

# 광 버스트 스위칭 네트워크의 코어 노드를 위한 그룹 스케줄링 성능 분석

정회원 신 종 덕, 학생회원 이재명, 김형석

## Performance Analysis of Group Scheduling for Core Nodes in Optical Burst Switching Networks

Jong-Dug Shin\*, *Regular Member*, Jae-Myong Lee and Hyung-Suk Kim *Student Members*

### 요 약

본 논문에서는 광 버스트 스위칭 네트워크의 코어 노드에 그룹 스케줄링 알고리즘을 적용하여, 전산 모의실험을 통해 그 성능을 측정하였다. 성능 평가를 위해, 다채널 입출력 포트를 갖는 코어 노드에 대하여, 즉시 스케줄링 방식과 비교하였다. 그룹 스케줄링은 노드에 먼저 도착하는 버스트 헤더 패킷의 정보를 이용하여 일정한 시간 창에 스케줄링될 버스트들을 스케줄링하기 때문에, 전산 모의실험 결과 그룹 스케줄링 방식이 즉시 스케줄링 방식보다 버스트 손실 확률과 채널 이용률이 모두 개선되었으며 부하의 증가에 따라 차이가 더욱 커졌다. 또한, 출력 포트에 파장 변환기를 사용한 경우에 대해서도 성능을 측정하였다. 이 경우에는, 그룹 스케줄링 방식과 즉시 스케줄링 방식의 버스트 손실 확률과 채널 이용률 모두 부하 범위 0.1-0.9에서 서로 비슷하게 나타났으나, 파장 변환기의 사용 빈도는 즉시 스케줄링이 그룹 스케줄링보다 약 7배 이상으로 높아, 그룹 스케줄링 방식을 사용하면 보다 경제적인 노드 구조를 구현할 수 있음을 알 수 있었다.

Key Words : Optical Burst Switching; Optical Packet Switching; Group Scheduling; Interval Graph; Optical Network

### ABSTRACT

In this paper, we applied a group scheduling algorithm to core nodes in an optical burst switching (OBS) network and measured its performance by simulation. For the case of core nodes with multi-channel input/output ports, performance of the group scheduling has been compared to that of the immediate scheduling. Since the group scheduling has a characteristic of scheduling a group of bursts simultaneously in a time window using information collected from corresponding burst header packets arrived earlier to a core node, simulation results show that the group scheduling outperforms the immediate scheduling in terms of both burst loss probability and channel utilization and the difference gets larger as the load increases. Another node configuration in which wavelength converters are equipped at the output ports has also been considered. In this case, even though both performance metrics of the group scheduling are almost the same as those of the immediate scheduling in the offered load range between 0.1 and 0.9, the group scheduling has lower wavelength conversion rate than the immediate scheduling by at least a factor of seven. This fact leads us to the conclusion that the group scheduling makes it possible to implement more economical OBS core nodes.

### 1. 서론

최근 통신수요의 중심이 음성에서 인터넷·패킷

시장으로 급속히 전환됨은 물론 유·무선 통합과 회선·패킷망 통합이 급진전하는 추세를 보이고 있다. 이와 같은 추세에 맞추어 IP-over-WDM 네트워

\*승실대학교 정보통신전자공학부(jdshin@ssu.ac.kr)

논문번호040132-0329, 접수일자2004년 3월 30일

\* 본 연구는 승실대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌습니다.

크에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 광 코어 네트워크의 스위칭 방식으로서 대역폭을 효율적으로 활용할 수 있는 OBS (Optical Burst Switching)가 관심을 끌고 있다.

OBS 네트워크는 ingress 에지 노드 (edge node)에 연결되어 있는 여러 IP 네트워크로부터 입력되는 패킷들을 목적지 주소와 QoS (Quality of Service) 등에 따라 분류한 후에 동일한 속성을 갖는 패킷들을 모아서 보다 큰 크기의 데이터 버스트 (Data Burst, DB)를 만들어 데이터 채널을 통해 전송한다[1,2]. 이와 같은 데이터의 버스트화 (burstification)는 OPS (Optical Packet Switching)와 OCS (Optical Circuit Switching) 사이의 granularity를 갖기 때문에, 통계적 다중화 이득 및 데이터의 고속 포워딩 (forwarding)이 가능하다[3]. OBS ingress 노드에서는 채널 식별자 (channel identification), 목적지 노드 주소, DB의 길이, 그리고 DB 도착 시간 등과 같은 제어 정보를 포함하는 헤더 패킷 (Burst Header Packet, BHP)을 생성하여 각 DB마다 할당한 후, 전광 변환 (electrical-to-optical conversion)시켜 DB보다 먼저 제어 채널을 통해 전송한다. DB는 OBS ingress 에지 노드의 출력포트로부터 OBS egress 에지 노드의 입력포트까지 광의 형태가 유지되지만, BHP는 각 노드의 입력 단에서 광전 변환(optical-to-electrical conversion)된 후 SCU (Switching Control Unit)에 입력된다. 코어 노드의 SCU에 탑재된 스케줄러는 입력된 BHP들을 처리하여, 적용된 스케줄링 방식에 따라 나중에 도착하는 DB들을 위해 데이터 채널을 할당한다. 그리고, 각 DB에 대해서는 새로운 제어 정보를 갖는 BHP를 생성시켜 전광 변환한 후, 해당 DB보다 앞서 다음 노드로 전송한다. 최종적으로, OBS egress 에지 노드에 도착한 DB들은 광전 변환되어, 원래의 IP 패킷으로 분리된 다음 각 패킷의 목적지로 라우팅된다. ingress 에지 노드로부터 egress 에지 노드까지 버스트를 전달하는 과정에서, 중간 노드들인 코어 노드들에서는 서로 다른 채널로부터 입력되는 버스트들이 동일한 출력 채널을 사용하기 위해 경합하기도 하는 데, 부하가 증가함에 따라 이와 같은 경우가 자주 발생하여 버스트의 손실 확률이 높아지게 된다. 따라서, 코어 노드에 적용된 채널 스케줄링 방식에 따라 네트워크 자원의 이용률이 달라지기 때문에 보다 효율적으로 네트워크 자원을 이용할 수 있는 채널 스케줄링 방식에 대한 연구가 필요하다.

