

전전자 교환기의 트래픽 용량 분석

(Traffic Capacity Analysis of the Digital Switching System)

이 강 원*
박 연 기*
서 재 준*

Abstract

Modern telecommunication switching systems are SPC (Stored Program Control) machines handling voice, data and other kinds of traffic, in an environment which tends to be fully digital switching and transmission. The throughput of such systems is determined by the real time capacity of its centralized or distributed control processors and by the traffic capacity of the switching network. Designers must verify the traffic and call processing capacity of the switching system and check its performance under traffic load before it is put into service. Verification of traffic and call processing capacity of switching systems is one of the problems treated by teletraffic studies; teletraffic studies are based on stochastic process, queueing theory, simulations and other quantitative methods of decision making.

This paper reviews the general methodologies to evaluate the throughput and performance of the digital switching system. TDX-10, which is a fully digital switching system under development in ETRI, is employed to give illustrative examples of the methodologies discussed in this paper.

1. 서 론

교환기관, 가입자회선이나 중계선 정합장치 및 스위치와 이들의 제어장치 등을 이용하여 사용자가 원하는 음성 및 데이터 정보를 신속, 정확하면서도 경제적으로 교환할 수 있게하는 통신시스템이다. 현재 널리 사용되고 있는 전

자교환기는 SPC (stored program control) 방식으로 통신용 컴퓨터라 해도 과언이 아닐 정도로 컴퓨터와 유사한 기능을 수행하고 있다.

사용자의 관점에서 SPC 교환시스템의 성능은 가입자 관련 서비스 조건 (grade of service) 과 시스템 신뢰도 (reliability) 및 가용

* 한국전자통신연구소 TDX개발단

도(availability) 등의 측면에서 연구되어져 왔다. 예로 Sweden의 LM Ericsson 사에서는 교환기의 성능지표로서 복합적 척도인 "effective performance"를 제안하였는데 [10], 이는 주어진 시스템의 가용도와 통화처리 용량(trafficability) 및 특정 사용조건하에서 가입자 관련 서비스 조건을 만족시키면서 요구 통화량을 처리할 수 있는 능력으로 정의된다(그림 1).

가입자 관련 서비스 조건이란 dial tone delay, ring back tone delay, through connection delay 등의 지연 시간이 몇 ms 이하이어야 한다든지 또는 스위치 네트워크(switch network)의 blocking 확률이 얼마 이하이어야 한다는 등의 서비스 조건이다. 각 서비스 조건에 대한 상한치는 시스템의 정상 상태와 과부하 상태로 나뉘어 CCITT 권고안[4]에 기술되어 있다. 한편, 시스템 신뢰도 및 가용도 역시 CCITT 권고안에서 무효 호 시도(ineffective machine attempt)가 기준 호 중에서 평균 몇 호 이하이어야 한다든지 가입자 회선이나 중계선 고장율이 1년에 평균 몇 회를 초과해서는 안된다는 등의 기준치를 정해 놓고 있다.

일반적으로 교환기의 최대 용량은 위에서 언급한 가입자 관련 서비스 조건 및 신뢰도를 만족하면서 교환기가 단위 시간당 처리 가능한 호의 수 및 스위치 네트워크의 최대 통화처리 용량 등으로 정의된다. 본고에서는 음성 서비스를 제공하는 대용량 전자 교환기에 대한 최대 용량 추정 및 이의 방법론 문제를 다루었다. 서술된 내용의 순서를 보면, 서론에 이어 2장에서는 일반적인 SPC 교환기의 용량을 제어계(혹은 프로세서계)의 호처리 용량(call processing capacity)과 스위치 네트워크의 통화처리 용량(traffic carrying capacity)의 두 측면에서 살펴보고 산출 방법론에 대해서 논의한다. 3장과 4장에서는 2장에서 제시된 방법론을 토대로 TDX-10 시스템의 호처리 용량 및 통화처리 용량을 실험으로 보여준다. 한

편 본 연구에서 시스템의 신뢰도 및 가용도 문제는 논의에서 제외하였다.

2. 교환시스템의 용량

일반적으로 SPC 교환기의 경우 시스템 용량은 종단 용량(termination capacity), 제어계의 호처리 용량(call processing capacity), 그리고 스위치 네트워크의 통화처리 용량(traffic carrying capacity) 등의 측면에서 살펴볼 수 있다[7]. 이 중 종단 용량은 시스템이 수용할 수 있는 가입자회선이나 중계선 수를 나타내는 외형적인 시스템 용량을 의미하며 시스템 내의 트래픽 부하와는 무관한 값을 갖게 되므로 앞으로의 논의에서 이는 제외하기로 한다.

2.1 제어계의 호처리 용량

2.1.1 정 의

SPC 교환기에서 제어계는 서비스 요구를 감지하고 호의 시작부터 종료까지 관련된 모든 기능을 제어한다. 제어계의 호처리 용량이란 주어진 call type과 call spectrum 하에서 CCITT 권고안에 정의된 각종 지연 시간을 만족하면서 단위 시간당 최대 처리 가능한 호의 수를 말한다. 여기서 call type은 자국호, 중계호, 출중계호 그리고 입중계호를 말하며, call spectrum은 하나의 호가 발생하여 연결될 때까지 각 단계별로 실패될 확률을 나타낸 것이다. 호처리 용량의 기본 단위는 BHCA(busy hour call attempt)로 1시간 동안 제어계가 처리 가능한 호의 수를 의미한다.

2.1.2 결정 방법론

호처리 용량은 제어계 프로세서들의 부하(load) 및 각 버퍼(buffer)의 큐잉 지연(queueing delay) 등 제어 시스템 내부 상태와 CCITT에 의해 권고되는 각종 서비스 관련 지연시간 등을 고려하여 결정된다. 그런데

분산 제어 방식을 채택하는가 혹은 집중 제어 방식을 사용하는가에 따른 교환기들마다 제어 계 구조의 상이함, 그리고 프로세서간 통신 등의 차이로 인해 공통적으로 받아들여지는 방법론은 없어 보인다. 흔히 추정에 사용되는 방법은 (그림 2)에 나타난 바와 같이 해석적 방법, 시뮬레이션에 의한 방법, 그리고 측정에 의한 방법 등 크게 세가지로 구분할 수 있다[6]. 해석적 방법은 큐잉 네트워크 이론이나 추계적 과정(stochastic process) 등을 이용하여 제어 계의 호처리 과정(call processing procedure)을 모델링하고 이로부터 주어진 트래픽하에서 프로세서들의 부하상태 및 큐 길이 등을 유도해 내어 시스템 용량 평가 관련 자료를 산출해 낸다. 시뮬레이션 방법은 크게 time-true 시뮬레이션과 environmental 시뮬레이션으로 구분되는데, 전자는 호가 발생하여 처리되는 과정을 실제 시스템이 동작되는 것과 똑같이 컴퓨터 프로그램화하여 각종 데이터를 추출해내는 방법이고, 후자는 이미 개발된 호처리 소프트웨어를 사용하고 가입자 특성 및 호 발생을 컴퓨터로 시뮬레이션시킴으로써 각종 데이터를 얻어내는 방법이다. 만일 시스템이 이미 개발 완료되었다면 측정에 의한 방법도 생각할 수 있으며, hardware monitor와 software monitor의 두가지로 대별된다. Hardware monitor는 측정기를 별도로 만들어 각종 필요한 데이터를 계측하는 방법이고, software monitor는 호처리용 프로그램에 통계자료용으로 별도의 소프트웨어를 구성하고 호처리와 함께 동작시켜 필요한 각종 데이터가 출력되도록 한다. 결과의 정확도는 낮지만 모델의 일반성(generality)이 비교적 높은 해석적 방법과 time-true 시뮬레이션 등은 시스템 설계 단계시 상위 구조(high level architecture)의 타당성 조사 등 개발 초기에 주로 사용되며, 교환기의 최종 용량확인에는 비교적 결과의 신빙성이 높은 environmental 시뮬레이션과 측정에 의한 방법이 주로 이용된다.

