

# 시뮬레이션을 이용한 소프트 핸드오프 방식의 성능 분석

## (Performance Analysis of Soft Handoff Methods using Simulation)

한 경 숙 <sup>†</sup> 김 태 정 <sup>\*\*</sup>

(Kyungsook Han)(Taejung Kim)

**요 약** CDMA 이동 통신 시스템의 소프트 핸드오프의 성능에 잠재적으로 영향을 줄 수 있는 요소들은 핸드오프 관련 시스템 파라미터 ( $T\_ADD$ ,  $T\_DROP$ ,  $T\_COMP$ ,  $T\_TDROP$ ) 이외에도 가입자의 이동성, 서비스 지역, 기지국의 용량 등 여러 가지가 있다. 이동 통신에서 핸드오프가 차지하는 중요성으로 인하여, 여러 가지 핸드오프 방식이 제안되었고, 제안된 방식의 우수성을 시뮬레이션 프로그램을 수행하여 실험적으로 증명하기 위한 연구가 많이 행하여졌지만, 핸드오프 관련 시스템 파라미터, 가입자의 이동성과 환경, 기지국 용량 등을 어떻게 모델링하였느냐에 따라 시뮬레이션의 객관성과 신빙성이 달라진다. 본 논문은 이동국의 속도를 고려하여 소프트 핸드오프의 지연 시간을 제어하는 새로운 핸드오프 방식을 제안하고, 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 이 방식과 기존 방식을 비교 분석한 연구에 관하여 논한다. 시뮬레이션 결과는 이동국의 속도 이외에도 이동 영역과 방향에 따라 핸드오프 방식의 성능이 현저하게 다르게 나타날 수 있다는 것을 보였다. 구체적으로, 본 논문에서 제안한 핸드오프 방식의 성능은 자유 이동을 하는 이동국의 경우에 기존 방식보다 우수하지만, 이동 영역과 방향이 제한된 이동을 하는 이동국의 경우에 기존 방식과 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한, 같은 핸드오프 방식이라도 서비스 지역을 2차원 공간으로 모델링하였느냐 아니면 3차원 공간으로 모델링하였느냐에 따라서 시뮬레이션 결과가 달랐다. 따라서, 핸드오프의 성능 분석 연구에서 이동국의 이동성 모델이 중요하며, 특히 이동 통신 시뮬레이션 연구에서 그동안 무시되었던 이동국의 이동 영역과 방향성도 중요한 이동성의 특성으로서 고려되어야 할 것을 시사한다.

**Abstract** The performance of soft handoffs of CDMA mobile communication systems is potentially determined by several factors such as handoff-related system parameters ( $T\_ADD$ ,  $T\_DROP$ ,  $T\_COMP$ ,  $T\_TDROP$ ), mobile stations' mobility, service areas, capacity of base stations. Due to the importance of handoffs in mobile communications, several methods have been proposed and tested through computer simulations to prove the efficiency of proposed methods. Different assumptions on the above mentioned factors often produce different simulation results. Therefore, the credibility of a simulation result is directly determined by the objectivity of the assumptions made by the simulation. This paper proposes a new soft handoff method that controls handoff delay time based on a mobile station's speed, and compares it with the current method of CDMA systems. The simulation results showed that the new method is much more efficient for mobile stations that are free in their moving direction and space than for those restricted in their moving direction and space. In addition, the results showed that even the same handoff method may produce different simulation results depending on whether a service area is modeled as two-dimensional space or three-dimensional space. These results indicate the importance of suitable models of user mobility, especially the movement types and space allowed for mobile stations, which have been neglected in simulation studies of mobile communications.

---

<sup>†</sup> 정 회 원 : 인하대학교 자동화공학과 교수  
khan@inha.ac.kr

<sup>\*\*</sup> 비 회 원 : 인하대학교 자동화공학과  
tjkim@tvchosun.com

논문접수 : 1999년 9월 1일

심사완료 : 2000년 6월 22일

## 1. 서론

이동 통신은 사용자가 서비스를 받으면서 셀간 이동을 자유롭게 할 수 있도록 사용자 이동성을 보장하여야 한다. 사용자의 위치가 고정된 유선 통신과는 달리, 사용자의 위치 변화에 대한 이동성 관리 방법에 따라 망의 효율과 서비스의 질이 결정된다. 셀간 이동시 발생하는 핸드오프(handoff)의 처리는 이동성 관리의 핵심이다. 제한된 무선 자원을 활용하는 이동 통신에 대한 수요가 증가함에 따라, 주파수 재활용율을 높이기 위하여 수십 km 크기의 현재의 매크로 셀(macro cell)에서 수백 m 또는 수십 m 크기의 마이크로 셀(micro cell) 또는 피코 셀(pico cell)로 셀의 크기가 줄어드는 추세이다. 주파수 재활용율을 높이려는 이유 이외에도, 이동 통신 시스템에서 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서는 높은 주파수 대역이 필요하기 때문에 셀의 크기를 줄이는 것은 피할 수 없는 추세인 것 같다. 이동 통신 시스템에서 셀의 크기가 작아지면 사용자의 위치 변화에 따른 핸드오프 요구 횟수가 상대적으로 증가하므로, 핸드오프를 처리하기 위한 망부하가 늘어난다. 한 통화가 시작되어 종료될 때까지의 호의 지속 시간은 셀 크기와 무관한 반면 셀의 크기가 작아질수록 핸드오프 처리로 인한 망부하가 늘어나고, 핸드오프 처리 지연으로 인하여 빈번한 서비스 중단이 있을 수 있다. 따라서 핸드오프로 인한 트래픽의 증가가 예상되는 미래의 이동 통신 시스템에서는 보다 효율적인 핸드오프 처리가 요구된다고 할 수 있다.

국내에서 이미 상용 서비스되고 있는 CDMA 이동 통신 시스템에서 사용하고 있는 소프트 핸드오프 방식은 미국의 Qualcomm사가 제정한 IS-95 방식 [1]에 기반한 것이다. 현재 연결된 기지국으로부터 이웃 기지국으로 핸드오프되는 과정을 간단한 예로 설명하면 다음과 같다.

1. 이웃 기지국의 파일럿 세기가 T\_ADD를 넘게 되면, 이웃 기지국을 추가로 연결한다.
2. 현 기지국의 파일럿 세기가 T\_DROP 이하로 검출되면 handoff drop timer를 T\_TDROP 시간(통상 5초) 동안 작동시킨다.
3. T\_TDROP 시간 동안 현 기지국의 파일럿 세기가 T\_DROP 이하를 유지하면 현 기지국과의 연결을 해제한다.

