

# 혼합형 2단 AWG 기반의 WDM-PON을 위한 LAN 에뮬레이션 기능 설계 및 검증

정회원 한 경 은\*, 양 원 혁\*\*, 종신회원 김 영 천\*<sup>o</sup>

## Design and Verification of LAN Emulation Function for Hybrid Two-Stage AWG based WDM-PON

Kyeong-Eun Han,\* Won-Hyuk Yang\*\* *Regular Members,*  
Young-Chon Kim\*<sup>o</sup> *Lifelong Member*

### 요 약

본 논문에서는 혼합형 2단 AWG 기반의 WDM-PON에서 기존 802.1D 브리지 기술 규격과 호환 가능하면서 이더넷 LAN 기능을 효율적으로 제공하기 위하여 ULSLE(Upper Layer Shared LAN Emulation) 기능을 설계한다. 제안한 구조에서 ULSLE는 외부 브리지와의 인터페이스를 제공하기 위하여 OLT의 MAC 제어 계층 상위에 존재하며 PON-Tag를 기반으로 에뮬레이션 기능을 수행한다. 이때 PON-Tag는 AWG 기반의 WDM-PON 구조를 고려하여 ONU로부터 전송된 데이터 프레임의 전송 타입과 목적지 판별을 위해서만 사용된다. 이는 하향 프레임 전송에서 PON-Tag를 사용하지 않으므로써 OLT와 ONU에서 PON-Tag 프로세싱 오버헤드와 복잡도를 감소시킨다. 제안한 ULSLE 기능의 검증 및 성능 평가를 위하여 OPNET을 이용하였으며, 검증 시나리오에 따라 각 LLID와 모드 비트에 따른 ULSLE 기능 검증을 수행한다.

**Key Words** : WDM-PON, LAN emulation, ULSLE, access networks

### ABSTRACT

In this paper, we design the function of ULSLE(Upper Layer Shared LAN Emulation) to provide both the efficient LAN service and compatibility with 802.1D bridge in Hybrid two-stage AWG based WDM-PON. The ULSLE layer lies above MAC control layer in order to provide a mean to interface WDM-PON and 802.1D bridge. It also performs LAN emulation based on PON-Tag which is only used to decide both the transmission mode and the destination of frames transmitted from ONUs. That is, the PON-Tag is not used for downstream frames but destination address field in original frame instead. This decreases the processing overhead and complexity caused by PON-Tag at OLT and ONU. The verification of designed ULSLE is performed according to the specific scenarios based on transmission mode and destination using OPNET.

### I. 서 론

인터넷 사용자의 급격한 증가와 다양한 광대역

멀티미디어 서비스의 출현으로 가입자망의 고속화가 요구되고 있다. 이러한 요구를 수용하기 위한 현실성 있는 구현 방안으로 수동형 광가입자망(Passive

※ 본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업, 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단(No. R11-2000-074-02006-0)의 지원을 받아 수행된 연구임.

\* 전북대학교 영상정보통신기술연구센터 (°: 교신저자) (kehan@chonbuk.ac.kr, yckim@chonbuk.ac.kr)

\*\* 전북대학교 컴퓨터공학과 (whyang@chonbuk.ac.kr)

논문번호 : KICS2007-10-487, 접수일자 : 2007년 10월 23일, 최종논문접수일자 : 2008년 1월 17일

Optical Network: PON)이 제시되었다. 특히 최근에 기존 APON(ATM over PON), EPON(Ethernet PON)이 갖는 확장성 및 보안의 취약성을 극복하고 대용량·고품질의 서비스를 제공할 수 있는 수동형 광가입자망 기술로 AWG(Arrayed-Waveguide Grating) 기반의 WDM-PON이 주목 받고 있다<sup>11-15)</sup>.

이러한 PON 구조에서 ONU(Optical Network Unit)로부터의 데이터 전송은 OLT(Optical Line Terminal)와 점-대-점(point-to-point: P2P) 연결을 기반으로 한다. 따라서 ONU에서 전송되는 모든 프레임은 오직 OLT에서만 수신되며 ONU들은 다른 ONU가 전송하는 프레임을 직접적으로 송수신할 수 없다. 이러한 구조적 특징으로 인하여 PON은 공유 매체를 사용하는 기존의 LAN 기능을 제공하지 못한다. 따라서 PON에서 기존 이더넷 프로토콜의 공유 매체 사용 및 P2P 전송 기능을 효율적으로 제공하기 위해서는 LAN 에뮬레이션 기능이 요구된다. 그러나 대부분 WDM-PON에 관한 연구는 MAC 프로토콜, 대역할당 알고리즘, 소자, 구조 부분에서 중점적으로 이루어져 왔으며 LAN 에뮬레이션 기능 제공을 위한 연구는 이루어지지 않은 실정이다. 특히 최근 가입자망의 중요한 요구사항이 되고 있는 TPS(Triple Play Service)를 비롯하여 쌍방향 응용(interactive applications) 서비스 및 기존 LAN 서비스들을 고려할 때 가입자망에서의 공유(shared) LAN 및 P2P 전송 기능은 필수적이다. 따라서 WDM-PON의 특성을 분석하고 이를 기반으로 LAN 에뮬레이션 기능을 제공할 수 있는 구조의 설계는 매우 중요하다.