2.2 스위치 네트워크의 통화처리 용량

2.2.1 정 의

교환기의 스위치 네트워크는 한정된 서비스 channel을 가지고 많은 가입자회선과 중계선에서 발생하는 모든 통화량을 처리해야 하므로 스위치 연결을 요구하는 어떤 호에 대해서는 서비스를 제공할 수 없게 되는데 이런 현상을 blocking이라 한다. 그러므로 스위치 네트워크에서의 최대 통화처리 용량은 주어진 서비스 조건(blocking 확률의 허용치)을 만족하는 통화량으로 나타내어진다. 통화량의 단위는 트래픽 이론의 창시자인 덴마크의 수학자 어랑(A. K. Erlang)의 이름을 딴 erlang이 국제적으로 사용되고 있는데 한 channel이 한 시간동안 점유되었을 때를 1 erlang이라 하며, erlang으로 표시되는 통화량은 한 시간 동안 동시에 진행중인 평균 호의 수 또는 평균 통화시간(call holding time)동안 발생하는 평균 호의 수로 생각할 수 있다[8].

2.2.2 결정 방법론

스위치 네트워크의 최대 통화처리 용량은 시스템의 요구조건 또는 CCITT에서 규정된 blocking 확률의 허용치를 만족하면서 스위치 네트워크가 처리할 수 있는 통화량을 말하는 것으로 그 구조적인 규모에 의해 거의 결정되며 그 위에 소프트웨어적인 통화로 탐색방법에 따라 다소 달라지는데, 스위치 연결을 요구하는 호시도(call attempt)의 통화로 구성을 위해 제공할 수 있는 총 서비스 channel 수와 blocking 확률의 허용치를 만족하는 서비스 channel의 점유율의 곱으로 표현된다. 그러므로 스위치 네트워크의 통화처리 용량을 해석하기 위해서는 우선 스위치 네트워크의 구조를 파악하여 스위치 연결에 가능한 서비스 channel 수를 결정하고 blocking 확률의 허용치를 만족하는 서비스 channel의 점유율을 구해야 한다. 여기서 서비스 channel의 점유율을

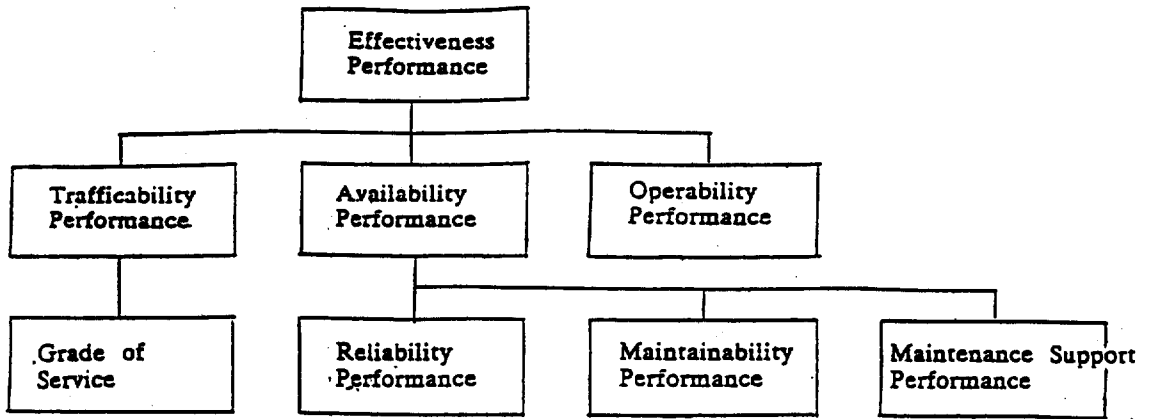


그림 1. 교환기 성능 관련 지표(10)

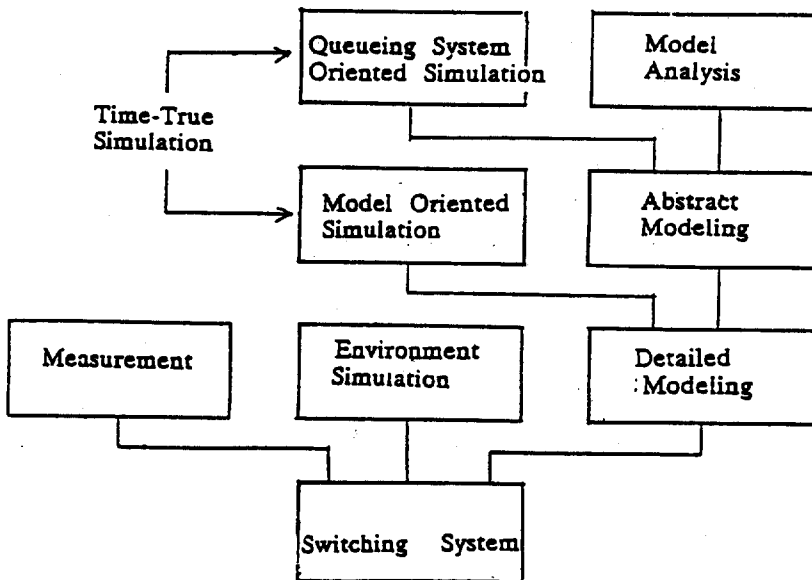


그림 2. 교환시스템의 호처리 용량 분석 방법(6)

구하기 위해서는 blocking 확률식을 유도하여야 하는데 각 교환기마다 스위치 네트워크의 구조가 다르고 서비스 channel 을 할당하는 통화로 탐색방법이 달라 일반적으로 적용할 수 있는 blocking 확률식이 없으므로 대상 시스템의 특성에 따라 적절한 blocking 확률식을 유도하여야 한다.

앞에서 설명한 바와 같이 스위치 연결을 요구하는 호에 대해 스위치 네트워크가 제공할 수 있는 서비스 channel 수의 제약으로 인해 blocking 이 발생하며, 서비스 channel 을 할당하는 통화로 탐색방법에 따라 blocking 확률은 각 서비스 channel 이 사용되는 정도, 즉 서비스 channel 의 평균 점유율 (occupancy) 과 매 호 시도마다 가용한 서비스 channel 수, 즉 통화로 탐색수의 함수로 표현된다.

3. TDX-10 제어계의 호처리 용량 결정

3.1 제어계의 시스템 개요

TDX-10은 제어계 및 통화가 완전 디지털화 되어 있는 전자 교환기로서 각 신호장치와 교환장치들이 제어기능을 한곳에 집중하지 않고 분산시켜 놓은 분산 제어 방식을 가지며, flexibility 및 modularity 를 충분히 고려하여 설계된 대용량 교환기이다. TDX-10 교환기는 1단계로서 음성서비스만을 제공하는 것으로 개발되고 단계적으로 음성 및 데이터 서비스를 모두 수용하는 종합 교환기로서 개발되어 미래의 ISDN (integrated services digital network) 통신망에서 중추적인 역할을 담당하게 될 것이다. 여기서는 음성서비스의 트래픽만을 분석대상으로 하였다.

