

반응적 접근제어를 이용한 B-ISDN 폭주제어

正會員 李崇熙*, 崔興文**

Congestion Control in B-ISDN Using Reactive Access Control

Soong Hee Lee*, Heung Moon Choi** Regular Members

要 約

B-ISDN에서의 폭주를 효과적으로 제어하기 위한 반응적 접근제어를 제안하였다. 제안한 방법에서는 GFC 필드를 이용하여 망의 폭주 상태를 망 노드로부터 B-NT로 전달함으로써 기존의 종단간 폭주제어에서 활성 트래픽된 개수의 증가에 따라 피드백 트래픽이 급증하는 문제를 해결하였다. 또한 망 입구 노드의 출력 버퍼 레벨과 중간 노드로부터의 폭주 상태를 종합하여 망의 실제 폭주 상태를 효과적으로 결정하는 방안도 제시하였다.

제안된 방식의 성능을 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 그 결과 망 노드에서의 출력 버퍼의 넘침을 줄여줄 수 있었으며 이 때 0.8 이하의 부하 상태에서 발생하는 셀 지연은 140에서 330 슬롯 정도로 데이터 트래픽의 서비스 요구조건을 잘 만족하였다. 시스템 내에 존재하는 총 셀 개수로 정의된 시스템 크기와 B-NT 셀 버퍼 및 망 노드 출력 버퍼의 큐 길이를 Matragi의 접근 제어방식과 비교해 본 결과, 제안된 방식이 B-ISDN UNI에 적용될 경우 B-NT 셀 버퍼에서 더 큰 큐 길이를 요구하는 대신 망 노드 출력 버퍼의 큐 길이는 더 작아도 됨을 확인하였다. 즉, 제안된 방식을 적용하면 B-NT에서의 지연이 좀 커지는 대신 망 노드에서의 폭주 발생 확률을 효과적으로 감소시킬 수 있음을 알 수 있다. 따라서, 제안된 방식을 B-ISDN UNI에 적용하면 B-ISDN 전체의 폭주 제어에 효과적으로 기여할 수 있다.

ABSTRACT

A reactive access control scheme, which controls effectively B-ISDN congestion, is proposed. The increasing number of active traffic sources results in increasing amount of feedback traffic in the current end-to-end reactive congestion control scheme. The proposed scheme resolves the problem using the GFC field as a feedback notifier which informs the congestion state from a network node to a B-NT system, and includes a decision method on the actual network congestion state. The proposed scheme takes

* 한국전자통신연구소 광대역통신망연구부

** 경북대학교 전자전기공학부

論文番號 : 95220-0619

接受日字 : 1995年 6月 19日

both the output buffer level of the network node and the network congestion information from the intermediate nodes into account to estimate the effective congestion level of the network.

We evaluate the performance of the proposed scheme through computer simulation. The results show that the proposed scheme can eliminate the overflow of the node output buffer with mean cell delay from 140 to 330 slots. Such a result satisfies the service requirements of data traffic under the condition that traffic load is equal to or less than 0.8. We compare the performance of the proposed scheme with that of the scheme Matragi proposed. The mean system size defined as the sum of total number of cells in the system, and queue length of both the B-NT cell buffer and the node output buffer are evaluated for varying propagation delay between B-NT and the network node. On applying to B-ISDN UNI, the proposed scheme requires shorter queue length at node output buffer than that of the Matragi's, with the large B-NT cell buffer requirement. This implies that the proposed scheme has the lower probability of overflow at the node output buffer with the longer cell delay at B-NT. The proposed scheme can be used for an efficient congestion control applied at B-ISDN UNI, and contributes to the global congestion control in B-ISDN.

I. 서 론

ATM 기술을 이용하는 B-ISDN은 통계적 다중화를 통하여 다양한 트래픽 특성을 가지는 서비스들을 수용할 수 있지만 서로 다른 대역폭이나 서비스 품질을 요구하는 호(call)들이 망의 자원을 공유해야 하므로 고속 셀을 처리하는 과정에서 예기치 않았던 트래픽의 변화로 망이 폭주(congestion)될 가능성이 있다. 따라서 B-ISDN의 효과적인 구축과 원활한 운영을 위해서는 폭주 발생을 효율적으로 억제할 수 있는 방안이 마련되어야 한다.

그동안 제시되어온 망 폭주 제어 방법들은 망에서 폭주가 발생하지 않도록 사전에 조정된 파라미터를 적용하여 망을 운영하는 예방 제어(preventive control)와 망의 폭주 발생시에 망의 정상 기능을 회복시켜 망을 보호하는 반응 제어(reactive control)로 크게 나눌 수 있다. 예방 제어에서는 입력 트래픽에 대한 예측이 조금이라도 틀리면 부정확한 트래픽 파라미터로 인하여 망에서의 폭주를 피할 수 없다^[1]. 반응제어는 이를 해결할 수 있는 대응 방안, 즉 폭주의 확산을 방지하고 폭주상태로부터의 회복을 도와주는 방안으로서 제시되었다. ITU-T에서는 명시적 순방향 폭주지시(explicit forward congestion indication: EFCI)나 명시적 역방향 폭주통보(explicit backward congestion notification: EBCN)와 같은 반응제어 방법들을 제시하고 있다^[2]. 이 방법들은 주로 폭주의 확산을 막기 위한 폭

주 후속 조치로 고려되고 있으며, 여기에 예방 측면이 고려되기 위해서는 송신측의 상위 계층에서 긴 버스트 기간(burst period)을 갖는 데이터를 보낼 때마다 이를 수신측으로 알리는 고속예약 프로토콜(fast reservation protocol: FRP)^[3]등의 부가적인 프로토콜들이 추가되어야만 한다.

한편, 제어 위치에 따라 망 종단간(end-to-end) 트래픽 전달을 보장하기 위한 종단간 흐름제어^[4-9], 망 입구에서 망이나 노드로 들어가는 전송량을 제한시키는 접근제어^[10-14] 등이 망에서의 폭주 발생을 막는 흐름제어 방법으로 제시되었다. 망의 유동적인 상황에 대처하여 폭주상태를 근원적으로 막아줄 수 있는 방법인 종단간 흐름제어에 대해서는 ATM 포럼을 중심으로 비연결형(connectionless: CL) 데이터 등을 전달하기 위한 가용 비트율(available bit rate: ABR) 등과 같은 특정 서비스에 적용하는 경우에 대해 주로 연구되어 왔다. 이러한 방법들은 ATM 구내망 및 광역망(wide area network: WAN)에서의 특정 서비스 트래픽의 종단간 전달을 위해 주로 적용되었는데^[4-9], 이를 B-ISDN에 적용시키려면 능동 트래픽원 수의 증가에 따른 피드백 정보량의 증가 문제^[4]를 먼저 해결하여야 한다. 여기서 사용가능성이 있는 GFC(generic flow control)는 UNI에서만 존재하는 필드 자체의 특성 때문에 망 종단간 흐름 제어에 대한 적용은 불가능하지만 접근제어에는 적용이 가능하다^[15].

망 입구에서 원천적으로 폭주를 막아주는 흐름제어 방

법인 접근제어^(10-14,16)는 ATM 망에 대해서는 경로제어(route control), 연결수락제어(connection admission control: CAC) 및 대역폭 강요(bandwidth enforcement) 등의 방법으로 적용된다. Sohraby 등⁽¹⁴⁾은 고정된 동작 파라미터를 갖는 누출 버킷(leaky bucket: LB)을 이용한 접근제어를 제안하였다. 그 후, Matragi 등⁽¹²⁾이 Sohraby 등의 LB에서 동작 파라미터인 토큰 생성 간격을 피드백되어 온 망측 상태에 따라 가변시킴으로써 예방과 반응을 함께 고려한 접근제어 방식을 제안하고, Sohraby 등의 방식과 비교하여 동일한 조건 하에서 폭주 발생 확률을 줄일 수 있음을 보였다. 이러한 LB 기반 속도제어 방식의 접근제어에서는 망 측의 폭주상태를 전달받은 후에도 망으로 전달되는 트래픽의 양이 0으로 줄어들 수 없기 때문에 과도기에 망 노드 측의 폭주를 가중시킬 가능성이 있다. 따라서 B-ISDN을 위한 ATM 망에 적합한 폭주제어를 모색하기 위해서는 이에 대한 분석 및 여타 방식과의 구체적인 비교 검토가 필요하다.

