

Energy Profile에 기반한 OSPF 라우팅 방식의 에너지 절약 특성

서 유 식*, 한 치 문^o

Energy Saving Characteristics of OSPF Routing Based on Energy Profiles

Yusik Seo*, Chimoon Han^o

요 약

오늘날 IP 네트워크에서 소모되는 에너지를 줄이기 위해 여러 곳에서 다양한 방법으로 연구되어 왔다. 본 논문은 다양한 에너지 프로파일을 갖는 IP 네트워크에서 에너지를 감소시키는 한 방법을 제안하고, 그 특성을 자세히 분석한다. 에너지 프로파일 기반 OSPF 라우팅 방식을 제안하면서, 경로 설정 시 기존 OSPF 방식의 metric과 네트워크 소자의 에너지 소모량에 가중치를 부여하여, 최대 에너지 절약 효과를 얻기 위해 다양한 경우에 대해서 분석한다. 그 결과 본 논문의 제안 방식은 IP 네트워크의 각 소자에 랜덤한 에너지 프로파일을 적용하면, 입력 라우터의 평균 입력 부하가 0.5일 때 기존의 운영 방식에 비해 67% 정도 에너지를 절약 할 수 있음을 확인한다. 그리고 본 방식의 알고리즘은 최소 에너지 소모가 되도록 라우팅하기 때문에 기존 라우팅 방식에 비해 경로의 홑 수가 다소 증가하고 있지만, 평균 홑 수 증가는 1.4홑 이내로 제한되고 있다. 그리고 본 방식이 실제 IP 네트워크 적용될 때, 에너지 절약 효과가 우수함을 나타낸다.

Key Words : Energy Saving, Energy Aware Routing, Energy Profile, Energy Profile based OSPF Routing, EPAQ(Energy Profile Aware QoS)

ABSTRACT

Nowadays the research of energy saving on the IP networks have been studied the various methods in many research institutes. This paper suggests the energy saving method in IP networks which have the various energy profiles, and analyzes its energy saving characteristics in detail. Especially this paper proposes the energy profile based OSPF routing method which have the selectable weighted value in OSPF metric and energy consumption in IP network. This paper analyzes the energy saving effects of the various situations to minimize the energy consumption using the various weighted value on the proposed scheme. The results show that the energy saving efficiency can get about 67% at in ingress input load $\rho=0.5$ by using random energy profiles in IP networks. Although the number of hops is a slight increased due to routing the paths for the minimum energy consumption in the algorithm of this method, the increment hop number is limited the mean 1.4 hops. This paper confirms that the energy profile of core router has the large effects of energy saving than the energy profile of edge router, and the proposed method has the excellent energy saving characteristics in IP networks.

* 본 논문은 2015년도 한국외국어대학교 교내 연구비 지원에 의해 수행되었음.

• First Author : Hankuk University of Foreign Studies, Department of Electronics Engineering, yu-sik0310@nate.com, 학생회원

o Corresponding Author : Hankuk University of Foreign Studies, Department of Electronics Engineering, cmhan@hufs.ac.kr, 종신회원
 논문번호: KICS2015-04-086, Received April 2, 2015; Revised June 9, 2015; Accepted July 7, 2015

I. 서론

오늘날 현대사회에서 에너지 절약은 가장 중요한 이슈 중 하나다. 특히 네트워크 고객의 증가, 클라우드 아키텍처를 이용한 on-demand 서비스, 모바일 인터넷, 광대역 액세스의 보급, ISP(Internet service providers)가 제공하는 서비스의 증가 등으로 인하여 네트워크 규모가 나날이 커지고 있다. 이에 따른 네트워크 에너지의 사용량도 급격하게 증가하고 있다. 2005년 유럽 인터넷 사업자의 에너지 소비량은 14 TWh 였으나, 2010년에는 21 TWh로 증가하였다. 이러한 추세라면 2020년에는 약 36 TWh로 늘어날 것으로 예측하고 있다¹⁾. 이처럼 최근 인터넷 수요의 폭발적인 증가로 인해, 인터넷이 에너지 소모의 주요 요소로 등장하고 있다.

최근 네트워크 에너지 절약에 관한 연구는 시스템 설계^[2,3,9,11], 라우팅 설계^[4-6,10] 및 네트워크 설계^[7] 관점에서 이루어지고 있다. 오늘날 IP 네트워크는 일일 대비 피크 부하는 거의 발생하지 않음에도 불구하고, 항상 네트워크 장비는 피크 부하로 동작시켜 에너지를 소모시키고 있다. 이는 네트워크 규모가 작은 경우에는 큰 영향을 미치지 않지만 갈수록 거대해지는 네트워크 분야에서의 에너지 효율 문제는 더욱더 중요한 연구로 부각 되고 있다.

본 논문에서는 라우터 및 링크로 구성되는 IP 네트워크의 전력 소모를 줄이기 위해 EPAR(Energy Profile Aware Routing) 방식에 대해 초점을 맞추고, 에너지 절약 방법을 검토한다. 네트워크 소자에 대한 에너지 프로파일 정보는 라우터 간에 교환하는 LSP(Link State Packet)를 이용하면, 미리 알 수 있다고 가정 할 수 있다.

현재 알려진 에너지 프로파일 모델은 입력 부하에 따라 에너지 소모량을 나타내는 모델로, 다양한 형태로 표현되고 있다⁶⁾. 인터넷 구성은 여러 개의 AS(Autonomous System)과 이들 사이를 연결하는 백본 네트워크(backbone network)로 구성되며, AS내에서는 Dijkstra 알고리즘을 이용하는 OSPF(Open Shortest Path First) 프로토콜을 사용하고 있다. 본 논문에서는 기존의 OSPF 라우팅에 네트워크 소자의 에너지 프로파일을 고려한 라우팅 방법을 도입한다. 기존 방식에서 네트워크의 QoS(Quality of Service) 즉, 최대지연이나 패킷 손실 등을 일정 값 이하로 조절할 수 있도록 라우터 및 링크의 용량을 적절한 값으로 제한 할 수 있도록 한다.

본 논문에서는 링크 및 노드의 최대 이용률을 제한

하여 네트워크의 QoS를 일정 값으로 유지가 가능하고, 에너지 절약 효과의 극대화가 가능한 방법으로 각 디바이스의 에너지 프로파일을 고려하여 SPT(Shortest Path Tree)를 찾는 방법을 나타내고, 그 방법을 정식화하고자 한다. II장에서는 에너지 효율 증대를 위해 네트워크 계층에서 에너지 절감 라우팅에 관련된 연구와 문제점을 나타낸다. III장에서는 Energy Profile에 기반한 OSPF 라우팅 방식의 알고리즘을 나타낸다. IV장에서는 본 방식의 특성을 제시하기 위해 시뮬레이션을 통한 Energy 절약 특성 및 그 결과를 평가한다. V장에서 결론을 맺는다.

