

## 시간에 따른 인구유동/호 발생의 변화를 고려한 이동통신 네트워크의 위치영역 설계

홍정식\* · 장재성\*\* · 김지표\* · 이창훈\*\*\* · 이진승\*\*\*\*

### Location Area Design of a Cellular Network with Time-dependent Mobile flow and Call Arrival Rate

Jung-Sik Hong\* · Jae-Song Jang\*\* · Ji-Pyo Kim\* ·  
Chang-Hoon Lie\*\*\* · Jin-Seung Lee\*\*\*\*

#### ■ Abstract ■

Design of location area(LA) in a cellular network is to partition the network into clusters of cells so as to minimize the cost of location updating and paging. Most research works dealing with the LA design problem assume that the call arrival rate and mobile flow rate are fixed parameters which can be estimated independently. In this aspect, most problems addressed so far are deterministic LA design problems(DLADP), known to be NP hard. The mobile flow and call arrival rate are, however, varying with time and should be treated simultaneously because the call arrival rate in a cell during a day is influenced by the change of a population size of the cell. This paper presents a new model on LA design problems considering the time-dependent call arrival and mobile flow rate. The new model becomes a stochastic LA design problem(SLADP) because it takes into account the possibility of paging waiting and blocking caused by the changing call arrival rate and finite paging capacity. In order to obtain the optimal solution of the LA design problem, the SLADP is transformed into the DLADP by introducing the utilization factor of paging channels and the problem is solved iteratively until the required paging quality is satisfied. Finally, an illustrative example reflecting the metropolitan area, Seoul, is provided and the optimal partitions of a cell structure are presented.

Keyword : Cellular Network, Location Area Design, Paging Blocking, Paging Waiting

논문접수일 : 2005년 1월 15일    논문게재확정일 : 2005년 7월 25일

\* 서울산업대학교 산업정보시스템공학과

\*\* SK 텔레콤

\*\*\* 서울대학교 산업공학과

\*\*\*\* LG CNS

## 1. 서론

이동통신 네트워크에서 기지국(base station ; 이후 BS)은 유선으로 전송된 메시지를 무선파로 변조하여 가입자에게 제공하는 역할을 한다. 셀(cell)은 한 기지국이 담당하는 영역이다. 위치영역(location Area)은 페이징과 관련되어 이동통신 가입자(mobile user ; 이후 MU)의 위치관리를 위한 기본 단위이며, 하나 이상의 셀로 구성된다. 페이징이란 MU에게 통화요청 혹은 호 발생시, 통화를 연결할 기지국을 선정하기 위해 MU가 현재 위치한 셀을 찾는 과정으로, 현 가입자가 위치한 위치영역 내 모든 BS에서 페이징 메시지를 발송하여 응답을 받는 과정으로 실시된다. BS의 상위 단계인 MSC(mobile switch center)는 HLR(home location register), VLR(visitor location register) 두 데이터베이스를 보유하고 있다. HLR은 해당 MSC에 가입된 MU의 모든 정보를 수록한 기본 데이터베이스이며, VLR은 MSC에 할당된 위치영역에 위치한 MU에 대한 정보를 일시적으로 저장한 데이터베이스이다. 따라서 MU가 위치영역의 경계를 이동할 경우, MU가 등록된 MSC의 HLR 및 이동 전/후 MSC의 VLR에 저장되어 있는 위치영역에 대한 정보를 새롭게 갱신해야 하며 이 과정을 위치등록(location update)이라 한다.

위치등록은 유선 네트워크의 트래픽 유발 및 데이터베이스 수정에 대한 비용을 초래한다. 이때, 한 위치영역에 포함된 셀의 수가 많으면, MSC에서는 해당 BS가 소속된 위치영역의 모든 셀에 도착하는 호에 대해 페이징을 실시하므로 페이징 비용은 증가하지만, 위치영역을 변경하는 횟수가 줄어들어 따라 위치등록 비용은 감소한다. 즉, 위치영역의 크기에 따라 페이징 비용과 위치등록 비용은 상쇄(trade-off) 관계를 갖는다. 현재 MU에 따라 고유하게 위치영역을 지정하고, 선택적 페이징을 실시하는 등의 동적 위치관리 기법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있지만, 기술개발의 한계, 개별 데이터베이스 필요, 단말기 전력 과다 소모, 복잡한 계산

과정 필요 등의 한계로 인해 실제 시스템에서는 고정된 위치영역과 일괄 페이징 방식을 채택하고 있다. 이 경우 위치영역은 설계과정에서 결정된다.

위치영역의 설계과정은 전체 위치등록 및 페이징 비용을 최소화 하도록 다수의 셀로 구성된 네트워크를 위치영역으로 분리하는 과정이다. 이는 그래프 이론 관점에서 보면 일종의 그래프 분리(graph partitioning) 문제가 된다[9]. 그래프 분리 문제는 NP hard 이므로 최적의 위치영역을 결정하기 위한 다양한 경험적 방식이 연구되었다.

Gondim[12], Demestichas[8], Saraydar[16] 등은 위치영역 설계를 위해 위치등록 및 페이징 비용의 합인 위치관리 비용을 최소화 하도록 네트워크를 분리하는 경험적 방식을 제안하였다. 이와 같은 방식은 위치관리 비용을 최소로 하는 위치영역을 찾을 수 있지만, 페이징 및 위치등록 비용의 정확한 정량화의 어려움, 시스템 사양 및 자원의 한계를 고려하지 못한다는 한계를 가진다. 즉, 최대 페이징 용량은 한계가 있기 때문에 이의 방식으로 위치영역을 설계할 경우, BS에서 페이징 용량을 초과하는 결과를 초래할 수 있다.

실제 위치등록은 서로 떨어진 데이터베이스를 갱신하는 과정이므로, 메시지를 발송하는 페이징에 비해 비용이 크다. 이런 면에서 다른 접근 방식은 BS에서 처리할 수 있는 페이징의 용량을 제약사항으로 두고, 용량을 넘지 않는 선에서 총 위치등록의 수를 최소화 하는 위치영역 설계 방식이다. 이에 대한 방법론에 대한 연구는 Plehn[15], Macario[13], Demirkol[9], Ali[3], Bejerano[5] 등에 의해 연구되어왔다.

이들 연구의 가장 근본적인 문제점은 위치등록과 페이징을 발생시키는 기본적인 두 모수 즉, MU의 셀간 이동율과 호 발생율을 독립적이고 고정된 상수로 설정한 가정에 있다. 하지만 실제 네트워크 상에서 MU의 셀간 이동량과 호 발생량은 시간에 따라 빈도가 변화한다. 예를 들어, 하루 중 호 발생량은 오후, 저녁 시간대가 새벽 시간대에 비해 현저히 높으며, 이동량은 출퇴근 시간대에 증가한다. 페이

정은 호의 요청이 발생하는 동시에 실시되며, 페이징 용량은 단위 시간에 처리할 수 있는 페이징의 양이다. 만약 셀의 호 발생량을 시간적 변화에 상관 없이 기존 연구에서와 같이 상수를 사용한다면, 호 발생이 일정한 빈도로 발생하지 않는 이상 높은 빈도의 호 발생률을 가지는 시간대에 요청되는 페이징 수는 페이징 용량을 초과하게 되고, 페이징 실패를 초래하게 된다. 이는 곧 서비스 품질의 저하를 초래한다.

또한 기존 연구에서는 위치영역 설계 시, 비용의 최소화만을 고려하며 위치영역 설계 결과 발생할 수 있는 서비스의 품질에 관한 관점을 고려하지 않는다. 실제 이동통신에서는 서비스 품질은 고객의 만족도와 직결되는 문제이므로, 서비스의 품질을 정의하고 일정 품질 이상을 만족시킬 수 있도록 설계되어야 한다.

본 논문에서는 첫째, 하루 중 변화하는 인구유동 및 호 발생의 시간에 따른 트래픽 변화와 추계적 성질을 모두 고려하여 최적의 위치영역을 설계하는 새로운 방식을 제안하였다. 둘째, 위치영역 설계 과정에서 서비스 품질의 개념을 도입하여, 항상 일정 이상의 안정된 품질을 제공하도록 위치영역을 정하는 것에 초점을 맞추었다. 마지막으로, 위치영역 설계에 필요한 데이터를 획득하기 위한 시뮬레이션 모델을 개발하였다.

2장에서는 위치영역 설계의 모형을 다룬다. 3장에서는 2장의 모형에 따라 구성된 문제의 최적해를 도출하기 위한 새로운 방법을 제시하고, 이때 필요한 입력사항에 대해 자세히 설명한다. 4장에서는 서울시를 바탕으로 모의실험 실시 결과를 제시한다.

