

# VTOA에 적합한 셀 스케줄링 및 폐기 알고리즘

정회원 박상현\*, 김용선\*, 장경훈\*, 김덕진\*, 이봉영\*\*, 고성제\*

## A Cell Scheduling and Dropping Algorithm for VTOA

Sang-Hyun Park\*, Yong-Sun Kim\*, Kyung-hun Jang\*, Duck-Jin Kim\*, Bong-Young Lee\*\*,  
Sung-Jea Ko\* *Regular Member*

### 요 약

VTOA(Voice and Telephony over ATM) 기술은 ATM 망을 통해 기존 전화급 음성 및 팩스 등의 POTS(Plain Old Telephone Service)를 제공하기 위한 기술로서 실시간성을 요구하며 구현이 용이해야 한다. 기존의 WRR(Weighted Round Robin)이나 DRR(Deficit Round Robin)의 경우 CTD(Cell Transfer Delay)와 같은 지연 패러미터를 고려한 폐기 알고리즘을 도입하지 않기 때문에 이들을 ATM 셀 스케줄링에 적용했을 경우 출력링크의 과부하시 실시간 VTOA서비스를 지원하기 어려운 문제점이 있다. 본 논문에서는 고속의 ATM 스위치에서 VTOA와 같은 실시간 특성을 갖는 트래픽을 위한 CTD 요구 사항을 만족시키고 프로세싱 오버헤드를 최소화할 수 있는 스케줄링 기법인 DBWRR(Delay Bound Weighted Round Robin)을 제안한다. 그리고 시뮬레이션을 통해 제안한 방식이 트래픽이 증가할수록 기존의 방식보다 셀 손실이 20% 정도 감소하고 평균 큐잉 지연도 0.3ms 정도 감소하면서도 WRR이나 DRR과 마찬가지로 각각의 링크에 공평하게 자원을 할당함을 보여준다. 또한, 입력 버퍼에서의 대기시간이 CTD를 초과한 셀들을 미리 폐기함으로써 불필요한 자원낭비를 방지할 수 있음을 보여준다.

### ABSTRACT

For VTOA(Voice and Telephony over ATM) which provides POTS(Plain Old Telephone Service) in ATM network, scheduling algorithms must not only satisfy the real time property, but also minimize the processing overhead. Previous scheduling algorithms such as WRR(Weighted Round Robin) and DRR(Deficit Round Robin) have some problems in heavy traffic load which cannot guarantee the CTD(Cell Transfer Delay) requirement in spite of maintaining a good fairness. To solve these problems, this paper presents the DBWRR(Delay Bound Weighted Round Robin) algorithm which can reduce the implementation overhead as well as the cell loss rate resulted from violating the CTD requirement. Simulation results show that the proposed algorithm performs better than the WRR and DRR in terms of both average cell loss rate, decreasing as much as 20% and average queuing delay, decreasing as much as 0.3ms. Moreover, it is shown that our scheme has good fairness compared with other scheduling algorithms.

### I. 서 론

VTOA 기술은 ATM 망을 통해 기존 전화급 음성 및 팩스 등의 POTS 서비스를 제공하기 위한 기술로서 경제적, 기술적 문제로 많은 관심을 끌지는

못했다. 그러나 최근 들어 주로 업무용 가입자들을 대상으로 ATM WAN/LAN 상에 음성 서비스를 통합 수용함으로써 통합 솔루션을 지향하는 요구가 증대되면서 활발한 연구 개발이 이루어지고 있는 상태이다<sup>[1]</sup>.

VTOA와 같은 실시간 서비스는 정해진 지연의

\* 고려대학교 전자공학과 (batman@dali.korea.ac.kr, doori@isdnlab.korea.ac.kr)

\*\* 한국통신 통신망연구소 (leeby@tmr.kotel.co.kr)  
논문번호 : 98394-0903, 접수일자 : 1998년 9월 3일

최대범위(maximum bound)를 초과하는 경우 곧바로 셀 손실을 의미하게 되므로 지연관련 서비스 품질이 특히 중요하게 된다<sup>[2]</sup>. ITU-T 권고안 G.114에서는 에코 제어를 하는 연결에 대해서 최대 허용 지연 시간을 150ms, 에코 제어를 하지 않는 경우는 25ms 정도로 권고하고 있다<sup>[3]</sup>. 이렇게 지연에 민감한 트래픽, 특히 음성과 같은 트래픽은 다른 서비스 품질보다도 우선적으로 지연에 관련된 서비스 품질을 만족시켜주어야 하고 이러한 것들이 셀 스케줄링에 반영되어야 한다.

현재까지 패킷 스케줄링은 공정하게 대역폭을 할당하는 공정성(fairness) 측면에서 많이 연구가 진행되어왔다<sup>[4]</sup>. 그러나 이들 패킷 스케줄링은 대부분 지연문제를 간과하고 있고 구현이 용이하지 못하여 실시간성을 요구하는 VTOA와 같은 ATM 응용에 적용하기에는 어려움이 많다. 기존의 WRR(Weighted Round Robin)이나 DRR(Deficit Round Robin)의 경우 CTD(Cell Transfer Delay)와 같은 지연 패러미터를 고려한 폐기 알고리즘을 도입하지 않기 때문에 이들을 ATM 셀 스케줄링에 적용했을 경우 출력링크의 과부하시 실시간 VTOA서비스를 지원하기 어려운 문제점이 있다.

따라서, 본 논문에서는 고속의 ATM 스위치에서 VTOA와 같은 실시간 특성을 갖는 트래픽을 위한 CTD 요구 사항을 만족시키고 프로세싱 오버헤드를 최소화할 수 있는 스케줄링 기법인 DBWRR(Delay Bound Weighted Round Robin)을 제안한다. 제안한 알고리즘은 각 링크의 입력 버퍼로 들어오는 셀들을 스위치의 스케줄링 주기에 따라 링크별로 그룹화하여 그룹단위로 관리함으로써 셀단위로 관리하는 방식에 비해 프로세싱 오버헤드를 줄일 수 있고, 또한 입력 버퍼에서의 대기시간이 CTD를 초과한 셀, 즉 CTD 위반셀들을 스위치에서 미리 폐기함으로써 다른 셀들이 CTD 요구사항을 위반하게 될 확률을 줄여줄 수 있기 때문에 결과적으로 불필요한 자원낭비를 방지할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 VTOA 서비스에 대해서 살펴본다. VTOA 서비스를 위해서 AAL1을 이용한 방법과 AAL2를 이용한 방법의 장단점에 대해 살펴보고, III장에서는 VTOA 서비스를 AAL2를 이용하여 서비스할 때 효과적으로 셀을 스케줄링할 수 있는 알고리즘을 제안한다. IV장에서는 시뮬레이션을 통해 제안한 알고리즘의 성능을 비교, 분석하고 이를 통해 알고리즘의 타당성을 검증하고 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

## II. VTOA를 위한 AAL1/AAL2

### 2.1 AAL1과 AAL2를 이용한 VTOA

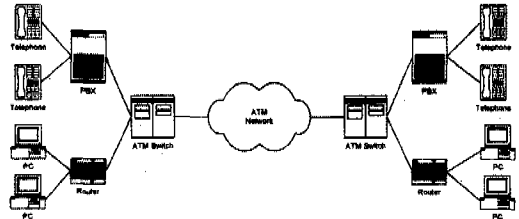


그림 1. ATM 네트워크 환경  
Fig. 1 ATM network environment.