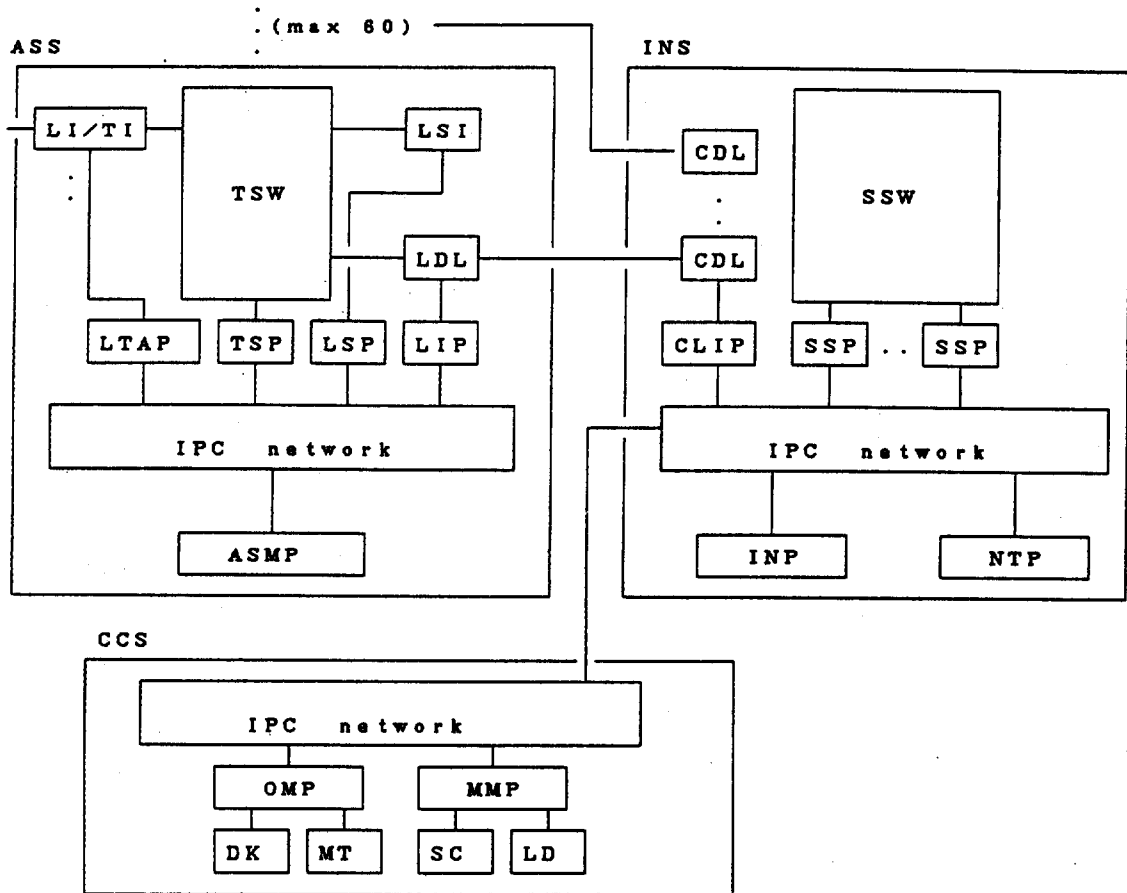
TDX-10 시스템은 크게 ASS (access switching subsystem), INS (interconnection network subsystem), CCS (central control subsystem) 의 세가지 서브시스템으로 구성되어 있다(그림 3). ASS 는 가입자 회선 및 중계선에 직접 연결되는 정합

(interface) 기능을 가지고 있고 발·착신호의 path 를 설정하여 주는 그룹 스위치 (time-space-time switch) 중에서 time switch 를 실장하고 있다. 또한, ASS 는 하드웨어적으로 60개까지 연결 가능하며, 고속의 정보전송이 가능한 광섬유를 통하여 INS 에 연결된다. INS 는 그룹 스위치중 space-switch 를 실장하고 있고 발·착신호의 routing 을 위한 번호번역 기능을 포함하고 있으며, CCS 는 과금을 포함한 M&A (maintenance & administration) 기능을 가지고 있다. 이들 서브시스템내에는 고유한 기능을 가지는 하드웨어 유니트가 있고 이들은 관련 프로세서에 의해 제어되며, 프로세서간 상호 정보전송을 위한 통신은 각 서브시스템내의 독립된 IPC (interprocessor communication) 네트워크를 통하여 이루어지며 서브시스템간의 정보전송은 IPC 네트워크상의 bridge node 를 통하여 이루어진다.

TDX-10 제어계에 부과되는 트래픽 정보들을 추정하기 위해서는 우선 프로세서간 전달되는 메시지의 양을 유도해야 되는데, 여기에는 크게 호처리 관련 메시지와 M&A 관련 메시지로 대별된다. 그러나, M&A 관련 메시지의 양은 시도된 호의 수, routine job, 시스템 장애나 고장의 빈도, on-demand 요구 횟수 등의 복잡한 함수로 나타나므로 분석적 방법의 의해 유추하기가 상당히 어렵기 때문에 보통 호당 일정한 비율로 발생한다고 가정한다. 따라서 제어계 트래픽의 주요 분석대상은 시도된 호와 이의 처리과정에 대한 추정이 가능한 호처리 메시지 양을 근간으로 한다.

호처리 관련 기능을 수행하는 프로세서들로는, 가입자 회선 및 중계선 정합기능을 갖는 LTAP, time switch 제어기능을 갖는 TSP, 신호기 제어기능을 갖는 LSP, ASS 를 총괄 제어하는 ASMP, ASS 와 INS 사이에 메시지 전송 제어기능을 담당하는 LIP 및 CLIP, INS 내의 space switch 를 총괄 제어하는 INP 와 그 하위 프로세서인 SSP, 번호번역 기능을 갖는 NTP, 과금 관련 기능을 수

행하는 CCS 내의 OMP 가 있다(그림 3).