본 논문에서는 망의 실제 폭주 상태를 구체적으로 판단하여 그에 따라 B-NT의 트래픽 출력을 억제함으로써 B-ISDN에서의 폭주를 효과적으로 제어하는 반응적 접근제어 방안을 제시하였다. 제안한 방법에서는 자원관리(resource management: RM) 셀을 이용하는 기존의 종단간 흐름제어를 NNI(network node interface)에서 그대로 유지시키면서 UNI에 사용 가능한 GFC 필드를 이용하여 B-NT로부터 인접 망 노드로 향하는 트래픽 출력을 망 측 상태에 따라 억제시킴으로써 효과적인 반응적 접근제어가 가능하도록 하였다. 제안한 방법에서는 NNI에서만 RM 셀을 사용하므로 다수의 사용자와 사용자간에 모두 RM 셀을 주고받아야 하는 종단간 폭주제어의 경우와 달리 NNI를 구성하는 유한한 망 노드간의 RM 셀 트래픽만이 망 내에 존재하므로 사용자 단말 수의 증가에 따른 RM 셀의 증가 문제가 해결된다. 또한, 상이한 서비스 요구 조건을 가지는 트래픽들이 혼재하는 B-ISDN에서의 트래픽을 실시간 처리가 필요한 트래픽과 대기 가능한 트래픽의 두 가지 유형으로 구분하여 처리함으로써 각각의 서비스 요구조건을 만족시키도록 하였다. 이와 더불어, 망 측의 폭주상태 결정방식 및 구현 구조를 제시하였고, 망 입구 노드의 출력 버퍼 상태와 망의 중간 노드로부터 보고되는 망의 폭주상황을 모두 종합하여 망의 실제 폭주 상태를 결

정하고 이를 GFC 필드를 이용하여 B-NT에 전달함으로써 전역적(global) 흐름제어가 가능하도록 하였다. 제안한 방식은 일차적으로 망 노드로 들어가는 전송량을 제한하는 접근제어의 일종으로서 이 방식에서는 Matragi 등이 제안한 방식에서와는 달리 피드백을 받는 즉시 망 노드로의 지연에 민감하지 않은 트래픽의 출력을 일단 0으로 떨어뜨리는 영점회귀(back-to-zero) 방식을 사용하여 동일 링크 사용률에 대해서 망 노드 출력 버퍼가 넘칠 가능성을 감소시켰다.

시뮬레이션을 통해 입력 부하의 변화 및 B-NT 셀 버퍼 크기에 따른 제안한 방식에서의 셀 손실 및 지연성능과 서비스 품질 유지를 위한 셀 버퍼의 크기를 구하여 폭주제어 목적에 대한 적합성 및 서비스 품질 유지 여부 등에 대하여 검토하였다. Matragi가 제시한 성능 척도인 전달지연 변화에 따른 시스템 크기 및 B-NT와 망 노드에서의 큐 길이를 구하여 그의 방식과 비교하였다.

II. B-ISDN에서의 폭주제어

B-ISDN에서 폭주를 원천적으로 방지하려면 예방적인 방법 외에도 ATM 포럼이 주로 연구해온 종단간 흐름제어에 관심을 기울여야 한다. ITU-T에서는 B-TE와 B-NT 또는 B-TE와 이에 직접 연결된 망 노드 사이의 GFC 적용을 고려하고 있지만 NNI를 포함하는 종단간의 흐름 제어와의 연계 방안은 고려하지 않고 있다.

ATM 셀 헤더내의 GFC 필드의 사용 방안에 대해서 아직 ITU-T의 표준화가 진행되고 있으며 UNI에서의 흐름제어 및 폭주제어에 적용이 가능하다^(17,18). 그러나 전술한 바와 같이 NNI에서 전달되는 셀에는 이 필드가 할당되어 있지 않으므로 GFC 필드를 이용한 종단간 흐름제어는 고려되지 않고 있으며, B-TE와 B-NT 사이 또는 B-TE와 B-TE에 직접 연결된 망 노드 사이의 점대점(point-to-point) 연결에 적용할 것을 ITU-T에서 검토하고 있다⁽¹⁵⁾. 현재 근원적으로 폭주를 막아줄 수 있는 방법으로 고려되고 있는 종단간 흐름 제어에서 능동 트래픽원 수의 증가에 비례하여 피드백 정보량이 증가하는 문제⁽⁴⁾는 NNI와 UNI에서의 흐름제어를 따로 분리시켜 NNI에서는 기존 제안된 RM 셀을 이용하고 UNI에서는 GFC 필드를 이용하면 해결이 가능할 것으로 보인다. B-ISDN에서는 망 내의 각 가상 경로 및 가상

채널들이 스위치 등의 망 노드에서 변환이 일어나기 전까지만 연속성이 유지되므로, 망 노드 스위치에서 변환이 일어나기 전에 접근 지점에서 각 가상연결들의 트래픽 흐름을 제어하는 접근제어가 폭주제어에 유용하다.

B-ISDN에서 트래픽 제어를 수행하여 서비스 품질을 만족시키는 과정에 있어서 반드시 수반되는 문제는 망이 보유한 자원의 한계이다. 본 논문에서는 실제로 망 노드로 사용되고 있는 ATM 스위치들의 구조에 대해 조사하고 실제로 구현이 되고 있는 하나의 구조를 선택하여 그 내부에서 발생할 수 있는 폭주의 발생 현상에 대해 관찰하고 이로부터 폭주의 발생 가능성이 있는 준폭주상태의 구체적인 판단 방안을 제시하려한다. 이를 위해 먼저 망 노드로 가장 많이 고려되고 있는 스위치의 구조에 대해 고찰해 보기로 한다.

망 노드 측의 구조를 그림 1과 같이 Hong 등⁽¹⁹⁾이 제시하였던 형태인 출력버퍼형의 공유 버퍼 구조 스위치라고 가정하고, 각 출력 포트의 해당 출력버퍼들의 크기는 CAC에 의해 각 출력 포트로의 연결들이 수락된 이후 다음의 CAC 수행 때까지 변하지 않고 사용자측 입력단에서 출력 버퍼로 향하는 경로 상에서 셀 손실이 발생하지 않는다고 가정한다. 이 때 각 출력 포트로 향하는 트래픽에서 CAC에서 예기치 않은 트래픽의 변동이 발생하였거나 UPC의 기능 상실 등 망 노드 내의 고장에 의해 출력버퍼에 넘침이 발생하여 셀 손실이 발생하게 되면 망 노드에 폭주상태가 발생한 것으로 볼 수 있다. 또한, 비보장 트래픽의 변동으로 인한 각 출력버퍼에서의 넘침도 폭주를 유발시킨다. 이를 방지하기 위해 망 노드로 직접 접근하는 장치에서 망 노드의 상태를 인지하여

망 노드의 특정 출력버퍼로 입력되는 트래픽 흐름을 억제시키는 방안이 고려되어야 하며 망 노드 측에서는 출력 포트 별로 버퍼 레벨을 감시하여 망 노드의 폭주상태를 판단할 수 있는 방안이 제시되어야 한다.

Ⅲ. 반응적 접근제어 방식의 제안

1. 반응적 접근제어 방식

B-ISDN의 종단간 트래픽 전달 경로는 망 노드 간의 영역 외에도 종단에 위치한 사용자 단말과 망 노드 사이의 UNI를 포함하고 있다. 그리고 실제의 B-ISDN UNI는 B-NT와 단말 간 외에 망 노드와 B-NT사이의 접근 섹션을 포함한다. 전송한 피드백 트래픽량의 증가 문제의 해결에 있어서, RM 셀 등을 이용하는 기존의 종단간 흐름제어는 NNI내에서 유지시키고 현재 표준화 중인 GFC에서 고려되지 않고 있는 B-NT와 망노드간의 접근제어를 수행하는 것이 하나의 좋은 방안이 될 수 있다. 따라서 종단간 흐름제어를 통한 망 전체의 근원적인 폭주 해소에 기여할 수 있도록 그림 2에서와 같이 B-ISDN UNI의 망 접근 지점에 위치한 B-NT 시스템에 폭주제어를 위한 트래픽 출력 억제 장치들을 제안한다.

