

# 고밀도 파장 분할 다중화 방식 기반 차세대 광 인터넷망에서 우선순위 기반 최소간섭 경로 멀티캐스트 라우팅 알고리즘

(A Priority-based Minimum Interference Path Multicast  
Routing Algorithm in NGOI based DWDM)

조 찬 효<sup>†</sup>      서 상 보<sup>†</sup>      이 준 원<sup>\*\*</sup>      김 성 운<sup>\*\*\*</sup>  
(Chan-Hyo Jo)      (Sang-Bo Seo)      (Jun-Won Lee)      (Sung-Un Kim)

**요약** 고밀도 파장 분할 다중화 방식(DWDM: Dense-Wavelength Division Multiplexing) 기반 차세대 광 인터넷 백본망(NGOI: Next Generation Optical Internet)의 주요 연구주제 중 하나는 다양한 멀티미디어 응용 서비스들의 서비스 품질(QoS: Quality-of-Service)을 고려한 멀티캐스트 서비스용 효율적인 라우팅 및 파장할당(RWA: Routing and Wavelength Assignment) 문제이다. 특히, 차세대 광 인터넷 백본망에서 망 대역폭의 효율적인 사용 측면의 RWA 문제는 매우 중요한 요소이다. 그러나 기존의 RWA 알고리즘들은 멀티캐스트 트리 형성 시 발생하는 혼잡상황과 경로에 대한 우선순위를 고려하지 않아 성능이 매우 제한적이다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 멀티캐스트 트리 형성 시 발생하는 혼잡경로를 피하고 노드의 우선순위를 고려하는 효율적인 우선순위기반 최소간섭 경로 멀티캐스트 라우팅(PMIPMR - Priority-based Minimum Interference Path Multicast Routing) 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 시뮬레이션 결과를 통해 파장 사용률과, 파장 채널 사용률 측면에서 기존의 알고리즘과 비교, 제안된 알고리즘의 효율성을 검증한다.

**키워드** : 고밀도파장분할다중화, 라우팅 및 파장할당 문제, 파장변환, VS 노드

**Abstract** A major challenge in next generation optical Internet (NGOI) networks based on dense-wavelength division multiplexing (DWDM) is the provision of guaranteed quality-of-service (QoS) for a wide variety of multimedia applications. One of the critical issues in NGOI is the routing and wavelength assignment problem that is embossed as very important and plays a key role in improving the global efficiency for capacity utilization. But the previous researches had the delay problem, and the path routed by higher priority nodes may be congested and interfere with potential future multicast session requests. To overcome these problems, in this research we suggest a Priority-based Minimum Interference Path Multicast Routing (PMIPMR) algorithm, a new routing algorithm which finds alternative routes based on node priorities and Virtual Source (VS) nodes that has both splitting and wavelength conversion, and then chooses a path that does not interfere with potential future multicast session requests when congestions occur in the network. The PMIPMR algorithm reduces blocking rate significantly and increases the wavelength utilization by avoiding congestion in future multicast session requests.

**Key words** : DWDM, RWA, Wavelength Conversion, VS-node

· 본 논문은 2008년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2008-521-D00295).

논문접수 : 2008년 7월 22일

심사완료 : 2009년 4월 29일

<sup>†</sup> 비 회 원 : 부경대학교 정보통신공학과  
kingcksgy@pknu.ac.kr  
seosb@pknu.ac.kr

<sup>\*\*</sup> 비 회 원 : 안동대학교 전자정보산업학부 교수  
leejw@andong.ac.kr

<sup>\*\*\*</sup> 정 회 원 : 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 교수  
kimsu@pknu.ac.kr

Copyright©2009 한국정보과학회: 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 정보통신 제36권 제4호(2009.8)

### 1. 서론

최근, 통신 기술의 발전과 웹의 급격한 확산은 인터넷 사용자수와 다양한 실시간 멀티미디어 트래픽들의 폭발적 증가를 초래하였고, 차세대 인터넷 어플리케이션으로서 각광받고 있는 voice telephony, video-conference, Internet games 등과 같은 다양한 실시간 멀티미디어 서비스들이 기존 인터넷망에서 유니캐스트 라우팅 방식으로 제공되면서 사용자수의 한계와 서버의 부하 문제에 따른 여러 문제점을 안고 있다. 이로 인해 한 번에 여러 사용자들에게 동일한 데이터를 보내야 하는 음성 및 비디오 서비스 등의 멀티미디어 서비스의 경우에는, 각 사용자들에게 데이터를 여러 번 전송하는 유니캐스트 라우팅(Unicast Routing)방식에 비해 멀티캐스트 라우팅(Multicast Routing)방식으로 전송하는 것이 대역폭 활용 면에서 더 효율적이다[1,2].

그러나 멀티캐스트 라우팅을 DWDM 기반의 차세대 광 인터넷망에 적용하기에는 여러 가지 문제점이 따르며, 특히 광 신호 분배기(optical signal splitter)의 사용으로 인한 비용의 증가와 광 전력 페널티(optical power penalty)의 보상 문제가 가장 근본적으로 해결되어야 할 문제로 남아있다.

따라서 이러한 제한 사항을 극복하기 위해서는 제한된 노드에 대해서만 광 전력 페널티를 사용하고, 낮은 연결 차단 확률(blocking probability)과 높은 자원 사용률을 보장하는 효율적인 알고리즘의 개발이 요구되며, 본 논문에서는 제한된 노드에 대해서만 광 전력 페널티를 사용하는 새로운 형태의 멀티캐스팅 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 2장에서는 DWDM 기반의 차세대 광 인터넷망에서 멀티캐스팅 문제 및 멀티캐스트 라우팅 접근 방향을 기존의 트리생성(Tree Generation)방법을 중심으로 살펴본다. 3장에서는 새로운 개념의 멀티캐스트 라

우팅 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통해 제안한 알고리즘의 성능을 분석하고, 결론은 5장에서 기술한다.

