

# OBS 네트워크의 OAM 기본 체제

정회원 신종덕

## A Framework for OAM in OBS Networks

Jong-Dug Shin, *Regular Member*

요 약

OBS (Optical Burst Switching) 네트워크에 관한 연구가 최근 활발히 진행되고 있으나 OBS 네트워크 운용에 필수적인 OAM (Operation and Maintenance)에 대한 연구는 아직 다루어지고 있지 않다. 본 논문에서는 다섯 가지 OBS 기능들, 즉 BT (Burst Termination), BTX (Burst Transmission), BSW (Burst Switching), RSC (Routing and Switching Control), 그리고 PAR (Protection and Restoration)을 정의하였고, 이 기능적 모델에 근거하여 네트워크 운용 요구 조건들을 만족시키기 위한 OAM 아키텍처를 설계하였다. 또한, OAM 수행에 필요한 OAM 동작들의 정의와 OAM이 가능한 ingress 에지, 코어, egress 에지 노드들의 구조, 그리고 OAM 정보 및 통신 모델과 프로토콜 등과 같은 OAM 구현을 위한 기본 체제를 제안하였다. 그리고, 제안된 OAM 아키텍처를 이용하여 OBS 네트워크에서 발생 가능한 여러 가지 장애들에 대한 OAM을 정리하였다.

Key Words : Optical Burst Switching; Optical Packet Switching; Operation and Maintenance; Operation, Administration, and Management; Optical Network

### ABSTRACT

Operation and maintenance (OAM) in optical burst switching (OBS) networks has not yet been addressed even though OBS has been gaining research interest in recent years. In this paper, we defined five OBS functions such as Burst Termination (BT), Burst Transmission (BTX), Burst Switching (BSW), Routing and Switching Control (RSC), and Protection and Restoration (PAR). A functional model for OBS networks and an OAM architecture are designed to meet the operational requirements. We present the first framework to realize OAM in OBS networks, including OAM activities, OAM-capable OBS nodes such as ingress edge, core, and egress edge nodes, OAM information and communication models and protocols. A number of examples of possible network failures are pointed out and the corresponding reactions to these using the proposed OAM architecture are presented.

### I. 서론

최근 OBS (Optical Burst Switching) 연구에 대한 관심이 높아지고 있다. 여러 논문들이 OBS 네트

워크의 다양한 측면에 관하여 연구하여 왔으나, OBS 네트워크 운용에 필수적인 OAM (Operation and Maintenance)에 대한 연구는 미미한 실정이다 [1,2]. OAM은 ATM[3], SONET/SDH[4], WDM 네트워크[5], MPLS[6] 등에서 이미 충분히 연구되

숭실대학교 정보통신전자공학부 (jdshin@ssu.ac.kr)

논문번호 : 030332-0801, 접수일자 : 2003년 8월 1일

※본 연구는 숭실대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌음.

어 왔기 때문에 OBS 네트워크에서 필요로 하는 OAM에 대한 지침을 제시할 수도 있으나, OBS 네트워크를 위한 OAM의 기본 체제를 수립하기 위해서는 OBS에 국한되는 여러 가지 측면들을 따로 고려하여야한다.

OBS 네트워크는 ingress 에지 노드에 연결되어 있는 여러 IP 네트워크로부터 입력되는 패킷들을 목적지 주소와 QoS (Quality of Service) 등에 따라 분류한 후에 동일한 속성을 갖는 패킷들을 모아서 보다 큰 사이즈의 데이터 버스트 (Data Burst, DB)를 만들어 이를 데이터 채널을 통해 전송한다 [7,8]. 이와 같은 데이터의 버스트화는 OPS (Optical Packet Switching)와 OCS (Optical Circuit Switching) 사이의 granularity를 갖기 때문에, 통계적 다중화 이득 및 데이터의 고속 포워딩 (forwarding)이 가능하다. 각 DB의 포워딩은 DB마다 할당된 헤더 패킷 (Burst Header Packet, BHP)에 의해 이루어지며, BHP는 시간 상 DB보다 먼저 제어 채널을 통해 전송된다. DB들은 OBS ingress 에지 노드 출력포트로부터 OBS egress 에지 노드의 입력포트까지 광의 형태가 유지되기 때문에, 코어 노드에서는 DB보다 먼저 입력되는 BHP를 광전 변환한 후, 헤더 내의 DB 포워딩 정보에 따라 광 스위치 패브릭 (Optical Switch Fabric, OSF)의 광 경로를 설정하여 나중에 도착하는 광 DB가 이 경로를 따라 다음 노드로 전송되도록 한다. DB들은 OBS egress 에지 노드에 도착하여 광전 변환된 후, 원래의 IP 패킷으로 분리되어 각 패킷의 목적지로 라우팅된다.

OBS와 OPS 그리고 OCS 간에는 여러가지 유사점과 차이점이 있다[9]. OBS 네트워크를 트래픽 관리 차원에서 고려하면, 패킷이나 버스트 측면에서는 제어 평면이 데이터 평면과 아주 밀접하게 결합된 패킷 기반의 네트워크, 즉 OPS와 유사하다. 그러나 OPS에서는 페이로드와 헤더가 동일한 파장을 통해 단일 정보 개체로서 전송되기 때문에 분산, 손실, 지터 등의 전송 특성이 서로 거의 같다. 반면에 OBS에서는 DB와 BHP 쌍이 시간이나 파장 상에서 서로 결합되어 있지 않으며, 단일 제어 채널과 데이터 채널이 동일한 광섬유를 통해 전송되지 않을 경우에는 공간상으로도 결합되어 있지 않게 된다. 따라서, DB와 BHP가 서로 상이한 전송 특성을 갖게 되며, 전송 거리가 증가함에 따라 그 차이는 더욱 커지게 되므로 OPS보다 더 많은 감시 및 동기 장치가 필요하게 된다. 패킷 기반의

OBS 네트워크는 자원의 제공 및 관리의 측면에서는 OCS와 유사성을 갖고 있으나, OCS는 회선 설정 메커니즘이 데이터의 교환보다 선행하고 설정된 회선이 해제될 때까지 데이터의 교환이 계속 유지되므로 제어 평면과 데이터 평면의 결합성이 OBS보다 약하다. OAM에서는 이와 같은 OBS의 특수한 점들이 보다 신중히 고려되어야만 한다.