B-NT 시스템에는 B-NT2의 기능인 통계적 다중화 기능이 내장된다. 이 다중화부로부터 ATM 다중화된 트래픽 출력을 망으로 내보내기 전에 B-NT 시스템과 접근 섹션(access section)으로 연결되는 망 노드로부터 GFC 필드를 통해 피드백되어 온 폭주상태에 따라 트래픽 출력을 억제토록 한다. 이때 음성, 비디오 등과 같은 실시간 처리를 요구하는 서비스 유형의 트래픽에 대해서는 선택적으로 폐기시키는 방식을 채택한다. 컴퓨터 데이터와 같이 대기가 가능한 서비스 유형의 트래픽에 대해서는 기존의 연구에서 제시된 단계적으로 셀 송출 속도를 조절하는 속도 기반 제어^(5, 6, 7, 8, 12) 대신 ABR(available bit rate) 서비스를 위한 페루프 흐름제어 방법으로 제안되었던 BP(back pressure) 방식^(21, 22)이나 XON, XOFF 방식, 또는 영점회귀 방식과 유사한 셀 서비스 구조를 채택하기로 한다. 그리하여 폭주 발생 가능성이 예측되는 시점부터 B-NT에서의 출력 트래픽을 최대한 억제시킨다. 그림 2에서 망 노드 측의 폭주상태 결정은 노드 출력버퍼와 중간 노드로부터의 망 폭주상태를 종합하여 이루어지게 하여 흐름제어에 의한 종단간의 폭주제어 기능이 유지되도록 한다.

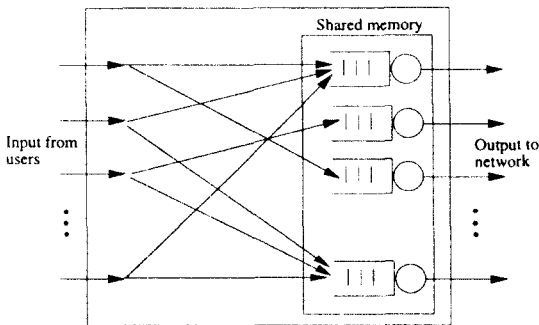


그림 1. 출력버퍼형 스위치의 구조
Fig. 1. Structure of an output-buffer type switch.

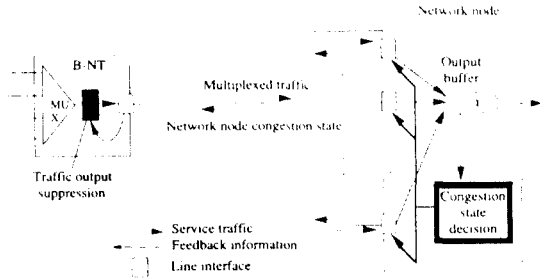


그림 2. 제안한 폭주제어 구조의 개념도
Fig. 2. Conceptual diagram of the proposed congestion control scheme.

제안한 폭주제어 구조를 적용시킬 대상인 B-ISDN UNI의 구성에 대해 먼저 살펴보기로 한다. B-ISDN을 구축하기 위해서는 국부적인 ATM 접근 망이 사용자 측에 우선 구축되어야 하며 이때 B-NT 시스템은 ATM 접근 망의 구성요소로서 사용자 단말 또는 사용자 객내망(customer premises network: CPN)을 B-ISDN UNI에서 공중 B-ISDN과 접속시켜준다. 본 폭주제어 방식을 적용시킬 B-NT 시스템은 B-NT1, B-NT2의 기능을 모두 포함하고 망 노드와 전송 선로로 접속되도록 설정한다. 본 폭주제어 방식을 적용한 B-NT 시스템은 그림 3과 같이 S_B 접속 모듈(S_B interface module: SBIM), 다중화 역다중화 처리 모듈(multiplex and demultiplex processing module: MDPM), B-NT 제어 처리 모듈(B-NT control processing module: NCPM), 접근 섹션 접속 모듈(access section interface module: ASIM), 그리고 트래픽 흐름제어 모듈(traffic flow control module: TFCM)의 다섯 부분으로 구성되어 있다.

B-NT 시스템은 인접한 망 노드의 폭주 시에는 셀 정보 보호 등의 다른 조치없이 사용자 트래픽의 QoS를 더 이상 보장해 줄 수 없으며 망 노드 역시 사용자 측의 어떤 조치가 없이는 과중한 부하를 감당해야 한다. 따라서, ATM 다중화 지점과 접근 섹션 접속 사이에 트래픽 흐름제어 기능을 갖는 TFCM을 위치시켜 망 폭주의 발생 및 확산을 막기 위해 피드백된 망 노드 출력버퍼 상태에 따라 트래픽 출력을 억제시키도록 한다. TFCM은 사용자 정보를 일시적으로 보호하고 있다가 망이 정상 상태로 되돌아오면 저장되었던 정보를 출력시킬 수

있다. 또한 망 노드의 상태가 정상적인 경우에는 트래픽 흐름에 영향을 미치지 않고 정보의 투명한 전달이 보장되도록 한다.

제안하는 구조에서는 서로 다른 요구 조건을 가지는 입력 트래픽을 각각 독립적으로 처리할 수 있도록 대역폭을 분리하기^[16] 위해 입력 트래픽을 두 유형으로 분류시킨다. 지연에 민감한 정보들을 유형 A 트래픽으로 분류하고, 손실에 민감한 트래픽들을 유형 B 트래픽으로 분류한다. 또한, 망 노드 측의 버퍼가 여러 ATM 연결들에 의해 공유되는 공유 버퍼 구조를 가정하여 ATM 가상연결별로 트래픽 흐름을 제어하지는 않도록 한다.

망 노드의 상태에 대해서는 저자가 이전 논문^[10]에서 사용했던 정의를 일부 수정해서 사용하였다. 즉, 정상과 폭주의 2개 상태로 분류하던 기존 방식과는 달리 정상, 준폭주 및 폭주의 3개 상태로 구분하였다. "준폭주" 상태는 망 노드 버퍼에 축적되는 트래픽 양이 일정 수준을 넘어서서 제어를 하지 않으면 곧 폭주상태로 빠질 수 있는 상태로 정의하였다. "폭주" 상태는 노드로의 입력 트래픽이 노드 버퍼의 넘침으로 인해 더이상 전달될 수 없는 상태로 하고, "정상" 상태를 이 두 상태 이외의 상태로 정의하였다. 각 상태 정의를 위한 GFC 필드의 할당은 추후 표준화 완료 후 결정한다.

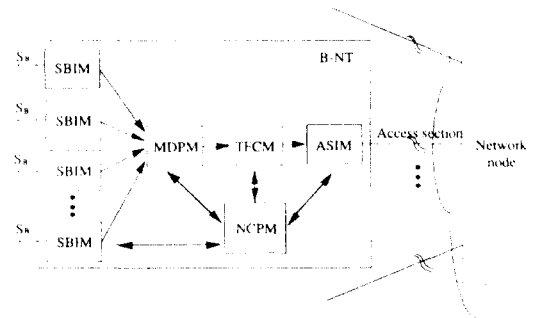


그림 3. B-NT 시스템의 접속과 구성
Fig. 3. Interfaces and structure of the B-NT system.

