

점대 다중점 ABR 흐름제어를 위한 카운터 기반의 새로운 통합 알고리즘

정회원 김 동 호*, 조 유 제*, 안 윤 영**, 권 율**

A New Counter-based Consolidation Algorithm for Point-to-Multipoint ABR Flow Control

Dong Ho Kim*, You Ze Cho*, Yoon Young An**, Yul Kwon** *Regular Members*

요약

본 논문에서는 ATM망에서 점대 다중점 (point-to-multipoint) ABR 흐름제어를 위해 분지점 (branch point) 스위치에서의 새로운 통합 알고리즘을 제안하고 기존의 알고리즘들과의 성능을 비교 분석한다. 이를 위해 먼저, 기존의 통합 알고리즘의 문제점들을 분석하고 이들 문제점을 해결할 수 있는 여러 해결 방안들을 제시한다. 그리고, 제시된 방안들을 조합하여 카운터 기반의 새로운 통합 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 폭주 정보를 각 가지별로 따로 저장하며, 가장 먼 수신원으로부터 되돌아오는 BRM (Backward Resource Management) 셀을 구별하기 위해 카운터를 사용한다. 또한, 제안된 알고리즘의 성능을 다양한 망 환경에서 시뮬레이션을 통해 기존의 알고리즘들과 비교 분석한다. 분석 결과, 본 논문에서 제안된 통합 알고리즘의 성능이 기존 알고리즘들에 비해 ACR (Allowed Cell Rate) 진동, 큐 길이, 링크 이용 효율, 공평성 등의 면에서 훨씬 더 우수함을 보인다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a new consolidation algorithm at branch-point switch for point-to-multipoint ABR (Available Bit Rate) flow control in ATM networks and compare its performance with existing consolidation algorithms. We first investigate the consolidation problems of existing algorithms, and then propose some solutions for resolving those problems. By combining these solutions, we propose a counter-based consolidation algorithm. The proposed algorithm stores the feedback information on a per-branch basis, and maintains a counter in order to distinguish the BRM (Backward Resource Management) cells returned from the farthest destination. Furthermore, we compare the performance of the proposed algorithm with the existing algorithms under various network environments. The simulation results show that the proposed algorithm exhibits a better performance than the existing algorithms in terms of allowed cell rate oscillation, queue length, utilization, and fairness.

I. 서론

ATM망을 통한 멀티미디어 그룹 통신을 위해서는 ABR 점대 다중점 (point-to-multipoint) 서비스가 필수적이다. 하지만 ABR 점대 다중점 서비스 연구는 초기 단계이므로 해결해야 할 많은 문제들

이 남아 있는 실정이다 [1], [2]. ABR 점대 다중점 동작은 크게 송수신원 동작과 스위치 동작, 그리고 분지점 (branch point) 동작으로 구분된다. 현재 ATM 포럼에서는 송수신원과 스위치 동작은 점대 점 연결에서의 동작과 동일하게 규정하고 있으며, 분지점 스위치 동작은 기본 기능만 규정하고 구현

* 경북대학교 전자전기공학과(yzcho@ee.kyungpook.ac.kr)
논문번호 : 98362-0819, 접수일자 : 1998년 8월 19일

방식은 개발자의 선택 사항으로 되어 있다^[1].

지금까지 분지점 스위치에서 각 가지로부터 되돌아오는 BRM (Backward Resource Management) 셀을 통합 (consolidation)하는 방식에 대해 많은 연구가 이루어져 왔다^{[3]-[5]}. 최근에는 망에 심각한 폭주가 발생하는 경우에 폭주 정보를 신속히 전달할 수 있는 통지 기능이 추가된 방식들도 제안되고 있다^{[6]-[8]}. 그러나, 기존의 통합 알고리즘들은 BRM 셀의 정보를 통합하는 과정에서 여러 가지 문제점을 가지며 대표적인 문제점으로는 통합 잡음 (consolidation noise)과 통합 지연 (consolidation delay) 그리고 통합 손실 (consolidation loss) 등을 들 수 있다. 먼저, 통합 잡음은 송신원으로 전달되는 BRM 셀이 일부 가지들에 대해 부정확한 정보를 가지는 것을 의미한다. 그리고, 통합 지연은 폭주 정보를 전달하기 위해서 FRM (Forward RM) 셀을 기다리거나 일부 가지들로부터 BRM 셀의 도착을 기다려야 함으로써 발생하는 추가적인 지연을 의미한다. 마지막으로, 통합 손실은 각 분지점 스위치가 자신이 수신한 FRM 셀 수 만큼의 BRM 셀을 앞 단으로 전달하지 못하는 경우에 발생된다.

이러한 기존 방식들의 문제점들을 본 논문의 저자들이 [9]를 통해 가장 먼저 해결하였다. [9]에서는 가지별로 폭주 정보를 저장하여 통합 잡음을 방지하였으며, RM 셀의 순서 번호 (sequence number)를 이용하여 가장 먼 수신원으로부터 되돌아오는 BRM 셀에 폭주 정보를 실어 송신원으로 전달함으로써 통합 지연과 통합 손실 역시 방지하였다. 그러나, 이 방식은 ATM 포럼과 ITU-T에서 선택적으로 사용하도록 권고하고 있는 RM 셀의 순서 번호를 반드시 사용해야 하므로 송신원에서 구현상의 복잡도가 증가된다. 또한, 분지점 스위치의 통합 알고리즘으로 특정 방식을 표준 알고리즘으로 채택하지는 않을 전망이므로 다른 통합 알고리즘들과의 상호 운용성 (interoperability)에 문제점을 가진다^[10].

본 논문에서는 기존의 통합 알고리즘들의 문제점을 분석하고, 이들 문제점을 해결하기 위한 여러 방안들을 제시하고 제시된 해결책을 사용하여 새로운 통합 알고리즘을 제안한다. 제안된 통합 알고리즘은 망의 정보를 각 가지별로 따로 저장하여 통합 잡음을 제거한다. 그리고, 각 가지별로 별도의 카운터를 사용함으로써 통합 지연과 통합 손실을 제거하며, 망의 정보가 최대 왕복 지연 내에는 항상 송신원으로 전달되도록 보장한다. 또한, 다른 통합 알고리즘들과의 상호 연동성에도 문제점을 전혀 야기 시키

지 않는다. 마지막으로, 본 논문에서 제안된 통합 알고리즘의 성능을 시뮬레이션을 통해 기존의 알고리즘들과 비교 분석하고 결론을 맺는다.

