

셀 단위로 증가하는 위치영역을 고려한 영역기준 위치등록의 모형화 및 성능 분석*

김경희** · 백장현** · 정호연***

Modeling and Performance Analysis of Zone-Based Registration Considering Cell by Cell Expansion of Location Area*

K. H. Kim** · J. H. Baek** · H. Y. Chung***

■ Abstract ■

An efficient mobility management for mobile stations plays an important role in mobile communication networks. Even though many a mobility management schemes have been proposed, most of mobile communication networks adopt the mobility scheme based on zone-based registration.

This paper studies the mobility management scheme that combines zone-based registration and 2-step selective paging. We assume cell by cell registration area, not ring by ring registration area of previous studies, and set up a new mobility model based on 2-dimensional random walk model considering the characteristic of zone-based registration to evaluate its performance exactly. We provide numerical results using proposed model to demonstrate the performance of zone-based registration and 2-step selective paging under various circumstances.

Keyword : Zone-Based Registration, 2-Step Selective Paging

논문접수일 : 2003년 4월 28일 논문게재확정일 : 2003년 8월 1일

* 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 지원으로 수행되었음(R05-2001-000-01414-0).

** 전북대학교 산업정보시스템공학과 · 공업기술연구센터

*** 전주대학교 공학부

1. 서론

2003년 1월 현재 우리나라의 이동통신 가입자는 3,200만명을 넘어서 전체 인구의 75% 가까이가 이동통신 서비스를 이용하고 있다. 이러한 이동통신 가입자의 지속적인 증가에 대처하고 다양한 멀티미디어 서비스를 우수한 통화품질로 제공하기 위해서는 한정된 자원인 무선채널의 효율을 최대한으로 높여야만 한다. 최근의 이동통신망은 셀의 소형화, 높은 사용자 밀도, 높은 이동성 및 광역 로밍(roaming)을 특징으로 하고 있기 때문에, 미래의 이동통신 환경은 위치등록, 페이징 등 효과적인 이동성 관리(mobility management)가 더욱 중요하게 될 것이다.

이동통신망의 특성상 이동국에 걸려오는 호를 연결시켜주기 위해서는 두 가지 기능이 수행되어야 하는데, 이동국에 의해 수행되는 위치등록(registration)과, 기지국에 의해 수행되는 페이징(paging)이 그것이다. 현재 대부분의 상용화된 이동통신망에서 채택하고 있는 위치등록 방법은 여러 개의 셀이 하나의 영역을 형성하고 있는 상황하에서 이동국이 이 영역을 벗어나면 위치등록을 수행하는 영역기준 위치등록(zone-based registration)이다. 또한, 페이징 방법으로는 특정 이동국으로의 호가 발생하면 그 이동국이 위치등록을 수행한 마지막 위치영역 전체를 페이징하는 전체 페이징 방법을 이용하고 있다.

위치등록에 관한 연구는 대부분의 이동통신 시스템에서 널리 사용되고 있는 영역기준 위치등록에 대한 연구[1, 2, 4, 11]가 가장 많이 다루어지고 있으나 거리기준 위치등록(distance-based registration)에 대한 연구[2, 3, 7], 이동기준 위치등록(movement-based registration)에 대한 연구[5, 9], 시간기준 위치등록(timer-based registration)에 대한 연구[6, 8]도 많이 다루어지고 있다. 또한 무선 트래픽의 특성을 반영하여 위치영역을 동적으로 운영하고자 하는 동적 위치영역 할당에 관한 연구[10, 11]도 많이 다루어졌다. 그밖에도 전원공급 위치등

록(power-up registration), 전원차단 위치등록(power-down registration), 파라미터 변경 위치등록(parameter-change registration), 명령에 의한 위치등록(ordered registration), 묵시적 위치등록(implicit registration), 트래픽 채널 위치등록(traffic channel registration) 등 여러 가지 보조적인 위치등록 방법이 있다[4].

본 연구에서는 대부분의 이동통신 시스템에서 채택하고 있는 영역기준 위치등록과 해당 영역을 여러 번에 나누어 페이징하는 선택적 페이징(selective paging)을 함께 고려하고자 한다. 위치등록에 대한 성능분석을 위해서는 가입자의 이동성 모형(mobility model)이 매우 중요한데 본 연구에서는 2-D 랜덤 워크 모형(2-dimensional random walk model)을 기반으로 하여 영역기준 위치등록을 다룬다. 본 연구에서는 기존 연구[1]의 문제점을 해결하기 위한 새로운 모형을 제시하고 이 모형을 이용하여 영역기준 위치등록과 선택적 페이징의 성능을 보다 정확하게 평가하고자 한다.

본 연구가 기존 연구에 비하여 다른 점은 크게 두 가지로 나누어 볼 수 있다.

- (1) 기존 연구와는 달리 링 단위가 아닌, 셀 단위로 증가하는 위치영역을 고려한다.
- (2) 이동국의 이동방향이 모든 방향에 대하여 동일하다는 기존 연구의 가정을 완화한다.

랜덤 워크 이동성 모형을 이용한 영역기준 위치등록에 대한 기존의 연구[1]에서는 거리기준 위치등록[3]이나 이동기준 위치등록[5, 9]과의 성능 비교를 위해 링 단위의 시스템 환경을 가정하여 위치영역의 최적 크기를 제시하고 있다. 그런데 기존의 연구[1, 3, 5, 9]에서 가정하고 있는 링 단위의 시스템 환경은, 여러 가지 위치등록 방법의 비교에는 효과적인 반면, 위치영역을 구성하는 셀의 수가 하나씩 증가할 수도 있는 영역기준 위치등록의 특성을 제대로 표현할 수 없다는 큰 문제점이 있다. 본 연구는 기존의 링 단위로 증가하는 위치영역이 아닌, 셀 단위로 증가하는 위치영역을 대상으로 하여

무선 채널에서의 신호 트래픽을 최소로 하는 최적의 위치영역 크기를 구하고자 한다.

또한 본 연구에서는 위치영역의 경계간 이동이 적은 영역기준 위치등록의 특성을 반영할 수 있는 새로운 이동성 모형을 구축하고 이를 이용하여 위치등록 부하와 페이징 부하를 구하고자 한다. 랜덤 워크 이동성 모형을 이용한 기존의 연구[1, 3, 5, 9]에서는 이동국의 이동방향이 셀의 모든 방향에 대하여 동일하다고 가정하고 있다. 그러나, 영역기준 위치등록에서 위치영역의 경계를 나눌 때, 대부분 도로나 교량, 산 등과 같이 명확히 구분된 지형이나 건축물을 경계로 삼는 경우가 대부분이기 때문에, 이동국이 위치영역의 경계를 관통하여 다른 위치영역의 셀로 진입하는 경우는 동일한 위치영역 내 셀로 이동하는 경우에 비하여 상대적으로 덜 발생한다고 할 수 있다. 따라서 이동국의 이동방향이 셀 주변의 모든 방향으로 동일하다는 기존 연구에서의 가정은 실제 환경을 정확히 반영한다고 할 수 없다. 본 연구에서는 영역기준 위치등록의 이러한 특성을 반영할 수 있는 새로운 이동성 모형을 구축하고 이를 이용하여 위치등록 부하와 페이징 부하를 구하고자 한다.