## 2. 모 델

### 2.1 용어 정의

$x_{ii}$  : 셀과 위치영역의 관계에 대한 지표, 셀  $i$ 가 위치영역  $l$ 에 포함되면  $x_{ii}=1$ , 그외  $x_{ii}=0$   
 $d_{ij}$  : 셀  $i$ 와  $j$ 가 같은 위치영역에 있으면  $d_{ij}=0$ ,

그외  $d_{ij}=1$   
 $n$  : 시간대의 갯수  
 $c$  : 채널 가동률 상한  
 $h_{ij}$  : 셀  $i$ 에서 셀  $j$ 로 이동하는 인구 이동률  
 $H_{ijk}^m$  : 하루를  $n$ 개의 시간대로 분리할 때,  $k$ 번째 시간대에 셀  $i$ 에서 셀  $j$ 로의  $MU$ 의 총 이동량  
 $p_i$  : 셀  $i$ 의 페이징 서비스율  
 $P_{ik}^n$  : 하루를  $n$ 개의 시간대로 분리할 때,  $k$ 번째 시간대에  $i$ 번 셀에서 수행가능한 최대 페이징 용량  
 $\lambda_i$  : 셀  $i$ 에서의 호 발생률  
 $\lambda_i^*$  : 셀  $i$ 에서의 페이징 발생률  
 $\Lambda_{ik}^n$  : 하루를  $n$ 개의 시간대로 분리할 때,  $k$ 번째 시간대에  $i$ 번 셀에 발생하는 총 호 발생량  
 $\Lambda_{ik}^{*n}$  : 하루를  $n$ 개의 시간대로 분리할 때,  $k$ 번째 시간대에  $i$ 번 셀에 발생하는 총 페이징 발생량  
 $m_i$  :  $i$ 번 셀의 가용한 최대 페이징 채널 수  
 $\tau$  : 단위 페이징 시간  
 $t^n$  : 하루를  $n$ 개의 시간대로 분리할 때, 단위 시간대의 시간 길이  
 $S_i(t)$  :  $t$ 시간에서  $i$ 셀에 있는 총 가입자 수의 기대값  
 $a(t)$  : 가입자 1명의  $t$ 시간 때 호 발생률  
 $PBR(Paging Blocking Rate)$  : 페이징 실패율; 즉, 전체 페이징 요청 중 대기 버퍼의 부족으로 거부된(*blocked*) 페이징의 비율  
 $PWR(Paging Waiting Rate)$  : 페이징 대기율; 즉, 전체 페이징 요청 중 도착 후 대기하는 비율  
 $q_1, q_2$  : 기준페이징 실패율, 대기율

### 2.2 문제의 모형화

기존 위치영역 설계는 모수가 일정하다는 것을 가정하였다. 따라서 셀  $i$ 에서의 총 페이징 발생률

이 셀  $i$ 의 페이징 용량을 초과하지 않도록 위치등록 횟수를 최소화 하는 위치영역을 정하는 문제로, 이를 [15]에서는 다음과 같이 모형화 하였다.

$$\text{Minimize } \sum_{\forall i} \sum_{\forall j} d_{ij} h_{ij} \quad (1)$$

$$\text{sub. to. } \sum_{\forall i} x_{ii} = 1 (\text{for all } i, x_{ii} = 0, 1) \quad (2)$$

$$\lambda_i^* \leq p_i (\text{for all } i) \quad (3)$$

여기서  $\lambda_i^*$ 는 셀  $i$ 에서의 총 페이징 발생율로서 다음과 같이 표현된다[15].

$$\lambda_i^* = \lambda_i + \sum_{\forall j} (1 - d_{ij}) \lambda_j$$

즉, MU에 호가 도착하면, MU가 속한 위치영역내의 모든 셀에 페이징 메시지가 발생한다. 따라서  $\lambda_i^*$ 는 셀  $i$ 에서의 호 발생율과 셀  $i$ 와 동일한 위치영역에 속한 셀들의 호 발생률의 합이다.

이와 같은 문제는 모수의 시간에 따른 변화를 고려하지 않기 때문에, 페이징에 있어서 서비스 품질의 저하를 초래한다. 따라서 위치영역 설계에서 서비스 품질을 도입하면, 다음 조건을 만족시켜야 한다.

- (i) 위치등록 횟수를 최소화 한다.
- (ii) 시간에 따른 호 발생량의 변화에도 불구하고 일정한 수준 이상으로 페이징 품질을 만족시켜야 한다.

기존 모델의 목적 함수식 (1)을 보자. 여기서  $h_{ij}$ 가 셀  $i$ 와 셀  $j$ 간 MU의 이동율이고  $i$ 와  $j$ 가 서로 다른 LA에 속할 때  $d_{ij}$ 가 1값을 취하므로, 식 (1)은 전체 위치등록 횟수의 최소화를 나타낸다. 따라서 조건 (i)은 기존 모델의 목적함수식으로 해결된다. 조건 (ii)를 살펴보자. 호발생량과 셀간 이동량은 하루를 주기로 반복되므로, 하루 동안 페이징 품질이 만족되는지를 살펴보면 된다. 기존 모델은 하루를 단위로 평균 호발생율과 셀간 이동율을 기본 모수로 하여 페이징 용량 역시 하나의 제약식으로 표시된다. 즉, 하루를 단위로 평균 페이징 요구량이 일정 수준 이하로 제약하는 것이다. 그런데 이

경우 평균적으로는 페이징 용량을 초과하지 않을 지라도 하루라는 시간의 특정 시간대에 호발생이 몰려서 페이징 용량을 초과할 수가 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서 하루를 몇 개의 시간대로 나누어서 제약식을 추가한다. 하루를 몇 개의 시간대로 나누는 작업을 위해 변수  $n$ 을 도입한다.  $n$ 이 1인 경우는 기존의 모델이고  $n$ 이 2인 경우는 하루를 오전, 오후로 나누어 각각의 평균 호발생량에 따른 페이징 요구횟수에 제약을 두는 것이다.  $n$ 이 증가할수록 페이징 용량 관련 제약식의 개수는 많아지며 페이징 품질은 좋아질 것이다. 이를 모형화 하면 다음과 같다.

$$\text{Minimize } \sum_{\forall i} \sum_{\forall j} \sum_{k=1}^n d_{ij} H_{ijk}^n \quad (4)$$

$$\text{sub. to. } \sum_{\forall i} x_{ii} = 1 (\text{for all } i) \quad (5)$$

$$E[\Lambda_{ik}^{*n}] \leq P_{ik}^n (\text{for all } i, k) \quad (6)$$

$$PBR \leq q_1, PWR \leq q_2 \quad (7)$$

$\Lambda_{ik}^{*n}$ 은  $\lambda_i^*$ 와 마찬가지로 다음과 같이 표현된다.

$$\Lambda_{ik}^{*n} = \Lambda_{ik}^{*n} + \sum_{\forall j} (1 - d_{ij}) \Lambda_{jk}^{*n} \quad (8)$$

이 때, 결정변수는  $x_{ik}, n$ 이 된다. PWR, PBR은 서비스 품질 지표인 페이징 대기율과 실패율로서 자세한 내용은 3장에서 설명한다. 제약식 (5)은 모든 셀은 반드시 하나의 위치영역에 포함됨을 의미하며, 제약식 (6)은 모든 시간대에 기대 페이징 요청은 페이징 능력을 초과하지 않음을, 제약식 (7)은 기존 서비스 품질을 만족시켜야 함을 의미한다. 그런데 제약식 (7)이 있는 상태에서는 기존 LA 디자인 문제의 최적화 기법을 적용할 수는 없다. 따라서, 제약식 (6)과 제약식 (7)을 기존 LA 디자인 문제로 변형시키기 위해서 페이징 채널의 가동율  $c$ 를 도입한다. 즉, 페이징 채널의 용량  $P_{ik}^n$ 에 근접한 상태로 호 발생이 이루어지면 제약식 (7)이 만족되기 어려우므로,  $P_{ik}^n$ 의 가동율을 한 단계씩 낮추어가며 제약식 (7)의 만족 여부를 확인하게 된다. 이에 따라 제약식 (6)은  $E[\Lambda_{ik}^{*n}] \leq cP_{ik}^n$ 으로 수정되고, 기

준 서비스 품질을 만족시킬 수 있는 적절한  $c$  값을 결정하는 문제가 남는다.

이와 같은 방식에 의해 위치영역 설계를 완수하기 위해 결정해야 할 변수는 가동률 상한  $c$ , 시간대 수  $n$ , 이 결과 결정되는 위치영역 분리 결과  $x_{ij}$ 가 된다. 이를 구하는 경험적 방식은 3장에서 제안한다.

### 3. 위치영역 설계 방식

#### 3.1 입력사항 및 서비스 품질 측정치

위치영역 설계에 필요한 입력사항은 크게 셀 구조, 페이징 용량, 셀 당 호 발생량 및 이동량 세 가지이다.

##### 3.1.1 셀 구조

기지국의 위치, 기지국이 담당하는 영역, 이웃한 셀 등을 포함한 네트워크이다. 네트워크의 각각 노드(node)는 셀에, 호(arc)는 셀 간의 인접성/이동가능성에 해당한다. 일반적으로 이동통신 네트워크는 4각형, 6각형 구조를 사용하지만 본 논문에서는 BS의 위치에 기반한 그래프 형태의 셀 구조를 채택한다.

