
碩士學位 論文

ATM 網에서 이중 버퍼와 다중 臨界值를
利用한 셀 優先順位 制御에 關한 研究

濟州大學校 大學院

情報工學科



金 大 永

1997年 6月

ATM 網에서 이중 버퍼와 다중 臨界值를
利用한 셀 優先順位 制御에 關한 研究

指導教授 金 壯 亨

金 大 永

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

1997年 6月

金 大 永의 工學 碩士學位 論文을 認定함



JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

審査委員長

李 尚 俊

委 員

李 大 永

委 員

金 大 永

濟州大學校 大學院

1997年 6月

A Study of Cell Priority Control in ATM Networks using Double Buffers and Multiple Threshold

Dae-Young Kim

(Supervised by professor Jang-Hyung Kim)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULILLMENT OF THE
REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING



DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING

GRADUATE SCHOOL

CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

1997. 6.

차 례

SUMMARY	1
I. 서 론	2
II. ATM 트래픽 제어	6
1. ATM 망의 트래픽 특성	6
2. ATM 셀의 구조	10
3. 트래픽 제어 기법	12
1) 연결 수락 제어	13
2) 파라미터 제어	15
3) 폭주제어	21
4) 자원제어	25
5) 우선순위 제어	26
III 제안하는 우선순위 시스템 모델과 성능 평가	34
1. 제안한 우선순위 기법	36
IV. 시스템 모델링과 해석	39
V. 시뮬레이션 및 결과 고찰	46
1. 시뮬레이션 환경	46
2. 트래픽 발생	46
3. 시뮬레이션 결과 고찰	47
VI. 결론 및 향후 연구과제	51
참 고 문 헌	53

SUMMARY

In this paper, we proposed priority scheduling and buffer assignment algorithm using two finite buffers and multiple threshold values as a priority cell scheduling mechanism to serve efficiently multimedia traffic in ATM networks. Multimedia traffics can be categorized into four classes based on their real time properties and loss tolerance. we analysed priority control mechanism to achieve the cell loss rate requirements and the delay requirements of each service class in ATM switch with output buffer.

Basic concept of proposed priority control scheme is flexibly to serve the four classes service using double buffers in ATM Adaptation Layer(AAL)

The service classes of our concern are satisfied with the CBR(Constant Bit Rate) class and VBR(Variable Bit Rate) class. The CBR is applied to Push Out cell loss priority method and the VBR is applied PBS to method with two thresholds.

The performance of the proposed method is firstly discard the tagged cell from the UPC parameter using two threshold is better than the VBR with one threshold.

I. 서 론

최근의 정보통신의 기술은 기존 음성 위주의 아날로그 통신에서 문자, 화상, 동영상 서비스를 제공하는 디지털 통신으로 발전하고 있다. 통신 기술의 발달과 정보화 사회로의 진전에 따라 다양한 멀티미디어 서비스를 효율적으로 제공하는 광대역 종합정보통신망(B-ISDN :Broadband Integrated Service Digital Network)에 대한 요구가 급증하고 있다.

B-ISDN은 ISDN의 협대역 서비스에 고속 데이터 전송, 영상 전화, 영상 회의, 비디오 전송 등 서로 다른 품질 요구 사항을 지닌 다양한 트래픽을 수용하는 광대역 서비스를 제공한다. 이런 다양한 서비스들은 비트율, 도착 형태 등에 있어서 제각기 다른 트래픽 특성을 가지고 있다. 따라서 이러한 서로 다른 트래픽 특성을 가진 서비스를 통합하는 것은 쉬운 문제가 아니다. 예를 들어 음성 정보 서비스 등에서 오디오 트래픽은 실시간의 빠른 전송 속도가 요구되나 손실에 비교적 둔감한 반면, 파일 전송 등을 위한 데이터 트래픽은 전송속도에 관계없이 100%의 신뢰도를 보장하여야 하는 특성이 있다. 또한 주문형 비디오(Video On Demand)에서의 비디오 트래픽은 빠른 전송 속도가 요구 될 뿐만 아니라, 데이터 손실에 의해 서비스 품질이 결정되므로 높은 신뢰성이 요구된다. 따라서 멀티미디어 통신 프로토콜은 이와 같은 여러 가지 트래픽에 대한 다양한 서비스 및 성능 요구사항을 만족시킬 수 있도록 설계되어야 한다. 따라서, 통신망의 높은 사용율을 유지하면서 다양한 서비스 품질 요구 사항을 만족시키기 위한 효과적인 방식이 ATM이다(ITU-T, 1992)(Minzer, 1989)(Byne, 1989)(Bae 등, 1990).

ATM 망은 모든 정보를 셀(cell)이라는 고정길이의 짧은 패킷에 실어서 전송하는 멀티플렉싱(Multiplexing)/스위칭(Switching) 기술로서 광대역종합통신망(B-ISDN)에 가장 적합한 전송 방식으로 각광을 받고 있다. 또한 ATM은 효율적인 대역폭 할당, 다양한 서비스 수용성의 장점 때문에 멀티미디어 트래픽에 적합하다고 알려져

있다(ITU-T, 1988)(ITU-T, 1991)(Händel, 1992).

그러나 이러한 통계적 다중화 방법은 소밀집의 상태로 만들 위험을 안게 된다. 또한 각각의 트래픽 호원은 셀 손실률, 전송 지연, 지연 변이 등의 다양한 서비스 품질(QoS)을 요구하며, 망은 이러한 서비스 품질 기준을 만족 시켜 주어야 한다. 이상과 같이 복잡한 트래픽환경을 가지는 ATM 망에서 망자원의 효율적 운용과 다양한 서비스 품질 기준을 만족시키기 위해서는 트래픽의 변화를 예측하고 과잉밀집을 미리 방지하는 등의 트래픽 제어 기술이 요구된다. 따라서 ATM전송방식에서는 연결 설정시 각 연결이 요구하는 최대 전송율보다 낮은 대역폭을 할당하는 통계적 멀티플렉싱(Statiscal Multiplexing)에 의해 한정된 대역폭을 효율적으로 사용하기 때문에 네트워크 상에서 보다 많은 연결 설정이 가능하지만, 이로 인하여 네트워크 상에 과도한 트래픽을 발생시켜 통신 서비스의 질 저하를 유발시킬 수 있다(Minzer, 1989)(Bae 등, 1990). 그러므로, ATM 망에서 과도한 트래픽에 의해 발생할 수 있는 네트워크의 혼잡을 해결할 수 있는 트래픽 제어 기능이 요구되며(Hong 등, 1991), 특히 여러 가지 트래픽이 혼재하는 멀티미디어 트래픽에서 실시간 트래픽 및 셀 손실 허용율과 같은 특성에 따라 트래픽을 분류하고, 이를 바탕으로 한 트래픽 제어가 반드시 수행되어야 한다(Rothermel, 1900)(ITU-T, 1992).

ATM 망에서는 접속이 허락된 호에 대해 필요한 만큼의 대역폭을 할당하지만 최대 비트율(peak bit rate)의 대역폭을 제공하지 않은 한 연결된 호의 트래픽은 예측 불가능한 특성으로 인해 이미 할당된 대역폭을 일시적으로 초과할 수 있다. 이로 인해 망이 폭주에 빠질 우려가 있는데 특히 동화상이나 고속 데이터와 같은 버스티성이 큰 트래픽이 폭주에 많은 영향을 미친다. 따라서 ATM 망의 단점을 보완하기 위해서, 여러 가지 예방적(preventive), 반응적(reactive) 차원의 망 제어 기술이 필요한데, 그 중의 하나가 우선순위 제어(priority control)이다. 우선순위 제어기술은 일정 기간마다 망에 들어오는 셀의 저장방식(buffering) 및 전송 우선순위를 망 상태와 클래스의 서비스 품질(QoS)에 따라 변화시킴으로써 모든 클래스의 서비스 품질을

공정하게 보장하면서 망 이용 효율을 높이려고 하는 것이다(Okada 등, 1991).

기존의 우선순위 제어 기법의 문제점은 ATM 망에서 지원하는 서비스는 트래픽의 종류를 동영상 및 실시간 데이터와 같이 정보 전달이 지연되면 서비스 질이 저하되는 지연 민감 트래픽과 파일전송 및 일반 데이터와 같이 정보 전달 지연보다는 데이터 손실이 서비스 질에 영향을 미치는 손실 민감 트래픽으로만 양분하기 힘들고, 또한 통신망 측면에서 볼 때 64kbps PCM 음성 신호와 같이 비트율이 일정한 항등비트율(CBR : Constant Bit Rate)과 데이터와 같이 비트율이 가변적인 가변비트율(VBR : Variable Bit Rate)으로 나눌수 있는데, 지연에 민감한 CBR 트래픽 중에서도 실시간 처리의 임박성이 다르거나, 손실에 민감한 VBR 트래픽 중에서도 지연 민감도의 정도가 차이가 발생하므로 우선순위가 달라져야 한다(Woodruff 등, 1990).

본 논문에서는 기존의 방법을 개선하여 서비스 품질을 보다 유연하게 제공할 수 있는 우선순위 스케줄링과 버퍼 할당 기법을 혼합한 알고리즘으로서 이중 버퍼를 사용하여 ATM 적응 계층(AAL : ATM Adaption Layer)에서 제공하는 4가지의 클래스의 서비스를 유연하게 제공하고자 하는 것이다. 제안 알고리즘으로서 크기가 다른 2개의 유한 버퍼에 임계치를 1개 이상 사용하면서, 셀 전송 지연도 고려하여 ATM 베어러 서비스(Bearer Service)에 따라 QoS를 유연하게 제공해 주는 스케줄링과 셀 폐기 기법이 혼합된 기법인 이중 버퍼와 다중 임계치를 이용한 셀 우선순위 제어방법을 제안한다. 또한 실험적 시스템을 구축하여 모델링하고 해석함으로써 그 유용성을 밝히고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 ATM네트워크에서 트래픽 제어에 대하여 그 동안의 제어기법에 대한 기존 연구들에 대해 기술하고, III장에서는 우선순위 스케줄링에 대해서 살펴보고 제안 시스템으로서 스케줄링과 버퍼 할당 기법을 혼합한 알고리즘 제안한다. IV장에서는 제안한 시스템 모델링과 성능 평가에 대하여 기술하고, V장에서는 시뮬레이션 및 결과에 대하여 고찰하고, VI장에서는 결론

및 향후 연구과제에 대하여 기술하였으며, 시뮬레이션을 위해 C 언어로 구현하여 성능 측정을 하였다.



II. ATM 트래픽 제어

1. ATM 망의 트래픽 특성

B-ISDN에서 제공하는 서비스는 B-ISDN의 광대역 능력으로 인하여 기존 망과는 다른 특징을 가진다. 즉, 높은 대역, 항등 비트율 및 가변 비트율의 서비스를 제공하며 다중 매체 통신과 사용자와 망간의 서비스 품질 협상을 가능하도록 하고 있다. 이와 같이 다양한 서비스의 제공을 위해 B-ISDN은 비동기 전송 모드(ATM)를 전송방법으로 채택하고 있다.

다양한 특성의 ATM 트래픽들은 셀 지연 및 지연변동, 셀 손실 등의 서비스 품질 저해 요인들에 대해 서로 다른 요구사항을 갖고 있다. Fig. 2-1은 대표적인 ATM 트래픽의 서비스 요구사항을 보여주고 있다. 이중에서 음성과 비디오는 동시성 서비스이므로 셀 지연 및 지연 변동에 매우 민감하여 이에 대한 엄격한 허용기준치를 갖고 있다. 또한 음성은 셀 손실에 대해서는 비교적 관대하나 고압축 영상은 민감하다. 서비스 성질에 따라서 B-ISDN 서비스는 ITU-T의 권고안으로서 표 2-1에 있다 (이병기, 1996)(Shunji 등, 1994).

Table 2-1. Multimedia Service Classification

종류	종단 간의 시간 관계	비트율	연결모드	서비스 예	관련 AAL
A종	실시간성	항 등	연결성	항등률 영상 서비스, DS1 회선 대역	AAL-A1
B종	실시간성	가 변	연결성	가변율 영상 서비스, 패킷, 비디오	AAL-2
C종	비실시간성	가 변	연결성	연결성 데이터, FR, X.25	AAL-3/4
D종	비실시간성	가 변	비연결성	비연결성 데이터 SMDS, IP	AAL-5

ATM 방식이 장점은 망의 자원을 효율적으로 사용하고 다양한 서비스를 유연하게 지원할 수 있다는데 있다. 그러나 이러한 장점이 충분히 살리려면 트래픽 제어 및 체증 제어의 문제가 해결되어야 한다.

많은 트래픽 제어 방법들이 기존의 패킷망을 중심으로 발전되어 왔으나 이들은 다음과 같은 이유들로 인해 ATM 망에는 적합하지 않은 것으로 알려져 있다(이병기, 1996).

- ATM 망에는 셀들이 크게 다른 다양한 서비스들이 공존하게 된다.
- 하나의 연결에도 서로 다른 통계적 특성을 갖고 상이한 서비스 품질을 요구하는 트래픽이 여러개 존재할 수도 있다.
- 전파 속도는 일정한 데 비하여 전송 속도는 계속 높아지므로 윈도우 방식의 흐름 제어가 큰 효과를 내기 어렵다.
- 현존하는 서비스들은 질적, 양적으로 다른 서비스 품질을 요구하고 있으며, 앞으로 또 새로운 형태의 QoS를 요구하는 서비스들이 출현할 것이다.
- 실시간 서비스가 B-ISDN의 주된 서비스로 부각됨에 따라 최대 지연, 셀 지연 변이 등 지연과 관련된 성능 지수의 중요성이 증대하였다.

ATM 망에서는 Fig. 2-1과 같은 다양한 트래픽 특성, 멀티미디어 소스와 같은 매우 버스티한 트래픽 소스 그리고 고속의 전송율로 인하여 트래픽 제어에 많은 어려움이 있다(Berger 등, 1991).

ATM망의 대부분 트래픽 소스들은 매우 버스티하다. 만일 버스티한 트래픽 소스들이 동시에 최대비트율(Peak Bit Rate)의 트래픽을 생성한다면 망에는 일시적인 밀집(congestion)현상이 발생한다.

현재 ITU-TS에서 규정하고 있는 B-ISDN access 속도는 155Mb/s와 600Mb/s이다. 그리고 이것은 고속 채널(high speed channel)에서 셀 하나의 스위칭 속도는 각각 $3\mu\text{s}$ 와 $0.9\mu\text{s}$ 의 고속 전송율을 가진다. 이로 인하여 멀티미디어 소스는 매우 짧은 기간에 near-peak rate의 셀을 생성할 수 있다(Milena Butto 등, 1991).

ATM 망의 최적 설계를 위해서는 제공되는 다양한 트래픽들에 대한 정확한 특성 분석 및 모델링이 요구되며, 이는 보다 정확한 망성능 평가와 트래픽 제어를 가능하게 한다. 따라서, ATM 트래픽 특성을 충분히 반영할 수 있고, 망성능에 대한 수학적 해석이나 시뮬레이션에 적합한 모델링 연구가 요구되고 있다.

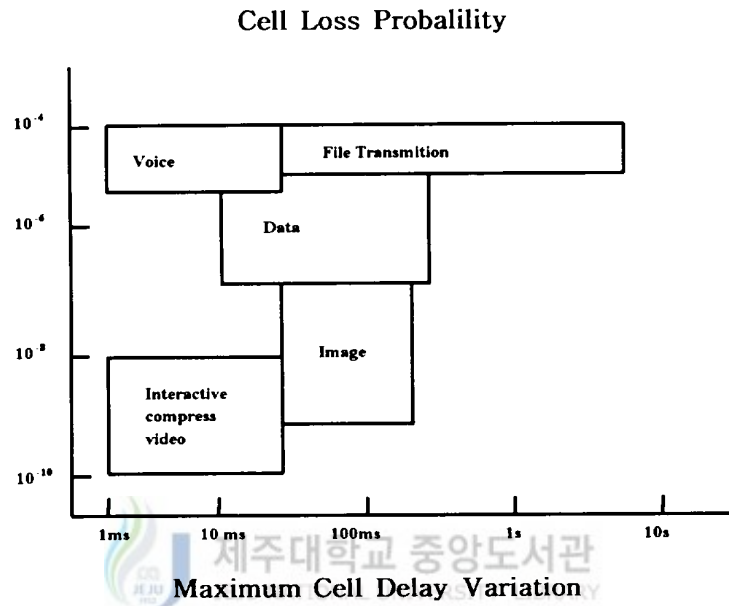


Fig. 2-1 ATM Traffic Performance Requirements

ATM망에서의 트래픽 모델링은 기존의 패킷교환망에서의 모델링과 유사하나 몇 가지 차이점이 있다.

