Green OBS 망에서 LPI를 이용하는 코어 및 에지 라우터 구조의 에너지 절감 성능 분석

정회원 양 원 혁*, 준회원 정 진 효*, 종신회원 김 영 천**

Performance Evaluation of Energy Saving in Core Router and Edge Router Architectures with LPI for Green OBS Networks

Won-Hyuk Yang* *Regular Member*, Jin-Hyo Jeong* *Associate Member*,
Young-Chon Kim** *Lifelong Member*

요 약

본 논문은 백본 망에서 발생하는 에너지를 절감하기 위하여 LPI(Low Power Idle)를 이용하는 OBS 코어 및 에지 라우터 구조를 제안하고 이를 평가한다. 제안한 LPI를 이용하는 코어 라우터는 코어 라우터 라인 카드와 BCP 스위치, 버스트 스위치, 스위치 제어기 및 LPI 기능을 위한 Sleep/Wake 제어기로 구성된다. 망 부하가 낮을 때 네트워크 제어 패킷을 수신한 Sleep/Wake 제어기는 코어 라우터 라인 카드의 수면/활성 상태를 제어함으로써 에너지를 절감 할 수 있다. 에지 라우터는 액세스 라인 카드 스위치, SCU 그리고 OBS 에지 라우터 라인 카드로 구성된다. 에지 라우터에서 LPI 기능은 네트워크 수준 제어를 통하여 에지 라우터 라인 카드 개별적으로 수행되며 버스트를 생성하는 동안 에지 라우터 라인 카드의 PHY/Transceiver를 수면 상태로 천이시킴으로서 에너지 절감을 할 수 있다. 제안된 코어 및 에지 라우터 구조의 에너지 절감 성능 평가를 위하여 본 논문에서는 제안된 라우터 구조의 전력 소모율을 비교/분석하였으며, OPNET을 이용한 시뮬레이션을 수행하여 코어 라우터와 에지 라우터 라인 카드의 PHY/Transceiver의 수면시간 관점에서 코어 및 에지 라우터의 에너지 절감 성능을 평가하였다.

Key Words : OBS, Router, Energy Efficiency, LPI, Green IT

ABSTRACT

In this paper, we propose core and edge router architectures with LPI(Low Power Idle) for reducing energy consumption in OBS networks. The proposed core router architecture is comprised of a BCP switch, a burst switch, line cards and sleep/wake controller for LPI. When the offered load of network is low, sleep/wake controller can change the state of the core router line card from active to sleep state for saving the energy after receiving network control packet. The edge router consists of a switch for access line card, a SCU and OBS edge router line cards. The LPI function in edge router line card is performed through network level control by network control packet, individually. Additionally, PHY/transceiver modules can transition active state to sleep state when burst assemble engine generates new bursts. To evaluate the energy saving performance of proposed architecture with LPI, the power consumption of each router is analyzed by using data sheet of commercial router and optical device. And, simulation is also performed in terms of sleep time of PHY/Transceiver through OPNET.

※ 본 연구는 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다.(No.2010-0013822).
* 전북대학교 컴퓨터공학과 **교신저자 전북대학교 IT정보공학부 스마트그리드연구센터 (yckim@jbnu.ac.kr)
논문번호 : KICS2011-08-381, 접수일자 : 2011년 8월 31일, 최종논문접수일자 : 2012년 1월 25일

Ⅰ. 서 론

최근 전 세계의 인터넷은 다수의 응용 프로그램과 인터넷 유저의 폭발적인 증가로 인하여 NIC (Network Interface Card), 스위치 및 라우터와 같은 네트워크 장비의 요구 대역폭은 계속적으로 증가되고 있다. 이로 인하여 네트워크 장비의 수와 성능 또한 지수적인 속도로 발전하고 있으며 이는 네트워크 장치에서 소비되는 전력 또한 기하급수적으로 증가됨을 의미한다. 미국의 경우 인터넷과 네트워크 장치에서 사용되는 에너지 소비량은 연간 60억 달러에 이르는 74 TWh이며, NIC 및 라우터와 같은 네트워크 장치에서만 사용되는 에너지 소비량은 연간 5.3 TWh에 이르는 것으로 보고되었다[1].

이러한 문제를 해결하기 위하여 2007 년 9 월 이더넷에서의 에너지 소비 절감 달성을 위한 IEEE 802.3az Task Force EEE(Energy Efficient Etherent)가 설립되었고, 2010 년 9 월 30 일 마침내 IEEE Std 802.3az 가 최종 승인되었다. 승인된 표준안에서는 저전력 대기 (Low Power Idle : LPI)가 채택하였다. 저전력 대기 방식은 NIC 및 라우터와 같은 네트워크 장치를 활성 모드 (Active mode)와 수면 모드 (Sleep mode) 두 종류로 나누어 수행한다. 활성 모드는 네트워크 장치에 트래픽 혹은 패킷이 입력되어 입력된 패킷을 처리하는 상태로서 기존의 네트워크 장치의 전력과 동일한 전력을 소비하는 상태이다. 수면 모드는 더 이상 트래픽이 입력되지 않는 대기 상태일 때 불필요한 장치들을 수면 모드로 천이(Transition)시켜 이에 따라 소비 되는 전력량을 감소시킨다. 일반적으로 수면 모드에서 소비되는 전력량은 활성 모드의 약 10% 정도이다[2].