현재까지 제안된 OBS 코어 노드에서의 채널 스케줄링 방식들은 수평 스케줄링 (Horizon scheduling) 방식[1]과 지연 예약 (Delayed reservation) 방식이 있다. 초기에 제안된 수평 스케줄링 방식은 코어 노드에 도착한 BHP의 제어 정보에 의해 스케줄러가 채널 예약을 시도하며, 만일 예약이 가능하면 스케줄러가 예약 결정을 내린 시점부터 자원을 즉시 예약하여 해당 DB의 전송이 완료될 때까지 자원 예약 상태를 유지시킨다. 이와 같은 시스템은 채널의 최근 사용 시간 정보만을 갖고 있기 때문에 간단하지만, 채널 예약 요청이 수락되는 경우에 DB가 노드에 도착하기도 전에 자원을 예약하기 때문에, 이미 예약되어 있는 전송 시간들 사이의 빈 시간을 사용할 수 없어 실제 서비스에 필요한 시간보다 더 많은 시간이 DB 전송에 할당되는 단점을 갖고 있다. 이후에 제안된 지연 예약 방식에는 Just-In-Time (JIT)과 Just-Enough-Time (JET) 프로토콜이 있다[2,4]. 이 방식은 수평 스케줄링 방식과는 달리 DB가 코어 노드에 도착하는 시점부터 DB의 길이 동안만 채널 자원을 할당한다. 만약 이미 예약된 DB들 사이에 빈 시간 공간이 존재하면, 이후에 도착하는 DB의 크기에 해당하는 시간이 이 빈 공간과 같거나 작으면 새로 도착하는 DB를 이미 예약된 DB들 사이에 삽입할 수도 있다. 따라서, 이 방식은 수평 스케줄링보다 자원을 효율적으로 사용할 수 있다.

본 논문에서는 OBS 네트워크의 코어 노드에 그룹 스케줄링 알고리즘을 적용하여 성능을 측정하였다. 이 방식은 기존의 방식과 같이 입력 BHP의 정보를 이용하여 순서대로 해당 DB를 개별적으로 스케줄링하는 것이 아니라, 일정한 크기의 시간 창 안에 BHP들을 수집한 후, 이 BHP들을 동시에 처리하여 나중에 도착할 해당 DB들을 한꺼번에 지연 스케줄링하는 방식으로서, 스케줄링 창 안에 수집된 BHP들을 그룹으로 처리하기 때문에 스케줄링할 DB 그룹의 정보를 모두 알 수 있게 되어 보다 효율적으로 네트워크 자원을 이용할 수 있는 장점을 갖고 있어 경제적인 시스템 개발이 가능하다[5]. 현재까지의 연구는 다채널 포트를 통해 입력되는 DB들을 단일 채널 출력에 스케줄링하는 경우에만 국한되었으나[5,6] 본 연구에서는 다채널 입력/다채널 출력 포트를 갖는 노드 구조에 대하여 파장 변환기가 출력 포트에 장착된 경우와 장착되지 않은 경우에 대하여 성능을 평가하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. 제II장에서는 그룹

스케줄링 방식의 기본적인 개념과 동작원리에 대해 간단히 기술하였다. 제Ⅲ장에서는 입출력 포트가 각각 4개, 포트 당 데이터 채널 수와 제어 채널 수가 각각 4개와 1개인 코어 노드에서, 광 스위치 패브릭(Optical Switch Fabric)의 각 출력 포트에 파장 변환기가 장착되지 않은 경우와 장착된 경우에 대해 전산 모의실험으로 그룹 스케줄링 방식의 성능을 측정하였고, 이를 현재까지 가장 우수하다고 알려진 스케줄링 방식인 LAUC-VF (Latest Available Unused Channel with Void Filling)[7]와 비교 평가하였다. 파장 변환기를 사용하지 않는 노드 구조에 대해서는 성능 파라미터로서 버스트 손실 확률과 채널 이용률을 측정하였고, 파장 변환기를 사용하는 노드 구조에서는 버스트 손실 확률과 채널 이용률, 그리고 파장 변환기 사용 빈도인 파장 변환률을 측정하였다. 마지막으로 제Ⅳ장에서는 본 논문의 결과를 요약 정리하였다.

