

# Hybrid 가드채널이 있는 이동통신시스템의 성능 평가<sup>†</sup>

홍성조\* · 최진영\*\*

\*동국대학교 산업시스템공학과

\*\*경기대학교 첨단산업공학부

## Performance Analysis of a Cellular Mobile Communication System with Hybrid Guard Channels

Sung-Jo Hong\* · Jin-Yeong Choi\*\*

\*Department of Industrial and Systems Engineering, Dongguk University

\*\*School of Advanced Industrial Engineering, Kyonggi University

We analyze a voice/data integrated traffic model of the cellular mobile communication system with hybrid guard channels for voice and handoff calls. In a multi-service integrated wireless environment, quality of service guarantee is crucial for smooth transportation of real time information. Real time voice traffic requires a guaranteed upper bounded on both delay and packet error rate, whereas data traffic does not. Voice traffic has high transmission priority over data packets. Thus one of the important problems is the design of admission control schemes which can efficiently accommodate the differential quality of service requirements.

In this paper, a hybrid guard channel scheme is considered in which arriving calls are assigned channels as long as the number of busy channels in the cell is below a predetermined first threshold. When the number of busy channels reaches the first threshold, new originating data calls are queued in the infinite data buffer. Then reaches second threshold, only handoff calls are assigned the remaining channels and new originating voice calls are blocked.

We evaluate the system by a two-dimensional Markov chain approach and generating function method and obtain performance measures included blocking probability and forced termination probability.

**Keywords :** Blocking, Forced Termination, Guard Channel

### 1. 서 론

이동통신시스템에서는 사용 가능한 전파의 주파수를 일정 간격으로 분할하여 채널(channel)이라고 한다. 사용 가능한 주파수는 한정되어 있기 때문에 사용 가능한 채널 또한 한정되어 있다. 이러한 한정된 채널을 효율적으로 사용하기 위한 방법으로 하나의 서비스 지역을 보다 작은 여러 개의 서비스 지역으로 분할하고(각 지역

을 셀이라고 부름) 동일한 주파수대를 동시에 여러 개 사용함으로써 채널의 수를 늘릴 수 있다. 그러나 서비스 지역을 작게 분할함으로써 이용자가 통화를 시작한 셀에서 통화가 종료되지 않고 인근 셀로 이동하는 경우(handed over)가 늘어나게 되고 이러한 경우 인접한 셀에서는 동일한 채널을 가질 수 없기 때문에 통화가 끊어지게 되는 현상이 발생하게 된다. 그러나 인접한 셀로 이동할 경우 핸드오프(hand off)기능을 사용하여 새

<sup>†</sup> 본 연구의 일부는 동국대학교 논문게재장려금 지원으로 이루어졌음.

로운 채널을 할당 받아 통화를 계속할 수가 있다. 그러므로 이동통신 네트워크에서는 하나의 특정 셀에서 발생하는 호(call)는 그 셀에서 새롭게 생성된 호(신규 호라고 부르기로 함)와 인접한 셀에서 이동해오는 호(핸드오프 호로 부르기로 함)로 분류할 수 있다. 따라서 특정 셀의 모든 채널이 사용 중일 경우 그 셀에서 발생하는 신규 호는 호 손실(call loss)이 발생하고, 이동해오는 핸드오프 호는 통화가 강제로 종료되는 현상이 발생하게 된다.

일반적으로 신규 호가 접속이 되지 못하는 경우를 줄이려는 것 보다는 핸드오프 호가 강제 종료되지 않도록 서비스하는 것이 더 중요하게 다루어지고 있으며 이렇게 할 수 있는 방법 중 하나는 핸드오프 호에 채널 할당에 있어서 우선권(priority)을 부여하는 것이다. 이러한 방법 중에서 R Guerin[3]은 핸드오프 호를 위한 가드채널(guard channel)을 설정하고, 사용 가능한 채널의 수가 가드채널 수 이하가 될 경우 핸드오프 호에만 사용 가능한 나머지 채널을 할당하고 신규 호는 버퍼에 대기하다가 사용 가능한 채널의 수가 가드채널의 수 이상이 되는 경우에 도착순으로 채널을 할당하는 모형을 제시하고 2차원 마-코프과정으로 모형화하여 분석하였다. 한편 하나의 셀이 서비스하는 영역은 그 셀의 기지국으로부터 전파가 미치는 범위까지이며 인접한 셀 간의 경계부근에서는 인접한 셀과 전파가 미치는 범위가 중복된다고 볼 수 있다. 어떤 셀에서 통화중인 단말기가 셀의 경계지역에 접근 할수록 그 셀의 기지국으로부터의 전파가 약화되고 일정 수치 이하가 되면 보다 강한 전파를 내는 인접 셀의 기지국으로 핸드오프를 요청하게 되고 사용 가능한 채널이 있는 경우 인접 셀의 기지국으로 핸드오프 된다. 그러나 핸드오프를 요청하는 순간 사용 가능한 채널이 없는 경우 바로 통화가 단절되지 않고 현재 사용 중인 채널의 기지국으로부터의 전파가 미치는 범위 내에서는 통화를 계속할 수 있다. Hong and Rappaport[4, 5]는 이러한 기간을 핸드오프 호의 대기시간으로 보고 핸드오프 호의 대기를 고려하는 모형과 그렇지 않은 모형을 분석하였다. 또한 Chung et al.[1]과 Yoon and Un[11] 등은 신규 호와 핸드오프 호 모두가 대기하는 모형을 제시하고 호의 손실 확률 등을 구하였다. Miyasiro and Takagi[8]는 이들 모형을 이용하여 네트워크 전체 영역에서의 호 손실률과 강제 종료 확률 등을 구하였다.

