

# 비동기식 전송방식(ATM)에서의 대기행렬이론 응용에 관한 조사연구

박 노익\* · 이 호우\*

## A Survey of Queueing Approaches in ATM

Noik Park · Ho Woo Lee

### 〈Abstract〉

Asynchronous Transfer Mode (ATM) is considered to be the most promising transfer technique for BISDN due to its efficiency and flexibility. Queueing theory has been playing a very important role in performance evaluation of ATM for the past few years.

This paper is composed of two parts. The first part is concerned with the several basic concepts of ATM. The second part surveys queueing approaches in ATM performance evaluation. It deals with stochastic models which have been proposed for the three basic categories of traffic sources (voice, data, video), various queueing models for statistical multiplexer and switch, and priority strategies for buffer control schemes.

## 1. 서론

산업화에 따라 정보의 중요성이 크게 인식되어 많은 정보를 빠르고 다양하게 전달해 줄 전달 매체가 필요하게 되었다. 이에 따라 음성, 데이터 서비스들을 동일한 통신망에서 제공하는 64Kbit/s급의 종합정보통신망(ISDN: Integrated Services Digital Network)이 출현하였고 화상정보와 같은 2Mbit/s를 넘는 전송 속도의 통신 서비스에 대한 필요성이 대두됨에 따라 광대역 종합정보통신망(BISDN: Broadband Integrated Services Digital Network)으로 발전하게 되었다. 이에 기존의 회선교환방식과는 전혀 다른 새로운 교환방식이 필요하게 되었고 광대역 종합정보통신망의 다양한 서비스 특성을 만족시키기 위해 새로운 개념의 전송방식인

ATM(Asynchronous Transfer Mode)이 등장하게 되었다(Händel[48]).

광대역 종합 정보 통신망(ATM 망)에서는 단일망에서 단일한 서비스를 하던 기존의 통신망과는 달리 여러가지 정보를 하나의 망에서 서비스하게 되어 전송을 요구하는 다양한 정보들이 하나의 물리적인 전송선로를 이용하게 된다. 이들 정보들이 망의 자원을 동시에 이용하고자 할 때 통신망 내에서는 여러가지 대기행렬 특성이 나타나게 된다.

최근 BISDN을 위한 ATM 시스템의 구현을 위하여 여러 방면의 성능평가가 이루어지고 있는데 대기행렬이론이 폭넓게 사용되고 있다. 종래의 전화망에 대해서는 음성정보의 입력과정을 단순한 포아송과정 등으로 표현하여 분석하였으나 이러한 입력과정은 다양한

정보를 함께 수용하는 ATM망에 적용하기에는 부적합하다. 따라서 이러한 통합된 통신망을 분석하기 위하여 정보의 입력 과정에 대한 새로운 모델들이 개발되고 통신망에서 발생하는 다양한 대기현상에 대한 분석이 이루어지고 있다.

본 논문에서는 ATM망에서 발생하는 두드러진 대기행렬 현상(다중화과정, 스위칭과정, 정보의 입력과정)에 대하여 조사해 보고 이러한 대기행렬의 분석에 적용된 여러 형태의 대기행렬 모형에 대하여 알아보고자 한다. 또한 ATM의 성능평가에 관심이 있는 대기행렬 연구자에게 ATM에 대한 이해를 돕고자 ATM의 기본적인 개념들을 정리하였다.

## 2. ATM의 개요

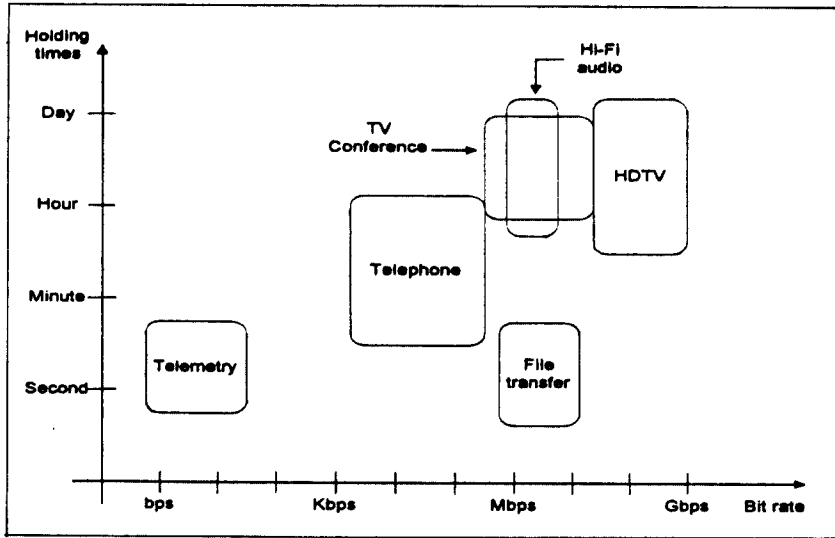
지금까지의 통신망은 통신 트래픽의 특성에 따라 단일한 망에서 단일한 서비스를 제공하는 개별적인 통신망으로 구성된 것이 특징이라 하겠다. 즉 전화 가입자를 위한 전화망, TELEX 서비스를 위한 텔렉스망 등 개별적인 통신망으로 서비스되어 왔다. 이 망들은 서비스 특성에 따라 특별한 설계로 구성되어 성격이 다른 서비스에 대하여서는 서비스를 제공할 수 없었다. 이러한 통신망들은 새로운 서비스의 요구에 적용될 수 없고, 망의 자원을 효율적으로 이용하지 못한다는 단점을 갖고 있다. 이에 통신망의 디지털 방식으로의 발전과 광(光)전송 시스템의 발달에 힘입어 다양한 서비스들을 통합된 단일망에서 효율적으로 처리하고자 하는 노력들이 진행되고 있다. 이러한 노력의 결과로서 음성과 데이터를 통합하여 서비스를 제공하는 회선교환방식의 종합정보통신망(ISDN)이 등장하였다. 나아가 영상전화, 유선TV(CATV), 고선명TV(HDTV)등 다양한 형태의 비디오 트래픽과 미래에 발생할 수 있는 미지의 서비스와 제반 정보통신 서비스들을 통합적으로 제공하는 광대역 종합정보통신망(BISDN)의 개념이 출현하였다. BISDN의 등장으로 기존의 ISDN은 협대역 ISDN(NISDN: Narrowband ISDN)이라 부르게 되었다. 미래의 BISDN망은 기존의 통신망과 달리 모든 종류의 서비스들을 제공할 수 있고, 망의 자원을 모든 서비스들이 공유할 수 있으며 개별

적인 망을 제작, 설계, 운용하는데 비용이 줄어든다는 장점이 있다. 이러한 BISDN은 제공되는 서비스의 다양성 때문에 기존의 NISDN과는 전혀 다른 전달방식을 사용하게 된다. 즉, 광대역 서비스 종류에 따른 다양한 특성들을 수용할 수 있는 비동기식 전달방식(ATM)을 채택하게 되었다.

### 2.1. STM 과 ATM

BISDN이 제공하는 서비스들을 살펴보면 서비스 형태에 따라 상호교류서비스(interactive service)와 분배형서비스(distributive service)로 분류되는데 상호교류 서비스에는 대화형서비스, 메시지서비스, 검색서비스가 있고 분배형서비스에는 단방향 분배서비스, 양방향 분배서비스가 있다. 대화형서비스는 화상회의와 같이 양방향 통신을 위하여 제공되며 실시간(real time) 전송이 요구된다. 메시지서비스는 전자우편 서비스등을 말하며 검색서비스는 저장된 정보의 검색 및 수정을 할 수 있도록 한다. 단방향 분배서비스는 방송형서비스(broadcast service)라고도 하는데 방송과 같이 무제한의 수신자에게 분배되는 형태를 말하며 양방향 분배서비스는 방송형서비스를 각 사용자의 선택에 의해 접근하는 것을 말한다. 채널의 측면에서 살펴보면, 연결형서비스(connection-oriented)와 비연결형서비스(connectionless)로 구분되는데 연결형은 하나의 가입자로부터 입력되는 소스(source)들이 목적지까지 하나의 채널을 통하여 전달되는 것을 말하며 비연결형은 하나의 가입자로부터 입력되는 소스들이 여러개의 채널을 통하여 전달되는 것을 말한다. 기존의 회선 방식의 서비스들은 모두 연결형서비스이다. 또한 BISDN은 기존의 통신망에서 요구하는 초당 수 킬로비트에서 광대역인 초당 수백 메가비트까지의 다양한 대역폭을 제공하여야 한다. 여기서 '광대역'의 의미는 대역폭 뿐만 아니라 사용시간의 분포 또한 광대역으로 분포한다는 의미이다.〈그림 1〉

이와 같은 서비스 요구를 충족시키기 위하여 광대역 전송기술에 대한 관심이 집중되었고 몇 가지 전송기술이 제안되었는데 회선교환(circuit-switching)에 기초를 둔 동기식 전송방식(STM: Synchronous Transfer



〈그림 1〉 다양한 서비스의 트래픽 특성

Mode)과 패킷교환(packet-switching)에 기초를 둔 비동기식 전송방식(ATM: Asynchronous Transfer Mode)이 그것이다.

STM과 ATM의 두드러진 차이점은 대역 할당의 유연성이다. STM은 통화중 고정된 대역폭을 할당하면 정보의 생성유무에 관계없이 정보를 생성하지 않을 때에도 일정한 채널을 계속 할당하므로 자원을 효율적으로 사용하지 못하는 반면 ATM은 가입자가 요구하는 대역폭에 따라 동적으로 할당을 하며 정보가 생성되지 않을 때에는 대역을 할당하지 않는다. STM은 기존의 통신망과 호환이 된다는 점에서 선호되었으나 고정된 대역폭을 할당한다는 점에서 비경제적이며 효율을 기대할 수 없었다.

ATM은 입력되는 모든 정보들을 트래픽 특성에 관계없이 "셀(cell)"이라고 하는 53바이트의 고정된 조각(5바이트의 헤더부분과 48바이트의 정보 부분으로 구성)으로 나누어 전송한다.

## 2.2. 대역폭 할당

각각의 서비스가 요구하는 서비스품질(QoS; Quality of Service)을 만족시키기 위해 서비스가 요구하는 대

역폭을 할당해 주어야 한다. 망의 효율성 측면과 서비스품질은 서로 상충되는 개념으로 두 가지 전제의 상충점(trade-off)이 최적점이 될 것이다. 그러나 요구하는 서비스 품질을 제공하는 것이 더 중요하므로 효율성은 다소 감소하더라도 서비스품질 보장에 더 중점을 두어야 할 것이다. 대역폭 할당의 기법에는 고정 대역폭할당법과 통계적 대역폭할당법의 두 가지가 있다.

고정 대역폭할당법은 트래픽이 요구하는 최대전송율(peak bit rate)로 할당을 하는 방법이다. 이 방법은 간단하고 구현이 쉽지만 ATM의 가장 큰 장점인 망의 효율증대를 위한 다중화의 이익을 무시하여 비경제적이다. 이 방법은 버스트트래픽(burst traffic)의 경우 링크의 효율이 매우 낮아지게 된다. 일정한 전송률로 셀을 발생시키는 고정전송속도(CBR ; Constant Bit Rate) 소스의 경우 최대전송율로 할당하게 되는데 음성정보와 같은 대부분의 CBR소스들은 셀 지연에 민감하기 때문에 이 방법을 사용한다.

시간의 흐름에 따라 필요로 하는 전송속도가 변화하는 가변전송속도(VBR ; Variable Bit Rate) 소스의 경우, ATM 망에서 실제 필요로 하는 대역폭은 최대 전송율보다 작고 평균전송율(average bit rate)보다는

크다. 그러므로 평균전송율로 대역폭을 할당하면 셀 지연과 셀 손실이 커서 서비스 품질을 보장할 수 없게 된다. 이러한 경우, 입력트래픽의 특성을 분석하여 평균전송율과 최대전송율 사이의 적절한 대역폭을 찾아 할당하는 것이 통계적 대역폭 할당법이다. 이 방법에서 중요한 문제는 요구되어지는 서비스 품질을 얼마만큼 만족시킬 수 있는가와 이미 연결되어 있는 서비스의 서비스품질을 저하시키지 않으면서 새로운 서비스를 함께 수용할 수 있는가이다.

### 2.3. 통계적 다중화 (Statistical Multiplexing)

다중화(multiplexing)란 하나의 자원을 여러 사용자가 동시에 공유할 수 있도록 하는 기법을 말한다. 전송선로의 가격이 비싸고 동시에 여러 사용자가 링크의 전체 용량을 사용할 수 없기 때문에 다중화가 필요하게 된다. 통계적 다중화의 개념은 ATM의 속도와 링크의 효율성 측면에서 가장 중요한 요소 중의 하나이다. 다중화에 대한 개념을 쉽게 설명하자면, 여러 갈래의 입력단으로 부터 들어오는 트래픽들이 하나의 링크를 통하여 전송이 되기 때문에 이들 입력 소스에 번갈아 가며 시간스롯(time-slot)을 할당한다는 것이다(그림 2(a)).