## Ⅱ. 그룹 스케줄링

### 1. 기본 개념

그룹 스케줄링 방식은 데이터 채널을 작은 시간 구간 단위를 갖는 데이터 채널 스케줄링 창(scheduling window)들로 분할하여 사용한다. 동일한 데이터 채널 스케줄링 창을 사용하려는 DB(Data Burst)들의 BHP(Burst Header Packet)들은 해당 BHP 수집 창에 수집된다. BHP 수집 창이 종료되면, 이 창에 수집된 모든 BHP들은 동시에 처리되기 때문에, 해당 DB 그룹이 한꺼번에 스케줄링된다. 그룹 스케줄링 방식은 반 오프라인(semi-offline) 모드로 동작하기 때문에 스케줄러가 BHP의 도착 순서에 따라 개별적으로 스케줄링 결정을 내리는 기존의 스케줄링 방식과는 달리, 수집 창 내의 모든 DB들에 대한 정보를 알 수 있으므로 보다 효율적으로 DB들을 스케줄링할 수 있다. 또한, 채널 사용 요청들, 즉 BHP들을 모두 다 수집할 때까지 기다리는 오프라인 스케줄링과는 달리 데이터 채널 시간을 작은 스케줄링 창으로 분할하여, 각 창의 마지막에 스케줄링 결정을 내리기 때문에 적절한 스케줄링이 이루어질 수 있다.

DB는 데이터 채널 시간 축에서 DB의 길이에 해당하는 시간 선분으로 표현할 수 있다. 그러므로, 가변 길이를 갖는 DB들을 스케줄링하는 문제는 가변 길이의 시간 선분들을 직선 상에 배열하는 문제

로 해석할 수 있다. DB의 집합이 해당 시간 선분들로 변환되면, 스케줄러는 가능한 많은 수의 중첩되지 않는 시간 선분들을 채널 시간 창에 채우게 된다. 스케줄러는 주어진 DB들의 집합에 대해 그림 1과 같은 구간 표현(interval representation) 프로필을 구성하고, 이 프로필로부터 그림 2와 같은 구간 그래프(interval graph)를 생성하여 주어진 시간 창에 중첩하지 않는 최대 개수의 구간들을 구한다. 즉, 구간 그래프에서 서로 인접하지 않는 꼭지점들의 최대 개수를 구한다.

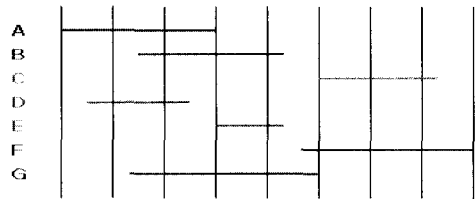


그림 1. 구간 표현 프로필

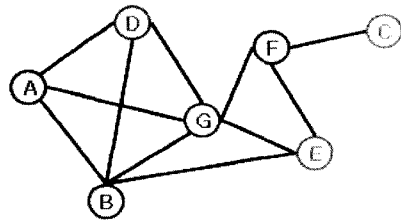


그림 2. 구간 그래프

이렇게 얻어진 최대 구간 개수의 집합을 안정 집합(Stable Set)이라 부르며, 그림 2의 예에서는 안정 집합 #1={C, E, D}와 안정 집합 #2={A, C, E}가 구해질 수 있다. 데이터 채널 스케줄러 모듈은 스케줄링 시스템에 적용된 선택 기준에 따라 안정 집합 #1과 #2 중에서 채널 자원을 최대로 이용할 수 있는 집합, 즉 최대 안정 집합(Max Stable Set)을 선택하여 스케줄링 결정을 내린다. 이들 중첩이 되지 않는 구간들은 데이터 채널에서 충돌하지 않고 전송될 수 있는 DB들을 의미한다. 그러므로, 이와 같은 문제는 구간 스케줄링(interval scheduling)의 형태로 고려할 수 있다[8-12]. 각 구간의 시작 시간은 DB의 도착시간을 나타내며, 종료시간은 DB의 길이로 결정된다.

2. 그룹 스케줄링의 동작 원리

그룹 스케줄링 방식과 기존에 제안된 방식 중 가장 성능이 우수한 LAUC-VF와 같은 즉시 스케줄링 방식을 비교하여 동작 원리를 설명하면 다음과 같다.