LAN 에뮬레이션 기능을 구현하기 위하여 먼저 에뮬레이션 기능 수행을 위한 계층이 정의되어야 한다. IEEE 802.3ah EFM에서는 EPON 구조에서 PON-Tag를 기반으로 P2P 에뮬레이션 기능을 제공하기 위한 다양한 계층 구조가 논의되었다<sup>16-19)</sup>. IEEE 802.3ah EFM에서 제안한 대표적인 계층 구조는 RS 계층 또는 MAC 제어 계층의 단일 계층에서 LAN 에뮬레이션을 수행하는 것이다. 먼저 RS 계층에서 P2P 에뮬레이션을 수행하는 경우, 프레임의 프리앰블 일부를 PON-Tag로 사용하므로 EPON 프레임의 구조 변경과 별도의 오버헤드 없이 구현 가능하다. 또한 MAC 하위 계층에서 주소 필터링을 수행하므로 불필요한 패킷이 MAC까지 전달되지 않아 정확한 링크 오류 관리가 가능하다는 특성을 갖는다. 그러나 n개 ONU와 통신을 위해서 OLT는 각 ONU에 대응되는 n개의 논리적 MAC 엔터티를

갖는 것처럼 동작해야 하므로 다중화 기능이 요구된다. 이로 인하여 가변적인 지연이 발생하고 추가적인 버퍼링이 요구되어 RS 계층에서의 프레임 패기를 유발시킴으로써 높은 BER(Bit Error Rate)이 발생하는 문제점이 있다<sup>17,18)</sup>. MAC 제어 계층에서의 에뮬레이션 기능은 다중화가 요구되지 않으므로 낮은 BER을 제공하는 장점을 갖는다. 그러나 이 방식은 PON-Tag를 위하여 EPON 프레임의 변경이 요구되며 이로 인한 오버헤드가 발생한다. 또한 ONU는 수신한 프레임을 MAC 하위 계층에서 필터링하지 않으므로, 특정 ONU에게 전송되는 손상된 프레임은 모든 ONU의 오류 카운터에 영향을 미친다. 이로 인하여 ONU는 올바른 링크 관리를 수행하지 못할 수 있다<sup>19)</sup>. 따라서 효율적인 계층화를 위해서는 단일 MAC을 통하여 802.1D 브리지를 단순화하고 각 계층에서의 버퍼링과 다중화를 회피할 수 있도록 설계되어야 한다. 또한 오버헤드 및 링크 관리 오류를 줄이는 것이 중요하다.

한편, 기존 EPON 구조와 달리 AWG 기반 WDM-PON의 하향 전송은 OLT와 각 ONU가 독립적인 파장을 통하여 P2P로 연결된 전송 구조를 갖는다. 따라서 AWG 기반의 WDM-PON은 MAC 제어 계층에서 P2P 에뮬레이션이 수행될 때 발생하는 링크 관리 오류 문제점을 갖지 않는다. 이는 각 ONU가 분리된 별도의 파장을 통하여 자신의 데이터만을 수신하므로 다른 ONU로 향하는 손상된 프레임이 자동적으로 차단되기 때문이다. 또한 이러한 구조에서 PON-Tag는 단지 ONU로부터 전송된 상향 데이터 프레임의 전송 타입과 목적지를 결정하기 위하여 사용될 수 있다. 즉, ONU로부터 전송된 모든 상향 데이터 프레임 헤더는 PON-Tag를 포함하는 반면 OLT로부터 전송되는 하향 데이터 프레임은 PON-Tag를 포함하지 않는다. 따라서 하향 채널에서 PON-Tag 사용으로 인한 오버헤드와 ONU의 PON-Tag 프로세싱을 제거함으로써 하향 대역을 효율적으로 이용하고 ONU의 기능을 단순화시킬 수 있다.

본 논문에서는 혼합형 2단 AWG 기반의 WDM-PON에서 이더넷 LAN 기능을 제공하기 위하여 ULSLE 기능을 설계하고 OPNET을 이용하여 기능 검증을 수행한다. 제안한 구조에서 ULSLE는 외부 브리지(bridge)와의 인터페이스를 제공하기 위하여 OLT의 MAC 제어 계층 상위에 존재하며 PON-Tag를 기반으로 에뮬레이션 기능을 수행한다. 이때 PON-Tag는 상향 프레임 데이터에만 포함되며

LLID(Logical Link Identifier)와 모드 비트를 기반으로 ONU로부터 전송된 데이터의 전송 타입과 목적지를 판별한다. ULSLE는 LLID가 등록된 프레임에 대하여 모드 비트를 검사하여 SCB(Single Copy Broadcast) 모드로 설정된 프레임은 하향으로 방송하고, P2P모드로 설정된 프레임은 목적지 주소를 확인하여 PON 내부 또는 외부 망으로 전송한다. 이때 하향 데이터 프레임은 PON-Tag를 사용하지 않고 기존 프레임의 목적지 주소 필드를 사용함으로써 ONU와 OLT 내부의 프로세싱 오버헤드와 복잡도를 감소시킨다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 혼합형 2단 AWG 기반 WDM-PON의 전송 구조와 PON-Tag에 관하여 기술한다. 3장에서는 LAN 에멀레이션 가능 수행을 위한 전송 계층 구조를 정의하고 이를 기반으로 ULSLE 기능을 설계한다. 4장에서는 설계한 ULSLE 기능의 기능 검증을 위하여 OPNET 환경에서 시뮬레이션을 수행한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 혼합형 2단 AWG기반의 WDM-PON 구조