그러나 이러한 시분할 다중화의 개념은 소스가 생성되지 않은 입력단에도 무조건 시간스롯을 할당하기 때문에 링크의 효율을 저하시킨다(그림 2.(b)). 통계적 다중화란 이러한 효율의 저하를 막기위해 입력소스가 없는 입력단에는 시간스롯을 할당하지 않고 입력소스가 있는 입력단에만 할당하여 전송 링크의 효율을 높이고자 하는 방법인데(그림 2.(c)), 통계적으로 입력소스가 많이 발생하는 입력단에는 더 많은 시간스롯을 할당하여 지연을 줄이고자 하는 방법이다(그림 2.(d)). 다시 말해서 통계적으로 더 빠른 전송 속도를 요구하는 소스에 대하여 더 많은 시간스롯을 할당한다는 것이다.

### 2.4. 스위칭(Switching)

ATM 스위칭노드(switching node)는 셀 헤더 부분의

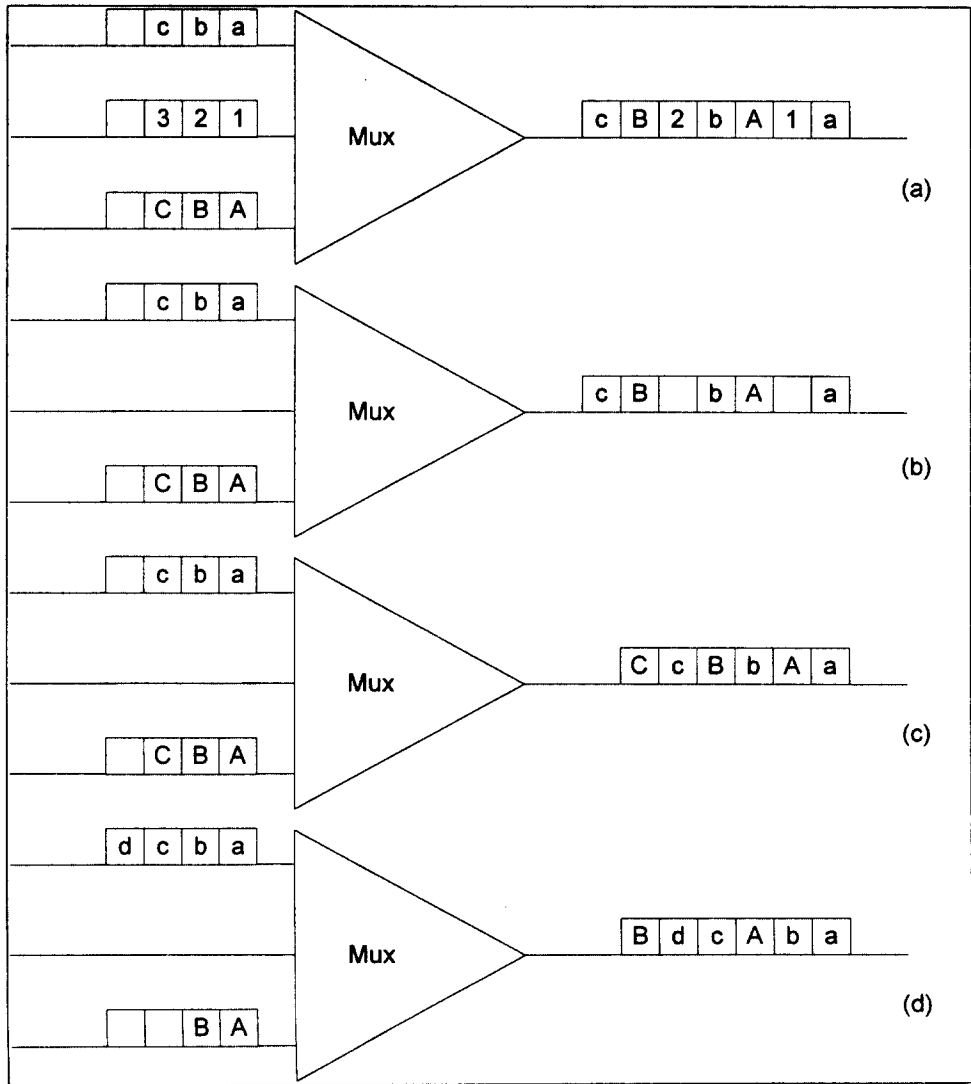
경로정보와 연결설정 단계에서 각 스위칭 노드에 저장되어 있는 정보에 따라 스위칭노드의 입력링크로부터 출력링크로 셀을 전송하게 된다.

스위칭을 이해하기 위해 다음의 정의가 이용된다.

- 단위스위치(Basic Switching Building Block): Switching element라고도 하며 ATM 스위치 네트워크(switch fabric)을 구성하는데 기본적인 요소가 된다. 동일한 단위스위치들이 모여 하나의 스위치 네트워크를 구성하게 된다.
- 스위치 네트워크(Switching Fabric): 동일한 단위스위치로 구성되어 있으며 특정한 위상(topology)에 의하여 연결되어 있다. 이 위상이 결정되고 단위스위치가 결정이 되면 스위치 네트워크가 결정된다.
- 스위칭 시스템(Switching System): 스위치 네트워크에 의해서 또는 단위스위치에 의해서 ATM 셀들을 교환한다는 의미로 ATM 스위치라고도 부른다.

서비스의 요구에 따라 ATM망에서의 서로 다른 연결형태가 요구되어지는데 일반적으로 다음 네 가지의 연결형태가 있다.

1. 점 대 점(point-to-point) 연결형태 : 두개의 가입자를 연결하는 형태로서 현재 서비스 되고 있는 대부분의 형태이다.
2. 점 대 복수점(point-to-multipoint) 연결형태 : 한 가입자로부터 형성된 정보들이 둘 또는 그 이상의 가입자들에게로 분배되는 형태를 말한다. 다중방송형태(multicasting) 또는 방송형태(broadcasting)라고도 한다.
3. 복수점 대 점(multipoint-to-point) 연결형태 : 여러개의 가입자로부터 생성된 정보들이 하나의 가입자에게로 전송되는 형태로 예를 들어 banking 서비스와 같이 여러군데에서 생성된 다양한 정보들이 한군데의 정보 저장 장소로 전송되는 서비스는 이러한 연결 상태를 필요로 한다.
4. 복수점 대 복수점(multipoint-to-multipoint) 연결형태 : 집단으로 이루어진 가입자들 사이에서 동시다발적으로 생성되는 정보들을 상대집단 구성원



〈그림 2〉 Multiplexing 개념도  
 (a), (b) 시분할 다중화 (c), (d) 통계적 다중화

에게로 전송하는 형태로 화상회의등의 서비스가 필요로 하는 연결 형태이다.

이러한 연결 형태들을 제공하기 위하여 다른 구조를 갖는 다양한 ATM 스위치들이 제안되고 있다. 이들 스위치의 구조는 크게 공유미디어(shared medium), 공유메모리(shared memory), 공간분할(space division)의 세가지 형태로 나뉘어진다(Onvural[102]).

공유미디어 구조는 한 개의 출력 링크로 여러 개의 셀이 동시에 출력되려는 현상은 발생하지 않으나 특정한 출력 링크로 도착하는 셀들의 도착율이 링크의 대역폭을 넘게되면 짧은 시간동안 출력 버퍼에 저장하게 된다. 이 구조는 기본적으로 다중방송형태를 지원하며 적은 수의 포트에 구성된 구조에 적합하다. 공유미디어 구조를 갖는 스위치로는 ATOM 스위치, PARIS, SCPS등이 있다.

공유메모리 스위치는 하나의 기억장치를 모든 입·출력 포트가 공유하는 형태로 각 출력포트별로 논리적인 선입선출(FIFO)버퍼를 갖는다. 메모리가 찼을 때에만 입력되는 셀이 손실이 되며 메모리 전체를 공유하는 것이 완전분할(complete partitioning)보다 메모리의 효율과 셀 손실확률면에서 더 좋은 방법이다. 공유메모리 구조를 갖는 스위치로는 프레루드 스위치(prelude switch)와 히타치 공유버퍼스위치(Hitachi's shared buffer switch)가 있다.

공간분할 스위치는 서로 다른 입력포트로 들어오는 여러 개의 셀들을 여러 개의 출력 링크로 동시에 전송할 수 있게 한다. 각 셀들의 전송에는 입력으로부터 출력까지의 물리적인 경로(path)의 설정이 요구되어진다. 블록킹(blocking)의 발생 유무에 따라 블록킹 스위치, 비블록킹 스위치가 있다. 블록킹은 입력, 출력, 스위치 네트워크 내부에서 발생하며 이 부분에 버퍼를 두게 된다. 스위치의 종류로는 크로스바 스위치(crossbar switch), 넉아웃 스위치(knockout switch), 반얀 스위치(banyan switch), 배처-반얀 스위치(batcher-banyan switch) 등이 있다.

### 3. ATM 분석을 위한 대기행렬 모형

ATM망에서 대기현상이 나타날 수 있는 부분은 크게 세 가지로 나눌 수 있다. 트래픽의 입력과정, 다중화기, 스위치의 세 부분이 그것이다. 이러한 부분에서의 대기행렬 현상은 ATM의 성능에 큰 영향을 주게 되고 따라서 많은 연구가 이루어지고 있다. 이 장에서는 ATM의 성능 평가를 위해 위의 세 부분의 대기행렬 현상에 대하여 연구되어진 바를 알아보고자 한다.

#### 3.1. 트래픽 모델링

ATM 트래픽 소스에 대한 적절한 모델을 수립하는 것은 ATM망의 구성과 효율성을 위해 대단히 중요하다. 따라서 음성, 화상, 데이터등 트래픽특성이 다른 소스들에 대하여 많은 대기행렬 모델이 제안되어 왔다. 중요한 성능 척도 기준으로서 셀 손실확률과 셀

지연시간이 있다.

ATM망의 트래픽을 분석하기 위하여 트래픽 소스 특성을 셀이 발생하는 행동기간(active period)과 셀이 발생하지 않는 유휴기간(idle period)으로 이루어진 ON/OFF 모델을 이용하는 것이 일반적인 경향이다. 이때 유휴기간에 의해 중단되지 않고 발생하는 셀들의 집합체를 버스트(burst)라고 하며 최대전송율(peak bit rate)과 평균전송율(average bit rate)간의 비율(최대 전송율/평균 전송율)을 버스트성(burstiness)이라고 하는데 모델을 분석하는데 중요한 특성변수로 작용한다.

종래의 통신망의 트래픽 분석을 위해 재생과정(renewal process), 특히 포아송과정 등이 많이 이용되어 왔다. 그러나 이들 모델은 복합적인 트래픽을 서비스 하는 ATM 망과 같은 종합정보통신망의 트래픽을 다루는데 한계를 갖고 있다. 입력되는 트래픽들은 단순하게 표현되지 않으며 단순한 모델링으로 얻어낸 결과들은 많은 오차를 나타내게 된다. 그러므로 실제의 트래픽의 입력과정에 가깝게 모델링하려는 노력으로 ON/OFF 모델, 마코프변조 포아송과정 모델(MMPP: Markov Modulated Poisson Process) 등이 개발되었다. 트래픽의 입력과정을 표현해 주는 모델들에 대하여 알아보자.

#### · 재생과정(renewal process)

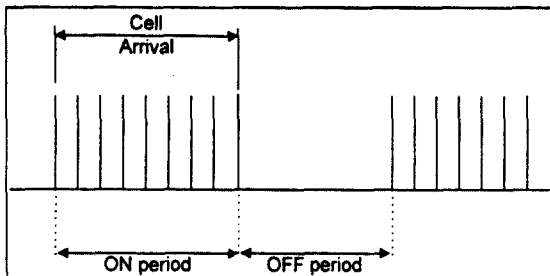
수학적으로 증명하기 쉽다는 이유로 쓰여지나 두 개 이상의 재생과정이 결합되면 일반적으로 재생과정이 되지 않기 때문에 보통 한 개의 입력단에 대한 모델링에 사용되거나, 결합된 음성 정보들의 근사적 표현에 이용된다.

#### · 포아송과정(Poisson process)

두 개 이상의 과정이 결합되어도 역시 포아송과정이 된다는 점, 망각성질을 갖는다는 점, 독립적인 트래픽의 수가 많을 때 적합하다는 이유와 수학적 분석이 용이하다는 이유로 많이 이용되고 있으나 분석의 결과가 실제의 시스템과 차이를 보일 수 있다는 단점이 있다. 재생과정과 포아송과정은 고전적인 전화망의 분석에 널리 이용되었다

### · ON/OFF 모형

ON/OFF 모형은 하나의 ATM 소스에 대하여 모델링 된 것으로 이때 각각의 ON-기간과 OFF-기간은 상호 독립적인 지수분포나 기하분포를 따르며 ON-기간에만 셀을 발생시킨다. ON-기간중에 연속적으로 발생하는 셀들을 버스트라고 한다(그림 3).



