

유선 네트워크 장비의 에너지 소모량과 절약 잠재성 연구

김기영^{1*}, 서유화²

¹서일대학교 소프트웨어학과, ²송실대학교 컴퓨터학과

A study of energy consumption and savings potential in wired network equipment

Ki-Young Kim^{1*} and Yu-Hwa Suh²

¹Department of Computer Software, Seoil University

²Department of Computer Science, Soongsil University

요약 인터넷의 규모가 확대됨에 따라, 인터넷의 에너지 소모와 GHG(Green House Gas) 배출에 대한 문제는 최근의 새로운 이슈로 등장하였다. 그러나 이러한 문제를 다루는 인터넷 그리닝(Greening)에 대한 관심은 주로 엣지(Edge) 장비에 집중되어 있으며, 과도한 네트워크 연결성으로 인한 유선 네트워크 장비의 에너지 낭비량과 절약 잠재성에 대해서는 깊이 있는 연구가 부족한 실정이다. 본 연구에서는 유선 네트워크에서 에너지 효율성에 대한 관심의 배경과 연구의 타당성을 환경적, 경제적, 에너지 사용의 측면에서 상세히 제시한다. 그리고 네트워크 장비에서의 에너지 소모량과 절약 잠재성을 추정하고 도출한 데이터를 바탕으로 유선 네트워크 장비의 에너지 소모의 주된 요인을 분석하여, 향후 미래 인터넷 기술의 발전 방향을 제시한다.

Abstract As the Internet has grown, energy consumption and GHG emission from internet use have become issues in recent years. On the other hand, such interest in greening the Internet has focused on edge devices, and there is a lack of deeper related studies of the energy wasted by excessive network-connectivity and the savings potential in wired network equipment. This study presents the background and reasonability of studies on the energy efficiency of wired networks in terms of the environment, economy and energy resources. The energy consumption and savings potential of network equipment were also estimated and the major factors of energy consumption was analyzed based on the data, and future studies for the Internet are presented.

Key Words : Green Networking, Wired Network, Energy Efficiency, Energy Consumption

1. 서론

오늘날 인터넷에서의 에너지 소모와 GHG (Green House Gas) 배출은 인터넷 발전의 한계점으로 새롭게 등장한 요인이다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 인터넷에서의 에너지 효율성 향상을 목표로 하는 인터넷 그리닝(Greening)은 세계 산업계와 정부의 주요 과제이다. 오늘날 사용되는 전자 기기들은 엄청난 수를 차지하고, 이들 대다수는 네트워크 기능을 내장하는 추세이다. 또한 네트

워크의 유비쿼터스화로 인해 증가된 모바일 장비들은 인터넷의 에너지 소비량을 더욱 증가 시킬 것으로 예상된다.

그린 인터넷의 측면에서, PC나 서버와 같은 엣지(Edge) 장비들은 기존에도 에너지 효율성을 위한 다양한 연구가 있었지만, 최근 흐름은 네트워크 연결성(Network-connectivity)의 증가에 따른 트래픽의 증가로 인해, 네트워크 기능과 관련된 에너지 소비로 그 초점이 이동하고 있다. 관련 연구자들은 유선 네트워크에서도 무

본 논문은 2013년도 서일대학 학술연구비에 의해 연구되었음.

*Corresponding Author : Ki-Young Kim(Seoil Univ.)

Tel: +82-2-490-7402 email: ganet89@seoil.ac.kr

Received August 21, 2013

Revised September 11, 2013

Accepted December 5, 2013

선 네트워크에서 중요한 이슈로 다루어져오던 에너지 관리 메커니즘의 도입이 필요하며, 그것을 통해 통합적인 에너지 관리가 필요하다는 공통적인 의견을 가지고 있으며, 이와 관련된 연구 영역을 일반적으로 ‘Green Networking’ 이라 한다.

네트워크 연결성은 우리의 일상에 공기처럼 자연스러운 한 부분을 차지하고 있으나 이것을 제공하기 위해 소비되는 에너지량에 대해서는 일반적으로 잘 알려져 있지 않다. 전통적으로 에너지 효율성에 대한 문제를 주요 이슈로 다루는 무선 네트워크나 다양한 가전 기기들 비해 유선 네트워크 장비들에 대한 에너지 효율성 측면의 관심은 상대적으로 적다. 간단한 예로 [1]에 따르면 백열 전구의 평균 전력 요구량은 60Wh, PC는 80Wh, LCD는 100Wh이나, 일반적인 이더넷 스위치(Ethernet switch)는 평균 100~250Wh의 전력이 요구된다. 우리가 사용하지 않을 경우 늘 전원을 끄도록 요구받는 다른 전자 기기에 비해 네트워크 장비에서 요구되는 전력의 양은 매우 크지만, 이것에 대한 절약과 에너지 효율성의 문제의 중요성은 우리가 실제적으로 잘 인지하지 못하고 있다.

인터넷의 확대와 급속히 증가하고 있는 트래픽으로 네트워크의 에너지 소모는 계속적으로 증가할 것이며, 그린 네트워킹을 위한 연구 방향을 설정하고 제안된 기술의 성능 측정의 기준이 될 수 있는 유선 네트워크 장비에 특화된 에너지 소비 규모와 절약 잠재성에 대한 종합적인 연구가 시급하다.

본 연구는 유선 네트워크의 에너지 소모량의 70%[2]를 차지하는 액세스 네트워크에 사용되는 네트워크 장비에 초점을 둔다. 이를 위해 학계와 산업계의 최신 연구 데이터를 바탕으로 탑-다운(Top-down) 접근을 사용하여 유선 네트워크의 에너지 소비에 대한 심도 있는 분석을 수행한다.

