

論文97-34S-4-1

광역 무선 Trunking 시스템의 통신용량 분석에 관한 연구

(A Study on the Capacity Analysis of Wide Area Radio Trunking System)

金 洛 明 *

(Nak-Myeong Kim)

요 약

본 논문에서는 광역 무선 trunking 시스템의 용량 설계를 위하여 무선 기지국당의 채널 점유 특성을 모델링하고, 이를 토대로 광역 TRS 교환기의 소요 용량을 분석하였다. 방법으로서, 가입자의 운용 특성에 따른 호 연결 특성을 감안한 G/M/m 큐잉 모델을 통하여 무선기지국의 line card에서 본 통화량의 집중 현상을 분석하였다. 그 결과, 호 연결 현상의 정도가 커짐에 따라 무선기지국의 채널카드의 점유 변동폭이 커지며, 따라서 평균 call blocking 확률이 높아진다는 점을 알 수 있었다. 다음으로는, 위에서 얻은 결과를 토대로 광역 TRS 교환기의 교환용량을 구하기 위하여 수학적 기법을 적용함으로써 트래픽량의 변동에 따른 동시호 평균접속수 및 표준 편차를 구하였다. 광역 TRS 시스템에 있어서 교환기에서의 평균 스위칭 접속수는 가입자의 이동량에 따른 다영역 paging 특성과 관계가 깊으며, 가입자들의 지역적 분산도가 크면 클수록 교환 접속수의 평균 및 변동폭이 컸다. 특히 교환기의 call dropping 확률을 0.2% 이내로 가정할 경우, 가입자의 이동이 거의 없을 경우와 비교할 때 크기는 5~6배 이상 큰 용량의 교환기를 필요로 한다는 결론을 도출하였다.

Abstract

In this paper, modeling of the communication channel occupancy characteristics at the base station in the wide area radio trunking system has been performed. Using the results, mathematical analysis for the switching capacity at the network switch has also been done. Specifically, we propose a G/M/m queueing model for the single service area modeling, and analyze changes in call blocking probabilities according to changes in the burstness characteristics of group paging calls. As a result, we have observed that the channel occupancy variations become larger as the burstness characteristics become more apparent, to make the call blocking probability higher. Next, based on the single service area analysis, we have analyzed mathematically the average switching capacity required to serve mobile subscribers for a wide area radio trunking system, where multiple switching port assignments are required when the people in the same group are distributed over several base stations. Accordingly, we have observed that the average and the variance of switching channel occupancy are closely related to the mobility characteristics of subscribers, and that we need a network switch having bigger capacity as subscribers show wider distribution. Especially, with the call dropping probability within 0.2%, a switch having about 5 to 6 times bigger can be required, compared with the one when the mobility of subscribers is mostly restricted to a single service area.

I. 서 론

넓은 지역을 대상으로 한 무선 통신 시스템의 하나

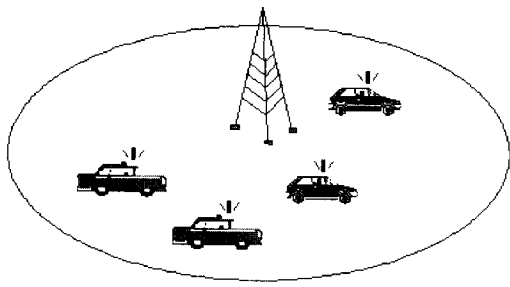
로서, 광역 무선 trunking 시스템 또는 Trunked Radio System (TRS)은 통화 효율이 매우 높고 일정한 가입자 그룹별로 구분하여 paging할 수 있다는 장점이 있어서 많은 분야에 응용이 가능하다. 기본적인 TRS 시스템은 단일 무선국을 중심으로 해당 전파 전달 영역 내에 있는 가입자들이 대상이 되는 것이지만,

* 正會員, 梨花女子大學校 電子工學科

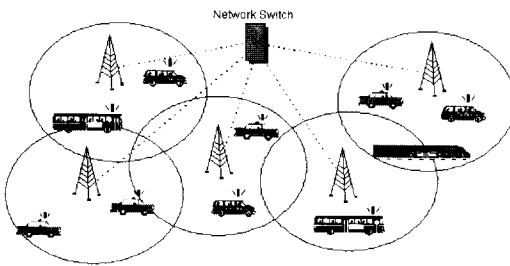
(Dept. of EE, Ewha Woman's University)

接受日字: 1997年2月12日, 수정완료일: 1997年4月8日

network 교환 기술과의 접목을 통하여 다수의 무선국으로 배치된 광역의 서비스 영역을 설치하고 그 내에서는 어디를 가더라도 교신이 가능하도록 되었다. 이러한 TRS의 개념도를 그림 1)에서 도시하였다. 그림 1-a)에서 도시한 단일 무선국의 경우에는 무선기지국과 다수의 가입자 단말국 및 비교적 간단한 기지국 제어기가 설치된다. 그러나, 그림 1-b)에 도시된 광역 TRS 시스템에서는 다수의 무선 기지국이 배치되고, 그 무선 기지국들을 상호 접속하여 호 교환 접속을 할 수 있는 network 교환기가 하나 또는 여러 대의 분산 제어 구조로 설계된다. 후자의 경우에는 이동이 심한 가입자들의 현재 위치를 알 수 있는 가입자 위치 등록 시스템도 갖추게 되며, 이를 이용하여 광역 무선호출 기능, 즉 가입자의 roaming 기능을 구현할 수 있다.



a) 단일 서비스 영역
a) Single service area



b) 광역 서비스 구조
b) Wide area service structure

그림 1. TRS 시스템의 구조도
Fig. 1. System structure of a TRS system.

이러한 TRS 시스템의 성능 분석에 관한 지금까지의 연구는 주로 단일 서비스 영역에서의 그룹호출 서비스나 일반전화와 같은 one-to-one 접속 서비스 등의 혼재에 따른 용량 분석에 관한 것이었다^{[11],[12]}. 따라서, 이러한 연구에서는 그룹호출시의 그룹 호출당 발생하

는 호의 연접 현상에 관하여 구체적으로 분석할 수 있는 모델을 제시하기보다는 호의 발생 특성이나 서비스 특성이 서로 다른 트래픽의 혼재 비율에 따른 무선기지국의 성능 비교를 대상으로 하였다. 반면, 본 논문에서는 TRS 시스템에서 운용되는 그룹호출의 호 연접특성을 충분히 표현할 수 있는 모델을 제시하고, 시뮬레이션을 통하여 그룹 호출의 연접 특성으로 말미암은 무선기지국의 서비스 품질 변화를 분석하고자 한다. 또한, 이 결과를 토대로, 광역 TRS 시스템의 설계 과정에 반드시 고려되어야 할 network 교환기의 소요 용량을 수학적 기법을 이용하여 분석하고, 가입자의 이동 특성에 따른 소요 교환 용량의 변동 현상을 제시한다.