본 방식에 의해 B-NT 시스템 내에 구성되는 TFCM 구조는 그림 4와 같다. ITCB(input traffic classification block)는 입력되어 1셀 FIFO(first-in first-out)에 일시 저장된 셀의 VPI, VCI 값을 NCPM에서 VP/VC 테이블에 기억시킨 각 서비스 유

형에 대한 VPI, VCI 값과 비교하여 입력 셀이 속한 유형의 처리 회로로 넘겨지도록 하는 부분이다. TAPB(type-A processing block)는 유형 A로 분류되어 입력된 셀을 GFRB(GFC field receive block)로부터의 망 노드 폭주상태에 의해 폭주가 발생한 상태이면 CLP=1인 셀을 선택하여 폐기시키는 부분으로서 망 노드에서 폭주가 발생하여도 반드시 전달되어야 하는 정보들의 전달에 필요하다. TBPB(type-B processing block)는 유형 B로 분류되어 입력된 셀을 망 노드로부터 전달된 셀의 GFC 필드 내의 망 노드 폭주상태에 의해 제어 신호 발생 회로에서 생성시킨 셀 버퍼 저장 및 추출 신호들에 의해 망 노드가 준폭주 또는 폭주 상태이면 셀 버퍼에 일시 저장시켰다가 망 노드 상태가 정상으로 회복되면 셀 버퍼에 저장되었던 셀들을 먼저 셀 출력 처리 회로로 내보낸다. GFRB에서는 수신되는 GFC 필드의 첫 두 비트의 망 노드 폭주상태 정보를 추출하여 TAPB와 TBPB로 전달한다. OTPB(output traffic processing block)는 TAPB와 TBPB로부터 입력되는 셀들을 ASIM을 향해 내보내는 부분으로 TAPB와 TBPB에서 셀이 동시 도착하는 경우에는 TBPB의 셀이 셀 버퍼로부터 출력되는 경우 외에는 TAPB의 셀이 우선 처리되도록 한다. TFCM의 제어 흐름은 그림 5에서와 같다. 즉, 입력되는 셀을 헤더 내의 VPI, VCI를 이용하여 유형별로 구분한 다음 유형 A인 경우에는 폭주 상태인 경우에만 선택적 셀 폐기(selective cell discard: SCD) 처리를 수행하도록 하였고 유형 B인 경우에는 망이 정상 상태일 때에만 셀 버퍼의 저장 상태에 따라 망 측으로 트래픽이 송출될 수 있도록 하였다.

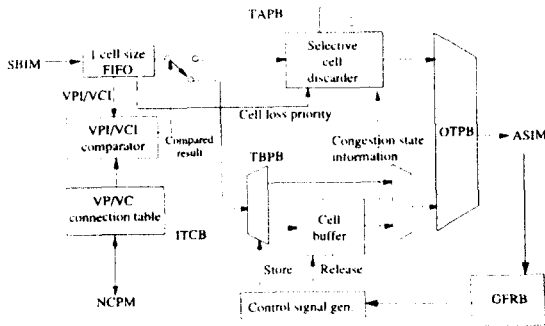


그림 4. B-NT 시스템 내의 TFCM 구조
Fig. 4. Structure of the TFCM in the B-NT system.

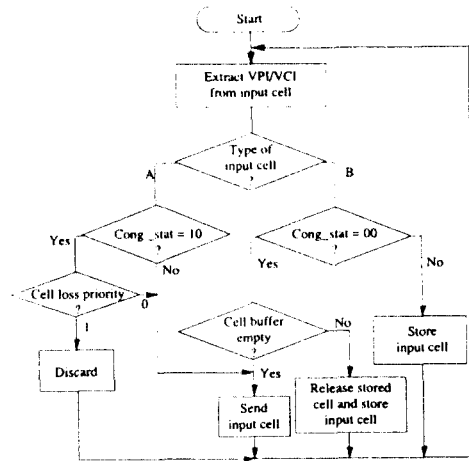


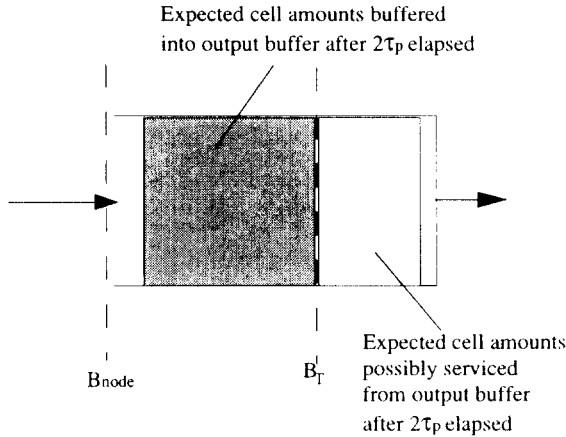
그림 5. TFCM에서의 제어 흐름
Fig. 5. Control flow in the TFCM.

2. 망의 폭주상태 판단

본 방식에서는 망 노드에서의 폭주발생을 억제하기 위하여 망 노드 측에 폭주가 임박했음을 알리는 준폭주상태를 판단할 수 있는 기능을 내장시켜야 하는데, 이를 위해서는 먼저 준폭주상태의 명확한 정의가 우선되어야 한다.

그림 6은 망 노드의 각 출력 포트 직전에 위치하는 출력버퍼의 상태와 폭주상태를 B-NT 시스템에 전달하는데 소요되는 전달 지연과의 관계를 나타내는 것으로 피드백 전달에 의해 폭주상태가 망 노드 출력버퍼에 영향을 미치는 시점까지는 전달 지연 시간 τ_p 의 2배 시간이 소요된다. $2\tau_p$ 가 경과된 후 버퍼의 상태는 그림 6에서 보인 바와 같이 만일 버퍼가 τ_p 의 2배 시간 동안 누적되어 수용할 수 없는 크기가 되면 버퍼에 넘침이 생겨 폭주가 발생함을 알 수 있다. 또한, $2\tau_p$ 동안 셀 누적 허용되는 버퍼 레벨을 준폭주상태 결정의 기준으로 하여 버퍼 크기 B_{node} 에서 이 버퍼 레벨을 감한 값을 준폭주로 판단하는 준폭주 임계치 B_T 로 정하여 이를 B-NT에서 인지하여 송출을 완전히 차단하면 입력 트래픽이 최대 셀 속도로 입력되는 경우에도 망 노드 버퍼에 넘침이 발생하지 않게 됨을 알 수 있다.

아울러 버퍼의 궁핍(starvation) 상태가 발생하지 않도록 준폭주 임계치를 결정하여야 하므로, 버퍼 레벨이 준폭주 임계치의 레벨보다 감소하여 B-NT로부터 망 측으로의 셀 송출이 재개되기 이전에 전달 지연으로 인



B_{node} : Node output buffer size [cells]
 B_T : Threshold for decision of pre-congestion state [cells]

그림 6. 망 노드 출력버퍼의 셀 누적 상태
 Fig. 6. Cell buffering status in the node output buffer.

한 버퍼의 공핍이 발생할 가능성이 있는데 이를 방지하려면 $2\tau_p$ 동안 망 노드 출력버퍼로부터 송출될 수 있는 최대 셀 용량이 추정되어 그 값보다 준폭주 임계치가 더 크면 된다. 여기서 공핍이란 현재 셀 버퍼 내의 셀을 출력할 수 있는 상태인데도 셀 버퍼 내에 보낼 셀이 없어서 셀 버퍼로부터 셀을 출력할 수 없는 상태를 의미한다.