##### 3.1.2 페이징 용량

페이징 용량은 기지국이 사용하고 있는 시스템의 종류, 하드웨어의 사양에 따라 상이하다. CDMA IS-95 표준을 기준으로 할 때, 페이징을 실시하는 페이징 채널은 한 기지국 당 최대 7개까지 운영 가능하며, 데이터 처리율은 2400, 4800, 9600bps로 사용기기에 따라 다르다. 9600bps를 기준으로, 한 채널에서 1초에 최대 180개의 페이징이 가능하다. 단말기의 응답을 전송하는 접속채널(Access channel)은 최대 32개까지 가변적으로 운영하며, 4800bps로 고정되어 있다[11].

이동통신 환경에서 페이징 능력은 데이터베이스 검색 능력, 유선 네트워크 트래픽 상황, 기지국의 코드화 및 변조 능력, 순방향/역방향의 채널 수, 대역폭 및 단말기의 반응 속도 등을 복합적으로 고려

해야 한다. MSC 간의 광역 네트워크의 트래픽은 MSC의 하위 단위인 위치영역과 직접적 연관이 없으므로, 위치영역 설계에서 페이징 용량은 기지국 단위의 페이징 능력만을 고려한다.

기지국 단위에서 페이징은 페이징 채널을 통한 페이징, 단말기에서의 응답, 응답 여부의 단말기로의 응신, 응답 메시지 결과의 전달의 과정을 통해 실시된다. 페이징 채널 및 접근 채널(Access channel) 내에서는 코드화, 심벌 반복, 블록 인터리빙, 변조의 세부 과정을 거친다[6]. 이 때, 페이징을 지체시키는 병목구간은 페이징 채널에서의 작업 능력으로 알려져 있다[15]. 따라서 페이징 용량은 페이징 채널의 작업 능력만을 고려한다. BS에서 최대 가능 페이징 채널의 수를  $m$ , 한 채널에서 한 번의 페이징을 하는데 필요한 시간을  $\tau$ 라고 할 때에,  $t^n$ 의 시간에 가능한 총 페이징 횟수는  $mt^n/\tau$ 가 된다.

##### 3.1.3 호 발생량 및 셀 간 이동량

일정 시간대에 셀에서 발생하는 총 호의 발생량 및 셀 사이를 이동하는 총 이동량을 의미한다. 정확한 위치영역 설계를 위해 설계에 사용되는 호 발생량 및 이동량은 시간에 따른 기대값을 사용하며, 품질 측정은 실제 호 발생/이동의 결과를 사용해야 한다. 호 발생량은 시간대의 총 MU의 수 및 MU의 호 발생률에 영향을 받으며, 개별 MU의 호 발생은 시간대별로 주어지는 호 발생율을 모수로 하는 포아송 분포를 가정한다. 이동량은 MU의 이동 패턴 및 셀의 지역적 특성에 영향을 받으며, 특정 셀  $i$ 에서 특정 셀  $j$ 로의 이동은 시간대별로 주어지는 이동율을 모수로 하는 포아송 분포를 가정한다. 호 발생률은 MU 개인별로 서로 독립적이고, 시간에 대해서만 영향을 받는다고 가정하면,  $t$ 시간에 셀  $i$ 에서 발생하는 기대 호 발생률은  $t$ 시간에 셀 내 MU의 수와 개인 당 호 발생률에 비례한다. 즉,  $\lambda_i(t) = S_i(t)a(t)$ 이며, 시간대를  $n$ 개로 분리할 때  $k$ 번째 시간대에 발생할 수 있는 총 호 발생량은  $\lambda_{ik}^n = \int_{(k-1)t}^{kt} S_i(x)a(x)dx$ 가 된다.

이와 같은 정보는 BS를 통한 자료수집 또는 시물레이션을 통해 획득 가능하다. 시스템을 처음 도입하는 단계 또는 기존 시스템을 수정하는 경우에 각 셀에서 발생하는 호 발생률 및 셀 간 이동량에 대한 정보는 별도의 높은 정보수집 비용을 초래하며, 기존 BS가 설치되지 않을 경우 수집 자체가 불가능하다. 본 연구에서는 이에 대한 MU의 이동 및 호 발생을 예측하기 위한 가입자 분포 및 이동 패턴, 호 발생률을 고려한 교통모델(Traffic model)에 따른 시물레이션을 개발, 활용하였다(부록 참조).

### 3.1.4 서비스 품질 측정지표

페이징은 통화 연결 시 처음 실시하는 가장 기본적인 단계이므로, 높은 성공률 및 빠른 서비스 시간을 보장해야 한다. 따라서 서비스 품질 측정치로 페이징 대기비율, 페이징 성공률을 사용한다. 이에 대한 정확한 정의는 다음과 같다.

BS에서의 페이징 서비스 방식은 FCFS(First Come First Service)의 대기행렬로 볼 수 있다. 서비스 도착은 각 BS에 도착하는 페이징 요청이며, 각 위치영역에 도착하는 호의 도착과 같다. 서비스 시간은 한 채널에서 하나의 메시지를 처리하는데 필요한 시간이다. 서버 수는 한 BS에서 최대 가능한 채널의 수이며, 새로운 페이징 요청이 대기할 수 있는 버퍼의 공간이 없을 경우 메시지는 상실되고, 재요청된다.

이 대기모형에서 페이징을 요구하는 서비스의 도착과정은 포아송 과정으로 가정되나, 시간에 따라 페이징 요청률이 변화하고, 중도이탈 및 재요청까지 고려해야 하므로, 정확한 서비스 품질 측정을 위해 시물레이션을 이용한다.

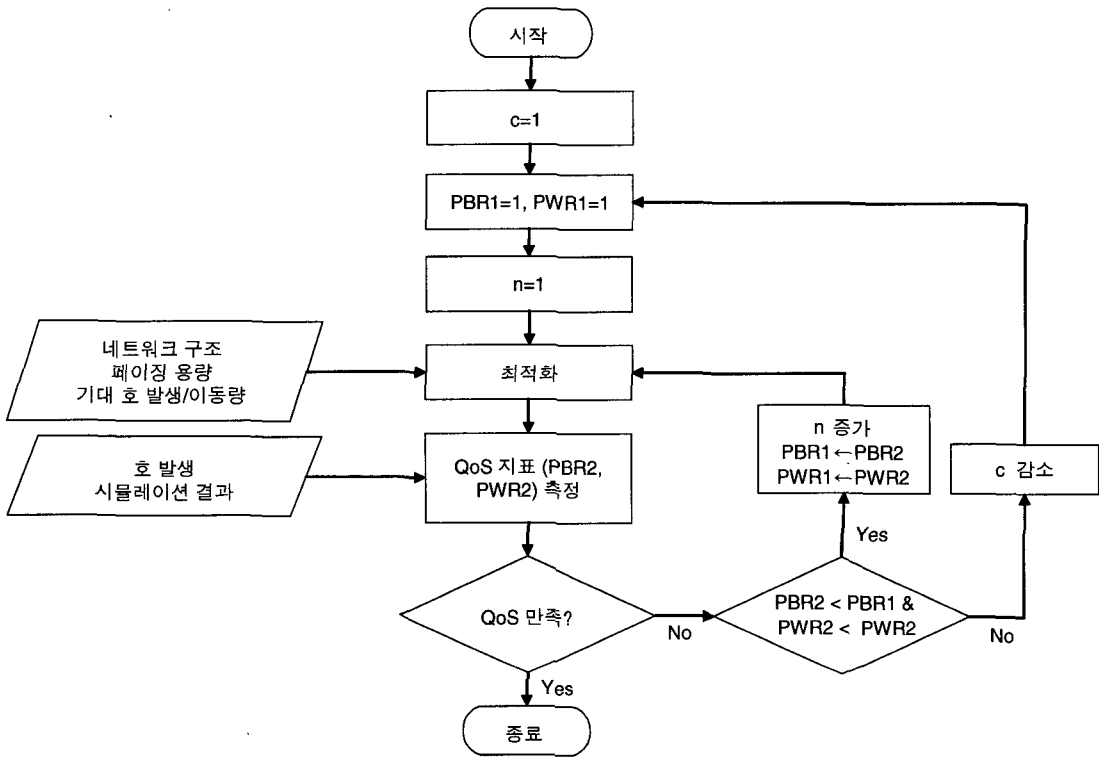
## 3.2 위치영역 설계 절차

안정된 서비스 품질을 만족시키는 위치영역 설계를 위해 2장에서 제시한 방식에서의 적절한 시간대의 개수 및 적정 채널 가동률의 상한을 결정해야 한다. [그림 1]은 이를 고려한 위치영역 설계 절차

차이다.

