

## ATM 망에서 CT 서비스를 위한 버퍼 할당 방식의 성능 분석

°김 병 철\*, 조 유 제\*, 안 윤 영\*\*, 권 율\*\*  
 \*경북대학교 전자전기공학부, \*\*한국전자통신연구원  
 E-mail: bckim@palgong.kyungpook.ac.kr

Performance Analysis of Buffer Allocation Schemes  
for Controlled Transfer Service in ATM Networks

°Byung-Chul Kim \*, You-Ze Cho \*, Yoon-Young An \*\*, Yul Kwon \*\*  
 \*School of Electronic and Electrical Engineering, Kyungpook National University, \*\*ETRI

## 요 약

Controlled transfer (CT) capability, a new ATM transfer capability (ATC) for high-speed data applications which using credit-based flow control, has recently been proposed and studied in ITU-T. In this paper, we review the existing dynamic buffer allocation schemes and propose an improved scheme. Also, we compare the performances of the existing buffer allocation methods such as static allocation, flow controlled virtual channels (FCVC), and zero queueing flow control (ZQFC) with the proposed method through simulation. Simulation results show that the proposed scheme exhibits a better performance than the existing schemes in terms of throughput, fairness, queue length and link utilization.

## 1. 서론

현재 ITU-T에서는 ATM 계층 전달 능력 (ATM layer Transfer Capability : ATC)을 DBR (Deterministic Bit Rate), SBR (Statistical Bit Rate), ABR (Available Bit Rate) 및 ABT (ATM Block Transfer)로 분류하고 있다 [1]. 이 중에서 고속 데이터 응용을 위해서는 ABT와 ABR이 고려되고 있으며, 최근에는 새로운 ATC로 GFR (Guaranteed Frame Rate) 및 CT(Controlled Transfer)가 제안되어 논의되고 있다 [2].

CT 서비스는 이전에 ABR 서비스를 위해 고려되었던 크레딧 기반 흐름 제어 방식을 사용하여 폭주로 인한 데이터 셀의 손실을 방지하기 위한 ATM 계층 서비스이다 [2]. 그러나, 크레딧 기반의 흐름 제어를 사용할 경우에는 VC 단위의 큐잉이 필요할 뿐 아니라 링크 효율의 향상을 위해서 각 VC 단위로 할당되어야 할 버퍼의 크기가 링크 대역폭과 거리에 비례하여 커지는 단점이 있다. 본 논문에서는 우선 CT 서비스의 흐름 제어의 동작과 스위치의 버퍼 요구량을 줄일 수 있는 기존의 대표적인 동적 버퍼 할당 방식을 살펴 보고, 기존 방식의 문제점 분석을 통하여 성능을 개선한 방식을 제안한다. 그리고, 시뮬레이션을 통하여 각 방식들의 성능을 분석한다.

## 2. CT 서비스의 흐름 제어

CT 서비스는 홉 단위로 셀의 전송을 제어하는 크레딧 기

반의 흐름 제어를 사용한다. CT 서비스의 흐름 제어에서 송신 노드는 피드백을 통하여 수신 노드에 셀을 저장할 버퍼가 있다는 통지를 받아야만 셀을 전송할 수 있다. 그리고, 수신 노드는 다음 단으로 셀을 전송하고 BSU (Buffer State Update) RM 셀을 이용하여 송신 노드로 사용 가능한 버퍼 상태를 주기적으로 알려 준다. 송신 노드에서는 링크 상에서의 오류로 발생하는 셀 손실에 의한 흐름 제어의 오류를 막기 위하여 주기적으로 데이터 셀 사이에 BSC (Buffer State Check) RM 셀을 삽입하여 전송한다. 이때 흐름 제어는 크게 VP 레벨의 흐름 제어와 VC 레벨의 확장 흐름 제어로 나뉘어진다. 현재 VP 레벨 흐름 제어를 기본적으로 사용하고 VC 레벨 확장 흐름 제어는 선택적으로 사용하도록 하고 있다. VC 레벨 확장 흐름 제어까지 적용할 경우에 송신 노드에서는 아래의 두 식이 만족하는 경우에만 셀 전송이 이루어지도록 하여 폭주로 인한 수신 노드에서의 셀 손실을 방지할 수 있다.