II. 점대 다중점 ABR 흐름 제어

2.1 통합 알고리즘의 요구사항

분지점 스위치의 기본 기능은 송신원으로부터 도착한 데이터 셀과 FRM 셀을 각 가지로 복사하여 전송하는 기능과 여러 가지에서 도착한 BRM 셀의 정보를 통합하여 송신원으로 되돌려 주는 기능으로 나눌 수 있다. 이러한 기본 기능을 적절히 제공하기 위해서는 효율적인 통합 알고리즘 개발이 매우 중요하다. ATM 포럼에서는 통합 알고리즘이 가져야 할 최소한의 요구 사항을 다음과 같이 정의하고 있다^[2].

- 점대 점 ABR 흐름 제어 알고리즘의 효율성과 공평성이 그대로 유지되어야 한다.
- 분지점의 수와 가지 수에 관계없이 적용할 수 있는 확장성을 가져야 한다.
- 망 내와 송신원에서의 BRM 셀 대 FRM 셀의 비는 가능하면 1로 유지되어야 한다.
- 반응이 없는 가지들로 인해 멀티캐스트 연결의 정상적인 동작이 중단되거나 망에 과부하나 저부하를 야기 시키지 않아야 한다.
- 서로 다른 통합 알고리즘들 간의 상호운용성이 보장되어야 한다.

2.2 기존의 통합 알고리즘

Robert 알고리즘은 분지점에서 FRM 셀의 도착에 동기를 맞추어 BRM 셀을 생성시켜 그 동안 통합된 폭주 정보를 앞 단으로 전송하는 방식이다^[3]. Roberts 알고리즘에서는 연속적인 FRM 셀의 도착 사이에 가지로부터 BRM 셀을 전혀 받지 못하는 경우, 앞 단으로 전달되는 BRM 셀은 해당 분지점 스위치를 제외한 망의 다른 정보를 전혀 가지지 못하게 된다. 이러한 문제점을 어느 정도 해결하기 위해 Tzeng 알고리즘에서는 최근에 BRM 셀을 앞 단으로 전달한 후 최소한 하나 이상의 가지로부터 BRM 셀을 수신한 경우에 한하여, FRM 셀의 도착에 동기를 맞추어 그 동안 통합된 폭주 정보를 앞 단 노드로 전송한다^[4].

Roberts 알고리즘과 Tzeng 알고리즘에서는 분지점 스위치에서 BRM 셀을 생성해야 하므로 구현이

복잡한 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 Ren 등은 점대 점 연결에서와 동일하게 수신원에서 되돌아오는 BRM 셀들 중에서 하나를 되돌리는 두 가지의 통합 알고리즘을 제안하였다^[5]. 먼저, Ren 알고리즘 I에서는 FRM 셀을 수신한 후에 도착한 BRM 셀에 그 동안의 망 정보를 통합하여 앞 단으로 전달한다. Ren 알고리즘 II에서는 모든 가지로부터 BRM 셀을 수신한 경우에 한하여 BRM 셀을 앞 단 노드로 되돌리도록 한다^[5].

최근에는 망에 심각한 폭주가 발생한 경우 폭주 정보를 송신원으로 신속히 통지할 수 있는 신속한 폭주 통지 (fast overload indication) 방식에 대해 많은 연구가 이루어지고 있다^{[6],[8]}. 이러한 기능은 통합 알고리즘에 관계없이 쉽게 추가될 수 있다. 그러나, 이 기능을 추가한 통합 알고리즘의 성능은 이러한 기능이 추가되지 않은 기본적인 통합 알고리즘에 매우 민감하다.

표 1. 통합 알고리즘의 분류

Feedback storing method	Per-VC	Most existing algorithm
	Per-branch	Proposed
BRM cell returning condition	Wait for FRM	Roberts [3], Tzeng [4]
	Wait for BRM after FRM received	Ren I [5]
	Wait for all feedback	Ren II [5]
	Wait for BRM from the farthest destination	Proposed
	Fast overload indication	Jang[6],Moh[7],Fahmy[8]

분지점 스위치에서의 통합 알고리즘들은 크게 피드백 정보를 통합하는 방법과 BRM 셀을 되돌리는 조건에 따라 분류할 수 있으며 표 1에 나타나 있다. 표 1에서 제안된 알고리즘에 대한 자세한 설명은 III 장에서 기술될 것이다.

2.3 기존 통합 알고리즘의 문제점 분석

2.3.1 통합 잡음

잘못된 망 정보의 전달로 인한 통합 잡음으로 인해 송신원의 전송률이 심하게 진동 될 수 있다는 것은 여러 연구를 통해 널리 알려져 있다^{[3],[9]}. 본 논문에서는 이러한 ACR 진동과 더불어 통합 잡음에 의해 발생될 수 있는 또 다른 문제점인 ramp-up 지연에 대해 지적한다.

가. Loss of congestion information about some branches

분지점 스위치에서 BRM 셀을 앞단으로 전달할 때 일부 가지들로부터의 BRM 셀을 수신하지 못하면 이들 가지에 대한 폭주 정보의 손실로 인하여 송신원의 ACR에 진동되는 통합 잡음이 발생된다.

Roberts 알고리즘과 Tzeng 알고리즘 그리고 Ren 알고리즘 I에서는 FRM 셀 사이에 폭주가 발생한 가지로부터 BRM 셀이 도착하지 않은 경우, 해당 가지의 폭주 정보가 반영되지 않아 송신원의 전송률인 ACR이 정확하게 계산되지 않는 통합 잡음이 발생할 수 있다. 반면에, Ren 알고리즘 II와 Fahmy 알고리즘에서는 BRM 셀을 앞 단으로 전달하기 전에 모든 가지의 폭주 정보가 항상 통합되므로 ACR 진동은 전혀 발생되지 않는다.

나. Loss of the latest feedback information

각 분지점에서 가지들로부터 수신된 BRM 셀들이 신고 오는 폭주 정보를 멀티캐스트 VC 단위로 저장한다면, BRM 셀을 앞단으로 전달하기 전에 동일한 가지로부터 둘 이상의 BRM 셀을 수신한 경우에 최근 피드백 정보 손실로 인해 ramp-up이 지연되는 통합 잡음이 발생할 수 있다.

