

ATM망에서 점대 다중점 ABR 흐름 제어를 위한 새로운 통합 알고리즘†

°김 동호*, 조 유제*, 안 윤영**

*경북대학교 전자전기공학부, **한국전자통신연구원

A New Consolidation Algorithm for Point-to-Multipoint ABR Flow Control in ATM Networks†

°Dong-Ho Kim*, You-Ze Cho*, Yoon-Young An**

*School of Electronic and Electrical Engineering, Kyungpook National University, **ETRI {dhkim, yzcho}@ee.kyungpook.ac.kr

Abstract

In this paper, we propose a new consolidation algorithm for point-to-multipoint ABR flow control and compare the performance of the proposed algorithms with that of an existing consolidation algorithm. We first investigate problems of the existing algorithm in consolidating backward RM cells and propose two new consolidation algorithms to resolve these problems. Also, we investigate the performance of the proposed algorithms by simulation. As results, we show that the proposed algorithms exhibit a better performance than the existing algorithm in terms of ACR, queue length, utilization, and fairness.

I. 서론

ATM망을 통하여 버스티한 특성을 갖는 고속 데이터 트래픽을 효율적으로 전송하기 위해서 ATM 포럼을 중심으로 ABR 서비스에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 현재까지는 주로 점대 점 (point-to-point) 연결을 위한 효율적인 스위치 알고리즘의 성능 향상에 초점을 맞추어 연구가 진행되어 왔지만, 멀티미디어 그룹 통신을 위해서는 점대 다중점 (point-to-multipoint) ABR 서비스가 필수적이다. 하지만 ABR 점대 다중점 서비스 연구는 초기 단계이므로 해결해야 할 많은 문제들이 남아 있는 실정이다. ABR 점대 다중점 동작은 크게 송수신원 동작과 스위치 동작, 그리고 분지점 (branch point) 스위치 동작으로 구분된다. 현재 ATM 포럼에서는 ABR 점대 다중점 서비스를 위한 송수신원과 스위치 동작은 점대 점 ABR 연결에서의 동작과 동일하게 규정하고 있으며, 분지점 스위치 동작은 기본 기능만 규정하고 구현 방식은 개발자의 선택 사항으로 되어 있다 [1].

지금까지는 주로 분지점 스위치에서 각 가지로부터 되돌아오는 역방향 RM 셀을 통합 (consolidation)하는 방식에 대해 많은 연구가 이루어져 왔다 [4]-[6]. 그리고, 최근에는 신속한 폭주 동지 기능을 추가한 방식들에 대한 연구가 계속되고 있다 [6]. 그러나, 지금까지 제안된 통합 방식들은 통합 잡음 (consolidation noise)과 통합 지연 (consolidation delay)과 같은 문제점을 가지고 있다. 통합 잡음은 잘못된 망 정보의 전달로 인해 송신원의 전송률이 심하게 진동을 하거나 ramp-up 시간이 지연되는 것을 의미한다. 그리고, 통합 지연은 망의 정보가 각 분지점에서 추가적인 지연을 겪게 되어 최대 왕복 지연 시간 내에도 송신원으로 전달 되지 못하는 것을 의미한다.

본 논문에서는 점대 다중점 ABR 흐름 제어를 위해 분지점

스위치에서 역방향 RM셀들을 통합하는 기존의 통합 알고리즘의 문제점을 분석하고, 이들 문제점을 해결하기 위해 두 가지 방식의 새로운 통합 알고리즘을 제안한다. 그리고, 제안된 통합 알고리즘의 성능을 시뮬레이션을 통해 기존의 알고리즘과 비교 분석하고 결론을 맺는다.

II. 점대 다중점 ABR 흐름 제어

분지점 스위치에서의 기본 기능은 송신원으로부터 분지점에 도착한 셀들을 각 가지로 복사하여 전송하는 기능과 여러 가지에서 도착한 역방향 RM 셀들의 정보를 통합하여 송신원으로 되돌려 주는 기능으로 나눌 수 있다. 이러한 기본 기능을 적절히 제공하여 점대 다중점 ABR 흐름 제어가 효과적으로 이루어 지도록 분지점에서는 역방향 RM셀들을 적절히 통합하는 방식이 구현되어야 한다. ATM 포럼에서는 분지점 스위치에서 통합 알고리즘이 가져야 할 최소한의 요구 사항을 다음과 같이 정의하고 있다 [2].