$$(Tx\_Counter[VPI]-BSU\_Fwd\_Count[VPI]) \leq Limit_{VP}[VPI] \quad (1)$$

$$(Tx\_Counter[VCI]-BSU\_Fwd\_Count[VCI]) \leq Limit_{VC}[VCI] \quad (2)$$

위 식에서  $Tx\_Counter$ 는 송신 노드의 VP/VC 별 전송 셀 수의 카운터이고,  $BSU\_Fwd\_Count$ 는 가장 최근에 수신한 BSU RM 셀에 포함된 수신 노드에서 각 VP/VC가 다음 단으로 전송할 셀 수를 저장하는 변수이다. 그리고,  $Limit$ 는 VP/VC 별로 할당된 초기 크레딧 값으로 수신 노드에서 수신하였으나 아직 다음 단으로 전송하지 않은 셀의 수와 링크 상에 전송 중인 셀 수의 합의 상한 값이 되며, 수신 노드에서 VP/VC 단위로 할당되어야 할 버퍼 크기이다. 이는 VC의 연결 설정이나 전송 중에 BSL (Buffer State Limit) RM 셀을 전송하여 송신 노드 간에 협상할 수 있다.

$Limit_{VC}$ 는 VC 레벨의 흐름 제어에서 송신 노드가 BSU RM 셀을 수신하여 수신 노드의 전송 상태를 갱신하지 않고 전송할 수 있는 최대 데이터 셀 수를 나타내는 송신 노드의 초기 크레딧 값이다. 송신 노드에서 셀 전송 시작 이후에 최소한  $RTT + (N2_{VC} \cdot N4)/BW$  시간이 지나서야 BSU RM 셀을 수신할 수 있으므로 송신 노드의 평균 전송률  $R$ 은 다음과 같이 제한된다. 이때,  $N2_{VC}$ 와  $N4$ 는 BSU RM 셀의 전송 주기를 결정하는 파라미터이다.

$$R = \max \left( \frac{Limit_{VC}}{RTT + (N2_{VC} \cdot N4)/BW}, BW \right) \quad (3)$$

따라서, 충분한 크기의 버퍼를 할당해 주지 않을 경우에 링

† 본 연구는 한국전자통신연구원의 지원에 의해 수행된 결과의 일부임.

크의 가용 대역폭을 충분히 활용하지 못하여 링크 이용 효율의 저하가 발생할 수 있으므로, 링크의 대역폭을 최대한 활용할 수 있도록 고정 할당 방식의 경우에  $Limit_{VC}$ 는 다음과 같이 설정되어야 한다.

$$Limit_{VC} \geq BW \cdot RTT + N_{2VC} \cdot N_4 \quad (4)$$

그리고, 수신 노드에서도 셀 손실을 막기 위해  $Limit_{VC}$ 만큼의 버퍼가 할당되어야 한다. CT 서비스에서는 VP 레벨 흐름 제어와 VC 레벨 확장 흐름 제어를 동시에 사용함으로써, 기존 크레딧 기반 흐름 제어방식의 문제점으로 지적된 스위치에서의 과도한 버퍼 요구량을 줄이면서 폭주로 인한 셀 손실을 막을 수 있다. 그러나,  $Limit_{VP}$ 를 작게 설정하여 VP의 가용 버퍼가  $RTT$  이하로 줄어들 경우 링크 효율의 저하와 함께 VC 들 사이의 공평성 저하가 발생할 수 있다 [3].

### 3. CT 흐름 제어에서의 동적 버퍼 할당 방식

스위치의 버퍼 요구량을 줄이고 VP 레벨 흐름 제어 사용시 VP에 할당되는 버퍼의 크기가 작을 경우에 발생할 수 있는 문제점을 해결하기 위해서 VC에 할당되는 버퍼 크기를 망 상황에 따라 동적으로 조정하는 동적 버퍼 할당 방식을 사용할 수 있다. 본 장에서는 기존의 대표적인 동적 버퍼 할당 방식들을 살펴 보고 기존 방식들에서 나타날 수 있는 문제점을 분석하여 개선 방안을 제안한다.