위치 영역을 설계하기 위해 식 (4)부터 식 (7)을 보자. 이 식에서  $H_{ik}^n$ 과  $E[A_{ik}^{*n}]$ 이 사용되므로 최적해를 구하기 위해서는 우선 시간대별로 셀  $i$ 에서의 총 호 발생량과 셀  $i$ 에서 셀  $j$ 로의 총 이동량이 필요하다. 이를 구하기 위해 표본 조사를 토대로 한 모수를 사용하여 시물레이션을 실시한다. 또한 최종적으로 얻어진 해가 식 (7)을 만족하는지 체크하기 위한 데이터가 필요하다. 따라서 위의 시물레이션에서 얻어진 데이터를 두 개의 그룹(그룹 A, 그룹 B)으로 나눈 후, 그룹 A는 시간대 별 기대 이동량 및 호 발생량을 결정하는 데, 그룹 B는 위치영역 설계 결과를 평가하는 데 사용한다. 그룹 A의 이동성 결과에 따라 각 셀의 각 시간대의 호 발생량 및 이동량의 기대값을 계산하며, 이 결과를 사용하여 네트워크 최적화 방식(3.3절 참조)으로 최적해를 구한다. 이 때, 결정된 위치영역에 따라, 그룹 B의 호 발생 결과를 적용시켜 실제 PBR, PWR을 측정하여 평균을 도출한다.

초기에 시간대  $n$ 은 1로, 가동률  $c$ 는 1로 고정시킨 후, 네트워크 최적화 방식을 사용하여 총 위치등록 횟수를 최소화 하는 위치영역을 도출한다. PBR1, PWR1은 최적화 이전의 서비스 품질로서, 첫 단계에서는 PBR1, PWR1을 1로 정한다. PBR2, PWR2는 최적화 결과의 서비스 품질을 의미한다. 이 결과의 위치영역 상태에서 그룹 B의 데이터를 이용 시물레이션을 통해 PBR2, PWR2를 측정한다. 이 때 기준 서비스 품질을 만족시키지 못할 경우, 기준 서비스 품질을 만족시킬 때 까지 시간대를 세분화 하며 반복하여 최적화를 실시한다. 이 때, 시간대를 세분화 하여도 기준 서비스 품질을 만족시키지 못하고, 서비스 품질에 대한 개선이 없는 경우(즉,  $PBR1 \leq PBR2$ ,  $PWR1 \leq PWR2$ )가 발생하면 표본에 과적합한 상태로 간주한다. 이때, 기준 PBR, PWR을 만족시키지 못할 경우, 가동률 상한  $c$ 를 감소시킨 후, 시간대  $n=1$ 부터 반복하여 시행한다. 이와 같은 과정을 반복하여 기준 서비스 품질을 만족시키는 위치영역이 도출되면 설계를 종료한다.



[그림 1] 위치영역 설계 절차

### 3.3 네트워크 최적화

위의 절차에서의 한 과정으로, 시간대의 수와 채널 가동률의 상한이 주어지고, 이에 따라 각 시간대 별 기대 호 발생량 및 이동량이 구해졌을 때, 위치 등록 비용을 최소화 하는 위치영역을 구하는 것은 네트워크 최적화 방식을 이용한다. 네트워크 최적화를 위한 수리계획은 다음과 같다.

$$\text{Minimize } \sum_{\forall i} \sum_{\forall j} \sum_{k=1}^n d_{ij} H_{ijk}^n \quad (9)$$

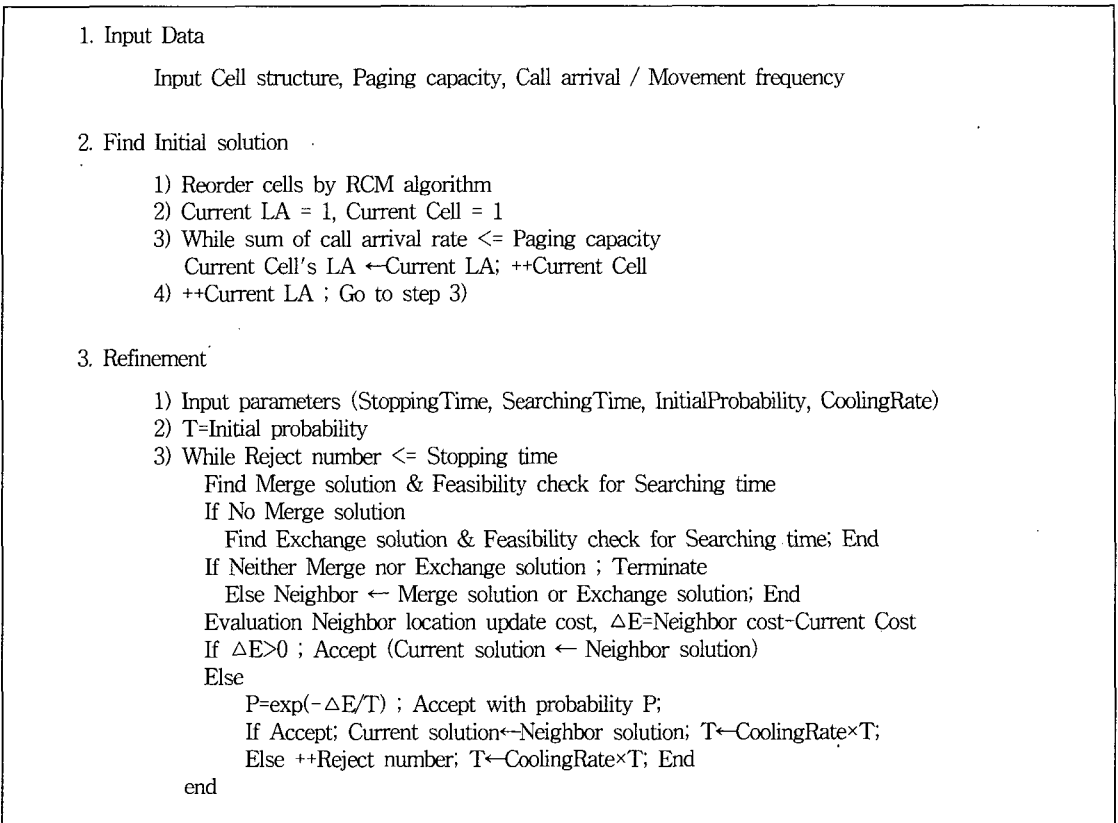
$$\text{sub. to. } \sum_{\forall i} x_{ii} = 1 \text{ (for all } i) \quad (10)$$

$$E[A_{ik}^*] \leq cP_{ik}^n \text{ (for all } i, k) \quad (11)$$

이때,  $n$  과  $c$  는 결정되어 있으므로, 결정변수는  $x_{ii}$  이 된다.  $A_{ik}^*$ ,  $d_{ij}$  는  $x_{ii}$  에 따라서 결정되므로, 결과적으로 비선형계획에 해당한다. 일반적으로 그

래프 분리 문제는 NP hard 문제이므로 지역 최적해를 찾는 경험적 방식을 사용한다. 본 연구에서는 Demirkol[9]의 방식을 개선한 SA(Simulated annealing) 방식을 채택한다. SA 방식은 최적해를 찾는 데 초기해에 결정적이지 않고 확률적으로 비개선해를 수용함으로써, 전역 최적해에 도달할 수 있도록 하는 장점이 있다. 최적해를 구하는 알고리즘은 [그림 2]와 같다.

합리적 초기해 지정을 위해 RCM 알고리즘(Reverse Cuthill McGee Algorithm[7])을 사용한다. 이 결과 2차원 상 지리적으로 가까운 셀이 1차원에서 상대적 가까운 위치에 있도록 셀의 순서가 정해지고, 위치영역에 순서에 따라 하나씩 셀을 포함시키면서, 위치영역 내의 셀의 총 페이징 발생량이 BS의 페이징 용량을 넘지 않도록 초기 위치영역을 할당한다. 이를 통해 얻어진 초기해는 SA 방식을 통



[그림 2] 최적해 도출 알고리즘

해 해를 개선시킨다.

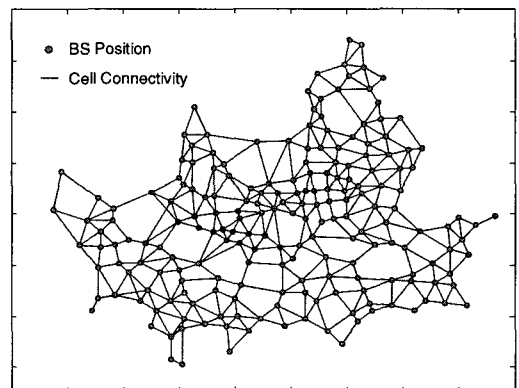
균 가입자의 수는 약 2500명으로 설정하고, 셀 지역에 거주하는 가입자 수는 주민등록 인구와 비례하게 할당하였다.

## 4. 실험 및 결과

### 4.1 실험 대상

실험은 서울시를 기준으로 한 축소된 셀 구조를 대상으로 하고, 구체적 네트워크 구조는 [그림 3]과 같다. 이동 및 호 발생에 대한 데이터는 시뮬레이션에 의해 발생시켰다. 전체 네트워크는 201개의 셀로 구성되어 있다. 닫힌 네트워크(closed-network)를 가정하므로, 외부 가입자의 유입이나 현 가입자의 유출현상은 제외한다.