이 방식에서 handoff drop timer를 길게 맞추면, 핸드오프 중에 2개 이상의 기지국을 점유하고 있는 시간이 불필요하게 길어서 기지국의 용량이 줄어든다.

handoff drop timer를 짧게 맞추면, 고속 이동국의 경우 메시지를 받지 못하여 호가 끊어지거나, 셀 경계 지역에서 지나치게 자주 핸드오프가 이루어지는 단점이 있다.

이 문제를 해결하는 방법으로 handoff drop timer의 작동 시간을 현재 방식처럼 일률적으로 정할 것이 아니라, 이동국의 속도에 따라 변하게 할 수 있다. 즉 자동차와 같은 고속 이동국의 경우 virtual clock의 속도를 증가시켜 빠른 시간에 핸드오프가 일어날 수 있도록 하고, 저속 이동국의 경우에는 통상적인 핸드오프보다 virtual clock을 느리게 하여 핸드오프의 발생 회수를 최대한 줄이도록 하는 것이다. virtual clock이란 본래 실시간 통신 프로토콜인 VT-CSMA [2]에서 비롯된 개념이다. 네트워크에 연결되어 있는 각 노드마다 두 가지 종류의 clock을 사용하는데, real clock은 노드의 실제 시간을 제공해 주고 virtual clock은 가상적인 시간을 제공한다. 이 virtual clock은 네트워크가 어떤 노드에 의하여 점유되어 사용중일 때는 멈추며, 성공적인 메시지의 전송 후 또는 충돌 현상의 처리 후 네트워크가 다시 휴지 상태로 되면 동작하는 특성이 있다.

본 논문은 이동국의 속도에 따라 차별적으로 소프트 핸드오프의 T\_TDROP 파라미터 값을 제어하는 새로운 소프트 핸드오프 방식을 제안하고, 이 방식과 기존 방식을 여러 조건에서 시뮬레이션하여 비교 분석한 연구에 관하여 논한다. 이 시뮬레이션 연구의 주요 목적은 새로 제안하는 핸드오프 방식의 우수함을 입증하기 위한 것보다, CDMA 시스템의 소프트 핸드오프의 성능에 잠재적으로 영향을 줄 수 있는 여러 요소들을 파라미터화하여, 이 파라미터 값의 변경만으로 소프트 핸드오프에 미치는 요소들의 영향을 손쉽게 체계적으로 분석하기 위한 것이다.

이동 통신 시스템에 관한 연구에서 핸드오프가 차지하는 비중은 상당히 크다. 이에 따라 여러 가지 핸드오프 방식이 제안되었고, 제안된 방식의 우수성을 이론적 또는 실험적 방법으로 증명하기 위한 연구가 많이 행하여졌다. 새로운 핸드오프 방식을 실험적 방법으로 증명하는 경우, 현장 시험의 어려움으로 인하여 대개 시뮬레이션에 의존한다. 모든 시뮬레이션의 경우가 비슷하겠지만, 일반적으로 시뮬레이션에서 사용한 가정에 따라 시뮬레이션 결과가 많이 달라질 수 있다. 이동 통신 시스템의 경우, 서비스 지역(가령, 도심지, 산간 도서 지방, 벌판 환경)이나 이동국의 이동성(속도, 이동 영역, 이동 형태 등)이 어떻게 모델링되느냐에 따라 시뮬레이션 결과가 많이 달라질 수 있고, 가입자 환경이 실제처럼 3차

원 공간으로 모델링되는지 아니면 2차원 공간으로 단순화되느냐에 따라 시뮬레이션 결과가 달라질 수도 있다. 이동 통신 시스템에 관련된 많은 시뮬레이션 연구가 2차원 환경에 한정된 것에 비하여 (가령 [3]), 본 시뮬레이션에서는 가입자 영역과 이동성을 3차원 환경으로 확장함으로써 보다 현실적인 시뮬레이션을 가능하게 하였다. 이 시뮬레이터는 핸드오프 방식을 선택하여 수행할 수 있어서, 본 논문에서 제안하는 핸드오프 방식뿐 아니라 기존 방식에 대해서도 여러 모델링 환경에서 시험할 수 있다.

## 2. 이동국 속도에 따른 소프트 핸드오프의 T<sub>TDROP</sub> 파라미터 제어

본 시뮬레이션에서 VT-CSMA의 virtual clock과 real clock을 소프트 핸드오프의 T<sub>TDROP</sub> 파라미터 제어에 적용하는 기본 원칙은 다음과 같다. 아래 원칙에서 처음 세 가지는 저속 이동국과 고속 이동국에 공통적으로 적용되는 것이고, 네 번째와 다섯 번째 원칙은 각각, 저속 이동국과 고속 이동국에만 적용된다.

1. virtual clock의 시간은 이동국의 속도에 비례한다.

$$V_c = \alpha |P_{m(n)} - P_{m(n-1)}| \quad (1)$$

$P_{m(n)}$  = 시간  $n$ 에서의 이동국  $m$ 의 좌표

$\alpha$  = 비례 상수

2. 이동국의 속도는 1.25 msec마다 측정되는 파일럿의 세기를 이용하여 결정한다.
3. 이동국과 기지국 사이의 파일럿 세기는 Okumura-Hata 모델 [4]을 이용하여 (식 2)와 같이 계산한 전파 손실  $L$ 을 일정한 전파의 세기에서 뺀 값으로 간주한다.

$$L = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log h_b - A(h_m) + (44.9 - 6.55 \log h_b) \log d \quad (2)$$

$A(h_m)$  = 이동국 높이  $h_m$ 에 대한 보정 계수

$$(8.29(\log(1.54h_m))^2 - 1.1)$$

$h_b$  = 기지국의 높이 (m)

$h_m$  = 이동국의 높이 (m)

$f$  = 사용 주파수 (MHz)

$d$  = 이동국과 기지국과의 거리 (m)

4. 저속 이동국이 핸드오프 중에 지나치게 긴 시간 동안 복수의 기지국을 점유하는 단점을 해결하는 방법으로, 핸드오프의 T<sub>TDROP</sub> 파라미터의 값이 5초 이상으로 설정되어 있으면, 처음 3초 동안은 현 기지국만을 점유하게 한다.
5. 셀 경계 지역에서 고속 이동국이 불필요하게 핸드오프되는 것을 방지하기 위하여, 각 호의 지속기간

동안 두 번째 이후의 핸드오프에서는 다음 변형을 가한다. 즉, 핸드오프 때 이전 기지국을 기억하고 있다가 이동국이 real clock보다 빨리 다시 이전 기지국으로 이동하면 virtual time으로 핸드오프를 시키는 것이 아니라 real clock이 T<sub>TDROP</sub>이 될 때까지 기다렸다가 핸드오프를 시킨다.