TRS 시스템에서 각 가입자는 단말기에 있는 버튼을 누르면서 바로 말을 함으로써 음성 신호 전송이 가능하다. 이 신호는 무선 기지국에서 수신되고, 그 호의 특성(지역호 또는 광역호)에 따라 서비스 방식이 달라진다. 지역호의 경우에는 해당 무선국에서 직접 송출 안테나로 그 신호를 보내게 되며, 광역호의 경우에는 network 교환기(이하 광역 TRS 교환기)로 연결하여 소속 그룹의 가입자들이 위치한 무선기지국을 모두 알아낸 다음, 그 무선기지국들에 동시에 동일한 음성 신호가 가도록 제어한다. 따라서, 송출부의 접속 회선의 측면으로 본다면, 전자의 경우에는 하나의 호 요구(up stream)에 대하여 하나의 신호 송출(down stream)이 발생한 반면, 후자의 경우에는 하나의 호 요구에 대하여 여러 개의 송출 신호가 동시에 발생한다는 점을 알 수 있다.

본 논문에서는 이러한 TRS의 호 접속 용량을 통계적 트래픽 해석방법을 이용하여 구해 보고자 한다. TRS 시스템은 end-to-end 호 접속이 없이, 무선 구간에서의 매우 짧은 통화 단위로 half-duplex 방식으로 통신을 하므로 일반적으로 Erlang의 트래픽 이론에 근거한 용량해석을 하게 된다. 그러나, 실제 TRS 시스템을 사용하는 환경을 고려해 보면 일단 첫 호가 발생되고 나면 동일 그룹에 속한 여러 가입자가 듣게 되므로 자연스럽게 대화를 위하여 몇 개 이상의 추가 호들이 이어지게 되는 특징을 가지고 있다. 이러한 환경은 무선 접속 방식이 Time Division Multiple Access (TDMA) 방식이든, Frequency Hopping Multiple Access (FHMA) 방식이든, 또는 Frequency Division Multiple Access (FDMA) 방식이든 동일하게 적용되는 문제이며, 해당 무선접속 형태를 거치고

나면 그 다음에 관건이 되는 채널 카드의 동시 접속수에 직접적인 영향을 주게 된다. 따라서, 본 논문에서는 가입자의 호 발생 특성을 초기호 발생특성과 호 연접 특성으로 구분하여 고려한다. 즉, 초기호 발생과정은 충분한 randomness가 보장된 환경으로 판단되므로 Poisson 분포를 가정하고, 이어지는 연접 특성은 임의의 분포를 가정하고자 하였다. 또, 기지국의 채널카드 점유과정은 기지국의 단위호 서비스 특성으로 분류하여 Exponential 분포의 길이를 가정하였다.

다음으로는 광역 TRS 교환기의 소요 용량에 대하여 수학적 기법을 사용하여 분석한다. 즉, 광역 paging의 경우 가입자의 이동성에 따라 가변적인, 단일 호 요구에 대한 출력 스위칭 접속수를 분석하여 최종적으로 광역 TRS 교환기의 소요용량을 도출하고자 한다.

서론에 이어 제2절에서는 단일 서비스 영역에서의 트래픽 모델링에 관하여 소개하고, 제3절에서 단일 서비스 영역에서의 통신 용량을 해석하였다. 또 제4절에서는 단일 서비스 영역 해석을 위한 computer simulation에 관하여 서술하였다. 제5절에서는 광역 TRS 교환기의 용량을 수학적으로 해석하였고, 제6절에서 이 결과를 활용한 수치 해석에 관하여 토론하였다. 제7절에서 결론을 맺었다.

II. 단일 서비스 영역에서의 트래픽 모델링

전술한 바와 같이 TRS에서는 첫 호가 발생되고 난 후에는 몇 개 이상의 추가 호들이 이어지게 되는 특징을 가지게 되는데, 이 경우의 총체적인 트래픽의 형태를 Poisson arrival과 Exponential service time으로 특징되는 M/M/m 모델로 가정하기는 어렵다. 즉, 추가 호들의 연접특성으로 말미암아 어느 한 그룹 호출의 시작시점에서 완료시점까지를 한 단위로 본다면, 이 시간 동안의 호 발생간 간격은 단순 Exponential 분포 특성을 갖기보다는 비기억성(memoryless)을 갖지 않은 일반 함수적 분포를 가지게 된다. 따라서, 단일 영역에서의 무선기지국에서의 채널 점유 특성을 이해하기 위해서는 이러한 연접 특성을 적절히 모델링할 필요가 있다. 본 논문에서는 이러한 트래픽의 모델링을 위한 접근 방식으로서 두가지 방식을 분석한다.

첫 번째 방식으로는 여러 개의 호로 구성된 한 단위의 그룹 호출 통화 전체를 하나의 burst로 보고, 그 길이의 분포를 일반 분포함수로 적용하는 방법이다. 이

때, 각 그룹 호출의 초기 발생은 Poisson 분포를 따른다는 가정을 할 수 있으므로, 이 경우 전체 무선기지국의 채널 점유 특성은 M/G/m queueing 모델로 분류할 수 있다. 이러한 M/G/m 모델은 일반적으로 연접 특성을 나타내는 통신 시스템의 분석에 많이 적용되고 있으나, TRS 시스템의 그룹 호출의 분석에는 정확히 대응되지는 않는다. 즉, TRS의 그룹통화는 각 가입자의 talk spurt가 하나하나 독립적인 전송단위를 형성하고 있고, 각 talk spurt 마다 서로 다른 채널을 점유하게 된다는 특성 때문에, 각각의 talk spurt들 사이에 존재하는 빈 시간에도 해당 통화 채널을 다른 그룹의 통화에 assign할 수 있다. 따라서, 한 단위의 그룹 통화를 M/G/m 모델의 관점에서 본, 길이가 긴 단일 통화의 개념으로 모델링하는 것은 TRS 시스템의 동작원리를 정확히 표현하는 방법은 아니라는 의미이다. 그러나, 그룹호출의 연접 특성이 전체적으로 Exponential 분포에 근접할 경우에는 적용이 가능하다.