첫째, 기존의 패킷교환망은 단일 매체 서비스 망인데 비하여 ATM망은 다중 매체 서비스 망이다. 따라서, ATM망에서는 데이터, 음성, 비디오 등의 다양한 정보원에 대한 모델링 뿐만 아니라 통합 트래픽원에 대한 모델링이 요구된다.

둘째, 패킷교환망에서 패킷은 임의의 시간에 발생할 수 있으나 ATM망에서는 셀

이 이산적인 시간에 발생한다. 따라서, 기존의 패킷교환망에서의 트래픽 모델링은 이러한 셀 발생 형태를 표현하는 데는 부적합한 면이 있다. 특히, 비디오와 같은 멀티미디어 소스는 Fig. 2-1에서 보는 바와 같이 10^{-8} 에서 10^{-11} 의 아주 적은 손실율과 실시간의 전송을 가능케 하는 트래픽 제어 알고리즘이 필요하다. 각각의 서비스 품질(QoS)은 여러 종류로 분류하고 각 클래스에 대해서 고유의 트래픽 특성을 부여한다. 이 서비스의 특성을 만족하는 트래픽은 지연에 민감한 것과 손실에 민감한 것으로 구분된다. 그러므로 트래픽 특성을 만족시키기 위해서 우선순위 제어가 필요하다(ITU-T, 1992). ATM 서비스에 다중 등급을 제공하기 위해 서비스 종류 사이와 종류 안에서 우선순위를 사용한다. 여러 서비스의 우선순위 레벨을 결정하기 위해 셀 폐기와 스케줄링 동안 적절한 방법으로 우선순위화된 셀들을 처리해야 한다. 폐기 우선순위는 버퍼 오버플로우가 발생할 때 버리는 셀들을 결정한다(강인곤 등, 1995).

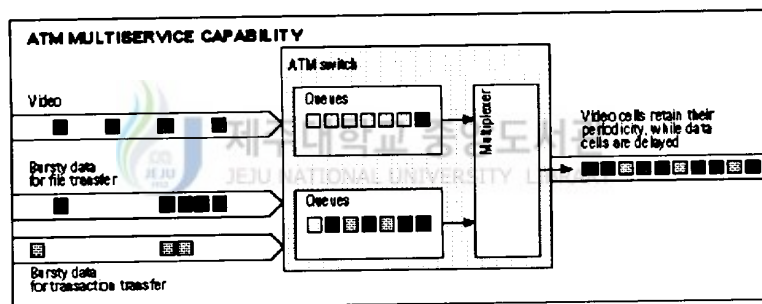
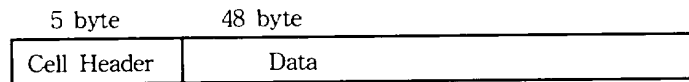


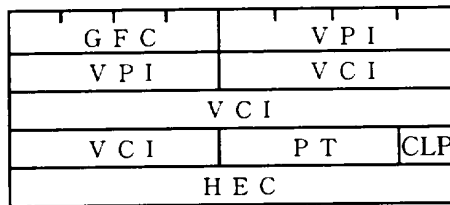
Fig. 2-2 ATM Multiservice Capability

2. ATM 셀의 구조

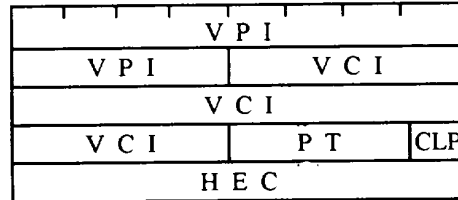
ATM은 고정길이 패킷을 전송단위로 사용하는데, 셀은 5 바이트의 헤더부분과 48 바이트의 페이로드로 구성되어 있다. ATM에서는 송신측의 단말에서 수신측의 단말로 보내는 정보를 48바이트씩 나누고 수신측 레이블(Label)정보에 5바이트의 헤더를 덧붙여, 합계 53바이트의 고정길이를 가진 셀(Cell)이라는 정보를 보낸다.



a) ATM Cell structure



b) Header Structure in UNI



c) Header Structure NNI

- GFC: Generic Flow Control : 사용자로부터 망으로의 트래픽 양 조절
- PT: Payload Type : 사용자 셀 여부 또는 셀의 체중 경험 여부 표시
- VPI: Virtual Path Identifier : 가상 경로 식별자
- CLP: Cell Loss Priority : 셀의 포기순위표시 1bit, 체중시 clp=1인 셀이 제거됨
- VCI: Virtual Circuit Identifier : 가상 교환 식별자
- HEC: Header Error Control : 셀 헤더에 대한 CRC(cyclic redundancy check)
- UNI: User Network Interface : 사용자-망 인터페이스
- NNI: Network Node Interface : 망간 인터페이스

Fig. 2-3 ATM Cell Structure

ATM 망 내로 보내진 셀은 수신처 레이블 정보에 따라 하드웨어에서 고속으로 교환한다. 즉, 셀의 레이블 정보에 따라 스스로 가고자 하는 통신 경로를 선택하는 자기 라우팅(Self Routing)을 한다. 그래서 목적한 수신측 단말에 도착한 셀은 레이블 검사를 받고 원래의 정보로 구성된다. ATM 망에서는 통신중 단위 시간당 송신

셀 수를 변화시켜 송신 정보량을 자유롭게 바꿀 수 있다. 통신 채널에 필요한 대역을 마음대로 할당할 수 있으며, 사용자 셀과 같은 수신처 레이블 정보를 가진 보수 운용 관리 OAM(Operation, Administration and Maintenance)셀을 내보냄으로서 같은 통신 채널내의 고장 등을 감식하거나 통지할 수 있다. Fig. 2-4은 정보전달구조를 나타내고 있다.

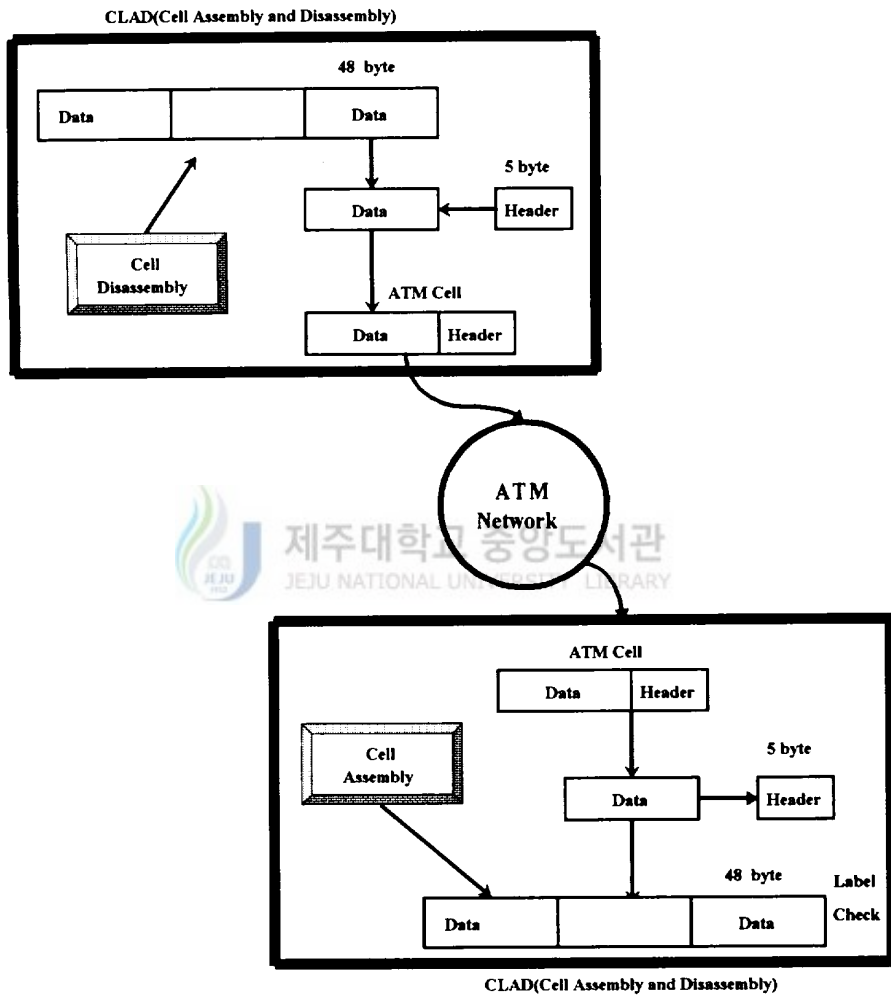


Fig. 4 Information Transfer Structure .

3. 트래픽 제어 기법

ATM 망에서는 트래픽 제어율 통해 효율적이고 품질 좋은 네트워크를 실현하고 있다. Fig. 2-5는 ATM교환기에서 필요한 제어를 나타내고 있다.

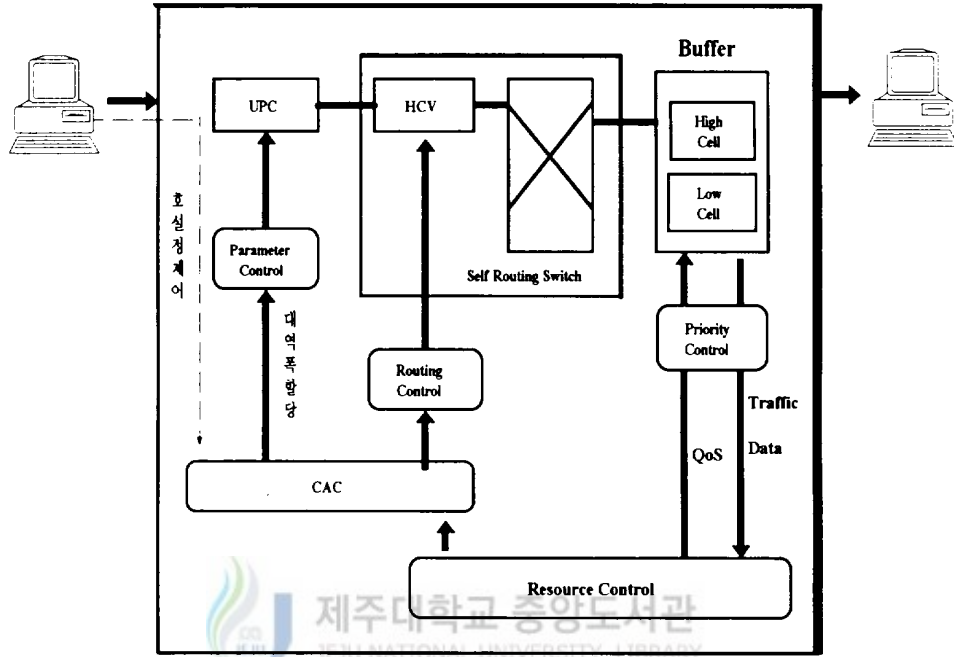


Fig. 5 Control Scheme in ATM Network

ATM은 전송하고자 하는 정보를 셀(Cell)이라는 고정 길이의 정보 단위로 분할 또는 조합하여 여러 정보원으로부터 발생되는 셀을 보낼 필요가 있을 때에만 통계적으로 다중화하여 전송하기 때문에 대역 사용에 있어 효율성을 기할 수 있게 된다. 반면에 이러한 통계적 다중화 및 ATM 망에서의 불확실한 트래픽 발생 형태로 인해 망이 폭주 상태에 빠질 수가 있으며, 따라서 ATM 망에서는 폭주 상태를 사전에 예방하거나 폭주 상태에서 신속하게 회복하기 위한 새로운 형태의 트래픽 제어

기능이 요구된다(ITU-T, 1992).

ATM 트래픽 제어 기능은 망이 폭주 상태에 빠지는 것을 사전에 예방하기 위한 폭주 예방 기능과 망이 폭주 상태에 빠진 경우 폭주 상태에서부터 신속히 회복하기 위한 폭주 회복 기능으로 분류할 수 있다. International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector(ITU-TS)의 권고안 I.371에는 폭주 예방 기능으로 연결 수락 제어, 사용 파라미터 제어, 자원관리, 우선제어 및 트래픽 세이핑 기능을 정의하였으며, 폭주 회복 기능으로는 선택적 셀 폐기 및 Explicit Forward Congestion Indication(EFCI)을 정의하고 있다(ITU-T, 1992).

ATM 망에서 트래픽에 대한 각종 제어를 살펴보면 다음과 같다.

1) 연결 수락 제어(CAC : Connection Admission Control)

연결 수락 제어는 새로운 호의 설정 단계에서 사용자가 신고하는 자신의 트래픽 특성값과 서비스 품질 기준, 그리고 망의 상태를 바탕으로 새로이 연결을 요구하는 호와 이미 서비스중인 호 모두의 서비스 품질을 만족하고 동시에 망 자원을 효율적으로 사용할 수 있도록 호의 수락 여부를 결정하는 것이다. 즉, 어느 지점에서 어느 지점까지 어떤 대역의 연결이 어떤 품질로 통신할 것인지의 허가 여부를 결정하는 제어이다. 예를 들면, 네트워크가 혼잡한 경우에는 대역을 줄여 받거나 접수허가를 하지 않거나 하는 등이다. 즉 현재의 사용상황은 트래픽에 기초하여 리소스(resource)제어부에서 파악하고, 접수가 허가되면 리소스 제어부에서 이 커넥션에 비어 있는 가상 패스 식별자(VPI)를 부여한다. 이때 사용 상황에 신고 트래픽을 가산해보고 패스의 대역을 초과하지 않으면 접수를 허가한다(강상혁 등, 1992).

연결 수락 제어에서 호 연결시 트래픽 특성을 효과적으로 나타낼 수 있는 트래픽 특성 변수의 설정과 호의 수락 판정 알고리즘이 중요하다. 연결 수락제어에서 고려되는 서비스 품질 요소로는 셀 손실율, 전송지연이나 지연변동 등을 들 수 있는데

여기서 전송지연이나 지연변동 등은 적절한 우선순위 제어와 버퍼링 시스템에 의하여 해결 될 수 있다고 보며, 대부분의 연구가 셀 손실에 초점을 맞추어 연구하였다. 또한, 많은 문헌에서 트래픽을 버스티 계층에서 분석하여 확률적인 셀 손실율의 값을 구하였다. 그 중 기본적인 방법, 호원의 트래픽을 On/Off 모델로 가정하여 최대 비트율(PBR), 평균 비트율(ABR)일 경우 버스티 지수 B를 다음과 같이 구한다(강상혁 등, 1992).

$$B = PBR / ABR$$

이때 균일한 트래픽을 가정하고 일정한 전송 용량을 가진 전송선에서의 호 수용 문제에 대하여 다음과 같은 해석을 전개한다. 즉, N개의 연결중인 채널중 버스티 구간에 있는 채널의 수가 k개일 확률

$$P_k = nC_k \left(\frac{\gamma_b}{\gamma_a + \gamma_b}\right)^k \left(\frac{\gamma_a}{\gamma_a + \gamma_b}\right)^{(n-k)} \text{를 구하고,}$$

셀 손실과 관련된 한가지 제어기준으로서 다음 식을 만족할 때 호를 수락하는 방법이 제안되어 있다.

$$\sum_{k: ABR/C < \theta} P(n, k) < 1 - \varepsilon$$

여기서 θ 와 ε 은 주어진 품질 기준과 관련된 파라미터이며, C는 출력 대역폭이다. 또한, 셀 손실율의 확률적인 값 CLR을 다음과 같이 구하여 주어진 기준과 비교하는 방법(Saito, 1991)에서 CLR은

$$CLR = \sum_{k=0}^n \left[\frac{kPBR - C}{nABR} \right]_+ p(n, k)$$

연결 수락제어에 있어서 어떠한 특정한 트래픽 모델링에 의존하여 얻어진 규칙을 가지고 제어할 때의 문제점은 트래픽 상황의 예측하지 못하는 변화에 적응하는 데 있어서 제한이 있다(강상혁 등, 1992).