그림 1과 2는 각각 32개 파장과 128개의 ONU를 고려한 혼합형 2단 AWG 기반의 WDM-PON 구조와 OLT 및 ONU의 노드 구조를 나타낸다<sup>[5]</sup>. 이 구조에서 상·하향 트래픽은 별도의 파이버(fiber)를 통해 전송되며 하나의 파장 당 1Gbps 용량을 제공한다. OLT는 유니캐스트(unicast) 전송과 멀티캐스트/브로드캐스트(multicast/broadcast) 전송을 위한 부분으로 구성되며 각 전송을 위하여 별도의 파장을 사용한다. RN(Remote Node)은 AWG와 수동결합기가 혼합된 형태로 Stage-1과 Stage-2는 각각 8×8 AWG와 4×1 수동결합기, 2개의 64×64 AWG와 4개의 2×1 수동결합기로 구성된다. 하향 전송의 경우, OLT로부터 전송된 하향 트래픽은 하나의 AWG로 구성된 Stage-1과 두 개의 AWG로 구성된 Stage-2를 통하여 각 ONU에게 전송된다. Stage-1 AWG가 4개의 입력 포트를 가질 때, 각 출력포트는 AWG 특성에 따라 동일한 입력 포트로부터 각각 4개의 파장을 받으므로 홀수( $\lambda_1, \lambda_3, \dots, \lambda_{31}$ ) 또는 짝수( $\lambda_2, \lambda_4, \dots, \lambda_{32}$ ) 인덱스를 갖는 16개의 파장이 각 출력 포트에 전송된다. 또한 Stage-1 AWG의 출력 포트로부터 두 개의 Stage-2 AWG의 입력 포

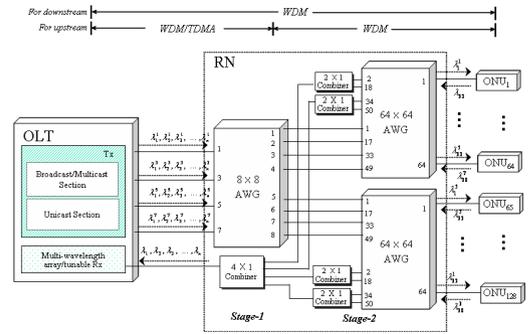


그림 1. 혼합형 2단 AWG 기반의 WDM-PON 구조  
Fig. 1 Hybrid two-stage AWG based WDM-PON architecture

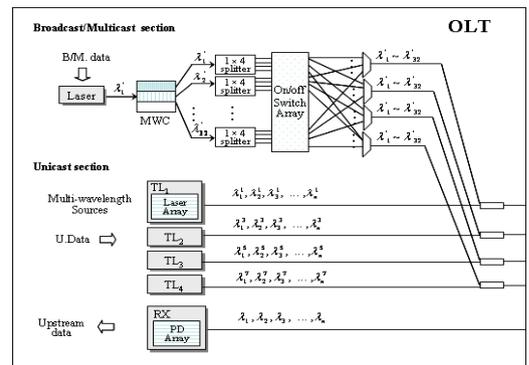


그림 2. OLT 노드 구조  
Fig. 2 Node architecture of OLT

트  $i$  ( $i=1, 17, 33, 49$ )로 전송된 모든 파장은 모든 출력 포트  $j$  ( $j=i+15$ )로 역다중화되어 각 ONU에게 전송된다. 반면, ONU에 의해 전송된 상향 트래픽은 Stage-2 AWG와 두 단계의 결합기를 통해 OLT에게 전송된다. 제한한 구조에서 상향 트래픽 전송을 위하여 각 ONU는 고정된 파장을 사용한다. Stage-2 AWG에는 각 64개의 ONU가 연결되며, 사용되는 파장 수는 32개이다. 이는 각 AWG에 연결된 2개의 ONU가 동일한 파장을 사용하여 데이터를 전송함을 의미한다. 따라서 Stage-2 AWG를 통과한 파장이 Stage-2 앞 단에서 결합될 때, 파장의 충돌이 일어나지 않고 4개의 결합기를 통해 각각 32개의 독립된 파장이 결합되도록  $n$ 번째 ONU가  $(n-1)$ 번째 ONU의 수신 파장과 동일한 파장을 사용하도록 구성한다.

그림 2에서 유니캐스트 전송 부분은 AWG의 각 입력 포트에 따라 32개의 파장을 제공하는 네 개의 광원과 ONU로부터 오는 상향 데이터를 처리하기 위한 단일 수신기로 구성된다. 반면 멀티캐스트/브

로드캐스트 전송 부분은 단일 레이저, 다중파장변환기(Multi-Wavelength Convertor: MWC), on-off 스위치 세트, 그리고 32개의 1×4 수동분배기와 네 개의 32×1 다중화기로 구성된다. 이 구조는 단일의 파장을 다수개의 파장으로 변환하고 분배하는 MWC를 이용하여 SCB의 기능을 제공한다. 하향 전송에서 멀티캐스트/브로드캐스트 전송을 위한 프레임은 단일 고정 파장( $\lambda_1$ )을 통하여 전송되며 MWC에서 32개의 파장( $\lambda_1 \sim \lambda_{32}$ )으로 변환된다. 변환된 32개의 파장은 수동 분배기와 on-off 스위치를 거쳐 각 포트별로 다중화 된다. 이 구조에서는 AWG의 입력 포트와 파장에 따른 on-off 스위치의 독립적 제어가 가능하다. 이때, 브로드캐스트 프레임의 경우 on-off 스위치를 모두 on으로 설정함으로써 RN Stage-1 AWG의 모든 입력으로 전송한다. 반면에 그룹별 전송 데이터 패킷은 해당 서비스 그룹에 속한 ONU에게만 전송해야 하므로, OLT는 해당 서비스 그룹 정보를 이용하여 각 포트 당 on으로 설정할 파장을 결정한다. 반면에 유니캐스트 전송 데이터 프레임은 각 ONU에게 할당된 파장과 포트 정보에 따라 해당 광원( $TL_1 \sim TL_4$ )으로 입력된다. 이와 같이 각 광원과 다중화기로부터 전송된 유니캐스트 데이터와 멀티캐스트/브로드캐스트 데이터는 파장 결합기를 통하여 RN의 각 AWG 입력포트로 입력된다. 각 ONU들은 유니캐스트와 멀티캐스트/브로드캐스트 데이터를 위한 별도의 수신기를 통하여 하향 데이터를 수신한다. 각 ONU로부터 전송된 상향 데이터 프레임은 RN에서 AWG와 수동 결합기를 거쳐 동일한 32개 파장을 사용하는 네 개의 그룹을 생성한다. 따라서 상향 전송에서는 네 개의 ONU가 동일한 파장을 공유하는 형태이므로 WDM과 TDMA가 결합된 방식으로 전송된다.