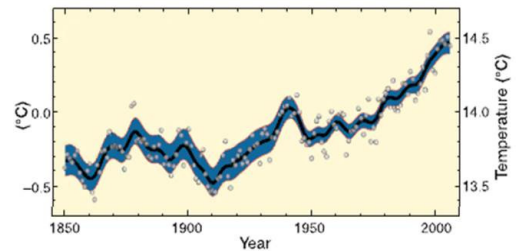
본 논문의 2장에서는 그린 네트워킹에 대한 관심의 배경과 연구의 타당성을 환경적, 경제적, 에너지 사용의 측면에서 구체적으로 제시한다. 3장에서는 IP 패킷을 전달하는 것을 주요 목적으로 하는 유선 네트워크 장비에 초점을 두고 이들의 에너지 소비량과 절약 잠재성을 추정하고, 도출된 데이터를 바탕으로 유선 네트워크 장비의 에너지 소모의 주된 요인과 절약 잠재성을 분석한다. 4장에서는 요약과 미래인터넷을 위한 향후 연구 방향을 제시한다.

2. 그린 네트워킹의 배경과 동기

2.1 환경적 관점

2007년 IPCC 보고서[3]에 따르면, 지구 표면 온도 변화는 Fig. 1과 같다. Fig. 1과 같은 지구 표면 온도의 증가의 주요 원인은 대기 중 GHG 이다. 대표적인 GHG인 CO₂는 최근 수십 년간 급격한 인간 활동의 증가로 상당히 증가하였다.

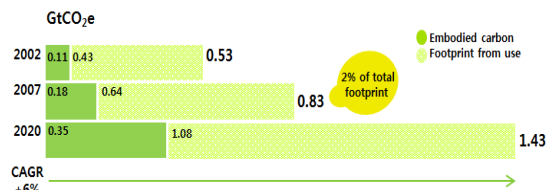
자연적인 온실효과를 제외하고, 지구의 평균 기온은 약 -19℃ 가 되어야 하는데, 오늘날 기온보다 약 34℃ 낮은 온도이다[4]. 세계는 이러한 기후변화에 대한 심각한 위협에 직면하였으며, 이것을 위한 지속 가능한 해결 방안을 에너지 효율성(Energy efficiency)으로 정의하였다 [5]. 에너지 효율성을 향상 시키는 것은 방대한 양의 에너지 절약을 달성할 수 있고, 이에 따라 에너지 이용과 생산으로 발생하는 GHG 배출을 감소시킬 수 있다.



[Fig. 1] Global average surface temperature [3]

2.1.1 세계 ICT의 GHG 배출량

IEA 2DS[16]에 따르면, 빌딩 부분은 2020년 까지 GHG 배출의 감소에 약 18% 기여가 가능하며, GHG 배출 감소를 위한 많은 잠재성을 가지고 있다. 빌딩에서 사용하는 전자기기 중 ICT 장비는 약 50% 이상[6]을 차지하며 이들의 전력사용에 따른 GHG 배출량은 Fig. 2와 같다. 2007년의 경우 0.83GtCO₂e(Carbon dioxide equivalent)로, 전체 세계 GHG 배출량의 약 2%를 차지한다. ICT 기술은 세계 경제의 뼈대를 형성해 왔고 향후 10년 이상 계속적으로 세계 다양한 분야에 널리 침투할 것이다. 따라서 ICT는 이용에 있어 높은 온실 가스 비용을 들이게 할 것이고, 2020년까지 1.43GtCO₂e로 증가할 것으로 예상된다. GeSI SMART 2020 보고서[7]에 따르면, ICT 분야에 에너지 효율성을 고려하는 것은 ICT 분야 자



[Fig. 2] The global ICT GHG emissions [7]

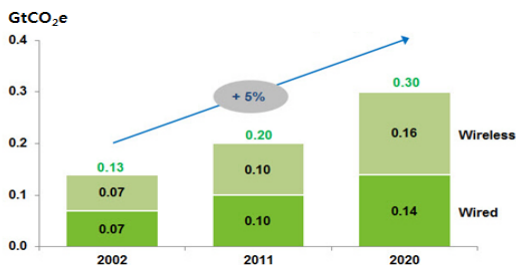
체의 GHG 배출량을 감소시키는 것 이상의 의미를 갖는다. 현재 ICT 기술은 다른 분야(에너지, 빌딩, 유통, 무역 등)에서의 에너지 절약을 위한 주요 대안의 하나로써, ICT 기술을 다른 분야에서 적용할 경우, ICT 분야 자체의 배출량의 5배에 달하는 GHG 배출량을 감소시킬 수 있을 것으로 전망되고 있다. 따라서 ICT 분야 자체의 에너지 효율성에 대한 고려는 해당 분야를 넘어 세계 전체 GHG 배출의 감소와도 깊은 관련이 있다.

2.1.2 네트워크 장비의 GHG 배출량

인터넷의 확대와, 전자 기기들의 네트워크 연결성 증가는 고성능 네트워크 장비로의 교체와 더욱 많은 네트워크 장비를 요구할 것이고, 이들에게서 발생하는 GHG의 배출량은 계속적으로 증가할 것이다. 또한 그린 환경 구축을 위한 에너지 고효율 달성과, 에너지 모니터링을 돕기 위해 네트워크 기술은 각 산업의 모든 분야에 스며들 것이다.

Fig. 3는 세계 네트워크에서 배출되는 GHG 배출량을 보여준다. 네트워크에서 배출되는 GHG는 2002~2020년 CAGR(Compound Annual Growth Rate) 5%의 성장률을 보일 것으로 예상되며, 2011년의 경우 GHG 배출량은 0.2GtCO₂e로써, 전체 ICT 배출량(0.91GtCO₂e)의 약 22%를 차지한다[8]. 이들 중 유선 네트워크에서의 트래픽의 증가는 모바일 네트워크의 성장세보다는 느리나, 현재 IP 트래픽의 90% 이상[9]은 유선 네트워크에서 발생된다.