본 논문에서는 OBS 네트워크에서 OAM에 관련된 문제들을 규정하였고, OAM 기본 체제를 도출하기 위한 토대로서, 다섯 가지의 OBS 기능을 정의하였다. 제 II장에서는 정의된 OBS 기능들을 간단히 소개하였고, 제 III장에서는 OBS 네트워크에서 OAM을 구현하기 위한 기본 체제, 즉 OAM 아키텍처, OAM 동작 (activity), OAM이 가능한 OBS 노드들의 구조, 그리고 정보 및 통신 모델과 OAM 프로토콜들을 제안하고 논의하였다. 제 IV장에서는 OBS 네트워크에서 발생 가능한 문제와 장애들에 관한 OAM 메커니즘을 정리하였으며, 마지막으로 제 V장에서는 본 논문의 연구 결과를 요약하였다.

## II. OBS의 기능적 모델

그림 1은 OBS 네트워크 구성요소들의 연결 및 기능적 참조 모델을 나타내고 있다. 그림 아래 부분에는 본 논문에서 제안된 OBS의 기능적 모델에 근거한 약어들을 나타내었으며, 그림 위쪽 부분에는 ITU-T 권고안 G.681의 약어 및 용어를 참고로 기재하였다[10].

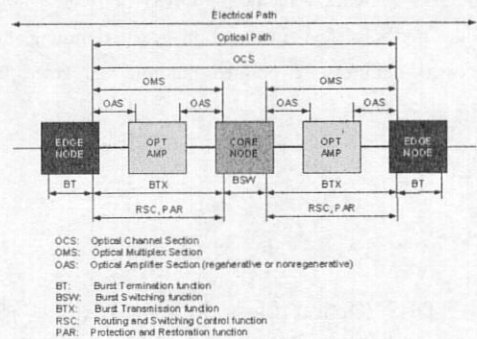


그림 1. OBS에서 네트워크 구성요소 연결 모델

본 논문에서 정의한 다섯 가지의 OBS 기능들은 다음과 같다.

1) BT (Burst Termination): BT는 송신 및 수신 기능으로 이루어진다. 송신 기능은 DB의 조립, BHP의 생성, 그리고 DB와 BHP를 각각 데이터 채널과 제어 채널로 전송하는 기능을 포함한다. DB와 BHP는 전송 오류 보정을 위해 FEC (Forward Error Correction)를 채택하고 있다. 수신 기능은 egress 노드에 도착한 DB를 원래의 패킷들로 해체하고, BHP를 소멸시키는 기능을 한다. Ingress 노드에서 OAM 버스트나 패킷들의 생성은 송신 기능의 일부이다. 또한 egress 노드에서 OAM 버스트 또는 패킷들의 추출은 수신 기능에 포함된다.

2) BTX (Burst Transmission): BTX는 노드들 사이에서 DB의 전송에 관한 것이다. 이 기능의 가장 중요한 역할은 아래에 설명할 RSC (Routing and Switching Control) 기능과 함께 DB와 BHP 사이의 타이밍 관계를 유지하는 것이다.

3) BSW (Burst Switching): BSW는 코어 노드에서만 일어나며, DB를 특정 입력포트로부터 출력포트로 스위칭하는 기능으로서, RSC로부터 제공된 스위칭 정보에 따라 DB의 스위칭을 결정한다.

4) RSC (Routing and Switching Control): RSC는 라우팅과 스위칭에 관한 기능으로서, 라우팅기능은 DB와 BHP를 위한 경로를 할당하며, 스위칭 제어 기능은 코어 노드에서 BHP를 처리하여 스위치 제어기를 통해 OSF에 스위치 구성 정보를 제공한다. 스위치 제어기는 또한 새로운 출력 BHP를 생성한다. RSC는 BSW에게 출력포트 경합 해결에 필요한 정보를 제공한다. 코어 노드의 출력 인터페이스에서는 DB와 BHP 사이의 시간 정보를 확인 기록하며, 네트워크에서 사용되는 프로토콜에 따라 이들의 타이밍을 재동기시킨다.

5) PAR (Protection and Restoration): 이 기능은 네트워크 성능 열화, 광섬유 절단, 또는 노드 고장 등과 같은 장애 발생 시 대체 경로나 복구 절차 등을 제공한다.

### III. OBS 네트워크의 OAM 기본 체제

#### III. 1. OAM 아키텍처 개요

OBS 네트워크에서는 데이터와 제어 채널이 서로 다른 파장 채널을 사용하기 때문에[11], 본 논문에서는 그림 2와 같이 제어 평면 (control plane) 과 관련된 OAM 동작과 데이터 평면 (data plane)

관련 OAM 동작을 분리하였다. 평면간의 OAM 동작은 NMS (Network Management System)와 함께 두 평면간의 OAM 동작을 중재하는 역할을 한다. 일반적으로, 데이터 평면 동작은 한 지점으로부터 다른 지점까지 정보를 전송하는 것에 관한 것이다. 제 II장에 소개한 OBS 기능 모델에 비추어, 이 동작은 BT, BTX, BSW, 그리고 RSC 기능과 관계가 있다. 반면에, 제어 평면의 주된 동작은 광 경로를 설정, 변경, 또는 해체하는 시그널링과 라우팅, 스위칭, 그리고 토폴로지 정보의 유포, 네트워크 자원 상태 유지 등을 포함한다. 이 동작들은 BSW, RSC, 그리고 PAR 기능과 관계가 있다.

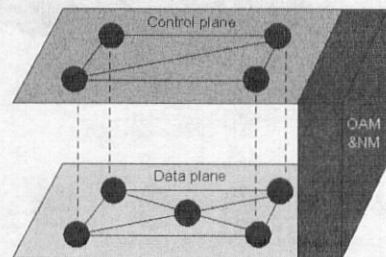


그림 2. OBS OAM 아키텍처와 제어 평면과 데이터 평면의 관계

그림 3은 OAM 아키텍처의 계층적 투시도를 나타내고 있다. 첫 번째 레벨은 하부구조 레벨 (Infrastructure Level)로서 이 계층에는 OAM 동작을 수행하는 OAM 엔진이 위치한다. 하부구조 레벨에서는 기본적인 OAM 동작 또는 세션 (session) 이 수행된다. OAM 엔진은 자동적으로 또는 상위 계층 개체들의 요구에 따라 서로 통신하고 입출력들을 처리하며 OAM 동작들을 조율하여 네트워크의 운용 및 유지보수를 하는 개체이다. 논리 레벨 (Logical Level) 개체와 OAM 엔진은 클라이언트-서버의 관계로서 논리 레벨은 중재자 (Coordinator), 처리기 (Processor), 데이터 베이스 (Database) 등의 세 가지 개체를 수용한다. 중재자는 엔진들의 동작을 담당하며, 활용 가능한 데이터와 네트워크 관리 시스템의 지시에 따라 OAM 동작을 시작하도록 관련 OAM 엔진들에게 알리며, OAM 동작에 의해 발생하는 모든 결과를 수집한다. 처리기는 중재자로부터 제공되는 정보를 처리하고 이 결과로부터 보다 복잡한 OAM 동작, 또는 절차의 수행이 필요하면, 이를 중재자에게 통보하

