

特別寄稿

# CDMA 무선망에서의 치국 및 주파수운용 전략

한국과학기술원 테크노경영대학원 차동완, 강석연

차 례

- I. 서론
- II. CDMA 시스템에서의 무선망 계획
- III. 기지국간 HO 감소를 위한 주파수 운용전략
- IV. 결론

## I. 서론

이동통신에 대한 광범위한 서비스 욕구의 증대에 따라 무선자원을 효율적으로 사용하기 위한 기술개발이 지속적으로 진행되어 왔다. 이에 개인/단말 이동성과 광대역 멀티미디어 서비스를 제공하는 IMT-2000(international mobile telecommunications-2000)에 대한 세계 표준안 제정을 위한 시도가 ITU 주도하에 이루어지고 있다 [2][3][6].

이동통신 가입자가 현재의 기지국을 벗어나 다른 기지국으로 이동하는 경우, 새로 진입한 기지국으로부터 새로운 채널을 할당받아, 기지국이 바뀌더라도 중단없이 통화를 계속할 수 있도록 해야 하는데, 이에 필요한 일련의 과정을 핸드오프(handoff: 이하 HO)라 한다. CDMA 시스템에서는 동일 주파수를 재사용할 수 있는 특성으로 인해, 서로 다른 기지국으로부터 두개 이상의 채널을 동시에 송수신하는 소

프트 HO(soft handoff)와, 인근기지국에서 각기 다른 주파수를 사용하고 있는 경우, 사용중인 통화 채널을 끊고 새로운 주파수에 동조하여 통화를 재개하는 하드 HO(hard handoff)를 제공한다. 하드 HO 과정에서는 무선링크의 연속성이 유지되지 않으므로 기지국 경계 지역에서의 호 손실율이 증가하며, 통화품질이 떨어진다[1][4].

IMT-2000 시스템에서는 마이크로/피코 셀 등의 반경이 작은 기지국을 사용하여 광대역 멀티미디어 서비스를 제공한다. 불균등한 통화요구량과 기지국의 소형화에 따라 이동국이 기지국 경계를 넘는 확률이 증가하므로 빈번한 하드 HO 요구가 발생하고, 서비스 품질에 영향을 준다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해서, 기지국 내에서 미리 주파수를 변경하는 RTD방법과 부가적인 장비를 설치하는 비콘 방법 등이 제안되었다. 본 연구에서는 CDMA방식의 IMT-2000 시스템을 중심으로 기지국간 하드 HO를 줄이기 위한 치국 및 주파수 운용 전략에 대

해 생각해 본다.

## II. CDMA 시스템에서의 무선망 계획

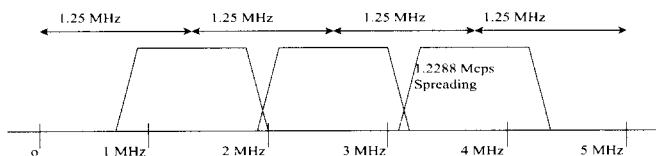
CDMA방식을 채택한 IMT-2000 시스템의 표준안으로는 크게 미국이 주도하는 동기 방식 (cdma2000)과 유럽과 일본 주도의 비동기 방식 (WCDMA)이 있다[6]. 두 방식 모두 멀티미디어 서비스 제공과 개인/단말 이동성 보장이라는 목표는 같이 하고 있으나, 채널구조, 전송속도와 네트워크의 동기화 채택여부 등에서 차이점이 있다. 본 연구는 기존 협대역 CDMA시스템으로부터 진화하여 보다 복잡한 채널 구조를 갖는 cdma2000을 대상으로 한다. cdma2000에서는 기본적인 음성서비스 외에 최대 2Mbps 속도의 데이터를 전송하기 위하여 15MHz까지의 대역폭을 사용하는데, 현재 운용되고 있는 CDMA 시스템(IS-95)의 대역폭인 1.25 MHz를 기준으로 하여  $N \times 1.25 \text{ MHz}$  ( $N=1, 3, 6, 9, 12$ )를 할당할 수 있다.  $N=1$ 인 경우의 확산절차는 IS-95경우와 유사하나,  $N>1$ 인 경우는 전송할 데이터를  $N$ 개의 Carrier로 다중분리 (demultiplexing)한 후 확산하는 Multi-

Carrier 방식과, 다중분리과정 없이 전체  $N \times 1.25\text{MHz}$  대역에 확산하는 직접 확산(direct spread) 방식이라는 두 가지 방식으로 구분된다 [2].

