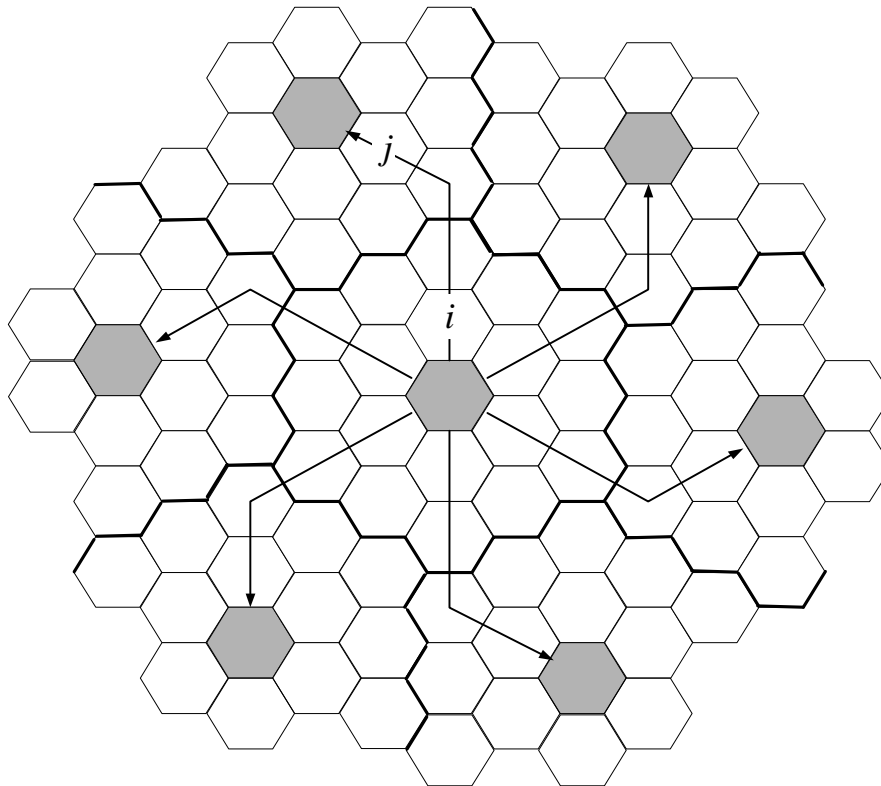
◆  $C = K \times M \times N = 250 \times 87 \times 4 = 87,000 \text{ 채널}$

◆ 클러스터 수가 증가하면 총 용량은 증가한다. 그 이유는 클러스터 크기( $N$ )가 7에서 4로 감소하면 용량은 50,050 채널에서 87,000 채널로 증가한다.

## 5.2.1 주파수 재사용과 용량

□ 셀룰러 시스템의 동일 채널(co-channel) 셀들의 위치

- 1) 육각형 셀의 어떠한 변을 따라 셀 이동
- 2) 60도 시계 반대 방향으로 각도 변경 후 셀 이동

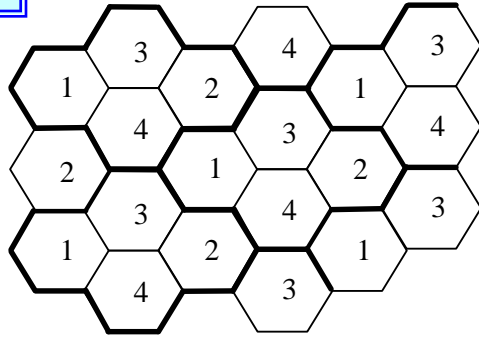


클러스터 크기

$$N = i^2 + i \times j + j^2$$

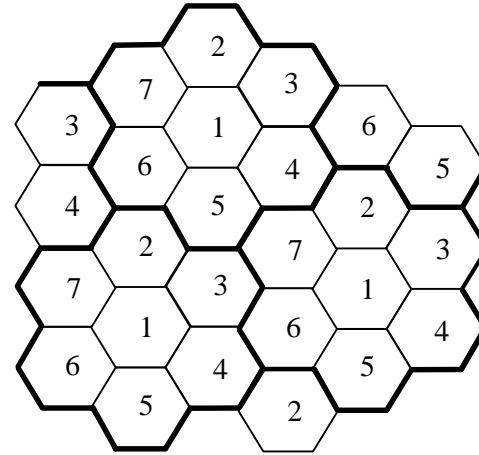
# 5.2.1 주파수 재사용과 용량

**N=4**



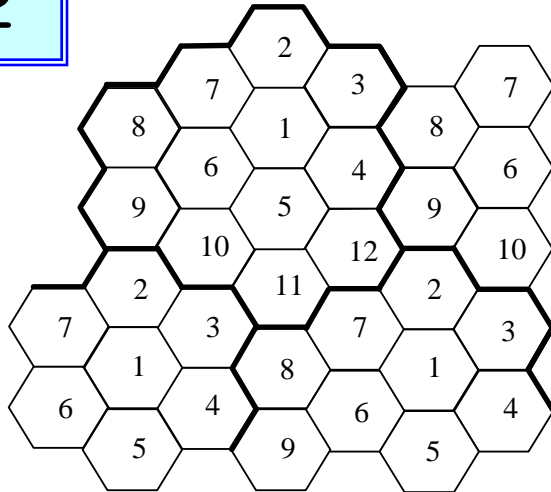
(a)  $i = 2$  and  $j = 0$

**N=7**



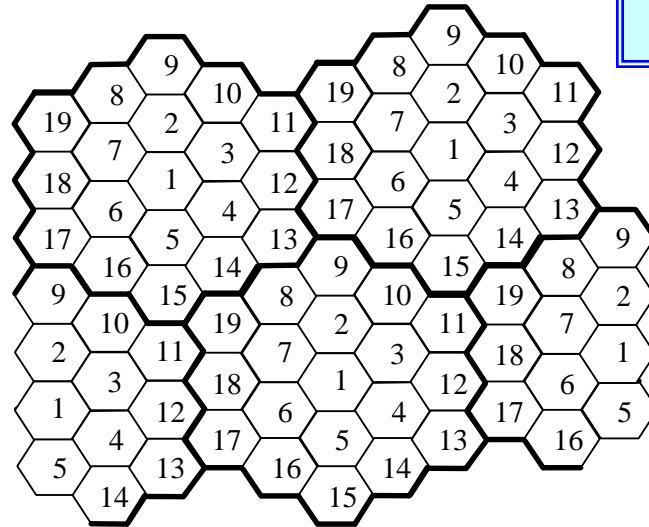
(b)  $i = 1$  and  $j = 2$

**N=12**



(c)  $i = 2$  and  $j = 2$

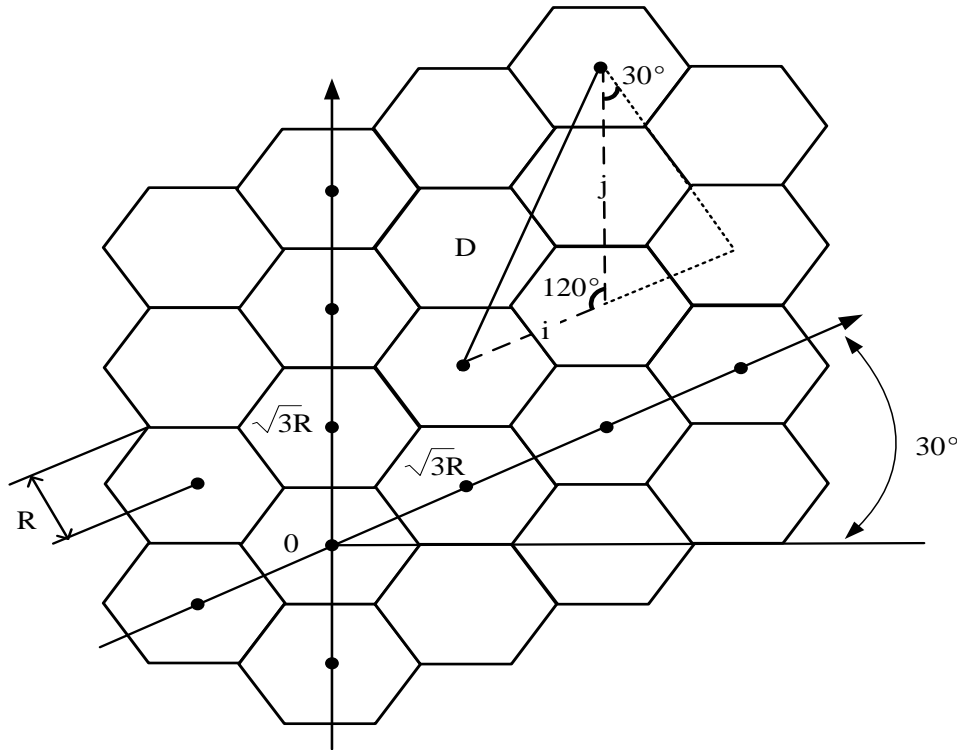
**N=19**



(d)  $i = 2$  and  $j = 3$

## 5.2.2 간섭과 시스템 용량

### □ 주파수 재사용과 동일 채널 간섭



- ◆ 정육각형의 셀의 반경 :  $R$
- ◆ 두 인접 셀의 중심점간의 거리  $\sqrt{3} R$
- ◆ 가장 가까운 두 동일 채널 셀간의 거리 :  $D$



## 5.2.2 간섭과 시스템 용량

- ◆ 정규화된 가장 가까운 두 동일 채널 셀간의 거리

$$D_{norm}^2 = j^2 \cos^2(30^\circ) + (i + j \sin(30^\circ))^2 = i^2 + j^2 + ij$$

$$D_{norm} = \sqrt{N}$$

- ◆ 실제 가장 가까운 동일 채널 셀의 거리

$$D = D_{norm} \times \sqrt{3}R = \sqrt{3NR}$$

- ◆ 동일채널 재사용비(co-channel reuse ratio)

$$Q = \frac{D}{R} = \sqrt{3N}$$

- ◆ 셀 반경이 일정할 때( R : 일정 )

클러스터 크기(N) ↓ Co-channel 셀 거리(D) ↓

동일 채널 재사용 비(Q) ↓ 동일 채널 간섭(CCI) ↑

통화 품질 ↓ 총 클러스터 개수 ↑ 총 통화 용량 ↑

## 5.2.2 간섭과 시스템 용량

### □ 동일 채널 셀(co-channel) 재사용비

주파수 재사용 패턴 (i, j)	클러스터 크기(N)	주파수 재사용 비 (Q)
(1, 1)	3	3.00
(2, 0)	4	3.46
(2, 1)	7	4.58
(3, 0)	9	5.20
(2, 2)	12	6.00
(3, 1)	13	6.24
(3, 2)	19	7.55
(4, 1)	21	7.94
(3, 3)	27	9.00
(4, 3)	28	9.17
(4, 3)	37	10.54

## 5.2.2 간섭과 시스템 용량

### □ Interference Source

- ◆ Intra cell Interference : 같은 Cell(기지국)내의 타 이동국(인접채널)에 의한 간섭
- ◆ Inter cell Interference : 인접Cell 에서 인접채널에 의한 간섭
- ◆ Co-channel Interference : 주어진 Coverage 영역 내에서 같은 주파수를 사용하는 Cell 이 존재하는데 이들을 **Co-channel cells** 이라 하고 이들간의 간섭을 **Co-channel Interference**라고 함
- ◆ Intersymbol Interference : 다중 경로에 의해 수신된 신호가 연속pulse의 형태로 나타나는 것
- ◆ Multi Access Interference : DS/CDMA시스템에서 여러 사용자들은 미리 할당된 확산부호를 사용하여 같은 주파수 대역내에서 통신을 하므로 Receiver 측에서는 역 확산되는 신호를 제외한 나머지 신호가 모두 Interference 로 작용하게 되는 현상
- ◆ 그 밖의 타 무선망으로부터의 간섭( 타 사업자의 기지국 배치 등)