망 노드 버퍼의 크기를 B_{node} (cells), 망 노드와 B-NT 간의 전달 지연 시간을 τ_p (sec), 준폭주 시점을 τ_T (sec)라고 했을때 준폭주 시점 τ_T 부터 피드백 정보가 B-NT로 전달되어 출력버퍼에 그 영향이 미치는 시점인 $\tau_T + 2\tau_p$ (sec)까지 출력버퍼에 최대로 누적될 수 있는 셀 개수를 $B(\tau_T + 2\tau_p)$ (cells)라고 하면, 이 기간 동안 그림 6의 망 노드 출력버퍼가 넘치지 않을 조건은

$$B(\tau_T + 2\tau_p) < B_{node} \tag{1}$$

이며 이 기간 동안 $B(2\tau_p)$ (cells)이 추가로 누적된다면 그 이후 출력버퍼의 레벨은 $B(\tau_T + 2\tau_p) = B(\tau_T) + B(2\tau_p)$ 이 된다. 여기서 m 을 해당 출력버퍼로 입력되는 최대 대역폭의 개수, F_p^k (bps)를 k 번째 최대 대역폭 크기, N_k 를 F_p^k (bps)의 최대 대역폭을 갖는 B-NT의 개수, L_C (bits)를 셀의 크기라고 하면 준폭주 시점 t_T 부터 $t_T + 2\tau_p$ (sec)까지 출력버퍼에 누적될 수 있는 셀의 최대

개수는

$$B(2\tau_p) = \sum_{k=1}^m N_k \frac{2 \cdot \tau_p \cdot F_p^k}{L_C} \tag{2}$$

로 나타낼 수 있다. 준폭주 임계치 $B(\tau_T)$ 를 B_T (cells)로 설정했다면 (1)의 조건은

$$B_T + \sum_{k=1}^m N_k \frac{2 \cdot \tau_p \cdot F_p^k}{L_C} < B_{node} \tag{3}$$

로 다시 쓸 수 있다. 따라서 전달 지연 시간 동안의 입력 셀 누적으로 망 노드 출력버퍼가 넘치지 않을 준폭주 임계치 B_T 의 조건은

$$B_T < B_{node} - \sum_{k=1}^m N_k \frac{2 \cdot \tau_p \cdot F_p^k}{L_C} \tag{4}$$

이다.

또한, 망 노드 출력버퍼의 셀 출력 속도를 O_{node} 라고 하면, 버퍼의 공핍을 막기 위한 준폭주 임계치 B_T 의 조건은

$$B_T > \frac{2 \cdot \tau_p \cdot O_{node}}{L_C} \tag{5}$$

이다.

따라서, 본 논문에서 제안하는 방식에서 (4)식과 (5)식을 모두 만족시키는 정수값의 준폭주 임계치 B_T 의 범위는

$$\frac{2 \cdot \tau_p \cdot O_{node}}{L_C} < B_T < B_{node} - \sum_{k=1}^m N_k \frac{2 \cdot \tau_p \cdot F_p^k}{L_C} \tag{6}$$

이다.

실제 구현에 있어서는 중간 노드로부터 전달되어오는 망으로부터의 폭주상태까지 고려한 기능이 구현되어야 한다. 그림 7은 망의 폭주상태를 감지하여 사용자-망 접속장치로 알려주기 위한 폭주상태 판단기능을 구현하기 위한 구성을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 저장된 폭주상태를 GFC 필드 생성 회로로 전달하는 폭주상태 레지스터(congestion status register: CSR), 출력버퍼로부터 입력되는 버퍼 읽기 신호와 버퍼 쓰기 신호들과 버퍼 최대 크기(B_{node}), 준폭주 임계치 결정부로부터의 준폭주 임계치(pre-congestion threshold: PTH)를 종합하여 망 노드의 폭주상태를 판단하는 폭주상태

판별부(congestion status decision block: CSDB), 망 노드와 사용자-망 접속장치 간의 전달지연을 알아내기 위한 타이머, 망 노드의 폭주상태를 판단하는데 필요한 준폭주 임계치를 결정하여 CSDB로 전달하기 위한 준폭주 임계치 결정부(pre-congestion threshold decision block: PTDB)로 구성하였다. 여기서 타이머는 망 노드 제어부의 유지관리 프로그램으로부터 전달되는 루프백셀 송출신호에 의해 클리어되며 0 부터 계수를 시작하여 매 셀 클럭 신호가 활성화될 때마다 하나씩 증가되어 루프백셀 도착을 알리는 신호에 의해 계수가 정지되어 그 값이 준폭주 임계치 결정부에 의해 읽혀지도록 하였다. 여기서 루프백 셀은 해당 출력 버퍼로 트래픽을 송출하고 있는 B-NT들 중에서 망 노드로부터 가장 멀리 떨어진 B-NT 시스템과 망 노드 간의 전달지연을 알아내기 위해 전송되며 이를 위해 망 노드의 유지관리 기능은 B-ISDN UNI 상에서의 링크 구성에 변경이 발생하는 경우마다 B-NT에 루프 형성 명령을 하달하여 제안하는 망 노드 폭주상태 판단 기능이 시작되도록 하였다.

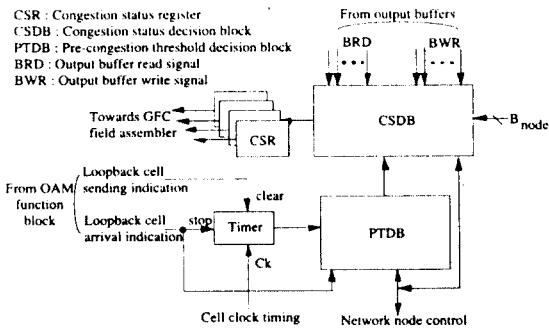


그림 7. 폭주상태 판단 기능의 구성
Fig. 7. Structure of the congestion state detecting function.

Ⅳ. 시뮬레이션 및 결과 고찰

1. 성능 시뮬레이션

제안된 방식이 적용될 B-ISDN UNI의 각 B-NT 시스템 또는 접근 제어 장치의 구조는 동일하다고 가정하고 망 노드 측의 각 출력 포트로 향하는 링크의 갯수 및 트래픽 특성이 일정한 경우라고 하면 망 노드의 각 출력

버퍼에 대해 그림 8과 같은 큐잉 모델을 구성할 수 있다. 다른 방식과 성능 비교를 위해 B-NT 시스템 또는 접근 제어 장치의 입력 트래픽을 데이터 트래픽으로만 국한시킨다⁽¹²⁾. 즉, 이 큐잉 모델에서는 유형 A의 처리에 대해서는 고려하지 않는다.

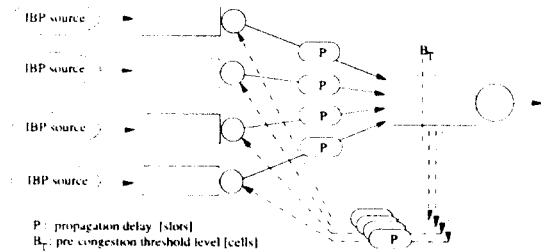


그림 8. 시뮬레이션을 위한 큐잉 모델
Fig. 8. Queueing model for the simulation.

본 논문에서는 버스티니스(burstiness)가 큰 데이터 트래픽 유형을 고려한 모델인 IBP(interrupted Bernoulli process)를 소스 트래픽 모델로 채택하였다⁽²²⁾. 평균 버스트 길이가 100 슬롯인 데이터 트래픽만이 4개의 SB 접속으로 입력되는 경우를 가정하고 입력 부하를 0.5부터 0.9까지 가변시켜 가며 300,000 슬롯동안 수행시켜, 제안한 방식에서의 부하 변화 및 B-NT 셀 버퍼 크기 변화를 동시에 고려한 성능을 구하여 그림 9에 나타내었다. 그림 9의 (a)에서 보듯이 부하가 0.8 일 때까지는 1,000 셀 정도 크기의 셀 버퍼 크기 만으로도 B-NT 셀 버퍼에서의 셀 손실 없이 330 슬롯 정도의 셀 지연을 가지면서 제어가 가능하였고 부하가 0.9 이상이 되면서 평균 셀 지연이 급격히 증가하였다. 부하가 0.8 이하인 경우에서의 평균 셀 지연은 약 140~330 슬롯으로 3~6 ms의 지연 시간에 해당되어 대기 가능한 트래픽에서의 서비스 요구 조건인 10 ms~10 s를 충분히 만족시킨다.

2. 링크 전파 지연의 영향에 대한 시뮬레이션

제안하는 방식에서는 B-NT 시스템과 망 노드 사이의 링크에서의 전달 지연을 제어 파라미터로 이용하므로 그 영향에 대해 시뮬레이션하였다. 링크에서의 전달 지연은 여러 요소로 구성되나 그 중 가장 비중이 큰 것은 선로 상에서의 전파 지연(propagation delay)이다⁽²³⁾. 따라

서 링크에서의 전달 지연이 주로 전파 지연으로 이루어진다고 가정하였다. 이러한 링크 전파 지연이 시스템 성능에 미치는 영향을 알아보기 위해 Matragi 등은 시뮬레이션을 통하여 링크 전파 지연에 따른 시스템 내의 총 셀 수로 정의한 시스템 크기(system size)를 조사한 바 있다^[12]. 본 시뮬레이션에서는 비교를 위하여 가능한 Matragi 등이 그의 시뮬레이션에서 사용한 파라미터와 동일한 파라미터를 이용하였다. 즉, 다중화 처리를 고려하지 않고, B-NT 시스템과 망 노드에서의 버퍼 크기가 무한하다고 가정하였으며 입력 트래픽 부하를 0.8로 하였다. 또한 그의 방식에서 LB의 동작 파라미터에 대해 가장 양호한 결과를 보였던 값들을 적용하였다.