한편, CDMA 이동통신 네트워크에서는 음성뿐만이 아니라 e-mail과 같은 데이터 트래픽(data traffic) 등 서로 다른 특성을 갖는 다양한 종류의 트래픽을 서비스하고 있다. 예를 들면 음성 트래픽은 실시간 전송을 필요로 하지만 비교적 높은 비트 오류를 수용할 수 있는 반면,

데이터 트래픽은 실시간 전송은 요구하지 않지만(버퍼에 대기할 수 있음) 비교적 낮은 비트 오류를 요구한다.

본 연구에서는 이러한 음성과 데이터 트래픽 특성을 고려하여 특정 셀에서 발생하는 신규 호를 음성 호와 데이터 호로 분류하고 신규 음성 호와 핸드오프 호에 대해 채널 할당의 우선권을 부여하기 위한 계층적 가드채널(hybrid guard channel) 모형을 제시하고 각 셀과 서비스영역 전체에 대한 시스템 성능척도를 구하였다. 본 연구에서 제시한 모형은 Keison and Ibe[7]의 결과를 현실적인 트래픽의 특성을 반영하여 확장 모형으로 볼 수 있다.

제2장에서는 연구 모형을 보다 구체적으로 설명하고, 제3장에서는 각 셀에 대해서 성능 척도를 구하였으며, 제4장에서는 전체 서비스영역에 대한 성능 척도를 분석하였다. 제5장에서는 수치계산 예를 들고 결론을 기술하였다.

## 2. 모형 설명

전체 서비스 영역(네트워크)은  $J$ 개의 셀로 구성되어 있다고 가정하고 셀  $i$ 에 도착하는(생성되는) 호(call)는 셀  $i$  내에서 처음 발생하는 신규 음성 호( $v$ )와 신규 데이터 호( $d$ ) 및 인접한 셀에서 이동해오는 핸드오프 호( $h$ )로 구분하며, 각 호는 단위 시간당 도착률이 각각  $\lambda_v^{(i)}$ ,  $\lambda_d^{(i)}$ ,  $\lambda_h^{(i)}$ 를 갖는 포아송과정(poisson process)에 따라 생성된다고 가정한다. 특정 셀 내에서 통화 중인 호가 그 셀에서 소멸하는 경우는 그 셀 내에서 통화가 끝나는 경우와 인접한 셀로 핸드오프 되는 경우로 나눌 수 있다. 그리고 통화 중인 음성 호와 데이터 호의 해당 셀 내에서 통화가 종료되는 경우 통화 시간은 각각 모수  $\mu_v^{(i)}$ 와  $\mu_d^{(i)}$ 를 따르는 지수분포를 하고, 각 호가 셀 내에 머무는 시간은 모수  $\mu_s^{(i)}$ 를 따르는 지수분포를 따른다고 가정한다.