셀 당 평균 가입자 수는 1만명이고, 실제 시뮬레이션은 1/4 단위로 축소하여 사용한다. 즉, 셀당 평



[그림 3] 셀 구조도



페이징 용량은 CDMA IS-95 사양을 기준으로 1/4의 축소를 고려하여 최대 1초당 45페이징을, BS 당 채널 수는 최대 7개로 한다. 페이징 채널은 페이징 기능 외에 셀 내 단말기에게 시스템 제어를 위한 메시지를 전달하는 등의 기능을 수행한다. 따라서 페이징 용량 설정 및 서비스 품질 측정 시 페이징 채널에서 수행하는 서비스 중 페이징의 비율을 고려해야 한다. 본 실험에선 페이징 대 기타 기능의 비율을 1:9로 정했다. 즉 페이징 채널에서 처리하는 전체 메시지 중, 페이징 메시지는 1/10로 한다.

#### 4.2 실험 결과

최적화 과정은 시간대를 세부적으로 구분하면서 이에 대한 서비스 품질을 측정 한 후, 목적 서비스 품질이 보장될 때 까지 반복하여 최적화를 실시한다. 서비스 품질은 페이징 대기확률 및 실패확률이

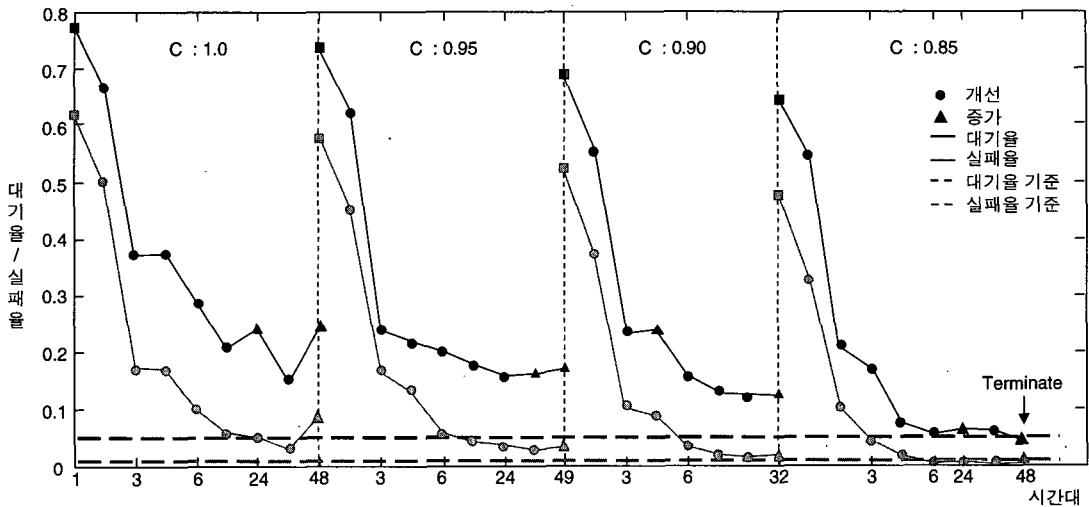
다. 이것은 별도의 호 발생 시뮬레이션 결과를 사용하여 측정하며, 페이징 채널의 버퍼 크기는 1초 당 처리할 수 있는 용량과 같은 32개로 한다. 버퍼의 대기 공간이 부족할 경우, 페이징은 실패하게 되며, 60%의 확률로 2~4초 뒤에 재요청함을 가정하였다.

최적화 과정에서 초기 예상 가동률을 1로 정하며, 대기/실패 확률의 증가로 인해, 목적 서비스 품질을 만족시키지 못할 경우 c값을 0.05씩 감소시킨다. 기준 서비스 품질은 대기확률 5%, 실패확률 0.5%를 모두 만족시키는 것으로 하며, 최대 분리 시간대는 하루를 240개(6분)까지 고려한다.

총 비용은 단위 위치등록 대 페이징 비용을 100:1로 한 결과이다. 시간대를 세분할수록, 시간대별 호 발생률의 변동을 모두 고려하여 제약식이 증가하기 때문에, 위치영역의 수는 증가하지만, PWR, PBR은 감소한다. 위치영역의 크기가 감소하면, 한 셀에서 요청되는 페이징의 수가 감소하기 때문에,

〈표 1〉 시간대의 분리에 따른 총 비용 및 품질 변화

시간대	위치영역수	c = 1.0			c = 0.95			
		총비용	대기확률	실패율	위치영역수	총비용	대기확률	실패율
1	3	2.841e+010	0.7726	0.6192	3	2.687e+010	0.7361	0.5777
2	3	2.571e+010	0.6666	0.5019	3	2.555e+010	0.6202	0.4512
3	4	2.301e+010	0.3742	0.1702	4	2.226e+010	0.2365	0.1685
4	4	2.301e+010	0.3740	0.1697	4	2.227e+010	0.2128	0.1323
6	4	2.236e+010	0.2871	0.1016	4	2.201e+010	0.1998	0.0555
12	4	2.207e+010	0.2102	0.0578	4	2.186e+010	0.1779	0.0419
24	4	2.186e+010	0.2385	0.0491	4	2.191e+010	0.1570	0.0354
32	4	2.201e+010	0.1511	0.0321	4	2.199e+010	0.1648	0.0287
48	4	2.179e+010	0.2410	0.0822	5	2.168e+010	0.1695	0.0325
		c = 0.90			c = 0.85			
1	3	2.598e+010	0.6878	0.5241	3	2.549e+010	0.6432	0.476
2	3	2.572e+010	0.5544	0.3740	3	2.609e+010	0.5453	0.324
3	4	2.215e+010	0.2346	0.1042	4	2.244e+010	0.2077	0.101
4	4	2.185e+010	0.2368	0.0859	5	2.182e+010	0.1677	0.041
6	4	2.191e+010	0.1568	0.0330	5	1.990e+010	0.0741	0.016
12	5	2.124e+010	0.1296	0.0189	5	1.884e+010	0.0551	0.004
24	5	2.085e+010	0.1190	0.0155	5	1.912e+010	0.0588	0.0035
32	5	2.085e+010	0.1234	0.0162	5	1.898e+010	0.0577	0.0037
48	5				5	1.851e+010	0.0435	0.0019

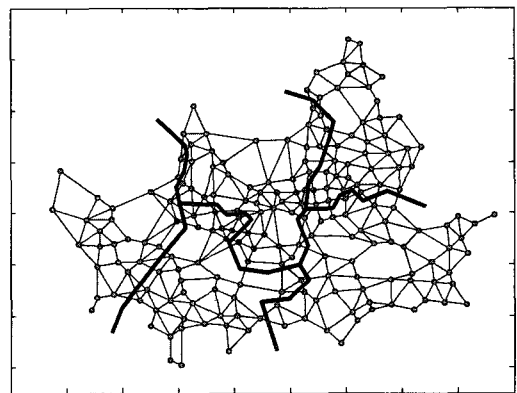


[그림 4] 시간대의 분리에 따른 총 비용 및 품질 변화

총 비용은 감소하게 된다. 가동률 1.0일 때, 위치영역이 포함하는 셀의 수가 많기 때문에, 페이징 요청이 증가한다. 따라서 PWR, PBR이 높아진다. PBR이 증가하면, 재요청 하는 페이징의 수가 증가하므로, 총 요청 페이징 수도 증가하게 된다. 가동률을 감소시킬수록, 최대 가능 페이징 용량보다 적은 페이징 용량을 제약조건으로 두기 때문에, 위치영역의 크기는 감소하며, 페이징 대기확률 및 실패확률 또한 감소하게 된다.

실험에서 가동률 1.0일 때, 시간대를 세분화하여 기준 품질(PBR 0.5%, PWR 5%)을 만족시키지 않는다. 시간대를 48개로 분리했을 경우, 대기확률 및 실패확률이 24개로 분리할 때보다 증가했다. 따라서 시간대 분리를 중단하고, 가동률을 0.95로 줄인다. 시간대 48개일 때 실패율이 증가한 결과가 발생하므로 가동률은 0.9로 한다. 이와 같은 방법으로 계속할 경우, 목적 대기율 및 실패율을 모두 만족시키는 경우는 가동률 0.85에 시간대를 48개로 분리하였을 경우이고, 이 때 위치영역 설계를 끝낸다. <표 1>에 c와 n값에 따른 총 비용과 PBR, 그리고 PWR의 변화가 나와 있다. 이 표에서 위치영역 수가 같아도 총 비용이 변하는 것은 같은 위치영역 개수라도 각 위치영역들을 구성하고 있는 셀이 변하기 때

문이다. 이를 그림으로 도시하면 [그림 4]와 같다. 최종적으로 결정된 위치영역은 [그림 5]와 같다.