Cisco 추정치[9]에 따르면 현재의 유선 인터넷 트래픽은 2016년까지 4배, GreenTouch™ 추정치[8]에 의하면, 2020년까지 8배 증가할 것으로 예상된다. 따라서 이로 인한 유선 네트워크에서 발생하는 GHG 발생량은 무시할 수 없는 수준이며, 지금까지 전통적인 유선 데이터 네트워크 환경에서 에너지 효율성 측면의 연구와 기술 개발의 부족을 고려해 볼 때 이를 위한 연구가 시급하다.



[Fig. 3] Global mobile and fixed networks emissions [8]

2.2 경제적 관점

[10]에 의하면, 만약 현재의 상태에서 어떤 조치도 취

하지 않으면, 기후변화와 전체적인 비용과 위험은 매년 세계 GDP의 최소 5%의 손실과 맞먹을 것으로 예상되며, 지금 조치를 취하지 않는 것은 더 넓은 범위의 위험과 영향을 유발시키고, 그에 대한 손실은 세계 GDP의 20% 그 이상까지 증가할 수 있다고 한다. 대조적으로 기후 변화의 최악의 영향을 피하기 위한 GHG 방출을 감소시키기 위한 활동의 비용은 매년 전체 GDP의 1% 내외까지 제한될 수 있다고 한다. 이에 따라, 2050년까지 해마다 약 20GtCO₂e, 개인 당 약 2tone 씩 방출되는 온실가스를 줄여야 한다.

세계적으로, ICT 분야는 2002~2007년의 GDP 성장의 16%를 기여하였고, 세계 GDP의 5.8~7.3%를 차지하였다. ICT 분야는 2007~2020년 세계 GDP 성장의 8.7%까지 더욱 증가할 것으로 예상되는데[8], 이것은 ICT 분야가 세계 경제 성장과 국제 개발의 필수적인 역할을 계속한다는 것을 입증한다. 따라서 이들의 자체의 지속적인 발전과 다른 분야에 GHG 감소에 비칠 영향력을 생각할 때 ICT 분야의 GHG 감소에 대한 노력은 매우 중요하다.

IPCC 2007 기후변화 보고서[11]에서는 2030년 까지 상향식(Bottom-up)과 하향식(Top-down) 방식으로 세계 GHG 배출 완화에 대한 경제적 가치를 추정하였다. 상향식 방식은 특정 기술과 규정을 강조한 미시경제적 완회 옵션 상태의 추정치이고, 하향식 방식은 범경제적이고, 지속적이 고 넓은 범위의 정보를 통합한 추정치이다.

[Table 1] Global economic mitigation potential in 2030 estimated from bottom-up studies [11]

Carbon price (US\$/tCO ₂ eq)	Economic potential (GtCO ₂ eq/yr)	Reduction relative to SRES A1B (68 GtCO ₂ eq/yr) (%)	Reduction relative to SRES B2 (49 GtCO ₂ eq/yr) (%)
0	5-7	7-10	10-14
20	9-17	14-25	19-35
50	13-26	20-38	27-52
100	16-31	23-46	32-63

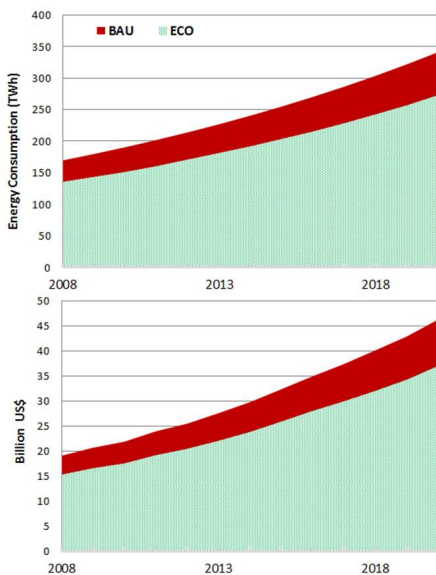
[Table 2] Global economic mitigation potential in 2030 estimated from top-down studies [11]

Carbon price (US\$/tCO ₂ eq)	Economic potential (GtCO ₂ eq/yr)	Reduction relative to SRES A1B (68 GtCO ₂ eq/yr) (%)	Reduction relative to SRES B2 (49 GtCO ₂ eq/yr) (%)
20	9-18	13-27	18-37
50	14-23	21-34	29-47
100	17-26	25-38	35-53

Table 1과 2는 시나리오 SRES A1B와 SRES B를 가정하는데, 전자는 2030년 GHG 발생량이 68GtCO₂e 경우,

후자는 49GtCO₂e일 경우의 가정이다. Table 1과 2는 이 두 시나리오에서 여러 비율의 GHG 감소를 가정할 경우, 연간 GHG 감소량과 US\$로의 환산치를 보여준다. [7,8]을 참고하여 2020~2030년까지 ICT의 GHG가 연간 3.8% 증가한다고 가정하면, 2030년 ICT에서 방출되는 GHG는 1.84GtCO₂e, ICT를 다른 분야에 적용 시 감소 가능한 전체 GHG는 ICT의 5배에 달함으로, 세계 GHG 배출량에 연간 9.2GtCO₂e의 감소가 가능하다. 이것을 Table 1과 2에 적용해 보면 이것은 대략 연간 1,840억 US\$의 경제적 가치를 가질 것으로 추정할 수 있다.

