

# 공통선 신호 시스템에서 신호망 기능부의 지연 성능 분석

정회원 박철근\*, 준회원 정태욱\*, 정회원 이유태\*\*

## Delay Performance Analysis of Signalling Network Functions in Common Channel Signalling System

Chul Geun Park\*, Tae Wook Chung\*, Yutae Lee\*\* *Regular Members*

### 요 약

신호망에서의 지연은 망관리 행위의 응답시간에 직접적인 영향을 미치기 때문에 모든 제어정보는 가장 효과적으로 전송되어야 한다. 신호망이 효율적으로 운용되는지 뿐만 아니라 신호망의 효과적인 설계를 위해서 신호 시스템의 성능을 아는 것이 매우 중요하다. 본 논문에서는 공통선 신호 시스템의 신호망 기능부의 지연 성능을 분석하였다. 분석은 ITU-T 규격을 기반으로 다른 계층의 프로토콜에 독립적인 큐잉모델을 만들어 대기체제분석을 통하여 이루어졌다. 또한 신호망 기능부가 신호 메시지 처리부와 신호망 관리부로 나누어져 구성되는 것도 고려하여 모델링하였다.

### ABSTRACT

As all delays resulting from the signalling network directly affect the response time of network management activity, all control informations have to be transported most efficiently. It is very important to know the performance of the signalling system not only because of smooth network operation but also because of efficient engineering of signalling networks. In this paper, we analyzed delay performance of signalling network functions in common channel signalling system. Analysis was accomplished through the queuing model that was based on the ITU-T specification and was independent of other layer's protocol. Also we modeled it considering that signalling network functions is divide into signalling message handling part and signalling network management part.

### I. 서 론

정보의 양이 많아지면서, 특히 데이터 통신 및 인터넷 통신의 수요가 급격히 늘어나고 또한 통신 사용자들의 수요와 기대에 부응하기 위해 음성정보와 데이터 정보를 디지털로 통합 수용할 수 있는 종합정보통신망(ISDN: Integrated Services Digital Network)<sup>[1]</sup> 시대에 접어들고 있다. 이에 따라 통신망 접속서비스를 기본으로 하는 신호체제도 R2 방식으로부터 공통선 신호방식의 하나이며 ISDN의

신호방식인 SS7(Signalling System No.7)<sup>[2]</sup> 신호체제의 도입은 전세계적인 추세가 되고 있다.

SS7 신호방식은 기본적인 종합정보통신망 접속서비스와 부가서비스의 제공을 위한 신호능력뿐 아니라 사용자에게 편리하고 다양한 새로운 서비스를 신속하고 저렴하게 제공할 수 있는 지능망의 근간이 되는 신호시스템으로 발전할 수 있다. 또한 앞으로 전개될 이동망, 개인휴대 통신망, 광대역 종합정보통신망 등의 여타 통신망에서도 SS7 신호방식은 이들 망의 신경계의 역할을 핵심적으로 수행할 것으로 사려된다.

\* 선문대학교 전자정보통신공학부 통신망연구실(cgpark@omega.sunmoon.ac.kr),

\*\* 한국전자통신연구원 교환전송기술연구소

논문번호 : 99432-1027, 접수일자 : 1999년 10월 27일

위와 같은 미래의 통신망 구축과 발맞추어 국내 외적으로 SS7 신호망의 도입이 속속 진행되고 있다. 따라서 경제적인 신호망 설계와 신호망 관리를 위해 신호체계의 성능분석이 필수불가결한 상황이다. 이를 위해 현대 통신망의 근간이 될 ISDN에서의 SS7 신호체계의 성능 분석에 대한 연구는 여타 망에서 응용되는 공통선 신호시스템의 성능분석에 대한 기본이 된다. 특히 인터넷 정보의 폭발적인 증가로 인해 ISDN망의 시설확장이 필연적이며 이에 따르는 SS7 신호망의 용량 증가도 필연적이다. 결과적으로 ISDN망에서 SS7 신호체계의 성능 분석의 필요성은 더욱 부각된다.

교환과 전송 이외에도, 신호는 통신망의 기본적인 기능 중 하나다. 공통선 신호방식은 음성회선과 동일한 채널에 신호정보를 전송하는 in-band 신호방식은 달리 별도의 공용 채널로 통신망의 신호제어 정보를 전송하는 out-of-band 신호방식으로 다수의 회선관련 서비스를 동시에 제어할 수 있으며, 또한 회선과 관련 없는 DB(Database) 접속 등이 가능하므로 지능망 서비스 및 이동체망 서비스의 구현에도 적절한 신호방식이다. 즉 향후 서비스들의 QoS(Quality of Service)는 신호망의 성능에 큰 영향을 받으므로 신호망의 성능분석이 무엇보다도 중요하다.

공통선 신호시스템은 서비스하는 통신망의 교환기 혹은 다른 노드들 간에 신호 메시지의 전송을 위해 ITU-T의 SS7 프로토콜을 사용한다. SS7 프로토콜은 OSI(Open Systems Interconnection) 참조 모델과 같이 계층 구조를 갖는다. SS7 망은 비연결(connectionless) 서비스를 제공한다. 즉, 데이터 통신 세션이 설정되기 전에 메시지 호 설정 절차가 없고, 각 메시지는 망을 통하여 독립적으로 라우팅된다. 따라서 고속 신호 교환이 가능하며 호설정 시간을 크게 줄일 수 있다. SS7 망은 PSTN(Public Switched Telephone Network)에서의 SPC(Stored Program Controlled) 교환기, DB 및 운용 시스템에 관여를 위한 신호 메시지 전송을 제공하며, 이것은 PSTN으로부터의 호 제어 메시지가 음성 연결로부터 완전히 분리된 통신 경로로 전달되기 때문에 가능하다. SS7 망에서의 메시지들은 PSTN에서의 노드들 간에 호 제어신호를 제공할 뿐만 아니라 080 서비스나 ABS(Alternative Billing System)서비스와 같은 트랜잭션 기반 서비스도 제공할 수 있다.