#### 3.1 FCVC의 동적 버퍼 할당 방식

Harvard 대학의 Kung 교수에 의해 제안되어 ATM 포럼에서 크레딧 기반 ABR 서비스의 흐름 제어 방식으로 논의되던 FCVC 방식에서는 정적으로 각 VC에 버퍼를 할당할 경우에 발생하는 버퍼 크기의 증가를 해결하기 위해 다음과 같은 동적 버퍼 할당 방안을 제안하였다 [4]-[6]. FCVC에 포함된 동적 버퍼 할당 방식의 기본적인 개념은 현재 전송률이 높은 VC에 많은 버퍼를 할당한다는 것이다. 즉, 크레딧 기반 흐름 제어에서 각 VC의 대역폭은 식 (3)와 같이 제한을 받게 되므로, 현재 전송할 데이터가 많은 VC의 경우에 많은 버퍼를 할당하여 대역폭을 많이 할당하고, 전송할 데이터가 적은 VC의 경우에는 그에 따라서 할당된 버퍼량을 줄이도록 하였다. 구체적인 버퍼의 동적 할당 방식을 살펴 보면 다음과 같다. 수신 노드에서는 식 (5)에 나타난 것과 같이 링크의 매 RTT 시간마다 각 VC의 상대적 대역폭 사용량에 따라 버퍼 할당량을 갱신한다.

$$Buf\_Alloc = \left( \frac{M}{2} - TQ - N \right) \cdot \frac{VU}{TU} \quad (5)$$

이때, 상대적 대역폭 사용량은 각 VC가 다음 노드로 전송할 셀 수인 VU와 동일 버퍼 영역을 사용하는 VC들이 다음 노드로 전송할 셀 수인 TU의 비를 계산함으로써 구한다. 그리고, 식 (5)에서 M은 할당된 전체 버퍼량이고, TQ는 각 VC의 큐 길이의 합을 나타내며, N은 VC의 수를 나타낸다. 그러나, 할당된 전체 버퍼량 M과 현재 버퍼 점유량 TQ가 다음 식을 만족하지 않을 경우에는 VC의 평균 전송률이 fair share에 수렴하지 않는 문제점이 발생한다 [6].

$$M \geq 4 * RTT + 2 * N \quad (6)$$

$$TQ < 2 * RTT / 3 \quad (7)$$

### 3.2 ZQFC 방식

ZQFC (Zero Queuing Flow Control) 방식은 Harvard 대학의 Kung 교수가 이전에 자신이 제안한 FCVC에 적용되었던 동적 버퍼 할당 방식의 단점을 개선하여 QFC (Quantum Flow Control)에 적용할 수 있도록 최근에 제안한 방식이다 [3],[7]. ZQFC를 이용할 경우에 정상 상태에서 수신 노드의 큐 길이는 거의 0을 유지한다. 이에 따라 큐 길이의 증가로 나타날 수 있는 수율과 링크 이용 효율의 감소를 막을 수 있다.

QFC는 크레딧 기반의 흐름 제어를 수행하는데, 이때 VC 단위의 흐름 제어와 동일 버퍼 영역을 사용하는 VC 들을 그룹으로 묶은 그룹 단위의 흐름 제어를 동시에 수행한다. 그룹 단위의 흐름 제어를 사용함으로써 셀 손실을 방지하고 효율적으로 수신 노드의 버퍼 영역을 사용할 수 있지만, 각 VC가 필요한 버퍼 영역이 부족할 경우에는 VC 들 사이의 대역폭 사용의 공평성이 저하될 수 있다. 그리고, 수신 노드의 가용 버퍼량이 RTT 이하가 될 때는 링크의 가용 대역폭을 모두 사용할 수 없는 Hot-Spot 문제가 발생하여 링크 이용 효율의 저하가 발생한다 [3]. 따라서, 정상 상태에서 큐 길이를 거의 0으로 유지시키는 ZQFC를 사용할 경우에 가용 버퍼가 충분히 남게 되어 이와 같은 문제점을 해결할 수 있다. ZQFC는 다음과 같은 과정을 통하여 버퍼 할당량을 조정한다.

