

# Link-state 라우팅 프로토콜을 위한 효율적인 플러딩 방법

김 정 호\*, 이 승 환\*, 이 승 형<sup>o</sup>

## Efficient Flooding Methods for Link-state Routing Protocols

Jeong-Ho Kim\*, Seung-Hwan Lee\*, Seung-Hyong Rhee<sup>o</sup>

### 요 약

본 논문에서 효율적인 플러딩(flooding)을 위한 알고리즘을 제시하였다. 대표적인 link-state 라우팅 프로토콜인 OSPF(Open Short Path First)와 IS-IS(Intermediate System Routing Protocol)는 네트워크의 환경이 변할 때 노드 간에 LSA를 플러딩하여, 정보를 교환할 수 있다. 하지만 네트워크의 규모가 커지면 불필요한 LSA가 증가하여 CPU, 메모리, 대역폭 사용을 증가시켜 네트워크의 확장성에 영향을 준다. MST(Minimum spanning tree)를 기반으로 하는 기존 알고리즘은 네트워크의 불안정성과 효율적이지 못한 플러딩 문제를 가지고 있다. 그래서 네트워크의 안정성을 유지하면서 효율적인 플러딩을 위한 알고리즘을 제안하였다. 시뮬레이션을 통해 제안한 알고리즘이 기존 알고리즘보다 플러딩 효율이 향상된 것을 확인하였다.

**Key Words** : Link-state routing, OSPF, Minimum spanning tree, LSA, 플러딩

### ABSTRACT

In this paper, we propose an efficient flooding process on link-state routing protocol. It is possible to exchange information using typical link-state routing protocol; for example, OSPF(Open Short Path First) or IS-IS(Intermediate system routing protocol) that floods LSA between nodes when the network topology change occurs. However, while the scale of network is getting bigger, it affects the network extensibility because of the unnecessary LSA that causes the increasing utilization of CPU, memory and bandwidth. An existing algorithm based on the Minimum spanning tree has both network instability and inefficient flooding problem. So, we propose algorithm for efficient flooding while maintaining network stability. The simulation results show that the flooding of proposed algorithm is more efficient than existing algorithm.

### I. 서 론

SPF(Shortest Path First)를 기반으로 하는 OSPF와 IS-IS는 대표적인 dynamic 라우팅 프로토콜이다

<sup>[1,2]</sup>. SPF 알고리즘에서 주변 노드와 링크 상태는 랜덤하게 변하고, 변화된 상황을 인지한 노드들은 즉시 주변 노드들에 변경된 정보를 알려주기 위해 LSA를 전송한다. 노드들이 LSA를 수신하면 해당

※ 본 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(20120006799)

※ 본 논문은 2012년도 광운대학교 우수논문지원금의 지원을 받아 수행되었습니다.

※ 본 논문의 일부 내용은 ICTC 2012에서 발표 되었음<sup>[8]</sup>

◆ 주저자 : 광운대학교 전자융합공학과, jeongho@kw.ac.kr, 준회원

◦ 교신저자 : 광운대학교 전자융합공학과, rhee@kw.ac.kr, 종신회원

\* 광운대학교 전자융합공학과, shmj@kw.ac.kr

논문번호 : KICS2012-09-428, 접수일자 : 2012년 9월 11일, 최종논문접수일자 : 2012년 9월 21일

정보가 자신의 LSD(link state database)에 없으면, 정보를 LSD에 저장하고, LSA를 전송하는 노드를 제외하고 다른 모든 노드에 플러딩한다. 그 후 노드들은 목적지까지의 최적의 경로를 계산할 수 있다<sup>[3,4]</sup>.