그러나 LPI 같은 에너지 절감 기법에 관한 연구는 가입자 망 혹은 근거리 망에 초점을 두고 있다[3-6]. 통신망에서 발생하는 에너지를 줄이고 에너지 효율성을 향상시키기 위하여 이러한 에너지 절감 기법들은 백본 망까지 확대가 필요하다. 최근 차세대 백본 기술로 각광 받고 있는 광 버스트 스위칭 (Optical Burst Switching: OBS) 기술[7,8]은 여러 가지 측면에서 LPI의 사용에 용이한 장점을 갖는다. 첫째로 OBS 망의 에지 라우터의 경우, 버스트 어셈블을 수행하는 동안 전송 장치 등 일부 장치가 수면 상태에서 대기할 수 있다. 둘째, 기본적으로 OBS의 경우 데이터 버스트와 버스트 제어 패킷 (Burst Control Packet)이 분리되어 전송되므로 버스트보다 BCP가 먼저 도착하여 자원을 예약하고 버스트를 전송한다. 따라서 버스트가 도착하기 전 BCP 정보 혹은 BCP 처리 정보를 이용하여 코어 라우터의 일부를 수면 혹은 대기 상태로 천이시킬 수 있다.

LPI를 백본 망에 적용하여 네트워크에서 발생하는 에너지 소비를 줄이기 위한 방법은 네트워크 장치를 제어하는 장치 수준 제어, 두 네트워크 장치를 연결하는 링크를 제어하는 링크 수준 제어 그리고 네트워크에서 유입되는 트래픽을 제어함으로써 에너지를 절감하는 네트워크 수준 제어 방법으로 구분할 수 있다. 장치 수준 제어는 라우터에 도착하는 트래픽의 입력 여부에 따라서 라우터에 설치된 개별 장치들의 수면 모드를 제어한다. 링크 수준 제어는 링크 이용률 같은 라우터의 지역 정보를 이용하여 두 라우터 사이를 연결하는 링크를 수면 모드로 전환시킴으로써 에너지 절감을 시도한다. 마지막으로 네트워크 수준의 제어는 네트워크의 모든 정보를 이용하여 라우터의 수면 및 링크의 수면 모듈의 수면을 제어할 수 있다. 이를 위하여 적절한 프로토콜과 네트워크의 정보를 수집 및 관리할 수 있는 제어 노드가 요구된다[9-11].

따라서 본 논문에서는 OBS 망에서 에너지 절감을 위하여 코어 라우터와 에지 라우터에 LPI를 적용하고 이에 대한 에너지 절감 성능 평가를 수행한다. 제안된 구조는 네트워크 수준 제어를 통하여 최소 라인 카드에서 최대 라우터까지 수면 상태로 천이가 가능하다. 제안된 LPI를 이용하는 코어 라우터는 코어 라우터 라인 카드와 BCP 스위치, 버스트 스위치, 스위치 제어기 및 LPI 기능을 위한 Sleep/Wake 제어기로 구성된다. 망 부하가 낮을 때, 네트워크 제어 패킷을 수신한 Sleep/Wake 제어기는 코어 라우터 라인 카드의 수면/활성 상태를 제어함으로써 에너지를 절감할 수 있다. 에지 라우터는 액세스 라인 카드 스위치, SCU 그리고 OBS 에지 라우터 라인 카드로 구성된다. 에지 라우터에서 LPI 기능은 네트워크 수준 제어를 통하여 에지 라우터 라인카드 개별 적으로 수행되며 버스트를 생성하는 동안 에지 라우터 라인 카드의 PHY/ Transceiver를 수면 상태로 천이시킴으로서 에너지를 절감할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2과 3장에서는 제안된 LPI를 이용하는 코어 및 에지 라우터 구조를 설명한다. 4장에서는 제안된 구조들의 전력 소모를 비교하고 시뮬레이션 결과를 분석한다. 5장에서는 본 논문에 대한 결론을 맺는다.

Ⅱ. LPI를 이용하는 코어 라우터 구조

OBS 망에서 코어 라우터는 BCP를 통해 사용될 자원을 미리 예약하여 버스트를 전송한다. 이를 위하여 코어 라우터의 구조는 BCP처리를 위한 SCU(Switch Control Unit: 스위치 제어 장치)과 버스트 전송을 담당하는 스위치 블록으로 구성된다. 이러한 구조는 LPI를 적용하기 어렵고 라우터의 하드웨어적 특성상 특정 모듈 혹은 블록의 상태를 대기 상태로 천이하기 어렵다. 또한 대용량의 전송 링크의 설치 시 구조를 변경시켜야 한다. 따라서 본 논문에서는 OBS 망에 LPI를 적용하고 대규모 전송을 위한 링크 추가 설치가 용이한 코어 라우터 구조를 제안한다.

