

차세대 광대역 통신망을 위한 전력절감 기술 및 표준화 동향

Trend on Power Saving Technologies and Standardization for
Next Generation Broadband Telecommunication Networks

양총열 (C.R. Yang)	광전송기술연구팀 책임연구원
한경은 (K.E. Han)	광전송기술연구팀 선임연구원
김광준 (K.J. Kim)	광전송기술연구팀 팀장
이종현 (J.H. Lee)	광인터넷연구부 부장

목 차

-
- I . 서론
 - II . 통신망의 에너지 소모 추세
 - III . 차세대 광대역 통신망(BcN)을 위한
전력절감 기술
 - IV . 에너지 효율화 연구 및 표준화 동향
 - V . 결론

* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT원천기술개발사업의 일환으로 수행한 연구로부터 도출된 것입니다[과제관리번호: 2008-F-017-03, 과제명: 100Gbps급 이더넷 및 광전송기술개발].

최근 세계적으로 새로운 연구분야로서 그린 망(green network)의 에너지 효율에 관한 많은 연구와 학계·산업계 프로젝트가 활발히 진행되고 있고 많은 이슈가 오픈되어 폭 넓은 융합이 요구되고 있다. 이는 그린 통신망의 에너지 효율화 기술, 방법 및 솔루션이 미래 통신망을 크게 발전시킬 것으로 전망되기 때문이다. 본 고에서는 세계적으로 에너지 효율이 중요한 연구범위가 되고 있는 통신망의 에너지 소모를 줄이기 위하여 연구 및 산업 커뮤니티에 의해 시도된 주요 개념과 방법을 살펴보고 또한, 에너지 효율화와 관련된 세계 각국의 연구 동향과 표준을 알아본다.

I. 서론

최근 고성능 컴퓨팅, 가상화, VoD(Video on demand), 스토리지, 비디오 및 VoIP(Voice over IP)와 같은 다양한 광대역 서비스의 출현과 이에 따른 트래픽의 급격한 증가로 통신망 액세스 속도가 크게 증가하고 있으며, 연간 인터넷 트래픽의 증가 속도가 약 50~60%까지 급증하면서 망의 확장 및 고속화가 필수적으로 요구되고 있다. 일반적으로 망 확장 및 고속화를 위해서는 활성 망 엘리먼트 수 증가와 고속 전송 장치를 필요로 하므로 이에 따른 미래 가입자 망 및 백본 망의 에너지 소모는 크게 상승할 것으로 예상된다.

이러한 이유로 최근 들어 세계 각국에서 급격하게 증가하는 전력소모량을 줄이기 위하여 글로벌 목적에 부합하는 엄격한 목표를 설정하고 산업 전반에 걸쳐 다각적인 해결 방법 및 기술을 모색하고 있다. 개념적으로 볼 때 이전보다 단순하고 효율적이면서 낮은 에너지를 소모하는 제품을 선택함으로써 운용비용을 줄일 수 있다. 통신망에서 에너지 효율(energy efficient)은 설계 외관과 성능 비용에서 비롯되며, 물리계층뿐 아니라 시스템의 에너지 소모에도 큰 장점을 갖는다. 특히 데이터 전송률의 증가에 따라 소비되는 전력이 크게 증가하는 것을 감안할 때 초고속 망에서의 에너지 절감 기술 적용은 차세대 그린 망 구현을 위한 필수 조건임에 분명하다.

세계적 그린 이슈와 함께 통신망의 전력소모를 줄이기 위한 방법으로 제안된 중요 개념 및 관련 기술은 다음과 같이 분류할 수 있다.

- 하드웨어/소프트웨어 설계
- 냉각시스템, 전력관리, 전력의 효율적 구성
- 트래픽에 대한 라인 속도 적응
- 클라우드(cloud) 컴퓨팅

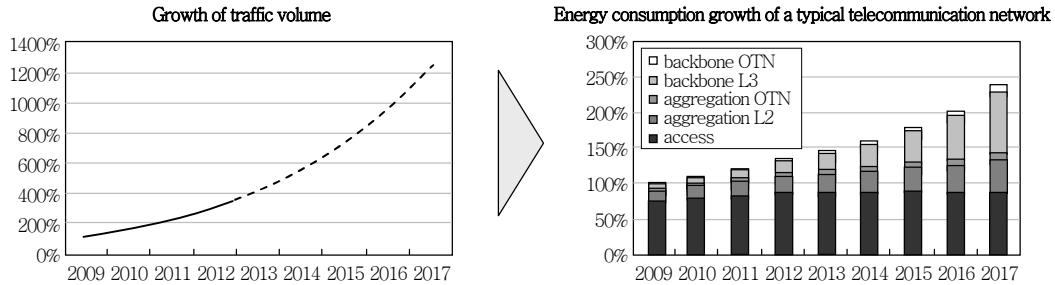
- 전력소모가 적은 플랫폼

본 고에서는 그린 통신망의 에너지 소모량 감소를 목적으로 연구 및 산업 커뮤니티에 의해 시도된 중요한 개념과 방법을 고찰하고자 한다. 특히, 에너지 효율적 통신망 구조 기술 및 프로토콜 기반의 차세대 통신망을 위한 에너지 절감 기술, 통신 디바이스 내부의 최대 에너지 소모원의 에너지 절감을 위한 접근방법과 에너지 절감에 관한 표준화 기구의 연구동향을 알아본다.

이를 위해 II장에서 통신망의 에너지 소모 추세를 알아보고, III장에서는 미래 대용량 스위칭 노드를 포함하여 미래 광대역 통신망을 위한 에너지 절감 기술과 그 활용방안을 살펴보고, IV장에서는 에너지 절감을 위한 각국의 연구동향과 표준을 알아보고, 끝으로 V장에서 결론을 포함하여 에너지 효율화와 관련한 미래 연구 이슈를 기술한다.

II. 통신망의 에너지 소모 추세

통신망은 크게 가입자 망, 애그리게이션(agggregation, 집선) 망 및 백본 망으로 구성된다. 개념적으로 기존 망은 최적화된 비용 및 성능을 갖도록 설계되어 왔으나 차세대 망은 거기에 망 에너지 효율을 갖도록 최적화된 전력소모 개념이 추가된다. (그림 1)에서 보듯이, 현시점에서는 전체 통신망 에너지 소모량 중 가입자 망의 에너지 소모량이 가장 높은 비율을 차지하고 있다. 이는 FTTE_x 및 FTTC_{ab} 가입자 망 예지가 많은 수의 능동 소자로 구성되어 있기 때문이다. 그러나 트래픽 양이 점차 증가함에 따라 2017년에는 애그리게이션 망과 백본 망의 에너지 소모가 가입자 망과 백본 망의 에너지 소모와 거의 같은 수준에 이를 것으로 예상된다. 더구나 L2 애그리게이션 망과 L3 백본 망의 에너지 소모량은 OTN

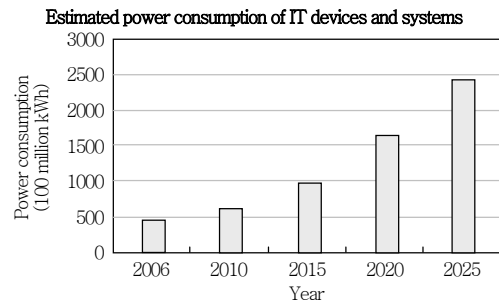


<자료>: Cisco Systems, Cisco Visual Networking Index-Forecast and Methodology 2007-2012, 2008.