### III. LAN 에뮬레이션 기능 설계

#### 3.1 LAN 에뮬레이션을 위한 OLT 계층 구조

OLT는 LAN 에뮬레이션을 수행하기 위하여 ONU로부터 전송된 프레임에 P2P와 브로드캐스트의 전송 타입에 따라 다시 하향으로 전송하거나 PON의 외부 망으로 전송하는 기능을 수행해야 한다. 따라서 OLT는 전송 타입과 전송할 프레임의 목적지의 위치를 판별하여 효율적으로 전송할 수 있는 전송 능력이 요구되며, 이를 위하여 OLT와 ONU간 전송 프레임에 PON-Tag가 사용 된다.

PON-Tag는 OLT와 ONU사이에 할당된 15비트의 논리 링크 식별자(LLID)와 1비트의 모드 비트(Mode)로 구성된다. 모드 비트는 P2P와 SCB를 구분하는 플래그로 사용되며 P2P 에뮬레이션은 0, SCB는 1로 설정된다. LLID는 OLT와 ONU 사이의 논리적인 링크를 가리키는 식별자로서 ONU 또는 사용자의 등록 과정에서 부여된다. 이때, LLID의 할당과 해제는 다음의 메시지 교환 절차를 통하여 수행된다<sup>7,8)</sup>. 먼저 새로운 ONU 또는 포트가 OLT에 등록되면 OLT는 LLID 할당(Assign LLID) 메시지를 전송한다. 이때, LLID 할당 메시지의 LLID와 DA(Destination Address) 필드는 각각 브로드캐스트를 지시하는 LLID와 등록된 MAC 주소로 설정한다. LLID 할당 메시지를 수신한 ONU는 자신에게 할당된 LLID를 사용하여 LLID 응답(LLID Acknowledge) 메시지를 OLT에게 전송한다. 한편, LLID의 해제는 ONU 또는 포트의 등록 해제시 수행된다. OLT는 등록을 해제하는 ONU LLID를 기입한 LLID 해제(Release LLID) 메시지를 해당 ONU에게 전송하고, 이를 수신한 ONU는 LLID 해제 메시지를 OLT에게 전송함으로써 해제가 완료된다.

혼합형 2단 AWG 기반의 WDM-PON 구조에서 하향 전송은 별도의 파장과 AWG의 입력 포트에 의하여 OLT와 ONU간 전송 링크가 분리되어 있고, 구조적으로 SCB의 브로드캐스트 전송을 지원한다. 이러한 구조적 특성은 하향 전송 프레임 전송을 위하여 PON-Tag 대신 기존의 목적지 주소 필드 사용을 가능하게 하므로, 하향 채널에서 PON-Tag로 인한 오버헤드와 ONU의 PON-Tag 프로세싱을 제거하여 자원을 효율적으로 이용할 수 있다. 따라서 이 구조에서 PON-Tag는 OLT가 ONU로부터 전송된 프레임의 전송 타입과 목적지 판별을 위해서만 사용되고 하향 프레임 전송을 위해서는 기존 이더넷 프레임의 DA 필드를 사용한다. 한편, 표준 규격의 802.1D 브리지 또는 라우터에서는 P2P 포트만을 지원하므로 SCB 서비스를 위한 SCB 포트는 직접 연결할 수 없다. 이를 해결하기 위하여 OLT는 IEEE 802.1 브리지와의 인터페이스를 담당하는 ULSLE 계층을 제공한다. 또한 앞서 설명한 바와 같이, 혼합형 2단 AWG 기반 WDM-PON의 경우 MAC 제어 상위 계층에서 P2P 에뮬레이션 수행 시 EPON에서 나타나는 링크 관리 오류가 발생하지 않으므로 OLT에서 ULSLE 계층을 두어 LAN 에뮬레이션 기능을 수행하는 것이 바람직하다. ULSLE 계

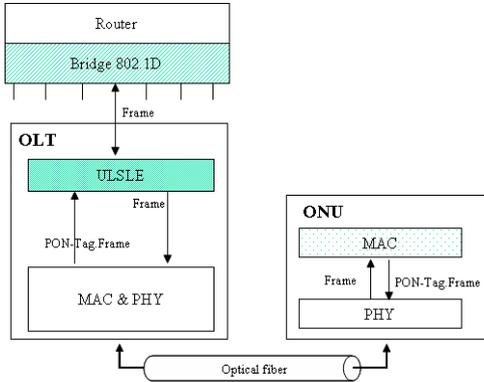


그림 3. LAN 에뮬레이션을 위한 OLT 계층 구조  
Fig. 3 Layer architecture for LAN emulation at OLT

층은 LAN 에뮬레이션 기능과 함께 이를 위한 주소 학습, 에이징(aging)과 같은 브리지의 일부 기능과 주소 테이블(Address List Table: ALT)에 LLID 엔트리를 추가하는 LLID 학습기능을 제공해야 한다.

