

## 광 버스트 스위칭 네트워크에서 버퍼 기반의 서비스 차별화 방식

백정훈<sup>1</sup> · 이규호<sup>2\*</sup>

### Buffer-based Service Differentiation Scheme in Optical Burst Switching Networks

Jung-hoon Paik<sup>1</sup> · Kyou-ho Lee<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Broadcasting Communication, Dong-Ah Institute of Media and Arts, Anseong 456-717, Korea

<sup>2</sup>Department of Information Communications Engineering, Inje University, Kimhae 621-749, Korea

#### 요 약

본 논문에서는 빛의 그룹(group) 속도를 낮추는 slow-light 기술을 통해 사이즈가 소형화되고 있어 추후 적용성이 증대되고 있는 광 버퍼를 활용한 광 버스트 스위칭 네트워크에서의 서비스 차별화 방안을 제안한다. 제안된 방식에서는 광 버스트 스위치의 각 출력포트에 버퍼를 설치하고 높은 우선순위의 버스트가 입력되었을 때 해당 출력포트의 모든 파장이 사용 중이어서 서비스가 불가하면 입력된 버스트는 버퍼에 저장되고 파장이 가용해질 때까지 기다린 후 파장이 가용해지면 해당 파장을 통해 서비스를 시작한다. 동일한 상황에서 낮은 우선순위의 버스트가 입력되면 버퍼에 저장하지 않고 폐기된다. 제안된 방식의 성능분석을 위하여 수학적 모델을 도출되고, 도출된 모델을 기반으로 수치분석을 수행하여 제안방식이 서비스 차별화를 제공함을 확인한다. 또한 서비스 차별화를 시행하지 않는 경우와 기존의 서비스 차별화 방식인 선취방식이나 우회방식과의 비교를 통하여 제안 기법의 성능 평가를 수행한다.

#### ABSTRACT

In this paper, service differentiation scheme using optical buffer that is reduced in size with slow-light technology in optical burst switching networks is presented. In suggested scheme, each output has buffer to store high-class burst only in case that all its wavelengths are occupied. When all wavelengths are being used, a new arriving high-class burst goes into the buffer and waits until a burst is serviced. As soon as a burst is serviced with a wavelength, the high-class burst at buffer is allocated to the free wavelength. In case that low-class burst is arriving under the same situation, it is not stored at the buffer but discarded. An analytical model is derived to analyze the performance of the suggested scheme and compare its performance with the conventional scheme such as preemption and deflection as well as no service differentiations.

**키워드** : 서비스 차별화, 버퍼, 선취권, 우회경로, 광 버스트 스위치

**Key word** : Service Differentiation, Buffer, Preemption, Deflection Routing, Optical Burst Switch

접수일자 : 2013. 06. 25 심사완료일자 : 2013. 09. 23 게재확정일자 : 2013. 10. 10

\* **Corresponding Author** Kyou-ho Lee(E-mail:kyou@inje.ac.kr, Tel:+82-55-320-3907)

Department of Information Communications Engineering, Inje University, Kimhae 621-749, Korea

**Open Access** <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.12.2835>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

시에 스위치, 선로 등 네트워크장치의 전광화(all optical)가 가능해지면서 새로운 스위칭 방식의 도입이 불가피하게 되었다. 전광 네트워크에서는 소스 노드에서 목적지 노드까지의 물리적 경로상에 파장을 할당하여 광 경로(lightpath)를 구성하므로 경로 구성시간에 비해 데이터 전송시간이 충분히 길지 않다면 대역폭이 비효율적으로 사용되는 문제점을 갖는다. 버스트 트래픽은 이러한 문제를 유발할 수 있는 특성을 갖고 있으므로 소스에서 목적지까지 경로를 구성한 후 데이터를 전달하는 전통적인 스위칭 방식과는 다른 방식이 요구되며 이를 위해 도입된 것이 광 버스트 스위칭(Optical Burst Switching)이다[1-4].

광 버스트 스위칭에서는 동일한 소스 노드에 도착한 다수의 패킷이 합해져서 버스트(burst)로 구성된다. 제어패킷은 버스트에 앞서 전송되어 목적지까지의 경로상에 있는 각 스위치에서 버스트의 교환이 이루어지도록 스위치를 구성한다.