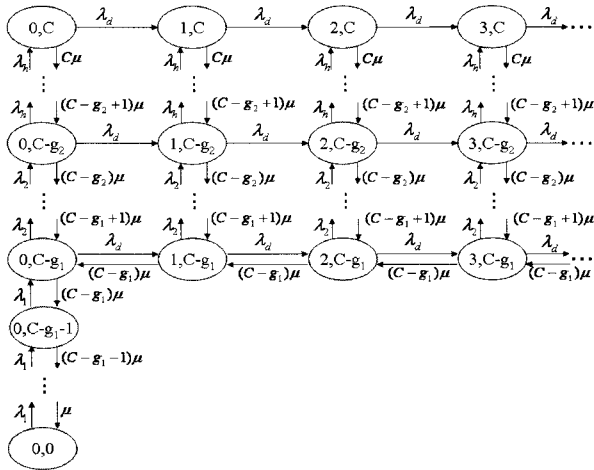
각 셀에는  $C$ 개의 채널이 있으며 새로운 호가 셀에 도착하였을 경우 그 셀에 사용 가능한 채널의 수가  $g_1$ 개 이상이면 도착하는 모든 종류의 호에 잔여 채널 중 하나를 할당한다. 그러나 사용 가능한 채널의 수가  $g_2$ 개 이상  $g_1$ 개 이하이면( $g_1 > g_2$ ) 신규 음성 호와 핸드오프 호에 만 잔여 채널을 할당하고 신규 데이터 호는 버퍼에 대기하게 되며, 그 후 사용 가능한 채널의 수가  $g_1$ 개 이상이 될 때 다시 도착순으로 채널을 할당 받게 된다. 또한 사용 가능한 채널의 수가  $g_2$ 개 이하인 경우에는 핸드오프 호에만 잔여 채널을 할당하며 신규 음성 호는 호 손실이 발생하고, 신규 데이터 호는 이전의 경

우와 같이 버퍼에 대기하게 된다. 모든 채널이 사용 중인 경우에는 신규 데이터 호는 버퍼에 대기하게 되지만, 신규 음성 호는 호 손실이 되고 핸드오프 호는 강제 종료되는 계층적 가드채널을 가진다.

특정 셀  $i$ 에 대하여 대기 중인 데이터 호의 수( $k$ )와 사용 중인 채널의 수( $c$ )를 이용하여 시스템의 상태를 다음과 같이 정의한다.

$$S = \{(k, c); 0 \leq k \leq \infty, 0 \leq c \leq C\}$$

<그림 1>은 본 모형에 대한 상태전이도(state transition diagram)를 나타낸 것이다. 여기서,  $\lambda_1 = \lambda_v + \lambda_d + \lambda_h$ ,  $\lambda_2 = \lambda_v + \lambda_h$ ,  $\mu_1 = \mu_v + \mu_d$ ,  $\mu = \mu_v + \mu_d + \mu_s$ 이고, 각 모수에 셀  $i$ 를 나타내는 위 첨자는 혼돈이 발생하지 않는 범위에서 생략하였다.



<그림 1> 셀  $i$ 에 대한 상태 전이도

$p_{kc}(t)$ 를 시점  $t$ 에서 시스템이 상태  $(k, c)$ 에 있을 확률,  $p_{kc}$ 를 시스템이 상태  $(k, c)$ 에 있을 안정상태확률(steady state probability)이라고 하자. 그러면 <그림 1>의 상태전이도에 대한 안정상태 평형방정식(balance equations)은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \lambda_1 p_{0,c} &= (c+1)\mu p_{0,c+1} \dots (0 \leq c \leq C-g_1-1) \\ (\lambda_d + c\mu + \lambda_2)p_{kc} &= \lambda_d p_{k-1,c} \mathbf{1}(k \neq 0) + (c+1)\mu p_{k,c+1} + c\mu p_{k+1,c} \\ &\quad + \lambda_1 p_{k,c-1} \mathbf{1}(k=0) \dots (k \geq 0, c = C-g_1) \\ (\lambda_d + c\mu + \lambda_2)p_{kc} &= \lambda_d p_{k-1,c} \mathbf{1}(k \neq 0) + \lambda_2 p_{k,c-1} + (c+1)\mu p_{k,c+1} \\ &\quad \dots (k \geq 0, C-g_1 < c < C-g_2) \\ (\lambda_d + c\mu + \lambda_h)p_{kc} &= \lambda_d p_{k-1,c} \mathbf{1}(k \neq 0) + \lambda_2 p_{k,c-1} + (c+1)\mu p_{k,c+1} \\ &\quad \dots (k \geq 0, c = C-g_2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (\lambda_d + c\mu + \lambda_h)p_{kc} &= \lambda_d p_{k-1,c} \mathbf{1}(k \neq 0) + \lambda_h p_{k,c-1} + (c+1)\mu p_{k,c+1} \\ &\quad \dots (k \geq 0, C-g_2 < c < C) \\ (\lambda_d + c\mu)p_{kc} &= \lambda_d p_{k-1,c} \mathbf{1}(k \neq 0) + \lambda_h p_{k,c-1} \\ &\quad \dots (k \geq 0, c = C) \dots \dots \dots (1) \end{aligned}$$

여기서  $\mathbf{1}(A)$ 는  $A$ 가 참이면 1, 그렇지 않으면 0을 나타낸다.