본 논문에서는 서비스 제공을 위해 할당되는 대역폭을 FA(frequency assignment)라 정의한다. Multi-Carrier 방식의 경우 FA는 각 서비스를 제공할 수 있는 1.25MHz단위의 부대역폭(sub-bandwidth)들의 묶음이며, 직접확산의 경우 FA는 연속적인 대역폭이다. 예를 들어, 384kbps급 서비스에 대해서는, 1.25MHz 3단위 또는 3.6864MHz의 연속적인 대역폭이 FA가 된다.

IMT-2000 시스템을 설계하기 위해서 우선 전파 전파환경, 서비스 종류와 통화요구량을 분석한다. 이를 바탕으로 경제성, 신뢰성, 유연성과 확장성 등을 고려하여 무선망 계획(radio network planning)을 수립해야 한다. 무선망 계획은 (그림 2)와 같이 각 서비스에 적합한 FA 종류와 개수, 기지국위치, 셀영역(coverage) 등을 결정하는 과정이다. 무선망 계획의 세부과정은 상호 연관되어 있으며, 이 모두를 포함하여 무선망을 설계하는 것은

### • Multi-Carrier



### • Direct Spread

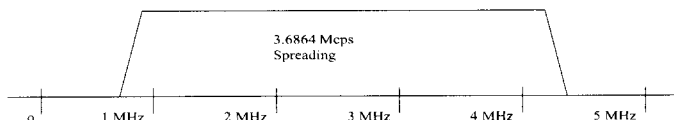


그림 1. 차세대 이동통신 시스템의 대역 사용 예

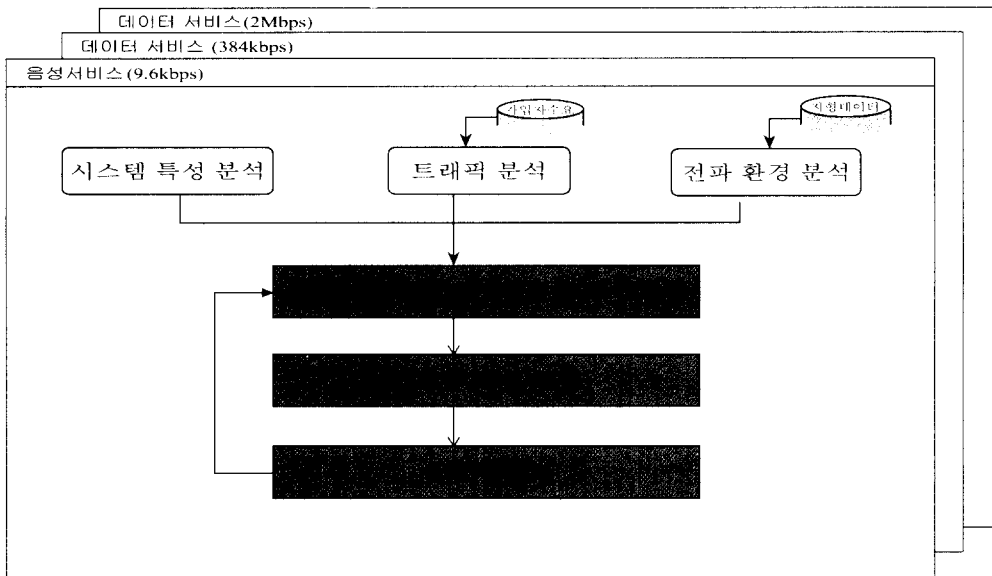


그림 2. CDMA 무선망 계획 과정

현실적으로 불가능하다. 따라서, 통화요구량에 따라 대역폭(FA)의 종류와 개수를 사전에 결정하고, 이를 바탕으로 특정 서비스에 적합한 기지국 위치와 셀영역을 결정하는 단계적인 접근법을 생각한다.

### 1. 서비스별 FA 종류 및 개수 결정과정

멀티미디어 서비스를 제공하는 IMT-2000 시스템에서는 각 서비스에 대해 전송속도와 통화요구량을 고려하여 FA 종류와 개수를 결정한다. 이 후 기지국 위치와 셀영역이 결정되면, 이를 반영하여 FA 할당을 재조정한다. 또한 이동성(mobility)을 반영하여 각 서비스를 피코셀, 마이크로셀 또는 매크로셀 중 어떤 형태로 제공할지 결정한다[6]. 반면, 현 CDMA시스템(IS-95)의 FA는 1.25MHz으로 고정되어 있으므로, 통화 요구량에 따라 FA 개수만 결정하면 된다.