두 번째 모델링 방식에서는 보다 더 TRS 운용 환경을 정밀하게 표현하기 위하여 각각의 talk spurt는 모두 Exponential 분포를 가지되 각 그룹호출의 첫 호의 발생은 Poisson 특성으로, 그룹호출 내에서 이어지는 talk spurt들은 일반 분포함수에 의한 발생 구조를 가진다고 보는 방식을 고려한다. 이 경우는 각 talk spurt가 독립적인 개체로 인식되므로 talk spurt마다 서로 다른 채널을 통해 전송되는 TRS의 특성을 잘 반영한다고 볼 수 있다.

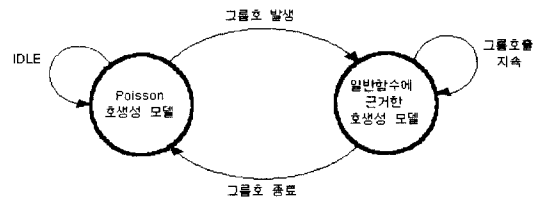


그림 2. 그룹호출시의 각 그룹별 트래픽 생성 모델
Fig. 2. Traffic generation model of the group paging for each group.

그림 2)는 이러한 개념의 트래픽 생성 모델을 도시하고 있다. 그림에서 보듯이, 입력호 발생 특성은 그룹호출의 초기발생과 관련된 Poisson 트래픽 생성 state와 그룹호출내의 추가호들의 연접특성을 표현하는 일반 분포에 의한 트래픽 생성 state의 두 상태로 표현이 가능하며, 두 상태는 각 그룹호출마다 별도로 상태 천이

가 이루어진다고 가정할 수 있다. 이 점을 수학적으로 본다면, 전체 입력 트래픽 발생특성은 Poisson 생성 특성과 일반 함수에 의한 생성 특성의 convolution 형태로 표현되어야 한다.

III. 단일 서비스 영역에서의 통신용량 해석

본 절에서는 전술한 바와 같은 M/G/m 모델 및 G/M/m 모델 각각을 기준으로 무선 기지국내 채널의 점유 특성에 관한 해석을 하고 이 결과를 통하여 각 경우에 대한 call blocking 특성을 유도하고자 한다. 여기서, 두 방식에 공히 가입자의 호 발생과 관련된 호의 평균 도착시간 간격은 $1/\lambda$ 이라고 정의하고, 각 talk spurt의 단위 통화의 길이는 평균이 $1/\mu$ 인 것으로 정의한다.

먼저, M/G/m queueing 모델에서는 시스템의 상태의 천이가 Markovian 특성을 따르지 않고, server의 수가 하나가 아니라 m 개이므로, 서비스의 종료시점을 기준으로 한 imbedded Markov 프로세스로도 해석하기가 곤란한 모델이다. 그러나, Erlang 등의 연구 결과에 의하면^[5], M/G/m 모델에서 queueing이 허용되지 않을 경우에는 시스템 내의 채널 점유확률을 수학적으로 구할 수 있다. 즉 이 경우, 채널 점유수를 n 이라고 하면 평형 상태에서의 점유 확률 p_n 은 trunked Poisson 분포 형태를 이루며,

$$p_n = \frac{(\lambda/\mu)^n/n!}{\sum_{i=0}^m (\lambda/\mu)^i/i!} = \frac{(m\rho)^n/n!}{\sum_{i=0}^m (m\rho)^i/i!} \quad (0 \leq n \leq m) \quad (1)$$

와 같이 표현된다. 여기서

$$\rho = \frac{\lambda}{m\mu} \quad (2)$$

는 단일 무선 기지국이 관할하는 전체 시스템의 utilization factor를 표현하는 변수로서, 시스템이 안정화되기 위해서는 이 값이 1보다 작아야 한다. 예외적으로 queue가 없는 구조의 시스템에서는 1보다 큰 경우를 수용할 수 있으나, 이 경우에는 매우 많은 call blocking이 일어난다^[6]. 이 결과를 이용하여 M/G/m 모델에서의 call blocking 확률, P_B 는 다음과 같이 구

할 수 있다.

$$P_B = \frac{(m\rho)^m/m!}{\sum_{i=0}^m (m\rho)^i/i!} = \frac{(m\rho)^m/m!}{e^{m\rho} \cdot [1 - (m\rho)^{m+1}/(m+1)!]} \quad (3)$$

한편, G/M/m 구조의 단일 서비스 영역 시스템 모델의 경우에는 가입자의 호가 임의의 분포 $A(t)$ 에 따라 변화하는 시간 간격으로 발생되고 그 간격의 평균이 $1/\lambda$ 이라고 가정할 수 있다. 이 모델의 경우에는 입력 발생 프로세스에 Markovian (memoryless) 특성이 없으므로 기지국 내의 채널 점유 상태는 입력 및 출력 프로세스 상호간에 독립적 관계가 없고 상호 연관 형태로 천이가 이루어진다. 따라서, 연속 시간점에서 이루어지는 천이과정을 상호 독립적인 특성을 가지는 시간단위로 나누기 위하여 호의 발생 직전 시점을 기준으로 한 imbedded Markov chain 해석 기법을 도입하여야 한다. 그림 3)은 이렇게 정의된 imbedded point, n 에 대한 그림을 도시하고 있다. 그림에서 보듯이, $(n+1)$ 번째 시간 단위에서 본 무선기지국내의 채널 상태는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$X_{n+1} = X_n + 1 - B_n \quad (B_n \leq X_n + 1; \quad 0 \leq X_n, B_n \leq m) \quad (4)$$

여기서 X_n 은 n 번째 imbedded point에서의 채널의 점유상태를 나타내고, B_n 은 n 번째 imbedded point (호발생시점)에서부터 $(n+1)$ 번째 imbedded point까지 서비스된 가입자 수를 말한다. 그런데, 서비스 시간을 Exponential 분포로 가정하였으므로, 각 채널별 출력 프로세스는 평균이 $1/\mu$ 인 Poisson 프로세스가 되므로, 단일 서비스 영역 TRS 시스템의 state transition matrix는 다음과 같이 표현이 가능하다.

$$P = [P_{ij}]$$

및

$$P_{ij} = \Pr[X_{n+1} = j | X_n = i], \quad i, j = 0, 1, \dots, m = \begin{cases} \Pr[B_n = i+1 - j] & |j \leq i+1, 0 \leq i, j \leq m \\ 0 & |j > i+1 \end{cases} = \begin{cases} \int_0^\infty \binom{i+1}{j+1} (1 - e^{-\mu t})^{j+1} e^{-\mu t} dA(t), & |j \leq i+1, 0 \leq i, j \leq m \\ 0, & |j > i+1 \end{cases} \quad (5)$$

다른 표현으로, 이렇게 정의된 P 매트릭스는 다음과

같이 정리된다 (그림 4).

$$P = \begin{bmatrix} p_{00} & p_{01} & 0 & 0 & \Lambda & 0 \\ p_{10} & p_{11} & p_{12} & 0 & \Lambda & 0 \\ p_{20} & p_{21} & p_{22} & p_{23} & \Lambda & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{m-1,0} & p_{m-1,1} & p_{m-1,2} & p_{m-1,3} & \Lambda & p_{m-1,m} \\ p_{m,0} & p_{m,1} & p_{m,2} & p_{m,3} & \Lambda & p_{m,m} \end{bmatrix} \quad (6)$$

P 매트릭스를 구하면 다시, 평형 상태 방정식인

$$qP = q, \quad (7)$$

$$qe = 1,$$

$$\text{where } e = [1 \ 1 \ \Lambda \ 1]^T \quad (8)$$

관계를 이용하여 평형상태에서의 채널 점유 분포를 다음과 같은 과정으로 계산할 수 있다.