<그림 1>의 상태전이도에서 사용 중인 채널의 수를 기준으로  $0 \leq c < C-g_1$ 인 부분①과  $C-g_1 \leq c \leq C$ 인 부분②로 나누어 고려하기로 한다. 그러면 식 (1)로부터 부분①에 대한 안정상태확률  $p_{0,c} (0 \leq c \leq C-g_1)$ 은 다음과 같다.

$$p_{0,c} = \left(\frac{\lambda_1}{\mu}\right)^c \frac{1}{c!} p_{0,0} \dots \dots \dots (2)$$

그리고 다음과 같은 행렬과 벡터를 정의하자.

$$P_k = (p_{k,C-g_1}, p_{k,C-g_1+1}, \dots, p_{k,C-g_2}, \dots, p_{k,C})$$

$$\dots 1 \times (C-g_1+1)$$

$$I_1 = (1, 0, \dots, 0, \dots, 0) \dots 1 \times (C-g_1+1)$$

$$Q = \begin{pmatrix} -\lambda_2 & \lambda_2 & 0 & \dots \\ (C-g_1+1)\mu - [\lambda_2 + (C-g_1+1)\mu] & \lambda_2 & \dots \\ 0 & (C-g_1+2)\mu & -[\lambda_2 + (C-g_1+2)\mu] \dots \\ 0 & 0 & (C-g_1+3)\mu & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \\ 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \lambda_2 & 0 & 0 \\ \dots -[\lambda_h + (C-g_2)\mu] \dots & 0 & 0 & 0 \\ \dots (C-g_2+1)\mu \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \dots 0 & \dots & \lambda_h & 0 \\ \dots 0 & \dots -[\lambda_h + (C-1)\mu] & \lambda_h & \\ \dots 0 & \dots & C\mu & -C\mu \end{pmatrix}$$

여기서  $Q$ 는  $(C-g_1+1) \times (C-g_1+1)$  행렬임  
그러면 부분②에 대한 평형방정식을 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} 0 &= -\lambda_d P_k + \lambda_d P_{k-1} \mathbf{1}(k \neq 0) + P_k Q \\ &\quad + (C-g_1)\mu p_{k+1,C-g_1} I_1 \\ &\quad + \lambda_1 p_{0,C-g_1-1} \mathbf{1}(k=0) I_1 \dots \dots \dots (3) \end{aligned}$$

여기서  $0$ 는  $1 \times (C-g_1+1)$ 인 영벡터(zero vector)를 나타낸다. 또한  $P_c(z)$ 와  $P(z)$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$P_c(z) = \sum_{k=0}^{\infty} z^k p_{k,c} \quad C-g_1 \leq c \leq C \quad (4)$$

$$P(z) = \sum_{k=0}^{\infty} z^k P_k \quad (5)$$

상태전이도의 부분 ①에 대한 평형방정식으로부터  $\lambda_1 p_{0,C-g_1-1} = (C-g_1)\mu p_{0,C-g_1}$  이므로 식 (3)으로부터 다음을 얻는다.

$$P(z) [\lambda_d(1-z)I - Q] = (C-g_1)\mu(1-z) \frac{P_{C-g_1}(z) - p_{0,C-g_1}}{z} I_1 \quad (6)$$

여기서  $I$ 는  $(C-g_1+1) \times (C-g_1+1)$  단위행렬을 나타낸다. 식 (6)에서 행렬  $Q$ 는 <그림 2>에서와 같이 상태전이도 부분②에 대한 순간생성작용소(infinitesimal generator)이므로  $Q$ 의 고유치는 서로 다른 음수의 실수 값을 가지며  $\lambda_d(1-z)I - Q$  ( $-1 \leq z < 1$ )는 역행렬을 가진다[2]. 따라서

$$P(z) = (C-g_1)\mu(1-z) \frac{P_{C-g_1}(z) - p_{0,C-g_1}}{z} \times I_1 [\lambda_d(1-z)I - Q]^{-1} \quad (7)$$

한편, 행렬  $Q$ 는 대각선의 원소가 모두 음수이고, 0이 아닌 값을 가지는 요소 중에서 가운데 값은 좌우에 있는 값의 합이 되므로 행렬  $Q$ 는 고유치  $e_1=0, e_n \leq 0$  ( $n=1, 2, \dots, m$ )을 가지며, 이러한 고유치를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다[2, 6].

$$Q = \sum_{n=1}^m e_n E_n \quad (8)$$

여기서  $E_n$ 은  $Q$ 의 고유벡터로 이루어진 Dyad행렬이다[6]. 따라서 다음 식이 성립한다.

$$[\lambda_d(1-z)I - Q]^{-1} = \sum_{n=1}^m \frac{E_n}{\lambda_d(1-z) - e_n} \quad (9)$$

그러면 식 (7)로부터 다음을 얻을 수 있다.