유선네트워크의 환경에서는 특별한 경우를 제외하고 링크상태나 토폴로지가 변화되지 않지만, 무선 네트워크 환경에서는 노드들의 이동성과 링크 상태의 변화가 자주 발생하기 때문에 LSA가 발생할 확률이 높다. N개의 노드를 포함하고 있는 규모가 큰 네트워크에 링크 상태가 변경되어 LSA가 생성되면 LSA는  $O(N^2)$ 만큼 증가하게 되는 N-squared problem을 가진다. 이러한 문제는 노드의 CPU, 메모리, 대역폭의 소비를 증가시켜 네트워크의 확장성과 성능에 큰 영향을 미친다<sup>[5]</sup>.

본 논문에서는 네트워크의 규모가 커지고, 노드의 수가 증가하여 LSA의 발생이 기하급수적으로 증가하는 것을 방지하기 위해 각 노드 간에 최소한의 LSA를 발생시켜 플러딩 할 수 있는 새로운 알고리즘을 제안하였다. 또한, 시뮬레이션을 통하여 제안하는 알고리즘이 기존의 알고리즘보다 높은 효율성을 보여 준다는 것을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존 연구의 사례에 대해 살펴본다. III장은 기존의 알고리즘의 문제점을 제시한 후 제안한 알고리즘을 소개한다. IV장에서는 제안한 알고리즘을 시뮬레이션하여 결과를 분석한다. V장에서는 본 논문의 결론에 관해 기술한다.

## II. 관련 연구

MST(Minimum spanning tree)를 기반으로 효율적인 플러딩을 위한 연구가 진행되고 있다<sup>[6]</sup>.

### 2.1. MST(Minimum spanning tree) 방식

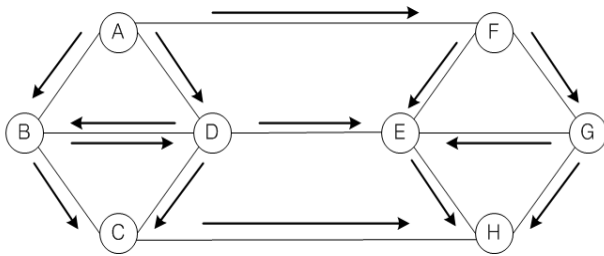


그림 1. OSPF의 플러딩  
Fig. 1. Flooding of OSPF

OSPF에서 기본적인 플러딩은 노드에 링크된 경로를 따라서 이루어진다. 그림1에서 노드 A의 링크 상태가 변할 때 노드 A는 링크된 경로를 통해 주변 노드들에 LSA를 보낸다. LSA를 수신한 노드 B, D, F는 A노드에서 수신한 LSA를 저장한 후 노드 A를 제외한 나머지 링크된 노드들에게 전송한다. 화살표는 LSA의 이동 방향을 나타내는 것이다. 노드 E는 노드 F, D, G 중 하나의 LSA만 받으면 되지만 세 노드로부터 LSA를 모두 받게 되어 불필요한 트래픽을 발생시킨다. 네트워크의 규모가 커져 노드의 수가 늘어나면 불필요한 LSA도 증가한다. 이러한 문제점은 네트워크의 성능 저하에 원인이 된다.

MST(Minimum spanning tree)방식은 LSA 발생을 줄이기 위하여 최단 경로를 설정하는 방식으로 네트워크의 노드를 모두 포함해야하며, 노드를 연결하였을 때 루프가 존재하지 않아야 한다. 네트워크에서 노드들은 cost 값을 가진 경로로 연결되어 있고, 최소의 cost 값을 가지는 경로를 선택 후 플러딩하여, 중복되는 LSA의 발생을 줄인다.