ATM 망을 통해 음성 트래픽을 전송하는 기본적인 방법은 크게 PBX(Private Branch Exchange)와 ATM 스위치간의 연동 방식에 따라 크게 AAL1(ATM Adaptation Layer 1)을 이용한 CBR(Constant Bit Rate) 서비스와 AAL2(ATM Adaptation Layer 2)를 이용한 VBR(Variable Bit Rate) 서비스로 나눌 수 있다. 그림 1은 VTOA가 적용되는 기본적인 ATM 네트워크 환경을 보여준다<sup>[5]</sup>.

연동 방식	단점	장점	주요 특징	
AAL1	Unstructured CES (UDT)	· 망자원의 낭비가 심하다. · 망상태(OAM) 정보를 전달할 없다.	· 구조 및 정합이 간단하다. · 셀전달오버헤드가 적다.	· 단일호(64kbps) · DSn/En
	Structured CES (SDT)	· 기본 대역을 고정적으로 할당함으로써 효율이 떨어진다.	· 구조 및 정합이 간단하다. · 사용자 수만큼 대역폭 할당	· N*64kbps DSn/En
AAL2	· 셀전달오버헤드가 크다. · 망이 폭주할 경우 셀 손실이 커진다.	· 통계적 다중화를 통해 자원을 효율적으로 사용할 수 있다. · 사용자 수만큼 대역폭 할당 · 망 상황에 유연하게 대처할 수 있다.	· Voice compression과 silence detection /suppression을 지원한다. · 여러 개의 VBR 음성 채널을 하나의 ATM연결로 다중화한다.	

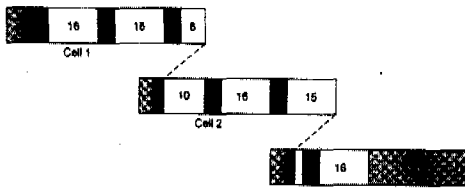
표 1. AAL1과 AAL2를 이용한 VTOA  
Table 1. VTOA using AAL1 and AAL2.

표 1은 VTOA에 대해 AAL1을 이용했을 경우와 AAL2를 이용했을 경우를 비교 설명하고 있다. 실시간 VBR 트래픽을 전송하기 위해서는 AAL1보다 AAL2를 이용하는 것이 보다 적합하다<sup>[6][7]</sup>. AAL2로 데이터를 전송할 때 중요한 것은 망 관리자에 의해 설정되는 패킷채움지연(Packet Fill Delay:

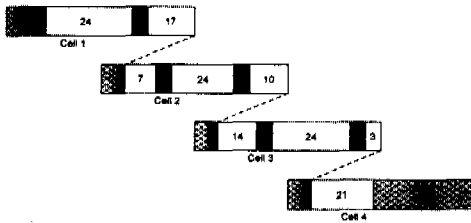
PFD)이며, 이 시간동안 채워진 데이터를 이용해서 AAL PDU(Protocol Data Unit)가 만들어지고 이것은 다시 47바이트 단위로 나뉘어져서 ATM 셀의 형태로 전송된다. 표 2는 예로서 목음구간을 제거하지 않은 하나의 음성 채널에 대한 패킷채움지연과 AAL2 PDU 페이로드의 관계를 보여준다<sup>[6][7]</sup>.

패킷채움지연	CPS 헤더	32K ADPCM	64K PCM
2ms	3 byte	8 byte	16 byte
4ms	3 byte	16 byte	32 byte
6ms	3 byte	24 byte	48 byte
8ms	3 byte	32 byte	64 byte

표 2. 패킷채움지연과 AAL2 PDU 페이로드의 관계  
Table 2. Relationships of the PFD and PDU payload.



(a)



(b)

그림 2. 6개의 음성 채널에 의해 패킷채움지연동안 발생하는 ATM 셀.  
(a) 32K ADPCM, 4ms 패킷채움지연,  
(b) 32K ADPCM, 6ms 패킷채움지연  
Fig. 2 ATM cells generated by 6 voice channels during the PFD  
(a) 32K ADPCM, 4ms PFD and  
(b) 32K ADPCM, 6ms PFD.

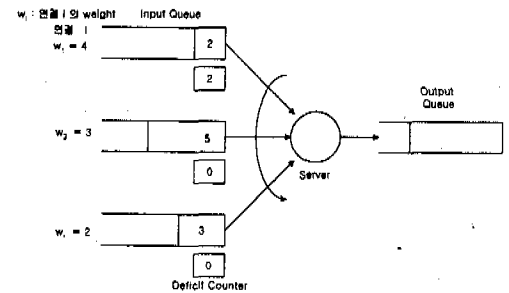
그림 2는 예로서 목음 구간을 제거하지 않은 6개의 음성 채널에 의해 패킷채움지연 동안 발생하는

음성 데이터가 어떻게 ATM셀로 만들어지는가를 보여준다.

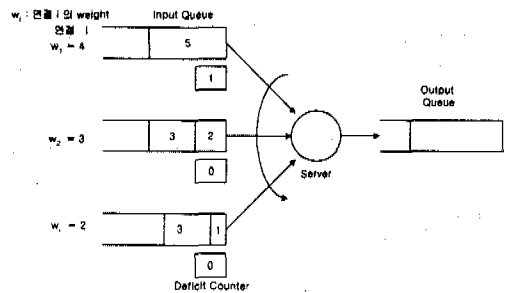
### III. VTOA에 적합한 셀 스케줄링 및 페기 알고리즘

#### 3.1 기존의 알고리즘 및 문제점

ATM은 기본적으로 고속으로 셀을 처리하기 때문에 스케줄링 알고리즘이 비교적 단순해야 한다. ATM 스위치에 적용할 수 있는 스케줄링 알고리즘으로서 기존에 제한된 WRR 스케줄링 알고리즘은 각각의 링크마다 호 설정 시 미리 정해진 가중치에 의해 셀을 스케줄링 하게 된다<sup>[8][9]</sup>.



(a)



(b)

그림 3. DRR 방식의 예  
Fig. 3 Examples of the DRR method.