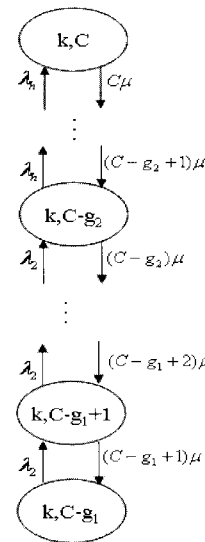
$$P_{C-g_1}(z) = P(z) I_1^T = (C-g_1)\mu(1-z) \frac{P_{C-g_1}(z) - p_{0,C-g_1}}{z} \times \sum_{n=1}^m \frac{I_1 E_n I_1^T}{\lambda_d(1-z) - e_n} \quad (10)$$

$\Pi$ 를 상태전이도의 부분②에 대한 안정상태확률을 요소로 갖는 벡터 즉,  $\Pi = (\pi_{C-g_1}, \pi_{C-g_1+1}, \dots, \pi_C)$ 로 정의하자. 여기서  $\pi_c$  ( $c=C-g_1, \dots, C$ )는 임의의  $k$  ( $k \geq 0$ )에

대하여 시스템이 상태  $(k, c)$ 에 있을 안정상태확률을 나타낸다. 그러면 <그림 2>에 대한 안정상태방정식으로부터 다음 식을 얻는다.

$$\pi_c = \begin{cases} \left(\frac{\lambda_2}{\mu}\right)^{c-(C-g_1)} \frac{(C-g_1)!}{c!} \pi_{C-g_1}, & C-g_1 < c \leq C-g_2 \\ \frac{\lambda_2^{g_1-g_2} \lambda_h^{c-(C-g_2)}}{\mu^{c-(C-g_1)}} \frac{(C-g_1)!}{c!} \pi_{C-g_1}, & C-g_2 < c \leq C \end{cases}$$

$$\pi_{C-g_1} = \left[ 1 + \sum_{c=C-g_1+1}^{C-g_2} \frac{(C-g_1)!}{c!} \left(\frac{\lambda_2}{\mu}\right)^{c-(C-g_1)} + \sum_{c=C-g_1}^C \frac{(C-g_1)!}{c!} \lambda_2^{g_1-g_2} \frac{\lambda_h^{c-(C-g_2)}}{\mu^{c-C-g_1}} \right]^{-1} \quad (11)$$



<그림 2> 사용 채널에 대한 상태전이도

한편 벡터  $1^T$ 을 모든 요소의 값이 1인 열벡터라고 하면  $E_1 = 1^T \Pi$ 이고,  $I_1 E_1 1^T = 1, I_1 E_1 I_1^T = \pi_{C-g_1}, E_n 1^T = 0^T$  ( $n \neq 1$ )을 얻는다[6]. 따라서 식 (10)으로부터 다음을 얻는다.

$$P_{C-g_1}(1) = p_{C-g_1} = \frac{(C-g_1)\mu \pi_{C-g_1} p_{0,C-g_1}}{(C-g_1)\mu \pi_{C-g_1} - \lambda_d} \quad (12)$$

또한  $\Pi_2(z) \equiv P(z)1$ 로 정의하면 식 (7)로부터 다음을 얻는다.

$$\Pi_2(z) \equiv P(z)1 = \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{c=C-g_1}^C z^k p_{k,c} = \frac{(C-g_1)\mu [P_{C-g_1}(z) - p_{0,C-g_1}]}{\lambda_d z} \quad (13)$$

따라서 식 (12)와 식 (13)으로부터 다음 식을 얻는다.

$$\begin{aligned} \Pi_2(1) &= \frac{(C-g_1)\mu[P_{C-g_1}(z) - p_{0,C-g_1}]}{\lambda_d} \\ &= \frac{(C-g_1)\mu p_{0,C-g_1}}{(C-g_1)\mu\pi_{C-g_1} - \lambda_d} \dots\dots\dots (14) \end{aligned}$$

여기서  $\Pi_2(1)$ 은 시스템이 <그림 1>의 상태방정식에서 부분②에 있을 안정상태확률이므로 다음 식이 성립한다.

$$\begin{aligned} 1 &= \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{c=0}^C p_{k,c} \\ &= \sum_{c=0}^{C-g_1-1} p_{0,c} + \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{c=C-g_1}^C p_{k,c} \\ &= \sum_{c=0}^{C-g_1-1} p_{0,c} + \Pi_2(1) \dots\dots\dots (15) \end{aligned}$$

따라서 식 (12)~식 (15)로부터  $p_{0,0}$ 는 다음과 같다.

$$p_{0,0} = \left[ \sum_{c=0}^{C-g_1-1} \frac{1}{c!} \left( \frac{\lambda_1}{\mu} \right)^c + \frac{(C-g_1)\mu \left( \frac{\lambda_1}{\mu} \right)^{C-g_1}}{(C-g_1)!(C-g_1)\mu\pi_{C-g_1} - \lambda_d} \right]^{-1} \dots\dots\dots (16)$$