- 수신원과 분지점의 수에 관계없이 멀티캐스트 트리 (tree)는 확장 가능해야 한다.
- 망 내외 송신원에서의 역방향 RM 셀 대 순방향 RM 셀의 비는 가능하면 1로 유지되어야 한다.

2.1 기존의 통합 알고리즘

본 논문에서는 Siu가 제안한 알고리즘을 기존의 통합 알고리즘이라 부른다 [4],[6]. 먼저, 각 분지점 스위치에서는 송신원으로부터 도착한 순방향 RM 셀을 해당 멀티캐스트 VC의 모든 가지로 복사하여 전송한다. 그리고, 분지점 스위치는 역방향 RM 셀을 수신하게 되면 해당 VC에 대해 MER과 MCI이라는 변수를 이용하여 ER과 CI 정보를 저장하고, 각 가지에 대해 독립적으로 M 플래그를 사용하여 해당 가지에서 역방향 RM 셀의 수신 여부를 기록한다. 이 방식은 모든 가지에서 역방향 RM 셀이 도착할 경우에 한하여 역방향 RM 셀에 그 동안 통합된 망 정보를 실어 upstream 노드로 되돌리도록 한다.

2.2 기존 분지점 스위치 알고리즘의 문제점 분석

기존에 제안된 Siu 알고리즘에서는 통합 지연과 통합 잡음 등이 발생할 수 있다.

2.2.1 통합 지연 (Consolidation Delay)

Siu 방식에서는 모든 가지에서 역방향 RM셀을 수신한 경우에만 망 정보가 upstream으로 전달될 수 있기 때문에 각 분지점에서 역방향 RM셀들을 통합하는 데 추가적인 지연이 발생하여 망 정보가 가장 긴 왕복 지연 시간 내에도 송신원으로 전달되지 못하는 경우가 발생한다. 이러한 통합

† 본 연구는 한국과학재단 '95특정기초연구비(과제번호 : 95-0100-47-3)와 한국전자통신연구원의 지원에 의해 수행된 결과임 일부임.

지연은 거쳐가는 분지점의 수에 비례하여 커지게 되며, 이로 인하여 폭주 정보가 신속히 전달되지 못함으로써 큐 길이가 증가하거나 링크 이용 효율이 저하될 수 있다.

2.2.2 통합 잡음 (Consolidation Noise)

Siu 방식에서는 분지점 스위치가 upstream으로 역방향 RM 셀을 전송하기 전에 한 가지로부터 둘 이상의 역방향 RM 셀이 도착하는 경우, 나중에 도착한 최근 정보가 되돌려지지 않고 두 정보의 최소값이 전송되므로 가장 최근의 망 상황을 가진 역방향 정보가 유실되는 문제점이 발생할 수 있다. 이러한 통합 잡음으로 인하여 송신원이 전송률을 증가시키는 경우에 ramp-up 시간이 증가되는 문제점이 발생할 수 있다.

2.2.3 역방향 RM 셀의 손실

Siu 방식에서는 가장 최근에 역방향 RM 셀을 upstream으로 전달한 후에, 모든 가지에서 역방향 RM 셀이 도착하기 전에 동일한 가지를 통해 둘 이상의 역방향 RM 셀이 도착하는 경우 하나의 역방향 RM 셀을 제외한 나머지 역방향 RM 셀들은 폐기된다. 따라서, 망 내의 각 분지점에서 역방향 RM 셀들이 폐기 되는 경우에 송신원에서의 순방향 RM 셀 대 역방향 RM의 비가 1보다 상당히 작아지는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 손실은 멀티캐스트 트리 내의 가지 수와 분지점 수에 비례하여 증가하게 된다.

III. 제안된 통합 알고리즘

본 논문에서는 두 가지의 새로운 통합 알고리즘을 제안한다. 제안된 방식들은 최신 정보 유실로 인한 통합 잡음을 해결하기 위해 역방향 RM 셀이 가지고 온 정보를 각 가지별로 따로 저장한다 [3].