표 1. 부하가 0.55인 경우 BHP 정보 표본

| BHP 도착순서 | DB도착 시간( $\mu$ s) | DB 길이( $\mu$ s) | DB종료 시간( $\mu$ s) | 출력 포트 | 출력 채널 |
|----------|-------------------|-----------------|-------------------|-------|-------|
| 1        | 5.07              | 14.87           | 19.93             | 1     | 1     |
| 2        | 14.87             | 25.93           | 40.80             | 1     | 1     |
| 3        | 12.20             | 3.60            | 15.80             | 1     | 1     |
| 4        | 136.20            | 1.40            | 137.60            | 1     | 1     |
| 5        | 46.67             | 4.20            | 50.87             | 1     | 1     |
| 6        | 149.40            | 5.33            | 154.73            | 1     | 1     |
| 7        | 83.93             | 9.47            | 93.40             | 1     | 1     |
| 8        | 105.47            | 7.40            | 112.87            | 1     | 1     |
| 9        | 134.80            | 10.67           | 145.47            | 1     | 1     |

표 1은 DB 도착시간과 길이가 모두 지수분포를 따르고, 부하가 0.55인 경우에 크기가 200 $\mu$ s인 BHP 수집 창에 수집된 정보 중에서 출력 포트별 분류 및 출력 채널별 분류 과정을 거쳐 출력 포트 1의 채널 1에 스케줄링되는 BHP들의 예를 보이고 있다. BHP는 1에서부터 9까지 순서대로 도착한다고 가정한다. 이 예에서 입력 DB 길이의 합은 82.87 $\mu$ s이다.

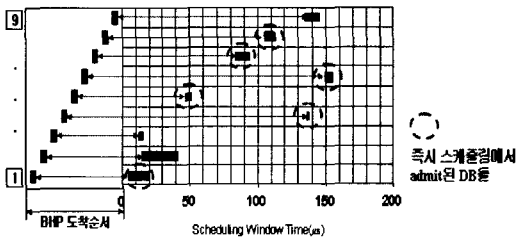


그림 3. 즉시 스케줄링 방식의 스케줄링 결과

그림 3에 즉시 스케줄링의 결과를 도시하였다. 왼쪽 상자에 BHP들의 도착 순서를 나타냈고, 오른쪽 상자에는 도착 예정인 DB들을 스케줄링 창에 시간상으로 배열하였다.

즉시 스케줄링은 BHP가 도착하는 순서대로 즉시 스케줄링 결정을 내리기 때문에, 그림 3과 같이 점

선 원 안의 DB들, 즉 DB1, DB4, DB5, DB6, DB7, 그리고 DB8이 스케줄링되며 나머지 3개의 DB들, DB2, DB3, 그리고 DB9는 손실된다. 즉시 스케줄링 결과로부터 구한 채널 이용시간은 42.67 $\mu$ s이다.

그룹 스케줄링의 알고리즘 순서도는 그림 4와 같다.

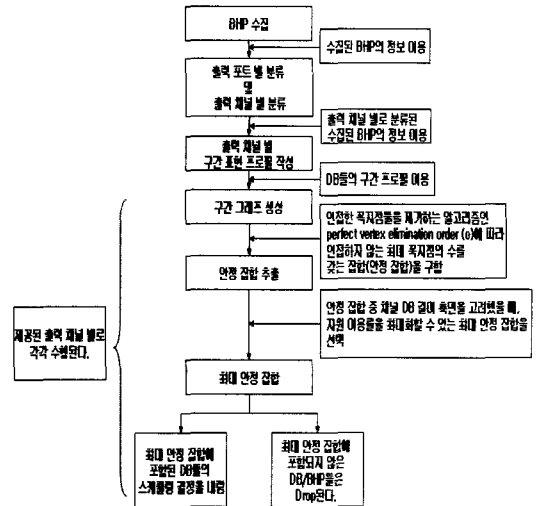


그림 4. 그룹 스케줄링 알고리즘 순서도

그룹 스케줄링 방식에서는 표 1의 정보로부터 그림 5와 같이 구간 표현 프로필을 작성하고, 이를 구간 그래프로 변환한다.

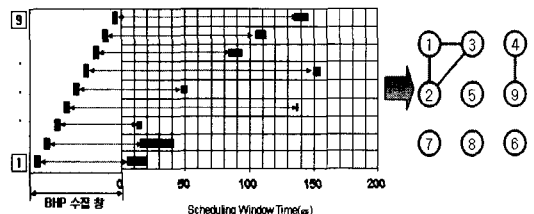


그림 5. 분류된 BHP들의 구간 표현 프로파일 및 구간 그래프

그 다음에는 구간 그래프를 이용하여 서로 인접해 있는 꼭지점을 하나씩 제거하면서 서로 인접하지 않는 최대 꼭지점의 개수를 갖는 안정 집합을 찾는다. 이 예에서 언어질 수 있는 안정 집합들은 표 2와 같이 6가지가 있다.