2) 파라미터 제어(UPC/NPC : Usage/Network Parameter Control)

사용상황 감시제어는 사용자 망 인터페이스(UNI)에서 수행되는 UPC(Usage Parameter Control)과 망과 망사이(NNI)에서 수행되는 NPC(Network Parameter Control)가 있다. UPC/NPC는 각각 서로 다른 인터페이스에서 트래픽 양(traffic volume)과 경로의 적합성(cell routing validity)에 따른 트래픽을 감시, 제어하기 위하여 망에 의해 행해지는 모든 기능의 집합으로 정의된다(강상혁 등, 1992)(박홍식, 1993)(박찬열 등, 1995).

사용상황 감시제어는 사용자의 악의에 의한 행동이나 잘못된 행동으로부터 망자원을 보호하기 위하여 필요하며 주요 목적은 사용자와 망 사이에 약정된 트래픽 표시자를 위반하는 트래픽에 대해서 적절한 조치를 행함으로써 망자원 보호를 통해 망의 효율을 높이는 데 있다. 사용상황 감시제어에 필요한 트래픽 표시자로는 최대 셀율(PBR), 평균셀율(ABR), 버스트니스(burstiness), 최대 셀 발생 구간(peak duration), 그리고 소스 형태(source type)가 있으며, ITU-T에서는 최대셀율을 제외한 다른 트래픽 표시자들에 대해서는 정의되어 있지 않다(ITU-T, 1991).

연결 감시는 UNI 혹은 망 접면(NNI)을 지나가는 모든 연결에 대해서 적용되며, UPC/NPC는 사용자 VCC/VPC 및 신호용 가상 채널에 적용된다. UPC/NPC의 감시 내용으로는 VPI/VCI값의 유효성을 확인하고, VP 및 VC 에 대한 트래픽 량을 감시하며, 접속 링크의 전체 트래픽량을 감시하는 것 등이다. 따라서 사용자 변수 제어(UPC) 알고리즘은 불법적인 트래픽 상황을 감지하는 능력, 확인된 변수의 제한 범위 초과여부를 변별하는 능력, 변수 사용 위반에 대한 신속한 대응 능력, 구현의 용이성 등을 구비하여야 한다. 이때 사용자 변수는 연결 수락 제어에 사용했던 트래픽 특성 변수들의 전부 또는 일부가 될 수 있다. UPC/NPC는 망 내에서 이루어지는 것이 원칙이고, 트래픽 변수는 될 수 있는 대로 신호원에 가까운 곳을 기준으로 정의한다. 그런데 신호원에서 나온 정보가 셀로 패킷화되면서 부터 각 셀에

있는 정보가 겪는 지연이 달라지게 된다. 이 지연은 각 셀이 GFC 프로토콜로 다중화되는 것을 시초로 하여 UPC가 이루어지는 지점까지 가는 과정에 여러 차례 다중화되면서 변하게 되며, 이것을 셀 지연 변이(CDV: Cell Delay Variation)라 부른다. 그러므로 신호원에서 나올 때는 셀이 호 설정시 결정된 사항에 어긋나지 않으면서도 UPC가 이루어지는 곳에 도착할 때에는 어긋날 수가 있다. 이러한 셀 지연 변이를 감안하여 모든 트래픽 제어 기능들이 이루어져야 한다.

이와 같은 대표적인 감시 알고리즘은 다음과 같다.

▶ Leaky Bucket Algorithm(LBA)

Leaky Bucket 알고리즘은 각각의 가상 채널에 대해 채널 계수기와 이를 위한 트래픽 임계치 및 평균 셀 율에 의한 계수 증가율로서 구성되며 이때 가상 채널의 계수기는 각각의 트래픽에 따른 평균 셀 율로 그 임계치까지 증가되고 셀 도착시는 1씩 감소하게 된다. 따라서 계수기 값이 0으로 되는 경우는 협상된 평균 셀 율을 위반한 것으로 간주되어 도착 셀들을 태그 하거나 폐기한다. 그 제어과정은 Fig. 2-6와 같다. 여기서 입력 셀들은 토큰 풀(token pool)에 호 접속시 협상된 평균 셀 율에 따른 토큰이 있을 경우에만 처리되어 망으로 전송된다. 그러나 이와 같은 Leaky Bucket 알고리즘은 가변 비트율 트래픽에 대한 계수기 운용의 복잡성, 트래픽의 버스티한 특성에 따른 Bucket 크기 증가 및 이에 따른 하드웨어 구현의 어려움, 입력 버퍼에서의 셀 지연 야기, 고정된 leaky rate에 따른 대역 이용의 비효율성과 이에 따른 통계적 다중화에의 효과 감소 등의 문제점을 안고 있다(Wallmerier 등, 1992)(Gallassi 등, 1991)

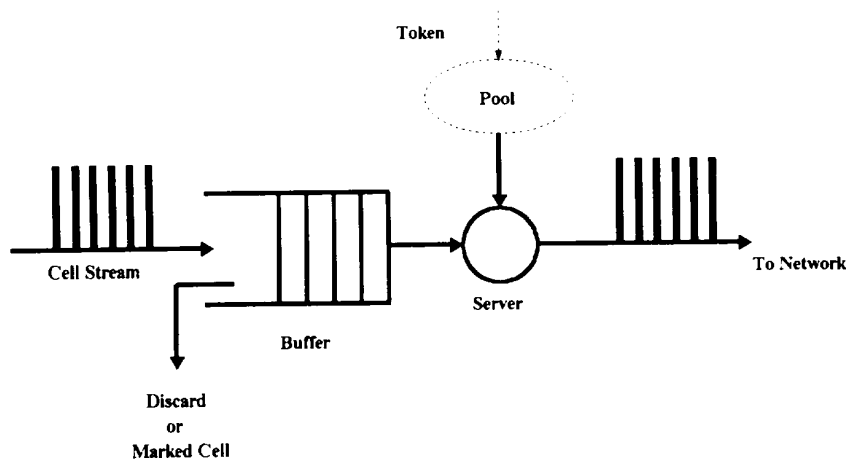


Fig. 2-6 Control scheme of Leaky Bucket algorithm

▶ Virtual Scheduling Algorithm(VSA)

Fig. 2-7에서는 VSA를 보여주고 있는데, T 는 호 설정시 사용자와 망 사이에 협상된 셀간 최소 전송간격을 의미하고, τ 는 셀 지연 변이에 의한 기능저하를 개선하기 위해 도입된 허용오차를 나타낸다. 셀 도착시간 t 는 기준선인 이론적 셀 송출 시간 TRT 에 의해 관리되며, t 값이 $X = TRT + T$ 보다 크면 셀이 통과되고, 그렇지 않은 경우에는 t 값에 허용오차 τ 를 더한 값이 X 보다 작을 때에만 그 셀은 폐기된다.

Guillemin 등은 VSA에 기초하여 Cell Spacing Algorithm을 도출하였는데, 여기에서 사용한 세 가지 시간 변수는 다음과 같다(Guillemin, 1992).

- ① TRT : cell Theoretical Re-emission Time. 실수 변수, 버퍼링 될 때 연속된

두 셀들 사이의 Spacing 값을 보장하기 위해 셀을 TRT 전에 재송출 할 수 없다.

- ② ART : cell Actual Re-emission Time, 정수 변수, 셀의 재송출 시간이 TRT 전에 스케줄링 되어 있는 경우에 ART를 사용한다. 이 때 ART는 TRT 다음에 재송출 가능한 시간이다. 또한 ART는 실제로 슬롯과 같은 매체를 통해 전송되기 때문에 정수 변수로 표기된다.
- ③ LRT : cell Last Re-emission Time, 실수 변수, Space-Controller의 연결 동작을 위한 가변수이다. Spacing Algorithm에 의해 TRT값이 할당된다.

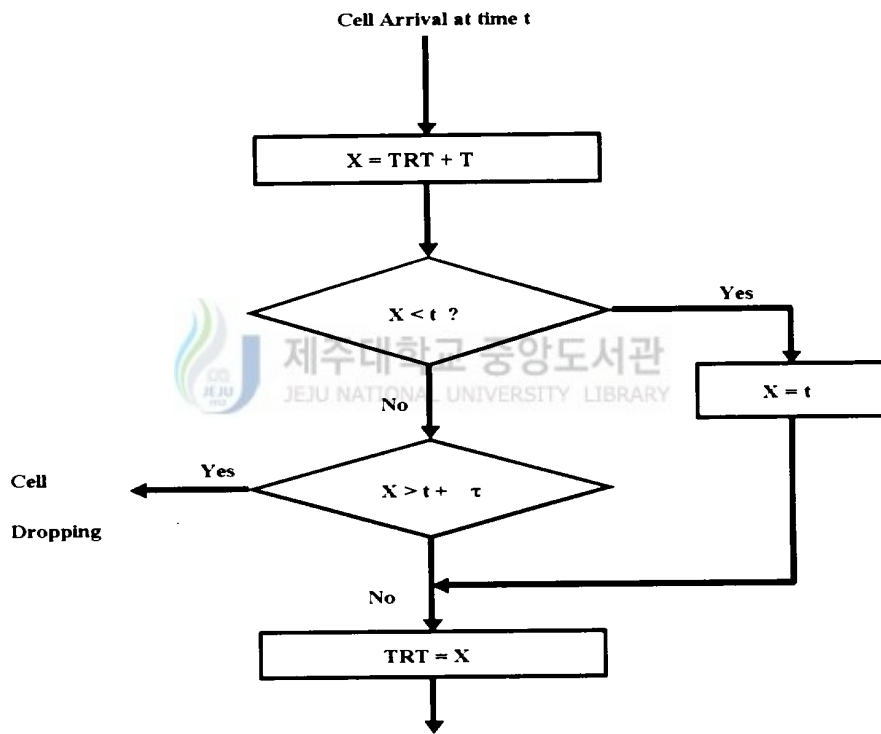


Fig. 2-7. Virtual scheduling Algorithm

망으로 진입하는 각 셀들은 Spacing Algorithm 내의 Spacer-Controller에 의해 구해진 두 개의 연속된 셀 사이의 최소 Spacing 값과 함께 버퍼링 된다. 각 가상 연결은 할당할 수 있는 버퍼의 크기가 제한되어 있기 때문에 자원이 협상된 최대 셀 전송속도를 만족하지 못하거나 Jitter의 영향이 매우 클 경우 도착한 셀 들은 버려진다. 버퍼링시 충돌이 일어날 경우 TRT는 다음 동작을 하지 않기 때문에 ART가 그 다음의 가능한 슬롯과 통신함으로써 연결기능을 수행한다. Cell Spacing Algorithm은 시간변수로 TRT 하나만 사용하여 감시 기능을 수행하는 VSA에 몇 가지 변수를 추가함으로써 감시의 성능을 개선한 알고리즘이다(Guillemin, 1992).

▶ Jumping Window(JW)

JW 메카니즘은 일정 기간동안 발생한 셀의 개수를 제한하는 방법으로서, 이 일정 기간을 윈도우 크기(window size : T)라 하며, T 시간 이후에 새로운 윈도우가 시작되는 메카니즘을 말한다. 즉 새로운 윈도우는 바로 이전 윈도우의 마지막에서 다시 시작하고, 계수기는 초기치 0에서 재시작 한다. 따라서 셀이 도착할 때마다 셀 계수기 값은 0에서 윈도우 크기까지 변화한다.

이 메카니즘을 구현하기 위해서는 윈도우의 크기를 나타내는 시간 측정기와 윈도우 기간에 발생하는 셀의 개수를 세는 계수기가 필요하다. 윈도우 기간 내에 셀이 발생할 때마다 계수기를 1씩 증가시키고 윈도우가 끝나면 계수기의 값을 0으로 하는 새로운 윈도우가 시작된다. 최대 허용 셀 개수를 초과하여 발생하는 셀은 폐기하고, 윈도우 크기와 윈도우 내에 발생하는 최대 허용 셀 개수를 나타내는 한계 값들로서 소스 트래픽을 감시한다. 한계 값은 하나의 윈도우 크기에서 발생한 최대 셀의 개수 N을 의미한다. 이밖에도 윈도우의 첫 부분을 도착하는 시간과 동기시켜 윈도우가 시작하도록 하는 TJW(Triggered JW) 메카니즘도 있다(Rathgeb, 1991)(Shimokoshi, 1993)(Castelli, 1992).

▶ SlidingWindow(SW)

SW 메카니즘은 동시에 각각의 VP/VC에 대해서 다리 위에 동시에 있을 수 있는 셀의 최대갯수가 제한되어 있기 때문에 “위험한 다리(dangerous bridge)”라고도 부르며 일정한 크기(T)의 윈도우가 시간축을 따라 이동하며, 셀이 발생할 때마다 계수기를 1씩 증가시키고 현재 기준으로 T 이전에 발생했던 셀이 나타나면 계수기를 1씩 감소시킴으로서 기간 T 동안 얼마나 많은 셀이 통과되었는지 계수기의 값을 통해 알 수 있다. T 기간동안 발생할 수 있는 최대 허용 셀 개수를 N이라 하면 계수기의 값이 N일 때 발생한 셀은 폐기 또는 위반 표시를 함으로써 트래픽을 감시하는 방법이다. SW 메카니즘은 T 기간동안 발생한 셀의 개수와 각 셀의 도착시간에 대한 정보를 기억하고 있어야 하므로 JW 메카니즘보다 하드웨어 구현이 어렵다. SW의 카운터 범위가 0부터 N까지 일 때, SW값과 N값 보다 더 큰 값을 상한선으로 한 일반화된 SW 알고리즘의 성능을 비교 분석한 결과, 일반화된 알고리즘의 셀 처리율이 더 개선된 결과를 얻었다(Lague, 1992)(Rathgeb, 1991).

▶ Exponentially Weighted Moving Average(EWMA)

EWMA 메카니즘은 JW 메카니즘과 같이 연속된 일정간격 크기의 윈도우를 사용한다. JW 메카니즘에서는 각 윈도우에서 허용되는 최대 셀 개수가 변하지 않는 것에 반해, EWMA 메카니즘에서는 현재 윈도우에서 허용되는 최대 셀 수가 이전 윈도우에서 발생한 셀 수에 따라 변하게 된다. 즉, 이전 윈도우에서 셀이 허용 개수보다 작게 발생하면 현재 윈도우에서의 최대 허용 셀 개수는 적절한 계산에 의해 구해진 값만큼 감소하게 된다. JW에서의 N은 각 윈도우 내에서 수락된 셀들의 평균 개수에 대한 함수로 나타내는 반면, EWMA는 지수적 가중 함수로 표현되어진다. EWMA 메카니즘의 성능은 event-by-event 시뮬레이션 등의 방법을 사용하여 평

가할 수 있다(Rathgeb, 1991).