LTAP : line access processor

TSP : time switch processor

LSP : local service processor

LIP : link interface processor

CLIP : central link interface processor

INP : interconnection network processor

NTP : number translation processor

SSP : space switch processor

SC : system console

LD : local disk

LI/TI : line interface/trunk interface

TSW : time switch

LSI : local service interface

LDL : local data link

CDL : central data link

SSW : space switch

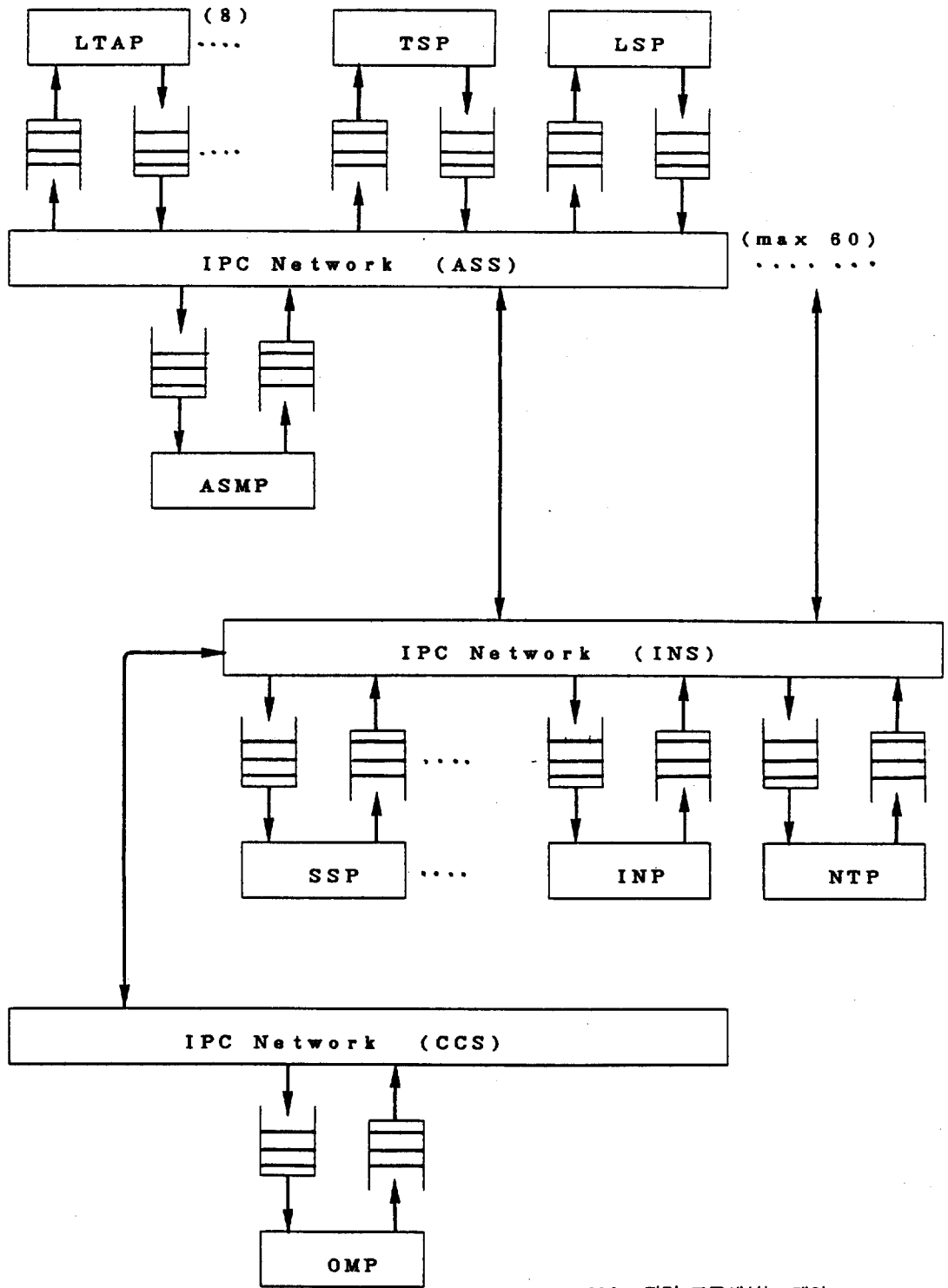
OMP : operation & maintenance processor

MMP : man-machine processor

DK : disk

MT : magnetic tape

그림 3. TDX-10 시스템 구조도



* M&A 관련 프로세서는 제외

그림 4. TDX-10 제어계의 큐잉 네트워크 모델

3.2 호처리 용량 산출

TDX-10 제어계는 프로세서의 job scheduling, IPC 네트워크상에서의 메시지 전송 방법 및 하위레벨 구조 등이 아직 확정되지 않아 (그림 3)의 상위레벨 구조안을 기초로 하여 호처리 용량을 분석하였다. 그러므로 본 분석은 최종 시스템의 정확한 호처리 용량 산출보다는 제안된 상위구조 시스템의 프로세서 및 각 device 들의 부하상태 분석에 중점을 두었다.

분산제어 구조를 갖는 TDX-10 제어계의 트래픽 분석은 각 프로세서를 서비스 node 로 보고, node 간은 프로세서간 통신(IPC)에 의해 연결되는 큐잉 네트워크로 모델링할 수 있다(그림 4). 이러한 모델링 분석에 이용되는 입력정보는 다음과 같다.

- call type 의 구성비율
- call type 에 따른 호처리 과정
- M&A 메시지의 부하
- call spectrum
- 프로세서별 메시지 처리시간 및 오버헤드 시간(overhead time)
- IPC 네트워크상에서 메시지 전송을 위한 오버헤드 시간

제안된 큐잉 네트워크 모델과 위의 입력정보를 토대로 해석적 방법과 time-true 시뮬레이션에 의한 두가지 분석을 수행할 수 있다.

우선 시뮬레이션 방법은 큐잉 네트워크를 체계적으로 모델링 해주는 시뮬레이션 언어인 SLAM(simulation language for alternative modeling)[9]을 이용하여 트래픽(호시도)에 따른 시스템의 부하 상태를 점검하였다. 본 시뮬레이션은 제어계의 큐잉 네트워크 모델에 근거를 두었으며 보통 자국호의 처리 과정을 제어계에 의한 프로세서간 메시지 통신을 고려 대상으로 하여 VAX 750 computer system UNIX 상에서 수행하였다. 프로그램의 크기가 방대한 관계로 <표 1>과 같이 2단계로 나누어 수행하였는데 첫 단계의 시뮬레이션 모델에서는 각 프로세서 및 IPC 노드의 큐 지연시간,

delay, dial tone delay 및 ring back tone delay 등의 사용 정도를 유추하였다[3].

그런데 본고에서는 이에 대한 구체적 논의는 생략하고 논의하였다.

해석적 방법에 의한 트래픽 산출은 우선 시스템 제어계가 안정상태(steady state)가 되었을 때 각 프로세서 및 IPC 네트워크별로 부가되는 평균 메시지 수를 산출하고 각각의 메시지 처리시간을 고려하여 시스템 bottleneck 을 파악한다. 제어계의 bottleneck 이 규명되면 이 부분을 다시 독립적인 큐잉 시스템으로 모델링하여 시스템 호처리 용량을 추정한다. 따라서 제어계의 호처리 용량은 주어진 호시도하에서 call type 별 호처리 과정을 근간으로 다음과 같은 순서에 의해 구해 나간다.

- 1) 프로세서별 평균 메시지 도착 수 및 전송 수 계산
- 2) IPC 네트워크별 메시지 도착 수 계산
- 3) 큐잉 모델의 각 노드별 트래픽 부하 계산 및 bottleneck 규명
- 4) bottleneck 이 되는 프로세서의 호처리 능력 계산 및 부하상태 점검
- 5) 3)의 큐잉 모델 분석을 통한 서비스 지연 시간 계산
- 6) 4)와 5)를 토대로 제어계 최대 호처리 용량 계산

호처리 용량 결정에는 이외에도 IPC 네트워크의 전송능력, 스위치 네트워크의 용량이 고려되어야 하나 TDX-10의 IPC 네트워크의 전송속도는 10 Mbps 로 충분하고, 스위치 네트워크의 용량도 26,000 erlang 으로 호처리 용량에는 영향을 미치지 않을 정도이다[1]. 한편, 항목 5)의 서비스 지연시간 계산은 항목 3)의 큐잉 모델을 토대로 해서 각각의 서비스 기준 항목별로 dial tone delay, ring back tone delay 등을 산출해 낸다. 이 지연시간은 각 프로세서에서의 큐 대기시간, 메시지 처리

시간, IPC 네트워크를 통한 전송시간을 계산한 뒤 이들의 합으로부터 계산한다. 주어진 트래픽하에서 산출된 지연시간이 권고되는 목표치를 만족하는지의 여부와 이때의 프로세서의 과부하 상태를 파악하여 호처리 용량을 결정해 나간다. 그런데 서비스 지연시간 계산은 큐잉 네트워크 분석 등 수리적으로 매우 복잡한 과

정을 요구할 뿐 아니라 현재의 제한된 자료를 바탕으로는 유추해내기 어려운 상황이다. 그러므로 본 분석에서는 시스템 제어계가 서비스 지연시간을 만족시킨다는 가정하에 호처리 용량을, bottleneck으로 추정된 프로세서의 과부하 상태에서의 트래픽 양을 추정하여 산출하였다.

(표 1) 시뮬레이션 모델 구축방안

| 항 목 | 1 단 계 | 2 단 계 |
|----------|--|--|
| 1. 트래픽 | <ul style="list-style-type: none"> • 보통 자국호 트래픽 및 이의 call spectrum | <ul style="list-style-type: none"> • random load : call handling <ul style="list-style-type: none"> - call type 구성비율 - call spectrum • Static load <ul style="list-style-type: none"> - maintenance functions - on-demand request - data collections • unexpected load |
| 2. 프로세서 | <ul style="list-style-type: none"> • OS는 black box로 보고 각 프로세서를 하나의 서비스 노드로 큐잉화 | <ul style="list-style-type: none"> • 각 프로세서의 job scheduling 및 interrupt 구조 모델링 |
| 3. 서비스방법 | <ul style="list-style-type: none"> • FCFS | <ul style="list-style-type: none"> • Priority 개념 도입 |
| 4. 큐 길이 | <ul style="list-style-type: none"> • 무한 큐 길이 | <ul style="list-style-type: none"> • 유한 큐 길이 |
| 5. 데이터 | <ul style="list-style-type: none"> • 호처리 메시지 크기 동일 가정 • 메시지 처리시간 추정치 사용 application program 제외 | <ul style="list-style-type: none"> • 호처리 메시지 및 M&A 관련 메시지 유형별 크기 분류 • 임의의 unexpected traffic load 발생 • 메시지 처리시간 실측치 사용 • application program 수행시간 계산 • call type 별 호처리 과정 • call spectrum 자료 획득 |
| 6. 목 표 | <ul style="list-style-type: none"> • 보통 자국호의 주어진 BHCA 하에서 시스템 프로세서 및 각 device들의 부하상태 점검 | <ul style="list-style-type: none"> • CCITT Rec. GOS 사항 관련하여 최종 시스템 BHCA 결정 |

프로세서가 수행하는 작업은 크게 fixed overhead 작업, 호처리 작업, M&A 작업의 세가지로 구분되며, 이들 순으로 메시지가 처리된다. 고정작업인 ρ_j 는 보통 프로세서가

동물의 20%~30%를 차지하며, 프로세서의 과부하 제어는 일반적으로 가동율 80%~95%에서 alarm이 발생하여 자동적으로 시스템에 시도되는 호를 제한함으로써 이루어지게 되

므로 실제적으로 이들 수치가 프로세서 가동률의 상한치가 된다. 시스템에 시도되는 호의 수 대 프로세서 가동률의 관계 및 이로부터

유추되는 최대 호처리 용량을 도식하면 (그림 5)와 같다.