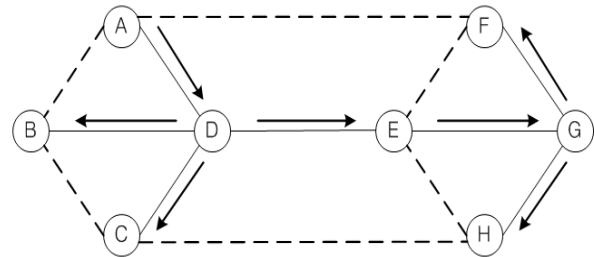


그림 2. Minimum spanning tree 방식  
Fig. 2. Method for Minimum spanning tree

그림2는 그림1에서 노드 E와 같이 중복되는 LSA를 받는 노드를 줄이기 위하여, 네트워크의 노드를 모두 포함하면서, 루프가 발생되지 않도록 경로를 설정해준 MST 방식을 나타낸다. 점선은 플러딩이 발생 되지 않는 부분을 나타낸다. 그림1과 비교하여 중복되는 LSA를 받는 노드를 줄여 불필요하게 발생하는 LSA를 줄였다. 하지만 노드 A, B, C, E, F, H가 degree 1(링크의 수)이 되어 네트워크의 안정성을 저하 시키고 있다.

### 2.2. Kruskal's 알고리즘

Kruskal 알고리즘은 MST방식을 사용하는 대표적인 알고리즘으로 기존의 OSPF 방식에서 노드의 증가에 따라 기하급수적으로 증가하는 불필요한 LSA

를 줄 일 수 있다. 네트워크에 속해 있는 노드 중 최소 cost 값을 가지고 있는 경로를 선택한 후 해당 노드들을 연결해 나가게 되고, 선택된 경로로 두 노드를 연결하였을 때 루프가 발생하게 되면, 경로를 버리고, 다시 cost 값이 작은 경로를 찾아서 두 노드 사이를 연결해 나간다. 노드들 사이에 경로가 존재하지 않을 때까지 계속 반복이 된다.

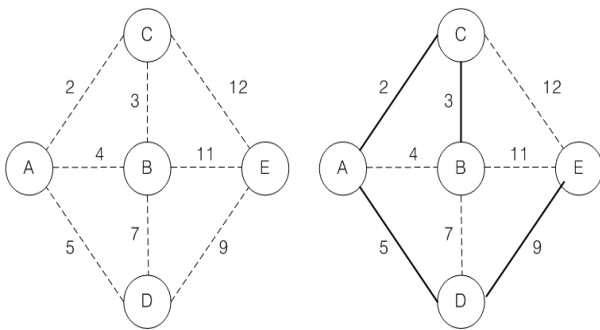


그림 3. 크루스칼의 알고리즘  
Fig. 3. Algorithm of Kruskal

그림3에서 cost 값이 가장 작은 노드 A와 C를 연결한 후, 그다음 cost 값이 작은 노드 C와 B를 연결하게 된다. 그 후에 노드 A와 B 사이의 cost 값이 작지만 두 노드를 연결할 때 노드 A, C, B에서 루프가 발생하기 때문에 노드 A와 D를 선택하고 마지막으로 노드 D와 E 경로를 선택하게 된다.

2.3. RSN(Reliable Subnetwork) 알고리즘

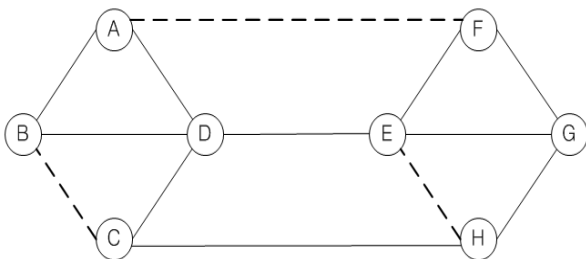


그림 4. Reliable subnetwork 알고리즘  
Fig. 4. Algorithm for reliable subnetwork

MST 방식의 사용으로 발생하는 degree 1인 노드를 제거하여 네트워크의 안정성을 높이기 위하여 reliable subnetwork 알고리즘이 사용되었다. 그림2에서 노드 A, B, C, F와 H는 degree 1인 노드라는 것을 알 수 있다. degree 1인 노드들은 대체되는 경로가 없어서 링크 상태가 변경될 시 네트워크의 성

능을 저하할 수 있는 잠재적인 불안요소이다. 그림4에서 reliable subnetwork 알고리즘을 사용하여 노드 A-B, C-H와 E-F에 추가 경로를 설정하여 잠재적인 불안요소인 degree 1 노드를 제거하였다. 즉, degree 1 노드들의 추가적인 연결을 통하여 degree 2로 설정하여 하나의 경로에 문제가 발생할 때 다른 경로를 사용할 수 있도록 하는 알고리즘이다<sup>7)</sup>.