▶ Peak Counters(PC)

PC 메카니즘은 평균 계수기와 최대 계수기로 구성된다. 평균 계수기는 평균 계수기 기준값(T_a), 최대값(Q), 그리고 감소율(B_a)을 이용하여 입력 소스 트래픽의 평균 비트율을 감시한다. 최대 계수기는 최대 계수기 최대값(T_p)과 감소율(B_p)을 사용하여 평균 계수기 값이 평균 계수기 기준값 이상되는 셀 수를 나타낸다. 셀이 발생하였을 때 평균 계수기의 값은 T_a 보다 작으면 평균 계수기의 값을 1씩 증가하며, T_a 보다 크면 최대 계수기의 값을 1씩 증가한다. 또한 셀 발생시 평균 계수기의 값이 Q 이거나 최대 계수기의 값이 T_p 일 경우 이 셀은 폐기된다(Hsing, 1993)(Monteiro, 1991).

3) 폭주제어

광범위한 의미에서 볼 때, 폭주제어란 사용자가 신고치를 잘 준수하면서 트래픽을 보내고 있는데도, 망 관리의 실수로 망의 일부에 과도한 트래픽 집중 현상이 일어나면서, 보장되어야 할 품질요구조건(QoS)을 만족시키지 못하는 현상이라 말할 수 있다.

이러한 폭주현상이 일어나는 원인은 과도한 호의 수락, 수락된 호들의 트래픽 신고치를 지키지 않은 행위, 또는 확률적으로 야기될 수 있는 버스트들의 집중현황 등을 들 수 있으며, 그 외에 특정 링크의 결합에 의해서도 폭주가 발생할 수 있다.

ATM 망에서의 폭주 제어는 다음과 같은 성질이 요구된다(Saito 등, 1991).

첫째, 폭주제어가 트래픽 흐름에 병목 현상을 일으키지 않도록 충분히 빨리 동작하기 위해서, 가능한 단순해야 한다.

둘째, 요구하는 대역폭과 서비스 품질이 서로 다른 다양한 호들을 수용해야 한다.
셋째, 아직 그 특성을 모르는 미래의 서비스에 대해 서로 적용될 수 있는 적응성과 유연성이 있어야 한다.

ATM에서의 폭주제어로 많은 방법들이 연구되고 있고 본 논문에서는 크게 세 가지, 반응제어(reactive control)와 예방제어(preventive control), 우선순위 제어(priority control)로 나누어 그 동안의 연구 결과를 살펴보기로 한다(강상혁 등, 1992).

폭주제어는 통계적 다중화 기법을 사용하는 ATM 망에서 사용자의 비스티한 특성으로 인하여 망 노드의 과부하 상태가 초래될 수 있으며 이를 제어하기 위해서는 셀 헤더의 PTI(Payload Type Identifier)를 이용하여 망내 폭주 상태를 나타낸다. 폭주제어 방법으로 폭주 상황을 연결 수락 제어(CAC)에 반영하는 방법과 사용량의 파라미터의 매개변수 값을 변경하는 방법 등이 고려된다.

예를 들면, 먼저 새로운 커넥션의 접수를 중지하는 동시에 우선제어에 의해 될 수 있는 대로 중요한 셀에는 영향을 끼치지 않도록 한다. 또 라우팅 제어에 의해 될 수 있는 대로 폭주하고 있는 경로를 사용하지 않도록 다른 셀을 우회시키고 사용자에게는 폭주를 통지하여 될 수 있는 대로 사용을 피하도록 권한다. 최악의 경우에는 UPC 등에 의해 사용자 트래픽 규제나 절단을 행한다. 이들 절차에 의해 ATM 네트워크는 폭주로부터 회복한다.

① 반응제어(Reactive Control)

반응제어는 폐루프 제어방식(closed loop scheme)이라고도 한다. 폐루프 제어방식이란, 기본적으로 피드백과 같은 방식으로 망의 상황을 사용자가 적절한 행동을 취하도록 하는 방법이며, 이와 반대되는 개념으로 개루프 제어방식(open loop Scheme)으로 예방제어를 일컫는다(Woodruff 등, 1990).

사용자에게 망의 상황을 알리는 방법은 묵시적 통지(implicit notification)와 명시적 통지(explicit notification)의 두 가지로 나뉘어진다(Osama 등, 1991). Implicit notification은 호원이 목적지로부터 되돌아오는 피드백 신호에 근거하여, 자신의 가상 경로상의 폭주 여부를 판단하는 것으로, 망이 관여하지 않은 방법이며, explicit notification은 망의 노드가 노드의 사용도(utilization)나 관련된 큐의 길이를 일정 시간 간격동안마다 관측함으로써 폭주 여부를 결정하는 방법으로 폭주시에는 이를 호원에 알리는 방법인데, 전송지연 측면에서 explicit notification이 더 적합하다.

Explicit notification 방식에서 망의 상태를 알리는 방법으로는 FCN(Forward Congestion Notification)과 BCN(Backward Congestion Notification)이 있다(Eckberg, 1991).

FCN은 폭주를 알리는 메시지로 인한 오버헤드를 없애기 위해 노드를 지나는 셀의 헤더에 FCN indicator를 세트해서 보내는 방식이며, BCN은 망 관리용 셀(OAM cell)을 이용해서 각 노드와 사용자에게 알리는 방식이다.

ITU-TS(구 CCITT) 권고 초안에서도 explicit forward congestion indication을 수용하고 있다. 권고 초안에서는 payload type에 congestion experienced 셀을 정의하고 있으며, 이런 셀 헤더구조를 이용하는 폭주통지 체제(congestion notification scheme)를 정의하고 있다. 최종 단말은 이 표시에 의거해서 폭주 동안에는 낮은 셀율(cell rate)을 내도록 하는 프로토콜을 채택할 수 있다. 이와 비슷한 개념으로 FCN 방식을 제안했다(Makrucki, 1991)(Osama, 1991).

Makrucki 방법의 주된 개념은 망이 비어있는 대역을 최대한 활용하자는 것으로 각 VC당 할당된 대역폭을 망의 상황에 따라 동적으로 변화시켜 망이 idle하면 UPC에 의해 태그된 초과 셀을 보내고, 폭주시에는 이를 우선적으로 폐기시키도록 했다. 그래서 셀 전송 속도를 일정 구간 내에서의 망 상황에 따라 비례적으로 변화시켰다. 이 방법이 문제점은 필요 없이 신고치 이상의 셀을 내보낼 수 있도록 하여 폭주가 생길 가능성이 더 높아진다는 것이다. 그리고 Osama Aboul-Maged는 단말간

의 윈도우 흐름을 제어하고 윈도우 크기를 망 상태에 따라서 가변 시켰다.

그러나 반응제어는 ATM과 같은 고속망에서 비교적 큰 전송지연 때문에 충분한 역할을 하지 못하므로 예방제어와 결합해서 사용하여야 하며, 예방제어를 하더라도 생길 수 있는 폭주 상태에 대처하기 위한 최후 수단으로 사용되어야 한다.

② 예방제어(Preventive Control)

미리부터 망이 폭주 상태에 가지 못하도록 방지하는 것으로 ATM 망에서는 반응제어가 큰 전송지연과 실시간 트래픽에 부적합한 점을 갖기 때문에 예방제어는 B-ISDN에서의 폭주제어에서 반응제어보다 더 효과적이며 비중이 크다. 예방제어로는 개루프 제어(open loop scheme)라고 하는데, 호 레벨 제어와 셀 레벨 제어가 있으며, 연결 수락제어는 호 레벨 제어에 속하며, 폴리싱(policing)은 셀 레벨 제어에 속한다.

호 레벨 제어는 연결 수락 제어를 일컫는데, 폭주제어의 측면에서 보면 연결 수락 제어는 망이 폭주에 이르지 않도록 호 수락을 제어하는 것으로 볼 수 있다. 이를 위해 적절한 트래픽 표시자의 선정과 그것이 망의 성능에 주는 영향에 대한 평가가 필요하다.

셀 레벨 제어는 ATM 레벨제어라고도 하는데 감시 제어가 여기에 속하며 속도제어(smoothing)도 포함된다. 감시제어는 사용자가 트래픽 신고치를 준수하도록 하여 망의 폭주를 막는다. 이때 위반한 초과 셀은 폐기하거나 태그를 붙여 망에 보낼 수 있다. 태그된 셀은 폭주 시에 우선적으로 폐기시킨다.

일반적으로 트래픽이 버스티할수록 그것에게 할당되어야 할 등가 대역폭은 커져야 하기 때문에 링크의 효율이 떨어지게 된다. 그러므로 속도 제어를 통해 입력 트래픽을 평활화해서 버스트 특성을 줄일 필요가 있다. 속도제어의 기본 개념은 버퍼를 이용해서 평활 구간 T 동안에 r 비트의 전송까지를 허용하자는 것으로 감시제어

에서 제안되었던 jumping window나, triggered jumping window 방식에 의해서 구현할 수 있다(강상혁 등, 1991).

③ 우선제어(Priority Control)

폭주가 발생하면 셀 손실율이 커지고 전송지연도 커지게 된다. 그런데 B-ISDN에서는 각 서비스마다 요구하는 서비스 품질 수준이 다르므로, 이를 만족시키기 위해서는 폭주 시에 셀 손실률 요구치가 낮은 서비스에 속한 셀들을 우선적으로 폐기시키고, 전송지연 요구조건이 엄격한 서비스의 셀을 먼저 처리해 줄 필요가 있다. 그래서 우선순위 제어가 필요하게 된다(ITU-T, 1990)(박홍식, 1993).

우선순위 제어는 크게 두 가지로 나눌 수 있는데 스케줄링에 의한 시간 우선제어와 선택적 셀폐기에 의한 손실 우선제어가 있다.

손실 우선순위 제어는 폭주 시에 폭주상황을 벗어나기 위한 방법으로, 폭주 시에 낮은 우선순위 셀을 선택적으로 폐기하는 방법이다. 선택적 셀폐기 대상은 엄격한 셀 손실률 조건을 갖는 음성 셀(10^{-2})과 layered coding을 한 비디오 트래픽에서 덜 중요한 부분의 셀, 그리고 감시제어에서 위반 셀로 태그된 셀들이다. 호원에서 음성 셀에 우선순위를 정하는 방법으로는 embedded coding, even/odd sample 방법, 다중 에너지 레벨 검출 등이 있다(Goodman, 1980)(Jayant 등, 1981).

이렇게 해서 낮은 우선순위를 갖는 음성 셀은 폭주 시에 우선적으로 폐기되는데, 폐기시키는 방법 중에 대표적인 방법이 Push Out하는 방법이다. 우선순위 제어방법은 중요한 내용이므로 별도로 다루고자 한다.

4) 자원제어(Resource Control)

ATM 망의 자원은 전송, 스위치, 버퍼로 구성하고 이를 효율적으로 관리하여 사용자의 호 차단 확률을 줄여 서비스 품질을 향상시키고자 하는 것이다. 이와 같은

자원관리는 최초 연결시의 전송 대역폭의 할당과 서비스 과정 중에서 발생하는 추가 대역할당 문제를 다룰 수 있으며 이는 가상 채널(VC : Virtual Channel)과 가상 경로(VP : Virtual Path)에 기초한 기법을 사용함으로써 해결할 수 있다. 따라서 전송 노드에서의 처리가 줄게 되어 빠르고 효율적인 제어를 할 수 있다. 전송 노드에서는 단지 가상 채널 식별자(VCI : Virtual Channel Identifier)와 가상 경로 식별자(VPI : Virtual Channel Identifier)가 등록되었는지를 참조함으로써 빠른 경로 배정 기능을 수행 할 수 있게 된다. 대역폭 할당은 최대 할당이나 통계적 할당 방식을 채택할 수 있으나 입력 트래픽의 통계적 특성에 의하여 최적의 대역폭을 할당하는 통계적 할당이 바람직하다.

가상 채널의 형성은 최초의 호 접속 요구시 출발지와 목적지간의 가상 채널이 존재하지 않으면 가상 채널을 형성하고 그렇지 않은 경우에는 기존 채널의 대역을 검사하여 요구되는 서비스를 지원하기에 충분할 경우에는 접속을 허가하게 되고 충분치 못한 경우에는 가상 채널 접속 요구를 거부하게 된다.

5) 우선순위 제어(Priority Control)

ATM 교환기에서는 어떤 양 이상의 트래픽이 동시에 발생하면 버퍼에 들어갈 수 없기 때문에 셀폐기가 생긴다. 그런데 멀티미디어 통신에 있어서는 중요한 셀과 덜 중요한 셀이란 구별이 트래픽 클래스로부터 구별이 가능하여 사실상 셀폐기는 어느 것을 셀 손실로 할 것인가 하는 확실적인 문제로 되고 만다. 즉 우선순위 제어 기법은 통신상 중요한 셀과 중요하지 않은 셀을 구별해서 제어하는 방법이다 (Chipalkatti, 1989).

ATM망에서는 우선순위 제어 기법에 관한 연구는 현재까지 세 가지의 종류의 우선순위 제어 방식이 있다.

첫 번째, 짧은 지연시간을 요구하는 서비스에 높은 우선순위를 두는 즉, 큐에 대

기중인 트래픽의 전송 순서를 제어하는 시간 우선순위(time priority, 지연 우선순위) 제어 방식이다.

둘째, 적은 셀 손실을 요구하는 서비스에 높은 우선순위를 두는 즉, 큐에 도착한 트래픽의 우선순위에 따라 그 큐에 대한 접근을 제어하는 공간 우선순위(space priority, 손실 우선순위) 제어 방식이다.

세 번째, 시간 우선순위 제어 방식과 손실 우선순위 제어 방식을 복합적으로 적용한 복합 우선순위 제어방식이 있다.

① 시간 우선순위 기법

ATM 망에서 지연 시간은 셀 조립 시간(Cell Assembly Time), 전송 시간(Transmission Time), 전파 지연(Propagation Delay), 큐잉 지연(Queueing Delay) 등으로 구성된다. 이러한 지연 우선순위 제어에 있어서 셀 조립 시간과 전송 시간은 임의의 가상 연결에 있어서 망 부하에 의해 영향을 받지 않고, 각각의 셀에 대해 고정된 값을 갖는다. 또한 광대역망의 전송 속도는 초고속이기 때문에 큐잉 지연 시간은 전파 지연에 비해 작아서 큰 의미가 없고 셀들의 순서 유지가 보장되지 않으므로 고속의 ATM망의 환경에서 적용되기에는 많은 문제점을 내포하고 있다(ATM Forum, 1993)(Takagi 등, 1991). 시간 우선순위 제어 방법은 멀티미디어 트래픽을 그 특성에 따라 실시간 트래픽과 비실시간 트래픽 등과 같이 두 개 이상의 클래스로 분류하고, 각 클래스별로 서로 다른 큐에 저장하여 최적의 전송 스케줄링을 개발하는데 주안점을 두고 있다. 시간 우선순위 제어기법은 과잉 밀집이 발생하기 전에 미리 정해진 우선순위 기법에 따라 제어하는 방법이다. 따라서 미연에 과잉 밀집 상태를 회피하는데 그 목적이 있다. 이에는 정적 우선순위 기법과 동적 우선순위 기법으로 분류된다(정재호 등, 1996).

먼저 멀티미디어 트래픽을 실시간과 비실시간으로 분류하고, 이를 스케줄링 하는

정적 스케줄링(SPS : Static Priority Scheduling)기법이 있다(Hyman, 1991). 이 기법은 실시간 트래픽을 우선적으로 전송하고, 실시간 트래픽 큐가 비었을 경우에만 비실시간 트래픽을 전송하는 방법으로서, 스케줄링은 간단하지만 비실시간 트래픽에 대해서는 너무 많은 희생이 뒤따르는 문제점이 있다(정재호 등, 1996).

동적 우선순위 제어기법은 정적 우선순위 기법의 단점인 낮은 우선순위 셀(비실시간 트래픽)들의 QoS 저하를 막기 위해 유연한 제어방법을 고려하였다(Hyman, 1991)(Chipalkatti, 1991).

시간 우선순위 제어는 전송지연에 민감한 트래픽에 높은 우선순위를 주어 이를 원칙적으로 처리해주는 방법이다. 여기에는 고정 우선순위를 갖는 HOL(Head Of Line)우선순위 제어와 이의 단점을 보완한 유연우선순위 제어로서의 HOL-PJ(Head Of Line with Priority Jump), 그 외에 MLT(Minimum Laxity Threshold)와 QLT(Queue Length Threshold), MLF(Minimum Laxity First), EDF(Earliest Deadline First)등이 있다.