여 조치를 취하게 한다. 처리기는 시간 및 공간 정보의 상호 관계와 특정한 사건들의 감시 및 검출, OAM 관련한 메트릭의 계산과 노드의 OAM 시스템에게 알려서 네트워크의 다른 OAM 시스템들에게 적절한 신호들을 발생하게 하는 것 등을 포함한다. 데이터 베이스는 policy 정보, OAM 절차 정보, 처리기의 결과들을 보관한다. 세 번째 계층은 네트워크 관리 계층 (Network Management Level)이다. OAM과 네트워크 관리 계층 간의 연동은 본 논문의 범위를 벗어나므로 다루지 않도록 한다.

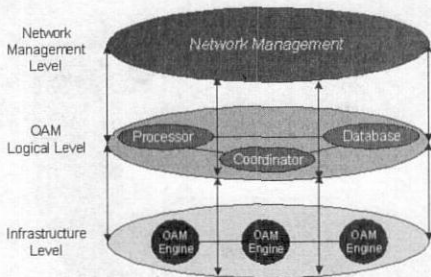


그림 3. OBS OAM 아키텍처의 계층적 투시도

### III. 2. OAM 동작

OAM 동작은 복잡도에 따라 OAM 세션 (session)과 OAM 절차 (procedure)로 구분이 되며, 메커니즘과 특정 OAM 정보 개체들의 발생에 따라, 능동 (active) 또는 수동 (passive) 동작으로 구분된다. 마지막으로, 기능에 따라 진단 동작 (diagnostic activity)과 수정 및 복구 동작 (correction and restoration activity)으로 구분된다. 위의 세 가지 구분을 조금 더 자세히 살펴보면 다음과 같다.

OAM 세션은 하부구조의 OAM 엔진에 의해 자동적으로 수행되거나, 논리 계층에서 지시하는 기초적인 제어 평면 또는 데이터 평면의 동작들이다. 그리고, OAM 절차는 보다 복잡한 임무를 수행하는 일련의 OAM 세션들과 기본적인 동작들이라고 정의하였다. OAM 세션이나 절차는 능동 모드나 수동 모드를 채택할 수 있다.

능동 OAM 동작은 네트워크의 운용상태를 관찰하고 문제점들을 진단하기 위한 적절한 정보를 갖는 OAM 버스트나 패킷을 발생시켜 제어 채널이나 데이터 채널에 삽입하는 동작에 관한 것으로서,

발생된 버스트나 패킷은 사용자 DB나 BHP 쌍과 같은 형식을 취하지만 네트워크의 원하는 지점에서 읽어들이 수 있다는 점이 사용자 DB나 BHP와 다른 점이다. OAM 버스트나 패킷에 포함되는 정보는 OAM 동작에 따라 서로 다르지만, 몇몇 정보는 모든 OAM 버스트와 패킷에 공통적으로 존재한다. 능동 OAM 동작은 다음의 네 가지 플로우 모델 중의 하나를 사용하며, 각 플로우의 범위는 그림 4에 도시되어 있다.

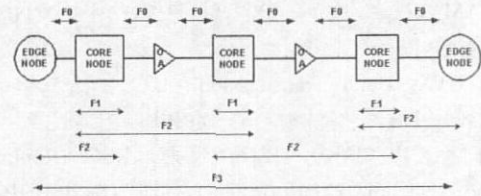


그림 4. OAM 플로우

- 1) F0 플로우: F0는 광 증폭기 섹션 (Optical Amplifier Section, OAS)의 동작범위를 갖는다. 이 플로우는 네트워크 구성요소, 즉 노드나 광 증폭기의 출력에서 발생되며 DB/BHP 경로의 다음 구성요소 입력에서 중단된다.
- 2) F1 플로우: F1은 하나의 코어 노드 범위를 갖는 데, 코어 노드의 OSF 점검을 위해 발생된다.
- 3) F2 플로우: F2는 하나의 노드와 그 다음 노드 사이의 범위를 가지며, 여러 OAS를 포함할 수 있다. 서로 인접하지 않는 코어 노드 쌍 사이의 동작은 연속적인 F2 플로우들로 구성될 수 있다.
- 4) F3 플로우: F3는 OBS 네트워크의 Ingress 에지 노드에서 시작하여 Egress 에지 노드까지의 범위를 갖는다.

위의 플로우들은 단일방향 동작이다. 따라서, 양방향 OAM 동작은 두 개의 유사한 플로우 (각 방향에 한 개의 플로우)로 구성된다. 마찬가지로, 루프백 OAM 동작은 역방향에서도 동일한 OAM 동작을 갖는다.

본 논문에서는 두 종류의 능동 OAM 세션, 즉 OAM/1과 OAM/2 세션을 정의하였다.

- 1) OAM/1 세션: 이것은 데이터 평면 OAM 세션으로서, OAM/1 패킷의 발생을 포함하며 OAS의 링크 전송 감시 및 유지 보수의 목적을 갖고 있다. OAM/1 패킷들은 전송 섹션의 한 쪽 끝에서 주입되며 코어 노드들에서 스위칭되지 않고 다른 쪽 끝

에서 추출된다. 이 패킷들은 광 전송 링크의 품질을 검사하고 확인하기 위해 사용된다. OAM/1 세션은 F0 플로우 모델이 적용된다. 파워 레벨, S/N 비 등과 같은 여러 가지 광 메트릭 들이 이 세션에 의해 측정된다. 본 논문에서는 모든 노드들과 OAM이 가능한 광 증폭기들에서 OAM/1 패킷을 발생하고 중단할 수 있다고 가정하였다.

2) OAM/2 세션: 이 세션은 네트워크로 하여금 제어 및 데이터 채널 또는 평면에 관련된 여러 가지 문제들을 검출할 수 있도록 한다. OAM/2 세션은 일반적인 OBS 전송 세션과 유사하며 OAM/2 버스트와 함께 OAM/2 BHP를 생성한다. OAM/2 버스트는 실제 OAM 정보를 포함하고 있거나 사용자 DB와 유사한 터미 데이터를 포함하기도 한다. OAM/2 BHP는 OAM/2 버스트를 스위칭하기 위한 정보와 부가적인 OAM용 정보를 포함하고 있다. OAM/2 세션은 F1, F2, F3 플로우 모델이 적용된다. 노드 내부의 OAM/2 세션은 F1 플로우 모델을 사용한다. F2 플로우는 DB/BHP 경로에서 하나의 OBS 노드로부터 다음 노드에 걸쳐 동작하는 OAM/2 세션을 지원한다. 마지막으로 중단간 OAM/2 세션은 F3 플로우가 사용된다.