〈그림 3〉 ON/OFF 모형

### · 마코프변조 포아송과정 (Markov Modulated Poisson Process)

마코프변조 포아송과정은 도착률이 연속시간 마코프체인(Markov chain)의 상태(state)에 따라 변화하는 이중확률적 포아송과정(doubly stochastic Poisson process)이다(Fischer[42]). 주로 여러개의 ON/OFF 소스가 결합된 음성, 데이터 소스의 분석에 이용된다. 많이 쓰여지는 2-state MMPP는 각각의 상태에 머무르는 평균 시간(geometric 또는 exponential)과 각 상태에서의 평균 도착율에 의해 결정된다. 중단 포아송과정(IPP: Interrupted Poisson Process)은 MMPP의 특별한 경우로 ON/OFF 기간이 있는 단일 음성 정보를 분석하는데 이용되어 진다. MMPP는 분석하기가 쉽다는 이유 때문에 가장 널리 쓰이고 있고 분석에는 행렬분석(matrix analytic) 방법(Neuts[92])이 사용되고 있다.

### · 자기회귀 모형(Autoregressive Model)

이 모델은 현 상태의 변수가 이전 상태의 변수에 대한 함수로 표현된다. 이러한 모델은 전송 속도가 갑작스럽게 변화하는 VBR(예 ; 동화상) 소스에 적당하다. 전송율을  $\lambda(t)$ 라고 정의하면 1차 자기회귀 마코프 모델은  $\lambda(t) = a \lambda(t-1) + \beta w(t)$  로서 정의된다. 여기서  $w(t)$

는 독립적인 가우시안(Gaussian) 랜덤 변수이고  $a$ 와  $\beta$ 는 상수이다. N개의 독립적인 비디오 소스들의 셀 생성 과정을 꽤 정확하게 표현해주지만 수학적 분석이 어렵기 때문에 주로 모의실험으로 분석하는데 이용되고 있다.

### · 유체흐름 모형(fluid-flow model)

유체흐름 모형은 셀이 각각 단위시간마다 발생한다는 전제보다는 물 흐르듯이 연속적으로 발생한다는 전제로 모델링되었다. 주로 비디오 소스의 모델링에 이용되며 분석 방법은 시스템 상태에 관한 확률분포를 미분방정식을 이용하여 구하는데, 몇가지 특별한 경우 정확한 해를 찾아낸다. 연속적인 셀의 생성이라는 가정때문에 유체흐름 모델은 통신 시스템을 분석하는데 아주 근접한 모델이라고 할 수 있다.

## 3.2. 다중화기의 모델링

앞에서 언급하였듯이 전송선로의 가격이 비싸고 동시에 여러 사용자가 링크의 전체 용량을 사용할 수 없기 때문에 다중화가 필요하게 되고 대기현상이 발생한다. 통계적 다중화기(statistical multiplexer)는 모든 소스들이 공유하는 버퍼를 갖고 있으며 소스들은 통신 링크로 전송될 때까지 이 버퍼에 저장되게 된다.

ATM망의 효율적 이용을 위해 통계적 다중화기의 성능에 관한 많은 모델이 제안되어 평가되고 있으며 보다 정확한 결과를 얻을수 있는 방법들이 요구되고 있다.

통계적 다중화기로의 입력과정은 상당히 복잡하다. 시간스롯마다 연속적으로 입력되는 소스들간의 도착 간격에 변동이 있고 스롯 사이의 상관성(correlation)이 존재한다. 상관성의 의미는 소스가 ON-기간에 있을때 특정한 스롯에 셀이 발생하면 그 다음 스롯에 셀이 발생할 확률이 커지며 이 소스가 OFF-기간으로 변화하면 이 기간중의 특정 스롯에 셀이 발생하지 않을 확률이 커진다는 의미이다. 이러한 상관관계를 갖는 소스에 대한 대기행렬의 분석은 Bruneel[18]에 의하여 연구된 바 있다. 이러한 이유 이외에 ATM망은 서로 다른 특징을 갖는 많은 수의 버스티 소스들에 대해 서

비스를 제공하기 때문에 포아송과정으로는 시스템을 표현하기 어렵게 된다. 입력과정을 포아송과정으로 가정하면 모델링을 하기는 쉽지만 분석의 결과가 부정확함을 많은 논문에서 지적하고 있다(Liao[75]등). 포아송과정을 가정하는 경우, 버스트의 길이가 길거나 최대 전송율(peak rate)이 높을때는 실제 시스템과 많은 차이를 보이는 것으로 나타난다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 많은 연구들이 다중화기의 입력과정에 대하여 새로운 모델들을 제안하고 있다 (Markov Modulated Bernoulli Process (Xiong[156], Murata[90]), Train arrival process (Xiong[155]), MMPP, Finite Geometric Cluster Process (Zhang[164])등). 그러나 많은 모델들은 입력과정을 2-state MMPP(Heffes 와 Lucantoni[49])로 표현하였고 좀더 정확한 해를 구하기 위해서 4-state MMPP (Yegenoglu[158]), 유체흐름 모델(Anick[6], Maglaris[81]), 마코프변조 유체흐름과정(Markov Modulated Fluid-Flow Process), 집단도착 마코비안 도착과정(Wang[151], Kofman[62]) 등의 모형들로 실제 시스템에 보다 가깝게 표현하려 하였고 출력과정도 실제 시스템의 상황에 맞게 고정된 간격의 시간스롯으로 표현하려 하고 있다. ATM에 관한 초기 연구는 지연시간에 대하여 관심을 가졌으나 높은 속도를 갖는 망에서 극히 미소한 지연은 서비스 품질에 큰 영향을 미치지 않기 때문에 이보다는 셀 손실율을 중심으로 연구가 이루어 지고 있다. 본 절에서는 다중화기의 모델에 많이 이용되고 있는 MMPP의 접근 방법과 유체흐름 모델 그리고 이산시간 서비스(discrete-time service) 형태의 모델들에 대하여 소개하기로 한다.

Heffes 와 Lucantoni[49]에 의해 소개된 MMPP의 접근방법은 복잡한 트래픽들을 상당히 정확하게 표현할 수 있고, 마코비안 성질을 갖기 때문에 수학적으로 분석하기가 쉬운 방법이다. 그러나 실제 통신시스템은 시간스롯 마다 셀이 도착하고 전송되기 때문에 연속시간(continuous-time)을 전제로 동작한다고는 볼 수 없다. 따라서 이산시간으로 모델링하게 되면 시스템에 대한 좀더 나은 결과를 기대할 수 있을 것이다. 이러한 이유에서 Heffes 와 Lucantoni의 모형은 이산시간 방식으로 운영되는 실제의 통신망을 평가하는데

는 어느 정도의 부정확성을 갖고 있다.

ATM 망에서는 소스가 ON 상태에 있을때 연속적으로 셀을 생성시키기 때문에 MMPP에서의 포아송과정은 실제적으로 비현실적이다. 또한 동화상의 전송시 화면의 변화에 따라 전송속도가 변화되는 것과 같은 시간에 대한 상관관계를 갖는 소스에 대하여서는 더욱 그러하다. 이러한 소스들을 분석하기 위해서는 기존의 방법과는 다른 분석방법이 요구된다. 유체흐름 모델은 이러한 연속적인 셀의 도착 과정을 표현하는데 있어서 정밀도가 높고 실제 시스템의 셀 손실 확률에 비교적 정확한 값을 제공하는 것으로 알려져 있다. 이 모델은 시스템 상태에 대한 미분방정식으로 표현되기 때문에 수학적으로 해석이 용이하다. Elwalid 와 Mitra[40][41], Izmailov 와 Ayanoglu[53]등은 이러한 유체흐름 모델을 이용하여 버스티 트래픽에 대하여 MMFS (Markov Modulated Fluid Source)로 모델링하였다.

#### · 마코프변조 포아송과정 모형

MMPP는 Heffes 와 Lucantoni[49]에 의해 소개된 이후로 복잡한 트래픽들이 입력되는 다중화기를 분석하는데 널리 쓰여지고 있다. Heffes 와 Lucantoni는 음성 데이터, 데이터 다중화기에 대하여 연속시간 2-state MMPP로 모델링하고 MMPP/G/1 형태의 대기행렬모형을 Neuts[92]의 행렬분석방법을 이용하여 각각의 지연시간을 구하였다.

Liao 와 Mason[75]은 2-state MMPP/D/1의 대기행렬 모형을 통하여 Heffes 와 Lucantoni의 모형을 이산시간 형태로 수정 적용하였다. 이들은 Heffes 와 Lucantoni가 제안한 네 개의 변수들이 실제적인 이산시간 모형에 적합하지 않음을 지적하면서 도착과정 중에 각 상태에 머무르는 시간을 서로 독립적이라 가정하여 새로운 변수를 제안하고 보다 정확한 셀 손실 확률을 구하였다. 또한, 평균 버스트의 길이가 길거나 최대 전송율(peak rate)이 높을때 포아송 근사법과 Heffes 와 Lucantoni의 방법은 평균 지연시간을 과소평가하게 됨을 지적하였다.

Nagarajan 등[91]은 Heffes 와 Lucantoni의 모형을 기초로 MMPP/D/1/K의 대기행렬 모형을 분석하여 음



성다중화기의 셀 손실확률을 구하였는데 Heffes 와 Lucantoni가 이용한 네 개의 변수를 이용하게 되면 유한버퍼를 갖는 시스템에서는 정확한 해를 찾지 못하게 됨을 밝히고 새로운 변수를 이용하여 유한버퍼를 갖는 다중화기에서의 셀 손실 확률을 구하였다. 또 이들은 유한버퍼 음성다중화기의 셀 손실 확률을 구하기 위해 입력과정을 하나의 재생과정으로 근사하여  $GI/D/1/K$ 의 대기행렬 모형을 분석하였다.

Baiocchi 등[11],[12]은 균질한 ON/OFF 소스에 대하여 2-state  $MMPP/D/1/K$ 의 대기행렬 모형을 이용하여 셀 손실 확률을 구하고  $M/D/1/K$ 의 대기행렬 모형의 결과와 비교하였다.

Yegenoglu 와 Jabbari[158]는 복합트래픽에 대하여 분석하였는데 정확성을 기하기 위해 4-state  $MMPP/D/1/K$ 의 대기행렬 모형을 통하여 셀이 도착하는 시점과 시스템을 떠나는 시점에서의 대기행렬 길이의 분포, 셀 손실확률, 평균 지연시간을 구하였다. 이들은 계산상의 복잡성을 줄이기 위하여 상태의 변화는 셀이 시스템을 떠나는 시점에서만 일어나며 동시에 두 개의 셀이 서비스를 받을 수 없다고 가정하였다.

Kim 과 Un[60]은 다른 종류의 버스티 트래픽들에 대하여 연속시간 2-state  $MMPP/D/S/N$  형태의 대기행렬 모형을 이용하여 셀지연과 손실확률을 구하고 같은 종류의 트래픽들에 대한 결과와 비교 하였는데 버스트성이 동일할 때 버스트성이 증가함에 따라 다른 종류의 트래픽들에 대한 경우가 셀 손실확률 및 셀 지연에서 더 큰값을 나타냄을 보였다.

#### · 확정적 도착간격 모형(deterministic interarrival time models)

Ramamurthy 와 Sengupta[110], Roberts 와 Virtamo [114], Petersen 과 Gillen[106]등은 Eckberg[39]의 결과를 적용하여 도착시간이 일정한 간격을 갖는 시스템을 분석하였다. Ramamurthy 와 Sengupta[110]는 음성다중화기를 독립적인  $N$ 개의 음성 소스들이 복합적으로 입력되고 각각의 소스  $i$ 에 대하여 고정된 입력시간  $D_i$ 를 갖고 고정된 서비스 시간을 갖는  $\sum D_i/D/1$  형태의 대기행렬 모형을 분석하여 셀지연시간을 구하였다. 링크의 효율이 높아질때(0.75이상)  $M/D/1$  모형에

대한 결과의 오류를 지적하였다.

Roberts 와 Virtamo[114]는 같은 도착율을 갖는  $N$ 개의 소스에 대하여  $N*D/D/1$  형태의 대기행렬 모형을, 서로 다른 도착율을 갖는  $m$ 개 타입의 소스에 대하여  $N_1*D_1+\dots+N_m*D_m/D/1$  형태의 대기행렬 모형을 분석하여 대기행렬 길이의 분포를 구하고  $M/D/1$  모형과 비교하여  $M/D/1$ 이 대기행렬의 길이를 과대예측함을 밝혔다.

Petersen 과 Gillen[106]은  $\sum D/D/1$  모형으로부터 시스템의 유휴상태에 대한 분포를 구하였다.