### □ Interference 현상 및 영향

- ◆ 통화채널에서의 Background Noise 와 Control 채널에서 Missed and/or Blocked Call 유발
- ◆ 용량증가의 주요 Bottleneck 이며 Dropped Call의 주 원인

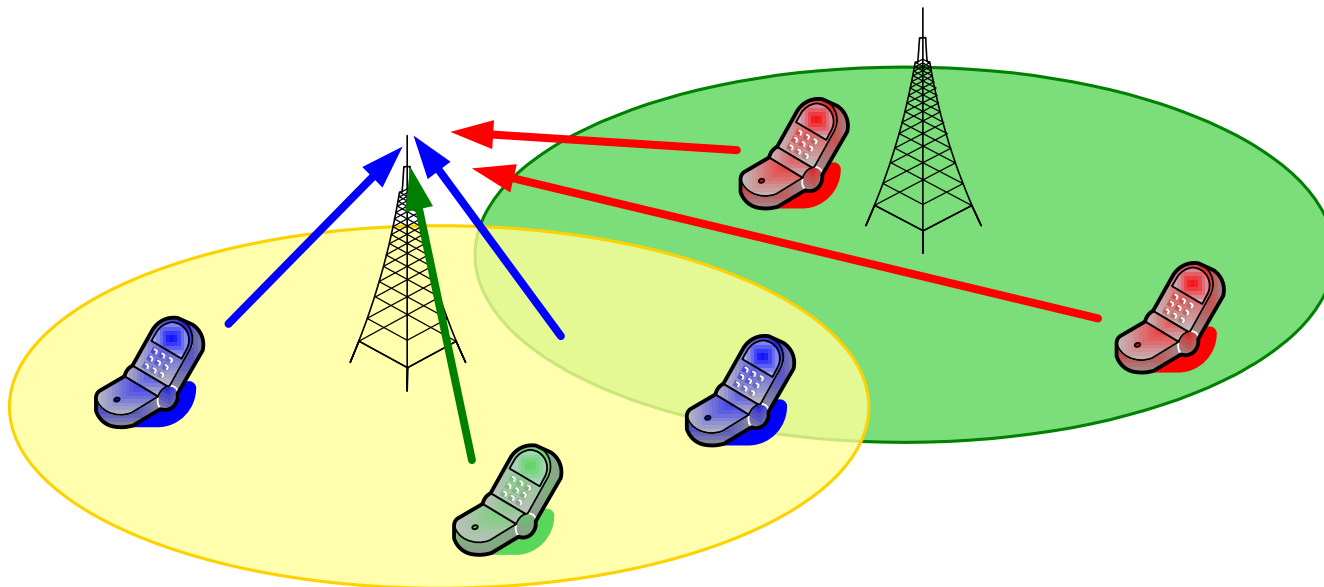
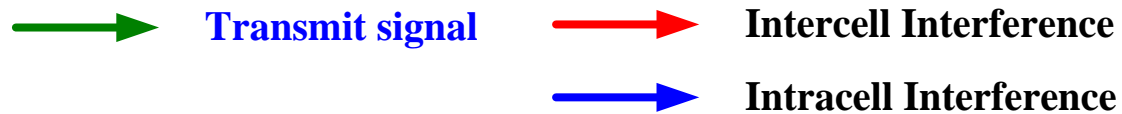
## 5.2.2 간섭과 시스템 용량

### □ 인트라셀 간섭 (Intra-Cell Interference)

◆ 동일 셀 내에서 오는 간섭

### □ 인터셀 간섭 (Inter-Cell Interference)

◆ 다른 셀들로부터 오는 간섭



## 5.2.2 간섭과 시스템 용량

□ 용량 증대 → 주파수 재사용 크게 → 동일채널 간섭(CCI) 발생

□ 신호 대 간섭비 (SIR)

$$\frac{S}{I} = \frac{S}{\sum_{i=1}^{N_I} I_i}$$

□ 거리  $d$ 에서의 평균 수신전력

$$P_r = P_o \left(\frac{d}{d_o}\right)^{-n}$$

$$P_r = (\text{dBm}) = P_o (\text{dBm}) - 10n \log\left(\frac{d}{d_o}\right)$$

□ 기지국의 송신출력 동일, 전파 감쇠 계수 동일 가정

$$\frac{S}{I} = \frac{P_r(d_o) \left(\frac{R}{d_o}\right)^{-n}}{\sum_{i=1}^{N_I} P_r(d_o) \left(\frac{D_i}{d_o}\right)^{-n}} = \frac{R^{-n}}{\sum_{i=1}^{N_I} D_i^{-n}} = \frac{1}{\sum_{k=1}^{N_I} \left(\frac{D_i}{R}\right)^{-n}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{N_I} (Q_i)^{-n}} \quad \frac{S}{I} = \frac{R^{-n}}{\sum_{i=1}^{N_I} (D_i)^{-n}}$$

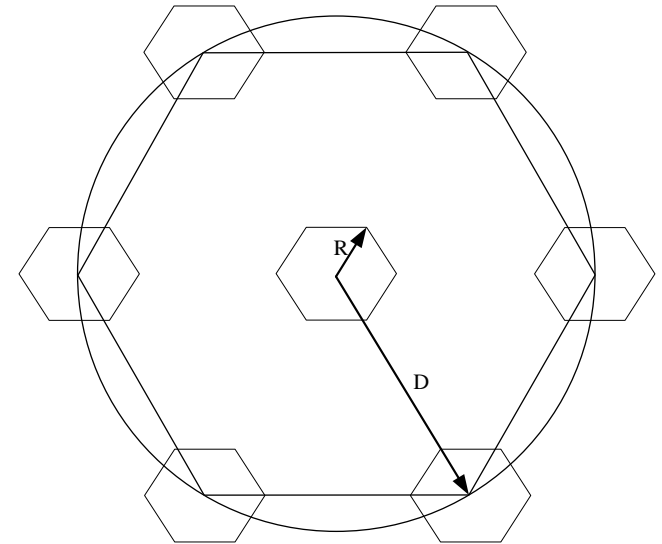
## 5.2.2 간섭과 시스템 용량

- 이동국이 셀 경계에 위치( $r = R$ ) → 수신 전력 최소  
→ 동일채널 간섭(CCI) 최대
- 정육각형 셀에서 첫번째 간섭층(first tier) 셀만 고려
- 간섭 기지국들은 기준 셀과의 거리가 동일( $D_1$ )
- 이동국과 간섭셀간의 거리( $D_1$ ) = 셀 중앙 사이의 거리( $D$ )

$$S/I = \frac{(D/R)^n}{N_i} = \frac{(\sqrt{3N})^n}{N_i}$$

- 주파수 재사용 계수(Q)

$$Q = \left( N_i \times \frac{S}{I} \right)^{\frac{1}{n}} = \left( 6 \times \frac{S}{I} \right)^{\frac{1}{n}}$$



기준 셀과 간섭 기지국 사이의 거리

## 5.2.2 간섭과 시스템 용량

□ 한 채널당 30KHz를 사용하는 아날로그 AMPS 시스템의 경우 충분한 음성 품질을 제공하기 위해서는 신호 대 간섭비(S/I)가 18dB 이상이 되어야 한다.

◆ 전파 감쇄 계수(n)가 4일 경우, 주파수 재사용 비(Q)

$$Q = (6 \times 10^{1.8})^{\frac{1}{4}} = (6 \times 63.1)^{0.25} = 4.41$$

◆ 클러스터 크기(N)

$$N = \frac{Q^2}{3} = 6.49$$

✓ 신호 대 간섭비(S/I)가 18dB를 만족하기 위해서는 최소한 클러스터 크기 7이 되어야 한다.

## 5.2.2 간섭과 시스템 용량

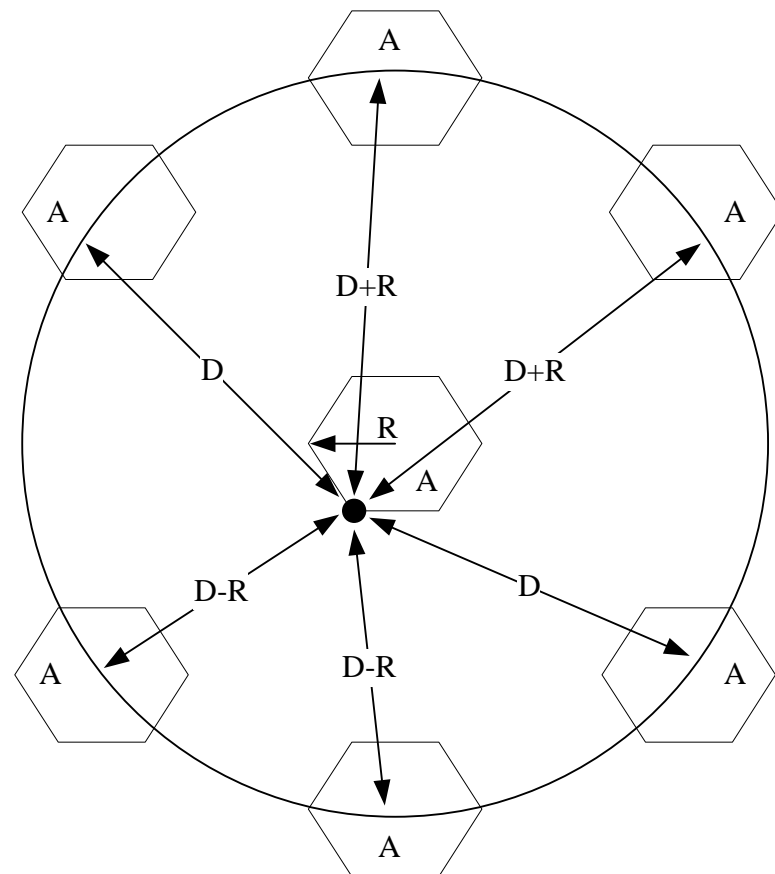
□ 셀 경계지점에 위치한 이동국의 신호 대 간섭비

$$\frac{S}{I} = \frac{R^4}{2(D-R)^4 + 2(D+R)^4 + 2D^4}$$

□ 주파수 재사용

$$\frac{S}{I} = \frac{1}{2(Q-1)^4 + 2(Q-1)^4 + 2Q^4}$$

-> (식 5-19)



셀 경계 지점에 위치한 이동국으로부터 간섭 셀까지 거리



## 5.2.2 간섭과 시스템 용량

□ 예제 4) 이동국의 간섭이 첫번째 tier에서 온 경우와 첫번째 tier와 두번째 tier 모두에서 온 경우를 구하고 비교하시오.

◆ First tier 
$$\frac{S}{I} = \frac{6}{\sum_{i=1}^6 I_i} = \frac{R_1^{-4}}{6D_1^{-4}} = \frac{Q_1^4}{6}$$

◆ First tier and Second tier

$$\frac{S}{I} = \frac{S}{\sum_{i=1}^6 (I_{1i} + I_{2i})} = \frac{1}{6(Q_1^4 + Q_2^4)}$$

$$Q_1 = 4.6, \quad Q_2 = \frac{D_2}{R_1} = \frac{2 \times D_1}{R_1} = 2Q_1$$

$$\therefore \left( \frac{S}{I} \right)_{1st \ tier} = 18.72\text{dB} \quad \left( \frac{S}{I} \right)_{1st \ \& \ 2st \ tier} = 18.46\text{dB}$$

## 5.2.2 간섭과 시스템 용량

□ 예제 5) 셀룰러 시스템에서 음성통화 품질을 위해 요구되는 S/I는 18dB, 전파 감쇠 계수(n)는 4라 가정한다.