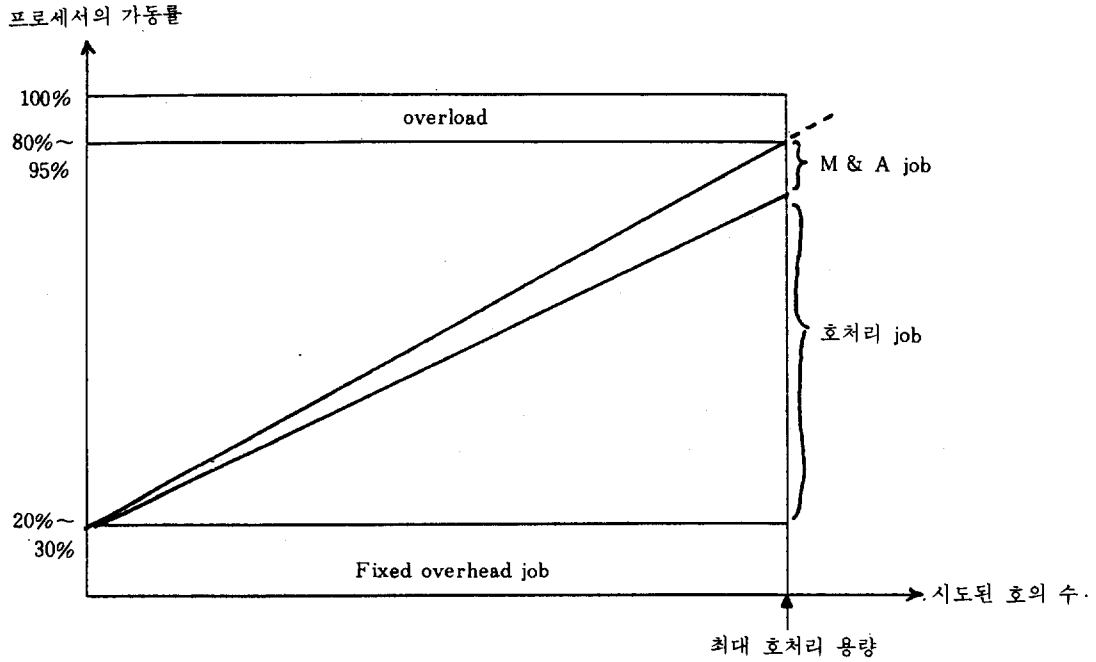


그림 5. 시스템에 시도되는 호의 수 대 프로세서의 가동률

일반적으로 프로세서의 메시지 처리능력은 다음과 같은 프로세서의 가동률로서 표현된다.

$$\rho_j = \rho_j^0 + \lambda_j \cdot ET_j \dots\dots\dots (식 1)$$

- ρ_j : 프로세서 j의 가동률
- ρ_j^0 : 호처리 및 M&A 메시지와는 별도로 프로세서가 수행하는 고정작업 (fixed overhead job)의 비율
- λ_j : 단위시간당 프로세서 j에 입력되는 메시지의 수
- ET_j : 프로세서 j에서 한 메시지를 처리하는 평균시간(application program 실행시간과 프로세서 overhead time 및 메시지 송수신 등의 OS에서 사용하는 시간을 포함)

윗식에서 ET_j 는 사용되어지는 프로그램 수로부터 간접적으로 계산한 결과 0.8ms-1.5ms 사이의 값을 갖는 것으로 추정된다[2]. 한편, λ_j 는 다시 다음식으로 표현된다.

$$\lambda_j = (1 + \alpha_j) \cdot n_j \cdot \Lambda \dots\dots\dots (식 2)$$

- α_j : 프로세서 j의 호처리 메시지 부하에 대한 M&A 메시지 부하 비율
- n_j : 발, 착신 한 호당 프로세서 j에 입력되는 메시지의 평균 수
- Λ : 단위시간당 시스템에 시도되는 호의 수

윗식에서 n_j 는 call type별 호처리 과정으로부터 쉽게 계산될 수 있고, α_j 는 프로세서별로 대략 5%-30% 정도의 값을 갖는 것으로 추정된다.

분석대상을 자국호로 국한하고 ASS가 최대 연결가능한 60개가 연결된다고 하였을 때, 자국호 처리과정(그림 6)과 KTA 트래픽 분석자료[12]를 토대로 산출한 spectrum의 추정값(즉, 다이얼링 도중 호를 포기할 확률 20%, 착신가입자가 통화중일 확률 10%, 착신가입자가 무응답일 확률 10%)으로부터 산출한 n_j , 프로세서별 M&A 메시지 비율을 근간으로(식 2)로부터 프로세서별 단위시간당 입력되는 메시지 수를 계산하면 <표 2>와 같다. 이 경우 n_j 값은(그림 6)의 호처리 과정에서 프로세서별로 입력되는 메시지 발생 확률로부터 계산되며 산출식은 아래와 같다.

$$n_j = \left(\sum_{k \in C_j} P_k \right) / W_j \quad \dots\dots\dots (식 3)$$

- C_j : 자국호 처리 과정에서 프로세서 j에 입력되는 메시지들의 집합
- P_k : 자국호 처리과정에서 k번째 메시지가 발생할 확률로서(그림 6)의 팔호안의 숫자
- W_j : 프로세서 j에 대한 weighting factor로 시스템 전체내의 해당 프로세서 최대 갯수로 정의한다. 예를 들면 LTAP는 480, SSP는 8, ASMP는 60, INP는 1 등이다.

<표 2> 프로세서별 단위시간당 입력되는 메시지 수

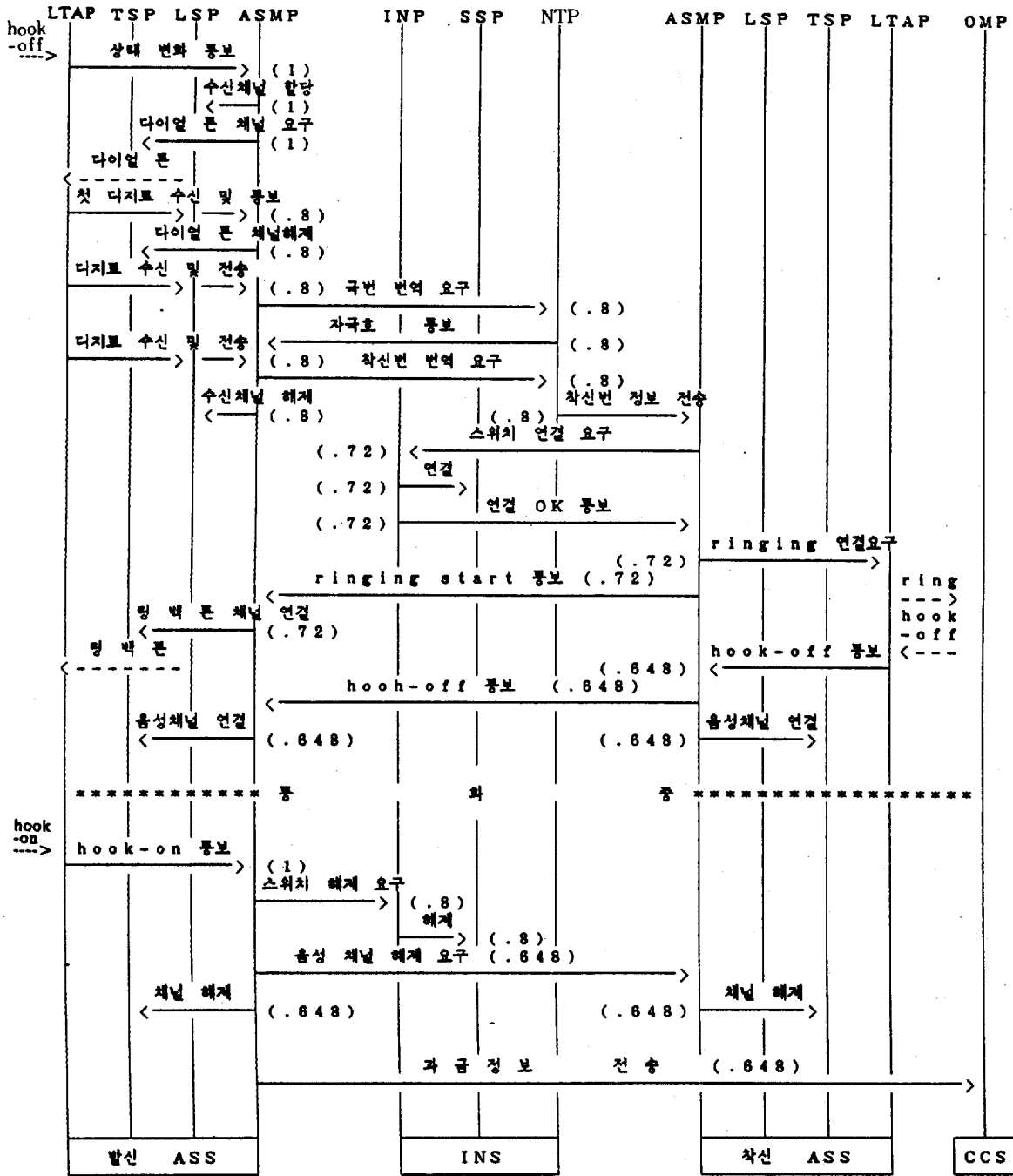
| 프로세서 | 단위시간당 입력되는 메시지수 |
|------|--|
| LTAP | $(1 + \alpha_{LTAP}) \cdot (0.002) \cdot \Delta$ |
| LSP | $(1 + \alpha_{LSP}) \cdot (0.12) \cdot \Delta$ |
| TSP | $(1 + \alpha_{TSP}) \cdot (0.09) \cdot \Delta$ |
| ASMP | $(1 + \alpha_{ASMP}) \cdot (0.21) \cdot \Delta$ |
| INP | $(1 + \alpha_{INP}) \cdot (1.44) \cdot \Delta$ |
| SSP | $(1 + \alpha_{SSP}) \cdot (0.18) \cdot \Delta$ |
| NTP | $(1 + \alpha_{NTP}) \cdot (1.60) \cdot \Delta$ |
| OMP | $(1 + \alpha_{OMP}) \cdot (0.65) \cdot \Delta$ |