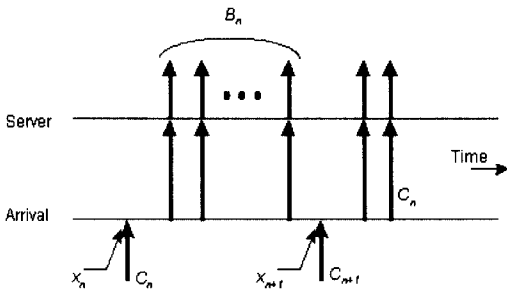


그림 3. G/M/m queueing 모델에서의 imbedded time point의 정의

Fig. 3. Definition of imbedded time points in G/M/m queueing model.

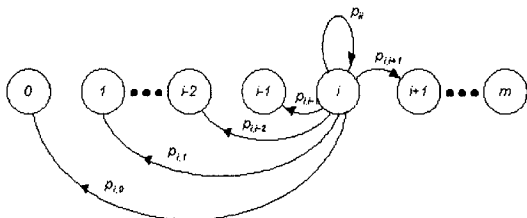


그림 4. TRS 시스템의 G/M/m queueing 모델에서의 상태 천이도

Fig. 4. State transition diagram of the G/M/m queueing model for TRS system.

즉 식 (6) 및 (7)로부터,

$$a_k = \sum_{i=k-1}^m a_i \cdot p_{ik}, \quad k = 0, 1, \dots, m \quad (9)$$

의 관계식을 얻을 수 있으므로,

$$a_{k-1} = \frac{a_k - \sum_{i=k-1}^m a_i \cdot p_{ik}}{p_{k-1,k}} \quad (10)$$

가 된다. 이제 식 (10)을 반복적으로 적용하면 상태변수 q_0 부터 q_{m-1} 까지를 q_m 의 함수로 표현할 수 있으므로, 이 결과와 식 (8)를 이용하면 무선기지국내의 채널 점유 확률을 모두 구할 수 있다. 이 경우, call blocking probability는 q_m 의 값으로 표현된다.

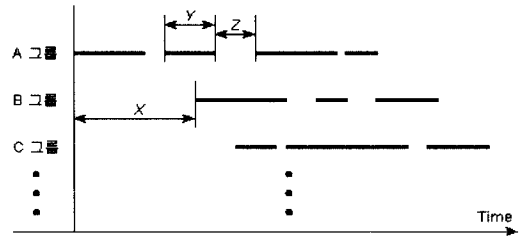


그림 5. TRS 그룹호출시의 호발생 모델

Fig. 5. Call generation model in TRS group paging.

그러면, 마지막으로 TRS시스템의 가입자 호 발생 확률 $A(t)$ 를 구해야 한다. 그림 5)는 그룹 호출의 특성을 지닌 TRS 가입자 호의 발생 과정을 도시한 것이다. 앞에서 가정하였듯이, 각 그룹별 그룹호출의 초기 호 발생은 Poisson 특성으로 가정할 수 있으므로, 초기호간의 도착시간간격 X 는 Exponential 분포로 가정할 수 있다. 다음으로 무선기지국의 채널별 서비스 특성은 Exponential 분포인 것으로 가정하였으므로, 각 그룹 호출이 진행되는 동안에 연속으로 발생하는 talk spurt의 길이 Y 는 Exponential 분포로 정의한다. 마지막으로 그룹호출의 특성상 한 사람의 말이 끝난 후에 누군가 답변을 시작하게 되므로 앞사람의 말의 시작점으로부터 그 다음에 이어지는 talk spurt의 시작점까지의 시간은 두 사람간에 잠시 단절되는 시간간격 Z 를 합하여야 한다. TRS시스템의 호발생구조는 결국 이러한 구조의 그룹호출 모델이 다수 중첩되어 있는 구조이므로, 전체 입력 트래픽의 발생과 관련된 호발생 간 간격 변수 T 는 다음의 식으로 표현될 수 있다.

$$T = \min\{X, Y + Z\} \quad (11)$$

여기서 X 및 Y 의 memoryless property와 Y 와 Z 변

수간의 상호독립성을 적용하면, 변수 T 의 cumulative distribution $A(t)$ 는

$$A_T(t) = F_X(t) + F_{Y+Z}(t) - F_X(t)F_{Y+Z}(t) \quad (12)$$

와 같이 구할 수 있다 [4]. 이 식에서 $F_X(t)$ 및 $F_{Y+Z}(t)$ 는 각각 X , 및 Y 와 Z 의 합의 cumulative distribution 함수를 뜻한다. $Y+Z$ 의 분포함수는 다시

$$f_{Y+Z}(t) = \int_0^t f_Y(t-y)f_Z(y)dy \quad (13)$$

와 같은 convolution 관계식으로 구할 수 있다. (13) 식에서 $f_Y(t)$ 및 $f_Z(t)$ 는 각각 Y 및 Z 의 probability distribution 함수를 뜻한다.

이제 (12)식으로 구한 $A(t)$ 를 (5)식에 적용하여 p_{ij} 를 구하면, 이 결과와 (10)식을 이용하여 채널 점유 상태에 대한 평형상태 확률치를 구할 수 있다. 그러나, 일반적으로 호 발생 분포 $A(t)$ 를 간단한 수식 형태로 구할 수 있는 경우가 쉽지 않으므로, 이 경우 수학적 해석으로 모든 결과를 기대하기는 어렵다. 따라서, 다음 절에서는 컴퓨터를 이용한 모의실험을 통하여 그룹 호출의 연접특성과 무선기지국에서의 채널 점유 특성간의 관계를 살펴 보고자 한다.