(그림 1) 트래픽 성장 및 통신망 에너지 소모율

(Optical Transmission Network)의 에너지 소모량 보다 훨씬 클 것으로 보여진다. 반면, 백본 및 OTN의 전력소모 증가율은 2017년까지 수 %에 불과할 것으로 예상된다. 가입자 망의 에너지 소모는 연결된 가입자 수에 비례하는데 비해 애그리게이션 및 백본 망 에너지 소모는 트래픽 양에 비례한다. 그러나 통신망의 에너지 소모는 트래픽 양과 같은 비율로 증가할 것으로 기대되지는 않는다. 에너지 소모를 줄이기 위해서는 주 에너지 소모원인 가입자 망에 초점을 맞추어 우선적으로 에너지 효율 가입자 망 구조를 기반으로 가입자 망이 구축되어야 한다. 백본 망에서의 에너지 소모량은 전송 속도 및 트래픽 양의 증가와 밀접한 관련이 있으므로 적응적 망 자원 할당이 통신망에서 에너지 효율을 향상시키기 위한 방법이 될 것으로 예상된다[1].

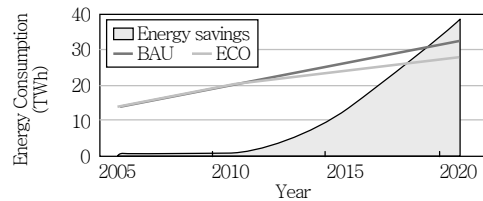
데이터 센터는 라우터, 서버, 스위치 및 NIC(Network Interface Card) 등의 통신 장비들로 운용된다. 2009년 10월에 발표된 지식경제부의 국내 데이터 센터 에너지 소비 동향 조사 결과에 따르면, 약 70개인 국내 IDC의 전력 사용량이 최근 3년간 평균 45% 증가하였으며 2008년 11억 2천만 kW/h 전력을 소비하였다. 대형 IDC 1개의 연간 전력 사용량은 약 6만 MW/h이며 전체 IDC 전력 소비는 TCO(Total Cost of Ownership: 총 유지비용)의 20%를 차지한다. 최근에는 서버 증가 연평균 12%, 데이터 증가



Source: Based on materials from the 2nd meeting of the Green IT Initiative Conference, the Ministry of Economy, Trade and Industry

<자료>: FUJITSU Sci. Tech. J., vol. 46, no. 4, Oct. 2010.

(그림 2) 일본 ICT의 전력소모량 평가



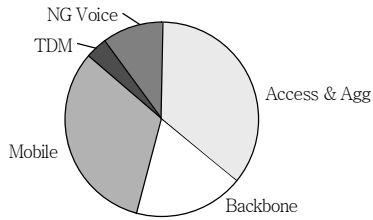
<자료>: European Commission DGINFSO report.

(그림 3) 유럽 통신망 인프라의 에너지 소모 평가
BAU(Business-As-Usual) 및 ECO(Eco sustainable) 두 시나리오 간 누적 에너지 절감

65%로 전력 소비가 급증하는 추세에 있다.

(그림 2)에서 보듯이 일본 ICT의 전력소모에 관한 보고에 의하면, IT 장치 및 시스템 전력소모는 2006년에 4천7백만 kWh, 2025년에는 2억 4천만 kWh 5.2배 증가할 것으로 예상하고 있다.

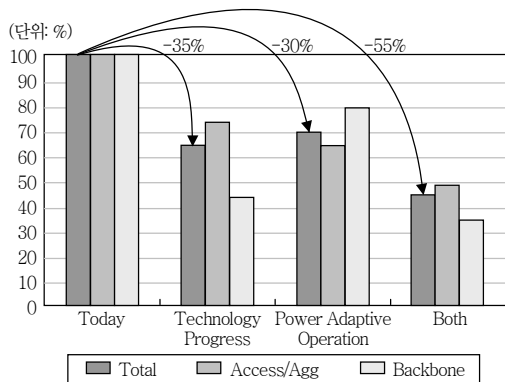
(그림 3)에서 보듯이 유럽의 DGINFSO는 그린 망 기술이 채택되지 않는다면 2020년에는 35.8TWh로 상승할 것으로 보고하고 있다[2].



- Total energy consumption about 2TWh
- Dominance of BB access followed by packet backbone

<자료>: Andreas Gladisch, Energy Efficient Next Generation Networks, Deutsche Telekom AG, Laboratories Innovation Development, LEOS Summer 2009.

(그림 4) 미래 망 전력소모율 분포

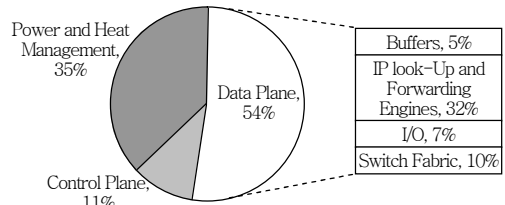


<자료>: Andreas Gladisch, Deutsche Telekom AG, Laboratories Innovation Development, LEOS Summer 2009.

(그림 5) 망 운용 전력절감

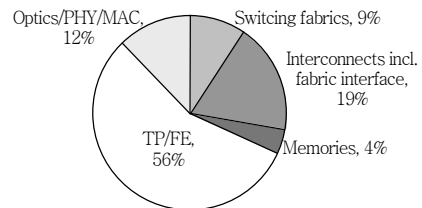
(그림 4)에서 보듯이 2017년에 예상되는 미래 망 전력소모율 분포를 보여준다. 미래의 망 전력소모율을 살펴보면 TDM(Time Division Multiplexing) 서비스는 거의 대부분 사라지고 모바일과 액세스 망이 차지하는 비율이 가장 크고, 백본, TDM, 음성(voice) 순으로 망이 구성되는 것을 예측할 수 있다.

(그림 5)는 오늘날에 비해 2017년까지 기술공정과 전력의 적응적 운용방법으로 백본과 액세스 망의 소모전력을 크게 낮출 수 있음을 도표로 보여주고 있다. 장비의 에너지 소모(비트당)는 기술 공정으로 인해 35%, 전력의 적응적 운용으로 인해 최대 30% 그리고 최적의 경우에 55%를 절감할 수 있음을 보여주고 있다. 장비 수명, 성능 감퇴 및 통신 시나리오의 변



<자료>: IEEE J. Light Wave Technology, vol. 27, no. 3.

(그림 6) 라우터의 전력소모



<자료>: 2009/J. OPT. COMMUN. NETW.

(그림 7) 라우터 서비스시스템 전력소모

화 등으로 실제로 20~25% 구현될 수 있다.

(그림 6)은 IP 라우터 구조[3]에서 에너지 소모원이 데이터 플레인 54%, 제어 플레인 11%, 그리고 전원 및 열관리 35%로 평가된 것을 보여준다. 더 구체적으로, 데이터 플레인이 소모하는 전력의 32%는 내부 패킷처리 엔진을 위해 소모하고 나머지 7%는 망 인터페이스에, 스위칭 패브릭에 10% 그리고 버퍼 관리에 5%를 각각 차지하는 것을 알 수 있다.

라우터 서비스시스템에서 소모되는 전력은 (그림 7)에서 보듯이 데이터 프로세싱과 패킷 포워딩 서비스 시스템에서 공급된 총전력의 절반 이상을 소모(TP/TE 56%, 메모리 4%)하고 전송 서비스시스템에서 12%, 패브릭인터페이스에서 19%, 그리고 스위칭 패브릭에 의해 9%를 소모한다.

III. 차세대 광대역 통신망(BcN)을 위한 전력절감 기술

통신망 전력절감 관련한 연구분야는 매우 광범위하고 여러가지 고유의 기술이 복합적으로 연결되어

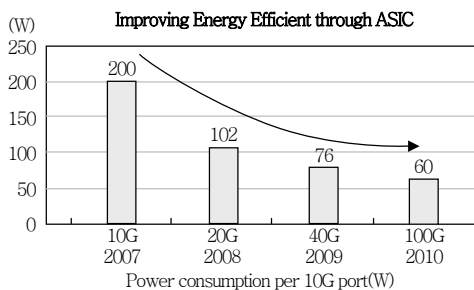
있다. 본 절에서는 광대역 통신망의 필수 구성 요소를 대상으로 큰 맥락에서 소개하겠다.