수동 모드 동작은 트래픽이나 노드 구성요소의 파라미터 감시나 측정을 위한 것으로서, 능동 모드 동작처럼 제어 채널이나 데이터 채널에 OAM 버스트나 패킷을 삽입하지 않는다. 트래픽과 관련이 있으면 이 동작은 코어 노드나 에지 노드에서 일어난다. 코어 노드에서는 기준 점을 통과하는 DB들의 개수만을 셀 수 있다. 왜냐하면 DB들은 egress 에지 노드 이외의 네트워크 중간에서는 가로챌 수가 없기 때문이다. 그러나, BHP의 경우에는 노드에서 전기적 신호로 변환되기 때문에 보다 다양한 파라미터들을 측정할 수 있다. 특히 egress 에지 노드에서는 DB와 BHP 모두 전기적 신호로 변환되기 때문에 감시 및 처리가 모두 가능하다. 반면에, OAM 동작이 노드의 구성요소를 감시하는 경우에는 레이저 다이오드나 광 검출기 등과 같은 부품들의 정상 동작 범위를 확인할 수 있다.

마지막으로, OAM 동작들은 진단 기능과 수정 및 복구 기능으로 구분된다. 진단 기능은 주로 데이터 평면에서 수행된다. 이 기능은 네트워크 운용을 감시하며 성능 열화나 장애 등을 검출하여 적절한 보수 조치를 취하게 한다. 진단 기능을 지원하는 메커니즘은 능동이나 수동 모드가 될 수 있다. 이들 기능의 예로서는 동기 신호 손실의 검출,

S/N비 검사, 비트 오류 (Bit Error Rate: BER) 검사 등이 있다. 수정 및 복구 동작들은 제어 평면에서 OAM 감시 채널을 통해 이루어지며, 진단 동작으로부터 발견된 고장 및 장애들을 치유한다. 이들 동작들은 OBS 네트워크를 정상적으로 동작하도록 만들어야하므로 사용자 트래픽에 영향을 미치지 않아야한다. 이 동작의 예로서는 예비 송신 모듈로의 절체와 다른 파장, 링크, 또는 경로로의 변환 등이 있다.

### III. 3. OAM 가능 OBS 노드

본 논문에서는 III. 2절에 기술한 OAM 동작들을 수행할 수 있는 OBS 노드 아키텍처를 제안하였다. OBS 노드는 ingress 에지 노드, 코어 노드, 그리고 egress 에지 노드의 세 가지 종류가 있다. 그림 5는 서로 연결된 세 가지 노드의 제어 및 데이터 채널 또는 평면 사이에 파장 할당을 보이고 있다. 제어 평면에서 제어용으로 사용하는 파장들은 다음과 같다.

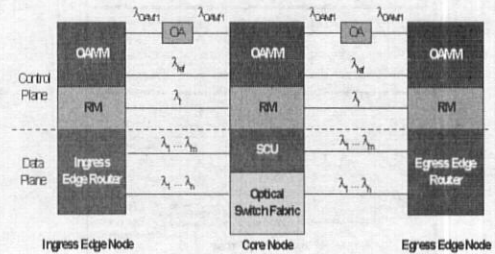


그림 5. 논리적 노드간 파장 관계도

1) OAM/1 파장,  $\lambda_{OAM/1}$ : 이 파장은 광 증폭기 섹션의 상태를 확인하기 위하여 OAM/1 신호를 전송하는 데 사용된다. 이 파장은 광 증폭기 상태 및 제어 정보의 유포, OAM 엔진들 사이의 통신 지원, 수정/복구 동작 수행 또는 중재를 하는 감시 제어 채널 (Supervisory Channel)로도 사용된다. 각 광섬유에 OAM/1 채널이 한 개씩 할당되어 물리적 경로와 전송 특성의 차이 등을 측정한다. 따라서, 두 종류의 OAM 패킷, 즉 각 광 증폭기와 노드에서 중단되는 OAM/1 패킷과 통신 경로에서 노드들을 통과하는 감시제어 패킷이 이 채널로 전송된다. OBS 네트워크에서  $\lambda_{OAM/1}$ 은 하나의 고정된 파장으로서, 증폭기 이득 영역 밖의 파장이 사용된다.

2) 기준 파장, : 기준 에지 노드에서 발생되며, 네트워크의 모든 발광 소자들의 파장은 이 파장과 연동되어 있다. 이 파장은 또한 타이밍과 클록 기준을 제공하여 광 스위치의 슬롯 단위 동작을 허용하며 DB와 BHP 사이의 타이밍을 동기시킨다.

3) 라우팅 파장,  $\lambda_r$  : 이 파장은 노드 사이의 링크를 통해 라우팅 정보를 교환하기 위해 사용된다.

III. 3. 1. Ingress 에지 노드

그림 6은 기준 에지 노드 ingress 부분의 블록 다이어그램을 나타내고 있다. 이 노드는 ingress 에지 라우터 (Ingress Edge Router), 라우팅 모듈 (Routing Module, RM), OAM 모듈 (OAM Module, OAMM)로 구성된다.

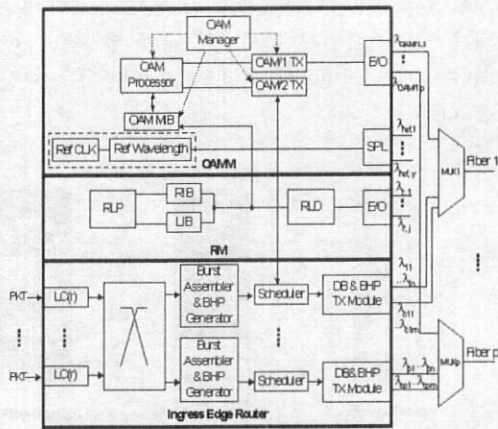


그림 6. OAM이 가능한 기준 OBS 에지 노드 ingress 부분의 기능적 블록다이어그램

OBS 네트워크에 연결된 IP 네트워크로부터 패킷이 도착하면 선로 카드의 수신부, LC(r),에서는 이 패킷에 목적지 OBS egress 에지 노드의 주소를 부착한 다음 전기적 스위치를 통해 버스트 조립기 (Burst Assembler)로 보낸다. 버스트 조립기에서는 egress 에지 노드의 어드레스와 QoS에 따라 패킷들이 버스트로 조립된다. 각 DB에 대해 한 개의 BHP가 BHP 발생기 (BHP Generator)에서 생성된다. 스케줄러 (Scheduler)는 DB/BHP 쌍의 전송 시간과 채널들을 예약하고, DB/BHP 전송 모듈 (DB & BHP TX Module)은 DB와 BHP를 광학적 형태로 변환시켜 예약된 전송 시간에 DB와 BHP를 각각 데이터 채널과 제어 채널을 통해 전송한다.