◆ 재사용 계수  $N=7$ 에 대해 가장 나쁜 경우 S/I를 구하시오

❖ 재사용 비율 :  $Q = \sqrt{3N} = 4.6$

❖ 가장 나쁜 통신환경에서 S/I :  $S/I = 54.3 \text{ or } 17.3dB$   
(식5-19)

◆ N 값이 7일 때 QoS를 만족할 수 있는가? 아니면 N을 얼마로 하여야 하며 이 때 S/I를 구하시오.

❖ 주파수 재사용 계수  $N=7$ 일때 S/I의 값은 18dB 보다 작다.

❖ S/I를 증가 시키기 위해서는 I 를 감소 시켜야 한다.

❖ 이것은 주파수 재사용 계수  $N$  을 증가시킴으로 할 수 있다.

❖  $N = 9$ 일 때  $Q = \sqrt{3N} = 5.20$  을 얻을 수 있다.

❖ S/I 값은 18dB 위에서 얻을 수 있다.

❖ 주파수 재사용 계수  $N = 9$ 는 적합한 선택이다.

## 5.2.2 간섭과 시스템 용량

- 예제 6) 신호 대 간섭비가 15dB이면 셀룰러 시스템에서 요구되는 안정적인 순방향 통화 채널상태, 주파수 재사용 성분과 클러스터 크기는 전파 감쇠계수가 (a) $n = 4$ , (b) $n = 3$ 일 때 최대 용량을 만족한다. 6개의 첫 번째 tier 에서 오는 CCI 셀이 이동국으로부터 같은 거리에 있다고 가정할 때 클러스터 적합한 크기를 구하시요.

◆  $n = 4 / N = 7$ 을 가정       $Q = D/R = \sqrt{3N} = 4.583$

❖ 동일 채널 재사용비(Q)  $S/I = (1/6) \times (4.583)^4 = 75.3 = 18.66\text{dB}$

❖ 신호 대 간섭비 (S/I) :

❖ 최소 요구되는 S/I 보다 크다. 그러므로  $N = 7$ 은 사용할 수 있다

◆  $n = 3 / N = 7$ 을 가정       $Q = D/R = \sqrt{3N} = 6.0$

❖ 신호 대 간섭비 (S/I) :  $S/I = (1/6) \times (4.583)^3 = 16.04 = 12.05\text{dB}$

❖ 요구되는 S/I 보다 작으므로 N보다 더 큰 값 필요

❖ 다음 가능한 값인  $N=12$ 를 얻을 수 있다.

$$S/I = (1/6) \times (6)^3 = 36 = 15.56\text{dB}$$

❖ 최소 요구 S/I보다 크다. 그러므로  $N = 12$ 을 사용할 수 있다.

### Improving Capacity in Cellular System

- Cell Splitting
  - 일정지역 내에서 셀 갯수 증가 → Cluster 갯수증가 → 가용 채널수 증가(용량증가)
  - Umbrella cell approach 도입
  
- Sectoring
  - Co-channel Interference 감소 → 용량증가
  - 단점 : Trunking efficiency 감소
  
- Coverage Zone Approach(Micro-Cell Zone)
  - Interference 감소로 용량증대, Trunking efficiency 유지, 주로 고속도로변에 사용

## 5.2.3.1 셀분리(cell splitting)

- 셀분리(cell splitting)
- ✓ 가입자 과밀 지역 셀을 작은 셀들로 분할
- ✓ 안테나의 높이와 전송 전력을 고려한 새로운 기지국 설치
- ✓ 기존 셀 사이에 설치 → 채널 재사용 횟수에 비례해 용량 증가
- ✓ 셀의 반경이  $R$ 에서  $R/2$ 로 감소 → 약 4배 정도의 셀을 증설
- ✓ 셀 개수의 증가 → 전체 클러스터 개수의 증가 → 용량 증대
- ✓ 셀 분리시 동일 채널(co-channel)셀들 사이의 최소한의 동일 채널 재사용 비( $Q$ )가 유지되도록 하여야 한다.
- ✓ 반경( $R$ )이 줄어들면 동일 채널 거리( $D$ ) 감소하여야 한다.
- ✓ 새로운 셀들의 송신 전력은 감소하여야 한다.

## 5.2.3.1 셀분리(cell splitting)

### □ 셀분리(cell splitting)로 인한 송신전력 감소

$$P_r = [\text{at old cell boundary}] \mu P_{t1} R^{-n}$$

$$P_r = [\text{at new cell boundary}] \mu P_{t2} (R/2)^{-n}$$

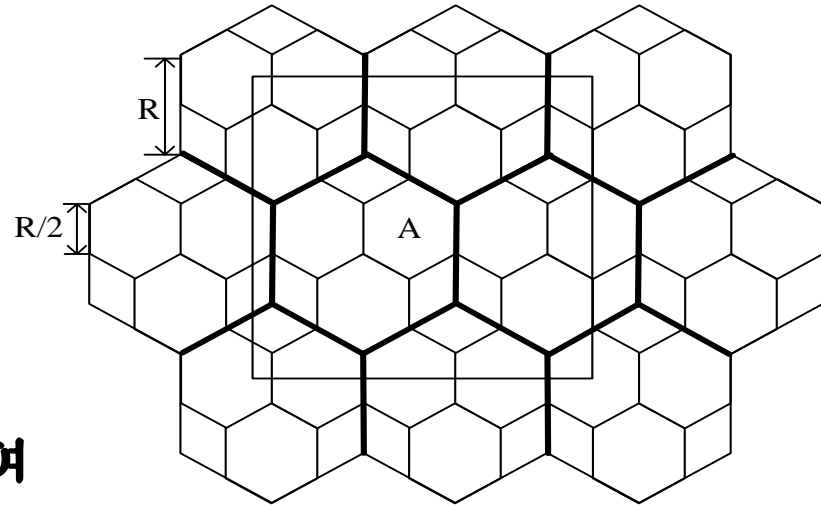
$$P_{t2} = \frac{P_{t1}}{16} = -12\text{dB} \cdot P_{t1} \quad (\text{전파 환경계수 } n=4 \text{ 가정})$$

- ✓ 셀 분리 기법은 어떤 서비스 지역에 갑자기 가입자의 수요가 많을 때 적용하여 많은 가입자를 수용할 수 있도록 한다.

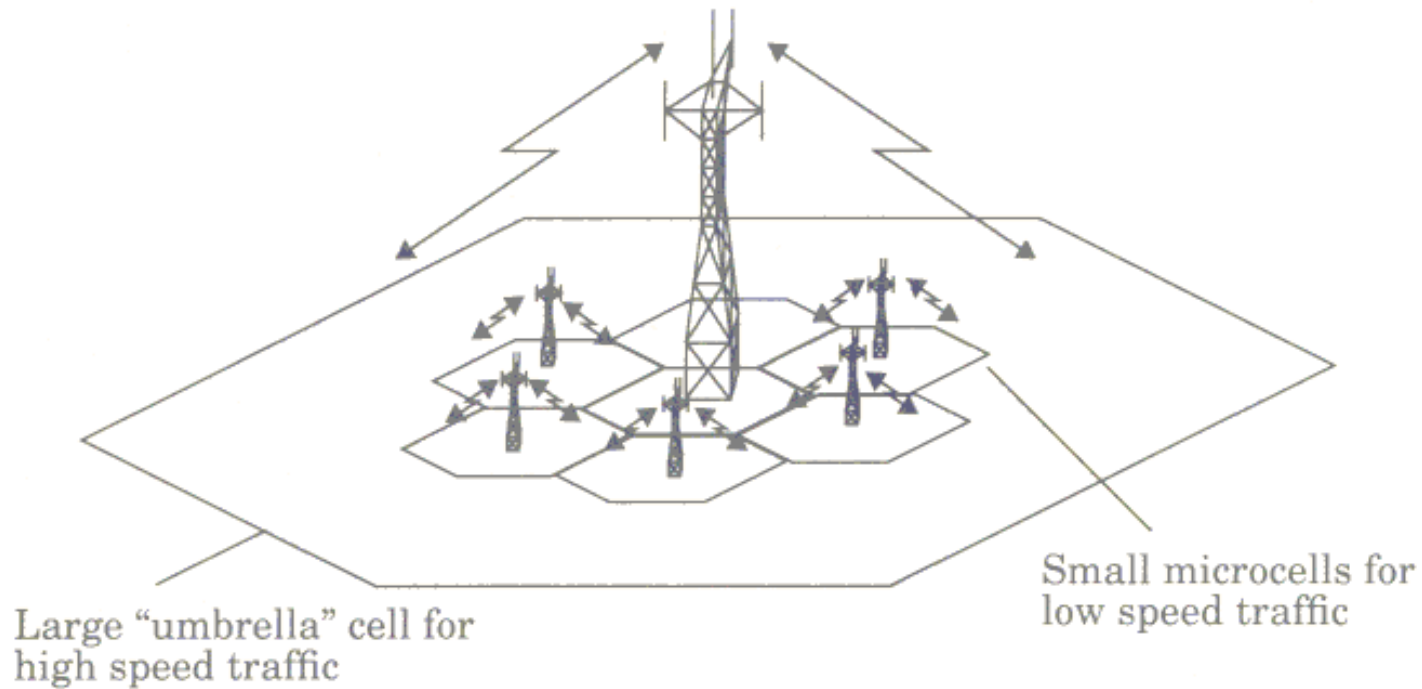
- ✓ 기지국의 수가 증가하여 작은 셀 반경으로 인한 빈번한 핸드 오프

- ✓ 시스템에 부하가 크게 증가하여 호 단락으로 인한 통화 품질 저하

→ Umbrella Cell : 동일 Cell에서 Handoff가 적게 일어나는 저속 이동체는 작은 셀반경을 가진 기지국에서 서비스하고 Handoff가 빈번히 일어나는 고속이동체는 큰 셀 반경을 가진 기지국에서 서비스



## 5.2.3.1 셀분리(cell splitting)

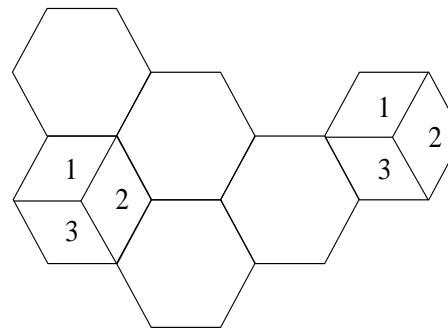


**Note :** 실제 구현 시 모든 셀이 Split 될 수 없을 경우가 많아서 Umbrella Cell 을 구성

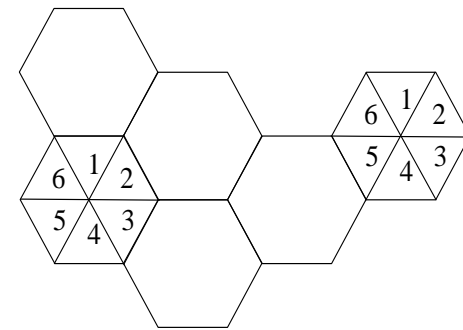
## 5.2.3.2 섹터링(sectoring)

### □ 섹터링(sectoring)

- ✓ 기존의 옴니(omni)안테나 대신 **지향성(directional) 안테나**를 사용하여 **동일 채널(co-channel)을 감소**하면 SNR이 개선
- ✓ 셀의 반경을 유지하고 주파수 재사용 비(Q)를 줄이는 방법
- ✓ 간섭셀 갯수를 감소시켜 클러스터 크기도 따라서 감소하면서 동일한 SNR을 얻을 수 있으므로 주파수 재사용계수(N)를 줄여 용량을 증가시키는 접근 방식이다.  $\frac{S}{I} = \frac{Q^n}{CCI\text{셀갯수}} = \frac{(\sqrt{3N})^n}{CCI\text{셀갯수}}$
- ✓ 주파수 재사용의 증가(클러스터 개수의 증가 = 클러스터의 셀 개수의 감소)로 용량 증대
- ✓ 정해진 방향으로만 신호를 송신하고 간섭을 받게 된다.



