

멀티캐스트 ABR 연결을 위한 신속한 폭주 통지 기능이 추가된 통합 알고리즘의 성능 비교 분석

김 동호, 조 유제*, 안 윤영**, 권 율**
*경북대학교 전자전기공학부, **한국전자통신연구원

Performance Comparison of Consolidation Algorithms Using a Fast Overload Indication Scheme for Multicast ABR Connections†

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

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

요약

본 논문에서는 멀티캐스트 ABR 흐름 제어를 위해 현재 ATM 포럼을 통해 제안되고 있는 신속한 폭주 통지 기능을 기존 통합 알고리즘들에 적용하여 이들의 성능을 시뮬레이션을 통해 비교 분석하였다. 성능 분석의 지표로 송신원의 ACR (Allowed Cell Rate), 스위치에서의 큐 길이, 링크 이용 효율, 공평성 등을 사용하였다. 분석 결과, 신속한 폭주 통지 기능을 사용한 통합 알고리즘들은 망에 심각한 폭주가 발생한 경우 매우 효과적인임을 알 수 있었다. 그러나, 이러한 기능을 사용하는 알고리즘들의 성능은 기본적인 통합 알고리즘들의 성능에 매우 민감함을 알 수 있었다.

1. 서론

ATM 망을 통하여 멀티미디어 그룹 통신을 위해서는 ABR 멀티캐스트 서비스가 필수적이다. 하지만 ABR 멀티캐스트 서비스를 효율적으로 지원하기 위해서는 해결해야 할 많은 문제들이 남아 있다. 현재 ATM 포럼에서의 멀티캐스트 ABR 서비스를 위한 분지점 동작은 기본 기능만 규정하고 있으며, 구현 알고리즘은 개발자들의 선택 사항으로 되어 있다 [1].

지금까지 분지점 스위치에서 BRM 셀을 통합하는 방식에 대해 많은 연구가 이루어져 왔다 [3]-[5] 그리고, 망에 심각한 폭주가 발생하는 경우에 폭주 정보를 신속히 전달할 수 있는 방식들도 제안되고 있다 [6],[7] 기존의 알고리즘들은 BRM 셀의 정보를 통합하는 과정에서 통합 잡음과 통합 지연 그리고 통합 손실 등의 문제점을 가진다 [8],[9] 최근에는 이러한 통합 문제점들을 해결할 수 있는 여러 방안들이 제안되고 있다 [9] 그러나, 신속한 폭주 통지 기능이 추가된 통합 알고리즘들의 성능 분석은 전혀 이루어지고 있지 않고 있다.

본 논문에서 먼저, 기존에 제안된 통합 알고리즘들을 분류하고 각 방식의 문제점을 분석한다. 그리고, 기존에 제안된 기본적인 통합 알고리즘들과 이들에 신속한 폭주 통지 기능을 추가한 알고리즘들 간의 성능을 시뮬레이션을 통해 비교 분석한다.

2. 분지점 스위치에서 통합 알고리즘

분지점 스위치에서는 송신원으로부터 도착한 데이터 셀과 FRM 셀을 각 가지로 복사하는 기능과 여러 가지에서 도착한 BRM 셀의 정보를 통합하여 송신원으로 되돌려주는 기능으로 나눌 수 있다. 따라서, 통합 알고리즘들은 가지로부터 되돌아오는 피드백 정보를 저장하는 방법과 송신원으로 통합한 피드백 정보를 되돌리는 조건에 따라 표 1과 같이 분류할 수 있다.

표 1 통합 알고리즘의 분류

Feedback storing method	Per-VC	Most existing algorithms
Feedback returning condition	Per-branch	Cho&Lee[8], Kim&Cho[9]
	Wait for FRM	Roberts [3], Tzeng&Siu [4]
Fast overload indication	Wait for BRM after FRM received	Ren&Siu I [5]
	Wait for all feedback	Ren&Siu II [5]
	Wait for BRM from the farthest destination	Cho&Lee[8], Kim&Cho[9]
	Fast overload indication	Jang&Cho[6], Fahmy&Jain[7]