### 2. 멀티캐스트 라우팅을 위한 기존의 트리생성 방법

멀티캐스트 라우팅이란 소스 노드의 정보를 여러 목적지 노드의 집합에게 전달하는 전송절차를 말하며, 이때 멀티캐스트 통신을 위해 멀티캐스트 트리 구조를 취하는 이유는 다음과 같다. 첫 번째 소스 노드는 각각의 목적지 노드에 독립적으로 모든 패킷을 전송할 필요가 없다는 것이다. 단지 인접한 이웃 노드로 패킷을 전송하기만 하면 인접한 노드의 분배 능력으로 인해 각각의 멀티캐스트 목적지 노드로 보내고자 하는 패킷이 전송된다. 두 번째 여러 개의 목적지 노드로 향하는 패킷이 동시 다발적으로 전송된다는 것이고, 마지막으로 멀티캐스트 트리 구조는 트리 내의 분기점(branch point)에서 라우터에 의해서만 광전송 패킷이 복사되므로 불필요한 데이터 중복을 최소화한다는 것이다[3].

멀티캐스트 트리는 그림 1과 같이 크게 두 가지 형태의 접근이 가능하다. 즉 소스 노드를 근간으로 트리를 형성하는 Source-rooted 접근 방법과 가상 소스(VS-Virtual Source)를 근간으로 트리를 형성하는 Virtual Source-rooted 접근 방법이 이에 해당하며, 두 방식 모두 Sparse Splitting Capability 네트워크를 기반으로 제안된다.

#### 2.1 Source-rooted 접근 방법

Source-rooted 접근 방법은 임의의 멀티캐스트 세션의 소스 노드를 그 트리의 근간으로 멀티캐스트 트리를 형성한다. 이로 인해 Source-rooted 접근 방식은 소스 노드와 목적지 노드 사이의 각각의 경로 비용을 최소화(Source-based 트리 형성 방법)하거나, 전체 트리를 구

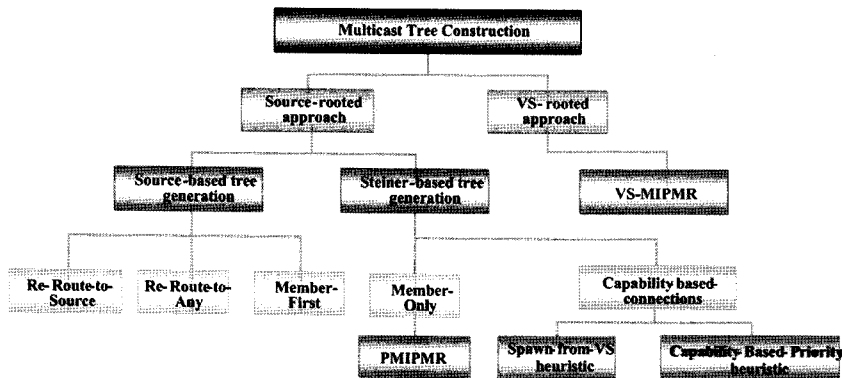


그림 1 멀티캐스트 트리 구성 방식

성하는데 드는 전체 비용을 최소화(Steiner-Based 트리 형성 방법)한다.

그러나 이러한 방법은 최단 경로를 찾기 위한 지연시간이 길어지는 단점 및 소스를 근간으로 멀티캐스트 트리 형성하기 위해 계산해야 할 오버헤드(overhead)가 많다는 단점이 있다. 또한 기존의 멀티캐스트 세션에 대해 임의의 목적지 노드의 추가 및 삭제 시 새로이 멀티캐스트 트리를 형성해야 한다는 단점이 존재한다. 뿐만 아니라 임의의 노드 실패 시 새로이 멀티캐스트 트리를 형성해야 한다는 번거로움이 있으며, VS 노드가 멀티캐스트 트리 형성방법에 따른 적절한 경로에 위치해야만 분배기의 역할을 할 수 있다는 단점으로 인해 불필요한 자원의 낭비(Excess resource usage)를 초래한다는 것이다[3].

### 2.1.1 Source-based 트리형성 방법

#### ① Re-route-to-Source 방법

Re-Route-to-Source 방식은 모든 MC(Multicast-Capability) 노드들이 파장변환 능력이 있다고 가정한다. 기존의 최소 스패닝 트리(minimum spanning tree) 방식을 사용하여 스패닝 트리가 먼저 형성되면, 멀티캐스트 트리는 목적지 노드로 향하지 않는 모든 노드를 스패닝 트리에서 잘라내면서 멀티캐스트 트리를 최종적으로 형성하게 된다[4].

#### ② Re-Route-to-Any 방법

Re-Route-to-Any 방식은 Re-Route-to-Source 방식의 변형된 형태로 우선 Re-Route-to-Source 방식과 동일하게 스패닝 트리가 형성된다. 다음으로 MI(Multicast-Incapable) 노드로 인해 분기점(branching point)으로 연결되지 않은 노드는 역 최단경로(reverse shortest path)가 아닌 이미 멀티캐스트 포리스트(multicast forest)에 연결된 목적지 노드 중 가장 가까이 위치한 노드로 연결되어 멀티캐스트 트리를 형성한다[4].

#### ③ Member-First 방법

이전의 멀티캐스트 트리 형성 방식은 우선 특정 노드에 대한 splitting 능력을 고려하지 않고 스패닝 트리를 구성한다. 그 다음으로 splitting 능력을 가지는 노드로 멀티캐스트 목적지 노드를 연결 설정하여 멀티캐스트 트리를 구성하는 방식을 보인다[4].

### 2.1.2 Steiner-based 트리형성 방법

#### ① Member-Only 방법

Member-Only 방식은 Member-First 방식과 비슷하게 동작한다. 이 방식은 멀티캐스트 트리를 형성하면서 하나의 멀티캐스트 트리에 가능한 많은 목적지 노드를 포함한다. 만일 임의의 한 목적지 노드가 이전에 설립된 멀티캐스트 트리 상의 노드중 한 개 이상의 노드에 대해 같은 거리에 있으면 임의대로 멀티캐스트 트리에 연

결 설정을 요청한다. 또한 멀티캐스트 트리에 속하지 않은 노드가 존재하면 모든 목적지 노드가 멀티캐스트 트리에 속해질 때 까지 동일한 절차를 반복하여 최종적으로 하나의 멀티캐스트 세션에 대한 멀티캐스트 포리스트를 형성한다[5].