그들의 연구에서는 LB 버퍼와 망 측 다중화기 버퍼내의 모든 셀 수를 나타내는 시스템 크기(system size)를 성능 평가의 척도로 제시하였다. 본 논문에서도 동일한 척도를 적용하되, B-NT 시스템의 셀 버퍼와 망 노드 출력 버퍼의 큐 길이도 함께 조사하였다. 먼저 Matragi 등의 시뮬레이션 환경과 동일하게 수백 슬롯 단위의 링크 전파 지연의 경우에 대해 조사하고 제안하는 방식이 적용될 B-ISDN UNI에서의 실제 전파 지연으로 볼 수 있는 2~14 슬롯의 범위에 대해서도 조사하였다. 앞 절에서 제시한 큐잉 모델과 동일한 구조에서 가용한 버퍼 크기는 무한하다고 가정하고 Matragi의 방식에 대한 파라미터는 [12]와 동일하게 적용시켜 링크에서의 전파 지연을 가변시켰을 때 두 방식에서의 시스템 크기, B-NT 셀 버퍼 및 LB 버퍼에서의 큐 길이, 망 노드 출력 버퍼에서의 큐 길이 등을 시뮬레이션을 통하여 구한 결과는 그림 10 및 11과 같다.

그림 10에서 보듯이 전파 지연의 변화에 의한 평균 시스템 크기에 대해서는 두 방식이 거의 동일하게 280 내지 290 셀의 값을 나타내었다. 그러나 B-NT 셀 버퍼와 망 노드 출력 버퍼에서의 평균 큐 길이는 서로 상이한 결과를 얻었다. Matragi의 방식보다 제안하는 방식에서 전파 지연에 의한 이들 값의 변화가 큼을 알 수 있었다. 그리고 전파 지연이 증가함에 따라 제안하는 방식에서의 노드 출력 버퍼의 평균 큐 길이가 Matragi의 경우보다 더 많이 증가하여 수백 슬롯 이상의 전파 지연을 갖는 장거리 전송링크에 대해서는 그림 10에서와 같이 Matragi의 방식이 더 유리한 반면에, B-NT 셀 버퍼의 평균 큐 길이는 제안한 방식이 더 유리한 결과를 얻었다.

그러나, B-ISDN UNI 링크의 일반적인 전파 지연, 2 내지 14 슬롯의 범위 내에서는 그림 11에서 보는 바와 같이 제안하는 방식의 망 노드 출력 버퍼의 평균 큐 길이가 6 내지 40 셀 정도로서, 동일한 조건에서 30 내지 55 셀 정도인 Matragi의 방식보다 더 작아지는 결과를 얻었는데, 이것은 링크의 전파 지연이 수십 슬롯인 단계를 교차점으로 하여 두 방식의 각 큐 길이에 대한 결과가 역전하게 됨을 의미하며 따라서, 수 km 영역의 B-ISDN UNI 상에서는 기존의 방식보다 제안한 방식의 버퍼 넘침 가능성이 망 노드에서는 낮고 B-NT에서는 더 높다. 즉, 수백 슬롯 이상의 전파지연을 가지는 장거리 링크에서의 폭주 제어에는 Matragi 등이 제안한 방식이 더 유용할 것이나, B-ISDN UNI의 수용 영역은 현재의 전화 공중망 가입자 선로에서 보듯이 수 km 정도의 선로 길이^[24]를 가지므로 그림 11에서 보는 바와 같이 제안하는 방식이 B-ISDN UNI에서의 접근 제어에는 더 유리함을 알 수 있다.

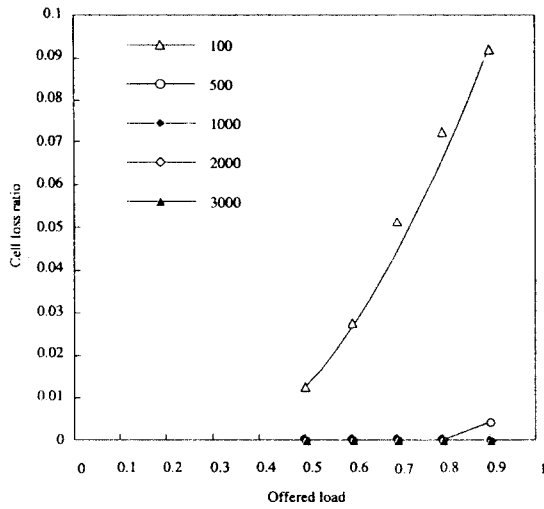
Matragi의 방식은 망 폭주 상태에 따라 누출 버킷의 토른 생성 간격을 단계적으로 조절하므로 폭주 상태 인지에 의한 망으로의 셀 송출 억제가 느슨히 이루어져 전파지연이 큰 경우에도 B-NT에서의 출력 트래픽의 버스티니스가 많이 커지지 않아 폭주 제어 성능의 열화가 심하지 않다. 그러나 B-NT와 망 노드 사이의 단거리 전송경로의 경우처럼 전파지연이 작은 경우에는 망 노드에서 폭주가 발생하더라도 누출 버킷의 특성상 B-NT에서의 셀 송출을 0까지 억제시키지는 못하므로 시뮬레이션 결과에서 볼 수 있는 바와 같이 망 노드의 폭주 상태를 가중시킬 수 있다.

그러나 제안한 방식은 망 노드와 B-NT 사이의 전파지연이 큰 경우에는 B-NT에서의 트래픽 송출로 인해 발생하는 버스티가 망 노드에서의 피드백 정보의 느린 도착으로 인해 과도하게 커질 수 있으며 이로 인해 폭주 제어 성능이 Matragi의 방식의 경우보다 더 나빠지게 된다. 그러한 반면 일반적인 가입자와 망 노드 간의 전송로와 같이 전파지연이 작은 경우에는 망으로의 대기 가능한 트래픽 송출을 0으로 억제해 준 효과가 신속히 망 노드 출력 버퍼에 영향을 미쳐 시뮬레이션 결과에서 볼 수 있듯이 Matragi의 방식에 비해 망 노드의 폭주 상태를 더 잘 해소시킬 수 있다.

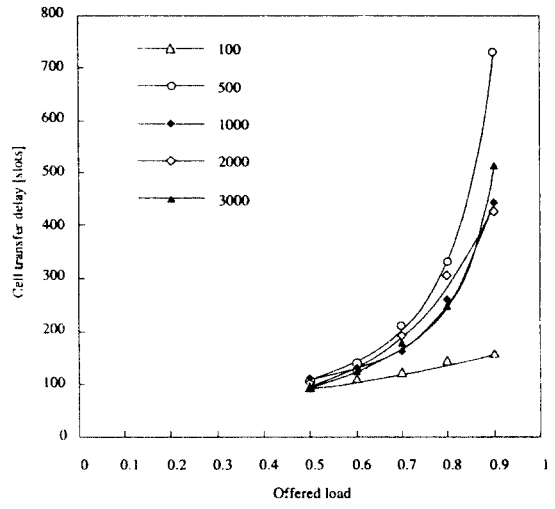
전파지연이 작은 경우, 제안한 방식이 망 노드 출력 버퍼의 평균 큐 길이에서 기존의 Matragi의 방식보다

15~24 슬롯 정도의 성능 개선 효과를 보였는데 이것은 망 노드의 출력 버퍼에는 대기 가능한 트래픽 외에 실시간 처리를 요하는 트래픽이 혼재함을 고려해 볼 때 서비

스 품질 측면에서 매우 큰 개선 효과를 가져온 것으로 볼 수 있다.