Roberts 알고리즘은 분지점에서 FRM 셀의 도착에 동기를 맞추어 폭주 정보를 앞 단으로 전송하는 알고리즘이다 [3] Tzeng&Siu 알고리즘에서는 최근에 BRM 셀을 전달한 후 최소한 하나 이상의 가지로부터 BRM 셀을 수신한 경우에 한하여, FRM 셀의 도착에 동기를 맞추어 폭주 정보를 앞 단 노드로 전송한다 [4] Roberts 알고리즘과

Tzeng&Siu 알고리즘에서는 분지점 스위치에서 BRM 셀을 생성해야 하는 경우를 포함한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 Ren&Siu 등은 송신원에서 되돌아오는 BRM 셀들 중에서 하나를 되돌리는 두 가지 방식을 제안하였다 [5]. 먼저, Ren&Siu 알고리즘 I에서는 FRM 셀을 수신한 후에 도착한 BRM 셀에 그 동안의 망 정보를 통합하여 앞 단으로 전달한다. Ren&Siu 알고리즘 II에서는 모든 가지로부터 BRM 셀을 수신한 경우에 한하여 BRM 셀을 되돌리도록 한다 [5].

그러나, 위의 알고리즘들은 통합 과정에서 통합 잡음, 통합 지연 그리고 통합 손실 등의 문제를 야기시킨다 [9] 이러한 문제를 해결하기 위해 [8]과 [9]에서는 가지별로 폭주 정보를 저장하여 통합 잡음을 방지하였으며, 가장 먼 송신원으로부터 되돌아오는 BRM 셀에 폭주 정보를 실어 송신원으로 전달함으로써 통합 손실 역시 방지하였고 통합 지연을 가장 긴 왕복 지연 내로 제한 시켰다. 그러나 이 알고리즘 역시 망에 심각한 폭주가 발생한 경우 이를 신속히 해결할 수 없는 문제가 발생할 수 있다.

망에 심각한 폭주가 발생한 경우 폭주 정보를 송신원으로 신속히 통지할 수 있는 폭주 통지 방식에 대해서도 제안되고 있다 [6],[7] 이 기능은 통합 알고리즘에 관계없이 쉽게 추가될 수 있고, 심각한 폭주 정보는 송신원으로 바로 전달될 수 있으므로 통합 지연을 크게 개선시킬 수 있다. 그러나, 신속한 폭주 통지 기능은 망의 과부하시에만 동작하므로 저부하시에는 기본적인 통합 알고리즘과 동일하게 동작한다. 따라서, 신속한 폭주 통지 기능을 추가한 알고리즘의 성능은 이러한 기능이 추가되지 않은 기본적인 통합 알고리즘에 매우 민감하다.

표 2 고려된 통합 알고리즘들의 특징

Algorithms	1	2	3	4
Feedback storing method	Per-VC	Per-branch	Per-VC	Per-branch
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&Siu II[5]	Kim&Cho[9]	Fahmy&Jain[7]	Modified Algorithm 2

3. 고려된 통합 알고리즘

본 논문에서 위해 고려된 알고리즘들은 표 2에 나타나 있다. 알고리즘 1과 2는 신속한 폭주 통지 기능이 추가되지 않은 기본적인 통합 알고리즘이다. 알고리즘 1은 망 논문에서 가장 대표적인 통합 알고리즘으로 고려되고 있는 Ren&Siu 알고리즘 II이고, 알고리즘 2는 저자들이 [9]를 통해 제안한 카운터 기반의 통합 알고리즘이다. 그리고, 알고리즘 3과 4는 각각 알고리즘 1과 2에 신속한 폭주 통지 기능을 추가한 방식이다. 알고리즘 1과 2에 대한 의사코드는 [9]를 참고하고, 알고리즘 3에 대한 의사코드는 [7]의 알고리즘 6을 참고하기 바란다. 알고리즘 4에 대한 의사코드는 그림 1에 나타나 있다.