3.1 제안된 방식 I

그림 1에서는 제안된 방식 I에 대한 의사 코드를 간략히 설명하고 있다. 먼저 각 분지점 스위치에서는 송신원으로부터 도착한 순방향 RM 셀을 모든 가지로 복사하여 전송한다. 그리고, 분지점 스위치는 역방향 RM 셀을 수신하게 되면 기존의 Siu 방식에서와 달리 각 가지 별로 독립적으로 유지되는 MER, MCI 및 MNI 이라는 변수를 이용하여, ER, CI, 및 NI 정보를 저장하고 해당 가지의 플래그를 1로 설정한다. 모든 플래그가 1이면 해당 역방향 RM 셀을 upstream으로 전달한다. 폭주 정보를 통합하는 방법은 Siu 방식과 유사하게 각 가지 별로 저장된 MER 값의 최소값을 취하여 ER 필드에 넣고, MCI와 MNI 값은 논리 OR 연산을 취하여 CI와 NI 비트에 실어 송신원으로 전달하게 된다.

```

IF receive a forward RM(ER, CI, NI) cell THEN
    Multicast this RM cell to all participating branches;

IF receive a backward RM(ER, CI, NI) cell from branch i THEN
    Set M(i)=1 for branch i;
    Let MER(i)=ER, MCI(i)=CI, and MNI(i)=NI;
    IF M(j)=1 for all branches j THEN
        Let ER=min(MER(j)) for all participating branches j);
        Let CI=OR(MCI(j)) for all participating branches j);
        Let NI=OR(MNI(j)) for all participating branches j);
        Send this RM cell back to the upstream node;
        Reset M(j)=0 for all participating branches j;
    ELSE
        Discard this RM cell;
    
```

그림 1. 제안된 방식 I의 의사 코드

3.2 제안된 방식 II

제안된 방식 II는 분지점에서 복사되어 전송된 순방향 RM 셀 중에서 수신원을 거쳐 가장 늦게 분지점으로 되돌아오는 역방향 RM 셀에 그 동안 모았던 폭주 정보를 실어 전송한다 [3]. 따라서, 모든 가지에 대한 폭주 정보를 멀티캐스트 트리

내의 최대 왕복 지연 시간 내에 전달 보장이 가능하다. 그리고, 제안된 방식 I에서와 마찬가지로 이전의 역방향 RM 셀이 가지고 온 폭주 정보를 각 가지 별로 따로 저장함으로써, 어떤 가지로부터 역방향 RM 셀이 도착하지 않을 경우에도 이를 이용하여 통합 잡음을 방지할 수 있다. 제안된 방식 II에서는 복사하여 전송된 순방향 RM 셀 중에서 가장 늦게 분지점 스위치로 되돌아오는 역방향 RM 셀을 구별하기 위해서 각 가지별로 카운터 CR을 사용한다

```

IF receive a forward RM(ER, CI, NI) cell THEN
    Multicast this RM cell to all participating branches;

IF receive a backward RM(ER, CI, NI) cell from branch i THEN
    Let CR(i)=CR(i)+1 for branch i;
    Let MER(i)=ER, MCI(i)=CI, and MNI(i)=NI;
    IF CR(j)>0 for all branches j THEN
        Let ER=min(MER(j)) for all participating branches j);
        Let CI=OR(MCI(j)) for all participating branches j);
        Let NI=OR(MNI(j)) for all participating branches j);
        Send this RM cell back to the upstream node;
        Let CR(j)=CR(j)-1 for all participating branches j;
    ELSE
        Discard this RM cell;
    
```

그림 2. 제안된 방식 II의 의사 코드

그림 2에서는 제안된 방식 II에 대한 의사 코드를 설명하고 있다. 먼저 각 분지점 스위치에서는 송신원으로부터 도착한 셀들을 모든 가지로 복사하여 전송한다. 그리고, 분지점 스위치는 역방향 RM 셀을 수신하게 되면 각 가지 별로 독립적으로 유지되는 변수를 이용하여 저장하고 해당 가지의 카운터의 값을 1 증가시킨다. 모든 가지의 카운터 값이 영 이상이면 폭주 정보를 통합하여 이 역방향 RM 셀에 실어 upstream으로 바로 전송한다. 그리고, 각 가지의 카운터의 값을 1 감소시킨다. 폭주 정보의 통합은 제안된 방식 I과 동일하다.