Saito 등[118]은 음성 및 비데오 다중화기에 대하여  $\sum G_i/D/1/K$ 의 형태로 모델링하고 이론적인 분석을 위해 입력 과정이  $MMPP$ 이고 서비스 형태가 계차  $L$ 의 일량분포인  $MMPP/E_L/1/K$ 의 모형으로 근사하여 평균 지연시간을 구하였다.

#### · 유체흐름 모형

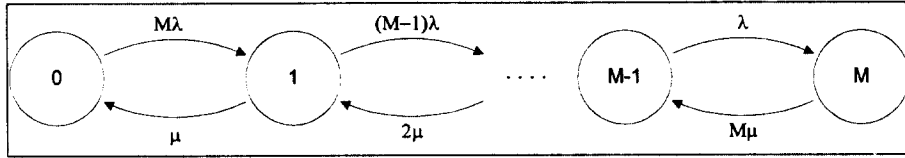
Maglaris 등[81]은 Mitra[6]에 의해 제안된 유체흐름 모형을 이용하여 입력과정을 연속시간 이산상태 마코프과정으로(그림 4) 근사시켜 비디오 다중화기(video multiplexer)에 적용하였다. 이후로 유체흐름 모형은 비디오 소스와 같은 VBR 소스에 대한 분석에 널리 이용되고 있다.

Maglaris 등[81]은 모의실험분석을 위한 연속상태 자기회귀 이산시간 마코프모형과 유체흐름 대기행렬의 분석을 위한 유한상태 연속시간 마코프모형을 제안하였다. Tucker[145]는 일정한 간격으로 입력되고 일정한 간격으로 서비스되는 복합적인 음성다중화기의 모델링에 위의 방법을 적용하여 유한버퍼 대기행렬모형을 분석하였다. Nagarajan 등[91]은 하나의 음성 소스에 대하여 이 모형을 적용하여  $MMPP$ 모델보다 정밀도가 높은 결과를 얻었다.

Casals[21]는 공간 우선순위를 갖는 성격이 다른 소스들의 다중화 과정을 분석하기 위하여 이모형을 적용하고 있다.

Baiocchi 와 Roveri[13]는 성격이 다른 ON/OFF 소스에 대하여 유체흐름모형을 적용하여 셀 손실 확률을 구하고  $M/D/1/K$ 의 대기행렬 모형과 비교 하였다.

Akar 와 Arikani[2]는 복합적인 ON/OFF 소스의 입



〈그림 4〉 이산상태 연속시간 마코프 과정

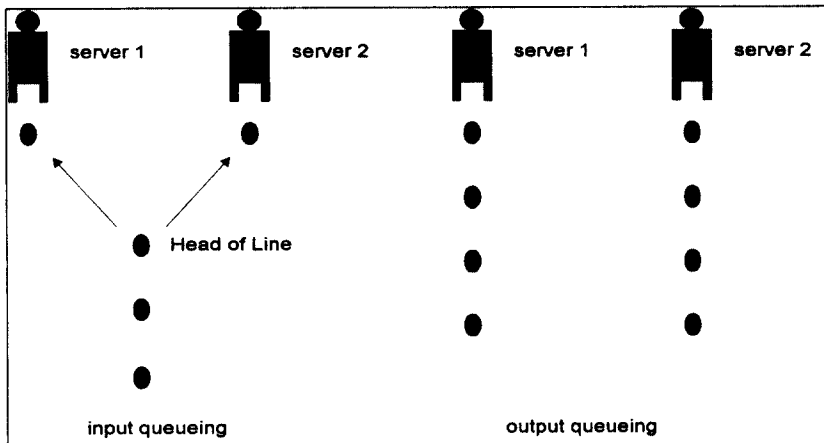
력 과정을 마코프변조 주기적과정(Markov modulated periodic process)이라 가정하고  $nD/D/1$ 의 형태로 모델링하여 유체흐름모형의 결과에 근사 시켰다.

### 3.3. 스위치 모델링

스위치 성능분석은 대부분 단위스위치에 대하여 이루어지고 있으며 입력링크의 입력과정에 대한 모델링은 개별적인 입력 포트에 대하여 포아송과정, 베르누이과정(Bernoulli process), 2-state 마코프체인의 형태를 갖는 ON/OFF 소스로 모델링하는 것이 주류를 이루고 있다. 입력된 셀들은 각각의 출력단으로 같은 확률값으로 출력되거나 서로 다른 확률 값으로 출력된다는 가정과 함께 출력과정은 대부분 고정된 서비스 시간의 형태로 생각하여 앞에서 언급한 세가지 대기행렬 형태에 대하여 분석하고 있다. 이러한 분석들은 기존에 제안된 스위치에 대하여 동작 방법에 대한 새로운

가정을 세워 새로운 결과를 얻어내거나 기존의 스위치 구조에 하드웨어적인 새로운 구조를 추가하여 새로운 스위치 구조에 대한 성능을 평가하고 있다.

단위스위치에서는 세 가지 유형의 대기행렬정책이 있을 수 있는데 입력버퍼링(input buffering), 출력버퍼링(output buffering), 내부버퍼링(internal buffering)의 세 가지가 가능하다. 하나 이상의 셀이 동시에 출력링크로 빠져 나가려할 때 충돌이 생기는데 이 때 하나의 셀만이 출력되고 나머지 셀은 출력 포트와 스위치네트워크 사이에 위치한 버퍼에 저장되어 자신의 출력순서를 기다리거나 손실된다(출력 버퍼링). 출력의 차단(blocking)이 발생하여 입력단으로부터 셀이 전송되지 못할 경우 셀은 입력링크와 입력포트 사이에 있는 버퍼에 저장되어 출력단으로 전송되기를 기다린다(입력 버퍼링). 이때 입력 버퍼가 FIFO방식으로 제어 된다면 Head-of-Line (HOL) 차단이 발생한다. 입력단  $i$ 의 셀이 출력단  $p$ 로 전송되고 입력단  $j$ 의 셀의 목



〈그림 5〉 Input queuing과 output queuing

적지가 역시 출력단  $p$  라면 입력단  $j$  의 셀은 전송이 멈추어지게 되고 따라서 뒤따르던 셀 역시 전송이 멈추어지게 된다. 이때 입력단  $j$  의 두 번째 셀의 목적이 출력단  $q$  이고 이곳에 출력을 기다리는 셀이 없다 하여도 이 셀은 앞에 위치한 셀이 차단되어 있으므로 출력되지 못한다. 이것을 HOL 차단이라고 한다. 다시 말해서 내부차단(internal blocking)은 HOL 차단에 의하여 발생한다고 할 수 있겠다. 하나 이상의 셀이 단위스위치의 같은 출력 포트에 나가려 할 때 내부 링크에 위치한 버퍼에 셀을 저장하는데 버퍼는 입력 포트, 출력 포트, 또는 공유기억장치에 위치할 수 있다 (내부 버퍼링).

이러한 것을 바탕으로 차단(blocking), 비차단(non-blocking) 스위치들의 성능을 개선하기 위한 많은 기술들이 제안되고 있는데, 성능 평가의 기준이 되는 주요한 값으로는 셀 손실확률, 셀 지연 그리고 최대출력(maximum throughput) 등이 있다. Karol 등[58]은 최대출력의 최소한계를 0.586으로 제안하고 있다.

위에서 말한 대기행렬 정책들은 스위치의 모델링에 각각 개별적으로 또는 복합적으로 이용이 되는데 입력버퍼링보다 출력버퍼링이 평균 지연시간에 대하여 더 좋은 결과(입력 버퍼링이 같은 제공로드(offered load)에 대하여 더 큰 지연 시간을 보인다)를 보이는 것으로 나타난다(Karol[58]). 이것은 입력버퍼링에서의 HOL 차단현상을 고려하면 타당한 결과라고 할 수 있다. 입력버퍼링과 출력버퍼링을 함께 분석한 대부분의 논문들에서 이를 지적하고 있다.

스위치의 성능을 높이기 위해 속도향상요소(speed-up factor) 방법을 이용하기도 하는데 이것은 출력단의 수와 같은 크기의 논리적인 가상버퍼를 출력버퍼 앞에 두어 각 입력단의 HOL에 위치한 셀들 중 같은 출력단으로 출력하려 하는 여러개의 셀들을 동시에 가상 버퍼에 저장하였다가 출력버퍼로 출력하는 방법이다(Bruzzi[19], Chen[26], Lee[70], Liew[77]). 이들은 입력버퍼에 대하여  $Geo/PH/1/K$ ,  $M/G/1$  등의 모델을 이용하고 출력버퍼에 대하여  $M/M/1$ ,  $G/D/1/L$  등의 모델, 가상버퍼에 대하여  $M/D/m$ ,  $Geo/G/1$  등의 모델을 이용하여 분석하였다.

한편 Oie 등[99]은 입력버퍼와 출력버퍼에 대하여

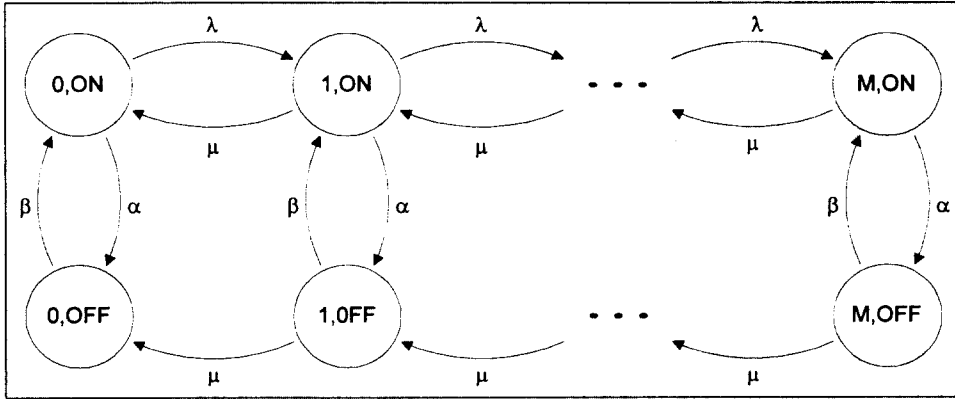
최대출력과 셀 손실확률을 각각  $M/D/L$ ,  $Geo/G/1$ 의 모델을 이용하여 분석하였다. Cheng 과 Smith[27]는 입력버퍼에 대하여 각각의 입력단을  $Geo/G/1$ 의 모델을 이용하여 평균지연시간을 분석했고 Takine[141], Chen [25], Stern[24] 등은 출력버퍼에서의 셀 손실확률을 분석하였다. Takine[141]는 상관관계를 갖는 입력 셀들에 대하여 분석하였고, Stern[24]은 출력버퍼로 들어오는 셀들을 마코프변조 유체흐름모형(Markov-modulated flow model)을 이용하여  $M/M/1$ 의 경우와 비교하였다.

이러한 스위치의 분석 시 나타나는 문제점은 실제 스위치 내부에서 셀이 어떻게 움직이는가를 알 수 없다는 것이다. 다시 말해서,  $N \times N$  스위치의 경우 입력단  $i$  로 들어오는 셀이  $N$  개의 출력단 중 어느 곳으로 출력될 것인지를 알 수 없다. 그래서 대부분의 스위치 성능에 관한 분석은 입력된 셀들이 출력단으로  $1/N$ 의 균등한 확률로 출력된다고 가정하거나 또는 특정한 확률값에 따라 출력단이 결정된다고 가정하고 있다. 그러나 이러한 가정으로부터 얻은 결과들은 아직 많은 오차를 갖고 있다. 실제로 시스템의 크기( $N$ )가 커지게 되면 상당한 오차를 보이는 것으로 알려져 있다.

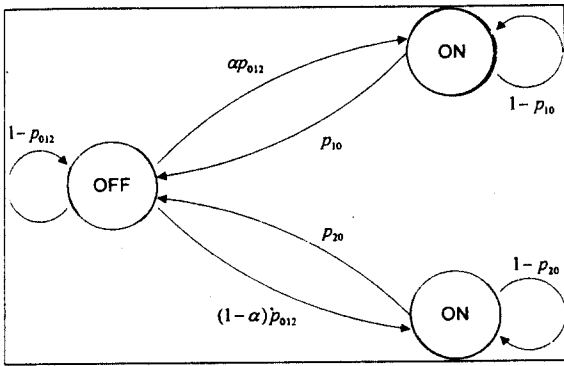
ATM 스위치를 분석한 여러가지 형태를 보면, Cidon 등[33]은 버스트 특성을 갖고 상관관계를 갖는 단일 입력에 대하여 중단포아송과정(IPP)으로 모델링하여 <그림 6> 셀 손실확률을 분석하였고, Oie[99]도 버스트 특성을 갖는 ON/OFF 소스에 대하여 IPP로 모델링하였다.