기존의 모든 통합 알고리즘들에서는 각 가지로부터 전달된 폭주 정보가 멀티캐스트 VC 단위로 유지되는 변수에 통합되어 저장된다. 앞단으로 BRM 셀을 전송하기 전에 동일한 가지로부터 둘 이상의 BRM 셀이 도착하는 경우, 나중에 도착한 최근 정보가 그대로 반영되는 것이 아니라 통합 과정에서 두 정보의 최소값이 저장된다. 따라서, 동일한 가지로부터 전달된 둘 이상의 BRM 셀 중에서 가장 최근에 전달된 BRM 셀이 폭주 해제를 알리는 경우 해당 BRM 셀의 정보가 유실되어 송신원의 ACR이 ramp-up 하는 데 지연되는 문제점이 발생하게 된다.

2.3.2 통합 지연

통합 지연은 각 분지점에서 폭주 정보를 앞단으로 전달하기 위해 FRM 셀을 기다리거나 일부 가지들로부터 BRM 셀들을 기다려야 함으로써 발생하는 추가적인 지연을 의미한다. 이로 인해 망 정보가 가장 긴 왕복 지연 내에도 송신원으로 전달되지 못하는 문제점이 발생하게 된다.

Roberts 알고리즘과 Tzeng 알고리즘 그리고 Ren 알고리즘 I에서는 폭주 정보를 앞 단으로 전달하기 위해서는 FRM 셀을 기다려야 한다. 그리고 Ren

알고리즘 II에서는 모든 가지로부터 BRM 셀을 수신한 경우에만 망 정보를 전달할 수 있기 때문에 일부 가지들로부터의 BRM 셀을 기다려야 하는 추가적인 지연이 발생된다. 또한, Fahmy 알고리즘에서는 망에 심각한 폭주가 발생한 경우에는 통합 지연 없이 바로 전달되는 반면에, 폭주 상황이 아닌 경우에는 Ren 알고리즘 II와 동일하므로 통합 지연이 여전히 발생된다.

이러한 통합 지연은 거처가는 분지점의 수에 비례하여 커지게 되는데, 거처가는 분지점의 수가 많을 경우 이러한 통합 지연으로 인하여 폭주 정보가 신속히 전달되지 못함으로써 큐 길이가 증가하거나 링크 이용 효율이 저하될 수 있다.

2.3.3 통합 손실

망 내와 송신원에서의 BRM 셀 대 FRM 셀의 비는 가능하면 1로 유지되어야 한다. 이를 위해 각 분지점에서는 자신이 수신한 FRM 셀의 개수와 동일한 개수의 BRM 셀을 앞단으로 반드시 전달하여야 한다. 그러나, 기존에 일부 통합 알고리즘에서는 수신된 FRM 셀에 비해 훨씬 적은 수의 BRM 셀을 전달하는 현상이 발생된다.

Roberts 알고리즘에서는 FRM 셀에 동기를 맞추어 BRM셀을 생성시키므로 FRM 셀 대 BRM 셀의 비가 항상 1로 유지된다. 그리고, Tzeng 알고리즘과 Ren 알고리즘 I에서는 가지의 수가 많은 경우 송신원에서의 FRM 셀 대 BRM 셀의 비는 거의 1에 가깝게 유지될 수 있다^[10].

그러나, Ren 알고리즘 II와 Fahmy 알고리즘에서는 BRM 셀을 앞단으로 전달한 후, 모든 가지로부터 BRM 셀이 도착하기 전에 동일한 가지를 통해 둘 이상의 BRM 셀이 도착하는 경우에 하나의 BRM 셀을 제외한 나머지 BRM 셀들은 통합 과정에서 손실된다. 이러한 통합 손실로 인해 송신원에서의 FRM 셀 대 BRM 셀의 비가 1보다 상당히 작아지는 경우가 발생할 수 있다. 이로 인해 망의 정보가 송신원으로 전달되는 빈도가 감소하여 접대점 VC에 비해 폭주에 대한 반응이 늦어지게 되거나 공평성 저하가 발생하는 문제점을 가진다.

2.4 통합 문제점 해결 방안 제시

2.4.1 통합 잡음

가. Wait for all feedback

각 분지점에서 모든 가지들로부터 BRM 셀을 수신한 후에만 앞단으로 BRM 셀을 전송한다면 통합

잡음으로 인해 ACR이 진동이 되는 문제점은 완전히 해결될 수 있다. 이 방식은 Ren 알고리즘 II와 Fahmy 알고리즘에서는 사용하고 있다^{[5], [8]}. 그러나, 이들 알고리즘에서는 각 가지로부터 전송된 피드백 정보를 멀티캐스트 VC 단위로 유지함으로써 최근 피드백 정보 유실로 인한 ramp-up 지연 문제점은 여전히 발생한다. 또한, 각 분지점에서는 모든 가지들로부터의 피드백을 기다려야 하므로 통합 지연과 통합 손실이 발생할 수 있다.

나. Per-branch storing

각 분지점에서 가지로부터 전달된 폭주 정보를 각 가지별로 저장하고, BRM 셀을 전달할 조건이 만족되는 경우 각 가지별로 독립적으로 유지되어 있는 폭주 정보를 통합하여 전달한다면 통합 잡음을 크게 개선시킬 수 있다. 이 방식을 사용하면 ramp-up 지연 문제는 가장 최근 폭주 정보를 각 가지별로 따로 저장함으로써 완전히 해결할 수 있다. 그리고, ACR 진동 문제점 역시 각 가지별로 저장된 이전 정보를 이용함으로써 크게 개선을 시킬 수 있다. 그러나, 정확한 망의 정보가 최초로 송신원으로 전달되기 전까지의 startup 기간 동안에는 ACR 진동 문제점이 여전히 발생할 수 있다. 따라서, 통합 잡음을 완전히 해결하기 위해서는 각 가지별로 따로 피드백 정보를 저장함과 동시에 가장 먼 수신원으로부터 돌아오는 BRM 셀에 그 동안 통합된 폭주 정보를 실어 전달하면 된다.

2.4.2 통합 지연

가. Return of BRM cells from the farthest destination

각 분지점에서 가장 먼 수신원으로부터 전송된 BRM 셀에 그 동안의 폭주 정보를 통합하여 앞단으로 전달한다면 멀티캐스트 트리 내의 모든 폭주 정보는 분지점 수에 관계없이 가장 긴 왕복 지연시간 내에는 송신원으로 항상 전달될 수 있다. 각 분지점에서 가장 먼 수신원을 구별하기 위한 한 가지 방법은 [9]에 제안되어 있으며, 본 논문에서 제안된 카운터를 사용하는 방법은 다음절에 소개될 것이다.