II. 관련연구

2.1 Energy Aware Routing(EAR) 관련 연구

IP 네트워크에서 에너지 절약을 위한 한 방안으로 소자의 에너지 프로파일을 이용한 EAR(Energy Aware Routing) 방식에 관한 연구는 널리 수행되고 있다.^[4-6] EAR 방식은 네트워크가 소자(노드)의 에너지 프로파일을 알고 있다고 가정하였다. 그리고 이 소자의 에너지 프로파일은 소자의 입력 부하의 함수로 구성되며, 5 종류로 구분하고 있다⁴⁾. 따라서 EAR 방식에서는, IP 네트워크의 각 노드가 소모하는 에너지의 총합이 최소가 되도록 최적화 문제를 수행하고 있다⁴⁾. 이 방법은 에너지 소모를 최소화하는 최적 라우팅을 수행하는 방법이 복잡하고, 현실성이 떨어지고 있다. 논문^[5]에서는 DPRA (Dijkstra-based Power-aware Routing Algorithm)을 이용하여 에너지 소모를 최소화하는 방법을 제안하고 있다. 이 방법도 라우팅 matrix로 에너지 소모량을 기반으로 하는 점에서 평가 받을 만하다. 논문^[4,5]에서 설명한 방식은 IP 네트워크에서 소모하는 총에너지 목적 함수로 두고, 이 목적 함수가 소모하는 에너지가 최소가 되도록 라우팅하는 방법이지만, 네트워크의 품질을 고려하지 않고 있다. 한편으로 IP 네트워크에서 에너지 절약을 위해 네트워크가 처리하는 총 트래픽양이 일정 값 이하가 되면, 네트워크 내의 링크를 대기 상태로 만들어서 링크 양단의 NIC(Network Interface Card) 카드가 소모하는 에너지를 감소시키는 라우팅 프로토콜에 대한 연구도 수행되고 있다⁸⁾. 이와 같이 에너지 절약을 위해 다양한 방법이 연구되고 있다.

본 논문은 OSPF 프로토콜에서 기존의 matrix에 더해 에너지 소모량을 고려한 라우팅 방법에 대해 연구한다. 이를 통해 IP 네트워크가 소모하는 에너지가 최소화되도록 한다. 이 경우 코스트 계산량은 기존 방

법에 비해 조금 증가 하지만, 오늘날 라우터의 프로세서 성능을 고려 할 때 문제가 되지 않을 것으로 판단된다. 특히 본 방식은 기존 네트워크의 라우터의 특성을 고려하고, 라우터의 구성 모듈별 상이한 에너지 프로파일을 가질 수도 있는 특징을 가지며, 서로 상이한 가중치를 가질 수도 있다. 이 내용은 III장에서 자세히 설명한다.

2.2 네트워크 소자의 Energy Profile 특성

네트워크 소자가 소모하는 에너지 프로파일은 다양하게 표현 될 수 있지만, 소자(모듈, 혹은 블록 등)에 가해지는 입력 부하에 따라 소자가 소모하는 에너지 양을 나타내는 것이 가장 일반적이며 현실적이다. 따라서 Energy Profile(EP)은 입력 부하의 함수로 나타내며, 현재 기술적으로 가능성이 있는 소자 에너지 프로파일 모델로 참고문헌^[4]에서 제시한 것을 그림 1에 나타냈다. 일반적으로 에너지 프로파일 모델을 적용할 경우, 공통적으로 소모되는 기본적인 전력 소모는 에너지 프로파일을 약간 수정으로 보정 할 수 있다.

그림 1의 가로축은 소자에 입력되는 부하이며, 세로축은 소비하는 전력이며, 최대 소모 전력량으로 정규화 한 값이다. 첫째, on/off 모델은 전원 on 시 항상 최대 전력을 소모하며, off 시에는 전혀 소모하지 않은 모델이다. 즉 항상 에너지 소모가 최대인 상태로 동작하는 것을 말하며, 이러한 모델은 현존하고 있는 대부분의 시스템에 적용되고 있다고 본다. 둘째, liner 모델은 트래픽 부하에 비례하여 소자가 에너지를 소모하는 것을 말한다. 셋째, cubic 모델은 DVS / DFS (Dynamic Voltage Scaling / Dynamic Frequency Scaling)와 같은 에너지 절감 기술을 사용하여 구현된

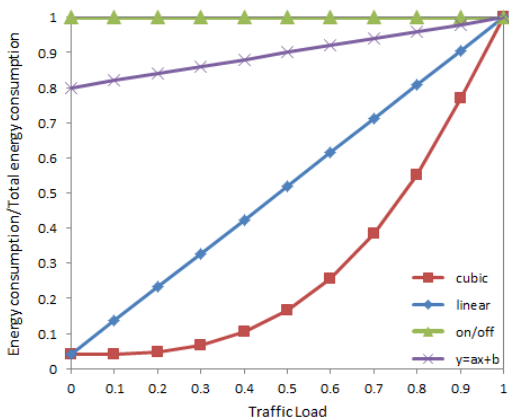


그림 1. 에너지 프로파일 모델
Fig. 1. Energy profile model

소자라 생각 할 수 있다. 넷째, $y=ax+b$ 형 모델은 선형 모델을 현실적으로 변형시킨 모델이다. 즉 부하가 인가되지 않을 때, sleeping 모드에서 소모하는 전력이다. 그리고 입력 부하에 따라 소자는 선형적으로 에너지를 소모하는 형태이다.

일반적으로 네트워크 장비의 에너지 소모는 트래픽 부하, 온도, 서비스 품질(QoS) 정책 및 바닥 면적 등에 의존한다. 이처럼 트래픽 부하 외에도 여러 요소에 의해 에너지 소모량이 결정된다. 그러나 본 논문에서는 해석을 간단히 하기 위해, 네트워크 소자는 입력 부하에 따라 에너지를 소모하는데, 앞서 설명한 4가지 유형 중에 하나로 동작한다고 가정한다.

III. Energy Profile에 기반한 OSPF 라우팅 방식

3.1 라우터의 일반적 구조

IP 네트워크는 라우터와 라우터 간을 연결하는 링크로 구성되어 있다. 일반적으로 라우터 구조는 그림 2처럼 2계층 IP over WDM 형태로, 논리적인 IP 토폴로지가 optical WDM 네트워크로 맵핑되며, 단일 방향인 각 IP 링크는 고정된 WDM 광 패스에 대응된다.