### 2. 기지국 위치와 셀영역 결정과정

서비스 지역 내 통화요구량이 균등할 경우, 기지

국의 위치와 셀영역은 규칙적인 패턴으로 결정된다. 반면 기지국마다 통화요구량이 다르다면, 무선망 계획은 다음의 두 방법과 같이 더욱 복잡한 과정을 거친다. 즉 불균등한 통화요구량을 수용하기 위해서 FA수와 셀영역을 다시 조정하는데, 기지국 별 셀영역 또는 FA수 중 하나를 동일하게 결정하고, 다른 쪽을 변동시키는 전략을 생각할 수 있다.

첫째 전략은 (그림 3-a)와 같이, 전체 서비스 지역에 동일 개수의 FA를 할당하고, 통화요구량이 적은 지역에는 확장된 셀영역을 갖도록 기지국 위치를 결정해서, 전체 기지국 수를 줄이는 방안이다. 이는 인접 기지국과 할당된 FA개수가 같아 주파수를 변경하는 하드 HO는 거의 발생하지 않는다. 하지만 모든 지역에 통화요구량이 가장 많은 지역을 기준으로 FA를 할당하므로 비용이 증가하며, 통화요구량 변화에 따라 셀영역을 변경해야 하는 문제점이 있다.

이를 해결하기 위한 다른 전략으로 (그림 3-b)와 같이 통화 요구량에 따라 FA 할당을 달리하여 경제적인 무선망을 구성하는 방식이 있는데, 이 경우 기

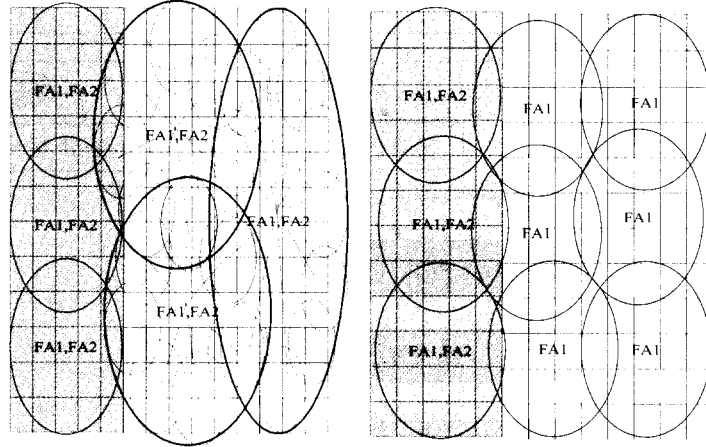


그림 3. 통화요구량에 따른 FA 할당 및 셀영역 설계

지국간 HO시 FA를 변경해야 하는 추가적인 과정이 필요하다. (그림 4)는 지국 S에는 두 단위의 FA(FA1, FA2)가 할당되어 있지만, 주변 지국들(T, N', N'')에는 한 단위의 FA(FA1)가 할당된 상황을 나타낸다. 이 경우 FA2를 이용하여 통화중인 지국 S의 이동국이 지국 T로 진입하면 FA1로 변경해야 하는데, 이 경우 하드 HO가 발생한다.

서비스 지역에 동일 개수의 FA를 할당하는 전략은 특히 통화 요구량의 불균형 정도가 심할 경우, (모든 지국에 동일 개수의 FA관련 장비를 설치해야 하므로) 투자비용이 증가하고 셀영역을 빈번히 변경해야 하므로 경제성과 확장성의 측면에서 비현실적이다. 다음절에서는 통화요구량에 따라 FA 개수를 달리하는 두번째 전략을 대상으로 지국간 하드 HO를 줄이기 위한 구체적인 방법을 소개한다.