### 3. 개별 셀에 대한 시스템 성능 척도 분석

본 절에서는 셀  $i$ 에 있어서 음성 호의 손실률과 핸드오프 호의 강제 종료될 확률을 구한다. 먼저, 셀  $i$ 에서 신규로 발생하는 음성 호가 손실될 확률( $p_{lv}^{(i)}$ )은 사용가능한 채널의 수가  $g_2$ 개 이하인 경우에 발생한다. 따라서

$$p_{lv}^{(i)} = \sum_{c=C-g_2}^C p_c^{(i)} = \sum_{c=C-g_2}^C P_c(1) \dots\dots\dots (17)$$

그리고 셀  $i$ 에 들어오는 핸드오프 호가 강제 종료될 확률( $p_b^{(i)}$ )은 다음과 같다.

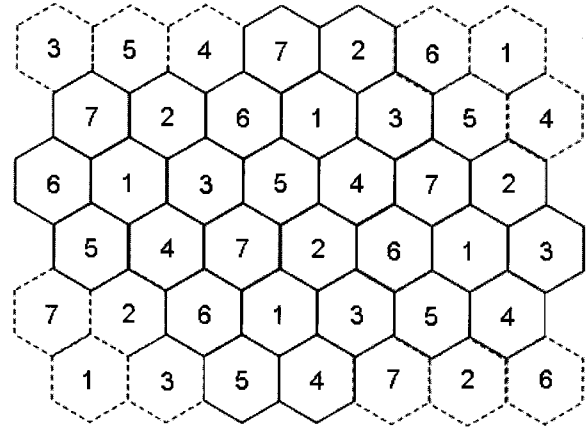
$$p_b^{(i)} = p_C^{(i)} \dots\dots\dots (18)$$

신규 호와 핸드오프 호 모두 포아송과정에 따라 발생하고 호의 발생 직전의 셀의 상태는 임의의 시점의 셀의 상태(안정상태)와 같다는 PASTA성질로부터[10], 위 식의 우변을 각각 안정상태 확률로 사용할 수 있다.

### 4. 서비스영역 전체에 대한 성능척도 분석

본 절에서는 네트워크(서비스영역) 모형으로 <그림

3>과 같은 6각형의 셀의 조합을 고려한다. 각 셀에서의 모수는 동일하다고 가정하고 각 셀에서 핸드오프 되는 호는 균등한 비율(1/6)로 인접한 셀로 들어간다. 단, 핸드오프 되어 가는 호가 서비스 영역 밖으로는 벗어나지 않는다고 가정한다.



<그림 3> 네트워크모형

#### 4.1 핸드오프 호의 발생률

임의의 셀  $i$ 에서 핸드오프로 나가는 호의 발생 비율  $\lambda_{ho}^{(i)}$ 은 통화시간, 움직이는 속도, 셀의 반경 등의 모수에 의존한다고 볼 수 있다. 셀  $i$ 내의 사용 중인 채널의 수가  $c$ 개인 경우 단위 시간당 셀  $i$ 로부터 핸드오프에 의해 인접한 셀로 나가는 비율은  $c\mu_s^{(i)}$ 이다. 따라서 셀  $i$ 에서 나가는 핸드오프 호의 발생률은 다음과 같이 주어진다.

$$\lambda_{ho}^{(i)} = \sum_{c=1}^C c\mu_s^{(i)} p_c^{(i)} \dots\dots\dots (19)$$

이들 핸드오프 호는 각각 확률  $\gamma_{ij}$ 로 셀  $j$ 로 이동하게 되어 셀  $j(j=1, 2, \dots, J)$ 에서의 핸드오프 발생률  $\lambda_h^{(j)}$ 이 된다. 여기서

$$\sum_{j=1}^J \gamma_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, J \dots\dots\dots (20)$$

이와 같은 가정 하에서, 고정점법(fixed point method) [8]을 사용하여 핸드오프 호의 발생률  $\lambda_h^{(i)}$ 을 다음과 같이 반복 절차에 따라 구한다.

- (I) 모든  $i$ 에 대하여 초기값으로  $\lambda_h^{(i)} = 0$ 으로 둔다.
- (II) 모든  $i$ 에 대하여  $\lambda_v^{(i)}, \lambda_d^{(i)}, \mu_v^{(i)}, \mu_d^{(i)}, \mu_s^{(i)}$ 의 값을 부여한다.