[그림 5] 위치영역 설계 결과

## 5. 결 론

본 연구에서는 이동통신 네트워크의 트래픽 상태가 시간에 따라 변화하는 상황에서 페이징 관련 서비스 품질을 보장할 수 있는 합리적인 위치영역 설계 절차를 제시하였다. 네트워크 상 발생하는 트래픽에 대한 정보는 시뮬레이션을 통해 발생시키고,

이의 정보를 이용 위치영역 설계 시 고려해야 할 시간대의 개수를 정하였다.

본 연구에서 수정된 절차를 이론적 측면과 실제적 측면으로 나누어 기술하면 다음과 같다. 이론적 측면에서는 (1) 시간에 따른 네트워크의 호 발생 변화를 고려한 위치영역 설계에 대한 모형화를 제시했고 (2) 셀의 특성 및 시간에 따라 변화하는 호 발생과 경계 이동률을 예측하는 시뮬레이션 방식을 고안했으며 (3) 안정된 서비스 품질을 보장하며 위치관리 비용을 최소화하는 네트워크 최적화 문제의 해를 구하는 경험적 방식을 제안했다. 실제적 측면에서는 서울시를 대상으로 1/4로 축소된 시뮬레이션을 실시했고, 그 결과 5개의 위치영역으로 구성된 설계 결과를 결정할 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- [1] 대한전자공학회, 「CDMA 통신」, 청문각, 1998.
- [2] 윤영현, “이동통신 네트워크 트래픽 모델을 위한 도시지역 이동통신 트래픽 특성 분석”, 「정보통신학회 논문지」, 제10권, 제C호(2003), pp.471-477.
- [3] Ali, S.Z., “Design of Location Areas for Cellular Mobile Radio Networks,” *Vehicular Tech. Conf.*, Vol.3(2002), pp.1106-1110.
- [4] Arasan, V.T., M. Wermuth, and B.S. Srinivas, “Modeling of Stratified Urban Trip Distribution,” *Journal of Trans. Eng.*, Vol. 122, No.5(1996), pp.342-349.
- [5] Bejerano, B., N. Immorlica, J. Naor, and M. Smith, “Efficient Location Area Planning for Personal Communication System,” *International Conf. on Mobile Computation and Network Archive Proc.*, (2003), pp.109-121.
- [6] Boucher, N.J., *The Cellular Radio Handbook*, Quantum Publishing Inc., USA, 1995.
- [7] Cuthill, E. and J. McKee, “Reducing the Bandwidth of Sparse Symmetric Matrices,” *Proc. 24th Nat. Conf. Assoc. Comput. Mach.* (1969), pp.157-172.
- [8] Demestichas, P.P., “Efficient Location and Paging Area Planning in Future Cellular Systems,” *Wireless Personal Communications*, Vol.12(2000), pp.83-109.
- [9] Demirkol, I., C. Ersoy, M. Ufuk Caglayan, and K. Delic, “Location Area Planning in Cellular Networks Using Simulated Annealing,” *IEEE Inforcom 2001*, (2001), pp.13-20.
- [10] Duffus, L.E., A.S. Attahiru, and A.H. Afifi,, “The Reliability of Using Gravity Model for Forecasting Trip Distribution,” *Transp.*, Vol.14(1987), pp.175-192.
- [11] Garg, V.K., *IS-95 CDMA and CDMA 2000*, Prentice Hall, NJ, 2000.
- [12] Gondim, P.R.L., “Genetic Algorithms and the Location Area Partitioning Problem in Cellular Networks,” *IEEE 46th Veh. Tech. Conf.*, Vol.3(1996), pp.1835-1838.
- [13] Macario, M.M., D.M. Rodriguez, and C. Molina, “Optimal Adaptive Location Area Design and Inactive Location Areas,” *Proc of IEEE 47th Vehicular Tech. Conf.*, Vol.1 (1997), pp.510-514.
- [14] Markoulidakis, J.G., G.L. Lyberopoulos, D.F. Tsirkas, and E.D. Sykas, “Mobility Modelling in Third Generation Mobile Telecommunication Systems,” *IEEE Personal Communications Magazine*, (1997), pp.41-56.
- [15] Plehn, J., “The Design of Location Areas in a GSM-Network,” *Proc. of the IEEE 45th Vehicular Tech. Conf.*, Vol.2(1995), pp.872-875.
- [16] Saraydar, C.U., O. Dely, and C. Rose, “One-dimensional Location Area Partitioning Problem in Cellular Networks,” *IEEE 46th Veh. Tech. Conf.*, Vol.3(1996), pp.1835-1838.

## 부록 : 시뮬레이션 모델/결과

### 1. 시뮬레이션 모델

시뮬레이션은 셀 간 MU의 직접 조사가 불가능할 경우 기대 셀 간 이동량 및 호 발생량을 예측하고, 위치영역 설계 결과 예상 서비스 품질을 측정하는데 활용 된다. 시뮬레이션은 MU의 초기분포에 따라 MU를 발생시키고, 교통모델에 의해서 각 MU를 이동시키며 시간에 따른 상태 변화를 측정하는 방식으로 이루어진다.

시뮬레이션에서 초기 시간에 셀 내 인구는 상주 인구와 같다고 가정한다. 시뮬레이션 시간은 오전 3시를 기준으로 24시간 동안이며, 이 시간 동안 실제 이동통신 네트워크의 상태변화를 구현한다. 이 때, 가입자는 네트워크 내에서 이동을 하며, 외부 유입 및 유출은 없다고 가정한다. 시뮬레이션은 크게 이동성 모델과 호 발생 모델로 구성되어 있다. 이동성 모델은 가입자의 이동 특성을 고려하여 하루 동안 이동 경로 및 체류시간을 결정하는 모델이다. 이의 결과를 바탕으로 호 발생 모델에선 실제로 호를 발생시킨다.

#### (1) 이동성 모델

도시 환경에서 거주자의 이동성의 시뮬레이션에 대해 Markoulidakis[14], Arasan[4]의 연구가 있다. Markoulidakis는 특정 도시를 섹터로 구분, 섹터의 특성 및 도로의 형태에 따른 이동성을 시뮬레이션 하였다. 그러나 도시의 형태는 중심가 및 거주지로

나뉘는 서구적 도시형태를 기준으로 했기 때문에 부도심이 많은 서울과 같은 지역에 그대로 적용시키기에 알맞지 않다. 본 연구에서는 이를 확장하여 한국적 대도시 구조에 적합한 모델로 수정 실행하였다.

시뮬레이션의 초기시간은 오전 3시로 이때의 셀 내 인구는 상주인구수에 비례하고 모든 인구는 거주지 셀에 위치한다고 가정한다. 인구는 이동특성별로 이동성의 특성을 갖는다.

#### • 이동특성

이동특성은 4가지로 구분하며, 각 이동특성은 다음과 같다.

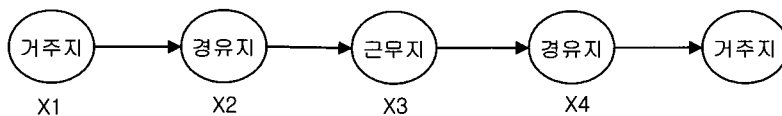
#### • 이동 특성 1

회사원, 자영업자와 같이 특정한 근무지에서 일과시간을 보내는 가입자의 이동특성이다. 가입자는 오전에 주거지에서 출발하여 근무지에 체류한 후, 저녁에 주거지로 되돌아 온다. 이 때, 일정한 확률(오전 0.3, 오후 0.6)로 오전, 오후에 여가생활/상업지역을 경유할 수 있다. 각 지점에서 체류 시간은 가입자 개인에 따라 결정된 모수(평균, 표준편차)를 따르는 절단 정규분포를 따르며, 가입자에 따른 모수는 일양분포에 따라 결정된다. 이에 대한 모수는 <표 A-1>과 같다.

#### • 이동특성 2

대학생, 파견 근무자와 같이 이동 특성 1과 동일한 이동 특성을 지니지만, 요일 및 특정 날짜에 따라 목적지가 변동하는 가입자의 이동특성이다. 시뮬레이션 시, 이동특성 1과 동일한 방법으로 체류시

<표 A-1> 이동특성 1의 이동 모수



	X1	X2	X3	X4
평균	[3 6]	[0 2]	[7 9]	[0 3]
표준편차	[0 2]	[0 2]	[0 2]	[0 2]

간 및 목적지가 정해지지만, 시뮬레이션 반복에 따라 목적지가 변동한다.

• 이동특성 3

유통회사 종사자, 택시기사와 같이 계속해서 이동하며, 목적지가 불특정하게 결정되는 가입자의 이동특성이다. 이와 같은 가입자의 특성 상 이동이 빈번하게 발생하며, 목적지에서의 체류시간은 짧게 나타난다. 가입자는 하한 0.2에서 상한 0.8의 일양분포에 따라 방문횟수 결정에 필요한 확률(p)의 값이 결정되고, 하루 당 총 방문 지역의 수는 확률(p)를 모수로 갖는 기하분포를 따른다. 일 당 방문횟수(k)가 정해지면, 각 지역에서 체류하는 시간은 평균  $12/k$ , 표준편차 0.5의 정규분포를 따른다. 처음 거주지에서 출발하는 시간은 이동특성 1과 같이, 모수가 결정된 정규분포를 따른다.