가중치를 결정하는 기준은 각 링크의 평균 데이터 발생률이며, 이것은 최대 셀 발생률이나 평균 셀 발생률 등을 통해서 얻을 수 있다. 이와 같은 방식으로 스케줄링을 하게 되면, CBR 트래픽과 같이 셀의 발생률이 일정한 트래픽은 서비스 품질을 보장받을 수 있지만, VBR 트래픽과 같이 셀의 발생률이 일정하지 않고 가변적인 트래픽의 경우에는 서비스 품질을 보장받기 어렵게 될 뿐만 아니라, 망의 대역폭을 효율적으로 사용하기 어렵다<sup>[10]</sup>. 또

한, 이 방식은 어떤 연결이 계속해서 평균 전송률 보다 많은 셀을 전송할 때에는 다른 연결에 영향을 미치게 되어 각각의 연결에 대한 독립성을 보장해 주기 힘들게 된다. 기존에 제한된 또 다른 방식인 DRR 스케줄링 알고리즘<sup>[11]</sup>은 원래 패킷 교환망에서 사용되는 방식으로 간단하면서도 각 연결을 공정하게 처리해주는 방식으로 이것을 ATM 교환망에 적용하면 다음과 같다.

그림 3(a)와 같이 각각의 연결은 입력 버퍼와 DC(Deficit Counter)를 가지고 하나의 서버를 통해 같은 출력 버퍼로 스케줄링 된다. 연결  $i$ 는 그림 3(a)와 같이 가중치가 4이고 DC는 0으로 초기화되어 있으며 현재 입력 버퍼에 쌓여 있는 셀의 수는 2개뿐이다. 따라서 연결  $i$ 는 현재 입력 버퍼에 있는 셀 2개를 서비스하고 나서 자신의 가중치에서 서비스 받은 셀의 수만큼 뺀 값을 DC에 더해준다. 만약, 그림 3(b)와 같이 자신의 가중치보다 큰 5개의 셀이 입력 버퍼에 있다면, 서버는 가중치에 DC 값을 더해서 서비스하고 나머지를 다시 DC에 저장한다. 그림에서는 1이 다시 DC에 저장되었다.

그러나 DRR 역시 연결의 지연이나 셀 손실을 고려하지 않는다. 사용자의 데이터가 셀로 만들어져서 목적지까지 전달되기 위해서 패킷채움지연, 전송 지연, 큐잉 지연과 같은 지연이 발생하게 되고, 지연요구사항을 위반한 셀들이 폐기되지 않으면 자원이 불필요하게 할당됨으로써 다른 셀들도 지연요구사항을 위반하게 될 수 있으므로 공정성 측면과 함께 실시간성을 고려한 폐기 알고리즘을 도입해야 한다.

### 3.2 지연 경계를 이용한 셀 스케줄링 (DBWRR) 알고리즘

본 장에서는 ATM 망에서 지연요구사항을 고려한 셀 스케줄링 알고리즘인 DBWRR 방식을 제안한다. 이 방식은 여러 개의 VC가 하나의 출력링크로 셀들을 전송할 때 지연 관련 서비스 품질을 최대한 만족시켜준다. 지연 관련 서비스 품질을 만족시키기 위해서는 셀들이 스위치에서의 대기시간을 관리할 필요가 있다. 셀을 스케줄링 할 때 이러한 시간정보를 이용하여 빨리 처리해야하는 셀에 우선권을 부여함으로써 지연시간 초과에 의한 셀 손실을 줄여줄 수 있다. 그러나 이렇게 각각의 셀에 대한 시간정보를 관리하는 것은 셀을 고속으로 처리하는 ATM 스위치에서는 오버헤드로 작용한다. 따라서, 본 연구에서는 각각의 셀에 대한 시간정보를

저장하는 대신 셀들을 그룹화 해서 각 그룹에 대한 시간정보를 관리함으로써 고속의 ATM 스위치에서도 적용 가능한 셀 스케줄링 알고리즘을 제안한다. DBWRR의 전체적인 시스템 구조는 다음과 같다.

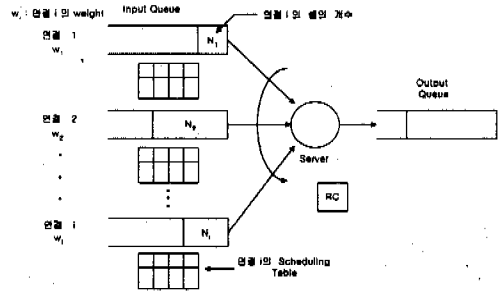


그림 4. DBWRR 알고리즘의 시스템 구조  
Fig. 4 System structure of the DBWRR algorithm.

그림 4에서 각각의 연결은 입력 버퍼와 시간 관리를 위한 스케줄링 표를 가지고 있고 출력링크는 출력 버퍼와 하나의 RC(Reserved Counter)를 갖는다. 연결  $i$ 의 스케줄링 표의 구조는 다음과 같다.

그룹번호	셀의 수	허용 주기	RC
1	$n_1$	$c_1$	$RC_1$
2	$n_2$	$c_2$	$RC_2$
...	...	...	...
$j$	$n_j$	$c_j$	$RC_j$

그림 5. 연결  $i$ 의 스케줄링 표  
Fig. 5 Scheduling table of connection  $i$ .

연결  $i$ 에서 한번 서비스 받을 때부터 다음 서비스를 받을 때까지의 시간을  $RP_i$ (Round robin Period)로 정의하면 그 시간내에 버퍼에 들어오는 셀들을  $RP_i$ 단위로 그룹화할 수 있다. 여기서  $RP_i$ 는 각 연결의 입력버퍼에 있는 셀의 수와 RC값에 의해 결정되는 가변변수이다. 스케줄링 표에서 그룹번호는  $RP_i$ 에 의해 그룹화된 셀들의 그룹번호로써 1로 시작되는 정수이다. 그리고 셀의 수는 각 그룹에 속한 셀의 수를 의미하며 허용 주기는 이 그룹의 허용 지연 주기로 몇 번째 주기 내에 처리되어야 하는지를 나타낸다. 마지막으로 스케줄링 표의  $RC_j$  값은 그룹의 지연 시간을 계산할 때 이용되며 그룹의 첫 번째 셀이 도착할 때의 RC 값이다.