미국은 세계 에너지 소모에서 가장 많은 양(40%, 2008[12])을 차지하기 때문에, 미국의 전력 소비 트렌드는 전 세계 트렌드를 반영한다고 할 수 있다. 본 연구는 네트워킹 능력을 가지는 모든 전자장비의 에너지 소모량과 낭비량에 따른 경제적 비용을 추정하였다(Fig. 4). Fig. 4는 BIO 보고서[12]와 [13][14][15]를 참고로 하여 2008~2020년까지 미국의 네트워킹 기능을 갖는 모든 전자장비의 에너지 소모량과 비용을 거칠게 추정한 것이다. [12]에 따르면 2008년 상황이 2020년까지 계속된다고 가정했을 경우(BAU)와현재 연구되고 있는 에너지 효율성 향상을 위한 기술이 각 장비에 널리 도입 될 경우(ECO)를 가정하였고, ECO 시나리오에서는 [12]에 의해 최소치인 20%까지 에너지 절약 가능성을 가정하였다. 이것을 경제적으로 환산하면 연간 40~90억 US\$, 누적치로는 800억 US\$의 비용을 절감할 것으로 예상된다.

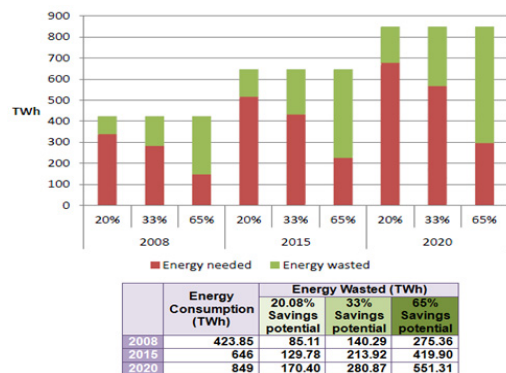


[Fig. 4] The USA energy consumption and costs for network-connected equipment

2.3 에너지 자원의 관점

[16]에 따르면, 빌딩은 세계 1차 에너지 관련 CO₂ 배출량의 10%를 차지하는데, 2차 에너지인 전력 생산을 위한 배출을 포함하면, 빌딩은 에너지 관련 CO₂ 배출의 30%를 차지한다. 빌딩으로부터 요구되는 에너지는 2050년까지 두 배 이상에 달할 것이며, 이러한 증가의 많은 부분은 세계 인구증가로 인한 빌딩의 증가에 따른 것이다.

[17]에 따르면 빌딩에서 사용되는 가전기기는 에너지의 요구가 가장 빨리 증가하는 요인으로 IEA 국가에서 에너지 소모가 1990~2005년, 57%까지 증가했고, 전체 가정의 전력사용의 59%를 차지한다. 가전기기는 서비스 분야에서 중요성도 증가하여, 이전에 네트워킹을 지원하지 않던 가전제품에도 그 기능이 추가되고 있으며, 네트워킹에 대한 요구의 증가로, 네트워킹 기능을 갖는 새로운 장비들이 계속적으로 시장에 들어오고 있다. [6]에 따르면, 미국의 경우, 2006년 빌딩에서 소모하는 전력은 미국 전체 전력 소모량 중 70% 이상 차지하고, 빌딩에서 사용되는 전자기기들은 빌딩전력의 11%를 차지한다. 전자기기들이 사용하는 전력 중 네트워킹 기능을 가지는 장비의 비중은 약 52%이며 빌딩 사용 전력의 0.6~0.7%를 차지한다. 네트워킹 기능을 가지는 장비의 전력 소모는 계속 증가하여 2020년에는 2008년 소모량(약 424TWh)의 2배 [12]에 달할 것으로 예상되고 있다.



[Fig. 5] Projected energy consumption and wasted by network-connected equipment worldwide [12]

Fig. 5는 시장 트렌드를 기반으로 빌딩에서 사용되는 네트워크에 연결된 모든 장비(e.g., PC, Printer, Phone, TV, Game console, Audio receiver, STB, Router, Gateway etc.)의 그린 기술의 시장 침투 정도에 따라 에너지 소모와 절약 잠재성을 조사(2008년 BAU) 및 추정(2015년, 2020년)한 것이다. 2008년의 세계 전체 전력 소

모량은 18,603TWh이며, 이중 네트워킹 기능을 가지는 장비가 소모한 전력은 423.85TWh로 2.3%이다. 그린 기술의 침투 정도에 있어 20%는 전력 관리의 구현과 전력 요구량을 줄이는 정책을 통한 절약 잠재성이며, 최대 에너지 절약 잠재성 추정치 65%는 대부분의 네트워킹 기능을 갖는 장비가 1W의 낮은 전력을 요구하는 상태의 가정이다[12].

Fig. 5에 따르면 네트워크에 연결된 장비에 요구되는 전체 에너지는 2015년과 2020년에 각각 646TWh, 849TWh까지 증가할 것으로 예상되며, 2020년의 소모량은 2008년의 2배이다. 과도한 네트워크 연결성에 의해 낭비된 에너지의 양은 2008년에는 86~275TWh, 2015년에는 130~420TWh, 2020년에는 170~551TWh으로 2020년 에너지 절약 잠재성 65%의 경우, 낭비될 수 있는 에너지는 551TWh로 2008년 전력 소모량(423.85TWh)을 훨씬 뛰어넘는 양이다.

이러한 에너지 소모에 있어 주요 문제는 네트워크 주요 기능이 수행되지 않을 때조차 네트워크와 연결된 상태를 유지하기 위해 요구되는 에너지 소모에 있으며, 이를 해결하기 위해 에너지 효율성을 고려하는 것은 매우 중요한 의미를 가진다. 이들 중 옛지 장비들과 네트워크 장비를 구별하는 것은 그들의 기능과 에너지 절약 잠재성이 아주 다르기 때문에 본 논문에서는 옛지 장비를 제외한 네트워크 장비의 측면에 대한 에너지 사용과 절약 잠재성에 대해서는 3장에서 상세히 다룬다.