Marco 등[83]은 버퍼 공유형의 반안스위치에 대하여 입력과정을 각각의 입력포트에 대하여 상관관계를 갖는 3-state ON/OFF 소스로 모델링하였고 <그림 7>, Shiokawa 등[128]은 공간분할 스위치에 대하여 두 가지 입력 소스에 대하여 분석 하였다.

이외에 Gravey[45]는  $Geo/D/1, Geo/D/1/n$  모형을 이용하여 버퍼의 길이와 부하량(unfinished work)에 대한 분석을 하였고, Jung[55]은  $Geo/PH/1/K$ , Wei[152]은  $GI/G/1$  대기행렬 모형을 이용하여 스위치 성능을 분석 하였다.



〈그림 6〉 단일 소스, 버스트 트래픽 IPP



〈그림 7〉 3-state ON/OFF 소스

#### 4. 우선순위와 버퍼제어정책

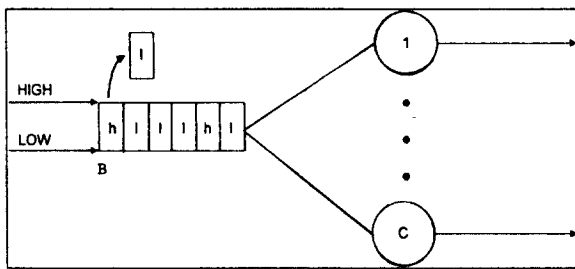
동일한 자원(Bandwidth, Buffer)을 통하여 서비스되는 여러가지의 정보에 대하여 각각의 정보가 요구하는 서비스품질(QoS)을 만족시키는 것은 상당히 어려운 일이다. 또한 유한버퍼시스템에서는 서비스순서에 대한 규칙과 버퍼에 입력시키는 규칙등의 문제가 발생한다. 이러한 다양한 요구수준을 만족시키기 위하여 서비스 등급에 따라 우선순위를 주고 우선순위에 따른 여러가지 버퍼 제어 정책들이 필요하게 된다. 이러한 우선순위정책은 앞장에서 설명한 세가지의 버퍼링(입력버퍼링, 내부버퍼링, 출력버퍼링)에 모두 적용 가능하다.

우선순위를 주는 방법에는 같은 서비스등급의 정보에 같은 등급의 우선순위를 주는 정책과 같은 등급의 정보에 대해서도 다른 우선순위를 주는 정책이 있으며 적용하는 방법으로는 지연에 대한 시간우선순위, 손실에 대한 공간우선순위로 나눌 수 있다. 시간우선순위는 우선순위가 높은 셀을 먼저 전송해서 대기시간을 줄이는 방법이다. 그러나 전송 속도가 빠른 ATM 망에서는 지연에 대한 문제가 큰 영향을 미치지 않는다고 보기 때문에 시간우선순위에 대한 연구는 적은 편이다. 공간우선순위는 임계점(threshold)기법과 축출교체(push-out overwrite)기법에 의하여 제어된다. 버퍼 운용정책에는 버퍼공유의 형태에 따라 부분버퍼공유(partial buffer sharing), 완전버퍼공유(completely buffer sharing)등이 있는데 이들 방법들은 공간우선순위 제어기법과 복합적으로 적용된다. 그러나 이러한 우선순위 제어정책은 우선순위를 갖는 쪽의 셀 손실확률 또는 셀지연을 줄이려면 반드시 우선순위가 낮은 쪽의 셀 손실확률 또는 셀지연이 증가하여야 한다는 문제가 발생한다.

공간 우선순위에 의한 버퍼 제어기법은 크게 임계점기법과 축출(push-out)기법의 두 가지 형태로 나뉘고 이것을 바탕으로 하여 여러가지의 버퍼 제어기법들이 제안되고 있다. Lin 과 Silvester[78]는 이러한 기법들에 대하여 서로다른 서비스품질을 요구하는 두가지의 입력원에 대하여  $D^{[A_1, A_2]}/D/c/B$ 의 대기행렬 모형으로 분석하였다.

· 축출형 완전공유(Complete Sharing with Push-out)

버퍼내의 셀수가 버퍼크기( $B$ )와 같을 때에만 우선 순위가 낮은 셀들이 손실되는 경우로서 이 경우에 하위 등급의 셀은 버퍼로 입력되지 않으며 우선순위가 높은 셀들이 입력될 때 버퍼내의 전체 셀수가 버퍼크기와 같을 경우 버퍼내의 하위 등급의 셀을 밀어내고 버퍼로 입력된다(그림 8).



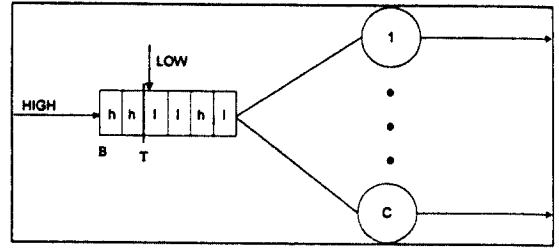
〈그림 8〉 Complete Sharing with Push-out

· 임계점을 갖는 부분버퍼공유(Partial Buffer Sharing with Threshold)

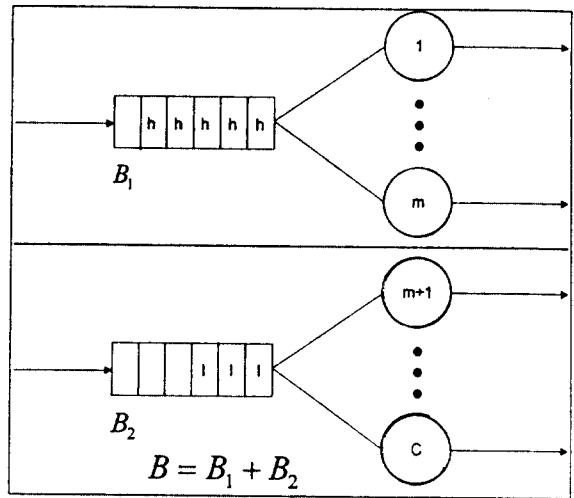
축출이 없는 경우는 버퍼내에 있는 전체의 셀수( $N$ )가 임계점( $T$ ) 이하일 때에만 우선순위 등급이 낮은 셀들이 버퍼에 입력되고 전체 셀 수가  $T$ 를 넘어서면 우선순위가 높은 셀들만 버퍼로 입력된다. 축출이 있는 경우는 전체 셀 수가  $T$ 를 넘어설 경우 하위 등급의 셀도 입력되지만 전체 셀 수가 버퍼의 한계( $B$ )에 도달했을 때 입력되는 상위등급의 셀들은  $B-T$ 개의 셀 중에서 하위등급의 셀을 축출하고 버퍼로 입력된다. 임계점은 두 가지 방법으로 사용되는데 공유버퍼 내의 전체 셀 수에 대한  $T$ 를 사용하거나(그림 9) 각각의 우선순위에 대한 개별적인 임계점  $T_1, T_2$ 를 사용한다. 임계점의 크기( $T$ )가 버퍼의 한계( $B$ )와 같은 경우 축출형 완전공유의 형태와 같아진다.

· 완전 버퍼분할 완전대역공유(Complete Buffer Partitioning but Complete bandwidth Sharing)

버퍼 전체를 각각의 등급에 대한 서비스요구에 맞도록  $B_1, B_2$  ( $B=B_1+B_2$ )로 나누고  $B_1$ 에는 우선순위 1의 셀들만  $B_2$ 에는 우선순위 2의 셀들만을 입력시킨다. 그러



〈그림 9〉 Partial Buffer Sharing with Threshold

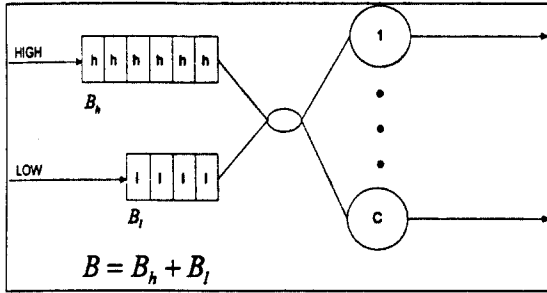


〈그림 10〉 Complete partitioning but bandwidth sharing

나 출력단은 전체를 공유한다(그림 10).

· 완전분할(Complete Partitioning)

버퍼를 각각의 등급에 대하여 분할( $B=B_1+B_2$ )하고 출력채널도 우선순위에 따라 고정시켜 상위 등급 셀들의 과다 출력으로 인한 하위등급 셀들의 순서에 대한 오류를 피하기 위한 방법이다(그림 11). 이러한 버퍼 제어정책에는 성능과 하드웨어 구현에 대한 복잡도 간에 상충점(trade-off)이 생기게 되는데 어떠한 기법을 적용할 것인가를 결정할 때에는 이 두 가지를 함께 고려하여야 한다. 예를 들어, 축출형 완전공유기법에 HOL 서비스정책을 적용하거나 FCFS정책을 적용했을 때 높은 우선순위를 갖는 셀들의 셀 손실확률과



〈그림 11〉 Complete partitioning

셀지연에 대해서 가장 좋은 결과를 얻게 되나 추출 시킬 낮은 우선순위의 셀을 찾을때까지 메모리를 검색해야 하기 때문에 실제 하드웨어로 구현하기는 어렵다.

Lee 와 Kim[69]은 손실에 민감한 정보와 지연에 민감한 정보를 동시에 고려한 모형, 즉 서비스 우선순위와 버퍼점유 우선순위를 동시에 고려한  $M_1, M_2/M/1/B+1$  대기행렬 모형을 분석하였고, Lee 와 Ahn[68]은 두가지 트래픽에 대하여 버퍼점유 우선순위를 고려한 부분버퍼공유방식의  $M_1, M_2/G/1/K+1$  대기행렬 모형을 분석하였다.

Choudhury 와 Hahne[30]는 공유메모리 스위치에서의 공간우선순위에 대하여 임계점기법, 추출기법 그리고 이 두 가지를 혼합한 형태의 기법을 연구하였는데 이들은 선택추출형(selective push-out), 비선택추출형(non-selective push-out)의 두 가지 추출 기법을 고려하였다. 또한 이들은 전체 메모리에 대한 전체임계점(global threshold)과 각각의 출력버퍼에 대한 개별임계점(individual threshold)의 두 가지를 이용하였다.

선택추출형은 우선순위가 높은 셀이 도착하였을때  $N=B$ 이면 우선순위가 낮은 셀들을 버퍼로부터 밀어내고 그 자리를 차지한다. 우선순위가 낮은 셀이 기억되었던 물리적 기억장치의 위치에는 우선순위가 높은 셀이 차지하게 되지만 논리적 FIFO버퍼의 우선순위가 낮은 셀의 위치는 그대로 존재하게 된다. 이때 우선순위가 높은 셀은 길이가 가장 긴 논리적 FIFO버퍼에서 우선순위가 낮은 셀을 밀어내게 된다. 비선택추출형은 우선순위가 높은 셀이 입력되면 가장 길이가 긴 논리적 버퍼의 맨 앞에 위치한 셀을 우선순위에 관계

없이 밀어낸다. 이경우 전체임계점 선택 추출형인 경우가 더 좋은 결과를 나타낸다.

Cheng 과 Akyildiz[28]은 두 종류의 트래픽에 대하여 서로 다른 형태의 추출을 고려한  $M_1, M_2/G_1, G_2/1/N$  대기행렬 모형을 분석하여 셀 손실과 지연을 구하였다.

Fourneau등[35]은 추출을 고려한  $G/G/1/N$ 모형을 확산근사법(diffusion approximation)을 이용하여 분석하였다. 이 방법은 일시해(transient solution)을 구할 수 있기 때문에 ON기간과 OFF기간을 갖는 시스템의 동작의 모델링을 가능하게 해준다.

Yegani[157]는 음성, 데이터 다중화기를 임계점과 추출을 고려한  $MMPP/G/1/N$ 으로 모형화 하여 셀 손실 확률을 구하였다.

### 5. 요약 및 결론

본 연구에서는 ATM 망을 분석하기 위한 대기행렬 모형에 대하여 알아보았다. ATM의 성능을 평가할 수 있는 여러가지 요소들 중에서 중요하다고 할 수 있는 트래픽의 입력과정, 다중화기, 스위치 등을 분석하기 위한 여러가지 대기행렬모형을 살펴보고 ATM의 성능향상을 위해 제시된 여러가지 버퍼제어정책에 대하여도 알아보았다.