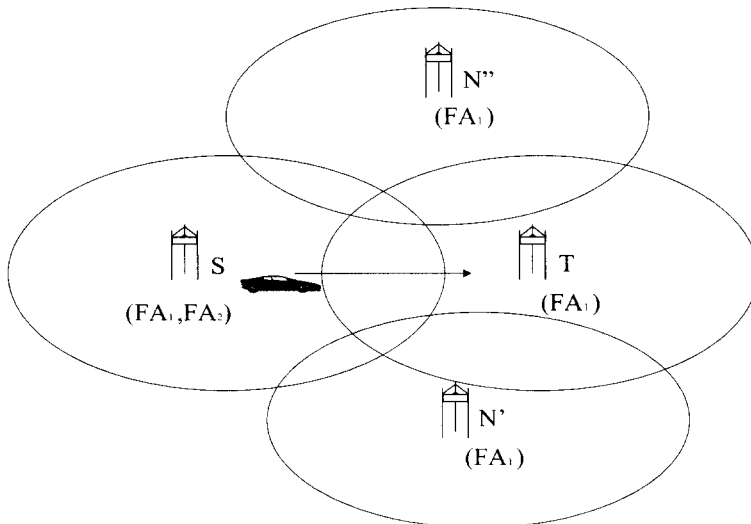


그림 4. 지국별 FA가 불균등하게 설치되었을 때의 HO 과정

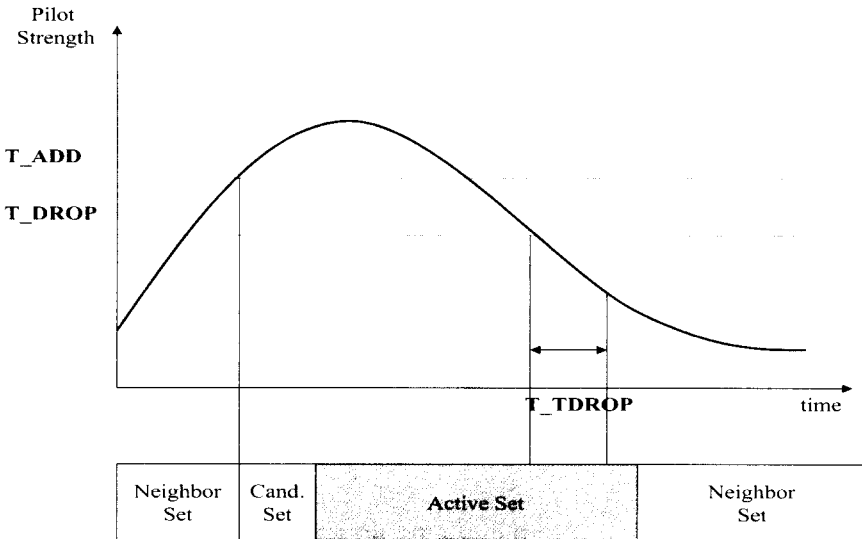


그림 5. CDMA시스템에서의 HO 처리과정

### III. 기지국간 HO 감소를 위한 주파수 운용전략

#### 1. 순수 하드 HO(Pure Hard Handoff) 방법

(그림 5)는 이동국이 한 기지국에 접속, 통화, 이탈하는 과정에서 기지국이 자신의 존재를 알리는 신호인 파일럿(pilot) 신호 강도의 변동과 이동국/기지국에서의 처리과정을 나타낸다[1]. 이동국에서는 이웃한 기지국들(neighbor set)의 파일럿 신호 강도를 주기적으로 측정한다. 한 기지국의 파일럿 신호 강도가 점점 커져 일정 기준 값( $T\_ADD$ )을 초과하면, 통화 가능한 기지국(candidate set)에 포함시키고, 네트워크에 보고한다. 그후, 네트워크의 지시에 따라 통화가 진행중인 기지국(active set)에 포함시키고, 기지국에 접속한다. 한편, 파일럿 세기가 일정시간( $T\_TDROP$ ) 동안 일정기준( $T\_DROP$ ) 이하로 내려가면, 기지국과의 접속을 끊는다.

순수 하드 HO(pure hard handoff:PHH)방법은 이웃한 기지국의 파일럿 신호를 순차적으로 측

정하여 기지국간 하드 HO(inter-cell hard handoff)를 수행하는 방식이다. (그림 6)은 기지국 S에서 FA2를 사용하다가 FA1만이 설치되어 있는 T 방향으로 이동할 때 하드 HO 하는 과정을 보인다. 기지국 S의 이동국은 통화중인 FA2의 파일럿 신호강도를 주기적으로 측정하는데, 이의 세기가  $T\_DROP$  보다 낮은 상태로  $T\_TDROP$ 시간 동안 유지된다면, 이를 기지국 S를 통해 네트워크에 보고한다. 한편 (그림 6)과 같이 S주변에는 FA2를 사용하는 기지국이 없으므로, 네트워크에서는 이동국에 FA1을 이용한 하드 HO를 지시한다. 이동국은 FA2의 통화 채널을 끊고, FA1 대역에서 사용중인 파일럿 신호를 순차적으로 측정하여  $T\_ADD$  값을 초과하는 기지국에 동기를 맞춰 접속한다.

