

## 영역기준 위치등록의 성능 분석

정지희<sup>1</sup> · 박종훈<sup>2</sup> · 백장현<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>전북대학교 산업정보시스템공학과 · 공업기술연구센터 / <sup>2</sup>대구가톨릭대학교 경영학과

### Performance Analysis of Zone-Based Registration Schemes

Jihee Jung<sup>1</sup> · Jong Hun Park<sup>2</sup> · Jang Hyun Baik<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial and Information Systems Engineering, Chonbuk National University

<sup>2</sup>Department of Business Administration, Catholic University of Daegu

In this study, we consider zone-based registration (ZBR). In the ZBR, when a mobile station (MS) enters a new location area (LA), it registers its location. Among various types of ZBR, we focus on two zone-based registration with outgoing call (TZRC) that is an improved version of the two zone-based registration (TZR). In the TZR, an MS can store two LAs that it registers recently not to register when it crosses two LAs stored already. In general, TZR has better performance than single zone-based registration (SZR). However, since the TZR may increase paging cost, TZRC was proposed to decrease paging cost. Mathematical analysis is performed to obtain the exact performance of SZR, TZR, TZRC. From the numerical results for various circumstances, it is shown that TZRC outperforms TZR and SZR in most cases.

**Keywords:** Location Registration, Zone-Based Registration, Two Zone-Based Registration

#### 1. 서론

최근의 이동통신망은 셀의 소형화, 높은 사용자 밀도, 높은 이동성 및 광역 로밍을 특징으로 하고 있기 때문에 상당한 양의 위치등록을 요구할 수 있으며, 따라서 MS(Mobile Station)의 위치를 효율적으로 추적할 수 있는 위치등록에 대한 연구가 필수적이다. 위치등록이란 MS의 이동으로 인해 위치가 변하는 경우 시스템의 데이터베이스에 자신의 위치정보를 갱신하는 일련의 과정을 말한다. 호 접속을 위해서는 시스템이 MS의 현재 위치를 알고 있어야 하므로, MS의 위치를 시스템의 데이터베이스인 VLR(Visitor Location Register) 및 HLR(Home Location Register)에 저장하는 위치등록 과정이 필요하게 된다.

여러 가지 위치등록 방법에 대한 많은 연구 결과가 발표되었다(EIA/TIA/IS-95-B, 1999; Mao and Douligeris, 2000). 영역기준 위치등록(Park, 2008; Lin, 1997; Baik *et al.*, 2000; Kim *et al.*, 2008; Jang *et al.*, 2001), 거리기준 위치등록(Baik and Ryu, 2003; Mao and Douligeris, 2000), 이동기준 위치등록(Li *et al.*, 2000;

Mao and Douligeris, 2000; Baik *et al.*, 2010) 등 다양한 위치등록 방법에 대한 많은 연구가 이루어져 왔다. 본 연구에서는 대부분의 상용화된 이동통신망에서 채택하고 있는 영역기준 위치등록을 다루고자 한다. 영역기준 위치등록 방법에서 전체 이동통신망은 많은 수의 위치영역으로 구성되며 MS가 현재 속한 영역을 벗어나 다른 영역으로 이동하면 위치등록을 수행하게 된다. 일반적으로 하나의 위치영역은 여러 개의 셀들로 구성이 되며, 특정 MS로의 호가 발생하면 그 MS가 속한 위치영역의 셀들에 페이징하여 해당 MS가 속한 셀을 알아내어 호를 연결해 준다.

본 연구에서 다루고자 하는 영역기준 위치등록을 다룬 이전의 연구결과에 따르면 위치영역을 하나만 저장하는 단일영역 위치등록(single zone-based registration, SZR)보다 2개의 위치영역을 저장하는 이중영역 위치등록(two zone-based registration, TZR)이 무선 채널에서의 신호 트래픽 관점에서 더 좋은 성능을 보인다고 알려져 있다(Lin, 1997; Baik *et al.*, 2000). 본 연구에서는 대부분의 이동통신망에서 채택하고 있는 영역기준 위

\* 연락저자 : 백장현 교수, 561-756 전북 전주시 덕진동 1가 664-14 전북대학교 산업정보시스템공학과, Tel : 063-270-2330, Fax : 063-270-2333, E-mail : jbaik@jbnu.ac.kr

2011년 10월 31일 접수; 2012년 5월 10일 게재 확정.

치등록 방법을 대상으로 단일영역 위치등록(SZR), 이중영역 위치등록(TZR), 그리고 발신호를 고려한 이중영역 위치등록(two zone-based registration with outgoing Call, TZRC)의 성능을 수리적 방법을 이용하여 비교, 분석하고자 한다.

## 2. 영역기준 위치등록

영역기준 위치등록 방법의 경우, MS가 현재 속한 영역을 벗어나 다른 영역으로 이동하면 위치등록을 수행하게 된다. MS는 MS 내부에 저장된 ZONE\_LIST에 없는, 새로운 영역으로 이동할 때마다 위치등록을 수행하고 ZONE\_LIST에 해당 위치영역을 새로 추가한다. MS는 하나 이상의 위치영역을 ZONE\_LIST에 저장할 수 있다. 즉, MS는 ZONE\_LIST에 최대 TOTAL\_ZONES(편의상  $T_z$ 로 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. 본 연구에서는  $T_z=2$ 인 이중영역 영역기준 위치등록 방식을 고려한다.