<표 2>의 결과와 (식 1)로부터 M&A 메시지 비율과 메시지 평균처리 시간이 동일하다고 보

면 NTP, INP 순으로 가장 많은 load가 걸리게 된다. 그러나 실제적으로 NTP는 하드웨어 유닛의 상태 점검 및 제어를 하지 않고 번호 번역을 위해 자체 데이터베이스를 액세스하는 작업만을 반복하므로 M&A 작업이 거의 없는 반면, INP는 스위치 네트워크의 상태를 점검 등의 M&A 작업(호처리 작업의 20%~30%로 추정)을 수시로 수행하게 된다. 또한, 프로그램 스텝수로부터 메시지 수행시간을 추정해 보면 모든 호처리 메시지중에서 가장 많은 수행시간을 요하는 INP의 스위치 연결 및 해제하는 데 걸리는 평균시간이 NTP의 국번번역 및 착신번 번역을 하는 데 걸리는 평균시간의 약 1.5배~2배가 된다. 따라서 시스템 bottleneck은 INP로 추정할 수 있다.

그러면, 가장 부하를 많이 받는 INP의 가동율의 상한치를 80%, ρ^0 를 20%로 할 때, 각각의 호처리 용량은 아래의(식 4)으로부터 산출되며, M&A 메시지 비율(α_{INP})과 INP의 한 메시지 평균 처리시간(ET_{INP}) 변화에 따른 제어 호처리 용량의 변화 추이는 아래<표 3>와 같다.

$$\begin{aligned} \Delta &= (0.8 - \rho_{INP}^0) / [(1 + \alpha_{INP}) \cdot n_{INP} \cdot ET_{INP}] \\ &= 0.6 / [(1 + \alpha_{INP}) \cdot (1.44) \cdot ET_{INP}] \end{aligned} \quad (식 4)$$



*팔호안의 숫자는 시도된 호를 처리하는 과정에서 각 프로세서로부터 메시지가 발생할 확률을 나타낸 것으로 다이얼링 도중 호를 포기할 확률 20%, 착신 가입자가 통화중 일 확률 10%, 착신 가입자가 무응답일 확률 10%를 근간으로 산출한 값이다.

그림 6. 자국호 처리 과정

〈표 3〉으로부터 α_{INP} 를 일반적인 값 20%로 보고 ET_{INP} 를 1.2ms로 할 경우 호처리 용량은

자국호의 경우에 약 100만 BHCA로 결정될 수 있다.

〈표 3〉 α_{INP} 와 ET_{INP} 의 변화에 따른 제어계의 호처리 용량

(단위 : 10,000 BHCA)

| α_{INP} \ ET_{INP} | 0.6 m s | 0.8 m s | 1.0 m s | 1.2 m s | 1.4 m s | 1.6 m s | 1.8 m s | 2.0 m s |
|-----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1 % | 248 | 186 | 149 | 124 | 106 | 93 | 83 | 74 |
| 5 % | 238 | 178 | 142 | 119 | 102 | 89 | 79 | 71 |
| 10 % | 227 | 170 | 136 | 113 | 97 | 85 | 76 | 68 |
| 15 % | 217 | 163 | 130 | 108 | 93 | 82 | 72 | 65 |
| 20 % | 208 | 156 | 125 | 104 | 89 | 78 | 69 | 62 |
| 25 % | 200 | 150 | 120 | 100 | 86 | 75 | 67 | 60 |
| 30 % | 192 | 144 | 115 | 96 | 82 | 72 | 64 | 58 |
| 35 % | 185 | 139 | 111 | 93 | 79 | 69 | 62 | 56 |
| 40 % | 179 | 134 | 107 | 89 | 77 | 67 | 60 | 54 |

4. TDX-10 스위치 네트워크의 최대 통화처리 용량 산출

4.1 스위치 네트워크의 개요

TDX-10 상위레벨 구조에서 제안된 그룹 스위치는 (그림 7)에서 보는 바와 같이 T-S-T 구조로 최대 4,096 TS(time slot) 용량의 T-SW(time switch)가 ASS에 양방향으로 위치하며 각각 64×64로 구성된 32k TS 용량의 space switch(S-SW) 2개가 INS에 위치한다. 가입자회선 및 중계선 수용을 위한 ASS는 최대 60개까지 증설할 수 있으며 각각의 T-SW는 512 TS 용량의 2개의 highway를 이용하여 각각 2개의 S-SW에 이원화 연결되며 이중 최대 32 TS씩 64 TS은 IPC용으로 할당될 수 있다. 그러므로 실제 통화를 위한 스위치 네트워크의 서비스 channel 수는 IPC용으로 할당되는 channel 수에 따라 다소 달라질 수 있을 것이다. 한편, 소용량 TDX-10을 위해 1개의 S-SW만 들 수 있는데, 이 때 각각의 T-SW와 S-SW간에는 512 TS 용량의 1개의 highway로

연결되며 각 highway당 통화로 연결에 가용한 서비스 channel 수는 최대 32 TS까지 할당할 수 있는 IPC용 channel을 제외한 값이 될 것이다.