알고리즘 3과 4는 알고리즘 1과 2에서와는 달리 정상적인 BRM 셀 전송조건이 아니라도 망에 심각한 폭주가 발생되었다고 판단되면 해당 BRM 셀을 바로 앞 단으로 전달한다. 알고리즘 3과 4에서는

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

가장 최근에 알 단으로 전달된 ER 값 Last_ER 보다 수신한 BRM 셀의 ER 값이 $Td(=0.9)$ 배 보다 적으면 양에 심각한 폭주가 발생하였다고 판단하는 고정 임계치 방법을 사용한다 [10]. 그리고, 신속한 폭주 동지로 인한 BRM 셀의 오버헤드를 줄이기 위해 Skip_Num 아리는 카운터를 사용한다. 정상적인 BRM 셀 전송 조건이 아니라 신속한 폭주 동지 기능에 의해 BRM 셀을 전송한 경우에는 Skip_Num 값은 1씩 증가된다. 반면에, BRM 셀 전송 조건을 만족시키면서 통합된 ER 값이 Last_ER 값보다 크거나 같은 경우에, Skip_Num 값이 영 이상이면 해당 BRM 셀을 폐기 시키고 Skip_Num 카운터 값을 1 감소시킨다.

```

IF receive an FRM(ER, CI, NI) cell THEN
  Multicast this RM cell to all participating branches;
IF receive a BRM(ER, CI, NI) cell from branch i THEN
  Let Send_Flag=0, Let ER(i)=ER, CI(i)=CI, and NI(i)=NI;
  Let CR(i)=CR(i)+1 for branch i;
  IF CR(i)>0 for all branches j THEN
    Set Send_Flag=1; Let CR(j)=CR(j)-1 for all participating branches j;
  Set MER=min(ER(j)), MCI=OR(CI(j)), and MNI=OR(NI(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 ER(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(ER(j)), MCI=OR(CI(j)), and MNI=OR(NI(j)) for all
      participating branches j;
      Send this RM cell back to the upstream,
      Let Last_ER=MER,
    ELSE
      Discard this RM cell,
  When a BRM cell is to be scheduled
  Let ER=min(ER, ER calculated by rate allocation algorithm for all branches),
  
```

그림 1 알고리즘 4에 대한 의사 코드

4. 시뮬레이션에 의한 성능 분석

거처가는 분지점 스위치 수가 통합 알고리즘의 성능에 미치는 영향을 분석하기 위해 그림 2와 같은 망 모델을 고려한다. 이 모델에서 ABR 점대 다중점 송신원인 A는 N개의 분지점 스위치를 거처가며, 분지점 스위치 S_1 와 S_N 사이의 링크 길이는 N에 관계없이 1,000 km로 일정하다고 가정한다. 그리고, 스위치 S_N 과 수신원 A_N 사이의 거리가 5000 km인 것을 제외하고는 송수신원과 스위치의 거리는 1 km로 가정하였고, 스위치 간의 거리는 그림 3에 나타나 있다. 또한, 링크 전송률은 155.52 Mbps로 설정하고, 전파 지연은 1 km 당 5 μ sec로 가정하였다. 이 모델은 통합 알고리즘이 분지점 수에 관계없이 최상 가능한 지를 결정하는 데 매우 유용하다. 또한, 이 모델은 신속한 폭주 동지 기능을 가진 알고리즘들의 성능을 분석하는 데도 유용하다.

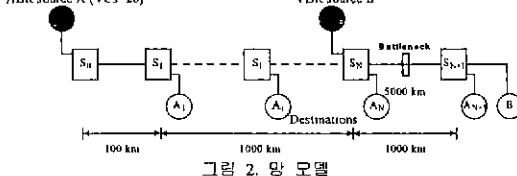


그림 2. 망 모델

시뮬레이션에서는 ER 스위치로 ERICA 스위치를 고려하였으며 목표 이용률은 90%로 설정하였다 [11]. 그리고, VBR 트래픽을 동시에 고려하였으며, VBR 트래픽을 ABR 트래픽보다 우선적으로 전송하는 것으로 가정하였다. 그리고, ABR 송신원은 persistent 트래픽 모델로 가정하였다. VBR 트래픽원은 100ms 간격으로 low 상태와 high 상태를 반복하며, low 상태일 때는 20 Mbps로 전송하고 high 상태일 때는 130 Mbps로 전송하도록 하였다. ABR 송신원 동작은 ATM 프로브의 TM 규격 4.0을 기준으로 하였고 ABR 파라미터는 표 3과 같다.