IV. 단일 서비스 영역 해석을 위한 Computer Simulation

본 절에서는 앞에서 유도한 M/G/m 모델과 G/M/m 모델을 기본으로 하여 수행한 컴퓨터 시뮬레이션 실험에 관하여 기술한다. 먼저 가입자의 트래픽 모델로는 가입자당 평균 호 발생률을 1시간당 2호출로 삼고, 호출당 지속시간은 15초로 산정하였다. 이 량을 Erlang 단위로 환산하면, 0.008 Erlang 정도이다. 이러한 가정 하에서 그룹호출 초기호 발생이 된 후, 연속되는 동일 그룹내 추가 호출의 talk spurt 개수는 Geometric 분포를 가지는 것으로 가정하여 보았다. 즉, 단위 그룹 호출 당의 talk spurt의 개수 N 의 분포를 $Pr [N=k+1] = p^k(1-p)$ 으로 설정하고, 입력생성 프로세서에서 여러 가지 p 값에 대하여 호출 신호를 생성하면, 서비스 프로세서에서는 이를 Exponential 분포에 맞추어 해석하도록 설계하였다. 이 경우 각각의 p 값에 상응하는 각 호출 당의 talk spurt의 평균수는 $E [N] = [$

$1+p/(1-p)=1/(1-p)$]가 되며, 이에 따라 그룹호출 초기호의 발생 평균수를 $1/\lambda$ 에서 이 수만큼 나누어 줌으로써 전체 평균수에 영향을 주지 않도록 설정하였다. 또, 무선기지국의 통신 채널수 m 은 20개로 가정하였다.

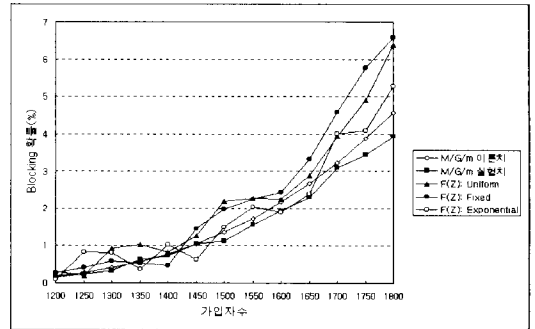


그림 6. 몇가지 TRS 시스템 모델에 따른 call blocking 확률 Simulation

Fig. 6. Simulation on the call blocking probability for several TRS system modeling.

그림 6은 결과로 얻어진 가입자 수에 따른 call blocking 확률의 변화를 도시한 그림이다. 그림에서, 가로축은 해당 서비스 영역에서의 총 트래픽량과 직결되는 가입자 수를 표현하고, 세로축은 평균 call blocking 확률의 변화를 표현하였다. 또, 그림에서 M/G/m 모델을 제외한 나머지는 모두 입력 발생확률이 Markovian이 아닌 일반 함수에 해당되므로, G/M/m 모델에 해당한다. 그림에서 보면, M/G/m 모델을 기준으로 볼 때, G/M/m 모델의 경우가 M/G/m 모델의 경우보다 call blocking 확률이 크게 나타나며, 이러한 현상은 Z 의 분포가 fixed인 경우나 uniform 함수인 경우에 더욱 크게 나타나고 Exponential 분포일 경우는 어느 정도 덜 나타나는 경향을 보였다. 이 점은 결국 연접 현상이 비정규적이면 비정규적일수록 call blocking이 크게 일어난다는 사실을 말해 주고 있으며, 그림에 도시된 사례만 보더라도 연접 특성의 차이에 의한 call blocking 확률의 변화가 1.5배까지 나타남을 알 수 있다. Call blocking 확률은 TRS 시스템의 배치 설계에 가장 중요한 고려의 하나가 되므로, 이 실험의 결과로 우리는 TRS 시스템의 설계시에 단순히 가입자수와 가입자당의 트래픽 발생량만을 고려하면 되는 것이 아니라, 그룹 호출시의 연접 특성까지 고려하여야만 call blocking과 관련된 서비스 품질을 만족시킬 수 있다는 결론을 얻을 수 있다. 또한,

M/G/m 모델과 G/M/m 모델을 비교할 때, 그룹호출의 talk spurt의 연접 특성이 크지 않을 때, 즉 전체적으로 Exponential 분포에 근접할 경우에는 M/G/m 모델로도 어느 정도 시스템 예측이 가능하지만, 연접 특성이 일반 함수적으로 변화할 경우에는 예측 오차가 크게 날 수 있다는 점을 알 수 있다.

V. 광역 TRS 교환기의 교환 용량 해석

그림 7은 광역 TRS 교환기의 기능적 운용 환경을 도시한 그림이다. TRS에서 교환기는 PSTN 통화가 필요없다거나, 가입자의 이동이 단일 무선국 영역으로만 제한된다면 필요없는 요소이다. 반면, 가입자의 이동이 많아서 어느 그룹의 구성원들이 10군데의 무선국들에 흩어져 있다고 가정하면 하나의 호 요구에도 10군데 무선기지국으로의 통화로를 개설하여야 하는 부담을 가지게 된다. 본 절에서는 이러한 가입자의 이동 특성을 함수화하고, 각 무선국에서의 호 발생 구조를 분석하여 교환기에 요구되는 스위칭 용량의 평균과 분산을 산출하고자 한다.

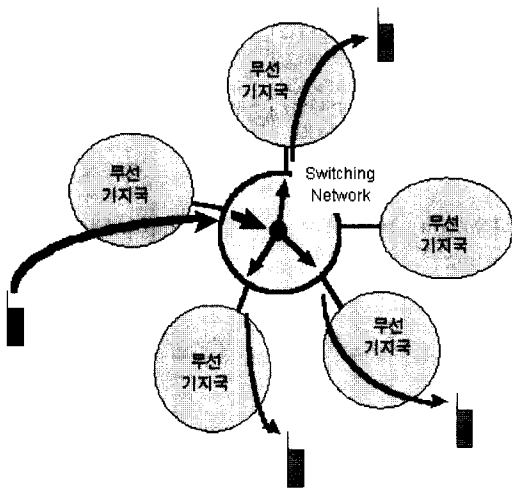


그림 7. 광역 TRS 시스템의 기능적 개념도
Fig. 7. Functional diagram for the wide area TRS system.