나. Fast overload indication

임의의 가지로부터의 BRM 셀이 심각한 폭주 상황을 나타내고 있는 경우, 정상적인 BRM 셀의 전송 조건이 아니더라도 해당 BRM 셀을 신속히 송신원으로 전달한다면 통합 지연을 크게 개선시킬 수 있다^{[6]-[8]}. 이러한 기능은 통합 알고리즘에 관계없이 쉽게 추가될 수 있으나, 신속한 폭주 통지 기

능이 추가된 통합 알고리즘의 성능은 이러한 기능이 추가되지 않은 기본적인 통합 알고리즘에 매우 민감하다.

2.4.3 통합 손실

가. Return of one BRM cell for every FRM cell

각 분지점 스위치가 FRM 셀의 도착에 맞추어 하나의 BRM 셀을 앞단으로 전달한다면 FRM 셀 대 BRM 셀의 비는 항상 1로 유지될 수 있다 [3]. 그러나 이 방식은 각 분지점 스위치가 BRM 셀을 생성시켜야 하므로 구현이 복잡하다. 또한, 폭주 상황을 전달하기 위해 앞단으로부터 FRM 셀을 기다려야 하는 추가적인 통합 지연이 발생되게 된다.

나. Return of BRM cells from the farthest destination

각 분지점 스위치가 특정한 수신원으로부터 되돌아오는 BRM 셀을 만을 송신원으로 전달한다면, 망내와 송신원에서 통합 손실 없이 BRM 셀 대 FRM 셀의 비는 항상 1로 유지될 수 있다. 이 경우, 잘못된 수신원의 선택은 통합 잡음과 통합 지연을 야기시킬 수 있으므로 적당한 수신원의 선택이 매우 중요하다. 이러한 문제점들을 방지하기 할 수 있는 방법은 가장 먼 수신원으로부터 도착하는 BRM 셀을 송신원으로 되돌리는 것이다.

표 2에는 통합 문제점들의 발생 원인과 결과 그리고 이를 해결할 수 있는 방안들을 요약하여 나타내고 있다. 표 2에 제시된 각 방안들은 통합 알고리즘에서 서로 조합되어 사용될 수 있다.

III. 제안된 통합알고리즘

본 논문에서 제안된 통합 알고리즘은 II 장에서 제시된 통합 문제의 해결책들 중에서 가장 우수한 방안들을 조합하여 사용한다. 제안된 알고리즘에서는 BRM 셀이 가지고 온 정보를 각 가지 별로 따로 저장함으로써, 어떤 가지로부터 BRM 셀의 정보가 도착하지 않을 경우에도 이전 정보를 이용하여 통합 잡음을 방지할 수 있다. 그리고, 통합 지연과 통합 손실을 방지하기 위해 가장 먼 수신원으로부터 되돌아오는 BRM 셀에 폭주 정보를 실어 전송한다. 망의 모든 폭주 정보가 분지점 수에 관계없이 멀티캐스트 트리 내의 최대 왕복 지연 시간 내에 전달 보장이 항상 가능하다. 그림 1에는 본 논문에서 제안된 새로운 통합 알고리즘을 나타내고 있다.

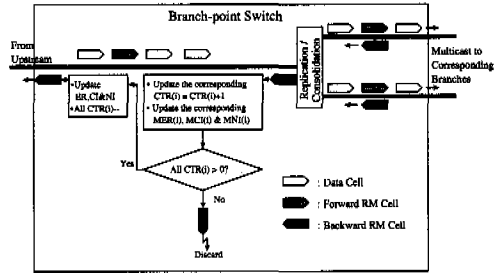


그림 1. 제안된 통합 알고리즘

제안된 알고리즘에서는 복사하여 전송된 FRM 셀 중에서 가장 늦게 분지점 스위치로 되돌아오는 BRM 셀을 구별하기 위해서 각 가지별로 카운터 CTR을 사용한다. BRM 셀을 수신하면 해당 가지의 카운터 값은 1씩 증가되고 앞단으로 BRM 셀을 전송하면 멀티캐스트 VC의 모든 가지의 카운터 값은 1씩 감소된다. 카운터의 값은 해당 가지로부터 BRM 셀을 수신하지 않더라도 앞단으로 전송할 수 있는 BRM 셀의 최대 개수를 나타낸다. 따라서, 분지점에서는 각 가지별로 수신된 BRM 셀의 개수를 카운트함으로써 통합 손실이 전혀 발생되지 않는다.

표 2. 통합 문제점과 해결 방안

Consolidation noise		
Causes	•Loss of congestion information about some branches	•Loss of the latest feedback information
Effects	•ACR oscillation	•Ramp-up delay
Solutions	•Wait for all feedback •Per-branch storing	•Per-branch storing
Consolidation delay		
Causes	•Wait for FRM or BRM cells	•Loss of BRM cells
Effects	•Slower response	•Slower response •Poorer fairness
Solutions	•Fast overload indication •Return of BRM cells from the farthest destination	•Return of one BRM cell for every FRM cell •Return of BRM cells from the farthest destination

그림 2에서는 제안된 알고리즘의 의사 코드를 간략히 설명하고 있다. 먼저 각 분지점에서는 송신원으로부터 도착한 FRM 셀을 모든 가지로 복사하여

전송한다. 그리고, BRM 셀을 수신하게 되면 각 가지 별로 독립적으로 유지되는 MER, MCI 및 MNI 이라는 변수를 이용하여, ER, CI, 및 NI 정보를 저장하고 해당 가지의 카운터의 값을 1 증가 시킨다. 그런 다음 BRM 셀을 수신한 가지를 제외한 다른 가지의 카운터의 값을 확인하여, 다른 모든 가지의 카운터 값이 영 이상이면 각 가지 별로 저장된 폭주 정보를 통합하여 이 BRM 셀에 실어 앞 단으로 바로 전송한다. 그리고, 멀티캐스트 트리 내의 모든 가지의 카운터 값을 1 감소 시킨다.

```

IF receive an FRM(ER, CI, NI) cell
  Multicast this RM cell to all participating branches;
IF receive a BRM(ER, CI, NI) cell from branch i
  Let CTR(i) = CTR(i)+1 for branch i;
  Let MER(i) = ER, MCI(i) = CI, and MNI(i) = NI;
  IF CTR(j) > 0 for all branches j
    Let ER = min(MER(j) for all branches j);
    Let CI = OR(MCI(j) for all branches j);
    Let NI = OR(MNI(j) for all branches j);
    Send this RM cell back to the source;
    Let CTR(j) = CTR(j)-1 for all branches j;
  ELSE
    Discard this RM cell;
    
```

그림 2. 제안된 알고리즘에 대한 의사 코드

IV. 시뮬레이션에 의한 성능분석

4.1 고려된 통합 알고리즘

본 논문에서 성능 분석을 위해 고려한 통합 알고리즘의 특징들은 표 3에 나타나 있다. 먼저, 고려된 알고리즘 1은 많은 논문에서 가장 대표적인 통합 알고리즘으로 고려되고 있는 Ren 알고리즘 II이다. 그리고, 알고리즘 2는 알고리즘 1을 개선시킨 것으로 통합 잡음을 제거하기 위해 BRM 셀들이 가지 고 온 폭주 정보를 각 가지별로 따로 저장한다.