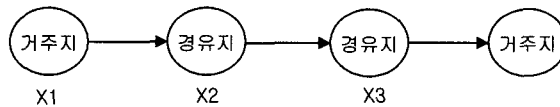
• 이동특성 4

주부, 학생과 같이 거주지 셀에 계속해서 체류하

거나, 근거리 이동하는 가입자들의 이동특성이다. 가입자 별 <표 A-2>의 확률로 하루 동안 이동 셀의 개수가 정해진다. 이동 셀의 개수에 따라 거주지에서 인접한 셀을 이동한다. 이동 시간은 학생이 주가 되는 10대와 20대 이상으로 구별된다. 10대는 오전 등교시간에 이동을 하며, 오후 하교시간에 거주셀로 복귀하거나 기타 지역으로 이동 후 거주셀로 복귀한다. 시뮬레이션 초기시간에서 등교시간까지의 시간은 일양분포를 따르며, 기타 지역에서의 체류 시간은 가입자별 평균, 표준편차가 결정된 정규분포를 따른다. 20대 이상은 인접 셀로 이동하는 시간이 하한 6에서 상한 18의 일양분포를 따른다. 각 모수에 대한 값은 다음 <표 A-2>와 같다.

가입자는 개인별 연령과 이동특성을 갖는다. 각 셀 거주자의 연령대별 인구 비율은 주민등록상 연령의 비율과 동일하다고 한다. 연령대는 크게 4가지(10대, 2~30대, 4~50대, 60대 이상)로 구분했다. 각 연령대별 이동특성의 비율은 다음 <표 A-3>과 같다.

<표 A-2> 이동특성 4의 이동성 모수



10대				20대 이상			
이동셀수	0	1	2	이동셀 수	0	1	2
확률	0.3	0.4	0.3	확률	0.3	0.4	0.3
	분포	하한/평균	상한/표준편차		분포	하한	상한
X1	일양분포	4	6	X1+X2	일양분포	6	18
X2	일양분포	11	17	X1+X2+X3	일양분포	X1+X2	18
X3	정규분포	2	1				

<표 A-3> 연령대별 이동특성 비율

연령	이동특성 1	이동특성 2	이동특성 3	이동특성 4	계
10대	0.3	0.1	0.05	0.55	1
2~30대	0.5	0.2	0.1	0.2	1
4~50대	0.4	0.2	0.1	0.3	1
60대	0.25	0.15	0.1	0.5	1

• 목적지

목적지의 선택 방식은 이동특성에 따라 다르다. 이동특성 1~2에서 근무지 또는 방문지로써 필요한 목적지는 모수가 결정된 Gravity 모델을 적용한다 [10]. 수정된 Gravity 모델에서 I영역에서 J영역으로 이동하는 총 인구 수는 식 (1)과 같다.

$$T_{IJ} = P_I A_J d_{IJ}^\alpha / \sum_j A_j d_{IJ}^\alpha \quad (1)$$

$T_{IJ}$  : I영역에서 J영역으로 이동하는 인구수

$P_I$  : I영역에서 유출되는 인구수

$A_j$  : J영역으로 유입하는 인구수

$d_{IJ}$  : I영역과 J영역 간 거리

서울과 같은 부도심이 발달되어 있는 지역에서는 셀 단위를 한 영역으로 하는 Gravity 모델은 부적당하다. 따라서 부도심을 중심으로 몇 개의 셀을 묶어 지역을 구분하고, 이동자는 목적 지역을 선택한 후 지역 내에서 세부 목적지를 결정하는 방식을 선택한다.

예를 들어  $i$  셀은 I지역에 속해있고,  $j$  셀은 J지역에 속해있을 때에,  $i$  셀에 위치한 가입자가 근무지역으로  $j$  셀로 이동할 확률은 식 (2)와 같다.

$$P_{ij} = (A_j d_{ij}^\alpha / \sum_{j \in J} A_j d_{ij}^\alpha) \cdot A_j / A_i \quad (1)$$

$P_{ij}$ : 셀  $i$  내 가입자가 셀  $j$  로 이동할 확률

$A_i$ :  $i$  셀의 이동 가중치.

$A_j = \sum_{i \in I} A_i$

이동특성 1, 2에선 목적지로서 주 근무지역 및 여가생활/상업지역이 있다. 식 (2)에서 이동가중치  $A_i$  는 주 근무지역에서는 셀 내의 근무자수를, 여가생활/상업지역에서는 셀 내 여가생활 편의시설(상가, 문화/스포츠관련 시설 등)의 수를 이용한다. 근무지 및 여가생활지는 주거지의 거리와 반비례 한다고 가정하고,  $\alpha = -1$ 를 사용한다.

이동특성 3에서 목적지는 업무로 인해 불특정 지역을 이동하므로, 거리의 영향을 제외한다. 따라서 수정된 Gravity 모델에서  $\alpha = 0$ 인 확률분포를 사용

하며, 이에 따라 이동 후 다음 번 목적지가 결정된다.

이동특성 4는 거주지역 주위를 이동하는 경우로, 거주지역 셀을 중심으로 1~2의 거리 내에 있는 셀을 랜덤하게 이동하도록 한다.

이동방식의 경우, 현재 위치의 셀에서 목적지까지 이동하는 것은 최소경로의 방식을 택한다. 이동 최소경로를 찾는 알고리즘은 [그림 A-1] 같다. 이동 경로가 결정된 후, 이동 시간은 셀을 통과할 때마다 평균 15분의 지수분포의 통과시간을 갖는다고 가정한다.

1.  $Path = \{Initial\ cell\}$
2. Current cell  $C \leftarrow Initial\ cell$
3. Target cell  $T \leftarrow Target\ cell$
4.  $(X_C, Y_C) \leftarrow$  Vector of current cell position
5.  $(X_T, Y_T) \leftarrow$  Vector of target cell position
6. Find  $N = \{n | n\ is\ neighbor\ cells\ of\ current\ cell\}$
7. Current cell

$$C = \arg \max_{n \in N} \left\{ \frac{((X_n, Y_n) - (X_C, Y_C))^T ((X_T, Y_T) - (X_C, Y_C))}{|(X_n, Y_n) - (X_C, Y_C)| \cdot |(X_T, Y_T) - (X_C, Y_C)|} \right\}$$

8. Add  $Path$  current cell
9. If current cell == target cell, end

Otherwise, go to step 4

[그림 A-1] 이동 최소경로를 찾는 알고리즘

(2) 호 발생 모델

호 발생 모델에선 가입자에게 시뮬레이션 시간 동안 호를 발생시켜, 이동성 모델에서의 호 발생 시간의 위치와 동시에 고려하여 실제 셀에서 일어나는 페이징에 대한 데이터를 생성시킨다. 이 결과는 서비스 품질을 측정하는데 사용된다.

호 발생률에 영향을 미치는 요소는 시간 및 연령대로 가정한다. 자세한 수치는 기존 통계자료[2]를 사용한다. 호 발생 자체는 시간에 따라 평균 발생률이 변화하는 포아송 프로세스를 따른다. 각 가입자는 이동과 함께 호가 발생한 시간과 그 시간에 위치한 셀을 기록하며, 이를 통해 시간별 셀에서 실행하는 총 페이징 수를 알 수 있다.

2. 시뮬레이션 결과

이동성 모델은 하루 단위 동일한 시뮬레이션을 5회 반복 시행했다. 이동성 모델에선 시간에 따른 셀 내 위치하는 가입자의 수 및 셀 간의 이동량을 도출한다. 호 발생 모델은 이동 모형과 독립적으로 5회 실시한다. 이동성 모형에 대한 결과 통계 지표는 <표 A-4>와 같다.