각 연결은 그 연결의 특성에 따라 서로 다른 허용 지연 시간을 스위치에 요구할 수 있다. 양방향

실시간 서비스의 경우 peer to peer 전송에 허용되는 지연시간이 정해져 있다. 하나의 연결에서 발생하는 지연에는 패킷채움지연, 전송 지연, 큐잉 지연이 있고 이 중에서 제어가 가능한 것은 큐잉 지연이다. 큐잉 지연은 스위치에서 발생하는 지연으로 이 연결이 몇 개의 스위치를 경유하느냐에 따라 하나의 스위치에서 처리해주어야 하는 시간이 달라지게 된다. 연결  $i$ 가 스위치에 요구하는 허용 지연 시간을  $D_i$ 라고 하고 스위치 서버가 하나의 셀을 처리하는 시간을  $\delta$ , 연결  $i$ 의 가중치를  $w_i$ 라고 하면 모든 연결의 가중치에 해당하는 셀을 처리하는데 걸리는 시간  $W$ 는 식 (1)과 같이 주어질 수 있다. 그리고 각 연결에 도착하는 셀들이 몇 주기만에 처리되어야 하는지를  $k$ 로 나타낸다면,  $k$ 는 식 (2)와 같게된다.

$$W = \delta \sum w_i \tag{1}$$

$$k = \lfloor \frac{D_i}{W} \rfloor \tag{2}$$

$$D_i = kW + a \quad (0 \leq a < W) \tag{3}$$

RC는 모든 입력버퍼가 비었을 때 0으로 재설정되고 서비스 받는 그룹의  $C_i$  값이 0이고 서비스 받아야 될 셀의 수가  $w_i$ 보다 클 때 사용된다. 허용 지연 시간이  $D_i$ 일 때, 현재 서비스 받는 그룹의 셀들이 입력버퍼에서 기다린 시간 QD(Queueing Delay)는 식 (4)의 조건을 만족한다. 여기서  $l$ 은 현재 입력버퍼에 들어오는 셀이 속한 그룹번호를 나타낸다.

$$0 < QD \leq (k - C_l)W - (RC - RC_l)\delta, (C_l < k) \tag{4}$$

하나의 그룹 안에 있는 셀들의 QD는 식 (4)를 만족하는 다양한 값을 가진다. 그리고 각각의 셀들의 지연시간을 고려하여 처리하는 것은 복잡하고 ATM 스위치에 적합하지 않다. 따라서 같은 그룹의 셀들은 같은 QD를 가지는 것으로 간주하고 그 값은 QD가 가질 수 있는 최대값으로 한다.

$$QD = (k - C_l)W - (RC - RC_l)\delta \tag{5}$$

QD'는 그룹의 셀 중에서 가장 먼저 도착한 셀이 요구하는 지연 시간이다.

표 3. DBWRR 알고리즘에서 사용되는 변수 및 함수  
Table 3. Variables and functions used for the DBWRR algorithm.

변수 및 함수	정의 및 설명	변수 및 함수	정의 및 설명
$E_i$	연결 $i$ 의 현재 그룹	1	현재 처리중인 그룹 번호를 가리키는 변수
$n_j$ ( $j = E_i$ )	연결 $i$ 의 현재 그룹의 셀 수	Service(S)	Data Queue에서 S 개 만큼 서비스하는 함수
$RC_{E_i}$	연결 $i$ 의 현재 그룹에서의 RC값	Drop(n)	Data Queue에서 n 개 만큼 Drop하는 함수
$C_{E_i}$	연결 $i$ 의 현재 그룹에서의 Delay Bound	Del_Group(l)	그룹 l을 없애고 l보다 큰 그룹 번호를 1씩 감소시키는 함수
R	서비스를 요구하는 셀들의 합을 저장할 변수		

표 3은 여기서 사용되는 변수 및 함수들을 설명하고 있다.

스위치에서의 셀 스케줄링 알고리즘을 정리하면 다음과 같다. 전체 알고리즘은 크게 셀이 도착했을 때 셀을 저장하는 큐잉 모듈과 입력버퍼에 저장되어 있는 셀을 처리하는 서비스 모듈로 이루어진다. 임의의 연결  $i$ 에서 각각의 모듈들의 기능을 의사코드(Pseudo Code)로 나타내면 다음과 같다.

**Queueing Module :**

*On arrival of cell at the connection i*

도착한 Cell을 입력버퍼에 저장한다.

$j = E_i$ ;

$n_j = n_j + 1$ ;

If ( $n_j = 1$ ) /\* 그룹에 첫 셀이 도착하면 그룹의 RC 값을 Table에 저장한다. \*/

$RC_{E_i} = RC$

$C_{E_i} = k$ ; /\* 새로운 Group의 Delay Bound를 kW로 설정한다. \*/

End If

**Service Module :**

*RP; 마다 서비스를 받는다*

$E_i = E_i + 1$ ; /\* 도착하는 Cell을 새로운 Group으로 묶는다. \*/

$1 \sim E_i - 1$ 인 각 그룹의 allowed Cycle을 하나씩 줄인다.

$R = 0$ ; /\* 서비스를 요구하는 Cell들의 합을 저장할 변수 \*/

```

l = 1; /*현재 처리중인 그룹 Number를 가
리키는 변수 */
While (R < wi) /*서비스 받은 Cell 수가 wi
보다 클 때까지 서비스한다 */
R = R + ni;
Switch
/* Case 1: 현재까지의 지연이 Di를 넘었다 */
Case 1: ( QD' > Di )
Drop( ni );
R = R - ni;
break;
/* Case 2: 서비스를 요구하는 Cell 개수가 할
당된 Weight 보다 작을 경우 Cell들을 서비스
한다 */
Case 2: ( R < wi )
Service( ni );
break;
/* Case 3: 현재 서비스 받는 그룹의 Ci이 0
이고 Cell 개수가 할당된 Weight보다 크다 */
Case 3: ( R ≥ wi And Ci = 0 )
S = Min{ wi + RC,
ni }; /* RC를 사용한다 */
Service(S);
Drop( ni - S );
/* 서비스 받지 못한 Cell들은 폐기한다 */
RC = RC + wi - S;
/* 사용된 RC만큼 RC를 감소시킨다 */
goto END;
/* Case 4: 서비스를 요구하는 Cell의 개
수가 할당된 Weight 보다 크고 지연 요구
값을 넘길 가능성이 작기 때문에 RC를 사
용하지 않는다 */
Case 4: ( R ≥ wi And ( RCi - RC ) ≤ CiW )
S = wi - ( R - ni );
Service(S);
If ( S ≠ ni )
ni = ni - S;
l = l - 1;
End If
goto END;
⇒ End Switch
l = l + 1;

```

```

If ( l ≥ Ei )
/* Weight 보다 적은 량의 Cell이 Data
Buffer RC = RC + ( wi - R );에 저장되어
있는 경우 RC값을 증가시킨다 */
l = l - 1;
goto END;
End If
End While
END: /* Scheduling Table을 정리 */
While ( l > 0 )
Del_Group( l );
l = l - 1;
End While

```

**Subroutine Service(S)**  
Data Queue에서 S 개만큼 서비스한다

**Subroutine Drop(n)**  
Data Queue에서 n 개만큼 Drop 한다.

**Subroutine Del\_Group( l )**  
그룹 l을 없애고 l보다 큰 그룹 number는  
1씩 감소시킨다

Case 종류	설 명
Case 1	QD'가 허용 지연 시간 D <sub>i</sub> 를 초과한 경우이고 이 때 셀들은 폐기된다.
Case 2	현재 서비스 받는 그룹의 셀의 수가 할당된 가중치 보다 작을 때로 서비스 받는 그룹의 셀들은 모두 서비스하고 다음 그룹의 셀도 서비스하는 경우이다.
Case 3	서비스 받는 그룹의 셀 수가 가중치보다 크고 C <sub>i</sub> 값이 0의 값을 가지는 경우로 이때는 RC값을 이용 하게 된다.
Case 4	서비스 받는 그룹의 셀 수가 가중치보다 크고 C <sub>i</sub> 값이 0의 값을 가지지 않는 경우로 RC값을 이용하 지 않고 가중치만큼만 서비스한다.