1. 통신망 전력절감 기술

차세대 광대역 통신망에 대한 현재의 전력절감 방법은 부분적으로 재설계하는 방법과, 망 성능 비용감소에서 큰 에너지 절감을 확보하는 방법을 우선적으로 고려할 수 있다. 이를 위해서 공통적으로 망 성능에 영향을 거의 주지 않고 동작하는 방법과 메커니즘을 찾는 것이 중요하다.

가. 디바이스 전력절감

(그림 8)은 10기가 포트당 전력소모를 개선하기 위하여 ASIC을 통한 연도별 에너지 효율개선[4]을 나타낸다. 디바이스 수준에서 전력절감을 위한 설계 기술로는 OTU(Optical Transmission Unit)와 비교하여 40% 이상 WDM(Wavelength Division Multiplexing) OTU의 통합(integration)을 크게 향상할 수 있는 PID 기술, -30℃에서 장비를 장시간 운용할 수 있도록 하는 고급냉각기술, 장비 온도를 모니터링해서 팬(fan) 속도를 조절할 수 있는 스마트 팬 기술, 우수한 전력변환 효과를 갖는 고성능 DC/DC 파워모듈 및 지능적 전력소모 소프트웨어를 결합한 지능 모니터링을 구현할 수 있는 built-in 온도 제어 칩 등이 있



<자료>: HUAWEI White paper, "Improving energy efficiency, Lower Co₂ emission and TCO".

(그림 8) ASIC 전력소모 향상

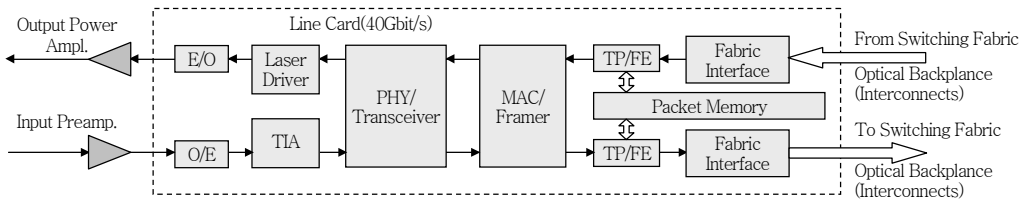
다. 전통적인 소모전력 절감방법은 반도체 제작공정 기술을 이용하여 칩을 제작(45nm, 28nm 등)하는 것이다.

IEEE 802.3az 표준을 기반으로 한 Energy Efficient Ethernet(EEE) 가이드 라인을 준수하는 최초의 EEE IC가 2010년 Infineon사에서 출시되었다. 에너지 효율 및 친환경 PHY(Physical device)로서 홈 네트워킹 애플리케이션용으로 가장 작은 IC이다.

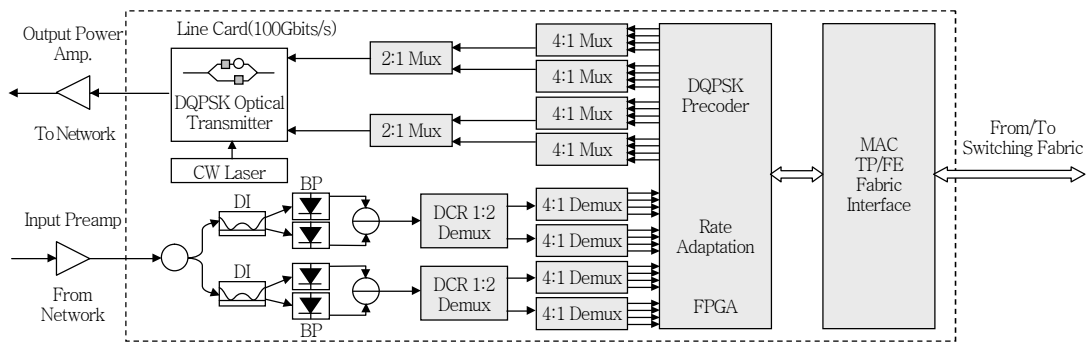
광전 소자(optical to electrical device)는 레이저 같은 광학적 성분과 전기적 성분을 포함하므로 광드라이브는 액세스되지 않을 때에도 전력을 소모하고, 더구나 광 링크는 링크의 안정화 때문에 광 PHY 전이시간(transition time)이 구리(copper)에 비해 길어서 전력소모가 상승한다. 따라서 드라이브는 인서트된 상태로 두고, 적절한 스크립트(eject script)를 운용하는 방법으로 전력을 절감하는 방법이 사용된다(예: 광트랜시버 LD(Laser Diode) 링크/라인 운용). 미래의 통신서비스는 광이나 초전도체(super semiconductor)를 사용하여 전력소모를 현저하게 절감하게 될 것이다.

나. 라인카드 전력절감

(그림 9)는 패킷 스위치식 전기라우터의 일반 라인카드(40G)의 구조[5]를 보여준다. PHY 디바이스, 프레임/매퍼, MAC(Media Access Control) 칩, 트래픽 프로세서/포워딩 엔진(TP/FE)메모리, 패브릭 인터페이스로 구성된다. 최근에는 테이블 룩업을 위한 TCAM(Ternary Content Addressable Memory) 대신 망 검색엔진 및 라우팅 가속화 칩을 사용하여 소모전력을 절감한다. 이 구조는 서킷 스위치식 구조에서 사용하는 경우 트래픽 프로세서, 포워딩 엔진 및 메모리 블록이 없으므로 소모전력에 큰 차이를 갖는다.



(그림 9) 일반 40G 라인카드 구조

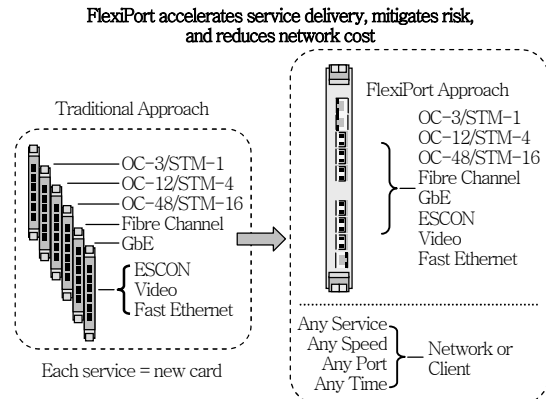


(그림 10) 일반 100G 라인카드 구조

(그림 10)은 일반적인 100G 포트 DQPSK(Differential Quadrature Phase Shift Keying)를 갖는 라인카드 구조이다. 물리 전송 계층을 위한 고급 변조 포맷과 고속 데이터 처리를 통해 단일 파장 채널 위에서 병렬 전송된다. 극성 다중화 DQPSK, 단일 극성 DQPSK같은 변조 방법이 100G 직렬 전송에 사용하기 위하여 적용된다.

위 두 그림에서 보인 패킷 스위치와 서킷 스위치식 라인카드를 비교할 때 100G 포트에 장착된 라인카드를 이용하면 전체 소모전력이 더 낮아진다. 서킷 스위치 노드의 경우에 패킷 스위치식보다 30%까지 전력이 절감될 수 있다. 또한 패킷 스위치식 라인카드의 전력소모가 40G NRZ 데이터 전송대신 100G DQPSK 포맷을 이용할 때 약 10%까지 감소될 수 있다.