SS7은 메시지 전송부(MTP; Message Transfer Part)<sup>[3]</sup>와 사용자부(UP; User Part)<sup>[4]</sup>로 구성되어 있

다. 사용자부는 기존의 전화와 ISDN 및 지능망의 호를 연결, 해지하는 기능을 가지며 ISDN 사용자부(ISUP: ISDN User Part), 전화 사용자부(TUP: Telephone User Part) 및 데이터 사용자부(DUP:Data User Part) 등이 있다. 메시지 전송부는 정보 전송을 필요로 하는 사용자부 간에 높은 신뢰성의 전송을 보장하는 기능을 한다. 메시지 전송부는 3개의 기능 레벨로 나누어지고 제1레벨(신호 데이터 링크 기능부) 및 제2레벨(신호 링크 기능부)는 각각 OSI 1계층과 2계층의 기능에 대응된다. MTP 제3레벨인 신호망 기능부는 신호망 내의 두 개의 신호국(SP: Signalling Point) 간에서 신호링크 혹은 신호중계국(STP: Signalling Transfer Point)에 장애가 발생할 경우에도 신뢰성 높은 전송 기능을 보장하는 기능을 갖는다. 본 논문에서는 이들 중 특히 3계층(레벨) 기능인 신호망 기능부의 성능에 대하여 집중적으로 알아보려 한다.

신호망에 의해 초래되는 지연은 호제어나 망관리 행위의 응답시간에 직접적인 영향을 미치기 때문에 모든 제어정보는 가장 효과적으로 전송되어야 한다. 결국 SS7 망의 광범위한 개발과 다양하게 늘어나는 응용 서비스에 따라, 신호 제어망이 효율적으로 운용되는지 뿐만 아니라 신호망의 효과적인 설계를 위해서 신호시스템의 성능을 아는 것은 매우 중요하다.

망성능 평가방법에는 측정을 통한 방법과 시뮬레이션을 통한 방법 그리고 대기체계분석(queueing analysis)을 통한 방법이 있다. 공통선 신호망은 제어 프로그램 및 망 DB에 기반을 둔 망관리와 통신망에서 호연결 제어를 향상시키기 위해 도입되었다. 복잡하고도 정교한 분산형 시스템으로 새로운 호접속 관리 및 통신망 관리능력이 이루어진다. 대부분의 신호메시지 교환은 신호접속처리나 폭주제어 함수에 엄격한 시간 제한을 두고 있다. 이러한 시간제한에 따르는 망성능에 대한 정량적 분석이 필요하므로 SS7 신호망은 해석적으로 분석될 필요가 있으며 이것은 대기체계분석을 통해 효과적으로 달성할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 대기체계분석을 통한 방법을 이용하기로 한다.

또한 SS7은 OSI 참조 모델과 같이 계층구조를 갖기 때문에 성능을 평가할 때 계층 프로토콜 구조의 도입에 따른 복잡성에 대처하기 위하여 적절한 성능 모델링 방법이 선정되어야 한다. SS7 망은 SPC 교환 시스템으로서 분산 제어 구조를 가지며, 분산 시스템에 대한 대부분의 해석적 성능 연구는

프로토콜 메카니즘에 독립적으로 초점을 맞추거나 계층 프로토콜 구조에 포함된 특정 계층의 프로토콜에 초점을 두고 있다. 따라서 성능 분석은 ITU-T 권고안<sup>[2,4]</sup>에 주어진 SS7의 계층별 기능 규격에 기반을 두고 다른 계층의 프로토콜에 독립적인 큐잉 모델을 구성하여 수행 가능하다<sup>[5]</sup>.

본 논문에서는 ITU-T 기능 규격에 기반을 두고 다른 계층들의 프로토콜에 독립적으로 신호망 기능부의 큐잉모델을 구성하여 대기체계분석을 통해 지연 성능을 분석한다. 또한 신호망 기능부가 전송기능에 따라 신호 메시지 처리부와 신호망 관리부로 나누어져 구성되는 것도 고려하여 모델링한다. 모델링을 위해서 신호망 기능부의 기능과 구조를 알 필요가 있다. 2절에서 신호망 기능부에 대하여 간략하게 설명하고, 3절에서 그것을 기반으로 신호점 지연에 대한 큐잉모델을 설명하고 성능을 분석한다. 4절에서는 수치 계산의 결과를 보이고 5절에서 본 논문의 결론을 제시한다.

## II. 신호망 기능부의 기능

신호망 기능부(MTP level 3)는 신호 메시지 처리부와 신호망 관리부로 나누어지는데 신호망 기능부의 중요한 기능은 한 SP의 사용자부에 의해 발생된 메시지들을 목적지 SP에 있는 상응하는 사용자부까지 전달하는 것이다. 신호망 기능은 신호 메시지 전송을 가능하게 하고 SS7망을 관리하기 위해서 각 SP에서 구현되며 신호링크 기능과는 달리 전체적 망 양태에 관련된다<sup>[6]</sup>. 메시지는 하나 이상의 중간 STP를 통하여 전달될 수 있다. 그림 1의 (a)에서 SP A의 ISUP에 의해 발생된 메시지 신호 단위(MSU; Message Signalling Unit)는 STP C를 경유하여 SP B의 ISUP로 전달된다. SP A, STP C 그리고 SP B의 3계층 기능은 메시지 전송을 위해서 서로 협력하여 동작한다.

송출되는 MSU는 발신지 SP의 지점 코드(OPC; Origination Point Code) 및 목적지 SP의 지점 코드(DPC; Destination Point Code)와 신호 링크 선택(SLS; Signalling Link Selection) 필드를 명시하는 라우팅 레이블을 포함한다(그림 1 (b)). 목적지 SP로의 라우팅은 라우팅 레이블의 DPC 필드를 검사하고 메시지 전송에 사용될 신호링크를 결정함에 따라 정해진다. 일반적으로 목적지로 하나 이상의 신호링크가 존재하며, 불규칙한 부하로 인한 혼잡을 피하기 위해서 신호 메시지들은 가능한 공평하게