#### ② Capability-Based-Connection 방법

Capability-Based-Connection 방식은 Spawn-from-VS 방식과 Capability-Based-Priority 방식을 모두 이용하여 Member-Only 방식의 불필요한 자원의 낭비를 절약하는 멀티캐스트 트리 형성 방법이다. Capability-Based-Priority 방식은 각각의 서로 다른 능력을 지닌 노드들이 서로 서로에 대해 서로 다른 우선순위를 지니고 있다는 가정하에 출발한다. 이때 VS 노드가 가장 높은 우선 순위를 가지게 되고, 다음으로 splitting 노드, WC(Wavelength Conversion) 노드, DaC(Drop and Continue) 노드의 순으로 우선순위를 갖는다. splitting 노드는 입력 메시지에 대해 한 개 이상의 splitting된 메시지를 전달할 수 있으므로 WC 노드에 비해 높은 우선순위를 가지게 되며, WC 노드는 일반 DaC 노드에 비해 과장할 당 문제에 있어서 좀 더 많은 유연성을 제공하므로 DaC 노드에 비해 높은 우선순위를 갖게 된다[5].

### 2.2 Virtual Source-rooted 접근 방법

Virtual Source-rooted 접근 방식은 앞서 살펴본 Source-rooted 접근 방식의 한계점을 보완한다[3,6]. 이러한 형태의 알고리즘을 따르는 방식으로 Virtual Source-based 멀티캐스트 트리 형성 혹은 간단히 줄여서 VS-based 트리 방식이 있다. VS-based 트리 형성 방법은 우선 전체 네트워크에서 일부 노드가 VS 노드로 선정이 된다. 이때 VS 노드는 가장 높은 차수(degree), 즉 많은 수의 이웃 노드를 가지는 노드가 VS 노드로 선정이 된다. 이들 VS 노드들 간 상호 광 경로(light path)가 형성이 되고, 형성된 경로를 이용하여 정보를 교환하면서 전체네트워크를 각각의 VS 노드를 중심으로 분할한다. 이후 멀티캐스트 트리가 형성될 때 VS 노드간의 분할한 지역과 상호 연결성을 기반으로 각 세션에 대한 멀티캐스트 트리를 형성하게 된다.

따라서 VS-based 트리 형성 방법은 크게 네트워크 분할 단계(Network Partitioning Phase)와 트리 형성 단계(Tree Generation Phase)로 나누어진다. 네트워크 분할 단계에서는 전체 네트워크에서 일부 노드가 VS 노드로 선출이 되며, 이들 선출된 모든 VS 노드사이의 경로설정 된다. 이로써 모든 VS 노드는 서로에 대한 연결(connection)을 설립하여 전체 네트워크는 마치 VS 노드가 서로 연결된 집합을 형성하게 되며, 전체 네트워크는 각각의 VS 노드를 중심으로 나머지 노드가 여러 개의 클러스터를 형성한 것처럼 보이게 된다. 트리 형성

단계에서는 각각의 멀티캐스트 세션 요청에 대한 소스 및 목적지 노드의 집합이 주어지면 네트워크 분할 단계에 의해 설정된 경로 연결 설정을 이용하여 멀티캐스트 트리를 형성하게 된다. 하지만 이러한 방식의 라우팅 방법은 미래의 잠재적인 연결 요구를 고려하지 않아서 시간에 따른 링크 공유로 인한 특정 링크의 트래픽이 증가한다는 한계점을 가진다.

**2.3 VS-based 기반 최소 간섭 라우팅 방법**

VS-MIPMR(Virtual Source-Minimum Interference Multicast Routing)은 광 경로 구성 시 소스와 목적지 노드 간의 간섭을 최소화하고 대역폭 보장에 중점을 둔 라우팅 방법이다[7].

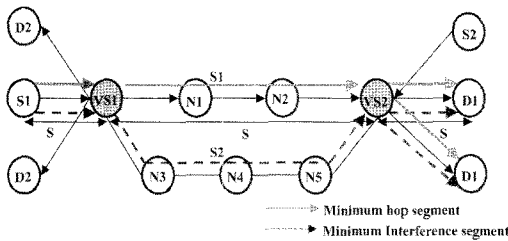


그림 2 VS-MIPMR 알고리즘 개념도

VS-MIPMR은 각각의 VS 노드를 기반으로 분산 네트워크를 구성한 후 이 분산 네트워크를 이용하여 트리를 구성하는 Virtual Source-based 방식에 미래의 잠재적인 서비스 요청에 대한 간섭을 최소화하고 대역폭 보장에 중점을 둔 MW-MIPR 알고리즘을 접목한 방식의 멀티캐스트 라우팅 알고리즘이다[8]. 기존의 VS-based 트리 형성 방식은 자원을 효율적으로 활용하고 광 경로 구성 시 지연시간이 적다는 장점을 가지고 있지만 미래의 잠재적인 서비스 요청에 대해서는 고려를 하지 않는다는 한계점을 보인다. 따라서 VS-MIPMR은 Virtual Source-based 트리 형성 방식을 이용한 광 경로 구성 시 간섭이 일어날 가능성이 높은 VS 사이에 간섭을 최소화하는 알고리즘을 적용함으로써 미래의 잠재적인 연결 요구에 대해 간섭을 최소화하는 광 경로를 구성한다.

예를 들면 그림 2와 같이 VS 노드와 VS 노드 사이에 세그먼트 S1이 결정되었을 때, 미래에 연결 설정을 원하는 다른 light-tree쌍들 또한 목적지 노드에 따라 VS 노드와 VS 노드 사이의 혼잡링크를 경유하게 되므로 잠재적인 차단을 경험할 확률이 높다. 따라서 최단 경로보다는 홉 수가 많지만 다른 송수신 쌍에 대해 최소한의 영향을 미치는 세그먼트 S2를 선택해서 트리를 구성하는 것이 효율적이며, VS-MIPMR 알고리즘은 미래의 잠재적인 트리 구성 요구를 가지는 송수신 쌍들에 대해 영향을 최소화하는 경로를 통해 트리를 구성한다.