그림 1은 제안한 OBS 코어 라우터 구조를 보인다. 제안된 구조는 다수의 라인 카드로 이루어지는 라우터 시스템 구조로서 LPI를 이용하는 코어 라우터는 라우팅 엔진, BCP 스위치, 버스트 스위치, 스위치 제어기, 다수의 코어 라우터 라인 카드와 sleep/ Wake 제어기로 구성된다.

라우팅 엔진은 라우팅 프로세서와 라우팅 메모리(테이블)로 구성되며 다음과 같은 기능을 수행한다.

- 라우팅 프로세서: 라우팅 정보 처리 및 처리된 정보를 이용한 라우팅 메모리(테이블)의 유지 및 관리
- 라우팅 메모리(테이블): 라우팅 정보의 저장 및 유지

라우팅 메시지의 경우 BCP 전송을 위한 전용 제어 채널로 전송된다. 따라서 코어 라인 카드가 라우팅 메시지를 수신한 경우 BCP 스위치를 이용하여 그 메시지를 라우팅 프로세서로 전달하게 된다.

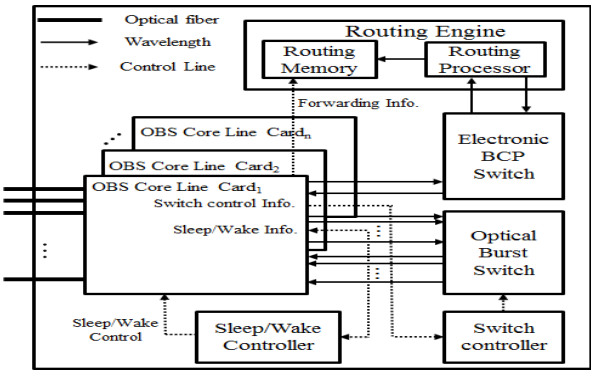

그림 1. LPI를 이용하는 OBS 코어 라우터 구조
Fig. 1. OBS core router architecture with LPI

BCP 스위치는 각 라인 카드로 수신된 BCP들을 다른 라인 카드 혹은 다른 출력 포트로 전송하기 위하여 사용된다. 그러나 BCP는 광/전(O/E: Optical /Electronic) 변환 후 전기적으로 처리되므로, BCP 스위칭을 위해서 전기적 스위치가 이용된다. OBS 망에서는 입력 에지 라우터에서 생성된 버스트를 광/전 변환 없이 출력 에지 라우터까지 전송한다. 따라서 코어 라우터에서 버스트는 스위치 자원을 예약한 시간에 스위치를 통과하여 광/전 변환 없이 전송되므로 광소자를 이용한 광 스위치를 사용한다. 반면에 광 스위치를 제어하는 스위치 제어기의 경우는 전기적 소자를 이용한다. 이 스위치 제어기의 경우 코어 라우터 라인 카드에서 결정된 스위치 제어 신호를 입력으로 받아 스위치를 제어한다.

코어 라우터 라인 카드는 그림 2와 같이 O/E와 E/O, PHY/Transceiver, 트래픽 처리기 전송 엔진, BCP 스케줄러를 갖는 SCU 부분과 버스트를 전송 및 수신하기 위한 PHY/Transceiver로 구성된다. 버스트의 경우, 추가적인 처리가 요구되지 않으므로

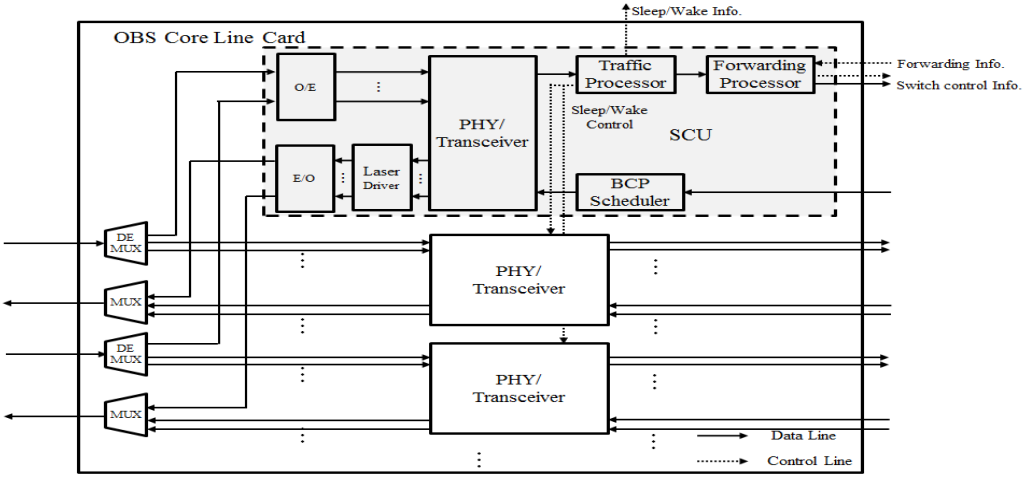

그림 2. 코어 라우터 라인 카드 구조
Fig. 2. Linecard architecture of OBS core router

PHY/Transceiver를 통하여 광 스위치로 전달된다. 또한 하나의 코어 라우터 라인카드는 한 개부터 다수 개의 포트를 가질 수 있다. 이에 LPI를 적용하면 포트의 사용 정도에 따라 포트를 수면 상태로 천이시킴으로써 에너지 절감을 할 수 있다.