3. 유선 네트워크 장비의 에너지 소모량과 절약 잠재성

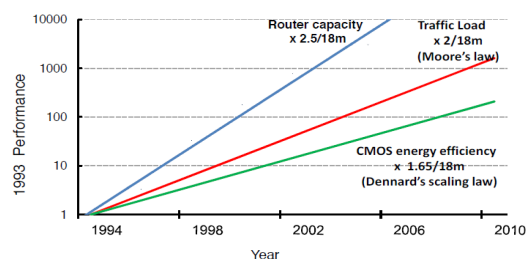
본 장에서는 유선 네트워크 장비의 에너지 소모량과 절약 잠재성을 분석한다. 유선 네트워크 장비란 대부분 인터넷과 IP패킷 처리에 사용되며, 전송, 라우트, 스위치 또는 네트워크 트래픽 처리를 목적으로 하는 장비로써, PC, 서버와 같은 옛지 장비들을 제외한 장비이다.

2008년 네트워크 장비의 전력 소모량(50.8TWh [18])은, 세계 전력소모량(18,603TWh [12])의 약 0.3%를 차지하며, 지속적인 증가 추세에 있다. 우리가 네트워크 장비의 에너지 보존에 주목해야 하는 이유는 다음과 같다.

첫째는 현재 인터넷의 비효율성에 있다. 전통적으로 인터넷의 설계는 최대 처리량과 최소 지연을 주요 목표로, 최대 부하와 성능 저하의 조건들을 견디도록 설계되었고, 이 능력들은 일반적인 동작에서 충분히 활동되지 않는다. 네트워크 장비들은 유휴 시 에너지 절약 상태로 갈 것을 원하는 모니터나 다른 컴퓨팅 장비와 달리 전형

적으로 그렇지 않고, 유휴 시조차도 많은 양의 에너지를 소모하기 때문에 높은 에너지 비용을 가진다. 따라서 인터넷은 에너지 절약을 위한 큰 잠재성을 가진 영역이다.

둘째는, 라우터의 성능과 트래픽의 양은 18개월마다 각각 2.5배, 2배씩 증가하나, 실리콘 기술의 에너지 효율성에 관한 능력은 1.65배로, 이들은 라우터의 성능과 트래픽 증가의 속도를 따라가지 못하고 있다[Fig. 6]. 따라서 에너지 효율적인 실리콘 기술만으로는 인터넷 그리닝 트렌드의 대응에 어려우며, 네트워킹 측면에서 다른 접근의 시도가 더욱 필요하다.



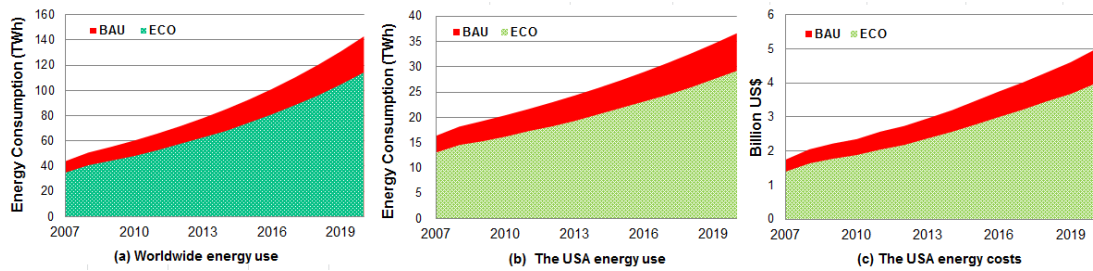
[Fig. 6] Evolution from 1993 to 2010 of high-end IP router's capacity (per rack) vs. traffic volumes and energy efficiency in silicon technologies [2]

인터넷 소비 인구의 지속적인 증가에 따라, 통신회사와 ISP들은 차세대 네트워크 인프라를 지원하고, 관련 서비스를 확대하기 위해 더 복잡한 동작을 수행하는 정교한 구조의 고성능의 많은 장비로 교체를 필요로 할 것이다 그러나, 고성능의 장비일수록 더 많은 에너지 소모를 가져오며, WDM(Wavelength Division Multiplexing) 장비를 제외한 고성능 장비 일수록 에너지 소모는 급속히 증가함[2]으로 이들에 대한 에너지 효율성 향상 기술이 더욱 요구된다.

셋째는, 세계 곳곳에서 전력은 우려되는 에너지 자원이며, 빈번한 정전은 인터넷의 가동시간을 줄인다. 네트워크 장비의 에너지 소모를 줄일 수 있다면 같은 에너지 비용으로 더 많은 장비를 배치할 수 있고, 정전 기간 동안 UPS (Uninterruptible Power Supply) 능력을 가진 장비를 더 많이 가동 시킬 수 있어 전체 네트워크에 신뢰성을 향상 시킬 수 있다. 재난이 빈번한 지역에 네트워크 장비가 저 전력 동작 모드를 가진다면 이 장비는 더 오래 동작할 것이며, 병원, 경찰, 재난 진역에 대한 데이터 접근이 가능할 것이다.

3.1 유선 네트워크 장비의 에너지 소모량

[2]에 따르면 오늘날 전형적인 ISP/telco 네트워크에서 트랜스포트와 코어 네트워크의 전력 소비는 전체 네트워



[Fig. 7] The USA and the world energy consumption and costs for network equipment, source: [18]

크 요구량의 약 30%를 차지하고, 액세스 네트워크는 약 70%를 차지한다. 장비 당 전력소모는 액세스 장비가 코어 장비에 약 1/6 정도이나, 액세스 장비의 수가 엄청난 양을 차지하기 때문에 전체 네트워크의 에너지 소비는 액세스 네트워크 장비에 의존한다.

