

博士學位論文

ATM 網 資源의 효율적인 서비스를 爲한
퍼지 基盤 버퍼 管理 技法에 關한 研究



濟州大學校 大學院

通信工學科

鄭 東 星

2003 年 12 月

ATM 網 資源의 효율적인 서비스를 爲한
퍼지 基盤 버퍼 管理 技法에 關한 研究

指導教授 李 鎔 鶴

鄭 東 星

이 論文을 工學 博士學位 論文으로 提出함

2003年 12月

鄭東星의 工學 博士學位 論文을 認准함



審査委員長 金 興 洙 ㉠

委 員 黃 秉 元 ㉠

委 員 林 載 允 ㉠

委 員 梁 斗 榮 ㉠

委 員 李 鎔 鶴 ㉠

濟州大學校 大學院

2003年 12月

A Study on the Fuzzy-Based Buffer Management Scheme for the Efficient Service of ATM Network Resources

Dong-Seong Jeong

(Supervised by professor Yong-Hak Lee)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for degree of Doctor of Engineering

2003. 12.

This thesis has been examined and approved

Thesis director, Heung-Soo Kim prof. of telecom. engineering

Thesis director, Byong-Won Hwang prof. of electronics, telecom.
and computer engineering

Thesis director, Jae-Yoon Lim prof. of telecom. engineering

Thesis director, Doo-Yeong Yang prof. of telecom. engineering

Thesis director, Yong-Hak Lee prof. of telecom. engineering

(Name and Signature)

2003. 12. 23

(Date)

department of telecommunication engineering
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

목 차	i
표 목 차	iv
그림목차	v
약어목록	x
Abstract	1
I. 서론	3
II. ATM 트래픽 제어	7
1. ATM 셀 구조	7
2. ATM 트래픽 제어	11
1) ATM 망내의 트래픽 제어 기술	11
2) 사용자/망 파라미터 제어	14
3) 우선 순위 제어	16
(1) 시간 우선 순위 제어	17
(2) 손실 우선 순위 제어	18
(3) 복합 우선 순위 제어	20
III. 퍼지 집합 및 대기 행렬 이론에 의한 수치적 해석	23
1. 퍼지 이론	23

2. 퍼지 추론	26
1) 퍼지 추론의 구조	26
(1) 일반화된 Modus Ponens	26
(2) 일반화된 Modus Tollens	28
2) 퍼지 추론의 종류	29
3) 퍼지 추론 규칙	35
(1) 결합 규칙(conjunctive rule)	36
(2) 카티션 규칙(cartesian product)	36
(2) 프로젝션 규칙(projection rule)	36
(3) 합성 규칙(compositional rule)	37
3. 퍼지 제어 응용사례	37
4. 대기 행렬 이론에 의한 수치적 해석	38
IV. 퍼지 기반 제어 알고리즘	43
1. 임계값 결정 알고리즘	44
1) 삼각 퍼지수로의 입출력 변수와 이들의 소속 함수	44
2) 제안된 퍼지 제어 규칙	48
3) 적합도(DoF) 계산 및 퍼지관계 연산	53
4) 비퍼지화(defuzzification)	53
2. 서비스율 결정 알고리즘	56
1) 퍼지 입출력 변수와 이들의 소속 함수	56
2) 제안된 퍼지 제어 규칙	59
3) DOF 계산 및 퍼지관계 연산	62

4) 비퍼지화(defuzzification)	62
V. 퍼지 추론 결과 분석	63
1. 임계값 제어	63
2. 서비스율 제어	68
VI. 결과 및 고찰	73
1. 시뮬레이션에 따른 결과 및 고찰	73
1) 시뮬레이션 모델	73
2) 각 우선 순위 셀 손실률 결과 분석	74
3) 버퍼에서의 평균 대기시간 비교 분석	78
2. 수치해석에 따른 결과 및 고찰	79
3. 서비스율(처리율) 제어에 따른 결과 분석	83
1) 1:9의 고, 저 트래픽 도착률인 경우	84
2) 9:1의 고, 저 트래픽 도착률인 경우	86
3) 4:6의 고, 저 트래픽 도착률인 경우	88
4) 5:5의 고, 저 트래픽 도착률인 경우	90
5) 전체 트래픽 도착률이 증가한 경우	92
VII. 결 론	96
참고문헌	98
부록 A . 알고리즘에 대한 프로그램	103
부록 B . 시뮬레이션에 대한 Network Model	114

표 목 차

Table 1. The bit map of payload type	9
Table 2. Comparison among delay priority control methods	18
Table 3. Comparison among loss priority control methods	20
Table 4. When the traffic rate is low, result do threshold by each membership value	49
Table 5. When the traffic rate is high, result do threshold by each membership value	50
Table 6. The Fuzzy control rule for threshold value control	52
Table 7. When the total traffic rate is low and buffer occupancy is ne, result of the service rate about each membership value	60
Table 8. The Fuzzy control rule for service rate control	62
Table 9. The threshold value with Fuzzy reasoning by traffic rate	67

그림목차

Fig. 1. ATM cell format	7
Fig. 2. ATM cell header format	8
Fig. 3. Virtual paths form logical groups of virtual channels	10
Fig. 4. Reference configuration for traffic control and congestion control ..	13
Fig. 5. The queuing motions for priority	17
Fig. 6. Generalized modus ponens cutting arithmetic process	27
Fig. 7. Mamdani's reasoning method about crisp input	34
Fig. 8. Mamdani's reasoning method about fuzzy input	35
Fig. 9. The queuing model of Fuzzy BPS scheme	39
Fig. 10. State transition diagram	39
Fig. 11. The Fuzzy basic control structure	43
Fig. 12. The triangular Fuzzy number	45
Fig. 13. The membership functions of Fuzzy input/output variable	47
(a) Membership functions of Fuzzy input variable($T(h), T(l)$)	
(b) Membership functions of Fuzzy output variable($T(y_1)$)	
Fig. 14. Method of max criterion	54
Fig. 15. Method of mean maxima	55

Fig. 16. Method of center gravity	56
Fig. 17. The membership functions of Fuzzy input variable	58
(a) Membership functions of input variable (traffic arrival rate)(T(t))	
(b) Membership functions of input variable (buffer occupancy rate)(T(b))	
Fig. 18. The membership functions of Fuzzy output variable	59
(buffer service rate)(T(y_2))	
Fig. 19. The defuzzification(threshold) value after Fuzzy reasoning ($h = 0.1, l = 0.9$)	64
Fig. 20. The defuzzification(threshold) value after Fuzzy reasoning ($h = 0.9, l = 0.1$)	65
Fig. 21. The defuzzification(threshold) value after Fuzzy reasoning ($h = 0.4, l = 0.6$)	66
Fig. 22. The defuzzification(threshold) value after Fuzzy reasoning ($h = 0.5, l = 0.5$)	67
Fig. 23. The defuzzification(service rate) value after Fuzzy reasoning ($t = 0.2, b = -5$)	69
Fig. 24. The defuzzification(service rate) value after Fuzzy reasoning ($t = 0.2, b = 5$)	70

Fig. 25. The defuzzification(service rate) value after Fuzzy reasoning ($t=0.2$, $b=-10$)	71
Fig. 26. The defuzzification(service rate) value after Fuzzy reasoning ($t=0.2$, $b=10$)	72
Fig. 27. The service rate in server by traffic intensity	72
Fig. 28. The cell loss probability by the traffic rate(ratio 1:9)	74
Fig. 29. The cell loss probability by the traffic rate(ratio 9:1)	75
Fig. 30. The cell loss probability by the traffic rate(ratio 4:6)	76
Fig. 31. The cell loss probability by the traffic rate(ratio 5:5)	77
Fig. 32. The average waiting time from buffer of when traffic ratio is 4:6	78
Fig. 33. The cell loss probability by traffic rate of when traffic ratio is 1:9	79
Fig. 34. Simulation and cell loss probability comparison of numerical analysis in PBS of when traffic ratio is 1:9	80
Fig. 35. The cell loss probability by traffic rate of when traffic ratio is 9:1	81
Fig. 36. The cell loss probability by traffic rate of when traffic ratio is 4:6	82
Fig. 37. The cell loss probability by traffic rate of when traffic ratio is 5:5	83

Fig. 38. The cell loss probability by traffic rate of when traffic arrival ratio is 1:9 (total traffic arrival rate=0.2, buffer occupancy rate=-5)	85
Fig. 39. The cell loss probability by traffic rate of when traffic arrival ratio is 1:9 (total traffic arrival rate=0.2, buffer occupancy rate=5)	86
Fig. 40. The cell loss probability by traffic rate of when traffic arrival ratio is 9:1 (total traffic arrival rate=0.2, buffer occupancy rate=-5)	87
Fig. 41. The cell loss probability by traffic rate of when traffic arrival ratio is 9:1 (total traffic arrival rate=0.2, buffer occupancy rate=5)	88
Fig. 42. The cell loss probability by traffic rate of when traffic arrival ratio is 4:6 (total traffic arrival rate=0.2, buffer occupancy rate=-5)	89
Fig. 43. The cell loss probability by traffic rate of when traffic arrival ratio is 4:6 (total traffic arrival rate=0.2, buffer occupancy rate=5)	90
Fig. 44. The cell loss probability by traffic rate of when traffic arrival ratio is 5:5 (total traffic arrival rate=0.2, buffer occupancy rate=-5)	91

Fig. 45. The cell loss probability by traffic rate of when traffic arrival ratio is 5:5 (total traffic arrival rate=0.2, buffer occupancy rate=5)	92
Fig. 46. The low priority cell loss probability of case that the traffic arrival rate increases by 0.2 to 0.7	93
Fig. 47. The high priority cell loss probability of case that the traffic arrival rate increases by 0.2 to 0.7	94
Fig. 48. The total priority cell loss probability of case that the traffic arrival rate increases by 0.2 to 0.7	95

약어 목록

ATM : Asynchronous Transfer Mode
B-ISDN : Broadband ISDN
CAC : Connection Admission Control
CBR : Constant Bit Rate
CLP : Cell Loss Priority
DoF : Degree of Fitness
HER : Header Error Control
ISDN : Integrated Services Digital Network
MLT : Minimum Laxity Threshold
NNI : Network-to-Network Interface
NPC : Network Parameter Control
NTCD : Nested Threshold Cell Discarding
OAM : Operation, Administration and Maintenance
PBS : Partial Buffer Sharing
QLT : Queue Length Threshold
QoS : Quality of Service
UNI : User Network Interface
UPC : Usage Parameter Control
VBR : Variable Bit Rate
VCC : Virtual Channel Connection
VCI : Virtual Channel Identifier
VPI : Virtual Path Identifier

Abstract

ATM network must be designed to accommodate all types of traffic with their various characteristics and QoS demands. The degree of service quality is determined by the cell loss rate and the delay by the whole bunches. Many studies have been concentrated on the only one of these two elements. They have controlled PBS(partial buffer sharing) or Push-out scheme for cell loss and priority control or buffer size variation for cell delay. But these traffic control do not guarantee the desired level for the other element of QoS(quality of service). The control algorithm should not interfere with delay-sensitive traffic to assure given QoS and minimal cell loss.

In this thesis, we have been proposed two fuzzy control algorithms that are Fuzzy logic which is composed of linguistic rules and Fuzzy inference engine for effective traffic control in ATM networks. The parameters of the Fuzzy rules are adapted to minimize the given performance index in both cases. First, the proposed Fuzzy control algorithm has two priorities and uses Fuzzy sets to search for dynamic thresholds. In other words, the defuzzification value controls the threshold in the buffer to include the traffic priority (low or high) using Fuzzy set theory for traffic connection after reasoning. Second, The proposed Fuzzy control algorithm has total traffic arrival rate, buffer occupancy rate and Fuzzy set to search for dynamic service rates in server. That is, according to the arrival rate of

total traffic and buffer occupancy rate, Fuzzy logic is implicated and is reasoned. As the result, service rates in server about traffic that is connected with defuzzification value are controlled.

As result by threshold value control, when the traffic rate is 1:9, Fuzzy reasoning result, threshold value showed by 12.7. When compared the cell loss rate with existent PBS scheme accordingly, the high priority loss rate appeared is the same the proposed scheme as PBS scheme. It has shown that low priority and the total cell loss rate are decreased. The traffic rate that happen becomes the same and approach by the loss rate such as existent PBS scheme. This can know adaptive controlling threshold value according to Fuzzy reasoning result that efficient buffer administration is consisted. As result by service rate control fixed the total traffic arrival rate by 0.2. When the occupancy rate of buffer was each -5, 5 -10, 10, the result was appeared by each 0.27, 0.55, 0.203, 0.605 after Fuzzy reasoning. When compared the cell loss rate with existent PBS scheme about each by this, the cell loss rate decreased.

Form the result, it was confirmed that with the proposed scheme, performance improves at cell loss rate, when compared with the existing PBS scheme.

I. 서론

과거 제한된 기능을 담당하던 통신망에서 현재는 다양한 종류의 모든 서비스를 효율적으로 제공하기 위한 광대역 ISDN에 대한 요구가 급증하고 있다. 이러한 B-ISDN의 구현을 위한 최적의 전송모드로 ITU-T에서는 새로운 정보전달 체계인 ATM 방식을 채택하였고, B-ISDN과 관련된 많은 회사들이 모여서 만든 ATM 포럼에서 빠른 속도로 표준화 작업이 진행중이다. ATM 망에서 정보전송은 음성, 화상, 데이터 등 트래픽의 종류에 관계없이 기본단위인 셀(cell)이라고 하는 53바이트로 고정된 길이의 패킷에 실어 전송하기 때문에 대역폭 할당에 있어 유연성을 제공한다. 그리고 ATM 망은 특성이 다른 다양한 트래픽들을 쉽게 수용하면서 대역폭의 사용 효율을 증대시키기 위해 통계적 다중화 방식을 채택하게 되었으며, 우선 순위 제어를 사용함으로써 대역폭의 사용 효율을 더욱 더 높일 수 있게 되었다(Gallassi 등, 1990, Karl Rothermel, 1990). 그러나 이러한 통계적 다중화 방법은 소스 트래픽 패턴을 매우 예측하기 어렵게 만들고, 망을 과잉 밀집 상태로 만들 위험을 안게 된다. 또한 각각의 트래픽 호원은 셀 손실률, 전송 지연, 지연 변이 등의 다양한 서비스 품질(QoS : quality of service)을 요구하며, 망은 이러한 서비스 품질을 만족시켜 주어야 한다. 일반적으로 트래픽은 교신성 데이터와 비디오 신호 같이 버스트(bursty)한 특성을 갖는 가변 비트율(VBR : variable bit rate)과 큰 화상 정보와 같은 연속한 항등 비트율(CBR : constant bit rate)이 있다. 그리고 전송셀은 지연 시간과 민감도에 따라 실시간형 데이터와 비실시간형 데이터로 대별할 수 있다. 대화 음성이나 영상 정보 등 실시간형 데이터는 시간 지연에는 민감하면서 손실에는 덜 민감하고, 데이터와 같은 비실시간형 데이

터는 실시간 전송은 요구되지 않으나 손실에는 매우 민감하다(Suzuki 등, 1990). 이처럼 다양한 트래픽을 효과적으로 처리해야 하는 ATM 망의 서로 다른 특성 때문에 각기 다른 성능 기준을 만족시킬 수 있도록 해야 한다. 그 예로 음성에서는 차단 확률을 최소로 하여야 하고, 데이터에서는 평균 통신망 지연 시간을 최소로 하여야 한다. 이 두 기준은 상호간에 영향을 미치게 되어 최적의 값을 결정하는데 문제점이 발생한다. 이와 같이 통신 분야에서 자주 발생하는 설계 및 제어 문제는 상호 모순을 내재하고 있는 복수 성능 기준을 만족시켜야 한다. 따라서 퍼지 집합을 이용한 퍼지 의사 결정 해석이 적합한 분야이기도 하다(황승구 등, 1992),(박원기 등, 1994). 이상과 같이 복잡한 트래픽 환경을 가지는 ATM 망에서 망 자원의 효율적 운용과 다양한 서비스 품질 기준을 만족시키기 위해서는 트래픽의 변화를 예측하고 과잉 밀집을 미리 방지하는 등의 트래픽 제어 기술이 요구된다.

ATM 망은 사용자와 망이 요구하는 성능을 만족시키기 위하여 호 수락 제어(CAC : call admission control), 사용자 파라미터 제어(UPC : usage parameter control), 우선 순위 제어(PC : priority control), 폭주 제어(CC : congestion control) 등의 트래픽 제어를 제공하고 있다. 이들은 셀 기반의 방안과 호 기반의 방안으로 나뉘어 지는데 셀 기반 제어 방식은 주로 버퍼의 오버플로우나 셀의 대기로 인한 지연, 손실을 통하여 평가된다(Walter 등, 1995). 반면에 호 기반 제어 방식의 성능은 가상 채널(VC : virtual channel) 연결 설정 실패 확률에 의하여 평가된다. 즉 VC의 연결 설정에 대하여 완화된 정책을 사용하는 경우는 셀 기반의 성능에서 손실이나 버퍼의 오버플로우로 인한 성능 저하를 예상할 수 있다. 따라서 망을 보호하고 망 자원을 최적으로 사용하기 위해서는 서로 상호 보완 관계를 가지면서 제어되어야 한다(Yegari, 1994).

망 내에서 과잉 밀집이 발생하면 셀 손실률이 커지고 전송 지연도 커지게 된다. 그런데 B-ISDN에서는 각 서비스마다 요구되는 서비스 품질이 다르므로 이를 만족시키기 위해 과잉 밀집 발생시 셀 손실률 요구치가 낮은 서비스에 속한 셀들을 우선적으로 폐기시키고 전송 지연 요구 조건이 엄격한 서비스의 셀을 먼저 처리 할 필요가 있다. 따라서 우선 순위 제어가 필요하다. 우선 순위 제어는 크게 두 가지로 나눌 수가 있는데 스케줄링에 의한 지연 우선 순위 제어와 선택적 셀 폐기에 의한 손실 우선 순위 제어가 있다. 지연 우선 순위 제어는 지연 시간에 민감한 트래픽에 높은 우선 순위를 부여하여 버퍼의 상태와 각 패킷의 우선 순위에 따라 서비스하는 순서를 제어하는 것이며, 손실 우선 순위 제어는 각 트래픽의 손실 확률 요구 정도에 따라 서비스하는 순서를 제어하는 것이다. 그런데 지연 우선 순위 제어방식을 그대로 손실 우선 순위 제어 방식으로 사용할 수가 없다. 그것은 버퍼에 오버플로우가 일어날 경우, 지연 우선 순위 제어에서는 요구되는 패킷 손실률에 관계없이 비선택적으로 패킷을 버리기 때문이다. 따라서 손실 우선 순위 제어로 사용할 수 있는 방식은 패킷 손실률에 따라 선택적으로 패킷을 폐기하는 방식이라야 한다 (Chen and Guerin, 1991).

본 논문에서는 망 자원의 극대화와 QoS 보장을 목적으로 다양한 서비스 속성들을 셀 기반 제어에 속하는 우선 순위 제어 방식을 이용하여 해결하고자 한다. 기존의 부분 버퍼 공유(PBS : partial buffer sharing)기법은 트래픽의 우선 순위를 저, 고순위 2개의 우선 순위 레벨로 정하여 구현하기가 쉽고 하드웨어적으로 처리할 수 있는 장점이 있는 반면에, 고정된 임계값과 서버에서의 고정된 서비스율에 의해 셀을 획일적으로 폐기함으로써 망 자원의 이용을 저하시키는 문제점을 가지고 있다. 따라서 발생된 저, 고순위 트래픽 비율에 따라 퍼지 집합 이론을 통하여 적합도 계산에 따른 퍼지 추론을 실시하고, 그

비퍼지화 값으로 접속된 트래픽에 대해 버퍼에서의 임계값을 제어하도록 하는 퍼지 제어 알고리즘을 제안한다. 그리고 발생한 전체 트래픽의 도착률과 버퍼 점유율에 따라 퍼지 논리를 기반으로 하여 추론한 후 추론 결과로 얻어진 비퍼지화 값으로 접속된 트래픽에 대해 서버에서의 서비스율을 제어하도록 하는 퍼지 제어 알고리즘을 제안한다. 여기에서 각 알고리즘에 대한 퍼지 규칙은 MATLAB 6.1의 “Fuzzy tool”를 이용하여 적절한 수준의 성능이 관찰될 때까지 계속 파라미터의 값을 변화시키면서 측정한 결과와 비교 과정을 통하여 임계값 제어 및 서비스율 제어에 따른 적합한 수준의 규칙을 생성시키고자 한다. 그리고 생성한 퍼지 규칙을 검증하기 위하여 시간이 많이 소모되는 학습을 지양한 온라인 빌드업(on-line bulid-up)과정인 직접 비교 방법을 이용한다. 또한 제안된 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 마르코프 모델에 의한 수치해석의 방법과 AweSim 2.0을 사용한 시뮬레이션에 의해 성능 분석을 실시하고, 기존의 PBS 기법의 성능과 비교 분석한다.

본 논문의 구성은 2장에서 ATM 셀 구조 및 트래픽 제어에 대하여 설명하고, 3장에서는 퍼지 집합과 관련된 이론 및 제어 특성, 그리고 대기 행렬 이론에 의한 수치적 해석을 보인다. 또한 제안된 퍼지 기반 알고리즘을 4장에서 소개하며, 5장에서는 퍼지 추론 결과의 임계값과 서비스율을 제시한다. 6장에서는 기존의 부분 버퍼 공유 기법과 본 논문에서 제안한 임계값 예측을 위한 퍼지 기반 알고리즘, 그리고 서비스율 예측을 위한 퍼지 기반 알고리즘의 셀 손실률을 시뮬레이션과 수치 해석의 방법을 통하여 그 성능을 비교하여 결과를 고찰한다. 마지막으로 7장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. ATM 트래픽 제어

1. ATM 셀 구조

ATM은 음성, 영상, 데이터 등과 같이 전송 용량, 전송 지연, 정보의 발생형태 등이 서로 상이한 정보들을 셀(cell)이라 불리는 블록에 넣어서 운반한다. 그 셀은 셀 자체의 제어를 위한 5 bytes길이의 헤더(header)와 사용자 정보가 실리는 48 bytes길이의 “payload” 혹은 “information field”라는 것으로 나누어지며, 그 형태는 그림 1과 같다. 그리고 ATM 표준 그룹은 이 셀 헤더부분을 2가지 형태로 정의하고 있는데, 그것은 사용자와 망간의 연결을 위한 UNI(user network interface)와 망과 망간의 연결을 위한 NNI(network-to-network interface)이다.

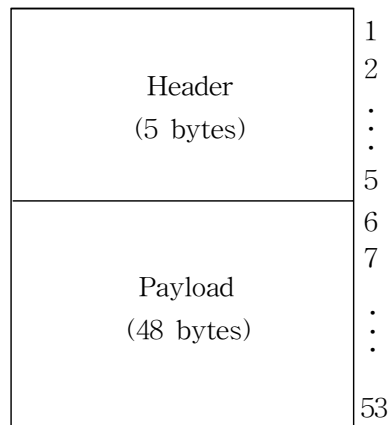
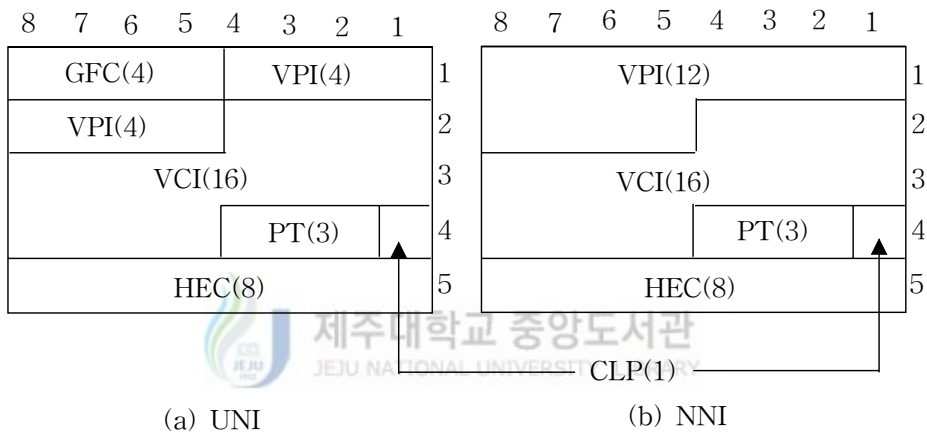


Fig. 1. ATM cell format

UNI는 ATM의 “Workstation” 혹은 “Router”인 종단스테이션과 사설 ATM 망의 ATM 스위치간의 통신을 정의하며, UNI 셀의 헤더 형태는 그림 2(a)와 같다. UNI에서는 일반 흐름 제어(GFC : general flow control)필드는 한 개의 버스 상에 복수 단말을 접속했을 때 경합 제어를 할 수 있게 만들어 놓은 필드이나 단말의 구성을 점 대 점으로 한정함에 따라 지금은 “all zero”를 설정하는 규정으로 축소되었다.



GFC : Generic Flow Control VPI : Virtual Path Identifier
VCI : Virtual Channel Identifier PT : Payload Type
CLP : Cell Loss Priority HEC : Header Error Check

Fig. 2. ATM cell header format

NNI는 ATM 스위치간의 통신을 정의하며, NNI의 헤더 형태는 그림 2(b)와 같다. NNI에서는 가상 경로 식별자(VPI : virtual path identifier)에 UNI보다 4비트 많은 12비트가 할당되어 있다(Ray Jain, 1995). 이것은 망 내에서는 가상경로를 많이 사용할 필요성이 있고, GFC가 불필요하기 때문이다. VPI와 가상 채널 식별자(VCI : virtual channel identifier)는 경로매정을 위한 라우팅

정보를 포함한다.

셀 손실 우선 순위(CLP : cell loss priority)는 체증 발생시 셀의 우선 순위를 나타내기 위해 사용되며, “1”로 설정하면 우선도가 낮은 것을 표시한다.

헤더 오류 검사(HEC : header error check)는 라우팅을 위한 중요한 정보로 셀 헤더의 CRC(cyclic redundancy check)를 위한 구간이며, 셀 오류의 감지 및 정정과 셀 헤더의 판별에 사용된다.

유료 부하 식별자(PT : payload type)는 표 1에서와 같이 세 비트로 구성되어 있고, ATM 셀의 정보필드가 사용자 정보 셀인지, 리소스 관리 셀 인지, 운영 관리 유지보수용(OAM : operation, administration and maintenance)셀 인지를 표시한다.

Table 1. The bits map of payload type

Payload coding	
000	이용자 정보셀, 폭주없음, ATM계층의 이용자간 표시 = 0
001	이용자 정보셀, 폭주없음, ATM계층의 이용자간 표시 = 1
010	이용자 정보셀, 폭주중, ATM계층의 이용자간 표시 = 0
011	이용자 정보셀, 폭주중, ATM계층의 이용자간 표시 = 1
100	가상 채널(VC)용 OAM(전송로구간용)
101	가상 채널(VC)용 OAM(End - to - End전송용)
110	자원관리용(RM: Resource Management) 사용대역의 변경시 사용)
111	예비

ATM 망은 각각의 노드간의 실제 물리적인 접속을 가상 경로와 가상채널이라는 논리적인 링크의 개념으로 설정하여 망의 전송 효율을 높일 수 있는데, 그림 3은 가상경로의 기본 개념을 나타내는 것으로 가상경로(VP : virtual path)는 다수의 가상채널(VC : virtual channel)을 연결하여 논리적으로 링크를 이룬다. 이에 따라 각각의 노드는 다음 노드의 VP나 VC 값의 경로 할당

표를 구성하고 셀의 헤더에 포함되어 있는 VPI나 VCI 값을 인식하여 이후의 경로를 할당한다. 그러므로 중간 노드가 각각의 호에 대해 채널을 설정하거나 직접적인 대역폭을 할당하지 않고도 충분한 대역폭 할당 기능을 수행하여 망의 성능을 향상시킬 수 있다.

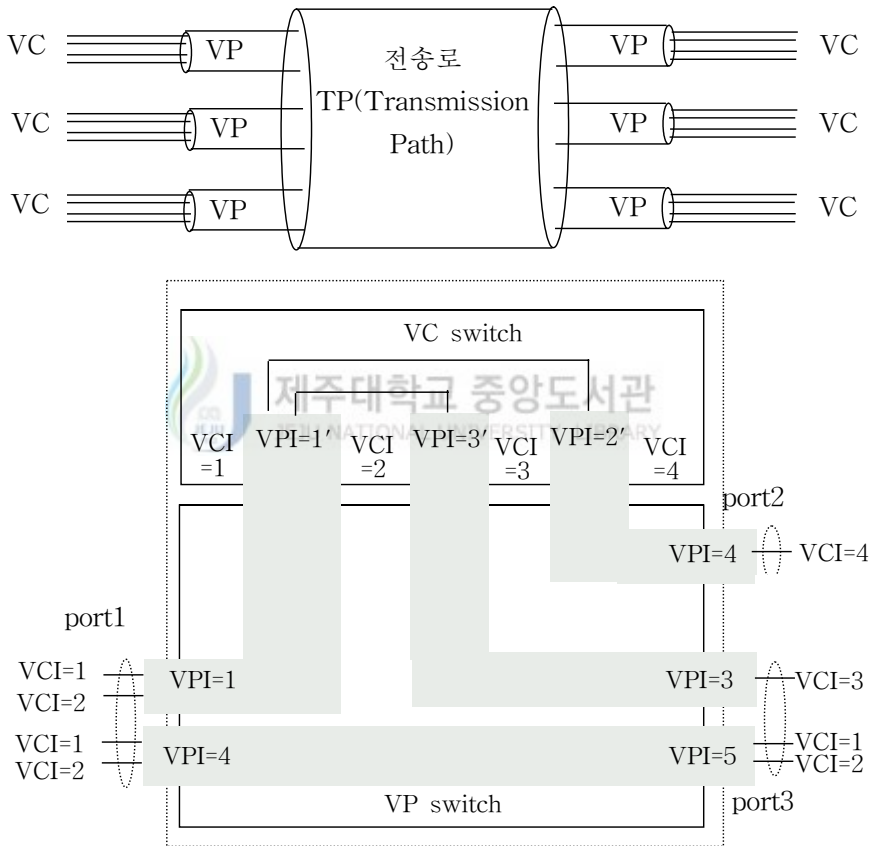


Fig. 3. Virtual paths form logical groups of virtual channels

그림 3의 “port1”에서 VPI값 4를 가지고 있는 셀은 ATM 스위치를 통해 “port3”으로 전송하는데 “VP Switch”를 통과하여 VPI 값이 5로 바뀐다. 하지

만 VCI값은 바뀌지 않고 전송된다. VPI 값이 1인 셀은 "VC Switch" 를 통과 하는데 이때 VCI 값이 1인 셀들은 VPI값을 4로, VCI 값을 4로 바꾸고 "port 2"로 전송한다. VCI 값이 2인 셀들의 경우에는 VPI를 3으로, VCI를 3으로 바꾸고 "port3"으로 전송한다. 이 VCI와 VPI의 변환규칙에 따라 형성된 통신로를 가상 채널 커넥션(VCC: virtual channel connection)이라고 하고, 단지 VPI 값에 의해서 스위칭이 되는 것을 가상 경로 커넥션(VPC: virtual path connection)이라 한다.