선택적 페이징하에서는 착신호를 연결시키기 위해 페이징 지연이 허용되는 한도내에서 페이징 과정을 여러 단계로 나누어 수행한다. 현재 운용되는 대부분의 이동통신 시스템이 위치영역내의 모든 셀에 한번에 페이징하는 전체 페이징 방법을 이용한다[9]는 점을 고려할 때 구현 가능한 가장 현실적인 페이징 지연은 2라고 볼 수 있다. 페이징 지연의 허용치를 2로 할 때, 기존의 페이징 방법은 링 단위로 페이징 영역을 나누어 페이징하거나[3], 링을 구성하고 있는 셀을 분할하여 보다 정교하게 페이징 영역을 나누어 페이징 부하를 구하고 있다[1]. 본 연구에서는 다른 위치영역의 셀로 이동할 확률이 q 값의 변화를 반영하여 2단계 선택적 페이징의 부하를 최소로 해 주는 페이징 방법을 고려한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 영역기준 위치등록과 선택적 페이징을 기술하고, 3장에

서는 위치등록과 페이징을 분석하기 위한 시스템 환경과 이 환경하에서 이동국의 이동성 모형을 기술한다. 4장에서는 무선채널에서의 신호 트래픽을 분석하기 위한 분석모형을 제시하고, 5장에서는 수리적 분석결과를 제시한다. 6장에서는 결론과 추후 연구사항을 기술한다.

2. 영역기준 위치등록과 선택적 페이징

2.1 영역기준 위치등록

영역기준 위치등록 방법[4]을 사용할 경우, 이동국은 이동국 내부에 저장된 ZONE_LIST에 없는, 새로운 영역으로 이동할 때마다 위치등록을 수행하여 ZONE_LIST에 새로운 영역을 추가한다. 위치등록후, 그 영역을 제외한 나머지 영역에 대하여 각 위치영역별로 하나씩의 타이머가 작동한다. 가능한 최대 타이머 값은 1, 2, 5, 10, 20, 30, 45, 60분이다.

이동국은 하나 이상의 영역에 위치등록할 수 있다. 즉, 이동국은 ZONE_LIST에 최대 TOTAL_ZONES(편의상 T_z 으로 표기)개의 위치영역을 저장할 수 있다. 일반적으로 $T_z=1$ 인 경우를 단일영역 위치등록 방식이라 하고 $T_z>1$ 인 경우를 다중영역 위치등록 방식이라 한다.

ZONE_LIST가 이미 T_z 개의 위치영역을 가지고 있는 상태에서 새로운 위치영역으로 이동하면, T_z 개의 위치영역 중 타이머 값이 가장 큰 것을 삭제하고 새로운 위치영역을 추가한다. 다중영역 위치등록 방식을 사용할 경우, 영역간 경계를 넘나들며, 발생하는 여러 번의 불필요한 위치등록을 피할 수 있다. 또한 이미 ZONE_LIST에 저장된 위치영역에 다시 진입할 경우, 위치등록을 하지 않아도 되는 장점이 있다. 반면에 착신호가 도착하면 페이징 부하가 증가하는 단점도 있다. 따라서 시스템 환경에 따라 적절한 T_z 의 값을 구해야 한다.

본 연구에서는 대부분의 이동통신 시스템에서

영역기준 위치등록을 단일영역 위치등록으로 구현하고 있음을 감안하여 $T_Z=1$ 인 경우만 고려한다.

2.2 선택적 페이징

이동국에 착신호를 연결하기 위해서는 해당 이동국이 위치하고 있는 셀을 알고 있어야 한다. 대부분의 이동통신 시스템은 이동통신 시스템의 전체 서비스 영역을 여러 개의 위치영역으로 분할한 후 이동국이 해당 위치영역에서 벗어나 새로운 위치영역으로 이동할 때마다 위치등록을 수행한 후 해당 이동국으로 착신호가 올 때 마지막으로 위치등록이 수행된 위치영역내 모든 셀을 한번에 페이징하는 방법을 사용하고 있다.

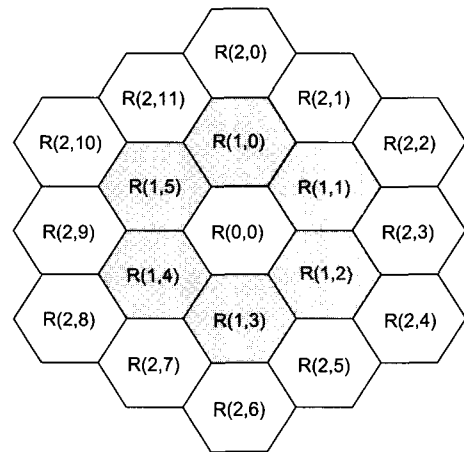
이러한 기존의 페이징 방법을 개선하기 위하여, 현재 이동국이 속한 위치영역을 몇 개의 소영역(subarea)으로 나누고 이동국을 찾을 때까지 순차적으로 페이징하는 선택적 페이징을 이용한다. 즉, 위치영역을 소영역으로 나누고 소영역 S_0 를 페이징하고 응답이 없으면 다음 소영역 S_1 을 페이징하는 절차를 밟아 응답이 있을 때까지 단계적으로 페이징하는 방법을 이용한다. 위치영역을 소영역으로 나누는 방법은 여러 가지가 가능한데, 일반적으로 SDF(shortest distance first) 방법을 많이 이용한다[3,5].

이러한 선택적 페이징 방법은 페이징 응답까지의 지연시간이 충분한 경우에만 가능하다. 현재 운용되는 대부분의 이동통신 시스템이 위치영역내의 모든 셀에 한 번에 페이징한다는 점을 고려할 때 구현 가능한 가장 현실적인 페이징 지연의 허용치는 2라고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 착신호 발생시 2단계에 걸쳐 페이징하는 선택적 페이징 방법을 사용한다.