- ① 공유 버퍼의 가용 버퍼량이 RTT 이하로 줄어들면 큐 길이가 임계치  $Q_H$ 를 초과한 VC의 버퍼 할당량을 줄인다.
- ② VC의 큐 길이가 감소하여 고갈되거나 미리 정한 임계치  $Q_L$  이하로 떨어지면 해당 VC의 할당 버퍼량을 최대 RTT까지 증가시킨다.

앞에서 설명된 버퍼 할당은 수신 노드측에서 주기적으로 각 VC의 큐 길이를 검사하여 수행하고 송신 노드 측으로 BSL 메시지를 전달함으로써 이루어진다. 그리고, 버퍼 할당량의 증가 시에는 기존 할당량에 1.01을 곱하여 증가시키고, 감소 시에는 0.5에서 1 사이의 값을 곱하여 감소시키도록 하고 있다.

### 3.3 기존 동적 버퍼 할당 방식의 분석 및 개선 방안

본 절에서는 앞에서 설명된 두 가지 기존 동적 버퍼 할당 알고리즘을 적용할 경우에 발생할 수 있는 문제점을 분석하고 이의 개선 방안을 제안한다.

우선 FCVC에 적용된 동적 버퍼 할당 방식에서 나타날 수 있는 문제점은 다음과 같다. FCVC 방식은 각 VC에 할당되는 버퍼량을 VC의 대역폭 사용량에 비례하게 할당하는 방식이므로 전송률이 낮거나 idle한 VC가 전송률을 증가시키고자 할 경우에 빠르게 ramp-up이 이루어지지 못하고 몇 번의 RTT이 소요되는 문제점이 있다. 그리고, 전체 버퍼 영역의 크기에 관한 조건인 식 (6)과 (7)이 만족되지 않을 경우에는 fair share에 VC의 사용 대역폭이 접근하지 않을 수 있고, 버퍼 할당 과정에서 VC 간의 대역폭 사용의 공평성 저하가 발생할 수 있다. 그리고, ZQFC가 제안되면서 지적된 Hot-Spot 문제가 발생할 수 있다.

다음으로 ZQFC 방식의 경우에 큐 길이를 이용하여 버퍼 할당량을 계산하기 때문에 각 VC의 사용 대역폭을 측정하여야 하는 FCVC 방식에 비해 구현이 용이하다. 그리고, idle

한 VC의 경우 큐 길이가 0이 되어 큰 버퍼 크기를 할당받아 전송률을 빠르게 증가시킬 수 있으며, Hop-Spot 문제를 해결할 수 있는 등 FCVC 방식에서 발생할 수 있는 문제점을 대부분 해결할 수 있다. 그러나, ZQFC 방식에서는 VC에 할당된 버퍼량을 증감시킬 때 기존 할당량에 고정된 값을 곱하여 증감시킴으로써 인하여 링크의 거리가 짧은 VC가 거리가 긴 VC에 비해 버퍼 할당량을 빠르게 증가시켜 공유 VP 버퍼를 우선적으로 점유하여 사용함으로써 VC 간의 대역폭 사용의 공평성 저하가 발생할 수 있다.

ZQFC 방식에서 발생할 수 있는 VC 간의 공평성 저하는 다음 식과 같이 링크의 길이가 고려된 버퍼 할당량의 증감을 인자 사용하여 해결할 수 있다.

$$Limit_{VC\_new} = Limit_{VC\_old} + Link\_RTT * \alpha \quad (8)$$

즉, 링크의 길이가 긴 경우에 더 큰 인자를 사용하여 보다 빠르게 할당 버퍼량을 증가시킴으로써 짧은 길이의 링크의 증가율과 비슷한 증가율을 유지하도록 한다. 식 (9)에서  $\alpha$ 는 링크 RTT의 얼마 정도를 증가에 고려할지를 결정하는 파라미터로 다음 절에서 수행한 시뮬레이션에서는 0.1로 설정하여 사용하였다. 그리고, 가용 버퍼량이 RTT이하인 경우에 큐 길이가  $Q_H$  이상인 VC와 큐 길이가  $Q_H$ 와  $Q_L$  사이일 경우에 큐 길이가 증가 추세에 있는 VC에 대해 버퍼 할당량을 감소시킴으로써 망 상황의 변화에 보다 빠르게 대응할 수 있도록 하였다.