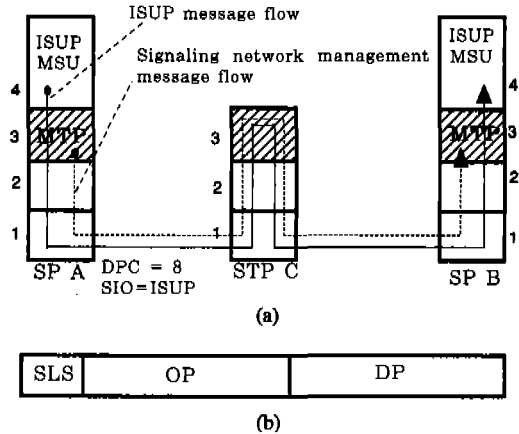


그림 1. MTP 제3계층의 메시지 처리  
(a) 제3계층과 제4계층의 메시지 전달,  
(b) 라우팅 레이블

링크들에 분산된다. 부하 분담은 SLS 필드를 이용함으로써 수행되는데 그 방법은 [7]에 자세하게 나와있다. 목적지 SP로의 직접 라우트(direct route)가 없을 때, 발신 SP는 메시지를 우선 STP로 라우트한다. STP는 메시지의 DPC를 검사하고 나서 검사한 DPC 코드에 해당하는 목적지로 메시지를 라우트한다. 메시지가 목적지 SP에 이르면, 메시지가 전달될 사용자부가 무엇인지를 알 필요가 있다. 사용자부를 결정하기 위해서 MSU의 SIO(Service Information Octet) 필드가 분석된다<sup>[3]</sup>. 이와같은 기능을 메시지 처리라고 한다.

신호망 기능(signalling network function)부는 메시지 처리 기능 외에도 신호망 관리 기능을 수행한다. 신호망 관리 기능은 신호 링크 관리, 신호 트래픽 관리 그리고 신호 라우트 관리로 구성된다. 이 관리 기능의 목적은 신호망의 수준 높은 신뢰성과 가용성을 보장하는 것이다. 망 관리 기능을 위해, SP 및 STP의 3계층 사이에서 신호망 관리 메시지들이 교환된다. 예를 들어 링크 고장의 경우, 고장을 검출한 SP의 제3계층은 두 노드가 메시지들을 우회 링크로 전환할 수 있도록 인접 SP들에게 고장이라는 사실을 통보해야 한다. 그러므로 MTP의 서비스 사용자인 사용자부에 의해 발생된 MSU, 즉 사용자 신호 메시지의 교환뿐만 아니라 SP 혹은 STP의 제3계층에서 발생한 MSU, 즉 신호망 관리 메시지가 교환되는 것이다. 위에서 언급한 신호망 기능부의 기능을 블록 다이어그램(그림 2)을 통해 요약하면 다음과 같다.

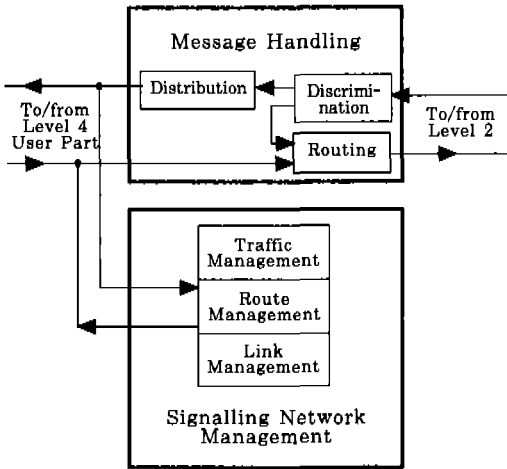


그림 2. MTP 제3계층 기능 블럭

신호 메시지 처리(message handling)부는 신호망 내의 각 SP에서 실행되는 신호 메시지의 라우팅(routing), 식별(discrimination), 분배(distribution) 등의 기능을 수행한다. 신호 메시지 라우팅부는 자국의 사용자부로부터의 신호 메시지, 혹은 다른 신호국으로부터 신호 메시지 식별부로 들어온 신호 메시지를 착신하여 목적지의 지점 코드에 따라 목적지 신호국으로 전송하기 위하여 송신 신호 링크를 결정한다. 신호 메시지 식별부는 타국으로부터 수신된 신호 메시지의 목적지가 자국인가 또는 다른 신호국인가를 식별하여 메시지의 목적지가 자국이면 신호 메시지 분배부로, 타국이면 신호 메시지 라우팅부로 메시지를 전달한다. 신호 메시지 분배부는 수신된 신호 메시지가 어느 사용자부에 해당하는지를 조사하여 지정된 사용자부로 전달하고, 만약 망 관리 메시지를 수신한 경우에는 신호망 관리부(signalling network management)로 전달한다.

신호망 관리부는 신호 링크 혹은 신호국에 장애가 발생했을 경우 신호망의 기능 회복을 위한 제어 및 신호망의 유지 보수 등의 기능을 수행한다. 신호 트래픽 관리부는 망을 통하여 신뢰성있는 메시지의 전송을 보장하기 위해 트래픽을 전환하는데 사용된다. 신호링크 관리부는 신호링크를 활성화 또는 비활성화함에 따라 신호 링크의 상태를 관리한다. 신호 라우트 관리부는 망에서의 라우트의 상태에 따라 관리 정보를 전송하여 신호 라우트의 상태를 관리한다.

### III. 신호망 기능부의 큐잉모델과 지연 분석

신호 메시지 전송을 개시하는 경우, MTP 제2계

층인 신호 링크 기능부로부터 다른 신호국에서 수신된 신호메시지가, 그리고 제4계층인 사용자부로부터 자국의 신호 메시지가 각각 신호 메시지 처리부로 전달된다. 신호 메시지 처리부는 발신 신호국 혹은 자국의 사용자로부터 송신된 이 신호 메시지를 지정된 목적지 신호국의 사용자부까지 전송한다. 이때 신호망 관리부에서는 망 관리 메시지를 신호 메시지 처리부로부터 수신하면, 새로운 망관리 메시지를 발생하여 신호 메시지 처리부로 송신한다. 이 과정을 모델링하면 다음과 같이 할 수 있다(그림 3).

