

# ATM망에서 신속한 폭주통지 기능을 지닌 멀티캐스트 ABR 흐름제어 알고리즘의 성능비교

(Performance Comparison of Multicast ABR Flow Control Algorithms with Fast Overload Indication in ATM Networks)

김 동 호 <sup>†</sup> 김 병 철 <sup>\*\*</sup> 조 유 제 <sup>\*\*\*</sup> 권 율 <sup>\*\*\*\*</sup>  
(Dong-Ho Kim) (Byung-Chul Kim) (You-Ze Cho) (Yul Kwon)

**요 약** 본 논문에서는 멀티캐스트 가용비트율 (Available Bit Rate: ABR) 서비스를 위해 현재 ATM 포럼 등을 통해 제안되고 있는 신속한 폭주 통지 (fast overload indication) 기능을 기존 피드백 통합 알고리즘들에 적용하여 이들의 성능을 시뮬레이션을 통해 비교 분석하였다. 성능 분석의 지표로 송신원의 허용된 셀률 (Allowed Cell Rate: ACR), 스위치에서의 큐 길이, 링크 이용 효율, 공정성, 역방향 자원관리 셀 (Backward Resource Management: BRM) 셀의 오버헤드 등을 사용하였다. 분석 결과, 신속한 폭주 통지 기능이 추가된 피드백 통합 알고리즘들은 망에 심각한 폭주가 발생한 경우에 매우 효과적임을 알 수 있었다. 신속한 폭주 통지 기능은 기본적인 피드백 통합 알고리즘에 관계없이 쉽게 추가될 수 있는 반면에, 이러한 기능이 추가된 알고리즘들의 성능은 기본적인 피드백 통합 알고리즘들의 성능에 매우 의존적임을 알 수 있었다.

**Abstract** This paper compares the performance of feedback consolidation algorithms with or without a fast overload indication function which has been recently proposed in the ATM Forum for multicast ABR (Available Bit Rate) services in ATM networks. We use the performance criteria such as the ACR (Allowed Cell Rate) of a source, queue length at a switch, link utilization, fairness, and BRM (Backward Resource Management) cell overhead. Simulation results show that performance of the feedback consolidation algorithms with a fast overload indication function can be improved significantly than that of algorithms without this function in terms of ramp-down delay, particularly in initial start-up period or under a severe overload situation. The fast overload indication function can be combined with any feedback consolidation algorithm, whereas its performance is highly dependent on an underlying basic feedback consolidation algorithm.

## 1. 서 론

ATM망을 통하여 멀티미디어 그룹 통신을 효과적으로 제공하기 위해서는 가용비트율 (Available Bit Rate: ABR) 멀티캐스트 (multicast or point-to-multipoint) 서비스가 필수적이다. 현재 ATM 포럼에서는 멀티캐스트 ABR 서비스를 위한 송수신원 동작은 점대점 연결에서와 동일하게 규정하고 있으며, 분지점 스위치 동작은 기본 기능만 규정하고 구체적인 구현 알고리즘은 개발자들의 선택 사항으로 되어 있다 [1].

분지점 스위치 동작은 크게 송신원으로부터 전달된

· 본 논문은 한국과학재단 특정기초(과제번호: 95-0100-47-3) 연구비 지원에 의해 일부 수행되었음

† 정 회 원 : 한국전자통신연구원 정보화기술연구본부 연구원  
dhkim@netc.etri.re.kr

\*\* 학생회원 : 경북대학교 전자공학과  
bekim@palgong.knu.ac.kr

\*\*\* 종신회원 : 경북대학교 전자전기공학부 교수  
yzcho@ee.knu.ac.kr

\*\*\*\* 비 회 원 : 한국전자통신연구원 연구원

논문접수 : 1999년 3월 22일

심사완료 : 1999년 10월 1일

데이터 셀과 순방향 자원관리 셀 (Forward Resource Management: FRM) 셀을 각 가지로 복사하여 전달하는 기능과 가지들로부터 전달된 역방향 자원관리 셀 (Backward RM: BRM) 셀의 피드백 정보를 통합 (consolidation)하여 송신원으로 되돌리는 기능으로 나눌 수 있다. 이러한 기능을 적절히 제공하기 위해서는 분지점 스위치에서의 효율적인 피드백 통합 알고리즘 개발이 매우 중요하다. 지금까지는 분지점 스위치에서 역방향 자원관리 셀을 통합하는 방식에 대해 많은 연구가 이루어져 왔다 [3]-[7]. 그러나, 기존의 피드백 통합 알고리즘들은 역방향 자원관리 셀이 신고 온 폭주 정보를 통합하는 과정에서 통합 잠움과 통합 지연 그리고 통합 손실 등의 문제점들을 가진다. 일부 논문을 통해 이러한 통합 문제점들을 해결할 수 있는 여러 방안들과 새로운 통합 알고리즘이 제안되어 있다 [6], [7]. 그러나, 이 알고리즘 역시 망에 심각한 폭주가 발생한 경우에는 신속히 대처를 하지 못하는 문제가 발생될 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 최근에 ATM 포럼 등을 통해 망에 심각한 폭주가 발생한 경우에 폭주 정보를 신속히 송신원으로 전달할 수 있는 신속한 폭주통지 (fast overload indication) 방식들도 제안되고 있다 [8]-[12].

지금까지는 기본적인 피드백 통합 알고리즘 개발과 성능 분석에 관한 연구가 주로 이루어져 왔다 [3]-[7]. 그리고, 일부 논문을 통해 특정 피드백 통합 알고리즘에 대해 신속한 폭주 통지 기능이 추가된 방식과 추가되지 않은 방식에 대한 성능 분석이 부분적으로 이루어져 있다 [8]-[12]. 그러나, 신속한 폭주 통지 기능이 추가된 피드백 통합 알고리즘들 간의 성능 분석에 관한 연구는 여전히 미흡한 상태로 남아 있다.