그림 3은 LAN 에뮬레이션 기능을 제공하기 위한 OLT와 ONU의 계층 구조를 나타낸다. ULSLE는 외부 브리지와의 인터페이스를 위하여 MAC 제어 계층의 상위에 위치한다. 먼저 ONU는 전송하는 프레임이 P2P이면 LLID에 목적지 주소를, 브로드캐스트이면 브로드캐스트를 위하여 정의된 특정 주소를 기입하여 OLT에게 전송한다. OLT는 ONU로부터 수신한 PON-Tag와 프레임을 ULSLE로 전달하고 PON-Tag의 모드 비트와 LLID를 검사하여 전송타입과 목적지에 따라 PON-Tag가 제거된 프레임을 전송한다.

### 3.2 ULSLE 계층의 기능 설계

ULSLE 계층은 혼합형 2단 AWG 기반의 WDM-PON에서 브리지와 유사한 기능을 수행한다. OLT는 ULSLE의 기능을 수행하기 위하여 주소 테이블을 운영한다. 이때 주소 테이블은 MAC 주소, LLID, MAC 주소의 위치, 유효시간 등의 속성을 갖는다. 그림 4는 설계한 ULSLE 계층 기능 블록을 나타낸다. 설계한 ULSLE 계층은 크게 다섯 개의 모듈로 구성되며 그 기능은 다음과 같다.

- Addr\_Agent: 주소 학습, 주소 테이블 관리, 모드 비트와 LLID를 기반으로 프레임의 전송 타입 결정
- Upstream Queue Management: PON의 외부망으로 전송될 프레임의 저장 및 전송

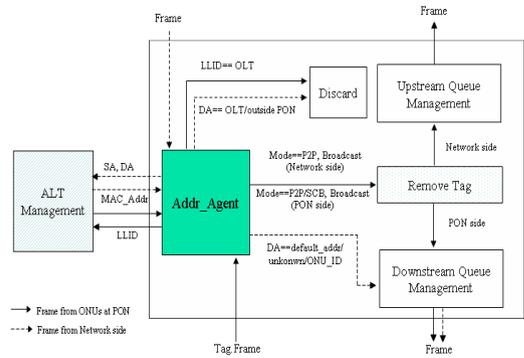


그림 4. 설계한 ULSLE 계층의 기능 블록  
Fig. 4 Function block of designed ULSLE layer

- Downstream Queue Management: PON 내부의 ONU에게 전송될 프레임의 저장 및 전송
- Remove Tag: OLT로부터 외부망 또는 ONU에게 전송되는 프레임의 PON-Tag 제거
- Discard: 목적지가 OLT인 프레임 또는 LLID가 등록되지 않은 프레임 폐기

먼저 ONU로부터 전송된 프레임의 경우, OLT가 ONU로부터 수신한 프레임을 ULSLE로 전송하면 Addr\_Agent 모듈은 PON-Tag와 이더넷 프레임에서 모드 비트, LLID, DA, SA(Source Address) 정보를 수집한다. Addr\_Agent 모듈은 수집한 SA를 기반으로 주소 테이블을 검사함으로써 주소 학습 과정을 수행한다. 이때, SA가 주소 테이블에 존재하면 에이징(aging)을 수행하고 존재하지 않으면 SA를 기반으로 새로운 테이블을 생성한다. 주소 학습 과정을 마친 Addr\_Agent 모듈은 주소 테이블을 참조하여 수신한 프레임의 LLID를 검사한다. LLID가 등록되지 않은 프레임이라면 해당 프레임을 폐기하고 단지 LLID가 주소 테이블에 등록된 프레임에 대하여 PON-Tag의 모드 비트를 확인한다. 모드 비트가 SCB로 설정된 프레임은 DA를 브로드캐스트를 위한 주소 값으로 설정하여 하향 스트림으로 전송한다. P2P 모드인 프레임의 경우, 주소 테이블에서 LLID에 해당하는 목적지 주소를 확인한다. 목적지 주소가 PON 내부의 ONU이면 해당 프레임을 하향 스트림으로 전송하고 목적지가 외부 망이거나 모르는 주소인 경우에는 상향 스트림으로 전송한다. 또한 LLID가 브로드캐스트를 위한 주소값을 갖는 경우에는 외부 망과 PON 내부로 프레임을 전송한다. 외부 망으로부터 전송된 프레임의 경우, 목적지 주

소를 확인하여 설정된 목적지 주소가 브로드캐스트 나 모르는 주소인 경우 하향 스트림으로 브로드캐스팅 하고 설정된 목적지 주소가 특정 ONU이면 해당 프레임을 하향 스트림으로 전송한다. 이때, PON 내부로 브로드캐스트 전송을 수행하는 경우 발송자 ONU는 자신이 전송한 프레임을 다시 수신 하지 않아야 한다. 이는 혼합형 2단 AWG 기반의 WDM-PON의 구조적 특성에 의하여 쉽게 해결된다. 이 구조에서는 멀티캐스트/브로드캐스트 전송 구조에서 on-off 스위치를 통하여 각 포트와 파장에 따른 독립적 제어가 가능하므로, 발송자 ONU에 해당하는 on-off 스위치만을 off하고 다른 스위치를 on으로 동작시킴으로써 구현 가능하다.