2. ATM 트래픽 제어

트래픽 제어는 인가된 셀 흐름이 한 사용자가 트래픽 협상에서 규정된 수준을 만족하는지, 그리고 QoS가 모든 사용자에게 만족되는지와 같은 준수되어야만 하는 트래픽 협상 수준에 대해서 그 의미를 제공하고 있다. 우선 순위를 처리하는 표준화된 한가지 수단은 ATM 셀 헤더에서 셀 손실 우선 순위(CLP) 비트에 따른 선택적 셀 폐기 기법이며, 다른 하나는 명백한 전방향 폭주 표시(EFCI : explicit forward congestion indication) 기법이다(임주환 등, 1998).

1) ATM 망내의 트래픽 제어 기술

B-ISDN에서는 상이한 특성을 갖는 다양한 신호들을 통합 처리하는 방식으로 ATM 망을 사용하고 있다. ATM 망에서는 많은 수의 트래픽을 수용하기 위하여 평균 비트율로써 대역폭을 할당하는 통계 다중화를 통해 대역 사용 효율을 높이는 VBR(variable bit rate) 방식으로 트래픽을 제어하고 있으며,

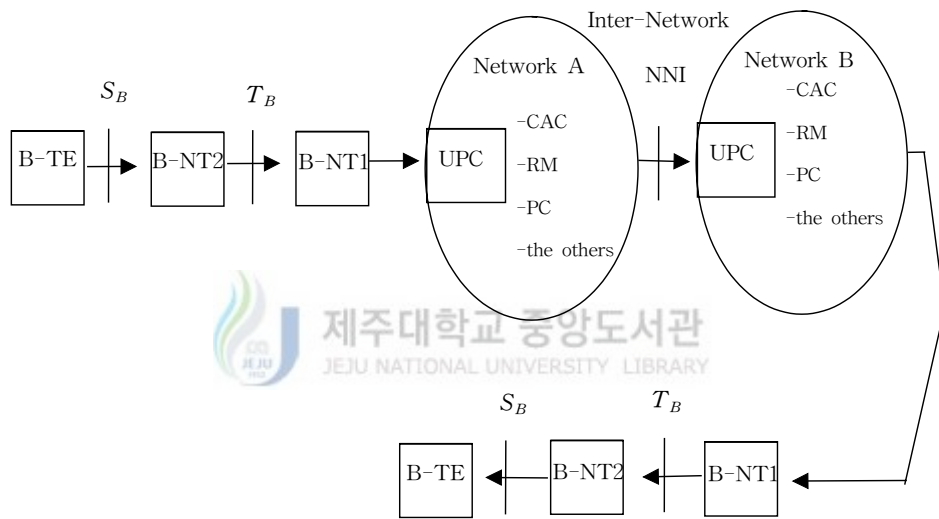
이러한 트래픽 제어 기법에는 연결 수락 제어(admission control), 사용 감시 제어(usage monitoring or traffic enforcement), 버퍼 관리(buffer management), 대응 제어(reactive control) 등이 있다.

한편, ATM 망에서는 입력되는 트래픽의 과밀 현상을 제어하기 위한 과밀 제어가 있는데, 이러한 과밀 현상이 일어나는 원인은 과도한 호의 수락, 수락된 호들의 트래픽 신고치를 지키지 않는 부정, 또는 확률적으로 야기될 수 있는 버스트들의 집중 현상들을 들 수 있으며, 그 외에 특정 링크의 결합에 의해서도 과밀이 발생할 수 있다. ATM 망에서의 과밀 제어는 빠른 링크 속도에 의한 전송 지연의 증가, 다양한 서비스 요구 조건, 그리고 다양한 트래픽 특성 때문에 기존 패킷망의 경우보다 훨씬 힘들다. 특히 전송 지연의 증가로 일단 과밀이 발생하면 이것이 호원에게 알려져 대처하기까지는 극심한 셀 손실을 겪게 되므로 ATM 망에서의 셀 처리는 빠른 스위칭 속도에 필적하는 속도로 이루어져야 하며 트래픽 제어 구조가 간단해야 한다(정현숙 등, 1994).

그림 4는 I.371의 일반적인 트래픽 제어 및 과밀 제어에 대한 기준 규정을 나타낸 것으로 호 설정 시 망에서 발생하는 일련의 사건들을 트래픽 제어 측면에서 도시한 것이다(ITU-T recommendation I.371, 1995).

먼저 호 설정을 요구하는 신호원의 통계적 특성을 나타내는 트래픽 변수를 망에 전달함으로써 연결을 신청한다. 이때, 망 내에 있는 연결 수락 제어(CAC : connection admission control) 부는 망의 현재 상태 및 호 설정을 요구하는 신호원의 특성을 토대로 기 설정된 서비스 품질을 보장하면서 새로운 호를 연결할 수 있는지를 판단하여 연결을 수락한다. 이때 트래픽 특성을 효과적으로 나타낼 수 있는 것으로 최고 전송률, 평균 전송률, 허용 가능한 버스트 크기 등을 포함하는 트래픽 매개 변수 설정과 호의 수락 여부를 판정하는 알고리즘에 관한 연구가 필요하다. 또한 망의 성능을 예측하기 위해서 신호

모델과 대기 행렬 모델의 분석에 관한 연구도 필요하다. 일단 연결이 설정된 이후에는 신호원은 셀을 망에 전송하고 망 운영자는 그 연결이 망 내 자원을 호 설정 기간 중에 약속한 범위 내에서 사용하는지 여부를 감시하기 위해 사용자 파라미터 제어(UPC)를 수행한다. 이렇게 망의 입구에서 사용 감시를 함으로서 망 내에 과밀현상이 발생할 확률을 줄일 수 있다.



UPC: Usage Parameter Control NPC: Network Parameter Control
CAC: Connect Admission Control RM: Resource Management
PC: Priority Control Others: Spacing, Framing, Shaping etc

Fig. 4. Reference configuration for traffic control and congestion control

과밀이 발생하면 셀 손실률이 커지고 전송 지연도 커지게 되는데, B-ISDN에서는 각 서비스마다 요구하는 서비스 품질 수준이 다르므로 이를 만족시키

기 위해서는 과밀시에 셀 손실률 요구치가 낮은 서비스에 속한 셀들을 우선적으로 폐기시키고, 전송 지연 요구 조건이 엄격한 서비스의 셀을 먼저 처리해 줄 필요가 있다. 따라서 우선 순위 제어가 필요하다.

2) 사용자/망 파라미터 제어

사용자 또는 다른 망으로부터 들어온 셀의 적합성과 관련되어 망에 의해서 수행된 동작을 각각 사용자 파라미터 제어(UPC)와 망 파라미터 제어(NPC : network parameter control)라 부른다. 또 다르게는 UPC/NPC를 감시(policing)라고도 하는데, UPC/NPC는 대역폭과 자원을 사용자와의 트래픽 협상에 의해 사용자에게 공정하게 할당하게 된다.

연결 수락 제어(CAC) 결과로 연결이 허용된 호는 ATM 망의 다양한 비트율이 서비스에 대한 융통성과 통계적 다중화 특성에 의해 원칙적으로는 협정된 트래픽 특성치를 초과하며 UNI의 최대 용량까지 이용할 수 있다. 따라서 이러한 경우를 방지하고 트래픽 정보원의 특정치를 협정된 범위 안으로 제한하기 위한 기능이 요구된다.

UNI와 NNI에서는 망의 트래픽과 셀 루팅 타당성에 의해 트래픽을 감시하기 위하여 각각 UPC와 NPC를 사용한다. 이러한 사용의 목적은 협정된 변수들이 위반을 감시하고 적절한 조치를 취함으로써, 기존의 다른 연결들의 QoS에 영향을 줄 수 있는 잘못된 판단으로부터 망 자원을 보호할 수 있다. 트래픽 감시 행위는 UNI나 NNI를 지나는 모든 연결들에 대해 행해지며, UPC/NPC는 사용자 VPCs/VCCs와 신호 VCs에 모두 적용된다. UPC는 망에서 첫번째 VP링크나 VC링크가 끝나는 점에서 VCC또는 VPC상에서 수행되며, NPC는 망내에서 첫번째로 VCC나 VPC가 끝나는 점에서 행해진다.

UPC/NPC구현을 위한 알고리즘은 협정에 위반되는 어떠한 트래픽 상황도

감지할 수 있어야 하고 위반사실을 감지했을 때는 신속하게 반응하여 대처해야 하며, 또한, 구현하기가 간단해야 한다. 이런 알고리즘은 개념적으로 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 그 첫 번째는 수신자가 새로운 허락을 받기 전까지 송신자가 전송할 수 있는 데이터 패킷의 수를 제한하는 윈도우 흐름제어 방법이며, 두 번째는 미리 정해진 시간 구간 동안 송신자가 전송 가능한 데이터 패킷의 수를 제한하는 것으로 패킷 간격을 지정하는 셀 간 도착 시간을 제어하는 방법이다. 두 방법의 차이는 초기 변수 값에 대한 협상과 수정을 제외한다면, 윈도우 흐름 제어는 단지 수신자가 송신자에게 메시지를 보냄으로써 결정되며, 셀 간의 도착 시간 제어는 송신자 단에서만 타이머를 이용하여 수행한다는 점이다.

UPC 방식으로는 버킷으로 셀 흐름을 감시하는 리키 버킷(LB : leaky bucket) 방식이 잘 알려져 있다. 이 방식은 파라미터의 자유도, 회로가 간단한 점에서 뛰어나다. 그러나 LB 방식에서 연결 품질을 확실히 보장하는 확률적인 수용 설계가 곤란하다. 이것은 LB를 통과하는 트래픽 패턴이 동일할 수 없기 때문에 망에 가장 큰 영향을 준다.

또 다른 UPC 방식으로 어떤 결정된 위상의 주기 T 구간의 셀 수를 세는 “credit window” 또는 “jumping window”라고 하는 주기-변위(T-X)방식이 있다. 이 방식은 회로적으로 LB 방식과 같이 계수기만으로 구성되는 간단한 방식이다. 그러나 결정된 위상에서의 계수를 하기 위해 송신측과 위상을 맞추지 않는 한 UPC로서 위반하고 있는 트래픽 패턴을 통과시키는 오류가 발생한다. 위상 불감지로 인한 오류는 다중화 시에 버퍼의 길이에 비하여 버스트 구간이 길어지면 감소하게 된다.

또 하나의 UPC 방식으로 “sliding window”라고 하는 DB(dangerous bridge) 방식을 들 수 있다. 이 DB 방식은 셀 도착 정보를 시계열적으로 기억

하여 어떤 주기 T 동안의 도착 셀 수를 계산하여, 그 값에서 UPC를 실행하는 것이다. DB 방식은 다리 위를 셀이 차례로 건너는데 어떤 수 이상의 셀이 동시에 다리를 건너려고 하면 건너지 못하고 떨어져 버리는, 즉 폐기되는 것으로 인해 DB로 이름이 지어졌다. 이 방식은 모든 위상이 주기 T 동안의 셀 시간에 대해 최대 셀 수 X 를 보장하는 구성이다. 그러나 시계열적으로 셀 도착 정보를 기억하는 브릿지 메모리라는 쉬프트 레지스터용 하드웨어가 필요하고, 긴 주기를 기억하는 경우에 하드웨어가 커지는 단점이 있다.

3) 우선 순위 제어

ATM 전송 방식에서는 셀 헤더내의 CLP 비트를 이용하여 서로 다른 우선 순위를 갖는 트래픽 처리가 가능하다. 그러나 트래픽 제어를 위한 CLP 비트의 구체적인 사용 방법과 우선 순위 메카니즘에 대해서는 아직 완전히 표준화되어 있지 않다. 보통, 우선 순위 큐잉은 서로 다른 VPC와 VCC 사이의 지연 및 손실 우선 순위를 동시에 만족시키기 위하여 정의되고 있으며, 그림 5의 블록도와 같은 예에 의해서 기술될 수 있다.

이 예에서 우선 순위 큐잉 기능은 출력 버퍼 스위치의 출력측에서 발휘된다. 다수의 입력 포트에 도착한 셀 스트림은 셀 헤더 내부의 우선 순위 값에 의해 출력 포트에 대한 여러 큐잉들 중 하나로 보내진다. 출력측은 특정 스케줄링 기능에 따라 각 큐잉을 지원하게 된다.

우선 순위 제어(PC)는 높은 우선 순위 셀에 대하여 망이 약속한 일정 수준의 서비스 품질 보장을 위해 상대적으로 낮은 우선 순위의 셀을 선택적으로 망 내에서 폐기하기 위한 일련의 조치로 정의되며, UPC기능과 밀접한 연관 관계를 갖고 있다.

ATM 셀의 상대적인 우선 순위는 CLP비트 또는 VPI/VCI필드를 사용하여

정할 수 있다. 만일 망 내에 버퍼 용량 초과 등의 충분한 자원이 없어 셀을 처리하지 못하거나 UPC기능에 의해 협약 위반 셀이라고 간주되어 셀을 폐기해야 할 경우에는 높은 우선 순위인 CLP=0 보다는 낮은 우선 순위인 CLP=1의 셀이 폐기된다. 우선 순위를 제어하는 방법에는 다음과 같은 3가지 방법이 있다. 첫째는 높은 우선 순위를 갖는 셀들의 큐잉 지연을 줄이기 위한 시간 우선 순위 제어가 있고, 또 하나는 높은 우선 순위를 갖는 셀들의 손실 확률을 줄이기 위한 손실 우선 순위 제어가 있다. 또한, 시간 우선 순위와 손실 우선 순위 모두를 고려한 복합 우선 순위 제어가 있다.

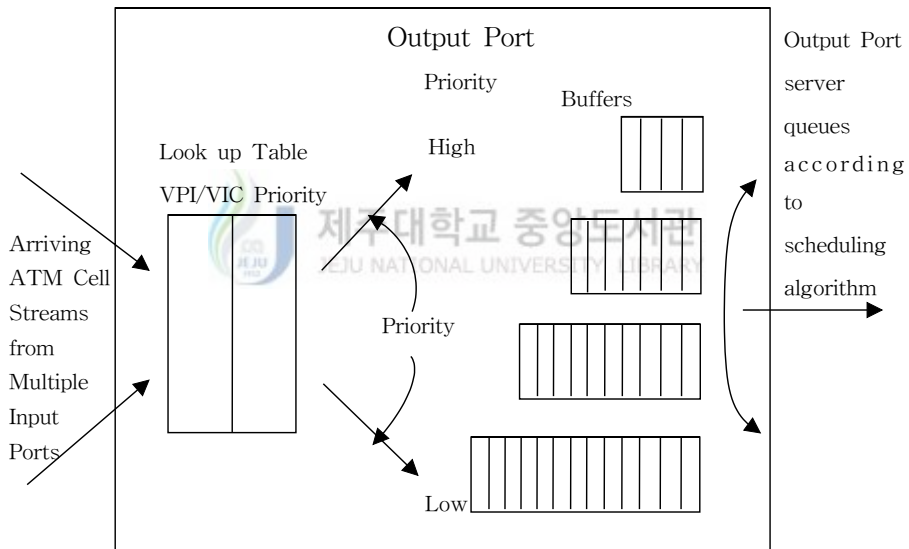


Fig. 5. The queuing motions for priority

(1) 시간 우선 순위 제어

버퍼 내에서 하나 이상의 셀이 적체되어 있는 경우, 우선 순위가 높은 셀을

먼저 전송함으로서 전체적으로 우선 순위가 높은 셀의 큐잉 시간을 줄이는 방법이다. 그러나 큐잉 지연 시간은 전체 지연 시간에 미치는 영향이 셀 처리 지연 시간, 전파 지연 시간, 전송 지연 시간 등에 비해 작기 때문에 큰 의미가 없고 셀들의 순서 유지가 보장되지 않으므로 고속의 ATM 망 환경에서 유용하게 적용되기에는 문제점이 있다고 지적하고 있다(Kroner, 1990),(Rothermel,

Table 2. Comparison among delay priority control methods

기법	제어방식	장점	단점
HOL	<ul style="list-style-type: none"> 시간 우선 순위가 높은 셀들은 시간 우선 순위가 낮은 셀들보다 버퍼의 앞쪽으로 저장하여 항상 서비스를 먼저 받도록 함 	<ul style="list-style-type: none"> 시간 우선 순위가 높은 셀들에 대해서는 좋은 성능을 보임 	<ul style="list-style-type: none"> 시간 우선 순위가 낮은 셀에 대해서는 서비스될 수 있는 기회가 적어지므로 시간 지연이 상당히 크게됨
HOL-PJ	<ul style="list-style-type: none"> HOL 방식의 단점을 보완 시간 우선 순위가 낮은 셀이 버퍼에서 대기하고 대기한 시간이 일정 지연 시간을 초과하면 시간 우선 순위가 높은 셀보다 먼저 서비스 받을 수 있는 권한을 부여 	<ul style="list-style-type: none"> 시간 우선 순위가 낮은 셀이라도 일정한 지연 시간을 유지하며 서비스가 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 실시간 트래픽 제어 성능저하
HOL-T	<ul style="list-style-type: none"> HOL 방식의 단점을 보완 각 버퍼마다 임계치를 두어 이 임계치를 초과하는 경우 그 버퍼의 셀을 서비스하는 방식 	<ul style="list-style-type: none"> 시간 우선 순위가 낮은 셀도 트래픽양이 많을 경우 일시적으로 서비스 받음 	<ul style="list-style-type: none"> 셀의 순서유지가 보장되지 않음

1990). 다시 말해서, 시간 우선 순위 제어 방식이란 지연 시간에 민감한 음성이나 비디오 트래픽에 대해 시간 우선 순위를 높게 하여 버퍼에서 서비스를 받기 위해 대기하고 있을 때 시간 우선 순위가 높은 셀들에 대해 서비스를 우선적으로 받게 하여 버퍼에서의 지연 시간을 줄이고자 하는 방법이다. 여기에는 고정 우선 순위를 갖는 HOL(head of line) 기법과 이의 단점을 보완한 유연 우선 순위로서의 HOL-PJ(head of line priority jumps), HOL-T(HOL with threshold) 기법 등이 있다(Kitami와 Tokizawa, 1990),(Lim과 Kobza, 1988). 이러한 시간 우선 순위 제어 기법들의 장단점은 표 2와 같다.

(2) 손실 우선 순위 제어

손실 우선 순위 제어 방식은 폭주 발생시에 이 상태를 벗어나기 위한 방식이다. 광대역 ISDN에서는 셀 손실률에 대한 요구 사항도 서비스 등급에 따라 다양하기 때문에 데이터 트래픽인 경우에는 손실에 민감하지만, 음성 트래픽인 경우에는 어느 정도의 손실이 허용된다. 그러므로 폭주 상태에서는 손실 우선 순위가 낮은 셀을 먼저 폐기시킴으로서 폭주상태를 대처해 나간다. 즉, 손실 우선 순위 제어 방식은 손실에 민감한 데이터와 같은 트래픽에 대하여 ATM 스위치 내의 버퍼 크기가 유한하기 때문에 발생하는 오버플로우로 인한 셀 손실을 줄이고자 하는 방식이다. 이처럼 우선 순위가 높은 셀의 손실률을 줄이기 위한 방법으로 Push-out 기법과 PBS(partial buffer sharing) 기법, NTCD(nested threshold cell discarding) 기법, NTCD-MB(NTCD-multiple buffer) 기법 등이 있다(Kroner, 1990),(Rothermel, 1990),(Kroner 등, 1991).

Push-out 기법은 버퍼가 완전히 찰 때까지 모든 셀을 받아들이다가 버퍼가 완전히 차고 난 뒤에는 도착한 셀 중에서 손실 우선 순위가 낮은 셀들은 버리고 손실 우선 순위가 높은 셀들은 버퍼 내에 손실 우선 순위가 낮은 셀들이

들어 있는 경우에는 이것들을 밀어내고 손실 우선 순위가 높은 셀들을 버퍼에 저장하는 방식이다. 이 제어 방식은 효율은 높으나 셀 순서유지를 위해 복잡한 버퍼관리 로직이 요구되므로 ATM과 같은 고속 전송 환경에는 적합하지 않다.

부분 버퍼 공유(PBS) 기법은 버퍼의 큐가 일정한 기준치를 넘으면 우선 순위가 높은 셀들만 큐에 받아드리는 방법으로서, 이상적인 Push-out 기법보다

Table 3. Comparison among loss priority control methods

기법	제어방식	장점	단점
Push-out	· 버퍼가 가득찬 후 높은 우선 순위 셀이 도착하면 낮은 우선 순위 셀과 교체	· 효율 좋음	· 복잡한 버퍼 관리 로직 필요 · 고속전송에 부적합
PBS	· 일정한 버퍼의 임계치를 넘으면 높은 우선 순위 셀만 받아들임	· 구현이 용이함 · 하드웨어적으로 처리	· 효율 낮음 · 임계치가 고정되어 있음
NTCD	· PBS 방식에 여러개의 임계치를 두어 임계치를 벗어난 셀들을 폐기	· 효율 좋음 · 다양한 형태의 셀들에 적합한 유연성 제공	· 우선 순위가 높은 셀과 낮은 셀의 비율에 따라 효율의 차이가 많음 · 우선 순위가 높은 셀의 버스트성에 따라 성능 변화가 심함
NTCD-MB	· 우선 순위가 낮은 셀을 위한 보조버퍼를 둡니다 · 주버퍼에 셀이 없을 경우 보조버퍼의 셀을 처리	· 효율 좋음 · 다양한 형태의 셀들에 적합한 유연성 제공	· 우선 순위가 낮은 셀의 서비스율이 매우 낮음

효율은 낮지만 훨씬 단순하게 구현할 수 있으며 하드웨어적으로 처리할 수 있다는 장점이 있다(Tcha 등, 1988/1989).

NTCD 기법과 NTCD-MB 기법은 부분 버퍼 공유 기법에 셀들이 갖는 우선 순위에 따라 그 셀들을 탈락시키는 방법이다. 이러한 손실 우선 순위 제어 기법들의 장단점은 표 3과 같다.

(3) 복합 우선 순위 제어

시간 우선 순위와 손실 우선 순위 모두를 고려한 방식으로 MLT(minimum laxity threshold) 제어 방식과 QLT(queue length threshold) 제어 방식을 들 수 있다(Chipalkatti 등, 1991). 이들 제어 방식은 손실 우선 순위가 낮은 실시간 셀을 폐기시키는데 있어서 시간 우선 순위가 높은 셀이 버퍼에 도착하여 일정한 셀 슬롯 타임 후에도 서비스를 받지 못하면 폐기하는 손실 우선 순위 제어 방식을 먼저 적용한다. 이와 같이 버퍼 내에서 시간 우선 순위가 높은 셀을 우선적으로 폐기시킴으로서 손실 우선 순위가 높은 비실시간성 셀에 대해서는 셀 손실을 줄일 수 있고, 버퍼에서 서비스할 트래픽이 많을 경우에는 시간 우선 순위가 높은 셀에만 셀 손실을 발생하게 하는 방식이다.

MLT는 비실시간 데이터를 우선적으로 전송하되 버퍼에 대기중인 실시간 셀의 최소 지연 초과에 의한 손실이 발생하기까지 남은 시간 즉, 렉시리(laxity)가 임계치 보다 작을 경우에만 실시간 데이터에 우선 순위를 부여하는 방법이고, QLT는 실시간 데이터를 우선적으로 전송하되 버퍼에 대기 중인 비실시간 데이터의 수가 임계치 이상이면 비실시간 데이터를 우선적으로 처리하는 방법으로 두 방법 모두 각각의 데이터를 2개의 버퍼에 따로 저장하여 관리하는 방법이다.

MLT와 QLT 제어 방식에서는 임계치 값을 적절히 선택하여야 손실 우선

순위가 높은 비실시간성 트래픽과 시간 우선 순위가 높은 실시간성 트래픽 모두에 대해 원하는 성능을 얻을 수 있다. 그런데 MLT 제어 방식은 모두 실시간성 셀들에 대해 각각의 렉시리를 찾아야 하기 때문에 많은 처리 과정을 필요로 하고, 특정 트래픽에 속하는 셀들이 버퍼에 다 차게 되었을 때에도 다른 버퍼를 이용할 수 없기 때문에 버퍼의 이용 효율이 떨어지는 단점이 있어서 ATM 환경에는 적절하지 못하다. 성능면에서는 MLT 제어 방식과 QLT 제어 방식간의 별로 차이가 없으나, 구현면에서는 QLT 제어 방식이 MLT 제어 방식에 비해 더 간단하기 때문에 실용적이라 할 수 있다(임주환 등, 1998).



III. 퍼지 집합 및 대기 행렬 이론에 의한 수치적 해석

1. 퍼지 이론

퍼지 이론이란 애매성을 다루는 이론으로서 1965년 미국 캘리포니아 버클리 대학의 L. A. Zadeh 교수가 학술전문지 Information & Control에 발표한 퍼지 집합(Fuzzy Sets)이란 논문에서의 “아름다운 여성의 집합”, “큰 수의 집합” 등 경계가 애매한 집합을 퍼지 집합이라고 명하였다(Suzuki 등,1990). 퍼지이론의 기본을 이루는 퍼지 집합은 보통집합의 확장개념으로서 어떤 사실이 얼마나 정확한가를 사람이 느끼는 감각에 맞추어 확률로 나타낸다. 따라서 다루어지는 변수도 숫자가 아닌 언어변수를 사용하며, 이러한 개념을 이론화한 퍼지는 불확실한 집합을 그대로 표현하는데 효과적이다(Bezdek와 Pal, 1991).

퍼지 집합에서는 원소가 속하는 정도를 0과 1 사이의 값, 즉 $[0, 1]$ 로 나타내고 특성함수 대신에 소속 함수(membership function)라는 용어를 사용하였으며, 소속의 정도가 0과 1 사이의 값으로 표현되는 집합을 퍼지 집합이라 불렀다. 즉, 각 대상의 어떤 모임에 「속한다, 안 속한다」라는 이원론적 논리로부터 각 대상을 그 모임에 「속하는 정도」로 이해함으로써 일반화된 개념이다.

보통집합에서 원소와 비원소간의 구분이 확실한 반면에, 퍼지 집합에서는 집합의 경계가 애매하여 ‘0’ 또는 ‘1’이 아닌 구간 $[0, 1]$ 로 ‘0’과 ‘1’사이의 모든

실수로 매핑 시킨다. 이로서 불확실한 집합의 경계를 표현할 수 있으며, 주어진 퍼지 규칙과 사실의 모임으로부터 추론 과정을 거쳐 논리적으로 타당한 새로운 사실을 얻어낸다. 이렇게 하여 퍼지 집합은 연산에 있어서 복잡한 수학적 모델을 필요로 하지 않고 단순한 방법의 연산과정만으로 가능하므로 하드웨어 구현이 쉬우며, 연산이 병렬처리 되므로 제어속도가 빠르다는 장점이 있다.

Zadeh는 전체집합 U 에 있는 퍼지 집합 A 는 다음과 같은 소속 함수로 정의한다(Zadeh, 1973).

$$\begin{aligned} \mu_A &= U \rightarrow [0, 1] \\ x &\mapsto \mu_A(x) \in [0, 1] \end{aligned} \tag{1}$$

식(1)에서 $\mu_A(x)$ 는



- (i) 원소 $x \in U$ 가 퍼지 집합 A 에 소속하는 정도, 또는 원소 x 의 소속 정도(grade of membership of x in A),
- (ii) 원소 x 의 부합정도(degree of compatibility of x in A),
- (iii) 원소 x 가 A 에 있을 참의 정도(degree of truth of x in A)로 이해할 수 있다.

식(1)과 같이 퍼지 집합을 소속 함수만으로도 정의할 수 있으나, 또 다른 방법으로 대집합 U 에 있는 퍼지 집합 A 는 다음과 같이 원소 x 와 그의 소속 정도 $\mu_A(x)$ 의 순서쌍으로도 정의할 수 있다.

$$A = \{ (x, \mu_A(x)) \mid x \in U \} \tag{2}$$

여기서 $\mu_A : U \rightarrow [0, 1]$ 이다.

퍼지 집합을 표현하는 방법으로는 크게 두 가지로 기술할 수 있다. 첫 번째 방법은 퍼지 집합의 정의에 의한 기술법으로 퍼지 집합 A 를 식(2)와 같이 기술하는 방법이다.

두 번째 방법은 적분형 또는 합산형으로 기술하는 방법인 퍼지 싱글턴 (fuzzy singleton)의 합으로 표현하는 방법이다. Zadeh는 전체집합이 연속일 경우 퍼지 집합 A 를 식(3)과 같이 적분형으로 표기하였고, 전체집합이 이산인 경우 퍼지 집합 A 를 식(4)와 같이 합산형으로 표기한다.

$$A = \int_U \mu_A(x)/x \quad (3)$$

$$A = \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_A(x_2)}{x_2} + \dots$$

$$= \sum_{i=1}^n \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} \quad (4)$$

여기에서 x 는 요소변수, $\mu(x)$ 는 멤버십 함수를 의미하며, 분수에 사용된 바 표시는 나눗셈의 의미가 아니라 하나의 구분을 나타내는 기호이고, + 기호는 대수적인 합이 아니라 이산적인 변수들에 대한 합집합을 의미한다. 또한 적분기호는 대수적인 의미의 적분이 아니라 연속적인 변수들에 대한 합집합을 의미한다.

2. 퍼지 추론

Zadeh는 애매한 언어에 퍼지 집합을 적용시켜 그 의미에 상당한 것을 멤버십함수를 사용하여 표현함으로써 컴퓨터로도 애매한 추론이 가능하다는 방법을 제안하고 있다. 이것을 특히 퍼지 추론이라고 부르고 있다.

1) 퍼지 추론의 구조

퍼지 추론의 구조는 논리학의 “modus ponens”와 “modus tollens”를 근거로 하는데 추론에 직접 사용되는 구조는 “modus ponens”를 일반화 시킨 “일반화된 modus ponens”이다.