(그림 11)에서 보듯이 Alcatel-Lucent는 기가 비트 트래픽당 소모전력을 효과적으로 줄여 2008년 현재 20G 라인카드 대비 100G 라인카드의 소모전력을 70%까지 대폭 감소하였다[6]. 이를 위해서는 매우 낮은 전력을 소모하는 100G 라우터용 네트워크



<자료>: Ciena, 4200: Redefining the Service-Enabled Optical Network-Product brochure.

(그림 11) 라인카드 전력절감

프로세서와 내장 TM(Traffic Management) 칩 개발이 특히 중요하다. 100G 라우터에는 기존 망 프로세서와 트래픽 관리 실리콘이 적용 가능하다. 단일 카드로 각각 구성되던 기존 서비스가 최근에는 TDM에서 IP/Ethernet, 또는 새로운 프로토콜 및 표준의 서비스 요구사항 변화에 대처할 수 있다. 최근에는 OC-n/STM-n 또는 ESCON으로 구성된 포트가 GbE, Fiber channel 등 새로운 서비스도 간단한 재프로그

램으로 제공 가능하다.

Alcatel-Lucent의 기가비트 트래픽당 70%까지 전력소모를 감소하는 라인카드[7]의 예에서, 100G 라우터용 네트워크 프로세서와 TM 칩 등 핵심 부품을 사용하는 20G에서 100G까지 라인카드에 대해 최근 5년간 70%의 소모전력을 절감했다. Juniper Networks가 발표한 대표적인 라인카드의 전력소모 비율은 ASIC(52%), ASIC 메모리(12%), CPU(5%), 광 부품(10%), 기타(21%)로서 ASIC에서 소모되는 전력이 약 70%를 차지한다.

다. 백플레인 전력절감

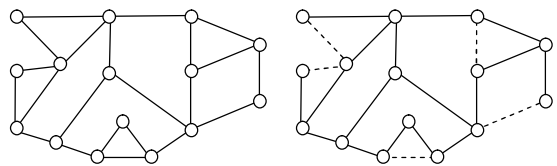
글로벌 데이터 서버 전력소모는 구글, 야후 등 소비자 설계 서버조차 0.5%를 차지하는 가운데 1세대 100G 서버가 2016년까지 시장을 히트할 것으로 예상된다. 서버운용을 위한 에너지 비용은 2015년까지 하드웨어 비용을 초과할 것으로 예상된다. 이더넷 링크는 휴지시간(idle time)을 가지고 있기 때문에 LPI (Low Power Idle) 방법을 이용하여 에너지를 절감할 수 있다. 802.3az PHY 에너지는 70%까지 절감할 수 있고 시스템에서는 시스템 신뢰성에 영향없이 더 큰 절감이 가능하다. 100G 백플레인을 위한 에너지 효율적 이더넷은 최소 대기시간을 갖도록 하여 대기시간에 민감한 기능에 응용된다. “LPI” 전송은 PHY 에너지 소모가 충분히 감소하지 않아도 시스템 에너지 소모를 감소시키기에 충분하다[8].

라. 라우팅 전력절감

차세대 라우팅과 스위칭은 더욱 동적인 방법으로 높은 스루풋을 제공하여야 한다. 에너지 효율적 라우팅 구조에 관한 재설계 방법은 주로 보다 효율적인 하드웨어 기술을 이용하여 어떻게 복잡한 내부 구조를 단순화시키느냐에 초점이 맞추어 진다. 여기서 주

요 기술 이슈는 오늘날의 망 디바이스와 동일한 유연성과 성능 레벨을 유지하는 것으로 구성된다. 동적 적응 메커니즘에 관한 연구는 다양한 내부 요소, 망 인터페이스에서부터 패킷처리 엔진까지 에너지 소모를 줄이기 위해 성능 스케일링과 휴지 논리(idle logic) 기술을 기반으로 하는 여러 방법이 제안된다. 에너지 효율적 라우팅은 망 토폴로지 연구결과로 (그림 12)에서 보여주듯 최소 비용 요구를 만족하는 최소 수의 에지 개수를 구하는 설계를 통하여 최소비용 요구를 만족하면서 5개의 에지가 여유가 생기는 설계 예를 보여준다. 망 토폴로지는 실제 망 트래픽 변화를 감안하여 정규 토폴로지와 실제적인 망 토폴로지 상에서 더욱 실제적인 요구 시나리오 및 복잡한 망 구조 등으로부터 도출될 수 있다.

(그림 12)는 에지들과 요구기능에 관하여 용량을 갖는 라우팅 망에 대해 요구기능을 만족하면서 5개의 최소 에지 수를 공유하는 라우팅 예를 보여준다. 망 라우팅 전력절감[9]을 위하여 각 노드는 망 장비를 통해 서로 연결되고 망 장비가 꺼지면 연결도 제거된다. 노드 용량에 따라서 최소 링크 수를 갖는 트리가 결정될 수 있다.

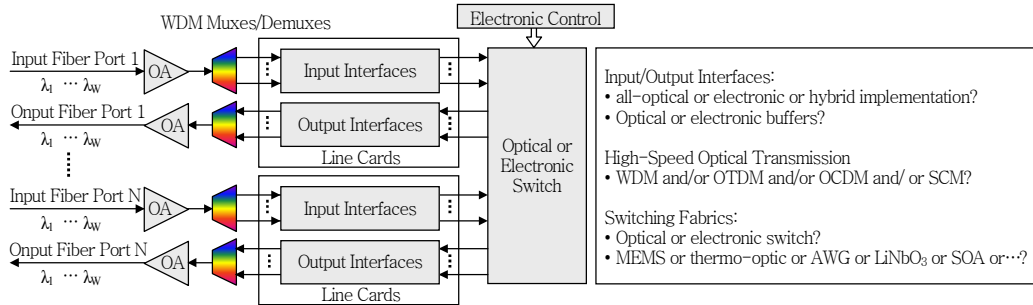


<자료>: Giroire, Alcatel Lucent Bell Labs., 2010.

(그림 12) 망 라우팅 전력절감

마. 대용량 스위칭 패브릭 전력절감

미래 망 요소의 전력소모와 물리적 크기는 수백 테라 또는 페타(peta) 용량 확장을 위한 방법과 현재의 구조를 결정하는데 주요 제한 요소가 될 것으로 예상된다. 이를 위해 미래의 고성능 및 저전력 소모를



제공하는 스위칭 패브릭의 구성 방법은 다중 포트를 갖는 단일 대용량 패브릭에 의해 다단 스위칭 구조를 가질 것으로 전망된다. (그림 13)에 일반적인 대용량 스위칭 노드 구조를 보였으며 이를 기반으로 미래의 망을 위해 제공될 수 있는 대용량 스위칭 패브릭[5]은 다음과 같이 4가지로 고려될 수 있다. 즉,

- ① 패킷 스위치식 전기 코어 노드
- ② 패킷-버스트 스위치식 광 코어 노드
- ③ 서킷 스위치식 광 코어 노드
- ④ 서킷 스위치식 전기 코어 노드

구조 ①은 큰 전기 스위치 패브릭과 다수의 라인 카드로 구성되며 라인카드는 복잡한 패킷 프로세싱과 라우팅을 포함하여 여러 물리적 기능, 데이터 링크 및 망 계층이 구현된다. 스위칭 패브릭은 두 연속적인 패킷 간 짧은 시간 간격 내에서 경로의 재구성이 가능하도록 충분히 빠를 필요가 있다.