수학적 분석을 위한 큐잉모델은 두 개의 유한 버퍼와 그에 따르는 서버로 이루어진다. 신호 메시지 처리부의 버퍼를  $B_1$ , 신호망 관리부의 버퍼를  $B_2$ 라고 하자. 버퍼의 용량은 각각  $K_1, K_2$ 이다. 신호 메시지 처리부에는 신호 메시지가 도착률이  $\lambda$ 인 포아송 확률 과정을 따라 독립적으로 들어온다고 가정한다.

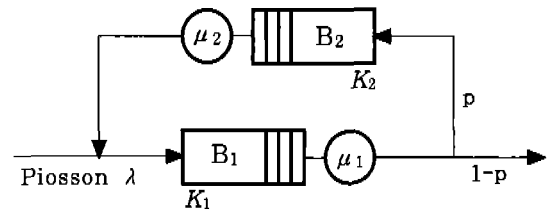


그림 3. MTP 제3계층의 큐잉 모델

$B_1$ 에서의 서비스는 선입선출(FIFO: First In First Out) 방식이며 지수 분포( $\exp(\mu_1)$ )를 따른다고 가정한다.  $B_2$ 에서도 역시 선입선출 방식이며 지수 분포( $\exp(\mu_2)$ )를 따라 메시지를 서비스한다고 가정한다.  $B_1$ 에서 서비스를 마친 메시지 중  $p$ 만큼의 비율을 차지하는 신호망 관리 메시지는  $B_2$ 로 바로 들어간다. 버퍼가 꽉 찰 경우 도착하는 메시지는 손실되며 더 이상 대기 시스템에 영향을 주지 않는다.

버퍼 내의 메시지 수를 분석하기 위해 먼저 다음 확률 과정들을 정의한다.  $N_1(t)$ 는 시간  $t$ 에서  $B_1$ 에 있는 메시지의 수이고 서비스 중인 메시지도 포함된다. 마찬가지로  $N_2(t)$ 는 시간  $t$ 에서  $B_2$ 에 있는 메시지의 수이며 서비스 중인 메시지를 포함한다. 서비스 시간이 지수 분포이기 때문에  $\{(N_1(t), N_2(t)) | t \geq 0\}$ 는 상태 공간  $S$ 가  $S = \{(i, j) | 0 \leq i \leq K_1, 0 \leq j \leq K_2\}$ 인 연속 시간 마코프 연쇄(CTMC:

Continuous-Time Markov Chain)가 된다<sup>[8]</sup>. 그리고 이 연속 시간 마코프 연쇄의 생성 행렬  $Q$ 는

$$Q = \begin{pmatrix} A_0 & U & & & \\ D & A & U & & \\ & D & A & U & \\ & & \ddots & \ddots & \ddots \\ & & & D & A & U \\ & & & & D & A_1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

인 블록 tri-diagonal 형태가 된다. 여기서  $Q$ 의 원소들은 다음과 같다(편의상  $\mu = \mu_1 + \mu_2$ ).

$$A_0 = \begin{pmatrix} -\lambda & 0 & \dots & 0 \\ 0 & -(\lambda + \mu_2) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & -(\lambda + \mu_2) \end{pmatrix},$$

$$A = \begin{pmatrix} -(\lambda + \mu_1) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & -(\lambda + \mu) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & -(\lambda + \mu) \end{pmatrix},$$

$$A_1 = \begin{pmatrix} -\mu & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \mu_2 & -\mu & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \mu_2 & -\mu & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \mu_2 & -\mu \end{pmatrix},$$

$$U = \begin{pmatrix} \lambda & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \mu_2 & \lambda & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \mu_2 & \lambda & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \mu_2 & \lambda \end{pmatrix},$$

$$D = \begin{pmatrix} (1-p)\mu_1 & p\mu_1 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & (1-p)\mu_1 & p\mu_1 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \mu_1 \end{pmatrix}.$$

성능 분석의 기본이 되는 것은  $\pi Q = 0$ ,  $\pi e = 1$ 을 만족하는 평형 상태의 분포  $\pi$ 를 결정하는 것이다. 생성 행렬  $Q$ 는  $K_2 \times K_2$ 차원의 블록 단위로  $K_1 \times K_1$ 의 크기이다. 실제 응용에서  $K_1$ 과  $K_2$ 는 보통의 컴퓨터로  $\pi$ 를 즉시 구하기 어려울 정도로 큰 값을 가질 수 있다. 계산의 편의를 위해  $\pi$ 를  $\pi = (\pi_0, \pi_1, \dots, \pi_{K_1})$ 으로 나눈다. 그리고, 각각의  $\pi_i$ 는  $\pi_i = (\pi_{i0}, \dots, \pi_{iK_1})$ 인 크기가  $K_2 + 1$ 인 벡터이다. 여기서  $\pi_{ij}$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\pi_{ij} = p\{N_1 = i, N_2 = j\} = \lim_{t \rightarrow \infty} p\{N_1(t) = i, N_2(t) = j\} \quad (2)$$

식 (1)과 식 (2)로부터  $\pi Q = 0$ 를 전개하면

$$\begin{cases} \pi_0 A_0 + \pi_1 D = 0, \\ \pi_0 U + \pi_1 A + \pi_2 D = 0, \\ \pi_1 U + \pi_2 A + \pi_3 D = 0, \\ \vdots \\ \pi_{K_1-2} U + \pi_{K_1-1} A + \pi_{K_1} D = 0, \\ \pi_{K_1-1} U + \pi_{K_1} A_1 = 0 \end{cases} \quad (3)$$

가 된다. 위 식을 구체적으로 계산하기 위해 다음과 같이 반복식을 정의하자.

$$R_i = \begin{cases} -(R_{i+1} A + R_{i+2} D) U^{-1}, & i = 0, 1, \dots, K_1 - 2, \\ -A_1 U^{-1}, & i = K_1 - 1, \\ I, & i = K_1. \end{cases}$$

위의 반복식  $R_i$ 와 식 (3)의 마지막 식으로부터 두 번째 식까지 순서대로  $\pi_{K_1-1}, \pi_{K_1-2}, \dots, \pi_0$ 를  $\pi_{K_1}$ 에 대하여 정리하여 구하고, 구해진  $\pi_0$ 와  $\pi_1$ 을 첫 번째 식에 대입하면

$$\begin{aligned} \pi_{K_1} (R_0 A_0 + R_1 D) &= 0, \\ \pi_i &= \pi_{K_1} R_i, \quad i = 0, 1, \dots, K_1 - 1 \end{aligned} \quad (4)$$