PON-Tag기반의 ULSLE 기능 수행 슈도 코드  
Pseudo code for ULSLE operation based on PON-Tag

- 
- ALT: address list table
  - Tag\_frame: frame with PON-Tag
  - frame: frame without PON-Tag or removing PON-Tag
  - DA: destination address field of frame
  - down\_Broadcast: broadcast toward to downstram
  - bothDirection\_Broadcast: broadcast toward to both direction
  - down\_Transmit: transmit the frame toward to downstream using P2P
  - PON: place whether PON side
  - external\_Networks: external network side

```

Begin: wait for frames at ULSLE
//frame coming from ONU in WDM-PON
If Tag_frame.port == internal Then
  LLID ← PON-Tag.LLID
  Loop until LLID == ALT.LLID

  If LLID is matched with any ALT.LLID Then
    If LLID !=broadcast Then
      If (LLID !=OLT) Then
        dest_addr ← MAC_addr(ALT.LLID)
        Location ← ALT.Location(LLID)
        Mode ← PON-Tag.Mode
        If Mode == P2P Then
          DA← dest_addr
          If Location == PON Then
            down_Transmit(frame)
          Else up_Transmit(frame)
          End If
        Else destroy(frame)
        End If
        // frame destined OLT
      Else destroy(frame)
    End If
  End If

```

---

```

Else If LLID == broadcast Then
  dest_addr ← ALT.Broadcast_addr
  Mode ← PON-Tag.Mode

  //broadcast frame coming from ONU
  If Mode==P2P Then
    DA ← dest_addr,
    bothDirection_Broadcast(frame)

    Else If Mode==SCB Then
      DA ← dest_addr,
      down_Broadcast(frame)
    Else destroy(frame)
  End If
End If
//not matched frame with any LLID at ALT
Else destroy(frame)
End If

Else // frame coming from external networks
  Loop until frame.DA == ALT.MAC_addr
  If frame.DA is matched with any
  ALT.MAC_addr Then
    dest_Addr ← ALT.MAC_addr
    If dest_Addr == specific ONU Then
      down_Transmit(frame)
    Else If dest_Addr == Broadcasting_addr
      Then down_Broadcast(frame)
    Else destroy(frame) // OLT own frame
  End If
End If
Else
  If frame.DA != external_Networks
  Then down_Broadcast(frame)
  //dest_addr is in external networks
  Else destroy(frame)
End If
End If
End
Begin End

```

---

#### IV. 기능 검증 및 평가

본 장에서는 OPNET을 이용하여 설계한 ULSLE 계층의 기능 검증 및 성능 평가를 수행한다. 이를 위하여 혼합형 2단 AWG 기반의 WDM-PON 구조의 특성에 따라 하나의 상향 파장을 공유하는 4개의 ONU, 4개의 단일 하향 파장을 고려하였으며 이때 각 링크의 용량은 1Gbps이다. OLT는 시뮬레이션 시작 시점에 각 ONU에 대한 정보를 주소 테이블에 저장하고 있으며, ONU의 LLID는 ONU의 ID와 같다고 가정한다.

그림 5와 그림 6은 ULSLE 기능 검증을 위하여 OPNET 환경에서 구현한 네트워크 모델과 OLT 노드 모델을 나타낸다. 그림 5에서 OLT와 RN은 멀티캐스트/브로드캐스트 전송과 유니캐스트 전송을

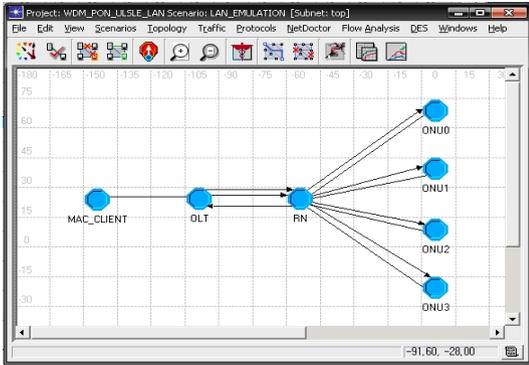


그림 5. ULSLE 기능 검증을 위한 네트워크 모델  
Fig. 5 Network model for verification of ULSLE

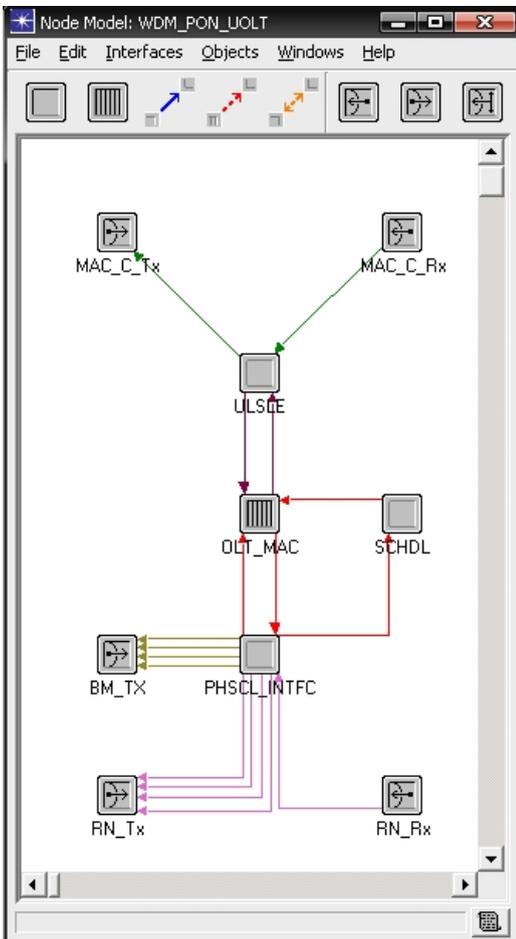


그림 6. OLT 노드 모델  
Fig. 6 OLT node model

위한 별도의 하향 링크로 구성되며 각 링크는 4개의 채널을 갖는다. 반면 상향은 단일 링크로 구성되

며 하나의 채널을 제공한다. MAC 클라이언트 (MAC\_CLIENT)는 PON과 연결된 외부망으로서 OLT와 연결된다. 이때, MAC 클라이언트, OLT의 MAC 주소는 각각 111, 100으로 가정하며, 각 ONU의 MAC 주소와 해당 LLID는 1~4로 가정한다. 또한 브로드캐스트를 위한 LLID와 MAC 주소는 각각 1111, 1000으로 가정한다 (표1).