표 4. DBWRR 알고리즘의 분류  
Table 4. Cases of the DBWRR algorithm.

표 4는 DBWRR 알고리즘의 Case 분류를 나타내 고 그림 6은 DBWRR 알고리즘의 예를 보여준다. 여기서 RC는 실제 서비스된 셀 수가 가중치 보다 적을 때 적은 만큼 증가하고 C<sub>i</sub>이 0인 Case 3에서 감소한다.

그림 6은 하나의 연결이 DBWRR 알고리즘에 의 해 스케줄링되는 것을 보여준다. 여기에서 연결 i 의 가중치 w<sub>i</sub> 는 4, 허용 지연 기간 D<sub>i</sub>는

$3W+2$ ,  $W$ 는  $10\delta$  ( $10\delta > 2$ )로 가정하였다. 따라서  $k$ 는 식(2)에 의해 3이 된다.

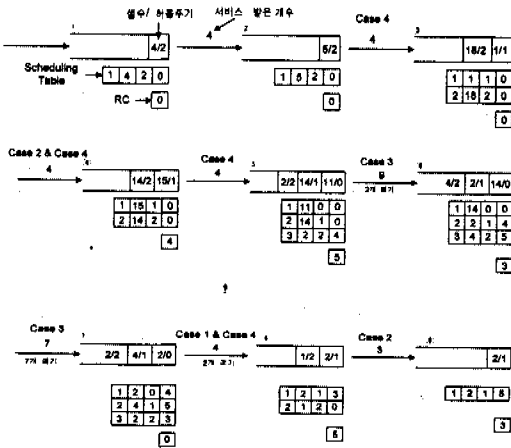


그림 6. 지연 경계를 이용한 셀 스케줄링(DBWRR) 알고리즘의 예  
Fig. 6 An example of the DBWRR algorithm.

①의 경우는 스위치 서버가 셀을 처리하기 직전에 버퍼에 1개의 그룹이 있고 여기에 4개의 셀이 있는 경우이다. 이 그룹은 이전 서비스 시간부터 현재 서비스 시간까지 도착한 셀들로 이루어진다. 현재의 상황은 서비스 모듈에서 허용 주기는 1 감소되고 서비스를 기다리는 상태이다. 그리고 이 그룹의  $QD$ 은  $10\delta(W)$ 이다. 따라서 Case 4에 의해 4개의 셀이 서비스를 받는다.

②의 경우는 연결  $i$ 를 포함해서 전체의 연결을 서비스하는 동안 도착한 셀들이 하나의 그룹을 형성하고 그 그룹에 해당하는 셀의 개수가 5인 경우이다. 그리고 이 그룹의 RC값은 이 그룹에 처음 셀이 도착했을 때의 RC 값이다. 이 경우 이전 서비스 시간에 하나의 그룹만 있었고 셀의 개수가 할당된 가중치 보다 크지 않았으므로 모든 셀이 서비스를 받았다. 따라서 이 버퍼에는 하나의 그룹만 존재한다.  $QD$ 은  $10\delta$ 이고 셀의 수가 가중치보다 크지만  $QD$ 이  $D_i$ 보다 작기 때문에 Case 4에 의해 가중치만큼만 서비스 받는다.

③의 경우는 이전 서비스 시간동안에 도착한 셀의 수가 18개이고 이것이 새로운 그룹을 형성하고 이전 서비스 시간에 서비스를 못 받은 셀들이 속한 그룹은 그대로 남아 있다. 따라서 2개의 그룹이 존재한다. 첫 번째 그룹은 원래 셀 수가 5개였지만 4개는 서비스를 받았고 1개만 남았다. 두 그룹 모두  $QD$ 가  $D_i$ 보다 작고 버퍼에 쌓인 총 셀의 개수가

19개이므로 가중치만큼 서비스를 받는다. 그런데 첫 번째 그룹의 셀 개수가 가중치보다 적으므로 다음 그룹의 셀을 서비스한다. 즉, 알고리즘에서 Case 2에 의해 서비스를 받고 또 Case 4에 의해 서비스를 받는다는 것이다.

④의 경우는 이전 서비스 시간동안 도착한 셀의 수가 14개이다. 셀의 수가 가중치보다 많지만  $QD$ 가  $D_i$ 보다 작기 때문에 Case 4에 의해 가중치만큼만 서비스 받는다.

⑤의 경우는 이전 서비스 시간동안 2개의 셀이 도착하였다.  $QD$ 가  $D_i$ 보다 작고 서비스를 받을 때 첫 번째 그룹의 허용 주기는 0이고 그룹의 셀 수가 가중치보다 크므로 Case 3에 해당되고 따라서 가중치에 RC값을 더한 만큼 서비스하고 나머지 셀은 폐기한다. 현재의 RC 값은 5이고 가중치가 4이므로 9개의 셀을 서비스하고 나머지 2개의 셀은 폐기한다.

⑥도 ⑤와 같이 7개만 서비스하고 7개는 폐기된다.

⑦의 경우 첫 번째 그룹의  $QD$ 가  $D_i$ 보다 크므로 셀들은 Case 1에 의해 폐기된다. 그리고 나머지 그룹들은  $QD$ 가  $D_i$ 보다 작기 때문에 Case 4에 의해 가중치만큼만 서비스 받는다.

⑧의 경우는 버퍼에 있는 셀의 수가 가중치보다 적으므로 버퍼에 있는 만큼 서비스를 받고 남은 양만큼 RC 값을 증가시킨다.

#### IV. 시뮬레이션에 의한 알고리즘 분석

본 장에서는 시뮬레이션을 통해 제안한 알고리즘의 성능을 비교, 분석한다. 먼저 스위치에서의 스케줄링 알고리즘을 분석하기 위한 음성채널 링크의 모델링에 대해 살펴보고 제안한 스케줄링 알고리즘과 기존 스케줄링 알고리즘을 비교 분석해 보고자 한다. 시뮬레이션은 범용 시뮬레이션 언어인 SLAM II를 사용하였다.