ZONE\_LIST가 이미 2개의 위치영역을 가지고 있는 상태에서 새로운 위치영역으로 이동하면, 위치등록을 수행하여 2개 위치영역 중 오래된 것을 삭제하고 새로운 위치영역을 ZONE\_LIST에 추가한다. 만약 MS가 다른 위치영역으로 이동하였으나 해당 위치영역이 이미 ZONE\_LIST에 존재한다면, 위치등록을 수행하지 않으며 ZONE\_LIST에도 변화가 없다. 다만, MS의 ZONE\_LIST에서는 현재 MS가 속한 위치영역을 나타내기 위한 간단한 처리가 필요하다.

예를 들어, SZR에서 위치영역 A, B, C, D가 존재하고 현재 MS는 A에 속해 있다고 하자. 이 상황에서 새 위치영역 B로 진입하면, A를 삭제하고 B를 추가한다.

(a) MS(A에서 B로 진입시)



(b) SYSTEM



TZR에서는 ZONE\_LIST에 저장된 순서대로 A, B 2개의 영역이 저장되어 있고 현재 MS는 B에 속해 있다. 이 때 새 위치영역인 D로 진입하면, A, B 2개 중 이전에 저장된 A를 삭제하고 D를 새로 추가한다.

(a) MS (B에서 D로 진입시)



(b) SYSTEM



MS가 A, B에서 차례대로 위치등록후 현재 B에 속한 상태에서 이전 영역인 A로 되돌아갈 경우, 위치등록을 수행하지 않는다. 이 경우 시스템에서는 MS가 속한 영역을 여전히 B로 알고 있으므로, 착신호를 연결해 주기 위한 페이징 절차가 다소 복잡해질 수 있다. 본 연구에서는 2개의 위치영역에 단계적으로 페이징하는 2단계 선택적 페이징(2-step selective paging)을 가정하기로 한다. 만약 A를 거쳐 B에서 위치등록을 한 상황에서 MS로의 착신호가 도착하면 시스템에서는 위치영역 B에 페이징하여 바로 MS의 응답을 받게 된다. 반면에 만약 A를 거쳐 B에서 위치등록 한 후 A로 되돌아간 상황에서 MS로의 착신호가 도착하면, 시스템에서는 위치영역 B에 먼저 페이징하고 정해진 시간 동안 응답이 없을 것이므로 나머지 위치영역인 A에 페이징을 하여 비로소 MS의 응답을 받게 된다. 즉, 이 경우에는 2번의 페이징이 필요하게 된다.

(a) MS (B에서 A로 재진입시)



(b) SYSTEM



그런데 MS로의 착신호나 MS가 거는 발신호가 발생하면 실제 위치등록의 수행 없이도 호처리 메시지를 이용하여 MS가 속한 위치영역을 시스템에서 알게 되는 효과가 있다. 이와 같이 실제 위치등록의 수행 없이 착신호나 발신호의 발생에 의해 MS가 속한 위치영역을 시스템에서 알게 되는 것을 묵시적 위치등록(implicit registration)이라 한다. 앞서의 예와 같이 MS가  $A \Rightarrow B \Rightarrow A$ 의 순서로 위치영역을 이동한 상태에서 MS가 전화를 걸면(발신호 발생), 시스템에서는 호처리 메시지를 통하여 MS가 A에 있다는 것을 알게 된다. 따라서 이후 착신호가 발생하여 페이징을 수행할 경우 A에 먼저 페이징을 하게 되고 바로 MS의 응답을 받게 된다. 즉, 위치등록 없이 이전 영역으로 되돌아간 상황에서 발신호가 발생하면, 시스템에서는 MS가 해당 위치영역에 있다는 것을 알게 되어 페이징 부하를 줄이는 효과가 있다.

본 연구에서는 발신호에 의한 묵시적 위치등록 효과를 고려하여 이중영역 위치등록의 성능을 개선하는 방법을 중심으로 무선 채널에서의 신호 트래픽을 수리적 분석을 이용하여 정확히 분석하고자 한다. 발신호를 고려한 이중영역 위치등록(TZRC) 방법은 위치등록 부하는 TZR과 동일하지만 페이징 부하는 감소하게 되는데 정확한 수리적 분석을 통하여 전체 성능을 파악하여 SZR, TZR, TZRC의 성능을 비교하고자 한다.

## 3. 신호 트래픽의 수리적 분석

무선 채널에서의 위치등록 및 페이징 부하를 구하기 위하여

다음과 같은 기호들을 정의한다.

- $N_1(Z)$ : 위치등록 방법  $Z$ 에서 착신호 발생간격 동안의 위치등록 횟수
- $C_1(Z)$ : 위치등록 방법  $Z$ 에서 착신호 발생간격 동안의 위치등록 비용
- $N_2(Z)$ : 위치등록 방법  $Z$ 에서 착신호 발생시 페이징이 필요한 셀 수
- $C_2(Z)$ : 위치등록 방법  $Z$ 에서 착신호 발생시 위치영역당 총 페이징 비용
- $C_P$ : 무선 채널에서 (셀당)페이징에 필요한 신호정보량
- $C_u$ : 무선 채널에서 한 번의 위치등록에 필요한 신호정보량
- $\theta$ : 이미 등록된 영역으로 복귀할 확률
- $n$ : 위치영역 당 셀의 수
- $t_c$ : 착신호 발생간격( $r.v.$ )
- $t_{oc}$ : 발신호 발생간격( $r.v.$ )
- $t_m$ : 위치영역에 머무는 시간( $r.v.$ )
- $\lambda_c$ : 착신호 도착률( $E[t_c] = 1/\lambda_c$ )
- $\lambda_{oc}$ : 발신호 발생률( $E[t_{oc}] = 1/\lambda_{oc}$ )
- $1/\lambda_m$ : 위치영역에 머무는 평균 시간( $E[t_m] = 1/\lambda_m$ )
- $\rho$ : call-to-mobility ratio(CMR)( $= \lambda_c/\lambda_m$ )
- $f_m^*(s)$ :  $t_m$  분포에 대한 Laplace-Stieltjes Transform