그림 7에서 볼 수 있듯이 교환기의 회선 접속수를 결정하는 요인으로는 먼저 각 무선기지국 으로부터 오는 호 요구량을 생각할 수 있다. 이 변인은 앞 절에서 고려한 바와 같은 단일 무선국의 채널 점유량과 밀접한 관련이 있다. 즉, 광역 TRS에서 발생하는 호는 모

두 광역 그룹 호출이라고 가정한다면, 이 변수는 바로 앞에서 분석한 무선기지국에서의 채널 점유량과 동일한 분포를 가지게 된다. 또 하나의 요인은 가입자의 이동성이다. 이 부분은 어떠한 형태라고 가정할 수는 없는 부분이며, 따라서 본 논문에서는 일반 분포함수로 간주하되 뒷 부분의 수치해석에서는 Binomial 분포를 적용하여 본다.

광역 TRS 시스템용 교환기에서의 스위칭 점유수를 구하기 위하여 먼저, 다음과 같이 필요한 변수들을 정의한다.

- W : 교환기에서의 총 스위칭 점유수
- X_i : 각 단위 호출에 대한 down stream 스위칭 점유수
- N : 시스템내 총 호출 요구수
- B_i : 각 무선기지국에서 발생시키는 호 요구량
- M : 무선 기지국의 총수
- m : 각 무선 기지국에서의 무선 채널 수 (모두 동일한 것으로 가정함)

이렇게 정의된 변수들을 활용하면, 총 스위칭 점유수 W는 기타 확률 변수들의 함수로 표현이 가능하다. 따라서, W의 분포함수는 여타 변수들의 분포함수로부터 유도가 가능하겠지만, 그 복잡도가 매우 크며 또 일반적으로 세부적인 분포는 필요하지 않은 경우가 많다. 따라서, 본 논문에서는 generating function 기법을 적용하여 스위칭 점유수의 평균과 분산을 구하는데 목표를 둔다. 그러면 먼저, 스위칭 점유수 W의 generating function은 다음과 같이 기술된다.

$$\begin{aligned}
 g_W(s) &= E[s^W] \\
 &= E[s^{X_1+X_2+\dots+X_N}] \\
 &= E\{E[s^{X_1+X_2+\dots+X_N} | N]\} \\
 &= \sum_{n=0}^{\infty} E[s^{X_1+X_2+\dots+X_n}] \Pr\{N=n\} \\
 &= \sum_{n=0}^{\infty} g_X(s)^n \cdot \Pr\{N=n\} \\
 &= g_N[g_X(s)]
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

여기서 $g_X(s) = \sum_{k=1}^m s^k \cdot \Pr\{X=k\}$ 는 단위 호출 요구에 대한 스위칭 점유수 X_i 에 관한 generating 함수인데 각 X_i 의 분포는 동일한 것으로 가정하여 index를 생략하였다. 또, $g_N(s) = \sum_{k=0}^m s^k \cdot \Pr\{N=k\}$ 는 총 호출 요구수 N에 대한 generating 함수를 표현하고 있다.

그런데, 총 호출요구수 N 은 다시 각 무선기지국으로 부터 발생하는 호출 요구수의 합에 해당되므로,

$$\begin{aligned} g_N(s) &= E[s^N] \\ &= E[s^{B_1+B_2+\dots+B_M}] \\ &= g_B(s)^M \end{aligned} \quad (15)$$

이 되는데 여기서, $g_B(s) = \sum_{k=0}^{\infty} s^k \cdot \text{Pr}[B=k]$ 는 각 무선기지국으로부터 발생하는 호출 요구수 B_i 에 관한 generating 함수이며 각 B_i 의 분포는 동일한 것으로 가정하여 index를 생략하였다. 식 (15)를 식 (14)에 대입하면,

$$g_W(s) = \{g_B[g_X(s)]\}^M \quad (16)$$

식 (16)을 살펴보면, 교환기에서의 총 스위칭 점유수 W 는 각 무선기지국에서의 채널 점유 특성을 표현하는 $g_B(s)$ 와 가입자의 이동성을 표현하는 $g_X(s)$ 의 함수로 표현 가능함을 알 수 있다. 또, generating function의 성질을 활용하면 식 (16)으로부터 스위칭 점유수의 평균과 분산 등을 비교적 쉽게 구할 수 있다 [7]. 즉, 스위칭 수의 평균 $E[W]$ 및 $E[W^2]$ 는

$$\begin{aligned} E[W] &= g_W'(1), \\ E[W^2] &= g_W''(1) + g_W'(1) \end{aligned} \quad (17)$$

의 관계식으로부터 유도된다.

한편, 제 3절 및 4절의 결과에 따르면 각 무선기지국을 M/G/m 모델로 분석하였을 경우, 실제 운용상황을 정확히 표현하지는 못하지만 어느 정도 근접한 모델링이 가능하고 채널 점유수의 분포를 식 (1)과 같이 수학적으로 유도할 수 있으므로, 본 절에서는 이 모델을 적용하기로 한다. 그러면,

$$\begin{aligned} g_B(s) &= \sum_{k=0}^m s^k \cdot \frac{(mp)^k / k!}{\sum_{l=0}^m (mp)^l / l!} \\ &= \sum_{k=0}^m \frac{(smp)^k / k!}{e^{smp} \cdot [1 - (smp)^{m+1} / (m+1)!]} \\ &= \frac{e^{smp} \cdot [1 - (smp)^{m+1} / (m+1)!]}{e^{smp} \cdot [1 - (mp)^{m+1} / (m+1)!]} \\ &= C \cdot e^{smp} \cdot \left[1 - \frac{(smp)^{m+1}}{(m+1)!}\right], \\ \text{where } C &= \frac{e^{-mp}}{[1 - (mp)^{m+1} / (m+1)!]} \end{aligned} \quad (18)$$

를 얻을 수 있고 따라서

$$g_W(s) = \left[C \cdot e^{mp \cdot g_X(s)} \cdot \left[1 - \frac{(mp \cdot g_X(s))^{m+1}}{(m+1)!}\right] \right]^M \quad (19)$$

와 같이 유도할 수 있다.

VI. Numerical Analysis

본 절에서는 5절에서 유도한 교환기의 스위칭 점유수에 대한 generating function을 이용하여 가입자의 이동 특성에 관한 사례를 한 가지 분석해 봄으로써, 가입자의 이동에 따른 스위칭 점유수의 변화를 살펴보고 그 결과를 통하여 광역 TRS 시스템의 설계에 있어서 꼭 유의하여야 할 교환기의 용량 기준을 도출해 보기로 한다.