(1) 일반화된 modus ponens

제어 분야에 주로 이용되는 퍼지 추론은 “modus ponens”를 일반화한 “일반화된 modus ponens” 추론구조가 사용되고 있으며 이를 “Fuzzy modus ponens” 또는 “Forward inference”라고도 부른다. “일반화된 modus ponens”가 “modus ponens”와 다른 점은 전제 1과 전제 2의 퍼지 집합, 즉 다음에 보여지는 예시에서 A 와 A' 가 일치하지 않고 다른 퍼지 집합일 수도 있다는 것이다. A 와 A' 가 완전히 일치하지 않을 경우 그 일치하는 정도에 따라 B 로부터 B' 를 근사하게 도출할 수 있다. 이와 같은 이유 때문에 퍼지 추론을 근사 추론(approximate reasoning)이라고도 부른다.

예를들어, A' , B' 는 전체 집합 U , V 에 대한 퍼지 집합이라고 한다면,

“modus ponens”는 다음과 같다.

전제 1 : IF x is A , THEN y is B

전제 2 : x is A'

y is B'

여기서 x 는 입력변수, y 는 출력변수이다.

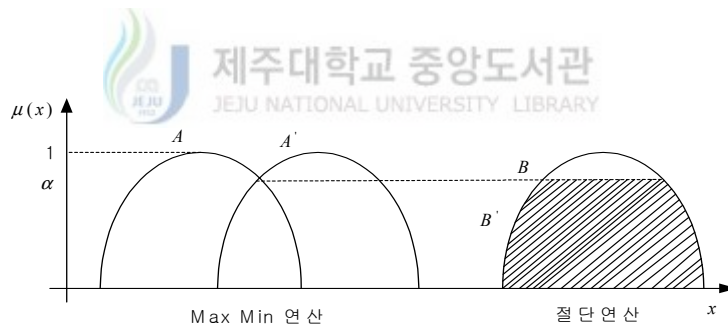
그리고 "일반화된 modus ponens"로 나타내면 다음과 같다.

규칙 : $A \rightarrow B$ (조건부)

사실 : A'

결론 : B'

위의 과정을 이용하여 사실과 조건에 일치하는 소속 정도의 도출과정은 그림 6과 같으며 다음과 같이 이루어진다.



규칙 $A \rightarrow B$, 사실 $A' \rightarrow$ 추론

Fig. 6. Generalized modus ponens cutting arithmetic process

- ① A' 와 A 의 퍼지 교집합을 구한다.
- ② 이 퍼지 교집합에서 퍼지 교집합의 최대 소속 정도인 가장 높은 적합도 α 를 구한다. 여기서 조건의 만족 정도인 α 는 max 연산이다.
- ③ 조건부가 완전히 만족되었을 때와 결론 B 조건이 완전히 만족되었을 때

B 에서 A 정도까지만 결론으로 출력된다.

④ 퍼지 집합 B 를 α 높이로 절단하여 그 이하에 해당하는 퍼지 집합을 출력한다.

이 과정을 절단연산이라 하는데 Min 연산의 일종이다. 소속 정도의 높이가 일정하게 α 인 퍼지 집합과 퍼지 집합 B 의 교집합이 B' 가 된다. 여기서 A 와 A' 가 다른 퍼지 집합일 수 있기 때문에 이것이 "modus ponens"와 다른 점이다. 예를 들면,

① x 는 작다.

② x 와 y 는 근사적으로 같다.

③ y 는 조금 더 또는 조금 덜 작다.

등으로 표현되는 퍼지 집합일 수 있다.

"일반화된 modus ponens"의 예

전제 1 : IF 실온이 낮다 THEN heater를 강하게 하라.

전제 2 : 실온이 매우 낮다.

결론 : heater를 매우 강하게 하라.

(2) 일반화된 modus tollens

의학 진단 등의 전문가 시스템에 주로 이용되는 퍼지 추론은 "modus tollens"를 일반화한 "일반화된 modus tollens" 추론 구조가 사용되고 이를 "Fuzzy modus tollens" 또는 "backward inference"라고도 부른다. "일반화된 modus tollens"가 "modus tollens"와 다른 점은 전제 1과 전제 2의 퍼지 집합 (예시에서 B 와 B')이 일치하지 않고 다른 퍼지 집합일 수도 있다는 것이다. B 와 B' 가 완전히 일치하지 않을 경우 그 일치하는 정도에 따라 A 로부터 A' 을

근사하게 도출할 수 있다.

전제 1 : *IF x is A, THEN y is B*

전제 2 : *y is B'*

x is A'

여기서, A' , B' 는 전체 집합 U , V 에 대한 퍼지 집합이다.

이상의 내용을 요약하면 "일반화된 modus ponens"가 $A' = A$ 의 조건이 $B' = B$ 면 통상의 "modus ponens"가 되고, "일반화된 modus tollens"가 $A' = \bar{A}$ 와 $B' = \bar{B}$ 의 조건이면 통상의 "modus tollens"가 된다. 추론에서는 퍼지 집합 A 와 A' (또는 B 와 B')이 어느 정도 일치하는가 하는 것을 판정하는 일이 매우 중요하다. 그래서 추론 결과는 $B(A)$ 중에서 일치하는 소속 정도 만큼의 부분을 $B'(A')$ 로 출력하게 된다.

추론 과정을 단계별로 살펴보면 다음과 같다.

단계 1. 주어진 입력에 대한 각 규칙의 전반부 소속정도를 구한다.

단계 2. 1 단계에서 구한 소속정도를 기초로 각 규칙의 추론 결과를 구한다.

단계 3. 각 규칙의 추론 결과로부터 최종적인 추론 결과를 구한다.

2) 퍼지 추론의 종류

함수는 좌표축 상에 점들의 관계를 정의하듯이 퍼지관계도 퍼지수 사이의 관계를 일정 형식으로 정의할 수 있다. 이러한 관계식을 사용하면 임의의 값에 대한 결과값도 구할 수 있는 장점이 있다. 시스템은 하나의 함수 또는 퍼지관계로 나타낼 수 있는 모델이 필요하다.

일반적인 선형성이 강한 시스템은 크리스프(crisp) 수를 이용하여 크리스프 함수 관계를 나타내는 모델을 찾아서 임의의 입력에 대해서 출력을 구할 수 있다.

하지만 비선형성이 강한 시스템은 크리스프 수를 통하여 모델을 찾는다는 것은 많은 무리가 따른다. 현재 비선형 시스템의 입출력 데이터를 통하여 모델을 찾는 방법이 많이 연구되고 있다. 특히, 비선형 시스템을 언어적인 규칙과 그에 따른 퍼지 수로 정의하고, 기존의 수학적인 함수 관계가 아닌 퍼지 관계를 이용하여 시스템의 모델을 얻는다.

비선형 시스템을 언어적 규칙을 사용하여 서술할 수 있고, 그에 따른 퍼지수가 정의될 수 있다면, 언어적 규칙에 근거한 비선형 시스템의 퍼지관계인 모델 식을 얻는 것이 가능할 것이다. 이 퍼지관계를 이용하면 임의의 입력에서도 퍼지 추론의 결과를 얻을 수 있다.

추론 방법은 크게 직접법과 간접법의 두 종류로 구분할 수 있다. 진리값 공간을 사용하지 않고 직접 추론으로 결과를 구하면 직접법이고, 진리값 공간을 매개로 간접적으로 추론 결과를 구하면 간접법이 된다. 직접법은 다시 직접법, 선형(혼합) 추론법, 간략 추론법, 변형된 선형 추론법 및 회귀다항 추론법으로 구분이 된다. 이 구분은 후반부 변수에 의해 결정된다. 후반부 변수가 단순히 하나의 퍼지 수로써 정의되면 직접법이고 선형식으로 주어지면 선형 추론법이며, 선형식을 상수화한 방법이 간략 추론법이고, 선형식에서 변수를 적합도로 나타내면 변형된 선형 추론법이며, 회귀 다항식으로 주어지면 회귀다항 추론법이 된다.

퍼지추론을 하기 위해서는 퍼지규칙이 필요하다. 퍼지추론의 퍼지규칙은 *IF-THEN* 형식으로 기술하는 것이 일반적이다. 퍼지규칙에서 *IF*절은 전반부, 전건부 또는 전제부 등으로 불리고, *THEN* 절은 후반부, 후건부 또는 결론부 등으로 불린다. 본 논문에서 전반부와 후반부를 택해서 사용할 것이다. 규칙의 일반적인 형태는 아래와 같다.

예 1 : 규칙 *IF x is A, THEN y is B*

예 2 : 규칙 *IF* x_1 is A and x_2 is B , *THEN* y is C

예에서 알 수 있듯이 전반부 변수와 후반부 변수의 수는 상황에 따라 결정한다. A, B, C 는 퍼지 소속함수(또는 퍼지수)로 정의된다. 본 논문에서 사용되어진 직접법은 Mamdani 추론법이라고도 하며, 이 추론법의 일반화된 퍼지 규칙 형식은 다음과 같다.

IF x_1 is A and x_2 is B *THEN* y is C

여기서, A, B, C 는 퍼지수, x_i 는 전반부 변수, y 는 후반부 변수이다.

직접법의 가장 큰 특징은 후반부 변수가 상수라는 점이다. 따라서 다른 추론에 비해 추론 속도가 빠른 편이다. 직접법은 전반부 변수들과 후반부 변수들을 통해 퍼지 관계를 구한다. 규칙이 여러 개일 경우에는 각 규칙에 대한 관계를 구하고 이것들을 하나로 결합하여 최종 관계를 구하게 된다. 이렇게 구해진 관계에 입력변수를 입력하여 얻어진 출력을 비퍼지화하여 시스템에 대한 입력으로 사용하면 응답을 구할 수 있다. 여기서 사용하는 퍼지규칙은 시스템 모델을 나타내는 퍼지관계로 표현된다. 이상의 과정은 크게 4단계로 구분된다.

- 단계 1 : 주어진 입력에 대한 각 규칙의 전반부 적합도를 구한다.
- 단계 2 : 단계 1에서 구한 적합도를 기초로 각 규칙의 추론 결과를 구한다.
- 단계 3 : 각 규칙의 추론 결과로부터 최종적인 추론 결과를 구한다.
- 단계 4 : 비퍼지화를 통해 실제 시스템에 사용 가능도록 한다.

본 논문에서 적용한 방법인 직접법에 의한 추론과정을 다음과 같은 2 개의 퍼지 규칙을 갖는 퍼지 제어 시스템이라고 가정하고 4단계의 추론과정을 다음에 보였다.

규칙 1 : *IF* x_1 is A_1 and x_2 is B_1 , *THEN* y is C_1

규칙 2 : IF x_1 is A_2 and x_2 is B_2 , THEN y is C_2

여기서 A_i, B_i, C_i 은 퍼지 소속 함수이고, x_i 는 입력변수, y 는 출력변수이다.

(1) 단계 1 : (x_1, x_2) 입력에 대한 각 규칙의 적합도

· R^1 의 적합도 : $w_1 = \mu_{A_1}(x_1) \wedge \mu_{B_1}(x_2)$

· R^2 의 적합도 : $w_2 = \mu_{A_2}(x_1) \wedge \mu_{B_2}(x_2)$

여기서는 A_i 에 대한 적합도와 B_i 에 대한 적합도 중 작은 값을 취한다(단, $i=1, 2$).

(2) 단계 2 : 개개의 규칙의 추론 결과를 구한다.

· R_1 의 추론 결과 : $\mu_{c_1}(y) = w_1 \wedge \mu_{c_1}(y), \forall y \in Y$

· R_2 의 추론 결과 : $\mu_{c_2}(y) = w_2 \wedge \mu_{c_2}(y), \forall y \in Y$

여기서는 단계 1에서 구해진 값과 C_i 에 대한 적합도 중 작은 값을 취한다(단, $i=1, 2$).

(3) 단계 3 : 다음과 같이 최종적인 추론 결과를 구한다.

$$\mu_x(y) = \mu_{c_1}(y) \vee \mu_{c_2}(y) \quad (5)$$

여기서는 각 규칙에서 구해진 적합도 값 중에서 가장 큰 값을 취한다.

(4) 단계 4 : 비퍼지화 한다. 일반적으로 무게 중심법(center of gravity)을 많이 사용한다. 퍼지 제어기의 성능에 영향을 미치는 요소는 많으므로 어느 비퍼지화 방법이 어떻다고 일반적으로 말하기 어려우나, Braae와 Rutherford(1978)는 무게중심법(COG)이 최대값 평균법(MOM: mean of maxima method)보다 우수하다는 결론을 얻었고, Larkin(1985)은 비행체의 항공제어에 비퍼지화 방법을 적용

비교하여 COG가 MOM보다 우수하다는 결론을 얻었다. 그리고 Scharf와 Mandic(1985)은 로봇팔 제어실험에서 과도응답특성은 MOM방법을 채택할 때가 더 좋고, 정상 상태 편차는 COG방법을 채택할 때가 좋다는 결과를 얻었기에 본 논문에서도 식(6)과 같이 표현되는 COG방법을 선택한다.

$$y_0 = \frac{\int \mu_c(y) \cdot y \, dy}{\int \mu_c(y)} \quad (6)$$

이상의 추론과정을 도식적으로 표현해 보면 그림 7, 8과 같다.

그림 7은 입력이 크리스프(crisp) 수인 경우 직접법에 의한 추론과정을 보인 것이다. 규칙 1과 2에서 A_1 과 A_2 에 x_1 가 입력되면 (a)와 (d)가 되고, B_1 과 B_2 에 x_2 가 입력되면 (b)와 (e)가 된다. 그림 7에서 얻은 4개의 적합도 중에서 A_1 과 x_1 를 통해서 구한 적합도와 B_1 과 x_2 를 통해서 구한 적합도 중에 작은값은 규칙 1에 대한 전반부 적합도 ($w_1 = \mu_{A_1}(x_1) \wedge \mu_{B_1}(x_2)$)가 된다. 또한, A_2 와 x_1 를 통해서 구한 적합도와 B_2 와 x_2 를 통해서 구한 적합도 중에 작은값은 규칙 2에 대한 전반부 적합도 ($w_2 = \mu_{A_2}(x_1) \wedge \mu_{B_2}(x_2)$)가 된다. 이렇게 구해진 전반부 적합도 w_1 과 w_2 보다 작은 부분을 각각 C_1 과 C_2 의 소속 함수에서 취하면 이것들이 각각 규칙 1과 규칙 2에 대한 관계가 되며 (c)와 (f)에 해당한다 ($\mu_{c_1}(y) = w_1 \wedge \mu_{c_1}(y)$, $\mu_{c_2}(y) = w_2 \wedge \mu_{c_2}(y)$). 다시 말해서 (c)와 (f)에서 점선 아랫부분이 취해지는 것이다. 이 부분들을 겹쳐서 최대(max)를 취하면 퍼지 추론의 출력값 ($\mu_x(y) = \mu_{c_1}(y) \vee \mu_{c_2}(y)$)을 구할 수 있다.

끝으로 비퍼지화를 위해 (g)와 같이 구해진 도형면적의 평균을 나타내는 위

치를 식(6)을 이용하여 구하면 우리가 원하는 최종 출력값을 얻을 수 있다.

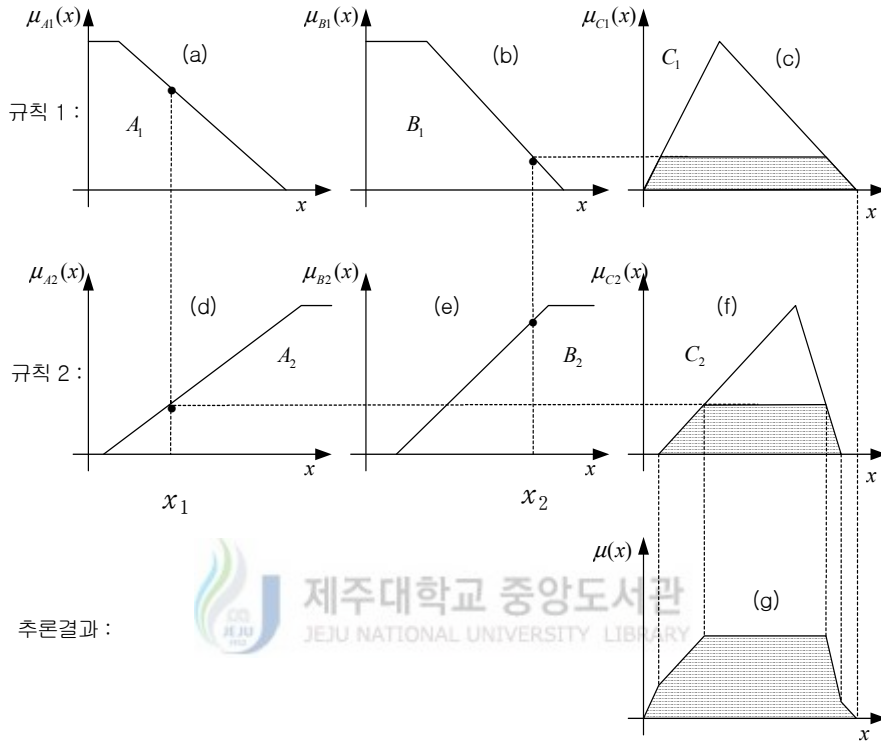


Fig. 7. Mamdani's reasoning method about crisp input

입력이 퍼지수로 입력될 경우는 크리스프 수가 입력일 때와 달리 하나의 입력변수에 두 개의 적합도가 취해져 이 중 작은 값을 취하는 과정이 추론과정의 앞부분에 추가되는 것만 다르다. 그 외의 과정은 크리스프 입력일 때와 일치한다. 그 과정은 그림 8과 같다. 실제로 규칙이 퍼지수나 크리스프 수로 주어졌을 때 최종출력으로 실수값을 구해내기 위해서는 규칙을 퍼지 관계로 변환하고 값들을 계산해야 한다. 직접법에서 IF-THEN 규칙을 퍼지 관계로 변환하는 방법은 크게 Zadeh가 제안한 방법과 Mamdani가 제안한

방법 두 가지가 있다. 실제로 제어분야에서는 Mamdani의 방법이 많이 사용되고 있다(Jang 등, 1997).

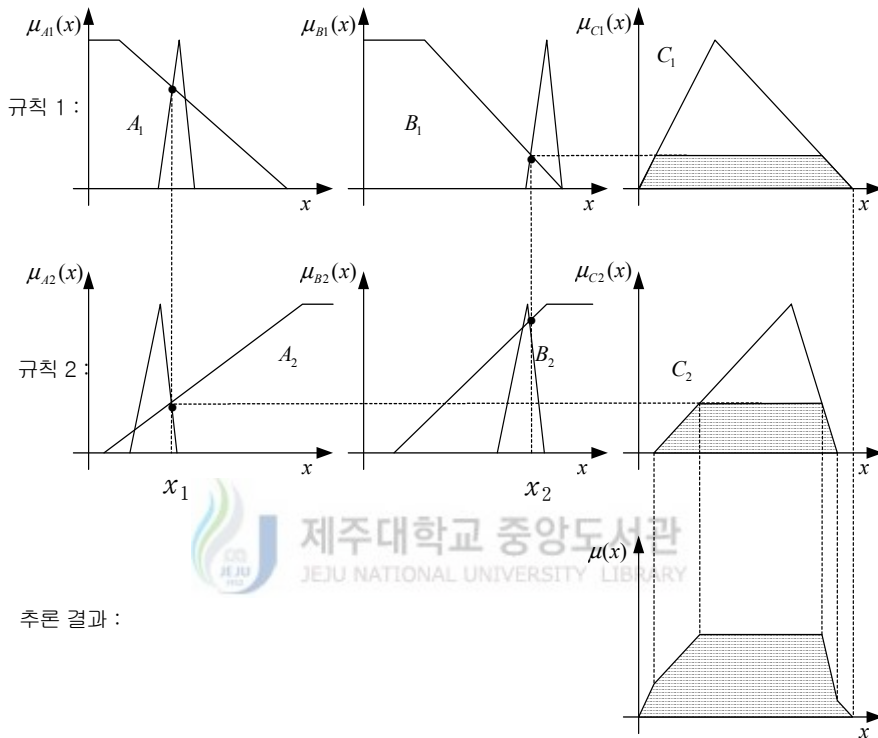


Fig. 8. Mamdani's reasoning method about fuzzy input

3) 퍼지 추론 규칙

지금까지의 추론은 주어진 사실로부터 규칙이 참인지 거짓인지의 2진 논리만을 따지는 것으로 추론방법이 매우 단순하며 그 결과가 정확한 반면 적용할 수 있는 범위가 한정되어 있다. 즉, 조건부에 있는 명제(p)와 완전히 동일한 명제가 사실로 존재해야만 그 규칙의 적용이 가능하다. 그러나 인간의 보편적

인 추론방법은 다음의 규칙과 사실로부터 새로운 사실을 유도해 낼 수 있다.

전제 1 : 토마토는 빨갱다. 토마토는 익었다.

전제 2 : 토마토는 약간 빨갱다..

 결 론 : 토마토는 약간 익었다.

이를 위해서는 자연어로 표시된 규칙이나 사실들을 처리해야 하고 규칙의 조건부에 있는 명제와 완전히 동일하지 않은 명제가 사실로 주어지더라도 부분적인 결론을 추론해 내야 한다.

(1) 결합 규칙(conjunctive rule)

일반형 : x_1 is A

x_1 is B

 x_1 is $A \cap B$

결과 : $\mu_{A \cap B}(x_1) = \mu_A(x_1) \wedge \mu_B(x_1) \quad , \forall x_1 \in U$

(2) 카티션 규칙(cartesian product)

일반형 : x_1 is A

x_2 is B

 (x_1, x_2) is $A \times B$

결과 : $\mu_{A \times B}(x_1, x_2) = \mu_A(x_1) \wedge \mu_B(x_2) \quad , \forall x_1 \in U, x_2 \in U$

V

(3) 프로젝션 규칙(projection rule)

일반형 : (x_1, x_2) is R

 x_1 is domR

$$\text{결과 : } \mu \text{ dom}R(x_1) = \bigvee \mu R(x_1, x_2) \quad , \forall (x_1, x_2) \in R$$

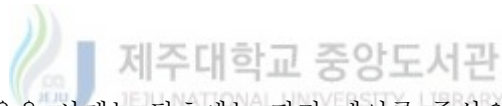
(4) 합성 규칙(compositional rule)

$$\text{일반형 : } x_1 \text{ is } A$$

$$\frac{(x_1, x_2) \text{ is } R}{x_2 \text{ is } A \circ R}$$

$$\text{결과 : } \mu A \circ R(x_2) = \bigvee \{ \mu A(x_1) \wedge \mu R(x_1, x_2) \}, \forall (x_1, x_2) \in R$$

3. 퍼지 제어 응용사례



퍼지 이론의 응용 사례는 당초에는 퍼지 제어를 중심으로 한 공학적인 분야에 많았지만 의료진단이나 주식투자용 전문가 시스템 등에도 적용되고 있으며 서서히 여타 분야에도 확산되고 있다. 특히 통신 분야인 ATM 망에서의 퍼지 응용 사례를 보면, 첫 시도로 Tcha(1988/1989) 등이 퍼지 집합 이론을 주파수 대역폭 할당에 적용한 것이 시초가 되었으며, 그 이후 Miami 대학 전자컴퓨터공학과와 Yao-Ching Liu와 Christos Douligeris(1996)에 의해 연구된 NTCD(nested threshold cell discarding)기법에서는 단일버퍼에서의 다중 우선 순위를 적용하기 위해 기존의 부분 버퍼 공유기법에 여러개의 임계값을 설정하는데 퍼지이론을 적용하여 셀 손실율면에서 그 성능을 향상시켰다. Qingyang Hu 등(1996)이 ATM 망에서 가변 비트율(ABR : available bit rate) 서비스 클래스에 대한 트래픽 전송률 제어방식을 개선한 것으로서, 송신

원의 전송률 제어값을 스위치단의 버퍼량과 버퍼 변화율로 퍼지 추론 방식을 적용하여 링크 이용률을 향상시켰고, 최근에 김주현 등(2000)이 ATM 망에서 퍼지 동적 이중 셰이핑 기법을 이용한 트래픽 제어로 네트워크 혼잡 정도의 고려없이 입력 셀들의 폐기의 수에 따라 일정한 비율의 셀 처리율을 향상시키는 기존의 이중 셰이핑 방식에 퍼지이론에 의해 최적의 셀 처리율을 적용하여 이중 셰이핑 방법보다 더 나은 효율을 보이는 제어방법을 제시한다. 이처럼 최근들어 ATM 망에서의 퍼지 제어 기법을 활용하는 연구가 활발히 진행되고 있다.

4. 대기 행렬 이론에 의한 수치적 해석



각 우선 순위 셀의 도착 및 전송 처리는 서로 독립이고 각각의 고·저순위 셀 도착률이 λ_L 과 λ_H 을 따르는 포아송 프로세서를 가정한다. 각 트래픽으로부터의 셀은 하나의 버퍼에서 대기하며 셀을 전송 처리하는 서버는 하나이다. 또, 전송 시간은 각각의 트래픽에 대해 동일하며 서버의 서비스 시간은 ν 를 따르는 지수분포를 가정한다. 전체 버퍼의 크기는 N 이며 고순위 트래픽을 위한 임계치는 $TH(\leq N)$ 이다. 따라서 언급한 퍼지 기반 PBS 트래픽 모델은 그림 9와 같다.

그림 9의 큐잉 모델에서 구간 i 에 따른 각 우선 순위 셀 도착률 관계는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \lambda_T &= \lambda_H + \lambda_L \quad (0 \leq i < TH) \\ &= \lambda_H \quad (TH \leq i < N) \end{aligned} \tag{7}$$

그림 9의 퍼지 기반 부분 버퍼 공유 기법의 큐잉모델을 해석하기 위하여 마르코프 체인을 이용한 상태 천이도는 그림 10과 같다. 그림 10의 상태 천이도로부터 flow conservation law를 적용하면 식(8)과 같은 평형상태 방정식을 구할 수 있다.

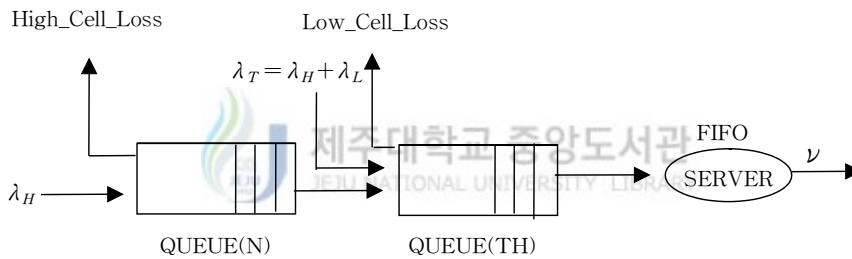


Fig. 9. The queuing model of Fuzzy BPS scheme

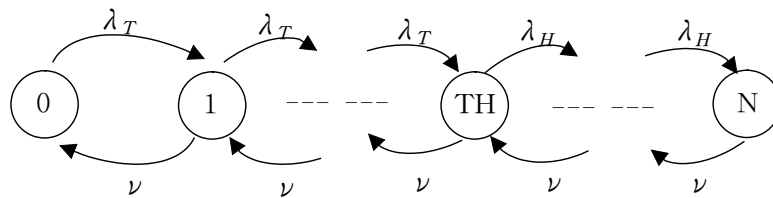


Fig. 10. State transition diagram

$$\begin{aligned}
(\text{상태}0) \quad & -\lambda_T P_0 + \nu P_1 = 0 \\
(\text{상태}1) \quad & -\lambda_T P_1 + \lambda_T P_0 - \nu P_1 + \nu P_2 = 0 \\
(\text{상태}2) \quad & -\lambda_T P_2 + \lambda_T P_1 - \nu P_2 + \nu P_3 = 0 \\
& \vdots \\
& \vdots \\
(\text{상태 } TH) \quad & -\lambda_T P_{TH} + \lambda_T P_{TH-1} - \nu P_{TH} + \nu P_{TH+1} = 0 \\
& \vdots \\
& \vdots \\
(\text{상태 } N) \quad & 0 + \lambda_H P_{N-1} - \nu P_N = 0
\end{aligned} \tag{8}$$

식(8)의 평형 상태 방정식을 풀면 각 구간 i 에서의 상태 확률 P_i 는 다음과 같이 구할 수 있다.



$$i) \quad 0 \leq i \leq TH \tag{9}$$

$$P_i = \left(\frac{\lambda_T}{\nu}\right)^i \times P_0$$

$$ii) \quad TH < i \leq N \tag{10}$$

$$P_i = \left(\frac{\lambda_T}{\nu}\right)^{TH} \times \left(\frac{\lambda_H}{\nu}\right)^{i-N} \times P_0$$

평형조건에서 동시에 일어나는 호들의 평균수로 트래픽 밀도를 나타내는 트래픽율 ρ 는 $\rho = \left(\frac{\lambda}{\nu}\right)$ 이고 $0 \leq \rho < 1$ 이므로 $\left(\frac{\lambda}{\nu}\right) < 1$ 이다. 그리고 트래픽

도착률 $\lambda > 0$ 이고, 처리율도 $\nu > 0$ 이며 항상 $\lambda < \nu$ 조건을 유지한다. 또한 $\lambda_T = \lambda_H + \lambda_L$ 이므로 모든 경우에 대해서 $\lambda_H < \nu$ 가 성립한다. 그러므로 $0 \leq \rho < 1$ 일 때 $0 < P_0 \leq 1$ 과 $0 < P_N \leq 1$ 이 성립한다.

모든 상태 확률의 합은 “1”이 되므로 초기 상태 확률 P_0 는 대기 행렬 이론의 큐잉정리를 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_0 = \left[\sum_{i=0}^{TH} \left(\frac{\lambda_T}{\nu} \right)^i + \sum_{i=TH+1}^N \left(\frac{\lambda_T}{\nu} \right)^{TH} \times \left(\frac{\lambda_H}{\nu} \right)^{i-TH} \right]^{-1} \quad (11)$$

전체 트래픽에 대하여 서비스할 수 있는 버퍼의 공간이 제한되어 있으므로 셀에 대한 손실이 발생하는데 저순위 셀에 대한 셀 손실의 발생은 임계값까지는 셀 손실이 없지만 그 이상에서의 저순위 셀은 모두 손실이 발생하므로 저순위 셀에 대한 셀 손실률은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{low-loss} &= \sum_{i=TH+1}^N P_i \\ &= \sum_{i=TH+1}^N \left(\frac{\lambda_T}{\nu} \right)^{TH} \times \left(\frac{\lambda_H}{\nu} \right)^{i-TH} \times P_0 \end{aligned} \quad (12)$$

고순위 셀의 손실은 제한된 버퍼에 여유 공간이 없을 경우에 도착하는 셀에 대해서 발생하게 되므로 고순위 셀에 대한 셀 손실률은 다음과 같이 전체 버퍼 크기에서의 확률 P_N 으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{high-loss} &= P_N \\ &= \sum_{i=TH+1}^N \left(\frac{\lambda_T}{\nu} \right)^{TH} \times \left(\frac{\lambda_H}{\nu} \right)^{N-TH} \times P_0 \end{aligned} \quad (13)$$

전체 셀 손실 확률은 도착한 각 우선 순위 셀 손실의 합으로 나타낼 수 있

으므로 식(12), 식(13)에 셀 도착률을 이용하여 전체 셀 손실 확률을 정리하면 다음과 같다.

$$P_{total-loss} = \frac{\lambda_L}{\lambda_T} \times P_{low-loss} + \frac{\lambda_H}{\lambda_T} \times P_{high-loss} \quad (14)$$



IV. 퍼지 기반 제어 알고리즘

본 논문에서 제안한 퍼지 추론을 기반으로 하는 트래픽 제어구조는 그림 11과 같다.