표 3. ABR 파라미터 값

PCR	ICR	MCR	Nrm	RIF	RDF	CRM	CDF	ADIF
155.52 Mbps	101 Mbps	01 Mbps	32	1	1/32768	32	1/16	05

4.1 성능 비교 분석

가. ACR 변화
그림 3에서는 분지점 스위치 수에 따른 송신원에서의 ACR 변화를 나타낸 것이다. ACR이 ramp-up 하는 데 걸리는 시간 면에서 알고리즘 1과 3은 통합 지연이 분지점 수에 비례하여 증가함으로 인해 VBR

변동에 신속히 대처하지 못하는 현상이 발생된다. 한편에 알고리즘 2와 4는 분지점 수에 관계없이 훨씬 신속히 대처함을 볼 수 있다. ACR이 ramp-down 하는 데 걸리는 시간 면에서도 알고리즘 2가 알고리즘 1에 비해 훨씬 신속함을 볼 수 있다. 그리고 신속한 폭주 동지 기능이 추가된 알고리즘 3과 4가 알고리즘 1과 2에 비해 VBR 변동에 신속히 대처함을 볼 수 있다. 특히, 알고리즘 2는 폭주 정보를 받기 위해 가장 긴 왕복 지연 시간을 기다려야 하는 초기 상태를 제외하고는 신속한 폭주 동지 기능이 추가된 방식들과 거의 비슷한 성능을 보임을 알 수 있다.

나. 큐 길이 변화

그림 4에서는 분지점 스위치 S_N 의 큐 길이 변화를 나타낸 것이다. 분지점 수가 증가하면 알고리즘 1에서는 통합 지연으로 인해 큐 길이가 매우 길어지는 반면에, 알고리즘 2에서는 알고리즘 1에 비해 큐 길이가 매우 짧을 뿐만 아니라 분지점 개수에 거의 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 그리고, 알고리즘 3과 4에서는 망에 심각한 폭주 시에 신속한 폭주 동지 기능을 수행함으로써 최대 큐 길이가 분지점 개수에 관계없이 매우 짧음을 볼 수 있다. 또한, 알고리즘 2의 최대 큐 길이는 초기 상태를 제외하고 알고리즘 3과 4와 비슷하다.

다. 기타 성능

표 4에는 스위치 S_N 과 S_{N+1} 사이의 링크 이용 효율을 비교한 것이다. 알고리즘 2가 다른 알고리즘들에 비해 더 높은 링크 이용 효율을 제공할 수 있다. 그리고, 신속한 폭주 동지 기능을 가지는 알고리즘들 중에서는 알고리즘 4가 알고리즘 3에 비해 우수한 성능을 보임을 알 수 있다. 또한, 알고리즘 1과 3은 N이 증가함에 따라 링크 이용 효율이 감소하는 반면에 알고리즘 2와 4는 N에 무관하게 일정한 성능을 제공할 수 있다.

표 4 링크 이용 효율

N	Algorithms	1	2	3	4
2		0.77	0.82	0.72	0.78
10		0.74	0.82	0.69	0.78

표 5에는 스위치 S_N 과 S_{N+1} 사이의 점대 다중점 VC들 간의 대역폭 사용의 공평성을 비교한 것이다. 알고리즘 2와 4가 다른 알고리즘들에 비해 훨씬 높은 공평성 지수를 제공하며, 분지점 개수 N에 무관하게 일정한 성능을 제공할 수 있다.

표 5 공평성 지수

N	Algorithms	1	2	3	4
2		0.83	0.96	0.98	0.97
10		0.88	0.97	0.87	0.97

표 6에는 송신원에서의 BRM 셀 대 FRM 셀의 비율을 나타내고 있다. 알고리즘 1과 3은 통합 손실로 인해 BRM 셀 대 FRM 셀의 비가 1보다 매우 적음을 볼 수 있다. 반면에 알고리즘 2와 4는 가장 먼 수신원으로부터 수신된 BRM 셀을 모두 송신원으로 되돌리기 때문에 통합 손실이 전혀 발생되지 않는다.

표 6. 송신원에서의 BRM 셀 대 FRM 셀의 비

N	Algorithms	1	2	3	4
2		0.69	1	0.62	1
10		0.67	1	0.63	1

4.2 결과 분석

표 7에서는 본 논문에서 고려한 통합 알고리즘들의 성능을 통합 공평, 과도상태 응답, 스위치 구현상 복잡도, BRM 셀에 의한 오버헤드와 공평성 지수의 관점에서 비교 분석하였다.