$$= \left( \int_{t=0}^{\infty} e^{-st} f_m(t) dt \right)$$

이러한 기호들을 이용하여 무선채널에서의 위치등록 및 페이징 부하를 구해보자. 우선, 착신호 도착간격 동안 무선채널에서의 위치등록 부하를 구하기 위해서는 기본적으로 착신호 도착간격 동안 MS가  $K$ 개의 위치영역을 통과할 확률  $\alpha(K)$ 가 필요하다. 착신호(발신호)는 모두  $\lambda_c \lambda_{oc}$ 인 포아송 분포를 따른다고 가정하고, MS가 위치영역에 머무는 시간은 평균이  $1/\lambda_m$ 인 일반 분포를 따른다고 가정한다. 이전의 연구결과로부터  $\alpha(K)$ 는 다음과 같이 계산될 수 있다(Lin, 1997).

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

단,  $\rho = \lambda_c/\lambda_m$

위의 결과를 이용하여 착신호 도착간격 동안의 위치등록 횟수  $N_1$ 을 구할 수 있다. 우선 SZR의 경우에는 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다(Lin, 1997).

$$N_1(SZR) = \sum_{i=0}^{\infty} i \alpha(i)$$

$$= \sum_{i=0}^{\infty} i \frac{1}{\rho} [1 - f_m^*(\lambda_c)]^2 [f_m^*(\lambda_c)]^{i-1} = \frac{1}{\rho}$$

TZR의 경우에는 이전 영역으로 되돌아가는 경우를 고려해야 하므로 식이 매우 복잡해지지만 최종적인 계산결과는 간결한 형태로 표시되는 것을 알 수 있다(Lin, 1997).

$$\begin{aligned} N_1(TZR) &= \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{i=0}^k i \binom{k}{i} \theta^{k-1} (1-\theta)^i \alpha(k) \\ &= \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{i=0}^k i \binom{k}{i} \theta^{k-1} (1-\theta)^i \frac{1}{\rho} [1 - f_m^*(\lambda_c)]^2 \\ &\quad \times [f_m^*(\lambda_c)]^{i-1} = \frac{1-\theta}{\rho} \end{aligned}$$

그리고 TZRC에서 착신호 도착간격 동안의 위치등록 횟수는 TZR과 동일하다.

$$N_1(TZRC) = \frac{1-\theta}{\rho}$$

따라서 착신호 도착간격 동안의 위치등록 비용은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} C_1(SZR) &= \frac{C_u}{\rho} \\ C_1(TZR) &= \frac{(1-\theta) C_u}{\rho} \\ C_1(TZRC) &= \frac{(1-\theta) C_u}{\rho} \end{aligned}$$

이제 착신호 발생간격 동안 페이징 비용을 구해보자. 착신호 발생 시 페이징이 필요한 셀 수를 구하고 셀 당 페이징 부하를 곱하면 페이징 비용을 구할 수 있다. 먼저 SZR의 경우 착신호 발생 시 페이징이 필요한 셀 수는 간단히 다음과 같다.

$$N_2(SZR) = n$$

MS에 착신호를 연결하기 위해서는 해당 MS가 속한 셀을 알아야 한다. SZR에서는 하나의 위치영역만을 저장하며 착신호 발생시 위치영역 내 모든 셀에 동시에 페이징하는 동시 페이징(simultaneous paging) 방법을 이용하고 있다.

그런데 TZR의 경우 저장된 2개의 위치영역내 전체 셀에 동시에 페이징하는 것은 급격한 페이징 부하의 증가(SZR의 2배)를 가져와 TZR의 위치등록 부하 감소에도 불구하고 전체 성능의 향상을 기대하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 TZR의 경우 2개의 위치영역에 단계적으로 페이징하는 2단계 선택적 페이징(2-step selective paging)을 가정한다. 즉, 가장 최근에 위치

등록(목시적 위치등록 포함)한 영역에 먼저 페이징하고 응답이 있으면 페이징 절차가 끝난다. 만약 응답이 없다면 나머지 영역에 페이징하는 절차를 따르는 것이다.

결국, 시스템에 저장된 위치영역에 MS가 속한 경우(한 번에 페이징 성공)와 시스템에 저장된 위치영역이 아닌, 다른 위치영역에 MS가 속한 경우(두 번째에 페이징 성공)로 나누어 생각해 보면 착신호 발생 시 페이징이 필요한 셀 수는 다음과 같이 표현된다(Lin, 1997).

$$\begin{aligned} N_2(TZR) &= \text{Pr}[\text{첫 번째 페이징 성공}] \cdot n \\ &\quad + \text{Pr}[\text{첫 번째 페이징 실패}] \cdot (n+n) \\ &= (1 - \text{Pr}[\text{첫 번째 페이징 실패}]) \cdot n \\ &\quad + \text{Pr}[\text{첫 번째 페이징 실패}] \cdot (n+n) \\ &= n + \text{Pr}[\text{첫 번째 페이징 실패}] \cdot n \end{aligned}$$

여기서 첫 번째 페이징이 실패할 확률을 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Pr}[\text{첫 번째 페이징 실패}] &= 1 - \text{Pr}[\text{첫 번째 페이징 성공}] \\ &= 1 - (w_1 + w_2' + w_3') \end{aligned}$$

첫 번째 페이징이 성공할 경우는 세 가지 경우로 나누어 볼 수 있으며 각각의 경우에 대한 확률은 다음과 같이 계산된다.