코어 라우터 라인 카드에서 SCU는 버스트 전송을 위한 BCP의 생성과 라우팅 메시지 등의 정보처리를 담당한다. OBS에서 BCP는 전기적으로 처리되므로 입력 시 O/E 변환을 거치고 출력 시에도 E/O 변환 과정을 통해 전송된다. O/E 변환을 거친 후, BCP는 PHY/Transceiver를 통해 트래픽 처리기로 입력되며 트래픽 처리기는 BCP의 기본 정보를 처리한 후 포워딩 엔진으로 전송된다. 포워딩 엔진에서는 입력된 BCP를 적절한 출력 포트로 전송하기 위한 주소 매칭(Matching)을 수행한다. 이 결과에 따라 BCP는 BCP 스위치를 거쳐 해당 포트의 라인 카드로 전송된다. 이 후 BCP는 BCP 스케줄러를 거쳐 BCP 정보에 따라 광 버스트 스위치의 자원을 예약하고 다음 노드로 전송된다.

에너지 절감을 위한 LPI 기능을 사용하기 위하여 본 논문에서 제안된 코어 라우터 구조는 Sleep/wake 제어기를 갖는다. Sleep/wake 제어기는 각 코어 라우터 라인카드에서 BCP와 같은 네트워크 제어 패킷 정보를 처리하여 수면 모드 제어를 수행한다. 만일 라인 카드가 수면 상태로 천이할 수 있는 기회가 있다면 라인 카드의 상태를 수면 상태로 천이 시킨다. 트래픽 처리기에서 수면/활동 상태 결정은 여러 알고리즘을 통하여 구현될 수 있으나 본 논문의 범위에 벗어나므로 언급하지 않는다.

Ⅲ. LPI를 이용하는 에지 라우터 구조

본 장에서는 OBS 망에서 에너지 절감을 위하여 LPI를 이용하는 에지 라우터 구조를 제안한다. 제안된 에지 라우터 구조는 그림 3과 같다.

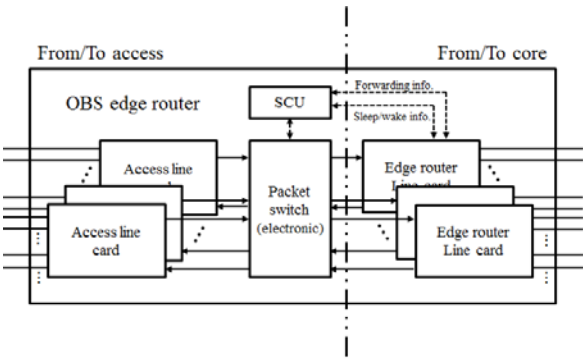

그림 3. LPI를 이용하는 에지 라우터 구조
Fig. 3. OBS edge router architecture with LPI

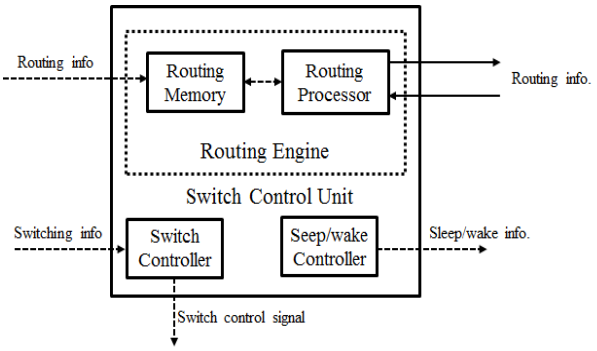

그림 4. LPI를 이용하는 에지 라우터의 SCU 블록 다이어그램
Fig. 4. SCU block diagram of OBS edge router with LPI

LPI를 이용하는 에지 라우터는 접속 망으로 데이터를 송수신하기 위한 다수의 액세스 라인카드와 수신된 패킷과 생성된 버스트를 코어 망으로 전송하기 위한 다수의 에지 라우터 라인카드, 패킷을 액세스 라인카드와 에지 라우터 라인카드로 전송하기 위한 전기적 스위치 및 스위치 제어와 라우팅을 위한 SCU로 구성된다. 접속 망으로 데이터를 송수신