CDMA 시스템에서 이동국과 기지국 사이의 칩(chip) 단위의 동기화는 일반적으로 기지국과 이동국 신호의 위상 차이가 한 칩 또는 그보다 작은 범위에 들도록 하는 동기획득(acquisition)과정과 위상의 두 위상이 일치하도록 미세한 조절을 하는 동기추적(tracking)과정으로 나뉘어 수행된다. 동기획득에는 많은 시간이 요구되며, 특히, 하드 HO의 경

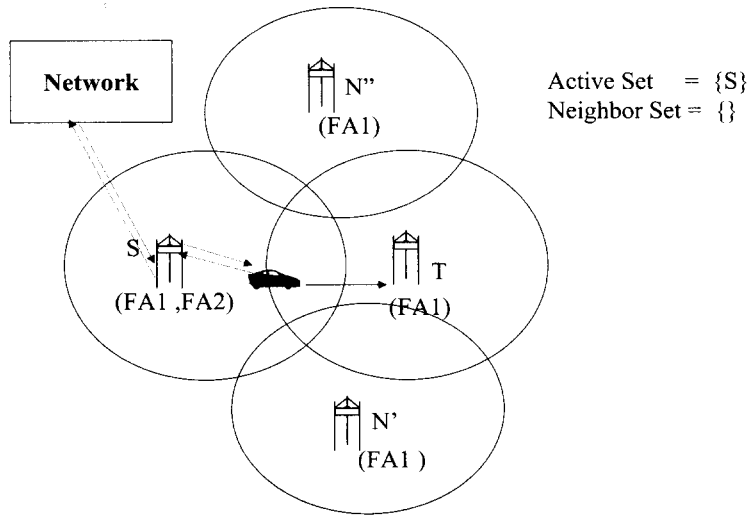


그림 6. 순수 하드 HO 과정

우 이 과정에서 무선링크의 연속성이 보장되지 않으므로, 기지국 경계에서의 호손실율이 증가하며, 통화품질이 저하된다. 이러한 단점을 줄이기 위해 다음의 방법들이 제안되어 있다.

## 2. RTD(Round Trip Delay) 방법

RTD방법은 기지국 내에 일정 영역(RTD 영역)을 설정한 후, 이동국이 RTD영역 밖으로 벗어나면 기지국 내 하드 HO(intra-cell hard handoff)를 수행하고, 이후 다른 기지국으로 진입하면 기지국 간 소프트 HO(inter-cell soft handoff)를 수행하는 방식이다. 기지국에서는 파일럿 신호를 내보낸 시점과 이동국으로부터 되돌아온 시점과의 차이(round trip delay)를 이용하여 기지국과 이동국사이의 거리를 측정하고, 이를 기준으로 RTD 영역을 설정한다.

RTD방법은 (그림 7)과 같이 기지국 S에 RTD 영역(그림에서 굵은 원)을 설정하고, 이 영역 안에

서는 FA1과 FA2를 사용하고, 이 영역 밖에서는 FA1만을 사용한다. FA2를 이용하는 이동국이 RTD영역을 벗어나면, FA1로 기지국 내 하드 HO를 수행한다. 그 후, 이동국이 기지국 T의 셀영역에 진입하면, 기지국 T와의 소프트 HO를 수행한다.

RTD 방법은 하드 HO의 발생 위치가 기지국 내부이고, 기지국간 이동 시 소프트 HO를 이용할 수 있다는 장점이 있다. RTD방법은 추가적인 장비 설치비용을 지불하지 않고도, 기지국간 하드 HO를 제거될 수 있지만, 주기적인 거리 계산으로 시스템 부하가 증가하며, RTD 측정단위<sup>1)</sup>가 기지국 반경에 비해 크고, 다중경로감쇠(multipath fading), 음영 손실(shadow loss)등을 고려하기 어려워 정확도가 떨어진다는 단점이 있다.

## 3. 비콘(Beacon)<sup>2)</sup> 방법

비콘 방법은 특정 FA가 할당되지 않은 기지국에 제어채널로만 구성되는 기지국 장비인 비콘

1) IS-95 시스템에서 측정할 수 있는 거리의 최소 단위는 309.2m/chip(=380.000km / 1.2288Mcps)이고, 기지국 평균 반경이 2km정도이다.

2) Beacon은 햇불, 봉화대등의 사전적인 의미가 있으나, 본 논문에서는 제어신호를 전달하는 장비라는 의미로 사용되었다.