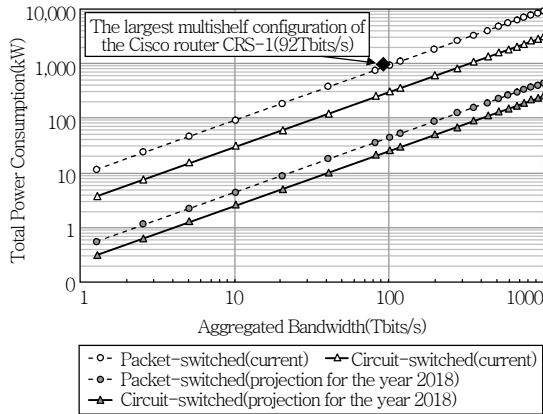
구조 ②는 SOA(Semi-conductor Optical Amplifier) 기반으로 큰 광패킷 스위치를 이용하는 광패킷 또는 버스트 스위칭 노드이다. 이 구조는 IP 트래픽을 고려할 때 높은 전송율을 보장하기 때문에 최근 주목을 받고 있으며 고속 광스위치, 파장변환모듈(WC) 및 광버퍼(FDL)를 필요로 한다. 광 RAM은 아직 적용 가능하지 않다. 광버퍼는 큰 물리적 크기와 전력소모가 큰 부담으로 작용한다.

구조 ③은 입력 포트에서 파장 변환기와 MEMS (Micro Electro Mechanical System) 스위치를 이용하여 구현되는 광크로스넥트로 구성된다.

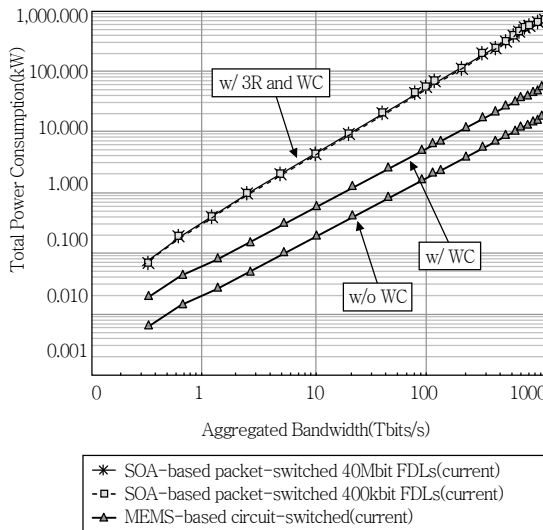
구조 ④는 대용량 전기 크로스포인트 스위치를 이용하여 구현되므로 복잡한 패킷 프로세싱, 분류 및 포워딩 기능이 필요없는 대신 서킷 주기에 해당하는 물리 및 데이터 링크 계층 기능 즉, MAC 프로토콜, 신호 송수신, 클럭 및 데이터 복구, 인코딩/디코딩, 스크램블링/디스크램블링 및 맵핑/프레이밍 기능이 필요하다.

서킷 스위칭은 순수 패킷광 스위칭에 비해 전력효율적이고 광으로 구현하기가 더 쉽기 때문에 용량확장으로 인한 전력증가는 완화될 수 있다. 미래에 Si-CMOS 기술이 향상되는 것을 감안하면 대용량 전기적 패킷 라우터도 수백 테라 이상의 용량을 갖는 것이 가능하다.

(그림 14)는 패킷 스위치와 서킷 스위치 방식의 전기식 코어 스위치 및 라우터의 총전력소모를 평가한 결과[8]를 보여준다. 전력소모는 스위치 용량이 증가하면 함께 증가한다. 전력소모와 라인카드 수가 증가하면 전력공급, 냉각, 상호접속 인프라가 상승한다. 서킷 스위치 노드를 통해 데이터를 전송하여 순수 패킷 스위치 망에 비해 전기식 패킷 라우터의 큰 복잡도와 버퍼 크기를 줄일 수 있다. 더 작은 버퍼가 요구되고 크로스포인트 스위치를 통한 라인카드 내 데이



(그림 14) 전기식 코어 스위치 및 라우터의 총전력소모



(그림 15) 광 코어 노드의 총전력소모

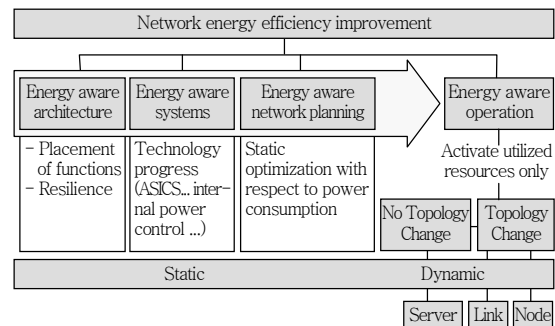
터 처리를 극단적으로 간단히 할 수 있다. 따라서 고성능 트래픽 프로세서가 필요없고 스위칭 디바이스의 구조도 더욱 간단해져 70%까지 전력절감이 구현될 수 있다.

(그림 15)는 두 광코어 노드의 전력소모를 평가한 결과를 보여준다. 패킷 스위치식 광라우터의 주요 제한 요소는 전력소모가 아니라 광버퍼의 물리적 크기이다. 광 및 전기 기술은 비록 물리적으로 큰 광버퍼와 광 RAM의 부재가 패킷 스위치 노드의 구현을 어렵게 하지만 이 구조는 전력소모에 가장 확장성있는

구조로서 미래의 대용량 라우터에서 중요한 역할을 할 것이다. MEMS 기반 서킷 스위치 노드에서 충돌(contention) 해소를 위해 전광 파장 변환모듈(WC)을 채용할 때 전력소모는 눈에 띄게 증가하는 것을 알 수 있다. 새로운 대용량 망 엘리먼트 설계 시 전력소모가 매우 중요한 파라미터로 고려되어야 할 필요가 있다.

바. 망 토폴로지 제어 전력절감

망과 토폴로지 제어에 기반한 전력절감 메커니즘은 트래픽 엔지니어링과 라우팅 기준의 연장에 근거를 둔다. 기본 아이디어는 실제 트래픽 양에 대한 링크 및 노드에 의하여 망 용량을 선택하는 것이다. 사용하지 않는 링크 및 노드를 스위치 오프하여 망 에너지 요구사항을 줄이도록 제안된다. 최소 망 자원(링크와 노드) 수를 알아내기 위하여 트래픽 흐름을 망 노드로 옮겨 중단 망 성능과 전체 소모전력 간 최상의 상관관계를 보증한다. (그림 16)은 망 에너지 효율 개선 범위를 나타낸다. (그림 16)에서 보는 바와 같이 망 에너지 효율은 에너지 인지 구조, 에너지 인지 시스템 및 에너지 인지 망 계획 및 이들을 총괄하는 운용 방법에 의해 개선될 수 있으며, 망 구성 엘리먼트 즉 서버, 링크 및 노드를 연결하는 동적 토폴로지의 변화에 의해 가능하다.



<자료>: Andreas Gladisch, Energy Efficient Next Generation Networks, Deutsche Telekom AG, 2009.

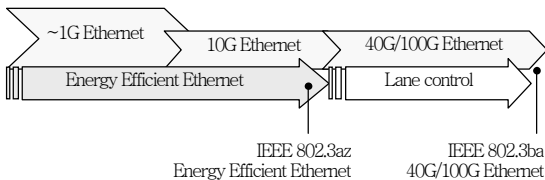
(그림 16) 망 에너지 효율 향상

사. 초고속 이더넷 전력절감

트래픽 수준에 맞는 링크 데이터 속도를 신속히 지원하기 위해 이더넷 표준에 새로운 방법이 요구되어 현재 IEEE 802 표준 위원회에서 802.3az EEE 표준을 개발 중이다. 또한 수십 40GbE와 100GbE 이더넷에 관한 물리적 표준으로서 기존의 10G 이더넷에 호환되도록 40GbE는 10GbE 4개 레인(lane), 100GbE는 10GbE 10개 레인으로 각각 구성하도록 IEEE 802.3ba 표준화 기구에서 2010년 6월 표준화 완료하였다.