그림 6에서 OLT는 크게 물리적 인터페이스 (PHY\_INTFC), 스케줄러(SCHDL), ULSLE, 그리고 MAC 클라이언트 및 유니캐스트, 브로드캐스트/멀티캐스트를 위한 Tx, Rx로 구성된다. MAC 클라이언트로부터 전송된 프레임은 MAC\_C\_Rx로 수신되어 ULSLE에게 전달되며, ONU로부터 전송된 프레임은 RN을 거쳐 RN\_Rx로 수신되어 PHY\_INTFC로 전송된다. PHY\_INTFC로 전송된 프레임이 제어 프레임이면 SCHDL로 전송되어 처리되고<sup>5)</sup>, 데이터 프레임이면 PON-Tag와 함께 OLT MAC으로 전송된다. OLT MAC은 수신한 데이터 프레임을 PON-Tag와 함께 ULSLE로 전달하는 역할과 하향 큐에 저장된 데이터를 전송하는 역할을 수행한다.

표 1. 시뮬레이션을 위하여 설정된 MAC 주소 및 LLID  
Table 1. MAC Address and LLID dedicated for simulation

파라미터	값
MAC 클라이언트의 MAC 주소	111
OLT의 MAC 주소	100
각 ONU의 MAC 주소 및 LLID	1~4
브로드캐스트를 위한 LLID	1111
브로드캐스트를 위한 MAC 주소	1000
Location(PON, 외부)	1, 0

설계한 ULSLE의 기능 검증은 다음과 같은 검증 시나리오를 기반으로 수행되었으며 이를 통하여 각 ONU와 OLT의 전송 및 수신 여부, 프레임의 주소 필드, PON-Tag 필드의 기입 정보, 주소 테이블 참조 결과와 전송 포트 관점에서 각 기능의 동작을 검사하였다.

- 시나리오 1: MAC 클라이언트가 특정 ONU (id=0)에게 P2P 전송을 하는 경우
- 시나리오 2: MAC 클라이언트가 ONU들에게 브로드캐스팅을 하는 경우
- 시나리오 3: MAC 클라이언트가 알려지지 않은 주소(DA=5)로 전송을 하는 경우
- 시나리오 4: ONU(id=0)가 다른 ONU(id=3)에게 P2P 전송을 하는 경우

- 시나리오 5: ONU(id=1)가 PON 내부의 모든 ONU(id=0,2,3)에게 SCB 전송을 하는 경우
- 시나리오 6: ONU(id=0)가 브로드캐스팅 전송을 하는 경우

표 2는 시나리오에 따른 내부 동작 및 주소 테이블에 대한 검증 결과를 나타낸다.

표 3. 검증 시나리오에 따른 ULSLE 기능 검증  
Table 2. Verification results of ULSLE

시나리오	1	2	3	4	5	6
검증내용						
OLT에서 수신한 프레임 {SA, DA}	{111, 0}	{111, 1000}	{111, 5}	{0, 3}	{1, 1000}	{0, 1000}
ULSLE 프레임 수신	○	○	○	○	○	○
PON-Tag 값 (포드비트, LLID)	없음	없음	없음	0, 3	1, 1111	0, 1111
주소 테이블 참조	○	○	○	○	○	○
주소 테이블의 Location 값	1	1	없음	1	1	없음
주소 테이블 참조후 반환값	0	1000	없음	3	1000	1000
프레임을 수신한 노드	ONU (id=0)	ONU (id=0 ~3)	ONU (id=0 ~3)	ONU (id=3)	ONU (id=0,2 ,3)	ONU (id=1 ~3)
외부 네트워크로의 전송여부	없음	없음	없음	없음	없음	○

그림 7은 시나리오 1~3을 기반으로 MAC 클라이언트가 전송한 프레임에 대하여 ULSLE가 에플리케이션을 수행한 결과를 보여준다. 먼저 MAC 클라이언트가 ONU0에게 프레임을 전송한 경우(0.01075초) 프레임을 수신한 OLT는 전송된 프레임의 목적지 주소를 기반으로 해당 프레임을 ONU0에게 전송한다. 또한 MAC 클라이언트가 브로드캐스트 프레임을 전송한 경우(0.04750초)에 OLT는 PON 내부에 있는 모든 ONU (id=0~3)에게 프레임을 전송한다. 마지막으로 MAC 클라이언트가 알 수 없는 주소로 프레임을 전송하는 경우(0.08661초) OLT는 모든 ONU에게 해당 프레임을 브로드캐스팅 한다. 그래프를 통하여 시나리오에 따라 해당 ONU들이 프레임을 정확하게 수신하는 것을 볼 수 있다.

그림 8은 시나리오 4~6을 기반으로 ONU로부터 전송된 프레임에 대하여 ULSLE가 에플리케이션을 수행한 결과를 보여준다. ONU1이 브로드캐스트 프레임을 전송을 하는 경우(0.04641초) OLT는 해당 프