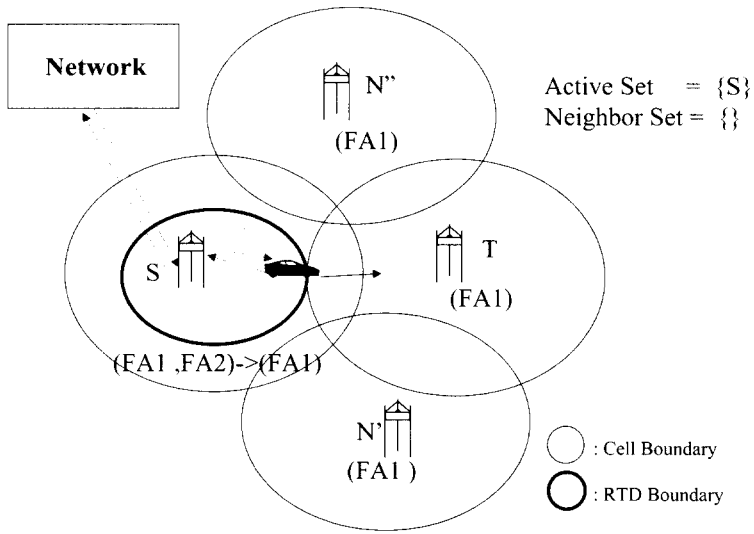


그림 7. RTD 방법을 이용한 HO 과정

(Beacon)을 설치하여, 기지국간 하드 HO로 인한 통화 단절을 줄이는 방식이다. FA2가 할당되지 않은 S 주변 기지국에는 (그림 8)과 같이 비콘이 설치되어 있다. FA2를 사용중인 이동국은 주변 기지국들의 파일럿 신호를 주기적으로 측정하다가, 그 중 T 기지국의 세기가 T\_ADD를 초과하면 이를 기지국 S를 통해 네트워크에 보고한다. 네트워크에서는 기지국 T에 FA2를 이용한 HO를 지시한다. 한편 기지국 T의 FA2에는 비콘만이 설치되어 있으므로, 기지국 T는 FA1에 통화채널을 마련하고 이를 네트워크에 알린다. 네트워크는 기지국 S를 통해 FA1과 기지국 T를 이용한 하드 HO를 지시한다. 이동국은 FA2의 통화 채널을 끊고, 기지국 T와 FA1와 동기를 맞춰 통화한다.

국 T에 FA2를 이용한 HO를 지시한다. 한편 기지국 T의 FA2에는 비콘만이 설치되어 있으므로, 기지국 T는 FA1에 통화채널을 마련하고 이를 네트워크에 알린다. 네트워크는 기지국 S를 통해 FA1과 기지국 T를 이용한 하드 HO를 지시한다. 이동국은 FA2의 통화 채널을 끊고, 기지국 T와 FA1와 동기를 맞춰 통화한다.

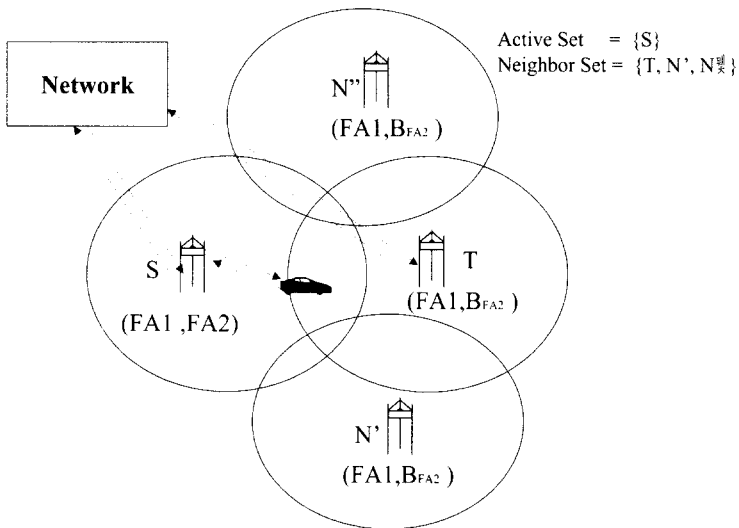


그림 8. 비콘을 이용한 FA간 HO 과정

일반적으로 CDMA에서 셀영역은 간섭에 의해 결정되는데, 비콘 채널만 설치된 FA2는 (통화 채널이 설치된) FA1에 비해 기지국내 간섭(interference)이 적어, FA1와 FA2의 셀영역은 서로 일치하지 않는다. 이때 제어신호(FA2)와 통화채널(FA1)과의 차이로 인해 통화 단절이 발생한다. 예를 들어 T기지국의 FA2 셀 영역이 FA1보다 더 크다면, FA2의 파일럿 신호를 이용하여 FA1로 하드 HO를 결정한 이동국은 FA1의 통화채널을 감지하지 못해 통화가 단절된다. 현재 이를 해결하기 위한 연구가 진행 중에 있다.

비콘 방식은 변경된 FA를 사용하는 주변 기지국을 순차적으로 검색하여 기지국을 선택하는 PHH 방식과는 달리, 주변 기지국에서 송신하는 비콘 신호(파일럿 신호)를 이용하여 이동할 기지국을 바로 확인할 수 있다. 이에 기지국간 하드 HO 수행 시 발생하는 지연(delay)과 이로 인한 통화단절을 감소시킬 수 있지만, 주변 기지국에 비콘 설치 비용이 발생한다는 단점이 있다.