▶ MLT(Minimum Laxity Threshold)

MLT는 실시간 트래픽과 비실시간 트래픽을 입력 트래픽으로 한다. 큐에 대기하고 있는 실시간 셀의 최소 이완시간(minimum laxity time)¹⁾이 정해진 임계치 L보다 작거나 같은 경우에 실시간 트래픽을 우선적으로 전송하고, 그렇지 않으면 비실시간 트래픽을 전송하는 기법이다(Chipalkatti, 1991). 큐에 도달하는 실시간 트래픽 셀들에는 고정된 실시간 이완값인 τ 를 가지고 있으며 이 값은 만일 한 타임슬롯이 지날 때마다 하나씩 감소한다. 만일 τ 값이 0이 될 때까지 큐에서 방출하지 않으면 그 실시간 트래픽 셀은 폐기된다. 임계값 L과 이완값 τ 의 관계는 $0 \leq L \leq \tau$ 가 되며 이 값을 정하는 것이 두 트래픽 클래스간의 성능에 균형점(Tradeoff)이다.

1) 할당된 지연시간의 초과로 인하여 셀 손실이 발생할 때까지 남은 시간

▶ QLT(Queue Length Threshold)

큐에 대기중인 비실시간 셀의 수가 정해진 임계치를 넘을 경우에만 비실시간 트래픽을 전송하고, 그렇지 않으면 실시간 트래픽을 전송하는 기법이다.

Chipalkatti는 MLT와 QLT에 대한 분석적 모델을 개발하여 두 기법을 서로 비교하였는데, MLT와 QLT 모두 임계치를 적절히 선택하면 각각의 클래스에 대해 바람직한 성능을 얻을 수 있으나, 실제 구현상의 단순성으로 QLT가 더 현실적이라고 평가하고 있다(Chipalkatti, 1991).

MLT의 경우 실시간 셀마다 매번 이완시간(laxity time)을 계산해야 하므로 스위칭 노드에 막중한 프로세싱 오버헤드를 초래하여 ATM 환경에 적합하지 않다고 지적하고 있다.(Bae 등, 1990)

이상에서 언급한 SPS, MLT 그리고 QLT는 모두 멀티미디어 트래픽을 실시간과 비실시간으로만 분류하였기 때문에 동일한 실시간 트래픽이라 할 지라도 셀 손실 또는 지연 민감도가 서로 다른 트래픽을 동등하게 처리하게 되어 서비스 품질을 저하시킬 수 있다는 문제점을 안고 있다.



▶ HOL-PJ(Head-Of-the-Line with Priority Jumps)

지연 민감도에 따라 트래픽을 다중 클래스로 분류하여 각 클래스의 지연 요구사항을 만족시킬 수 있도록 스케줄링 하는 HOL-PJ(Head-Of-the-Line with Priority Jumps)를 제안하였다(Lim 등, 1990).

가장 짧은 지연을 요구하는 큐에 가장 높은 우선순위를 부여하여 해당 클래스를 서비스하고, 서비스 시간의 큐에 지정된 시간을 초과하면 그 다음 클래스를 서비스하도록 스케줄링 한다. 그러나 이 기법도 마찬가지로 큐에 도착한 셀마다 시간을 표시하여야 하고 할당된 마감 시간을 검사해야 하는 프로세싱 오버헤드가 발생한다(Hong 등, 1991).

▶ DMLT

MLT와 QLT의 문제점을 지적하고 이보다 개선된 DMLT(Double laxity threshold MLT)와 DQLT(Double Queue threshold QLT)를 제안하였다(Jong 등, 1994).

지연 민감도에 따라 분류된 두 클래스의 실시간 트래픽과 하나의 비실시간 트래픽 클래스를 대상으로 스케줄링 하였으며, 이 방식은 실시간 트래픽 최소 이완값이 모두 각각의 큐의 임계값보다 작은 경우 각각의 최소 이완값과 임계값의 비율(Ratio)을 구하여 작은 쪽이 트래픽을 서비스하고 모두 큰 경우 비실시간 트래픽이 서비스를 받는다.

▶ DQLT

하나의 실시간 트래픽 클래스와 지연 민감도에 의해 분류된 두 개의 비실시간 트래픽을 대상으로 스케줄링 하였으며, DMLT와 달리 비실시간 트래픽들이 모두 각각의 큐의 임계값보다 작은 경우 실시간 트래픽을 서비스하고 모두 큰 경우 비실시간 큐에 들어 있는 셀의 개수와 그 큐의 임계값의 비율을 구하여 큰 쪽의 트래픽에 서비스 우선권을 준다.

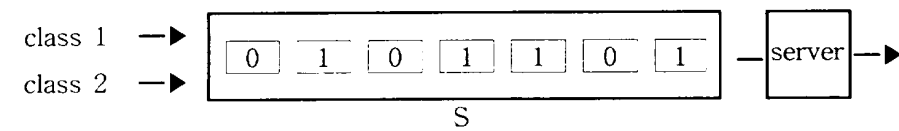
버퍼 내에서 지연 시간에 대한 높은 셀을 먼저 전송함으로써 전체적으로 우선 순위가 높은 셀의 큐잉 지연시간을 줄이는 방법으로 전송 지연에 민감한 트래픽에 높은 우선순위를 주어 이를 우선적으로 처리해주는 방법이다. 성능 최적화를 위해 지연 우선순위는 ATM망의 교환 노드에 각 트래픽 클래스들의 스케줄링 기법으로도 사용할 수 있다(Hyman, 1991).

② 손실 우선 순위 기법

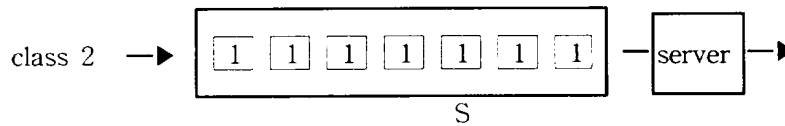
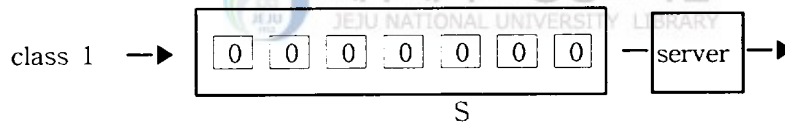
체증이 발생하지 않더라도 시행되어야 하는 손실 우선순위 제어는 체증시에 체증

상황을 벗어나기 위한 방법으로서 체증시에 낮은 우선순위의 셀을 선택적으로 폐기시킨다. 버퍼 액세스를 위해 제한된 버퍼 사용에 대한 우선권 결정과 망 폭주시 이를 해결하기 위해 위반 셀이나 낮은 우선순위 셀을 선택적으로 폐기시키는 방법이다.(R. Landry 등, 1994) 즉, 셀 헤더의 CLP(Cell Loss Priority)비트에 의해 결정되며, 이러한 기법으로는 PO(Push-Out)기법, RS(Route Separation)기법, PBS(Partial Buffer Sharing)기법 등이 있다(Kroner, 1991). ATM망과 같은 고속망에서 셀의 손실은 성능의 중요한 영향을 끼치며 특히 QoS문제의 중요한 요소가 된다.

Fig. 2-8은 ATM망에서 선택적 셀폐기를 위한 손실 우선순위 기법에 관한 시스템 모델을 나타낸 것이다. Fig. 2-8에서 0은 높은 우선순위 셀, 1은 낮은 우선순위 셀, S_1 , S_2 는 버퍼의 크기를 말한다.



a) Push-Out Method



b) Route Separation Method

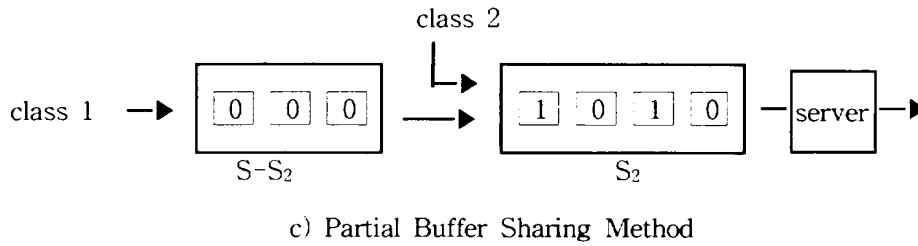


Fig. 2-8. Cell Loss Priority Control Method

▶ Push-Out

낮은 우선순위를 갖게되는 음성 셀은 체증시에 우선적으로 폐기되는데 폐기시키는 방법의 대표적인 것은 Push-Out 방법(Fig. 2-8 a))이다. 이것은 큐가 찼을 때는 높은 우선 순위의 셀이 큐에 도착하면 큐에 이미 대기중인 낮은 우선순위의 셀을 선택적으로 Push-Out(폐기)하여 높은 우선순위 셀이 그 위치에 저장하는 기법이다 (Kroner, 1991). 이것은 낮은 우선순위의 셀들에게도 최소한의 처리량을 보장해 주기 위해서 Push-Out을 제한할 수 있다. Push-Out 방법은 효율은 좋으나 셀 순서 유지를 위해 복잡한 버퍼 관리 기법이 요구되므로 ATM과 같은 처리 시간의 중요한 고속망에서는 부적합하다.

다중 우선순위에서 Push-Out 기법이 사용되어 버퍼 넘침이 발생했을 때 어떤 셀을 포기할 것인가를 결정한다. 큐가 차게되면 높은 순위 셀은 낮은 순위 셀을 밀어낸다. 낮은 순위 트래픽에 최소의 서비스율을 유지하기 위해 종류 j의 셀이 N_j 개 이상일 때만 높은 순위 셀이 종류 j의 셀을 밀어내고 있는 것과 같이 Push-Out이 제한된다. 전체 손실 셀수는 Push-Out 기법이 사용되거나 아니거나 동일하다. 이유는 Push-Out 기법은 얼마나 많은 양을 버릴 것인가가 아니라 어떤 셀을 폐기할 것인가를 결정하기 때문이다.

Push-Out 기법은 거의 최적의 성능을 주지만 고순위 셀은 저순위 셀이 버퍼에서 어떤 장소에 위치해도 폐기할 수 있어야 하기 때문에 구현이 매우 어렵다.

실제의 선택은 버퍼의 전체 점유가 어떤 임계값보다 적을 때만 낮은 순위 셀을 버퍼에 받아들이는 것이다. 이 방법 또한 거의 최상의 성능을 나타낸다.

▶ RS(Route Separation)

RS 기법(Fig. 2-8 b))는 경로나 가상 경로를 분리하고 손실에 민감한 서비스와 덜 민감한 서비스 각각에 대해 버퍼를 분리, 처리하는 방법이다(Kroner, 1991)(Peter 등, 1993). 그러므로 한 트래픽 클래스의 성능은 다른 트래픽 클래스의 과부하에 의해 전혀 영향을 받지 않는다. 이 기법은 쉽게 수행되는 반면 ATM 통계적 다중화 이득을 충분히 활용할 수 없다는 것과 각 서비스 클래스에서 사용되지 않은 망 자원의 낭비가 있다는 단점이 있다.

▶ PBS(Partial Buffer Sharing)

PBS 기법(Fig. 2-8 c))은 버퍼 내에 임계치를 갖도록 하는 기법으로서 정해진 임계치까지는 버퍼를 공유하다가 버퍼의 길이가 임계치를 넘어서면 우선순위가 높은 셀만을 받아들이는 기법이다(Kroner, 1991)(Peter, 1993). 이 기법은 이상적인 PO기법보다는 효율은 낮지만 버퍼 관리 기법을 간단하게 구현할 수 있어서 하드웨어적으로 쉽게 처리할 수 있고 또한 임계치를 조절함으로써 시스템을 어떤 부하 상황에도 적용시킬 수 있는 유연성을 제공하는 장점이 있다. 이 기법의 단점으로는 낮은 우선순위 트래픽으로부터의 과부하가 높은 우선순위 트래픽의 성능을 떨어뜨릴 수 있다는 점을 들 수 있으나 사실상 이것은 버퍼 공간과 망 대역폭에 의해서 망 자원을 공유하는 대부분의 시스템에서 갖게 되는 일반적인 특성이다.

그러나 이 모든 기법들은 하나의 큐(혹은 버퍼)만을 사용하기 때문에 지연 및 손실 민감도가 서로 다른 트래픽을 효율적으로 제어하기가 어렵다.

III 제안하는 우선순위 시스템 모델과 성능 평가

우선순위 기법은 음성과 화상 코딩에서 더 중요하거나 덜 중요한 셀들을 활용하는 것이다. 비디오의 경우에 광대역망에서 특별히 중요한 것은 서브밴드나 이산 코사인 변환(Discrete Cosine Transform) 코딩과 같은 Layered 코딩 기법이 인식의 중요성이 높거나 낮은 데이터를 만든다. 이것들은 다른 순위의 셀들로 운반된다.

우선순위 제어 기법은 크게 두 가지 방법으로 사용될 수 있다. 한가지는 스케줄링 방법 즉, 큐잉 방식으로서 우선순위 기법을 사용하는 것인데, 이를 우선순위 스케줄링(Priority Scheduling)이라 부른다. 또 다른 한가지는 폭주제어 방법으로서 사용하는데 이를 우선순위 폐기(Priority Discarding)이라 부른다(Bae 등, 1990).

우선순위 스케줄링은 각 입력 트래픽의 QoS에 따라 각각 동일한 크기의 유한버퍼(Finite Buffer)를 사용하여 각 버퍼들의 셀 전송 순서를 결정하는 것이므로 이는 지연 요구 사항을 만족시키는 데 초점을 둔 방식이다. 우선순위 폐기는 각 버퍼 내에서 버퍼 오버플로우(Buffer Overflow)가 발생하거나 버퍼의 크기가 어느 임계치를 초과할 경우에 어느 셀을 폐기시킬 것인지를 결정하는 것이므로 이는 손실 요구 사항을 만족시키는 데 초점을 둔 방식이라 할 수 있다. 기존의 대부분 기법들은 이러한 면만을 고려하여 제어하는 방식을 채택하고 있다.

광섬유(Optical Fiber)를 기본적인 전송매체로 하는 B-ISDN에서는 셀 지연보다는 셀 손실을 보다 중요하게 고려한다. 따라서 기존의 우선순위 기법들의 대부분은 우선순위 폐기 측면에서 주로 다루어져 왔다. 특히 셀 레벨에서 셀 손실을 고려한 손실 우선순위 기법이 셀의 흐름을 제어하는데 효과적인 것으로 알려져 있으며, 그 중에서도 PBS 기법이 가장 효율적인 것으로 결론 짓고 있다(Kroner, 1991).

그러나 ATM망이 지원하는 서비스 환경에서는 트래픽의 종류를 지연 민감 트래픽(Delay-Sensitive Traffic)과 손실 민감 트래픽(Loss-Sensitive Traffic)으로만 양분하기는 어렵다(Takagi 등, 1991). 지연에 민감한 CBR트래픽 중에서도 실시간

처리의 임박성이 다르거나 손실에 민감한 정도가 다른 클래스가 있고, 손실에 민감한 VBR트래픽 중에서도 지연 민감도의 정도 차이가 있고 그에 따라 우선순위가 달라져야 한다(Wodruff 등, 1990).

만약 기존의 PBS 기법처럼 1개의 임계치 값으로만 우선 순위를 결정한다면 다음 두 가지 문제점이 발생한다.

첫째, 임계치가 크게 설정될 경우, 지연 민감 트래픽의 우선순위 서비스 부여 기회가 많아지므로 지연 민감 트래픽 중에서도 실시간 임박성이 강하지 않거나, 손실에 덜 민감한 트래픽도 함께 처리되어, 상대적으로 손실 민감 트래픽이 희생이 따르고 많은 지연을 감수해야 한다.