3. 시스템 환경

영역기준 위치등록에서 하나의 위치영역(location area, 또는 zone)은 다수의 셀로 구성된다. 기

지국으로부터 전파가 미치는 범위를 이상적으로 표현하기 위해서는 셀의 모양이 원형에 가까워야 하나 중복되는 부분을 고려하여 본 연구에서는 동일한 모양의 육각형으로 이동통신망이 구성되어 있다고 가정하자.



[그림 1] 육각형 셀 환경에서의 위치영역 및 링 ($D=3$)

기존의 연구[1, 3, 4]는 영역기준 위치등록에 대한 최적 영역크기를 결정할 때, 주로 다른 위치등록 방법과의 비교를 용이하게 하기 위해 [그림 1]과 같이 위치영역 중심 셀에서 인접한 위치영역의 가장 가까운 셀까지의 셀 수로 정의되는 기준반경(reference radius) D 를 이용하여 위치영역의 크기를 표시하였다. 이 경우, 이웃한 셀간의 거리는 1이 되며, $D=3$ 인 경우 위치등록 영역은 [그림 1]과 같다. 이동국이 이 영역에 진입할 때 위치등록을 하고, 이 영역에서 벗어 나는 경우 새로 진입한 영역에서 위치등록을 하게 된다.

[그림 1]과 같이 위치영역이 D 개의 링(링 0, 링 1, 링 2, ...)으로 구성되어 있다고 가정하면, i 번째 링에 속하는 셀의 수를 $g(i)$ 라 할 때 $g(i)$ 는 다음과 같다.

$$g(i) = \begin{cases} 1 & i=0 \\ 6i & i=1, 2, 3, \dots, D-1 \end{cases}$$

따라서, 기준반경이 D 인 경우 위치영역내 셀의

총 수는 다음과 같다.

$$S = 1 + \sum_{i=1}^{D-1} 6i = 1 + 3D(D - 1)$$

이와 같이 시스템 환경을 가정하여 무선채널의 시스템 트래픽을 최소로 해 주는 기준거리 값(D)을 구하면, 그 D 값에 따라 한 영역을 이루는 셀 수는 D 가 1이면 1, D 가 2이면 7, D 가 3이면 13과 같이 증가된다. 따라서, 링의 형태로 시스템 환경을 가정하면, 한 영역을 이루는 셀의 수가 2~6, 8~12와 같은 경우는 표현이 불가능하다. [1]에서 신호트래픽을 최소로 하는 최적의 D 값은 2로 구해졌으나, 보다 정확한 비교가 되기 위해서는 $D=1$ 과 $D=2$, 또는 $D=2$ 과 $D=3$ 사이의 영역이 표현되도록 시스템 환경이 가정되어야 할 것이다. 따라서, 본 연구에서는 시스템을 링 단위인 D 로 정의하는 대신, 셀 단위인 N 으로 정의하여 영역기준 위치등록을 분석하고자 한다. 본 연구에서는 분석의 편의상 위치영역을 이루는 셀 수 N 이 1~7까지 변화하는 경우를 고려한다.

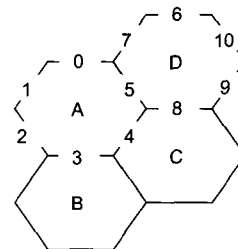
셀 단위로 위치영역이 정의될 경우, 한 위치영역을 이루는 셀 수 N 에 대한 시스템 환경을 [그림 1]을 이용하여 설명하면 다음과 같다.

- $N=1 : R(0, 0)$
- $N=2 : R(0, 0) + R(1, 3)$
- $N=3 : R(0, 0) + R(1, 1) + R(1, 2)$
- $N=4 : R(0, 0) + R(1, 3) + R(1, 2) + R(1, 1)$
- $N=5 : R(0, 0) + R(1, 0) + R(1, 3) + R(1, 1) + R(1, 2)$
- $N=6 : R(0, 0) + R(1, 3) + R(1, 1) + R(1, 2) + R(2, 2) + R(2, 3)$
- $N=7 : R(0, 0) + R(1, 0) + R(1, 1) + R(1, 2) + R(1, 3) + R(1, 4) + R(1, 5)$

$N=1$ 과 $N=7$ 인 경우는 각각 링 개념의 시스템 환경에서는 $D=1$ 과 $D=2$ 에 대응된다. 그리고, $N=2$ 인 경우는, [그림 1]에서 $R(0, 0)$ 과 $R(1, 3)$ 에 해당하는 부분인 2개의 셀이 한 영역을 이룬다. 나머지 경우도 같은 개념으로 해석될 수 있다.

일반적인 2차원 랜덤 워크 모형에서는 이동국이 이동할 때 각 방향을 선택할 확률이 동일하다고 가정한다. 즉, 육각형 셀 환경에서 특정 셀에 속한 이동국이 다른 셀로 이동할 경우 어느 셀로 이동할지에 대한 확률은 인접하고 있는 6개의 셀에 대하여 동일하게 1/6이라고 가정한다. 그런데 이 이동기준 위치등록이나 거리기준 위치등록에 대해서는 이러한 가정이 타당성을 가질 수 있으나 상대적으로 영역간 이동이 덜 발생하는 영역기준 위치등록에 대해서는 다소 문제가 있을 수 있다.

랜덤 워크 모형의 특성에 따라 모든 방향으로의 선택확률이 동일하다고 가정하여 영역기준 위치등록의 성능을 분석할 경우, 도로나 교량, 산 등과 같이 두 영역간 왕래가 많지 않은 지역을 경계로 설정하는 영역기준 위치등록 방법의 실제 환경을 정확히 반영하지 못하게 되어 실제보다 위치등록이 자주 발생하는 경향을 갖게 된다. 즉, 랜덤 워크 모형의 특성에 따라 모든 방향으로의 선택확률이 동일하다고 가정할 경우 영역기준 위치등록의 성능을 실제보다 과소평가할 가능성이 있다. 따라서 두 영역간 왕래가 많지 않은 지역을 경계로 설정하는 영역기준 위치등록 방법의 실제 환경을 정확히 반영하여 성능을 분석할 필요가 있다. 본 연구에서는 이동국의 이동시 인접한 셀로의 이동확률을 6개의 주변 셀에 대하여 동일하게 1/6로 가정하는 대신 같은 영역의 셀로 이동할 확률과 다른 영역의 셀로 이동할 확률을 다르게 하여 분석하고자 한다.