그러나 이러한 방식의 라우팅 방식은 차등화된 능력을 가지고 있는 각 노드에 대해 고려하지 않아 효율성이 떨어지는 단점이 있다.

**3. 새로운 개념의 Multicast RWA 알고리즘 제안**

**3.1 PMIPMR 알고리즘 정의**

DWDM 멀티캐스트 망에서 대량의 멀티미디어 트래픽의 효율적인 고속 전송을 위해 각 능력치에 맞는 노드의 우선순위와 파장변환 기능과 파장분할 기능을 가지고 있는 VS노드를 고려함으로써, 미래 잠재적 연결 요청에 대해 혼잡도를 피할 수 있는 경로를 선택하는 새로운 멀티캐스트 라우팅 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘으로 선택된 경로는 파장 사용측면에서 매우 효율적이며 소스노드 기반의 Capability-based-Priority 방법과 Spawn-from-VS 방법을 이용하는 Capability-based-Connection 알고리즘보다 뛰어난 성능을 나타내었다[3].

그림 3은 제안된 알고리즘을 나타내며 본 알고리즘에서 세그먼트는 파장 연속 제약상에서 파장 변환 능력을 가지고 있는 두 VS 노드 사이의 모든 경로로 가정한다[3,9].

그림 3은 미래의 잠재적 연결 요청을  $P1=(S_1, D_{11}/D_{12})$ ,  $P2=(S_2, D_{21})$ ,  $P3=(S_3, D_{31})$  3개로, 세그먼트를  $S1=(VS_1, N_1, N_2, VS_2)$ ,  $S2=(VS_1, N_3, N_4, N_5, VS_2)$ ,  $S3=(VS_1, N_6, N_7, N_8, VS_2)$ 로 가정한다. 첫 번째 멀티캐스트 세션 요청 P1을 위해서 세 가지 세그먼트 중 가장 높은 노드 우선순위와 가장 적은 홉 카운터를 가지는 세그먼트 S1이 선택된다. 두 번째 멀티캐스트 세션 요청 P2도 같은 이유로 S1을 공유한다. 그러나 망 상황에 따라 세 번째 멀티캐스트 세션 요청 P3에 대해 높은 우선순위와 최소 홉 수를 가지는 S1의 선택은 세그먼트 S1에서의 트래픽 집중을 가져오고 이로 인해 차단 확률을 증가시킨다. 그러므로 비록 S3이 S1보다 홉 수가 많더라도, S2보다 노드 우선순위가 높으면서 미래의 다른 멀티캐스트 세션 요청에 대한 최소의 간섭을 받는 S3 이용이 더 효율적이다.

다음은 PMIPMR 알고리즘에 사용되는 기호들이다.

- $G(N, L, W)$ : 주어진 네트워크 그래프, 여기서  $N, L$ , 그리고  $W$ 는 각각 노드들의 집합, 링크들의 집합, 그리고 링크당 모든 파장의 집합을 나타낸다. 각 링크의 파장 수는 동일하다.
- $P$ : 미래 멀티캐스트 세션 연결 요청에 의해 연결 설정이 요구될 수 있는 잠재적인 경로 간의 노드 쌍들의 집합( $(i,j)$ : 집합  $P$ 의 원소)
- $(a, b)$ : 현재 멀티캐스트 세션 연결 설정을 요구하는 노드 쌍들의 집합