Reliable subnetwork 알고리즘은 MST 방식에서 잠재적 불안요소인 degree 1의 노드를 제거하여 네트워크의 안정성을 높였지만, LSA의 발생을 증가시켰다. 네트워크의 규모가 커지면 LSA는 급격히 증가하기 때문에 네트워크의 안정성을 최대한 유지하면서, LSA의 사용을 최소로 줄이는 효율적인 플러딩 방법으로 연구가 진행되어야 한다. 본 논문에서는 degree 1 노드와 LSA의 발생을 최소로 줄이기 위한 연구를 통해, 기존 알고리즘의 문제점을 개선하였다.

III. 문제점 분석 및 제안하는 알고리즘

3.1. Reliable Subnetwork 알고리즘의 문제점

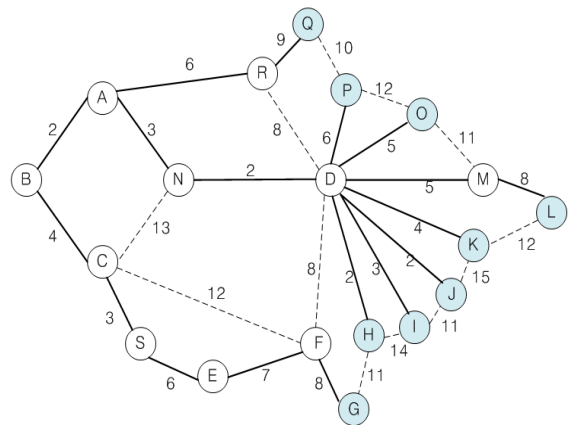


그림 5. 확장된 네트워크의 Minimum spanning tree  
Fig. 5. Minimum spanning tree of large scale network

MST 방식은 네트워크의 노드를 모두 포함하고, 노드 간에 서로 링크하여 루프가 존재하지 않도록 설정하는 방식이다. 최소 cost 값을 따라 노드들을 링크해 나가면 네트워크의 임의의 노드에서도 네트워크의 모든 노드에 LSA를 전송해 줄 수 있다. 중복되는 LSA를 받아 트래픽을 발생시키는 문제점을 해결하기 때문에 LSA로 인한 네트워크 성능 저하를 줄이는 방법이다. 하지만 MST 방식을 사용하면 degree 1인 노드들이 많이 생겨나기 때문에 네트워

크의 안정성을 저하한다.

Reliable subnetwork 알고리즘은 MST 방식의 degree 1인 노드의 문제점을 해결하기 위해 degree 1인 노드를 제거한다. 하지만 네트워크의 규모가 커질수록 degree 1인 노드가 증가하고 degree 1인 노드를 제거하기 위해 추가적인 링크를 연결하면 LSA 또한 급격히 증가하기 때문에 효율적인 플러딩을 위한 알고리즘으로 적합하지 않다.

그림5처럼 네트워크의 규모가 크면 degree 1인 노드들이 많이 발생한다. Reliable subnetwork 알고리즘은 degree 1인 노드를 제거하는 방식이기 때문에 노드 G, H, I, J, K, L, O, P에 대체되는 경로를 하나씩 만들어준다. 이 때문에 노드 간 루프가 발생하고, 불필요한 LSA를 증가시켜 네트워크에 많은 트래픽을 발생시키게 한다.