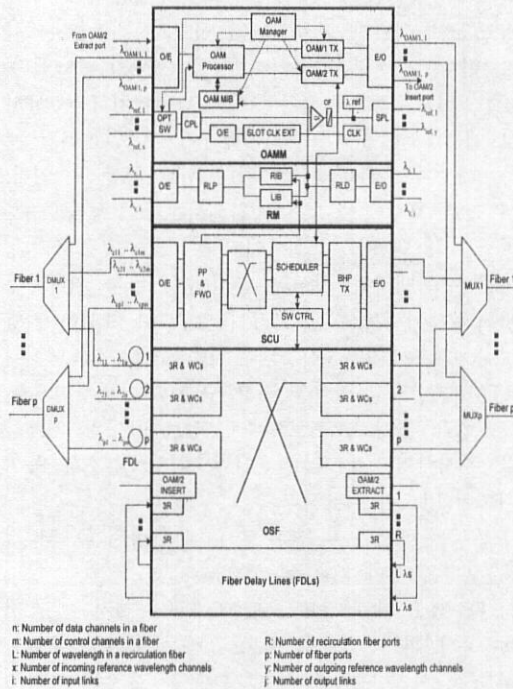
라우팅 모듈 (RM)은 노드들 사이의 라우팅 정보를 교환한다. 이 모듈의 라우팅 및 레이블 처리기 (Routing and Label Processor, RLP)에서 라우팅 정보를 처리한다. 처리된 라우팅 정보에 따라 DB/BHP 쌍의 포워딩을 위해 참조되는 라우팅 정보 베이스 (Routing Information Base, RIB)와 레이블 정보 베이스 (Label Information Base, LIB)가 갱신된다. 라우팅 및 레이블 분배기 (Routing and Label Distributor, RLD)는  $\lambda_r$  채널을 통해 네트워크 토폴로지와 링크 상태 정보를 다른 노드들에게 알린다.

OAMM은 네트워크 운용을 감시하여 네트워크 고장 또는 성능 열화가 발생하였을 경우에는 해당 조치를 취한다. 또한, 기준 파장과 클록 신호를 RM과 네트워크의 OAMM들에게 분배하는 역할도 한다. 몇 개의 미리 지정된 에지 노드들만이 기준 파장과 클록 발생기를 갖고 있다. (그림에서 점선 내에 위치) OAM 관리자 (OAM Manager)는 노드 내부와 노드들 사이에서 OAMM의 동작 및 활동을 감독한다. OAM 처리기 (OAM Processor)는 OAM 관리 정보 베이스 (Management Information Base, MIB)를 참조하여 OAM/1과 OAM/2 패킷을 만든다. OAMM의 출력에서는 OAM/1 TX를 통해 OAM/1 패킷이 모든 광섬유를 통해 내보내진다. OAM/2 TX는 OAM 동작에 적합한 OAM/2 버스트와 BHP를 생성하여 ingress 에지 라우터의 노드 스케줄러 (Scheduler)로 보낸다. OAM/2 버스트와 BHP는 DB와 BHP 전송 모듈을 통해 정규 데이터 채널과 제어 채널에 실려 다음 노드로 전송된다.

III. 3. 2. 코어 노드

그림 7은 OBS 코어 노드의 기능적 블록 다이어그램을 나타내고 있다. 본 연구에서는 광 스위치 패브릭 (Optical Switch Fabric: OSF) 내부에서 발생하는 지터와 전송선로인 광섬유의 색 분산과 온도 변화에 따른 윈더 (wander) 등으로 인한 위상 불일치와 서로 다른 광섬유 내의 슬롯들간의 정렬 불일치 등은 적절한 메커니즘을 사용하여 해결이 되어 있다고 가정하였다. 노드에는 p개의 광섬유 쌍이 연결되어 있다고 가정하였다. 코어 노드는 OSF와 광섬유 지연선로 (FDL), 스위치 제어 유니트 (Switch Control Unit, SCU), RM, 그리고 OAMM의 네 블록으로 구성된다.

코어 노드의 입력에서는 파장 분할 역다중화기 (DMUX)에 의해  $\lambda_{OAM/1}$ ,  $\lambda_{ref}$ ,  $\lambda_r$ 과 BHP 채널들이 데이터 채널과 분리된다.



n: Number of data channels in a fiber  
 m: Number of control channels in a fiber  
 L: Number of wavelength in a recirculation fiber  
 x: Number of incoming reference wavelength channels  
 i: Number of input links  
 R: Number of recirculation fiber ports  
 p: Number of fiber ports  
 y: Number of outgoing reference wavelength channels  
 j: Number of output links

그림 7. OAM이 가능한 기준 OBS 코어 노드의 기능적 블록 다이어그램

SCU는 BHP들을 수신하여 전기적 신호로 변환한 후에 처리하여 스위치 구성 정보를 발생시키고 출력 경합 문제를 해결한다. 패킷 처리기 (PP)에서는 BHP들에 대한 시간 정보를 확인한다. FWD는 RM의 LIB에 따라 DB/BHP 쌍에 대해서 출력 채널들을 결정한다. SCU의 스케줄러는 DB/BHP 쌍의 출력 채널들을 예약하고, 상태 정보를 갱신하며, BHP 정보를 수정하고 OSF 구성 정보를 스위치 제어기 (Switch Controller, SW CTRL)로 보낸다. 오프셋 시간 정보와 함께, 수정된 BHP는 지정된 송신기 (BHP TX)로 보내진다. BHP TX에서는 계층1과 2의 캡슐화가 수행된다.

반면에, DB들은 OSF에 입력되기 전에 BHP 처리에 필요한 시간 지연을 제공하는 입력 FDL들을 통과한다. 일단 OSF에 도착한 DB들은 S/N비를 높이기 위하여 재생된 다음 OSF의 내부 파장으로 변환된다. OSF는 SCU의 명령에 따라 수 나노초 (ns)이내에 스위치의 재구성을 마쳐서 DB들을 지

정된 출력포트로 내보낸다. 스위치 구성 정보는 슬롯 단위로 동기식으로 집행된다. 그림 7 하단의 공유된 FDL들은 OSF에서 발생하는 출력 경합 문제를 해결한다. OSF의 출력에서는 스위치 내부의 경로 차이에 의해 발생된 불균일한 광 손실과 지터를 갖고 있는 광 신호를 깨끗하게 재생시킨 후, 내부 파장들을 외부 파장들로 변환하여 다음 노드로 전송한다.