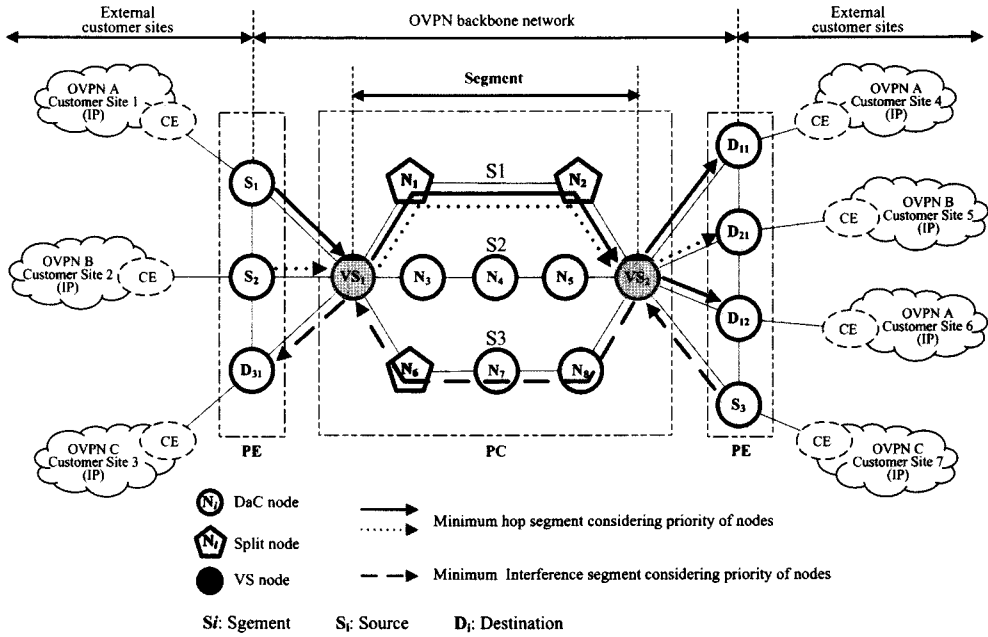


그림 3 PMIPMR 알고리즘 상세도

- $S_{ab}^n$ : 선택된 노드 쌍  $(a, b)$ 의 최소 홉 수 세그먼트 ( $n$ 은 세그먼트의 인덱스,  $1 \leq n \leq 3$ )
- $I_{ab}^n$ :  $S_{ab}^n$ 에서 최소의 파장을 가지고 있는 혼잡링크
- $S_{ij}$ : 잠재적으로 요청할 수 있는 노드 쌍  $(i, j)$ 간의 최소 홉 수 세그먼트
- $W(S_{ab}^n)$ :  $S_{ab}^n$ 의 총 가중치 합
- $\alpha_{ab}^n$ : 멀티캐스트 세션 연결 요청 예약에 따른 통계적 세그먼트에 대한 노드 쌍  $(a, b)$  사이의  $n$ 번째 세그먼트 가중치
- $\Omega_{ab}^n$ :  $S_{ab}^n$  상에 First-Fit(FF) 방식에 의해 할당 가능한 파장
- $R(I_{ab}^n)$ : 노드 쌍  $(a, b)$  간 최소 파장수를 가지는 링크  $l$ 의 사용 가능한 파장 수 ( $\forall l \in L$ )
- $\pi_{ab}^n$ :  $S_{ab}^n$ 에 속하는 링크의 집합
- $\pi_{ij}$ :  $S_{ij}$ 에 속하는 링크의 집합
- $F_{ij}$ :  $S_{ij}$ 의 사용 가능한 파장 수
- $\Delta$ :  $S_{ab}^n$ 에서 사용가능한 파장의 임계치( $S_{ab}^n$ 에서 전체 파장의 30%가 해당)
- $U_{ab}^n$ :  $S_{ab}^n$ 의 파장 이용률

### 3.2 PMIPMR 알고리즘

제안된 알고리즘에서 최소 파장수를 가지는 혼잡링크가 포함된 세그먼트에서 이용 가능한 파장 수는 차단 확률의 관점에서 네트워크의 성능 향상을 위한 중요한 요소이다. 링크의 잔여 파장에 대한 임계치를 나타내는 파라미터  $\Delta$ 를 정의하여 자원의 효율적 사용을 고려한다. 이와 같은 파라미터  $\Delta$ 를 바탕으로 식 (1)을 임계 세그먼트로 정의한다.

$$C_{ab} = (R(I_{ab}^n) < \Delta) \tag{1}$$

이 식에서 적절한 임계치  $\Delta$ 의 결정은 효율적 파장 사용 측면에서 매우 중요하다.  $\Delta$ 값이 너무 크면 혼잡 링크상으로 미래에 연결 결정을 위해 미리 예약되는 자원이 너무 많으므로 자원 낭비가 발생하는 반면, 너무 작으면 미래의 연결 요청에 대한 잠재적인 차단 확률이 높아질 가능성이 크다. 본 논에서는 반복적인 실험을 통해 최적의 결과를 가져온 한 링크의 총 파장수의 30%를 임계치  $\Delta$ 값으로 적용했다[10]. 이 결과는 각 링크의 파장 수를 고려하지 않은 결과이다.

다음은 세그먼트에 세그먼트 가중치를 할당하는 것이다. 여기서  $P_{ab}^n$ 는  $n$ 번째 세그먼트 우선순위 가중치로 식 (2)로 나타낸다.

$$P_{ab}^n = \frac{\#(D)}{\#(T)} = \frac{S_{ab}^n \text{에서 } (a,b) \text{ 노드 쌍을 제외한 DaC 노드 수}}{S_{ab}^n \text{에서 } (a,b) \text{ 노드 쌍을 제외한 중간 노드 수}} \tag{2}$$

-  $(a, b)$  =  $n$ 번째  $S_{ab}^n$ 에서 양쪽 끝 노드

- D = 노드 a와 노드 b 사이의 DaC 노드
  - T = 노드 a와 노드 b 사이의 모든 노드 수
- 그리고 우선순위가 높은 세그먼트에 파장을 할당하기 전, 세그먼트의 혼잡도를 검사하고 그 세그먼트에서 파장 할당의 확률을 계산해야 한다.
- 주어진 세그먼트가 혼잡 세그먼트인지 판별은 여부는 식 (3)을 이용한다.

$$CS_{ij}(ab) : \{ \pi_{ab}^n \cap \pi_{ij} \} \neq \phi \} \cap (\Omega_{ab}^n \in F_{ij}) \quad (3)$$

where  $\forall (i, j) \in P \setminus (a, b), n = (1, 2, 3)$

식 (3)은 미리 선택된 노드쌍 (i, j)의 최소 흡수 세그먼트 S<sub>ij</sub>에 대해 현재 멀티캐스트 세션을 요청한 노드쌍 (a, b) 세그먼트들의 혼잡 가능성을 나타내는 것이다. 현재 멀티캐스트 세션 설립을 요청한 노드쌍 (a, b)의 n번째 최소 흡수 세그먼트의 링크 중에 (a, b)를 제외한 모든 노드쌍 (i, j)의 최소 흡수 세그먼트에 속하는 링크와 공유되는 것이 있고, 현재 연결설정을 요청한 노드쌍 (a, b)의 n번째 최소 흡수 세그먼트 상에 FF 방식에 의해 할당 가능한 파장 Ω<sub>ab</sub><sup>n</sup>이 미리 선택된 노드쌍 (i, j)의 최소 흡수 경로 S<sub>ij</sub>에서 사용가능한 파장 수 F<sub>ij</sub>에 포함되면 노드쌍 (a, b)의 n번째 최소 흡수 세그먼트는 노드쌍 (i, j)의 세그먼트에 대한 혼잡 세그먼트(CS<sub>ij</sub>(ab))에 포함된다.

요청한 멀티캐스트 세션 연결을 위해 식 (3)에서 정의한대로 혼잡도 정도를 측정할 때 세그먼트의 파장수가 임계치 Δ보다 작으면, 최적의 세그먼트 선택을 위해 각 세그먼트의 가중치를 계산한다.