(a) 3 섹터(120°)

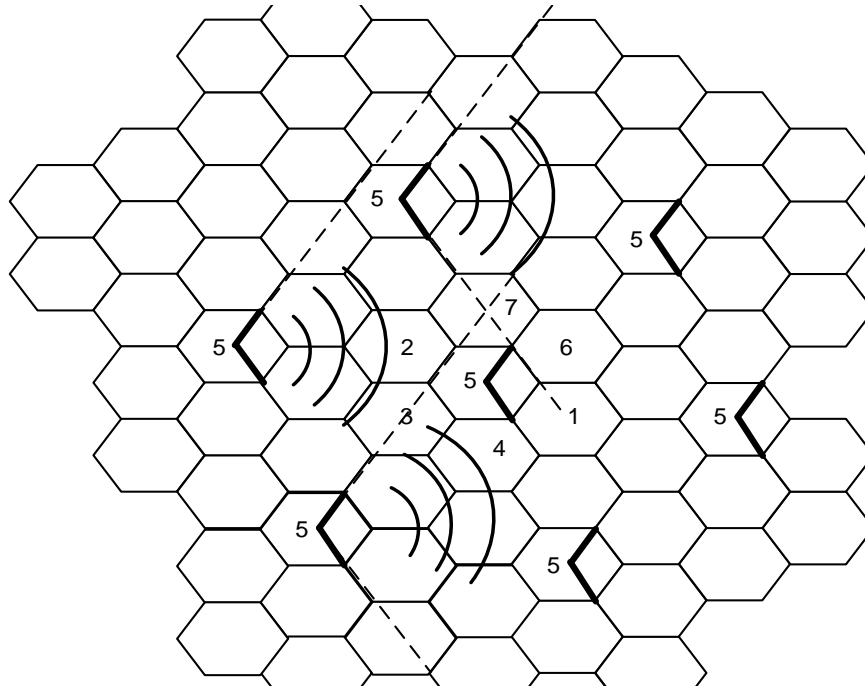


(b) 6 섹터(60°)



## 5.2.3.2 섹터링(sectoring)

- 섹터링을 사용하였을 시 채널들은 섹터 그룹으로 분산
- 120도 섹터링(sectoring)

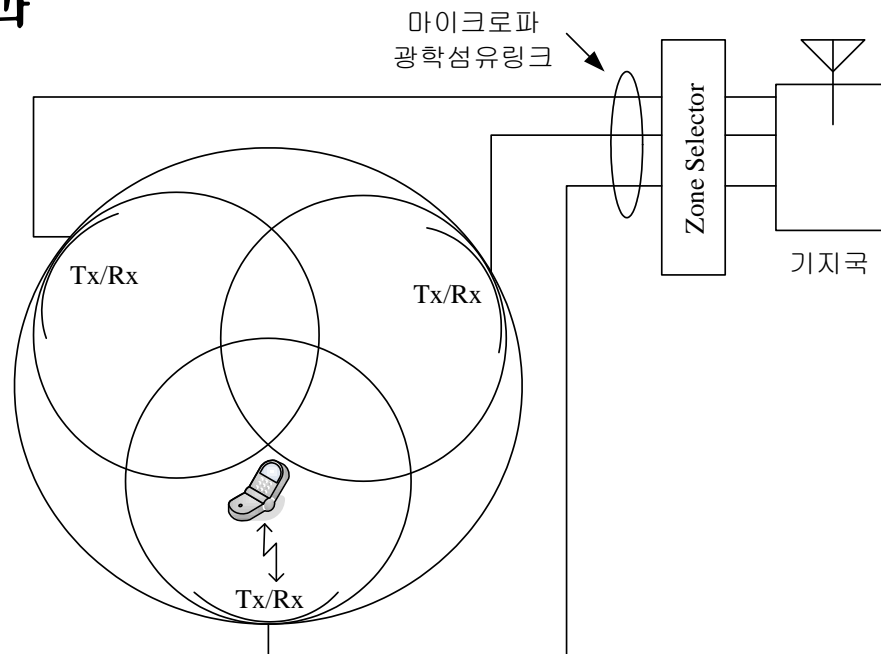


- ✓ 주파수 재사용 개수가 7이라면 첫번째 동일 채널(co-channel)간섭 셀들에서의 간섭원의 수는 6개에서 2개로 줄어들게 된다.

## 5.2.3.3 마이크로 셀 존

### □ 마이크로 셀 존

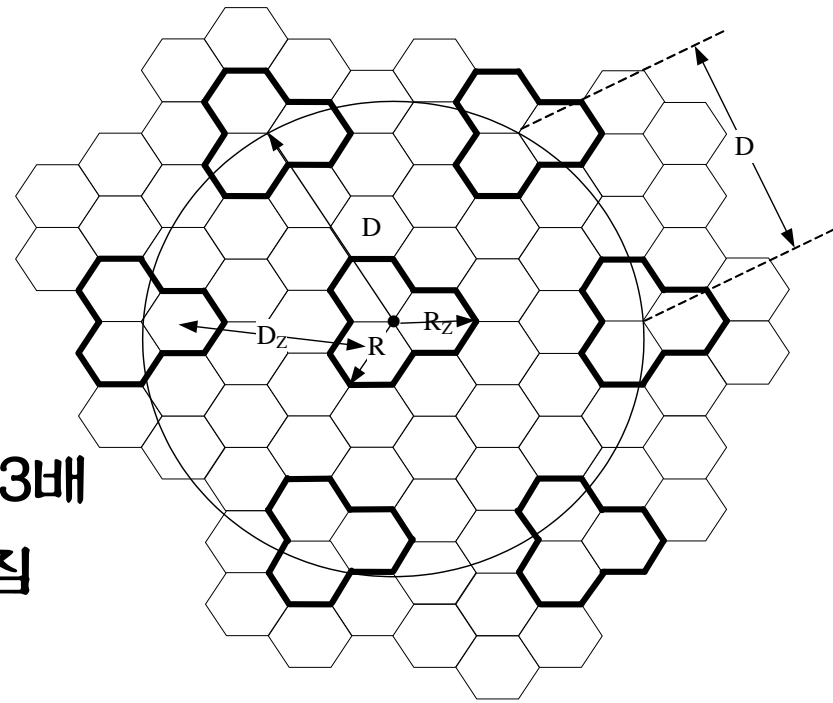
- ✓ 3개 이상의 존이 하나의 셀과 연결되어 하나의 셀을 구성
- ✓ 이동전화가 셀 내에서 이동할 경우 가장 큰 신호의 존에서 서비스
- ✓ 이동교환국(MSC)으로부터 Hand off가 불필요
- ✓ 고속도로 주변 등에 설치 시 효과
- ✓ 안테나가 셀의 경계 부분에 위치
- ✓ 채널들은 기지국에 의해  
다른 임의의 존으로 할당
- ✓ 섹터링보다 간섭 및 채널  
유용성이 향상된 방식



## 5.2.3.3 마이크로 셀 존

- ✓ 마이크로 셀 존 방식은 셀의 서비스 영역은 유지하면서 작은 셀로 전력을 감소했기 때문에 동일 채널(co-channel) 간섭이 감소되어 트렁킹 효율의 감소 없이 용량 증가
- ✓ 마이크로 셀 존 시스템에서  $D_z/R_z$ 는 4.6을 나타낸다.
- ✓ 여기서  $R_z$ 는 존의 반경,  $D_z$ 는 동일 채널 존의 최소 거리
- ✓  $N=3$ 일 때  $D/R$  은 3을 나타낸다.
- ✓ 기존의  $N = 7$ 에서  $N = 3$ 으로 클러스터 크기의 감소로 용량은 2.33배 증가
- ✓ 가장 나쁜 채널 환경에서도  $S/I$ 를 20dB 정도 유지
- ✓ 기존의 옴니안테나  $N = 7$ 보다 2.33배 용량 증대와 2dB의  $S/I$ 마진을 가짐

% 교재 309쪽 참조





**\* Note that :**

- **기지국수 :**

**Cell splitting : Increase the # of base stations**

**Sectoring & Micro-cell zone : Change base station antenna placements**

- **Trunking Efficiency :**

**Cell Splitting & Sectoring 은 채널이 고정 할당되므로 Trunking Efficiency 열화  
Micro-Cell Zone 기법은 O.K.**

## 5.2.4 중계기(repeater)

- 건물 안이나, 지하, 터널 등 전파가 잘 도달되지 않는 지역
- 기지국의 무선 주파수(radio frequency) 신호를 제 3의 전송 매체를 통해 원하는 원격 지역에 전송하여 다시 무선 주파수 신호로 재생하는 방식
- 채널을 할당하여 가입자 용량을 증대하는 것이 아니라, 단순히 기지국으로부터의 신호를 특정 지역으로 증폭 및 재전송하는 역할만 하는 것이다.
- 성능면에서는 기지국이 월등히 중계기보다는 좋은 특성
- 비용면에서 기지국은 중계기에 비해 비용이 많이 드는 단점
- 소규모 음영지역을 해소하기 위해서는 기지국의 설치라는 점이 비용 및 성능 측면에서 과다 투자 가능성
- 무선망 설계 및 서비스 사업자는 음영지역 해소 방안을 중계기로 해결하는 경우가 일반적

## 5.2.4 중계기(repeater)

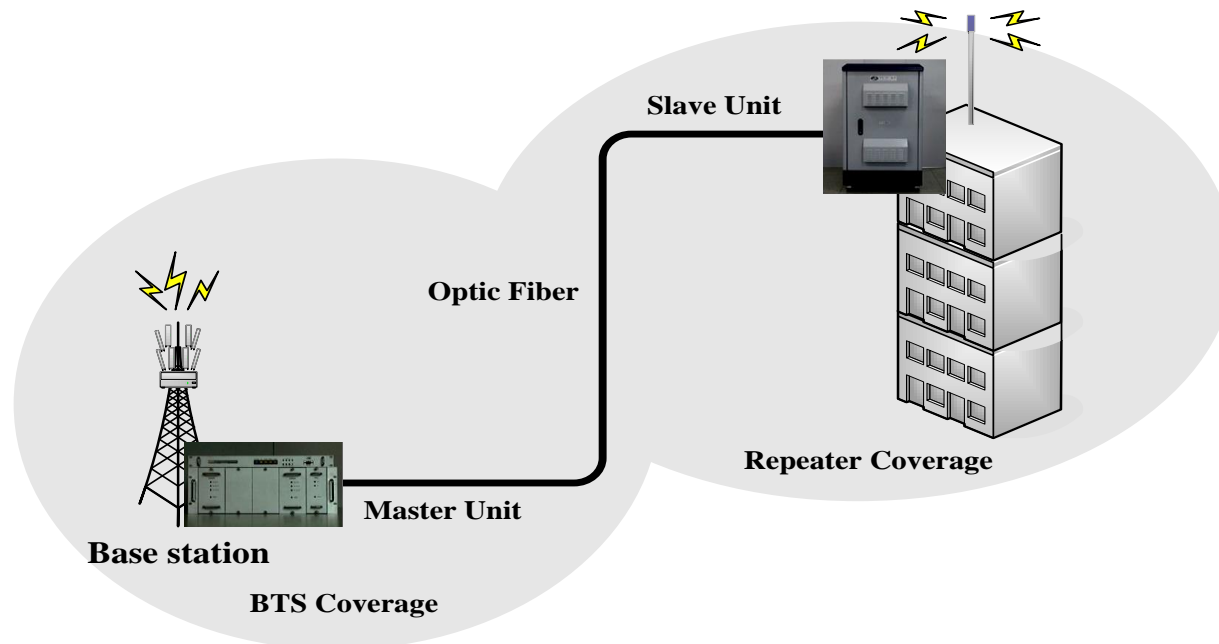
### □ 중계기의 종류

구분	서비스 종류	커버리지 확장
지상 중계기	옥외 중계기 주파수 변환 중계기 광중계기 마이크로 웨이브 중계기 레이저 중계기	확장용
지하 및 인빌딩 중계기	광분산 중계기 I/F분산 중계기 RF 중계기 소형 중계기 복합방식 중계기	확장용