IV. 점대 다중점 분지점 스위치의 성능 분석

시뮬레이션에서 ER 스위치로 ERICA 스위치를 고려하였으며; 목표 이용률은 WAN 환경으로 가정하여 90%로 설정하였다 [7]. 그리고, 보다 동적인 망 환경에서의 성능 분석을 위해 VBR 트래픽을 동시에 고려하였으며, ATM 스위치에서는 항상 VBR 트래픽을 ABR 트래픽보다 우선적으로 전송하는 것으로 가정하였다. 그리고, ABR 송신원들은 persistent 트래픽 모델로 가정하였다. VBR 트래픽원은 100ms 간격으로 low와 high 상태를 반복하며, low 상태일 때는 20 Mbps로 전송하고 high 상태일 때는 130 Mbps로 전송하도록 하였다.

또한, 송신원과 스위치와의 거리는 1 km로 가정하였고, 스위치 간의 거리는 특별한 언급이 없는 경우 모두 1000 km로 가정하였다. 링크 전송률은 155.52 Mbps로 설정하고, 전파 지연은 1 km 당 5 μsec로 가정하였다. 시뮬레이션에 고려된 ABR 송신원 동작은 ATM 포럼의 TM 규격 4.0을 기준으로 하였고 송신원의 ABR 파라미터는 표 1와 같다.

표 1. ABR 파라미터 값

PCR	ICR	MCR	Nrm	RIF	RDF	CRM	CDF	ADTF
155.52 Mbps	1 Mbps	0.1 Mbps	32	1	1/32768	32	1/16	0.5

4.1 시뮬레이션 모델

점대 다중점 VC가 거쳐가는 분지점 스위치 수가 점대 다중점 통합 알고리즘의 성능에 미치는 영향을 분석하기 위해 그림 3과 같은 망 모델을 고려한다. 이 모델에서는 ABR 점대 다중점 송신원 A는 N개의 분지점 스위치를 거쳐가며, 분지점 스위치 S₁과 S_N 사이의 링크 길이는 분지점의 개수N에 관계없이 1,000km로 일정하다고 가정한다. 이 모델에서는 VBR 트래픽의 상태와 관계없이 분지점 스위치 S_N이 병목점이 된다.

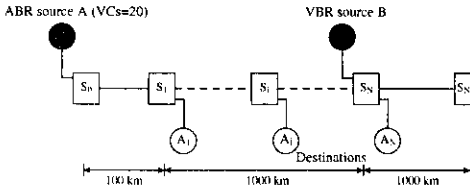


그림 3. 망 모델

4.2 성능 비교 분석

4.2.1 ACR 변화

그림 4에는 점대 다중점 VC가 거쳐가는 분지점 스위치의 수 N에 따른 ABR 송신원의 ACR 변화를 나타낸 것이다. 이 그림에서 점선은 ABR 트래픽에 비해 우선적으로 전송되는 VBR 트래픽의 전송률 변화를 나타낸 것이다. 이 그림으로부터 Siu 방식과 제안된 방식 I에서는 통합 지연의 영향으로 인하여 폭주 상황에 대한 응답 시간이 크게 길어져 VBR 변동에 대처할 못하는 경우가 발생하는 데 비해, 제안된 방식 II에서는 다른 방식들에 비해 가용 대역폭의 변동에 따라 훨씬 신속하게 송신원 A의 ACR이 변화됨을 알 수 있다. 특히, N=10인 경우 Siu 방식과 제안된 방식 I에 비해 제안된 방식 II는 ACR이 ramp-up 하는 데 걸리는 시간 면에서 큰 차이를 볼 수 있다. 이것은 다른 방식들과는 달리 제안된 방식 II에서는 전체 통합 지연이 거쳐가는 분지점의 수와 관계없이 송신원과 가장 멀리 떨어진 수신원과의 왕복 전달 지연 시간 내로 항상 제한되기 때문이다.