광 버스트 스위칭에서는 다양한 스위치 구성방식이 제시되고 있다. 대표적인 것으로는 just-in-time(JIT), just-enough-time(JET), burst segmentation(BS) 등이 있으며 이 중 가장 널리 활용되고 있는 JET 방식은 그림 1과 같이 소스노드(S)에서 제어(control) 패킷이 전달된 후 오프셋(offset) 시간  $T[\text{sec}]$  후에 버스트를 전달한다.

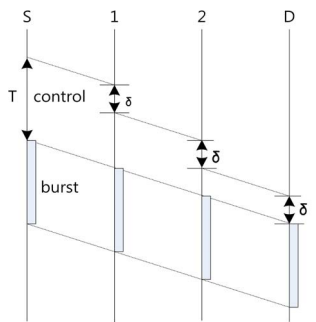


그림 1. 광 버스트 스위칭에서의 JET 프로토콜  
Fig. 1 JET Protocol in OBS

그림 1에서  $\delta$  는 각 노드에서 제어패킷을 처리하는 최대시간으로 정의하며 목적지(D)까지 경로상의 홉(hop) 수를  $h$  라 하면  $T$  는  $\delta \times h$  로 설정되어 각 노드

에서 버스트가 도착되기전에 제어패킷을 처리할 수 있도록 한다.

그림 2는  $W$  개의 파장을 갖는  $M$  개의 입력 광 링크와  $M$  개의 출력 링크로 구성되는 광 버스트 스위치를 나타낸다[5-6]. 제어 패킷이 스위치에 도착되면 스위칭 정보가 추출되어 제어기(controller)에서 전기적으로 처리된다. 제어기는 해당 버스트의 출력 링크를 선택하고 해당 링크로 스위칭 되도록 스위치 패브릭을 구성한다.

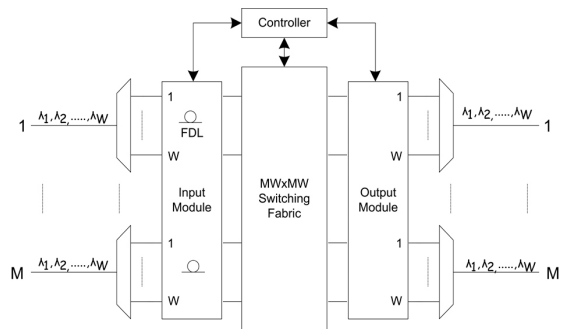


그림 2. 광 버스트 스위치 구조  
Fig. 2 The Optical Burst Switch Structure

광 버스트 스위칭 네트워크가 공중망(public network)으로 활용되기 위해서는 손실, 지연, 지터 등의 성능인자에 대하여 트래픽 클래스별로 성능을 조절할 수 있는 서비스 차별화(service differentiation) 기능이 제공되어야 한다.

본 논문에서는 버퍼를 사용한 손실률의 서비스 차별화 방안을 제시하고, 기존의 서비스 차별화 방식과의 성능 비교를 위한 수학적 모델을 도출한다.

논문의 구성은 II장에서 기존의 서비스 차별화 방안에 대하여 기술하고, III장에서는 제안하는 버퍼 기반의 서비스 차별화 방식을 설명한다. 제안된 방식의 수학적 분석 모델과 이를 활용한 성능분석이 IV장에서 이루어지고 V장에서 결론을 맺는다.

## II. 기존의 서비스 차별화 방식

광 버스트 스위칭 네트워크에서의 서비스 차별화 방안으로 다양한 방식이 제시되었으며 오프셋 시간의 확

장[7], 선취(preemption)[8-9], 확률적 선취방식의 버스트 분할[10], 그리고 의도적 버스트 폐기[11] 방식 등이 대표적이다.