- ① 착신호 도착간격 동안 MS가 처음 위치영역에서 움직이지 않은 경우

$$\begin{aligned} w_1 &= \alpha(0) \\ &= \text{Pr}[t_c \leq t_m] \\ &= \int_{t_m=0}^{\infty} \int_{t_c=0}^{\infty} \lambda_c e^{-\lambda_c t_c} r_m(t_m) dt_c dt_m \\ &= 1 - \frac{1 - f_m^*(\lambda_c)}{\rho} \end{aligned}$$

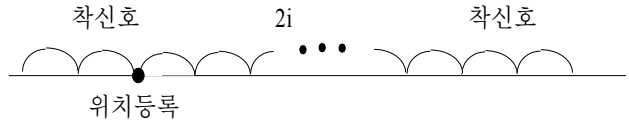


- ② 착신호 도착간격 동안 MS가 마지막 위치등록 후 위치등록 없이 짝수 번 위치영역 진입하는 경우

$$\begin{aligned} w_2' &= \text{Pr}[\text{마지막 위치등록 후 위치등록 없이 짝수 번 위치영역 진입}] \\ &= \sum_{k=1}^{\infty} w_2'(k) \alpha(k) \\ &= \sum_{i=0}^{\infty} w_2'(2i+1) [\alpha(2i+1) + \alpha(2i+2)] \\ &\quad (\because w_2'(2i+2) = w_2'(2i+1) \text{ for } i \geq 0) \end{aligned}$$

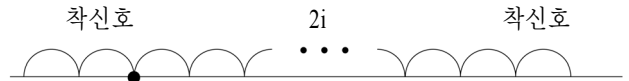
위 식에서  $w_2(k)$ 는 착신호 도착간격 동안 MS가 k번 위치영역에 진입한 조건하에서, 마지막 위치등록 직후 위치등록 없이 짝수 번 위치영역에 진입할 조건부 확률이며 다음과 같이 표현된다.

$$w_2'(k) = (1-\theta) \sum_{i=0}^{\lfloor \frac{k-1}{2} \rfloor} \theta^{2i} \quad \text{for } k > 0$$



- ③ 착신호 도착간격 동안 MS가 위치등록 없이 짝수 번 위치영역 진입하는 경우

$$\begin{aligned} w_3' &= \text{Pr}[\text{착신호 발생간격 동안 위치등록 없이 짝수 번 위치영역에 진입}] \\ &= \sum_{i=1}^{\infty} \theta^{2i} \alpha(2i) \end{aligned}$$



따라서 최종적으로 TZR의 경우 착신호 도착 시 페이징이 필요한 셀 수는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} N_2(TZR) &= n + \text{Pr}[\text{첫 번째 페이징 실패}] \cdot n \\ &= n + \{1 - (w_1 + w_2' + w_3')\} \cdot n \end{aligned}$$

TZRC의 경우에도 착신호 발생 시 페이징이 필요한 셀 수는 기본적으로 TZR와 마찬가지로 다음과 같이 표현된다(Lin, 1997).

$$N_2(TZRC) = n + \text{Pr}[\text{첫 번째 페이징 실패}] \cdot n$$

하지만 첫 번째 페이징이 실패할 확률은 TZR와는 다르게 표현된다. 즉, TZRC에서는 TZR에서 첫 번째 페이징이 실패하는 경우일지라도 발신호 발생에 의한 목시적 위치등록에 의해 첫 번째 페이징이 성공하는 경우가 발생할 수 있다. 따라서 TZR에서 첫 번째 페이징이 성공하는 경우,  $w_1$ 에 추가하여 아래에 기술하는 경우인  $w_2, w_3, w_4$ 에도 첫 번째 페이징이 성공하게 된다. 결국 TZRC의 경우 첫 번째 페이징이 실패할 확률을 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Pr}[\text{첫 번째 페이징 실패}] &= 1 - \text{Pr}[\text{첫 번째 페이징 성공}] \\ &= 1 - (w_1 + w_2 + w_3 + w_4) \end{aligned}$$

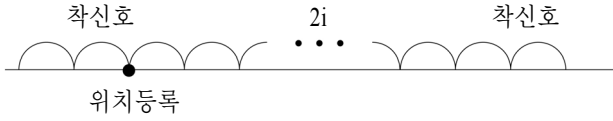
$w_1$ 는 앞서의 TZR과 동일하며 TZRC에 새로 추가되는 경우에 대한 확률  $w_2, w_3, w_4$ 는 다음과 같이 계산된다.

- ④ 착신호 도착간격 동안 MS가 마지막 위치등록 후 위치등록/발신호 없이 짝수 번 위치영역 진입하는 경우

$$\begin{aligned} w_2 &= \Pr[\text{마지막 위치등록 후 위치등록/발신호 없이 짝수 번 위치영역 진입}] \\ &= \sum_{k=1}^{\infty} w_2(k) \alpha(k) \\ &= \sum_{i=0}^{\infty} w_2(2i+1) [\alpha(2i+1) + \alpha(2i+2)] \\ &(\because w_2(2i+2) = w_2(2i+1) \text{ for } i \geq 0) \end{aligned}$$

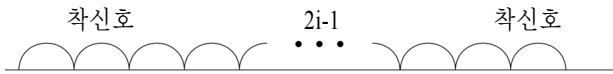
위 식에서  $w_2(k)$ 는 착신호 도착간격 동안 MS가  $k$ 번 위치영역에 진입한 조건하에서, 마지막 위치등록 직후 위치등록/발신호 없이 짝수 번 위치영역에 진입할 조건부 확률이며 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} w_2(k) &= (1-\theta) \sum_{i=0}^{\lfloor \frac{k-1}{2} \rfloor} \theta^{2i} (1 - \Pr[t_{oc} < t_m])^{2i} \Pr[t_c < t_{oc}] \\ &\text{for } k > 0 \end{aligned}$$