### 3.2. EFR(Efficient Flooding Reliability) 알고리즘

Efficient flooding reliability 알고리즘은 reliable subnetwork 알고리즘에서 증가하는 LSA를 줄이기 위하여 분리되는 노드들을 그룹으로 만들어 그룹 간 최소 cost 값을 가지는 노드를 연결하여 LSA를 줄인다. 그림6에서 MST 방식을 사용하여 노드 G, H, I, J, K, L, O, P와 Q가 degree 1인 노드라는 것을 확인할 수 있다. MST 후에 degree 1이 아닌 노드와 하나 이상의 degree 1을 가지는 노드를 그룹으로 구성한 후, 그룹 중 degree 1의 노드를 많이 가지는 그룹이 우선권을 갖고, 최소 cost 값을 따라 다른 그룹과 링크를 한다. 우선권을 갖는 그룹이 링크되면 그다음 우선권을 갖는 그룹이 링크하는 방식으로 모든 그룹이 링크된다.

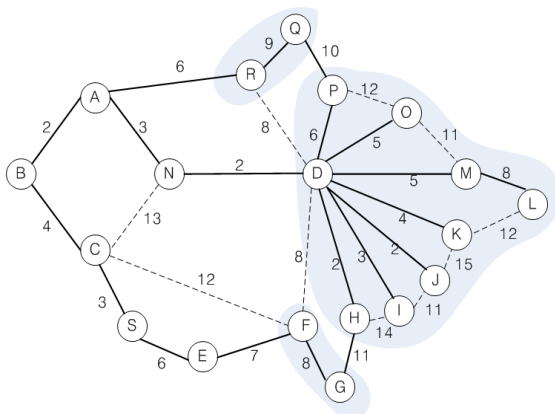


그림 6. Efficient flooding reliability 알고리즘  
Fig. 6. Algorithm for efficient flooding reliability

그림6에서 세 개의 그룹 노드 (Q, R), 노드 (F,

G)와 노드 (D, H, I, J, K, L, M, O, P)의 연결을 위해 Q-P, H-G에 링크한다. Efficient flooding reliability 알고리즘은 위에 제시된 reliable subnetwork 알고리즘보다 추가되는 링크의 수가 줄어들어 효율적인 플러딩이 가능하다.

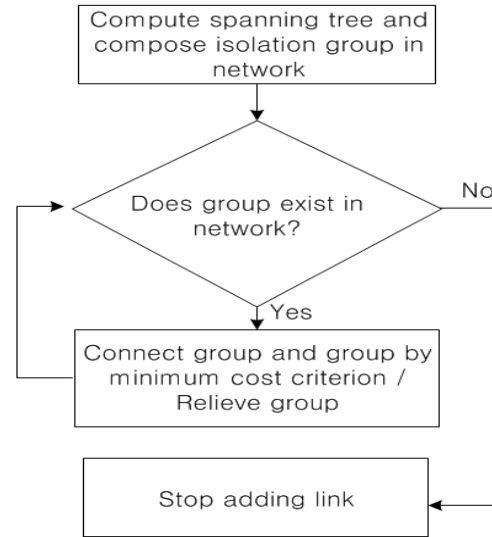


그림 7. Efficient flooding reliability 순서도  
Fig. 7. Flow chart of efficient flooding reliability

### 3.3. CCF(Change of Cost for Flooding) 알고리즘

제안하는 change of cost for flooding 알고리즘은 네트워크의 규모가 커질수록 증가하는 노드로 인해 발생하는 LSA를 최소로 줄이고, degree 1을 가지는 잠재적인 노드를 최대한 제거하여 네트워크의 안정성을 유지하면서 효율적인 플러딩이 이루어지도록 하는 방식이다. Efficient flooding reliability 알고리즘은 그룹 간 최소 cost 값을 가지는 노드를 연결해 LSA를 줄이는 방법이며, change of cost for flooding 알고리즘을 사용하면 그룹 간 링크 또한 줄여 줄 수 있다.

Change of cost for flooding 알고리즘은 한 노드와 링크된 노드 중 degree 1이 될 잠재적인 요소를 가지는 노드의 cost 값을 MAX 값으로 변경시켜 degree 1인 노드의 수를 감소시키고, 토폴로지가 변해도 효율적인 플러딩과 네트워크의 안정성을 유지하는 알고리즘이다.