고려된 모든 알고리즘들에서는 통합 잡음으로 인한 송신원의 ACR의 진동은 전혀 발생되지 않는다. 그러나, 알고리즘 1과 3에서는 최근 정보 유실로 인해 ACR의 ramp up 시간이 지연되는 통합 잡음이 발생할 수 있다. 반면에 알고리즘 2와 4에서는 각 가지마다 최신 정보를 따로 저장하고 있기 때문에 최신 정보 유실로 인한 ramp up 지연 역시 전혀 발생되지 않음을 알 수 있었다.

Ramp up 하는 데 걸리는 시간 면에서 알고리즘 1과 3은 심각한 통합 지연으로 인하여 분지점 수가 증가함에 따라 매우 늦어짐을 볼 수 있다. 반면에, 알고리즘 2와 4에서는 분지점 수에 관계없이 훨씬 신속히 대처함을 볼 수 있다. Ramp down 하는 데 걸리는 시간 면에서는 신속한 폭주 동지 기능이 추가된 알고리즘 3과 4가 알고리즘 1과 2에 비해 훨씬 신속히 폭주 정보를 전달함을 볼 수 있다.

구현상 복잡도의 관점에서 볼 때 알고리즘 2와 4는 BRM 셀이 가지고 온 폭주 정보를 각 가지 별로 따로 저장해야 하므로 알고리즘 1과 3에 비해 구현이 다소 복잡해진다. 그리고, 신속한 폭주 동지 기능이 추가된 알고리즘들은 임계치와 수신된 ER 값을 곱하는 과정 등이 필요하므로 알고리즘 1과 2에 비해 구현이 복잡해지게 된다.

표 7. 분지점 스위치 알고리즘의 성능 비교

Algorithms		1	2	3	4
Consolidation noise		Medium	Low	Medium	Low
Transient response	Ramp up	Slow	Fast	Slow	Fast
	Ramp down	Slow	Fast	Highly fast for overload	Highly fast for overload
Sensitivity to # of branch points		High	Low	High	Low
Complexity		Low	Medium	Medium	High
Ratio of #BRM cells to #FRM cells at source		<<1	1	<<1	1
Fairness		Poor	Good	Poor	Good

FRM 셀 대 BRM 셀의 비가 1 이상이면 BRM 셀의 오버헤드로 인해 망 자원이 낭비된다 반면에, FRM 셀 대 BRM 셀의 비가 1보다 작으면 공평성이 낮아지게 된다 따라서, FRM 셀 대 BRM 셀의 비는 1로 유지되는 것이 바람직하다. 알고리즘 1과 3에서는 통합 과정에서 BRM 셀의 손실로 인해 FRM 셀 대 BRM 셀의 비가 1보다 상당히 작아지는 경우가 발생할 수 있다 반면에, 알고리즘 2와 4에서는 FRM 셀 대 BRM 셀의 비율 항상 1로 유지시킬 수 있다

공평성 관점에서는 알고리즘 1과 2는 통합 지연과 통합 손실로 인해 공평성이 매우 낮아진다 반면에, 알고리즘 2와 4는 거쳐가는 분지점 수에 관계없이 매우 우수한 공평성을 보인다.

5. 결론

본 논문에서 기존에 제안된 기본적인 통합 알고리즘들과 이들에 신속한 폭주 방지 기능을 추가한 알고리즘들 간의 성능을 시뮬레이션 결과 통해 비교 분석하였다

분석 결과, 신속한 폭주 방지 기능은 망에 심각한 폭주가 발생할 경우 매우 효과적으로 사용될 수 있음을 알 수 있었다. 그러나, 신속

한 폭주 기능을 추가한 방식의 성능은 기본적인 통합 알고리즘에 매우 민감함을 알 수 있었다. 따라서, 기본적인 통합 알고리즘의 선택이 매우 중요함을 알 수 있었다