[7]에서는 낮은 우선순위의 버스트에 비해 높은 우선순위의 버스트에 더 큰 오프셋 시간을 할애함으로써 높은 우선순위의 버스트에 대한 자원예약 가능성을 높인다. 두 클래스 트래픽간에 95%의 분리도(degree of isolation)를 얻으려면  $3\bar{L}$  ( $\bar{L}$ : 낮은 우선순위 버스트의 평균 버스트 길이)의 오프셋 시간이 추가로 요구된다. [8]에서는 출력 포트의 모든 파장이나 버퍼가 사용중인 경우 높은 우선순위의 버스트가 낮은 우선순위의 버스트를 선취하는 방식에 대하여 기술하고 있으며, [9]에서는 경합이 일어나는 부분만 폐기하는 부분적 선취방식을 제시하고 있다. [10]에서는 확률적인 방식으로 낮은 우선순위의 버스트를 선취하고 분할(segmentation)하는 방식을 제시하고 있으며, [11]에서는 버스트 손실률을 제어하기 위하여 의도적으로 버스트를 폐기하는 비례적 서비스 차별화 방안을 기술하고 있다. 또한 가용한 파장이 없어 목적지 출력포트로 스위칭이 불가능한 경우 높은 우선순위의 버스트를 다른 포트로 우회(deflection) 시키는 방식이 제안되고 있다[12-16]. [15]에서는 우회 확률을 정의하여 마코프(Markov) 모델을 활용하여 손실률에 대한 성능분석을 실시하고 있다.

기존의 전기기반의 스위치에서는 버퍼를 충돌제어나 서비스 차별화 등 다양한 기능에 활용하고 있지만 정지시킬 수 없는 빛의 특성으로 인해 광버퍼를 스위치에 활용하는 것은 현실적으로 어려움이 있었다. Fiber Delay Line(FDL)으로 광 버퍼 기능을 구현하지만 버퍼 사이즈 증대에 따른 FDL 길이의 증가 문제로 스위치에 적용하는 것은 용이하지 않았으나 최근에는 빛의 그룹 속도를 저하시키는 slow-light 소자가 개발되면서 광 버퍼의 사이즈가 감소될 뿐만 아니라 성능도 개선되고 있어 광 버퍼의 적용이 현실적 방안으로 제시되고 있다. 본 논문에서는 이러한 변화에 주목하여 광 버스트 스위치내에서 버퍼를 활용한 손실률의 서비스 차별화 알고리즘을 제안하고 기존방식과의 성능분석을 시행하여 버퍼 기반의 서비스 차별화 방안의 가능성을 확인하고자 한다.

### III. 버퍼기반의 서비스 차별화

#### 3.1. 버퍼기반의 서비스 차별화 알고리즘

그림 3는 제안하는 버퍼기반의 서비스 차별화 방식을 나타낸다. 각각의 출력포트는  $\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_W\}$ 으로 표현되는  $W$  개의 파장과 사이즈가  $K$  인 버퍼를 갖는다. 파장이 가용한 경우에는 해당 파장은 높은 우선순위의 버스트와 낮은 우선순위의 버스트에 의해 사용되어지며 이 경우 높은 우선순위 버스트에 의한 선취는 이루어지지 않는다. 따라서 모든 파장이 낮은 우선순위 버스트에 의해 사용되는 경우도 존재할 수 있다.

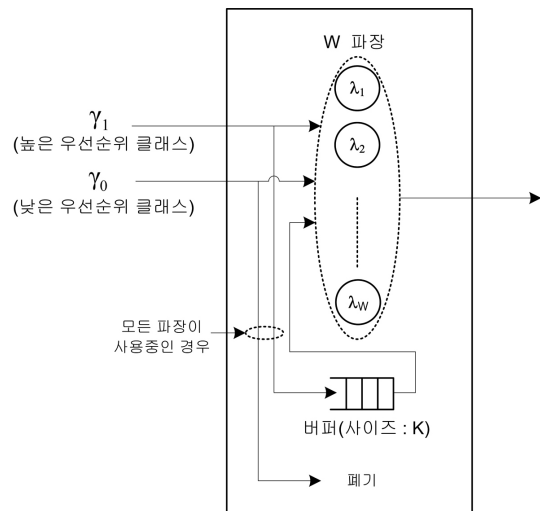


그림 3. 제안된 출력 링크 구조  
Fig. 3 Suggested Structure of an Output Link

모든 파장이 사용되고 있는 상황에서 높은 우선순위 클래스( $\gamma_1$ ) 버스트가 입력된 경우에 버퍼에 여유 공간이 있으면 버퍼로 저장되고 그렇지 않으면 폐기된다. 모든 파장이 사용되고 있는 상황에서 낮은 우선순위 클래스( $\gamma_0$ ) 버스트가 입력된 경우에는 버퍼에 여유 공간이 있더라도 버퍼에 저장되지 않고 폐기된다. 버퍼에 저장되어 있는 높은 우선순위의 버스트는 파장이 가용해지면 즉시 해당 파장을 통해 서비스된다.