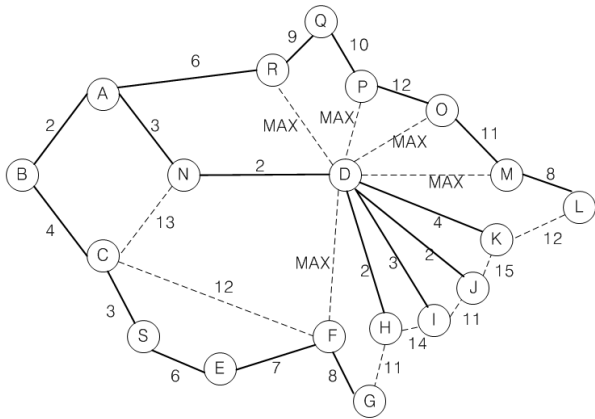


그림 8. Change of cost for flooding 알고리즘  
Fig. 8. Algorithm for change of cost for flooding

그림8에서 각 노드는 cost 값을 가지는 네트워크로 구성되어있다. MST를 이용하여 최소 cost 값을 가지는 경로를 선택하여 노드를 연결해나간다. 네트워크의 특정 노드가 2개 이상의 degree 1 노드를 감지할 경우, 나머지 연결된 노드 또한 degree 1이 될 가능성이 있다고 가정한다. 그 후 cost 값을 MAX 값으로 변경시키고, 다시 MST를 이용하여 기존 MST와 다른 새로운 MST를 만든 후 플러딩을 한다. 즉, 노드 D가 2개 이상의 degree 1인 노드를 감지하면 나머지 링크된 노드들 또한 degree 1이 될 가능성이 있다고 가정하고 cost 값을 MAX 값으로 변경시키고 새로운 MST를 만든다. MAX 값은 네트워크 cost 값의 최댓값 크기로 설정을 하고, cost 값이 같은 노드는 임의로 선택하여 링크시킬 수 있다.

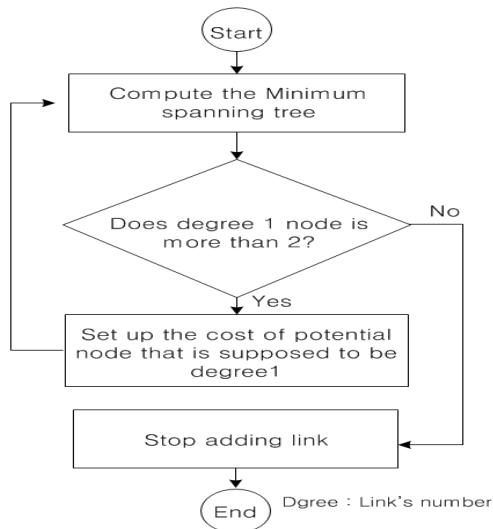


그림 9. Change of cost for flooding 순서도  
Fig 9. Flow chart of change of cost for flooding

이처럼 cost 값을 최대로 변경하였을 때 degree 1을 가지는 노드들이 줄어들어 네트워크의 안정성을 높일 수 있고, 새로운 MST를 만들어 최소한의 LSA만 플러딩이 이루어지는 걸 확인할 수 있다.

#### IV. 성능평가

##### 4.1. 시뮬레이션 환경

시뮬레이션은 그림9와 같은 네트워크 환경에서 수행하였고, 링크 상태에 변화를 주기 위하여 라우터를 on, off 하면서 경로를 재탐색할 수 있도록 하였다. 시뮬레이션 환경은 표1과 같다. Bandwidth는 100Mbps, 라우터의 수는 19개로 설정하고, 300sec 동안 VoIP와 FTP를 측정하였다. 시뮬레이터는 OPNET을 사용하였다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터  
Table 1. Simulation parameter

| Parameter        | Value              |        |
|------------------|--------------------|--------|
| Bandwidth        | 100Mbps            |        |
| Number of router | 19                 |        |
| VoIP traffic     | Codec              | G.729  |
|                  | Coding rate        | 8Kbps  |
| FTP traffic      | FTP file size      | 1Mbyte |
|                  | Inter request time | 5sec   |
| Simulation time  | 300sec             |        |