를 얻는다. 식 (4) 및 아래의 정규화 조건으로부터 쉽게  $\pi$ 를 구할 수 있다.

$$\sum_{i=0}^{K_1} \pi_i e = \pi_{K_1} \sum_{i=0}^{K_1} R_i e = 1.$$

이렇게 하여 일단  $\pi$ 값이 구해지면,  $B_1$ 과  $B_2$ 에 있는 평균 메시지 수는 각각

$$\begin{aligned} EN_1 &= \sum_{i=0}^{K_1} i \pi_i e, \\ EN_2 &= \sum_{i=0}^{K_1} \sum_{j=1}^{K_2} j \pi_{ij} \end{aligned}$$

이다. 위 식에서  $e$ 는 모든 요소가 1인  $K_2 + 1$ 차의 열벡터이다. 시스템 전체에 있는 평균 메시지 수는

$$\begin{aligned} EN &= EN_1 + EN_2 \\ &= \sum_{i=0}^{K_1} \sum_{j=0}^{K_2} (i+j) \pi_{ij} \end{aligned}$$

이다. 그리고, 시스템 밖에서  $B_1$ 으로 들어오는 메시지가  $B_1$ 에서 바로 손실될 확률  $P_{B_1}$ 은

$$P_{B_1} = \pi_{K_1} e$$

가 된다. 비율  $\rho$ 로  $B_2$ 에 들어가는 신호망 관리 메시지가 손실될 확률  $P_{B_2}$ 는

$$P_{B_2} = \sum_{i=0}^{K_1} \pi_{iK_2}$$

가 된다.

이제 각 버퍼를 방문할 때마다 머물게 되는 평균 시간을 구해보자. 먼저  $B_1$ 을 고려한다. 평형 상태에서  $B_1$ 에 들어오는 도착률은

$$\lambda + \mu_2(1 - \sum_{i=0}^{K_1} \pi_{i0})$$

이므로,  $B_1$ 에서 머물게 되는 시간  $W_1$ (서비스 시간 포함)의 평균은 Little의 공식에 의해

$$\begin{aligned} EW_1 &= \frac{EN_1}{[\lambda + \mu_2(1 - \sum_{i=0}^{K_1} \pi_{i0})][1 - \pi_{K_1}e]} \\ &= \frac{\sum_{i=0}^{K_1} i\pi_{i0}}{\lambda(1 - \pi_{K_1}e) + \mu_2(1 - \pi_{K_1}e - \sum_{i=0}^{K_1} \pi_{i0})} \end{aligned}$$

가 된다. 다음으로 평형 상태에서  $B_2$ 에 들어오는 도착률은

$$\mu_1\rho(1 - \pi_{00})$$

이므로,  $B_2$ 에서 머물게 되는 시간  $W_2$ 의 평균은

$$\begin{aligned} EW_2 &= \frac{EN_2}{\mu_1\rho(1 - \pi_{00})[1 - \sum_{i=0}^{K_1} \pi_{iK_2}]} \\ &= \frac{\sum_{i=0}^{K_1} \sum_{j=0}^{K_2} j\pi_{ij}}{\mu_1(1 - \pi_{00}e - \sum_{i=0}^{K_1} \pi_{iK_2})\rho} \end{aligned}$$

가 된다.

마지막으로 이 시스템에 도착하는 손실되는 메시지를 함께 고려한 임의의 메시지가 시스템에 머무르는 시간  $W_0$ 의 평균은

$$EW_0 = \frac{EN}{\lambda} = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=0}^{K_1} \sum_{j=0}^{K_2} (i+j)\pi_{ij}$$

이고,  $B_1$ 에서 바로 손실되는 메시지를 제외한 임의의 메시지가 이 시스템에 머무는 시간  $W$ 의 평균도 Little의 공식에 의해

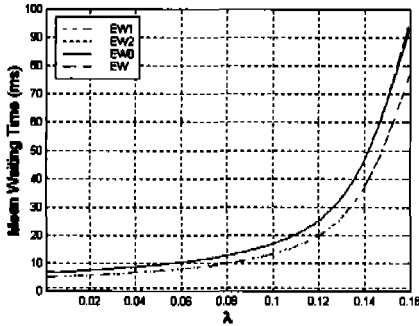
$$EW = \frac{EN}{\lambda(1 - \pi_{K_1}e)} = \frac{EW_0}{1 - \pi_{K_1}e}$$

가 된다.