이와 같이 버퍼를 높은 우선순위 버스트에만 제공함으로써 낮은 우선순위 버스트에 비해 높은 우선순위 버스트의 손실률이 낮게 되어 광 버스트 스위치에서의 서비스 차별화가 제공된다.

### 3.2. 분석 모델

기존방식과의 성능비교를 통한 제안된 방식의 성능 분석을 위하여  $W$  개의 파장과 버퍼 사이즈가  $K$  인 경우에 대하여 버퍼 기반 방식, 선취 방식, 서비스 차별화의 비적용 방식에 대한 상태천이도를 나타내면 그림 4와 같다. 그림 4에서 원 내부의  $i/j$  는  $i$  개의 높은 우선순위 버스트와  $j$  개의 낮은 우선순위 버스트가 출력포트에 존재하는 상태를 나타낸다. 높은 우선순위 버스트와 낮은 우선순위 버스트를 각각 class1 과 class0 로 표기한다. class1과 class0 버스트의 입력은 평균 값  $\gamma_1, \gamma_0$  를 갖는 Poisson 프로세스를 따르고 버스트 길이는 평균 값  $1/\mu$  의 지수 분포를 따른다고 가정한다. 제안된 버퍼 기반의 서비스 차별화 방식은 그림 4(a)에 반영되어 있다. 그림 4(a)에서  $K/W$  는 모든  $W$  개의 파장이 class0 버스트에 의해 점유되어 있고  $K$  개의 버퍼 공간은 모두 class1 버스트에 의해 사용 중인 상태이다.

이 상태에서 class0 버스트는  $W\mu$  의 속도로 서비스 되고, 서비스를 통해 가용하게 된 파장은 버퍼에 있는 class1 버스트에 의해 사용되어지게 되어 상태는  $K/W-1$  로 천이된다. 따라서  $K/W-1$  상태는 하나의 class1 버스트가 파장을 점유하고 있고 나머지  $K-1$  개의 class1 버스트는 버퍼에 존재하는 상황이다. 그림 4(a)에서  $\gamma_0$  에 의해  $K/W-1$  로부터  $K/W$  로의 천이는 존재하지 않는다. 이유는  $K/W-1$  상태에서는 모든 파장이 사용 중에 있고 단지 하나의 공간만 버퍼에 남아 있지만 class0 는 버퍼에 저장될 수 없기 때문이다.

$W/1$  은  $W-1$  개의 class1 버스트와 한 개의 class0 버스트가  $W$  개의 파장을 모두 사용하고 있고 하나의 class1 버스트가 버퍼에 저장되어 있는 상태이다. 이 상태에서 class1 과 class0 는 각각  $(W-1)\mu$  과  $1\mu$  의 속도로 서비스되므로  $W-1/1$  과  $W/0$  상태로 각각 천이된다.  $W/1$  에서  $W/0$  로의 천이에서 버퍼에 저장되어 있던 하나의 class1 버스트는 class0 에 의해 사용되어온 파장을 사용하게 된다.  $W/0$  상태에서 모든 파장이 class1 에 의해 사용되고 있고 class0 버스트는 버퍼에 저장될 수 없으므로  $W/1$  로의 천이는 불가하다.