참고 문헌

- [1] The ATM Forum, "The ATM forum traffic management specification version 4.0," *ATM Forum af-tm-0056.000*, Apr. 1996
- [2] J. B Kenney, "Traffic management working group living list," *ATM Forum/LTD-TM-01.09*, May 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*, 15(3), Apr 1997
- [5] W. Ren, K-Y Siu, et al, "On the performance of congestion control algorithms for multicast ABR service in ATM," *ATM'96*, Aug. 1996.
- [6] 장원석, 조유제, 이명용, "ATM 망에서 일대 다중점 ABR 흐름 제어를 위한 분지점 스위치 동작 방식의 성능 분석," 한국정보과학회 추계 학술대회, 1996년 10월
- [7] S. Fahmy, R. Jain, et al, "Feedback consolidation algorithms for ABR point-to-multipoint connections," *INFOCOM'98*, 1998.
- [8] Y-Z Cho, S-M Lee, et al, "An efficient rate-based algorithm for point-to-multipoint ABR service," *GLOBECOM'97*, Dec 1997.
- [9] 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
- [10] 김동호, 조유제, 안윤영, "멀티캐스트 ABR 서비스를 위한 분지점 스위치 알고리즘의 성능 분석," 한국정보과학회 춘계 학술대회, 1998년 4월
- [11] R. Jain, S. Kalyanaraman, et al, "ERICA+. Extensions to the ERICA switch algorithm," *ATM Forum/95-1346*, Oct. 1995.

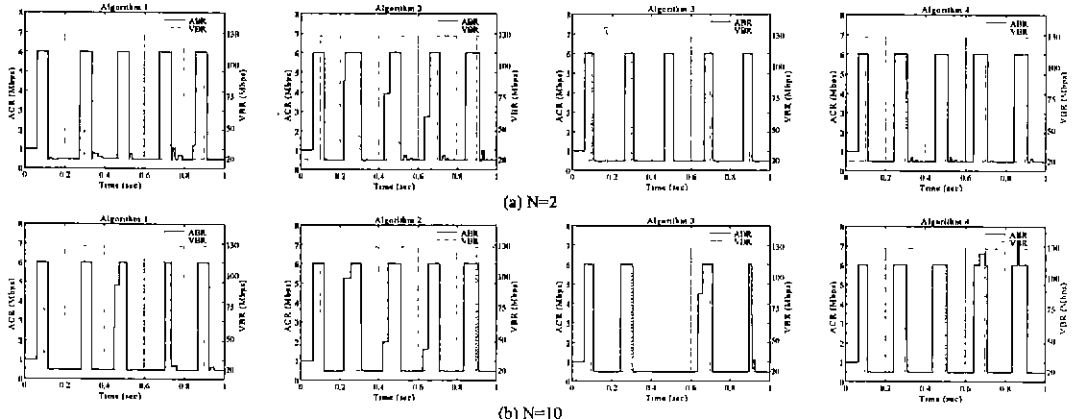


그림 3. 분지점 개수 N에 따른 ACR의 변화

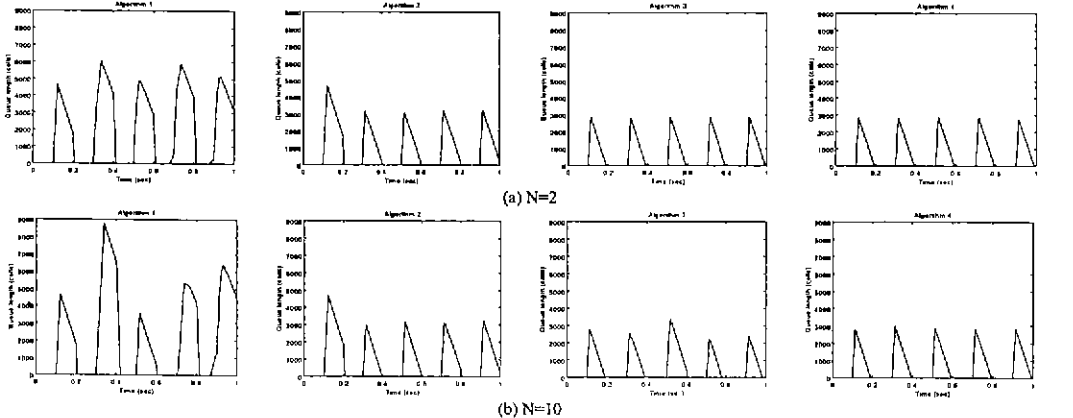


그림 4. 분지점 개수 N에 따른 큐 길이 변화