둘째, 임계치가 작게 설정될 경우, 손실 민감 트래픽이 처리될 기회가 확률적으로 많아지므로 상대적으로 지연 민감 트래픽은 지연 만료점 내에 처리되지 못하고 손실로 간주되어 지연 민감 트래픽의 셀 손실율이 증가하게 된다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 크기가 다른 2개의 유한 버퍼에 임계치를 1개이상 사용하면서, 셀 전송 지연도 고려하여 ATM 베어러 서비스 (Bearer Service)에 따라 QoS를 유연하게 제공해 주는 스케줄링과 셀폐기 기법이 혼합된 기법을 제안한다.

이러한 지연 우선순위와 손실우선순위가 혼합된 우선순위 기법의 도입은 다음과 같은 필요성 때문이다.

1. 제어 셀의 빠른 전송을 요구하는 서비스들을 위해 단대단(end-to-end) 셀 지연 변이(Cell Delay Variation : CDV)가 감소되어야 한다.
2. 손실 민감 셀들은 지연 우선순위 기법의 구현만으로 만족할 수 없는 엄격한 손실 요구사항들을 가진다.
3. 셀 순서의 정확성(Integrity)을 유지하기 위해 지연 우선순위는 호 레벨상에, 손실 우선순위는 셀 레벨 상에서 할당될 수 있다.

전형적으로 B-ISDN에서 QoS 요구는 단대단 지연(end-to-end delay) 과 단대단 셀 손실율(end-to-end cell loss rate)에 의해 표현될 수 있다. 근본적인 문제는 이 단대단 요구사항을 어떻게 해서 노드간(node-to-node)의 요구사항으로 나누냐에 있다. 본 논문에서는 단지 하나의 교환 노드의 경우에 대해서만 고려하는 것으로 한다.

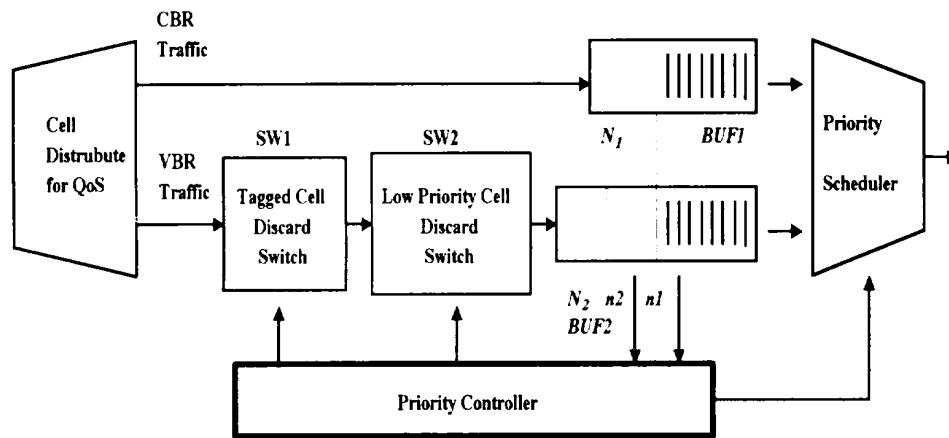
1. 제안한 우선순위 기법

먼저 입력 트래픽의 파라미터들 중에서 최대셀율(PBR)과 평균 셀 율(ABR)을 통해서 트래픽을 CBR 트래픽과 VBR 트래픽으로 분류한다.

CBR 트래픽인 경우, Push-Out을 적용하여 버퍼내의 큐 길이가 버퍼크기 N_1 을 넘어설 때 낮은 우선순위 셀을 대체한다. VBR 트래픽의 경우, 2개의 임계치를 가지는 PBS기법을 적용하는데, 이때 셀이 버퍼 점유는 첫 번째 임계치 n_1 까지는 높은 우선순위 셀(High Priority Cell), 낮은 우선순위 셀(Low Priority Cell), 위반 셀(Tagged Cell) 모두가 공유할 수 있으며, 첫 번째 임계치를 넘어서 두 번째 임계치 n_2 까지는 높은 우선순위 셀과 낮은 우선순위 셀이 버퍼를 점유하고 두 번째 임계치 이상에서는 높은 우선순위 셀만 버퍼를 점유한다.

우선순위 스케줄링 측면에서는 CBR 트래픽의 지연 요구사항을 우선적으로 처리하기 위해 CBR 버퍼가 빌 경우에만 VBR 버퍼를 서비스하는 HOL기법을 적용한다.

Fig. 3-1.에서 제안한 시스템의 모델을 제시하고, Fig. 3-2.는 이러한 이중 버퍼의 셀 할당을 제어하는 알고리즘의 흐름도를 기술하였다.



$BUF1$: Value of CBR Buffer Length $BUF2$: Value of VBR Buffer Length
 N_1 : Size of CBR Buffer N_2 : Size of VBR Buffer
 $n1$: SW1 on/off Level(Th1) $n2$: SW2 on/off level(Th2)

Fig. 3-1. Proposed Priority Control Model



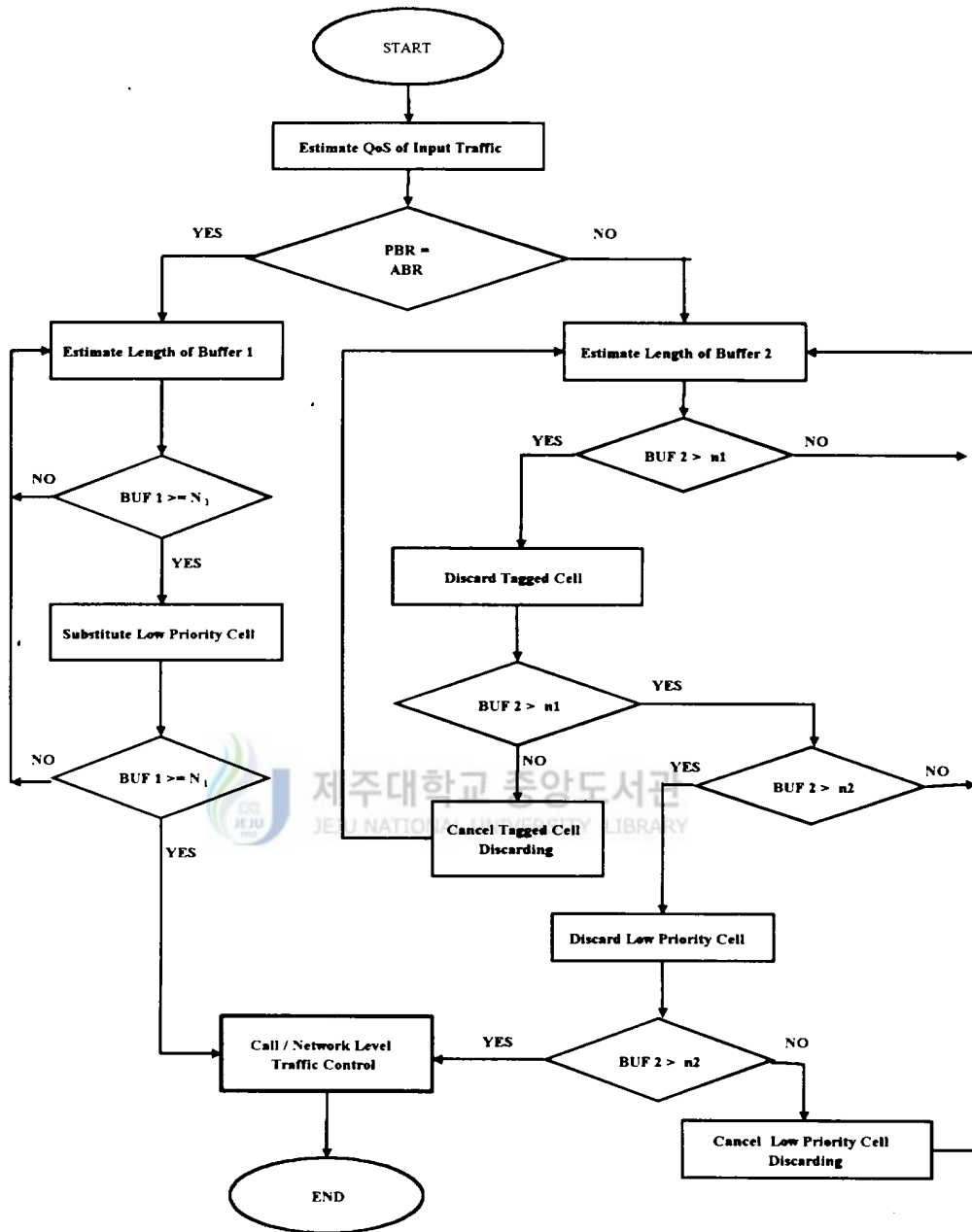


Fig. 3-2. Control Flow of Proposed Priority Algorithm

IV. 시스템 모델링과 해석

우선순위에 대한 성능 분석은 G.L.Fultz가 고정 우선순위 방식을 해석한 이래 C.McCoy, A.Live등이 우선순위가 망에 끼치는 영향 등을 해석하였다.(Partridge, 1994). 최근에는 B-ISDN 의 전송 방식으로 사용되어지는 ATM에서 Kroner, Hebuterne 등이 우선순위 기법을 해석하였다(Kroner, 1991).

기존의 우선순위 기법의 해석 방법에는 변환(Transform), 행렬(Matrix)등을 이용하기 때문에 계산하는 시간이 길어지고 결과를 구하는 과정 등이 복잡하고 어려워서 사용자 파라미터를 직접 이용하는데 어려운 점이 따르고, 시스템의 해석 방법들 다른 환경에 응용하는 데에도 어려움이 도출되었다.

본 논문에서는 기존의 복잡한 방법을 지양하는 새로운 해석 방법으로 고전적인 접근 방법인 마코프체인(Markov chain)을 이용하여, 제안된 시스템의 기본이 되는 PO 기법과 PBS 기법을 해석하는 방법을 제안한다.

시스템 모델링을 위하여 다음과 같이 가정하여 M/d/1/N큐잉 모델로 해석하였다.

1. 도착 셀들은 QoS에 따라 각각 독립적인 버퍼를 가지며 CBR 트래픽의 버퍼 크기는 N_1 , VBR의 크기는 N_2 로 제한한다($N_1 < N_2$).
2. 입력 트래픽은 독립적으로 분산된 포아송 분포를 따르며, 서비스 원칙은 CBR을 서비스하는 VBR 서비스는 하지 않은 것으로 한다.
3. ATM 셀들은 고정 길이이므로 셀 처리 시간은 상수 시간으로 간주한다.
4. 하나의 버퍼에서 다른 버퍼로 이동하는데 걸리는 시간(Switch_Over Time)은 0으로 간주한다.

각 우선 셀들의 도착률 관계는 다음 식(1)과 같이 한다.

$$\lambda_t = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 \quad (1)$$

여기서 λ_t : 전체 셀 도착률

λ_1 : CBR 트래픽의 셀 도착률

λ_2 : 높은 우선순위 셀 도착률

λ_3 : 낮은 우선순위 셀 도착률

λ_4 : 위반 셀 도착률

VBR 트래픽의 세 가지 우선순위 도착률 및 높은 우선순위 셀 및 낮은 우선순위 셀의 도착률은 각각 식(2), 식(3)과 같이 정의한다.

$$\lambda_{234} = \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 \quad (2)$$

$$\lambda_{23} = \lambda_2 + \lambda_3 \quad (3)$$

식(1), (2), (3)에서 정의한 네 가지 우선순위 셀들이 버퍼에 도착해서 점유하는 부분으로 버퍼를 도식하기 위해서 Fig. 4-1.과 같이 버퍼를 모델링 한다.

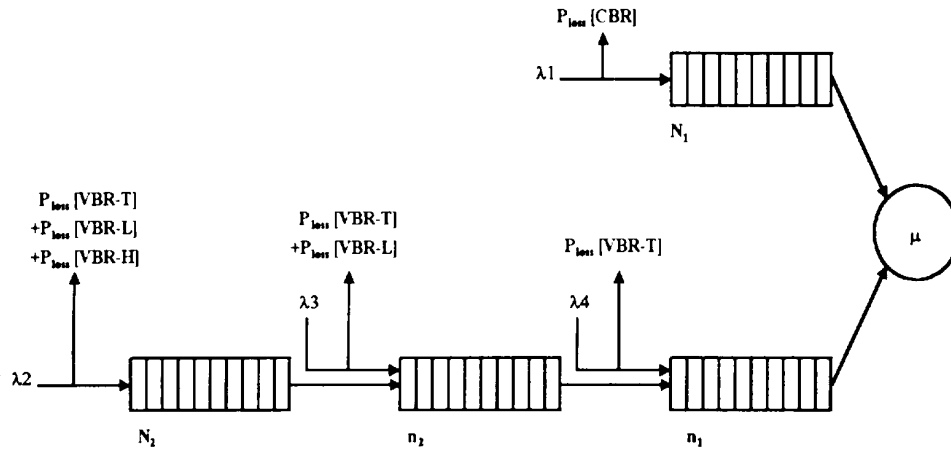
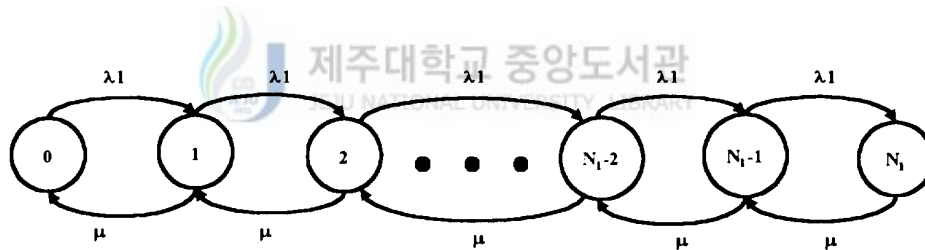
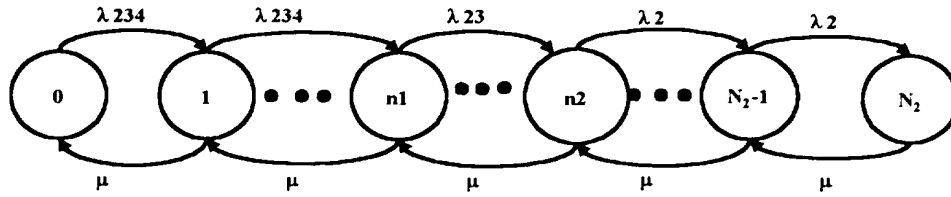


Fig. 4-1. Proposed Double Buffer and Multiple Threshold Queuing Model

Fig. 4-1.에서 고려한 버퍼모델을 마코프 체인을 이용하여 해석하기 위해서 Fig. 4-2와 같은 상태 천이도(Status Transition Diagram)을 그릴 수 있다.



a) State Transition Diagram of CBR Traffic



b) State Transition Diagram of VBR Traffic

Fig. 4-2. State Transition Diagram of Proposed Priority

Fig. 4-2의 상태 천이도로부터 각 상태에 대한 균형 방정식(Balance Equation)을 세워서 각 상태에서 천이 확률(State Transition Probability)을 구하고, 이를 통해서 셀 손실 확률(Cell Loss Probability)을 구할 수 있다.

Fig. 4-2 상태천이도로부터 각 상태에 대한 균형 방정식(Balance Equation)을 세워서 각 상태에서의 천이 확률(State Transition Probability)을 구하고, 이를 통해서 셀 손실 확률(Cell Loss Probability)을 구할 수 있는데, 먼저 Fig. 4-2 a)로부터 CBR 트래픽에 대해서 분석해 본다. CBR 트래픽의 균형 방정식은 (4)와 같다.