본 논문에서 먼저, 기존에 제안된 피드백 통합 알고리즘들을 각 분지점에서 피드백 정보를 통합하기 위해 역방향 자원관리 셀이 신고 오는 정보를 저장하는 방법과 앞단으로 통합된 피드백 정보를 실은 역방향 자원관리 셀을 전달할 조건에 따라 분류한다. 그리고, 각 분지점에서 피드백 정보를 통합 과정에서 발생될 수 있는 문제점들을 분석한다. 또한, 기존 피드백 통합 알고리즘들과 이들에 신속한 폭주 통지 기능을 추가한 알고리즘들을 소개하고 이들 간의 성능을 시뮬레이션을 통해 비교 분석한다. 마지막으로 결론을 맺는다.

## 2. 분지점 스위치에서 피드백 통합 알고리즘

분지점 스위치의 동작은 앞 단 스위치로부터 수신한 데이터 셀과 순방향 자원관리 셀을 각 가지로 복사하여

전달하는 기능과 여러 가지들로부터 도착한 역방향 자원관리 셀들의 피드백 정보를 통합하여 앞단으로 되돌려주는 기능으로 나눌 수 있다. 따라서, 분지점 스위치에서의 피드백 통합 알고리즘들은 수신원으로부터 되돌아오는 역방향 자원관리 셀이 신고 오는 피드백 정보를 저장하는 방법과 앞단으로 통합된 피드백 정보를 실은 역방향 자원관리 셀을 되돌리는 조건에 따라 표 1과 같이 분류할 수 있다.

먼저, Roberts 알고리즘은 분지점에서 순방향 자원관리 셀의 도착에 동기를 맞추어 역방향 자원관리 셀을 생성하여 그 동안 통합된 폭주 정보를 실어 앞단으로 전송하는 알고리즘이다 [3]. Tzeng 알고리즘에서는 최근에 역방향 자원관리 셀을 앞단으로 전달한 후 최소한 하나 이상의 가지로부터 역방향 자원관리 셀을 수신한 경우에 한하여, 순방향 자원관리 셀의 도착에 동기를 맞추어 통합된 폭주 정보를 실은 역방향 자원관리 셀을 생성시켜 앞 단 스위치로 전송한다 [4]. Roberts 알고리즘과 Tzeng 알고리즘에서는 분지점 스위치에서 역방향 자원관리 셀을 생성시켜야 하므로 구현이 복잡하다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 Ren 등은 점대 점 연결에서의 동일하게 수신원으로부터 되돌아오는 역방향 자원관리 셀들 중에서 하나를 앞단으로 되돌리는 두 가지 방식을 제안하였다 [5]. 먼저, Ren 알고리즘 I에서는 순방향 자원관리 셀을 수신한 후에 도착한 역방향 자원관리 셀에 그 동안의 통합된 폭주 정보를 실어 앞단으로 전달한다. Ren 알고리즘 II에서는 최근 역방향 자원관리 셀을 앞단으로 전달한 후 모든 가지로부터 역방향 자원관리 셀을 수신한 경우에 한하여 그 동안 통합된 폭주 정보를 실은 역방향 자원관리 셀을 앞단으로 되돌리도록 한다 [5].

표 1 피드백 통합 알고리즘의 분류

Feedback storing method	Per-VC	Most existing algorithms
	Per-branch for each multicast VC	Cho [6], Kim [7]
BRM cell returning condition	Wait for FRM	Roberts [3], Tzeng [4]
	Wait for BRM after FRM received	Ren algorithm I [5]
	Wait BRM from all branches	Ren algorithm II [5]
	Wait for BRM from the farthest destination	Cho [6], Kim [7]
	Fast overload indication	Jang [8], Fahmy [9], Moh [10]

그러나, 위에 설명한 기본적인 피드백 통합 알고리즘들은 분지점에서 역방향 자원관리 셀들을 통합 과정에서 통합 잡음, 통합 지연 그리고 통합 손실 등의 문제를 야기시킨다 [7]. 먼저, 통합 잡음은 송신원으로 전달된 역방향 자원관리 셀이 일부 가지들에 대해 부정확한 정보를 가지는 것을 의미한다. 그리고, 통합 지연은 분지점 스위치에서 폭주 정보를 전달하기 위해서 앞단으로부터 순방향 자원관리 셀의 도착을 기다려야 하거나 일부 가지들로부터 역방향 자원관리 셀의 도착을 기다려야 함으로써 발생하는 추가적인 지연을 의미한다. 마지막으로, 통합 손실은 분지점 스위치가 자신이 수신한 순방향 자원관리 셀 수만큼의 역방향 자원관리 셀을 앞단으로 전달하지 못하는 경우에 발생된다. 이러한 통합 문제점들로 인하여 멀티캐스트 VC의 경우, 송신원의 전송률이 진동하거나 반응속도가 늦어지거나 공평성이 떨어지는 현상이 발생될 수 있다 [6], [7].

이러한 통합 문제를 해결하기 위해 [7]에서는 다양한 방안들이 제시되었으며, 제시된 해결 방안들을 조합하여 새로운 피드백 통합 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘은 가지별로 폭주 정보를 별도로 저장하여 통합 잡음을 방지하였으며, 가장 먼 수신원으로부터 되돌아오는 역방향 자원관리 셀에 가지별로 저장되어 있는 폭주 정보를 통합하여 통합된 폭주 정보를 실어 송신원으로 전달함으로써 통합 손실을 방지하였다. 또한, 분지점 수에 관계없이 통합 지연을 멀티캐스트 트리 내의 가장 긴 왕복 지연 내로는 항상 제한시킬 수 있었다. 그러나, 이 알고리즘 역시 망에 심각한 폭주가 발생한 경우에도 가장 먼 수신원으로부터의 역방향 자원관리 셀 수신을 기다려야 하므로 폭주 상태를 신속히 해제할 수 없는 문제가 발생할 수 있다.