## 3. Soft Handoff 모델링

CDMA 셀룰러 시스템의 소프트 핸드오프를 시뮬레이션하기 위하여 가정한 조건들은 다음과 같다.

### 3.1 이동성 모델링

본 시뮬레이터에서 설정 가능한 환경은 전형적인 도심지와 평원에 위치한 유원지 또는 놀이 공원의 두 종류이며, 서비스 지역에 따라 가입자의 종류와 이동성이 달라진다고 가정한다. 호의 시간 당 발생 분포는 두 지역에서 공통적으로 균일하다고 가정한다.

#### 3.1.1 도심지 환경에서의 가입자 이동성 모델링

도심지 환경은 차도와 인도, 건물 안, 건물 사이의 공간으로 구분되며 (그림 1 참조), 모든 차도는 양방향 (bidirectional) 통행이 가능하고, 건물의 각 층의 높이는 3 m라고 가정한다. 3차원 시뮬레이션에서는 반경이 200 m인 정육면체 셀이, 2차원 시뮬레이션에서는 역시 반경이 200 m인 정사각형 셀이 가정되며, 호는 전 지역에서 균일하게 생성된다. 지하 공간은 모델링에서 생략하고, 전파 음영과 페이딩 효과는 고려하지 않는다.

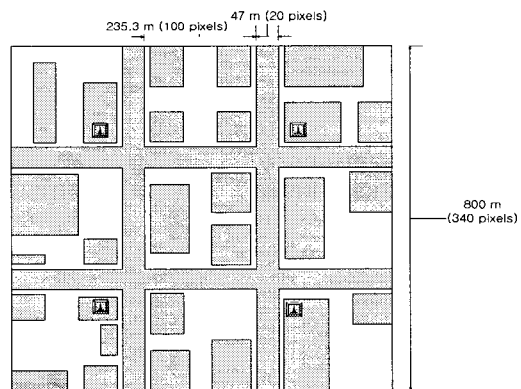


그림 1 도심지 환경의 모델. 도심지 환경은 한 변의 길이가 800 m (화면에는 한 변의 길이가 340 pixel인 정사각형 윈도우로 시각화됨)인 영역으로서, 각 블록의 길이는 235.3 m (100 pixel)이고, 도로의 폭은 47 m (20 pixel)로 설정되었다. 기지국의 위치는 표시된 건물의 옥상으로서 지상에서 94 m의 높이에 있다고 가정하였다.

도심지 환경에서의 통화는 (1) 차량 통화, (2) 건물 밖의 보행자 통화, (3) 건물 안의 통화의 세 종류로 구별된다. 차량 통화는 호 지속 기간 동안에 보행자 통화나 건물안 통화로 바뀔 수 없고, 보행자 통화 또는 건물안 통화도 차량 통화로 바뀔 수 없다. 다만, 보행자 통화와 건물 안 통화는 통화 지속 기간동안에 통화자의 위치 변화에 따라 상호 변환이 가능하다. 도심지 환경에서 이들 세 종류 통화의 이동성에 대하여 자세히 기술하면 다음과 같다.

#### (1) 차량 통화

- 차량은 차도를 따라 직진하다가, 교차로에서 상하 좌우의 네 방향을 1/4의 동일한 확률로 선택하여 이동한다.
- 평균 속도는 시뮬레이터 사용자 입력에 의하여 정할 수 있으며, default 값은 60 km/h이다.
- 차량 속도는 사용자의 입력 값 또는 default 값을 평균으로 하는 지수 분포를 한다.
- 차량 속도의 최대 값은 평균 값 (즉, 사용자의 입력 값 또는 default 값)의 두 배로 한다.

#### (2) 건물 밖의 보행자 통화

- 차도 양옆의 인도 (sidewalk)와 블록 안의 건물 사이의 지면에서 자유로운 2차원 브라운 운동 [7, 8]을 하며, 횡단 보도를 이용하여 차도를 건널 수 있다.
- 각 건물의 지정된 장소, 즉 1층 현관을 통하여 건물 안으로 들어갈 수 있다. 건물 안으로 들어간 시점부터 건물 안의 통화로 분류된다.
- 속도 변화 시점과 이동국의 방향성은 이전과 독립적으로 정해진다.
- 통화중의 보행자의 속도는 [0, 4 km/h] 구간에서 균일하게 분포한다.
- 연속한 속도 또는 방향의 변화 사이의 시간과 속도는 독립적이다.

#### (3) 건물 안의 통화

- 건물 안의 각 층에서 자유롭게 이동하며 높이 변화도 층 단위로 가능하다. 즉, 각 층에서는 2차원 브라운 운동을 하고 수직 이동을 할 때는 층 단위로 (각 층의 높이인 3 m의 배수 값) 이동할 수 있다.
- 건물 안에서 정지한 이동국과 이동중인 이동국의 비율은 1/2로서 같다.
- 건물 안의 통화는 건물의 1층 현관을 통하여 건물 밖으로 나갈 수 있고, 나간 시점부터 건물 밖의 통화로 분류된다.

- 속도 변화 시점과 이동국의 방향성은 이전과 독립적으로 정해진다.
- 건물 안에서 이동중인 이동국의 속도는 [0, 4 km/h] 구간에서 균일하게 분포한다.
- 연속한 속도 또는 방향 변화 사이의 시간과 속도는 독립적이다.

#### 3.1.2 유원지 환경에서의 가입자 이동성 모델링

한편, 유원지 환경은 지면의 높이 변화가 거의 없는 평지로서 인도와 차도의 구분이 없는 지역으로 가정한다. 높은 건물이 거의 없는 관계로 건물은 모델링에서 생략하고 전파 음영과 페이딩 효과도 고려하지 않는다. 도심지 환경과 마찬가지로, 반경 200 m인 정사각형 모양의 셀이 가정되며, 호는 전 지역에서 균일하게 생성된다. 유원지 환경에서의 통화는 (1) 차량 통화와 (2) 보행자 통화로 구별되며, 이들은 이동 속도가 서로 다르다는 점을 제외하면, 2차원 공간에서 이동 영역과 방향이 자유로운 이동을 한다는 공통점이 있다.