## 5.2.4 증계기(repeater)

### □ 광증계기(optic repeater)

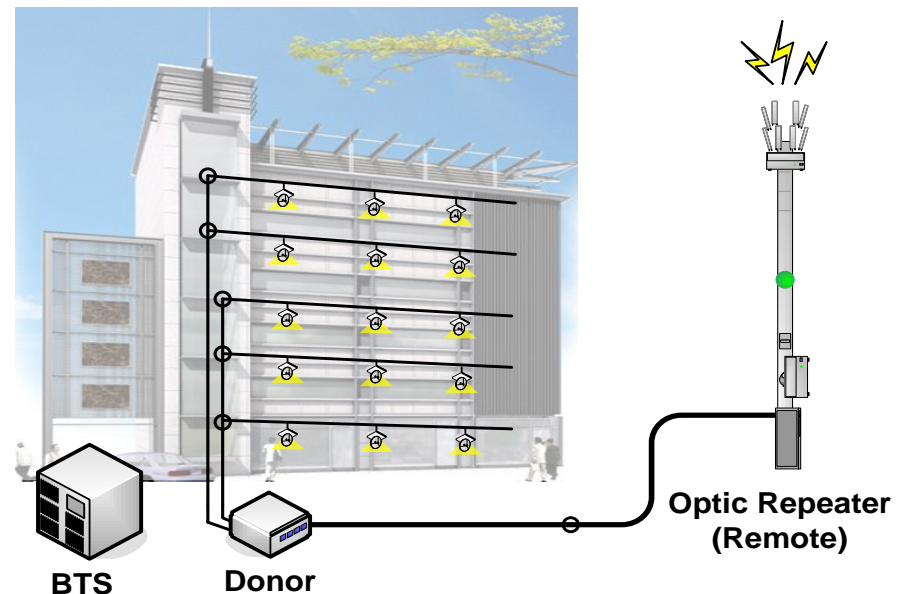
- ◆ 기지국의 RF신호를 특성이 우수한 광 링크를 이용해 서비스 지역으로 전송함으로써 안정성이 뛰어나며 양질의 신호를 전달할 수 있다.
- ◆ 보다 넓은 지역의 고출력 서비스를 구현



## 5.2.4 중계기(repeater)

### □ 광분산중계기(optic distributed repeater)

- ◆ 3~5개의 대형빌딩을 별도의 광케이블을 통해 독립된 하나의 작은 셀(in-building pico cell)로 묶어 빌딩 외부 기지국과는 별도로 서비스를 제공
- ◆ 하나의 큰 빌딩에 각 층마다 광케이블로 연결하여 서비스 지역을 확보하는 기술
- ◆ 특정 기지국의 신호를 증폭하여 층별로 설치된 분산 안테나를 통해 다른 기지국들의 신호보다 더 큰 레벨로 재방사

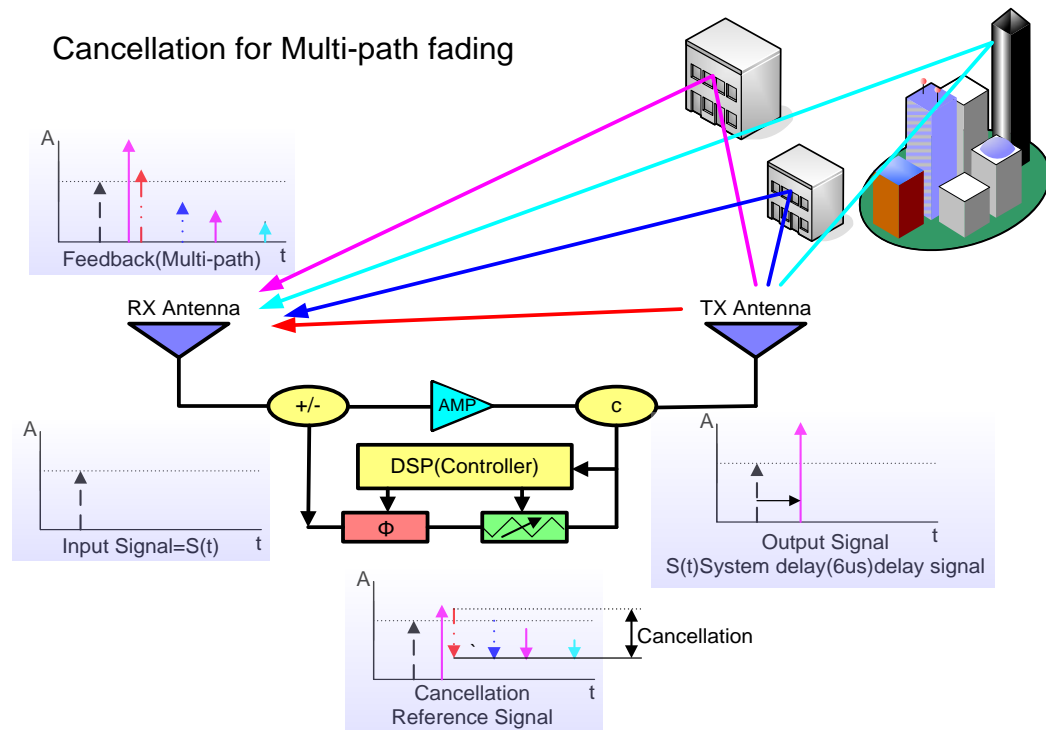




# 5.2.4 증계기(repeater)

## RF 증계기(radio frequency repeater)

- ◆ Donor 안테나를 통해 수신된 기지국 신호가 듀플렉서를 통해 저잡음 증폭기(LNA)에 입력돼 저잡음 증폭
- ◆ 증폭된 신호는 국부 발진기의 발진주파수와 혼합해 중간 주파수로 낮춰준 다음 중간 주파수대에서 스킨트(skirt) 특성이 우수한 표면 탄성파(SAW)필터를 통해 원하는 주파수대만을 통과
- ◆ 주파수를 높여주고 고출력 증폭기를 통해 증폭한 후 서비스 안테나로 음영 지역을 서비스



## 5.2.4 증계기(repeater)

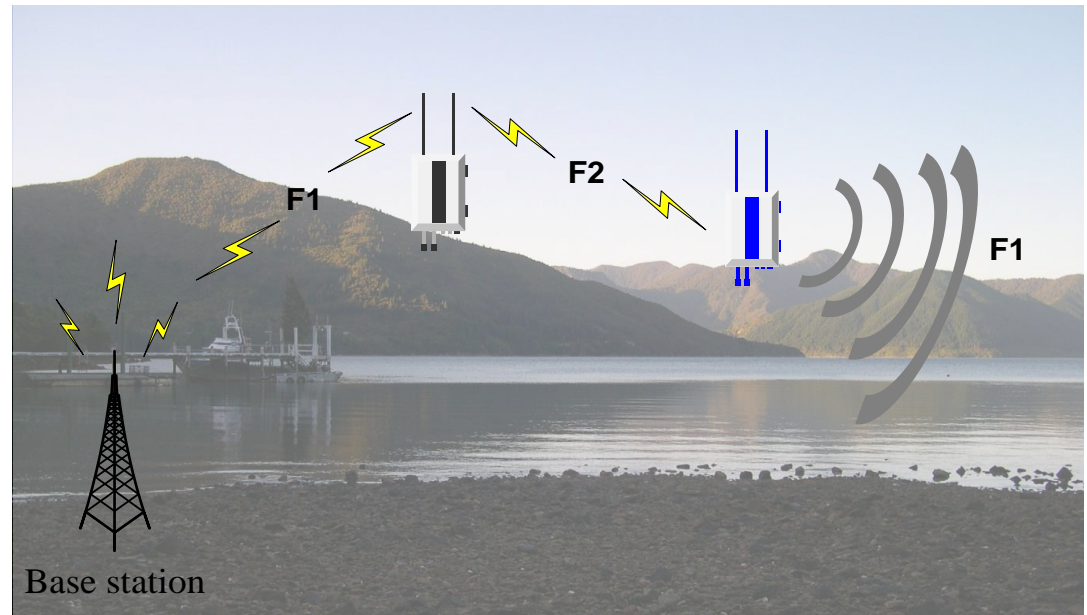
### □ 광증계기와 RF 증계기 비교

증계기 형태	대출력 광증계기	광분산 증계기	간섭제거 RF 증계기
경제성	고가의 설치비 고가의 유지 보수 비용	고가의 설치비 고가의 유지 보수비용	고가의 설치비 저가의 유지 보수비용
기술력	광신호 변화	광신호 변화 분산 기술 필요	고도의 정밀한 간섭제거기법
통화영역	매우 넓음	매우 넓음	넓음
문제점	상호변조(IF) 간섭 발생	Active 소자의 증가로 고장률 높음	발진 문제 해결을 위한 알고리즘 필요
안정성	매우 안정적 시스템	안정적인 시스템	외부환경에 민감 불안정한 시스템
적합한 환경	도심 지형의 대형 건물 적합 (FDD방식 적합)	도심 지형의 대형 건물 적합 (TDD방식 적합)	이격된 장소 (지하철, 터널 등 넓은 분야확대 가능)

## 5.2.4 중계기(repeater)

### □ 주파수 변환 중계기

- ◆ 기지국의 RF 신호를 사용하지 않는 빈 FA(frequency assignment) 신호로 변환하여 안테나로 전송한 후, 원격지에서 수신하여 다시 원래의 주파수 신호로 변환
- ◆ 입·출력 안테나간의 주파수가 다르기 때문에 발진 방지
- ◆ 빈 주파수 대역이 필요하기 때문에 주파수대역 내 주파수 사용률이 높은 도심 등에서는 사용이 불가능
- ◆ 경제성 매우 우수



## 5.2.4 증계기(repeater)

### □ 레이저 증계기

- ◆ RF 신호를 레이저 신호로 변환하여 전송 후, 원격지에서 수신하여 다시 RF 신호로 변환하여 안테나로 송신
- ◆ 주파수 사용 허가가 불필요
- ◆ 안개나 폭우 등의 날씨 변화에 민감
- ◆ 레이저 구간 사이 LOS 확보 및 레이저 빔 포커스 유지

## 5.3 트렁킹 이론(Trunking theory)

### □ Trunking

- ◆ 한정된 주파수 대역 내에서 많은 가입자를 수용한다는 개념
- ◆ 일정 시간구간내에서 가입자들이 통신회선을 나누어 사용

### □ The Grade of Service (GOS)

- ◆ 가장 바쁜 비즈니스 시간대에 통신 시스템에 가입자의 통화 연결 정도 혹은 블럭킹의 정도를 나타내는 것
- ◆ 주로 Blocking probability로 정의
- ◆ User 당 통화 점유율 :  $A_u = \lambda H[Erl]$
- ◆ 예제) 사용자의 시간당 호 요구는 0.8 이고, 호당 통화 시간이 각각 1.76 분이면 이 사용자의 통화 점유율은 얼마인가?