현재 요청한 노드쌍 (a, b)를 제외한 모든 노드쌍 (i, j) 집합 P의 각 세그먼트 간의 가중치를 계산하기 위해 식 (4)를 이용한다.

$$W(S_{ab}^n) = \sum_{\forall (i, j) \in P \setminus (a, b)} \alpha_{ab}^n \cdot U_{ab}^n \quad (4)$$

그러나 전체 네트워크의 모든 세그먼트에 대한 가중치를 고려하는 것은 엄청난 계산량을 요구하기 때문에 본 알고리즘에서는 식 (5)을 이용하여 좀 더 제한적으로 세그먼트의 가중치를 정의하기로 하였다.

$$U_{ab}^n = \begin{cases} \frac{N(I_{ab}^n) - R(I_{ab}^n)}{N(I_{ab}^n)} & [if (i, j) : S_{ij}^n \in CS_{ij}(ab)] \\ 0 & [otherwise] \end{cases} \quad (5)$$

식 (5)에서 S<sub>ab</sub><sup>n</sup>의 파장 이용률 U<sub>ab</sub><sup>n</sup>는 노드쌍 (a, b)의 n번째 최소 흡수 세그먼트가 다른 최소 흡수 세그먼트 (i, j)에 대해 혼잡 세그먼트에 한해서만 계산이 이루어지고 나머지 경우 그 값을 0으로 한다. N(W)은 한 링크에서 총 파장수를 의미한다. 결론적으로 모든 세그

먼트에 대한 계산량이 줄어든 것을 알 수 있다.

PMIPMR 알고리즘으로 계산된 세그먼트가 임계 세그먼트로 판단되면, 이미 선택한 최소 흡수 세그먼트를 선택할 수 있고 이것은 계산의 복잡성을 줄여줄 수 있다.

다음의 과정을 통해 PMIPMR 알고리즘에서 효율적인 세그먼트 선택이 가능하다. 첫 번째 세 개의 최소 흡수 세그먼트를 선택하고 각 세그먼트에 대해 식 (2)을 사용하여 우선순위 가중치를 계산한다. 그리고 다음의 세 가지 경우에 대해 최소 혼잡 세그먼트를 선택 할 수 있다.

**경우 1.** 최소 우선순위 가중치를 가지는 세그먼트의 수 = 1

R(I<sub>ab</sub><sup>n</sup>)는 현재 사용 가능한 최소 P<sub>ab</sub><sup>n</sup>을 가지는 세그먼트의 n번째 I<sub>ab</sub><sup>n</sup> 링크 파장들이다. - 여기서 I<sub>ab</sub><sup>n</sup>는 세그먼트에서 가장 작은 수의 파장을 가진다. 세그먼트 가중치의 크기가 최소인 P<sub>ab</sub><sup>n</sup>을 가지는 세그먼트의 혼잡 링크 I<sub>ab</sub><sup>n</sup>에서 현재 사용가능한 파장 수가 이용 가능한 파장수의 임계치보다 크다면(R(I<sub>ab</sub><sup>n</sup>) > Δ), 최소 우선순위 가중치를 가진 세그먼트를 선택하고, 임계치보다 작다면(R(I<sub>ab</sub><sup>n</sup>) < Δ), 식 (4)를 이용하여 이미 선택한 3개의 세그먼트에 대한 가중치를 계산한 후 최소 우선순위 가중치를 가지는 세그먼트를 선택한다.

**경우 2.** 최소 우선순위 가중치를 가지는 세그먼트의 수 = 2

두 개의 세그먼트가 같은 최소 우선순위 가중치를 가질 경우를 고려한다. R(I<sub>ab</sub><sup>n</sup>) > Δ 조건을 만족하는 세그먼트가 하나일 때는 그 세그먼트를 선택하지만 두 개의 세그먼트가 만족하면 둘 중 하나를 임의로 선택한다.

R(I<sub>ab</sub><sup>n</sup>) > Δ 조건을 만족하기 때문에 어떤 세그먼트를 선택하더라도 혼잡경로를 피할 수 있고, 임의로 선택함으로써 계산량도 줄일 수 있다. 선택된 3개 세그먼트 모두가 조건을 만족하지 않으면, 모든 세그먼트에 대해 식 (4)을 이용하여 세그먼트 가중치를 계산하여, 간섭이 최소인 경로를 선택한다.

**경우 3.** 최소 우선순위 가중치를 가지는 세그먼트의 수 = 3

미리 선택된 세그먼트가 R(I<sub>ab</sub><sup>n</sup>) > Δ를 만족하며, 우선 순위 가중치가 같을 때 3개의 세그먼트 모두 세그먼트 가중치를 계산하고 최소 가중치를 가지는 세그먼트를 선택한다. 이와 같은 PMIPMR 알고리즘에 대한 전체 과정이 그림 4에 설명되어 있다.