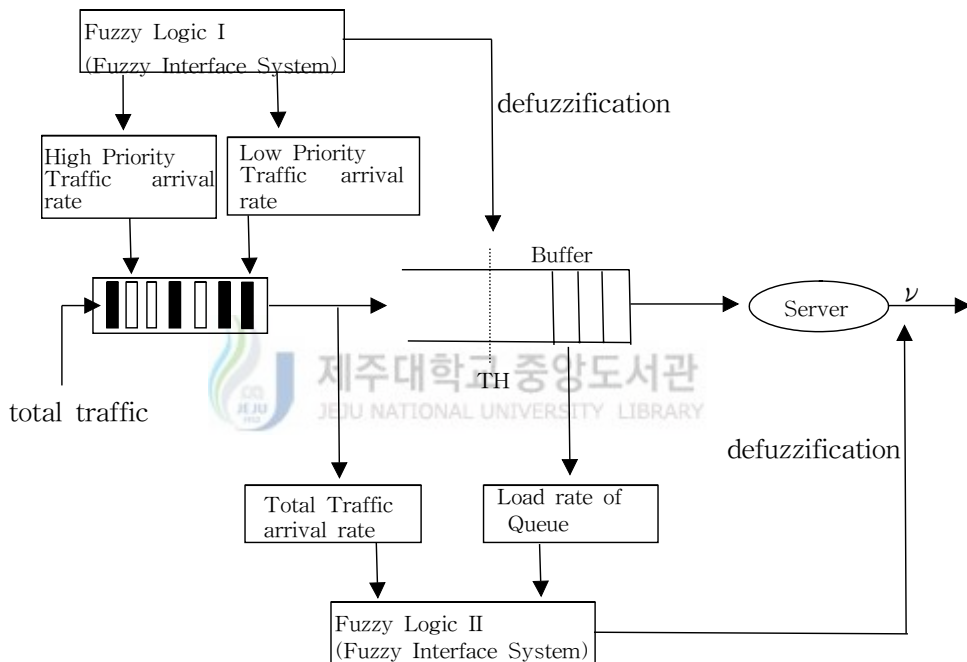


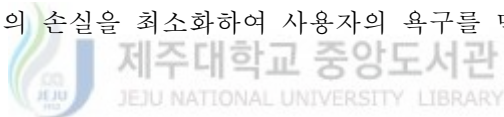
Fig. 11. The Fuzzy basic control structure

우선 첫 번째 제안된 퍼지 제어 알고리즘은 동적 임계값을 구하기 위해 두 개의 우선 순위와 퍼지 집합을 사용한다. 즉, 발생된 저, 고순위 트래픽에 따라 퍼지 집합 이론을 통하여 적합도에 따른 결과를 추론한 후 그 비퍼지화 값으로 접속된 트래픽에 대해 버퍼에서의 임계값을 제어하도록 한다. 그리고 두 번째 제안된 퍼지 제어 알고리즘은 동적 서비스율을 구하기 위해 트래픽의

도착률과 버퍼 점유율 그리고 퍼지 집합을 사용한다. 즉, 발생한 전체 트래픽의 도착률과 버퍼 점유율에 따라 퍼지 논리를 기반으로 하여 추론한다. 그 후, 추론 결과로 얻어진 비퍼지화값으로 접속된 트래픽에 대해 서버에서의 서비스율을 제어하도록 한다. 본 논문에서의 전체 버퍼의 크기는 20으로 한다.

1. 임계값 결정 알고리즘

이 퍼지 논리 제어시스템의 사용 목적은 고순위 트래픽율과 저순위 트래픽율에 따라 퍼지 추론 과정을 거쳐, 그 결과로 버퍼의 임계값을 제어함으로써 발생하는 트래픽의 손실을 최소화하여 사용자의 욕구를 만족시키는데 있다.



1) 삼각 퍼지수로의 입출력 변수와 이들의 소속 함수

퍼지수는 퍼지집합이므로 하나의 퍼지수 A 는 여러 가지로 정의할 수 있다. 즉, 퍼지수 A 의 소속함수를 종형(bell type), 삼각형(triangular type), 사다리꼴(trapezoidal type)등 여러 가지로 정의할 수 있으며, 삼각 퍼지수는 적용이 간편하다는 장점 때문에 퍼지 논리 제어기에서 널리 사용된다. 삼각 퍼지수는 삼각형의 밑변의 크기가 작아져 멤버십 함수의 입력이 크기가 작을 때 정밀도가 높다. 그러므로 이러한 멤버십 함수를 갖는 퍼지 논리 제어기는 우수한 성능을 낼 수 있다고 판단되어 널리 이용된다. 따라서 본 논문에서는 퍼지수의 표현이 간단하고 또한 연산이 비교적 간단한 삼각 퍼지수를 사용하여 임의의 삼각형 꼭지점과 다른 삼각형 밑변이 끝점은 일치하도록 한다. 이는 두 입력에 대하여 멤버십 함수값이 생성되는데, 두 입력에 대한 멤버십 함수값의 합

이 항상 1이 되도록 해서 매순간 입력에 대한 영향을 동일하게 받도록 하기 위해서이다.

그림 12와 같은 삼각형인 퍼지수를 삼각 퍼지수(triangular fuzzy number)라 부르며, 삼각 퍼지수 A 를 (a_1, a_2, a_3) 으로 기술할 수 있으며, μ_A 를 다음과 같이 기술할 수 있다.

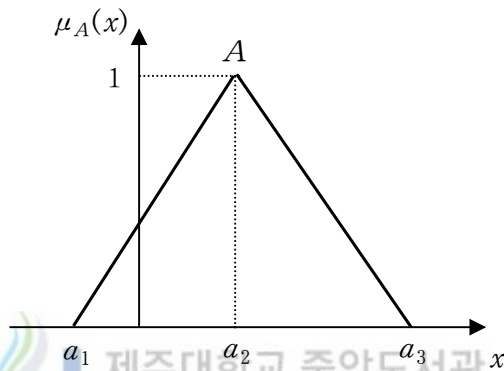


Fig. 12. The triangular fuzzy number

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a_1 \\ \frac{(x - a_1)}{(a_2 - a_1)} & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{(a_3 - x)}{(a_3 - a_2)} & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0 & a_3 \leq x \end{cases} \quad (15)$$

그리고 삼각 퍼지수 A 는 특징점의 사용으로 다음과 같이 표현 가능하다

$$A = (a_1, a_2, a_3) \quad (16)$$

퍼지수 $A = (a_1, a_2, a_3)$ 의 α -절단집합 A_α 는 다음과 같다.

$$A_\alpha = [a_1^{(\alpha)}, a_2^{(\alpha)}] = [(a_2 - a_1)\alpha + a_1, -(a_3 - a_2)\alpha + a_3], \forall \alpha \in [0, 1]$$

(17)

만일 $A, B \subseteq R$ 이면 신뢰구간을 이용한 구간의 최소와 최대는 다음과 같이 정의된다.

$$A \wedge B = [\min\{a_1, b_1\}, \min\{a_2, b_2\}] \quad (18)$$

$$A \vee B = [\max\{a_1, b_1\}, \max\{a_2, b_2\}]$$

제안된 임계값 제어 알고리즘에서 퍼지 추론 시스템의 입력으로 사용되어지는 변수로는 고순위 트래픽율(h)과 저순위 트래픽율(l)을 사용한다. 이는 전체 트래픽율에서의 고순위와 저순위 트래픽율로 low, med (medium), high 등의 3가지 언어적 변수를 사용하고, 퍼지 논리에 의한 출력은 현 버퍼의 임계값(y_1)으로 vs(very small), small, med(medium), big, vb(very big)의 5단계로 표현하여 고순위 트래픽율과 저순위 트래픽율에 따라 버퍼의 임계값을 제어할 수 있도록 한다. 임계값 추론을 위한 퍼지 추론 시스템의 입력으로 사용하는 트래픽율의 최대값(1)과 최소값(0) 사이를 퍼지 분할 영역의 전체영역으로 하고, 그림 13(a)와 같은 방법으로 퍼지 분할을 실시한다. 그림 13(a)에서 구간별 x_1, x_2, x_3 는 각각 0, 0.5, 1을 나타낸다.

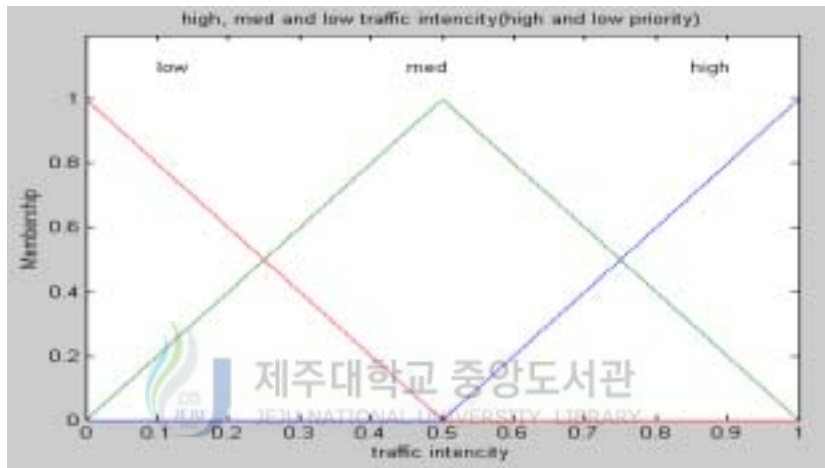
$$0 \leq x \leq 0.5 \text{ 구간} : \mu_{low}(x) = \frac{(x_2 - x)}{(x_2 - x_1)} \quad (19)$$

$$\mu_{med}(x) = \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} \quad (20)$$

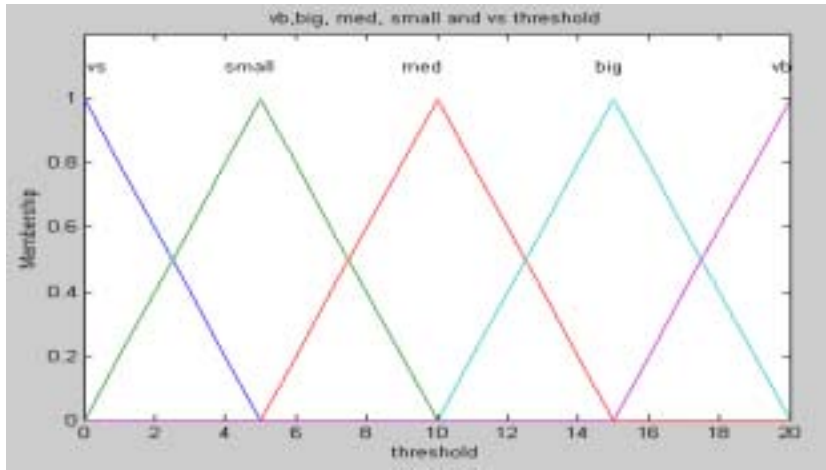
$$0.5 \leq x \leq 1 \text{ 구간} : \mu_{med}(x) = \frac{(x_3 - x)}{(x_3 - x_2)} \quad (21)$$

$$\mu_{high}(x) = \frac{(x - x_2)}{(x_3 - x_2)} \quad (22)$$

각 입출력 변수의 퍼지화를 위한 소속 함수는 그림 13과 같다.



(a) Membership functions of Fuzzy input variable($T(h)$, $T(l)$)



(b) Membership functions of Fuzzy output variable($T(y_1)$)

Fig. 13. The membership functions of Fuzzy input/output variable



임계값으로 사용되어질 퍼지 추론 시스템의 출력은 버퍼의 전체 크기 20을 퍼지 분할 영역의 전체영역으로 하고, 그림 13(b)에서 구간별 x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 를 각각 0, 5, 10, 15, 20으로 하여 그림 13(a)와 같은 방법으로 퍼지 분할을 실시한다.

2) 제안된 퍼지 제어 규칙

입력 변수의 언어적인 표현으로 퍼지 제어 규칙을 생성한다. 퍼지 논리 제어기의 언어적 규칙을 얻는 방법은 여러 가지가 있으나 본 논문에서는 이 규칙들을 수학적이고 정량적이기보다는 정성적이고 언어적인 방법으로 제어규칙을 기술한다. 이 언어적 규칙의 집합은 퍼지 논리 제어기의 규칙에 기반을 이

룬다. 퍼지 집합 이론에 의하여 퍼지 입력 변수는 $|T(h)| \times |T(l)|$ 과 같이 2차원 배열로 형성된다. 여기서 $|T(x)|$ 는 $T(x)$ 의 언어 변수 항들의 수이다.

퍼지 제어시스템의 규칙기반을 구성할 때, 자동화기법을 도입하여 인공지능의 탐색알고리즘이나, 신경망의 학습, 또는 진화연산 등을 이용하면 보다 빠르고 효율적으로 퍼지 제어규칙을 설계할 수가 있으나 퍼지 제어 규칙을 가장 쉽게 설계하는 방법은 전문가의 경험과 지식을 동원하여 직관적인 규칙을 만드는 것이다(Kitami와 Tokizawa,1990). 따라서 본 논문에서는 좀 더 정확한 규칙을 생성하기 위해 제어 규칙과 변수의 각 항의 집합을 구성하는 퍼지 지식기반은 학습의 결과를 기초로 하는 MATLAB 6.1의 fuzzy tool를 이용하여 적절한 수준의 성능이 관찰될 때까지 계속 파라미터의 값을 변화시키면서 측정된 실험 자료를 근거로 한다. 그리고 이를 검증하기 위하여 시간이 많이 소모되는 학습을 지양한 온라인 빌드업 (on-line bulid-up)과정인 직접 비교법을 다음과 같은 과정으로 사용한다.

생성한 퍼지 규칙을 검증하기 위하여 먼저 주어진 데이터로부터 x_1, x_2, y_1 의 급수를 결정한다. 그림 13(a)에서 퍼지 추론 시스템의 입력 값으로 사용하는 x_1 을 “low” 부분에서의 멤버십 값의 하나를 취한다. 그리고 마찬가지로 방법으로 x_2 도 “low” 부분에서의 멤버십 값을 결정한다. 그 다음은 규칙으로 사용한 퍼지 추론 시스템의 출력 값으로 사용하는 “vs” 부분의 멤버십 값을 결정하고, x_1, x_2, y_1 에 최대의 급수를 갖는 소속함수를 지정한다. 즉, x_1 과 x_2 을 “low”로 지정하고 y_1 을 “vs”로 지정한다. 마지막으로 입출력 데이터로부터 한 개의 규칙을 생성하고 각각의 규칙에 급수 지정을 다음과 같이 한다.

$$y_{10}(rule) = \mu_A(x_1) \cdot \mu_B(x_2) \cdot \mu_Y(y_1) \quad (23)$$

여기에서 생성된 규칙에 대하여 각각 급수를 계산할 때, 만약 2개 이상의 퍼지규칙이 같은 전반부를 갖는다면 최대급수를 가지는 규칙만을 사용한다. 이런 과정을 통하여 고, 저 트래픽율이 둘 다 “low” 일 때 퍼지 규칙 생성 결과는 표 4와 같다.

Table 4. Result of threshold by each membership value
(traffic rate is low, low)

traffic rate membership		threshold membership	threshold value
h_low	l_low		
1	1	1	0
0.9	0.9	0.729	1.355
0.8	0.8	0.512	2.44
0.7	0.7	0.343	3.285
0.6	0.6	0.216	3.92
0.5	0.5	0.125	4.375

표 4의 결과에서 고, 저 트래픽율이 둘 다 “low”인 규칙에 대하여 임계값 설정의 소속함수가 “vs”의 0~5 부분에 해당됨을 알 수 있다.

고, 저 트래픽율이 둘 다 “high” 일 때, 같은 방법으로 퍼지 규칙을 생성한 결과는 표 5와 같다.

Table 5. Result of threshold by each membership value(traffic rate is high, high)

traffic rate membership		threshold membership	threshold	
h_high	l_high		$5 \leq x \leq 10$	$10 \leq x \leq 15$
1	1	1	10	10
0.9	0.9	0.729	8.645	11.355
0.8	0.8	0.512	7.560	12.440
0.7	0.7	0.343	6.715	13.285
0.6	0.6	0.216	6.080	13.920
0.5	0.5	0.125	5.625	14.375

표 5의 결과에서 고, 저 트래픽율이 둘 다 “high”인 규칙에 대하여 임계값 설정의 소속함수가 “med”의 5~15 부분에 해당됨을 알 수 있다.

이와 같은 방법을 이용하여 세 단계로 구성된 두 개의 입력 파라미터와 다섯 단계로 구성된 하나의 출력 파라미터의 조합으로 임계값 추론을 위한 퍼지 규칙 알고리즘을 다음과 같이 설정하였고, 그 룰 베이스를 표 6에 나타내었다.

임계값 제어의 TC(threshold control)규칙

제어규칙에서 h 은 고순위 트래픽율이고 l 은 저순위 트래픽율을 나타내며, y_1 는 버퍼의 임계값을 표현한다.

threshold value algorithm :

If $h = \text{low}$ and $l = \text{low}$ then $y_1 = \text{vs}$

(만일 고순위 트래픽율이 low이고 저순위 트래픽율이 low이면 버퍼에서의 임계값 변화를 vs로 하라)

or

If $h = \text{low}$ and $l = \text{med}$ then $y_1 = \text{small}$

(만일 고순위 트래픽율이 low이고 저순위 트래픽율이 med이면 버퍼에서의 임계값 변화를 small로 하라)

or

If $h = \text{low}$ and $l = \text{high}$ then $y_1 = \text{vb}$

(만일 고순위 트래픽율이 low이고 저순위 트래픽율이 high이면 버퍼에서의 임계값 변화를 vb로 하라)

or

If $h = \text{med}$ and $l = \text{low}$ then $y_1 = \text{small}$

(만일 고순위 트래픽율이 med이고 저순위 트래픽율이 low이면 버퍼에서의 임계값 변화를 small로 하라)

or

If $h = \text{med}$ and $l = \text{med}$ then $y_1 = \text{med}$

(만일 고순위 트래픽율이 med이고 저순위 트래픽율이 med이면 버퍼에서의 임계값 변화를 med로 하라)

or

If $h = \text{med}$ and $l = \text{high}$ then $y_1 = \text{big}$

(만일 고순위 트래픽율이 med이고 저순위 트래픽율이 high이면 버퍼에서의 임계값 변화를 big로 하라)

or

If $h = \text{high}$ and $l = \text{low}$ then $y_1 = \text{small}$

(만일 고순위 트래픽율이 high이고 저순위 트래픽율이 low이면 버퍼

에서의 임계값 변화를 small로 하라)

or

If $h = \text{high}$ and $l = \text{med}$ then $y_1 = \text{small}$

(만일 고순위 트래픽율이 high이고 저순위 트래픽율이 med이면 버퍼에서의 임계값 변화를 small로 하라)

or

If $h = \text{high}$ and $l = \text{high}$ then $y_1 = \text{med}$

(만일 고순위 트래픽율이 high이고 저순위 트래픽율이 high이면 버퍼에서의 임계값 변화를 med로 하라)

Table 6. The Fuzzy control rule for threshold value control

규칙	h	l	y_1
1	low	low	vs
2	low	med	small
3	low	high	vb
4	med	low	small
5	med	med	med
6	med	high	big
7	high	low	small
8	high	med	small
9	high	high	med

3) 적합도(DoF) 계산 및 퍼지관계 연산

퍼지 제어기로 입력된 명확한 값을 적절한 퍼지집합으로 변화시키는 작업으로, 입력정보의 특성에 따라 여러 가지 방법이 사용되는데 소속함수의 모양에

따라서 퍼지 단일 방법(Fuzzy singleton method)과 이등변 삼각형 (Fuzzy isosceles triangle method)방법이 주로 사용된다. 퍼지 단일 방법은 퍼지 소속 함수가 특수한 극한값으로서, 그 기능을 구현하기 쉽기 때문에 간단한 시스템 제어에 많이 이용되고 있으며 노이즈가 약한 시스템 제어에 쓰일 뿐 제어시스템에 랜덤 노이즈가 있는 유형에는 적용하지 못하는 문제가 있다. 반면 이등변 삼각 퍼지값에 의한 퍼지화는 제어시스템에 랜덤 노이즈가 있는 경우 매우 유용한 기법이나 노이즈의 편차가 심하고 불규칙한 경우 적용하기 어려운 문제점이 있다. 따라서 고순위와 저순위 트래픽의 비율에 따른 입력 멤버쉽 함수를 삼각형 방법을 사용하였고, 출력 멤버쉽 함수도 삼각형 방법을 적용하여 Mamdani 추론과정을 통하여 먼저 두 개의 입력에 대하여 조건부 멤버쉽 함수들에 관한 적합도를 다음 식을 적용하여 계산하고 퍼지화한다.



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

$$\omega_i = \mu_{A_1}(x_1) \wedge \mu_{A_2}(x_2) \quad (24)$$

다음으로 각각의 제어규칙에 의한 추론결과를 식(24)에 의해 구한다.

$$C'_i = \int_U \omega_i \wedge \mu_{C_i}(x) / x \quad (25)$$

4) 비퍼지화(defuzzification)

프로세스의 입력은 실수 값이어야 하므로 근사 추론 결과인 퍼지값을 실수 값으로 변환할 필요가 있다. 퍼지값을 비퍼지화값으로 변환하는 것을 비퍼지화라 하며, 비퍼지화기는

$$y_0 = \text{defuzzifier}(y) \quad (26)$$

로 기술할 수 있다. 여기서 y_0 는 정확한 제어기 출력을 나타내며, y 는 추론

에 의하여 얻어지는 퍼지 집합을 나타낸다.

추론의 결과로서 생성된 퍼지 집합으로부터 가능성 분포에서 최대값을 가지는 점을 퍼지화하지 않은 제어값으로 선택하는 방식으로 여러 곳에서 최대값을 가지는 경우, 가장 처음 최대값이 나오는 값을 제어입력으로 하는 식(27)의 최대값 선택법(max criterion method)이 있다(B. Kiszka 등, 1985).

$$y_0 = \{x \mid \mu_{x_0}(x) = \text{Max } \mu_{x_c}(x)\} \quad (27)$$

여기서, c 는 $1 \dots n$ 이고, n 은 제어규칙의 수이다. 그림 14는 최대값 비퍼지화 방법을 나타내고 있다.

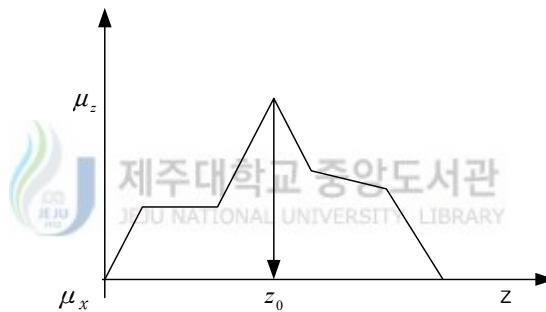


Fig. 14. Method of max criterion

최대값 선택법은 하드웨어적으로 실현하기 쉬운 장점이 있으나 여러점에서 동시에 최대값을 가질 경우 그 모양이나 넓이에 상관없는 값을 가지게 되는 것이 논리적으로 적절치 못하다. 따라서 x_0 멤버십 함수의 최대값을 갖는 모든 부분의 평균을 취한 후 그 값을 제어입력으로 발생시키는 최대값 평균법(MOM : mean of maxima method)이 있다(B. Kiszka 등, 1985). 최대값 평균법은 제어동작의 가능성이 최대로 되는 평균값을 취하는 방법이다. 이산공간에 정의된 퍼지 집합의 경우 식(28)과 같이 계산된다.

$$y_0 = \sum_{x=1}^L \frac{\mu_x}{L} \quad (28)$$

여기서, μ_x 는 소속 함수값이 최대인 점을 나타내며, L 은 소속 함수값이 최대가 되는 점의 개수를 나타낸다. 그림 15는 최대평균값 비퍼지화 방법을 나타내고 있다.

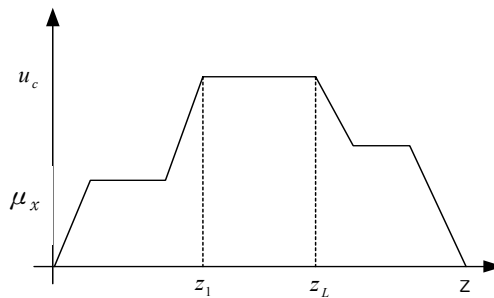


Fig. 15. Method of mean maxima

가장 많이 쓰이는 비퍼지화법(Deruzzification Method)으로 무게 중심법(COG: center of gravity method)이 있다(C. C. Lee, 1990). 전체 소속 함수의 무게 중심이 되는 곳을 제어값으로 취하는 방법으로 y 라는 퍼지 집합에 대하여 크리스프 숫자인 제어기 출력은 식(29)와 같이 계산한다. 그림 16은 무게 중심법 비퍼지화 방법을 나타내고 있다.

$$y_0 = \frac{\int \mu_c(x) \cdot x \, dx}{\int \mu_c(x) \, dx} \quad (29)$$

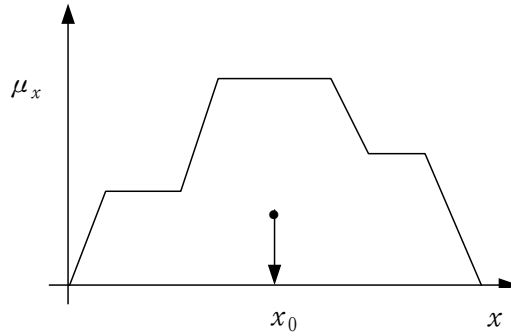


Fig. 16. Method of center gravity

본 논문에서는 COG을 적용하여 명확한 출력값을 얻을 수 있도록 비퍼지화 하고 이 값을 실제의 제어값, 즉 버퍼에서의 임계값으로 사용한다.

2. 서비스를 결정 알고리즘



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

이 퍼지 논리 제어시스템을 사용하는 목적은 전체 트래픽 도착률과 현재 버퍼의 점유율에 따라 퍼지 추론 과정을 거치고, 서버에서의 서비스를 제어함으로써 발생하는 트래픽의 손실을 최소화하여 사용자의 서비스 품질을 만족시키면서 그에 따른 망 자원을 효율적으로 사용하는 것이다.

1) 퍼지 입출력 변수와 이들의 소속 함수

퍼지의 입력변수는 전체 트래픽 도착률과 현재 버퍼의 점유율을 사용한다. 전체 트래픽 도착률은 버퍼에 매초단위로 진입하는 트래픽 수로 임계값 추론 알고리즘에서와 같은 low, med(medium), high 등의 3가지 언어적 변수를 사용하고, 버퍼의 점유율은 임계값 10을 기준으로 하여 ne(negative), ze(zero),

po(positive) 등과 같이 3가지 언어적 변수로 표현한다. 또한 퍼지 논리에 의한 출력은 서버에서의 현 서비스율의 확장시간으로 vs(very slow), slow, mid(middle), fast, vf(very fast)의 5단계로 표현한다. 그리고 퍼지 시스템의 입력값으로 사용하기 위하여 전체 트래픽 도착률의 입력 변수에 대한 소속함수는 임계값 결정 알고리즘에서와 마찬가지로 트래픽 도착률의 최대값과 최소값 사이를 퍼지 분할 영역의 전체영역으로 하여 그림 17(a)와 같이 삼각 퍼지수로 분할한다. 또한 현재 버퍼 점유율의 입력 변수에 대한 소속함수는 임계값 10을 0으로 기준 하여 -10과 +10을 퍼지 분할 영역의 전체영역으로 하고, 다음의 식을 이용하며 그림 17(b)와 같이 구간별 x_1, x_2, x_3 을 각각 -6, 0, +6으로 하여 삼각 퍼지수로 분할을 실시한다.

$$-10 \leq x \leq -6 \text{ 구간} : \mu_n(x) = 1 \quad (30)$$

$$-6 \leq x \leq 0 \text{ 구간} : \mu_n(x) = \frac{(x_2 - x)}{(x_2 - x_1)} \quad (31)$$

$$\mu_{ze}(x) = \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} \quad (32)$$

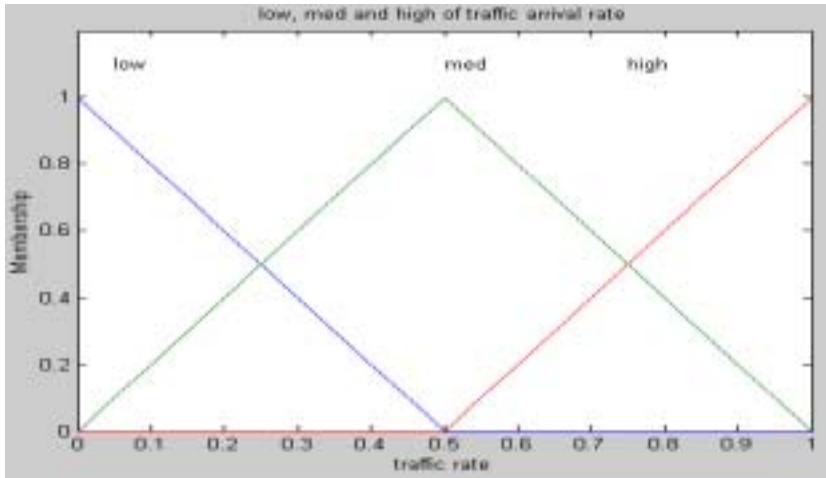
$$0 \leq x \leq 6 \text{ 구간} : \mu_{ze}(x) = \frac{(x_3 - x)}{(x_3 - x_2)} \quad (33)$$

$$\mu_p(x) = \frac{(x - x_2)}{(x_3 - x_2)} \quad (34)$$

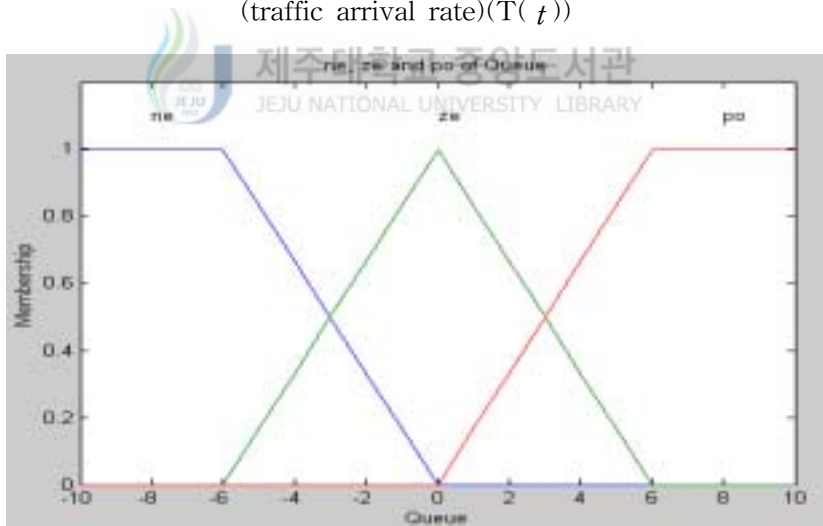
$$6 \leq x \leq 10 \text{ 구간} : \mu_p(x) = 1 \quad (35)$$

서버에서의 서비스 시간의 출력 변수에 대한 소속함수는 위와 마찬가지로 방법을 이용한 삼각 퍼지수를 사용하여 전체 트래픽의 도착률(t)와 버퍼의 점유율(b)에 따라 서버의 서비스율(y_2)을 제어할 수 있도록 한다. 출력 변수

의 퍼지화를 위한 소속 함수는 그림 18과 같이 설정한다.