[그림 2] 시스템 환경($N=4$)

예를 들어, [그림 2]의 A, B, C, D가 하나의 영역을 구성하는 $N=4$ 인 시스템 환경에서 셀 A의

경우, A-3, A-4, A-5는 같은 영역에 접해 있는 면이고, A-0, A-1, A-2는 다른 영역에 접해 있는 면이다. 일반적으로, 셀 A에서 다른 위치영역에 속한 셀로의 이동인 A-0, A-1, A-2으로의 이동은 같은 위치영역에 속한 셀로의 이동인 A-3, A-4, A-5보다 그 확률이 작다고 할 수 있다. 따라서, A-0, A-1, A-2으로의 이동 확률을 각각 q 로 가정하면 일반적으로 q 는 $1/6$ 보다 작거나 같은 값을 가질 것이며 $q=1/6$ 인 경우는 전통적인 2-D 랜덤 워크 모형이 된다.

다른 영역으로 이동할 확률이 줄어들기 때문에, 상대적으로 같은 영역내 셀로 이동할 확률은 증가하게 된다. 즉, 셀 A의 경우, A-0, A-1, A-2으로의 이동은 q 가 되기 때문에, 각 면당 랜덤워크 모형을 가정한 경우보다 $(1/6 - q)$ 씩 확률이 줄어든다. 따라서, 같은 영역으로 이동하는 면인 A-3, A-4, A-5로의 이동은 $(1/6 + (1/6 - q))$ 가 된다. 그러나, 셀 D의 경우는 같은 영역에 접해 있는 면이 D-5, D-8으로 두 면이고, 다른 영역에 접해 있는 면이 D-6, D-7, D-9, D-10으로 네 면이므로 확률의 가감이 평균적으로 적용되어야 한다. 따라서, 셀 D에서 D-6, D-7, D-9, D-10의 이동은 각각 다음과 같이 계산된다.

$$\frac{1}{6} + \left(\frac{1}{6} - q\right) \times \frac{2}{4} = \frac{1}{4} - \frac{1}{2} q$$

선택적 페이징하에서는 착신호를 연결시키기 위해서 페이징 지연이 허용되는 한도내에서 페이징 과정을 여러 단계로 나누어 수행한다. 페이징 지연은 페이징 횟수 η 로 정의한다. 예를 들어, $\eta = 2$ 이면, 착신호 연결까지 두 번의 페이징이 가능하므로, 전체 페이징 영역을 둘로 나누어 페이징을 수행한다. 한쪽에 먼저 페이징하여 응답이 있으면 그 단계에서 페이징을 끝내고 응답이 없는 경우에만 나머지 영역에 페이징한다. 이동성 모형을 랜덤워크 모형으로 가정하는 경우는 셀의 위치에 상관없이 한 영역의 셀을 동일한 수로 나누어 차례로 페이징하는 방법이 기존의 SDF 방법보다 페이징 부하를

줄일 수 있다[1].

그러나, 본 연구에서와 같이 이동국이 같은 영역으로 이동할 확률과 다른 영역으로 이동할 확률을 달리 부여한 경우는 q 값의 변화에 따라 이동국의 임의의 시점에 특정 셀에 머무를 확률을 변하기 때문에 셀의 수를 동일하게 하여 소영역을 구성하더라도 페이징하는 순서에 따라 페이징 부하가 달라지므로, 페이징 부하가 최소가 되는 페이징 방법에 고려하고자 한다.

4. 분석모형

본 절에서는 제안하는 영역기준 위치등록과 선택적 페이징에 의한 부하를 구하기 위한 분석모형을 제시하고자 한다.

4.1 호 도착간격 동안의 셀 진입횟수

위치등록 부하를 구해서는 먼저 호 도착간격동안 이동국이 K 개의 셀을 통과할 확률인 $\alpha(K)$ 값을 구해야 한다. 도착하는 호의 수가 도착률 λ_c 인 포아송 분포를 따르고, 이동국의 셀 체류시간이 평균 $1/\lambda_m$ 인 지수 분포를 따른다고 가정하면, $\alpha(K)$ 는 다음과 같다[9].

$$\alpha(K) = \begin{cases} 1 - \frac{1}{\theta} \{1 - f_m(\lambda_c)\} & K = 0 \\ \frac{1}{\theta} \{1 - f_m(\lambda_c)\}^2 f_m(\lambda_c)^{K-1} & K \geq 1 \end{cases}$$

$$\theta = \lambda_c / \lambda_m$$

$f_m(\lambda_c)$: 이동국의 셀 체류시간 확률밀도함수의 라플라스 변환

4.2 페이징 부하

2번에 걸쳐 선택적 페이징을 수행할 경우, 위치영역을 2개의 소영역 A_0, A_1 으로 분할해야 한다. 이동국의 이동성 모형이 랜덤워크 모형을 따른다

고 가정하면, 소영역을 구한 다음 페이지 부하 C_v 는 이동국이 모든 셀에 있을 확률이 동일하므로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$C_v = V \left(n(A_0) \times \frac{n(A_0)}{N} + N \times \frac{n(A_1)}{N} \right)$$

$n(A_0)$: 소영역 A_0 를 이루는 셀의 수

$n(A_1)$: 소영역 A_1 을 이루는 셀의 수

V : 한 셀에 대한 페이지 부하

그런데, 한 셀에서 다른 위치영역의 셀 중 하나로 이동할 확률이 q 를 고려한 경우에는, q 값의 변화에 따라 이동국이 특정 셀에 있을 확률 역시 변하게 된다. 따라서, 최적의 페이지 수행방법도 q 값에 따라 달라지므로 이를 고려한 소영역 설정이 필요하다. 이동국이 특정시점에 특정 셀에 있을 확률을 구하기 위해서는 상태전이도와 상태전이행렬이 정의되어야 한다. 이때, 위치영역에서 다른 영역에 접하는 면의 수가 같은 것이면, 하나의 상태로 간주된다. 예를 들어, [그림 2]에서 셀 A 와 셀 D 는 다른 영역에 면하는 면의 수가 3개이고, 셀 B 와 셀 C 는 다른 영역에 면하는 수가 4개이다. 따라서, 셀 A 와 셀 D 가 하나의 상태가 되고, 셀 B 와 셀 C 가 하나의 상태가 되어 N 이 4인 경우 상태의 수는 2가 된다.