#### 3.2 전파 모델과 기지국 용량

전파 모델은 앞의 2절에서 언급하였듯이, shadow fading ( $L_{shadow}$ )과 multipath fading ( $L_{multi}$ ), 송수신 안테나 이득 ( $G$ )을 무시하고 전파 경로 손실만을 고려한다. 전파 경로 손실은, Okumura의 결과에 기초한 실험적인 공식인 Okumura-Hata 모델 (2절의 식 2 참조)을 이용하여 계산한다.

$$P_r = P_t - L_{path} + [G - L_{shadow} - L_{multi}] = P_t - L_{path} \quad (3)$$

$P_r$  = 수신 전력 레벨 (dB)

$P_t$  = 송신 전력 레벨 (dB)

$L_{path}$  = 전파 경로 손실 (Okumura-Hata 모델을 이용하여 계산)

(식 3)에 의하면, 이동국과 기지국 사이의 거리가 멀수록 전파 경로 손실이 커져서 이동국과 기지국의 전파의 세기가 작아지기 때문에, 통화를 위하여 높은 전력이 요구된다는 것을 알 수 있다. 이에 따라 본 연구에서는 전력 제어 (power control) 자체를 시뮬레이트하지는 않지만, 전력 제어가 이루어진다는 가정 하에 소프트 핸드오프를 시뮬레이트한다. 즉, 기지국에서 가까운 이동국에게는 낮은 전력으로, 먼 이동국에게는 높은 전력으로 송신하는 전력 제어가 이루어지며, 역방향 전력 제어도 이와 비슷하게 이루어진다는 가정을 하였다. 따라서, (식 3)에서 일정 수준 이상의 수신 전력 레벨을 가정하면 송신 전력은 사실상 전파 경로 손실에 비례하는 값으로 조절될 것이다. 기지국의 용량은 고정된 트래픽 채

널의 개수로 계산된다기 보다, 기지국의 송신 전력의 합에 비례하는 값으로 계산된다. 따라서, 각 이동국과 기지국간의 송수신 전력 레벨이 요구되는 최소한의 신호대 간섭 비 (signal-to-interference ratio)가 되도록 전력 제어가 될 때, 동시에 서비스할 수 있는 이동국의 개수는 최대가 될 것이다. 본 연구에서는 간섭 효과를 별도로 계산하지 않기 때문에, 이동국에 대한 송신 전력이 낮으면 서비스될 수 있는 이동국의 개수가 증가하는 요인이 된다.

#### 4. 성능 평가 항목

핸드오프 방식의 성능은 일반적으로 많이 사용되는 다음과 같은 기준을 중심으로 평가된다 [3, 6].

##### (1) 호 차단율 (call blocking probability)

신규 발생 호가 기지국의 가용 통화 채널의 부족으로 호가 성립되지 못할 확률이다. 시뮬레이션 기간 중에 발생한 신규 호 중에서 성립되지 못한 호의 비율, 즉  $(\#blocked\_calls / \#attempted\_calls)$ 로 계산된다. 본 시뮬레이션 연구에서 호 차단율은 신규호 차단율을 지칭하며, 아래의 핸드오프 차단율과 구분된다.

##### (2) 핸드오프 차단율 (handoff blocking probability)

호가 성립된 이후 핸드오프를 요청하였으나 새 기지국의 가용 채널 부족으로 인하여 또는 신호 상태가 나빠서, 호가 올바르게 종료되기 이전에 끝날 확률이다. 시뮬레이션 기간 중에 전체 핸드오프 요구 횟수 중에서 핸드오프 실패로 끊어진 호의 비율  $(\#dropped\_calls / \#handoffs)$ 로 계산된다.

##### (3) 호당 평균 핸드오프 요구 횟수 (average number of handoffs per call)

한 호의 지속 기간 동안 핸드오프를 요구하는 평균 횟수로서, 본 연구에서는 시뮬레이션 기간 중에 완전히 성립된 호 중에서 핸드오프 요구 횟수가 차지하는 비율  $(\#handoffs / (\#attempted\_calls - \#blocked\_calls))$ 로 계산된다.

#### 5. 시뮬레이터 구현 및 시뮬레이션 결과

시뮬레이터는 Windows 98 환경에서 Borland C++ Builder 언어로 구현되었다. 사용자가 설정 가능한 파라미터는 핸드오프 방식 (IS-95 CDMA 방식과 VT-CSMA 방식), 서비스 지역 (도심지와 유원지), 2차원 또는 3차원 시뮬레이션, 시뮬레이션 기간, handoff delay time( $T\_TDROP$  파라미터 값), 차량호의 속도, active set size, 호 발생률, 평균 호 지속 시간, 기지국 용량 등이다. 시뮬레이터에 대한 보조 프로그램으로서, 시뮬레이터의 각 입력 파라미터가 취할 수 있는 값을 허용 범위 내에서 체계적으로 바꾸어 모든 경우의 수에 대

하여 수행하고, 생성된 방대한 데이터를 읽어서 성능 평가 항목 (호 차단율, 호 탈락율, 호당 평균 핸드오프 요구 횟수)을 자동적으로 계산하는 프로그램도 개발되었다.

사용자가 수작업에 의하여 시뮬레이터를 수행할 경우, graphical user interface (GUI)를 이용하여 입력 파라미터들의 값을 직접 입력하거나 혹은 엷다운 버튼을 사용하여 설정한다 (그림 2와 3 참조). 시뮬레이터의 출력으로서, (1) 진행되는 호의 상황이 화면에 wireframe 형태로 시각화되고, (2) 이동국의 종류별로 시도된 호의 개수 (#attempted\_calls), 차단된 신규호의 개수 (#blocked\_calls), 핸드오프 요청 횟수 (#handoffs), 핸드오프 차단으로 탈락된 호의 개수 (#dropped\_calls) 등에 대한 통계 정보가 화면 아래의 메모 창에 나타나게 된다 (그림 2와 3 참조). 메모창의 내용은 마우스 오른쪽 버튼을 클릭하여 팝업 메뉴를 띄움으로써 편집에 관련된 기능을 사용할 수 있음은 물론 파일로 저장 가능하다. 본 절은 시뮬레이션 결과에 많은 영향을 주었던 파라미터를 중심으로 실험 결과를 논한다.

본 절에서 제시되는 결과는 별다른 언급이 없으면, 기지국 채널 수 = 120 개 (3 섹터 기지국 가정), 평균호 도착율 = 시간당 8000 호, 평균 호 지속 시간 = 120 초, 시뮬레이션 기간 = 600 초로 파라미터 값을 설정하여 10번 시뮬레이션한 결과의 평균값이다. 도심지에서 호가 전 지역에서 균일하게 발생하도록 하였기 때문에, 차량호, 건물안 호 및 보행자 호의 상대적 비율은 해당 호가 이동하는 영역의 지표 면적에 비례한다. 예를 들면 차량호의 비율은, 도로가 전체 서비스 면적  $340*340$  pixel중에서 차지하는 면적인  $(340*20*4)$  (4개 도로의 면적) -  $20*20*4$  (4개 교차로 부분의 중복 계산 제외))