(그림 17)은 10G급 이더넷 전력절감에 관한 표준으로, 기존의 UTP(Unshielded Twisted Pair) 기반의 10G 이더넷 서비스에 관한 IEEE 802.3az 이더넷 표준의 EEE와, 2010년 9월에 완료된 고속 광 링크 기반의 40G/100G 이더넷 서비스에 관한 IEEE 802.3ba 이더넷 표준의 레인 운용(lane control operation)기술의 경계를 보여준다.

이후 세계의 통신업체에 의해 40/100GbE 같은 다중 레인(multiple lane or link or channel)을 이용하는 특정 이더넷 타입을 위하여 전력절감 기술이 제안되고 있다. 본 기술은 광 링크 즉, 광섬유(fiber) 매체 인터페이스에 대한 것으로 고속 이더넷 광 링크에서 이더넷 서비스 중에 해당 채널에서 소비하는 전력을 절감하기 위하여 현재 트래픽 율에 따라 다중 레인 이더넷 링크 내에서 활성 채널 수를 유연하게 변경하는 자동 레인 운용 협상 기술이다. IEEE 802.3ba 표준에 따르면 그 기술 범위는 40/100G의 전송속도를 지원하고 10G 다중 링크 구조를 갖는다. 따라서



(그림 17) 전력절감 이더넷 표준

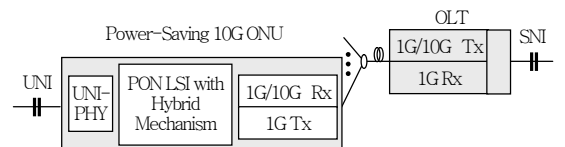
40/100G 범위 내의 전송율에 대해 선택적으로 레인을 운용함으로써 효율적인 전력절감이 가능하다.

IEEE802.3ba 이더넷 표준은 84절에서 레인별 송신불가 기능을 선택사항으로 “각 레인에 전기적 전송장치가 선택적으로 불가능하게 하여” 운용하도록 규정하고 있다. 이 기능이 지원되면 PMD(Physical Medium Dependents)(하드웨어적으로 광송수신기기에 해당된다)를 통해 전송장치를 끌 수 있게 된다. 2011년 현재 802.3ba 규정에 부합하는 레인운용 방법이 제안된 상태이다[9]. 활성/비활성 이중 상태모드가 40G, 100G 이더넷의 낮은 계층을 규정하는 IEEE 802.3ba에 정의된 바와 같이 초고속 광 이더넷 링크에 적합하다.

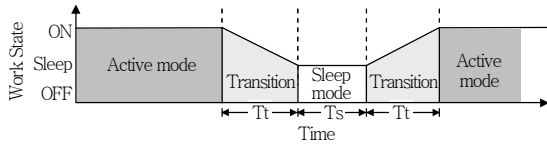
레인운용 방법은 10G 다중레인으로 운용되는 40G/100G 이더넷에 대해 40G MAC으로부터 현재 4개의 레인으로 유입되는 트래픽 양에 대한 정보를 주기적으로 체크하며 해당 값을 기반으로 레인 운용 알고리즘을 운용한다. 이는 외부 망으로부터 트래픽 유입량에 변동이 있어 레인 수를 결정(전송률을 제어)할 필요가 있을 때 MAC에 레인의 활성/비활성 요구 메시지를 보내어 레인을 선택적이고ダイナ믹하게 제어하는 방법이다.

아. ONU 전력절감

(그림 18)은 ONU(Optical Network Unit)의 슬립(sleep) 모드를 기반으로 하는 기본전력절감 메커니즘을 나타낸다[10],[11]. ONU에 의해 소모된 전력을 줄이는데 초점을 맞춘다. OLT(Optical Line Terminal)는 ONU의 동작과 제어신호를 담당, 서비



(그림 18) ONU의 전력절감 기능[11]



<자료>: Network Infrastructure and Digital Content, 2nd IEEE International Conference, 2010.

(그림 19) ONU 동작상태 전환과정

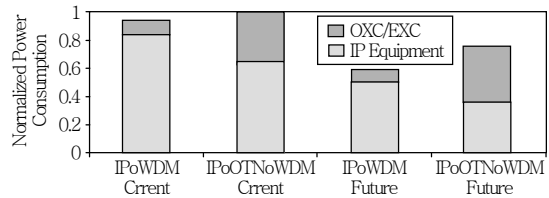
스 망 인터페이스(SNI: Service Network Interface)로부터 도착하는 다운 스트림 트래픽을 모니터링한다. 그 다음, 다운 스트림 유무에 따라 관련 ONU를 활성화/비활성화한다.

OLT는 sleeping ONU에 전달되는 다운 스트림 트래픽을 수신하면 ONU가 wake-up할 때까지 버퍼에 저장하여 패킷 손실을 방지한다. 전력절감 기능은 sleep 제어기능과 적응적 레인속도(ALR: Adaptive Link Rate) 기능을 포함한다. Sleep 제어 기능은 트래픽 유무에 따라 좌우되는 ONU 모드(active, sleep mode)를 스위칭하고, 적응 레인 속도 기능은 트래픽 양에 따라 OLT와 ONU 간 라인 속도를 스위칭한다. TDM기반 PON(Passive Optical Network)은 물리적으로 모든 ONU에 방송(broadcast)한다. (그림 19)에서 보듯이 sleep 및 주기적인 wake-up 동작이 sleep 제어기능으로 채택된다. sleep 및 주기적인 wake-up 동작에서 sleeping ONU는 프레임이 포워딩되고 있는지 확인하기 위해 주기적으로 wake-up한다.

ONU는 active 모드와 sleep 모드 간 동작상태가 변할 때 (그림 19)의 변환과정이 필요하며 전력절감 메시지는 물리계층 동작, 유지관리 메시지, 멀티포인트 제어 프로토콜을 통해 구현할 수 있다[10].

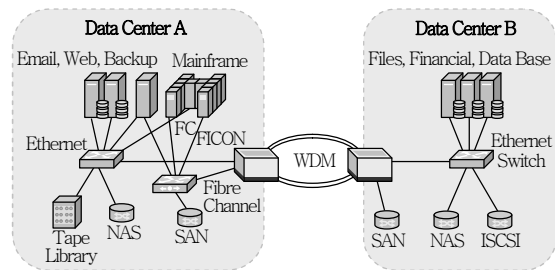
자. OTN/WDM 전력절감

(그림 20)은 두 개의 미래 망 구조(IP over OTN over WDM, IP over WDM)에 대해 CAPEX(capital expenditures)를 최적화하였을 때 최소 에너지 소모

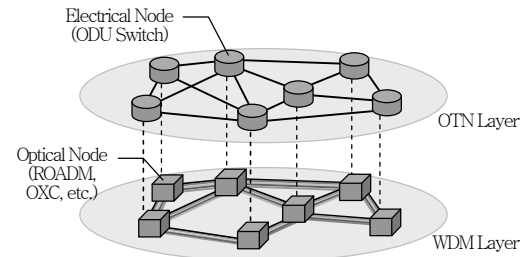


<자료>: Nokia Siemens Networks, ANTS, 2009 IEEE 3rd, 2009.

(그림 20) 현재 및 미래 장비 소모전력 값을 위한 계층당 전력소모



(a) 새로운 유연성, 효율성 및 단순성을 갖는 데이터망



(b) OTN over WDM 구조

<자료>: (a) Ciena, the network specialist, Redefining the Service-Enabled Optical Network, (b) Nokia, Simens Networks, ICTON 2010.

(그림 21) 다중 서비스 애그리게이션 및 전송방법

를 보여준다[12]. IP over WDM 구조는 코어 라우터가 OXC(optical cross connect)를 통해 상호연결되고, point-to-point WDM과 직접적으로 연결되지 않는다. IP over OTN over WDM 구조는 EXC(electrical cross connect)를 배치하여, SDH와 OTN 혼합 스위칭을 한다. OXC와 EXC의 배치로 중간 노드에서 IP 라우터를 바이패스하는 기능을 제공한다.