##### 4.2. 시뮬레이션 결과 및 평가

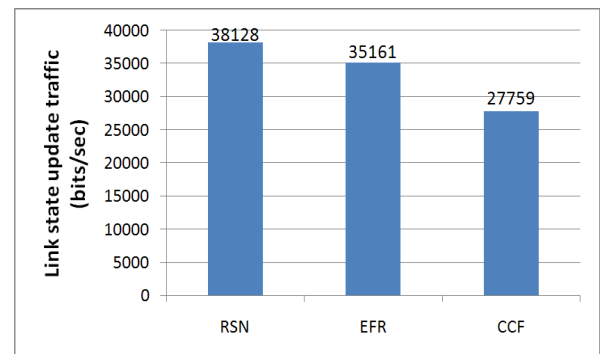


그림 10. Link-state 업데이트 트래픽 성능 비교  
Fig. 10. Link-state update traffic sent

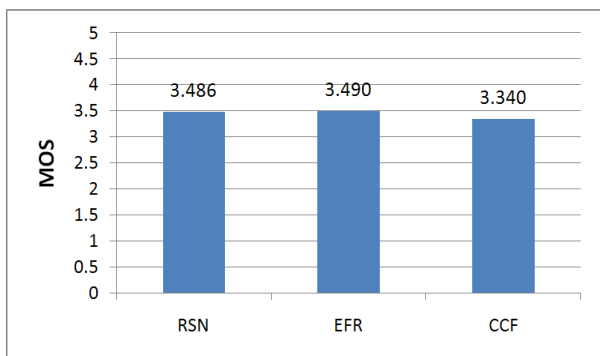


그림 11. MOS 성능 비교  
Fig. 11. Comparison of MOS

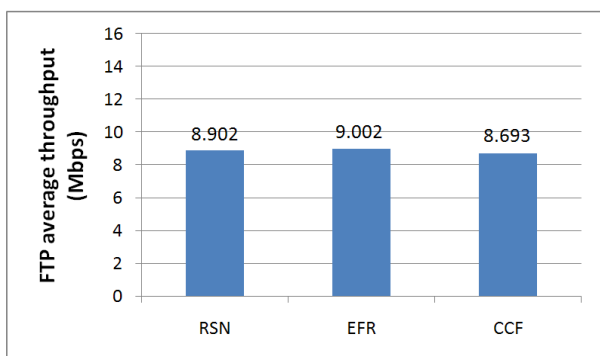


그림 12. FTP 성능 비교  
Fig. 12. Comparison of average FTP throughput

그림10에서 reliable subnetwork 알고리즘은 늘어나는 degree 1 노드의 수만큼 대체 경로가 설정되어야 해서 LSA 사용량이 많음을 볼 수 있다. Efficient flooding reliability 알고리즘은 degree 1인 노드를 그룹 간 연결하여 추가되는 링크 수가 적기 때문에 reliable subnetwork에 비해 10% 정도의 LSA가 줄어든 것을 확인할 수 있다.

본 논문에서 제안한 CCF 알고리즘은 cost 값을 변경시켜 해당 네트워크에 적절한 MST를 재구성하고, 네트워크의 안정성을 유지하면서 LSA를 최소화 하였기에 LSA가 급격히 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이는 네트워크의 규모가 커지고 노드의 수가 증가하면 증가할수록 그 차이는 더 크게 나타날 것이다. 효율적인 플러딩 관점에서 RSN, EFR 알고리즘과 비교하면 각각 30%, 20%의 향상을 보였다.