##### 4.1 VTOA 트래픽 분석

각각의 음성채널은 64Kbps의 속도를 가지며 활성화구간과 묵음구간을 가지는 VBR 특성의 on-off 소스로 모델링 하였다. 묵음구간과 활성화구간의 두 개의 상태가 있고 한 상태에 머무르는 시간은  $t$  ms를 평균으로 하는 지수분포로 가정하였다. 그림 7은 음성트래픽의 천이도이다.

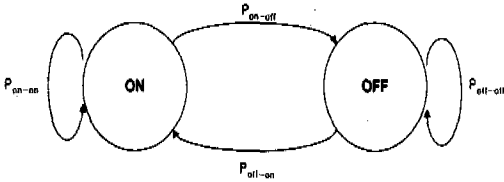


그림 7. 음성트래픽의 천이도  
Fig. 7 Transition diagram of the voice traffic.

시뮬레이션을 위해 패킷채움지연이  $T_{PFD}$  이고 각각  $N_1, N_2, N_3, N_4$  개의 음성채널을 가지는 4개의 링크를 모델링 하였다. 각각의 음성채널은 그림 7과 같은 VBR 특성의 on-off 소스 트래픽이고 각각의 음성 채널이 다중화되어 하나의 링크를 형성하게 된다. 이것은 AAL2에서 패킷채움지연시간 단위로 ATM 셀로 만들어진다. 표 5는 음성트래픽을 시뮬레이션할 때 사용되는 패러미터값들을 나타낸다.

패러미터	값	패러미터	값
$t$	500 ms	$T_{PFD}$	6 ms
$P_{ON-ON}$	0.4	$N_1$	6
$P_{ON-OFF}$	0.6	$N_2$	12
$P_{OFF-OFF}$	0.4	$N_3$	18
$P_{OFF-ON}$	0.6	$N_4$	24

표 5. 시뮬레이션을 위한 패러미터 값  
Table 5. Parameter values for simulation.

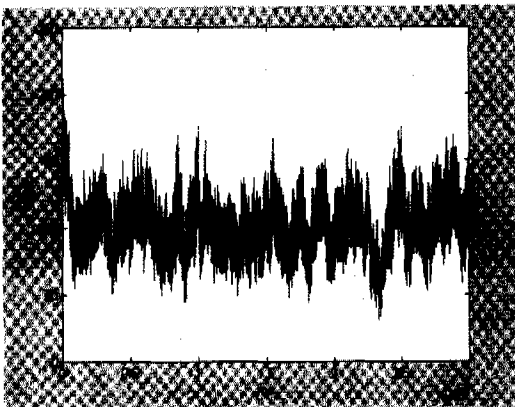
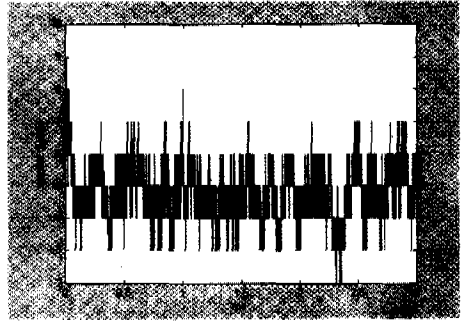


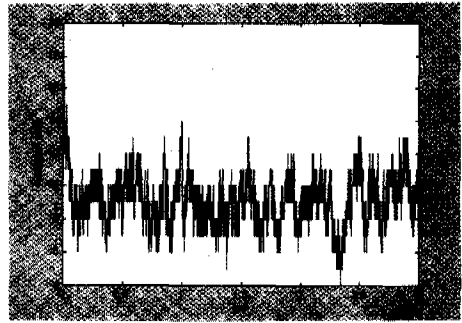
그림 8. on-off 소스 24개가 다중화된 경우에 발생하는 음성 데이터량(1ms단위)  
Fig. 8 Voice data multiplexed by 24 on-off sources(1ms unit).

그림 8은 on-off 소스 24개가 다중화된 경우에 발생하는 데이터량을 시간의 변화(1ms 단위)에 따라 바이트 단위로 보여주고 있고, 그림 9는 패킷채

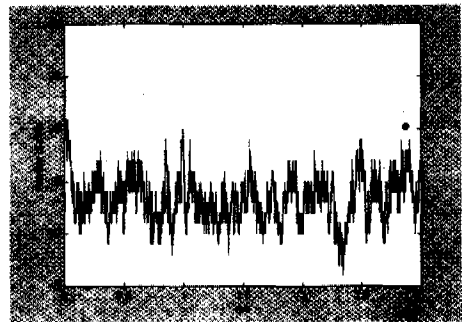
움지연이 2ms, 4ms, 그리고 6ms로 변할 때 발생하는 셀 수를 보여준다.



(a)



(b)



(c)

그림 9. 그림 8의 VTOA 트래픽에서의 패킷채움지연이 각각

(a)2ms, (b)4ms, (c)6ms 일때의 셀 발생량

Fig. 9. Number of cells generated from the VTOA traffic of Fig. 9 when each PFD is (a)2ms, (b)4ms and (c)6ms.

4.2 셀 스케줄링 및 폐기 알고리즘 비교, 분석  
본 절에서는 고속의 ATM 스위치에 적용 가능한 스케줄링 알고리즘인 WRR방식, DRR방식과 본 연



구에서 제한한 DBWRR방식을 비교 분석한다.

전체적인 시뮬레이션 구조는 하나의 출력링크로 4개의 링크가 셀을 전송하는 구조이고 각각의 링크 트래픽은 위에서 모델링한 트래픽 소스를 이용한다. 교환기에서의 CTD는 10ms로 가정하였다. 여기서 CTD는 교환기내에서 셀이 처리되어야 하는 허용 지연 시간을 의미한다.

1) CTD 위반셀율

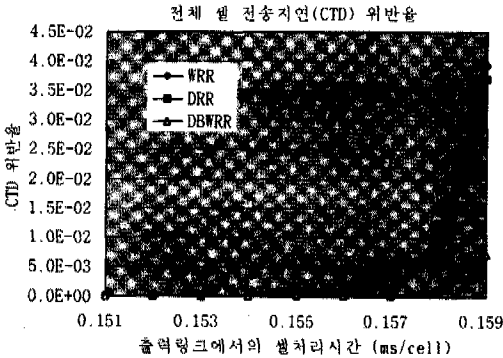


그림 10. CTD 위반셀율 비교  
Fig. 10. Comparison of the CTD of each algorithm.