ATM에서의 대기현상을 분석하기 위해 가장 중요한 점은 트래픽의 입력과정을 얼마나 정확하게 표현할 수 있는가에 달려있다. 그러나 서로 다른 서비스 품질과 전송속도를 요구하는 성격이 다른 여러가지 트래픽들이 동시에 입력되는 ATM 망의 입력과정을 정확하게 표현할 수 있는 모델들의 개발은 아직 미흡한 상태이다. 트래픽의 입력과정을 포아송과정으로 가정하여 나타나는 오차를 줄이기위해 ON/OFF모델, MMPP모델, 자기회귀모델, 유체흐름모델등이 제안되었고 새로운 모델이 제안됨에 따라 보다 작은 오차를 갖는 결과값들을 구해내고 있다. MMPP모델은 복합적인 트래픽의 입력과정을 표현할 수 있다고는 하지만 실제 시스템에서 일정한 속도로 입력되는 셀들의 입력과정을 표현하기는 어려웠고, 유체흐름모델들이 이들 입력과정을 상당히 가깝게 표현하고 보다 좋은 결

과값을 얻는다고는 하지만 여전히 오차를 수반하는 값들이기 때문에 트래픽 입력과정을 보다 정밀하게 표현할 수 있는 모델의 개발에 관한 연구가 요구된다.

통계적 다중화기의 연구 초기에는 주로 CBR 소스에 대하여 단일트래픽을 대상으로 분석하였고 근래에는 VBR 소스와 혼합트래픽(음성과 화상등)을 대상으로 분석이 이루어지고 있다. 그러나 이러한 혼합트래픽에 대한 연구도 한계를 갖고 있다. MMPP모델을 이용한 대부분의 경우 음성, 화상, 데이터 등의 개별적인 트래픽에 대하여 2-state MMPP모델을 적용하여 분석하였고 이것을 단순히 4-state MMPP로 확장하여 혼합트래픽에 적용한 것에 불과하기 때문에 통계적 다중화기의 트래픽 특성을 표현하기는 부족하다. 그러므로 통계적 다중화기의 트래픽 특성을 보다 정밀하게 표현해 주기 위해서는 이러한 혼합트래픽 입력과정의 모형화에 대한 연구가 더 많이 이루어져야 하겠다. 또한 셀 손실율등에 관한 연구들이 다중화기 링크 측면에서만 고려되어 왔다. 그러나 이러한 측정치 자체는 서비스품질에 영향을 주는 것이므로 사용자 입장에서의 셀 손실율 즉, 서비스의 연결이 지속되는 동안 해당 서비스 전체의 셀 손실율 등도 고려되어야 하겠다.

스위치의 성능평가를 위해 입력버퍼링, 출력버퍼링, 내부버퍼링의 연구가 이루어져 왔다. 또한 ATM 망의 성능 향상을 위한 완전공유형, 부분버퍼공유형, 완전분할형, 완전버퍼분할 완전대역공유형등의 방법들을 살펴보고 이들 구조를 적용한 스위치를 분석하기 위한 다수의 대기행렬모형을 조사하였다. 이러한 스위치에 대한 연구는 스위치 내부 셀의 움직임에 파악하기 힘들기 때문에 셀들의 움직임에 대한 확률적 가정 하에 분석이 이루어져 왔다. 이러한 결과값들은 실제 시스템과 많은 오차를 나타내고 있어 셀들의 움직임에 대한 확률적 가정은 아직 문제점으로 남아있다. 이러한 확률적 가정의 이용은 많은 경우에서 처럼 새로운 구조의 스위치를 제안하고 기존의 스위치 구조와 비교하는 것에는 의미가 있다. 그러나 실제 시스템을 평가하기 위해서는 스위치 내부 셀들의 움직임에 대한 데이터를 조사하는 연구가 선행되어야 하며, 기존 모형의 적합성은 이러한 조사로부터 얻어진

데이터를 기초로 재평가되어야 할 필요가 있다. 그리고 실제 시스템에 대한 보다 적합한 새로운 모형의 제안은 이러한 선행연구 이후에 이루어져야 할 것이다.

ATM 망의 성능 개선을 위해 버퍼를 제어하는 여러가지 제어정책이 제안되었지만 현실적으로 실제 시스템으로 구현하기는 어려운 것이었다. 또한 이러한 제어정책들의 연구는 셀 손실확률, 셀지연등의 최소화에 관심을 두고 진행되었고 각 제어정책들의 구현에 대한 경제성 문제가 고려되지 못했다. 최적화의 입장에서 볼때 셀 손실확률과 셀지연등의 값이 작은 방법들이 더 많은 비용을 요구하는 것이라면 이러한 방법을 선택하는데 문제점이 발생할 것이다. 그러므로 이러한 성능 특성치의 최소화와 비용 최소화를 함께 고려한 최적화의 연구도 함께 이루어져야 할 것이다.

### 【참고문헌】

- [1] Ahmadi, H., and Denzel, W.E., "A Survey of Modern High-Performances Switching Techniques", *IEEE JSAC*, Vol.7 No.7, pp.1091-1103, 1989.
- [2] Akar, N., and Arikian, E., "Markov Modulated Periodic Arrival Process Offered to an ATM Multiplexer", *GLOBECOM*, pp.783-787, 1993.
- [3] Akyildiz, I.F., and Cheng, X., "Analysis of a Finite Buffer Queue with Different Scheduling and Push-out Schemes", *Performance Evaluation*, Vol.19, pp. 317-340, 1994.
- [4] Albin, S.L., "On Poisson Approximations for Superposition Arrival Processes in Queues", *Mgmt. Sci.*, Vol.28 No.2, pp.126-137, 1982.
- [5] Andrew, D. "A Transmission Scheme for Integrated Service on Broad-Band Internal Private Business Networks", *IEEE Trans. Commun.*, Vol.35 No.3, pp. 328-335, 1987.
- [6] Anick, D., and Mitra, D., and Sondhi, M.M., "Stochastic Theory of a Data-Hadling System with Multiple Sources", *The Bell System Technical Journal*, Vol.61 No.8, pp.1871-1894, 1982.
- [7] Aoyama, T., and Tokizawa, I., and Sato, K.I.,

- "Introduction Strategy and Technologies for ATM VP-Based Broadband Networks", *IEEE JSAC*, Vol. 10 No.9, pp.1434-1447, 1992.
- [8] Bae, J.J., and Suda, T., "Survey of Traffic Control Schemes and Protocols in ATM Networks", *IEEE Proceeding*, pp.170-189, 1991
- [9] Bae, J.J., and Suda, T., "Analysis of Individual Packet Loss in a Finite Buffer Queue with Heterogeneous Markov Modulated Arrival Processes: A Study of Traffic Burstiness and Priority Packet Discarding", *INFOCOM*, pp.219-230, 1992.
- [10] Bae, J.J., and Suda, T., "Survey of Traffic Control Protocols in ATM Networks", *GLOBECOM*, pp. 1-6, 1990.
- [11] Baiocchi, A., and Listanti, M., and Roveri, A., and Winkler R., "Modeling Issues on an ATM Multiplexer within a Bursty Traffic Environment", *INFOCOM*, pp.83-91, 1991.
- [12] Baiocchi, A., and Melazzi, N.B., and Listani, M., and Roveri, A., and Winkler, R., "Loss Performance Analysis of an ATM Multiplexer Loaded with High-Speed ON-OFF Sources", *IEEE JSAC*, Vol.9 No.3, pp.388-393, 1991.
- [13] Baiocchi, A., and Roveri, A., "Stochastic Fluid Analysis of an ATM Multiplexer Loaded with Heterogeneous ON-OFF Source: an Effective Computational Approach", *INFOCOM*, pp.405-414, 1992.
- [14] Beraldi, R., and Marano, S., "Limiting Removal Depth in the Pushout Scheme for ATM Networks", *ICC*, pp.997-1003, 1992.
- [15] Berger, A.W., "Performance Analysis of a Rate-Control Throttle where Token and Jobs Queue", *IEEE JSAC*, Vol.9 No.2, pp.165-170, 1991.
- [16] Bhargava, A. and Humblet, P., "Queueing Analysis of Continuous Bit-Stream Transport in Packet Networks", *GLOBECOM*, pp.903-907, 1989.
- [17] Bilgen, S., and Altintas, O., "An Approximate Solution for the Resequencing Problem in Packet-Switching Networks", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 42, pp.229-232, 1994.
- [18] Bruneel, H., "Queueing Behavior of Statistical Multiplexers with Correlated Inputs", *IEEE Trans. Commun.*, Vol.36 No.12, pp.1339-1341, 1988.
- [19] Bruzzi, G., and Pattavina, A., "Performance Evaluation of an Input -queued ATM Switch with Internal Speed-up and Finite Output Queues", *GLOBECOM*, pp.1455-1459, 1990.
- [20] Burgin, J., and Dorman, D., "Broadband ISDN Resource Management: The Role of Virtual Paths", *IEEE Commun. Mag.*, Vol.29 No.9, pp.44-48, 1991.
- [21] Casals, O., "Statistical Multiplexing Gain Using Space Priority Mechanisms", *GLOBECOM*, pp. 929-933, 1991.
- [22] Chen, C., and Komatsu, M., "Performance Analysis of Multiclass Traffic in ATM Networks", *GLOBECOM*, pp.244-248, 1991.
- [23] Chen, D.X., and Mark, J.W., "Performance Analysis of Output Buffered Fast Packet Switches with Bursty Traffic Loading", *GLOBECOM*, pp. 455-459, 1991.
- [24] Chen, J. S.-C., and Stern, T., "Markov-Modulated Flow Model for the Output Queues of a Packet Switch", *IEEE Trans. Commun.*, Vol. 40 No.6, pp. 1098-1110, 1992.
- [25] Chen, J.S.-C., and Guerin, R., "Performance Study of an Input Queueing Packet Switch with Two Priority Classes", *IEEE Trans. Commun.*, Vol.39 No.1, pp.117-126, 1991.
- [26] Chen, J.S.-C., and Stern, T.E., "Optimal Buffer Allocation for Packet Switches with Input and Output Queueing", *GLOBECOM*, pp.1936-1941, 1990.
- [27] Cheng, T.H., and Smith, D.G., "Queueing Analysis of a Multichannel ATM Switch with Input Buffering", *ICC*, pp.1028-1032, 1991.
- [28] Cheng, X., and Akyildiz, I.F., "A Finite Buffer



- Two Class Queue with Different Scheduling and Push-out Schemes", *INFOCOM*, pp.231-241, 1992.
- [29] Chlamtac, I., and Zhang, T. "A Counter Based Congestion Control (CBC) for ATM Networks", *Computer Networks and ISDN System*, Vol.26, pp. 5-27, 1993.
- [30] Choudhury, A.K., and Hahne, E.L., "Space Priority Management in a Shared Memory ATM Switch", *GLOBECOM*, pp.1375-1383, 1993.
- [31] Cidon, I., "On Protective Buffer Policies", *INFOCOM*, pp.1051- 1058, 1993.
- [32] Cidon, I., and Khamisy, A., and Sidi, M., "Analysis of Packet Loss Processes in High-Speed Networks", *IEEE Trans. Infom.*, Vol.39 No.1, pp.98-108, 1993.
- [33] Cidon, I., and Sidi, M., and Khamisy, A., "On Packet Loss Processes in High-Speed Networks", *INFOCOM*, pp.242-251, 1992.
- [34] Courtois, P.J., and Scheys, G., "Minimization of the Total Loss Rate for Two Finite Queues in Series", *IEEE Trans. Commun.*, Vol.39 No.11, pp. 1651-1661, 1991.
- [35] Czachorski, T., and Fournea, J.M., and Pekergin, F., "Diffusion Model of the Push-Out Buffer Management Policy", *INFOCOM*, pp.252-261, 1992.
- [36] Devetsikiotis, M., Al-qaq W.A., "Stochastic Gradient Techniques for the Efficient Simulation of High-Speed Networks Using Importance Sampling", *ICC*, pp.751-756, 1993.
- [37] Ding, J., and Jiang, H., "Modeling a Class of Priority-based ATM Communication Switch Designs", *ICC*, pp.729-733, 1993.
- [38] Dravida, S., and Sriram, K., "End-to-End Performance Model for Variable Bit Rate Voice Over Tandem Links in Packet Networks", *IEEE JSAC*, Vol.7 No.5, pp.718-728, 1989.
- [39] Eckberg, J.R.A.E., "The Single Server Queue with Periodic Arrival Process and Deterministic Service Times", *IEEE Trans. Commun.*, Vol.27 No.3, pp. 556-562, 1979.
- [40] Elwalid, A.I., and Mitra, D., "Fluid Models for the Analysis and Design of Statistical Multiplexing with Loss Priorities on Multiple Classes of Bursty Traffic", *INFOCOM*, pp.415-425, 1992.
- [41] Elwalid, A.I., and Mitra D., "Stochastic Fluid Models in the Analysis of Access Regulation in High Speed Networks", *GLOBECOM*, pp.1626-1632, 1991.
- [42] Fischer, W., and Meier-Hellstern, K., "The Markov-modulated Poisson process(MMPP) cookbook", *Performance Evaluation*, Vol.18, pp.149-171, 1992.
- [43] Frost, V.S., and Melamed, B., "Traffic Modeling For Telecommunications Networks", *IEEE Commun. Mag.*, Vol.32 March, pp.70-81, 1994.
- [44] Georgiadis, L. "A Method for the Delay Analysis of Random Multiple-Access Algorithms Whose Delay Process is Regenerative", *IEEE JSAC*, Vol. 5 No.6, pp.1051-1062, 1987.
- [45] Gravey, A., and Boyer, P., "On the Geo/D/1 and Geo/D/1/n Queues", *Performance Evaluation*, 11, pp.117-125, 1990.
- [46] Gruber, J.G., "A Comparison of Measured and Calculated Speech Temporal Parameters Relevant to Speech Activity Detection", *IEEE Trans. Commun.*, Vol.30 No.4, pp.728-738, 1982.
- [47] Gsella, R., "Characterizing the Variability of Arrival Processes with Indexes of Dispersion", *IEEE JSAC*, Vol.9 No.2, pp.203-211, 1991.
- [48] Händel, R., "Evolution of ISDN towards Broadband ISDN", *IEEE Network*, Vol.3, pp.7-13, 1989.
- [49] Heffes, H., and Lucantoni, D.M., "A Markov Modulated Characterization of Packetized Voice and Data Traffic and Related Statistical Multiplexer Performance", *IEEE JSAC*, Vol.4 No.6, pp.856-868, 1986.
- [50] Hluchyj, M.G., and Yin, N., "On the Queuing Behavior of Multiplexed Leaky Bucket Regulated Sources", *INFOCOM*, pp.672-679, 1993.
- [51] Hui, J.Y., "Resource Allocation for Broadband