표 2. 안정집합후보

| 안정집합후보 | 안정집합             | DB 길이 합( $\mu s$ ) |
|--------|------------------|--------------------|
| 1      | 1, 4, 5, 6, 7, 8 | 42.67              |
| 2      | 2, 4, 5, 6, 7, 8 | 53.73              |
| 3      | 3, 4, 5, 6, 7, 8 | 31.40              |
| 4      | 1, 5, 6, 7, 8, 9 | 51.93              |
| 5      | 2, 5, 6, 7, 8, 9 | 63 (최대안정집합)        |
| 6      | 3, 5, 6, 7, 8, 9 | 40.67              |

이 중에서 안정 집합 후보들의 DB 길이 합을 검사한 결과 DB의 길이가 가장 긴 집합, 즉 안정 집합 #5 = {DB2, DB5, DB6, DB7, DB8, DB9}가  $63\mu s$ 로 최대 안정 집합으로 선택되며, 스케줄링 결과는 그림 6과 같게 된다.

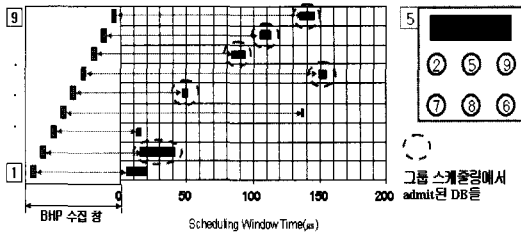


그림 6. 그룹 스케줄링 방식의 스케줄링 결과

### III. 성능 평가

#### 1. 전산 모의실험 환경

성능 평가를 위해 전산 모의실험에 사용한 코어 노드의 구조는 그림 7과 같다. 입·출력 포트가 각각 4개씩 있고, 각 포트에 연결된 광섬유에 1개의 제어 채널과 4개의 데이터 채널이 있으며, DB를 위

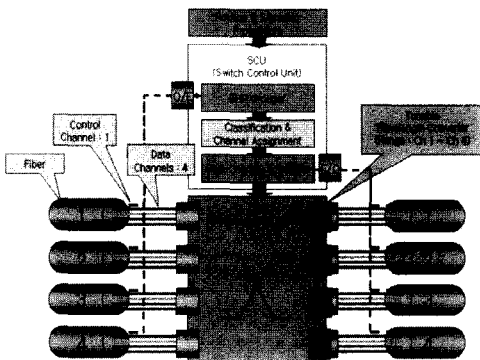


그림 7. 그룹 스케줄링 방식의 OBS 코어 노드 구조

한 광 버퍼는 없다고 가정하였다. 그리고, 출력 포트에 파장 변환기가 없는 경우와 있는 경우에 대하여 성능을 측정하였다. 버스트의 길이와 도착시간은 지수 분포를 가정하였다. 스케줄링 성능 비교 대상으로는 즉시 스케줄링을 선택하였다. 전산 모의실험에 사용된 입력 파라미터는 표 3과 같다.

표 3. 전산모의 실험 입력 파라미터

|                             |               |
|-----------------------------|---------------|
| No. of control channels     | 4             |
| No. of input/output ports   | 4             |
| No. of data channels/port   | 4             |
| Burst generation            | on-off source |
| No. of traffic class        | single        |
| Channel rate                | 10 Gb/s       |
| Mean burst size             | 20 kB         |
| Scheduling time window size | 200 $\mu s$   |
| No. of windows              | 600           |
| Range of offered load       | 0.10.9        |

전산 모의 실험에서 성능 평가를 위해 측정한 파라미터들은 버스트 손실 확률, 채널 이용률, 그리고 파장 변환 변환률로서, 각각의 정의는 표 4와 같다.

표 4. 파라미터들의 정의

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| 버스트 손실 확률 (Burst Loss Probability)  | $= \frac{\text{손실된 DB들의 개수}}{\text{입력된 DB들의 개수}}$            |
| 채널 이용률 (Channel Utilization)        | $= \frac{\text{스케줄링창에 할당된 DB들의 길이 합}}{\text{입력된 DB들의 길이 합}}$ |
| 파장 변환률 (Wavelength Conversion Rate) | $= \frac{\text{파장변환횟수}}{\text{입력된 DB 수}}$                    |

#### 2. 파장 변환기를 사용하지 않은 경우

파장 변환기를 사용하지 않은 코어 노드 구조는 가장 기본적인 노드 구조로서 그룹 스케줄링 방식과 즉시 스케줄링 방식의 일반적인 특성을 알아보기 위한 노드 구조이다.

그림 8은 버스트 손실 확률에 대한 전산 모의실험 결과이다.