IP 스위치 구조(switch fabric) 및 제어 부분은 IP 라우팅 기능을 담당하고 있는 라우터의 코어 부분이다. NIC(Network Interface Card)는 라우터에 의한

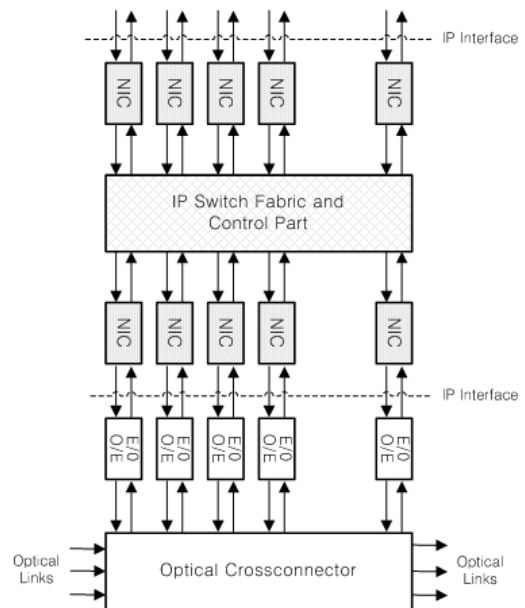


그림 2. IP over WDM 구조의 라우터
Fig. 2. Architecture of IP over WDM router

논리적인 IP 링크의 시작 혹은 종료 기능을 수행한다. 본 논문에서는 IP 스위치 구조 및 제어부분 즉, 라우터의 코어 부분과 NIC 카드는 사용 부하에 따른 다양한 형태의 에너지 소비 프로파일을 갖는다고 가정한다. NIC는 E/O(Electric/Optic) 또는 O/E(Optic/Electric) 기능을 통해 OXC(Optical Cross Connector)와 접속된다. NIC 카드는 optical 계층 없이 직접 링크에 접속될 수 있다.

본 논문에서는 IP 네트워크 구성 소자인 라우터 및 링크를 이용하여, 네트워크가 소모하는 에너지를 절약 하는데 초점을 둔다. 각 라우터는 코어 부분 및 NIC 카드 별로 각각 에너지 프로파일을 가지고 있으며, NIC 카드는 송수신 별도로 제어될 수도 있으며, 동시에 여러 개의 NIC 카드를 단일 보드에 장착할 수도 있다.

본 논문에서는 입출력 인터페이스 모듈, 스위치 및 제어모듈별로 에너지 프로파일을 갖는다고 가정하며, 이러한 모듈은 앞 장에서 설명한 에너지 프로파일 모델 중에 하나라고 가정한다.

3.2 EP(Energy Profile) 기반 OSPF 라우팅 알고리즘

일반적으로 IP 네트워크는 방향 그래프 $G(N,L)$ 로 나타낼 수 있다. 여기서 N 은 노드의 집합, L 은 링크의 집합이다. 라우팅 방식은 AS(Autonomous System) 내에서 노드 간 SPT(Shortest Path Tree) 설정을 위해 Dijkstra 알고리즘을 이용하는 OSPF 프로토콜을 사용하고 있다. 이때 IP 네트워크에 입력된 트래픽 부하는 ingress와 egress 라우터의 (s,d) 쌍에서 노드 s 와 노드 d 사이에서 흐르는 트래픽을 r_{sd} 로 정의한다. 트래픽 r_{sd} 는 임의의 링크 (i,j) 을 통해 트래픽 F_{ij}^{sd} 을 발생시키면서 소스 노드(s)에서 목적지 노드(d)로 네트워크를 통해 전달된다.

EPAR(Energy Profile Aware Routing) 방식은 식(1)과 같이 네트워크가 소모하는 총에너지가 최소인 경로로 라우팅 하여야 한다.

$$\text{minimize } \sum_{n \in N} EP_{n,L(n)} \quad (1)$$

여기서 $EP_{n,L(n)}$ 은 노드 n 이 부하가 $L(n)$ 일 때 소모하는 에너지를 나타낸다. 이때 네트워크 내에 흐르는 트래픽은 식(2)의 조건을 만족한다. 식(3)과 식(4)은 네트워크 내에서 각 링크에 흐르는 트래픽 용량 및 노드가 처리하는 용량을 나타낸다. 여기서

$\alpha, \beta(0 < \alpha, \beta < 1)$ 는 네트워크의 QoS 조건을 만족시키기 위해 링크에 흐르는 트래픽 및 노드의 처리 용량을 제한하는 상수 값이다.

$$\sum_{(i,j) \in N^2} F_{ij}^{sd} - \sum_{(j,i) \in N^2} F_{ji}^{sd} = \begin{cases} r_{sd} & \forall (s,d) \in N^2, i = s \\ -r_{sd} & \forall (s,d) \in N^2, i = d \\ 0 & \forall (s,d) \in N^2, i \neq s, d \end{cases} \quad (2)$$

$$\sum_{(s,d) \in N^2} F_{ij}^{sd} = L_{ij}(T) \leq \beta L_{ij}(C) \quad \forall (i,j) \in L \quad (3)$$

$$\sum_{n \in N} F_{ni}^{sd} = N_i(T) \leq \alpha N_i(C) \quad \forall i \in N \quad (4)$$

식(1)을 만족하는 최적 조건은 구하는 라우팅은 MIP(Mixed Integer Programming)에 의해 구할 수 있지만⁴⁾, 이는 최소 에너지 소모 관점에서 라우팅 하므로, 에너지 프로파일을 적용한 OSPF 라우팅 방식과 차이가 있다. 본 논문에서는 최소 에너지 소모량과 OSPF 라우팅을 동시에 고려하기 위해, SPT 설정 시에 지금까지 적용한 두 노드 간의 링크 코스트 외에 에너지 요소를 추가하여 적용한다. 그리고 네트워크를 구성하는 라우터에 각 기능별로 고유한 에너지 프로파일을 가지고 있고, 각 노드는 이웃 노드의 각 부분의 에너지 프로파일을 주기적으로 파악하고 있다고 가정한다.

네트워크에서 입출력(ingress와 egress 라우터)간 새로운 경로 설정 시, 각 노드의 입력 출력단, 스위치 및 제어부를 경유하여 다음 노드에 접속된다. 특히 각 노드에서 각 부분별 소모하는 에너지가 다르므로 각 부분별 에너지 프로파일을 이용하여 총 소모하는 네트워크 에너지가 최소인 경로로 라우팅 한다.