표 2 신속한 폭주 통지 기능이 추가된 피드백 통합 알고리즘

Algorithms	Jang [8]	Fahmy [9]	Moh [10]	Chen [11]
Basic consolidation algorithm	Roberts' algorithm	Ren's algorithm II	Ren's algorithm II	Ren's algorithm II
Overload condition detection	Last_ER, Dynamic threshold	Last_ER, Static threshold	Last_ER, Timer, Static hreshold	Last_ER, Probability, Static threshold

최근에 망에 심각한 폭주가 발생한 경우 폭주 정보를 송신원으로 신속히 통지할 수 있는 폭주 통지 방식에 대해서도 제안되고 있다 [8]-[11]. 표 2에는 지금까지

제안된 신속한 폭주 통지 기능이 추가된 알고리즘들의 특징을 나타내고 있다. 먼저, [8]에서는 Roberts 알고리즘에 신속한 폭주 통지 기능을 추가하였고, [9]에서 [11]까지는 Ren 알고리즘 II에 신속한 통지 기능을 추가한 것이다. 모든 알고리즘들은 가장 최근에 앞단에 전달된 명시율 (Explicit Rate: ER) 값인 Last\_ER 보다 적은 ER 값을 가지는 역방향 자원관리 셀을 수신하면 신속한 폭주 통지 기능을 수행할 수 있다. [9]에서는 고정 임계치를 사용하는 반면에 [8]에서는 부하 지수를 이용한 동적인 임계치와 역방향 자원관리 셀의 역방향 명시적 폭주 통지 (Backward Explicit Congestion Notification: BN) 비트를 사용한다. [10]과 [11]에서는 고정 임계치와 더불어 타이머와 확률 값을 각각 사용한다.

### 3. 고려된 피드백 통합 알고리즘

본 논문에서 성능 분석을 위해 고려된 알고리즘들의 특징들은 표 3에 나타나있다. 알고리즘 1과 2는 신속한 폭주 통지 기능이 추가되지 않은 기본적인 피드백 통합 알고리즘들이다. 알고리즘 1은 많은 논문에서 가장 대표적인 피드백 통합 알고리즘으로 고려되고 있는 Ren 알고리즘 II이고, 알고리즘 2는 저자들이 [7]을 통해 제안한 카운터 기반의 피드백 통합 알고리즘이다. 그리고, 알고리즘 3과 4는 각각 알고리즘 1과 2에 신속한 폭주 통지 기능을 추가한 방식들이다. 알고리즘 1과 2에 대한 자세한 의사코드는 [5]와 [7]을 각각 참고하기 바라며, 알고리즘 3과 4에 대한 의사코드는 그림 1과 2에 각각 나타나 있다. 알고리즘 1은 현재 ATM 포럼에서 ABR 멀티캐스트를 위한 샘플 분지점 스위치 알고리즘으로 소개되어 있다 [2].

알고리즘 1은 각 가지들로부터 전달된 피드백 정보를 멀티캐스트 가상 연결 (Virtual Connection: VC) 단위로 유지되는 변수에 통합하여 저장하고, 최근에 역방향 자원관리 셀을 송신원측으로 전달한 후 모든 가지로부터 역방향 자원관리 셀을 수신한 경우에 통합된 폭주정보를 앞단으로 전달한다. 알고리즘 2에서는 각 가지들로부터 전달된 최신 피드백 정보를 유지하기 위해 폭주 정보를 각 가지별로 별도로 유지되는 변수에 저장하고, 가장 먼 수신원으로부터 역방향 자원관리 셀을 수신한 경우에 각 가지별로 유지되고 있는 폭주 정보를 통합하여 앞단으로 전달한다. 반면에, 알고리즘 3과 4는 알고리즘 1과 2에서와는 달리 정상적인 역방향 자원관리 셀 전송 조건이 아니라라도 망에 심각한 폭주가 발생되었다고 판단되면 수신된 역방향 자원관리 셀을 즉시 앞단으로 전달할 수 있다. 본 논문에서는 가장 최근에 앞단

으로 전달된 ER 값 Last\_ER 보다 가지로부터 수신된 역방향 자원관리 셀의 ER 값이 임계치  $Td(=0.9)$ 배 보다 작으면 망에 심각한 폭주가 발생하였다고 판단하는 고정 임계치 방법을 사용한다 [9]-[12].

표 3 고려된 피드백 통합 알고리즘들의 특징

Algorithms	1	2	3	4
Feedback storing method	Per-VC	Per-branch for each multicast VC	Per-VC	Per-branch for each multicast VC
BRM cell returning condition	Wait for all feedback	Wait for BRM from the farthest destination	Algorithm 1 + fast overload indication	Algorithm 2 + fast overload indication
Comments	Ren's algorithm II [5]	Kim's algorithm[7]	Modified form Algorithm 1	Modified from Algorithm 2

```

On the receipt of an FRM(ER, CI, NI) cell:
    Multicast this FRM cell to all participating branches;
    Let XER=ER and XNI=NI;

On the receipt of a BRM(ER, CI, NI) cell from branch i:
    Let Send_Flag=0;
    Let Reset_Flag=1;
    Let M(i)=1 for branch i;
    Let MER=min(ER, MER), MCI=OR(CI, MCI), and MNI=OR(NI, MNI);
    IF M(j)=1 for all branches j THEN
        Let Send_Flag =1;
        Let M(j)=0 for all participating branches j;
    ELSE
        Let Reset_Flag=0;
    IF MER ≥ Last_ER AND Skip_Num>0 AND Send_Flag=1 THEN
        Let Skip_Num=Skip_Num-1;
        Let Send_Flag =0;
    IF MER<Td*Last_ER THEN /* Threshold Td=0.9 */
        IF Send_Flag=0 THEN
            Let Skip_Num=Skip_Num+1;
            Let Send_Flag =1;
    IF Send_Flag=1 THEN
        Let Last_ER=MER;
        Send this BRM (MER, MCI, MNI) cell back to the upstream;
    ELSE
        Discard this BRM cell;
    IF Reset_Flag=1 THEN
        Let MER=XER, MCI=0, and MNI=XNI;
    
```

그림 1 알고리즘 3에 대한 의사 코드

또한, 알고리즘 3과 4에서는 신속한 폭주 통지로 인해 역방향 자원관리 셀의 오버헤드가 증가되는 것을 방지하기 위해 멀티캐스트 VC 단위로 Skip\_Num이라는 카운터를 사용한다. 분지점 스위치에서는 정상적인 역방