$$A_u = 0.8 \text{ call}/60 \times 1.76 = 0.235 \text{ Erlang/user}$$

## 5.3 트렁킹 이론(Trunking theory)

- Traffic Intensity : 통화점유율 -  $A_u$  Erlang.
- Holding Time( $H$ ) : 평균 통화시간 (in second)
- Traffic Intensity( $A$ ) : 채널 점유율을 나타냄(in Erlang)
- Call Request Rate : 단위 시간당 호 접속 요구
- 전체 요구 통화 점유율(offered traffic intensity)

◆ 가입자의 트래픽 부하( $A_u$ ) 가입자 수( $U$ )

$$A = U \times A_u$$

- 채널 당 통화 점유율

$$A_c = U \times A_u / C$$

- 가용 트래픽( $A_{ca}$ ) 요구 트래픽( $A$ )

$$A_{ca} = A [1 - \text{블럭킹확률}]$$

## 5.3 트렁킹 이론(Trunking theory)

□ 호의 요구 시 가용 채널이 있으면 즉시 연결이 가능하고, 가용 채널이 없으면 Blocking 됨

◆ **얼랑 B 모델** : blocked calls cleared

◆ 호 요구시 가용 채널이 없을 시 블로킹(blocking)

◆ 통화 부하 및 채널의 수와의 상관관계로 표현

$$P_r[\text{Blocking}] = B(A, N)$$

$$N = \# \text{ of channel} = B^{-1}(P_b, A)$$

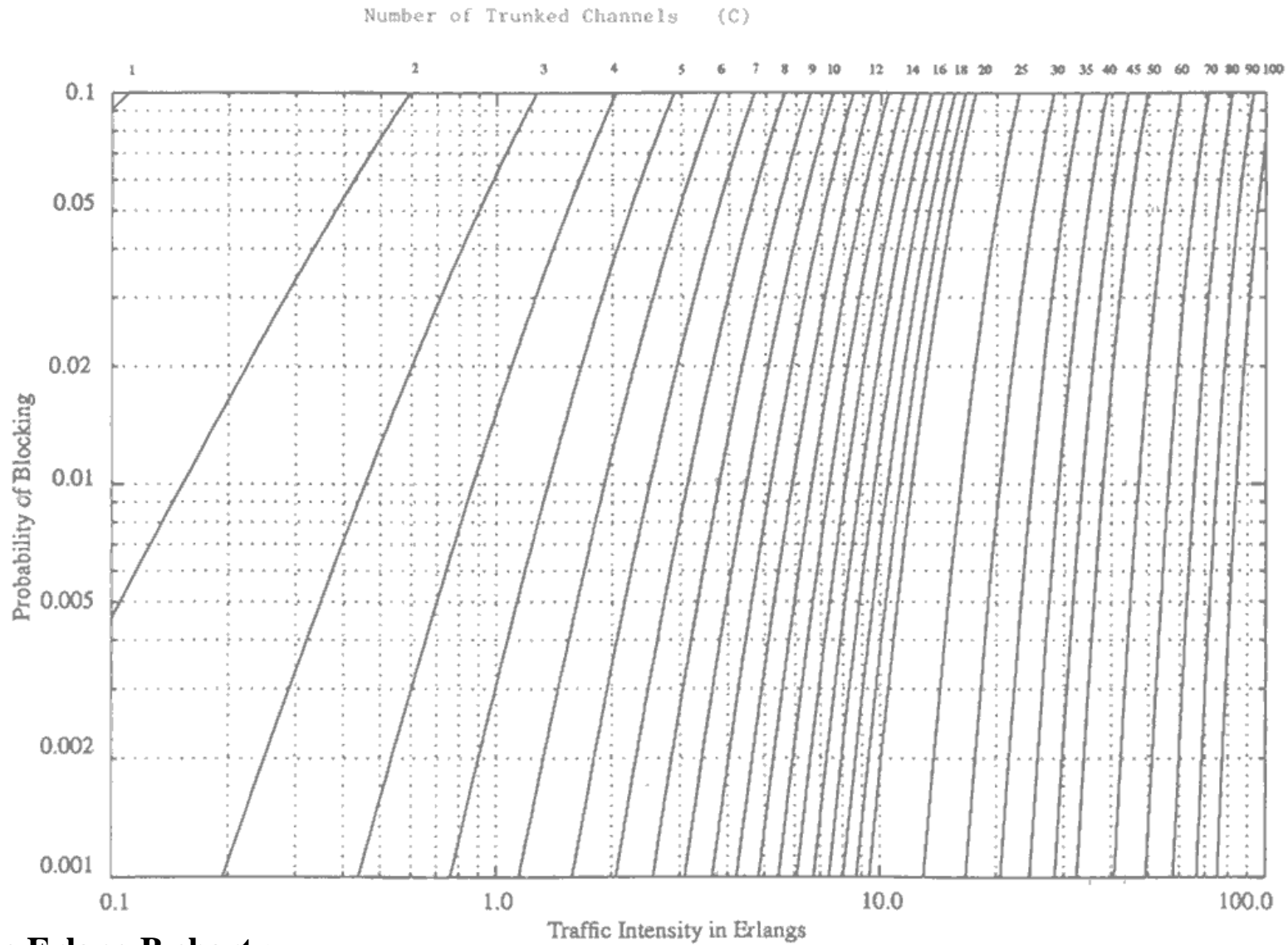
□ **얼랑 C 모델** : blocked calls delayed

◆ 가용 채널이 없을 시 대기 상태로 일정 기간 호를 유지

◆ 지연된 호가  $t$ 초 이상 기다려야 할 확률은 호의 지연 확률과 지연이  $t$ 초 이상인 조건부 확률의 곱으로 표현

$$P_r[\text{delay} > t] = P_r[\text{delay} > 0]P_r[\text{delay} > t \mid \text{delay} > 0]$$

$$= P_r[\text{delay} > 0]\exp(-C - A)t / H)$$



**The Erlang B chart :**

**The probability of blocking as function of the number of channels and traffic intensity in Erlang**



## 5.3 트렁킹 이론(Trunking theory)

- Queued System에서 호의 평균 지연(delay)

$$D = P_r[\text{delay} > 0] \frac{H}{C - A} \quad C : \text{제공된 채널의 수}$$

- 트렁킹 효율(trunking efficiency)  $\eta = \frac{A_c}{C} = \frac{A[1 - p(B)]}{C}$

◆ 예제) A 지역에 한 시간에 호 요구수가 3000호, 총 가입자 수가 3750명이며 평균 호 통화 시간은 1.76분이라 할 때 블로킹 확률을 2% 미만으로 유지하기 위해서 필요한 총 채널의 수는?

개인별 시간당 호 요구 수는 =  $3000/3750 = 0.8$  call/hour

개인별 열량은 =  $0.8 \text{ call}/60 \times 1.76 = 0.0235$  Erlang/user

전체 통화점유율은 =  $3750 \times 0.0235 = 88$  Erlang

◆ 여기서  $P_b = 0.02 = (88,)$  임으로, 총 채널 수 = 100 채널

## 5.3 트렁킹 이론(Trunking theory)

- ◆ 예제) 인구 2백만 지역에 이동통신 서비스 중에 있다.
- ◆ A 회사는 19개의 채널을 가진 394개의 기지국이 있다.
- ◆ B 회사는 57개의 채널을 가진 98개의 기지국이 있다.
- ◆ C 회사는 100개의 채널을 가진 49개의 기지국이 있다.
- ◆ 호 요구수는 시간당 2호이며, 통화 시간은 호당 3분이다.  
GOS 2%를 만족하기 위해서 A, B, C 각 회사에서 수용할 수 있는 가입자 수를 구하시오.

### ✓ A 회사

- ❖ 개인별 얼랑  $A_u = 2 \text{ call} / 60 \text{ min} \times 3 \text{ min} = 0.1 \text{ Erlang} / \text{user}$
- ❖ 총 통화 점유율  $A_a = B^{-1}(P_b, N) = B^{-1}(0.02, 19) = 12 \text{ Erlang}$
- ❖ 한 셀에서의 가입자 수  $U = A_a / A_u = 120 \text{ users}$
- ❖ 총 가입자 수  $K_a = 120 \times 394 = 47280 \text{ users}$

## 5.3 트렁킹 이론(Trunking theory)

### ✓ B 회사

- ❖ 개인별 얼랑  $A_u = 2 \text{ call} / 60\text{min} \times 3\text{min} = 0.1 \text{ Erlang} / \text{user}$
- ❖ 총 통화 점유율  $A_b = B^{-1}(P_b, N) = B^{-1}(0.02, 57) = 45 \text{ Erlang}$
- ❖ 한 셀에서의 가입자 수  $U = A_b / A_u = 450 \text{ users}$
- ❖ 총 가입자 수  $K_a = 450 \times 98 = 44100 \text{ users}$

### ✓ C 회사

- ❖ 개인별 얼랑  $A_u = 2 \text{ call} / 60\text{min} \times 3\text{min} = 0.1 \text{ Erlang} / \text{user}$
- ❖ 총 통화 점유율  $A_c = B^{-1}(P_b, N) = B^{-1}(0.02, 100) = 88 \text{ Erlang}$
- ❖ 한 셀에서의 가입자 수  $U = A_c / A_u = 880 \text{ users}$
- ❖ 총 가입자 수  $K_a = 880 \times 49 = 43120 \text{ users}$

**Table 2.4 Capacity of an Erlang B System**

Number of Channels $C$	Capacity (Erlangs) for GOS			
	= 0.01	= 0.005	= 0.002	= 0.001
2	0.153	0.105	0.065	0.046
4	0.869	0.701	0.535	0.439
5	1.36	1.13	0.900	0.762
10	4.46	3.96	3.43	3.09
20	12.0	11.1	10.1	9.41
24	15.3	14.2	13.0	12.2
40	29.0	27.3	25.7	24.5
70	56.1	53.7	51.0	49.2
100	84.1	80.9	77.4	75.2