(a) Membership functions of input variable
(traffic arrival rate)($T(t)$)



(b) Membership functions of input variable
(buffer occupancy rate)($T(b)$)

Fig. 17. The membership functions of Fuzzy input variable

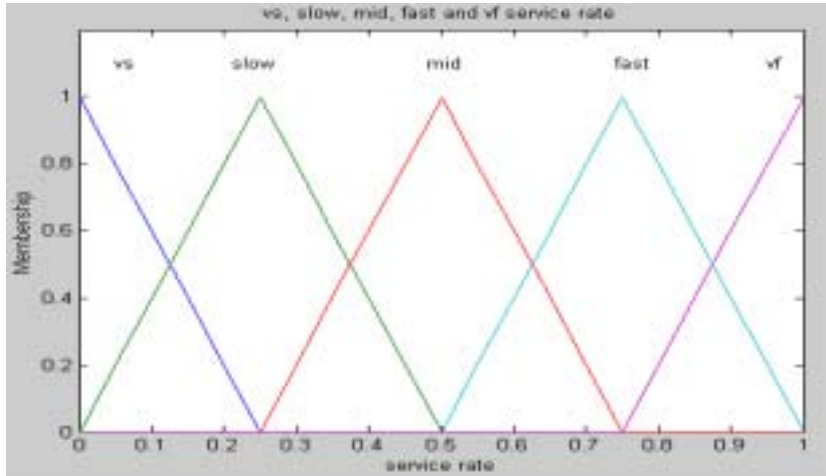


Fig. 18. The membership functions of Fuzzy output variable (server service rate)($T(y_2)$)

2) 제안된 퍼지 제어 규칙

임계값 결정 알고리즘에서의 퍼지 제어 규칙 생성과 같은 방법인 직접비교법에 의하여 전체 트래픽 도착률이 “low”이고, 현재 버퍼의 점유율이 “ne”일 때 퍼지 규칙을 추출한 결과는 표 7과 같다.

표 7에서의 결과에서 전체 트래픽율이 “low”, 현재 버퍼점유율이 “ne”인 규칙에 대하여 서비스율 설정의 소속함수가 “vs”의 0~0.25 부분에 해당됨을 알 수 있다.

이와 같은 방법을 이용하여 세 단계로 구성된 두 개의 입력 파라미터와 다섯 단계로 구성된 하나의 출력 파라미터의 조합으로 서비스율 추론을 위한 퍼지 규칙 알고리즘을 다음과 같이 설정하였고, 그 룰 베이스를 표 8에 나타낸다.

Table 7. When the total traffic rate is low and buffer occupancy is ne, result of the service rate about each membership value

total traffic membership	buffer occupancy membership	service	
		rate	membership
1	1	0	1
0.9	0.9	0.067	0.729
0.8	0.8	0.1220	0.512
0.7	0.7	0.1643	0.343
0.6	0.6	0.1960	0.216
0.5	0.5	0.2188	0.125

서비스율 제어의 SC(service control)규칙

제어규칙에서 t 는 전체 트래픽 도착률이고 b 는 현재 버퍼의 점유율을 나타내며, y_2 는 서버에서의 서비스율 변화를 나타낸다.

service rate algorithm :

If $t = \text{low}$ and $b = \text{ne}$ then $y_2 = \text{vs}$

(만일 전체 트래픽 도착률이 low이고 현재 버퍼의 점유율이 ne이면 서버에서의 서비스율 변화를 vs로 하라)

or

If $t = \text{low}$ and $b = \text{ze}$ then $y_2 = \text{slow}$

(만일 전체 트래픽 도착률이 nb이고 현재 버퍼의 점유율이 ze이면 서버에서의 서비스율 변화를 slow로 하라)

or

If $t = \text{low}$ and $b = \text{po}$ then $y_2 = \text{mid}$

(만일 전체 트래픽 도착률이 low이고 현재 버퍼의 점유율이 po이면 서버에서의 서비스율 변화를 mid로 하라)

or

If $t = \text{med}$ and $b = \text{ne}$ then $y_2 = \text{slow}$

(만일 전체 트래픽 도착률이 med이고 현재 버퍼의 점유율이 ne이면 서버에서의 서비스율 변화를 slow로 하라)

or

If $t = \text{med}$ and $b = \text{ze}$ then $y_2 = \text{mid}$

(만일 전체 트래픽 도착률이 med이고 현재 버퍼의 점유율이 ze이면 서버에서의 서비스율 변화를 mid로 하라)

or

If $t = \text{med}$ and $b = \text{po}$ then $y_2 = \text{fast}$

(만일 전체 트래픽 도착률이 med이고 현재 버퍼의 점유율이 po이면 서버에서의 서비스율 변화를 fast로 하라)

or

If $t = \text{high}$ and $b = \text{ne}$ then $y_2 = \text{mid}$

(만일 전체 트래픽 도착률이 high이고 현재 버퍼의 점유율이 ne이면 서버에서의 서비스율 변화를 mid로 하라)

or

If $t = \text{high}$ and $b = \text{ze}$ then $y_2 = \text{fast}$

(만일 전체 트래픽 도착률이 high이고 현재 버퍼의 점유율이 ze이면 서버에서의 서비스율 변화를 fast로 하라)

or

If $t = \text{high}$ and $b = \text{po}$ then $y_2 = \text{vf}$

(만일 전체 트래픽 도착률이 high이고 현재 버퍼의 점유율이 po이면 서버에서의 서비스율 변화를 vf로 하라)

Table 8. The Fuzzy control rule for service rate Fuzzy control

규칙	t	b	y_2
1	low	ne	vs
2	low	ze	slow
3	low	po	mid
4	med	ne	slow
5	med	ze	mid
6	med	po	fast
7	high	ne	mid
8	high	ze	fast
9	high	po	vf

3) DOF 계산 및 퍼지관계 연산

고순위와 저순위 트래픽에 따라 임계값 결정 알고리즘에서와 같은 방법으로 조건부 멤버십 함수들에 관한 적합도를 계산(퍼지화)하고 9개 퍼지 규칙에 수반된 퍼지 관계연산을 행한다.

4) 비퍼지화(defuzzification)

퍼지 출력집합들을 하나의 출력집합으로 통합하고 통합된 퍼지 집합은 임계값 결정 알고리즘에서와 같은 방법인 무게 중심법을 사용하여 명확한 출력값을 얻을 수 있도록 비퍼지화 한다. 이 값을 실제의 제어값, 즉 서버에서의 서비스율로 사용한다.

V. 퍼지 추론 결과 분석

제안한 퍼지 기반 알고리즘으로 기존의 PBS 기법에서의 고정된 임계값과 고정된 서비스율을 제어함으로써 ATM 망 자원을 효율적으로 이용하고 사용자의 서비스 품질을 만족시킬 수 있는지 검토한다. 전체 버퍼의 크기를 20으로 하여 각 트래픽의 특성에 따른 퍼지 추론을 MATLAB 6.1에서 실시한다. 그리고 그 결과로 얻어진 비퍼지화값을 제어값으로 하고 ATM 망에서의 셀 우선 순위 제어에 적용시킨다. 그리고 시뮬레이션 전용언어인 AweSim 2.0으로 작성된 모델을 이용하여 기존의 PBS 기법과 각 우선 순위 셀 손실률을 비교한다.



1. 임계값 제어

기존의 부분 버퍼 공유 기법은 고정된 임계값을 가지고 있음으로써 입력되는 저순위와 고순위 트래픽에 따라 효율적인 대응을 하지 못하는 단점을 가지고 있다. 그러므로 다양한 서비스를 수용하는 ATM 망의 특성에 따른 버퍼의 상태변화에 적절히 대응하지 못하므로 그에 따른 셀 손실이 발생하며, 망의 처리율을 저하시키면서 자원을 낭비하는 결과를 초래한다. 따라서 각 우선 순위의 비율에 따라 임계값을 적절히 제어함으로써 보다 효율적인 버퍼 제어가 가능하도록 고순위와 저순위의 트래픽에 따라 퍼지 집합 이론을 통하여 추론하고 그 추론된 결과값을 버퍼에서의 임계값으로 적용하고자 퍼지 알고리즘을 제안한다.

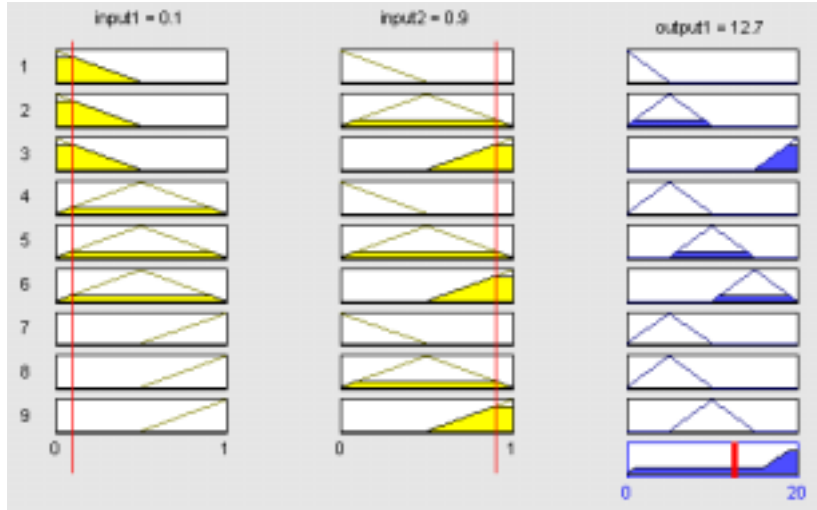


Fig. 19. The defuzzification(threshold) value after Fuzzy reasoning($h=0.1, l=0.9$)

그림 19는 고·저순위 트래픽율이 1:9로 저순위 트래픽율이 큰 경우에 따른 퍼지 추론 과정을 보인 것이다. “input1”에 0.1인 고순위 셀을 값과 “input2”에 0.9인 저순위 셀을 값으로 입력하여 퍼지 추론 후 비퍼지화 결과 12.7로 설정된다. 퍼지 추론 과정의 좌측의 숫자 1부터 9는 퍼지 제어규칙을 표시하는 것이며, 노란색의 의미는 퍼지 입력에 따른 규칙1부터 규칙9까지에서 입력에 따라 해당되는 적합도를 계산하여 나타낸 것이다. 그리고 “input1”과 “input2”의 퍼지 연산 및 함의(implication) 과정으로 두 입력에 대한 교집합인 “min” 합성의 결과를 버퍼의 임계값으로 사용하기 위하여 “output1”의 파란색으로 나타낸다. 또한 오른쪽 밑에 것은 버퍼의 전체 크기 20을 표시하며, 퍼지 연산 및 함의 과정 후 비퍼지화 과정을 보이는 것이다. 규칙1부터 규칙9까지의 퍼지 연산 및 함의 과정 결과에서 합집합인 “max” 합성으로 계산하고, 그 결과에서 빨간색은 퍼지 집합에 대한 크리스프 숫자인 제어기 출력을 식(29)의 무

계중심값 비퍼지화 방법으로 계산된 임계값을 나타낸다. 여기에서 저순위 트래픽율이 커짐에 따라 버퍼에서의 임계값이 커짐으로서 저순위 트래픽의 손실을 줄일 수 있다. 그것은 버퍼에서 임계값까지는 저순위 셀 손실이 발생하지 않고 임계값 이상이 되었을 때 비로서 저순위 셀의 손실이 발생하기 때문이다.

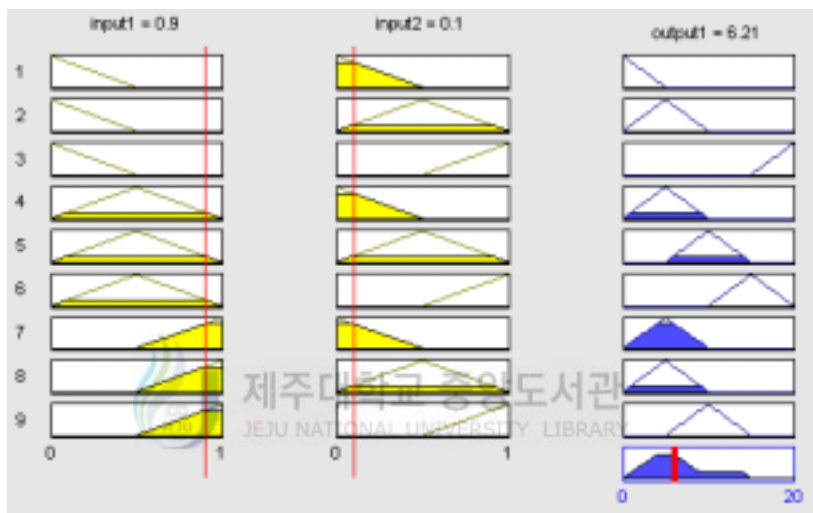


Fig. 20. The defuzzification(threshold) value after Fuzzy reasoning($h=0.9$, $l=0.1$)

그림 20은 고·저순위 트래픽 비율이 9:1로 고순위 트래픽율이 저순위 트래픽율보다 크게 발생할 때의 퍼지 추론 과정을 보인 것이다. 퍼지 추론 후 비퍼지화값 6.21로 설정된다.

고순위 트래픽이 많이 발생하고 있고, 저순위 트래픽이 적은 비율로 발생하므로 임계값을 줄임으로서 고순위 트래픽의 손실율을 줄일 수 있도록 한다. 이는 각 우선 순위 트래픽의 발생율에 따라 퍼지 추론의 결과를 적용하여 임

계값이 효율적으로 제어됨으로서 그에 따른 셀 손실율을 감소시킬 수 있도록 한다.

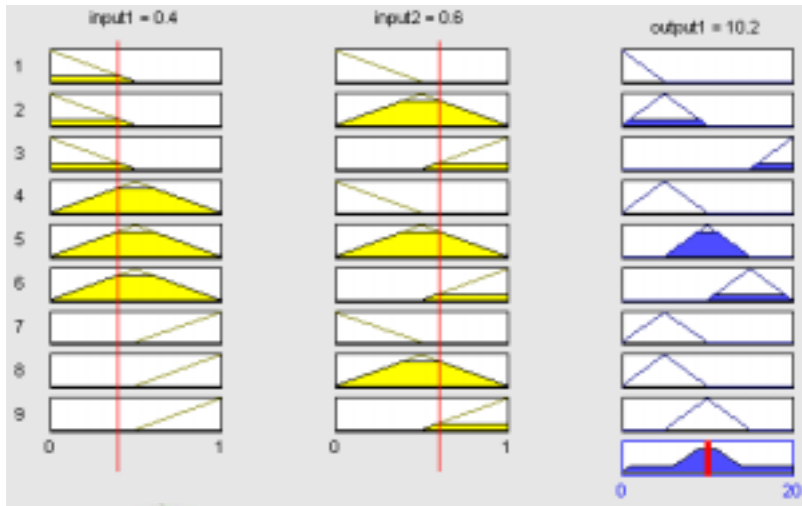


Fig. 21. The defuzzification(threshold) value after Fuzzy reasoning($\mu = 0.4$, $\nu = 0.6$)

그림 21은 고·저순위 트래픽율이 4:6으로 고순위 트래픽율과 저순위 트래픽율이 비슷하게 접근할 때의 퍼지 추론 과정을 보인 것이다. 퍼지 추론 후 비퍼지화값은 10.2로 설정된다.

고순위 트래픽과 저순위 트래픽이 비슷한 발생율로 접근함에 따라 임계값이 기존의 부분 버퍼 공유 기법과 같은 결과로 접근함을 알 수 있으며, 저순위 트래픽이 약간 많이 발생하므로 그에 따라 임계값을 약간 높게 하여 저순위 트래픽의 셀 손실율을 줄이고자 한다.

그림 22는 고·저순위 트래픽율이 5:5로 저순위 트래픽율과 고순위 트래픽율이 같은 비율로 발생할 때의 퍼지 추론 과정을 보인 것이다. 퍼지 추론 후 비퍼지화값은 10으로 설정된다. 트래픽율이 같음으로 기존의 부분 버퍼 공유 기법에서의 임계값과 같은 결과가 나왔다.

고순위와 저순위 트래픽율에 따른 퍼지 추론 결과의 임계값으로 설정되는 비퍼지화값을 다음의 표 9에 나타낸다. 고순위 트래픽율이 높고, 저순위 트래픽율이 낮으면 임계값은 작게 설정하여 고순위 셀 손실율을 감소시키고 있으며, 그 반대로 저순위 트래픽의 발생 빈도가 높아 그에 따른 비율이 높아지면 임계값을 크게 하여 그에 따라 저순위 셀 손실율을 감소시킬 수 있도록 제어하고 있음을 확인할 수 있다. 즉, 고순위와 저순위 트래픽율에 따라 버퍼에서의 임계값을 적절하게 제어함으로써 망 자원의 효율적 이용과 사용자의 서비스 품질을 보장해줄 수 있음을 확인할 수 있다.

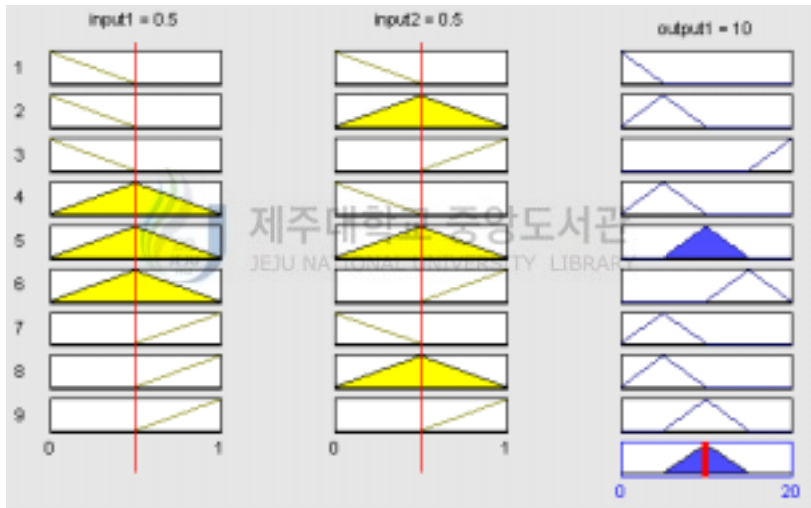


Fig. 22. The defuzzification(threshold) value after Fuzzy reasoning($h=0.5$, $l=0.5$)

Table 9. The threshold value with Fuzzy reasoning by traffic rate

구 분	트래픽율(고:저)								
비 율	1:9	2:8	3:7	4:6	5:5	6:4	7:3	8:2	9:1
임계값	12.7	11.1	10.5	10.2	10	8.79	7.90	7.10	6.21

2. 서비스율 제어

기존의 부분 버퍼 공유 기법은 고정된 서비스율로 입력되는 전체 트래픽 도착 비율과 현재 버퍼의 점유 상태를 고려하지 않고 서비스하고 있어 트래픽 변화에 따른 망에서의 적절한 대응을 못하는 단점을 가지고 있다. 그러므로 다양한 응용 서비스를 수용해야 하는 ATM 망의 특성을 감안할 때, 버퍼에서의 상태 변화에 적절히 대응하지 못한다. 따라서 전체 트래픽 도착 비율과 현재 버퍼의 점유율에 따라 서버에서의 서비스율을 적절히 제어하여 버퍼를 효율적으로 사용함으로써 ATM 망 자원을 낭비하는 일이 없도록 한다. 즉 전체 트래픽 도착률과 현재 버퍼의 점유율에 따라 퍼지 집합 이론을 통하여 추론하고 그 추론된 결과값을 서버에서의 서비스율로 적용하고자 퍼지 알고리즘을 제안한다. 여기에서 버퍼의 점유율은 임계값 10을 기준으로 점유율이 10보다 적을 때 “negative”로, 10보다 점유율이 클 때를 “positive”로 한다. 그리고 서버의 서비스율은 클수록 빠른 서비스 시간임을 나타내고 있다.

그림 23은 전체 트래픽 도착률(t)=0.2, 현재 버퍼의 점유율(b)=-5로 버퍼의 점유율이 음의 방향일 때의 퍼지 추론 후 비퍼지화값(서비스율)이 0.27로 나타난 결과이다. 여기에서 “input1”에 0.2인 전체 트래픽 도착율을 입력하고, “input2”에 버퍼의 전체 크기 20에서 10을 기준으로 “ze(zero)”로 하고 점유율이 10보다 적을 때 “ne(negative)”, 점유율이 10보다 클 때 “po(positive)”로 사용하여 현재 -5의 점유율로 입력하여 퍼지 추론 후 비퍼지화 결과 12.7로 설정된 결과이다. 퍼지 추론 과정의 좌측의 숫자 1부터 9는 퍼지 제어규칙을 표시한 것이며, 노란색의 의미는 퍼지 입력에 따른 규칙1부터 규칙9까지에서 입력에 따라 해당되는 적합도를 계산하여 나타낸 것이다. 그리고 “input1”과

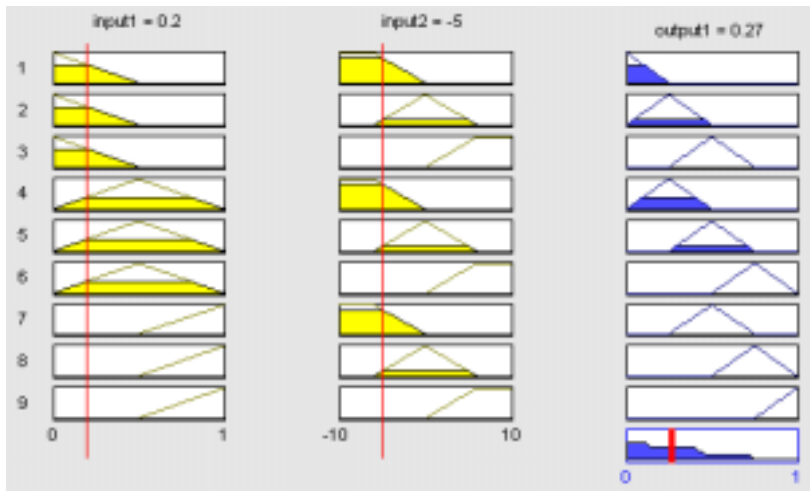


Fig. 23. The defuzzification(service rate) value after Fuzzy reasoning($t=0.2$, $b=-5$)

“input2”의 퍼지 연산 및 함의(implication) 과정으로 두 입력에 대한 교집합인 “min”합성의 결과를 서버에서의 서비스율로 사용하기 위하여 “output1”의 파란색으로 나타내었다. 또한 오른쪽 밑에 것은 서버의 서비스율 최대 1을 표시 하며, 퍼지 연산 및 함의 과정 후 비퍼지화 과정을 보이는 것이다. 규칙1부터 규칙9까지의 퍼지 연산 및 함의 과정 결과에서 합집합인 “max”합성으로 계산하고, 그 결과에서 빨간색은 퍼지 집합에 대한 크리스프 숫자인 제어기 출력을 식(29)의 무게중심값 비퍼지화 방법으로 계산된 서버에서의 서비스율을 나타낸다. 전체 트래픽이 적은 도착률을 보이고 있고, 현재 버퍼를 점유한 트래픽율이 낮아 그에 따른 서버에서의 서비스율을 보이고 있다. 따라서 트래픽 도착 비율과 버퍼에서의 점유율에 따라 적절하게 서비스율을 제어한다면, 과잉 밀집 현상이 발생했을 때는 빠른 서비스율로 경로를 선택하여 연결된 트래픽에 대하여 서비스한다. 이러한 효과적인 트래픽 제어를 통하여 망에서의 과잉 밀집을 미리 방지함으로써 망 자원을 보호하고 사용자의 서비스 품질을 만

즉시킬 수 있다.

그림 24는 전체 트래픽 도착률(t)=0.2, 현재 버퍼의 점유율(b)=5로 버퍼 점유율이 양의 방향으로 늘어날 때의 퍼지 추론 후 비퍼지화값(서비스율)이 0.55로 나타난 결과이다. 그림 23에서의 버퍼 점유율 -5에서 보다 현재 버퍼를 점유한 셀이 많아 그에 따라 서버에서의 서비스율을 증가시켜 한가한 경로로 선택하여 연결된 트래픽을 서비스해야 함을 알 수 있다.

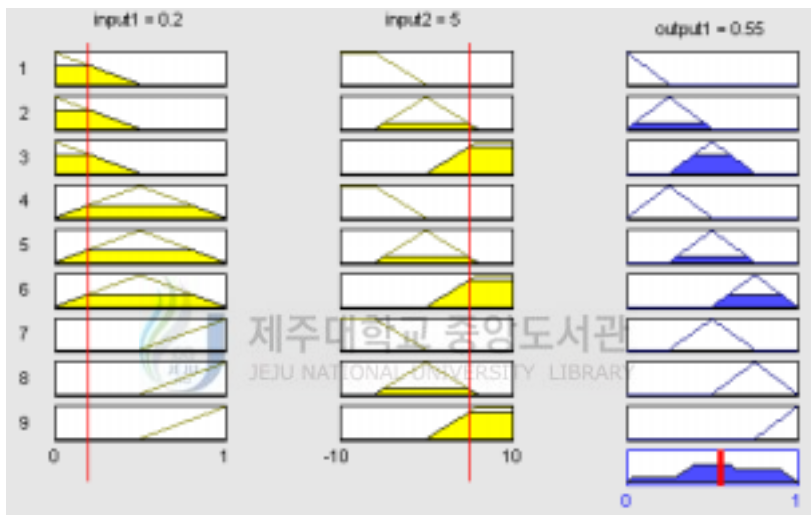


Fig. 24. The defuzzification(service rate) value after Fuzzy reasoning($t=0.2, b=5$)

그림 25는 전체 트래픽 도착률(t)=0.2, 현재 버퍼의 점유율(b)=-10으로 버퍼 점유율이 음의 방향으로 감소할 때의 퍼지 추론 후 비퍼지화값(서비스율)이 0.203으로 나타난 결과이다. 그림 23에서의 버퍼 점유율 -5에서 보다 현재 버퍼를 점유한 셀이 감소함에 따라 서버에서의 서비스율을 감소시켜 연결된 트래픽에 대하여 서비스할 수 있음을 알 수 있다.

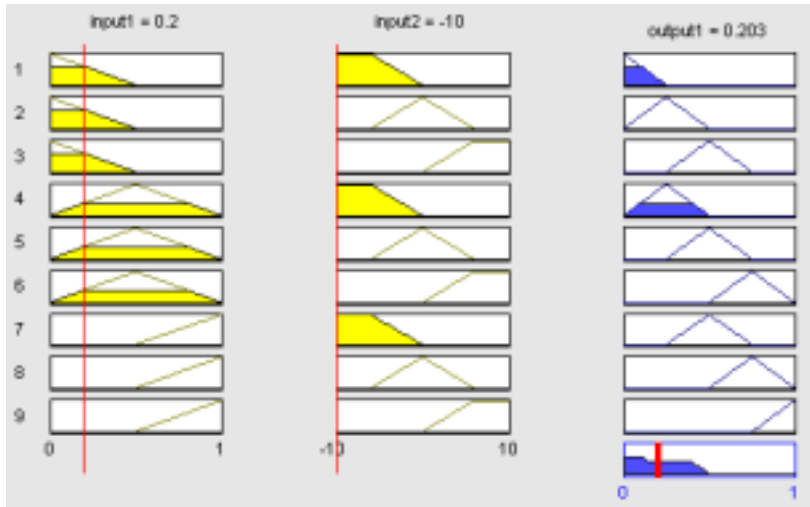


Fig. 25. The defuzzification(service rate) value after Fuzzy reasoning($t=0.2$, $b=-10$)

그림 26은 전체 트래픽 도착률(t)=0.2, 현재 버퍼의 점유율(b)=10으로 버퍼 점유율이 양의 방향으로 늘어날 때의 퍼지 추론 후 비퍼지화값(서비스율)이 0.605로 나타난 결과이다. 그림 24에서의 버퍼 점유율 5보다 현재 버퍼를 점유한 셀이 더욱 많아짐에 따라 그에 따라 서버에서의 서비스율을 증가시켜 연결된 트래픽을 서비스해야 함을 알 수 있다.

그림 27은 버퍼 점유율이 -5, 5, -10, 10 일 때, 트래픽 세기에 따른 퍼지추론 결과로 서버에서의 서비스율을 나타낸 것이다. 현재 버퍼의 점유율이 높으면 서버에서의 서비스를 빠르게 처리하여 버퍼의 점유율을 감소시킴으로서 도착하는 셀에 대한 손실률을 감소시킬 수 있도록 하고, 현재 버퍼의 점유율이 낮으면 서버에서의 서비스를 서서히 처리하도록 함으로서 다른 통신 사용자가 망을 효율적으로 이용할 수 있도록 한다. 따라서 퍼지집합을 기반으로 하는 알고리즘을 적용함으로써 효율적인 버퍼 제어를 하고 있음을 알 수 있다.