통합 잡음 관점에서 보면, 기존 Siu 방식과 제안된 방식들에서 통합 잡음으로 인한 ACR의 진동이 거의 없음을 알 수 있다. Siu 방식과 제안된 방식 I에서는 모든 가지에서 역방향 RM 셀이 도착한 경우에만 폭주 정보를 되돌리기 때문에 통합 잡음이 발생하기 않게 된다. 그리고, 제안된 방식 II에서는 역방향 RM 셀이 도착하지 않는 가지에 대해서는 저장된 이전의 폭주 정보를 이용하기 때문에 통합 잡음이 발생하지 않는다. 그러나, 기존 Siu 방식에서는 역방향 RM 셀이 가지고 오는 정보를 가지별로 저장할 하지 않음으로 인해 최신 정보 유실로 인한 통합 잡음이 발생하며, 이로 인해 송신원의 ACR이 ramp-up 하는 데 지연이 발생됨을 제안된 방식 I과의 비교를 통해 명확히 관찰할 수 있다. 반면에, 제안된 방식에서는 각 가지별로 따로 정보를 저장함으로써 통합 잡음이 발생되지 않는다.

4.2.2 큐 길이 변화

그림 5에서는 분지점 스위치 수에 따른 분지점 스위치 S_N의 큐 길이 변화를 나타낸 것이다. Siu 방식과 제안된 방식 I에서는 전체 통합 지연이 분지점 개수 N에 비례하여 증가되므로, N=2인 경우에 비해 N=10인 경우의 큐 길이가 매우 길어짐을 볼 수 있다. 그러나, 제안된 방식 II에서는 전체 통합 지연이 거쳐가는 분지점의 수와 관계없이 제한되므로 다른 방식에 비해 큐 길이가 매우 짧을 뿐만 아니라, 분지점 개수 N에 거의 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 또한, 최대 큐 길이를 비교하여 보면, 모든 경우에 대해 제안된 방식 II가 다른 방식들에 비해 가장 짧음을 볼 수 있다.

표 2. 링크 이용 효율

Method	Siu	Proposed I	Proposed II
N = 2	73.25	75.70	83.82
N = 10	70.73	74.43	83.48

4.2.3 링크 이용 효율과 공평성 지수

표 2에는 시뮬레이션 기간 동안에 스위치 S_N과 S_{N+1} 사이의 링크 이용 효율을 비교한 것이다. 표를 통해 알 수 있듯이, Siu 방식의 통합 잡음을 제거한 제안된 방식 I의 성능이 Siu 방식에 비해 우수함을 볼 수 있다. 모든 경우에 대해 제안된 방식 II가

다른 방식들에 비해 훨씬 높은 링크 이용 효율을 제공함을 볼 수 있다. 그리고, 기존 Siu 방식은 분지점의 수 N이 증가함에 따라 링크 이용 효율이 감소하는 반면에 제안된 방식 II는 N에 무관하게 일정한 성능을 제공함을 알 수 있다.

표 3. 공평성 지수

Method	Siu	Proposed I	Proposed II
N = 2	98.92	94.73	97.35
N = 10	88.49	84.87	96.92

표 3에는 시뮬레이션 기간 동안에 스위치 S_N과 S_{N+1} 사이의 점대 다중점 VC들 간의 대역폭 사용의 공평성을 비교한 것이다. 모든 경우에 대해 제안된 방식 II가 다른 방식들에 비해 훨씬 높은 공평성 지수를 제공함을 볼 수 있다. 그리고, 기존 Siu 방식과 제안된 방식 I에서는 분지점의 수 N이 증가함에 따라 공평성 지수가 상당히 감소하는 반면에 제안된 방식 II는 N에 무관하게 일정한 성능을 제공함을 알 수 있다.

V. 결과 분석 및 결론

본 논문에서는 기존에 제안된 점대 다중점 ABR 흐름 제어를 위한 분지점 스위치에서 통합 알고리즘의 문제점을 분석하고, 이를 개선하기 위해 새로운 두 가지의 통합 알고리즘을 제안하였다. 또한, 시뮬레이션을 통해 기존 방식들과 본 논문에서 제안된 방식들 사이의 성능을 비교 분석하였다.