- ⑤ 착신호 도착간격 동안 MS가 위치등록/발신호 없이 짝수 번 위치영역 진입하는 경우

$$\begin{aligned} w_3 &= \Pr[\text{착신호 발생간격 동안 위치등록/발신호 없이 짝수 번 위치영역에 진입}] \\ &= \sum_{i=1}^{\infty} (\theta(1 - \Pr[t_{oc} < t_m]))^{2i-1} \Pr[t_c < t_{oc}] \alpha(2i) \end{aligned}$$



- ⑥ 착신호 도착간격 동안 MS가 마지막 발신호 후 위치등록/발신호 없이 짝수 번 위치영역 진입하는 경우

$$\begin{aligned} w_4 &= \Pr[\text{마지막 발신호 후, 위치등록/발신호 없이 짝수 번 위치영역 진입}] \\ &= \sum_{k=1}^{\infty} w_4(k) \alpha(k) \\ &= \sum_{i=0}^{\infty} w_4(2i+1) [\alpha(2i+1) + \alpha(2i+2)] \\ &(\because w_4(2i+1) = w_4(2i+2)) \end{aligned}$$

위에서  $w_4$ 는 착신호 발생간격 동안 MS가  $K$ 번 위치영역에 진입한 조건하에서 마지막 발신호 직후, 위치등록/발신호 없이 짝수 번 위치영역에 진입할 조건부 확률이며 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} w_4(K) &= \Pr[t_{oc} < t_m] \left\{ \sum_{i=1}^{\lfloor \frac{K-1}{2} \rfloor} \theta^{2i} (1 - \Pr[t_{oc} < t_m])^{2i-1} \right. \\ &\quad \left. \times \Pr[t_c < t_{oc}] \right\} \\ &\quad + \Pr[t_{oc} < t_c] \\ &\text{for } K > 0 \end{aligned}$$

또한  $\Pr[t_{oc} < t_c]$ 는 착신호보다 먼저 발신호가 발생할 확률로 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \Pr[t_{oc} < t_c] &= \int_{t_{oc}=0}^{\infty} \int_{t_c=0}^{t_{oc}} \lambda_c e^{-\lambda_c t_c} [\lambda_{oc} \int_{\tau=t_{oc}}^{\infty} f_c(\tau) d\tau] dt_c dt_{oc} \\ &= \int_{t_{oc}=0}^{\infty} \int_{t_c=0}^{t_{oc}} \lambda_c e^{-\lambda_c t_c} [\lambda_c (1 - F_c(t_{oc}))] dt_c dt_{oc} \\ &= \frac{\lambda_c}{s} [1 - f_c^*(s)]_{s=\lambda_{oc}} \\ &= 1 - \frac{\lambda_c}{\lambda_{oc}} [1 - f_c^*(\lambda_{oc})] \end{aligned}$$

이상의 결과를 이용하면 착신호 발생 시 페이징이 필요한 셀 수를 구할 수 있고 셀당 페이징 부하를 곱하면 페이징 비용을 구할 수 있다. 최종적으로 착신호 발생 시 위치영역 당 페이징 비용은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} C_2(SZR) &= n C_u \\ C_2(TZR) &= [n + (1 - w_1 - w_2' - w_3') n] C_u \\ C_2(TZRC) &= [n + (1 - w_1 - w_2 - w_3 - w_4) n] C_u \end{aligned}$$

무선 채널에서의 신호 트래픽은 위치등록 비용과 페이징 비용으로 구성되므로 최종적인 총 신호 트래픽은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} C(SZR) &= \frac{C_u}{\rho} + n C_u \\ C(TZR) &= \frac{(1-\theta) C_u}{\rho} + [n + (1 - w_1 - w_2' - w_3') n] C_u \\ C(TZRC) &= \frac{(1-\theta) C_u}{\rho} + [n + (1 - w_1 - w_2 - w_3 - w_4) n] C_u \end{aligned}$$

#### 4. 결과 분석

영역기준 위치등록에서 무선 채널에서의 신호 트래픽을 최소로 하는 방법을 결정하기 위하여 다음과 같은 이동통신 환경을 가정하자.

$$\begin{aligned}
 C_p &= 1 \\
 C_u &= 4 \\
 \theta &= 0.5 \\
 n &= 8 \\
 \lambda_c &= 1 \\
 \lambda_{oc} &= \lambda_m = 4 \quad (\rho = \lambda_c / \lambda_m = 0.25)
 \end{aligned}$$

본 예제에서는 위치등록 비용이 셀당 페이징 비용의 4배가 되는 것으로 가정한다. 이것은 위치등록에 대한 여러 논문에서 위치등록 비용이 대략 셀당 페이징 비용의 10배가 되는 것으로 가정한 것과 Lin(1997)의 논문에서 셀당 페이징 비용이 위치등록 비용보다도 크다고 가정한 것을 절충하여 결정한 값이다. Lin(1997)과 같이 셀당 페이징 비용이 위치등록 비용보다도 크다고 가정할 경우 TZR에 비해 TZRC의 성능이 우수하다는 것을 보이기가 보다 용이할 것으로 예측되지만 그러한 가정은 실제적인 상황과는 다소 거리가 있다고 판단하여, 본 예제에서는 위치등록 비용이 셀당 페이징 비용의 4배가 되는 것으로 가정하였다.

아울러, 본 예제에서는 분석의 편의상 위치영역에 머무는 시간( $t_m$ )이 지수분포를 따른다고 가정한다. 앞서 제시한 수식들은  $t_m$ 이 일반 분포를 따르는 것으로 가정하여 전개된 것이므로  $t_m$ 이 어떠한 분포를 따른다고 가정하더라도 별 문제는 없다. 다만, 일반 분포를 가정하여 수리적 예제를 구성할 경우, 고려해야 할 경우가 많아져 분석의 초점을 흐릴 수도 있으므로 분석의 편의상 계산이 편리한 지수분포를 가정하기로 한다. 실제로는 지수분포뿐만 아니라 감마분포를 따르는 경우에 대해서도 수리적 결과를 구하여 지수분포인 경우와 비교하였는데 특별한 차이점이 나타나지는 않았다.