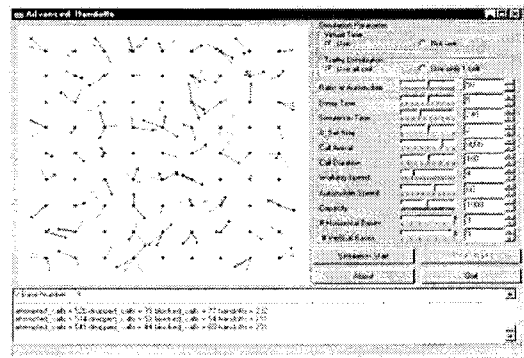


그림 2 유원지 환경에 대한 2차원 시뮬레이션의 예. ■: 기지국, ●: 차량 통화, ○: 보행자 통화

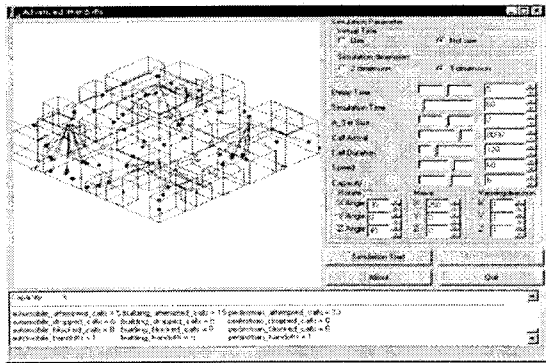


그림 3 도심지 환경에 대한 3차원 시뮬레이션의 예.  
 ○: 차량 통화, ●: 건물 안 통화 또는 건물 밖의 보행자 통화. star 형태의 cluster 중심이 기지국의 위치이다.

pixel의 비율인 23.2%이고, 나머지 영역에서 발생하는 건물안 호와 보행자 호는 각각 38.4%로서 같다 (그림 1의 도심지 환경 모델 참조).

**5.1 이동성과 Virtual Clock 사용 여부의 효과**

유원지 환경에서 virtual clock을 사용하는 방식은, 기존 방식보다 차량 통화의 핸드오프 차단율(handoff blocking probability)을 모든 속도 값에 대하여 50% 이상 줄이는 현저한 효과를 보였고(그림 4 참조), 신규 호의 차단율이나 핸드오프 요청 횟수에서는 별다른 차이가 없었다. 이 결과는, virtual clock을 사용하는 방식이 본래 의도했던 대로, 고속 이동국의 핸드오프를 신속하게 처리하기 때문에 핸드오프 실패로 호가 끊어지는 것을 줄이는데 효과가 있는 것을 시사한다. 그러나 도심지 환경에서 virtual clock을 사용하는 방식은 기존 방식에 비하여, 신규호의 차단율, 핸드오프 요청 횟수, 핸드오프 차단율 면에서 모두 별다른 차이가 없었다(그림 5 참조).

이것은 주로 차량 통화의 이동성과 도심지에서 차량 통화가 차지하는 비율이 아주 작은 것에 기인하는 것 같다. 즉, 유원지 환경에서는 차량 통화가 2차원 평면의 모든 영역을 자유롭게 이동하는 것으로 모델링하였으나, 도심지 환경에서는 차량호가 차도를 따라 직진하다가 교차로에서 상하좌우의 네 방향 중 한 방향으로 이동하게 하였다. 해석적 방법에 의하여 증명되지는 않았으나, Manhattan 환경의 직교 차도에서만 이동하는 차량은 평면에서 자유 이동을 하는 차량보다 핸드오프 발생 비율이 낮다는 실험 결과 [9]와 어느 정도 부합하는 결과라고 하겠다. 게다가 본 시뮬레이션에서는, 차량 통화의 비율이 유원지에서는 50%인 것에 비하여, 도심지에서는

그 절반도 되지 않는 23.2% 정도이다. 도심지 환경에서 고속 이동국이 차지하는 비율이 작기 때문에 이에 따라 핸드오프 발생 횟수가 작아서 (도심지의 핸드오프는 거의 대부분 차량 통화에서 발생한다), 고속 이동국에 대한 신속한 핸드오프 처리에 중점을 둔 핸드오프 방식이 별다른 효과를 보이지 않는다고 해석된다.

이동국의 속도가 핸드오프에 미치는 영향은 많이 연구가 된 반면, 속도 이외의 이동성(이동 영역과 이동 방향의 제한 여부 등)에 대해서는 상대적으로 연구가 덜 된 분야이다. virtual clock 사용 방식의 효율성이 가입자의 이동성과 고속 이동국의 비율에 따라 다르다는 것은, 시뮬레이션에 의한 핸드오프 성능 분석에서 가입자의 이동성에 대한 모델링의 중요성을 시사한다.

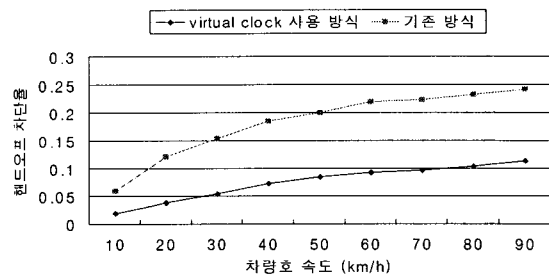


그림 4 유원지 환경에서 핸드오프 방식에 따른 차량호의 핸드오프 차단율의 비교

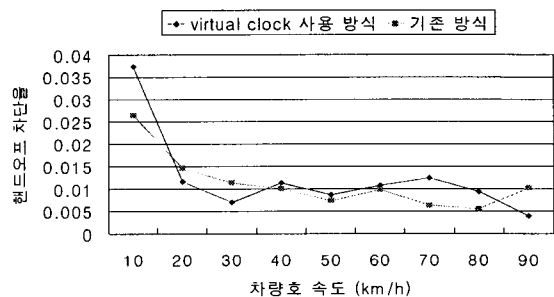


그림 5 도심지 환경에서 핸드오프 방식에 따른 차량호의 핸드오프 차단율의 비교

**5.2 이동국 속도의 영향**

차량 통화의 경우, 서비스 영역이나 이동 영역 또는 형태(자유 이동 또는 이동 영역이 나 방향이 제한된 이동)에 상관없이 속도가 빠를수록 핸드오프 요청 횟수는 대체로 증가하는 것을 보였다(그림 6 참조). 이 결과는 다른 연구자의 연구 결과와도 일치하는 것으로서,

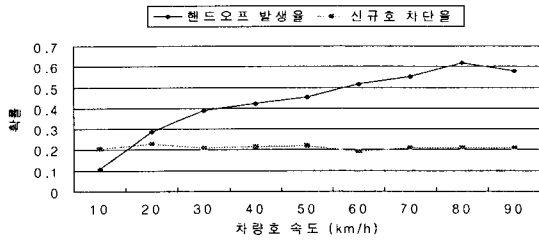


그림 6 도심지 환경에서 기존 핸드오프 방식을 사용하였을 때, 호당 평균 핸드오프 요구 횟수와 신규호의 차단율. virtual clock을 사용하는 방식에서도 비슷한 상대적인 관계를 보임

그리 새로운 사실은 아니다. 신규호의 차단율이나 핸드오프 차단율의 경우, 차량 통화의 속도가 직접적인 영향을 주는 것으로 나타나지 않았다 (신규호의 차단율은 그림 6 참조. 핸드오프 차단율은 위에서 이미 보인 그림 5 참조).