향 자원관리 셀 전송 조건이 아니라 신속한 폭주 통지 기능에 의해 역방향 자원관리 셀을 앞단으로 전송한 경우에는 Skip\_Num 값을 1씩 증가시킨다. 반면에, 역방향 자원관리 셀 전송 조건을 만족시키면서 통합된 ER 값인 MER이 Last\_ER 값보다 크거나 같은 경우에, Skip\_Num 값이 영 이상이면 해당 역방향 자원관리 셀을 폐기시키고 Skip\_Num 카운터 값을 1 감소시킨다.

```

On the receipt of an FRM(ER, CI, NI) cell:
    Multicast this FRM cell to all participating branches;

On the receipt of a BRM(ER, CI, NI) cell from branch i:
    Let Send_Flag=0;
    Let MER(i)=ER, MCI(i)=CI, and MNI(i)=NI for branch i;
    Let CR(i)=CR(i)+1 for branch i;
    IF CR(j)>0 for all branches j THEN
        Set Send_Flag=1;
        Let CR(j)=CR(j)-1 for all participating branches j;
        Let MER=min(MER(j)), MCI=OR(MCI(j)), and MNI=OR(MNI(j))
        for all participating branches j;
    IF MER ≥ Last_ER AND Skip_Num>0 AND Send_Flag=1 THEN
        Let Skip_Num=Skip_Num-1;
        Reset Send_Flag=0;
    IF MER(i)<Td*Last_ER THEN /* Threshold Td=0.9 */
        IF Send_Flag=0 THEN
            Let Skip_Num=Skip_Num+1;
            Set Send_Flag=1;
        IF Send_Flag=1 THEN
            Let MER=min(MER(j)), MCI=OR(MCI(j)), and MNI=OR(MNI(j))
            for all participating branches j;
            Send this BRM (MER, MCI, MNI) cell back to the upstream;
            Let Last_ER=MER;
        ELSE
            Discard this BRM cell;
    
```

그림 2 알고리즘 4에 대한 의사 코드

#### 4. 시뮬레이션에 의한 성능 분석

점대 다중점 ABR 연결이 거쳐가는 분지점 스위치 수가 피드백 통합 알고리즘의 성능에 미치는 영향을 분석하기 위해 그림 3과 같은 망 모델을 고려한다. 이 모델에서 ABR 점대 다중점 송신원인 A는  $N$  개의 분지점 스위치를 거쳐가며, 분지점 스위치  $S_j$  과  $S_N$  사이의 링크 길이는  $N$ 에 관계없이 1,000 km로 항상 일정하다고 가정한다. 그리고, 스위치  $S_N$  과 수신원  $A_N$  사이의 거리가 3,000 km인 것을 제외하고는 송수신원과 스위치의 거리는 모두 1 km로 가정하였고, 스위치간의 거리는 그림 3에 나타나 있다. 또한, 링크 전송률은 155.52 Mbps로 설정하고, 전파 지연은 1 km 당 5  $\mu$ sec로 가정하였다. 이 모델은 피드백 통합 알고리즘이 분지점 수에 관계없이 확장 가능한 지를 검증하는 데 매우 유용

하다. 또한, 신속한 폭주 통지 기능을 가진 알고리즘들의 성능을 분석하는 데도 유용하게 사용될 수 있다.

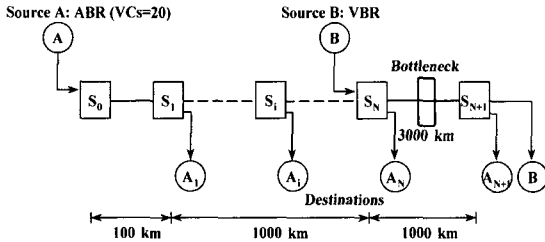


그림 3 망 모델

시뮬레이션에서는 ER 스위치로 ERICA 스위치를 고려하였으며, 목표 이용률은 90%로 설정하였다 [13]. 그리고, 가변비트를 (Variable Bit Rate: VBR) 트래픽을 동시에 고려하였으며, VBR 트래픽을 ABR 트래픽보다 우선적으로 전송하는 것으로 가정하였다. 그리고, ABR 송신원들은 지속 (persistent) 트래픽 모델로 가정하였다. VBR 트래픽원은 100ms 간격으로 고 (high) 상태와 저 (low) 상태를 반복하며, 고 상태일 때는 120 Mbps로 전송하고 저 상태일 때는 30 Mbps로 전송하도록 하였다. ABR 송신원 동작은 ATM 포럼의 트래픽 관리 (Traffic Management: TM) 규격 4.0을 기준으로 하였고 ABR 파라미터는 표 4와 같다.

4.1 성능 비교 분석

가. ACR 변화

그림 4에서는 분지점 스위치 수에 따른 송신원에서의 허용된 셀률 (Allowed Cell Rate: ACR) 변화를 나타낸 것이다. 망의 저부하시 ACR이 ramp-up 하는 데 걸리는 시간 면에서 알고리즘 1과 3은 통합 잠음과 통합 지연으로 인해 알고리즘 2와 4에 비해 매우 늦어짐을 볼 수 있다. 특히, 알고리즘 1과 3에서는 통합 지연이 분지점 수에 비례하여 증가함으로 인해 VBR 변동에 대한 ACR의 변동이 N=10인 경우가 N=2인 경우에 비해 훨씬 늦어짐을 볼 수 있다. 반면에, 알고리즘 2와 4는 분지점 수에 관계없이 통합 지연을 최대 왕복 지연시간 이내로 항상 제한시킬 수 있음으로써 VBR 변동에 훨씬 신속히 대처함을 볼 수 있다.

망의 과부하시 송신원의 ACR이 ramp-down 하는 데 걸리는 시간 면에서도 알고리즘 2가 알고리즘 1에 비해 훨씬 신속함을 볼 수 있다. 알고리즘 1에서는 통합 지연이 분지점 수에 비례하여 증가하기 때문에 반응 시간이 매우 늦어짐을 볼 수 있다. 반면에, 신속한 폭주 통지 기능이 추가된 알고리즘 3과 4는 알고리즘 1과 2

에 비해 VBR 변동에 신속히 대처함을 볼 수 있다. 신속한 폭주 통지 기능의 유용성은 초기상태의 송신원의 ACR의 ramp-down 시간을 비교함으로써 더욱 명확히 볼 수 있다. 특히, 알고리즘 2는 최초의 역방향 자원관리 셀을 받기 위해 가장 긴 왕복 지연 시간을 기다려야 하는 초기 상태를 제외하고는 신속한 폭주 통지 기능이 추가된 방식들과 거의 비슷한 성능을 보임을 알 수 있다.