상태

$$\begin{aligned}
 0 : \quad & \mu P_1 = \lambda_1 P_0 \\
 1 : \quad & \lambda_1 P_0 + \mu P_2 = (\lambda_1 + \mu) P_1 \\
 2 : \quad & \lambda_1 P_1 + \mu P_3 = (\lambda_1 + \mu) P_2 \\
 & \vdots \\
 N_1 - 1 : \quad & \lambda_1 P_{N_1-2} + \mu P_{N_1} = (\lambda_1 + \mu) P_{N_1-1} \\
 N_1 : \quad & \lambda_1 P_{N_1-1} = \mu P_{N_1}
 \end{aligned} \tag{4}$$

여기서 N_1 : CBR 버퍼 전체의 크기

이 균형 방정식들을 푸는 절차는 다른 변수를 소거하여 각 미지 변수를 P_0 로 표시하는 것이다. 이 절차를 이용하여 각 상태에서의 천이 확률을 구하고 모든 확률의 합은 1이라는 사실을 이용하면 식(5)와 같이 초기 확률 P_0 을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P_0 + P_1 + P_2 + \dots + P_{N_1} &= 1 \\
 P_0 + \left(\frac{\lambda_1}{\mu}\right)P_0 + \left(\frac{\lambda_1}{\mu}\right)^2 P_0 + \dots + \left(\frac{\lambda_1}{\mu}\right)^{N_1} P_0 &= 1 \\
 \left[1 + \sum_{k=1}^{N_1} \left(\frac{\lambda_1}{\mu}\right)^k\right] P_0 &= 1 \\
 P_0 &= \left[1 + \sum_{k=1}^{N_1} \left(\frac{\lambda_1}{\mu}\right)^k\right]^{-1} \tag{5}
 \end{aligned}$$

CBR 트래픽의 셀 손실은 셀이 버퍼의 크기 N_1 을 넘어서 도착할 때 발생하게 된다. 따라서 셀 손실 확률은 다음과 같이 구할 수 있다

$$P_{loss}[CBR] = \left(\frac{\lambda_1}{\mu}\right)^{N_1+1} P_0 \tag{6}$$

VBR 트래픽 버퍼에 대해서도 이와 유사한 방법으로 분석한다.

VBR 트래픽 버퍼의 초기 확률 P_0 를 구하기 위해서 임계치에서의 확률을 확률 보존의 법칙(Probability Conservation Law)을 적용하여 균형 방정식을 풀면 다음과 같이 초기 확률 P_0 을 구할 수 있다.

$$P_0 = \left[1 + \sum_{k=1}^{n_1} \left(\frac{\lambda_{234}}{\mu} \right)^k + \left(\frac{\lambda_{234}}{\mu} \right)^{n_1} \sum_{k=n_1+1}^{n_2} \left(\frac{\lambda_{23}}{\mu} \right)^{(k-n_1)} + \left(\frac{\lambda_{234}}{\mu} \right)^{n_1} \left(\frac{\lambda_{23}}{\mu} \right)^{n_2-n_1} \sum_{k=n_2+1}^{n_2} \left(\frac{\lambda_2}{\mu} \right)^{k-n_2} \right]^{-1} \quad (7)$$

VBR 트래픽에서는 3가지 우선순위의 셀이 제한된 버퍼를 공유하고 각 우선순위 셀에 대한 임계치가 다르므로 각 우선순위 셀에 대한 손실 확률이 각각의 임계치에서 발생할 수 있다. 위반 셀은 첫 번째 임계치까지는 손실이 없지만 첫 번째 임계치를 넘어서 도착할 때는 셀 손실이 발생하게 된다. 따라서 위반 셀의 손실 확률은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_{\text{loss}}[VBR-T] = \sum_{i=n_1+1}^{N_2} P_i = \left(\frac{\lambda_{234}}{\mu} \right)^{n_1} + \sum_{i=n_1+1}^{n_2} \left(\frac{\lambda_{23}}{\mu} \right)^{i-n_1} P_0 + \left(\frac{\lambda_{234}}{\mu} \right)^{n_1} \left(\frac{\lambda_{23}}{\mu} \right)^{n_2-n_1} \sum_{k=n_2+1}^{n_2} \left(\frac{\lambda_2}{\mu} \right)^{k-n_2} P_0 \quad (8)$$

낮은 우선순위 셀은 두 번째 임계치까지는 손실이 발생하지 않지만 그 이상에서는 낮은 우선 순위 셀에 대한 버퍼의 점유권이 제한되므로 손실이 발생한다. 그러므로 낮은 우선순위 셀의 손실 확률은 위반 셀의 손실 확률을 구할 때와 마찬가지로 다음과 같이 구할 수 있다.

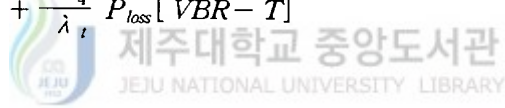
$$P_{\text{loss}}[VBR-L] = \sum_{i=n_2+1}^{N_2} P_i = \left(\frac{\lambda_{234}}{\mu} \right)^{n_1} \left(\frac{\lambda_{23}}{\mu} \right)^{n_2-n_1} \sum_{k=n_2+1}^{N_2} \left(\frac{\lambda_2}{\mu} \right)^{k-n_2} P_0 \quad (9)$$

높은 우선순위 셀의 손실은 제한된 버퍼 전체가 점유된 이후에 도착하는 셀에 대해서 발생 할 것이다. 따라서 높은 우선순위 셀의 손실 확률은 다음과 같이 전체 버퍼 점유 확률로서 나타낼 수 있다.

$$P_{loss}[VBR-H] = \left(\frac{\lambda_{234}}{\mu}\right)^{n1} \left(\frac{\lambda_{23}}{\mu}\right)^{n2-n1} \left(\frac{\lambda_2}{\mu}\right)^{N_2+1-n2} P_0 \quad (10)$$

그러므로 세가지 우선순위를 가지는 제안한 우선순위 기법의 전체 셀 손실 확률은 각 우선 순위 셀의 손실 확률의 합으로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P_{loss}[TOTAL] &= \frac{\lambda_1}{\lambda_t} P_{loss}[CBR] \\
 &+ \frac{\lambda_2}{\lambda_t} P_{loss}[VBR-H] \\
 &+ \frac{\lambda_3}{\lambda_t} P_{loss}[VBR-L] \\
 &+ \frac{\lambda_4}{\lambda_t} P_{loss}[VBR-T]
 \end{aligned} \quad (11)$$



V. 시뮬레이션 및 결과 고찰

1. 시뮬레이션 환경

시뮬레이션을 위하여 다음과 같이 가정하였다.

1. ATM 교환 노드에 도착하는 트래픽들은 두 가지 형태 즉, CBR 트래픽과 VBR 트래픽으로 이루어져 있다.
2. 각 우선순위 셀의 도착 과정은 서로 독립이며 포아송 분포를 이룬다.
3. 서비스 측면에서는 Non-Preemptive 우선순위를 고려한다.
4. 버퍼 내에서의 서비스 순서는 FIFO(First-In First-Out) 방식을 따른다.
5. 버퍼 관리의 복잡도를 최소화하기 위하여 모든 버퍼에서 셀 대체 전략은 LIFO(Last-In First-Out)를 따른다.

버퍼의 길이와 임계값의 설정은 되도록 적은 값을 사용하여 보다 신뢰성 있는 서비스 환경을 조성하였다. 또한 ATM베어러 서비스의 QoS 요구조건을 만족하도록 시뮬레이션을 하기에는 너무 많은 제약사항이 따르기 때문에 제안한 시스템의 성능을 동일한 조건하에서 기존의 기법들과 상대적인 비교를 하는 것으로 하였다.

2. 트래픽 발생

시뮬레이션은 C 언어를 사용하여 수행하였다. 트래픽을 각 클래스당 약 10^7 개 이상 발생시켜서 시스템의 정상 상태(Steady State)에서 결과를 구하였다.

시뮬레이션에 소요된 시간은 적용한 트래픽 세기(Traffic Intensity)에 따라 약간의 차이가 있었다.

VBR 트래픽의 경우 2개의 도착율을 가지는 포아송 분포를 따르면서 버스트 길이와 버스트 기간은 지수분포를 갖는 2-상태 MMPP모델로 발생시켰다.

이때 발생한 트래픽의 종류는 ITU-TS(International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector)에서 보고된 실험 부하(Test Loads)를 사용하였는데 Table 5-1과 같다. 표에서 괄호 안의 숫자는 CLP(Cell Loss Priority)를 의미한다.

Table 5-1. Test Load Traffic

CBR	VBL-L	VBR-H
45M(1)	700M(1)	700M(0)
34M(1)	25M(1)	25M(0)
2M(0)	20M(1)	20M(0)
1.5M(0)	6M(1)	6M(0)
64K(0)	1.4M(1)	2M(0)
	1M(1)	1.4M(0)

3. 시뮬레이션 결과 고찰

제안한 우선순위 기법의 성능 평가를 위한 비교 대상으로 기존의 손실 우선순위 기법들을 고려하였다. 이에 앞서 해석방법의 타당성을 우선 검증하였다. 또한, 각 기법들의 성능을 비교함에 있어서 셀 손실 확률만 가지고 평가하였다.

ATM 특성상 셀 전송 지연은 망 성능에 크게 영향을 끼치는 요소는 아니고, 또 시뮬레이션 환경에 따라 많이 다를 수 있기 때문에 본 논문에는 고려하지 않았다.

Fig. 5-1은 CBR 버퍼의 크기 N_1 이 3, VBR 버퍼의 크기 N_2 가 7, VBR 버퍼의 첫 번째 임계치 n_1 이 2, 두 번째 임계치 n_2 가 5일 때, 제안한 해석 방법에 따른 결과와 시뮬레이션의 결과를 각 트래픽 세기에 따라 구한 것이다.

CBR셀, 위반 셀, 낮은 우선순위 셀의 손실 확률은 시뮬레이션 결과와 수학적 해석 방법의 결과가 거의 일치함을 알 수 있다. 그러나 높은 우선순위 셀의 손실 확률

은 트래픽 세기가 작을수록 오차가 커짐을 알 수 있었다.

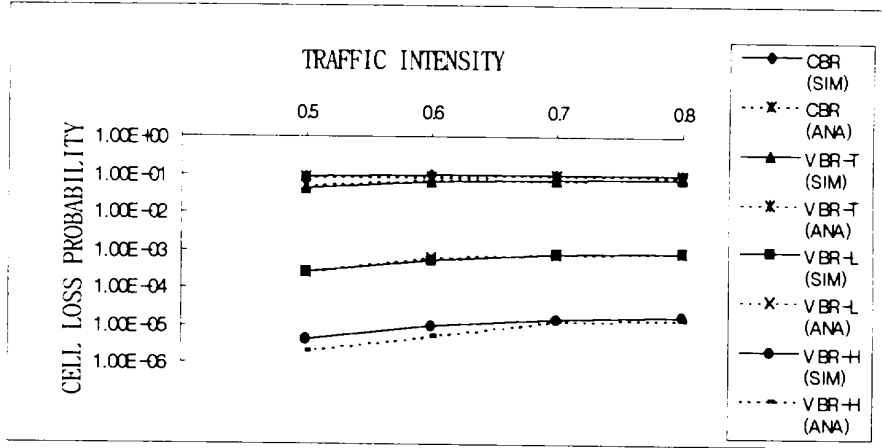


Fig. 5-1. Comparison CLP of simulation and proposed method

Fig. 5-2는 CBR 트래픽과 VBR 트래픽을 기존의 PBS 기법인 임계치가 3이고 크기가 10인 단일 버퍼 상에서 구현할 경우와 제안한 시스템에서 사용하는 CBR 버퍼 크기 3, VBR 버퍼 크기 7인 이중 버퍼를 사용할 경우의 결과를 각 트래픽 세기에 따라 구한 것이다.

VBR 셀의 경우 별 차이가 없지만 상대적으로 손실 확률이 높은 CBR 셀을 별도의 버퍼를 사용하여 우선적으로 처리해주는 것이 보다 서비스 품질을 제공함을 보여주었다.

Fig. 5-1.과 Fig. 5-2.에서 트래픽 세기를 0.5 이상으로 제한한 것은 시뮬레이션 특성상 0.5 이하에서의 셀손실 확률을 구하는 것이 매우 어렵기 때문에 제한하였다.

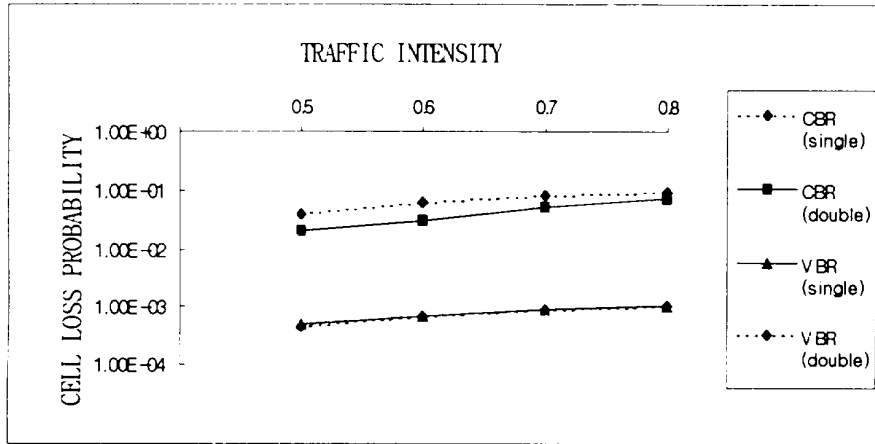


Fig. 5-2. Comparison of single buffer and double buffer

Fig. 5-3은 CBR 버퍼 크기 3, VBR 버퍼 크기 7인 이중 버퍼 기법에서 전체 트래픽 세기 $\rho(\lambda/\mu)=0.7$, CBR 트래픽 세기 $p_1=0.3$ 일 때, VBR 버퍼의 임계치가 1개($n_1=2, n_2=5$)인 경우에 있어서, 다양하게 제공되는 VBR 셀의 부하에 따른 셀 손실률을 나타내고 있다.



사용 파라미터 제어로부터 감시된 위반 셀을 고려하는 제안한 모델의 경우, CBR 셀에 대해서는 일반적인 이중 버퍼를 갖는 시스템과 거의 유사한 성능을 나타내지만, VBR 셀에 대해서는 2개의 임계치를 가짐으로써 뚜렷한 3단계의 우선순위를 나타낼 수 있었다.

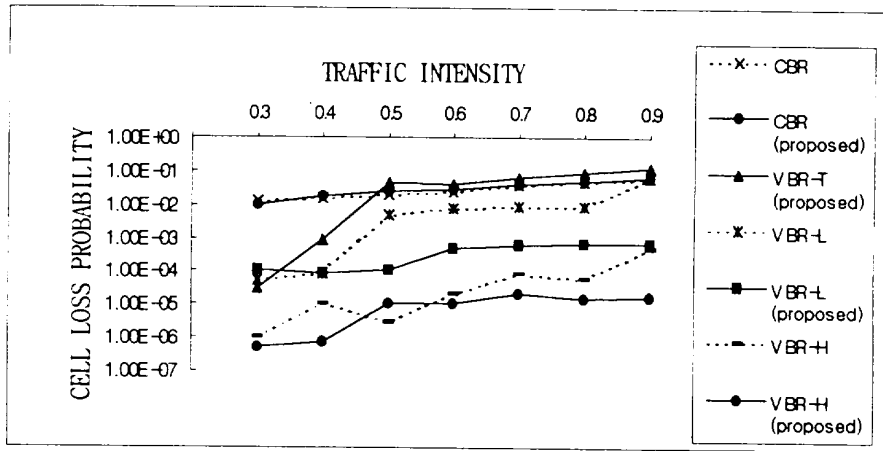


Fig. 5-3. Comparison of CBR and VBR cell loss probability

Fig. 5-4는 제안한 모델에서 VBR 버퍼의 크기가 7일 때, 임계치를 어떻게 설정했을 때 가장 만족할 만한 성능을 나타내지를 보여주는 것인데, $n_1=2$, $n_2=5$ 일 때 가장 만족하는 성능을 얻을 수 있었다.