또한, 본 예제에서는 단위시간당 발신호 발생률  $\lambda_{oc}$ 과 단위시간당 위치영역 진입 횟수  $\lambda_m$ 을 동일하다고 가정한다( $\lambda_{oc} = \lambda_m$ ). 서로 다른 값을 갖는다고 가정하더라도 별 문제는 없으나, 실제로  $\lambda_{oc}$ 과  $\lambda_m$ 가 다른 값을 갖는 여러 가지 경우에 대하여 계산을 수행한 결과, 서로 다른 값을 갖는다고 가정할만한 특별한 결과가 파악되지 않아, 분석의 편의상 두 값은 동일하다고 가정하였다. 실제  $\lambda_m$ 이 큰 값을 가진다는 것은 이동성이 크다는 것을 의미하며, 발신호 시도 또한 일반적으로 이동성에 비례하여 증가할 것이므로, 두 값이 비례관계를 갖는다는 가정은 별 무리가 없다고 판단된다.

<Figure 1>은 CMR의 변화에 따른 신호 트래픽의 변화를 나타낸 것이다.  $\lambda_c = 1$ 로 고정된 상태에서  $\lambda_m$ 을 0.5에서 8까지 변화시키면서 신호 트래픽을 구한 결과가 <Figure 1>에 표시되어 있으며 동일한 결과가 <Table 1>에 표시되어 있다.

Figure와 Table에서 알 수 있듯이 대부분의 경우 SZR보다 TZR의 신호 트래픽이 적게 나타나며 또한 TZR보다 TZRC의 신호 트래픽이 더 적게 나타남을 알 수 있다. Table에서 CMR = 1/4인 경우를 보면 TZRC의 신호트래픽이 SZR보다 31.11%나 적게 나타나며 TZR보다도 9.58%나 적게 나타남을 알 수 있다.

결국 대부분의 경우에 TZRC의 신호 트래픽이 다른 두 방법에 비하여 적게 나타남을 알 수 있다.

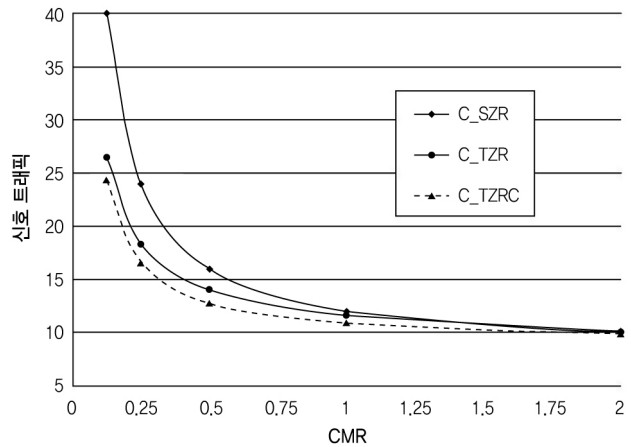


Figure 1. CMR의 변화에 따른 신호 트래픽의 변화

Table 1. CMR의 변화에 따른 신호 트래픽의 변화

CMR(= $\lambda_c/\lambda_m$ )	1/8	1/4	1/2	1 (= 1/1)	2 (= 1/0.5)
C(SZR)	40.00	24.00	16.00	12.00	10.00
C(TZR)	26.46	18.29	14.00	11.60	10.14
C(TZRC)	24.32	16.53	12.76	10.89	9.82
감소율 <sub>1</sub> (%) = 100× [1-C(TZRC)/C(SZR)]	39.19	31.11	20.24	9.26	1.79
감소율 <sub>2</sub> (%) = 100× [1-C(TZRC)/C(TZR)]	8.08	9.58	8.84	6.13	3.18

<Table 1>에서 보면 CMR이 커질수록(즉,  $\lambda_m$ 이 작아질수록) TZRC의 신호 트래픽은 SZR보다는 항상 적은 값을 갖지만 신호 트래픽의 감소 비율은 점차 감소하는 것을 알 수 있다. 반면에, TZRC의 신호 트래픽은 모든 CMR 값에 대하여 TZR보다는 적은 값을 갖지만 신호 트래픽의 감소 비율이 가장 크게 나타나는 것은, CMR이 매우 크거나 매우 작은 경우가 아닌, CMR = 1/4인 경우인 것을 알 수 있다. 또 하나 주목할 점은, <Table 1>에서 CMR = 2인 경우를 보면 TZRC는 SZR보다 적은 신호 트래픽을 갖는 반면 TZR은 SZR보다 큰 신호 트래픽을 갖는 것을 알 수 있다. 즉, CMR이 매우 커지면(즉,  $\lambda_m$ 이 매우 작아지면) 위치등록이 거의 발생하지 않으므로 페이징 비용이 증가하는 TZR이 SZR보다 불리할 수도 있다는 것을 알 수 있다. 표에는 나타나지 않았지만 CMR이 더욱 커지면 TZR 뿐만 아니라 TZRC도 SZR보다 불리할 수 있다.