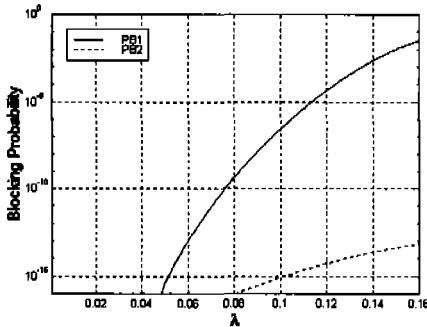
#### IV. 수치계산 결과

신호망 기능부의 성능을 수치적으로 해석하기 위해서 입력 파라미터들과 최소한의 성능 요구조건이 고려되어야 하는데, 이들은 다음과 같은 기준으로 결정하였다. 신호망의 트래픽 엔지니어링에서 보통 사용되는 가정에 따르면 입력링크 버퍼지연, 처리지연 및 링크 출력지연을 포함하는 한 STP의 평균 지연은 34ms이고, 신호 메시지의 평균 크기는 34옥텟(octet)이다<sup>9)</sup>. 34옥텟의 신호 메시지가 56kbps<sup>[10]</sup>의 신호 링크로 서비스될 때 4.86ms가 걸리므로 단위 시간(ms)당 서비스 받을 수 있는 메시지의 수, 즉 서비스율은 약 0.2가 된다. 계산의 편의를 위해  $\mu_1$ 과  $\mu_2$  모두를 0.2로 하였다. 또한 한 STP의 평균 지연 34ms에서 신호망 기능부를 제외한 다른 프로토콜들, 즉 신호링크 기능부와 신호데이터링크 기능부의 지연을 고려하면 신호망 기능부에서의 대기지연시간은 20ms 이하가 바람직하다고 간주하였다. 트래픽 강도(traffic intensity)  $\rho$ 를 시스템이 안정적으로 운용되는 범위 내에서 최대의 트래픽을 0.4로 하여 신호 메시지 입력률  $\lambda$ 를 최대 0.08로 제한하였고, 최악의 경우를  $\rho=0.8$ ( $\lambda=0.16$ )로 하였다. 여기서 시스템이 안정적으로 운용되는 범위란, 트래픽 폭주시 또는 망자원의 고장시에 신호망 관리 기능에 의해 한 링크가 절체되는 경우, 여분의 다른 링크가 문제의 링크의 트래픽까지 수용할 때에 최대 80%까지의 트래픽을 전달할 수 있게 하기 위해서 신호링크의 이용률을 40%로 처리하는 것을 말한다. 링크가 절체된 후 여분의 링크가 80%의 트래픽을 전달하는 경우를 최악의 경우로 하였다. 또한 MTP 전체에서의 메시지 손실율은  $10^{-7}$  이하<sup>[9]</sup>가 되어야 하기 때문에 본 논문에서는 신호망 기능부 버퍼의 블로킹 확률은  $10^{-9}$  이하가 바람직하다고 간주하여 메시지 처리부와 신호망 관리부의 버퍼의 크기  $K_1$ 과  $K_2$ 를 계산하였다. 본 논문에서는 위에서 설명한 성능 요구사항에 기반을 두고 신호망 기

능부의 성능 중에 중요한 대기 지연 및 블로킹 확률에 대하여 분석하였다. 먼저 망관리 메시지의 비율에 따른 대기 지연과 블로킹 확률에 대하여 최대 부하( $\rho=0.4$ ) 및 최악의 경우( $\rho=0.8$ )에 대해서 분석하고, 메시지 도착률의 변화와 버퍼 크기의 변화에 대한 지연 특성도 분석하였다.



(a)

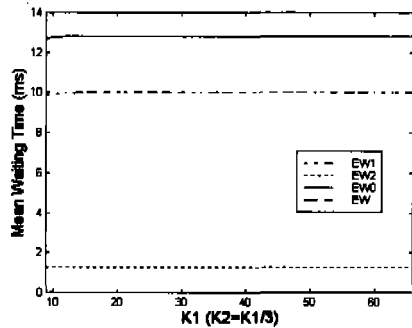


(b)

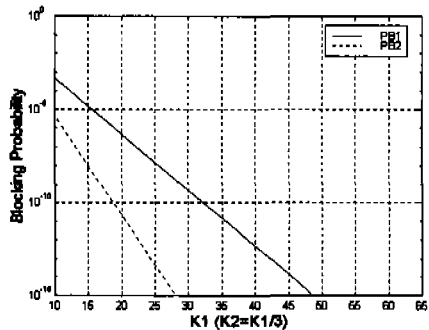
그림 4. 입력률에 따른 (a)평균 대기지연 및 (b)블로킹 확률

그림 4의 (a)와 (b)는 입력률에 따른 신호망 기능부의 지연 특성 및 블로킹 확률을 나타낸다. 그림에서 EW1과 EW2는 각각 메시지 처리부 버퍼와 신호망 관리부 버퍼에서의 평균 대기시간을 나타내고, 임의의 메시지가 시스템에 도착하여 시스템에 대기할 때 손실되는 메시지를 고려한 경우의 평균 대기 시간을 EW0, 손실되는 메시지를 고려하지 않았을 때의 평균 대기시간을 EW로 나타낸다. 또, PB1과 PB2는 각각 메시지 처리부 버퍼와 신호망 관리부 버퍼에서의 블로킹 확률을 나타낸다. 이때 망관리 메시지의 비율  $\rho$ 는 0.2로 하였고, 버퍼의 크기는  $K_1=30$ ,  $K_2=10$ 이므로서 최대부하의 경우( $\rho=0.4$ ,  $\lambda=0.08$ )에 블로킹 확률과 대기 지연에 대한 성능 요

구사항을 모두 만족하는 값이다. 대기지연과 블로킹 확률 모두 최대부하 이상의 값에서 급격히 증가하여 최악의 경우 대기 지연은 약 97ms, 블로킹 확률은 약 3%에 달하였다. 그림 4의 (a)에서 EW0와 EW는 거의 같은 값을 가지는데, 이는 블로킹 확률이 매우 작은 값을 가지기 때문에 손실되는 메시지의 수가 거의 없기 때문이다. 하지만 최악의 경우에는 블로킹 확률이 높아짐에 따라서 약 25ms의 차를 보였다. 또 성능은  $\rho$ 의 값이 작을수록 입력률에 대하여 영향을 적게 받는데 이것은 그림 9에서 자세히 나타내었고, 만약  $\rho$ 의 값이 매우 작다면 EW1의 그래프 또한 EW나 EW0의 그래프에 매우 근접할 것이다.



(a)

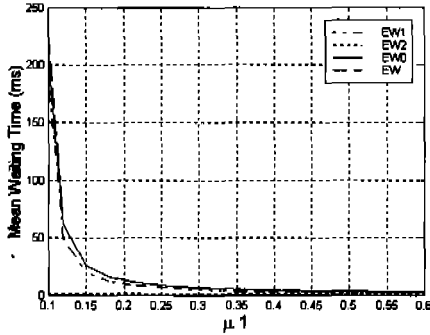


(b)

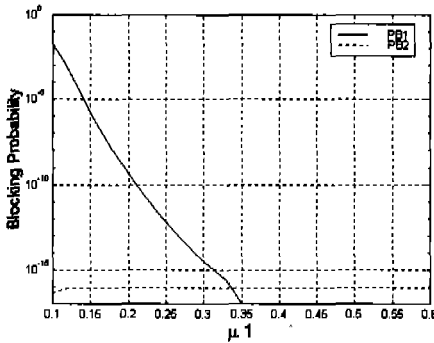
그림 5. 버퍼의 크기에 따른 (a)평균 대기지연 및 (b)블로킹 확률

그림 5의 (a)와 (b)는 최대 부하에서 버퍼의 크기  $K_1$ 과  $K_2$ 를 변화시키면서 살펴본 지연특성과 블로킹 확률이다.  $K_2$ 의 크기는 망관리 메시지의 비율을 최대 0.2라고 간주하여  $K_1$ 의 크기의 30%로 하였다. 블로킹 확률은 버퍼의 크기가 커질수록 낮아졌

으나, 대기 지연은 거의 변화가 없는데 이것은 낮은 트래픽에서, 즉 최대부하까지의 트래픽은 버퍼의 크기에 거의 영향을 받지 않음을 나타낸다. 하지만 트래픽이 그 이상 증가할 경우, 버퍼의 크기가 커짐에 따라서 대기 지연도 증가할 것이다.