[그림 1]에서 N 이 2인 경우는, $R(0, 0)$, $R(1, 3)$ 이 하나의 영역을 형성한다. $R(0, 0)$ 과 $R(1, 3)$ 모두 육각형 셀에서 같은 영역에 접하고 있는 1면을 가지고 있고, 다른 영역에 접하고 있는 면을 5면 가지고 있기 때문에 하나의 상태로 표현이 가능하다. 이를 1차원 상태전이도로 표현하고 상태전이도로부터 상태전이확률 P 를 구하면 [그림 3]과 같다. 두 항목 첫 번째 항은 같은 위치영역으로 이동국이 이동할 확률이며, 두 번째 항은 다른 위치영역으로 이동할 확률이다. 즉, N 이 2인 경우는 모든 셀이 다른 영역에 접하고 있는 면의 수가 5이고 한 면당 다른 영역으로 이동할 확률이 q 이므로 다른 위치영역으로 이동할 확률이 $5q$ 가 되고 같은 영역으로

이동할 확률이 $(1 - 5q)$ 가 된다.

$$(1 - 5q) + 5q$$



$$P = [(1 - 5q) + 5q]$$

[그림 3] 상태전이도와 상태전이행렬($N = 2$)

N 인 3인 경우 역시 한 영역을 이루는 $R(0, 0)$, $R(1, 1)$, $R(1, 2)$ 가 모두 하나의 상태로 표현이 가능하므로 상태전이도와 상태전이행렬은 [그림 4]와 같다. $N=2$ 인 경우와 마찬가지로 두 항목 첫 번째 항은 같은 위치영역으로 이동국이 이동할 확률이며, 두 번째 항은 다른 위치영역으로 이동할 확률이다. 마찬가지로 이후 다른 N 에 대해서도 두 항목 첫 번째 항은 같은 위치영역으로 이동국이 이동할 확률, 두 번째 항은 다른 위치영역으로 이동할 확률을 나타낸다.

$$(1 - 4q) + 4q$$

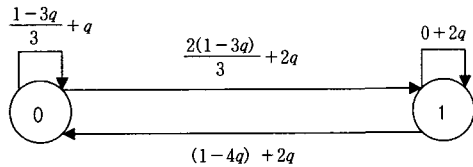


$$P = [(1 - 4q) + 4q]$$

[그림 4] 상태전이도와 상태전이행렬($N = 3$)

그러나, N 이 4인 경우는 서로 다른 상태를 나타내는 셀이 존재한다. 즉, $R(0, 0)$ 과 $R(1, 3)$ 은 서로 다른 상태를 나타낸다. $R(0, 0)$ 의 경우, 같은 영역에 접하고 있는 면이 3, 다른 영역에 접하고 있는 면이 3이지만, $R(1, 3)$ 은 같은 영역에 접하고 있는 면이 2, 다른 영역에 접하고 있는 면이 4로 서로 다른 상태를 나타낸다. $R(1, 2)$ 는 $R(0, 0)$ 과 같은 상태를 나타내고, $R(1, 1)$ 은 $R(1, 3)$ 과 같은 상태를 나타낸다. 따라서, $N=4$ 인 경우의 상태전이도를 표현하기 위해서는 두 개의 상태가 필요하여 $R(0, 0)$, $R(1, 2)$ 를 상태 0, $R(1, 3)$, $R(1, 1)$ 을 상태 1로 하여

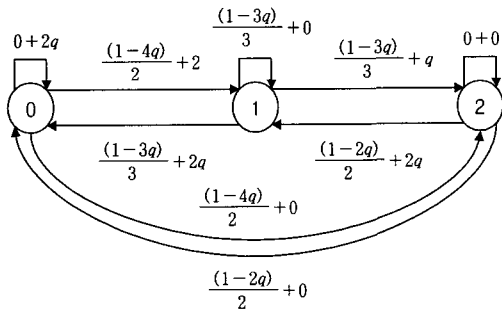
표현한 상태전이도와 상태전이행렬은 [그림 5]와 같다.



$$P = \begin{bmatrix} \frac{(1-3q)}{3} + q & \frac{2(1-3q)}{3} + 2q \\ (1-4q) + 2q & 0 + 2q \end{bmatrix}$$

[그림 5] 상태전이도와 상태전이행렬(N = 4)

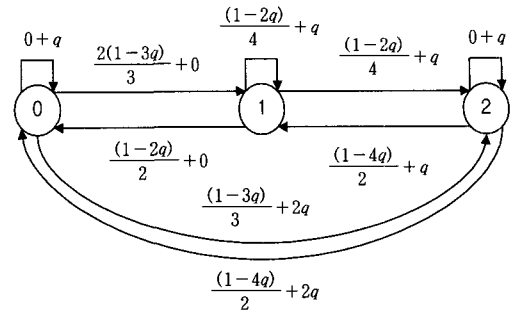
N이 5인 경우는 세 가지의 서로 다른 상태가 존재한다. R(1,0), R(1,3)을 상태 0, R(1,1), R(1,2)를 상태 1, R(0,0)을 상태 2로 하여 표현한 상태전이도와 상태전이행렬은 [그림 6]과 같다.



$$P = \begin{bmatrix} 0 + 2q & \frac{(1-4q)}{2} + 2q & \frac{(1-4q)}{2} + 0 \\ \frac{(1-3q)}{3} + 2q & \frac{(1-3q)}{3} + 0 & \frac{(1-3q)}{3} + q \\ \frac{(1-2q)}{2} + 0 & \frac{(1-2q)}{2} + 2q & 0 + 0 \end{bmatrix}$$

[그림 6] 상태전이도와 상태전이행렬(N = 5)

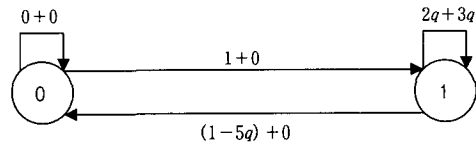
N이 6인 경우도 N이 5인 경우와 마찬가지로 세 가지의 상태가 존재한다. R(0,0), R(2,3)을 상태 0, R(1,1), R(1,2)를 상태 1, R(1,3), R(2,2)를 상태 2로 하여 표현한 상태전이도와 상태전이행렬은 [그림 7]과 같다.



$$P = \begin{bmatrix} 0 + q & \frac{(1-3q) \times 2}{3} + 0 & \frac{(1-3q)}{3} + 2q \\ \frac{(1-2q) \times 2}{4} + 0 & \frac{(1-2q)}{4} + q & \frac{(1-2q)}{4} + q \\ \frac{(1-4q)}{2} + 2q & \frac{(1-4q)}{2} + q & 0 + q \end{bmatrix}$$

[그림 7] 상태전이도와 상태전이행렬(N = 6)

N이 7인 경우는 [그림 1]의 링으로 정의되는 시스템에서 링 0과 링 1에 해당하는 셀인 R(0,0), R(1,0), R(1,1), R(1,2), R(1,3), R(1,4), R(1,5)이 한 영역을 이루는 것으로 중심셀에서 거리 D가 2 이하인 영역에 해당된다. 이 경우는 [1]과 같이 상태를 링단위로 나누어, R(0,0)을 상태 0, R(1,0), R(1,1), R(1,2), R(1,3), R(1,4), R(1,5)을 상태 1로 하여 나타낸 상태전이도와 상태전이행렬은 [그림 8]과 같다.



$$P = \begin{bmatrix} 0 + 0 & 1 + 0 \\ (1-5q) + 0 & 2q + 3q \end{bmatrix}$$

[그림 8] 상태전이도와 상태전이행렬(N = 7)

상태전이행렬을 이용하면, 이동국이 특정시점에 특정 상태(state i)를 나타내는 셀에 있을 확률(π_i)을 구할 수 있다. 영역기준 위치등록의 경우, π_i 는 임의의 시점에 상태 i에 있을 확률이므로 마코프체인의 안정상태의 확률을 의미하며, 이는 $\pi = \pi P$

에 의해서 구할 수 있다.