미래의 장비 전력소모와 낮은 트래픽 요구사항에 있어서 IP over WDM 구조는 다른 구조에 비해 에너지 절감이 20% 정도 구현되고, 또 IP over OTN over

WDM은 IP over WDM보다 30% 정도 이점을 갖는다.

(그림 21(a))에 에너지 효율적 다중 서비스 애그리게이션 및 전송방법[13]을 제시하였다. 고속 이더넷(40GE, 100GE)은 ISP(Internet Service Provider)에 의해 당분간 이더넷 스위치 및 라우터에 의해 WDM 망을 통해서 서비스를 이어갈 것으로 보인다. 데이터 센터는 이더넷 스위치 또는 광섬유 채널을 이용하여 WDM 망과 연결되고, 데이터센터와 WDM 망을 연결하는 전송 플랫폼은 임의의 시간, 임의의 포트에 임의의 속도로 임의의 서비스를 제공할 수 있는 에너지 효율적 프로그래머블 라인모듈을 통해 멀티서비스 애그리게이션 및 전송방법을 제공한다.

(그림 21(b))의 OTN over WDM 구조에서 100G 이든 40G이든 각 서비스 타입은 두 가지 방법 중 하나로 광 계층 위에서 전송될 수 있다. 즉, 100G 데이터 플로는 1개의 100G 파장이나 3개의 40G 파장을 통해 전송될 수 있다[14]. OTN은 레거시(regacy), 이더넷(100G 이더넷 포함), 스토리지 및 비디오 같은 임의의 트래픽을 수용할 수 있도록 맵핑(mapping) 및 인캡슐화(encapsulation) 기능을 갖는다.

2. 에너지 절감 기술의 활용방안

본 고에서 살펴 본 에너지 절감 기술은 차세대 광대역 통신망, 백본 망, 가입자 망, 데이터 센터 망 및 차세대 LAN 등에 활용할 수 있다. 이러한 기술은 최근에 와서 표준화를 통해 실제 상용화 가능한 제품을 대상으로 그 적용에 활기를 띠고 있다. 다음에 적용방안을 간략히 제시한다.

- 통신망에 대한 에너지 효율화 연구는 국가 통신망 체계에 필수이며 국가 경제에도 큰 이익을 창출할 수 있는 중요한 기술임에 틀림없다. 따라서 에너지 효율화 기술 개발을 통해 시스템의 저전

력화가 가능한 제품을 개발하여 새로운 이익을 창출할 경우 국내외 통신 산업의 경쟁력 확보 등 국내외 정보통신 관련 사업 전반에 미치는 파급 효과가 매우 클 것으로 예상된다.

- 현재 통신망의 에너지 효율화에 관한 기술은 세계 시장으로 이어지는 큰 시장을 형성하고 있음에도 불구하고 시장에서 차지하는 중요도에 비해 국내 제조업체들의 개발 또한 아직 미미한 실정이다. 따라서 보다 구체적으로 표준에 부합하는 국내의 부품(ASIC 등), 네트워크 프로세서, 반도체 설계 회사 및 모듈 제작 업체와 제휴하여 저전력(전력절감) 기능을 갖는 제품 개발을 독점적으로 공급할 수 있다.

IV. 에너지 효율화 연구 및 표준화 동향

기존의 망은 최적화된 비용과 성능을 갖는 반면, 차세대 망은 망 에너지 효율을 갖도록 최적화된 전력 소모가 추가된다. 세계 통신 업체가 참여하는 에너지 효율화에 관한 연구 조직과 표준화 기구의 에너지 동향을 간략히 소개한다.

1. IEEE 802.3

- 2007년 IEEE 802.3az TF에 의해 EEE 표준단체에 관한 발의
- 링크 속도 적응 메커니즘과 idle 주기 동안 전력 소모 최적화를 기반으로 하는 이더넷 프로토콜의 에너지 효율 버전 연구 & 표준화 중
- IEEE 802.3ba 40G/100G 이더넷 표준에서 2010년 9월 PMD 레인 단위의 전송불가 기능규정

2. IEEE 802.15.4g SUN(Smart Utility Network) 표준그룹

- 미국과 유럽의 유틸리티 서비스 사업자

- 스마트 그리드와 연계하는 스마트 유틸리티 네트워크 서비스 목표
- 기존의 Zigbee 기술의 단점을 보완할 수 있는 새로운 물리계층에 대한 국제표준을 추진하기 위해 표준 그룹 결성
- IEEE 802.15.4 물리계층을 대체할 수 있는 새로운 근거리 무선 전송기술 표준화 추진

3. Green Touch

- 서비스 공급자, 학교 및 산업체 연구소, 및 비정부조직이 함께 연구하는 글로벌 컨소시엄
- ICT 망 특히 서비스 공급자 망의 에너지 효율을 향상시키기 위해 필요한 핵심 컴포넌트의 구조, 규격, 로드 맵 및 데모를 2015년 내에 제공할 목적으로 도전, 추세, 이슈 및 개발 솔루션의 확인을 정의하기 위해 공동연구
- Bell Lab, Huawei, Broadcom, 프랑스 텔레콤, TTI, NTT, 후지쯔 등 많은 세계적 통신업체들과 대학들이 공동 추진

4. ITU-T SG13

- 그린 네트워크 인프라 기술
- NGN 프레임 워크, 등 차세대 네트워크(NGN) 인프라 기술 표준 개발 진행
- 우리나라의 광대역 통합망(BcN)과 기능적으로 유사

5. Energy Star

- 2009년에 망 링크의 보다 느린 운용으로 idle인 동안 에너지 절감
- 에너지 스타 컴퓨터 규격 요구사항에서 ALR 메커니즘을 포함하고 있음.

- 호스트가 망 연결 손실없이 에너지 효율 슬립모드로 들어가도록 지원하는 메커니즘

6. EU Code of Conduct and EuP(Energy using Products)

- EU는 광대역 장비, 데이터센터, 파워 서플라이, UPS 등 여러 범주의 장비를 포함하는 코드번호 발행
- 최대 허용된 전력소모 값 임계치를 고정 및 정의
- 2008년 10월 망 장비와 외부 전원공급장치의 대기 전원관련 개발 및 구현방향 설정

7. ETSI

- ETSI TR 102 530
TLC 망 장비와 관련 인프라에서 에너지 소모를 제어/감소시켜 Telco 시스템의 효율을 증가시키는 방법
- ETSI TR 102 533
광대역 고정 통신망 장비의 전력소모 측정을 위하여 전력소모 제한범위, 방법론 및 시험조건 정의
- 특별 TF(2008년 12월 발족)
모든 망 세그먼트의 에너지 효율을 위한 규격생성을 목표로 함

8. Green Grid

- AMD, HP, Sun Microsystems, IBM, Intel 등이 참여
- 2008년 4월 발족
- 전 세계 데이터 센터의 전력소모를 낮추는 방법을 찾기 위한 IT 회사와 전문가들의 컨소시엄
- 데이터 센터 운영 및 구축, 설계와 관련한 최선의

방법론 규명

- 데이터 센터는 물론 기타 IT 관련 시설들의 에너지 소비를 절감시키는 방안을 제안

9. EC(European Commission) 외

- 에너지 고효율 광 패킷 스위칭 기술
- DAVID(Data And Voice Integration over DWDM) 프로젝트에서 WAN 및 MAN에 적용 가능한 광 패킷 네트워크 기술 연구를 통해 고정밀 영상 등의 거대 정보를 저소비 전력으로 전달
- 일본의 NICT, NTT, NEC 등: 광 RAM 기반의 패킷 스위칭 기술
- 요코가와: 플래너 웨이브 가이드를 이용한 나노 기반 초고속 광 패킷 스위칭 기술

10. 에너지 절감형 인터넷 프로젝트

- 미국의 로렌스 버클리 연구소, 남플로리다 대학, 플로리다 대학 공동 추진
- 인터넷 링크 속도 적응 기술(EALR: Ethernet Adaptive Link Rate)
- 신속한 물리계층 전송 선택 기술(RPS: Rapid PHY Selection)
- 효율적인 스위칭 시간

V. 결론

에너지 효율화는 차세대 망의 핵심 키워드로 꼽히며, 다양한 단말이나 장비들이 늘 통신망에 연결되어 있는 환경에서 지금까지 기존 망에서는 고려하지 않았던 에너지 효율화 개념이 차세대 망에서는 필수적으로 요구되는 추세이다.