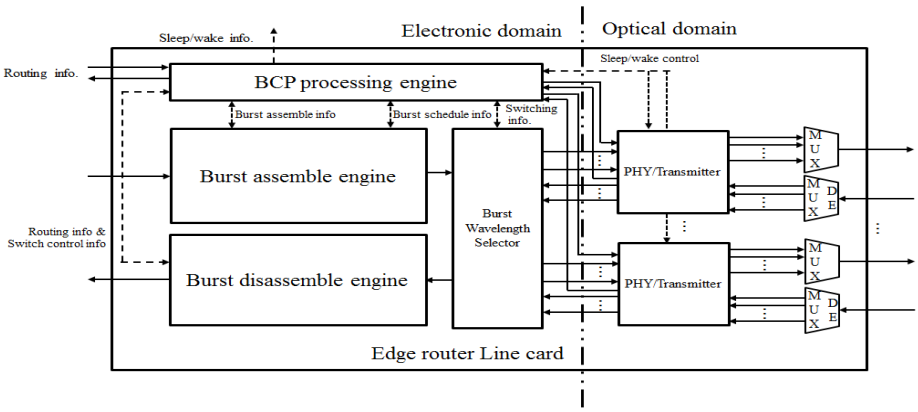

그림 5. 에지 라우터 라인 카드의 구조
Fig. 5. Linecard architecture of OBS edge router

하는 액세스 라인카드는 기본 라인카드 구조를 따르며 IEEE 802.3에서 권장하는 LPI를 그대로 사용 가능하므로 본 논문에서는 언급하지 않는다.

SCU는 버스트 및 BCP를 코어 망으로 전달하기 위한 라우팅 엔진 및 접속 망에서 들어온 패킷 및 버스트를 분해하여 얻어진 패킷들을 적절한 라인 카드들로 전송하기 위한 전기 스위치를 제어하는 제어기를 갖는다. 또한 각 에지 라우터 라인카드의 BCP 처리 유닛으로부터 수면/활성 정보를 수신하여 에지 라우터 라인카드의 수면/활성 상태를 제어할 수 있는 sleep/wake 제어기를 갖는다. 그림 4는 SCU의 구조를 보인다.

그림 5는 버스트의 생성 및 분해, BCP 생성 및 처리를 담당하는 에지 라인카드의 구조를 보인다. 에지 라인카드는 버스트의 생성 및 분해를 담당하는 버스트 어셈블 엔진과 디스어셈블 엔진 버스트 송수신에 사용될 파장을 결정하는 버스트 파장 선택기, 버스트 전송을 위한 BCP를 생성 및 자원 관리를 담당하는 BCP 처리 엔진, 그리고 버스트 및 BCP의 물리적 전송을 담당하는 PHY/Transceiver로 구성된다. 표 1은 에지 라우터 라인 카드의 각 모듈의 구성과 기능이다.

표 1. 에지 라우터 라인카드의 구성과 기능
Table 1. Linecard function of OBS edge router

블록	구성 모듈	수행 기능
BCP 처리 유닛	· BCP 처리기 · BCP 메모리 · BCP 스케줄러 · 수면/활동 제어기 · 전송엔진	· BCP 생성 · BCP 처리 및 스케줄링 · 라우팅 정보 전송 · PHY/Transceiver의 수면/활성 제어
버스트 생성 유닛	· 버스트 구성 메모리 · 버스트 생성기 · 버스트 전송 메모리	· 버스트의 생성
버스트 분해 유닛	· 버스트 수신 메모리 · 버스트 분해기 · 패킷 메모리 · 트래픽 처리기	· 버스트의 분해
버스트 파장 선택기		· 버스트 송수신을 위한 파장 선택
PHY/Transceiver		· 버스트의 물리적 송수신을 담당

에지 라우터 라인카드의 수면 상태를 결정을 담당하는 SCU의 sleep/wake controller와 달리 BCP processing engine에서는 버스트가 생성되는 동안 LPI를 이용하여 PHY/Transceiver를 수면 모드로 전환시킬 수 있다. PHY/Transceiver의 수면/활성 상태의 결정은 시간 기반 혹은 길이 기반 알고리즘 같은 버스트 어셈블 알고리즘에 의하여 결정될 수 있다. 시간 기반 임계값 버스트 어셈블 알고리즘은 미리 정의된 시간 T를 가지고 있으며 시간 T 는 입력 큐 안에 첫 번째 패킷이 도착할 때 카운트되기 시작하여 0 에 도달하면 버스트를 생성하고 이를 버스트 전송 큐로 전송한다. 시간 기반 임계값 버스트 어셈블에서는 시간 T 가 고정되어 있으므로, 입력 트래픽의 부하와 관계없이 수면 시간을 가질 수 있으므로 PHY/Transceiver의 일정한 에너지 절감 효율을 보장할 수 있다. 반면 길이 기반 임계값 버스트 어셈블 알고리즘은 미리 정의된 길이 임계값 L을 이용하여 버스트를 생성한다. 측정된 길이 값이 미리 정의된 임계값 L을 초과하게 되면, 패킷들을 버스트로 병합하여 버스트 전송 큐로 전송한다. 버스트 생성을 위한 길이 임계값 L 이 고정되어 있으므로 생성되는 버스트의 길이는 일정한 크기를 보장할 수 있지만 부하에 따라 버스트 생성 시간이 변하므로 수면시간이 일정하지 않다.[12]