RM은  $\lambda_r$  채널의 라우팅 및 레이블 정보를 수신하여 전기적으로 처리하고 이 결과에 따라 노드의 RIB와 LIB를 갱신한다. RLD는 토폴로지와 링크 상태 정보를  $\lambda_r$  채널을 통해 다른 노드들로 분배한다. RM은 또한 라우팅 정보와 레이블 정보를 SCU에게 보낸다.

OAMM은 OAM 정보를 처리하여 네트워크에서 문제가 발생한 경우에 적절한 조치를 취한다. OAMM은 또한 기준 파장  $\lambda_{ref}$ 와 클럭 신호를 SCU, OSF, RM, 그리고 다른 OAMM들에게 보내어 네트워크 전체의 파장과 타이밍을 동기시킨다. 각 광섬유의 OAM/1 패킷과 감시 제어 패킷들, 노드의 OAM/2 추출 포트(OAM/2 Extract port)로부터 입력되는 OAM/2 버스트는 전기적 신호로 변환된 다음 OAM 처리기로 보내진다. OAM 처리기에서는 BHP 손실, DB 손실, BER, S/N비, 파워 손실 등과 같은 각 파라미터들의 기준에 의거한 루틴에 따라 이들 버스트/패킷들을 처리한다. OAM/1 데이터는 분리 처리되어 OAM MIB를 갱신하는 데 사용된다. 코어 노드에서 OAM/2 버스트와 BHP는 ingress 노드와 마찬가지로 발생된다. OAM/2 BHP는 노드 스케줄러로 보내지고 OAM/2 버스트는 OAM/2 삽입 포트(OAM/2 Insert port)로 보내진다. 일단 OAM 버스트나 패킷이 처리되면 그 결과에 따라 일련의 응답 또는 절차들이 시작되어 문제를 해결한다. 기준 파장과 클럭은 광 스위치 (OPT SW)에 공급된다. OPT SW의 출력은 광 결합기 (CPL)에 연결되어 있으며 광 결합기로부터 소량의 광 파워가 탭핑되어 전기적 신호로 변환된 후 이 신호로부터 클럭을 추출하여 노드 내부 회로에 분배한다. CPL의 다른 출력은 광 증폭기 (OA)에서 증폭된 후 광 여파기 (OF)에서 ASE (Amplified Spontaneous Emission) 잡음이 제거된 다음에 노드 내부의 모든 발광 소자들에게 기준 파장을 공급한다. 광 분리기 (SPL)는 기준 파장을

다음 노드들로 보낸다. OAM 관리자는 노드의 모든 OAM 구성 블록들을 관장한다. 새로운 OAM 동작을 시작할 필요성이 있거나 현재의 동작을 마칠 경우에는 OAM 관리자가 OAM 처리기와 OPT SW, OAM/1 TX, OAM/2 TX에 이를 통보한다. 관리자는 수행 중인 OAM 루틴이 종료되면 통지를 받으며, MIB와 통신하여 OAM policy, 절차, 또는 보안 지침 등과 같은 정보를 갱신한다. 또한, OAM 관리자는 에이전트로 동작하여 OAM 논리 레벨 개체들과 연동하여 네트워크 전체에 걸친 동작 (예를 들어 중단 간의 동작들)을 수행한다.

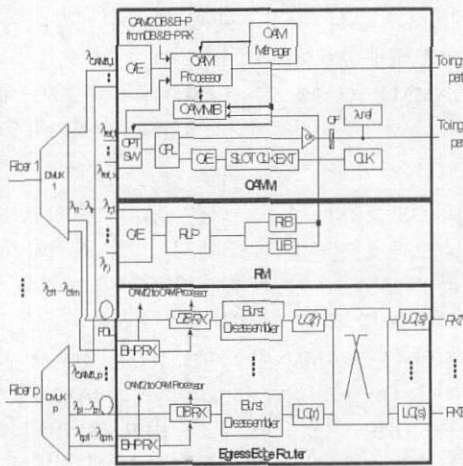


그림 8. OAM이 가능한 기준 OBS 에지 노드 egress 부분의 기능적 블록 다이어그램

III. 3. 3. Egress 에지 노드

그림 8은 에지 노드 egress 부분의 블록 다이어그램을 나타내고 있다. egress 에지 노드는 ingress 노드와 같은 구성으로서 많은 부분들의 기능이 서로 같다. 전기적 신호로 변환된 DB들은 원래의 IP 패킷들로 해체되어 IP 네트워크로 전달된다. OAM/1 패킷과 OAM/2 버스트 또는 패킷들은 OAMM의 OAM 처리기나 지정된 DB RX나 BHP RX에서 중단된다. 각 광섬유의 라우팅 및 레이블 정보는 RLP에서 처리되어 갱신된다.

III. 4. OAM 정보 및 통신 모델

OAM 정보 및 메시지는 서로 다른 시스템, 환경, 또는 관리자들에게 속하는 다양한 개체들 간에 교환되기 때문에, 공통적인 OAM 정보 정의 또는 모델과 정보 교환을 위해 명백하게 확립된 문맥

및 형식을 갖는 것이 필요하다. 객체 지향적인 방법이 사용될 수 있다. 정보의 구조 외에도 정보 내용이 정의되어야 하며 적절하게 분류되어야 한다. 예를 들어, OAM 결과들에서 정보 내용의 일반적인 형식은 발신지/목적지 노드, 물리적/논리적 채널/링크/노드 식별자, 시험 시간, 시험의 종류 또는 식별 번호, 관련된 파라미터 등을 포함할 수 있다. 또한, 정보 교환 규칙이 OAM 아키텍처의 레벨(정보 계층)과 레벨들 사이 (하부구조 계층, 논리적 계층, 네트워크 관리 계층) 마다 서로 다를 수 있다. 이 정보 모델이 동작하기 위해서는 프로토콜, 주소 지정 시스템과 적절한 인터페이스들이 필요하다. 아직까지 제시된 형식의 분산 시스템을 위해서는 관리자/에이전트 또는 클라이언트/서버 모델이 적합하다. 주소지정 시스템은 IP 주소 시스템이나 ATM 주소지정 형식을 취할 수 있다. 마지막으로, 보안성을 높이고, 프로토콜과 정보 모델의 일체감을 유지시키기 위해서는 인증, 위임, 암호화 등의 기술이 반드시 필요하다.