에너지 효율화는 전력소모율 감소 또는 전력절감

과 키워드를 같이하며 이러한 것은 서비스, 제품의 성능 및 비용과 직접 연결되므로 관련 기술을 선점하기 위하여 세계 통신 회사들이 참여하는 각종 컨소시엄과 세계 표준화 기구들에 의해 표준화가 활발히 이루어지고 있다.

본 고에서는 통신망을 구성하는 다양한 요소들의 전력절감 기술을 살펴보고, 미래 대용량 스위칭 패브릭 전력절감 등 광대역 통신망을 위한 에너지 효율화에 관한 최근 기술동향을 간결하게 소개하려고 노력했는데, 본 연구의 범위는 폭넓고 다양하기 때문에 여기서는 전반적이면서 대표적인 부분만 다루는데 그쳤다. 해당 기술과 연구에 특화된 영역에서 좀 더 자세하고 기술적인 고찰이 필요하다.

향후 광대역 통신망의 에너지 효율화와 관련한 주요 연구 이슈로 개인적으로는 다음 몇 가지를 꼽을 수 있겠다.

- 미래 대용량 스위칭 패브릭 전력절감
- 망/디바이스 가상화
- 그린 데이터/제어 플레인 분리계층
- 그린 지원 망 리던던시
- 표준 벤치마킹 방법론

결론적으로 그린 통신망은 최근의 새로운 연구분야이고 그 기술, 방법 및 솔루션은 분명히 미래를 발전시킬 것이다. 따라서 통신망을 위한 에너지 효율 메커니즘은 모든 기술에 적용할 수 있기 때문에 산업은 에너지 소모가 미래 기술발전의 중요한 기준이 된다는 것을 공통적으로 인식, 프로젝트 수행에는 반드시 에너지 효율 연구가 병행되어야 할 필요가 있다. 또한, 현재 세계적으로 망 인프라의 에너지 효율에 관한 많은 연구, 학계·산업계 프로젝트가 진행되고 있고 많은 이슈가 열려있으므로 이들의 융합이 요구된다.

약어정리

ALR	Adaptive Link Rate	PID	Proportional Integral Differential
AWG	Arrayed Wave-guide Grating	PMD	Physical Medium Dependents
BAU	Business-As-Usual	PON	Passive Optical Network
BcN	Broadband Communication Network	RPS	Rapid PHY Selection
BP	Balanced photodetector.	SCM	Subcarrier Multiplexing
CAPEX	Capital Expenditures	SDH	Synchronous Digital Hierarchy
CW	Continuous Wave	SNI	Service Network Interface
DAVID	Data And Voice Integration over DWDM	SOA	Semiconductor Optical Amplifier
DCR	Data and Clock Recovery	SUN	Smart Utility Network
DI	Delay Interferometer	TCAM	Ternary Content Addressable Memory
DQPSK	Differential Quadrature Phase Shift Keying	TCO	Total Cost of Ownership
EALR	Ethernet Adaptive Link Rate	TDM	Time Division Multiplexing
EC	European Commission	TF	Task Force
ECO	Eco sustainable	TIA	Transimpedance Amplifier
EEE	Energy Efficient Ethernet	TM	Traffic Management
ESCON	Enterprise Systems Connection	UTP	Unshielded Twisted Pair
EuP	Energy using Products	VoD	Video on Demand
EXC	electrical cross connect	VoIP	Voice over IP
FDL	Fiber Delay Line	WC	Wavelength Converter
FTTx	Fiber to the x	WDM	Wavelength Division Multiplexing
ICT	Information & Communication Technology		
IDC	Information Data Center		
IP	Internet Protocol		
ISP	Internet Service Provider		
LD	Laser Diode		
LPI	Low Power Idle		
MAC	Media Access Control		
MEMS	Micro Electro Mechanical System		
NGN	Next Generation Network		
NIC	Network Interface Card		
NRZ	Non Return Zero		
OA	Optical Amplifier		
OCDM	Optical Code Division Multiplexer		
OLT	Optical Line Terminal		
ONU	Optical Network Unit		
OTDM	Optical Time Division Multiplexer		
OTN	Optical Transmission Network		
OTU	Optical Transmission Unit		
OXC	optical cross connect		
PHY	Physical device		

참고 문헌

- [1] Christoph Lange et al., "Energy Consumption of Telecommunication Networks," *ECOC*, 20th-24th Sept. 2009, paper 5.5.3.
- [2] Raffaele Bolla et al., "Energy Efficient in the Future Internet: A Survey of Existing Approaches and Trends in Energy-Aware Fixed Network Infrastructures," *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 13, no. 2, 2nd Quarter 2011, pp. 223-244.
- [3] R.S. Tucker et al., "Evolution of WDM optical IP Networks: A Cost and Energy Perspective," *J. Lightwave Technol.*, vol. 27, no. 3, Feb. 2009, pp. 243-152.
- [4] Huawei energy efficiency solution, "Improving energy efficiency, Lower CO2 emission and TCO," Whitepaper, 2010.
- [5] Slavisa Aleksic, "Analysis of power consumption in Future High-Capacity Network Node," *J. Opt. Commun. Netw.*, vol. 1, no. 3, Aug. 2009, pp. 245-258
- [6] Hideaki et al., "Power Saving Mechanism Based

- on Simple Moving Average for 802.3ad Link Aggregation," *Globecom Workshops*, IEEE, 2009, pp. 1-6.
- [7] A Clear Path to 100Gigabit Ethernet on the Alcatel-Lucent Service Router Portfolio, Strategic White Paper; Alcatel-Lucent, Nov. 2008.
- [8] Michael J. Bennett, "The Need to Reduce Energy Use in 100G Ethernet Backplane and Twinaxial Copper Systems," Lawrence Berkeley National Lab., 14th June, 2011.
- [9] P. Reviriego et al., "Improving Energy Efficient in IEEE 802.3ba High-Rate Ethernet Optical Links," *IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron.*, vol. 17, no. 2, 2011, pp. 419-427.
- [10] Danping Ren, Hui Li, and Yuefeng Ji, "Power Saving Mechanism and Performance Analysis for 10 Gigabitclass Passive Optical Network Systems," *Proc. IC-NIDC*, 2010, p. 921.
- [11] Ryogo Kubo et al., "Sleep and Adaptive Link Rate Control for Power Saving in 10G-EPON Systems," *IEEE "GLOBECOM" Proc.*, 2009, p. 921.
- [12] Eleni Palkopoulou et al., "Energy Efficiency and CAPEX Minimization for Backbone Network Planning: Is there a Tradeoff?," *ANTS, IEEE 3th Int. Symp.*, 2009, pp. 1-3
- [13] Ciena, "3Redefining the Service-Enabled Optical Network," Ciena White Paper, Dec. 2010.
- [14] Joao Pedro et al., "Optimization Framework for Supporting 40Gb/s and 100Gb/s Service over Optical Transport Networks," *ICTON*, 2010, Mo.D4.1.