#### 4. 비콘과 소프트 HO 전용 채널 사용 방법

본 절에서는 비콘 방법을 확장하여, 특정 FA가 할당되어 있지 않는 기지국에 비콘과 소프트 HO 전용 통화채널을 설치하여 기지국간 하드 HO를 제거하는 방법(비콘+SH 방식)을 제안한다. (그림 9)와 같이 S 주변 기지국들의 FA2에는 비콘(B)과 소프트 HO용 채널(SH)만이 설치되어 있다. 이 방법은 소프트 HO 전용채널을 이용하여 기지국 T로 일단 이동하고, 일정 시간이 경과한 후 기지국 S를 완전히 벗어나면 진입한 기지국 내부에서 안정적으로 하드 HO하는 방법이다. 국내 이동통신 회사에서는 대다수 비콘방식을 채택하고 있으며, 일부 회사는 비콘+SH방식을 변형하여 사용하고 있다.

일반적으로 기지국 경계지역은 (다른 지역에 비해) 중심부로부터 멀리 떨어져 있기 때문에, 기지국을 변경하는 HO 과정에서의 전파환경은 기지국 내부에서 HO를 수행하는 경우보다 열악하다. 따라서, 비콘+SH방식은 기지국간 이동 시 하드 HO 방식을 취하지 않고 소프트 HO를 이용하여 안정적으로

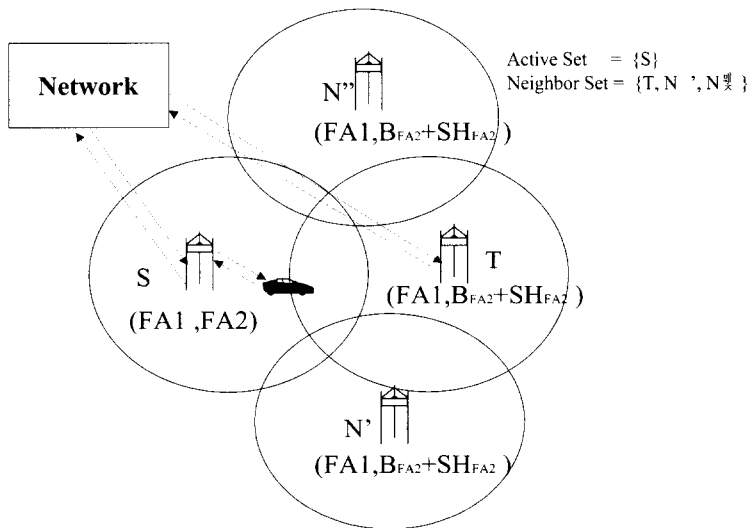


그림 9. 비콘과 소프트 HO 채널을 이용한 HO 과정



HO할 수 있다. 또한 전 채널을 설치하지 않고 비콘과 소프트 HO 전담 채널만을 추가로 설치하지만, 비콘/RTD 방식에 비해 설치비용은 증가한다.

(표 1)에서는 HO 종류/발생위치, 비용, 신호 트래픽 변동 관점에서 지금까지 소개한 여러 방안 별 특성을 정리하였다. 일반적으로 소프트 HO보다 하드 HO, 기지국내 하드 HO보다 기지국간 하드 HO의 호 손실 가능성이 크다. 또한 PHH방식과 RTD방식은 추가적인 비용이 발생하지 않지만, 비콘방식과 비콘+SH방식은 부가적인 장비를 설치해야 한다. 두 방식 모두 일단 채택되면 안테나와 제어장치(controller)등과 같은 기지국 장비는 기본적으로 설치해야 하며, 비콘 방식의 경우 제어채널(비콘)을, 비콘+SH방식의 경우 제어채널과 아울러 HO 통화량요구량에 비례하여 추가로 채널을 설치해야 한다. 투자비용의 측면에서는 PHH방식과 RTD방식이, 통화 품질 측면에서는 RTD방식과 비콘+SH방식이 우수함을 (표 1)에서 알 수 있다. 이와 같이, 각 방식은 통화품질과 경제성에 있어서 상충관계(tradeoff)가 있으며 적절한 방식을 선택하여 CDMA 무선망을 운용하는 전략이 필요하다.