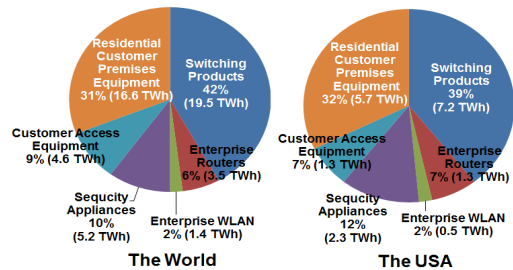
본 연구는 LBNL 보고서[18]와 U.S. EIA 전력 가격 [13-15]을 기반으로 하여 2008-2020년 미국 빌딩의 일반적인 LAN 네트워크 장비의 전력소비에 따른 비용을 거칠게 추정하였다(Fig.7(c)). Fig. 3에서와 동일하게 ECO 시나리오는 BAU 시나리오에서 최소 20%까지 에너지 절약을 가정하였다. Fig. 7(a)와 같이, 2008년 세계 LAN 장비의 에너지 소비량은 51TWh이며 매년 9%, 미국의 경우 6%의 성장률을 보일 것으로 예상되며, 2008년 세계 LAN 장비의 전력 소비량은 세계 전력 소비량 (18,603TWh[12])의 0.3% 이다.

일반적으로 원자력 발전소는 평균 두 개의 원자로를 가지고, 각각 연간 평균 9TWh의 전기를 생성하는데(원자로의 수명은 40~60년)[19], 2008년 미국의 1kWh 당 전력 가격은 11.26cent로, 9TWh는 10억 US\$가 요구되는 전력량이다. Fig. 7(b)에서 2008년, 미국의 유선 네트워크 장비에서 소모하는 전력은 약 18TWh로 두 개의 핵 원자로가 요구되는 방대한 양이다. 만약 에너지 효율성을 향상시키는 기술에 의해 최저 20%의 에너지 절약이 가능하다면, 연간 약 4~7TWh의 에너지 절감이 가능하며 이것은 약 4~10억 US\$의 가치를 가진다.

Fig. 7의 에너지 소비원을 카테고리 별로 분류하면 Fig. 8과 같다. 세계와 미국의 비율은 유사하며, 이것은 미국에서 에너지를 줄이기 위해 제안된 전략이 바로 세계 나머지 지역에 직접적으로 적용될 것을 의미한다. Fig. 8과 같이, 세계와 미국의 LAN 장비 중 가정을 제외한 학교와 기업의 네트워크 장비의 에너지 소비는 전체 LAN의 에너지 소모의 거의 절반을 차지하는 방대한 양이다.

이들 학교와 기업에서 사용되는 LAN 장비 중 가장 많은 에너지를 소비하는 것은 스위칭 장비이다. Table 3의

실제 버클리 캠퍼스 LAN 에너지 사용량 조사에 따르면 연간 총 사용량은 380MWh로 캠퍼스 LAN의 에너지 소모량의 90%는 유선 스위치와 라우터에서 발생됨을 알 수 있다. 따라서 일반적인 이들 기업 및 학교 LAN의 네트워크 장비의 에너지 소모의 주요 원인은 스위칭 장비이며, 그 중에서도 지배적인 에너지 소모는 스위칭 장비에서 발생된다. 이것은 향후 에너지 효율성을 위해 중점적으로 고려해 야 할 대상을 명백히 나타낸다.



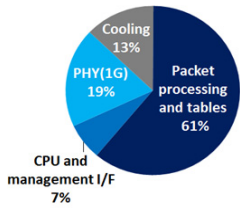
[Fig. 8] Breakdown of Energy Use by Major Product Category in 2008 for world and the USA : source [18]

[Table 3] Annual energy use of network equipment on the LBNL campus [18]

Equipment Type	Annual Energy (MWh)	Percent of Total
Managed Switches & Router	310	82%
Security Appliances	27	7%
Enterprise Access Points	23	6%
Unmanaged Desktop Switches	20	5%
Total	380	100%

더 상세히 접근하여 스위치의 에너지 소비원을 카테고리 별로 분류하면 Fig. 9와 같다. 스위치의 가장 많은 에너지 소비는 패킷 프로세싱 시스템에서 일어나며 이것이 이 영역이 전력소비를 줄이기 위한 가장 좋은 시작점임

을 의미한다. 패킷 프로세싱 시스템은 Buffering, Lookup, Forwarding, Switching Fabric, I/O 등의 기능을 가지며 이들의 에너지 소비는 스위치 전체 소비의 60% 이상을 차지한다.



[Fig. 9] Typical switch power allocation [20]

3.2 유선 네트워크 장비의 에너지 절약 잠재성

지금까지 살펴본 네트워크 장비의 에너지 낭비의 주요 원인은 전통적인 인터넷의 설계 원리에 있다. 전통적인 인터넷은 에너지 효율의 극대화를 목적으로 하는 그린 네트워크와 위배되는 원리에 따라 설계되었다. 전통적인 인터넷 아키텍처는 QoS 지원이 부족하기 때문에 피크 시간에 트래픽을 지탱하고, 예기치 않은 이벤트들을 허락하기 위해 여분의 수용력을 가지도록 설계되었고, Fault tolerance를 위해 Redundancy를 부여한다. 이러한 Over-provisioning은 특히 적은 양의 트래픽 기간 동안 불필요한 에너지 낭비를 초래 하는 주요 원인이다. 이처럼 현재 인터넷은 에너지 절약의 많은 잠재성을 가지고, 그린 기술의 도입을 위한 많은 도전과제를 가진 영역으로, 기술적인 변화를 취하지 않을 경우, 인터넷은 향후 더욱 심각한 에너지 낭비를 초래 할 것이다.