표 4 ABR 파라미터 값

Parameter	Description	Value
PCR	Peak cell rate	155.52 Mbps
ICR	Initial cell rate	4 Mbps
MCR	Minimum cell rate	0.1 Mbps
Nrm	Number of cells between FRM cells	32
RIF	Rate increase factor	1
RDF	Rate decrease factor	1/32,768
CRM	Missing RM cell count	32
CDF	Cutoff decrease factor	1/16
ADTF	ACR decrease time factor	0.5 sec

나. 큐 길이 변화

그림 5에서는 분지점 스위치 SN에서의 큐 길이 변화를 나타낸 것이다. 알고리즘 1에서는 통합 지연으로 인해 큐 길이가 길어지는 반면에, 알고리즘 2에서는 알고리즘 1에 비해 큐 길이가 짧은 뿐만 아니라 분지점 개수에 거의 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 그리고, 알고리즘 3과 4에서는 망에 심각한 폭주 시에 신속한 폭주 통지 기능을 수행함으로써 최대 큐 길이가 분지점 개수에 관계없이 매우 짧음을 볼 수 있다. 특히, 이러한 현상은 송신원이 전송을 시작하는 초기 상태에서 더욱 명확히 관찰할 수 있다. 그리고, 초기 셀률 (Initial Cell rate: ICR)을 매우 높게 설정한 경우 알고리즘 1과 2에서는 첫 번째 역방향 자원관리 셀을 최대 왕복 전파 지연 시간 이후에 라야 수신할 수 있음으로 인해 최대 큐 길이가 매우 커짐을 볼 수 있었다. 또한, 알고리즘 2의 최대 큐 길이는 초기 상태를 제외하고는 신속한 폭주 통지 기능이 추가된 알고리즘 3과 4와 비슷하게 매우 짧음을 볼 수 있다.

다. 기타 성능

표 5에는 스위치 SN과 SN-1 사이의 링크 이용 효율을 비교한 것이다. 알고리즘 2가 다른 알고리즘들에 비해 높은 링크 이용 효율을 제공함을 볼 수 있다. 신속한