#### IV. 결론

통신기술의 발전은 광대역화, 개인화, 멀티미디어

화라는 큰 범주 안에서 진행되고 있으며, 다양한 서비스를 “언제, 어디서나, 누구에게나 제공하는 것”을 목표로 하고 있다. 향후 멀티미디어 서비스 시대를 주도할 IMT-2000시스템이 갖는 독특한 특성들로 인해 기존 셀룰러 시스템과는 상이하며 복잡한 방식의 망 설계 및 운용이 이루어지고 있다.

본 논문에서는 무선자원의 효율적 활용과 서비스 품질의 향상을 위한 CDMA 시스템의 무선망 계획 및 채널 운영 전략에 대해 생각해 보았다. 음성, 데이터 및 동영상 서비스를 제공하는 IMT-2000 시스템에서는 각 서비스에 대해 기지국 위치와 셀영역 및 FA 종류/수량을 달리 결정해야 한다. 본 연구에서는 서비스 영역의 통화요구량이 불균등할 때, 셀영역 결정과 FA를 할당하는 전략에 대해 살펴보았다. 특히 FA가 불균등하게 할당되는 경우, 서비스 품질에 심각한 영향을 미치는 하드 HO가 발생하는 데, 이를 줄이기 위해 RTD 방법과 비콘 방법의 동작과정과 특성을 살펴보았다. 또한 기지국간 하드 HO 제거를 위해 비콘과 소프트 HO전용 채널을 설치하는 현실적인 방법을 제안하였다.

이동통신망의 환경요소는 시스템의 확장과 발전 과정에서 수시로 끊임없이 변하게 되고, 이러한 동태적인 환경 변화에 적응적으로 대처하기 위해서는 종합적이고 통합적인 망 운영기법이 필요하다. 특히, IMT-2000시스템의 채널운용 기술은 무선망의 도입 및 정착과정에서 경제성과 효율성을 확보하는

		순수 하드 HO 방법	RTD 방법	비콘방법	비콘+소프트 HO 전용채널
핸드 오프	기지국간	하드 HO (모든 셀 검색)	소프트 HO	하드 HO (기지국 지정)	소프트 HO
	기지국내	없음	진입전 하드 HO	없음	진입후 하드 HO
신호트래픽 처리		불변	증가	불변	불변
추가비용		불변	불변	비콘설치비용	비콘 + 소프트 HO 채널 설치 비용

표 1. 하드 HO 감소를 위한 각 방안별 특성 비교

데 과급효과가 매우 크므로, 새로운 운용 기술 개발을 위한 지속적인 연구가 진행되어야 한다.

※ 참고 문헌

[1] TIA/EIA/IS95A Standard, "Mobile Station-Base Station Compatibility Standard for Dual-Mode Wide Band Spread Spectrum Cellular System", Pre-Publication Version, March 15, 1995.

[2] TIA, "The cdma 2000 ITU-R RTT Candidate Submission", <http://www.cdg.org>, June, 1998.

[3] 한국통신학회, "IMT-2000", 한국통신학회지, Vol.15, No. 11, 1998.

[4] 차동완, "개념으로 풀어본 정보통신 세계", 영지문화사, 1997.

[5] P. Satrasinghe, "A Novel Method For CDMA Hard Handoff", Global Telecom. Conference, pp.1766-1768, 1996.

[6] R. Prasad, T. Ojanpera, "A Survey on CDMA: Evolution towards wideband CDMA", ICUPC, 323-331, 1998.

[7] C.H. Cho, H. Kim, G.W. Jin and D.W. Tcha, "Optimal Deployment of CDMA Channels in the IMT-2000 Systems", submitted for International Federation of Operations Research Societies Conference, 1999.



차 동 완

1969. 서울대학교 전자공학과 졸업  
 1972. 미국 Northwestern Univ. 산업공학(IE)(석사)  
 1975. 미국 Northwestern Univ. 경영과학(OR)(박사)  
 1975. 7~현재 한국 과학기술원 테크노경영대학원 교수  
 1981. 8~1982. 9 미국 뉴욕 IBM 왓슨(T.J. Watson) 중앙연구소 객원연구원  
 1986. 9~1987. 2 독일 우주항공연구소(DVLR) 디지털 네트워크 그룹, 초빙연구원  
 1987. 2~1987. 8 독일 Darmstadt대학 Humboldt Fellow 초빙교수  
 1997. 1~1998. 12 한국경영과학회 회장  
 ※주관심분야:IMT2000 무선망 설계 및 운용, 광전송망 설계, 인터넷 라우팅 프로토콜

강 석 연

1991년 연세대학교 경영학과 졸업  
 1994년 한국과학기술원 경영학과 졸업(석사)  
 1994년~현재 한국과학기술원 테크노경영대학원(박사과정)  
 ※주관심분야:IMT2000 무선망 설계 및 운용, 무선 인터넷