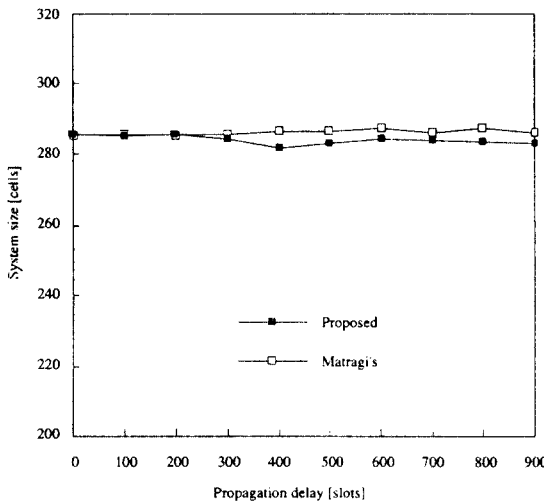


(a) 셀 손실률
(a) Cell loss ratio

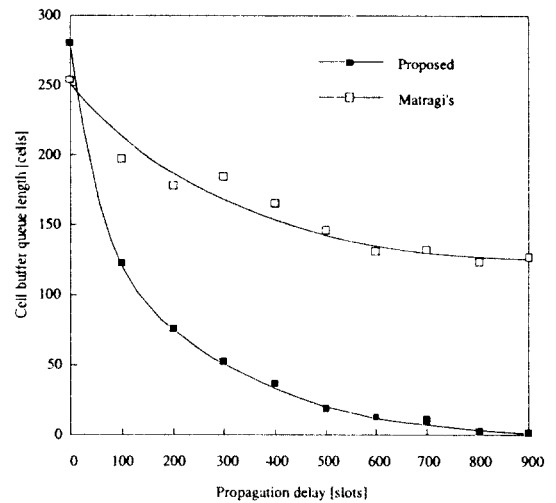


(b) 셀 전달지연

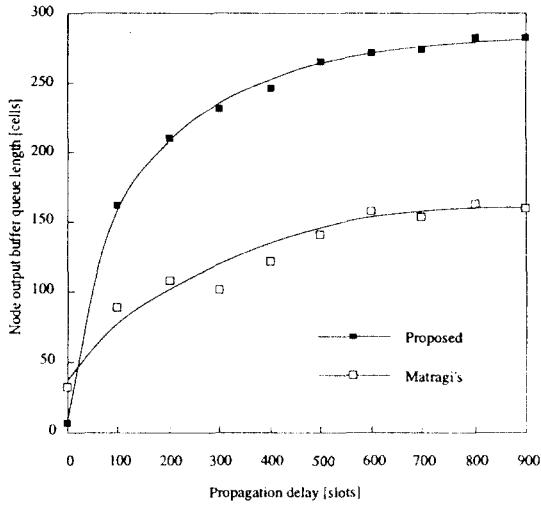
그림 9. B-NT 셀 버퍼 크기 및 입력 부하에 따른 셀 손실 및 지연
Fig. 9. Cell loss and delay for varying B-NT cell buffer size and offered load.



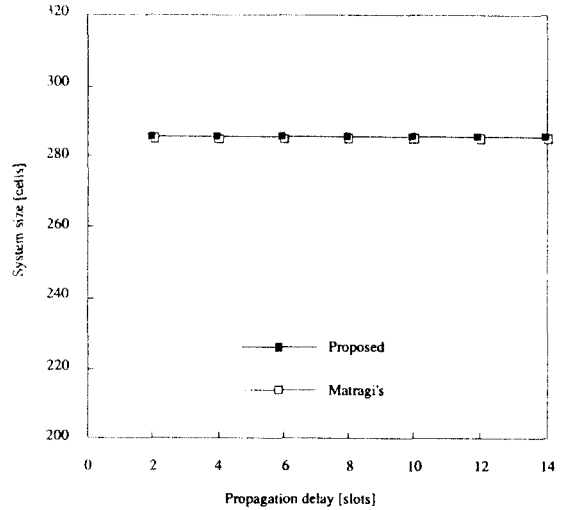
(a) 시스템 크기
(a) System size



(b) B-NT 셀 버퍼 큐 길
(b) B-NT cell buffer queue length

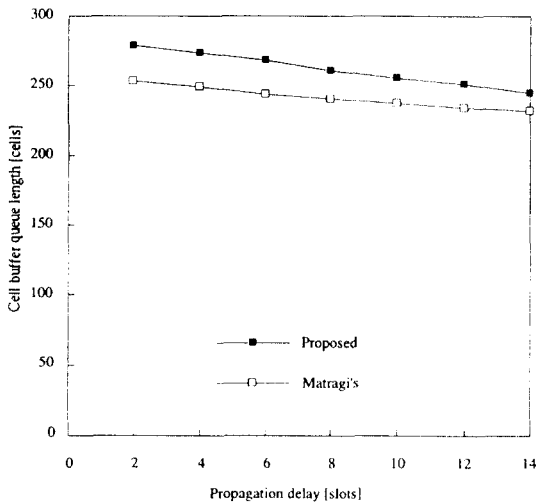


(c) 망 노드 출력버퍼 큐 길이
(c) Network node output buffer queue length

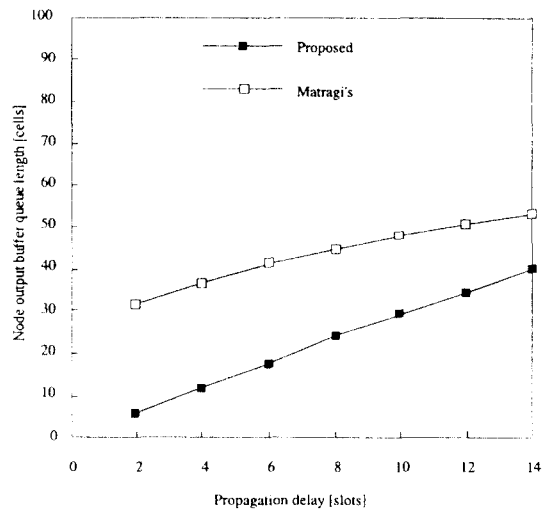


(a) 시스템 크기
(a) System size

그림 10. 2~900 슬롯의 링크 전파 지연에 대한 평균 시스템 크기와 평균 큐 길이
Fig. 10. Mean system size and mean queue length for varying link propagation delay of 2~900 slots.



(b) B-NT 셀 버퍼 큐 길이
(b) B-NT cell buffer queue length



(c) 망 노드 출력버퍼 큐 길이
(c) Network node output buffer queue length

그림 11. B-ISDN UNI에서의 링크 전파 지연(2~14슬롯)에 대한 평균 시스템 크기와 평균 큐 길이
Fig. 11. Mean system size and mean queue length for link propagation delay in B-ISDN UNI(2~14 slots).

V. 결 론

망의 실제 폭주 상태에 따라 B-ISDN 접근 지점인 B-NT의 트래픽 출력을 억제하여 B-ISDN에서의 폭주를 제어하는 반응적 접근제어를 제안하였다. 제안한 방법에서는 자원관리 셀을 이용하는 기존의 종단간 흐름제어를 NNI에서 그대로 유지시키면서 UNI에 사용 가능한 GFC 필드를 이용하여 B-NT로부터 인접 망 노드로 향하는 트래픽 출력을 망 축 상태에 따라 억제시킴으로써 효과적인 반응적 접근제어가 가능하도록 하였다. 따라서 기존의 종단간 흐름제어에서 능동 트래픽원의 증가에 따른 RM 셀의 증가가 오히려 망의 트래픽을 증가시키는 폐단을 제거하였다. 또한, 상이한 서비스 요구 조건을 가지는 트래픽들이 혼재하는 B-ISDN에서의 트래픽을 실시간 처리가 필요한 트래픽과 대기 가능한 트래픽의 두 가지 유형으로 구분하여 처리함으로써 각각의 서비스 요구조건을 만족시키도록 하였다. 이와 더불어, 망 축의 폭주상태 결정방식 및 구현 구조를 제시하였고, 망 입구 노드의 출력 버퍼 상태와 망의 중간 노드로부터 보고되는 망의 폭주상황을 모두 종합하여 망의 실제 폭주상태를 결정하고 이를 GFC 필드를 이용하여 B-NT에 전달함으로써 전역적 흐름제어가 가능하도록 하였다.