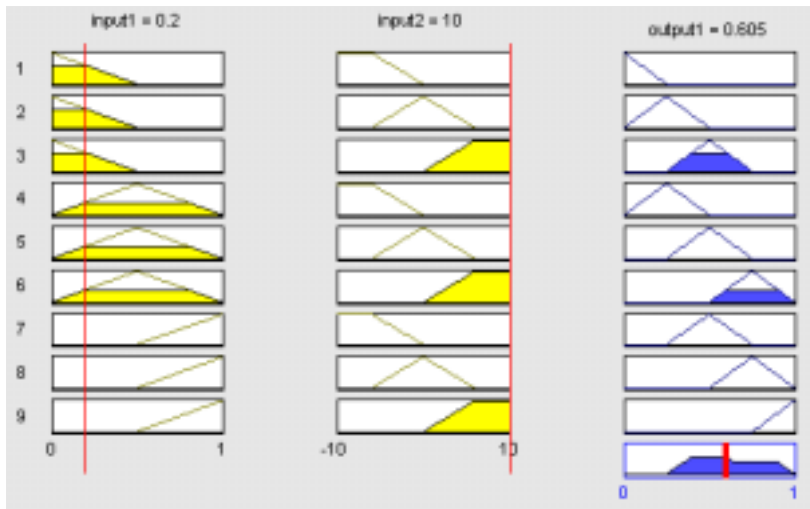


Fig. 26. The defuzzification(service rate) value after Fuzzy reasoning($t=0.2$, $b=10$)

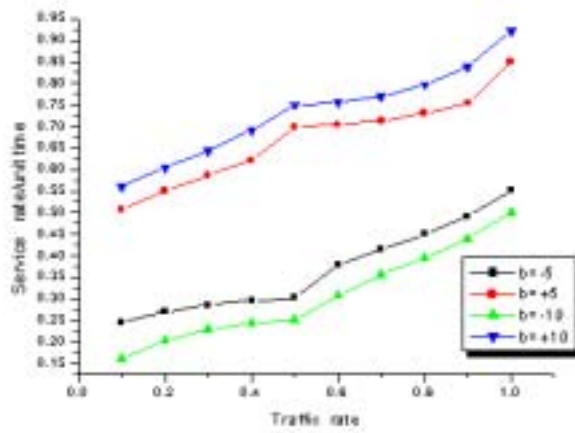


Fig. 27. The service rate in server by traffic rate

VI. 결과 및 고찰

기존의 부분 버퍼 공유 기법과 제안한 퍼지 기반 알고리즘을 적용한 기법의 성능을 비교하기 위하여 단일 버퍼를 갖는다고 하고 전체 버퍼의 크기를 20으로 한다. 그리고 기존의 기법(PBS)에서 임계값을 10으로 하고 서버에서의 단위시간당 처리율을 0.2로 가정한다. 이때 임계값을 제어했을 때, 트래픽율에 따른 셀 손실 확률에 대하여 시뮬레이션 전용언어인 AweSim 2.0으로 작성된 모델과 C++5.0으로 작성한 프로그램을 이용하여 시뮬레이션을 하고 성능을 비교 분석한다. 또한, MATLAB 6.1로 작성한 프로그램을 이용하여 수치해석에 의한 각 우선 순위 셀 손실 확률을 구하고 그 성능을 비교 분석한다. 또한 같은 환경에서 서버에서의 처리율을 제어했을 때, 전체 트래픽 도착률에 따라 고순위와 저순위 셀 비율을 변경하면서 MATLAB 6.1로 작성한 프로그램을 이용하여 수치해석에 의한 셀 손실 확률을 구하고 그 성능을 비교 분석한다.

1. 시뮬레이션에 따른 결과 및 고찰

1) 시뮬레이션 모델

시뮬레이션은 시뮬레이션 전용언어인 AweSim 2.0으로 작성된 모델을 이용한다. AweSim은 사건 중심(event-oriented) 혹은 프로세스 중심(process-oriented)방식의 시뮬레이션 언어이다. 사용자들은 AweSim을 사용하여 사건이나 프로세스를 이용한 이산 사건 모델을 구성할 수 있으며, 미분 방정식을 포함하는 연속모델을 구성할 수 있다. 본 논문에서는 AweSim의 프로세스 중심 방식을 이용한다. 프로세스 중심 방식에 있어 사용자는 노드(node)라 불리는 표준기호들과 가지

(branch)들을 사용하여 시스템을 상호 연결된 네트워크 구조로 표현한다. 그러므로 고객이 시스템을 거쳐가는 과정(process)에 대한 도식적인 표현으로서 네트워크를 생각할 수 있다. 시스템에 대한 네트워크 모델이 만들어진 후, 컴퓨터 상에서 수행가능한 일련의 AweSim 프로그램 문장들로 번역된다.

시뮬레이션하기 위해 사용된 네트워크 모델은 부록에 실려 놓았다. 그리고 각각의 트래픽 도착 간격은 지수분포를 따른다고 하고, 서버의 서비스 시간은 단위시간당 0.2로 한다. 그리고 버퍼의 크기는 20으로 가정하여 시뮬레이션을 행한다. 또한 임계값은 기존의 PBS 기법에서는 10으로 하였고, 제안한 알고리즘에서는 퍼지 추론 결과와 동일하게 적용하여 각 우선 순위의 셀 손실률과 버퍼에서의 평균 대기시간을 비교 분석한다.

2) 각 우선 순위 셀 손실률 결과 분석

각 우선 순위 셀 손실률에 대한 결과 분석은 고·저순위 트래픽율에 따른 퍼지 추론 결과와 동일하게 적용하여 기존의 부분 버퍼 공유 기법과 비교 분석한다.

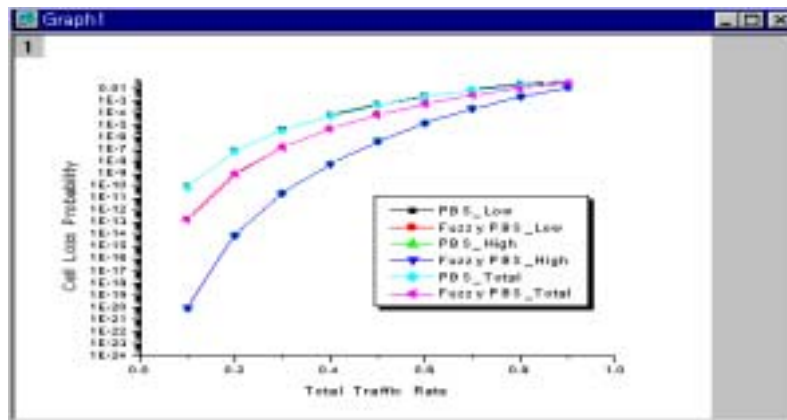


Fig. 28. The cell loss probability by the traffic rate(ratio 1:9)

그림 28은 트래픽율에 따른 각 우선 순위 트래픽 도착 비율(고:저)이 1:9 일때의 부분 버퍼 공유 기법에서 임계값을 10으로 하고, 퍼지 기반 알고리즘을 적용하여 퍼지 추론 후 비퍼지화 값(임계값)의 12.7을 적용했을 때 시뮬레이션한 결과이다. 비교 결과, 고순위 셀은 같은 손실률을 보이고 있으며 저순위 셀의 손실률은 개선되었음을 확인할 수 있다. 그리고 전체 셀 손실률도 퍼지 추론을 기반으로 한 부분 버퍼 공유기법에서가 손실률이 감소하여 그 성능이 향상되었음을 알 수 있다.

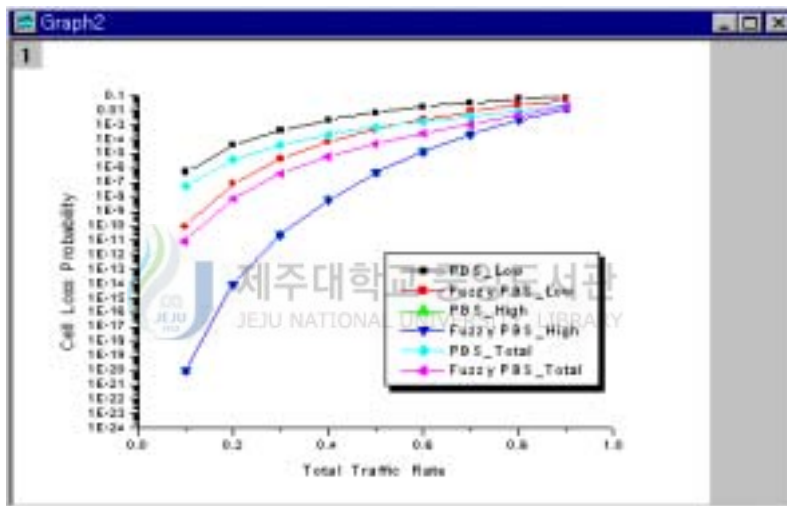


Fig. 29. The cell loss probability by the traffic rate(ratio 9:1)

그림 29는 전체 트래픽율에 따른 각 우선 순위 트래픽 도착 비율(고:저)이 9:1 일 때, 부분 버퍼 공유 기법에서의 임계값 10, 퍼지 추론 후 비퍼지화 값(임계값)의 6.21을 적용하고 시뮬레이션한 결과이다. 비교 결과, 고순위 셀의 도착 비율이 증가로 인하여 버퍼에서의 임계값이 기존의 부분 버퍼 공유 기법에서의 임계값 10보다 작게 선정되어서 고순위 셀 손실률은 그림 28에서의 결과와 같게 나타나고 있으며,

저순위 셀 손실율은 그림 28의 결과에서 보다 기존의 기법이나 제안한 기법에서 모두 증가하는 경향을 보이고 있지만 제안한 퍼지 추론을 적용한 부분 버퍼 공유 기법에서 손실율은 감소한다. 따라서 고순위 셀에 대하여 트래픽 제어에 그 유연성을 볼 수 있다. 또한 전체 셀 손실률도 퍼지 추론을 기반으로 한 부분 버퍼 공유기법에서 손실률이 감소하여 그 성능이 향상되었음을 알 수 있다.

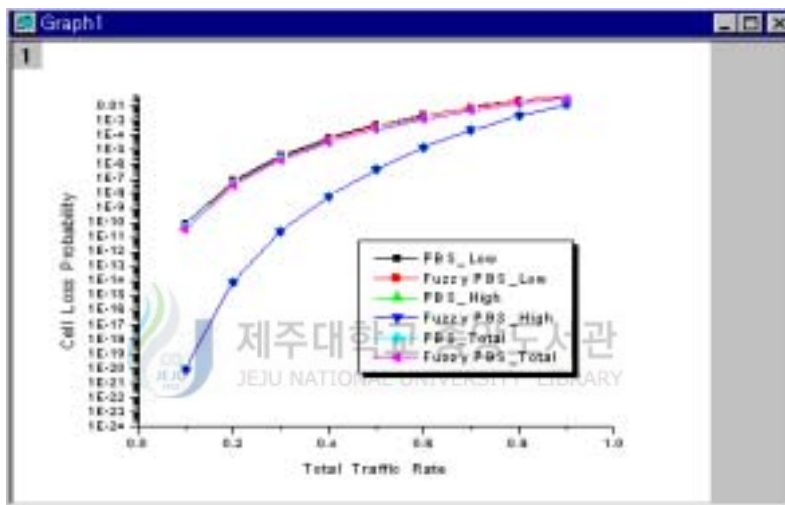


Fig. 30. The cell loss probability by the traffic rate(ratio 4:6)

그림 30은 전체 트래픽율에 따른 각 우선 순위 트래픽 도착 비율(고:저)이 4:6 일 때의 부분 버퍼 공유 기법과 퍼지 기반 알고리즘을 적용하고 시뮬레이션한 결과이다. 이때 부분 버퍼 공유 기법에서의 임계값을 10으로 하고, 퍼지 기반 알고리즘을 적용하여 퍼지 추론 후 비퍼지화 값(임계값)의 10.2을 적용했다. 비교 결과, 고순위 셀은 같은 손실률을 보이고 있으며 저순위 셀의 손실률은 기존의 기법에서 보다 약간의 감소를 보이고 있음을 알 수 있다. 그리고 전체 셀 손실률도 퍼지 추론을 기반으로 한 부

분 버퍼 공유기법에서가 손실률이 약간 감소하여 그 성능이 향상되었음을 알 수 있다. 여기에서 각 우선 순위 트래픽율이 같아질수록 기존의 PBS기법과 같은 셀 손실률로 접근하고 있음을 확인할 수 있으며, 이는 발생하는 트래픽율에 따라 퍼지 추론 결과로서 적용적으로 임계값을 제어하여 효율적인 버퍼 관리가 이루어지고 있음을 보여준다. 또한 각 우선 순위에 대한 효율적인 트래픽 제어로 ATM 망 자원의 효과적인 분배도 이루어진다.

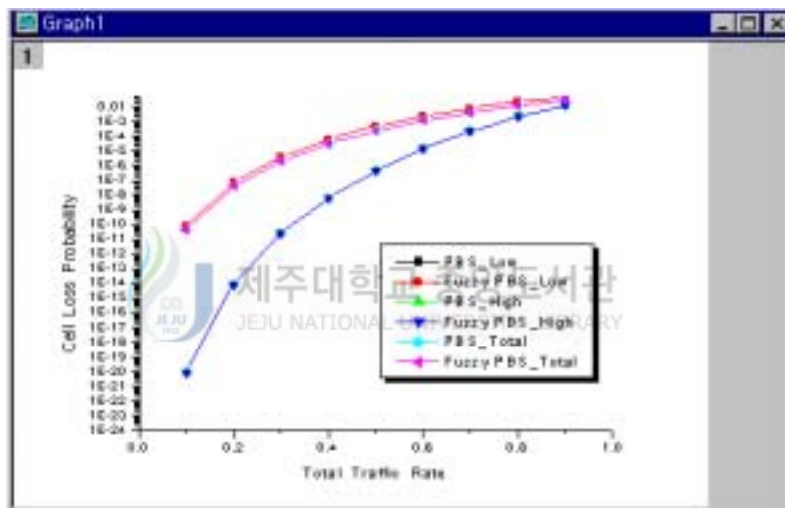


Fig. 31. The cell loss probability by the traffic rate(ratio 5:5)

그림 31은 전체 트래픽율에 따른 각 우선 순위 트래픽 도착 비율(고:저)이 5:5로 같은 분포로 발생하고 있을 때, 부분 버퍼 공유 기법에서의 임계값 10, 퍼지 추론 후 비퍼지화 값(임계값)의 10을 적용하고 시뮬레이션한 결과이다. 비교 결과, 각 우선 순위의 셀들이 같은 손실률을 보이고 고순위 셀 손실률은 그림 30에서의 손실률과도 같은 결과가 나타났다. 이는 기존의 부분 버퍼 공유 기법과 퍼지 추론을 기반으로 하

는 부분 버퍼 공유 기법에서의 임계값이 같음에 따라 동일하게 작용하고 있음을 확인할 수 있다.

3) 버퍼에서의 평균 대기시간 비교 분석

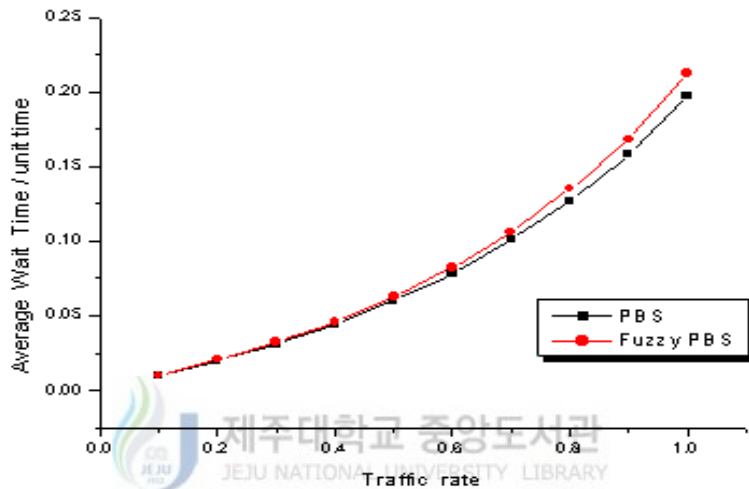


Fig. 32. The average waiting time from buffer of when traffic ratio is 4:6

그림 32는 트래픽율이 4:6 일 때 버퍼에서의 평균 대기 시간을 비교한 결과이다. 트래픽율이 커짐에 따라 버퍼에서의 평균 대기 시간이 증가하고 있음을 알 수 있으며, 기존의 PBS에서 보다 퍼지 추론을 적용한 기법에서 트래픽 증가에 의한 평균 대기 시간이 근소하게 더 증가하고 있다. 그러나 고속망인 ATM 망의 특성상 전송 지연은 망 성능에 크게 영향을 끼치는 요소는 아니고, 시뮬레이션 환경에 따라 많이 달라질 수 있기 때문에 고려하지 않고 선택적 셀 폐기 기법인 손실 우선 순위 제어 기법을 적용하였으므로 셀 손실율을 가지고 기존의 기법과 비교 분석한다. 이 결과는 다른 트래픽 비율을 적용하였을 때에도 같은 평균 대기 시간을 보이거나 그림 32의 결과와 유사하게 나타났다. 즉, 버퍼에서의 평균 대기시간은 근소한 차이로 증가하고

있으나, 고속망인 ATM 망의 특성에 따라 그 성능에 큰 차이가 없음을 확인할 수 있다.

2. 수치해석에 따른 결과 및 고찰

대기행렬이론에서의 수치해석에 의한 각 우선 순위 셀 손실확률을 MATLAB 6.1을 이용하여 구하고 기존의 부분 버퍼 공유 기법과 전체 트래픽율에 대하여 도착하는 고순위 트래픽율과 저순위 트래픽율에 따라 퍼지 추론을 행하고 그 추론 결과의 비퍼지화값을 버퍼에서의 임계값으로 적용하는 퍼지 추론을 기반으로 하는 부분 버퍼 공유 기법의 셀 손실확률을 비교 분석한다.

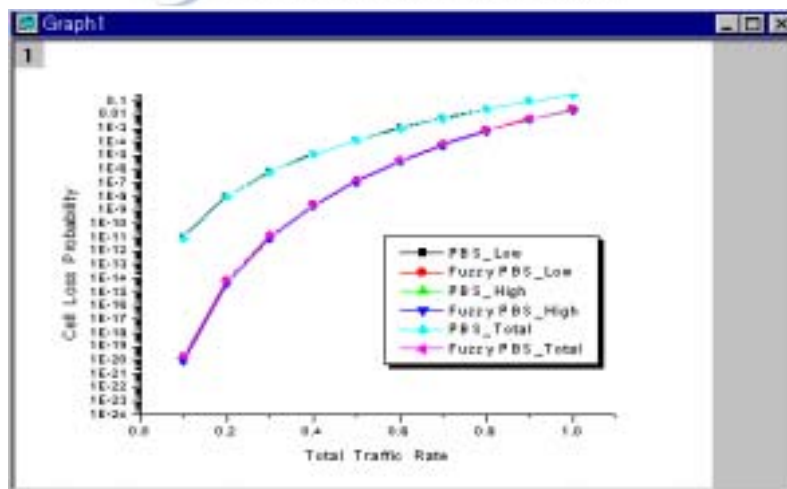


Fig. 33. The cell loss probability by traffic rate of when traffic ratio is 1:9

그림 33은 전체 트래픽율에 따른 각 우선 순위 트래픽율(고:저)이 1:9 일때의 기존의 PBS의 임계값 10, Fuzzy PBS의 퍼지 추론 후 비퍼지화 값(임계값) 12.7을 적용하고 셀 손실률을 비교한 결과이다. 비교 결과, 저순위 셀율이 증가로 인하여 버퍼에서의 임계값이 기존의 부분 버퍼 공유 기법에서의 임계값 10보다도 증가하였으나 고순위 셀은 같은 손실률을 보이고 있음을 알 수 있고, 저순위 셀과 전체 셀 손실은 퍼지 추론을 적용한 부분 버퍼 공유기법에서 셀 손실률이 감소하여 그 성능이 향상되었음을 알 수 있다. 따라서 전체 트래픽율에 따른 각 우선 순위 트래픽율에 따라 임계값을 적절히 제어함으로써 보다 효율적인 버퍼 제어가 가능하도록 함으로서 ATM 망에서의 트래픽 제어에 유연성을 보여 주고 있다.

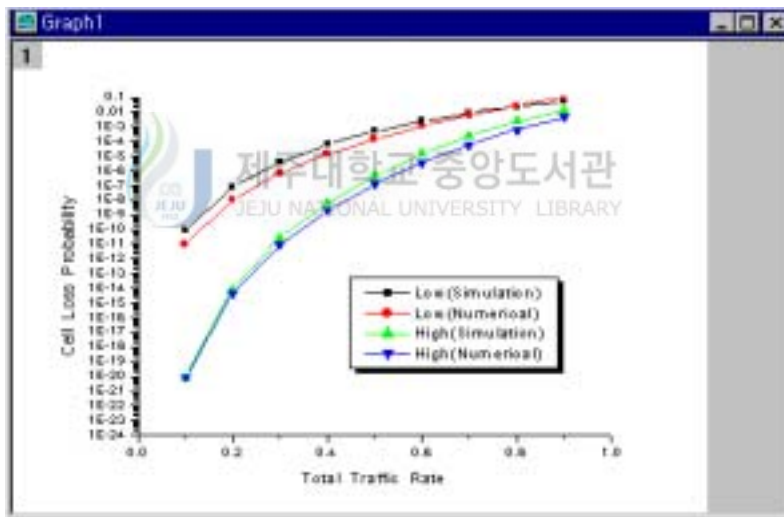


Fig. 34. Simulation and cell loss probability comparison of numerical analysis in PBS of when traffic ratio is 1:9

그림 34는 대표적으로 트래픽율이 1:9일 때 기존의 PBS 기법에서 저순위와 고순위 셀 손실확률을 AweSim2.0을 이용한 시뮬레이션과 MATLAB 6.1로 작성된 프로그램을 이용한 수치해석의 결과를 비교한 것이다. 비교 결과, 저순위 셀 손실률은 약

간의 차이를 보이고 있고, 고순위 셀 손실 확률은 전체 트래픽율이 커갈수록 약간의 차이를 보이고 있으나 대체로 셀 손실 확률은 거의 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 다른 경우도 마찬가지로 현상이 나타났다.

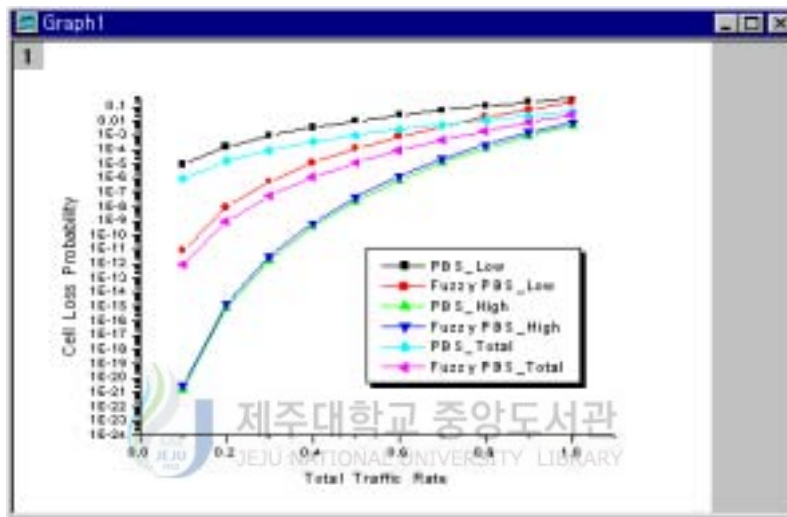


Fig. 35. The cell loss probability by traffic rate of when traffic ratio is 9:1

그림 35는 전체 트래픽율에서 각 우선 순위 트래픽율(고:저)이 9:1 일때의 Fuzzy PBS의 퍼지 추론 후 비퍼지화 값(임계값) 6.21, 기존의 PBS의 임계값 10을 적용하고 셀 손실률을 비교한 결과이다. 비교 결과, 고순위 셀 손실률은 근접한 손실률을 보이고 있으며, 그림 33의 트래픽 비율 1:9일때의 손실률과도 거의 일치하는 손실률을 보이고 있다. 반면에 저순위 셀과 전체 셀 손실률은 그림33의 결과에서보다는 전체적으로 손실률은 증가하고 있으나 기존의 PBS 기법에서보다는 크게 감소하여 그

성능이 향상되었음을 알 수 있다.

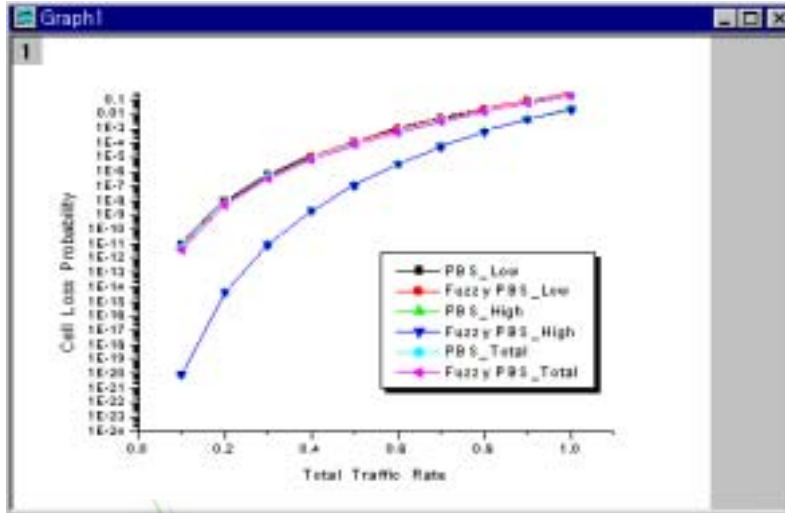


Fig. 36. The cell loss probability by traffic rate of when traffic ratio is 4:6

그림 36은 전체 트래픽율에서 각 우선 순위 트래픽율(고:저)이 4:6 일때의 기존의 PBS의 임계값 10, Fuzzy PBS의 퍼지 추론 후 비퍼지화 값(임계값)이 10.2을 적용하고 셀 손실률을 비교한 결과이다. 비교 결과, 고순위 셀 손실률은 그림 35의 트래픽 비율 9:1에서의 결과보다 약간의 증가를 보이고 있으나 기존의 기법과 같은 손실률을 보이고 있고, 저순위 셀과 전체 셀 손실은 퍼지 추론을 적용한 부분 버퍼 공유기법과 기존의 PBS 기법이 같은 손실률로 접근하고 있음을 알 수 있다. 여기에서 각 우선 순위 트래픽율이 같은 비율로 접근함에 따라 버퍼의 임계값이 같은 값으로 적용되기 때문에 같은 손실률로 접근하고 있음을 알 수 있다. 이것은 다음의 전체 트래픽율에서 각 우선 순위 트래픽율(고:저)이 5:5로 같은 비율일 때 기존의 PBS의 임계값 10, Fuzzy PBS의 퍼지 추론 후 비퍼지화 값(임계값)이 10을 적용하고 그

셀 손실률을 비교한 그림 37의 결과에서 뚜렷하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 트래픽 발생 비율이 같으면 기존의 PBS에서의 임계값과 같은 임계치가 적용되어 각 우선 순위 셀 손실률은 같아지게 된다.

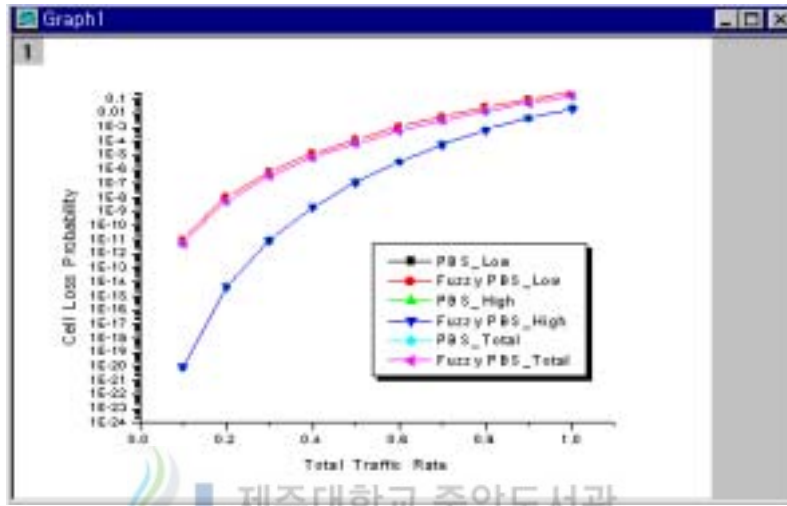


Fig. 37. The cell loss probability by traffic rate of when traffic ratio is 5:5

3. 서비스율(처리율) 제어에 따른 결과 분석

기존의 부분 버퍼 공유 기법이 갖고 있는 또 하나의 단점으로 나타난 전체 트래픽율과 현재 버퍼의 점유상태와는 무관하게 서버에서의 고정된 서비스 시간(처리율)으로 셀을 처리함으로써 셀 손실이 일어나 망의 처리율을 저하시키면서 자원을 낭비하는 결과를 초래한다. 이러한 셀의 손실 및 망 처리율 저하를 최소화

화하기 위하여 트래픽의 도착률과 버퍼점유율 그리고 퍼지 집합을 사용하는 퍼지 알고리즘을 적용한다. 즉, 발생된 전체 트래픽의 도착률과 버퍼점유율에 따라 퍼지논리를 기반으로 하여 추론하고, 추론 결과로 얻어진 비퍼지화값으로 접속된 트래픽에 대해 서버에서의 서비스율을 제어하도록 한다. 성능 분석을 위하여 버퍼에서의 임계값은 기존의 PBS 기법과 같은 값 10으로 고정하여 전체 트래픽의 도착률에서 고순위와 저순위 트래픽의 도착률 비율을 각각 1:9, 9:1, 4:6, 5:5로 한다. 또, 각각의 도착률 비율에 대하여 버퍼점유율을 각각 -5, 5인 경우로 하여 퍼지추론의 결과로 얻어진 비퍼지화값을 적용하여 셀 손실 확률을 구하고, 기존의 부분 버퍼 공유 기법과 퍼지 제어 알고리즘을 적용한 부분 버퍼 공유 기법의 셀 손실 확률을 비교한다.

1) 1:9의 고, 저 트래픽 도착률인 경우

그림 38은 전체 트래픽 도착률(t)=0.2, 버퍼의 점유율(b)=-5 일 때의 퍼지 추론 후 비퍼지화값(서비스율) 0.27을 적용하여 각 우선 순위에 대하여 기존의 부분 버퍼 공유 기법(PBS)과 퍼지 제어 알고리즘을 적용한 부분 버퍼 공유 기법의 셀 손실률을 비교한 결과이다. 비교 결과, 저순위 셀 손실률은 전체 트래픽율이 적을 때는 기존의 PBS보다 감소를 보이고 있으나, 전체 트래픽율이 증가할수록 손실률도 기존의 PBS 기법에서의 손실률에 근접하고 있음을 알 수 있다. 이는 전체 트래픽 도착률에서 저순위 트래픽이 도착률이 많음에 따른 것이라 사료된다. 따라서 서비스율과 함께 버퍼에서의 임계값을 제어한다면 해결되리라 본다. 고순위 셀 손실률과 전체 셀 손실률은 퍼지 제어 알고리즘을 적용한 부분 버퍼 공유기법에서 적게 발생하여 그 성능이 향상되었음을 알 수 있다.