표 3. 고려된 통합 알고리즘들의 특징

Algorithms	1	2	3
Feedback storing method	Per-VC	Per-branch	Per-branch
BRM cell returning condition	Wait for all feedback	Same as Algorithm 1	Wait for BRM from the farthest destination
Comments	Ren II [14]	Modified from Algorithm 1	Proposed

알고리즘 1과 2에 대한 자세한 의사 코드는 [5]와 [10]에 각각 나타나 있다. 알고리즘 3은 본 논문에서 제안된 방식으로 III 장에 설명되어 있다.

4.2 파라미터 설정

시뮬레이션에서는 ER 스위치로 ERICA 스위치를 고려하였으며, 목표 이용률은 WAN 환경으로 가정하여 90%로 설정하였다 [13]. 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 high 상태일 때는 130 Mbps로 전송하도록 하였다.

표 4. 고려된 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 sec

ABR 송신원 동작은 ATM 포럼의 TM 규격 4.0을 기준으로 하였고 송신원의 ABR 파라미터는 표 4와 같다 [1]. 모든 시뮬레이션 구성에서 송수신원과 스위치와의 거리는 1 km로 가정하였고, 스위치 간의 거리는 특별한 언급이 없는 경우에 모두 1,000 m로 가정하였다. 링크 전송률은 155.52 Mbps로 설정하고, 전파지연은 1 km 당 5µ sec로 가정하였다.

4.3 시뮬레이션 구성 I

4.3.1 시뮬레이션 모델

점대 다중점 VC가 거쳐가는 분지점 스위치 수가 통합 알고리즘의 성능에 미치는 영향을 분석하기 위해 그림 3과 같은 망 모델 I을 고려한다. 이 모델에서는 ABR 점대 다중점 송신원인 A는 N 개의

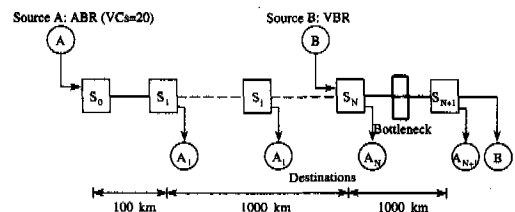
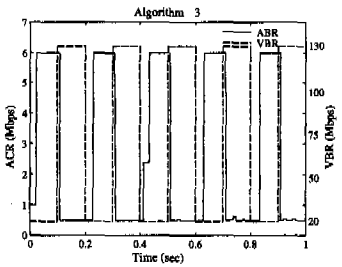
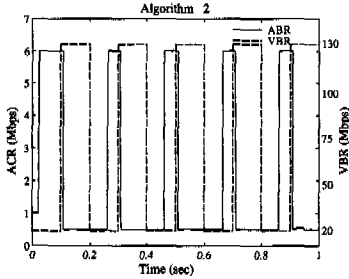
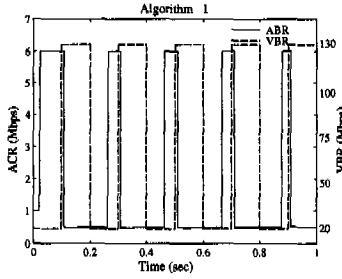
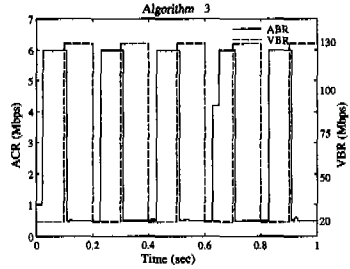
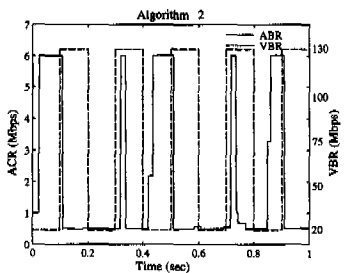
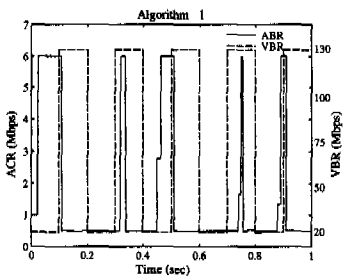


그림 3. 망 모델 I



(a) N=2



(b) N=10

그림 4. 분지점 개수 N에 따른 ACR 변화 (계속)

분지점 스위치를 거쳐가며, 분지점 스위치 S_1 과 S_N 사이의 링크 길이는 N 에 관계없이 1,000 km로 항상 일정하다고 가정한다. 이 모델에서는 VBR 트래픽의 상태와 관계없이 분지점 스위치 S_N 이 병목점이 된다. 따라서, 이 모델은 통합 알고리즘이 멀티캐스트 트리의 분지점 수에 관계없이 확장 가능한 알고리즘인지를 검증하는 데 매우 유용하다. 또한, 접대 다중점 VC들간의 대역폭 이용의 공평성을 확인하는 데도 유용하게 사용될 수 있다.

4.3.2 성능 비교 분석

가. ACR 변화

그림 4에는 접대 다중점 VC가 거쳐가는 분지점 스위치의 수 N 에 따른 ABR 송신원 A의 ACR 변화를 나타낸 것이다. 이 그림에서 점선은 ABR 트래픽에 비해 우선적으로 전송되는 VBR 트래픽의 전송률 변화를 나타낸 것이다.