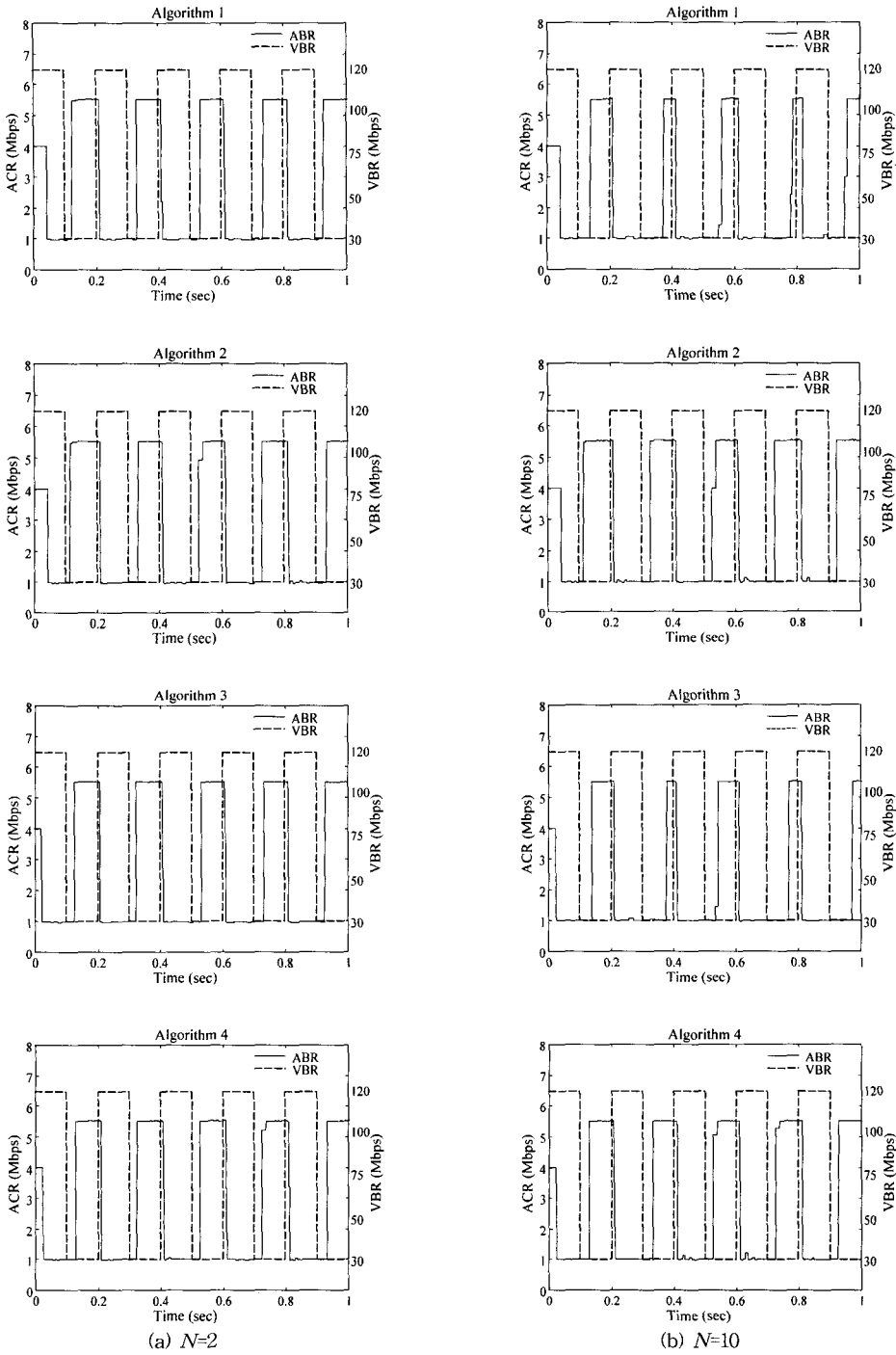


그림 4 분지점 개수  $N$ 에 따른 ACR의 변화

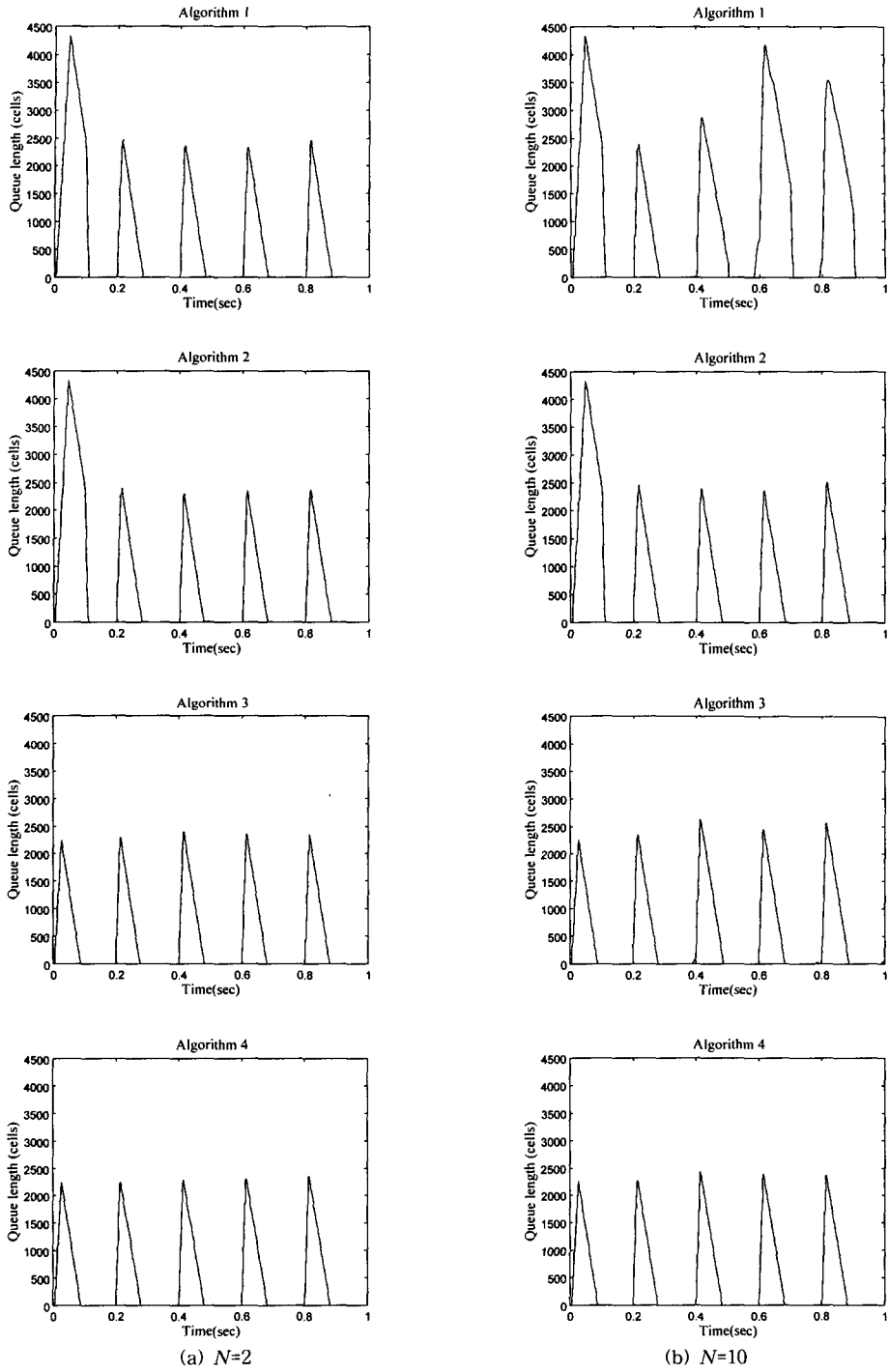


그림 5 분지점 개수  $N$ 에 따른 큐 길이 변화

폭주 통지 기능이 추가된 알고리즘 3과 4의 링크 이용 효율이 이러한 기능이 추가되지 않은 알고리즘 1과 2에 비해 각각 다소 떨어짐을 볼 수 있다. 그리고, 신속한 폭주 통지 기능이 추가된 알고리즘들 중에서는 알고리즘 4가 알고리즘 3에 비해 더 우수한 성능을 보임을 알 수 있다. 특히, 알고리즘 4는 신속한 폭주 통지 기능이 추가되지 않은 알고리즘 1보다도 오히려 더 우수한 성능을 보임을 알 수 있다. 또한, 알고리즘 1과 3은 통합 문제점들로 인해 점대 다중점 연결이 거처가는 분지점 수  $N$ 이 증가함에 따라 링크 이용 효율이 감소하는 반면에 알고리즘 2와 4는  $N$ 에 무관하게 일정하게 높은 성능을 제공함을 알 수 있다.

표 5 링크 이용 효율

N	Algorithms	1	2	3	4
	2		0.85	0.88	0.82
10		0.78	0.88	0.76	0.85

표 6 공평성 지수

N	Algorithms	1	2	3	4
	2		0.99	0.99	0.98
10		0.90	0.98	0.89	0.98

표 6에는 스위치  $S_N$ 과  $S_{N-1}$  사이의 폭주 링크에 대해 점대 다중점 VC들간의 대역폭 사용의 공평성을 비교한 것이다. 알고리즘 1과 3은 통합 문제점들로 인해 분지점 수가 증가됨에 따라 공평성이 매우 나빠짐을 볼 수 있다. 반면에, 알고리즘 2와 4가 높은 공평성 지수를 제공하며 분지점 개수  $N$ 에 무관하게 일정한 성능을 제공함을 알 수 있다.