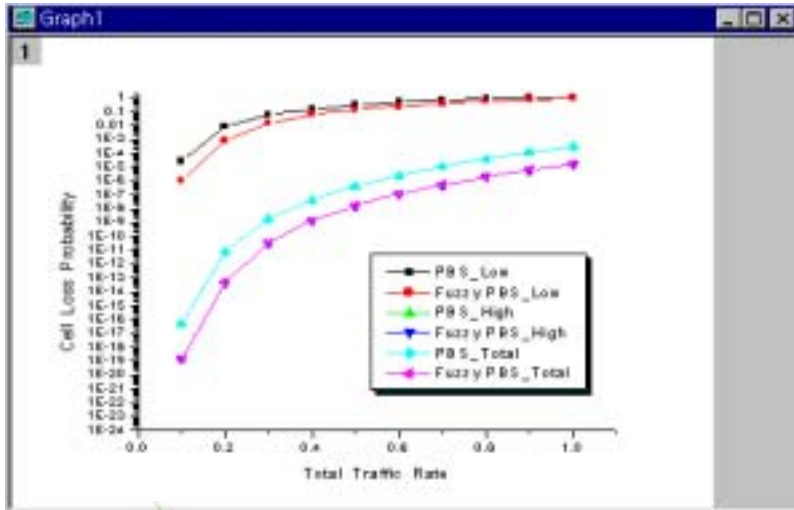


Fig. 38. The cell loss probability by traffic rate of when traffic arrival ratio is 1:9 (total traffic arrival rate=0.2, buffer occupancy rate=-5)

그림 39는 전체 트래픽 도착률(t)=0.2, 버퍼의 점유율(b)=5 일 때의 퍼지 추론 후 비퍼지화값(서비스율)이 0.55을 적용하고 기존의 부분 버퍼 공유 기법(PBS)과 퍼지 제어 알고리즘을 적용한 부분 버퍼 공유 기법의 셀 손실률을 비교한 결과이다. 비교 결과, 기존의 PBS 기법에서는 각 우선 순위 셀 손실률을 나타낸 그림 38과 같은 결과를 보이고 있으나 제안한 기법에서의 고순위 셀 손실률은 그림 38에서의 결과보다도 더 크게 손실률이 감소하고 있으며, 각 우선 순위 셀 손실률은 퍼지 제어 알고리즘을 적용한 부분 버퍼 공유기법에서 그림 38인 경우보다 손실률이 더욱 감소하여 그 성능이 향상되었음을 알 수 있다. 이는 버퍼의 현재 점유율에 따라 적절히 서비스율을 제어하여 기존

의 기법보다 셀 손실률을 감소시킬 수 있음을 알 수 있다.

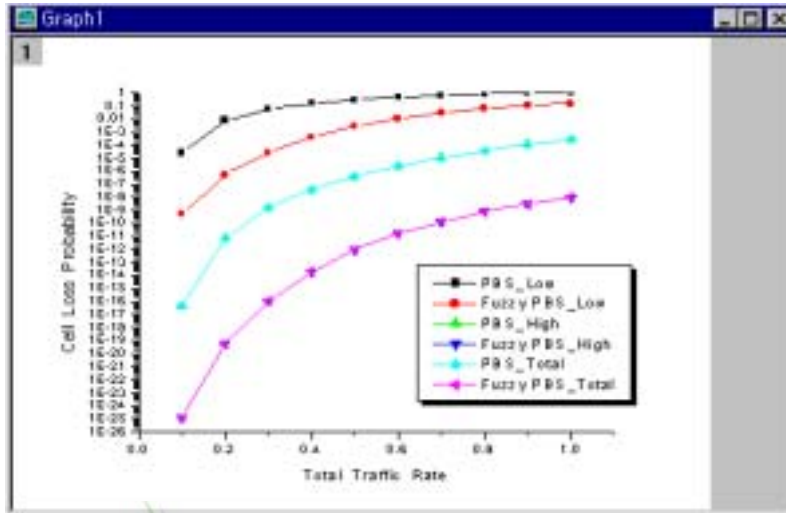


Fig. 39. The cell loss probability by traffic rate of when traffic arrival ratio is 1:9 (total traffic arrival rate=0.2, buffer occupancy rate=5)

2) 9:1의 고, 저 트래픽 도착률인 경우

그림 40은 전체 트래픽 도착률(t)=0.2, 버퍼의 점유율(b)=5 일 때의 퍼지 추론 후 비퍼지화값(서비스율)이 0.27을 적용하여 기존의 부분 버퍼 공유 기법(PBS)과 퍼지 제어 알고리즘을 적용한 부분 버퍼 공유 기법의 셀 손실률을 비교한 결과이다. 비교 결과, 전체 트래픽율이 0.4이상일 때 모든 셀이 손실이 발생함을 알 수 있다. 이는 서비스율 제어뿐만 아니라 트래픽 비율에 따른 임계값을 동시에 제어하여야 함을 보여준다. 임계값을 먼저 추론한 후 설정하고 다시 버퍼의 점유율에 따라 서비스율을 제어하여 좀 더 효율적인 버퍼 제어를 함으로서 각 우선 순위의 셀 손실률을 감소시킬 수 있다.

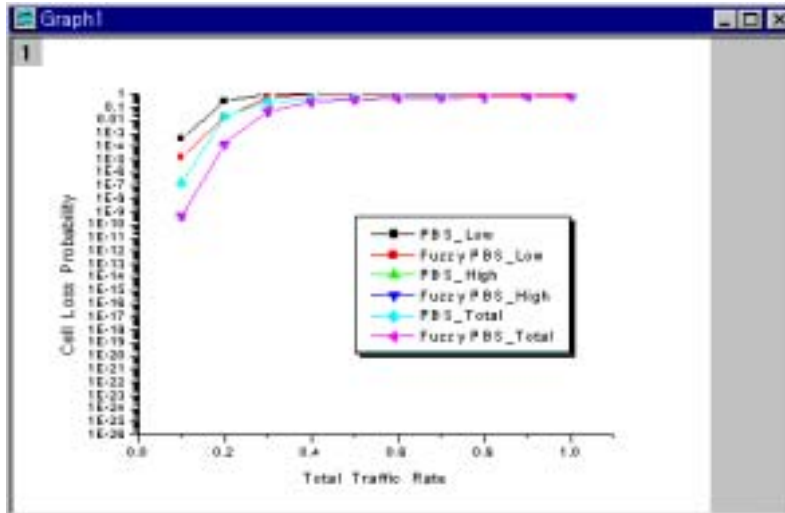


Fig. 40. The cell loss probability by traffic rate of when traffic arrival ratio is 9:1 (total traffic arrival rate=0.2, buffer occupancy rate=-5)

그림 41은 전체 트래픽 도착률(t)=0.2, 버퍼의 점유율(b)=5 일 때의 퍼지 추론 후 비퍼지화값(서비스율)이 0.55를 적용하여 기존의 부분 버퍼 공유 기법(PBS)과 퍼지 제어 알고리즘을 적용한 부분 버퍼 공유 기법의 셀 손실률을 비교한 결과이다. 비교 결과, 고순위 트래픽 도착 비율이 크게 증가하여 셀 손실률은 기존의 PBS 기법에서나 제안한 퍼지 제어 알고리즘을 적용한 기법에서 모두 그림 39에서의 결과보다는 손실률이 증가하였으나, 그림 40에서의 결과보다는 크게 손실률이 감소하였음을 알 수 있다. 저순위 셀 손실률은 기존의 기법에서는 그림 40에서와 마찬가지로 전체 트래픽율이 0.4이상에서는 셀 전부 손실이 일어나 서비스할 수 없음을 나타내고 있다. 전체적으로도 셀 손실률은 퍼지 제어 알고리즘을 적용한 부분 버퍼 공유기법에서 셀 손실률이 기존의 기법에서보다 감소하여 그 성능이 향상되었음을 알 수 있다.

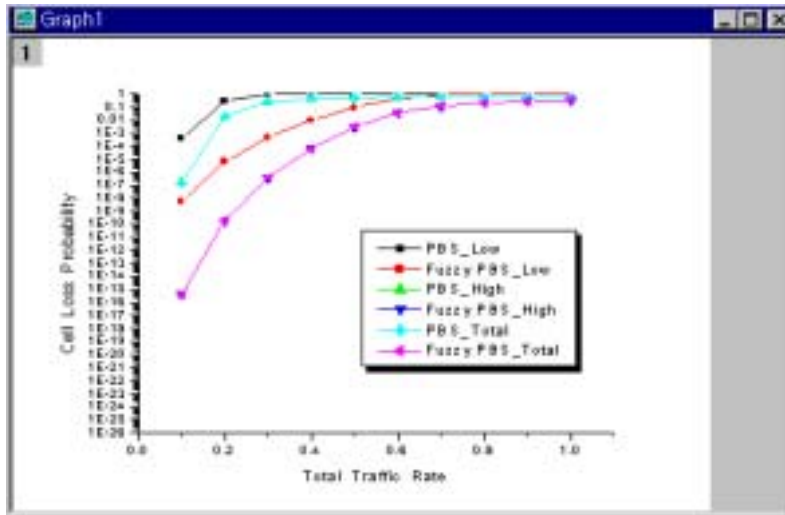
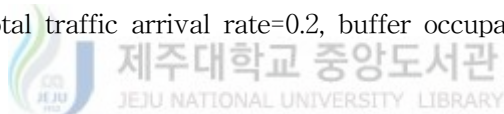


Fig. 41. The cell loss probability by traffic rate of when traffic arrival ratio is 9:1 (total traffic arrival rate=0.2, buffer occupancy rate=5)



3) 4:6의 고, 저 트래픽 도착률인 경우

그림 42는 전체 트래픽 도착률(t)=0.2, 버퍼의 점유율(b)=5 일 때의 퍼지 추론 후 비퍼지화값(서비스율)이 0.27을 적용하여 기존의 부분 버퍼 공유 기법(PBS)과 퍼지 제어 알고리즘을 적용한 부분 버퍼 공유 기법의 셀 손실률을 비교한 결과이다. 비교 결과, 전체적으로 그림 41에서의 셀 손실률보다는 기존의 기법과 제안한 기법 모두에서 증가하고 있음을 알 수 있다. 여기에서 알 수 있듯이 도착하는 트래픽 비율이 같아짐에 따라 기존의 기법과 동일한 손실률로 접근하고 있어 트래픽 비율에 따른 효과적인 버퍼 제어가 이루어지고 있음을 확인할 수 있다.

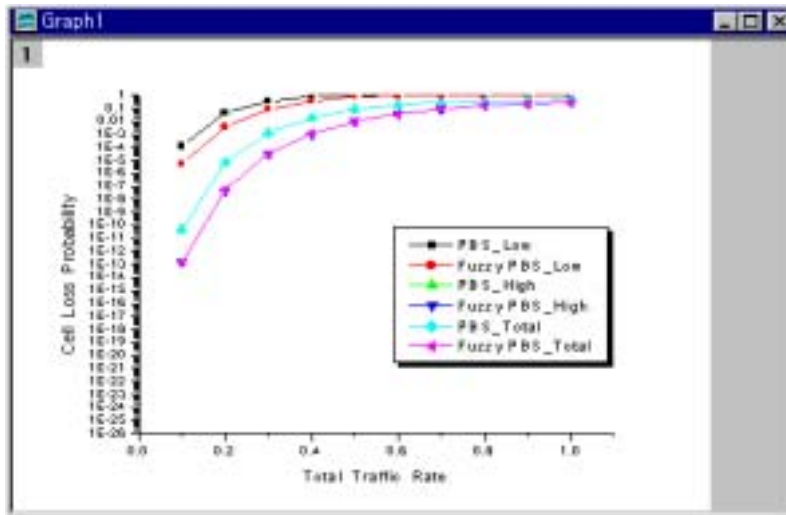


Fig. 42. The cell loss probability by traffic rate of when traffic arrival ratio is 4:6 (total traffic arrival rate=0.2, buffer occupancy rate=-5)

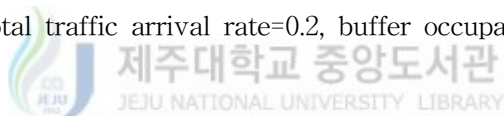


그림 43은 전체 트래픽 도착률(t)=0.2, 버퍼의 점유율(b)=5 일 때의 퍼지 추론 후 비퍼지화값(서비스율)이 0.55를 적용하여 기존의 부분 버퍼 공유 기법(PBS)과 퍼지 제어 알고리즘을 적용한 부분 버퍼 공유 기법의 셀 손실률을 비교한 결과이다. 비교 결과, 고순위 셀 손실률은 큰 감소를 보이고 있음을 알 수 있고, 그림 42에서의 결과보다도 그 손실률이 감소하고 있다. 저순위 셀 손실률은 그림 41에서와 같은 손실률을 보이고 있으며, 전체적으로도 셀 손실률은 퍼지 제어 알고리즘을 적용한 부분 버퍼 공유기법에서 셀 손실률이 기존의 기법에서보다 감소하여 그 성능이 향상되었음을 알 수 있다.

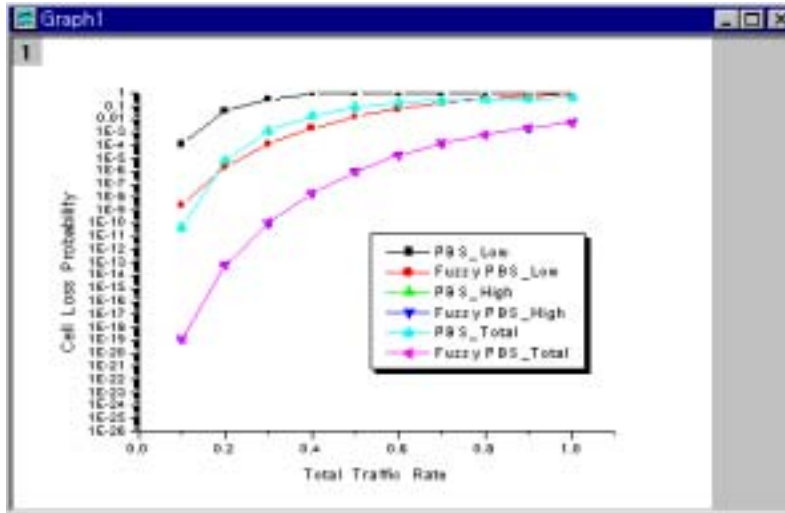
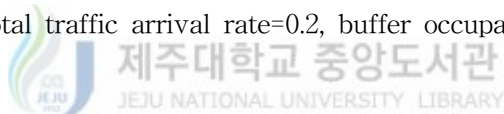


Fig. 43. The cell loss probability by traffic rate of when traffic arrival ratio is 4:6 (total traffic arrival rate=0.2, buffer occupancy rate=5)



4) 5:5의 고, 저 트래픽 도착률인 경우

그림 44는 전체 트래픽 도착률(t)=0.2, 버퍼의 점유율(b)=5 일 때의 퍼지 추론 후 비퍼지화값(서비스율)이 0.27을 적용하여 기존의 부분 버퍼 공유 기법(PBS)과 퍼지 제어 알고리즘을 적용한 부분 버퍼 공유 기법의 셀 손실률을 비교한 결과이다. 비교 결과, 전체 트래픽율이 클수록 트래픽 도착율도 같기 때문에 같은 손실률을 보이고 있다. 그리고 각 우선 순위 셀 손실률은 그림 43에서의 결과보다도 그 손실률이 증가하고 있다. 전체 트래픽율이 0.5 이상에서는 기존의 기법과 같은 손실률을 보이고 있어 이것은 트래픽 비율에 따른 임계값 제어로 해결할 수 있다.

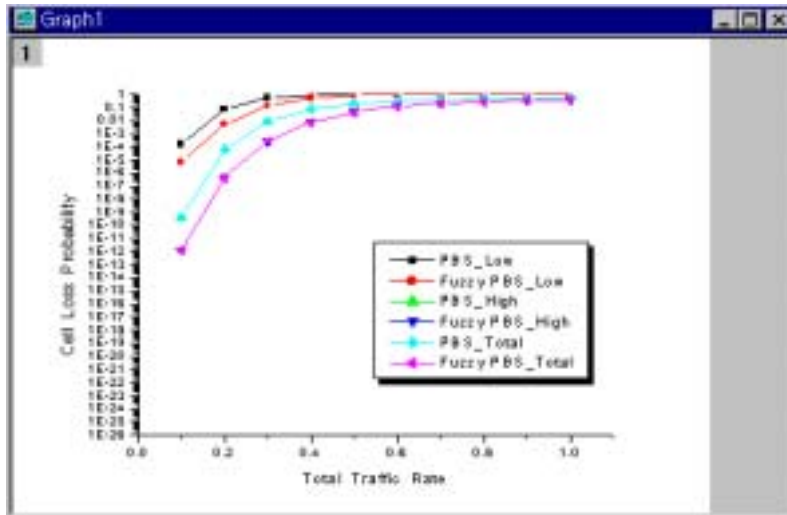


Fig. 44. The cell loss probability by traffic rate of when traffic arrival ratio is 5:5 (total traffic arrival rate=0.2, buffer occupancy rate=-5)

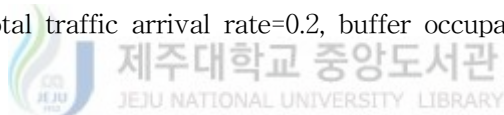


그림 45는 전체 트래픽 도착률(t)=0.2, 버퍼의 점유율(b)=5 일 때의 퍼지 추론 후 비퍼지화값(서비스율)이 0.55를 적용하여 기존의 부분 버퍼 공유 기법(PBS)과 퍼지 제어 알고리즘을 적용한 부분 버퍼 공유 기법의 셀 손실률을 비교한 결과이다. 비교 결과, 고순위 셀 손실률은 큰 감소를 보이고 있음을 알 수 있고, 그림 44에서의 결과보다도 그 손실률이 감소하고 있다. 저순위 셀 손실률 또한 그림 44에서의 결과보다 감소된 손실률을 보이고 있으며, 전체적으로도 셀 손실률은 퍼지 제어 알고리즘을 적용한 부분 버퍼 공유기법에서 셀 손실률이 기존의 기법에서보다 감소하여 그 성능이 향상되었음을 알 수 있다. 이는 버퍼의 점유율에 따라 서버에서의 서비스 시간을 확장시킴으로 인하여 도착하는 트래픽에 대한 효율적인 서비스가 이루어지고 있음을 알 수 있다.

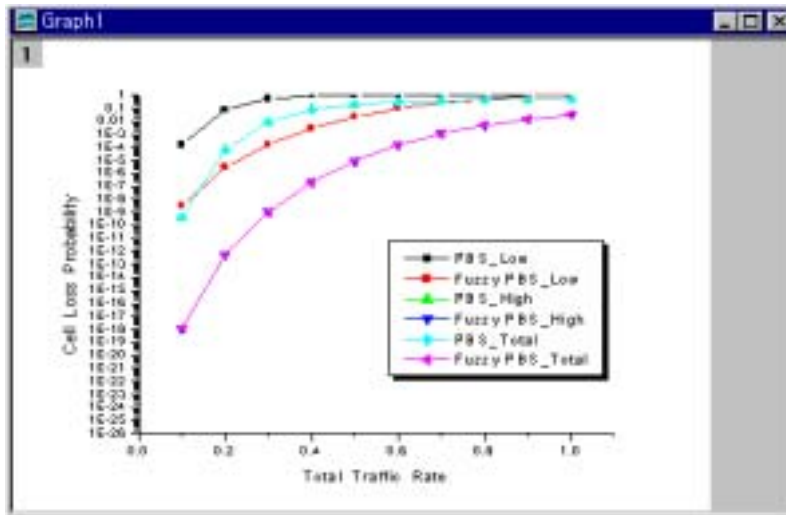
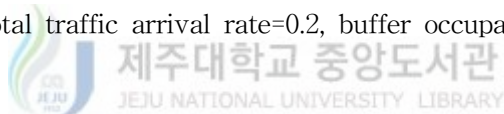


Fig. 45. The cell loss probability by traffic rate of when traffic arrival ratio is 5:5 (total traffic arrival rate=0.2, buffer occupancy rate=5)



5) 전체 트래픽 도착률이 증가한 경우

전체 트래픽율에 따라 전체 트래픽 도착률이 0.2에서 전체 트래픽 도착률이 0.7로 증가하였을 때, 현재 버퍼의 점유율을 5로 하고 고순위와 저순위 트래픽 도착률 1:9에 따른 각 우선 순위별 셀 손실률을 비교 분석한다.

그림 46은 저순위 트래픽의 셀 손실 확률을 비교한 결과이다. 비교 결과, 전체 트래픽 도착률의 증가로 인하여 셀 손실률은 기존의 부분 버퍼 공유 기법에서나 제안한 기법에서 공히 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한 기존의 기법에서 전체 트래픽율이 0.4 이상일 때, 저순위 셀이 큰 비율로 도착하면서 버퍼에 임계값까지 셀이 점유해 있어서 더 이상 버퍼 내에 들어오지 못하므로 전체가 손실이 발생하여 서비스할 수 없게 되지만 제안한 기법에서는 손실은 증가했으나 서비스는 이루어지고 있음을 알 수 있다. 이는 효율적인 버퍼관

리가 이루어지고 있음을 나타내고 있으며, 기존의 기법에 비하여 손실율이 감소한 것을 확인할 수 있다.

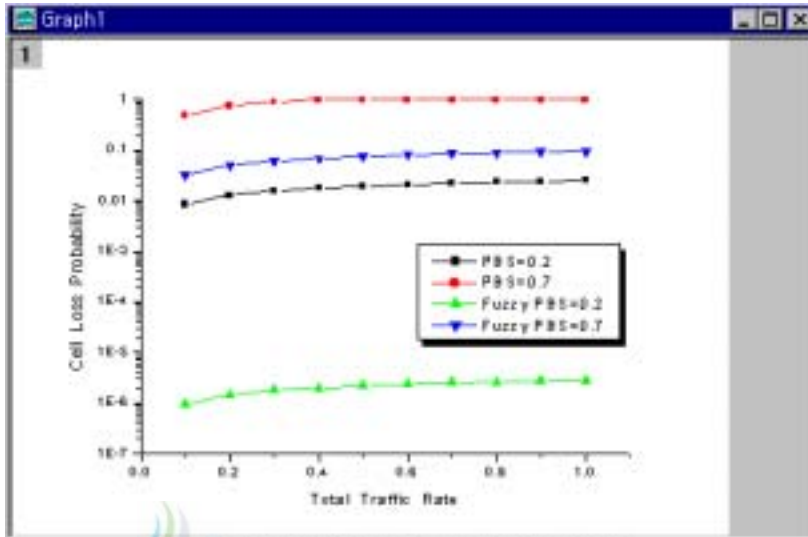


Fig. 46. The low priority cell loss probability of case that the traffic arrival rate increases by 0.2 to 0.7

그림 47은 고순위 트래픽의 셀 손실 확률을 비교한 결과이다. 비교 결과, 전체 트래픽 도착률의 증가로 인하여 셀 손실률은 기존의 부분 버퍼 공유 기법에서나 제안한 기법에서 공히 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한 전체 트래픽의 도착률이 0.2일 때는 기존의 기법에서도 10^{-9} 이하의 셀 손실률을 보이고 있어서 ATM 트래픽 특성상 고순위 셀의 손실 확률을 규정한 10^{-9} 을 준수하고 있지만, 전체 트래픽 도착률이 0.7로 증가함에 따라 많은 손실이 발생하고 있다. 그러나 제안한 기법에서는 전체 트래픽 도착률이 증가에 따라 셀 손실의 증가를 보이고 있으나 ATM 트래픽 특성 규정을 지키고 있음을 확인할

수 있다. 이는 효율적인 버퍼관리가 이루어지고 있음을 나타내고 있으며, 기존의 기법에 비하여 손실률이 감소한 것을 확인할 수 있다.

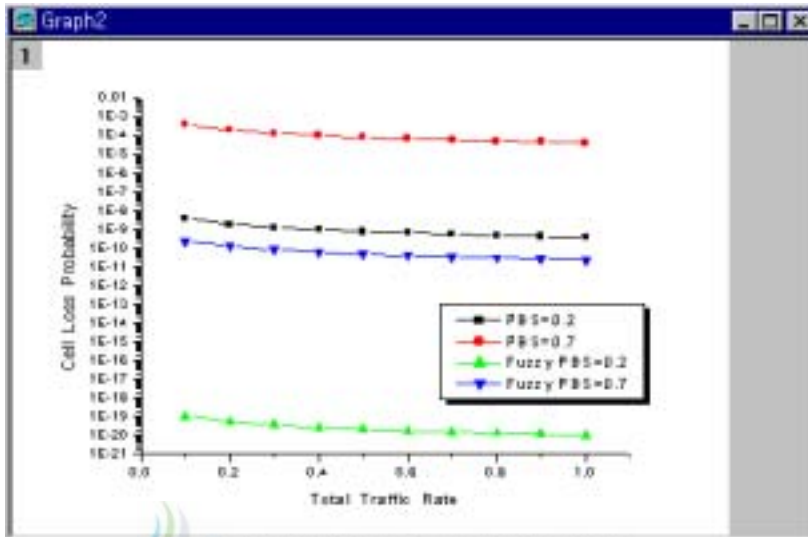


Fig. 47. The high priority cell loss probability of case that the traffic arrival rate increases by 0.2 to 0.7

그림 48은 전체 트래픽의 셀 손실 확률을 비교한 결과이다. 비교 결과, 전체 트래픽 도착률의 증가로 인하여 셀 손실률은 기존의 부분 버퍼 공유 기법에서나 제안한 기법에서 공히 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한 저순위 셀은 전체 트래픽을 0.4이상에서 버퍼 내에 이미 도착한 셀들로 임계값까지 점유하고 있는 상태이므로 더 이상 버퍼로 진입하지 못하여 도착하는 저순위 셀 전체가 손실이 발생함에 따라 전체 셀 손실률에서도 같은 현상을 보이고 있다. 이는 현재 버퍼의 점유율에 따라 효과적으로 서버에서의 서비스 시간을 제어하여 확장한다면 버퍼에서의 셀 손실을 최소화할 수 있다.

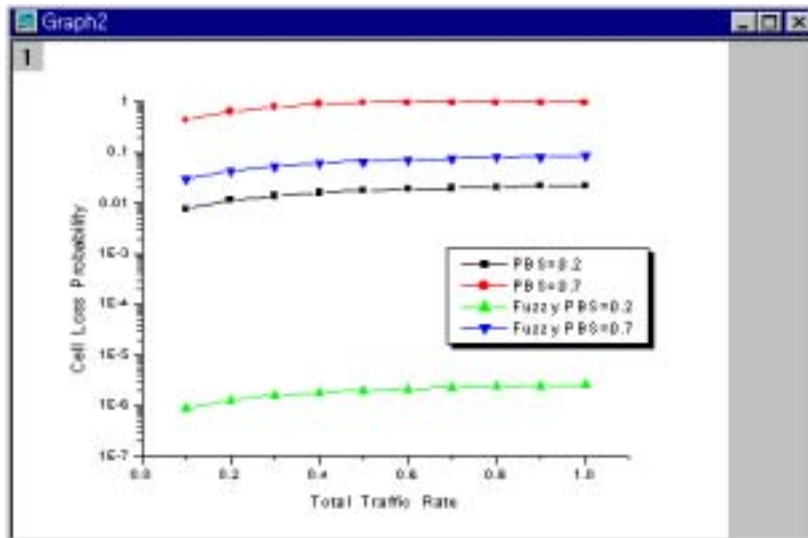


Fig. 48. The total priority cell loss probability of case that the traffic arrival rate increases by 0.2 to 0.7

VII. 결 론

ATM 망은 다양한 서비스 트래픽을 통계적 다중화 방식으로 전송하므로 망 자원의 이용율을 극대화할 수 있는 장점을 가지고 있지만 효과적인 트래픽 제어를 하지 못하면 과밀이 발생하여 트래픽의 QoS를 보장하지 못하게 된다. 제공하는 서비스마다 요구 품질이 다르고 QoS도 연결 호마다 다르다. 그러므로 ATM 망에서는 망의 과밀에 의한 셀 손실의 최소화와 망 자원 이용의 극대화란 서로 상충되는 목표를 달성해야 한다.

본 논문에서는 망자원의 극대화와 QoS 보장을 목적으로 하는 ATM 망에서의 버퍼를 좀더 효율적으로 이용하기 위하여 기존 부분 버퍼 공유 기법의 고정된 임계값 대신에 퍼지 추론에 의한 버퍼에서의 임계값을 제어하는 방식인 알고리즘을 제안하였다. 그 임계값 제어에 따른 비교 결과, 고정 트래픽율이 1:9일 때 퍼지추론 결과의 임계값은 12.7로 나타났고, 그에 따른 기존의 PBS 기법과 셀 손실율을 비교했을 때 고순위 셀 손실율은 같게 나타나고, 저순위 셀과 전체 셀 손실율은 감소를 보였다. 그리고 발생하는 트래픽율이 같아질수록 기존의 PBS기법과 같은 손실율로 접근하는데, 이는 퍼지추론 결과로써 적응적으로 임계값을 제어하여 효율적인 버퍼관리가 이루어지고 있다는 것을 알 수 있었다. 또한 전체 트래픽의 도착률과 버퍼의 점유율에 따라 퍼지이론을 적용하여 추론을 실시한 후, 그 비퍼지화값을 서버의 서비스율에 적용하도록 하는 알고리즘을 제안하였다. 서비스율 제어에 따른 비교 결과, 전체 트래픽 도착율을 0.2로 고정하고, 버퍼의 점유율이 각각 -5, 5, -10, 10일 때, 퍼지 추론후 결과는 각각 0.27, 0.55, 0.203, 0.605로 나타났다. 이에 따라 각각에 대하여 기존의 PBS기법과의 셀 손실율을 비교 결과, 각 우선 순위 셀 손실율은 감소하였다.

따라서 각 알고리즘의 성능은 기존의 부분 버퍼 공유기법과 비교해 볼 때, 저순위 셀 손실율은 미세한 감소를 보이고 있으나, 고순위 셀 손실율은 현저

한 감소를 보여 그 성능이 향상됨을 확인하였다. 이 결과는 ATM 트래픽 특성상 고순위 셀의 손실 확률을 거의 10^{-9} 에 가깝게 해 주어야 한다는 ATM 트래픽 특성 규정을 만족하고 있다.

사전 협약에 의해 이루어지는 ATM 망에서 트래픽 폭주시 망의 체증 문제는 셀 준위에서 버퍼의 처리문제로 집약될 수 있다. 따라서 제안한 퍼지 기반 알고리즘을 적용한다면 사용자가 요구하는 트래픽에 대하여 적응적으로 서비스 품질을 향상시킬 수 있다. 그리고 셀 손실률 면에서도 우수한 성능을 보여 사용자가 요구하는 QoS를 보장하며 망 자원의 이용률을 최적화 할 수 있고, ATM 망 전체 서비스의 질을 높일 수 있는 유연성을 가질 수 있다.