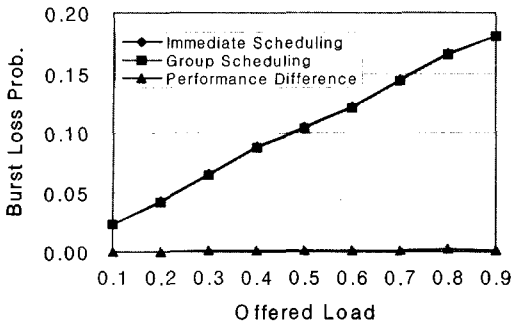


그림 8. 버스트 손실 확률

두 가지 방식 모두 거의 같은 버스트 손실 확률을 보이고 있다. 버스트 손실 확률의 정의가 스케줄링에 실패한 DB의 개수와 입력된 DB의 개수의 비율이기 때문에 DB의 길이에 상관없이 손실된 DB의 개수만을 비교한 결과이다. 그러나 그림 9에 나타난 비트 손실 확률은 손실된 DB의 길이에 대한 정보를 간접적으로 나타내고 있다. 그림으로부터 알 수 있듯이, 그룹 스케줄링 방식이 즉시 스케줄링 방식보다 긴 길이의 DB들을 선택하기 때문에, 보다 높은 채널 이용률을 보인다. 비트 손실 확률은 즉시 스케줄링 방식이 그룹 스케줄링 방식보다 부하 0.1에서는 약 1.6%, 0.5에서는 4.8%, 그리고 0.9에서는 약 7.3% 높게 나타났다.

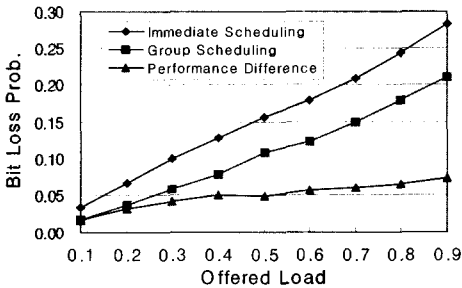


그림 9. 비트 손실 확률

그림 10은 채널 이용률을 측정한 결과이다. 그룹 스케줄링 방식이 즉시 스케줄링 방식보다 향상된 채널 이용률을 보이는 것을 알 수 있었다. 특히 부하가 증가할수록 그룹 스케줄링 방식의 이득이 높게 나타났다. 부하가 낮은 경우에는 두 가지 방식 모두 DB의 손실없이 스케줄링이 가능하여 두 가지 방식 모두 거의 같은 채널 이용률을 나타내나, 부하가 증가할수록 그룹 스케줄링 방식이 즉시 스케줄링 방식보다 이용률이 점차 높아져서, 부하 0.9

에서는 채널 이용률의 이득이 약 6.8%로 나타났다.

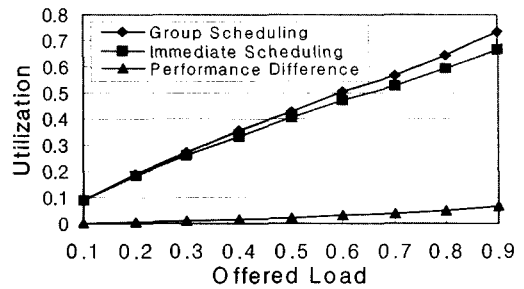


그림 10. 채널 이용률

### 3. 파장 변환기를 사용한 경우

파장 변환기를 사용한 코어 노드 구조는 채널 이용률을 높이기 위한 구조로서, 그룹 스케줄링 방식과 즉시 스케줄링 방식 모두 SCU에 입력된 BHP 정보를 바탕으로 스케줄링 결정을 내릴 때, 다른 DB에 의해 이미 채널이 예약되어 할당할 수 없는 상태라도 제공된 출력 데이터 채널의 범위에서 사용 가능한 채널이 존재하면 파장 변환을 통해 스케줄링을 할 수 있는 구조이다.

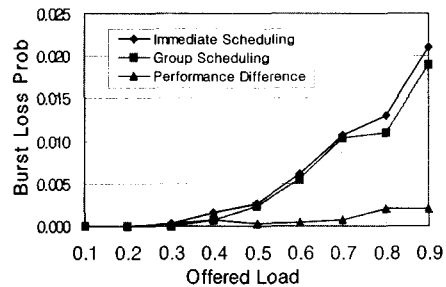


그림 11. 버스트 손실 확률

그림 11은 파장 변환기를 사용한 경우에 그룹 스케줄링 방식과 즉시 스케줄링 방식의 버스트 손실 확률을 측정한 결과이다. 파장 변환기를 사용한 구조에서도 역시 그룹 스케줄링 방식이 즉시 스케줄링 방식보다 향상된 성능을 보이는 것을 알 수 있으나 개선률은 부하 0.9에서 0.2% 정도로 미미하게 나타났다. 이와 같은 현상은 즉시 스케줄링 방식에서, 원래 스케줄링되고자 했던 출력 채널에서 스케줄링에 실패한 DB들도 파장 변환을 통해 다른 채널에 스케줄링될 확률이 높기 때문에, 그룹 스케줄링 방식과 성능의 차이가 없게 된 결과이다. 파장

변환기를 사용하지 않은 구조의 결과인 그림 9와 비교해 보면, 두 가지 방식 모두 부하 0.5인 경우에 버스트 손실 확률이 약 50배 정도 감소하였고, 0.9인 경우에는 약 9배 정도 감소하였다. 결국 노드의 출력에 파장 변환기를 장착하여 버스트의 손실을 현저히 감소시킬 수 있음을 알 수 있다.