# Erlang B Model - Blocked calls Cleared(continued)

N	B																									
	0.01%	0.02%	0.03%	0.05%	0.1%	0.2%	0.3%	0.4%	0.5%	0.6%	0.7%	0.8%	0.9%	1.0%	1.2%	1.5%	2%	3%	5%	7%	10%	15%	20%	30%	40%	50%
50	28.9	29.9	30.5	31.3	32.5	33.9	34.8	35.4	36.0	36.5	36.9	37.2	37.6	37.9	38.5	39.2	40.3	41.9	44.5	46.7	49.6	54.0	58.5	68.5	81.0	98.1
51	29.6	30.6	31.3	32.1	33.3	34.7	35.6	36.3	36.9	37.3	37.8	38.1	38.5	38.8	39.4	40.1	41.2	42.9	45.5	47.7	50.6	55.2	59.7	69.9	82.7	100.1
52	30.4	31.4	32.0	32.9	34.2	35.6	36.5	37.2	37.7	38.2	38.6	39.0	39.4	39.7	40.3	41.0	42.1	43.9	46.5	48.8	51.7	56.3	61.0	71.3	84.3	102.1
53	31.2	32.2	32.8	33.7	35.0	36.4	37.3	38.0	38.6	39.1	39.5	39.9	40.3	40.8	41.2	42.0	43.1	44.8	47.5	49.8	52.8	57.5	62.2	72.7	86.0	104.1
54	31.9	33.0	33.6	34.5	35.8	37.2	38.2	38.9	39.5	40.0	40.4	40.8	41.2	41.5	42.1	42.9	44.0	45.8	48.5	50.8	53.9	58.7	63.5	74.2	87.6	106.1
55	32.7	33.8	34.4	35.3	36.6	38.1	39.0	39.8	40.4	40.9	41.3	41.7	42.1	42.4	43.0	43.8	44.9	46.7	49.5	51.9	55.0	59.8	64.7	75.6	89.3	108.1
56	33.5	34.6	35.2	36.1	37.5	38.9	39.9	40.6	41.2	41.7	42.2	42.6	43.0	43.3	43.9	44.7	45.9	47.7	50.5	52.9	56.1	61.0	65.9	77.0	91.0	110.1
57	34.3	35.4	36.0	36.9	38.3	39.8	40.8	41.5	42.1	42.6	43.1	43.5	43.9	44.2	44.8	45.7	46.8	48.7	51.5	53.9	57.1	62.1	67.2	78.4	92.6	112.1
58	35.1	36.2	36.8	37.8	39.1	40.6	41.6	42.4	43.0	43.5	44.0	44.4	44.8	45.1	45.8	46.6	47.8	49.6	52.6	55.0	58.2	63.3	68.4	79.8	94.3	114.1
59	35.8	37.0	37.6	38.6	40.0	41.5	42.5	43.3	43.9	44.4	44.9	45.3	45.7	46.0	46.7	47.5	48.7	50.6	53.6	56.0	59.3	64.5	69.7	81.3	96.0	116.1
60	36.6	37.8	38.5	39.4	40.8	42.4	43.4	44.1	44.8	45.3	45.8	46.2	46.6	46.9	47.6	48.4	49.6	51.6	54.6	57.1	60.4	65.6	70.9	82.7	97.6	118.1
61	37.4	38.6	39.3	40.2	41.6	43.2	44.2	45.0	45.6	46.2	46.7	47.1	47.5	47.9	48.5	49.4	50.6	52.5	55.6	58.1	61.5	66.8	72.1	84.1	99.3	120.1
62	38.2	39.4	40.1	41.0	42.5	44.1	45.1	45.9	46.5	47.1	47.6	48.0	48.4	48.8	49.4	50.3	51.5	53.5	56.6	59.1	62.6	68.0	73.4	85.5	101.0	122.1
63	39.0	40.2	40.9	41.9	43.3	44.9	46.0	46.8	47.4	48.0	48.5	48.9	49.3	49.7	50.4	51.2	52.5	54.5	57.6	60.2	63.7	69.1	74.6	87.0	102.6	124.1
64	39.8	41.0	41.7	42.7	44.2	45.8	46.8	47.6	48.3	48.9	49.4	49.8	50.2	50.6	51.3	52.2	53.4	55.4	58.6	61.2	64.8	70.3	75.9	88.4	104.3	126.1
65	40.6	41.8	42.5	43.5	45.0	46.6	47.7	48.5	49.2	49.8	50.3	50.7	51.1	51.5	52.2	53.1	54.4	56.4	59.6	62.3	65.8	71.4	77.1	89.8	106.0	128.1
66	41.4	42.6	43.3	44.4	45.8	47.5	48.6	49.4	50.1	50.7	51.2	51.6	52.0	52.4	53.1	54.0	55.3	57.4	60.6	63.3	66.9	72.6	78.3	91.2	107.6	130.1
67	42.2	43.4	44.2	45.2	46.7	48.4	49.5	50.3	51.0	51.6	52.1	52.5	53.0	53.4	54.1	55.0	56.3	58.4	61.6	64.4	68.0	73.8	79.6	92.7	109.3	132.1
68	43.0	44.2	45.0	46.0	47.5	49.2	50.3	51.2	51.9	52.5	53.0	53.4	53.9	54.3	55.0	55.9	57.2	59.3	62.6	65.4	69.1	74.9	80.8	94.1	111.0	134.1
69	43.8	45.0	45.8	46.8	48.4	50.1	51.2	52.1	52.8	53.4	53.9	54.4	54.8	55.2	55.9	56.9	58.2	60.3	63.7	66.4	70.2	76.1	82.1	95.5	112.6	136.1
70	44.6	45.8	46.6	47.7	49.2	51.0	52.1	53.0	53.7	54.3	54.8	55.3	55.7	56.1	56.8	57.8	59.1	61.3	64.7	67.5	71.3	77.3	83.3	96.9	114.3	138.1
71	45.4	46.7	47.5	48.5	50.1	51.8	53.0	53.8	54.6	55.2	55.7	56.2	56.6	57.0	57.8	58.7	60.1	62.3	65.7	68.5	72.4	78.4	84.6	98.4	115.9	140.1
72	46.2	47.5	48.3	49.3	50.9	52.7	53.9	54.7	55.5	56.1	56.6	57.1	57.5	58.0	58.7	59.7	61.0	63.2	66.6	69.6	73.5	79.6	85.8	99.8	117.6	142.1
73	47.0	48.3	49.1	50.2	51.8	53.6	54.7	55.6	56.4	57.0	57.5	58.0	58.5	58.9	59.6	60.6	62.0	64.2	67.7	70.6	74.6	80.8	87.0	101.2	119.3	144.1
74	47.8	49.1	49.9	51.0	52.7	54.5	55.6	56.5	57.3	57.9	58.4	58.9	59.4	59.8	60.6	61.6	62.9	65.2	68.7	71.7	75.6	81.9	88.3	102.7	120.9	146.1
75	48.6	49.9	50.8	51.9	53.5	55.3	56.5	57.4	58.2	58.8	59.3	59.8	60.3	60.7	61.5	62.5	63.9	66.2	69.7	72.7	76.7	83.1	89.5	104.1	122.6	148.0
76	49.4	50.8	51.6	52.7	54.4	56.2	57.4	58.3	59.1	59.7	60.3	60.8	61.2	61.7	62.4	63.4	64.9	67.2	70.8	73.8	77.8	84.2	90.8	105.5	124.3	150.0
77	50.2	51.6	52.4	53.6	55.2	57.1	58.3	59.2	60.0	60.6	61.2	61.7	62.1	62.6	63.4	64.4	65.8	68.1	71.8	74.8	78.9	85.4	92.0	106.9	125.9	152.0
78	51.1	52.4	53.3	54.4	56.1	58.0	59.2	60.1	60.9	61.5	62.1	62.6	63.1	63.5	64.3	65.3	66.8	69.1	72.8	75.9	80.0	86.6	93.3	108.4	127.6	154.0
79	51.9	53.2	54.1	55.3	56.9	58.8	60.1	61.0	61.8	62.4	63.0	63.5	64.0	64.4	65.2	66.3	67.7	70.1	73.8	76.9	81.1	87.7	94.5	109.8	129.3	156.0
80	52.7	54.1	54.9	56.1	57.8	59.7	61.0	61.9	62.7	63.3	63.9	64.4	64.9	65.4	66.2	67.2	68.7	71.1	74.8	78.0	82.2	88.9	95.7	111.2	130.9	158.0
81	53.5	54.9	55.8	56.9	58.7	60.6	61.8	62.8	63.6	64.2	64.8	65.4	65.8	66.3	67.1	68.2	69.6	72.1	75.8	79.0	83.3	90.1	97.0	112.6	132.6	160.0
82	54.3	55.7	56.6	57.8	59.5	61.5	62.7	63.7	64.5	65.2	65.7	66.3	66.8	67.2	68.0	69.1	70.6	73.0	76.9	80.1	84.4	91.2	98.2	114.1	134.3	162.0
83	55.1	56.6	57.5	58.6	60.4	62.4	63.6	64.6	65.4	66.1	66.7	67.2	67.7	68.2	69.0	70.1	71.6	74.0	77.9	81.1	85.5	92.4	99.5	115.5	135.9	164.0
84	56.0	57.4	58.3	59.5	61.3	63.2	64.5	65.5	66.3	67.0	67.6	68.1	68.6	69.1	69.9	71.0	72.5	75.0	78.9	82.2	86.6	93.6	100.7	116.9	137.6	166.0
85	56.8	58.2	59.1	60.4	62.1	64.1	65.4	66.4	67.2	67.9	68.5	69.1	69.6	70.0	70.9	71.9	73.5	76.0	79.9	83.2	87.7	94.7	102.0	118.3	139.3	168.0
86	57.6	59.1	60.0	61.2	63.0	65.0	66.3	67.3	68.1	68.8	69.4	70.0	70.5	70.9	71.8	72.9	74.5	77.0	80.9	84.3	88.8	95.9	103.2	119.8	140.9	170.0
87	58.4	59.9	60.8	62.1	63.9	65.9	67.2	68.2	69.0	69.7	70.3	70.9	71.4	71.9	72.7	73.8	75.4	78.0	82.0	85.3	89.9	97.1	104.5	121.2	142.6	172.0
88	59.3	60.8	61.7	62.9	64.7	66.8	68.1	69.1	69.9	70.6	71.3	71.8	72.3	72.8	73.7	74.8	76.4	78.9	83.0	86.4	91.0	98.2	105.7	122.6	144.3	174.0
89	60.1	61.6	62.5	63.8	65.6	67.7	69.0	70.0	70.8	71.6	72.2	72.8	73.3	73.7	74.6	75.7	77.3	79.9	84.0	87.4	92.1	99.4	106.9	124.0	145.9	176.0
90	60.9	62.4	63.4	64.6	66.5	68.6	69.9	70.9	71.8	72.5	73.1	73.7	74.2	74.7	75.6	76.7	78.3	80.9	85.0	88.5	93.1	100.6	108.2	125.5	147.6	178.0
91	61.8	63.3	64.2	65.5	67.4	69.4	70.8	71.8	72.7	73.4	74.0	74.6	75.1	75.6	76.5	77.6	79.2	81.9	86.0	89.5	94.2	101.7	109.4	126.9	149.3	180.0
92	62.6	64.1	65.1	66.3	68.2	70.3	71.7	72.7	73.6	74.3	75.0	75.5	76.1	76.6	77.4	78.6	80.3	83.0	87.1	90.6	95.3	102.9	110.7	128.3	150.9	182.0
93	63.4	65.0	65.9	67.2	69.1	71.2	72.6	73.6	74.5	75.2	75.9	76.5	77.0	77.5	78.4	79.6	81.2	83.9	88.1	91.6	96.4	104.1	111.9	129.7	152.6	184.0
94	64.2	65.8	66.8	68.1	70.0	72.1	73.5	74.5	75.4	76.2	76.8	77.4	77.9	78.4	79.3	80.5	82.2	84.9	89.1	92.7	97.5	105.3	113.2	131.2	154.3	186.0
95	65.1	66.6	67.6	68.9	70.9	73.0	74.4	75.5	76.3	77.1	77.7	78.3	78.9	79.4	80.3	81.5	83.1	85.8	90.1	93.7	98.6	106.4	114.4	132.6	155.9	188.0
96	65.9	67.5	68.5	69.8	71.7	73.9	75.3	76.4	77.2	78.0	78.7	79.3	79.8	80.3	81.2	82.4	84.1	86.8	91.1	94.8	99.7	107.6	115.7	134.0	157.6	190.0
97	66.8	68.3	69.3	70.7	72.6	74.8	76.2	77.3	78.2	78.9	79.6	80.2	80.7	81.2	82.2	83.4	85.1	87.8	92.2	95.8	100.8	108.8	116.9	135.5	159.3	192.0
98	67.6	69.2	70.2	71.5	73.5	75.7	77.1	78.2	79.1	79.8	80.5															