본 논문에서는 다음과 같이 네 종류의 OAM 정보 모델을 제안하였다.

1) OAM/1 패킷 정보 모델: OAM/1 패킷은 광 전송 품질 확인을 위해 필요로 하는 정보를 포함한다. 이 목적을 위한 최소 정보 구성요소는 그림 9와 같다.

OAM/1 Flag	OAM/1 OP ID	SRC ID	TERM ID	PKT SES/SEQ NO	INFO	CRC
------------	-------------	--------	---------	----------------	------	-----

OAM/1 Flag: indicates the packet as an OAM/1 packet.  
 OAM/1 OP ID: specifies the OAM activity intended by this packet.  
 SRC ID: specifies the address of the generating network element.  
 TERM ID: specifies the address of the terminating network element.  
 PKT SES/SEQ NO: indicates the number of OAM/1 packets so far in this sequence number.  
 INFO: contains operation specific information.  
 CRC: checks information integrity in the packet.

그림 9. OAM/1 패킷 형식

2) OAM/2 BHP 정보 모델: OAM/2 BHP 정보 모델은 그림 10에 도시하였다. 그림에는 OAM 동작을 수행하기 위하여 형식, 범위, 세부 사항을 규정하기 위해 반드시 필요한 최소 정보를 나타내고 있다.



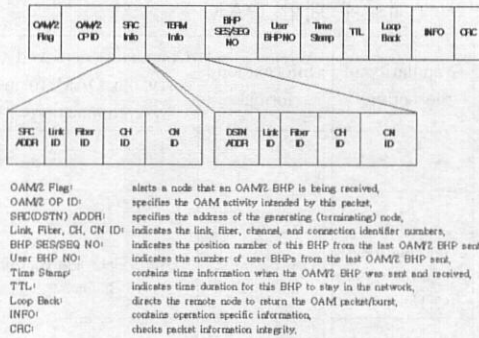


그림 10. OAM/2 BHP 형식

3) OAM/2 버스트 정보 모델: OAM/2 버스트 정보 모델은 OAM/2 BHP 정보 모델과 마찬가지로 정보를 포함할 수 있다. 그림 11에 이 버스트의 형식을 도시하였다.

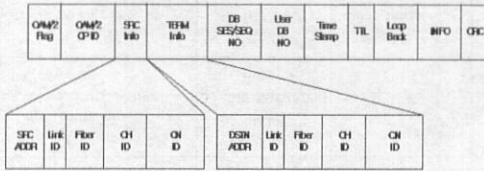


그림 11. OAM/2 버스트 형식

4) OAM 감시제어 정보 모델: OAM 감시제어 패킷(SVP)은 대체로 OAM/1 패킷과 비슷하며 그림 12와 같다.

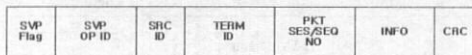


그림 12. OAM 감시제어 패킷 형식

### III. 5. OAM 프로토콜

OAM 프로토콜, 세션 제어 프로토콜과 세션 운용 프로토콜, 에 관한 몇 가지 기본적인 문제들을 언급할 필요가 있다. OAM 세션 제어 프로토콜은 OAM 세션의 시작, 중재, 종결을 담당한다. OAM 관리자는 OAM 세션 제어 프로토콜을 수행하여 세션을 시작하고, 협상을 수행하며, 결과를 회수하기 필요한 정보를 교환한다. 이 프로토콜은 클라이언트/서버 모델로서 클라이언트는 세션의 시작(종결)을 유발시키는 노드이며, 서버는 클라이언트의 요청에 응답하는 다른 노드이다. OBS 노드는 클라이언트 또는 서버로 동작할 수 있다. OAM

세션 제어 프로토콜은 적어도 다음을 포함하여야 한다.

- 1) OAM 감시제어 채널에서 클라이언트와 서버 사이에 제어 연결을 설정하는 메커니즘
  - 2) 세션을 시작, 설정, 종료하는 명령
  - 3) OAM/1과 OAM/2 패킷/버스트를 취급하는 메커니즘
  - 4) 결과 수집 및 통계 계산을 위한 방법론
- 반면에, OAM 세션 운용 프로토콜은 한 쌍의 노드 사이에 OAM 패킷/버스트의 교환을 담당한다. 이 프로토콜에 필요한 조건은 다음과 같다.
- 1) 정보 모델의 인지 (문맥 및 형식 포함)
  - 2) OAM/1 또는 OAM/2와 같은 OAM 패킷/버스트의 발생
  - 3) 적절한 파라미터, 문맥값과 기준
  - 4) 명확히 정의된 세션 보안 체계

## IV. OBS 네트워크를 위한 OAM

위에서 논의된 사항들을 살펴보고, 제안된 OAM 아키텍처가 얼마나 OAM을 잘 수행할 수 있는지를 보여주기 위하여, OBS 네트워크에서 발생 가능한 문제들에 대한 OAM을 본 논문에서 제안된 다섯 가지 기능별로 분류하여 표 1에 정리하였다. 문제들에 응답하여 시작되는 OAM 시스템 동작에 관한 세부 사항들, 즉 동작의 형태 (수동 또는 능동 그리고 진단 또는 복구), 관련된 주요 OAM 세션, 플로우 형태, 동작의 granularity, 정보 모델 형식, 그리고 OAM 패킷/버스트 신호를 전송하는 채널들도 함께 도시하였다. 일례로서, BT 기능에 영향을 미치는 문제중의 하나인 버스트 조립 과정의 오동작(Burst assembly process malfunction)을 살펴보자. 버스트 조립 과정은 버스트 조립기 또는 포트와 QoS 등급과 관련이 있으므로, OAM 아키텍처는 사용자의 데이터와 제어 채널 상에서 F3 플로우를 이용하여, 능동 OAM/2 세션을 통해 고장을 검출 진단하게 된다.

## V. 결론

본 논문에서는 OBS 네트워크에서 OAM을 구현하기 위한 아키텍처를 최초로 발표하였다. 제안된 OAM 아키텍처는 데이터 버스트의 스위칭 과정을 BT, BTX, BSW, RAC, PAR의 다섯 가지 기능으로 분할하는 OBS 기능 모델에 바탕을 두고 있다.