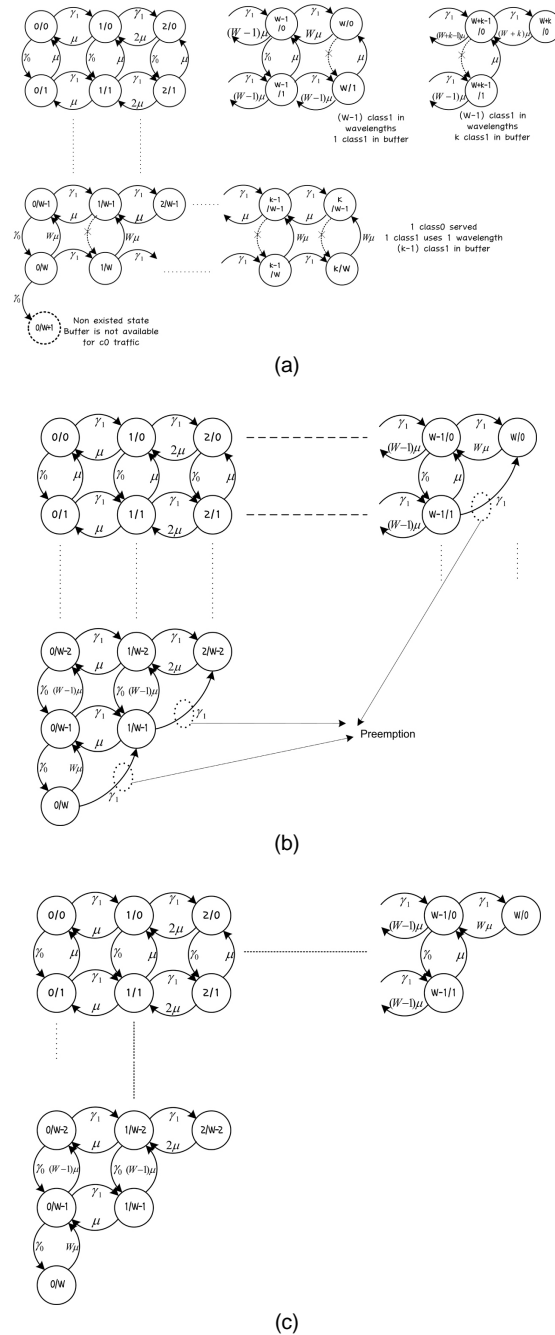


그림 4. 상태천이도 (a) 버퍼 기반 방식 (b) 선취 방식 (c) 서비스 차별화 비적용

Fig. 4 State Transition Diagrams (a) Buffer-based Scheme (b) Preemption Scheme (c) Non Service Differentiation

그림 4(b)는 선취 방식에 대한 상태천이도를 나타낸다. 선취 방식에서는 class1 버스트가 도착했을 때 모든 파장이 사용 중에 있고 최소한 하나의 파장이 class0에 의해 사용 중이라면 class1 버스트가 class0의 파장을 선취하게 된다. Class1 버스트가  $W-1/1$  상태에서 입력되면 class0에 의해 사용 중인 하나의 파장이 class1 버스트에 양도되어 상태는  $W/0$ 로 천이된다.

그림 4(c)는 서비스 차별화 방식을 적용하지 않는 경우의 상태천이도를 나타낸다. 이 경우는  $W/0$ 이나  $W-1/1$ 과 같이 모든 파장이 사용 중인 경우에만 블록킹이 발생된다.

상태천이도가 도출되었으므로 블록킹 확률을 계산할 수 있다.  $p_{i,j}$ 를 정상상태에서  $i$ 개의 class1 버스트와  $j$ 개의 class0 버스트가 존재할 확률로 정의한다. 상태천이도의 임의 상태에서의 방정식은 해당 상태로의 입력 천이율과 해당 상태에서부터의 출력 천이율을 동일하게 설정하는 것으로 얻어진다. 예로서 그림 4(a)의 상태  $0/0$ 에서의 방정식은 식 (1)로 주어진다.

$$(\gamma_1 + \gamma_0)p_{0,0} = \mu(p_{1,0} + p_{0,1}) \quad (1)$$

상태천이도의 상태가  $n$ 개인 경우 위와 동일한 방식으로  $n$ 개의 방정식을 수립할 수 있지만 이 경우 하나의 방정식은 중복이 되어  $n-1$ 개의 독립된 방정식을 도출할 수 있으며 나머지 한 개의 방정식은 식 (2)의 조건을 적용함으로써  $n$ 개의 확률  $p_{i,j}$ 를 구할 수 있다.

$$\sum_{i,j} p_{i,j} = 1 \quad (2)$$

$p_{i,j}$ 가 도출되면 각 방식에서의 블록킹 확률이 구해진다. 버퍼 방식에서 class1과 class0에 대한 블록킹 확률을  $p_{1,Buf}$ ,  $p_{0,Buf}$ 로 표기하며 표현식은 식 (3)으로 주어진다.

$$p_{1,Buf} = \sum_{i=0}^W p_{W+k-i,i}$$

$$p_{0,Buf} = \sum_{i=0}^W p_{W+k-i,i} + \sum_{i=0}^W p_{i,W-i} \quad (3)$$

$p_{1,Pre}$ 과  $p_{0,Pre}$ 는 선취 방식에 대한 class1과 class0의 블록킹 확률이며 표현식은 식 (4)로 주어진다.