$N=1, 2, 3$ 인 경우는 상태가 하나이므로, 둘 이상의 상태로 표현되는 $N=4, 5, 6$ 에 한하여 π_i 를 구하면 된다. $N=4, N=5, N=6$ 인 경우에 대하여 π_i 를 구한 결과는 다음과 같다.

$$N=4;$$

$$(\pi_0, \pi_1) = \left(\frac{3-6q}{5-6q}, \frac{2}{5-6q} \right)$$

$$N=5;$$

$$(\pi_0, \pi_1, \pi_2) = \left(\frac{2}{7-12q}, \frac{3-6q}{7-12q}, \frac{2-6q}{7-12q} \right)$$

$$N=6;$$

$$(\pi_0, \pi_1, \pi_2) = \left(\frac{3(5-10q+8q^2)}{45-80q+12q^2}, \frac{4(5-15q+6q^2)}{45-80q+12q^2}, \frac{2(5+5q-18q^2)}{45-80q+12q^2} \right)$$

N 이 4인 경우, $q=1/6$ 로 이동국의 이동성 모형이 랜덤워크 모형을 따를 경우에는 상태 0에 있을 확률과 상태 1에 있을 확률이 1/2, 1/2로 동일하여 어느 영역을 먼저 페이징해도 페이징 부하가 3으로 동일하다. 그러나, 예를 들어, $q=1/12$ 로 다른 영역으로 이동할 확률이 더 낮아지는 경우에는 이동국이 상태 0에 있을 확률이 1/3, 상태 1에 있을 확률이 2/3이다. 따라서, 상태 0에 해당하는 소영역을 먼저 페이징한 다음 상태 1에 해당하는 소영역을 페이징 하면 페이징 부하가 $10 \times V/3$ 이지만, 상태 1에 해당하는 소영역을 먼저 페이징하면 페이징 부하가 $8 \times V/3$ 로 페이징 순서에 따라 페이징 부하가 달라짐을 알 수 있다. 따라서, 선택적 페이징을 수행할 때 페이징 순서는 이동국이 각 상태에 있을 확률을 고려하여 결정해야 한다. 본 연구에서는 다른 위치영역의 셀로 이동할 확률인 q 값의 변화를 반영하여 2단계 선택적 페이징의 부하를 최소로 해 주는 페이징 방법을 고려한다.

4.3 위치등록 부하

1회 위치등록 부하를 R 이라 할 때, 호 도착간격 동안의 위치등록 부하 C_R 을 구해보면 다음과 같다.

$$C_R = R \sum_{K=1}^{\infty} R(K) a(K)$$

$a(K)$: 호 도착간격동안 이동국이 K 개의 셀을 통과할 확률

$R(K)$: K 번 셀 진입시 위치등록 횟수

$R(K)$ 가 K 번 셀 진입시 위치등록 횟수이므로 이동국이 1회 이동시 위치등록할 확률을 P_R 이라 하면, $R(K)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$R(K) = KP_R$$

P_R 은 이동국이 현재 어느 상태의 셀에 있는 가에 따라 달라지는 확률이므로 다음과 같이 표현된다.

$$P_R = \sum_{i=0}^I \pi_i P_i$$

P_i : 이동국이 상태 i 에 있을 때 위치등록할 확률

I : 가능한 상태의 총수

예를 들어, $N=4$ 인 경우 앞에서 계산한 안정상태 확률 π_i 와 상태전이행렬을 이용하면 P_R 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} P_R &= \sum_{i=0}^I \pi_i P_i \\ &= \frac{3-6q}{5-6q} \times 3q + \frac{2}{5-6q} \times 4q \\ &= \frac{17q-18q^2}{5-6q} \end{aligned}$$

같은 방법으로 $N=1 \sim 7$ 에 대한 P_R 값을 구하면 <표 1>과 같다.

따라서, 위치등록 부하는 다음과 같이 구할 수 있다.

〈표 1〉 한 영역을 이루는 셀 수의 PR 값

N	1	2	3	4	5	6	7
P_R	1	$5q$	$4q$	$\frac{17q-18q^2}{5-6q}$	$\frac{21q-30q^2}{7-12q}$	$\frac{125q-170q^2-24q^3}{45-80q+12q^2}$	$\frac{9q}{4-3q}$

$$C_R = R \sum_{K=0}^{\infty} \left(\sum_{i=0}^I \pi_i P_i \right) Ka(K)$$

5. 분석결과

본 절에서는 4장에서 제시한 수리적모형을 이용하여 영역기준 위치등록과 선택적 페이징의 성능을 분석한다. 분석에 사용된 환경은 이전의 연구[1]와 동일하게 가정한다.

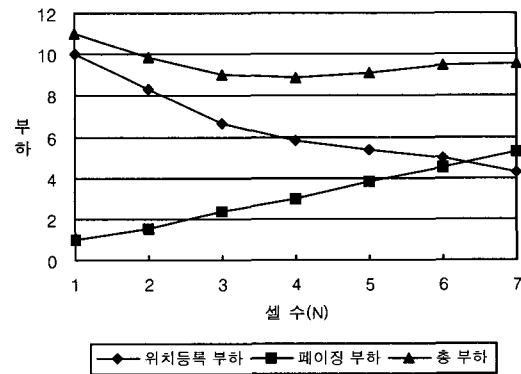
- 이동국이 한 셀에서 머무는 시간은 평균이 $1/\lambda_m$ 인 지수 분포
- 이동국에 대한 착신호 도착율은 평균 λ_c 인 포아송 분포
- 허용되는 페이징 지연 : 2
- 1회 위치등록부하 $R : 10$
- 1회 페이징부하 $V : 1$

비교 기준으로 이동국의 이동성과 호의 도착 특성을 나타내는 CMR(call-to-mobility ratio)을 이용한다. CMR은 λ_c/λ_m 을 나타내는 값으로 CMR이 3이라는 것은 이동국이 한 셀을 움직일 동안 평균적으로 호가 3회 도착함을 의미한다.