그림11의 MOS는 VoIP 서비스 성능을 평가하는 수단으로 가장 널리 사용되는 측정 방법이다. 1에서 5의 값으로 구성되어있으며 3의 값은 fair를 나타내고, 5의 값에 근접할수록 음성품질은 좋아진다. 그림11, 12에서 RSN, EFR, CCF의 알고리즘은 비슷한 성능을 보여 주고 있음을 알 수 있다. 제안하는

알고리즘은 degree 1 노드의 수도 적절히 줄임으로 네트워크의 안정성 또한 유지하는 것을 볼 수 있다.

### V. 결 론

본 논문에서 네트워크의 규모가 커져 LSA 사용이 증가하고, 이에 따라 불필요한 LSA 또한 증가하는 것을 줄이기 위하여 change of cost for flooding을 제안하였다. Cost 값을 변경시켜서 해당 네트워크에 적절한 Minimum spanning tree를 구성하여 LSA를 최소로 줄여 효율적인 플러딩을 가능하게 하고 degree 1인 노드를 적절히 제거하여 네트워크의 안전성 또한 유지하도록 하였다. 제시한 알고리즘은 향후 규모가 큰 센서 네트워크 환경이나 라우팅 환경에서 효율적인 플러딩을 위한 알고리즘으로 사용 가능할 것이다.

### References

- [1] R. Callon, "Use of OSI IS-IS for Routing in TCP/IP and Dual Environments", IETF, RFC 1195, December 1990
- [2] Tae-Wook Kwon, "Improvement of IS-IS Protocol for TICN Tactical Backbone", Korea Institute OF Communication Sciences, *The Kor. J. in. Comm. Sci.*, Vol.36 No.8 page(s):996-1002, 2011.8
- [3] J. Moy, "OSPF: Anatomy of an Internet routing protocol," Addison-Wesley, 1998
- [4] A. Zinin and M. Shand, "Flooding optimizations in link-state routing protocols," IETF, draft - ietf -ospf -isis-flood-opt-01.txt, March 2001
- [5] A.V. Aho and D. Lee, "Hierarchical networks and the LSA N-squared problem in OSPF routing", *Pro. IEEE GlobecCom 2000*, pp.397-404, 2000
- [6] NING Ai-bing, MA Liang, XIONG Xiao-hua, "Solving Degree-constrained Minimum Spanning Tree with a New Algorithm", *2007 International Conference on Management Science & Engineering (14<sup>th</sup>)* Aug. 20-22, pp.381-386, 2007
- [7] T. Miyamura, T. kurimoto and M. Aoki,



"Enhancing the Network Scalability of Link-state Routing Protocols by Reducing their Flooding Overhead," *High performance Switching and Routing 2003*, HPSR. Workshop on, pp263-268, 2003

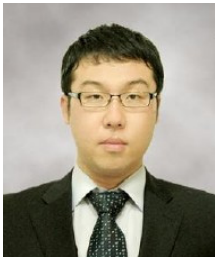
- [8] Seung Hwan Lee, Seung Hyong Rhee, "Efficient Flooding for Reliability in Link-state Routing Protocols", *ICTC 2011*

김 정 호 (Jeong-Ho Kim)



2009년 8월 광운대학교 전파공학 학사  
2011년 3월~현재 광운대학교 전자융합 공학과 석사과정  
<관심분야> 무선네트워크, 라우팅

이 승 환 (Seung-Hwan Lee)



2008년 2월 광운대학교 전파공학 학사  
2010년 2월 광운대학교 전파공학 석사  
2010년 3월~현재 광운대학교 전자융합 공학과 박사과정  
<관심분야> 무선통신 프로토

콜, 라우팅

이 승 형 (Seung-Hyong Rhee)



1988년 2월 연세대학교 전자공학과 공학 학사  
1990년 8월 연세대학교 전자공학과 공학 석사  
1990년~1995년 국방과학연구소 연구원  
1999년 5월 Univ. of Texas

at Austin 공학박사

1999년~2000년 삼성종합기술원 전문연구원

2000년~현재 광운대학교 전자융합공학과 교수

<관심분야> 무선통신 프로토콜, 차세대 이동통신