$$p_{1,Pre} = \sum_{i=0}^W p_{W,0}$$

$$p_{0,Pre} = \sum_{i=0}^W p_{i,W-i} \quad (4)$$

우회 방식의 블록킹 확률은 식 (5)로 주어진다.  $p_{1,Def}$ 에서  $p$ 는 우회를 결정하는 우회 경로 확률로서  $p=1$ 이면 우회가 활성화되고  $p=0$ 이면 비활성화된다[12]. 식 (5)로부터 알 수 있듯이 서비스 차별화를 위하여 class1 버스트에 대해서만 우회를 적용한다.

$$p_{1,Def} = \sum_{i=0}^W p_{i,W-i} \left[ (1-p) + p \sum_{i=0}^W p_{i,W-i} \right]$$

$$p_{0,Def} = \sum_{i=0}^W p_{i,W-i} \quad (5)$$

식 (6)은 서비스 차별화를 적용하지 않는 경우의 블록킹 확률을 나타낸다.

$$p_{1,No} = p_{0,No} = \sum_{i=0}^W p_{i,W-i} \quad (6)$$

#### IV. 성능 분석

식 (3)을 활용하여 본 논문에서 제안하는 버퍼 기반의 서비스 차별화 방식에서 class1과 class0의 블록킹 확률  $p_1$ 과  $p_0$ 를 구하면 그림 5와 같이 나타난다. 그림 5에 사용된 매개변수는  $\gamma_0 = 0.5\gamma$ ,  $\gamma_1 = 0.5\gamma$ ,  $W=2$ ,  $K=1$ 이다.  $\gamma_0$ 와  $\gamma_1$ 을 각각  $0.5\gamma$ 로 설정한 것은 전체 트래픽  $\gamma$ 을 class1과 class0 트래픽으로 균등하게 구성하여 제안된 방식의 서비스 차별화 성능을 확인하기 위함이다.

그림 5로부터 모든 부하율( $\rho = \frac{\gamma}{\mu}$ ,  $\mu$ : 서비스율)에 대하여 class1의 블록킹 확률이 class0보다 낮은 것이 확인됨으로서 제안된 방식은 버스트 손실 측면에서 서

비스 차별화 기능을 제공함을 알 수 있다.

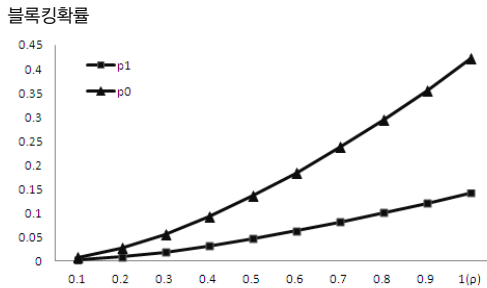


그림 5. 버퍼 방식의 블록킹 확률  
Fig. 5 Blocking Probability of Buffer-based Scheme

그림 6은 본 논문에서 제안한 버퍼 기반의 서비스 차별화 방식(buffering)과 기존의 서비스 차별화 방식인 선취 방식(preemption), 우회 방식(deflection), 이들 방식을 적용하지 않은 서비스 차별화 비적용 방식(non service differentiation)과의 성능비교를 보여준다. 그림 6(a)로부터 class1의 블록킹 확률은 우회 경로 방식이 가장 낮음을 알 수 있다. 우회 경로 방식은 블록킹이 발생하면 다른 경로로 전달하는 방식이므로 블록킹 측면에서는 가장 효과적임을 예견할 수 있다. 선취 방식은 입력 부하가 0.5 이하의 경우에서는 서비스 차별화를 적용하지 않는 방식 보다도 class1의 블록킹 확률이 높지만 부하가 0.5를 넘어가면 상황은 반전됨을 알 수 있다. 이러한 결과는 부하가 낮은 경우에는 모든 파장이 점유되는 경우가 거의 발생하지 않으므로 선취가 일어나지 않다가 입력 부하가 높아짐에 따라 가용한 파장이 모두 사용될 확률이 높아져 선취 발생이 높아지고 이로 인해 class1의 블록킹 확률이 낮아지는 것으로 분석된다. 그림 6(a)로부터 주목할 점은 다른 방식에 비해 선취 방식은 부하에 따른 변화가 완만하다는 것이다. 이것은 부하가 높은 상황에서는 선취방식이 매우 효과적인 서비스 차별화 방안임을 알 수 있다.