그림 12의 비트 손실 확률도 그룹 스케줄링 방식이 즉시 스케줄링 방식보다 향상된 성능을 보이나 위와 마찬가지로 이유로 개선률은 부하 0.9에서 1.2% 정도로 미미하게 나타났다.

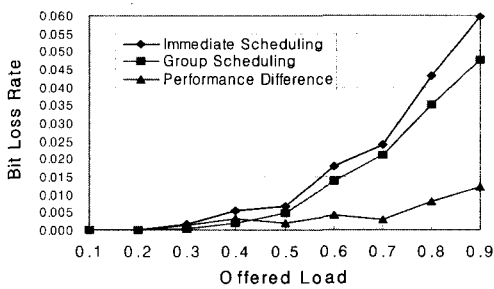


그림 12. 비트 손실 확률

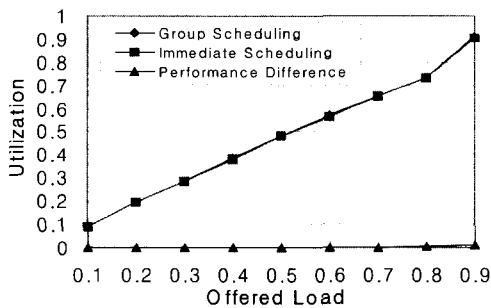


그림 13. 채널 이용률

그림 13은 파장 변환기를 사용한 경우에 채널 이용률을 측정한 결과이다. 채널 이용률 측면에서도 그룹 스케줄링 방식이 즉시 스케줄링 방식보다 향상된 성능을 보이나, 성능 차이는 1% 이하로 낮았다. 파장 변환기를 사용하지 않은 경우와 비교하면 버스트 손실 확률이 현저히 낮아서 전체 부하 범위에서 제공된 부하를 거의 손실없이 처리하는 것을 알 수 있다.

그림 14는 그룹 스케줄링 방식과 즉시 스케줄링 방식에서 파장 변환기의 사용 빈도를 나타내는 파장 변환률을 측정하는 결과이다. 즉시 스케줄링 방식은 전체 부하 범위에서 70% 이상의 파장 변환률,

즉 약 10개의 DB가 입력되면 이를 거의 손실없이 스케줄링 하고자 할 때 약 7회의 파장 변환을 해야 하지만, 그룹 스케줄링 방식에서는 1회 미만의 파장 변환으로도 DB들을 스케줄링할 수 있음을 보이고 있다.

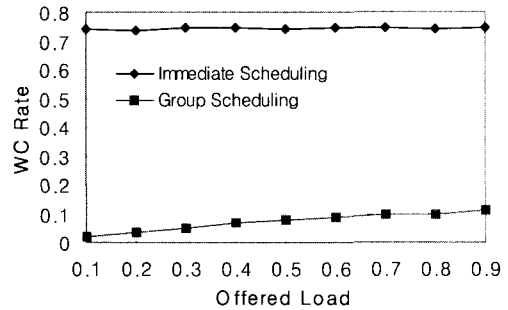


그림 14. 파장 변환률

파장 변환기는 스케줄링 결과에 따라 SCU의 제어 신호에 의해 구동되는데, 정확한 출력 파장의 발생 및 파장 변환 속도가 중요한 성능 파라미터이다. 파장 오차는 네트워크 차원의 파장 동기를 통해 해결할 수 있지만, 파장 변환 속도는 파장 변환기의 동작 속도와 입력 파장과 출력 파장의 간격에 따라 다르게 되어 서로 다른 시간 지연이 발생한다. 따라서, 동일한 개수의 파장 변환기 사용한 시스템에서 파장 변환 빈도가 높을수록 시간 지연이 증가되므로, 그룹 스케줄링 방식이 시스템 측면에서 보다 경제적이다.

## V. 결론

본 논문은 광 버스트 스위칭 네트워크의 코어 노드에서 효율적인 채널 이용을 위한 새로운 스케줄링 방식인 그룹 스케줄링 방식을 설계하였으며, 전산 모의실험을 통해 그 성능을 측정하였고, 현재까지 제안된 스케줄링 알고리즘 중에서 가장 우수한 성능을 보이는 LAUC-VF 방식인 즉시 스케줄링 방식과 비교 평가하였다.