- Networks", *IEEE JSAC*, Vol.6 No.9, pp.1598-1608, 1988.
- [52] Hui, J.Y., and Renner, T., "Queueing Analysis for Multicast Packet Switching", *IEEE Trans. Commun.*, Vol.42, pp.723-731, 1994.
- [53] Izmailov, R., and Ayanoglu, E., "Priority Statistical Multiplexing of Mixed VBR Video CBR Traffic in B-ISDN/ATM with a Threshold Algorithm", *INFOCOM*, pp.910-918, 1993.
- [54] Jain, R., and Routhier, S.A., "Packet Trains - Measurements and a New Model for Computer Network Traffic", *IEEE JSAC*, Vol.4 No.6, pp. 986-995, 1986.
- [55] Jung, Y.C., and Un, C.K., "Analysis of Backpressure-type Packet Switches with Input and Output Buffering", *IEE Proceedings-I*, Vol.140 No.4, pp. 277-1993, 1993.
- [56] Kang, C.G., and Tan, H.H., "Queueing Analysis of Explicit Priority Assignment Partial Buffer Sharing Schemes for ATM Networks", *INFOCOM*, pp. 810-819, 1993.
- [57] Karol, M.J., and Eng, K.Y., "The Growable Switch Architecture: A Self-Routing Implementation for Large ATM Applications", *ICC*, pp.1014-1020, 1991.
- [58] Karol, M.J., and Hluchyj, M.G., and Morgan, S.P., "Input Versus Output Queueing on a Space-Division Packet Switch", *IEEE Trans. Commun.*, Vol.35 No.12, pp.1347-1356, 1987.
- [59] Khan, I., and Li, V.O.K., "A Traffic Control Mechanism for ATM Networks", *ICC*, pp.1122-1126, 1993.
- [60] Kim, Y.H., and Un, C.K., "Performance Analysis of Statistical Multiplexing for Heterogeneous Bursty Traffic in an ATM Network", *IEEE Trans. Commun.*, Vol.42, pp.745-753, 1994.
- [61] Kobayashi, H., and Konheim, A.G., "Queueing Models for Computer Communications System Analysis", *IEEE Trans. Commun.*, Vol.25 No.1, pp. 2-29, 1977.
- [62] Kofman, D., and Korezlioglu, H., "Loss Probabilities and Delay and Jitter Distributions in a Finite Buffer Queue with Heterogeneous Batch Markovian Arrival Processes", *ICC*, pp.830-834, 1993.
- [63] Kuczura, A., "The Interrupted Poisson Process As An Overflow Process", *The Bell System Technical Journal*, Vol.52 No.3, pp.437-448, 1973.
- [64] Kurachi, M. "Present Trends in High-Speed and Broad-Band Communications Services in Japan", *IEEE JSAC*, Vol.4 No.4, pp.438-443, 1986.
- [65] Labourdette, J-F.P., and Hart, G.W., "Blocking Probabilities in Multitrafic Loss System: Insensitivity, Asymptotic Behavior, and Approximations", *IEEE Trans. Commun.*, Vol.40 No.8, pp.1355-1366, 1992.
- [66] Lazar, A.A., and Pacifici, G., and Pendarakis, D. E., "Modeling Video Sources for Real-Time Scheduling", *ICC*, pp.835-839, 1993.
- [67] Lee, D-S., "Transient Analysis of Multi-Server Queue with Markov-Modulated Poisson Arrivals and Overload Control", *INFOCOM*, pp.1196-1205, 1991.
- [68] Lee, H.W., and Ahn, B.Y., "A Queueing Model for Optimal Control of Partial Buffer Sharing in ATM", submitted for publication, 1996.
- [69] Lee, H.W., and Kim, E.Y., "A Queueing Model with Loss and Time Priority for Optimal Buffer control in ATM", submitted for publication, 1996.
- [70] Lee, M.J., and Ahn, D.S., "Packet Loss Analysis of Nonblocking ATM Switches with Nonuniform Traffic and Performance Improvement by Output Buffer Sharing", *ICC*, pp.1079-1084, 1993.
- [71] Lee, M.J., and Li, S-Q., "Performance of a Nonblocking Space-Division Packet Switch in a Time Variant Nonuniform Traffic Environment", *IEEE Trans. Commun.*, Vol.39 No.10, pp.1515-1524, 1991.
- [72] Li, S-Q., "A General Solution Technique for

- Discrete Queueing Analysis of Multimedia Traffic on ATM", *IEEE Trans. Commun.*, Vol.39 No.7, pp.1115-1132, 1991.
- [73] Li, S-Q., "Generating Function Approach for Discrete Queueing Analysis with Decomposable Arrival and Service Markov Chains", *INFOCOM*, pp.2168-2177, 1992.
- [74] Li, S-Q., and Sheng, H-D., "Discrete Queueing Analysis of Multimedia Traffic with Diversity of Correlation and Burstiness Properties", *IEEE Trans. Commun.*, 42, pp.1339-1351, 1994.
- [75] Liao, K-Q., Mason, L.G., "A Discrete-Time Single Server Queue with a Two-Level Modulated Input and Its Applications", *GLOBECOM*, pp.913-918, 1989.
- [76] Liao, K-Q., and Mason, L.G., "A Heuristic Approach for Performance Analysis of ATM System", *GLOBECOM*, pp.1931-1935, 1990.
- [77] Liew, S.C., "Performance of Various Input-buffered and Output -buffered ATM Switch Design Principles under Bursty Traffic: Simulation Study", *IEEE Trans. Commun.*, Vol.42 No.2, pp.1371-1379, 1994.
- [78] Lin, Y.-M., and Silvester, J.A., "Priority Queueing Strategies and Buffer Allocation Protocols for Traffic Control at an ATM Integrated Broadband Switching System", *IEEE JSAC*, Vol.9 No.9, pp. 1524-1536, 1991.
- [79] Lin, Y.-M., and Silvester, J.A., "Priority Queueing Strategies for Traffic Control at a Multichannel ATM Switching System", *GLOBECOM*, pp.234-238, 1991.
- [80] Lucantoni, D.M., and Choudhury, G.L., Whitt W., "Computing Transient Distributions in General Single-Server Queues", *ICC*, pp.1045-1050, 1993.
- [81] Maglaris, B., and Anastassiou, D., and Sen, P., "Performance Models of Statistical Multiplexing in Packet Video Communications", *IEEE Trans. Commun.*, Vol.36 No.7, pp.834-844, 1988.
- [82] Maglaris, B., and Sen, P., "Models for Packet Switching of Variable-Bit-Rate Video Sources", *IEEE JSAC*, Vol.7 No.5, pp.865-869, 1989.
- [83] Marco, M.D., and Pattavina, A., "Performance Analysis of ATM Multistage Networks with Shared Queueing Under Correlated Traffic", *ITC*, pp. 601-610, 1994.
- [84] Mario, Gerla, "Topology Design and Bandwidth Allocation in ATM Nets", *IEEE JSAC*, Vol.7 No. 8, pp.1253-1262, 1989.
- [85] Minzer, S.E., "Broadband ISDN and Asynchronous Transfer Mode (ATM)", *IEEE Commun. Mag.*, Vol.27 No.9, pp.17-24, 1989.
- [86] Miyahara, H., "ATM : A Most Promising Switching Technique for B-ISDN", *IEICE*, Vol. 74 No.4, pp.747-751, 1991.
- [87] Montagna, S., and Paglino, R., and Meyer, J. "Delay Performance of a Multistage ATM Switching Network", *ITC*, pp.623-634, 1994.
- [88] Morris, T.D., and Perros, H.G., "Performance Modelling of a Multi-Buffered Banyan Switch Under Bursty Traffic", *IEEE Trans. Commun.*, Vol. 42 No.2, pp.891-895, 1994.
- [89] Mouchtaris, P.N., "Traffic Analysis for a Custom Video Architecture", *IEEE JSAC*, Vol.10 No.9, pp. 1421-1426, 1992.
- [90] Murata, M., and Oie, Y., and Suda, T., Miyahara H., "Analysis of a Discrete-Time Single-Server Queue with Bursty Inputs for Traffic Control in ATM Networks", *GLOBECOM*, pp.1781-1787, 1989.
- [91] Nagarajan, R., and Kurose, J.F., and Towsley, D., "Approximation Techniques for Computing Packet Loss in Finite-Buffer Voice Multiplexers", *IEEE JSAC*, Vol.9 No.3, pp.368-377, 1991.
- [92] Neuts, M.F., *Matrix-Geometric Solutions in Stochastic Models*, The Johns Hopkins University press, 1981.
- [93] Newell, G.F., "Approximations for Superposition Arrival Processes in Queues", *Manag. Sci.*, Vol.

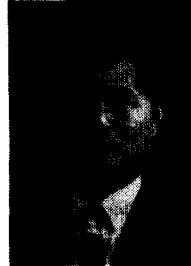
- 30 No.5, pp.623-632, 1984.
- [94] Ngo, B., and Lee, H., "Queueing Analysis of Traffic Access Control Strategies with Preemptive and Nonpreemptive Disciplines in Wideband Integrated Networks", *IEEE JSAC*, Vol.9 No.7, pp. 1103-1109, 1991.
- [95] Niu, Z., and Akimaru, H., "Analysis of Statistical Multiplexer with Selective Cell Discarding Control in ATM System", *IEICE*, Vol.74 No.12, pp. 4069-4079, 1991.
- [96] Oda, T., "Moment Analysis for Traffic Associated with Markovian Queueing System", *IEEE Trans. Commun.*, Vol.39 No.5, pp.737-746, 1991.
- [97] Ohnishi, H., and Okada, T., and Noguchi, K., "Flow Control Schemes and Delay/Loss Tradeoff in ATM Networks", *IEEE JSAC*, Vol.6 No. 9, pp. 1609-1616, 1988.
- [98] Oie, Y., and Murata, M., and Kawahara, K., and Miyahara, H., "Performance Analysis of Internally Unbuffered Large Scale ATM Switch with Bursty Traffic", *INFOCOM*, pp.1270-1277, 1993.
- [99] Oie, Y., and Murata, M., and Kubota, K., and Miyahara, H., "Performance Analysis of Nonblocking Packet Switch with Input and Output Buffers", *IEEE Trans. Commun.*, Vol.40 No.8, pp.1294-1297, 1992.
- [100] Oie, Y., and Suda, T., and Murata, M., and Kolson D., and Miyahara, H., "Survey of Switching Techniques in High-Speed Networks and Their Performance", *INFOCOM*, pp.1242-1251, 1990.
- [101] Okada, T., and Ohnishi, H., and Morita, N., "Traffic Control in Asynchronous Transfer Mode", *IEEE Commun. Mag.*, Vol.29 No.9, pp. 58-62, 1991.
- [102] Onvural, R.O., *Asynchronous Transfer Mode Networks: Performance Issues*, Artech House, INC, 1994.
- [103] Pattavina, A., "Nonblocking Architectures for ATM Switching", *IEEE Commun. Mag.*, Vol.31 No.2, pp.38-48, 1993.
- [104] Perros, H.G., "Performance Evaluation of a Bufferless NxN Synchronous Clos ATM Switch with Priorities and Space Preemption", *ICC*, pp. 379-384, 1991.
- [105] Perros, H.G., and Nilson, A.A., and Lai, F., "Performance Evaluation of a Bufferless NxN Synchronous Clos ATM Switch with Priorities and Space Preemption", *ICC*, pp.379-384, 1991.
- [106] Petersen, J., and Gillen, T., "The Idle Time Distribution of a System 2 D/D/1", *IEEE Trans. Commun.*, Vol.42 No.2, pp.854-856, 1994.
- [107] Petr, D.W., and Frost, V.S. , "Priority Discarding of Speech in Integrated Packet Networks", *IEEE JSAC*, Vol.7 No.5, pp.644-656, 1989.
- [108] Prycker, Martin de, *Asynchronous Transfer Mode Solution for Broadband ISDN*, Ellis Horwood, 1993.
- [109] Ramamurthy, G., and Dighe, R.S. "A Multidimensional Framework for Congestion Control in B-ISDN", *IEEE JSAC*, Vol.9 No.9, pp.1440-1451, 1991.
- [110] Ramamurthy, G., and Sengupta, B., "Delay Analysis of a Packet Voice Multiplexer by the Di/D/1 Queue", *IEEE Trans. Commun.*, Vol.39 No.7, pp.1107-1114, 1991.
- [111] Re, E.D., and Fantacci, R., "Performance Evaluation of Input and Output Queueing Techniques in ATM Switching System", *IEEE Trans. Commun.*, Vol.41 No.10, pp.1565-1575, 1993.
- [112] Ren, Q., and Kobataashi, H., "A Diffusion Approximation Analysis of an ATM Statistical Multiplexer with Multiple Types of Traffic Part II : Time-Dependent Solutions", *GLOBECOM*, pp. 772-777, 1993.
- [113] Roberts, J.W., "Variable-Bit-Rate Traffic Control in B-ISDN", *IEEE Commun. Mag.*, Vol.29 No.9. pp.50-56, 1991.