SZR에 비하여 TZR이나 TZRC의 신호 트래픽이 적게 나타나는 이유는 위치등록 부하가 SZR에 비하여 적어지기 때문이다. 이를 명확하게 보이기 위하여  $\lambda_c = 1$ 인 상태에서  $\lambda_m$ 의 변화에 따른 위치등록 트래픽의 변화를 <Figure 2>에 나타내었다. Figure에서 알 수 있듯이 위치등록 트래픽은 정확하게  $\lambda_m$

의 증가에 비례하여 증가한다. 또한 위치등록 트래픽은 이전 위치영역으로 되돌아올 확률  $\theta$ 의 변화와도 직접적인 관계가 있다. 즉,  $\theta$ 가 커질수록 TZR이나 TZRC의 위치등록 트래픽은 SZR에 비해 더 크게 감소한다는 것을 알 수 있다.

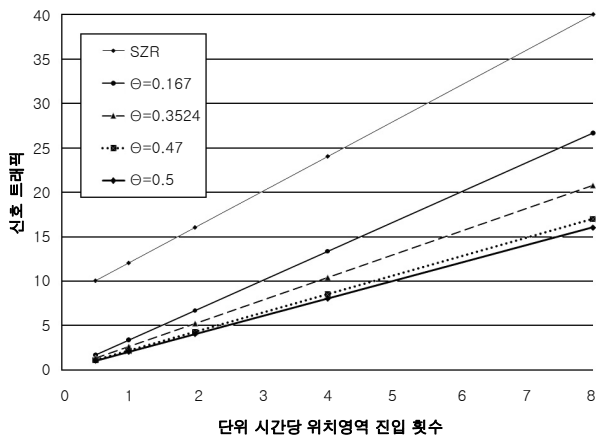


Figure 2.  $\lambda_m$ 의 변화에 따른 위치등록 트래픽의 변화

TZR이나 TZRC의 경우 SZR에 비해 위치등록 트래픽은 감소하지만 반면에 페이징 부하는 SZR에 비해 증가하게 된다. 이를 명확하게 보이기 위하여  $\lambda_c = 1$ 인 상태에서  $\lambda_m$ 의 변화에 따른 페이징 트래픽의 변화를 <Figure 3>과 <Table 2>에 나타내었다. Figure과 Table에 나타난 바와 같이 SZR의 경우에는  $\lambda_m$ 의 변화에 따라 페이징 트래픽이 변화하지 않으며 일정하게 유지됨을 알 수 있다. 반면에 TZR이나 TZRC의 경우에는  $\lambda_m$ 이 증가함에 따라 페이징 트래픽도 함께 증가하는 것을 알 수 있다. 본 연구에서 주목할 부분은, SZR보다 최고 30% 이상 큰 값을 갖는 TZR의 페이징 트래픽이 TZRC를 채택할 경우 TZR에 비하여 최고 20% 이상 감소된다는 것이다.

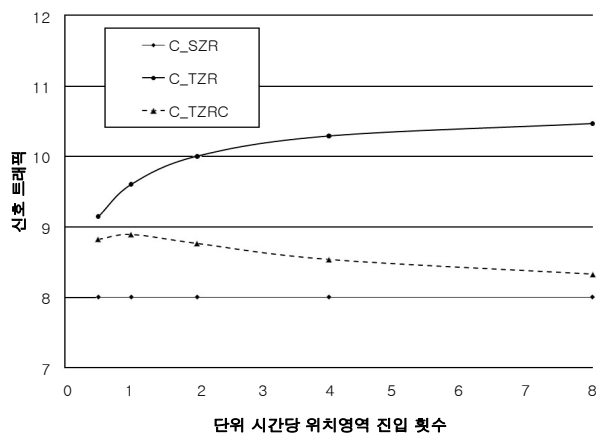


Figure 3.  $\lambda_m$ 의 변화에 따른 페이징 트래픽의 변화

이전 위치영역으로 되돌아올 확률  $\theta$ 의 변화에 따른 각 방법의 신호 트래픽을 <Figure 4>에 나타내었다. Figure에서 보면

가 커질수록 TZR과 TZRC의 신호 트래픽이 감소하는 것을 볼 수 있다. 특히 TZR보다는 TZRC의 신호 트래픽이 더 많이 감소하는 것을 볼 수 있다. 결과적으로  $\theta$ 가 커질수록 SZR 대비 TZR의 신호 트래픽이 크게 감소할 뿐 아니라 TZR 대비 TZRC의 신호 트래픽도 크게 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이전 위치영역으로 되돌아올 확률  $\theta$ 가 커질수록 TZR나 TZRC의 신호 트래픽이 감소하는 것은 자명하지만 실제 이동통신 환경에서  $\theta$  값을 0.5이상으로 가정하는 것은 다소 무리가 있는 것으로 보인다.

Table 2.  $\lambda_m$ 의 변화에 따른 페이징 트래픽의 변화

$\lambda_m$	0.5	1	2	4	8
$C_2(SZR)$	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
$C_2(TZR)$	9.14	9.60	10.00	10.29	10.46
$C_2(TZRC)$	8.82	8.89	8.76	8.53	8.32
감소율 <sub>1</sub> (%) = $100 \times [1 - C_2(TZRC)/C_2(TZR)]$	3.53	7.41	12.38	17.04	20.44
증가율 <sub>1</sub> (%) = $100 \times [C_2(TZR)/C_2(SZR) - 1]$	14.29	20	25	28.57	30.77
증가율 <sub>2</sub> (%) = $100 \times [C_2(TZRC)/C_2(SZR) - 1]$	10.26	11.11	9.52	6.67	4.04