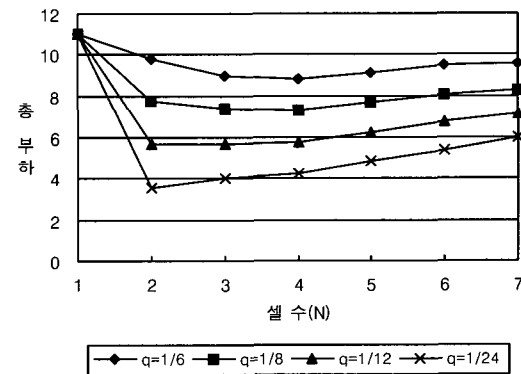
[그림 9]에 $q=1/6$ 일 때 위치영역내 셀 수의 변화에 따른 위치등록 부하, 페이징 부하, 그리고 두 부하를 더한 총 부하를 구분하여 표시하였다. 한 영역을 이루는 셀의 수가 많을수록 이동국의 위치등록은 적게 발생하므로 위치등록 부하가 줄어들고, 페이징 되어야 하는 셀의 수가 증가하므로 페이징 부하는 늘어남을 알 수 있다.

동일한 분석환경하에서 영역을 링 단위로 구성한 연구[1]에서는 최적의 영역크기 $D=2(N=7)$ 였으나, 셀 단위로 증가하는 영역을 가정한 본 연구에서는 총 부하를 최소로 하는 셀의 수 $N=4$ 로 나

타난다. 이는 링 단위로 증가하는 위치영역을 가정할 경우 위치영역내 셀의 수 관점에서는 고려하지 못하는 부분이 발생하기 때문이다. 따라서 영역기준 위치등록에 대한 정확한 평가를 위해서는 본 연구에서와 같이 셀 단위로 증가하는 위치영역을 대상으로 성능을 평가해야 함을 알 수 있다.



[그림 9] 셀 수의 변화에 따른 부하(CMR=1, $q=1/6$)

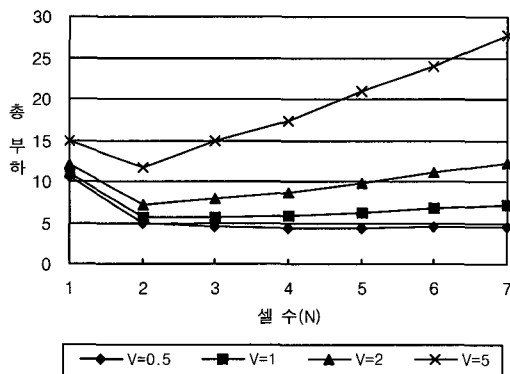


[그림 10] q 의 변화에 따른 총 부하(CMR=1)

[그림 10]에 q 값의 변화에 따른 총 부하를 나타내었다. q 값이 작아질수록, 페이징 순서를 조절하여 페이징 부하를 줄일 수가 있으며, 위치등록 부

하 역시 줄어들어, 총 부하가 q 가 1/24일 때 가장 적게 나타난다. 또한, q 값이 작아질수록 총 부하를 최소로 하는 N 은 점차 감소하는 추세를 나타내는데, q 가 1/6일 때는 N 이 4이던 것이 q 가 1/24일 때는 N 이 2일 때 부하가 최소가 됨을 알 수 있다. 이는 다른 영역으로 이동할 확률이 감소하면 위치등록 부하가 줄어들기 때문에, 위치등록 부하보다 페이징 부하에 의해 총 부하가 영향을 받게 되기 때문이다.

[그림 11]은 $q=1/12$ 일 때 1회 페이징 부하 V 가 변화하는 경우의 총 부하를 나타낸 것이다. V 가 0.5일 때는 N 이 4일 때 총 부하가 최소가 되며, V 가 커지면서 총 부하를 최소로 하는 N 이 점차 감소하여, V 가 1일 때는 N 이 2, 3일 때 총 부하가 최소가 되며 V 가 2보다 커지면서 N 이 2일 때 총 부하가 최소가 된다. 즉, 페이징 부하가 커질수록 총 부하를 최소로 하는 영역의 크기는 작아지는 것을 알 수 있는데, 이는 셀당 페이징 부하 V 가 증가함에 따라 총 부하에서 페이징 부하의 비중이 커지게 되므로, 총 부하를 최소로 하는 위치영역내 셀의 수 N 은 작아지기 때문이다. 일반적으로 총 부하에서 페이징 부하의 비중이 커지면 총 부하를 최소로 하는 위치영역내 셀의 수 N 은 작아지고 위치등록 부하의 비중이 커지면 총 부하를 최소로 하는 위치영역내 셀의 수 N 은 커지는 경향을 갖는다.

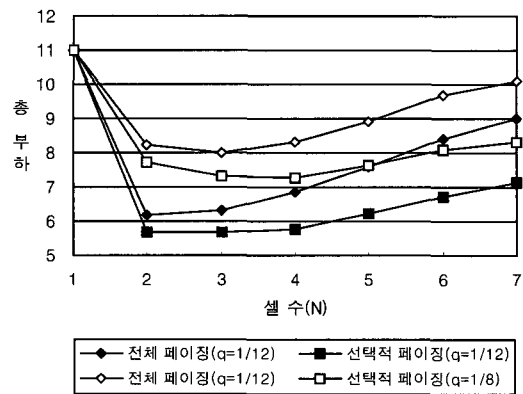


[그림 11] V 의 변화에 따른 총 부하(CMR=1, $q=1/12$)

[그림 12]는 CMR이 1일 때 전체 페이징을 수행

했을 때의 총 부하와 선택적 페이징을 수행했을 때의 총 부하를 $q=1/8$ 인 경우와 $q=1/12$ 인 경우에 대하여 비교한 것이다. 그림에서 q 값에 관계없이 2단계 선택적 페이징을 수행할 때의 총 부하가 항상 전체 페이징을 할 때의 총 부하보다 매우 적게 나타나며 N 이 커질수록 이러한 선택적 페이징의 효과가 커짐을 알 수 있다. 또한 그림에서 $q=1/8$ 인 경우 전체 페이징을 수행할 때는 총 부하를 최소로 하는 N 의 값이 3인 반면, 선택적 페이징을 수행하는 경우는 4가 되어 페이징 방법에 따라 최적 위치영역의 크기가 영향을 받음을 알 수 있다. 반면에 $q=1/12$ 인 경우에는 $q=1/8$ 인 경우에 비하여 총 부하 중 위치등록 부하의 비중이 감소하고 상대적으로 페이징 부하의 비중이 증가하므로 선택적 페이징을 이용하더라도 $N=2, N=3$ 에서 총 부하가 최소가 됨을 알 수 있다. 일반적으로 총 부하 중 상대적으로 페이징 부하의 비중이 증가하면 총 부하를 최소로 하는 셀 수 N 은 감소하게 된다.