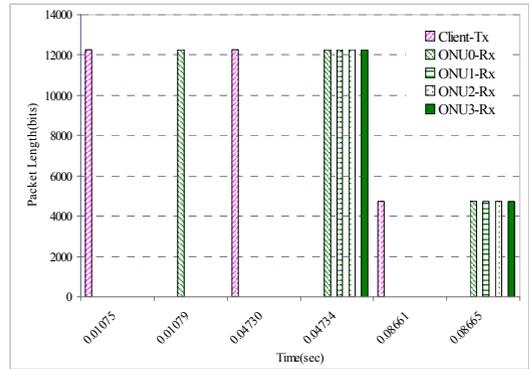


그림 7. MAC 클라이언트에 전송된 프레임  
Fig. 7 Frame transmitted from MAC client

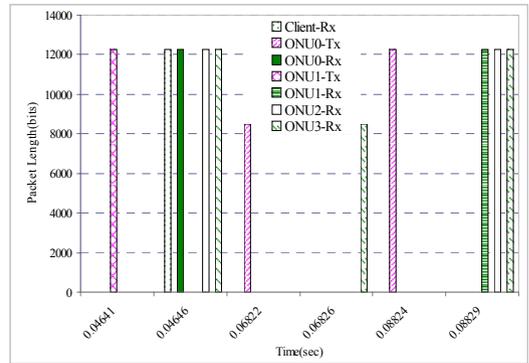


그림 8. ONU에서 전송된 프레임  
Fig. 8 Frame transmitted from ONU

레이를 MAC 클라이언트와 모든 ONU에게 전송한다. 또한 ONU0이 ONU3에게 프레임을 전송하는 경우(0.06822초), 해당 프레임을 ONU3만이 수신함을 확인할 수 있으며, ONU0이 모든 ONU에게 SCB 모드 프레임을 전송 하는 경우(0.06824초) OLT는 모든 ONU에게 해당 프레임을 전송한다. 이때, PON 내부로 브로드캐스트 되는 프레임은 이를 전송한 ONU를 제외한 모든 ONU가 해당 프레임을 수신하는 것을 확인할 수 있다.

### V. 결 론

본 논문에서는 혼합형 2단 AWG 기반의 WDM-PON에서 기존 802.1D 브리지 기술 규격과 호환 가능하면서 이더넷 LAN 기능을 효율적으로 제공하기 위하여 ULSLE 기능을 설계하였다. 제안한 구조에서 ULSLE는 외부 브리지와의 인터페이스

를 제공하기 위하여 OLT의 MAC 제어 계층 상위에 존재하며 PON-Tag를 기반으로 에플리케이션 기능을 수행한다. ULSLE는 LAN 에플리케이션 기능과 함께 이를 위한 주소 학습, 에이징과 같은 브리지의 일부 기능과 주소 테이블에 LLID 엔트리를 추가하는 LLID 학습기능을 제공한다. 제안한 전송 구조에서는 ONU와 OLT 내부의 PON-Tag 프로세싱 오버헤드와 복잡도 감소를 위하여 상향 프레임의 전송 타입과 목적지 판별을 위해서만 PON-Tag를 사용하도록 설계하였다. ULSLE는 LLID가 등록된 프레임에 대하여 모드 비트를 검사하여 SCB 모드로 설정된 프레임은 하향으로 방송하고, P2P모드로 설정된 프레임은 목적지 주소를 확인하여 PON 내부 또는 외부 망으로 전송한다. 제안한 ULSLE 기능의 검증 및 성능 평가를 위하여 OPNET을 이용하였으며, 검증 시나리오에 따라 각 LLID와 모드 비트에 따른 각 ONU와 OLT의 전송 및 수신 여부, 프레임의 주소 필드, PON-Tag 필드의 기입 정보, 주소 테이블 참조 결과와 전송 포트 관점에서 검증을 수행하였다. 시뮬레이션과 검증 결과를 통하여 구현한 ULSLE 모듈이 정확히 동작함을 확인할 수 있었다.

### 참 고 문 헌

[1] R. D. Feldman, "An Evaluation of Architectures Incorporating Wavelength Division Multiplexing for Broad-Band Fiber Access," *J. Lightwave Tech.*, vol.16, pp.1546-1559, Sept. 1998.

[2] G. Mayer, M. Martinelli, A. Pattavina and E. Salvadori, "Design and Cost Performance of the Multistage WDM-PON Access Networks," *J. Lightwave Technology*, vol.18, pp.125-143, February 2000.

[3] F. J. Effenberger, "Economical WDM Upgrades for PON Systems," *exp*, <http://exp.telecomitalia.com>, vol.2, pp.18-23, July 2002.

[4] F. T. An and K. S. Kim, "Evolution, Challenges and Enabling Technologies for Future WDM-Based Optical Access Networks," *2nd Symposium On Photonics, Networking and Computing*, North Carolina, Sept. 2003.

[5] K. Han, W. Yang, D. Datta and Y. Kim, "An AWG-based WDM-PON Architecture Employing WDM / TDMA Transmission for Upstream Traffic with Dynamic Bandwidth

Allocation," *Photonic Network Communications*, DOI 10.1007/s11107-007-0094-x, Sept. 2007.

[6] IEEE 802.3ah Ethernet in the First Mile Task Force, <http://www.ieee802.3.org/3/efm>

[7] D. Sala, "MPCP: Architecture and Layering Model", IEEE 802.3 EFM Task Force, May 2002.

[8] D. Sala, "An Efficient System Solution for Compliance," IEEE 802.3 EFM Task Force, May 2002.

[9] G. Kramer "MPCP: Layering Considerations," IEEE 802.3 EFM Task Force, May 2002.

한 경 은 (Kyeong-Eun Han)

정회원



2001년 2월 전북대학교 컴퓨터공학과 졸업  
2003년 2월 전북대학교 컴퓨터공학과 석사  
2008년 2월 전북대학교 컴퓨터공학과 박사  
2008년 3월~현재 전북대학교 영상정보통신기술연구소 박사후 연구원

<관심분야> 광통신공학, WDM-PON, EPON, 매체접근 제어 프로토콜, 네트워크 프로토콜

양 원 혁 (Won-Hyuk Yang)

정회원



2006년 2월 전북대학교 컴퓨터공학과 졸업  
2008년 2월 전북대학교 컴퓨터공학과 석사  
2008년 3월~현재 전북대학교 컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> 광통신공학, WDM 네트워크, SoC 설계

김 영 천 (Young-Chon Kim)

중신회원

한국통신학회 논문지 제19권 제2호 참조  
현 재 전북대학교 컴퓨터공학과 교수