표 4에서는 점대 다중점 ABR 흐름 제어를 위한 통합 방식들 간의 성능을 통합 잡음, 과도 상태 응답, 스위치 구현상 복잡도, 역방향 RM 셀에 의한 오버 헤드와 공평성의 관점에서 비교 분석하였다.

표 4. 분지점 스위치 알고리즘의 성능 비교

Method	Siu	Proposed I	Proposed II	
Consolidation noise	Medium	Low	Low	
Transient response	Ramp up	Slow	Medium	Fast
	Ramp down	Slow	Slow	Fast
Sensitivity to # of branch points	High	High	Low	
Implementation Complexity	Low	Medium	Medium	
Ratio of #BRM cells to #FRM cells at source	<1	<1	1	
Fairness	Poor	Poor	Good	

통합 지연의 관점에서 볼 때 Siu 방식과 제안된 방식 I에서는 송신원과 멀리 떨어진 가지에서 심각한 폭주가 발생하는 경우, 통합 지연으로 인하여 폭주를 신속히 해제할 수 없는 문제가 발생하였다. 또한, 이러한 통합 지연으로 인하여 송신원이 전송률을 증가시키는 경우에도 ramp-up 시간이 상당히 길어져 지체됨을 볼 수 있었다. 그러나, 제안된 방식 II에서는 거쳐가는 분지점 스위치의 수에 관계없이 모든 가지에 대한 폭주 정보를 멀티캐스트 트리 내의 최대 왕복 지연 시간 내로 전달 보장이 가능하다.

기존 Siu 방식과 제안된 방식들에서는 통합 잡음으로 인한 송신원의 ACR의 진동은 발생되지 않는다. 그러나, Siu 방식에서는 최근 정보 유실로 인해 ACR의 ramp-up 시간이 지연되는 통합 잡음이 발생할 수 있다. 반면에, 제안된 방식에서는 각 가지마다 역방향 정보를 저장하고 있기 때문에 통합 잡음을 크게 개선됨을 알 수 있었다.

분지점 스위치 구현상 복잡도의 관점에서 볼 때 제안된 방식들은 역방향 RM 셀이 가지고 온 폭주 정보를 각 가지별로 따로 저장해야 하므로 기존 방식에 비해 구현이 다소 복잡해진다.

송신원에서의 순방향 RM 셀 대 역방향 RM 셀의 비는 1로

유지되는 것이 바람직하다. Siu 방식과 제안된 방식 I에서는 분지점에서 통합 과정에서 발생되는 역방향 RM셀의 손실로 인해 순방향 RM셀 대 역방향 RM셀의 비가 1보다 상당히 작아지는 경우가 발생한다. 반면에, 제안된 방식 II에서는 트리 내의 가지 수에 관계없이 항상 1로 보장할 수 있다.

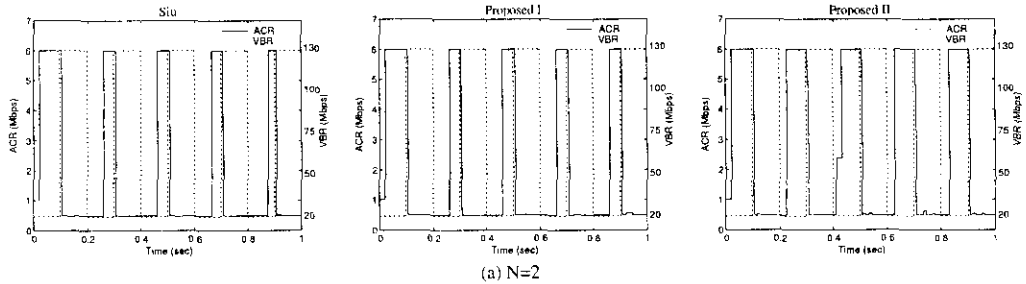
공평성 지수 관점에서는 제안된 방식 II를 제외한 나머지 모든 방식들의 공평성 지수가 매우 낮아진다. 특히, 동일한 병목 링크를 공유하는 점대 점 연결과 점대 다중점 연결의 경우, Siu 방식과 제안된 방식 I에서는 점대 다중점 연결은 각 분지점을 거치면서 크게 되는 추가적인 통합 지연으로 인해 점대 점 연결에 비해 훨씬 낮은 수율을 제공받게 된다.

specification version 4.0", af-tm-0056.000, April 1996.