따라서 본 논문에서 경로 라우팅 시, 노드 i 와 노드 j 사이의 코스트, $Cost_{ij}$ 는 식(5)와 같이 에너지 함수를 포함시킨다. 여기서 노드 i 와 노드 j 는 인접 노드를 의미한다.

$$Cost_{ij} = K_{ij} \cdot dist_{ij} + K_{li} f_{nic}(x_{ij(o)} + r_{sd}) + K_{CNj} f_{sw}(x_j + r_{sd}) + K_{lj} f_{nic}(x_{ij(i)} + r_{sd}) \quad (5)$$

여기서 $dist_{ij}$ 는 기존의 Dijkstra 알고리즘에서 노드 i 와 노드 j 사이의 거리 벡터에 의한 코스트를 의

미한다. $f_{nic}(x_{ij(o)})$ 는 노드 i 에서 노드 j 로 향하는 노드 i 의 NIC 카드의 출력 부하가 x 일 때, 그리고 $f_{nic}(x_{ij(i)})$ 는 노드 i 에서 노드 j 로 향하는 노드 j 의 NIC 카드의 입력 부하가 x 일 때, 단방향 NIC 카드의 에너지 소모량이다. $f_{sw}(x_j)$ 는 노드 j 의 부하가 x 일 때 노드의 스위치 및 코어 부분의 에너지 소비량을 나타낸다. $K_{ij}, K_i, K_j, K_{CN_j}$ 는 각각 링크 ij , 노드 i 및 노드 j 에 접속된 각 NIC 카드, 노드 j 의 스위치 및 코어 부분에서의 에너지 소모량에 따른 가중치를 나타낸다. 그리고 x_j 는 노드 j 에서 처리하고 있는 트래픽 부하($x_j + r_{sd} < 1$)이며, r_{sd} 는 새로운 경로로 전달될 트래픽양이다. 식(5)에서 가중치 $K_{ij} = 1, K_i = 0, K_j = 0, K_{CN_j} = 0$ 로 두면, 식(6)과 같이 되어 기존의 OSPF 라우팅 방법과 같다.

$$Cost_{ij} = dist_{ij} \quad (6)$$

식(5)는 ingress 라우터와 egress 라우터 사이에 새로운 부하 r_{sd} 인 새로운 경로를 설정하려고 할 때, 에너지를 고려한 코스트가 최소가 되도록 노드 i 에서 다음 노드 j 를 찾기 위해 사용한다. 이 방법은 기존의 $dist_{ij}$ 외에 노드 i 의 출력 NIC에서 소모하고 있는 에너지와 새로운 트래픽 r_{sd} 에 의해 소모될 에너지를 고려한 에너지 $f_{nic}(x_{ij(o)} + r_{sd})$ 와 노드 j 의 입력 NIC에서 새로운 트래픽 r_{sd} 에 의해 소모될 에너지 $f_{nic}(x_{ij(i)} + r_{sd})$, 그리고 노드 j 의 스위치 및 코어 부분에서 소모될 에너지 $f_{sw}(x_j + r_{sd})$ 의 비율을 고려하여, $Cost_{ij}$ 가 최소인 노드 j 를 선택되고 있다. 각 노드는 노드 자체가 처리하는 부분적인 에너지 프로파일 외에 노드 자체의 에너지 소모량을 가지고 알고 있다고 가정한다.

본 방식에서 식(3) 및 식(4)의 α, β 이용하여 식(2)의 네트워크 링크로 흐르는 트래픽양을 조절함으로써 end-to-end 지연과 패킷 손실 요구 특성을 만족 시킬 수 있다. 따라서 식(3)에서 링크의 최대 이용률 β 로 각 링크 내에 흐르는 트래픽 용량과 식(4)에서 각 노드의 처리율을 α 로 제한하여 적용 시킬 수 있다.

식(3)의 $L_{ij}(C)$ 및 $L_{ij}(T)$ 는 링크 ij 의 최대 용량과 링크 ij 에 흐르는 트래픽양을 나타낸다. 식(4)의 $N_i(C)$ 및 $N_i(T)$ 는 노드 i 의 최대 처리 용량과 현재 처리하고 있는 부하를 나타낸다. 일반적으로 노드의 처리 용량은 링크의 수를 감안하여 설계하고 있다.

IP 네트워크에서 에너지 소모를 최소화하기 위해서는 식(3), 식(4)와 식(5)의 조건을 적절히 설계하여 네트워크에서 소모되는 전체 에너지가 최소화되도록 할 수 있으며, 또 네트워크 QoS를 만족하도록 조정할 수 있다.

본 논문에서 제시한 EP 기반 OSPF 라우팅 알고리즘의 pseudo code를 그림 3에 나타냈다. 그림 3에서 초기 조건으로 네트워크 토폴로지 $G(N, L)$, 링크 및 노드의 초기 트래픽 처리량 $L_{ij}(T) = 0, N_j(T) = 0$, 노드의 초기 에너지 소모량 $N_j(E) = 0$, 모든 경로의 홉 수 $N_i(h) = 0$, 각 링크의 적정 초기 코스트 $Cost_{ij} = \gamma$ 로 한다. 입력으로 링크 및 노드의 최대 사용량의 제한 값 α, β 와 Dijkstra 알고리즘에서 사용할 상수 $K_{ij}, K_i, K_j, K_{CN_j}$ 그리고 각 노드의 에너지 프로파일 EP_i (NIC 및 스위치 코어의 각 에너지 프로파일), 각 ingress 라우터의 입력 부하 ρ 를 입력한다.

라인 1에서 각 IR (Ingress Router) 라우터에서 입력 부하 ρ 를 이용하여 모든 ER (Egress Router) 라우터로 향하는 r_{sd} 를 계산한다. 이때 모든 출력으로 균등하게 계산 할 수도 있고, 랜덤한 비율로 계산 할 수 있다. 라인 2에서는 임의의 IR 라우터에서 최적 경로를 찾기 시작한다. 라인 3에서 라인 10까지는 임의의 IR 라우터의 각 r_{sd} 에 대해 식(5)를 이용한 Dijkstra 알고리즘을 동작시킨다. 이때 링크 및 노드의 용량을 초과하지 않는 최적 경로를 찾고, 각 경로 및 노드가 현재 처리하는 트래픽 양을 수정한다. 그리고 각 노드

```

Initial condition :  $G(N, L), L_{ij}(T) = 0, N_j(T) = 0, N_j(E) = 0$ 
                    $N_i(h) = 0, Cost_{ij} = \gamma$ 

Input: constant= $\alpha, \beta, K_{ij}, K_i, K_j, K_{CN_j}, EP_i$ , input load  $\rho$ 

1. Calculate each  $r_{sd}$  from input load  $\rho$  at each IR(ingress router)
2. repeat for each IR(ingress router)
3.   for each  $r_{sd}$  {
4.     run Dijkstra's algorithm between  $s$  and  $d$  with  $Cost_{ij}$ 
       using eq.(5)
5.     if  $(L_{ij}(T) + r_{sd} \leq \beta$  and  $N_j(T) + r_{sd} \leq \omega)$ {
6.       up date  $L_{ij}(T), N_j(T), N_j(E)$  on  $sd$  path
7.        $N_i(h) + =$  node number of  $sd$  path hop
8.     }
9.     else {
10.      blocking of link  $L_{ij}$ 
11.      go to line 4
12.    }
13.  }
14. until  $\forall$  IR(ingress router)
15. sum  $N_j(E), N_i(h)$ 
    
```

그림 3. EP 기반 OSPF 라우팅 알고리즘의 pseudo code
Fig. 3. Pseudo code of EP based OSPF routing algorithm

가 소모한 에너지양과 각 경로가 통과한 홉 수를 누적 통계한다. 그리고 다른 IR 라우터에 대해 동일한 방법을 수행하고, 모든 IR 라우터에서 행한다. 그 결과 네트워크가 소모한 에너지 총량 및 총 통과한 홉 수가 계산된다.