- (III) 모든  $i$ 에 대하여 식 (2), 식 (4), 식 (16) 등으로부터  $p_c^{(i)}$ 을 계산한다.
- (IV) 모든  $i$ 에 대하여 셀  $i$ 로부터 나가는 핸드오프 발생률을 식 (19)로부터 계산한다.
- (V) 핸드오프 호는 확률  $\gamma_{ji}$  셀  $j$ 에서 셀  $i$ 로 이동한다고 하면, 모든  $i$ 에 대하여, 셀  $i$ 로 들어오는 핸드오프 발생률  $\lambda_h^{(i)}$ 를 다음과 같이 구한다.

$$\lambda_h^{(i)} = \sum_{j=1}^J \lambda_{ho}^{(j)} \gamma_{ji} \dots\dots\dots (21)$$

- (VI) 모든  $i$ 에 대하여  $\lambda_h^{(i)}$ 의 값이 수렴할 때까지 (III)~(V)의 과정을 반복한다.

4.2 네트워크 전체에 대한 성능 척도 분석

본 절에서는 개별 셀에 대한 음성 호의 호 손실률  $p_{lv}^{(i)}$ 와 핸드오프 호의 강제 종료 확률  $p_b^{(i)}$ 을 이용하여 서비스영역 전체에 대한 음성 호 손실률과 강제 종료 확률을 평가한다.

신규 음성 호는 해당 셀에서 채널을 확보하지 못하면 호 손실이 발생한다. 이 경우는 앞 절에 기술한 바와 같이 그 셀의 이용한 가능한 채널의 수가  $g_2$ 개 이하인 경우에 발생한다. 또한 그 셀에서 채널을 확보한 호 중에서 핸드오프로 셀을 이동할 경우 이동하고자 하는 셀에서 채널을 확보하지 못하면 통화가 강제 종료된다. 통화시간 내에 강제 종료는 없는 경우에만 통화를 성공적으로 끝낼 수 있다.

먼저, 서비스영역 내의 임의의 셀에서 생성된 신규 음성 호가 손실이 될 확률  $p_{lv}$ 는 각 셀의 모두 동일하다고 가정하였으므로 각 셀의 음성 호 손실률  $p_{lv}^{(i)}$ 의 평균으로 계산할 수 있다.

$$p_{lv} = \frac{\sum_{i=1}^J \lambda_v^{(i)} p_{lv}^{(i)}}{\sum_{i=1}^J \lambda_v^{(i)}} \dots\dots\dots (22)$$

또한, 전체 서비스영역 내에서의 핸드오프 호의 강제 종료 확률  $p_{bh}$  또한 다음 식과 같이 각 셀에 대한 강제 종료 확률  $p_b^{(i)}$ 의 평균으로 계산할 수 있다.

$$p_{bh} = \frac{\sum_{i=1}^J \lambda_h^{(i)} p_b^{(i)}}{\sum_{i=1}^J \lambda_h^{(i)}} \dots\dots\dots (23)$$

5. 수치 계산 예

본 절에서는 앞 절에서 구한 성능척도의 분석결과에 대한 수치 계산 과정을 보기 위하여 다음과 같은 3가지 모형을 고려한다.

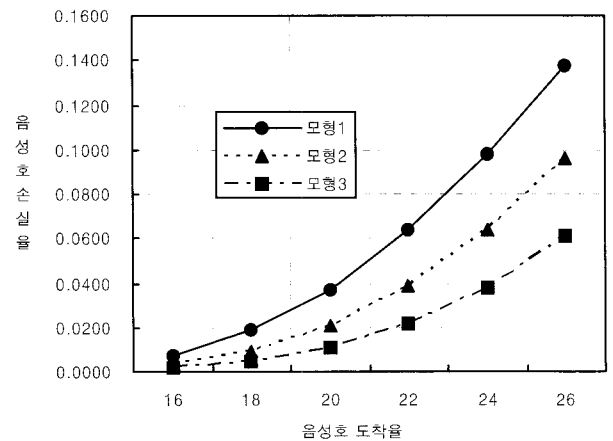
모형 1 : 가드채널의 수가 3개이고 이 중에서 음성 호를 위한 가드채널은 0개 즉, 음성 호를 위한 가드채널을 별도로 두지 않은 기존의 모형과 동일

모형 2 : 가드채널의 수가 3개이고 이 중에서 음성 호를 위한 가드채널은 1개인 경우

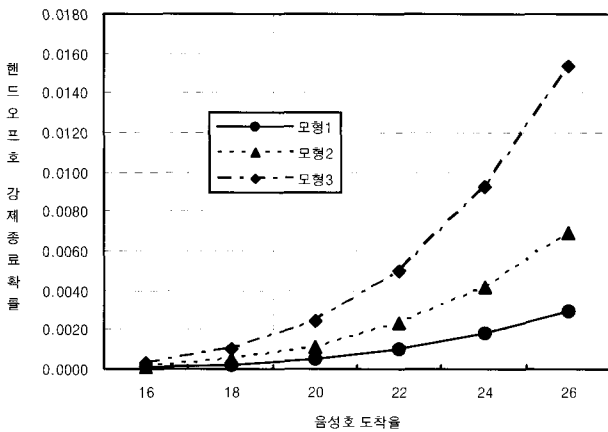
모형 3 : 가드채널의 수가 3개이고 이 중에서 음성 호를 위한 가드채널은 2개인 경우