그러면, 가입자의 이동 특성의 일례로 가입자들이 최대 지역수 Q 개, 특성확률 p 를 가진 Binomial 분포를 보이며, 가입자들이 최소한 1 무선기지국에는 분포되어 있다고 가정하고 이상에서 유도한 식을 이용하여 교환기의 스위칭 점유수의 평균과 분산을 구해 본다. 이 경우,

$$\begin{aligned} g_X(s) &= \sum_{k=0}^Q s^{k+1} \cdot \binom{Q}{k} p^k (1-p)^{Q-k} \\ &= s \sum_{k=0}^Q \binom{Q}{k} (sp)^k (1-p)^{Q-k} \\ &= s(1-p+ps)^Q. \end{aligned} \quad (20)$$

이므로, 이 결과를 식 (19)에 대입하여 다음 식을 얻는다.

$$g_W(s) = \left[C \cdot e^{mp \cdot s(1-p+ps)^Q} \cdot \left[1 - \frac{(mp \cdot s(1-p+ps)^Q)^{m+1}}{(m+1)!}\right] \right]^M \quad (21)$$

그런데 여기서 식 (21)에 대한 미분을 취하여 $g_W'(s)$ 및 $g_W''(s)$ 를 직접 구할수도 있지만 매우 복잡하므로 무선기지국당 채널수 m 을 충분히 크다고 가정함으로써 식 (1)의 trunked Poisson 분포를 정규 Poisson 분포로 간략화하여, 식 (21)의 근사식을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} g_W(s) &\approx \left[e^{\frac{-1}{\mu} [1 - s(1-p+ps)^Q]} \right]^M \\ &= e^{-\frac{M\mu}{\mu} [1 - s(1-p+ps)^Q]} \end{aligned} \quad (22)$$

이제 식 (22)로부터 $g_W'(s)$ 및 $g_W''(s)$ 를 구하면 다음

과 같다.

$$g_w'(s) = e^{-\frac{M\lambda}{\mu}(1-p+ps)e^{ps}} \cdot \frac{M\lambda}{\mu} \left\{ (1-p+ps)^0 + sQp(1-p+ps)^{0-1} \right\} \quad (23)$$

$$g_w''(s) = e^{-\frac{M\lambda}{\mu}(1-p+ps)e^{ps}} \left(\frac{M\lambda}{\mu} \right)^2 \left\{ (1-p+ps)^0 + sQp(1-p+ps)^{0-1} \right\}^2 + e^{-\frac{M\lambda}{\mu}(1-p+ps)e^{ps}} \cdot \frac{M\lambda}{\mu} \left\{ Qp(1-p+ps)^{0-1} + Qp(1-p+ps)^{0-1} + sQ(Q-1)p^2(1-p+ps)^{0-2} \right\} \quad (24)$$

식 (23) 및 (24)의 유도를 통하여 $g_w'(1)$ 및 $g_w''(1)$ 은

$$g_w'(1) = \frac{M\lambda}{\mu} \cdot (1+Qp) \quad (25)$$

$$g_w''(1) = \left(\frac{M\lambda}{\mu} \right)^2 (1+Qp)^2 + \frac{M\lambda}{\mu} (Qp+Qp+Q(Q-1)p^2) \quad (26)$$

와 같이 구할 수 있다. 따라서, 스위칭 점유수의 평균과 분산은 다음과 같이 얻어진다.

$$E[W] = g_w'(1) = \frac{M\lambda}{\mu} (1+Qp) \quad (27)$$

$$\text{Variance} = E[W^2] - \{E[W]\}^2 = \frac{M\lambda}{\mu} (Qp+Qp+Q(Q-1)p^2) + \frac{M\lambda}{\mu} (1+Qp) \quad (28)$$

그림 8) 및 9)는 식 (27) 및 (28)의 결과에 구체적인 수치를 대입하여 얻은 그래프이다. 그래프에서는 무선기지국의 총수를 50개, 가입자의 최대 분포를 10개 지역으로 가정하고, 각 가입자의 평균 호출생률을 1시간 당 2호, 호 지속시간을 평균 15초로 가정하였다. 그림 8) 및 9)는 각각 특성확률 $p=0.5$ 및 $p=0.8$ 인 경우를 표현하는 것으로서, 이 두 그래프를 통하여 서로 다른 가입자 mobility 특성에 따른 소요 교환 용량의 변화를 비교하여 볼 수 있다. 두 그래프의 가로축은 단일 서비스 영역별 가입자의 총 수를 나타내며, 세로축은 각각, 평균 스위칭 점유수 및 call dropping 확률 1% 및 0.2%에 해당하는 교환기의 용량을 나타낸 그림이다. 또, 비교를 위하여 단위 호출당 1개의 스위칭 port 만 점유할 경우에 대한 교환기의 소요 용량 그래프도 함께 표현하였다.

그림에서 보듯이, 광역 TRS 교환시스템의 교환 용량은 단순히 무선 기지국으로부터 생성되는 그룹호출의 평균수 및 표준 편차 만을 고려하면 되는 것이 아니라, 가입자의 이동 특성을 충분히 고려하여야만, 교환기에서의 call dropping 현상을 막을 수 있다. 그림 8)의 예는 가입자의 평균 분산도가 6개 지역이라고 본

경우에 해당되며, 이 때 0.2%의 call dropping을 기준으로 교환기를 설계한다면, 셀당 가입자 1000명 기준 3006 회선 용량의 교환기가 필요하다. 이 값은 가입자의 이동성이 단일 셀로 제한되었다고 가정할 경우에 필요한 498 회선 용량에 비해 6배 가량 큰 값이다. 또한, 보다 큰 이동성을 가정한 그림 9)의 예에서는 0.2%의 call dropping을 기준으로 볼 때, 셀당 가입자 1000명 기준 4492 회선 용량의 교환기가 필요하므로, 이 때는 약 9배의 용량 증가가 필요한 것이다.

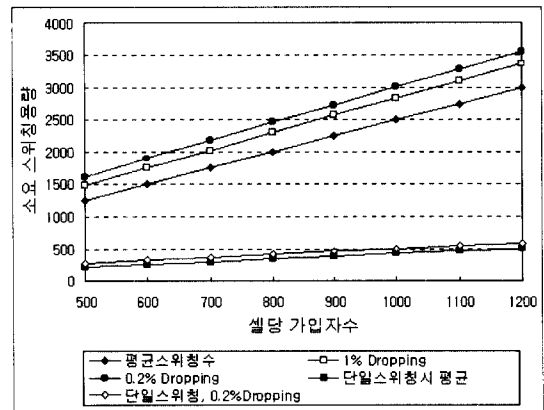


그림 8. 가입자의 이동특성에 따른 소요 교환 용량의 변화도 $M=50, \lambda=2/hr, 1/\mu=15sec, Q=10, p=0.5$

Fig. 8. Variation of required switching capacities according to the subscriber mobility. $M=50, \lambda=2/hr, 1/\mu=15sec, Q=10, p=0.5$