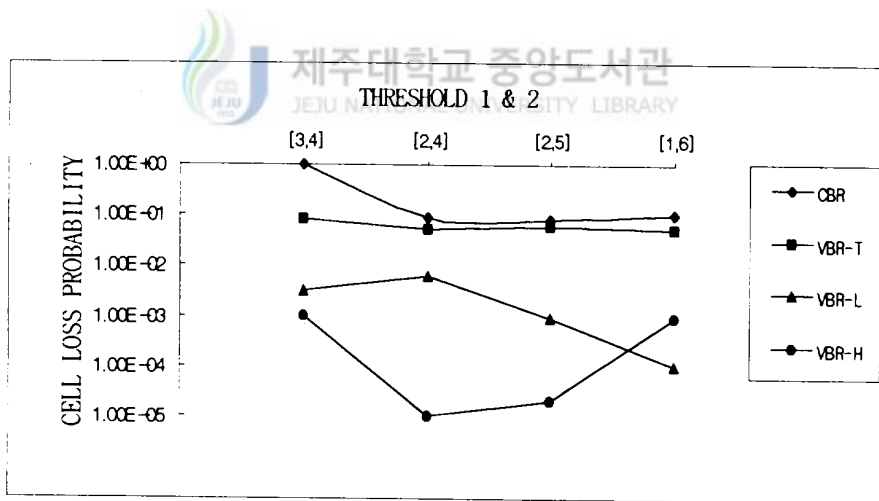


Fig. 5-4. Comparison of cell loss probability or threshold

VI. 결론 및 향후 연구과제

본 논문은 다중 클래스 트래픽의 효율적 처리를 위한 지연 우선순위와 손실 우선 순위가 혼합된 알고리즘을 제안하고, 제안된 알고리즘의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션 뿐만 아니라 기존의 복잡한 변환이나 행렬을 지양하는 마코프 체인 방법을 통하여 분석하였다.

또한, 제안한 해석 방법이 타당함을 검증하였고, 단일 버퍼 상에서 CBR 트래픽과 VBR 트래픽을 같이 수용할 경우보다는 이중 버퍼를 사용하여 CBR 트래픽과 VBR 트래픽을 분리한 경우가 보다 나은 서비스 품질을 제공함을 알 수 있다.

제안한 기법인 사용 파라미터 제어로부터 감시된 위반 셀의 우선적 폐기를 위한 별도의 임계치만을 사용하는 것이 VBR 버퍼를 1개의 임계치만을 구현한 것보다 정교한 QoS를 보여주었고, 이때 임계치는 $[n1, n2] = [2,5]$ 에서 가장 만족하는 성능을 보여주었다.

이상과 같이 실시간 임박성이 강한 트래픽을 위한 버퍼를 별도로 설정하고 VBR 트래픽 중에서도 위반 셀의 우선적 폐기를 고려하는 제안한 우선순위 제어 기법이 기존의 제안된 기법들 보다 우수한 성능을 보였다. 또한 기존의 손실 우선순위 기법의 가장 큰 문제점이었던 셀 순서 유지 문제를 이중 버퍼를 사용하여 셀 레벨에서 처리하지 않고 호 레벨에서 처리함으로써 망의 성능을 향상시켰다.

이러한 다단계 우선순위 제어 기법은 서로 다른 QoS를 만족시키는 데 있어서, 보다 나은 유연성을 제공할 수 있을 뿐만 아니라 미래에 새로운 서비스들을 수용하는 데 있어 바람직한 결과를 가져다 줄 것으로 기대된다.

향후 연구 과제로서 VBR 서비스에서 다중 임계치의 저순위 셀과 위반 셀을 폐기하기 위하여 최적의 서비스율이 필요하며, 이를 위한 적응적 PBS 구현 방법도 고려할 필요가 있으며, ATM Forum에서 정의되고 있는 멀티미디어 서비스를 유연하게 제공하기 위한 스케줄링 기법이 계속 연구되어야 하며, 이중 버퍼 기법에서 복수개

의 버퍼설계의 복잡도 및 임계치 설정의 어려움을 해결하면서 시스템의 성능을 저하시키지 않은 스케줄링 기법이 연구되어야 할 것으로 사려되며, 이는 복합 정보 서비스 및 광대역 통신환경의 트래픽 제어에 이용될 것으로 기대된다.



참 고 문 헌

- A. E. Eckberg, Bharat T. Doshi, Richard Zoccolillo, "Controlling Congestion in B-ISDN/ATM: Issues and Strategies", *IEEE Commun. Magazine*, Sep. 1991
- Annie Gravey and Gerard Hebuterne. "Analysis of a Priority Queue with Delay and/or Loss Sensitive Customers", *Proc. 7th ITC Seminar*, 1990.
- Arnold O. Allen. "Probability, Statistics, and Queueing Theory with Computer Science Application(2/e)", Academic Press. 1990
- A. W. Berger and A. E. Eckberg. "A B-ISDN/ATM Traffic Descriptor and Its Use In Traffic and Congestion Controls", *IEEE GLOBECOM '91*, 1991.
- B. A. Makrucki, "On the Performance of Submitting Excess Traffic to ATM Networks", *IEEE GLOBECOM '91*, 1991.
- B. Lague, C. Rosenberg, F. Guillemin, "A Generation of Some Policing Mechanism", *IEEE INFOCOM*, 1992.
- Boyer, P., Guillemin, F., Serval, M., "The spacer-controller : an efficient UPC/NPC for ATM networks". Proceedings of ISS '92, vol. 2, pp. 316-320, 1992

- Boyer, P., Guillermin, F., Servel, M., and Coudreuse, J., "Spacing cells protects and enhances utilization of ATM network links". *IEEE Network*, pp. 38-49, Sep. 1992
- CCIT Study Groups Documents, IWP CMITT/3-93, "ATM Adaptation Layer Functions for Video and Audio Signal Transmission with Constant Bit Rates in a B-ISDN,"
- D. Hong and T. Suda, "Congestion Control and Prevention in ATM Networks", *IEEE Network Magazine*, pp 10-16, Jul. 1991.
- D. J. Goodman, "Embedded DCPM for variable bit rate transmission", *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-28, pp. 1040-1046, Jul. 1980
- D. K. Hsing, "Performance Study on The "LeakyBucket" Usage Parameter Control Mechanism with CLP Tagging", *IEEE*, pp. 359-364, ICC 1993.
- G. M. Woodruff and R. Kositpaiboon, "Multimedia Traffic Principles for Guaranteed ATM network Performance", *IEEE J_SAC*. vol. 8. no. 3, pp. 437-446, Apr. 1990.
- Gallassi, G., Hofstetter, Ha., and Worster, T., "Teletraffic studies on ATM in the broadband local network thechnplogy RACE project", Teletraffic and Datatraffic in a Period of Change, ITC 13, A. Jensen and V.B Iversen(eds.) pp. 41-46, June 1991.

-
- H. Kroner. Gerard Hebutrene. Pierre Boyer. And Annie Gravey. "Priority Management in ATM Switching Nodes.". *IEEE J_SAC*. vol.9. no.3, pp. 418-427, April 1991
- H. Kroner. "Comparative Performance Study of Loss Priority Mechanism for ATM Networks." *Proc INFOCOM'90*. pp.1136-1143, April 1991
- H. Saito and K. Shiimoto, "Dynamic call admission control in ATM networks", *IEEE J_SAC*, vol.9, no. 7, pp. 982-989, Sep. 1991
- I. Cidon, A. Khamish, and M. Sidi, "Analysis of Packet Loss Processes in High-Speed Networks", *IEEE Trans. on Information Theory*, vol. 39, no. 1, Jan. 1993, pp. 98-108.
- ITU-T. Rec. I.121, "Broadband aspects of ISDN.", 1988
- ITU-T. Rec. I.131, "B-ISDN General Network Aspects.", Geneva, 1991
- ITU-T. Rec. I.362, "B-ISDN ATM Adaptation Layer(AAL) Functional Description", Geneva, 1991
- ITU-T. Rec. I.363, "B-ISDN ATM Adaptation Layer Specification", Geneva, 1991
- ITU-T. Rec. I.371, "Traffic control and congestion control in B-ISDN", SG XVIII, Geneva, Switzerland. June, 1992

-
- J. A. S. Monterio, M. Gerla and L. Fratta, "Input Rate Control for ATM Networks", ITC 13, pp. 117-122, 1991
- J. F. Mayer, S. Montaga, and R. Paglino. "Dimensioning of ATM Switching with Shared Buffer and Threshold Priority." *Computer Networks and ISDN System*. vol.26. pp.95-108, 1993
- J. J. Bae and Tatsuya Suda. "Survey of Traffic Control Schemes and Protocols in ATM Networks," *Proc. of the IEEE*. vol.79, no.2 pp.2131-2136. Dec. 1990
- J. M. Hyman, et al., "Real-Time Scheduling with Quality of Service Constraints", *IEEE JSAC*, vol. 9, no. 7, pp. 1052-1063, sep. 1991
- J. S. Turner, "New Direction In Communications(or Which Way to the Inforamtion Age?)", *IEEE Comm. Mag.*, Oct. 1986
- K. Rothermel, "Priority Mechanisms in ATM Networks", *IEEE GLOBECOM '90*, pp. 847-851. 1990.
- K. Shimokoshi, "Evaluation of Policing Mechanisms for ATM Networks", vol. E76-B, No. 10, Nov. 1993.
- M. Ghanbari and C. J. Hughes, "Packing Coded Video Signals into ATM Cells", *IEEE/ACM Trans. Networking*, 1-5, pp. 505-509, 1993

-
- Milena Butto, Elisa Cavallero and Alberto Tonietti, "Effectiveness of the "Leaky Bucket" Policing Mechanism in ATM Networks", *IEEE J. on Select Areas Commun.*, vol. 9. no. 3, pp. 325-334, 1991
- N. S. Jayant, S. W. Christensen, "Effects of packet losses in waveform coded speech and improvement due to an odd-even sample-interpolation procedure", *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-29, pp. 101-109, Feb. 1981
- Osama Aboul-Maged, Henry Gilbert, Mare Wernik, "Flow and Congestion Control for Broadband Packet Networks", ITC-13th, 1991
- P. Castelli, A. Forcina and A. Tonietti, "Dimensioning Criteria for Policing Functions in ATM Networks", INFOCOM '92, pp. 759-766, 1992.
- P. Rathgeb, "Modeling and Performance Comparison of Policing Mechanisms for ATM Networks", *IEEE J_SAC*, vol. 9. no. 3, pp. 325-334, Apr. 1991.
- P. Rathgeb, "Policing Mechanisms for ATM Networks Modeling and Performance Comparison", Proc. 7th ITC Seminar, pp. 10.2-10.11, Moristown, 1990.
- R. Chippalkatti, J. F.Kurose, and D. Towsley, "Scheduling Police for Real-Time and Non_Real time Traffic In Stistical Multiplexer", *IEEE INFOCOM '89*, pp. 774-793.
- R. Chippalkatti, et al., "Scheduling Police for Real-Time and Non_Real time

- Traffic In Statistical Multiplexer", *IEEE JSAC*, Vol. 9. No. 7, pp. 1100-1118, Sep. 1991
- R. Händel and M. Huber, *Integrated Broadband Networks: An Introduction to ATM-based Networks*, Addison-Wesley, 1992
- S. E. Minzer. "Broadband ISDN and Asynchronous Transfer Mode(ATM)", *IEEE Comm. Magazine*. pp. 17-24. sep. 1989
- S. G. Jong and Y. O. Chin, "Congestion Control with double and Hystersis Threshold in ATM Networks", *IEEE GLOBECOM '94*, pp. 595-599, 1994
- Shunji Abe. and Toshio Soumiya, "A Traffic Control Method for Service Quality Assurance in an ATM Network", *IEEE J_SAC*, vol. 12, no. 2, pp. 322-331, Feb. 1994
- T. Okada, H. Ohnishi, and N. Morita, "Traffic Control in asynchronous transfer mode", *IEEE Commun. Mag*, vol. 29, no. 9, pp. 58-63, Sep. 1991
- W. R. Byrne. "Broadband ISDN Technology and Architecture", *IEEE NetWork*, pp. 23-28. Jan. 1989
- Wallmerier, E., and Worster, T., "The spacing policer, and algorithm for efficient peak bit rate control in ATM networks", *Proceedings of ISS '92*, vol. 2,

pp. 22-26, 1992

Yasushi Takagi, Shigeki Hino, and Tatsuro Takahashi, "Priority Assignment Control of ATM Line Buffers with Multiple QoS Classes", *IEEE J_SAC*, vol.9, no. 7, sep. 1991

강상혁, 변성혁, 정민영, 성단근, "ATM 트래픽 제어 기술", 대한전자공학회지, 제 19 권, 제 8호, pp. 659 - 670. 1992. 8

강인곤, 이해정, 노선식, 이동근, 김영천, "ATM 망에서 QoS 향상을 위한 적응적 부분 버퍼 공유 기법", 한국통신학회 논문지 제 20 권 제 8 호, pp 2037-2049, 1995. 8.

박찬열, 조용환, 심영진, "ATM 망내에서 UPC감시 알고리즘의 개선에 관한 연구", 한국통신학회 논문지 제 20 권 제 11 호, pp 3003-3011, 1995. 11.

박홍식, "ATM 트래픽 제어 기술", 대한전자공학회지, 제 20 권, 제 12호, pp. 1304 - 1310. 1993. 12

이기봉, 송주석, 이준원, "BISDN ATM 환경에서의 트래픽 제어 방식에 관한 연구 -가변 크기 창을 사용한 동적 사용 파라미터 제어 -", 한국통신학회 논문지 제 20 권 제 3 호, pp 569-580, 1995. 3.

이병기, 강민호, 이종희, "광대역 정보통신", (주)교학사, 1996. 9.

정제호, 정태일, 김성조, “ATM 망에서 다중 임계치를 이용한 멀티미디어 트래픽의 효율적 스케줄링 기법”, 정보과학회 논문지(A) 제 23 권 제 5 호, pp 498-507, 1996. 5.



감사의 글

일터에 과묵히 있으면서 항상 부족한 지식을 채우고자 갈구해 오던 차에 天恩으로 좋은 인연이 닿아 이제 조그만 결실을 맺는 자리인데도 정작 감사의 글을 쓰다니 가르침에 못 미쳐 송구스럽기만 합니다. 배움의 길을 열어주신 모든 분들이 다시금 눈에 아른거립니다.

먼저, 석사과정 초기부터 밤낮없이 저를 지도하여 주신 김장형 교수님께 진심으로 감사드립니다. 논문 작성 시부터 심사과정까지 서두르고 미흡한 초고를 세심하게 읽어주시면서 지도해 주신 안기중 교수님, 이상준 교수님께도 진심으로 감사드립니다. 그리고 은연중에 채찍질을 하여주신 곽호영 교수님, 변상용 교수님, 송왕철 교수님께도 감사드립니다. 그리고 멀리서 전공에 대한 견문의 폭을 넓게 하여주신 군산대학교의 최연성 교수님께도 감사드립니다.

“아빠! 언제 집에와..”하며 아빠를 기다리면서도 아무 탈없이 곱게 자라준 한솔이와 윤환이가 각박한 제 가슴을 넉넉하게 채워주었고, 손자를 맡아 키워주시고 저의 뒷바라지까지 하여주신 부모님, 그 동안 도와준 나의 사랑하는 아내와 코딩을 도와준 김인주 선생님, 입학동료 대학원생들에게도 감사드리며, 언제나 저를 이끌어 주시고 고민을 해결하여 주신 형님에게 감사드립니다.

끝으로, 제주전문대 전자계산과 교수님들과 입학 때부터 좋은 인연이 되게 해주신 제주대학교 기계공학과 허종철 교수님께도 감사드립니다. 이제 시작이라는 각오로, 비록 힘들고 머나먼 여정이지만 배움의 길에 정진할 것을 다짐하며 아울러 저를 아끼는 모든 분들에게 고마움을 전합니다.

1997년 6월 한라산 중턱에서...

김 대 영 拜