기존의 부분 버퍼 공유 기법 제어 방식에서는 미리 정해진 일정한 값을 적용하고 퍼지 이론을 이용한 트래픽 제어 방식에서는 트래픽과 버퍼의 상태에 따라 값을 적용하게 됨으로 트래픽의 특성에 따라 오히려 부분 버퍼 공유 방식이 더 나은 특성을 보일 수 있다. 이와 같이 각각의 특성에 따라 요구되는 차이들은 앞으로의 하드웨어와 소프트웨어의 기술발전에 의해 해결되리라 생각된다.

참고문헌

- Alan, A., B. Pritsker, 1986, Introduction to Simulation and SLAM II, System Publishing Corporation.
- Bezdek, J. C., S. K. Pal, 1991, Fuzzy Models For Pattern Recognition, IEEE Press.
- Braae, M. and D. A. Rutherford, 1978, Fuzzy Relations in a Control Setting, Kybernetes, Vol.7, No.3, pp.185~188.
- CCITT Draft Recommendation I-series, 1990.
- Cheng, J. S. C. and R. Guerin, 1991, Performance Study of an Input Queueing Packet Switch with Two Priority Classes, IEEE Trans. Commun., Vol.39, No.1, pp.117~126.
- Chipalkatti, R., J. F. Kurose and D. Towsley, 1989, Scheduling Policies for Real-Time and Non-Real-Time Traffic in Statistical Multiplexer, IEEE INFOCOM'89, pp.774~793.
- Gallassi, G., G. Rigolio, L. Fratta, 1990, Bandwidth Assignment in Prioritized ATM Network, IEEE GLOBECOM'90, pp.852~856.
- 황승구, 오길록, 1992, 퍼지 기술의 통신에의 응용, 한국통신학회지 Vol.9, No.6, pp.385~393.
- ITU-T Recommendation I.371, November 1995, Traffic Control and Congestion Control in B-ISDN.
- Jang, J. S. R., Sun and E. Mizutani, 1997, Neuro-Fuzzy and Soft Computing, Prentice-Hall.

- 정동성, 이용학, 1998, ATM 망에서의 버퍼 분할 공유 기법에 관한 연구, 한국통신학회 하계종합학술발표회 논문집, 제 17권, 제 1호, pp.532-535.
- 정동성, 이용학, 2000, ATM 망에서 트래픽 서비스율 예측을 위한 퍼지 제어 알고리즘에 관한 연구. 한국통신학회 하계종합학술발표회 논문집, 제21권, 제 1호, pp.746-751.
- 정동성, 이용학, 2002, ATM 망에서 버퍼의 임계값 예측을 위한 퍼지 제어 알고리즘에 관한 연구, 한국통신학회논문지, 제27권,제7C호, pp.664-669.
- 정동성, 이용학, 2003, ATM 망에서 서버의 서비스율 예측을 위한 퍼지 제어 알고리즘에 관한 연구, 한국통신학회논문지, 제28권,제10B호, pp.854-861.
- 정현숙, 신호영, 박호균, 류황빈, 1994, ATM 망에서 두 개의 임계값을 갖는 PBS 기법에 관한 연구, 한국통신학회 논문지, Vol.19, No.1, pp.56~65.
- Karl Rothermel, 1990, Priority Mechanisms in ATM Network, IEEE GLOBECOM'90, pp.847~851.
- Kiszka, B., M. E. Kochanska, and D. S. Sliwinski, 1985, "The Inference of Some Fuzzy Implication Operators on the Accuracy of a Fuzzy Model-Part I, Part II", FSS, Vol. 15.
- Kitami, T., Tokizawa, I., 1990, Cell Loss Compensation Schemes in an Asynchronous Broadband ISDN, IEEE INFOCOM'90, pp.116~123.
- Kroner, H., 1990, Comparative Performance Study of Space Priority Mechanisms for Networks, IEEE INFOCOM'90, pp.1136~1143.
- Kroner, H., Hebuterne, G., Boyer, P and Gravey, A., 1991, Priority

- Management in ATM Switching Node, IEEE J-SAC'91, pp.418~427.
- 김주현, 김본일, 이동호, 2000, ATM 망에서 퍼지 동적 이증 셰이핑 기법을 이용한 트래픽 제어, 한국통신학회논문지, Vol.25, No.2B, pp. 256-264.
 - Larkin, L. I., 1985, A Fuzzy Logic Controller for Aircraft Flight Control, in Industrial Applications of Fuzzy Control, M. Sugeno, Ed., Asterdam, North-Holland.
 - Lee, C. C., 1990, Fuzzy Logic in Control System : Fuzzy Logic Controller-PART I, IEEE Trans. on Systems, Man and Cyb., Vol.20, No.2.
 - Lee, C. C., 1990, Fuzzy Logic in Control System : Fuzzy Logic Controller-PART II, IEEE Trans. on Systems, Man and Cyb., Vol.20, No.2.
 - Lim, Y., Kobza, J., 1988, Analysis of a Delay Dependent Priority Discipline in an Multiclass Traffic Packet Switching Node, IEEE INFOCOM'88, pp.888~898.
 - 임주환, 성단근, 한치문, 김영선, 1998, ATM 교환, 한국통신학회 정보통신기술 총서 2, 한국통신학회 · 홍릉과학출판사.
 - 박원기, 한치문, 최형진. 1994, ATM 스위치 네트워크에서의 2-레벨 임계치를 갖는 셀 우선 순위 제어방식, 한국통신학회 논문지, Vol.19, No.3, pp.479~491.
 - Qingyang Hu, Davidw. Petr, Cameron Braun, 1996, Self-tuning Fuzzy Traffic Rate Control for ATM Networks, IEEE, pp. 424-428.
 - Ray Jain, 1995, Congestion Control and Traffic Management in ATM Networks: Recent Advances and a Survey, Submission to Computer

Networks and ISDN System.

- Rothermel, K., 1990, Priority Mechanisms in ATM Networks, GLOBECOM, pp.847~851.
- Scharf, E. M. and N. J. Mandic, 1985, The Application of a Fuzzy Controller to the Control of a Multi-degree-freedom Robot Arm, in Industrial Applications of fuzzy Control, M. Sugeno, Ed., Amsterdam, North-Holland.
- Suzuki, H., T. Murase, S. Sate, T. Takeuchi, 1990, A Burst Traffic Control Strategy for ATM Network, IEEE GLOBECOM'90, pp.874~878.
- Takagi, T. and M. Sugeno, 1985, Fuzzy Identification of System and its Applications to Modeling and Control, IEEE Trans. on Systems, Man and Cyb., Vol. SMC-15, No.1.
- Tcha, D. W., C. Y. Jin, E. Lutz, 1988/1989, Link-by-Link Bandwidth Allocation in an Integrated Voice/Data Network Using The Fuzzy Set Approach, Computer Network and ISDN System 16, pp. 217-227.
- Tcha, D. W., Jin, C. Y., Lutz, E., Link-by-Link Bandwidth Allocation in an Integrated Voice/Data Network Using The Fuzzy Set Approach, Computer Network and ISDN System 16, pp.217~227.
- Walter, J. Goralski, 1995, Introduction to ATM Networking, by McGraw-Hill.
- Yao-Ching Liu and Christos Douligeris, 1996, Nested Threshold Cell Discarding with Dedicated Buffers and Fuzzy Scheduling, Submitted to IEEE GLOBECOM, pp.429-432.

- Yegari, P., M. Krunz and H. Hughes, 1994, Congestion Control Schemes in Prioritized ATM Networks, IEEE ICC, pp.1169~1173.
- Zadeh, L. A., 1973, Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes, IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, Vol. SMC-3, No.1, pp.28~44.
- Zadeh, L. A., 1975, The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning-I, Information Sciences, Vol.8, pp.301~375.



부록 A . 알고리즘에 대한 프로그램

1. 임계값 예측을 위한 퍼지 알고리즘

```
%FileName : ThFuzzy
% 고, 저 우선 순위 트래픽을에 관한 전체집합
x=0:0.1:1;
y=0:0.1:1;
z=0:20;

% 고순위 트래픽을 멤버쉽
high_mf=trimf(x,[0.5 1 1]);
medium_mf=trimf(x,[0 0.5 1]);
low_mf=trimf(x,[0 0 0.5]);
antecedent1_mf=[high_mf;medium_mf;low_mf];
plot(x,antecedent1_mf),...
    axis([-inf inf 0 1.2]),...
    title('high, medium and low traffic intencity(high and low priority)'),...
    text(0.1,1.1,'low'),...
    text(0.45,1.1,'medium'),...
    text(0.85,1.1,'high'),...
    xlabel('traffic intencity'), ylabel('Membership')

%저순위 트래픽을 멤버쉽
```

```

high_mf=trimf(y,[0.5 1 1]);
medium_mf=trimf(y,[0 0.5 1]);
low_mf=trimf(y,[0 0 0.5]);
antecedent2_mf=[high_mf;medium_mf;low_mf];

%출력함수(임계값)

vb_mf=trimf(z,[15 20 20]);
big_mf=trimf(z,[10 15 20]);
medium_mf=trimf(z,[5 10 15]);
small_mf=trimf(z,[0 5 10]);
vs_mf=trimf(z,[0 0 5]);
threshold=[vb_mf;big_mf;medium_mf;small_mf;vs_mf];

%고순위와 저순위 트래픽을 입력후 DOF(조건부의 충족정도) 계산

high=input('고순위 트래픽을 비율=');
low=input('저순위 트래픽을 비율=');
tot=high+ low;

%조건부 멤버쉽 함수들에 관한 DOF 계산

DOF1=interp1(x',antecedent1_mf',high)';
DOF2=interp1(y',antecedent2_mf',low)';

%다음으로 9개의 규칙에 수반된 퍼지관계 연산이 실행

antecedent_DOF=[min(DOF1(3),DOF2(3))
min(DOF1(3),DOF2(2))
min(DOF1(3),DOF2(1))

```

```

min(DOF1(2),DOF2(3))
min(DOF1(2),DOF2(2))
min(DOF1(2),DOF2(1))
min(DOF1(1),DOF2(3))
min(DOF1(1),DOF2(2))
min(DOF1(1),DOF2(1))]

```

```

consequent=[threshold(5,:)
threshold(4,:)
threshold(1,:)
threshold(4,:)
threshold(3,:)
threshold(2,:)
threshold(4,:)
threshold(4,:)
threshold(3,:)]
Consequent=consequent'*antecedent_DOF;

```



```

plot(z,Consequent),...
axis([min(z) max(z) 0 1]),...
title('퍼지규칙의 적용결과'),...
xlabel('임계값'), ylabel('멤버십')

```

%명확한 출력값=비퍼지화

```
output=centroid(z,Consequent');
```

```

c_plot(z,Consequent',output,'임계값'),...
axis([min(z) max(z) 0 1]),...
xlabel('임계값')

```

%비퍼지화 결과로 각 트래픽(저,고,전체)의 셀 손실을 계산

```
N=20;
th=output;
pth=10;
pl=0;
pll=0;
ppl=0;
ppll=0;
lloss=0;
hloss=0;
ppploss=0;
jj=0;
for a=0.1:0.1:1
    jj=jj+ 1;
    for i= 0:th
        p1=(a.^ i);
        pl=pl+ p1;
    end
    for pi=0:pth
        pp1=(a.^ pi);
        ppl=ppl+ pp1;
    end
    for ii=th+ 1:N
        p2=(a.^ th)*((a*high).^ (ii-th));
        pll=pll+ p2;
    end
    po=1/(pl+ pll);
    for pii=pth+ 1:N;
        pp2=(a.^ pth)*((a*high).^ (pii-pt));
        ppll=ppll+ pp2;
```




```

        end
        ppo=1/(ppl+ ppll);
    for iii=th+ 1:N
        plloss=((a.^ th)*((a*high).^ (iii-th))*po);
        lloss=lloss+ plloss;
    end
    for piii=pth+ 1:N
        pploss=(a.^ pth)*((a*high).^ (piii-ptth))*ppo;
        ppploss=ppploss+ pploss;

    end
    phloss=((a.^ th)*((a*high).^ (N-th))*po);
    pphloss=((a.^ pth)*((a*high).^ (N-ptth))*ppo);
    ramdal=low*0.2;
    ramdah=high*0.2;
    ramdat=ramdal+ ramdah;
    ptloss=(ramdal/ramdat*lloss)+(ramdah/ramdat*phloss);
    pptloss=(ramdal/ramdat*ppploss)+(ramdah/ramdat*pphloss);

aa(jj)=a;
llosss(jj)=lloss;
phlosss(jj)=phloss;
ptlosss(jj)=ptloss;
ppplosss(jj)=ppploss;
pphlosss(jj)=pphloss;
pptlosss(jj)=pptloss;

end

```

2. 서비스율(처리율) 예측을 위한 퍼지 알고리즘

```
% FileName : SerFuzzy
% 버퍼의 적재 변화율과 서비스율에 대한 전체집합
x=0:0.05:1;
y=-10:1:+10;
z=0:0.05:1;

% 트래픽 발생량 멤버쉽

low_mf=trimf(x,[0 0 0.5]);
med_mf=trimf(x,[0 0.5 1]);
high_mf=trimf(x,[0.5 1 1]);
antecedent1_mf=[low_mf;med_mf;high_mf];
plot(x,antecedent1_mf),... 제주대학교 중앙도서관
axis([-inf inf 0 1.2]),... JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY
title('low, med and high of traffic arrival _ rate'),...
text(0.05,1.1,'low'),...
text(0.5,1.1,'med'),...
text(0.95,1.1,'high'),...
xlabel('traffic arrival _ rate'), ylabel('Membership')

%트래픽 적재 변화율에 대한 멤버쉽

ne_mf=trapmf(y,[-10 -10 -6 0]);
ze_mf=trimf(y,[-6 0 6]);
po_mf=trapmf(y,[0 6 10 10]);
antecedent2_mf=[ne_mf;ze_mf;po_mf];
plot(y,antecedent2_mf),...
axis([-inf inf 0 1.2]),...
```

```

title('ne, ze and po of Queue'),...
text(-25,1.1,'ne'),...
text(-2,1.1,'ze'),...
text(25,1.1,'po'),...
xlabel('Queue'), ylabel('Membership')

%출력 함수(서비스율)

vs_mf=trimf(z,[0 0 0.25]);
slow_mf=trimf(z,[0 0.25 0.5]);
mid_mf=trimf(z,[0.25 0.5 0.75]);
fast_mf=trimf(z,[0.5 0.75 1]);
vf_mf=trimf(z,[0.75 1 1]);

service_rate=[vs_mf;slow_mf;mid_mf;fast_mf;vf_mf];
plot(z,service_rate),...
axis([-inf inf 0 1.2]),...
title('vs, slow, mid, fast and vf service _ rate'),...
text(0.05,1.1,'vs'),...
text(0.21,1.1,'slow'),...
text(0.48,1.1,'mid'),...
text(0.74,1.1,'fast'),...
text(0.95,1.1,'vf'),...
xlabel('service _ rate'), ylabel('Membership')

trafficvolume=input('트래픽 도착률=')
Queue=input('대기 트래픽 비율=')

%조건부 멤버쉽 함수들에 관한 DOF 계산

```

```
DOF1=interp1(x',antecedent1_mf',trafficvolume)';
DOF2=interp1(y',antecedent2_mf',Queue)';
```

%다음으로 15개의 규칙에 수반된 퍼지관계 연산이 실행

```
antecedent_DOF=[min(DOF1(1),DOF2(1))
    min(DOF1(1),DOF2(2))
    min(DOF1(1),DOF2(3))
    min(DOF1(2),DOF2(1))
    min(DOF1(2),DOF2(2))
    min(DOF1(2),DOF2(3))
    min(DOF1(3),DOF2(1))
    min(DOF1(3),DOF2(2))
    min(DOF1(3),DOF2(3))]
```

```
consequent=[service_rate(5,:)
    service_rate(4,:)
    service_rate(3,:)
    service_rate(4,:)
    service_rate(3,:)
    service_rate(2,:)
    service_rate(3,:)
    service_rate(2,:)
    service_rate(1,:)];
```

```
Consequent=consequent'*antecedent_DOF;
```

```
plot(z,Consequent),...
    axis([min(z) max(z) 0 1]),...
    title('퍼지규칙의 적용결과'),...
    xlabel('서비스율'), ylabel('멤버십')
```

```

%명확한 출력값=비퍼지화

output=centroid(z,Consequent');
%out=round(output);

c_plot(z,Consequent',output,'서비스율'),...
axis([min(z) max(z) 0 1]),...
xlabel('서비스율'),ylabel('멤버쉽')

```

%비퍼지화 결과로 각 트래픽(저,고,전체)의 셀 손실률 계산

```

N=20;
mu=output;
pmu=0.2;
th=10;
ramdat=trafficvolume;
ramdah=ramdat/2;
ramdal=ramdat/2;
pl=0;
ppl=0;
pll=0;
ppll=0;
lloss=0;
ppploss=0;

jj=0;
for a=0.1:0.1:1
    jj=jj+1;
    for i=0:th
        p1=(ramdat/mu).^i;

```



```

    pp1=(ramdat/pmu).^i;
    pl=pl+p1;
    ppl=ppl+pp1;
end
for ii=th+1:N
    p2=((ramdat/mu).^th)*((ramdah/mu).^(i-th));
    pll=pl+p2;
    pp2=((ramdat/pmu).^th)*((ramdah/pmu).^(i-th));
    ppll=ppl+pp2;
end
po=1/(pl+pll);
ppo=1/(ppl+ppll);

for iii=th+1:N
    ploss=((ramdat/mu).^th)*((ramdah/mu).^(i-th))*po;
    lloss=lloss+ploss;
    pploss=((ramdat/pmu).^th)*((ramdah/pmu).^(i-th))*ppo;
    ppploss=ppploss+pploss;
end

phloss=((ramdat/mu).^th)*((ramdah/mu).^(N-th))*po;
pphloss=((ramdat/pmu).^th)*((ramdah/pmu).^(N-th))*ppo;

ptloss=((ramdal/ramdat)*ploss)+((ramdah/ramdat)*phloss);
pptloss=((ramdal/ramdat)*pploss)+((ramdah/ramdat)*pphloss);

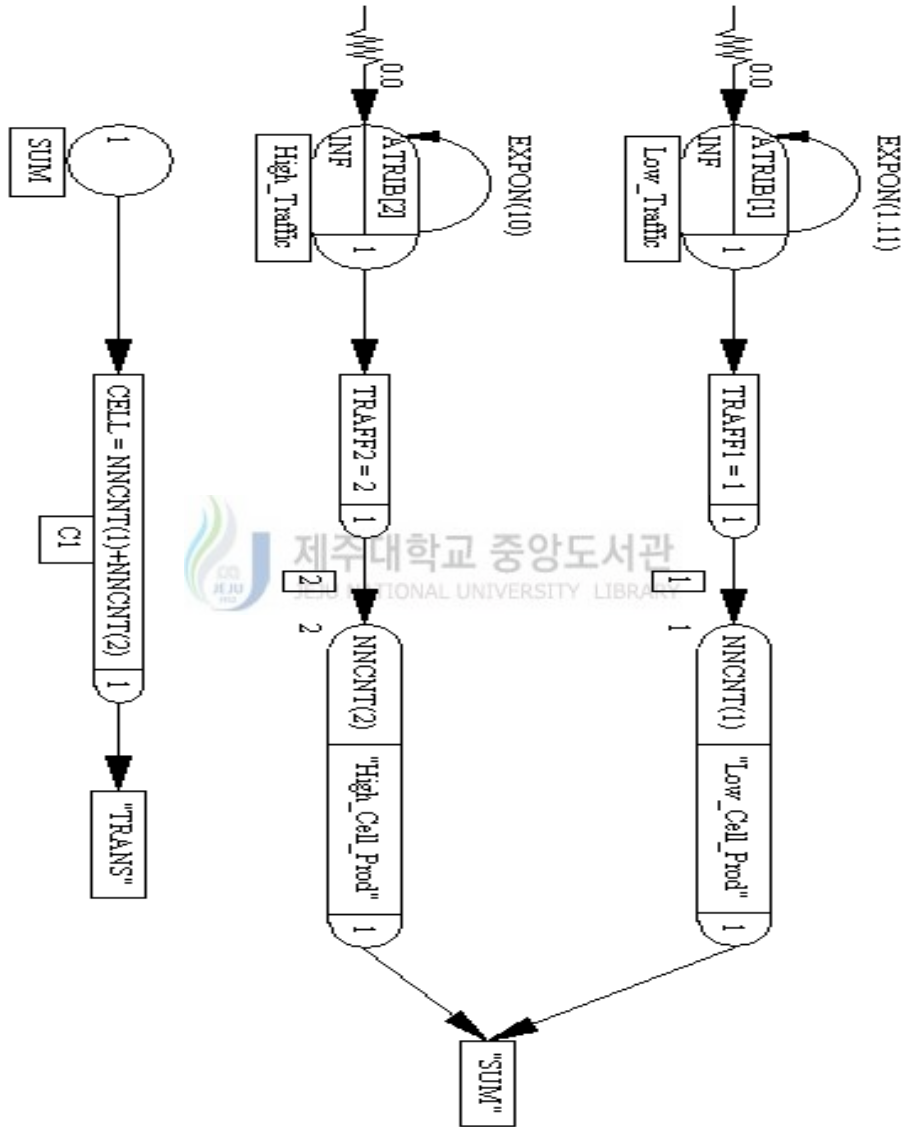
aa(jj)=a;
llosss(jj)=lloss;
phlosss(jj)=phloss;
ptlosss(jj)=ptloss;
ppplosss(jj)=ppploss;

```

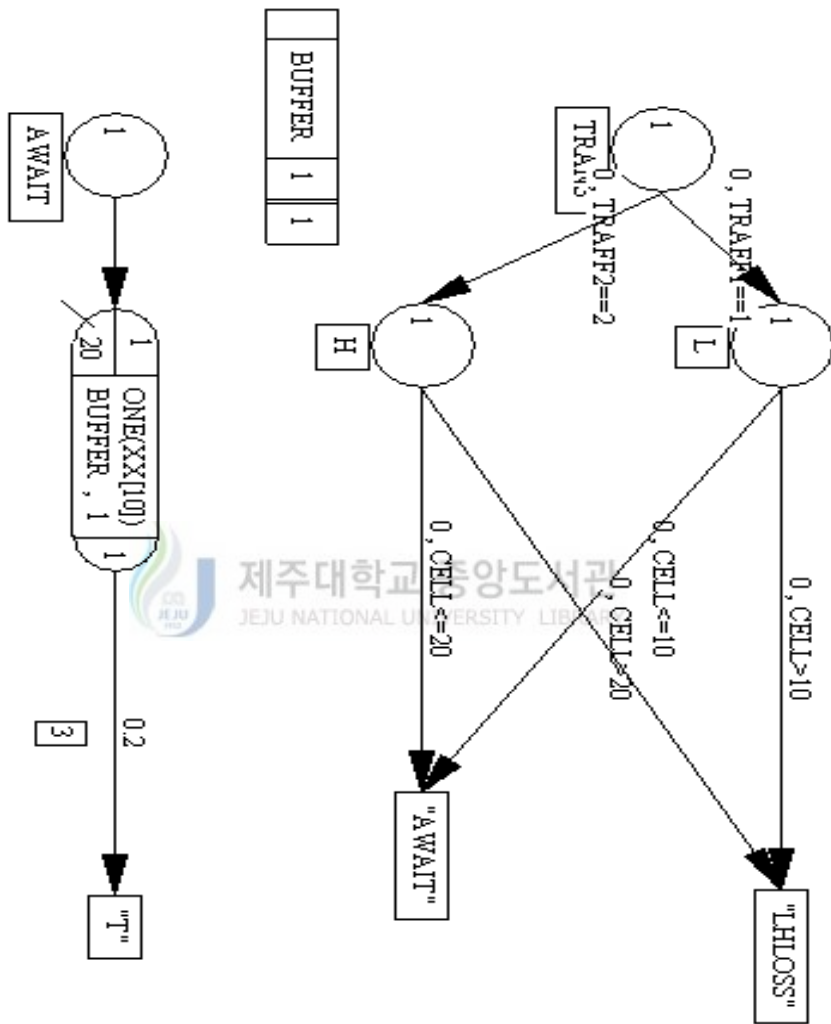
```
pphlosss(jj)=pphloss;  
pptlosss(jj)=pptloss;  
end
```



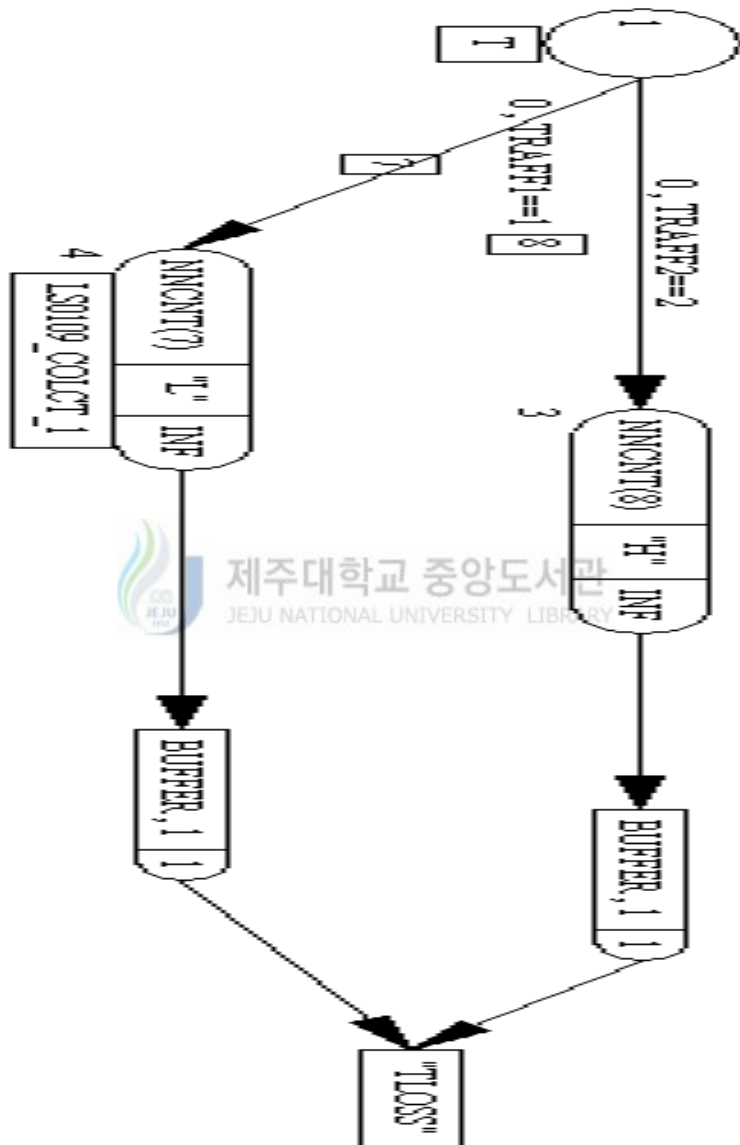
부록 B . 시뮬레이션에 대한 Network Model



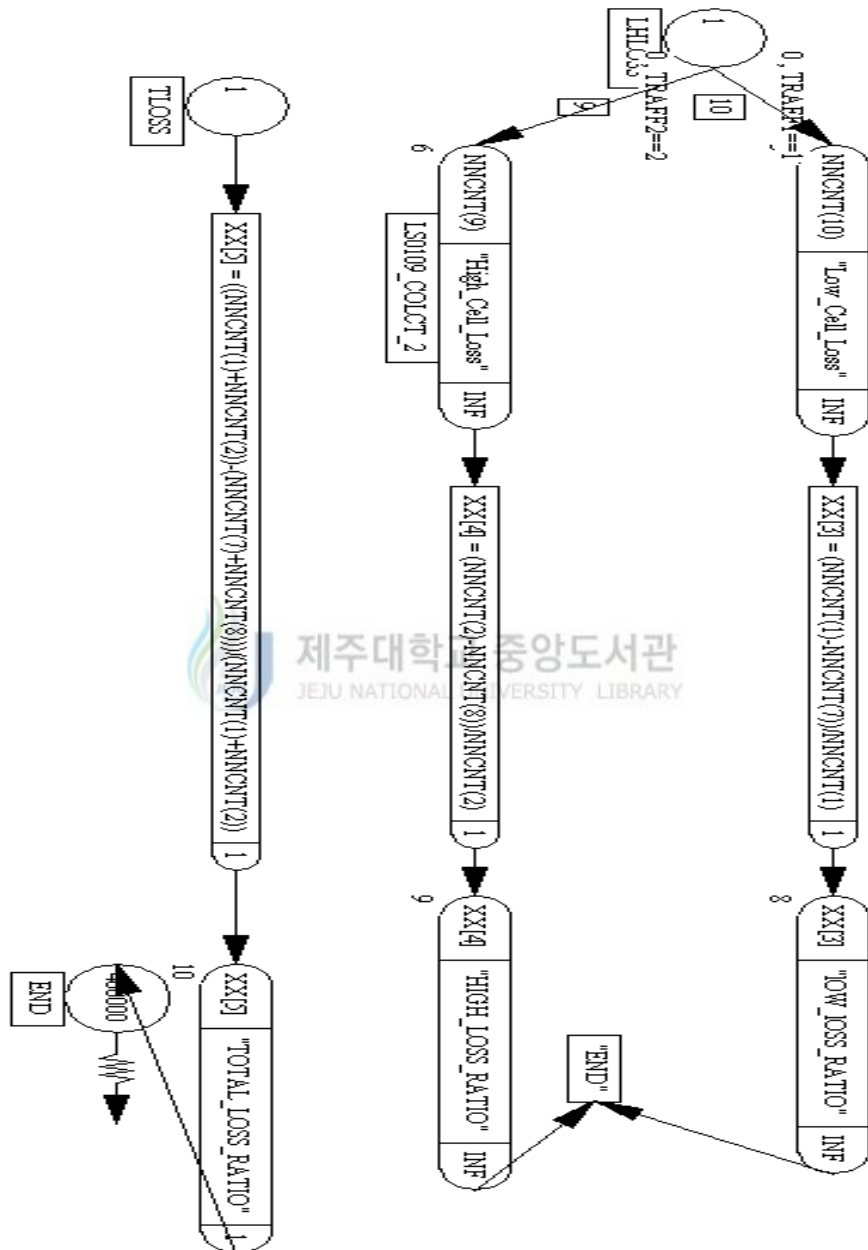
Network Model I



Network Model II



Network Model III



제주대학교 중앙도서관
 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Network Model IV