#### 4. 시뮬레이션 환경

본 논문에서 동적 버퍼 할당 방식의 성능을 분석하기 위해 시뮬레이션에 사용된 망 모델은 그림 1에 나타난 것과 같다. 시뮬레이션에 사용된 모델에서 송수신원과 스위치 사이의 거리는 1 km로 구성하였고, 각 스위치 사이의 거리는 MAN 환경을 고려하여 100 km로 구성하였다. 그리고, 링크의 전송 속도는 150 Mbps로 설정하였고, 링크의 전파 지연 시간은 1 km 당 5  $\mu$ sec로 가정하였다. 송수신원은 크래딧을 가지면 언제나 전송할 셀을 가지는 infinite greedy source로 가정하였다.

ON/OFF VBR 트래픽을 background로 사용하여 링크의 대역폭이 동적으로 변화하는 상황에서의 성능을 분석하였다. 이때 사용된 ON/OFF 트래픽은 시뮬레이션 기간 동안 ON/OFF 기간을 각각 100 msec 하고 ON 기간 동안의 전송률은 100 Mbps가 되도록 하였다. 그리고, CT의 흐름 제어에 사용되는 파라미터는 표 1과 같이 설정하였다. 이때 VP에 할당되는 버퍼 크기는 링크의 RTT보다 약간 크게 설정하여 전체 버퍼 크기가 작게 할당될 경우에 발생할 수 있는 문제점을 분석할 수 있도록 하였다.

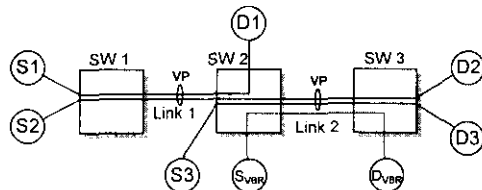


그림 1. 시뮬레이션 망 모델

표 1. 시뮬레이션에 사용된 CT 파라미터

$N4$	$N2_{VP}$	$N2_{VP}$	$Limit_{VC}$ (고정 할당 방식)	$Limit_{VP}$
7	3	15	50 (1 km), 400 (100 km)	600

#### 5. 시뮬레이션 결과 및 분석

그림 2에서는 시뮬레이션 망 환경에서 폭주 스위치가 될 수 있는 스위치 2의 큐 길이를 나타내었다. 이때 VP1은 스위치 1에서 스위치 2로 전송되는 VC1과 VC2의 큐 길이의 합이고, VP2는 송신원에서 스위치 2로 전송되는 VC3의 큐 길이이다. 고정 할당 방식을 사용한 경우의 결과에서 링크의 거리가 긴 VP1의 큐 길이가 초기에 할당된  $Limit_{VC}$  이하의 큐 길이를 유지하지만 동적 할당 방식을 사용한 경우들에 비해 크게 유지됨을 알 수 있다. 따라서, 고정 할당 방식을 사용한 경우에 Hop-Spot 문제의 영향을 가장 크게 받을 것을 예상할 수 있다. 동적 할당 방식을 사용한 경우의 결과에서는 정상 상태의 큐 길이가 작게 유지됨을 확인할 수 있다. 그러나, FCVC 방식의 경우에는 식 (6)을 만족한 만큼의 VP 버퍼가 할당되어 있지 않기 때문에 각 VC는 전송률을 fair share까지 증가시키지 못하여 큐 길이가 작게 유지된다.

그림 3에서는 버퍼 할당 방식에 따라 수신원에서 수신한 셀 수의 변화를 비교하였다. 이상적으로 동작하는 경우 시뮬레이션이 끝나는 0.5초에 VC2와 VC3의 수신된 셀 수의 한 셀 수는 60000 셀 정도가 되어야 하고, VC1의 수신된 셀 수는 120000 셀 정도가 되어야 한다.