(a)

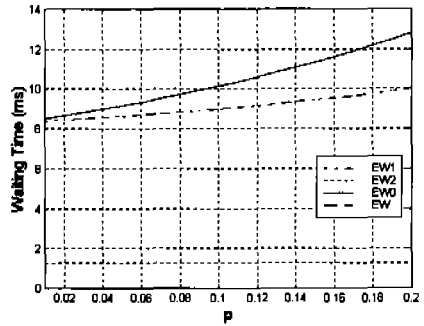


(b)

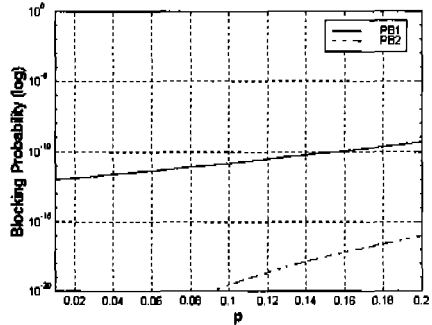
그림 6. 서비스율에 따른 (a)평균 대기지연 및 (b)블 로킹 확률

그림 6의 (a)와 (b)는 서비스율에 따른 지연특성과 블로킹 확률이다. 서비스율의 범위는 최대 부하에서의 입력률( $\lambda=0.08$ )보다 크고 MTP 메시지의 최소 길이인 11옥텟<sup>[3]</sup>을 고려하여 0.63까지로 하였다. 서비스율이 0.2일 때부터 대기지연과 블로킹 확률 모두 성능 요구사항을 만족하기 시작한다.

그림 7의 (a)와 (b)는 최대부하에서의 신호망 관리 메시지의 비율  $\rho$ 에 따른 평균 대기지연과 블로킹 확률을 보여준다. 여기에서  $\rho$ 는 0.4( $\lambda=0.08$ ,  $\mu_1=0.2$ )이고  $B_1$ 버퍼의 크기는  $K_1=30$ ,  $B_2$ 버퍼의 크기는  $K_2=10$ 이다. 신호망 관리 메시지의 비율이 늘어남에 따라  $\rho=0.2$ 에서 평균 대기 지연은 약 1.5배, 블로킹 확률은 메시지 처리부 버퍼의 경우 약 493



(a)



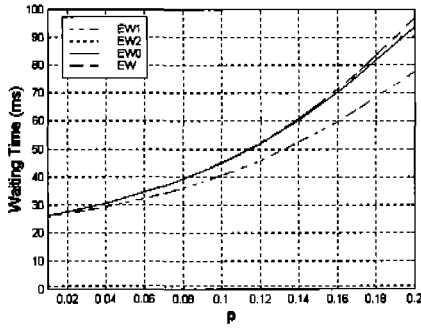
(b)

그림 7. 망관리 메시지의 비율에 따른 (a)평균 대기지연 및 (b)블로킹 확률

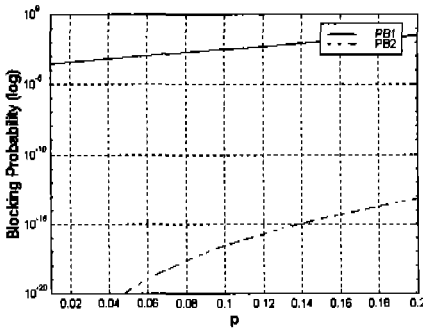
배가 증가했다. 대기 지연과 블로킹 확률이  $\rho$ 의 증가에 영향을 받는 이유는 신호망 관리 메시지가 증가함에 따라 신호망 관리부 버퍼를 거쳐 다시 메시지 처리부로 피드백되어 들어오는 메시지의 수가 늘어나기 때문이다.

그림 8의 (a)와 (b)는 그림 7의 경우와 동일한 시스템(즉,  $\mu_1=\mu_2=0.2$ ,  $K_1=30$ ,  $K_2=10$ )에서 최악의 경우, 즉  $\rho=0.8$ ( $\lambda=0.16$ )일 때 신호망 관리 메시지의 비율에 따른 평균 대기 지연과 블로킹 확률을 나타낸다. 대기지연과 블로킹 확률이 매우 악화되었다. 대기 지연에 대한 신호망 관리 메시지의 비율과 메시지 도착율의 영향을 그림 9에 보였다. 입력률이 낮을 때(예,  $\lambda=0.01$ )에는 신호망 관리 메시지의 비율이 20%일 때 1%에서보다 평균 대기지연이 약 5.3ms에서 약 7ms로 1.3배 정도 증가한 반면, 입력률이 높을 때(예,  $\lambda=0.16$ )에는 평균 대기지연이 약 26ms에서 약 96ms로 3.7배 정도 증가했다. 메시지 입력률 및 신호망 관리 메시지의 비율이 낮을 때보다 높을 때가 시스템의 지연은 신호망 관리 메시지의 증가에 민감하게 반응하는 것을 알 수 있다.





(a)



(b)

그림 8. 최악의 상황에서의 망관리 메시지의 비율에 따른 (a)평균 대기지연 및 (b)블로킹 확률

V. 결론

본 논문에서는 공통신 신호 프로토콜의 제3계층인 신호망 기능부를 ITU-T의 SS7 규격에 기반을 두고 다른 계층의 프로토콜에 독립적으로 모델링하여 대기체제이론으로 분석하고, 입력률과 처리율 또는 버퍼의 크기에 따라 시스템의 성능이 어떻게 변

하는가, 특히 폭주 또는 망자원의 고장 등으로 인하여 발생할 수 있는 신호망 관리 메시지가 최대부하 ( $\rho=0.4$ ) 및 최악의 경우( $\rho=0.8$ )에서 시스템에 어떠한 영향을 주는가를 살펴보았다. 이때 최악의 경우는 신호망 관리 기능에 의해 링크가 절체되는 경우이며, 최대부하는 절체시의 예비링크가 최대 0.8의 트래픽을 운반할 수 있도록 0.4로 설계된 부하이다.