이상의 과정에서 본 알고리즘을 수행하였을 경우, 총에너지 소모량과 경로당 증가한 평균 홉 수의 계산이 가능하다.

IV. Energy 절약 특성 및 평가

4.1 시뮬레이션 모델 및 방법

본 논문에서 제안한 EP(Energy profile)기반 OSPF 라우팅 방식의 에너지 절약 특성을 평가하기 위해 그림 4와 같이 네트워크를 구성 하였다.

1번에서 22번 노드는 edge 라우터이고 23번에서 44번 노드는 core 라우터에 해당한다. 각 edge 라우터는 ingress/egress 라우터 기능을 한다. 각 IR 라우터에 인가된 부하는 모든 ER 라우터로 랜덤한 비율로 전달되며, 각 ER 라우터로 전달되는 부하의 총합은 IR 라우터의 입력 부하와 같도록 하였다. 이때 라우팅 시 식(4)의 가중치 K_{ij} , K_{li} , K_{lj} , K_{CNj} 는 조절 할 수 있으며, 과부하에 의한 패킷 지연의 증가 및 손실을 방지하기 위해 링크의 최대 이용률 β 및 노드의 최대 처리율 α 를 0.7로 제한하였다. 그리고 각 edge 노드의 입력 단에 트래픽 발생기를 접속하고, 그림 1의 에너지 프로파일 모델을 이용하여 시뮬레이션 하였다. C 언어로 구현하였으며, 각 출력 데이터는 5회의 결과 값을 평균하였다. 네트워크 규모에 따라 결과는 약간의 차이가 있으나 동일한 경향으로 나타날 것으로 예측된다.

본 논문에서의 에너지 절약 특성은 기존의

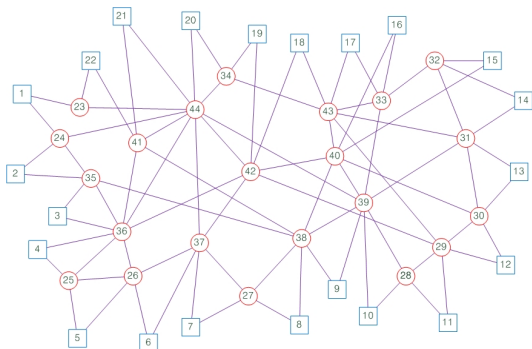


그림 4. 네트워크 시뮬레이션 모델
Fig. 4. Network simulation model

ON/OFF 모델에 비해 에너지 절약 비율을 식(6)과 같이 나타냈고, 본 알고리즘 적용에 따라 달라지는 경로의 특성은 기존 방식과 비교하여 증가한 평균 홉 수로 나타냈다.

$$ES_{eff}(\%) = \frac{\sum_i On/off_{ep} - \sum_i Applied_{ep}}{\sum_i On/off_{ep}} \times 100 \quad (6)$$

여기서 On/off_{ep} 는 ON/OFF 모델의 에너지 프로파일을 이용하였을 때 총에너지 소모량이며, $Applied_{ep}$ 는 비교하고자 하는 다른 에너지 프로파일을 사용하였을 때 총에너지 소모량을 말한다.

4.2 특성 분석 및 평가

본 논문에서 제안한 EP 기반 OSPF 라우팅 방식의 에너지 절약 특성을 평가하기 위해 다음과 같이 파라미터 값들을 변화 시키면서 분석하였다.

- 코스트 $Cost_{ij}$ 계산할 때, 각 가중치의 변화에 따른 에너지 절약 특성의 변화를 분석한다.
- 각 라우터의 에너지 프로파일에 따른 에너지 절약 특성의 변화를 분석한다. 이 경우 각 라우터의 다양한 에너지 프로파일 그리고 네트워크에서 혼합된 에너지 프로파일이 존재하는 경우에 대해서 자세히 조사 분석하였다.

4.2.1 라우터의 가중치 비율 변화에 따른 에너지 절약 특성

$Cost_{ij}$ 를 계산하기 위해 거리 metric과 에너지 가중치에 대한 비율이 요구되며, 에너지 가중치는 식(5)의 가중치 K_{li} , K_{CNj} , K_{lj} 값이다. 이는 링크 i 및 링크 j 에 접속된 각 NIC 카드, 노드 j 의 스위치 및 코어 부분에서의 에너지 소모량에 따른 $Cost_{ij}$ 값 가중치를 나타낸다. 가중치에 따른 에너지 절약 특성을 파악하기 위해 표 1과 같이 적용했다.

표 1. 에너지 소모량에 따른 가중치 비율
Table 1. Rate of weighted value for energy saving evaluation

Case	비율	Metric Weight	Energy Weight		
		K_{ij}	K_{li}	K_{CNj}	K_{lj}
(1)	1:4	1	1	2	1
(2)	1:6	1	1	4	1
(3)	1:12	1	2	8	2
(4)	1:18	1	3	12	3

표 1은 코스트 $Cost_{ij}$ 계산 시 거리 metric과 에너지 소모량의 적용 비율이며, 4 가지 경우에 대해 Cubic EP(Energy Profile)을 라우터에 적용하여 에너지 절약 특성과 홉 증가 특성을 조사하였다. 그 결과를 그림 5와 그림 6에 나타냈다.

그림 5의 가로축은 각 ingress 라우터의 입력 부하이며, 세로축은 식(6)과 같이 on/off 에너지 프로파일 이 소모하는 에너지를 기준으로 정규화 한 값이다. 적용한 라우터의 코어 부분의 에너지 소모가 각 링크의 NIC 에너지 소모보다 크다고 가정하였다. 이는 표 1에서 보면 알 수 있듯이 K_{CNV} 값이 크다. 그리고 스위치 및 제어 부분의 처리 용량이 링크 처리 용량의 링크 수만큼 크다고 가정하였다.

그림 5에서 보면, 가중치 값 변화에 따른 에너지 절약 특성은 변화는 볼 수 없다. 그 이유는 식(5)에서 경로 라우팅은 최소 에너지를 소모하는 경로를 찾기 때문에, 가중치 값 변화에 의한 에너지 소모의 변화는 거의 없다. 그러나 경로의 홉 수의 변화는 그림 6에서

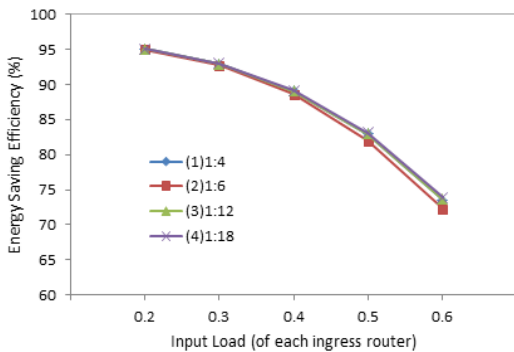


그림 5. 가중치변화에 따른 Cubic EP의 에너지 절약 특성
Fig. 5. Energy saving characteristics of Cubic EP model according to the weighted value

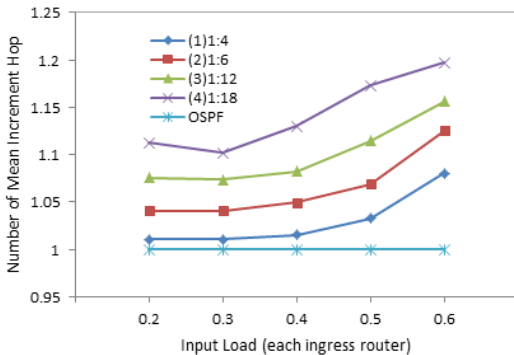


그림 6. 가중치변화 에 따른 Cubic EP의 홉 수 증가 특성
Fig. 6. Hop increment characteristics of Cubic EP model according to the weighted value

알 수 있다.