우선 고정 할당 방식을 사용한 경우에는 스위치 2의 버퍼에 링크 RTT만큼의 가용 버퍼가 남아 있지 않기 때문에 Hot-Spot 문제가 발생하여 VC1은 남아 있는 가용 대역폭을 이용하지 못하는 수율의 저하가 발생한다. FCVC의 동적 버퍼 할당 방식을 사용한 경우의 결과에서는 스위치 2의 VP 버퍼가 식 (7)을 만족한 만큼 확보되어 있지 않기 때문에 모든 VC의 전송률이 fair share로 수렴하지 못하여 전체적인 수율이 감소됨을 확인할 수 있다. 그러나, 고정 할당 방식과는 달리 VC1과 VC2 및 VC3 사이에는 수신한 셀 수의 비가 이상적인 경우와 비슷한 추세를 보인다. 그리고, FCVC 방식을 사용한 경우에 링크의 거리가 긴 VC2가 VC3에 비해 낮은 수율을 보여 VC들 간에 공평성의 저하가 발생함을 알 수 있다.

ZQFC 방식의 결과에서는 스위치에서 작은 큐 길이를 유지하여 Hot-Spot 문제의 영향을 받지 않아 높은 수율을 보임을 알 수 있다. 그러나, VC2와 VC3 사이에 공평성의 저하가 아주 심하게 나타남을 볼 수 있다. 이는 버퍼 할당량의 증가 시에 링크의 거리와는 무관하게 일정한 값 만큼을 증가시키기 때문에 링크의 거리가 짧은 VC3가 VC2에 비해 빠르게 증가시켜 VC2의 버퍼 할당량을 증가시킬 수 없도록 하기 때문이다. 다음으로, 링크의 RTT를 고려하여 버퍼 할당량의 증가분을 결정하도록 ZQFC 방식을 개선한 방식의 경우에 높은 수율을 보이면서도 VC들 간의 공평성을 크게 개선하여 이상적인 경우의 결과와 거의 일치한다.

표 2에서는 VC들 간의 대역 사용의 공평성을 비교하기 위하여 공평성 지수를 나타내었다 [8]. ZQFC 방식의 경우가 가장 공평성이 저하됨을 알 수 있고, 고정 할당 방식과 FCVC 방식은 전체적인 수율의 감소로 인하여 공평성 지수 면에서 ZQFC 방식에 비해서는 우수하게 나타났다. 그리고, ZQFC 방식에서 링크의 RTT를 고려하여 공평성을 개선한

방식의 경우에 공평성 지수면에서 가장 우수한 성능을 보임을 알 수 있었다.

표 2. 공평성 지수의 비교

Static Allocation Method	FCVC	ZQFC	Proposed Method
0.9268	0.9780	0.8731	0.9934

표 3에서는 시뮬레이션 기간 동안의 평균 링크 이용 효율을 나타내었다. 우선 고정 할당 방식의 경우에 VBR 트래픽이 ON 상태가 될 때 Hot-Spot 문제가 발생하여 VC1이 가용 대역폭을 제대로 이용하지 못하기 때문에 링크 1의 링크 이용 효율이 저하됨을 확인할 수 있다. FCVC 방식의 경우에는 VP에 할당되어야 할 버퍼가 충분하지 못하여 각 VC가 fair share 까지 평균 전송률을 증가시키지 못하여 링크 이용 효율의 저하가 크게 나타남을 알 수 있다. 마지막으로, ZQFC 방식과 이를 개선한 방식의 경우에는 Hot-Spot 문제를 해결하여 링크 이용효율 면에서 아주 우수한 성능을 보임을 알 수 있다.

표 3. 평균 링크 이용 효율

	Static Allocation method	FCVC	ZQFC	Proposed method
Link 1	0.6023	0.5340	0.9934	0.9875
Link 2	0.9980	0.7934	0.9972	0.9948

4. 결론

본 논문에서는 크래딧 기반의 흐름 제어를 사용하는 CT 서비스에서 필요한 버퍼 요구량을 줄이기 위해서 적용될 수 있는 기존의 동적 버퍼 할당 방식을 살펴 보았다. 그리고, 기존 ZQFC 방식에서 나타날 수 있는 VC 간의 공평성 저하를 개선할 수 있는 방안을 제안하였다. 또한 시뮬레이션을 통하여 이들 방식간의 성능을 분석하였다.