제안한 버퍼 방식은 입력부하가 0.8 이하에서는 선취 방식 보다 class1의 블록킹 확률이 더 낮고 입력부하가 0.8을 넘어가면 선취방식에 비해 class1의 블록킹 확률이 높아짐을 알 수 있다. 이러한 현상 역시 입력부하가 높아짐에 따라 선취방식의 효과가 커짐에 따라 나타나는 결과로 분석된다.

그림 6(b)는 다양한 서비스 차별화 방안에 대한 class0의 블록킹 확률을 나타낸다. 우회 경로 방식의 경우 class0에 대해서는 우회를 적용하지 않으므로 서비스 차별화를 제공하지 않는 방식과 동일하게 된다. 그림 6(b)로부터 버퍼 방식과 선취 방식은 서비스를 제공하지 않는 방식 보다 class0의 블록킹 확률이 높음을 알 수 있다. 이것은 버퍼 방식과 선취 방식에서 class1에 우선순위를 부여함으로써 나타나는 상대적 현상이다. 제안한 버퍼방식은 부하가 0.6을 넘어가게 되면 다른 방식에 비해 급격한 증가를 보임을 알 수 있다. 이것은 class0에는 버퍼 사용이 허락되지 않기 때문에 모든 파장이 점유되는 상황에서 입력되는 모든 class0 버스트는 폐기됨으로서 나타나는 현상이다.

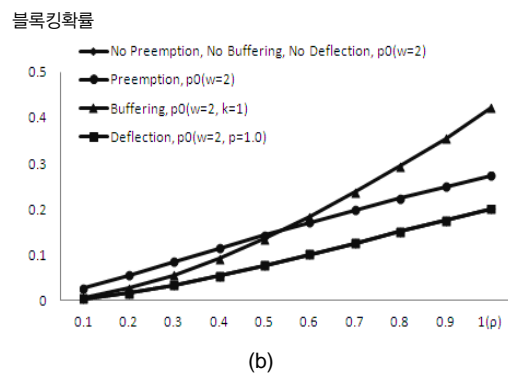
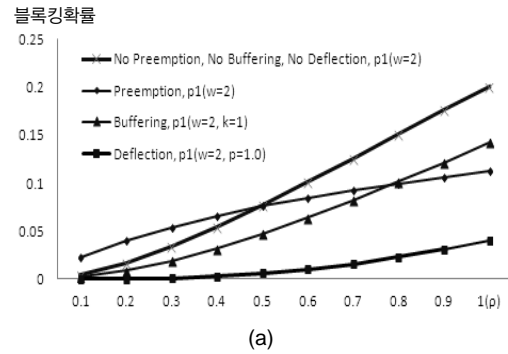


그림 6. 블록킹 확률의 성능 비교(a) 높은 우선순위 버스트(class1)의 블록킹 확률 (b) 낮은 우선순위 버스트(class0)의 블록킹 확률  
Fig. 6 Performance Comparison on Blocking Probabilities (a) Blocking probabilities of High Priority Burst(Class 1) (b) Blocking probabilities of Low Priority Burst(Class 0)

## V. 결 론

본 논문에서는 광 버스트 스위칭 네트워크에 적용될 수 있는 버퍼 기반의 서비스 차별화 방안을 제안하였다. 제안 방식의 서비스 차별화 성능을 파악하기 위하여 기존의 우회 라우팅이나 선취방식 그리고 비서비스 차별화 방식에 대한 수학적 분석을 실시하여 블로킹 확률에 대한 표현식을 도출하였다. 성능분석을 통해 우회 방식이 블로킹 확률 측면에서는 가장 낮음을 확인할 수 있었다. 또한 선취 방식은 다른 방식에 비해 부하의 증가에 따른 블로킹 확률의 증가가 크지 않다는 것을 알 수 있었다. 즉, 선취 방식은 부하가 높은 상황에서는 우선 순위 높은 버스트의 손실률을 낮추는데 매우 효과적임을 확인할 수 있었다. 성능분석을 통해 제안한 버퍼 방식은 서비스 차별화 기능을 제공하며 높은 우선 순위 버스트의 블로킹 확률에 대하여 우회방식 보다는 다소 높지만 선취방식 보다는 낮은 성능을 보여줌을 확인할 수 있었다.

추후에는 보다 다양한 트래픽에 대한 제안 방식의 성능 분석을 위한 수학적 모델 도출과 시뮬레이션 수행이 요구된다.