Ⅳ. 제안된 라우터의 성능평가 및 분석

4.1. 전력 소모율 분석

본 절에서는 3장과 4장에서 제안한 라우터의 전력 소모율 분석한다. 전력 소모율 분석을 위하여 상용 라우터인 CISCO 라우터 시스템[13,14]을 참고하여 전력 소모율을 산출하고 이를 OBS 라우터와 비교하였다. OBS 라우터에 사용되는 전력 소모율의 경우 전기적 모듈(전기적 스위치 및 전송 엔진, 트래픽 처리기 등)은 일반 라우터에서 사용되는 전력량 및 논문 [11, 15]을 참고였으며 일부 광소자 장치들은 상용화 제품의 데이터 시트[16, 17]를 참고 하였다.

전력 소모율 분석을 위하여 먼저 각 라우터의 라인카드 전력 소모율을 분석하였다. 표 2는 각 라인카드의 전력 소모율을 보인다. 라인카드는 라우터에서 처리할 수 있는 용량에 따라 사용되는 라인카드의 수 및 스위치의 용량이 다르게 되고 가장 전력 소모율이 많은 요소이다. 라인카드 또한 전송 용량에 따라 가질 수 있는 포트 수가 달라 질 수 있으나 본 논문에서 전력 소모율을 보이기 위하여 하나의 라인카드의 전송 용량은 40Gbps로 가정하였다.

기존 상용화 패킷 라우터의 라인카드의 전력 소모율을 100%라 했을 때, OBS 망의 코어 라우터는 107.8%, 에지 라우터는 216.6%의 전력을 소모한다. 이는 기존 패킷 라우터와 다르게 OBS 기능을 위해 BCP 스케줄러 및 LPI 관련 모듈 같은 장치 혹은 모듈이 추가되었기 때문이다. 그러나 코어 라우터 라인카드는 BCP 처리와 스케줄링 외에 어떠한 추가적인 처리 과정이 없으므로 패킷 라우터의 라인카드에 비해 많은 전력 소비 증가를 보이지 않는다. 에지 라우터의 라인 카드는 버스트의 조립 및 분해에 따른 패킷 처리를 하고 BCP의 생성 등 복잡한 과정을 처리하므로 패킷 라우터의 라인카드에 비해 약 2.1배의 전력을 소모한다.

표 3은 각 라인카드들을 이용하여 구현된 라우터 시스템을 전력 소모율을 보인다. 라우터의 전송용량은 160Gbps로 가정하였으며 그에 상응하는 스위치들의 전력 소모율을 환산하였다.

패킷 라우터 시스템의 경우 160Gbps 스위치의 전력 소모율이 전체의 20%를 차지한다. 그러나 코어 라우터의 경우 라인카드에서 소모하는 파워는 패킷 라우터에서 소비하는 파워에 비해 크지만 버스트 스위치가 차지하는 전력 소모율이 극히 작기 때문에 전체 전력 소모율은 패킷라우터와 유사하다. 그러나 에지 라우터의 경우는 에지 라우터 라인 카드 자체에서 소비하는 전력량이 다른 두 라우터에 비해 현저히 높기 때문에 훨씬 많은 전력 소비를 하게 된다. 그러나 이러한 전력 소비는 LPI 기능에 의하여 감소시킬 수 있기 때문에 OBS 라우터들은 LPI를 사용하지 않는 기존 패킷 라우터에 비해 더 많은 에너지 절감 효율을 가질 수 있다.

표 4는 OBS 코어 라우터 및 에지 라우터에서 라인 카드가 수면 상태로 천이 할 시에 소비되는 전력량을 보인다. LPI를 이용하면 라인카드에 트래픽의 입력이 작은 경우 라인 카드를 수면 상태로 천이 시킬 수 있고 이를 통해 전력 소비를 감소시킬 수 있다. 각 라우터들은 자신의 라인카드를 수면/활성 시키기 위한 최소의 모듈(코어 라우터의 트래픽 처리기와 에지 라우터의 BCP 처리기) 및 전송 모듈들을 제외한 나머지 모듈을 LPI를 이용하여 수면 상태로 천이할 수 있다고 가정한다. 이 때, all sleep 상태는 모든 라인 카드가 수면 상태로 천이하면서 주변의 모듈들(BCP 스위치, Burst 스위치 등)을 수면 상태로 천이시킴으로서 더 큰 에너지 절감을 할 수 있다. 그러나 all sleep을 제외한 나머지의 경우에는 주변 모듈이 항상 활성 상태에 있어야 하므로 각 라인 카드가 수면 상태에서 소모하는 에너지 외에는 감소하지 않는다. 그 결과 코어 라우터는 최대 74.5%, 에지 라우터는 최대 84%의 에너지를 절약할 수 있다.