그림 10에서 출력링크의 전송속도가 비교적 클 경우 셀 손실이 거의 발생하지 않지만, 출력링크의 전송속도가 비교적 낮을 경우 WRR이나 DRR 방식 보다 DBWRR 방식에서 CTD 위반셀율이 줄어듦을 볼 수 있다.

2) 평균 큐잉 지연

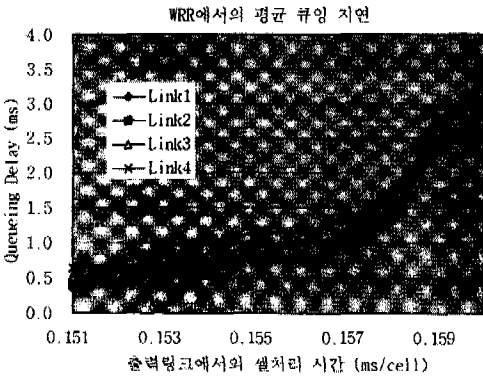


그림 11. WRR에서의 평균 큐잉 지연  
Fig. 11 Average queueing delay of the WRR.

그림 11~13은 각각의 알고리즘의 링크별 평균 큐잉 지연을 비교한 것이다. 링크별 평균 큐잉 지연은

셀이 입력버퍼에 도착해서 출력링크로 나갈 때까지의 링크별 시간으로 이것은 각각의 링크의 셀들이 평균적으로 얼마만큼의 지연을 가지는지를 보여주며, 서로 가까이 있을수록 지연이 공정하게 분배됨을 나타낸다. 링크별 평균 큐잉 지연 측면에서 볼 때, VTOA 트래픽의 경우 WRR과 DBWRR이 DRR보다 비교적 링크별로 비슷한 평균 큐잉 지연 시간을 나타냄을 볼 수 있다.

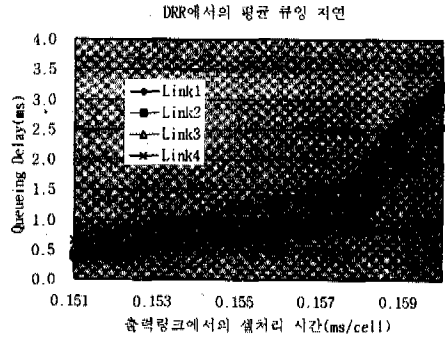


그림 12. DRR에서의 평균 큐잉 지연  
Fig. 12 Average queueing delay of the DRR.

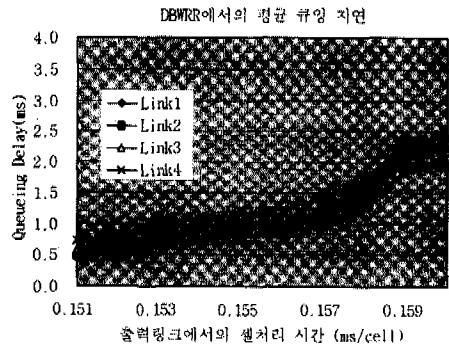


그림 13. DBWRR에서의 평균 큐잉 지연  
Fig. 13 Average queueing delay of the DBWRR.

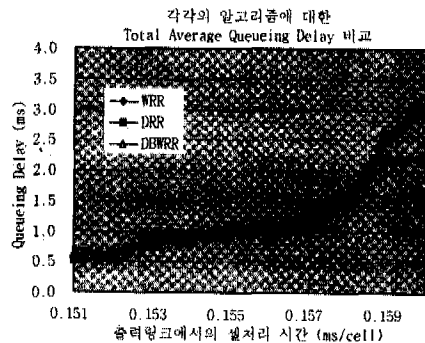


그림 14. 전체 평균 큐잉 지연 비교  
Fig. 14. Comparison of the total average queueing delay.

그림 14는 위의 세 가지 알고리즘에 대한 전체 평균 큐잉 지연을 비교한 것으로 그림에서 보듯이, 출력링크의 전송속도가 비교적 클 경우 전체 평균 큐잉 지연이 거의 차이가 없지만, 출력링크의 전송속도가 비교적 낮을 경우 WRR이나 DRR 방식보다 DBWRR 방식에서 전체 평균 큐잉 지연이 줄어들 수 있다.

3) CTD 위반셀의 공정성

공정성의 해석은 각각의 링크들이 셀 스케줄러에 의해 얼마나 자원을 공평하게 할당받았는지를 알아 보는 것이다. n명의 사용자가 서로 같은 자원을 공유하고 공유자원 중에서 각 사용자에게 할당된 자원의 량이 X<sub>i</sub>라고 할 때 공정성에 대한 정규화 된 수치 F는 다음과 같이 구할 수 있다<sup>[12]</sup>.

$$F = \frac{(\sum X_i)^2}{n \sum X_i^2} \quad (0 < F \leq 1) \quad (6)$$

모든 사용자가 똑같은 비율로 자원을 할당받을 때 가장 공정하게 되고 이때 F는 1의 값을 가지며 자원 할당이 불공정해질수록 F의 값은 작아진다.

각 링크에서 셀손실률에 대한 공정성을 구하기 위해 먼저 음성의 품질이 얼마나 저하되었는가를 나타내는 DVQ(degradation in voice quality)를 정의한다<sup>[12]</sup>.

$$DVQ = \frac{\text{(폐기된 셀 수 + 지연시간을 초과한 셀 수)}}{\text{전체 셀 수}} \quad (7)$$

DVQ를 위와 같이 정의할 때 유효한 셀의 비율은 1-DVQ가 된다.

각 링크의 DVQ가 X<sub>i</sub> 값이 되고 이것을 식(6)에 대입하여 F를 구한다.

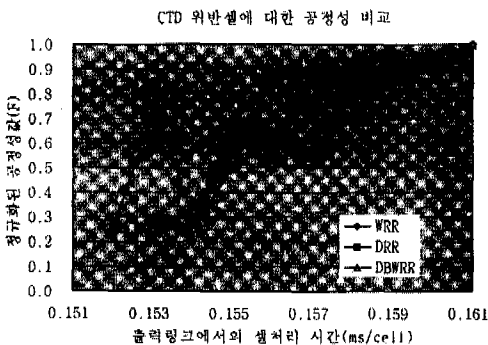


그림 15. 전체 CTD 위반셀율에 대한 공정성 비교  
Fig. 15 Comparison of the fairness with respect to the total CTD violation cell rate.

그림 15는 위의 공정성 정의에 따라 각각의 방식을 비교한 것으로, CTD 위반셀의 공정성 측면에서 세 가지 방식이 모두 비슷한 특성을 가짐을 볼 수 있다. 즉, 출력링크의 전송속도가 비교적 클 경우에는 CTD 위반셀의 공정성이 다소 떨어지지만, 전송속도가 비교적 낮을 경우에는 CTD 위반셀의 공정성이 거의 1로 접근함을 알 수 있다. 이는 전송속도가 클 경우 위반셀율이 매우 낮아서 링크별로 편차가 큰 반면, 전송속도가 낮을 경우 위반셀율이 높아 링크별로 편차가 크지 않기 때문이다.