그림 5에서 가중치 값의 변화에 따른 에너지 절약 특성의 효과는 미미하지만, 기존 OSPF 라우팅 방식에 비해 경로의 홉 수의 증가 특성은 차이가 있음을 알 수 있다. 즉, 가중치 값이 증가하면 할수록 평균 홉 수가 많이 증가함을 알 수 있다. 이는 제한한 라우팅 방식이 에너지 소량이 최소인 경로를 선택하기 때문에, 에너지 가중치 큰 경우 즉 case 4가 평균 홉 수의 증가가 높음을 알 수 있다. 다시 말하면, 에너지 프로파일의 가중치 비율이 커짐에 따라 경로 홉 수가 증가함을 볼 수 있다. 이와 같은 현상은 다른 에너지 프로파일에서도 같은 경향이 나타났다.

따라서 스위치 및 제어 부분의 가중치 K_{CNV} 가 적은 시스템을 설계 제작하면, 경로 증가를 최소화 할 수 있음을 유추 할 수 있다. 이하 에너지 절약 특성을 파악하기 위해, 가중치 $K_{ij}, K_{li}, K_{CNV}, K_{lj}$ 의 비율은 1,1,2,1을 적용한다.

4.2.2 노드의 에너지 프로파일이 동일한 경우

IP 네트워크의 모든 라우터의 에너지 프로파일이 동일한 경우, EP(Energy Profile)에 따른 에너지 절약 특성을 그림 7에 나타냈다. 그림 7에서 보면, 각 ingress 라우터에 인가되는 평균 부하가 증가하면, 에너지 절약 효율이 낮아지고 있다. 이는 그림 1에서 볼 수 있듯이 모든 에너지 프로파일이 부하가 증가 할수록 에너지 소모가 증가하는 모델이기 때문이다. 각 라우터의 평균 입력 부하가 0.5일 때, cubic 에너지 프로파일을 적용하면 on/off 에너지 프로파일에 비해 약 82% 절약 할 수 있음을 알 수 있다. Linear 에너지 프로파일인 경우 약 53% 절약이 가능하다. $y=ax+b(a=0.2, b=0.8)$ 프로파일 모델인 경우는 약

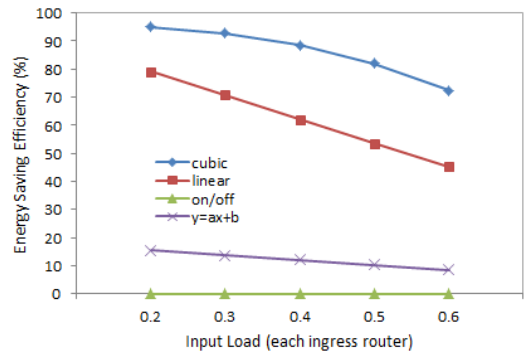


그림 7. 에너지 프로파일이 동일한 경우의 에너지 절약 특성
Fig. 7. Energy saving characteristics in case of all same EP model

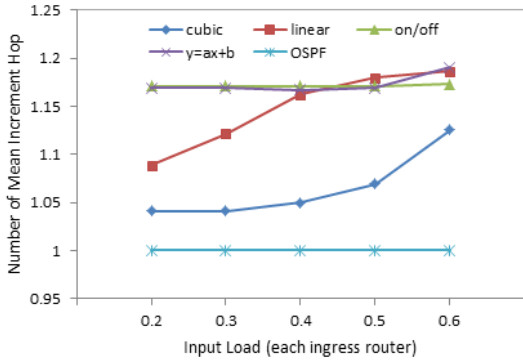


그림 8. 에너지 프로파일이 동일한 경우 홉 수 증가 특성
Fig. 8. Hop increment characteristics in case of all same EP model

10% 절약이 가능하다. 이 경우는 a 및 b 값에 따라 에너지 절약 효과의 차이는 크다. 에너지 프로파일 모델에 따른 경로 증가 특성은 그림 8에 나타났다.

전반적으로 증가한 홉 수는 평균 1.16홉 미만인 것으로 나타났다. On/off에너지 프로파일과 y=ax+b 에너지 프로파일의 경우 입력부하에 따라 증가하는 홉 수가 거의 일정하게 나타난다. 이는 두 에너지 프로파일의 경우 낮은 입력 부에서도 상대적으로 많은 에너지를 소모하므로 최소 에너지 소모를 위한 경로 선택에 영향을 거의 주지 않음을 알 수 있다. Linear와 cubic 에너지 프로파일을 보면, 입력 부하의 증가에 따른 에너지 소모량의 증가가 거의 유사한 형태로 되어 있다. 따라서 본 알고리즘은 최적 에너지 소모량을 갖도록 라우팅하기 때문에, 홉 수의 증가 형태가 거의 유사한 형태로 경로가 증가하고 있다.

4.2.3 Edge/Core 라우터별 에너지 프로파일 다른 경우

본 논문에서 고려하는 에너지 프로파일은 표 2와 같이 4가지 조합을 적용한다.