보행자호 또는 건물안 통화의 속도는 차량 통화에 비하여 속도가 아주 낮아서 (본 시뮬레이션에서는 [0, 4 km/h] 범위에서 균일 분포), 속도에 따른 핸드오프의 성능 변화가 차량 통화만큼 심하지 않다. 건물안 통화의 경우 핸드오프를 요구하지 않고 호가 종료되고, 이에 따라 핸드오프 호가 탈락되는 일도 없다. 건물 밖의 보행자 통화의 경우 호당 평균 핸드오프 요청 횟수는 0.002 ~ 0.017로서 지극히 낮고, 핸드오프 호가 탈락되는 일도 건물안 통화와 마찬가지로 없다. 유원지 환경에서의 보행자의 경우도 (유원지에서 건물안의 통화는 없음) 핸드오프 요청 횟수와 핸드오프 호의 탈락율에서 도심지 환경에서의 보행자 통화와 비슷한 결과를 보였다.

### 5.3 2차원 모델과 3차원 모델의 시뮬레이션 비교

유원지 환경은 건물이 거의 없는 평지로 가정하였기 때문에 3차원 시뮬레이션을 구태여 하지 않고 2차원 시뮬레이션만을 하였다. 도심지 환경은 고층 건물이 많고 건물안 통화들의 높이 값의 변이가 심하므로 3차원 시뮬레이션을 할 필요가 있다. 비교의 목적으로, 똑같은 도심지 환경을 3차원 공간으로도 모델링하였고, 2차원 공간으로도 모델링하여 시뮬레이션 결과를 비교하였다. 도심지가 2차원 공간으로 모델링되면, 모든 종류의 이동국이 지면 높이의 2차원 평면에서만 이동이 허용된다 (즉, 높이의 변화는 없다). 차량 통화와 건물 밖의 보행자는, 본래 높이의 변화 없이 지면에서 수평 이동을 하는 것으로 설정되었기 때문에 (구체적인 이동 형태는 앞의 3.1절 이동성 모델링 참조), 도심지 환경이 2차원 공간으로 모델링되든지 3차원 공간으로 모델링되든지

이동 형태가 달라지지 않는다. 그러나, 3차원 모델링에서 수평 이동 및 수직 이동이 허용되는 건물안 통화는, 2차원 모델링에서는 수직 이동이 허용되지 않고 건물의 1층 높이 (즉, 지면의 높이)에서 수평 이동만 할 수 있는 것으로 설정되었다.

도심지 환경을 3차원 공간으로 모델링하여 시뮬레이트한 것과 2차원으로 공간으로 모델링하여 시뮬레이트한 결과의 가장 큰 차이는, 세 종류의 호에 공통적으로 신규호의 차단율이 현저하게 달라진다는 것이다. 2차원 시뮬레이션에서 발생하는 신규호의 개수는 3차원 시뮬레이션과 동일한데, 신규호 차단율은 3차원 시뮬레이션에 비하여 50% 이상 현저하게 증가하였다. 신규호의 차단율에 대한 이러한 차이는, 시험한 핸드오프 방식인 virtual clock 사용 방식과 기존 방식에 공통적으로 나타났다 (차량호 차단율에 대한 결과는 그림 7과 8 참조). 신규호 차단율뿐 아니라, 핸드오프 차단율도 3차원 시뮬레이션에 비하여 2차원 시뮬레이션에서 증가하는 양상을 보였다 (그림 7과 8 참조).

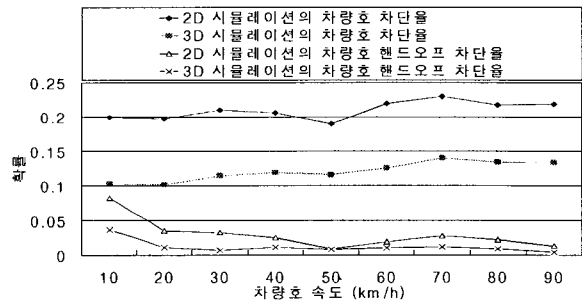


그림 7 virtual clock 방식을 사용하였을 때, 2차원 시뮬레이션과 3차원 시뮬레이션에서의 차량호에 대한 신규호 차단율의 비교 및 핸드오프 차단율의 비교

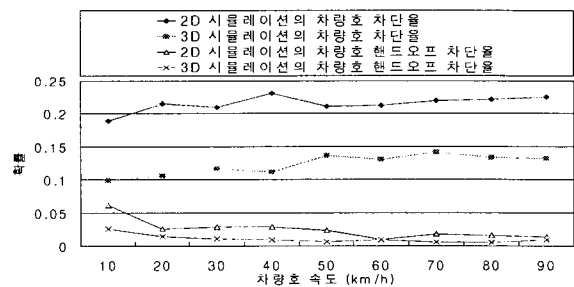


그림 8 기존 핸드오프 방식을 사용하였을 때, 2차원 시뮬레이션과 3차원 시뮬레이션에서의 차량호에 대한 신규호 차단율의 비교 및 핸드오프 차단율의 비교

2차원 모델의 시뮬레이션에서 신규호 차단율과 핸드오프 차단율이 3차원 모델의 시뮬레이션과 다르게 나오는 이유는, 두 모델에서 계산되는 기지국과 이동국 사이의 거리가 서로 다르고, 이에 따라 계산되는 전파 경로 손실과 가정되는 송신 전력이 다르기 때문이다. 설명의 편의상 그림 9를 보면, 2차원 시뮬레이션에서는 건물안 통화의 높이 값  $h_m$ 이 3차원 시뮬레이션의 해당 통화에 비하여 작거나 같다. 높이 값의 차이뿐만 아니라, 이동국과 기지국과의 거리  $d$ 는 3차원 시뮬레이션에 비하여 2차원 시뮬레이션에서 큰 값으로 계산된다. 본 시뮬레이션에서 전파 경로 손실 모델로 사용한 Okumura-Hata 모델(앞의 식 2 참조)에 의하면, 이동국 높이  $h_m$ 이 작아지거나 이동국과 기지국과의 거리  $d$ 가 커질수록, 전파 경로 손실이 커지고, 이에 따라 전파의 세기가 작아진다. 전파의 세기가 작아지면, 요구되는 수준의 통화 품질을 유지하기 위하여 기지국에서 전송하는 전력 레벨을 높여야 하므로 서비스할 수 있는 사용자 수가 감소하는 효과가 온다. 따라서, 3차원 시뮬레이션에 비하여 2차원 시뮬레이션에서 신규호 차단율과 핸드오프 차단율이 증가하는 것으로 나타났다.