시뮬레이션 결과 스위치에서 VP 레벨의 버퍼가 충분히 할당되지 않았을 경우에 고정 할당 방식을 이용하면 Hot-

Spot 문제가 발생하여 수율의 저하가 발생할 수 있었다. 그리고, FCVC 방식의 경우에는 충분한 VP 버퍼가 할당되지 않는다면 VC의 평균 전송률이 fair share로 접근하지 못하여 수율의 저하가 발생할 수 있었다. ZQFC 방식의 경우에는 아주 작은 VP 버퍼만으로도 정상 상태에서 큐 길이를 작게 유지하여 Hot-Spot 문제를 해결할 수 있었으나, 서로 다른 거리를 가진 VC들 사이에 공평성이 크게 저하됨을 알 수 있었다. 마지막으로, ZQFC 방식에서 링크의 RTT를 고려하여 공평성을 개선시킨 제안된 방식의 경우에 전체적인 수율, 링크 이용 효율, VC들간의 공평성 면에서 가장 우수한 성능을 보임을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] ITU-T Recommendation 1.371, *Traffic Control and Congestion Control in B-ISDN*, May 1996.
- [2] ITU-T 1.371 Living List, Sep. 1997.
- [3] H. T. Kung and S. Y. Wang, "Zero Queuing Flow Control and Applications," *INFOCOM '98*, Apr. 1998.
- [4] H. T. Kung, T. Blackwell, and A. Chapman, "Credit-Based Flow Control for ATM Networks: Credit Update Protocol, Adaptive Credit Allocation, and Statistical Multiplexing," *ACM SIGCOMM '94*, Sep. 1994.
- [5] H. T. Kung and K. Chang, "Receiver-Oriented Adaptive Buffer Allocation in Credit-Based Flow Control for ATM Networks," *INFOCOM '95*, Apr. 1995.
- [6] H. T. Kung and R. Morris, "Credit-Based Flow Control for ATM Networks," *IEEE Network Magazine*, Mar./Apr. 1995.
- [7] Quantum Flow Control Alliance, *Quantum Flow Control Specification version 2.0.5*, Mar. 1997.
- [8] R. Jain, "Congestion Control and Traffic Management in ATM Networks: Recent Advances and Survey," *ATM Forum/95-0177*, Jan. 1995.

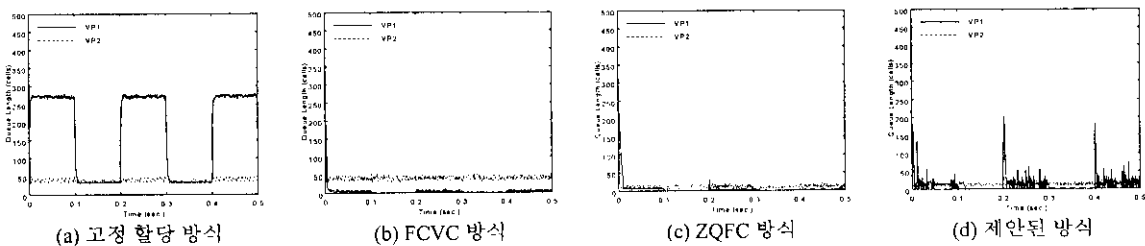


그림 2. 스위치 2의 큐 길이 변화

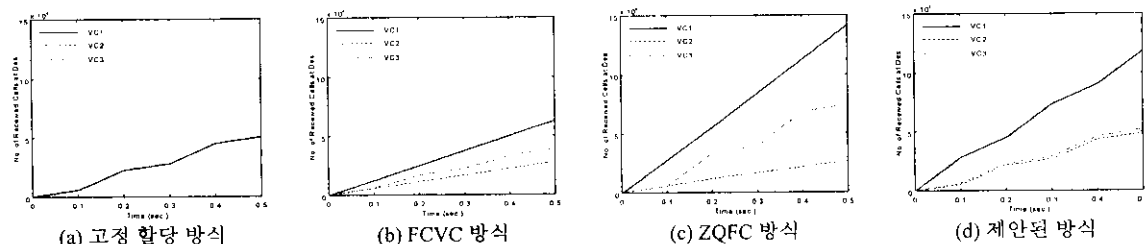


그림 3. 수신원에서 수신한 셀 수의 변화