Table 4는 2015~2020년 BAU 시나리오에서 이탈리아 네트워크 장비의 밀집도 및 에너지 요구량과, 그린 기술을 도입 했을 때의 영향력을 나타낸다. 이에 따르면 BAU 시나리오에서 액세스 네트워크 장비의 에너지 요구량은 전체 네트워크 장비 중 70% 이상을 차지한다. 만약 그린 네트워크 기술을 도입한다면, 전체 네트워크 장비에서는 연간 271TWh를 절약할 수 있고, 액세스 네트워크 장비에서는 연간 213TWh의 가장 큰 절감효과 (70%)를 얻을 수 있다.

오늘날 에너지 효율성을 향상시키기 위한 방법 중 링크 계층에서 가장 잘 알려진 방법은 IEEE 802.3az에서 다루어지는 EEE(Energy Efficient Ethernet)이다. 이더넷에서는 에너지 향상의 요인의 커다란 부분은 현재 이더넷 NIC가 그것이 유휴 상태일 때도 100% 파워를 소비한다는 것과 이더넷이 거대해졌다는 것에 기인한다. EEE는 이더넷 NIC의 미세한 파워 요구를 감소시킴으로써, 잠재적으로는 거대한 양의 에너지 절약을 유도할 수 있다. 이 개념은 Sleep과 Active 모드를 정의하여 에너지 절약을 유도한다. 데이터 전송이 없을 때는 NIC를 슬립 모드로 두며, Sleep 모드는 Active 모드의 전력사용의 약 10%만 소비하도록 한다.

[18]에 따르면, EEE를 도입했을 때 초기 추정치는 기가비트 이더넷에 낮은 이용률에서는 70%까지 전력 소비를 절약한다고 제시되었으며, 포트 PHY는 assigned와 occupied 포트에 대해 약 1.5W를 소비, unoccupied 포트에서 0.8W를 소비를 하는데, 70% 절약을 할 경우, assigned, occupied, unoccupied 포트에 각각 0.8W, 0.3W, 0.6W를 소비한다고 한다. EEE는 상위 계층에도 에너지 절약을 제공할 수 있는데, 포트 당 0.2W 정도의 추가적인 절약을 가져올 것으로 예상된다. 기가비트 이더넷을 지원하는 모든 장비에 EEE를 사용한다면 약 12%의 절약을 유도할 수 있을 것으로 예상되고 있다.

현재 네트워크 장비의 내부 Power Supply에 Energy Star의 요구사항과 유사한 Power Supply의 요구사항을 적용한다면 상당한 에너지 절약을 야기할 것이다. 현재 기업 네트워크 장비의 Power Supply는 75%의 효율성을 가지는데, 만약 85%의 효율적인 모듈로 대체된다면, 세계에서 대략 12%(2012년 기준)의 에너지 절약이 가능할 것으로 예측할 수 있다. 또한 현재 Switch Fabric을 성능과 포트 이용률에 기반 해 Capacity 변경을 가능하게 재 설계 한다면 전체 소모량의 25%까지의 절약이 가능할 것으로 기대된다. 대부분의 스위치는 평균 1~5%의 평균 이용률로 동작하기 때문에 상당한 에너지 절약이 가능하고, 이 방식을 라우터, 보안 장비 등에 도입할 경우 연간 8.3TWh(2012년 기준) 36%까지 절약 가능할 것으로 추정된다[18].

[Table 4] Impact of green technologies on the 2015-2020 perspective network in terms of energy savings [21]

	Full load power consumption (Wh)	Number of devices	Overall full consumption (GWh/year)	Percentage gains	Energy gains (GWh/year)
Home	10	17,500,000	1,533	70%	1,060
Access	1,280	27,344	307	70%	213
Metro/transport	6,000	1,750	92	54%	49
Core	10,000	175	15	58%	9
Overall gain				68%	
Total BAU(GWh/year)		1947		Total gains with green technologies (GWh/year) 1331	

그린 네트워킹에 대한 연구는 전통적인 인터넷에서 지원하던 네트워크 신뢰성과 QoS를 기존과 동일하게 유지하면서 에너지 효율성을 도입하는 것이 주요 과제이다. 그러나 현재의 기술적 접근들은 로컬 수준과 글로벌 수준의 종합적인 관점이 거의 존재하지 않는다. 대부분의 연구 작업은 로컬한 관점에서 이루어지고 있고, 이들 접근 중 가장 발전된 IEEE의 ALR(Adaptive Link Rate) 접근 방식 또한 로컬한 수준에서 Sleep과 Active상태를 결정하고, 이들 상태에 대한 인터벌 시간을 결정하기 위한 정확한 정보의 수집 방안에 대한 연구도 부족한 실정이다. 또한 현재 그린 네트워킹 관련 기술은 링크 계층의 기술 외에 다른 계층에서의 연구는 매우 부족한 실정이다. 그린 네트워킹은 그 규모로 인해 정확한 수치와 빠른 기술평가가 어려워 다른 접근과 비교해 연구가 덜 진행되어 있는 영역이다. 따라서 네트워크에서의 에너지 소모에 대한 정확한 수치자료를 기반으로 로컬 수준과 글로벌 수준의 종합적인 관점에서 세심한 고려가 필요하다. 이러한 사항들이 고려되어 네트워크에 다양한 계층의 그린기술이 종합적으로 널리 도입된다면, Fig. 7과 Table 4의 ECO 시나리오와 같이 전체적으로 20%~68% 이상의 절약이 가능할 것이며, 그에 따른 환경적, 경제적 효과와 에너지 공급에 있어 그 효과는 매우 클 것이다.