앞 절에서 가정한 바와 같이 각 셀  $i$ 에서의 모수는 모두 같다고 가정하고 서비스영역은 7개의 셀로 구성되어 있으며( $J=7$ ), 각 셀 내 채널의 수는 20개( $C=20$ )라고 가정한다. 또한  $\mu_v^{(i)}=1$ ,  $\mu_d^{(i)}=1$ ,  $\mu_s^{(i)}=2$ 라고 가정하였다. 이것은 자동차가 직경 500m의 마이크로 셀을 시속 60km로 통과하고 통화시간의 평균이 1분인 경우이다. 셀  $i$ 에서 인접한 셀  $j$ 로 이동할 확률  $\gamma_{ij}=1/6$ 이고 인접하지 않는 셀로의 이동 확률은 0으로 둔다. 데이터 호의 발생 비율  $\lambda_d=(2/7)\lambda_v$ 의 비율로 발생한다고 가정한다.

<그림 4>는 주어진 모수에 대해 신규 음성호의 신규 발생률에 따른 호 손실율을 나타내고 있다. 이 그림에서 음성 호의 호 손실율에 대한 가드 채널의 효과를 알 수 있다. <그림 5>는 음성 호에 대한 가드채널을 증가 시킴으로 인하여 핸드오프 호의 강제 종료확률이 증가하는 현상을 나타내고 있다.



<그림 4> 음성 호의 손실률



<그림 5> 핸드오프 호의 강제 종료 확률

### 6. 결 론

본 연구에서는 이동통신시스템의 다양한 트래픽 특성을 고려하여 특정 셀에서 발생하는 신규 호를 음성 호와 데이터 호로 분류하고 신규 음성 호와 핸드오프 호에 대해 채널 할당의 우선권을 부여하기 위한 계층적 가드채널 모형을 제시하고, 각 셀과 서비스영역 전체에 대한 신규 음성호의 호 손실율과 핸드오프 호의 강제 종료확률을 구하였다.

한편 본 연구 모형을 통하여 가드 채널과 서비스 수준(음성 호 손실율과 핸드오프 호의 강제 종료확률)사이의 적절한 절충점을 찾기 위한 분석을 할 수 있다.

### 참고문헌

[1] Chang, C. J. and Su, T. T., and Chiang, Y. Y.; "Analysis of a Cutoff Priority Cellular Radio System with Finite Queueing and Reneging/Dropping," *IEEE/ACM Transaction on Networking*, 2(2), 1994.

[2] Debreu, G. and Hertein, I. N.; "Nonnegative Square Matrix," *Econometrica, Journal of Econometric Society*, 21(4), 1953.

[3] Guerin, R.; "Queueing-Blocking System with Two Arrival Streams and Guard Channels," *IEEE Transactions on Communications*, 36(2) : 153-163, 1988.

[4] Hong, D. H. and Rappaport, S. S.; "Traffic Model and Performance Analysis for Cellular Mobile Radio Systems with Prioritized and Nonprioritized Handoff Procedures," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, VT-35(3) : 77-79, 1986.

[5] Hong, D. H. and Rappaport, S. S.; "Priority Oriented Channel Access for Cellular Systems Serving Vehicular and Portable Radio Telephones," *IEEE Proceedings*, 136(5) : 339-346, 1989.

[6] Keilson, J.; *Markov Chain Models-Rarity and Exponentiality*, Springer-Verlag, 1979.

[7] Keilson, J. and Ibe, O. C.; "Cutoff Priority Scheduling in Mobile Cellular Communication Systems," *IEEE Transactions on Communications*, 43(2/3/4) : 1038-1045, 1995.

[8] Miyasiro, T. and Hideaki, T.; "Analysis of Call Blocking and Forced Termination Probability in Cellular Communication Network with Irregular Construction," (in Japanese), *Proceedings of the Performance Models For Information Communication Networks*, pp. 338-349, 1997.

[9] Searle, S. R.; *Matrix Algebra Useful for Statistics*, New York Wiley, 1982.

[10] Wolff, R. W.; *Stochastic Modeling and The Theory of Queues*, Prentice Hall, 1989.

[11] Yoon, C. H. and Un, C. K.; "Performance of Personal Portable Radio Telephone System with without Guard Channels," *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, 11(6) : 911-917, 1993.