따라서, 제안한 셀 스케줄링 알고리즘이 트래픽이 증가함에 따라 기존의 WRR이나 DRR방식보다 CTD 위반셀율과 평균 큐잉 지연이 낮으면서도 WRR이나 DRR처럼 각 링크에 공평하게 자원을 할당해 주는 것을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 고속의 ATM 스위치에서 VTOA와 같은 실시간 특성을 갖는 트래픽을 위한 CTD 요구 사항을 만족시키고 프로세싱 오버헤드를 최소화할 수 있는 스케줄링 알고리즘을 제안하였다.

제안한 알고리즘은 각 링크의 입력 버퍼로 들어오는 셀들을 스위치의 스케줄링 주기에 따라 링크별로 그룹화하여 그룹단위로 관리함으로써 셀단위로 관리하는 방식에 비해 프로세싱 오버헤드를 줄일 수 있고, 또한 입력 버퍼에서의 대기시간이 CTD를 초과한 셀들을 스위치에서 미리 폐기함으로써 다른 셀들이 CTD 요구사항을 위반하게 될 확률을 줄여줄 수 있기 때문에 결과적으로 불필요한 자원낭비를 방지할 수 있다.

시뮬레이션 결과 출력링크의 셀 처리 속도가 비교적 빠른 경우 셀 손실이 거의 발생하지 않고 전체 평균 지연 차가 거의 없지만, 출력링크의 셀 처리 속도가 비교적 느릴 경우 WRR이나 DRR 방식보다 제안한 셀 스케줄링 알고리즘에서 CTD 위반셀율과 전체 평균 큐잉 지연이 줄어들 수 있었다. 또한 큐잉 지연이 약간 향상되어도 셀의 CTD 위반율은 많이 향상되는 것을 볼 수 있었다. 셀 처리 속도가 0.159ms/Cell의 경우 제안한 셀 스케줄링 알고리즘에 비해 평균 큐잉 지연이 0.3ms 향상되었고, 이때 셀의 CTD 위반율은 기존의 알고리즘에 비해 20%정도 감소하는 것을 확인하였다. 링크별 평균 큐잉 지연 측면에서 볼 때, VTOA 트래픽의 경우 WRR과 DBWRR이 DRR보다 비슷한

평균 큐잉 지연 시간을 나타내었다. 또한, CTD 위반셀의 공정성 측면에서 세 가지 방식이 모두 출력 링크의 셀 처리 속도가 비교적 빠를 경우에는 CTD 위반셀의 공정성이 다소 떨어지지만, 셀 처리 속도가 비교적 느릴 경우에는 CTD 위반셀의 공정성이 거의 1로 접근함을 알 수 있었다. 이는 전송속도를 클 경우 셀이 임의로 발생하고 위반셀율이 매우 낮아서 링크별로 편차가 큰 반면, 전송속도가 낮을 경우 위반셀율이 높아 링크별 편차가 크지 않기 때문이다.

따라서, 제한한 셀 스케줄링 알고리즘이 트래픽이 증가함에 따라 기존의 WRR이나 DRR방식보다 CTD 위반셀율과 평균 큐잉 지연이 낮으면서도 WRR이나 DRR처럼 각 링크에 공평하게 자원을 할당해 주는 것을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] 양선희, 정태수, "패킷 음성 기술의 연구 동향," 전자통신동향분석, 제 13권, 제 3호, pp. 27-41, 1998년 6월.

[2] 유상조, 박수열, 김휘용, 김성대, "지연 서비스 품질 요구사항을 고려한 효과적인 라우드 로빈 패킷 전송 스케줄링 기법," 한국통신학회논문지, 제22권, 제10호, pp. 2191-2203, 1997년 10월.

[3] ITU Rec. G.114, "One-Way Transmission Time," Feb. 1996.

[4] Hui Zhang, "Service Disciplines for Guaranteed Performance Service in Packet-Switching Networks," *Proceeding of THE IEEE*, vol. 83, pp. 1374-1396, Oct. 1995.

[5] "Circuit Emulation Service Interoperability Specification Version 2.0," *The ATM Forum*, Jan. 1997.

[6] Mike McLoughlin, "A Management Briefing on Adapting Voice For ATM Network an AAL2 Tutorial," *General DataComm*, 1997.

[7] M. Shreedhar and G. Varghese, "Efficient Fair Queuing Using Deficit Round-Robin," *IEEE/ACM Trans. on Networking*, vol. 4, no. 3, June 1996.

[8] Y. T. Wang, T. P. Lin and K. C. Gan, "An Improved Scheduling Algorithm for Weighted

Round-Robin Cell Multiplexing in an ATM Switch," *Proceedings of IEEE ICC94*, New Orleans, Louisiana, USA, pp. 1032-1037, May 1994.

[9] 조성현, 오윤탁, 박성환, "ATM 망에서 효율적 대역폭 할당을 위한 동적 셀 스케줄링 알고리즘," 전자공학회논문지, 제35권, 제3호, pp. 358-368, 1998년 3월.

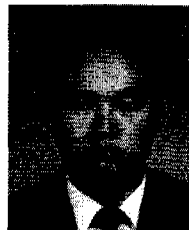
[10] M. Katevenis, S. Sidiropoulos, and C. Courcoubetis, "Weighted round-robin cell multiplexing in a general-purpose ATM switch chip," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, pp. 1265-1279, Oct. 1991.

[11] Mike McLoughlin, Keith Mumford, "A Management Briefing on Adapting Voice For ATM Networks A comparison of AAL1 Versus AAL2," *General DataComm*, 1997.

[12] Jayaraman Iyer, Raj Jain, and Sohail Munir, "Performance of VBR Voice over ATM : Effect of Scheduling," *ATM\_Forum/97-0608*, July 1997.

박 상 현(Sang-Hyun Park)

정회원

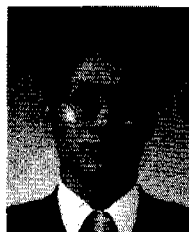


1995년 2월 : 고려대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
 1972년 2월 : 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)  
 1997년 3월~현재 : 고려대학교 대학원 전자공학과 박사과정

<주관심 분야> 개인이동통신망, IMT-2000, B-ISDN/ATM, Wireless ATM

김 음 선(Yong-Sun Kim)

정회원



1997년 2월 : 고려대학교 전자공학과 졸업 (공학사)  
 1999년 2월 : 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사)

<주관심 분야> 광대역 통신망, 통신 프로토콜, 이동통신, 인터넷