표 1. OBS 네트워크에서 발생 가능한 문제들에 대한 OAM

OBS Function	Problems requiring OAM-architecture invention	OAM activity mode	OAM activity function	Main OAM session involved	Flow	Granularity of the activity	Information format	Channel(s) deployed to carry out OAM-related communications
BT	Loss of synchronization between BHP and DB	Passive	Diagnostic	-	-	-	-	-
	Excessive dropping of DBs	Passive	Diagnostic	-	-	-	-	-
	Burst assembly process malfunction	Active	Diagnostic	OAM/2	F3	Connection (end-to-end flow) or per QoS class	OAM/2 burst and BHP	User's data and control channels
	Switch to the stand-by Burst Assembler & BHP Generator module	Active	Correction & Restoration	Supervisory session	N/A	N/A	Supervisory packet	Supervisory/ $\lambda$ OAM/1 channel
	Out-of-order arrival of DBs	Active	Diagnostic	OAM/2	F3	Connection (end-to-end flow)	OAM/2 burst and BHP	User's data and control channels
	Request for an initiation of specific tests	Active	Correction & Restoration	Supervisory session	N/A	According to the test specification	Supervisory packet	Supervisory/ $\lambda$ OAM/1 channel
BTX	Asynchronous receipt of DB/BHP pairs	Passive	Diagnostic	-	-	-	-	-
	Loss of synchronization in the network	Active	Diagnostic	OAM/2	F2	Connection (end-to-end flow)	OAM/2 burst and BHP	User's data and control channels
	Nominate a new wavelength & clock generator	Passive or Active	Correction & Restoration	Supervisory session	N/A	N/A	Centralized command and/or Supervisory Packet	Supervisory/ $\lambda$ OAM/1 channel
	Degradation of optical transmission link quality	Active	Diagnostic	OAM/2	F0	Per fiber	OAM/1 packet	Supervisory/ $\lambda$ OAM/1 channel
	Switching to an alternate wavelength or link	Active	Correction & Restoration	Supervisory session	N/A	N/A	Supervisory packet	Supervisory/ $\lambda$ OAM/1 channel
SW	Orphan DB	Active	Diagnostic	OAM/2	F2	Connection(end-to-end flow)	OAM/2 burst and BHP	User's data and control channels
	Orphan BHP	Active	Diagnostic	OAM/2	F2	Connection(end-to-end flow)	OAM/2 burst and BHP	User's data and control channels
	Faulty switch configuration	Active	Diagnostic	OAM/2	F1	Per port	OAM/2 burst and BHP	User's data and control channels that are destined to target ports
	Synchronization degradation/loss between OSF and SCU	Active	Diagnostic	OAM/2	F1	Per port	OAM/2 burst and BHP	User's data and control channels that are destined to target ports
	Request for initiation of specific tests	N/A	Correction & Restoration	Supervisory session	N/A	According to the test specification	Supervisory packet	Supervisory/ $\lambda$ OAM/1 channel
RSC	One way DB mis-routing	Active	Diagnostic	OAM/2	F3	Connection(end-to-end flow)	OAM/2 burst and BHP	User's data and control channels for a targeted ingress/egress pair
	Routine check for time to live(TTL) value of BHP	Active	Diagnostic	OAM/2	F3	Connection(end-to-end flow)	OAM/2 burst and BHP	User's data and control channels for a targeted ingress/egress pair
	Burst drop due to exceeding the permitted TTL	Passive	Diagnostic	-	-	-	-	-
PAR	Protection and/or restoration needed	Active	Correction and Restoration	OAM/1	F2	Per fiber	Supervisory packet	Supervisory/ $\lambda$ OAM/1 channel

다양한 OAM 동작, 동작 플로우와 형식, OAM 가능한 OBS 노드의 구조, OAM 정보 및 통신 모델, OAM 세션 제어 및 세션 운용 프로토콜에 관한 논의와 함께 개괄적인 아키텍처를 제안하였다. OBS 네트워크에서 발생 가능한 실제적인 고장 및 장애에 대해 본 논문에서 제안한 OAM 아키텍처의 대응 방안을 정리하였다. OBS 네트워크의 OAM 문제들이 현재까지 아주 제한된 관심을 일으키고 있기 때문에, OBS 네트워크에서 OAM을 위한 기본 체제에 대한 본 연구는 OBS 네트워크 구현을 위한 초석이 될 것이라고 예상된다.

### 참 고 문 헌

- [1] J.-D. Shin, S. Charcranoon, H. Cankaya, and T. El-Bawab, "Procedures and Functions for Operation and Maintenance in Optical Burst-Switching Networks," *Proc. 2002 IEEE Workshop on IP Operations and Management (IPOM 2002)*, pp. 149-153, pp. 29-31, October 2002, Dallas, Texas, USA.
- [2] J.-D. Shin, S. Charcranoon, H. Cankaya, and T. El-Bawab, "Operation and Maintenance Issues in Optical-Burst Switched Networks," *Proc. of SPIE*, vol. 4872, pp. 230-238, *ITCom 2002*, July 29-31, 2002, Boston, Massachusetts, USA.
- [3] Y.-H. Choi, K.-H. Lee, J.-Y. Lee, and S.-B. Lee, "OAM MIB: an end-to-end performance management solution for ATM," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 18, pp. 767-778, 2000.
- [4] R. Ramaswami and K. N. Sivarajan, *Optical networks: a practical perspective*, 2nd ed., Morgan Kaufmann, CA, 2002.
- [5] Y. Tada, Y. Kobayashi, Y. Yamabayashi, S. Matsuoka, and K. Hagimoto, "OA&M framework for multiwavelength photonic transport networks," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 14, pp. 914-922, 1996.
- [6] Neil Harrison, et al., "Requirement for OAM in MPLS networks," Internet draft: draft-harrison-mpls-oam-req-01.txt, Dec. 2001.
- [7] J. S. Turner, "Terabit Burst Switching," *J. High Speed Networks*, vol. 8, pp. 3-16, 1999.
- [8] C. Qiao and M. Yoo, "Optical burst switching (OBS) a new paradigm for an optical internet," *J. High Speed Networks*, vol. 8, pp. 69-84, 1999.
- [9] T. El-Bawab, A. Agrawal, F. Poppe, L. Sovman, D. Papadimitrio, and B. Rousseau, "The Evolution to Optical-Switching Based Core Networks," *Optical Network Magazine*, vol. 4, no. 2, March/April 2003.
- [10] Functional characteristics of interoffice and long-haul line systems using optical amplifiers, including optical multiplexing, ITU-T Recommendation G.681.
- [11] Y. Xiong, M. Vandenhoute, and H. Cankaya, "Control architecture in OBS WDM networks", *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 18, no. 10, pp. 1838-1851, Oct. 2000.

신 종 덕 (Jong-Dug Shin)

정회원

한국통신학회논문지 제28권 제7A호 참조