표 7 송신원에서의 역방향 자원관리 셀 대 순방향 자원관리 셀의 비

N	Algorithms	1	2	3	4
	2		0.69	1	0.69
10		0.67	1	0.68	1

표 7에는 송신원에서의 역방향 자원관리 셀 대 순방향 자원관리 셀의 비를 나타내고 있다. 역방향 자원관리

셀 대 순방향 자원관리 셀의 비가 1보다 크면 역방향 자원관리 셀 오버헤드로 인해 망 이용 효율이 저하된다. 반면에, 통합 손실로 인해 역방향 자원관리 셀 대 순방향 자원관리 셀의 비가 1보다 작으면 망 정보가 송신원으로 전달될 빈도가 줄어들어 과도 상태 응답이 늦어지는 문제가 발생된다. 따라서, 송신원과 망 내에서의 역방향 자원관리 셀 대 순방향 자원관리 셀의 비는 점대 점 연결에서와 마찬가지로 1로 유지되는 것이 가장 바람직하다. 알고리즘 1과 3은 통합 손실로 인해 송신원에서의 역방향 자원관리 셀 대 순방향 자원관리 셀의 비가 1보다 매우 적음을 볼 수 있다. 반면에 알고리즘 2는 가장 먼 수신원으로부터 수신된 역방향 자원관리 셀들 모두를 송신원으로 되돌리기 때문에 통합 손실이 전혀 발생되지 않는다. 또한, 고려된 알고리즘 3과 4는 신속한 폭주 통지 기능으로 인해 발생하는 역방향 자원관리 셀의 오버헤드 증가를 제어함으로써 송신원에서의 역방향 자원관리 셀 대 순방향 자원관리 셀의 비가 기본적인 통합 알고리즘 1과 2에서와 거의 비슷하게 유지됨을 알 수 있다.

이상의 결과들로부터 신속한 폭주 통지 기능이 추가된 알고리즘들은 망에 심각한 폭주가 발생한 경우 폭주 상황을 송신원으로 신속히 전달함으로써 링크 이용 효율은 다소 낮아지나 최대 큐 길이를 크게 줄일 수 있음을 알 수 있었다. 그러나, 신속한 폭주 통지 기능은 망의 과부하시에만 동작하며 저부하시에는 기본적인 피드백 통합 알고리즘과 동일하게 동작하기 때문에 전반적인 성능이 기본적인 피드백 통합 알고리즘에 매우 의존적임을 알 수 있었다.

#### 4.2 결과 분석

표 8에서는 본 논문에서 고려한 피드백 통합 알고리즘들의 성능을 통합 잡음, 통합 지연, 통합 손실 관점에서 비교 분석하였다.

통합 잡음 관점에서는, 고려된 모든 알고리즘들에서는 일부 가지의 피드백 정보 손실로 인한 송신원의 ACR의 진동은 전혀 발생되지 않는다. 그러나, 알고리즘 1과 3에서는 분지점에서 역방향 자원관리 셀이 신고 온 정보를 VC단위로 통합하여 저장함으로써 최근 정보 유실로 인한 ACR의 ramp-up 시간이 지연되는 통합 잡음이 발생할 수 있었다. 반면에 알고리즘 2와 4에서는 각 가지마다 폭주 정보를 별도로 저장하고 있기 때문에 최신 정보 유실로 인한 ramp-up 지연 역시 전혀 발생되지 않음을 알 수 있었다.

통합 지연 관점에서, 먼저 망의 저부하시 ramp-up하는데 걸리는 시간 면에서 알고리즘 1과 3은 통합 지연



이 분지점 수에 비례하여 증가함으로 인해 ramp-up 하는 데 걸리는 시간이 알고리즘 2와 4에 비해 매우 늦어짐을 볼 수 있었다. 반면에, 알고리즘 2와 4에서는 분지점 수에 관계없이 통합 지연을 가장 먼 왕복 지연 시간 내로 항상 제한시킴으로써 알고리즘 1과 3에 비해 훨씬 신속히 ram-up 할 수 있음을 볼 수 있었다. 망의 과부하시 ramp down하는 데 걸리는 시간 면에서는, 신속한 폭주 통지 기능이 추가된 알고리즘 3과 4가 각 분지점에서 추가적인 통합 지연을 제거함으로써 알고리즘 1과 2에 비해 훨씬 신속히 폭주 정보를 전달할 수 있음을 볼 수 있었다. 알고리즘 1은 저부하시에와 마찬가지로 통합 지연이 분지점 수에 비례하여 증가하여 ramp-up 시간이 다른 방식에 비해 크게 지연되어 큐 길이가 다른 알고리즘들에 비해 매우 길어짐을 볼 수 있었다. 반면에, 알고리즘 2는 초기 상태를 제외하고는 신속한 폭주 통지 기능이 추가된 알고리즘들과 비슷한 반응 속도를 보임을 알 수 있었다.

표 8 피드백 통합 알고리즘의 성능 비교

Algorithms		1	2	3	4
Consolidation Noise	ACR oscillation	No	No	No	No
	Ramp-up delay	Yes	No	Yes	No
Accumulated Consolidation Delay	Underload condition	Proportional to # of levels	Bounded regardless of # of levels	Proportional to # of levels	Bounded regardless of # of levels
	Overload condition			No	No
Consolidation Loss		Yes (High)	No	Yes(High)	No

송신원에서의 역방향 자원관리 셀 대 순방향 자원관리 셀의 비는 점대 점 연결에서와 동일하게 통합 손실 없이 1로 유지되는 것이 가장 바람직하다. 알고리즘 1과 3에서는 통합 과정에서 역방향 자원관리 셀의 손실로 인해 송신원에서의 역방향 자원관리 셀 대 순방향 자원관리 셀의 비가 1보다 상당히 작아지는 경우가 발생할 수 있음을 알 수 있었다. 반면에, 알고리즘 2에서는 가장 먼 수신원로부터 되돌아오는 모든 역방향 자원관리 셀을 앞단으로 전달하여 통합 손실을 방지함으로써 송신원에서의 역방향 자원관리 셀 대 순방향 자원관리 셀의 비를 항상 1로 유지시킬 수 있음을 알 수 있었다. 알고리즘 4의 역방향 자원 관리 셀 대 순방향 자원 관리

셀의 비도 알고리즘 2에서와 마찬가지로 1로 유지됨을 볼 수 있었다.