제안한 방식의 타당성과 그 성능을 확인하기 위하여 B-ISDN의 각 트래픽이 요구하는 서비스 품질을 만족시키면서도 폭주 제어가 가능하도록 하기에 필요한 B-NT 축 셀 버퍼 크기에 대해 B-NT에 대기 가능한 트래픽 만을 인가시킨 경우에 대해 시뮬레이션한 결과, 0.8 이하의 부하를 갖는 트래픽 입력에 대해 서비스 요구 조건이 만족됨을 확인하였다. 한편 Matragi 등이 제안한 기존의 폭주제어 방식과 같은 조건하에서 시뮬레이션하여 비교한 결과, B-NT와 망 노드 사이를 장거리의 링크로 가정 한 경우에 대해서 두 방식이 거의 같은 크기의 시스템 크기를 가짐을 확인하였다. 이 경우에는 B-NT에서의 큐 길이는 제안한 방식이, 망 노드에서의 큐 길이는 기존의 방식이 더 작아지는 것으로 나타났다. 그러나 B-ISDN UNI 링크를 일상적인 거리로 가정한 전파지연 2~14 슬롯 범위내에서는 제안한 방식이 효과적임을 확인하였다. 즉, 수 km 영역의 B-ISDN UNI 상에서는 기존의 방식보다 제안한 방식의 버퍼 넘침 가능성이 망 노드에서는 낮고 B-NT에서는 더 높아서 효과적인 반응적 접근제어가 가능함을 확인하였다. 제안한

방식을 적용하면 B-NT 시스템 구현시 NNI에서의 폭주제어 체계와 UNI에서의 접근제어 체계를 결합시키기 위한 로직이 추가로 필요하다. 그러나, 그 댓가로 기존 반응적 폭주제어 방식에서의 제어 트래픽 증가 문제를 해결할 수 있으므로 그에 따른 상쇄 효과가 더 크다. 본 논문에서 제시한 방법은 추후 ITU-T에서의 표준화 결과에 따라 GFC 필드 사용 방법의 일부 수정등을 거쳐 국내 B-ISDN UNI에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

제안한 폭주제어 방식을 B-ISDN에서의 폭주를 제어하기 위한 종단간 흐름제어와 함께 사용하면 종단간 흐름제어에서 문제가 되었던 피드백 정보량의 증가를 억제시키면서도 폭주제어에 효율적인 반응적 접근제어로 활용될 수 있음을 알 수 있다. 현재 충분한 고려를 하지 못한 실시간처리 요구 트래픽에 대한 SCD 처리의 제안한 방식에 미치는 영향 분석과 수학적 모델링 기법을 이용한 망 내부 폭주 상태의 가정을 통한 실제 망 환경에 더욱 근접한 분석이 앞으로의 연구과제로 남아있다.

참고문헌

1. Y. Gong and I. Akyildiz, "Dynamic traffic control using feedback and traffic prediction in ATM networks," *Proc. INFOCOM'94*, Toronto, vol. 1, pp.91-98, 1994.
2. ITU-T SG13, "Traffic control and congestion control in B-ISDN," ITU-T Rec. I.371, Temporary Document, Mar. 1994.
3. D. Tranchier, P. Boyer, Y. Rouaud, and J. Mazeas, "Fast bandwidth allocation in ATM networks," *Proc. ISS'92*, Yokohama, vol. 2, pp.7-11, Oct. 1992.
4. P. Newman, "Traffic management for ATM local area networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 32, no. 8, pp.44-50, Aug. 1994.
5. H. Kwon, A. Tubtiang, and G. Pujolle, "A simple flow control mechanism in ATM network with end to end transport," *Proc. INFOCOM '93*, vol. 2, San Francisco, pp.654-661, Mar. 1993.
6. S. Wang, K. Lee, and K. Hong, "A predictive

- link-by-link rate-based flow control and buffer management architecture for ATM networks," *Proc. JWCC'93*, Taipei, pp.F1-3-1~F1-3-10, Oct. 1993.
7. A. Atai, "A rate-based feedback traffic controller for ATM networks," *Proc. ICC'94*, New Orleans, Louisiana, vol. 3, pp.1605-1615, May, 1994.
 8. W. Kim, "ABR traffic control scheme based on periodic rate adaptation," *Master thesis of Chungnam Univ.*, Aug. 1994.
 9. H. Inai, "End-to-end rate-based flow control over ATM," Seminar Documents, 1993.
 10. S. Lee and H. Choi, "Traffic flow control of B-NT for prevention of congestion in B-ISDN UNI," *KICS Journal*, vol. 19, no. 6, pp.1085-1094, Jun. 1994.
 11. S. Lee, J. Choi and H. Choi, "Traffic flow control of broadband network termination for prevention of congestion in ATM networks," *Proc. 8th JWCC, Taipei*, pp.E1-3-1~E1-3-5, Dec. 1993.
 12. W. Matragi and K. Sohraby, "Combined reactive/preventive approach for congestion control in ATM networks," *Proc. ICC'93*, Geneva, vol. 3, pp. 1336-1342, May 1993.
 13. S. Ahn, *Concepts of Data Communication*, Cheong-ik-sa, pp.217-237, Mar. 1985.
 14. K. Sohraby and M. Sidi, "On the performance of bursty and correlated sources subject to leaky bucket rate-based access control schemes," *Proc. INFOCOM'91*, Bal Harbour, FL, vol. 1, pp.426-434, 1991.
 15. J. Adams, "Alignment of ATM Layer Specification with revised ITU Recommendations," ATM Forum/95-0181, Feb. 1995.
 16. G. Woodruff, R. Rogers, and P. Richards, "A congestion control framework for high-speed integrated packetized transport," *Proc. Globecom '88*, Hollywood, Florida, vol. 1, pp.203-207, 1988.
 17. J. Cherbonnier and D. Orsatti, "Controlled GFC procedure at the NT2," ATM Forum/93-1004, Nov. 1993.
 18. J. Cherbonnier and D. Orsatti, "Proposal for a GFC per-link flow control of the ABR traffic by the network at the UNI," ATM Forum/94-1076, Jan. 1994.
 19. S. Hong and H. Perros, "A discrete-time queueing model of the shared buffer ATM switch with bursty arrivals," *Telecommunication Systems*, 2(1993)1-20, 1993.
 20. J. Cherbonnier, D. Orsatti, and J. Calvignac, "Network backpressure flow control to support the best-effort service on ATM," ATM Forum/93-1005, Nov. 1993.
 21. G. Bagnoli, M. Listanti, and R. Winkler, "Traffic control for best effort data communications in ATM networks: simulation comparison of alternative schemes," *Proc. IFIP TC6 Broadband Communications '94*, Paris, Mar. 1994.
 22. J. Jang, K. Kim, Y. Park, and H. Kim, "Design and implementation of an ATM cell scheduler and router for B-ISDN," *Proc. JC-CNSS'93*, Tokyo, Jun. 1993.
 23. M. Prycker, *Asynchronous Transfer Mode: solution for broadband ISDN*, King's College, London: Ellis Horwood, pp.60-65, 1992.
 24. Special technology section of Korea Telecom, *Strategy for advanced subscriber loop technology*, Korea Telecom, pp.170-177, Sep. 1988.



李崇熙(Soong Hee Lee) 정희원

1987년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학사)

1990년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1995년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1987년 2월~현재 : 한국전자통신연구소 선임연구원

*주관심 분야 : ATM 트래픽 제어, 광대역 통신망

崔興文(Heung Moon Choi)

정희원

현재 : 경북대학교 전자전기공학부 교수

*주관심 분야 : 병렬분산처리, 컴퓨터통신, 신경회로망 응용
한국통신학회 논문지 제12권 제2호 참조