4. 결론

본 연구는 지금까지 환경, 경제, 에너지 자원의 측면에서 그린 네트워크의 배경과 동기를 상세히 제시하였고, 증가하고 있는 네트워크 연결성에 따른 에너지 소모량의 증가와 유선 네트워크의 에너지 관리의 중요성과 관련된 연구의 타당성을 제시하였다. 또한 다양한 최신 연구 데이터를 기반으로, 탐다운 접근을 통해, 네트워크 연결성을 갖는 모든 장비에서 시작하여 네트워크 장비의 에너지 소비량과 절약 잠재성을 종합적으로 상세히 분석하였으며 이러한 잠재성의 실현을 위한, 현재 기술적 접근의 한계점을 소개하였다.

미래 인터넷에서의 그리닝은 에너지 고갈과, 환경 문제로 인한 피할 수 없는 과제이다. 그러나, 현재 유선 네트워크는 그 영향력과 잠재성에 비해 에너지 효율성 향상에 대한 관심이 부족한 실정이다. 또한 기존의 유선 네트워크에 대한 연구도 그 규모로 인해 정확한 수치와 빠른 기술평가가 어렵고, 로컬 레벨과 글로벌 레벨 수준의 종합적인 관점에서 세심한 고려가 필요하다. 본 연구는 다양한 데이터를 통해 그린 네트워킹 관련 연구에 있어, 방향과 시작점을 제시하였으며 보다 활발한 그린 네트워

킹의 연구에 기여할 것으로 기대된다.

References

- [1] Cisco, "Cisco Ethernet Power Study of Cisco and Competitive Products", 2008,
- [2] R. Bolla, R. Bruschi, F.Davoli, F. Cucchietti, "Energy Efficiency in the Future Internet : A Survey of Existing Approaches and Trends in Energy-Aware Fixed Network Infrastructures", IEEE Communications Surveys & Tutorials, VOL.13, NO. 2, pp.223-244, May. 2011
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/SURV.2011.071410.00073>
- [3] IPCC(the Intergovernmental Panel on Climate Change), "2007: Climate Change 2007 Synthesis Report"
- [4] IARU(the International Alliance of Research Universities), "2009 Synthesis Report", Mar 10-12. 2009
- [5] IEA(International Energy Agency), "WORLD ENERGY OUTLOOK 2012",
- [6] B. Nordman "What the What the Real World Tells Us about Saving Energy in Electronics", presentation, at the 1st Berkeley Symposium on Energy Efficient Electronic Systems(E3S), June 11, 2009
- [7] Global e-Sustainability Initiative (GeSI), "GeSI SMART2020:Enabling the low-carbon economy in the information age", June. 2008
- [8] GeSI, "SMARTer2020: The Role of ICT in Driving a Sustainable Future", Dec. 2012
- [9] Cisco, "Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2011-2016", May. 2012
- [10] N. Stern(2006), "Stern Review on the Economics of Climate Change", HM Treasury. 2006
- [11] IPCC(the Intergovernmental Panel on Climate Change), "2007:Climate Change 2007 Mitigation",
- [12] BIO Intelligence, "Estimate of energy wasted by network-connected equipment Final Report", prepared for. Service Australian Government, Department of Climate Change and Energy Efficiency, June. 2011
- [13] EIA(U.S Energy Information Administration), "Short-Term Energy Outlook (STEO)", 2. 2013,
- [14] U.S. EIA website: "Electricity Supply, Disposition, Prices and Emissions, AEO 2012 Reference case"
<http://www.eia.gov/oiaf/aeo/tablebrowser/#release=AEO2013ER&subject=3-AEO2013ER&table=8-AEO2013ER®ion=0-0&cases=full2012-d020112c>, (accessed June 9, 2013)

[15] NUS (National Utility Service) Consulting Group, "2011-2012 International Electricity & Natural Gas Report & Price Survey", June. 2012

[16] IEA(International Energy Agency), "Energy Technology Perspectives 2012"

[17] IEA(International Energy Agency), "Worldwide Trends in Energy Use and Efficiency", 2008,

[18] Lawrence Berkeley National Laboratory, "Data Network Equipment Energy Use and Savings Potential in Buildings", ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, June. 2010
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12053-011-9136-4>

[19] Website:http://www.world-nuclear-news.org/RS_Is_there_life_after_sixty_0302121.html, (accessed July 2, 2013))

[20] HP Development Company, "Energy Efficient Networking Business white paper", May, 2010

[21] R. Bolla, R. Bruschi, etc. "The Potential Impact of Green Technologies in Next Generation Wireline Networks : Is There Room for Energy Savings Optimization?," IEEE Communication Magazine, pp. 80-86, Aug., 2011
DOI : <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=5978419>

서 유 화(Yu-hwa Suh)

[정회원]



- 2003년 2월 : 송실대학교 컴퓨터 학부 졸업 (공학사)
- 2005년 8월 : 송실대학교 컴퓨터 학과 (공학석사)
- 2007년 11월 ~ 2009년 10월 : 정보통신연구진흥원((현)정보통신산업진흥원) 연구원
- 2006년 3월 ~ 현재 : 송실대학교 컴퓨터학과 박사과정

<관심분야>

Green Networking, Wireless networks, VLAN

김 기 영(Ki-Young Kim)

[정회원]



- 1996년 2월 : 상지대학교 전자계산학과 (이학사)
- 1995년 12월 ~ 1997년 2월 : 삼보정보통신 기술연구소 연구원
- 1999년 2월 : 송실대학교 컴퓨터 학과 (공학석사)
- 2003년 8월 : 송실대학교 컴퓨터 학과 (공학박사)
- 2004년 3월 ~ 현재 : 서일대학 소프트웨어과 조교수

<관심분야>

Mobile Computing, Multicast, ITS, 네트워크보안