## REFERENCES

- [1] Christoph Gauger, Klaus Dolzer, Jan Spath, Stefan Bodamer, "Service Differentiation in Optical Burst Switching Networks," *ITG-Fachtagung Photonic Networks*, March 12-13, 2001, Dresden, Germany.
- [2] C. Qiao and M. Yoo, "Optical Burst Switching(OBS) - A New Paradigm for an Optical Internet," *Journal of High Speed Networks*, Vol. 8, No. 1, pp. 69-84, 1999.
- [3] C. Qiao, "Labeled Optical Burst Switching for IP-over-WDM Integration," *IEEE Commun. Mag.*, pp. 104-114, Sept., 2000.
- [4] A. Detti, V. Eramo, and M. Listanti, "Performance Evaluation of a New Technique for IP Support in a WDM Optical Network: Optical Composite Burst Switching (ODBS)," *J. Lightwave Technol.*, Vol. 20, pp. 154-165, Feb., 2002.
- [5] Sanghwa Han, Homin Yoo, Jaemyoun Lee, and Kyungtae Kang, "Design of an Optical Packet Switch for Real-Time Applications," *Journal of KIISE*, Vol. 40, No. 5, pp. 217-228, Oct., 2013.
- [6] C.R. Yang, J.Y. Choi, M.H. Kang, H.Y. Hwang, S.C. Jo, Y.W. Choi, H.H. Hong, and H.G. Kim "Design of an Optical Packet Header Controller for the Optical Burst Switching," *Electronics and Telecommunications Trends*, Vol. 16, No. 4, pp. 1-pp. 13, Aug., 2001.
- [7] M. Yoo, C. Qiao, and S. Dixit, "QoS Performance of Optical Burst Switching in IP-Over-WDM networks," *IEEE J. Select Areas Commun.*, Vol. 18, pp. 2062-2071, Oct., 2000.
- [8] Yang L., Jiang Y., Jiang S., "A Probabilistic Preemptive Scheme for Providing Service Differentiation in OBS Networks," *IEEE GLOBECOM 2003*, pp.2689-2693, Dec., 2003.
- [9] H. C. Cankaya, S. Charcranoon and T. S. El-Bawab, "A Preemptive Scheduling Technique for OBS Networks with Service Differentiation," *IEEE GLOBECOM 2003*, Dec., 2003.
- [10] Chee-wei Tan, Mohan Gurusamy, and John Chi-Shing Lui, "Achieving Proportional Loss Differentiation Using Probabilistic Preemptive Burst Segmentation in Optical Burst Switching WDM Networks," *GLOBECOM'04*, Dec., 2004.
- [11] Y. Chen, M. Hamdi. D. H. K., and Tsang, "Proportional QoS over OBS networks," *Proc. IEEE GLOBECOM 2001*, Vol. 3, pp. 1510-1514, Nov. 2001.
- [12] C. Hsu, T. Liu, and N. Huang, "Performance Analysis of Deflection Routing in Optical Burst-Switched Networks," *Proceedings of INFOCOMM*, 2002, vol. 1, pp.66-73, 2002.
- [13] C.-F.Hsu, T.-L.Liu, and N.-F. Huang, "On the Deflection Routing in QoS Supported Optical Burst-Switched Networks," *Proc. of INFOCOM*, New York, pp. 2786-2790, June, 2002.
- [14] M. Baresi, S. Bregni, A. Pattavina, and G. Vegetti, "Deflection Routing Effectiveness in Full-Optical IP Switching Networks," *Proc. IEEE ICC 2003*, pp.1360-1364, 2003.
- [15] Y. Chen, H. Wu, D. Hu, and C. Qiao, "Performance Analysis of Optical Burst Switched Node with Deflection Routing," *Proc., IEEE ICC 2003*.
- [16] Kavitha, V. and V. Palanisamy, "Simultaneous Multi-Path Transmission for Burst Loss Recovery in Optical Burst Switching (OBS) Networks," *Eur. J. Sci. Res.*, 87: pp. 412-426, 2012.



**백정훈(Jung-hoon Paik)**

정보통신공학과 공학박사

※관심분야 : 네트워크 성능 차별화 및 기능 고도화



**이규호(Kyu-ho Lee)**

전자통신공학과 공학박사

※관심분야 : 네트워크 및 임베디드 시스템, 고속 인터넷 및 패킷 처리