표 2. 각 라우터의 라인 카드 전력 소모율
Table 2. Power consumption ratio of Linecard

Type of Router	Type of Linecard	Power consumption(%)
Packet router	Line card(40Gbps)	100
OBS router	Core router line card(40Gbps)	107.8
	Edge router line card(40Gbps)	216.6

표 3. 160Gbps 라우터 시스템의 전력 소모율
Table 3. Power consumption ratio of 160Gbps router

Router type	Components	Power consumption	Total
Packet router	Routing engine	6.4%	100%
	4 Line card(40Gbps)	72.7%	
	switch controller	0.9%	
	160 Gbps packet switch	20%	
Core router	Routing engine	6.4%	100.6%
	4 Core router line card (40Gbps)	78.9%	
	BCP switch(Electronic)	13.4%	
	Burst Switch(Optical)	0.1%	
	switch controller	0.9%	
	Sleep/wake controller	0.9%	
Edge router	SCU	8.3%	186.7%
	4 Edge router line card (40Gbps)	158.5%	
	160 Gbps packet switch	20%	

표 4. OBS 라우터의 라인 카드의 수면 모드 천이 후 전력 소모율
Table 4. Power consumption ratio of OBS router after sleep transition

Type of router	State of linecard	Power consumption
Core router	All Active	100 %
	3 line cards active 1 line card sleep	86.7 %
	2 line cards active 2 line card sleep	73.4 %
	1 line card active 3 line cards sleep	60.1 %
	all sleep	26.1 %
Edge router	All Active	100 %
	3line card active 1line card sleep	81.7 %
	2line card active 2line card sleep	63.5 %
	1line card active 3line card sleep	45.2 %
	all sleep	16.3 %

4.2. PHY/Transceiver의 에너지 절감 성능평가

본 절에서는 제안한 OBS 라우터 구조에 LPI를 적용하였을 때 PHY/Transceiver의 에너지 절감 성능 평가를 수행하였다. 이를 위하여 OPNET을 이용한 시뮬레이터를 작성하였으며 이를 통하여 코어 라우터 및 에지 라우터 PHY/Transceiver의 수면시간 및 에너지 소모율 관점에서 성능을 평가하였다. 성능 평가를 위한 시뮬레이션 파라미터는 표 5와 같다.

표 5. 시뮬레이션 파라미터
Table 5. Simulation parameters

Router Type	Parameters	Value
Common	Number of line card	1
	Link capacity/ Line card	40Gbps
	Number of port/line card	1
	Traffic pattern	Exponential distribution
	Active to sleep transition time	0sec
	sleep to active transition time	0sec
	Simulation time	200sec
Core router	Burst size	1250000bits
Edge router	Burst assemble algorithm	Time based(Th=1ms) Length based(Th=3Mbits)

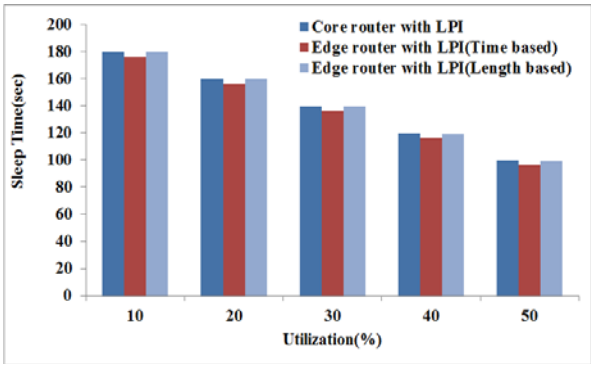

그림 7. 코어 및 에지 라우터 PHY/Transceiver의 수면 시간
Fig. 7. Sleep time of PHY/Transceiver

그림 7은 코어 라우터와 에지 라우터의 PHY/Transceiver의 수면 시간을 보인다. 그림 7에서 라인 카드에 입력되는 입력 부하가 작을수록 코어 라우터와 에지 라우터는 많은 시간을 수면 상태로 보냄을 알 수 있다. 입력 부하가 10%일 때, PHY/Transceiver는 최대 90%의 시간을 수면 상태로 대기함을 보인다. 에지 라우터는 버스트 생성 알고리즘에 따라 성능 차이를 보임을 알 수 있다. 이는 버스트가 생성되는데 걸리는 시간이 알고리즘에 따라 차이가 있기 때문이다. 시간 기반의 방식은 버스트가 생성되는데 일정 시간을 기다리게 되므로 로드가 낮을 때 혹은 높을 때 일정 시간을 항상 보장하게 된다. 그 반대로 길이 기반의 방식은 버스트를 생성하는데 일정 길이를 만족시키는 버스트를 생성하게 된다. 따라서 입력 부하가 낮은 경우 길이 기반 방식이 조금 좋은 성능을 보인다.