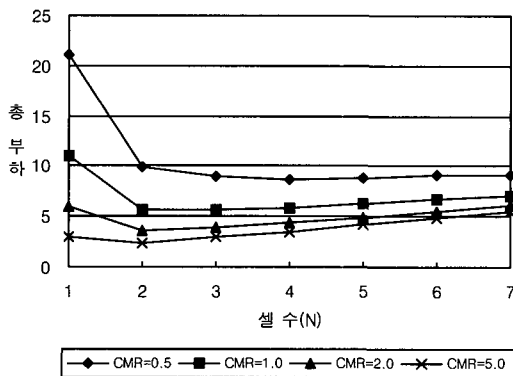
그림의 $q=1/8$ 인 경우에서 알 수 있듯이 2단계 선택적 페이징이 가능할 경우, 전체 페이징에 비해서 페이징 부하가 상당부분 감소되며, 그 효과가 최적 위치영역의 크기에도 영향을 미칠 수 있으므로 선택적 페이징의 구현 가능성을 적극 고려할 필요가 있다.



[그림 12] 선택적 페이징의 효과(CMR=1)

[그림 13]은 $q=1/12$ 일 때 CMR의 변화에 따른 총 부하를 나타낸 것이다. 그림에서 보면 CMR이

0.5인 경우 N 이 4일 때 총 부하가 최소값을 나타내며, CMR이 1인 경우 N 이 2, 3일 때 총 부하가 최소값을 나타낸다. 또한 CMR이 2와 5인 경우 N 이 2일 때 총 부하가 최소값을 가짐을 알 수 있다. 이는 CMR이 커져 호 도착율이 증가하면 페이징이 자주 발생하게 되어 총 부하에서 페이징 부하의 역할이 커지게 되므로, 최소값을 갖는 N 은 작아지기 때문이다.



[그림 13] CMR의 변화에 따른 총 부하($q = 1/12$)

6. 결 론

본 연구에서는 영역기준 위치등록에 대한 영역의 최적 크기를 구하기 위해서 셀(N) 단위의 분석 모형을 제시하였다. 또한, 위치영역의 경계간 이동이 적은 영역기준 위치등록의 특성을 반영한 새로운 이동성 모형을 구축하고 이를 2단계 선택적 페이징의 페이징 순서에 반영하였다.

제시한 모형을 이용하여 다양한 시스템 환경에 대하여 성능을 분석한 결과에 따르면, 총 부하를 최소로 하는 N 의 값은 대부분의 경우에 2~4 사이에 존재하여, 따라서 이전의 링 단위 위치영역 환경에서의 최소 부하를 갖는 환경($D = 2, N = 7$)보다 더 작은 부하를 갖게 됨을 알 수 있었다. 일반적으로 이동국이 다른 위치영역으로 이동할 확률이 작아질수록, 위치등록 부하에 대한 페이징 부하가 작아질수록, 또한 CMR 값이 커질수록 부하를 최소로 하는 영역의 크기는 작아짐을 알 수 있었다.

또한 2단계 선택적 페이징이 가능할 경우, 전체 페이징에 비해서 페이징 부하가 상당 부분 감소되며, 위치영역의 크기가 큰 경우에는 그 효과가 최적 위치영역의 크기에도 영향을 미칠 수 있으므로 선택적 페이징의 구현 가능성을 적극 고려할 필요가 있다.

본 연구에서는 영역기준 위치등록이 대부분의 이동통신망에서 단일영역 위치등록으로 구현하고 있음을 감안하여 $T_z = 1$ 인 경우만 고려하였으나 추후 $T_z > 1$ 인 다중영역 위치등록에 대해서도 정확한 모형화 및 성능 평가를 수행할 필요가 있다. 또한 제시하는 모형의 일반화를 위하여 이동국이 어느 위치영역으로 이동하느냐에 따라 이동확률을 달리 부여하는 경우를 고려할 필요가 있으며 추후 이러한 연구를 진행할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] 정호연, 백장현, "IMT-2000 망에서 영역기준 위치등록과 선택적 페이징의 성능 분석", 『Telecommunications Review』, 제12권, 제4호(2002).
- [2] 백장현, 이창훈, "위치등록 방법의 성능분석: 영역기준 위치등록과 거리기준 위치등록", 『대한산업공학회지』, 제23권, 제2호(1997), pp.385-402.
- [3] 유병한, 최대우, 백장현, "IMT-2000망에서 거리기준 위치등록 및 선택적 페이징의 성능분석", 『한국경영과학회지』, 제26권, 제3호(2001), pp.53-63.
- [4] Baek, J.H., Ryu, B.H., Lim, S.K. and Kim, K.S., "Mobility Model and Performance Analysis of Zone-Based Registration in CDMA Mobile Communication System," 『Telecommunication System』, Vol.14, No.1 (2000), pp.13-19.
- [5] Baek, J.H. and Ryu, B.H., "An Improved Movement-Based Location Update and Selective Paging for PCS Networks," 『IEICE』

- Tr. on Communications*, Vol.E83-B, No.7 (2000), pp.1509-1516.
- [6] Colombo, G., "Mobility Control Load in future Personal Communication Networks," *Proc. IEEE 1993 Int. Conf. on Universal Personal Communications*, (1993), pp.113-117.
- [7] Josep S.M. Ho and Ian F. Akyildiz, "Mobile User Location Update and Paging under Delay Constraints," *Wireless Network*, Vol. 1(1995), pp.96-100.
- [8] Lee, J.M. Kwon, B.S. and Maeng, S.R., "Call Arrival History-Based Strategy : Adaptive Location Tracking in Personal Communication Networks," *IEICE Tr. on Communications*, Vol.E83-B, No.10(2000), pp.2376-2385.
- [9] Li, J., Kameda, H. and Li, K., "Optimal Dynamic Mobility Management for PCS Networks," *IEEE/ACM Tr. on Networking*, Vol.8, No.3(2000), pp.319-327.
- [10] Kim, S.J. and Lee, C.Y., "Modeling and Analysis of the Dynamic Location Registration and Paging in Microcellular Systems," *IEEE Tr. on Vehicular Technology*, Vol.45, No.1(1996).
- [11] Xie, H., Tabbane, S. and Goodman, D.J., "Dynamic Location Area Management and Performance Analysis," *Proc. IEEE 1993 Vehicular Technology Conference*, pp.536-539.