(1) 인구밀도 변화

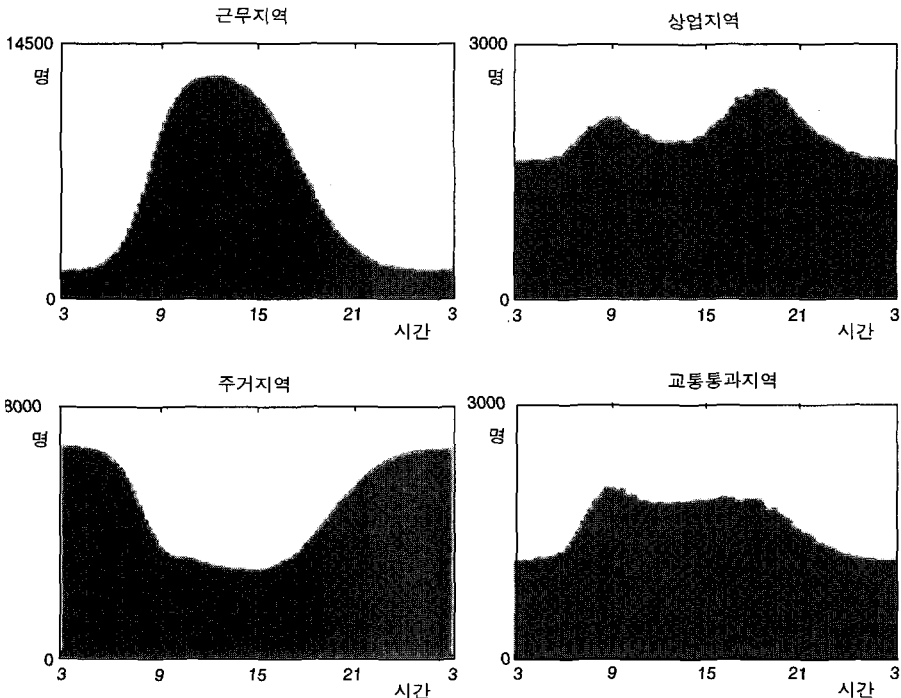
시뮬레이션 결과 셀의 성격에 따라 시간대에 따

른 인구 밀도 및 호 발생량, 이동량의 차이가 나타났다. [그림 A-2]는 대표적 근무지 밀집지역, 상업지역, 주거지역, 도심 진입지역(교통통과지역)의 시간에 따른 인구밀도 대한 도표이다. 근무지역에서는 야간 거주 인구는 적지만, 근무시간(8시~18시)에 급격히 인구밀도가 높아짐을 알 수 있다. 상업지역은 저녁시간(18시~22시)의 인구밀도가 높게 나타난다. 주거지역은 근무자들의 이탈로 인해 주간 인구가 줄어든다. 교통통과 지역은 근무지역 또는 상업지역과 주거지의 통과지역 역할을 하므로, 활동시간 전반적으로 인구밀도가 증가한다.

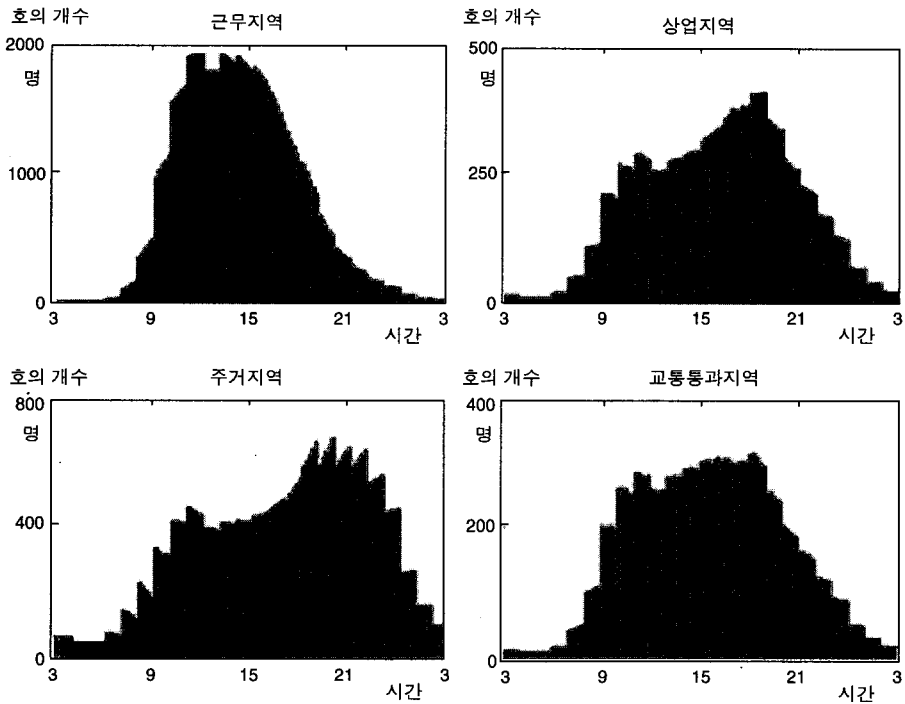
<표 A-4> 셀 당 인구수 결과 통계지표

인구수	셀당 인구수 평균	2467	이동량	셀간 이동량 평균	386.8
	셀당 평균인구수 표준편차	960		셀간 평균이동량 표준편차	322.6
	셀당 시간에 따른 인구수 편차	566		셀간 시간에 따른 이동량 편차	328
	반복 실험치 편차	52		반복 실험치 편차	34

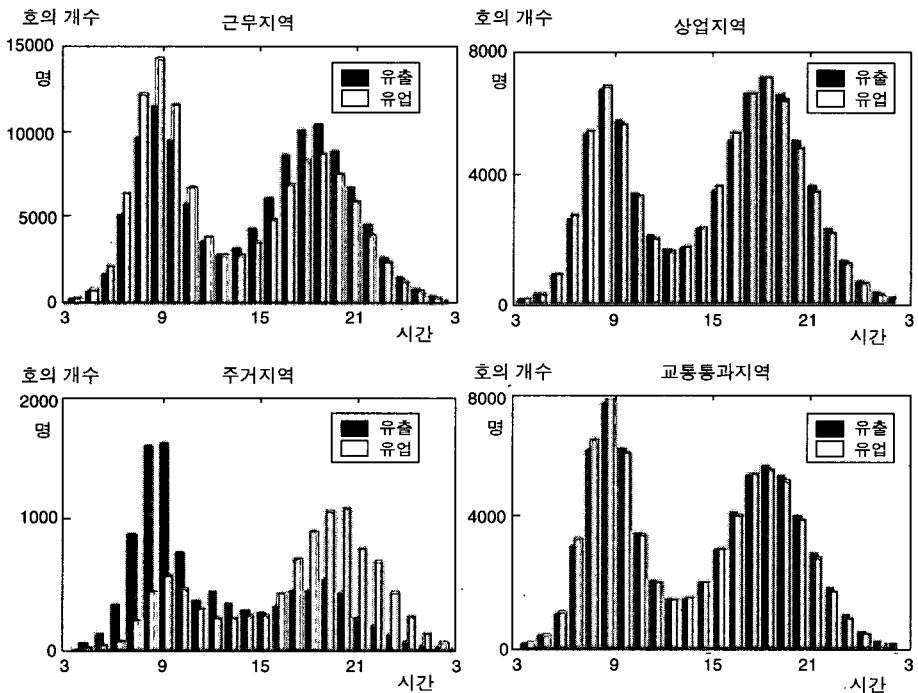
주) 24개 시간대(1시간 단위) 기준.



[그림 A-2] 셀 지역 특성에 따른 인구밀도 변화



[그림 A-3] 셀 지역 특성에 따른 호 발생률 변화



[그림 A-4] 셀 지역 특성에 따른 이동량 변화



## (2) 호 발생 변화

[그림 A-3]는 [그림 6]에서와 같은 지역의 착신호 발생량이다. 도표는 한시간 단위 총 호 발생량을 측정하였다. 근무지역의 경우 근무시간을 중심으로 호가 밀집되어 있는 반면, 상업지역은 오전 및 저녁시간의 호 발생률이 넓게 퍼져있다. 도심 진입지역의 경우 출퇴근 시간에 가장 많은 호가 발생했으며, 주거지역은 저녁 및 늦은 시간에 호가 빈번히 발생한다.

위의 결과 호 발생률이 최대인 시간대 및 시간대별 호 발생률의 변화가 셀에 따라 각각 다르다는 것을 알 수 있다.

## (3) 셀 간 이동률 변화

[그림 A-4]은 같은 지역의 시간에 따른 셀의 유입 및 유출 인구의 변화 양상이다. 대체적으로 출근 및 퇴근시간에 이동량은 높게 나타났다. 귀가시간대는 출근시간대와 비교하여 시간의 간격이 크므로,

전체적으로 출근시간의 단위시간 당 이동량이 귀가시간의 이동량에 비해 높게 나타난다. 반면에 귀가시간의 이동량은 넓게 퍼진 양상을 보인다. 근무지역은 오전에 유입이 오후에 유출이 높게 나타난다. 상업지역은 주로 근무지역과 근접하게 위치하므로 유입과 유출량의 차이가 크지 않다. 또한 저녁시간의 상업지역 이용인구가 많기 때문에, 저녁시간의 인구의 이동이 크게 나타난다. 주거지역은 근무지역과 반대로 출근시간에 유출의 양이 크고, 귀가시간의 유입량이 높다. 교통 통과지역은 유출 및 유입이 거의 비슷하다. 그것은 상당수의 인구가 셀을 통과기 때문이다. 따라서 낮은 인구밀도에 비해 높은 인구 이동량이 발생한다.

이와 같은 결과를 이용하여 시간에 따른 셀 간의 이동량의 변화를 예측하고, 그 결과는 본 논문 주제인 위치영역 설계 외에 핸드오프 관리 등에 사용될 수 있을 것이다.