V. 결 론

본 논문에서는 백본 망에서의 에너지 절감을 위하여 OBS 망의 코어 라우터와 에지 라우터에 LPI를 적용하고 이에 대한 에너지 소비량 및 에너지 절감 성능에 대한 평가를 수행하였다. 제안된 OBS 코어 라우터 라인카드는 LPI를 이용하여 라인 카드의 PHY/ Transceiver의 수면/활성 상태를 제어한다. 또한 망 부하량이 낮을 때, Sleep/Wake 제어기는 네트워크 수준 제어를 위한 제어 패킷을 수신하여 코어 라우터 라인 카드의 수면/활성 상태를 제어함으로써 에너지를 절감할 수 있었다. 반면 에지 라우터에서 LPI 기능은 에지 라우터 라인 카드 개별적으로 버스트 생성 동안 PHY/ Transceiver의 수면/활성 제어를 통해 수행되거나 SCU에서 망 부하에 따른 네트워크 수준 제어를 통하여 개별 에지 라우터의 수면/활성 제어함으로써 수행된다. 성능평가 결과 4개의 라인 카드로 구성된 OBS 코어 라우터의 경우 같은 구성의 패킷 라우터와 비슷한 전력 소모율을 보였으나 에지 라우터의 경우 패킷 라우터에 비해 약 1.9배의 전력 소모율을 보였다. 그러나 LPI를 이용할 때, 코어 라우터는 최대 74.5%, 에지 라우터의 경우 최대 84%의 전력을 감소시킬 수 있었다. 시뮬레이션 결과는 PHY/Transceiver가 10%의 입력 부하에서 90%의 수면시간을 갖으며 에지 라우터는 버스트 생성 알고리즘에 따라 각각 다른 성능을 보였다.

참 고 문 헌

[1] B. Nordman and K. Christensen, "Reducing the Energy Consumption of Network Devices", Tutorial presented at the July 2005 IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee

Plenary Session, http://www.csee.usf.edu/~christen/energy/pubs.html, July 2005.

[2] IEEE 802.3az Standardization, available at: http://www.ieee.org/

[3] S. Nedevschi, L. Popa, G. Iannaccone, S. Ratnasamy, D. Wetherall, "Reducing Network Energy Consumption via Sleeping and Rate-Adaptation," Proceedings of the 5th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation, pp.323-336, April, 2008.

[4] P. Reviriego, J.A. Hernandez, D. Larrabeit, J.A. Maestro, "Performance Evaluation of Energy Efficient Ethernet", Communications Letters, IEEE, Volume 13, Issue 9, pp.697 - 699, Sept. 2009.

[5] Shing-Wa Wong, L. Valcarenghi, She-Hwa Yen, D.R. Campelo, S. Yamashita, L. Kazovsky, "Sleep Mode for Energy Saving PONs: Advantages and Drawbacks", Proceedings of IEEE GLOBECOM Workshops 2009, pp.1 - 6, Nov. 2009.

[6] Jingjing Zhang, Nirwan Ansari, "Toward Energy-Efficient 1G-EPON and 10G-EPON with Sleep-Aware MAC Control and Scheduling", IEEE Communication Magajine, pp.33~38, Feb. 2011.

[7] 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, Jan. 1999.

[8] Y. Chen, C. Qiao, X. Yu, "Optical Burst Switching(OBS): A New Area in Optical Networking Research," Networks, IEEE, vol.18, issue.3, pp.16-23, June 2004.

[9] M. Gupta, S. Singh, "Greening of the Internet", Proceedings of ACM SIGCOMM, 2003.

[10] J. Chabarek, et al., "Power Awareness in Network Design and Routing", Proceedings of IEEE INFOCOM, April, 2008.

[11] M. Yamada, et al., "Power Efficient Approach and Performance Control for Routers", Proceedings of GreenComm, June, 2009.

[12] 강동기, 양원혁, 이재영, 김영천, "수면 모드를 사용하는 OBS 망에서 트래픽 패턴 및 버스트 어셈블이 에너지 절감과 지연시간에 미치는 영향 분석", *한국통신학회논문지*, 제 26권 제 2호, pp.111-194, 2월, 2011.

[13] CISCO, "Cisco Router Architecutre", http://www.cisco.com/networkers/nw99_pres/601.pdf

[14] CISCO, "CRS-1 Mult-self system description", http://www.cisco.com/

[15] Slaviša Alecksić, "Analysis of Power Consumption in Future High-Capacity Network Nodes", Journal of Optical Communications and Networking, Vol. 1, No. 3, pp.245-258, August. 2009.

[16] CISCO, "Cisco DWDM SFP Module", http://www.cisco.com/

[17] DiCon, " MEMS Optical Switch", http:/diconfiberoptics.com/

양 원 혁 (Won-Hyuk Yang) 정회원

한국통신학회 논문지 제35권 제7호 참조

현재 전북대학교 컴퓨터공학과 박사과정

정 진 효 (Jin-Hyo Jung) 준회원

2006년 2월 전북대학교 전자컴퓨터 공학과 졸업

2010년 8월~현재 전북대학교 컴퓨터공학과 석사과정

<관심분야> 광통신, Green IT 네트워크, 액세스 망, 네트워크 프로토콜

김 영 천 (Young-Chon Kim) 종신회원

한국통신학회 논문지 제35권 제7호 참조

현재 전북대학교 IT정보공학부 교수