4.2 통화처리용량 산출

4.2.1 통화로 탐색법(path searching algorithm)

T-S-T 구조로 이루어진 TDX-10 스위치 네트워크에서 스위치 연결을 요구하는 임의의 호에 대해 통화로가 구성되기 위해서는 Ttx측과 Trx측에 동시에 idle한 같은 번호의 한쌍의 TS이 존재해야 하며, 발신측 및 착신측의 양방향에서 통화로가 구성되어야 완전한 호가 성립될 수 있다. 양방향의 통화로를 구성하기 위해 발신측에서의 통화로나 착신측에서의 통화로중 어느 한방향의 통화로를 탐색하여 다른 한방향의 통화로는 그에 매칭되는 TS을 할당하는 방법을 생각할 수 있다. 예를 들면, (그림 8)에서 보는 바와 같이 T-SW와 S-SW간에

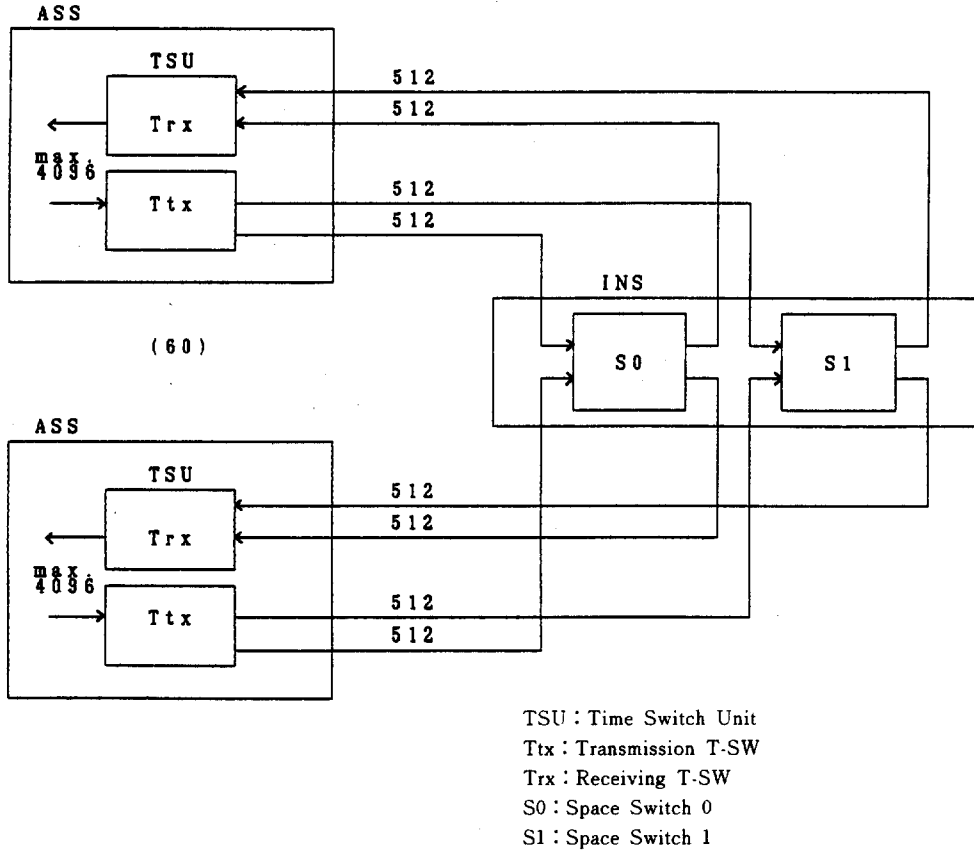


그림 7. TDX-10 스위치 네트워크의 구조

연결된 TS 수를 c 라 할 때 발신측에서의 통화로 구성을 위해 첫번째 Ttx와 두번째 Trx간에 k 번째 TS를 할당한다면 착신측에서의 통화로는 두번째 Ttx와 첫번째 Trx간에 $k \pm c/2$ 번째 TS를 할당한다. 다시말하면 $k \leq c/2$ 이면 $k + c/2$ 번째 TS를 할당하고 $k > c/2$ 이면 $k - c/2$ 번째 TS를 할당하는 것이다. 이런식으로 TS를 할당 한다면 그에 대응되는 TS는 항상 존재하므로 한방향의 통화로만 탐색하면 될 것이다.

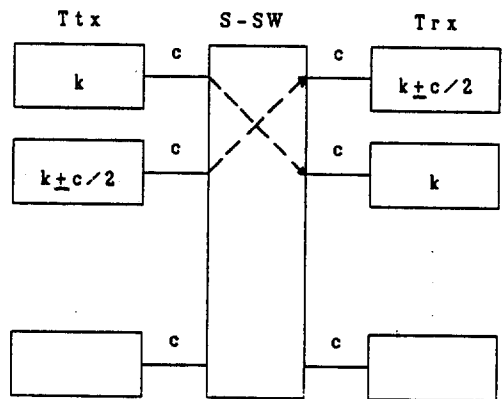


그림 8. TS 할당 방법

4.2.2 최대 통화처리 용량 계산

주어진 스위치 네트워크에서의 최대 통화처리 용량은 서비스 요구조건(blocking 확률의 허용치)에 따라 결정되는데, blocking 확률의 허용치를 만족하는 한 TS의 평균 점유율(occupancy)을 a^* 라 하고 수용되는 ASS 수를 m , 각 ASS마다 통화로 연결에 가용한 TS 수를 c 라 할 때 스위치 네트워크내에서 실제 처리하는 최대 통화량은 $a^* \cdot c \cdot m$ 으로 나타나지만 임의의 호시도(call attempt)에 대해 스위치 네트워크는 발신측에서의 통화로와 착신측에서의 통화로를 동시에 처리해 주어야 완전한 호가 성립하므로 가입자 서비스 측면에서 본 양방향 최대 통화처리 용량 T_{max} 는 다음과 같이 표현된다.

$$T_{max} = a^* \cdot c \cdot m / 2 \dots\dots\dots (식 5)$$

위의 (식 5)에서 c 는 IPC용으로 할당되는 TS 수에 따라 달라지게 되며 다음에서는 a^* 를 구하기 위해 스위치 네트워크에서의 blocking 확률식을 유도해 보자.

앞에서 설명한 바와 같이 한방향의 통화로만 탐색되면 그와 대칭되는 TS을 할당함으로써 양방향의 통화로가 구성될 수 있으므로 스위치 네트워크에서의 blocking 확률은 편방향만 고려하면 될 것이다. 그러므로 임의의 한쌍의 TS이 가용할 확률을 p 라고 하고 통화로 탐색 수를 n 이라 할 때 스위치 네트워크에서의 blocking 확률 B 는 다음과 같이 표현된다.

$$B = (1-p)^n \dots\dots\dots (식 6)$$

앞의 (식 6)에서 임의의 한쌍의 TS이 동시에 idle할 확률 p 를 구하기 위해 사건 A와 사건 B를 각각

- A : 스위치 연결을 요구하는 Ttx측의 임의의 k 번째 TS이 idle일 사건
- B : 스위치 연결을 요구하는 Trx측의 임의의 k 번째 TS이 idle일 사건

이라고 정의하고 한 TS의 평균 점유율을 a 라

고 하자. 또한 모든 T-SW에 입출력되는 통화량은 동일하게 분포되어 있다고 가정하면 사건 A와 사건 B가 동시에 발생할 확률은 다음과 같이 표현된다.

$$p = \Pr(A \cap B) = \Pr(A) \cdot \Pr(B | A) \dots\dots\dots (식 7)$$

앞의 식에서 임의의 한 TS의 평균 점유율이 a 이므로 사건 A가 발생할 확률 $P(A) = 1 - a$ 로 주어진다. 사건 A가 발생했다는 것은 적어도 사건 B에서의 k 번째 TS이 사건 A의 k 번째 TS과는 연결되지 않았음을 의미하므로 사건 A하에서 사건 B가 발생할 확률은 나머지 $(m-1)$ 개의 Ttx측의 k 번째 TS과 연결되지 않을 확률을 구하면 된다. 다시 말해서 (그림 9)에서 보는 것처럼 나머지 $(m-1)$ 개의 Ttx측의 k 번째 TS이 모두 idle하든지 또는 i 개의 k 번째 TS이 busy라 하더라도 이 busy인 i 개의 k 번째 TS들이 사건 B에서의 k 번째 TS과 연결되지 않으면 되므로 조건부 확률 $\Pr(B | A)$ 는 다음과 같이 구해진다[1].

$$\Pr(B | A) = \sum_{i=0}^{m-1} {}_{m-1}C_i \cdot a^i \cdot (1-a)^{m-1-i} \cdot ({}_{m-1}C_i / {}_mC_i) = 1 - (m-1)a/m \dots\dots\dots (식 8)$$