분석 결과 시스템을 최대부하에 맞추어 안정적으로 설계했을 때 입력률이 최대부하를 넘어서면서부터 지연 및 블로킹 특성이 악화되기 시작하였다. 버퍼의 크기에 따라 시스템의 성능을 살펴보았을 때, 블로킹 확률은 버퍼가 커짐에 따라 낮아졌으나 지연은 변화가 거의 없었다. 그러나 트래픽이 높다면 버퍼가 커짐에 따라 지연도 커질 것이다. 서비스율의 변화는 메시지가 56kbps의 속도로 서비스 받을 때를 기준으로 하였는데, 이것은 메시지의 평균 크기에 의존한다. 메시지의 평균 크기가 작아질수록, 즉 상대적으로 서비스율이 커질수록 시스템의 성능 특성은 좋아졌다. 망관리 메시지의 비율이 증가함에 따른 신호망 기능부의 지연이 메시지 입력률이 높을수록 빠르게 늘어남을 알았다. 이것은 메시지 처리부를 통과한 신호망 관리 메시지가 다시 신호망 관리부를 통해 피드백되어 메시지 처리부 버퍼로 재차 유입되는 양이 늘어남에 따라 신호망 기능부의 지연 성능에 많은 영향을 준다는 것을 나타낸다.

향후 과제로 본 논문에서 실시한 분석의 결과와 실측 데이터를 비교 및 분석하여 연구하고, 또한 다양한 길이의 메시지를 발생하는 SS7 프로토콜의 제4계층인 ISDN 사용자부(ISUP)의 성능을 역시 다른 계층 프로토콜에 독립적인 모델로서 분석하고, 더 나아가 신호망 기능부와 ISDN 사용자부의 성능을 함께 고려하는 방법을 제시하는 것을 필두로 신호 시스템 전체의 성능을 평가하는 방법을 제안할 것이다.

참고 문헌

- [1] ITU-T Rec. I.xxx, Integrated Service Digital Network - ISDN, 1996.
- [2] ITU-T Rec. Q.7xx, Specification of signalling system No.7, 1996.
- [3] ITU-T Rec. Q.70x, Message Transfer Part - MTP, 1996.
- [4] ITU-T Rec. Q.76x, ISDN User Part - ISUP, 1996.

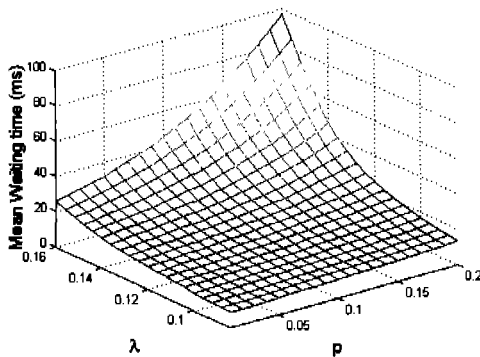


그림 9. 망관리 메시지의 비율 및 입력률에 따른 평균 대기지연

[5] G. Willmann, Performance Modeling of Signaling System No. 7, *IEEE Commun. Mag.*, July 1990.

[6] P. Bhatnager, Engineering Networks for Synchronization, CCS7, and ISDN, *IEEE press*, 1996.

[7] J.L. Wang, Traffic Routing and Performance Analysis of the Common Channel Signaling system 7 Network, *Proc. IEEE GLOBECOM*, pp.301-305, December, 1991.

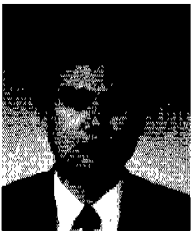
[8] L. Kleinrock, Queuing Systems, Vol.1: Theory, Canada. *John Wiley & Sons*, 1976.

[9] J.S. Kagan and A. Weingarten, Analysis of CCSN/SS7 Link Traffic Engineering Algorithm, *Proc. of the GLOBECOM'92 - Volume 3*, IEEE, 1992.

[10] A.E. Conway, Queuing Network Modeling of Signaling System No.7, *Proc. IEEE INFOCOM*, pp.552-558, 1990.

박철근(Chul-geun Park)

정회원

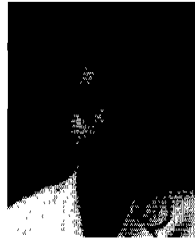


1983년 2월 : 부산대학교 수학과 졸업(이학사)  
 1986년 2월 : 한국 과학기술원 응용수학과 졸업 (이학석사)

1995년 8월 : 한국과학기술원 수학과 졸업 (이학박사)  
 1986년 4월~1997년 2월 : 한국 통신 통신망연구소 (선임연구원)  
 1997년 3월~현재 : 신문대학교 전자정보통신공학부 정보통신공학전공(조교수)  
 <주관심 분야> 트래픽 공학, 통신망해석, 큐잉이론

정태욱(Tae Wook Chung)

준회원



1998년 2월 : 신문대학교 전자공학과(공학사)  
 2000년 8월 : 신문대학교 전자공학과(공학석사)  
 2000년 6월~현재 : 한국전자통신연구원 교환전송기술연구소 위촉연구원

<주관심 분야> No.7 신호망, 광가입자 액세스망  
 E-mail:woogy00@dreamwiz.com

이유태(Yutae Lee)

정회원

1992년 2월 : 한국과학기술원 수학과 졸업(학사)  
 1994년 2월 : 한국과학기술원 수학과 졸업(석사)  
 1997년 8월 : 한국과학기술원 수학과 졸업(박사)  
 1997년 9월~1998년 2월 : 한국과학기술원 자연과학 연구소 연수연구원  
 1998년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원  
 <주관심 분야> 통신망 트래픽 제어, ATM 통신망, 대기 이론