통합 잡음 관점에서 보면, 모든 방식들에서 통합 잡음으로 인한 ACR의 진동은 전혀 발생되지 않음을 알 수 있다. 알고리즘 1과 2에서는 모든 가지에서 BRM 셀이 도착한 경우에만 폭주 정보를 되돌리기 때문에 ACR 진동이 발생되지 않는다. 그리고, 알고리즘 3에서는 BRM 셀이 도착하지 않은 가지에 대해서는 이전의 폭주 정보를 이용하기 때문에 통합 잡음이 발생되지 않는다. 그러나, 알고리즘 1에서는 BRM 셀이 가지고 오는 정보를 가지별로 따로 저장할 하지 않음으로 인해 최신 정보 유실로 인한 통합 잡음이 발생되며, ACR이 ramp-up하는데 지연이 됨을 알고리즘 2와의 비교를 통해 명백히 관찰 할 수 있다. 반면에, 알고리즘 2와 3에서는 각 가지별로 따로 정보를 저장함으로써 ACR의 ramp-up 지연 현상이 전혀 발생되지 않는다. 이상

의 결과로부터 각 가지로부터 전달되는 폭주 정보가 가지별로 저장되는 것이 멀티캐스트 VC 단위로 유지되는 것에 비해 더 바람직함을 알 수 있다.

통합 지연 관점에서는 N=2인 경우는 세 방식에서 모두 VBR 트래픽의 변동에 대해 어느 정도 대처함을 볼 수 있다. 그러나, N=10인 경우에는 알고리즘 1과 2는 통합 지연의 영향으로 인하여 VBR 변동에 전혀 대처를 못하는 경우가 발생하는 데 비해, 제안된 알고리즘 3은 N=2인 경우와 동일하게 훨씬 신속하게 송신원 A의 ACR이 변화됨을 알 수 있다. 이것은 다른 방식들과는 달리 알고리즘 3에서는 전체 통합 지연이 거처가는 분지점의 수와 관계없이 송신원과 가장 멀리 떨어진 수신원과의 왕복 전달 지연 시간 내로 항상 제한되기 때문이다. 특히, 이러한 통합 지연은 분지점의 수에 비례하여 증가하기 때문에 각 방식들의 성능 차이가 분지점 수가 증가함에 따라 더욱 두드러짐을 볼 수 있다.

나. 큐 길이 변화

그림 5에서는 분지점 스위치 수에 따른 분지점 스위치 S_N 의 큐 길이 변화를 나타낸 것이다. 알고리즘 1과 2에서는 전체 통합 지연이 분지점 개수 N에 비례하여 증가되므로, N=2인 경우에 비해 N=10인 경우의 큐 길이가 매우 길어짐을 볼 수 있다. 그러나, 알고리즘 3에서는 전체 통합 지연이 거처가는 분지점의 수와 관계없이 제한되므로 알고리즘 1과 2에 비해 큐 길이가 매우 짧을 뿐만 아니라, N에 거의 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 또한, 최대 큐 길이면에서도 알고리즘 3이 다른 방식들에 비해 가장 짧음을 볼 수 있다.

다. 기타 성능 비교

표 5. 폭주 링크의 이용 효율

N	Algorithms		
	1	2	3
2	0.73	0.76	0.84
10	0.70	0.74	0.84

표 5에는 시뮬레이션 기간 동안에 스위치 S_N 과 S_{N+1} 사이의 링크 이용 효율을 비교한 것이다. 표를 통해 알 수 있듯이 알고리즘 1의 통합 잡음 문제를 해결한 알고리즘 2의 성능이 알고리즘 1에 비해 더 우수함을 알 수 있다. 그리고, 모든 경우에 대해 알

고리즘 3이 다른 알고리즘들에 비해 훨씬 높은 링크 이용 효율을 제공함을 볼 수 있다. 또한, 알고리즘 1과 2는 N이 증가함에 따라 링크 이용 효율이 감소하는 반면에 알고리즘 3은 N에 무관하게 일정하게 높은 링크 이용 효율을 제공함을 알 수 있다. 특히, N이 증가할수록 성능 차이가 더욱 두드러짐을 볼 수 있다.

표 6에는 시뮬레이션 기간 동안에 스위치 S_N 과 S_{N+1} 사이의 링크에서 점대 다중점 VC들 간의 대역폭 사용의 공평성을 비교한 것이다. 모든 경우에 대해 알고리즘 3이 다른 알고리즘들에 비해 훨씬 높은 공평성 지수를 제공함을 볼 수 있다. 그리고, 알고리즘 1과 2에서는 N이 증가함에 따라 상당히 감소하는 반면에 알고리즘 3은 N에 무관하게 높은 공평성을 제공함을 알 수 있다.

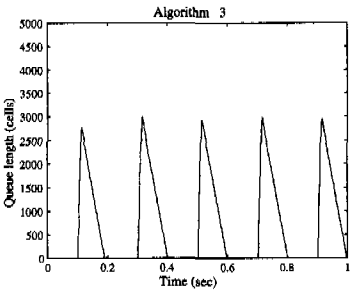
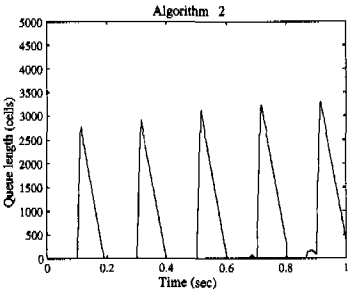
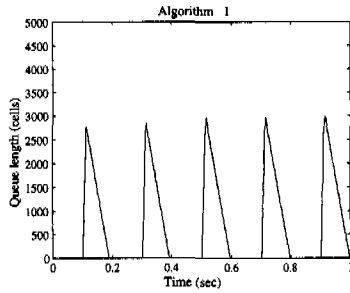
표 6. 폭주 링크에 대한 공평성 지수