# Erlang B Model – Blocked calls Cleared(Continued)

N	B																									
	0.01%	0.02%	0.03%	0.05%	0.1%	0.2%	0.3%	0.4%	0.5%	0.6%	0.7%	0.8%	0.9%	1.0%	1.2%	1.5%	2%	3%	5%	7%	10%	15%	20%	30%	40%	50%
100	69.3	70.9	71.9	73.2	75.2	77.5	78.9	80.0	80.9	81.7	82.4	83.0	83.5	84.1	85.0	86.2	88.0	90.8	95.2	99.0	104.1	112.3	120.6	139.7	164.3	198.0
102	70.9	72.6	73.6	75.0	77.0	79.3	80.7	81.8	82.7	83.5	84.2	84.8	85.4	85.9	86.9	88.1	89.9	92.8	97.3	101.1	106.3	114.6	123.1	142.6	167.6	202.0
104	72.6	74.3	75.3	76.7	78.8	81.1	82.5	83.7	84.6	85.4	86.1	86.7	87.3	87.8	88.8	90.1	91.9	94.8	99.3	103.2	108.5	116.9	125.6	145.4	170.9	206.0
106	74.3	76.0	77.1	78.5	80.5	82.8	84.3	85.5	86.4	87.2	87.9	88.6	89.2	89.7	90.7	92.0	93.8	96.7	101.4	105.3	110.7	119.3	128.1	148.3	174.2	210.0
108	76.0	77.7	78.8	80.2	82.3	84.6	86.2	87.3	88.3	89.1	89.8	90.5	91.1	91.6	92.6	93.9	95.7	98.7	103.4	107.4	112.9	121.6	130.6	151.1	177.6	214.0
110	77.7	79.4	80.5	81.9	84.1	86.4	88.0	89.2	90.1	90.9	91.7	92.3	92.9	93.5	94.5	95.8	97.7	100.7	105.5	109.5	115.1	124.0	133.1	154.0	180.9	218.0
112	79.4	81.1	82.2	83.7	85.8	88.3	89.8	91.0	92.0	92.8	93.5	94.2	94.8	95.4	96.4	97.7	99.6	102.7	107.5	111.7	117.3	126.3	135.8	156.9	184.2	222.0
114	81.1	82.9	84.0	85.4	87.6	90.1	91.6	92.8	93.8	94.7	95.4	96.1	96.7	97.3	98.3	99.7	101.6	104.7	109.6	113.8	119.5	128.6	138.1	159.7	187.6	226.0
116	82.8	84.6	85.7	87.2	89.4	91.9	93.5	94.7	95.7	96.5	97.3	98.0	98.6	99.2	100.2	101.6	103.5	106.7	111.7	115.9	121.7	131.0	140.6	162.6	190.9	230.0
118	84.5	86.3	87.4	89.0	91.2	93.7	95.3	96.5	97.5	98.4	99.2	99.9	100.5	101.1	102.1	103.5	105.5	108.7	113.7	118.0	123.9	133.3	143.1	165.4	194.2	234.0
120	86.2	88.0	89.2	90.7	93.0	95.5	97.1	98.4	99.4	100.3	101.0	101.7	102.4	103.0	104.0	105.4	107.4	110.7	115.8	120.1	126.1	135.7	145.6	168.3	197.6	238.0
122	87.9	89.8	90.9	92.5	94.7	97.3	98.9	100.2	101.2	102.1	102.9	103.6	104.3	104.9	105.9	107.4	109.4	112.6	117.8	122.2	128.3	138.0	148.1	171.1	200.9	242.0
124	89.6	91.5	92.7	94.2	96.5	99.1	100.8	102.1	103.1	104.0	104.8	105.5	106.2	106.8	107.9	109.3	111.3	114.6	119.9	124.4	130.5	140.3	150.6	174.0	204.2	246.0
126	91.3	93.2	94.4	96.0	98.3	100.9	102.6	103.9	105.0	105.9	106.7	107.4	108.1	108.7	109.8	111.2	113.3	116.6	121.9	126.5	132.7	142.7	153.0	176.8	207.6	250.0
128	93.1	95.0	96.2	97.8	100.1	102.7	104.5	105.8	106.8	107.7	108.5	109.3	109.9	110.6	111.7	113.2	115.2	118.6	124.0	128.6	134.9	145.0	155.5	179.7	210.9	254.0
130	94.8	96.7	97.9	99.5	101.9	104.6	106.3	107.6	108.7	109.6	110.4	111.2	111.8	112.5	113.6	115.1	117.2	120.6	126.1	130.7	137.1	147.4	158.0	182.5	214.2	258.0
132	96.5	98.5	99.7	101.3	103.7	106.4	108.1	109.5	110.5	111.5	112.3	113.1	113.7	114.4	115.5	117.0	119.1	122.6	128.1	132.8	139.3	149.7	160.5	185.4	217.6	262.0
134	98.2	100.2	101.4	103.1	105.5	108.2	110.0	111.3	112.4	113.4	114.2	115.0	115.6	116.3	117.4	119.0	121.1	124.6	130.2	134.9	141.5	152.0	163.0	188.3	220.9	266.0
136	100.0	101.9	103.2	104.9	107.3	110.0	111.8	113.2	114.3	115.2	116.1	116.8	117.5	118.2	119.4	120.9	123.1	126.6	132.3	137.1	143.7	154.4	165.5	191.1	224.2	270.0
138	101.7	103.7	105.0	106.6	109.1	111.9	113.7	115.0	116.2	117.1	118.0	118.7	119.4	120.1	121.3	122.8	125.0	128.6	134.3	139.2	145.9	156.7	168.0	194.0	227.6	274.0
140	103.4	105.4	106.7	108.4	110.9	113.7	115.5	116.9	118.0	119.0	119.9	120.6	121.4	122.0	123.2	124.8	127.0	130.6	136.4	141.3	148.1	159.1	170.5	196.8	230.9	278.0
142	105.1	107.2	108.5	110.2	112.7	115.5	117.4	118.7	119.9	120.9	121.8	122.5	123.3	123.9	125.1	126.7	128.9	132.6	138.4	143.4	150.3	161.4	173.0	199.7	234.2	282.0
144	106.9	109.0	110.2	112.0	114.5	117.4	119.2	120.6	121.8	122.8	123.6	124.4	125.2	125.8	127.0	128.6	130.9	134.6	140.5	145.6	152.5	163.8	175.5	202.5	237.6	286.0
146	108.6	110.7	112.0	113.8	116.3	119.2	121.1	122.5	123.6	124.6	125.5	126.3	127.1	127.7	129.0	130.6	132.9	136.6	142.6	147.7	154.7	166.1	178.0	205.4	240.9	290.0
148	110.4	112.5	113.8	115.5	118.1	121.0	122.9	124.3	125.5	126.5	127.4	128.2	129.0	129.7	130.9	132.5	134.8	138.6	144.6	149.8	156.9	168.5	180.5	208.2	244.2	294.0
150	112.1	114.2	115.6	117.3	119.9	122.9	124.8	126.2	127.4	128.4	129.3	130.1	130.9	131.6	132.8	134.5	136.8	140.6	146.7	151.9	159.1	170.8	183.0	211.1	247.6	298.0
152	113.8	116.0	117.3	119.1	121.8	124.7	126.6	128.1	129.3	130.3	131.2	132.0	132.8	133.5	134.8	136.4	138.8	142.6	148.8	154.0	161.3	173.1	185.5	214.0	250.9	302.0
154	115.6	117.8	119.1	120.9	123.6	126.5	128.5	129.9	131.2	132.2	133.1	133.9	134.7	135.4	136.7	138.4	140.7	144.6	150.8	156.2	163.5	175.5	188.0	216.8	254.2	306.0
156	117.3	119.5	120.9	122.7	125.4	128.4	130.3	131.8	133.0	134.1	135.0	135.9	136.6	137.3	138.6	140.3	142.7	146.6	152.9	158.3	165.7	177.8	190.5	219.7	257.6	310.0
158	119.1	121.3	122.7	124.5	127.2	130.2	132.2	133.7	134.9	136.0	136.9	137.8	138.5	139.2	140.5	142.3	144.7	148.6	155.0	160.4	167.9	180.2	193.0	222.5	260.9	314.0
160	120.8	123.1	124.4	126.3	129.0	132.1	134.0	135.6	136.8	137.9	138.8	139.7	140.4	141.2	142.5	144.2	146.6	150.6	157.0	162.5	170.2	182.5	195.5	225.4	264.2	318.0
162	122.6	124.8	126.2	128.1	130.8	133.9	135.9	137.4	138.7	139.8	140.7	141.6	142.4	143.1	144.4	146.1	148.6	152.7	159.1	164.7	172.4	184.9	198.0	228.2	267.6	322.0
164	124.3	126.6	128.0	129.9	132.7	135.8	137.8	139.3	140.6	141.7	142.6	143.5	144.3	145.0	146.3	148.1	150.6	154.7	161.2	166.8	174.6	187.2	200.4	231.1	270.9	326.0
166	126.1	128.4	129.8	131.7	134.5	137.6	139.6	141.2	142.5	143.5	144.5	145.4	146.2	146.9	148.3	150.0	152.6	156.7	163.3	168.9	176.8	189.6	202.9	233.9	274.2	330.0
168	127.9	130.2	131.6	133.5	136.3	139.4	141.5	143.1	144.3	145.4	146.4	147.3	148.1	148.9	150.2	152.0	154.5	158.7	165.3	171.0	179.0	191.9	205.4	236.8	277.6	334.0
170	129.6	131.9	133.4	135.3	138.1	141.3	143.4	144.9	146.2	147.3	148.3	149.2	150.0	150.8	152.1	153.9	156.5	160.7	167.4	173.2	181.2	194.2	207.9	239.7	280.9	338.0
172	131.4	133.7	135.2	137.1	139.9	143.1	145.2	146.8	148.1	149.2	150.2	151.1	151.9	152.7	154.1	155.9	158.5	162.7	169.5	175.3	183.4	196.6	210.4	242.5	284.2	342.0
174	133.1	135.5	136.9	138.9	141.8	145.0	147.1	148.7	150.0	151.1	152.1	153.0	153.9	154.6	156.0	157.8	160.4	164.7	171.5	177.4	185.6	198.9	212.9	245.4	287.6	346.0
176	134.9	137.3	138.7	140.7	143.6	146.9	149.0	150.6	151.9	153.0	154.0	155.0	155.8	156.6	158.0	159.8	162.4	166.7	173.6	179.6	187.8	201.3	215.4	248.2	290.9	350.0
178	136.7	139.0	140.5	142.5	145.4	148.7	150.8	152.4	153.8	154.9	156.0	156.9	157.7	158.5	159.9	161.8	164.4	168.7	175.7	181.7	190.0	203.6	217.9	251.1	294.2	354.0
180	138.4	140.8	142.3	144.3	147.3	150.6	152.7	154.3	155.7	156.8	157.9	158.8	159.6	160.4	161.8	163.7	166.4	170.7	177.8	183.8	192.2	206.0	220.4	253.9	297.5	358.0
182	140.2	142.6	144.1	146.1	149.1	152.4	154.6	156.2	157.6	158.7	159.8	160.7	161.6	162.3	163.8	165.7	168.3	172.6	179.8	185.9	194.4	208.3	222.9	256.8	300.9	362.0
184	142.0	144.4	145.9	147.9	150.9	154.3	156.4	158.1	159.5	160.6	161.7	162.6	163.5	164.3	165.7	167.6	170.3	174.8	181.9	188.1	196.6	210.7	225.4	259.6	304.2	366.0
186	143.7	146.2	147.7	149.8	152.8	156.1	158.3	160.0	161.4	162.5	163.6	164.5	165.4	166.2	167.7	169.6	172.3	176.8	184.0	190.2	198.9	213.0	227.9	262.5	307.5	370.0
188	145.5	148.0	149.5	151.6	154.6	158.0	160.2	161.9	163.3	164.4	165.5	166.5	167.3	168.1	169.6	171.5	174.3	178.8	186.1	192.3	201.1	215.4				

# 5.3.1 무선망 설계 과정