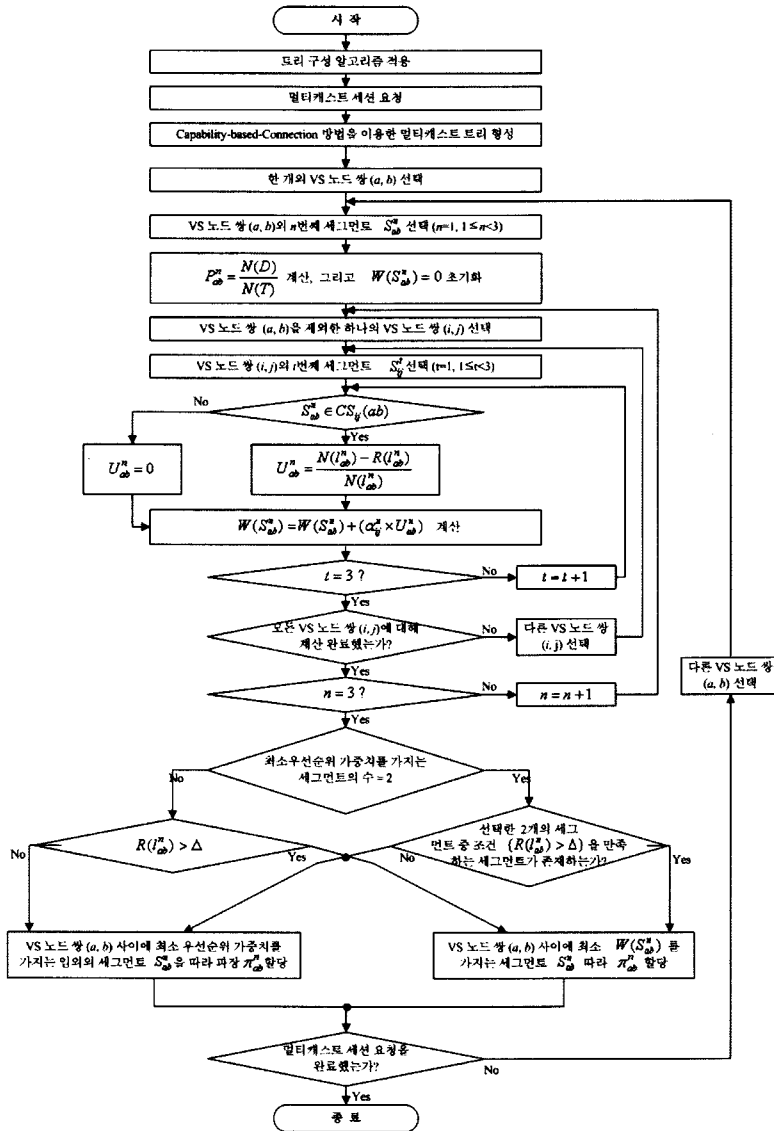


그림 4 PMIPMR 알고리즘

### 4. 성능분석

#### 4.1 네트워크 모델

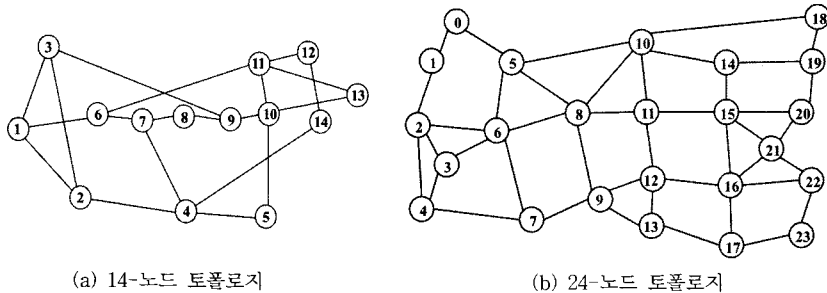
시뮬레이션에 사용된 망의 토폴로지는 그림 5와 같이 현재 DWDM 기술 관련 대부분의 논문에서 사용되는 망을 채택하였다. 첫 번째 망 내부는 14개의 노드와 19개의 링크로 구성되어 있으며, 링크당 파이버의 수는 1개로 가정하였다. 또한 14-노드 망에서 가장 많은 차수를 가지는 3, 9, 10 노드를 VS 노드로 선택하였다. 두 번째 망 내부는 24개 노드와 42개의 링크로 구성되어 있으며, 앞선 모델과 동일하게 링크당 파이버의 수는 1

개로 가정하였다. 또한 24-노드 망에서 가장 많은 차수를 가지는 6, 8, 10, 16 노드를 VS 노드로 선택하였다.

멀티캐스트 서비스에 참여한 송신 노드와 목적지 노드들의 개수를 나타내는 그룹 크기(GS: Group Size)는 각각의 모델에 있어서 0.3과 0.4로 설정하였다. 또한 송신노드에 따른 목적지 노드의 위치는 동일한 분산 네트워크와 그렇지 않은 분산 네트워크에 균일하게 분포한다고 가정하였다[7].

#### 4.2 성능분석 및 비교

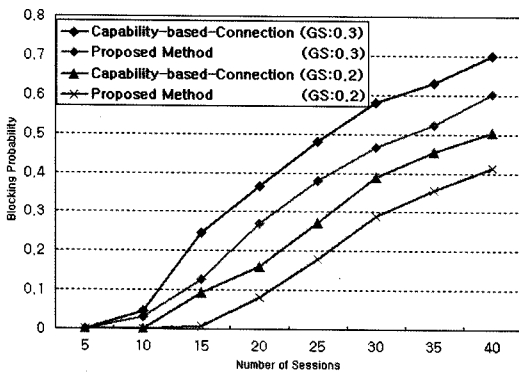
제안된 알고리즘과 Source-rooted 기반의 Capability-based-Connection 알고리즘의 차단 확률을 비교하면



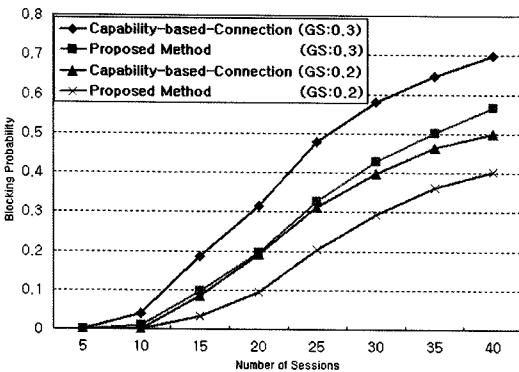
(a) 14-노드 토폴로지

(b) 24-노드 토폴로지

그림 5 시뮬레이션 네트워크 모델



(a) 14-노드 토폴로지



(b) 24-노드 토폴로지

그림 6 멀티캐스트 세션 요청에 따른 차단 확률 비교

그림 6에서와 같이 14-노드와 24-노드 토폴로지에서 각각 세션의 전 범위에서 평균적으로 8~12%, 9~15% 개선을 보였다. 본 알고리즘 시뮬레이션에서 GS는 전체 노드에서 멀티캐스트 서비스에 참여한 즉, 멀티캐스트 세션을 구성한 송신 노드와 수신 노드들에 대한 비율로 본 연구에서는 0.2, 0.3으로 정한다[11].

차단 확률에 대한 성능분석 다음으로, 파장 수 그리고 파장 채널수를 비교하고, 파장 수의 이득(gain)과 파장

채널수의 손실(loss)을 분석함으로써 성능을 평가한다. 여기서 이득(gain)이란 제안된 알고리즘과 Capability-based-Connection 알고리즘 사이의 파장 수의 차를 나타내고, 손실(loss)은 제안된 알고리즘과 Capability-based-Connection 알고리즘 사이의 파장 채널수 차를 나타낸다.