N	Algorithms		
	1	2	3
2	0.98	0.95	0.98
10	0.88	0.85	0.97

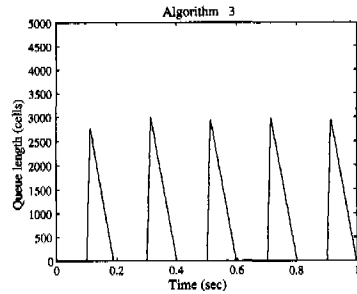
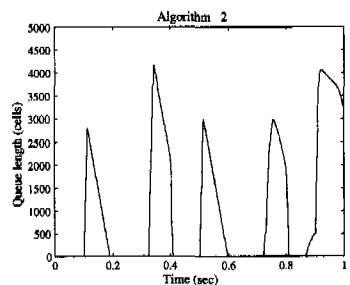
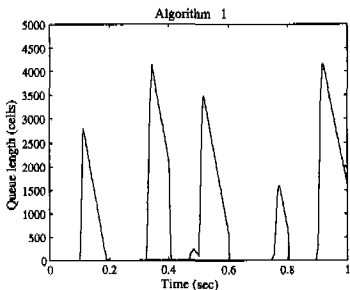
표 7에는 송신원에서의 FRM 셀 대 BRM 셀의 비를 비교한 것이다. ATM 포럼에서는 점대 점 연결에서와 마찬가지로 점대 다중점 연결에서도 FRM 셀 대 BRM 셀의 비를 1로 유지할 것을 권고하고 있다. FRM 셀 대 BRM 셀의 비가 1보다 큰 경우에는 BRM 셀의 오버헤드로 인해 대역폭의 낭비가 발생할 수 있으며 1보다 작은 경우에는 송신원으로 되돌아오는 망 정보가 점대 점 연결에 비해 줄어들므로 망 상황에 대한 반응 시간이 길어지거나 공평성이 낮아지게 된다. 표를 통해 알 수 있듯이 알고리즘 3만이 송신원에서의 FRM 셀 대 BRM 셀의 비를 항상 1로 유지시킬 수 있으며 다른 알고리즘들에서는 통합 손실로 인해 1보다 매우 작아짐을 볼 수 있다.

표 7. 송신원에서의 FRM 셀 대 BRM 셀의 비

N	Algorithms		
	1	2	3
2	0.77	0.77	1
10	0.78	0.78	1



(a) N=2



(b) N=10

그림 5. 분지점 개수 N에 따른 분지점 스위치 SN의 큐 길이 변화 (계속)

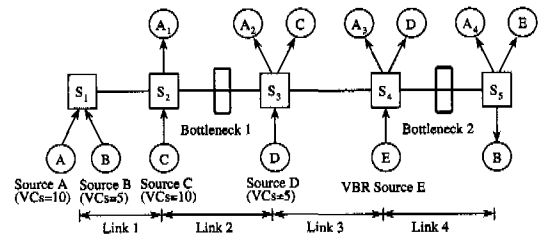


그림 6. 망 모델 II

4.4 시뮬레이션 구성 II

4.4.1 시뮬레이션 모델

고려된 두 번째 망 모델은 그림 6에 나타난 것처럼 점대 다중점 VC와 점대 점 VC가 함께 고려된 모델이다. 이 모델은 망에서의 병목 링크의 위치가 시간에 따라 변화하는 상황에서의 성능 분석이 가능하다. 또한, 병목 링크에서 점대 점 VC와 점대 다중점 VC들 간의 전송률의 공평성을 비교하는 데도 유용한 모델이다.

ABR 트래픽 모델은 다음과 같이 가정하였다. ABR 점대 다중점 송신원인 A는 3개의 분지점을 거친다. 그리고, 점대 점 송신원인 B는 점대 다중점 송신원 A의 가장 먼 수신원과 동일한 병목 링크를 가진다. 따라서, 각 분지점에 이상적인 통합 알고리즘이 사용된 경우에는 점대 다중점 송신원 A와 점대 점 송신원 B의 전송률은 동일할 것이다. 또한, 송신원 C와 D는 하나의 흐름을 거치는 점대 점 연결로 가정하였다. 여기서 VBR 트래픽원 E가 low인 경우에는 bottleneck 1이 병목 링크가 되고, high인 경우에는 bottleneck 2가 병목 링크가 된다.

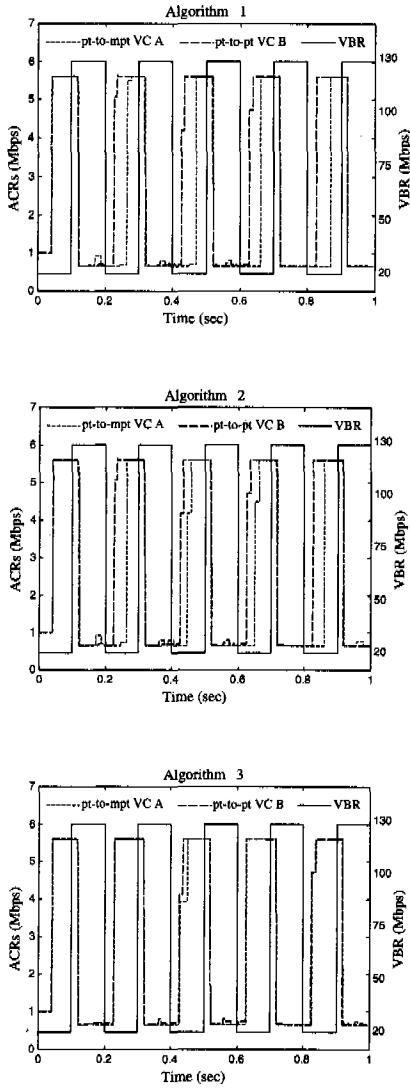


그림 7. 점대 다중점 VC A와 점대 점 VC B의 ACR 변화

4.4.2 성능 비교 분석

가. ACR 변화

그림 7에는 ABR 점대 다중점 송신원 A의 ACR 변화와 ABR 점대 점 송신원 B의 ACR 변화를 나타내고 있다. 그림을 통해 볼 수 있듯이 알고리즘 1과 2에서는 점대 다중점 송신원 A와 점대 점 송신원 B의 전송률의 변화가 크게 차이를 볼 수 있다. 이러한 이유는 알고리즘 1에서는 통합 잡음과 통합 지연에 의한 것이다. 그리고 알고리즘 2의 경우에는 각 가지별로 폭주 정보를 저장하여 통합 잡음을 제거함으로써 알고리즘 1에 비해서는 우수하나, 통

합 지연으로 인해 두 송신원들 간의 ACR 변화의 차이가 여전히 심함을 볼 수 있다. 반면에, 알고리즘 3의 경우에는 통합 잡음과 통합 지연을 제거함으로써 점대 점 송신원과 점대 다중점 송신원의 전송률의 변화가 이상적인 경우에서와 같이 거의 동일함을 볼 수 있다.