파장 변환기를 사용하지 않는 16채널 노드 구조에서는 그룹 스케줄링 방식이 즉시 스케줄링 방식보다 비트 손실 측면에서는 최대 7.3%, 채널 이용률 측면에서 최대 6.8% 정도의 성능 개선을 보이는 것을 확인하였다. 자원 이용률을 높이기 위해 파장 변환기를 출력 포트에 사용한 노드 구조에서도 그룹 스케줄링 방식이 즉시 스케줄링 방식보다 버스

트 손실 측면과 채널 이용률 측면에서 개선된 결과를 보였지만, 두 방식의 성능 차이는 1%이하로 나타났다. 그 이유는 파장 변환기를 사용하게 되면 스케줄링에 실패한 DB들을 모아 다시 스케줄링을 하기 때문에 즉시 스케줄링 방식도 그룹 스케줄링 방식과 유사한 동작을 한다고 볼 수 있기 때문이다. 그러나, 파장 변환률을 살펴보면 즉시 스케줄링 방식은 70% 이상의 높은 파장 변환률을 보이는 반면, 그룹 스케줄링 방식은 10% 미만으로 나타나, 그룹 스케줄링 방식을 사용하면 보다 경제적인 시스템을 구현할 수 있음을 알 수 있었다.

### 참 고 문 헌

- [1] J. S. Turner, "Terabit Burst Switching," *J. High-Speed Networks*, pp. 3-16, 1999.
- [2] C. Qiao and M. Yoo, "Optical Burst Switching (OBS): A New Paradigm for an Optical Internet," *J. High-Speed Networks*, pp. 69-84, 1999.
- [3] Jong-Dug Shin, Saravut Charcranoon, Hakki C. Cankaya, and Tarek S. EL-Bawab, "Procedures and Functions for Operation and Maintenance in Optical Burst -Switching Networks," *IPOM 2002*, Dallas, TX, pp. 149-153, Oct. 29-31, 2002.
- [4] J. Y. Wei and R. I. McFarland, "Just-In-Time Signaling for WDM Optical Burst Switching Networks," *IEEE J. Lightwave Technol.*, Vol. 18, No. 12, pp. 2019-2037, Dec. 2000.
- [5] 신종덕, "OBS 네트워크의 효율적 채널 이용을 위한 구간 스케줄링 방식," *전자공학 회논문지*, 제 40권, TC편, 제10호, pp. 51-58, 2003년 10월.
- [6] Saravut Charcranoon, Tarek S. El-Bawab, Hakki C. Cankaya, and Jong-Dug Shin, "Group-Scheduling for Optical Burst Switched (OBS) Networks," *Globecom 2003*, pp. 2745-2749, San Francisco, CA, Dec. 1-5, 2003.
- [7] Y. Xiong, M. Vandenhouste, and H. C. Cankaya, "Control Architecture in Optical Burst-Switched WDM Networks," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, Vol. 18, No. 10, pp. 1838-1851, October 2000.
- [8] Martin C. Golumbic, *Algorithmic Graph Theory and Perfect Graphs*, Academic Press, New York, 1980.
- [9] Esther M. Arkin and Ellen B. Silverberg, "Scheduling Jobs with Fixed Start and End Times," *Discrete Applied Mathematics*, Vol. 18, pp. 1-8, 1987.
- [10] Ulrich Faigle and Willem M. Nawijin "Note on Scheduling Intervals On-Line," *Discrete Applied Mathematics*, Vol. 58, pp. 13-17, 1995.
- [11] Richard J. Lipton and Andrew Tomkins, "Online Interval Scheduling," *Proc. 5th Annual ACM-SIAM Symp. On Discrete Algorithms*, Arlington, VA, 1994.
- [12] F. Gavril, "Algorithms for Minimum Coloring, Maximum Clique, Minimum Covering by Cliques, and Maximum Independent Set of a Chordal Graph," *SIAM Journal of Computing*, Vol 1, No. 2, pp. 180-187, 1972.

신 종 덕 (Jong-Dug Shin)

정회원



1976 - 1981년 : 연세대학교,  
전자공학과 (공학사)  
1984 - 1988년 : University of  
Texas at Austin, 전기 및  
컴퓨터 공학과(공학석사)  
1988 - 1991년 : Texas A&M  
University, 전기공학과  
(공학박사)  
1980년 - 1983년 : 대영전자공업 (주) 개발부, 계장  
1991년 - 1995년 : 한국전자통신연구소, 선임연구원  
2001년 - 2002년 : Alcatel USA, 방문교수  
1995년 - 현 재 : 숭실대학교, 정보통신전자공학부  
부교수

<관심분야> OBS (Optical Burst Switching), OPS (Optical Packet Switching), OLS (Optical Label Switching), PAA용 광 실시간 지연선로 빔 성형 망



이 재 명 (Jae-Myeong Lee)

학생회원



1995 - 2002년 : 대전대학교,  
정보시스템공학과 (공학사)  
2002 - 2004년 : 숭실대학교,  
정보통신공학과 (공학석사)  
2004 - 현 재 : (주)육성전자  
연구원

<관심분야> OBS (Optical Burst Switching),  
Optical Network

김 형 석 (Hyung-Suk Kim)

학생회원



1996 - 2003년 : 관동대학교,  
정보통신공학과 (공학사)  
2003 - 현 재 : 숭실대학교,  
정보통신공학과 석사과정

<관심분야> NS-2 Simulator, Optical Network,  
OBS (Optical Burst Switching), Network  
Management