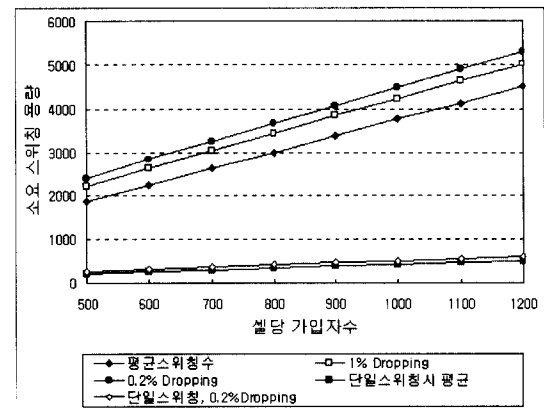


그림 9. 가입자의 이동특성에 따른 소요 교환 용량의 변화도 $M=50, \lambda=2/hr, 1/\mu=15sec, Q=10, p=0.8$

Fig. 9. Variation of required switching capacities according to the subscriber mobility. $M=50, \lambda=2/hr, 1/\mu=15sec, Q=10, p=0.8$

종합적으로, 광역 TRS 시스템의 설계에 있어서는 우선 무선기지국의 용량을 설계함에 있어서 각 가입자별 서비스 체계에 따른 그룹 호출의 연집 특성을 잘 고려하여 설계하여야 하며, 광역 교환기의 설계에 있어서는 가입자들의 이동 특성을 잘 분석하여 그 변동폭을 충분히 감안한 용량 설계가 되어야만 call blocking 및 call dropping 확률을 충분히 낮게 유지할 수 있다. 가입자의 이동 특성에 관한 분포 함수는 본 논문에서 고려한 사례 이외에도 여러 가지 모델을 고려해 볼 수 있으며, 그에 따라 교환기의 소요 최대 용량은 달리 산정되어야 할 것으로 생각된다.

VII. 결 론

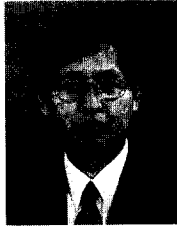
본 논문에서는 광역 TRS 시스템의 설계 과정에서 반드시 살펴보아야 할 무선 기지국당의 채널 점유 특성을 모델링하고, 이를 토대로 광역 TRS 시스템이 갖 추어야 할 교환기의 소요 용량을 분석하였다. 방법으로서는, 가입자의 운용 특성에 따른 호 연집 특성을 감안하여 무선기지국의 line card에서 본 통화량의 집중 현상을 분석하였다. 무선기지국에서의 서비스 모델링에는 TRS 그룹호출의 특징을 잘 표현할 수 있는 G/M/m 모델을 제안, 적용하였다. 이결과를 바탕으로 한 컴퓨터 시뮬레이션 모델을 통하여, 호 연집 현상의 정도가 커짐에 따라 무선기지국의 채널카드의 점유 변동폭이 커지며, 따라서 무선기지국에서의 평균 call blocking 확률이 높아진다는 점을 알 수 있었다. 이 점은 결국 가입자의 서비스 품질을 저하한다거나, 무선기지국의 실효 용량의 저하를 가져오게 되므로, 연집 현상을 고려한 트래픽 계획의 수립이 매우 중요하다.

다음으로는, 위에서 얻은 결과를 토대로 광역 TRS 시스템에 필수적인 TRS 교환기의 교환용량에 대하여 수학적 기법으로 분석함으로써, 트래픽량의 변동에 따른, 교환기에 부가되는 동시호 평균접속수 및 표준 편차를 구하였다. 광역 TRS 시스템에 있어서 교환기에서의 평균 스위칭 접속수는 가입자의 이동량에 따른 다영역 paging 특성과 관계가 깊으며, 가입자들의 지역적 분산도가 크면 클수록 교환 접속수의 평균 및 변동폭이 컸다. 특히 교환기에서의 call dropping 확률이 0.2% 이내는 되어야 한다고 가정할 경우 가입자의 이동이 거의 없을 경우와 비교할 때 크기는 5~6배 이상 용량이 큰 교환기를 필요로 한다는 사실을 일 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] V. C. Giner and J. K. Holtzman, "Dispatch versus interconnect traffic: A comparative analysis in a land mobile trunking system," *IEEE Vehicular Technology Conference Proceedings*, Vol 1, pp. 242-246, April, 1996.
- [2] R. Guerin, "Queueing - blocking system with two arrival streams and guard channels," *IEEE Trans. on Communications*, Vol. 36, No. 2, pp. 153-163, Feb. 1988.
- [3] J. Garcia and P. M. Crespo, "A New Generative Method for Simulation of Radio Channels Based on Hidden Markov Models," *IEEE Vehicular Technology Conference Proceedings*, Vol 2, pp. 627-631, April, 1996.
- [4] Papoulis, "Probability, Random Variables, and Stochastic Processes," McGraw-Hill, 1965.
- [5] Kleinrock, "Queueing Systems, Vol. I Theory," Wiley-Interscience, 1975.
- [6] Gross, "Fundamentals of Queueing Theory," John Wiley & Sons, Inc., 1985.
- [7] H. Taylor, "A First Course in Stochastic Processes," Academic Press, 1975.
- [8] Trunked Radio System STAREX-TRS, LG 정보통신(주), 1994.
- [9] FHMA 디지털 TRS 세미나 초록, 아남지오넷, Nov. 1995
- [10] iDEN 디지털 TRS 기술세미나 초록, 한국통신학회, Mar. 1996
- [11] 김낙명, "광역 TRS 시스템의 모델링 및 용량 분석," 제3회 이동통신 기술 워크숍 논문집, pp. 14-18, Onyang, Korea, Jan. 1997
- [12] Nak-Myeong Kim, "An Analysis of the Switching Channel Occupancy in a wide Area Trunked Radio System Network," *Proceedings of the 7th JC-CNSS*, Vol. 1, July 1994.
- [13] Nak-Myeong Kim, Sung Tae Choi, and Jung Ryul Lee, "Study of the Micro-Cellular Structure and the Effects," *Proceedings of ASIA-PACIFIC Conference on Communications*, Aug., 1993, Korea.

저 자 소 개



金 洛 明(正會員)

1980년 서울대학교 전자공학과(학사). 1982년 KAIST 전기 및 전자공학과(석사). 1990년 미국 Cornell University 전기공학과(공학박사). 1990년 ~ 1996년 LG정보통신(주) 책임연구원. 1996년 ~ 현재 이화여자대학교 공과대학 전자공학과 조교수. 주관심분야는 디지털 이동통신, 위성통신, 통신망 해석 등임.