- [114] Roberts, J.W., Virtamo J.T., "The Superposition of Periodic Cell Arrival Stream in an ATM Multiplexer", *IEEE Trans. Commun.*, Vol.39 No. 2, pp.298-303, 1991.
- [115] Saito, H., "Call Admission Control in an ATM Network Using Upper Bound of Cell Loss Probability", *IEEE Trans. Commun.*, Vol.40 No. 9, pp.1512-1521, 1992.
- [116] Saito, H., "Optimal Queueing Discipline for Real-Time Traffic at ATM Switching Nodes", *IEEE Trans. Commun.*, Vol.38 No.12, pp.2131-2136, 1990.
- [117] Saito, H., *Teletraffic Technologies in ATM Networks*, Artech House, INC, 1994.
- [118] Saito, H., and Kawarasaki, M., and Yamada, H., "An Analysis of Statistical Multiplexing in an ATM Transport Network", *IEEE JSAC*, Vol.9 No. 3, pp.359-367, 1991.
- [119] Saito, H., and Kawashima, K., and Sato, K.I., "Traffic Control Technologies in ATM Networks", *IEICE*, Vol.74 No.4, pp.761-771, 1991.
- [120] Sakurai, Y., and Gohara, S., and Endo, N., "Large-Scale ATM Multistage Switching Network with Shared Buffer Memory Switches", *IEEE Commun. Mag.*, Vol.29 No.1, pp.90-96, 1991.
- [121] Saksena, V.R. "Topological Analysis of Packet Networks", *IEEE JSAC*, Vol.7 No.8, pp.1243-1252, 1989.
- [122] Saleh, and Habib, and Saadawi, "Simulation Analysis of a Communication Link with Statistically Multiplexed Bursty Voice Sources", *IEEE JSAC*, Vol.11 No.3, pp.432-442, 1993.
- [123] Sandhu, D., and Posner, M.J.M., "A Priority M/G/1 Queue with Application to Voice/Data Communication", *Euro. J. Oper. Reser.*, Vol.40 No.1, pp.99-108, 1989.
- [124] Sarkies, K.W. "The Bypass Queue in Fast Packet Switching", *IEEE Trans. Commun.*, Vol.39 No.5, pp.766-774, 1991.
- [125] Sato, K.I., and Ohta, S., and Tokizawa, I., "Broad-Band ATM Network Architecture Based on Virtual Paths", *IEEE Trans. Commun.*, Vol.38 No. 8, pp.1212-1222, 1990.
- [126] Sato, Y., and Sato, K.I., "Virtual Path and Link Capacity Design for ATM Networks", *IEEE JSAC*, Vol.9 No.1, pp.104-111, 1991.
- [127] Schwartz, D.B. "ATM Scheduling with Queueing Delay Predictions", *SIGCOMM*, pp.205-211, 1993.
- [128] Shiokawa, S., and Sasase, I., "Performance of a Nonblocking Space-Division Packet Switch with Two Kinds of Correlated Input Calls", *ICC*, pp. 1384-1388, 1993.
- [129] Sidi, M., "Discrete-Time Priority Queues with Partial Interference", *IEEE JSAC*, Vol.5 No.6, pp. 1041-1050, 1987.
- [130] Sidi, M., and Khamisy, A., "Discrete-Time Priority Queueing System with Two-State Markov Modulated Arrival Processes", *INFOCOM*, pp. 1456-1463, 1991.
- [131] Sohraby, K., "Delay Analysis of a Single Server Queue with Poisson Cluster Arrival Process Arising in ATM Networks", *GLOBECOM*, pp. 611-616, 1989.
- [132] Sohraby, K., and Zhang, J., "Spectral Decomposition Approach for Transient Analysis of Multi-Server Discrete-Time Queues", *INFOCOM*, pp. 395-404, 1992.
- [133] Sriram, K., and Lucantoni, D.M., "Traffic Smoothing Effects of Bit Dropping in a Packet Voice Multiplexer", *IEEE Trans. Commun.*, Vol. 37 No.7, pp.703-712, 1989.
- [134] Sriram, K., and Whitt, W., "Characterizing Superposition Arrival Processes in Packet Multiplexers for Voice and Data", *IEEE JSAC*, Vol.4 No.6, pp.833-846, 1986.
- [135] Stamouliès, G.D., and Anagnostou, M.E., and Georgantás, A.D., "Review : Traffic Source Models for ATM Networks: a Survey", *Computer*

- Commun.*, Vol.17 No.6, pp.428-438, 1994.
- [136] Steyaert, B., and Bruneel, H., and Xiong, Y., "A General Relationship between Buffer Occupancy and Delay in Discrete-Time Multiserver Queueing Models Applicable in ATM Networks", *INFOCOM*, pp.1250-1258, 1993.
- [137] Suda, T., and Vickers, B.J., and Kim, J.B., and Hong, D.P., "Congestion Control and Resource Management in Diverse ATM Environments", *IEICE*, pp.759-774, 1993.
- [138] Suzuki, H., and Murase, T., and Sato, S., and Takeuchi, T., "A Burst Traffic Control Strategy for ATM Networks", *GLOBECOM*, pp.874-878, 1990.
- [139] Svinnsset, I., "Nonblocking ATM Switching Networks", *IEEE Trans. Commun.*, Vol.42 No.2, pp.1352-1358, 1994.
- [140] Takine, T., and Sengupta, B., and Hasegawa, T., "An Analysis of a Discrete-Time Queue for Broadband ISDN with Priorities among Traffic Classes", *IEEE Trans. Commun.*, 42, pp.1873-1845, 1994.
- [141] Takine, T., and Suda, T., and Hasegawa, T., "Cell Loss and Output Process Analysis of a Finite-Buffer Discrete-Time ATM Queueing System with Correlated Arrivals", *INFOCOM*, pp.1259-1269, 1993.
- [142] Tassiulas, L., and Hung, Y., "Optimal Buffer Control During Congestion in an ATM Network Node", *INFOCOM*, pp.1059-1066, 1993.
- [143] Tokizawa, I., and Sato, K.I., "Broadband Transport Techniques Based on Virtual Paths", *GLOBECOM*, pp.1269-1273, 1990.
- [144] Tseng, K.H., "Admission Control of Voice/Data Integration in an ATM Network", *ICC*, pp. 188-192, 1991.
- [145] Tucker, R.C.F., "Accurate Method for Analysis of a Packet-Speech Multiplexer with Limited Delay", *IEEE Trans. Commun.*, Vol.36 No.4, pp. 479-483, 1988.
- [146] Vakil, F., and Lazar, A.A., "Flow Control Protocols for Integrated Networks with Partially Observed Voice Traffic", *IEEE Trans. Auto. Cont.*, Vol.32 No.1, pp.2-14, 1987.
- [147] Veitch, D., "Novel Models of Broadband Traffic", *ICC*, pp.1057 -1061, 1993.
- [148] Verbiest, W., and Pinno, L. "A Variable Bit Rate Video Codec for Asynchronous Transfer Mode Networks", *IEEE JSAC*, Vol.7 No.5, pp.761-770, 1989.
- [149] Walters, S.M., "A New Direction for Broadband ISDN", *IEEE Commun. Mag*, Vol.29 No.9, pp. 39-42, 1991.
- [150] Wang, Q., and Frost, V.S., "A New Solution Technique for Discrete Queueing Analysis of ATM System", *GLOBECOM*, pp.358-364, 1991.
- [151] Wang, S.S., and Silvester, J.A., "A Discrete-Time Performance Model for Integrated Service ATM Multiplexers", *GLOBECOM*, pp.757-761, 1993.
- [152] Wei, S.X., and Kumar, V.P., "Performance Analysis of a Multiple Shared Memory Module ATM Switch", *ISS*, pp.17-21, 1992.
- [153] Wong, A.K., "Traffic Modelling and Buffer Dimensioning in an ATM Switch with Shared-Memory End-Grids", *ISS*, pp.239-243, 1992.
- [154] Woodruff, G.M., Kositpaiboon R., "Multimedia Traffic Management Principles for Guaranteed ATM Networks Performance", *IEEE JSAC*, Vol. 8 No.3, pp.437-446, 1990.
- [155] Xiong, Y., and Bruneel, H., "Performance of Statistical Multiplexers with Finite Number of Input and Train Arrivals", *INFOCOM*, pp. 2036-2044, 1992.
- [156] Xiong, Y., and Bruneel, H., "A Tight Upper Bound for the Tail Distribution of the Buffer Contents in Statistical Multiplexers with Heterogeneous MMBP Traffic Sources", *GLOBECOM*, pp.767-771, 1993.

- [157] Yegani, P., "Performance Models for ATM Switching of Mixed Continuous-Bit-Rate and Bursty Traffic with Threshold-Based Discarding", *ICC*, pp.1621-1627, 1992.
- [158] Yegenoglu, F., and Jabbari, B., "Performance Evaluation of MMPP/D/1/K Queues for Aggregate ATM Traffic Models", *INFOCOM*, pp.1314-1319, 1993.
- [159] Yeh, Y-S., Hluchyj, M.G., and Acampora A.S., "The Knockout Switch: A Simple, Modular Architecture for High-Performance Packet Switching", *IEEE JSAC*, Vol.5 No.8, pp.1274-1283, 1987.
- [160] Yin, N., and Hluchyj, M.G., "Simple Models for Statistically Multiplexed Data Traffic in Cell Relay Networks", *GLOBECOM*, pp.824-829, 1993.
- [161] Yuan, C., and Silvester, J.A., "Queueing Analysis of Delay Constrained Voice Traffic in a Packet Switching System", *IEEE JSAC*, Vol.7 No.5, pp. 729-738, 1989.
- [162] Zegura, E.W., "Architectures for ATM Switching System", *IEEE Commun. Mag.*, Vol.31 No.2, pp. 28-37, 1993.
- [163] Zhang, Z., "Finite Buffer Discrete-Time Queues with Multiple Markovian Arrivals and Services in ATM Networks", *INFOCOM*, pp.2026-2035, 1992.
- [164] Zhang, Z., "A Single Server Queue with Finite-Geometric-Cluster Arrival Process", *ICC*, pp. 1329-1334, 1991.
- [165] 박정옥, 이명용, "ATM 망에서의 자원 할당", 한국 전기 통신 연구, 제 8권 3호, pp.174-181, 1994.
- [166] 윤복식, 김제승, "An Efficient Method to Analyze the Mixed Broadband Traffic", 대한산업공학회 94년 추계 학술대회, pp.283-290, 1994.
- [167] 이병기, 강민호, 이종희, 광대역 정보 통신, 교학사, 1994.
- [168] 이순석, 강성열, 김영선, 한치문, "A Performance Analysis of a Common Memory ATM Switch with Partial Buffer Sharing Mechanism", 통신정

보 합동학술대회, pp.603-608, 1994.



이호우

1972-1976 서울대학교 산업공학 학사

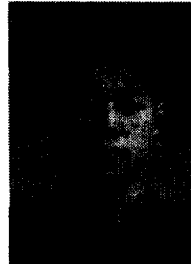
1980-1982 Ohio 주립대학교 산업공학 석사

1982-1986 Ohio 주립대학교 산업공학 박사

1987-현재 성균관대학교 산업공학과 부교수

관심분야 Queueing Theory

Applied Stochastic Processes



박노익

1987-1993 성균관대학교 산업공학과 학사

1993-1995 성균관대학교 산업공학과 석사

1995-현재 성균관대학교 산업공학과 박사과정

관심분야 Queueing Theory

Telecommunication System