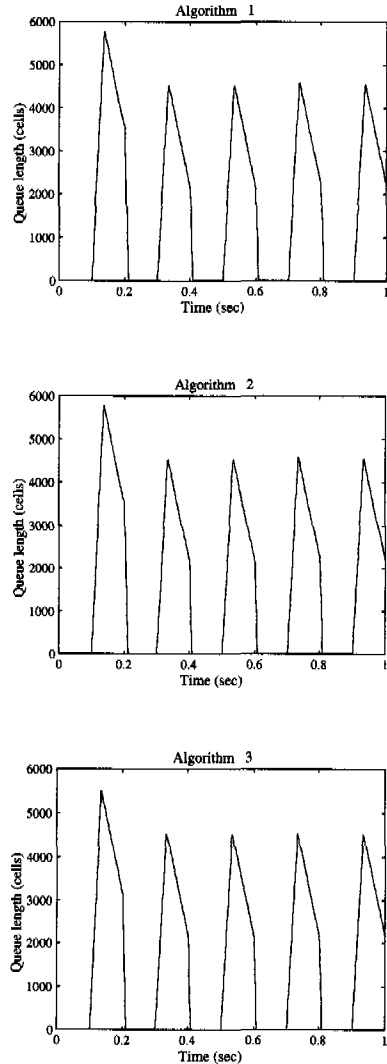


그림 8. 스위치 S4에서의 큐 길이 변화

나. 큐 길이 변화

그림 8에는 스위치 S4의 큐 길이 변화를 나타낸 것이다. 그림을 통해 볼 수 있듯이 알고리즘 3이 다른 알고리즘들에 비해 가장 짧은 큐 길이를 나타낼 수 있다.

다. 기타 성능 비교

표 8에는 시뮬레이션 구성 II에 대해 스위치 S₄와 S₅사이의 링크에 대해 이용 효율, 점대 다중점 VC A와 점대 점 VC B의 평균 수율의 비 그리고 송신원에서의 FRM 셀 대 BRM 셀의 비를 비교한 것이다. 시뮬레이션 구성 I의 결과와 마찬가지로 알고리즘 1에 비해서는 알고리즘 2가 링크 이용 효율 면에서 더 우수한 성능을 제공하며 알고리즘 3의 성능이 다른 알고리즘들에 비해 훨씬 더 우수함을 알 수 있다.

표 8. 시뮬레이션 환경 II에 대한 성능 비교

Metrics	Algorithms	1	2	3
Utilization		0.69	0.71	0.75
Ratio of mean throughput between point-to-multipoint VCs and point-to-point VCs		0.73	0.81	0.99
Ratio of BRM cells to FRM cells at source		0.64	0.68	1

그리고 점대 다중점 송신원 A의 평균 수율 대 점대 다중점 송신원 B의 평균 수율의 비 면에서 알고리즘 1에서는 점대 다중점 송신원 A는 통합 지연과 통합 잡음으로 인해 점대 점 송신원 B에 비해 상대적으로 매우 낮은 수율을 보장 받음을 알 수 있다. 알고리즘 1의 통합 잡음을 제거한 개선된 알고리즘 2의 성능이 알고리즘 1보다 더 우수하며, 제안된 알고리즘 3만이 점대 점 송신원의 수율과 거의 동일한 수율을 점대 다중점 송신원에 제공해 줄 수 있음을 볼 수 있다. 또한, 알고리즘 3을 제외한 나머지 알고리즘들에서는 분지점에서 통합 손실로 인해 송신에서의 FRM 셀 대 BRM 셀의 비가 1보다 상당히 작아짐을 볼 수 있다.

4.5 결과 분석

표 9에서는 통합 알고리즘들의 성능을 통합 잡음, 과도 응답, 구현상 복잡도, BRM 셀의 오버헤드와 공평성의 관점에서 비교 분석하였다.

통합 잡음 관점에서 볼 때 고려된 모든 알고리즘들에서는 통합 잡음으로 인한 송신원의 ACR의 진동은 전혀 발생되지 않는다. 그러나, 알고리즘 1에서는 최근 정보 유실로 인해 ACR의 ramp-up 시간이 지연되는 통합 잡음이 발생할 수 있다. 반면에, 알고리즘 2와 3은 각 가지마다 폭주 정보를 따로

저장하기 때문에 최근 정보 유실로 인한 통합 잡음이 전혀 발생되지 않는다.

표 9. 통합 알고리즘의 성능 비교

Algorithms		1	2	3
Consolidation noise	ACR oscillation	Low	Low	Low
	Ramp-up delay	Medium	Low	Low
Transient response		Slow	Slow	Fast
Sensitivity to the number of branch points		High	Medium	Low
Implementation Complexity		Low	Medium	Medium
Ratio of BRM cells to FRM cells at source		<<1	<<1	1
Fairness		Poor	Poor	Good

분지점 수에 따른 성능의 민감도 면에서 알고리즘 1과 2에는 통합 지연이 분지점 수에 비례하여 증가되어 망 정보가 최대 왕복 지연 내에도 송신원으로 전달되지 못하는 상황이 발생할 수 있었다. 반면에, 알고리즘 3에서는 망의 정보가 분지점 수에 관계없이 멀티캐스트 트리 내의 최대 왕복 지연 시간 내에 송신원으로 항상 전달될 수 있다. 따라서, 알고리즘 3만이 멀티캐스트 트리의 크기에 관계없이 확장이 가능함을 알 수 있었다.

분지점 스위치 구현상 복잡도의 관점에서 볼 때 알고리즘 2와 3은 폭주 정보를 각 가지 별로 따로 저장해야 하므로 알고리즘 1에 비해 구현이 다소 복잡해진다. 그리고, 알고리즘 3은 각 가지별로 별도의 카운터가 사용되므로 알고리즘 2에 비해서도 구현이 더 복잡해진다.

송신원에서의 FRM 셀 대 BRM 셀의 비는 1로 유지되는 것이 가장 바람직하다. 알고리즘 1과 2에서는 통합 손실로 인해 FRM 셀 대 BRM 셀의 비가 1보다 상당히 작아지는 경우가 발생할 수 있다. 반면에, 알고리즘 3에서는 각 가지별로 카운터를 사용하여 통합 손실을 제거함으로써 송신원에서의 FRM 셀 대 BRM 셀의 비가 항상 1로 유지됨을 알 수 있었다.

공평성 지수 관점에서는 알고리즘 3을 제외한 다른 알고리즘들은 공평성이 매우 낮아진다. 특히, 동일한 병목 링크를 점유하는 경우 알고리즘 1과 2에서 점대 다중점 연결은 통합 지연과 통합 손실을 겪게 되어, 점대 점 연결에 비해 훨씬 낮은 대역폭을 할당받아 수율이 매우 낮아짐을 볼 수 있었다.