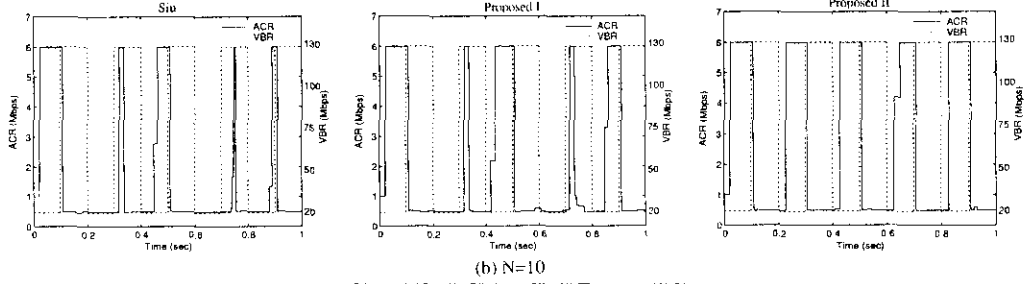
- [2] J. B. Kenney (Editor), "Traffic management working group living list. ATM Forum/LTD-TM-01.08", April 1998.
- [3] L. Roberts, "Rate based algorithm for point to multipoint ABR service", ATM Forum/94-0772R1, November 1994.
- [4] W. Ren, et al, "On the performance of congestion control algorithms for multicast ABR service in ATM", ATM'96 Workshop, 1996.
- [5] Y. Z. Cho, et al, "An efficient rate-based algorithm for point-to-multipoint ABR service," GLOBECOM'97.
- [6] S. Fahmy, R. Jain, et al, "Feedback consolidation algorithms for ABR point-to-multipoint connections", INFOCOM'98.
- [7] R. Jain, et al, "A Sample Switch Algorithm," ATM Forum/95-0178, Feb. 1995.

참고 문헌

[1] The ATM Forum, "The ATM forum traffic management

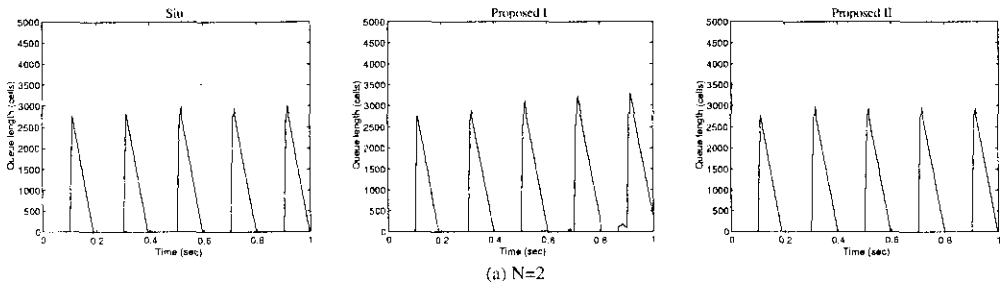


(a) N=2

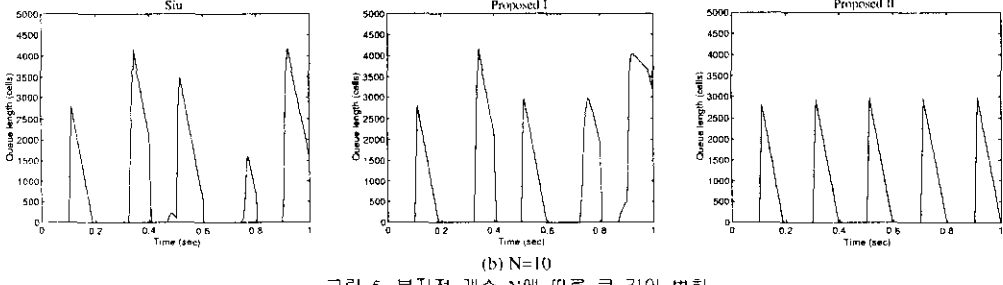


(b) N=10

그림 4. 분지점 개수 N에 따른 ACR 변화



(a) N=2



(b) N=10

그림 5. 분지점 개수 N에 따른 큐 길이 변화