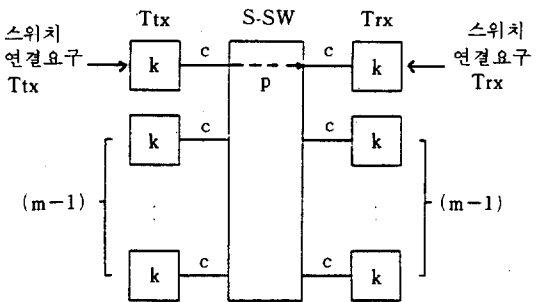


그림 9. 임의의 한쌍의 TS이 동시에 idle할 사건

한편, 스위치 네트워크에서의 blocking 확률 B는 통화로 탐색수 n이 c/2보다 작거나 같으면 앞의 (식 6,7,8)에 의해 바로 유도될 수 있지만 n이 c/2보다 클 경우 같은 ASS내에서의 호시도에 대한 blocking 확률을 따로 고려해 주어야 한다. 다시 말해서 대칭적 통화로 탐색 시에는 같은 ASS내에서의 Ttx측의 k번째 TS와 Trx측의 k±c/2번째 TS의 상태가 같기 때문에 같은 ASS내에서의 통화로 탐색은 c/2 이상 탐색하는 것이 무의미하므로 n이 c/2보다 클 경우 같은 ASS내에서의 호시도에 대한 blocking 확률은 n이 c/2일 때와 같게 된다. 임의의 호시도가 같은 ASS내에서 이루어질 확률은 1/m이므로 스위치 네트워크에서의 blocking 확률은 다음 (식 9)와 같이 유도되며 이 (식 9)에 의해 주어진 blocking 확률 허용

치에 대한 a*를 산출할 수 있다.

$$B = \left[\left(\frac{a}{m} \right) (2m-1 - (m-1)a) \right] , n \leq c/2$$

$$\left[\left(\frac{a}{m} \right) (2m-1 - (m-1)a) \right]^{c/2} (1/m) + \left[\left(\frac{a}{m} \right) (2m-1 - (m-1)a) \right]^n (m-1) / m, n > c/2 \dots \dots \dots (식 9)$$

TDX-10 전전자교환기의 가입자회선 및 중계선 수용을 위한 최대 ASS 수를 60개라고 할 때, (식 5), (식 9)를 이용하여 TDX-10 스위치 네트워크의 최대 통화처리 용량을 구한 결과를 각 highway당 IPC용으로 할당될 TS 수, 통화로 탐색수, blocking 확률의 허용치에 따라 <표 4>에 나타내었다.

<표 4> TDX-10 스위치 네트워크의 최대 통화처리 용량

| i | n b | 1 S-SW | | | 2 S-SW | | |
|----|------------------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| | | 128 | 256 | all | 128 | 256 | all |
| 32 | 10 ⁻² | 11789 | 12578 | 13074 | 23579 | 25156 | 26149 |
| | 10 ⁻³ | 11191 | 12147 | 12719 | 22382 | 24295 | 25439 |
| 16 | 10 ⁻² | 12182 | 12998 | 13535 | 24365 | 25996 | 27070 |
| | 10 ⁻³ | 11564 | 12554 | 13174 | 22382 | 25108 | 26347 |

- i : IPC용 TS수
- b : blocking 확률의 허용치
- n : 통화로 탐색수
- s : S-SW의 갯수

IPC용으로 16 TS를 할당할 경우, 32 bit μP를 사용하게 될 스위치 프로세서에서 통화로 탐색 시간이 문제가 되지 않을 것으로 고려되므로 하나의 highway에 가용한 통화 channel 496 TS를 모두 탐색한다고 하면, CCITT에서 권고하는 blocking probability는 10⁻²-10⁻³이므로 [4] blocking 확률의 허용치를 10⁻³으로 하여 S-SW를 이원화할 경우 TDX-10 스위치 네트워크의 최대 통화처리 용량을 구하면 <표 4>에서 보는 바와 같이 약 26,000 erlang이다.

스위치 네트워크의 최대 통화처리 용량 26,000 erlang은 호의 평균 통화시간을 90초로 볼 때 약 140만 BHCA에 해당하는 값이므로 TDX-10 스위치 네트워크의 통화처리 능력은 충분한 것으로 고려된다. 한편, TDX-10 스위치 네트워크에서는 한 highway당 최대 32 TS까지 IPC용 channel로 할당될 수 있는 것으로 설계되어 있는데, 프로세서간 통신 메시지 양으로 추정해 본 IPC용 channel로 필요한 TS는 4 TS이면 충분하므로 실제로 TDX-10

스위치 네트워크의 최대 통화처리 용량은 더 커질 수가 있을 것이다.

5. 맺음말

본고에서 호처리 용량 산출은 제어계의 하위 구조 및 프로세서의 job schedule 등 미결정 사항들의 불확실성으로 인해 제한된 자료를 기초로 추정할 수 밖에 없었다. 여기서 제안된 모델은 앞으로 세부 구조가 확정되어 나감에 따라 확장 보완되어 나갈 것이며, 본 분석에서 포함되지 않은 가입자 관련 서비스 조건인 각종 지연 시간도 확장 모델에서는 고려하여 호처리 용량 결정에 신빙성을 높이게 될 것이다. 그리고 추후 TDX-10의 개발완료 후에는 environmental 시뮬레이션, 하드웨어나 소프트웨어 모니터에 의한 실측에 의한 방법 등을 통해 호처리 용량을 최종 확정시킬 수 있을 것이다. 한편 통화처리 용량은 제어계에 비해 스위치 네트워크 구조가 확정되어 있고 또한 잘 정리된 트래픽 이론을 근거로 해서 비교적 용

이하게 산출할 수 있었다.

한편 본고에서는 트래픽의 관점에서만 교환 시스템의 성능을 살펴보았는데 최근에는 신뢰도와 트래픽 용량에 대해 복잡하고 새로운 척도를 제시하는 등 연구가 활발히 진행 중에 있다. 참고문헌[5]에서는 TDX-1 시스템[11]의 통화처리 용량을 스위치 네트워크와 고장상태에 따라 분석하여 여러가지 시스템 척도를 제시하고 있다.

앞으로 TDX-10은 음성서비스 뿐만아니라 데이터 서비스를 수용하는 교환기로 단계적으로 개발될 것이며, 궁극적으로는 꿈의 통신망 시대인 ISDN의 중추적 교환기로 정착하게 될 것이다. 이에 맞춰 ISDN 서비스 트래픽과 이의 특성을 예측, 규명하는 연구가 선행되어야 할 것이며 이로부터 기존 교환기의 스위치 네트워크 트래픽, 제어계의 호처리 용량, 교환기와 가입자간의 트래픽 연구, No.7 신호방식에 대한 트래픽 연구가 뒤따라야 할 것이다.

References

1. 서재준, 이강원, 이 현, "TDX-10 스위치 네트워크의 통화 처리 용량 해석", 춘계통신학회지, 1987.5.
2. 박연기, 이강원, 이 현, "TDX-10 제어계의 호처리 용량 및 성능 분석", 한국전자통신연구소 TM-045, 1987.4.
3. 박경범, 이강원, 이 현, "SLAM II를 사용한 TDX-10 제어계 모델의 시뮬레이션", 한국전자통신연구소 TM-070, 1987.7.
4. CCITT RED BOOK, VOLUME VI-FASCICLE VI.5, Digital Transit Exchanges in Integrated Digital Networks and Mixed Analogue-Digital Networks, Recommendations Q501-Q517.
5. Lee, K.W., Suh, J.J., Chun, Y.S., "Reliability Analysis of the TDX-1 Switch network Considering Its Performance", IASTED Conference, Paris, France, June, 1987.
6. Lemppenau, W., Tran-Gia, P., "A Universal Environment Simulator for SPC Switching System Testing", Eleventh International Teletraffic Congress, Kyoto, Japan, September, 1985.
7. Mc Donald, J.C., Fundamentals of Digital Switching, Pleunum Press, New York, 1983.
8. Mina, R.R., Introduction to Teletraffic Engineering, Telephony publishing. Corporation, Chicaco, Illinois, 1974.
9. Pritaker, A.A.B., Introduction to Simulation and SLAM II, John Wiley New York, 1984.

10. Strandberg, K., "Measures of Effectiveness Performance Applied to Telecommunication", Ninth International Teletraffic Congress Torremolinos, Spain, October, 1979.
11. Yu, W., Kang, S. Y., Lee, K. W., "TDX-1: A Distributed System Architecture for High Throughput Telephone Switching", IEEE Computer Society Comcon, San Francisco, California, Spring, 1987.
12. 국내 전화 통화량 자료, KTA.