이로써 이동 영역을 3차원 공간으로 하느냐 아니면 2차원 공간으로 제한하느냐에 (즉, 서비스 지역에 대하여 3차원 모델링을 하느냐 아니면 2차원 모델링을 하느냐에) 따라 시뮬레이션 결과가 많이 달라질 수 있다는 것을 알 수 있다. 이동 통신 시스템의 복잡성으로 인하

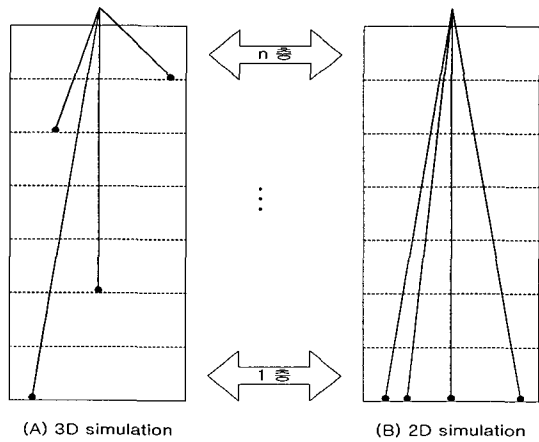


그림 9 (A) 3차원 시뮬레이션에서 건물안 통화는, 건물안에서 수평 이동뿐 아니라, 건물 1층에서 최고층까지의 범위 내에서 수직 이동이 가능하다. (B) 2차원 시뮬레이션에서 건물안 통화는, 건물안에서 건물 1층 높이에서 수평 이동만 허용된다

여, 이동 통신의 성능 평가에 대한 연구에서 서비스 영역이 1차원 공간 (예를 들면, [10, 11]) 또는 2차원 공간 (예를 들면, [3, 7, 8])으로 모델링되는 경우가 많다.

3차원 실내 환경에서의 가입자 이동성에 대한 stochastic model이 보고된 바 있으나 [12], 2차원 모델과의 비교는 이루어지지 않았다.

5.4 기타 파라미터의 영향

당연한 결과이지만, 기지국의 용량은 신규호의 차단율과 핸드오프 차단율에 직접적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 서비스 지역, 이동국의 이동성, 핸드오프 지연 시간 등에 상관없이 항상, 기지국의 용량이 클수록 신규호의 차단율과 핸드오프 호의 탈락율은 감소한다 (그림 10). 예상외로 핸드오프 지연 시간 (delay time, CDMA 소프트 핸드오프의 T\_TDROP 파라미터)은 핸드오프 성능에 일관된 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다. 핸드오프 지연 시간이 길다고 해서 반드시 핸드오프 호의 탈락율이나 신규호의 차단율이 감소하는 것은 아닌 것으로 나타났다 (그림 11). 이 결과의 정확한 분석을 위해서는 좀더 고찰을 해 보아야 할 것이다.

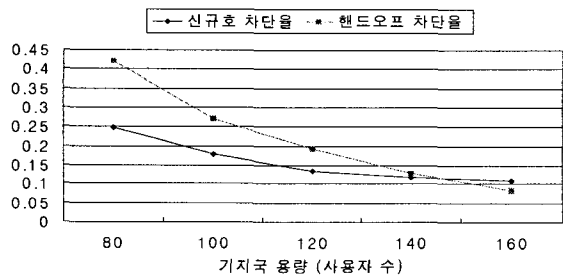


그림 10 기지국 용량 변화에 따른 신규호의 차단율과 핸드오프 차단율

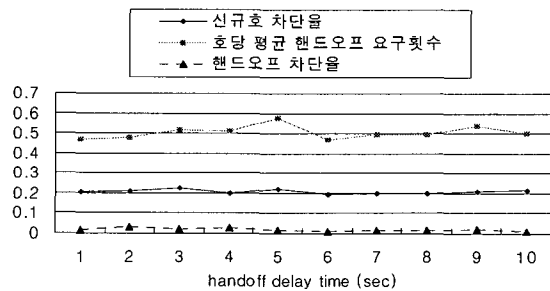


그림 11 핸드오프 지연 시간 (T\_TDROP 파라미터)의 변화에 따른 핸드오프 성능 변화



## 6. 결론 및 향후 연구

이동국의 속도가 빠를수록 핸드오프 발생 비율이 높다는 것은 일반적으로 알려진 사실이다. 그러나 속도가 외의 다른 이동성의 특성 (가령, 이동 영역 및 방향성 등)이 핸드오프의 성능에 미치는 영향에 대해서는 상대적으로 연구되지 않은 것이 많다. 사실, 이동 통신 시스템의 소프트 핸드오프의 성능에 잠재적으로 영향을 줄 수 있는 요소들은 가입자의 이동성 이외에도 핸드오프 관련 시스템 파라미터 (T\_ADD, T\_DROP, T\_COMP, T\_TDROP), 서비스 지역, 기지국의 용량 등 여러 가지가 있다. 이동 통신 시스템에서 핸드오프가 차지하는 중요성으로 인하여, 여러 가지 핸드오프 방식이 제안되었고, 제안된 방식의 우수성을 시물레이션 프로그램을 수행하여 실험적으로 증명하기 위한 연구가 많이 행하여졌다. 모든 시물레이션에 해당되는 말이지만, 이동 통신 시스템 핸드오프의 시물레이션은 위에서 언급한 요소들 (핸드오프 관련 시스템 파라미터, 가입자의 이동성과 환경, 기지국 용량 등)을 어떻게 모델링하였느냐에 따라 시물레이션 결과의 객관성과 신빙성이 달라진다.