표 2에서 같이 edge와 core 라우터의 에너지프로파일이 4가지 경우에 대해서 에너지 절약 특성을 그림 9에 나타났다. 그림 9의 상위 2개의 라인 특성은 각

표 2. Edge 및 Core 라우터별 에너지 프로파일
Table 2. Each energy profile of edge and core router in each case

Case	(1):cubic, (2):linear, (3):on/off, (4):y=ax+b
[1]	edge router:core router = (1):(2)
[2]	edge router:core router = (2):(1)
[3]	edge router:core router = (3):(4)
[4]	edge router:core router = (4):(3)

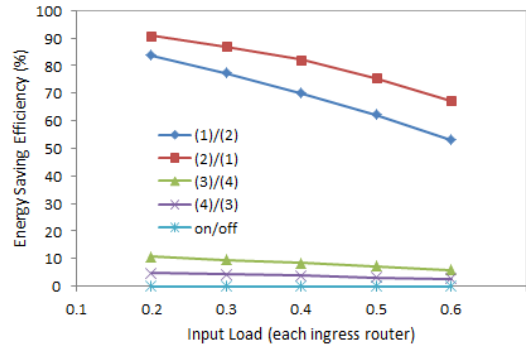


그림 9. Edge 와 Core 라우터 에너지 프로파일 다른 경우 에너지 절약 특성
Fig. 9. Energy saving characteristics in case of different EP model edge and core router

에너지 프로파일을 (1)/(2)로 적용한 경우와 (2)/(1)로 적용한 경우이다. 이때 입력부하가 0.5 일 때 전자는 약 62%, 후자의 경우 약 67% 에너지 절약 효과가 나타났다. 그림 7에서 보면, cubic EP(Energy Profile)이 linear EP보다 에너지 절약 효과가 좋다. 그림 4에서 보면 edge 와 core 라우터 수는 22개로 서로 같다. 그러나 경로 설정 시 edge 라우터는 선택의 여지가 없지만, core 라우터는 에너지 소모가 최소인 라우터 선택이 가능하다. 따라서 core 라우터에 에너지 프로파일이 우수한 모델을 적용하면, 네트워크의 에너지 소모량을 줄일 수 있음을 알 수 있다.

그림 9의 상위 2개의 라인 특성은 각 에너지 프로파일을 (1)/(2)로 적용한 경우와 (2)/(1)로 적용한 경우이다. 이때 입력부하가 0.5 일 때 전자는 약 62%, 후자의 경우 약 67%에너지 절약 효과가 나타났다. 그림 7에서 보면, cubic EP(Energy Profile)이 linear EP보다 에너지 절약 효과가 좋다. 그림 4에서 보면edge 와 core 라우터 수는 22개로 서로 같다. 그러나 경로 설정 시 edge 라우터는 선택의 여지가 없지만, core 라우터는 에너지 소모가 최소인 라우터 선택이 가능하다. 따라서 core 라우터에 에너지 프로파일이 우수한 모델을 적용하면, 네트워크의 에너지 소모량을 줄일 수 있음을 알 수 있다.

에너지 프로파일을 edge 및 core라우터에 (3)/(4) 모델과 (4)/(3) 모델을 적용한 경우, 입력 부하가 0.5 일 때 각각 약 7%, 3%의 에너지 절약 효과가 나타났다. 이는 전자의 경우 core 라우터 에너지 프로파일 모델이 y=ax+b 이고, 후자의 경우 core 라우터 에너지 프로파일 모델이 on/off 이기 때문에, 전자의 경우가 에너지 효율이 조금 좋게 나가고 있다. 그림 9와 같은 조건에서 경로의 홉 수 증가 특성을 그림 10에

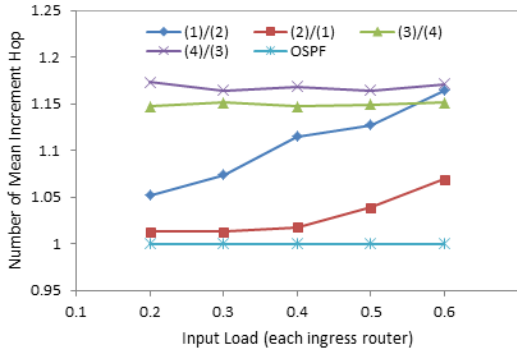


그림 10. Edge/Core 라우터 에너지 프로파일 다른 경우의 EP에 따른 경로 홉 수 증가 특성
Fig. 10. Hop increment characteristics in case of different EP model edge and core router

나타냈다.

그림 9에서 나타난 특성처럼 edge 라우터와 core 라우터의 에너지 프로파일을 다른 경우, core 네트워크에서는 에너지 소모가 최소인 경로를 찾도록 라우팅하기 때문에 core 라우터의 에너지 프로파일의 영향을 더 많이 받은 형태로 나타나고 있다. 경우[1]과 [2]는 부하가 증가하면, 적용한 에너지 프로파일 특성 때문에 효율이 감소한다. 그리고 최소 에너지 소모 경로를 찾기 위해 홉 수도 증가하고 있음을 알 수 있다. 따라서 edge 및 core 라우터에 적용하는 에너지 프로파일 모델에 의해 에너지 절약 특성이 다를 수 있다.

4.2.4 Energy Profile이 Random인 경우

지금까지 네트워크의 에너지 프로파일을 전체 또는 edge /core 라우터 별로 구분하여 상이한 에너지 프로파일을 적용하며 실험하였다. 여기서는 네트워크의 각 소자가 갖는 각 에너지 프로파일이 완전히 랜덤한 경우를 가정하여 에너지 절약 특성을 조사 하였다. 즉 라우터의 IP 스위치 구조 및 제어 부분을 담당하는 코어 부분과 NIC 부분의 에너지 프로파일도 random 하도록 에너지 프로파일을 설정하여 시뮬레이션 하였으며, 전체 네트워크에서 랜덤한 에너지 프로파일의 비율은 표 3과 같이 하였다.

[1]번의 경우 on/off 에너지 프로파일을 고려하여 모두 같은 비율로 random하게 에너지 프로파일을 갖도록 하였다. [2-5]의 경우는 on/off 에너지를 제외 시켰다. 표 3과 같은 random 비율을 갖도록 에너지 프로파일을 적용하여 실험 한 결과를 그림 11에 나타냈다.

그림 11의 [1]과 [5]에서 보면, 입력부하 0.5에서 약 35%의 에너지 절약 효율을 보인다. [2-4]에서는 약

표 3. 에너지 프로파일의 random 분포 비율(%)
Table 3. Random distribution rate of EP in each case

Case	cubic	linear	on/off	y=ax+b
[1]	25	25	25	25
[2]	33.3	33.3	-	33.3
[3]	50	25	-	25
[4]	25	50	-	25
[5]	25	25	-	50

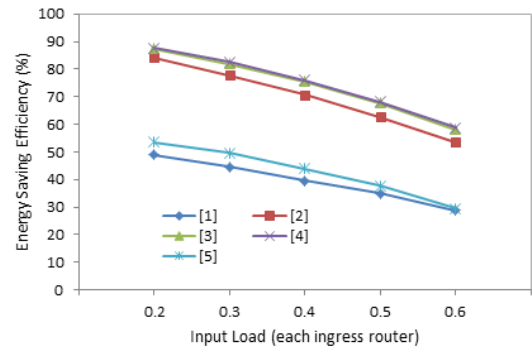


그림 11. Random 에너지 프로파일에서 에너지 절약 특성
Fig. 11. Energy saving characteristics in case of random different EP model

67%의 에너지 절약효율을 보인다. 큰 차이가 큰 이유는 on/off 에너지 프로파일과 y=ax+b 에너지 프로파일의 비율 때문이다. 두 에너지 프로파일이 전체 네트워크에서 차지하는 비중이 커지면 커질수록 에너지 효율은 그만큼 떨어진다. 반면, 네트워크에서 cubic과 linear 에너지 프로파일이 차지하는 비중이 커지면 전체 네트워크의 에너지 효율은 좋아진다.