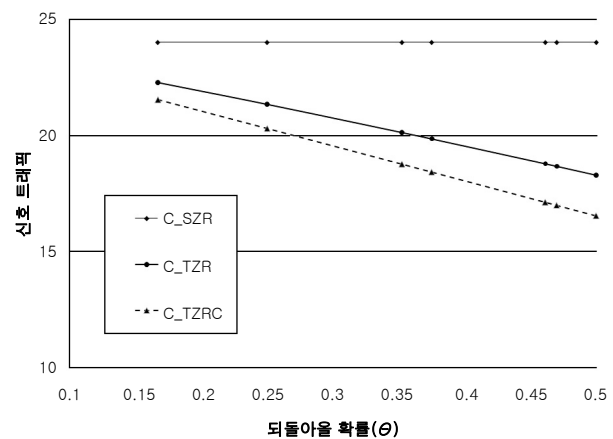


Figure 4.  $\theta$ 의 변화에 따른 신호 트래픽의 변화 ( $\lambda_{oc} = \lambda_m = 4$ )

마지막으로 위치영역내 셀의 수 n을 변화시키면서 신호 트래픽을 산출한 결과를 <Figure 5>에 나타내었다. 이 경우 위치등록 트래픽은 동일하므로 위치영역내 셀 수가 증가하면 페이징 트래픽이 증가하여 총 신호 트래픽은 증가하게 된다. Figure에서 보면 위치영역내 셀 수가 증가함에 따라 SZR, TZR, TZRC의 신호 트래픽이 모두 증가하지만, TZR에 비하여 TZRC의 기울기가 다소 완만한 것을 알 수 있다. 즉, 다른 조건이 동일하다면 페이징 트래픽이 증가할수록 SZR에 비하여 TZR이 유리하며 마찬가지로 TZR보다는 TZRC가 유리하다는 것을 알 수 있다.

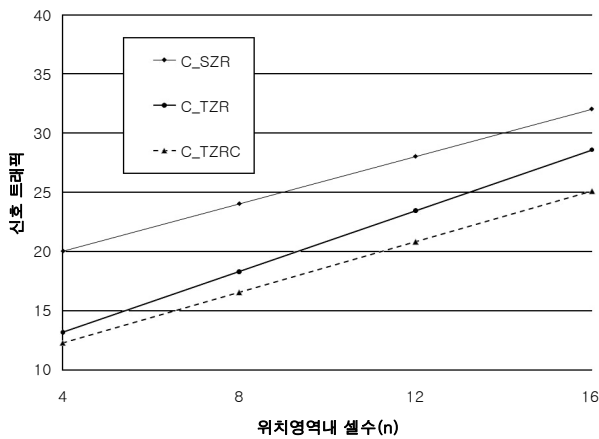


Figure 5. 위치영역내 셀 수의 변화에 따른 신호 트래픽의 변화 ( $\lambda_{oc} = \lambda_m = 4$ )

## 5. 결론

본 연구에서는 현재 대부분의 이동통신시스템에서 채택하고 있는 영역기준 위치등록을 고려하였다. 기존 연구에서 제시된 단일영역 위치등록(SZR)과 이중영역 위치등록(TZR)의 성능을 개선하기 위하여 발신호를 고려한 이중영역 위치등록(TZRC)을 제시하고 성능을 비교하였다. 기존의 SZR과 TZR 뿐만 아니라 TZRC의 성능을 정확하게 분석할 수 있는 수리적 모델을 제시하고 이를 이용하여 TZRC의 성능을 SZR 및 TZR의 성능과 비교하였다. 제안한 수리적 모델을 이용한 수리적 결과로부터 대부분의 운용 환경에서 TZRC의 성능이 SZR 뿐만 아니라 TZR에 비하여 우수하다는 것을 알 수 있었다. 결국 발신호의 명시적 위치등록 효과를 이용하는 이중영역 위치등록 방식은 무선 채널에서의 신호 트래픽을 감소시켜 주므로 영역기준 위치등록 방법을 운용할 경우 발신호를 고려한 이중영역 위치등록 방식으로 구현해야 할 것이다. 추후 2개 이상의 위치영역을

갖는 보다 일반적인 경우에 대한 수리적 모형화와 시뮬레이션 결과와의 비교가 후속 연구로서 진행될 예정이다.

## 참고문헌

- Baek, J. H. and Ryu, B. H. (2003), Modeling and analysis of distance-based registration with implicit registration, *ETRI Journal*, **25** (6), 527-530.
- Baek, J. H., Park, J. H., Sicker, D. C., and Lee, T. H. (2010), Modeling and performance analysis of the movement-based registration with implicit registration, *IEICE Trans. Communications*, E93-B(5), 1306-1309.
- Baek, J. H., Ryu, B. H., Lim, S. K., and Kim, K. S. (2000), Mobility model and performance analysis for zone-based registration in CDMA mobile communication system, *Telecommunication Systems*, **14**(1), 13-29.
- EIA/TIA/IS-95-B (1999), *MS-BS Compatibility Standard for Wideband Spread Spectrum Cellular System*.
- Jang, H. S., Hwang, H., and Jun, K. P. (2001), Modeling and analysis of two-location algorithm with implicit registration in CDMA personal communication network, *Computers and Industrial Engineering*, **41**(1), 95-108.
- Kim, K. H., Baek, J. H., and Kim, C. S. (2008), Modeling and optimization of zone-based registration considering cell-by-cell location area for mobile communication networks, *Computer Networks*, **25**(3), 667-674.
- Li, J., Kameda, H., and Li, K. (2000), Optimal dynamic mobility management for PCS networks, *IEEE/ACM Trans. Networking*, **8**(3), 319-327.
- Lin, Y. B. (1997), Reducing location update cost in a PCS network, *IEEE/ACM Trans. Networking*, **5**(1), 25-33.
- Mao Z. and Douligeris C. (2000). A location-based mobility tracking scheme for PCS networks, *Computer Communications*, **23**, 1729-1739.
- Park, J. W. (2008). Improvement and performance evaluation of zone-based registration in mobile communication network, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **34**(2), 172-180.