본 논문은 CDMA 이동 통신 시스템의 소프트 핸드오프의 성능에 잠재적으로 영향을 줄 수 있는 여러 요소들을 파라미터화하여, 이 파라미터 값의 변경만으로 소프트 핸드오프에 미치는 요소들의 영향을 객관적이고 체계적으로 분석하기 위한 시물레이션 연구를 논하였다. 시물레이션 결과에 의하면, 서비스 지역에 따라 달리 가정한 이동국의 이동성 (즉, 자유 이동인지 이동 영역과 방향이 제한되는 이동인지)에 따라, 같은 핸드오프 방식이라도 현저하게 다른 현상을 보였다. 시물레이션 결과 중에서 중요한 것을 요약하면, 속도에 따라 차별적으로 T\_TDROP 값을 제어하는 핸드오프 방식은 자유 이동을 하는 이동국의 경우에 핸드오프 차단율을 낮추는데 탁월한 성능을 보였지만, 제한된 이동을 하는 이동국의 경우에는 기존 방식과 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한, 가입자 환경을 2차원 공간으로 모델링하느냐 3차원 공간으로 모델링하느냐에 따라라도 신규호 차단율과 핸드오프 차단율이 다르게 나타났는데, 시물레이터 구현의 용이성을 이유로 무조건 2차원 시물레이션을 하는 것은 지양해야 하는 교훈을 준다.

건물 밖 보행자 통화나 건물안 통화는 이동 속도가 느리고 이에 따라 통화중 이동 반경이 작아서, 호 지속 기간 동안 핸드오프를 요구할 확률이 차량 통화에 비하여 현저하게 낮다. 따라서 도심지 환경에서 발생하는 핸드오프는 대부분 차량 통화에 의한 것인데, 현재 도심지

환경에서 차량 통화의 비율이 전체 이동 통신호의 10% 미만임을 감안하면, 도심지 환경에서는 셀의 크기가 줄어도 핸드오프 발생 비율이 많이 증가하지 않을 것으로 예상된다. 셀 크기의 감소로 인한 핸드오프의 증가는 차량 통화의 비율이 상대적으로 많은 지역 (예를 들면 산간 도서 지역이나 고속 도로)에서 많이 나타날 것이다. 따라서 도심지 환경에서는 고속 이동국을 위한 핸드오프 발생 비율이나 핸드오프 호의 탈락율을 낮추는 핸드오프 방식 보다, 오히려 저속 이동국에 대한 효율적 처리에 노력을 집중하는 것이 시스템 전체의 성능이 현저하게 향상되는 효과를 보일 것으로 추측된다. 또한, 급격하게 팽창하는 가입자의 수요를 감당하고 도심지의 열악한 전파 환경의 극복을 위해, 현재와 같이 원칙 없는 기지국 증설로 인하여 주파수 재사용 효율을 감소시킬 것이 아니라, 객관적인 시물레이션과 현장 시험을 거친 다음 셀룰러 망을 구축하여야 할 것이다.

개발된 시물레이터는 핸드오프 방식을 선택하여 수행할 수 있기 때문에, 본 논문에서 제안한 새로운 핸드오프 방식뿐 아니라 기존 방식도 여러 조건에서 시험할 수 있는 유용한 프로그램이다. 그러나 현재 구현된 시물레이터에서 사용하는 서비스 지역은 실제 지역이 아니라 가정된 지역이다. 향후 연구로는, 국내의 특정 지역에 대한 실제의 3차원 지형, 지리 데이터를 직접 입력받아 3차원 모델을 구성한 후에 시물레이팅할 수 있도록 하는 것이다. 이 때 본 시물레이터의 구현에서는 제외된 전파 음영과 페이딩 현상도 고려하여 3차원 시물레이션을 하면 보다 객관적인 결과를 도출할 것이다. 시물레이터에 대한 또 하나의 개선 방향은, 서비스 지역에 따라서 현재 고정된 기지국의 위치를 사용자가 설정 가능하게 하는 것이다. 사용자가 설정한 기지국의 위치에 따라 셀의 반경이 자동적으로 계산되고, 기지국의 위치 변화 또는 셀의 크기 변화에 따른 시물레이션 결과를 분석하는 연구가 수행될 계획이다.

## 후 기

이 연구는 1998년도 인하대학교 연구비 지원에 의하여 수행되었음. 시물레이션 프로그램을 수행하는데 많은 시간과 노력을 아끼지 않은 김진우, 이상래, 정병훈에게 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

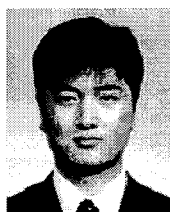
- [1] CDMA network engineering handbook, Qualcomm Pub., 1993.
- [2] W. Zhao and K. Ramamritham, "Virtual time

- CSMA protocols for hard real-time communication," *IEEE Transactions on Software Engineering*, Vol. 13, No. 8, pp. 938-952, 1987.
- [3] G. L. Lyberopoulos, J. G. Markoulidakis and M. E., Anagnostou, "The Impact of Evolutionary Cell Architectures on Handover in Future Mobile Telecommunication Systems," *Proc. IEEE Vehicular Technology Conference*, pp. 120-124, 1994.
- [4] M. Hata, "Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 29, No. 3, pp. 317-325, 1980.
- [5] K. S. Gilhousen, I. M. Jacobs, R. Padovani, L. A. Weaver and C. A. Wheatley, "On the capacity of a cellular CDMA system," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 40, No. 2, pp.303-312, 1991.
- [6] G. P. Pollini, "Trends in Handover Design," *IEEE Communications Magazine*, pp. 82-90, 1996.
- [7] Tekinay, "Modeling and analysis of cellular networks with highly heterogeneous traffic sources," Ph.D. thesis, George Mason University, 1994.
- [8] M. M. Zonoozi and P. Dassanayake, "User mobility modeling and characterization of mobility patterns," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 15, No. 7, pp. 1239-1252, 1997.
- [9] A. Chandra, D. Bansal, R. Shorey, A. Kulshreshtha, and M. Gupta, "Characterization of mobility patterns based on cell topography in a cellular radio system," *Proc. IEEE International Conference on Personal Wireless Communications*, pp. 428-432, 1999.
- [10] M. M. Abdallah, K. M. El-Sayed, and M. T. El-Hadidi, "Effect of user mobility on the QoS parameters for the guard channel policy," *Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, pp. 1503-1507, 1999.
- [11] Z. Lci and C. Rose, "Wireless subscriber mobility management using adaptive individual location areas for PCS systems," *Proc. IEEE International Conference on Communications*, pp. 1390-1394, 1998.
- [12] T. S. Kim, M. Y. Chung, D. K. Sung, and M. Sengoku, "Mobility modeling and traffic analysis in three-dimensional indoor environment," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 47, No. 2, 1998.



한 경 숙

1983년 서울대학교 자연대학 지질학과 학사. 1985년 한국과학기술원 전산학과 석사. 1989년 미국 University of Minnesota 전산학 석사. 1994년 미국 Rutgers University 전산학과 박사. 현재 인하대학교 자동화공학과 조교수. 관심분야는 인공지능, 컴퓨터그래픽스, 분자구조 모델링 등



김 태 정

1999년 8월 인하대학교 자동화공학과 석사. 현재 인터넷 TV 네트워크(주) 신기술연구소 주임연구원