그림 12에 random 인 경우 에너지 프로파일에 따른 경로 증가 비율을 나타냈다. [2-4]의 경우는 입력부

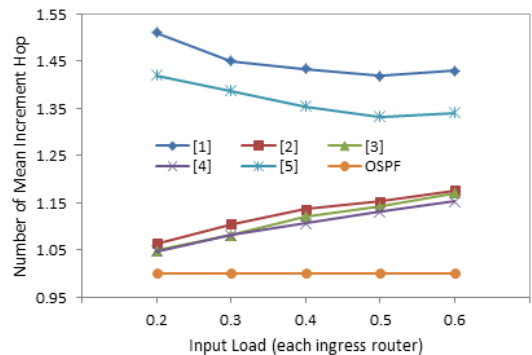


그림 12. Random 에너지 프로파일에서 홉 수 증가 특성
Fig. 12. Hop increment characteristics in case of random different EP model

하가 커짐에 따라 경로 홉 수의 증가는 점점 커진다. 한편, [1], [5]의 경우 입력 부하가 커질수록 오히려 경로에 따른 홉 수가 약간 감소하고 있다. 이는 그림 1에서 입력부하가 0.2일 때, cubic EP(Energy Profile)와 on/off EP는 에너지 소모율의 차이가 매우 크다. 따라서 최소 에너지 소모를 위한 경로를 선택하기 때문에 경로의 홉 수가 약간 증가하고 있음을 알 수 있다. 입력부하가 커짐에 따라 경로 증가 비율이 줄어드는 이유는 그만큼 에너지 프로파일별 에너지 소모 비율의 편차가 줄어들기 때문으로 볼 수 있다.

V. 결 론

IP 네트워크에서 에너지 절약 문제가 큰 화두가 되면서, 향후 반도체 소자 등의 기술 개발로 인해 다양한 에너지 프로파일을 갖는 네트워크 장비의 출현이 기대되고 있다. 본 논문에서는 네트워크를 구성하는 라우터에 구성별 다양한 에너지 모델이 적용 가능한 상황을 가정하고, 에너지 절약이 가능한 에너지 프로파일 기반 OSPF 라우팅 방식을 제안하고 에너지 절약 및 경로 홉 수 관점에서 특성을 분석하였다.

본 논문에서 제안 방식은 네트워크 에너지 소모가 최소가 되도록 라우팅하기 때문에 경로의 홉 수가 다소 증가하고 있지만, 평균 1.4홉 이내로 제한되고 있다. 에너지 절약은 적용한 모델에 따라 다르지만, 랜덤한 에너지 프로파일을 적용하면, 입력 라우터의 평균 입력 부하가 0.5일 때 65% 정도 절약 할 수 있음을 확인 하였다. 또 edge 라우터보다 core 라우터의 에너지 프로파일에 의해 에너지 절약 효과가 크다는 사실도 확인하였다. 이는 본 논문의 경로 선택 알고리즘이 에너지가 최소인 경로를 선택하기 때문에 코어 네트워크에서는 경로 선택의 자유도가 높기 때문에 나타난 현상이다. 특히 다양한 조건하에서, 본 논문에서 제시한 에너지 프로파일 기반 OSPF 알고리즘의 에너지 절약 특성이 우수함을 확인하였다.

금후, 본 논문에서 제안한 알고리즘이 네트워크가 처리하는 총 트래픽 용량에 따라 달리 동작하는 방법을 연구할 예정이다. 이때 처리하는 네트워크의 총 트래픽양이 일정 값 이하가 되면, 네트워크 내의 코어 라우터를 대기 모드로 만들어 에너지를 절약하는 방법 등이다.

References

- [1] Diego Reforgiato Recupero, "Toward a green internet," *Science*, vol. 339, no. 1533, Mar. 2013.
- [2] C. Gunaratne, K. Christensen, B. Nordman, and S. Suen, "Reducing the energy consumption of ethernet with adaptive link rate," *IEEE Trans. Comput.*, vol. 57, no. 4, pp. 448-461, 2008.
- [3] R. Hays, "Active/idle toggling with low-power idle," in *IEEE 802.2az Task Force Group Meeting*, pp. 1-15, Portland, OR, USA, Jan. 2008.
- [4] J. Restrepo, C. Gruber, and C. Machuca, "Energy profile aware routing," in *1st Int. Workshop on Green Commun.*, pp. 1-5, Dresden, Germany, Jun. 2009.
- [5] R. G. Garroppo, S. Giordano, G. Neucioni, and M. Pagano, "Energy aware routing based on energy characterization of devices: solutions and analysis," *2011 IEEE Int. Conf. Commun. Workshops (ICC)*, pp. 1-5, Kyoto, Japan, Jun. 2011.
- [6] A. P. Bianzino, C. Chaudet, F. Larroca, D. Rossi, and J. Rougier, "Energy-aware routing in IP networks: A reality check," *IEEE, GLOBECOM Workshops*, pp. 1422-1427, Miami, Florida, USA, Dec. 2010.
- [7] L. Chiaraviglio, M. Mellia, and F. Neri, "Reducing power consumption in back-bone network," in *IEEE Int. Conf. Commun. (ICC '09)*, pp. 1-6, Dresden, Germany, Jun. 2009.
- [8] A. Cianfrani, V. Eramo, M. Listanti, M. Polverini, and A. V. Vasilakos, "An OSPF-integrated routing strategy for QoS-aware energy saving in IP backbone networks," *IEEE Trans. Netw. and Service Management*, vol. 9, no. 3, Sept. 2012.
- [9] Y. Seo and Y. Ko, "Dynamic power management for energy efficient Wi-Fi direct," *J. KICS*, vol. 38B, no. 08, 2013.
- [10] H. Suh and H. Hwang, "Rerouting method for MANET using local path modification," *J.*

KICS, vol. 39B, no. 09, 2014.

- [11] C. Yang and C. Kang, "QoS-oriented user association in HetNet with a backhaul constraint," *J. KICS*, vol. 39B, no. 10, 2014.

서 유 식 (Yusik Seo)



2014년 2월 : 한국외국어대학교
전자공학과 졸업

2014년 3월~현재 : 한국외국어
대학교 전자공학과 석사과정
<관심분야> 컴퓨터통신, 에너
지 saving 네트워크, 센서네
트워크

한 치 문 (Chimoon Han)



The University of Tokyo, 전
기공학 전공, 공학박사

1977년 2월~1983년 3월: KIST
연구원

1983년 4월~1997년 2월: ETRI
선임 및 책임 연구원, 교환
기술연구원 계통 연구부장
역임

1997년 3월~현재: 한국외국어대학교 전자공학과 교수
<관심분야> 에너지 saving 네트워크, 차세대 인터
넷, 센서 네트워크, 네트워크 보안, 네트워크 설
계 및 성능 분석 등