이 밖에도, 구현상 복잡도의 관점에서 볼 때 알고리즘 2와 4는 역방향 자원관리 셀이 가지고 온 폭주 정보를 각 가지 별로 따로 저장해야 하므로 알고리즘 1과 3에 비해 각각 구현이 다소 복잡해진다. 그리고, 신속한 폭주 통지 기능이 추가된 알고리즘 3과 4는 임계치와 수신된 ER 값을 곱하는 과정 등이 필요하므로 알고리즘 1과 2에 비해 각각 구현이 더 복잡해지게 된다. 확장성 관점에서는 알고리즘 1과 3은 통합 지연이 분지점 수에 비례하여 증가하므로 확장성이 떨어지는 반면에, 알고리즘 2와 4는 통합 지연을 분지점 수에 관계없이 최대 왕복 지연시간 이내로 항상 제한시킴으로써 확장성이 매우 우수하다. 또한, 알고리즘 2와 4는 효율면에서도 알고리즘 1과 3에 비해 매우 우수한 성능을 보인다. 공평성 관점에서도, 알고리즘 1과 2는 통합 지연과 통합 손실로 인하여 공평성이 매우 낮아지는 반면에, 알고리즘 2와 4는 거처가는 분지점 수에 관계없이 매우 우수한 공평성을 보인다.

## 5. 결론

ATM 망을 통하여 멀티미디어 그룹 통신을 효과적으로 제공하기 위해서 점대 다중점 연결의 분지점 스위치에서의 역방향 자원관리 셀 통합 알고리즘에 대한 연구가 매우 중요하다. 본 논문에서는 기존에 제안된 기본적인 피드백 통합 알고리즘들과 이들에 신속한 폭주 통지 기능을 추가한 알고리즘들 간의 성능을 시뮬레이션을 통해 비교 분석하였다.

분석 결과, 신속한 폭주 통지 기능은 망에 심각한 폭주가 발생한 경우에 매우 효과적으로 사용될 수 있음을 알 수 있었다. 특히, ICR이 높게 설정된 경우에 발생할 수 있는 초기 상태에서의 큐 길이를 크게 줄일 수 있음을 알 수 있었다. 그러나, 신속한 폭주 통지 기능으로 인해 링크 이용 효율은 다소 떨어지며, 이러한 기능은 망의 과부하시에만 동작하므로 저부하시에는 기본적인 피드백 통합 알고리즘에서와 동일하게 동작함을 알 수 있었다. 따라서, 신속한 폭주 통지 기능이 추가된 알고리즘의 전반적인 성능은 기본적인 피드백 통합 알고리즘에 매우 의존적임을 알 수 있었다.

향후, ATM 망을 통하여 ABR 멀티캐스트 서비스를 효율적으로 제공하기 위해서는 신속한 폭주 통지 기능 개발과 더불어 기본적인 피드백 통합 알고리즘 개발에 관한 연구가 계속되어야 할 것이다. 또한, 반응 없는 가

지를 구별하고 제거하는 방법과 통합 알고리즘들간의 상호운용성 검증 역시 추후 연구 분야로 남아 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] The ATM Forum, "The ATM forum traffic management specification version 4.0," *ATM Forum qf-tm-0056.000*, Apr. 1996.
- [2] J. B. Kenney, "Draft TM 4.1 Traffic Management Specification," *ATM Forum/BTD-TM-02.02*, Dec. 1998.
- [3] L. Roberts, "Rate based algorithm for point to multipoint ABR service," *ATM Forum/94-0772R1*, Nov. 1994.
- [4] H-Y. Tzeng and K-Y. Siu, "On max-min fair congestion control for multicast ABR service in ATM," *JSAC*, Vol. 15, No. 3, pp. 545-555, Apr. 1997.
- [5] W. Ren, K-Y Siu, and H. Suzuki, "On the performance of congestion control algorithms for multicast ABR service in ATM," *In Proc. of IEEE ATM'96*, Aug. 1996.
- [6] Y-Z. Cho, S-M. Lee, and M-Y. Lee, "An efficient rate-based algorithm for point-to-multipoint ABR service," *In Proc. of IEEE GLOBECOM'97*, pp. 790-795, Dec. 1997.
- [7] D-H. Kim, Y-Z. Cho, Y-Y. An, and Y. Kwon, "Comparison of consolidation algorithms for point-to-multipoint ABR services," *ATM Forum/98-0525*, July 1998.
- [8] 장원석, 조유제, 이명용, "ATM망에서 일대 다중점 ABR 흐름제어를 위한 분지점 스위치 동작 방식의 성능 분석", 한국정보과학회 추계 학술대회, pp. 977-980, 1996년 10월.
- [9] S. Fahmy, R. Jain, R. Goyal, B. Vandalore, S. Kalyanaraman, S. Kota, and P. Samudra, "Feedback consolidation algorithms for ABR point-to-multipoint connections," *In Proc. of IEEE INFOCOM'98*, pp. 1004-1013, Apr. 1998.
- [10] W. M. Moh, "On multicasting ABR protocols for wireless ATM networks," *In Proc. of the IEEE Int. Conference on Network Protocols (ICNP)*, pp. 24-31, Oct. 1997.
- [11] H-S. Chen and K. Nahrstedt, "Feedback consolidation and timeout algorithms for point-to-multipoint ABR service," To be appeared in *Proc. of IEEE ICC'99*, pp. 135-140, June 1999.
- [12] 김동호, 조유제, 안윤영, "멀티캐스트 ABR 서비스를 위한 분지점 스위치 알고리즘의 성능 분석", 한국정보과학회 춘계 학술대회, pp. 470-472, 1998년 4월.
- [13] R. Jain, S. Kalyanaraman, R. Goyal, S. Fahmy, and F. Lu, "ERICA+: Extensions to the ERICA switch algorithm," *ATM Forum/95-1346*, Oct. 1995.



김 동 호

1992년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1994년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1999년 8월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1999년 7월 ~ 현재 한국전자통신연구원 네트워크장비시험센터 선임연구원. 관심분야는 ATM 트래픽 제어 및 성능시험, 이동통신망, 차세대 인터넷



김 명 철

1995년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1997년 2월 경북대학교 전자공학과(공학석사). 1997년 3월 ~ 현재 경북대학교 전자전기공학부 박사과정. 관심분야는 ATM 트래픽 제어, 차세대 인터넷 통신



조 유 제

1982년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1983년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사). 1988년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사). 1989년 3월 ~ 현재 경북대학교 전자전기공학부 부교수. 1992년 8월 ~ 1994년 1월 Univ. of Toronto, 객원교수. 관심분야는 ATM 트래픽 제어, 차세대 이동통신망, 멀티미디어 통신



권 율

1978년 서강대 전자공학과 졸업(공학사). 1993년 부산대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 현재 한국전자통신연구원 책임연구원. 관심분야는 ATM 트래픽 제어, 신경 회로망.