그림 7은 제안한 PMPMR 알고리즘과 기존의 Capability-based-Connection 방식에 있어서 서비스 요청에 따른 필요한 파장수를 비교한 그림이다. 14-노드 토폴로지 및 24-노드 토폴로지 모두 제안한 알고리즘이 파장 사용에 있어서 기존의 방식에 비해 각각 7~15%, 8~25% 정도 개선되었음을 보인다. 또한 이러한 개선량은 요청되는 서비스의 수가 많아질수록 더 커진다는 것을 알 수 있는데 이는 제안한 알고리즘이 복잡한 노드 구성에 대한 각 능력치에 따른 노드의 우선순위를 고려하고 혼잡 상황 시 우회경로를 선택함으로써 특정 링크의 파장 사용을 제한하기 때문이다(그림 9).

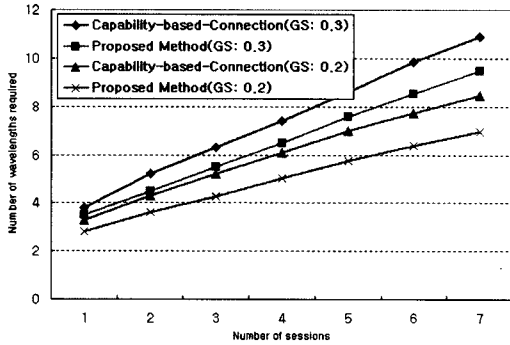
그림 8에서 보듯이 제안한 알고리즘은 비록 기존의 Capability-based-Connection 방식에 비해 사용되는 채널수에 있어서 6~9% 정도의 낭비를 가져온다. 이는 본 알고리즘이 혼잡링크를 피하기 위해 우회 경로를 선택하기 때문이다. 그러나 이러한 손실은 요청되는 서비스의 수가 많아질수록 점점 작아지며, 또한 이러한 채널수 손실은 네트워크가 커질수록 훨씬 작다는 것을 그림 10을 통해 알 수 있다. 즉 14-노드에 비해 24-노드의 채널수 손실이 6%가 넘지 않음을 통해 제안한 알고리즘은 큰 규모의 망에 좀 더 효율적임을 알 수 있다.

결국, 제안된 알고리즘은 네트워크 크기가 커면서, 각 노드 사이의 트래픽이 증가하는 상황에서 멀티캐스트 세션 요청이 높을수록 기존의 멀티캐스트 라우팅 방법보다 뛰어난 성능을 가짐을 성능 분석을 통해 알 수 있었다.

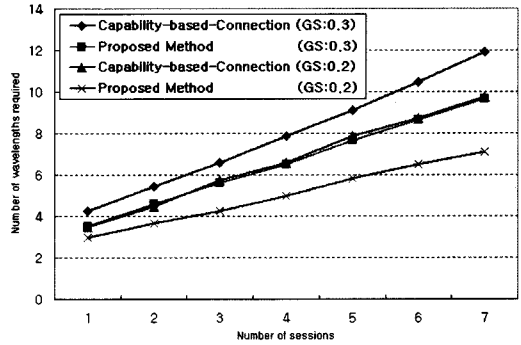
### 5. 결론

본 논문에서는 노드의 우선순위를 기반으로 멀티캐스트 세션 요구에 따른 경로 설정 시 혼잡도 및 트리 형



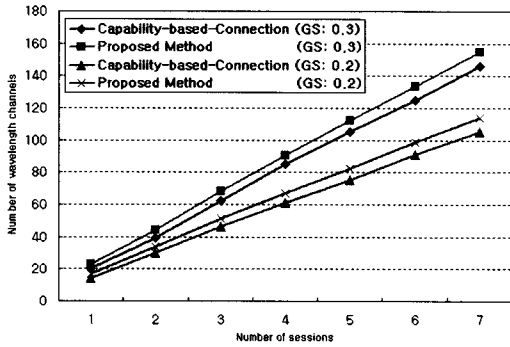


(a) 14-노드 토폴로지

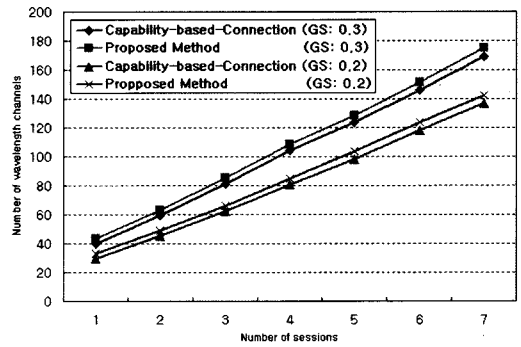


(b) 24-노드 토폴로지

그림 7 멀티캐스트 세션 요청에 따른 파장 수 비교

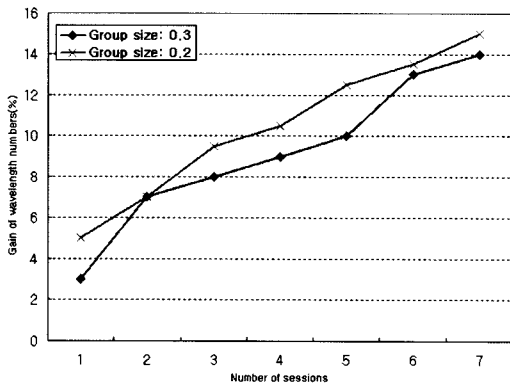


(a) 14-노드 토폴로지

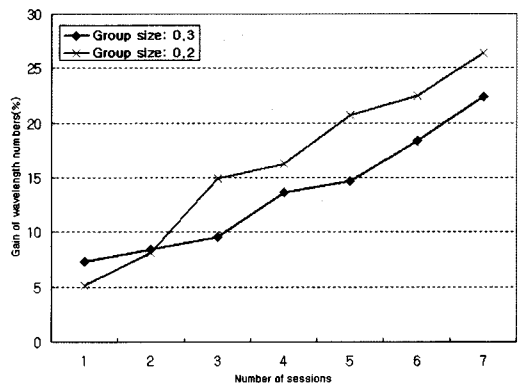


(b) 24-노드 토폴로지

그림 8 멀티캐스트 세션 요청에 따른 파장채널수 비교



(a) 14-노드 토폴로지

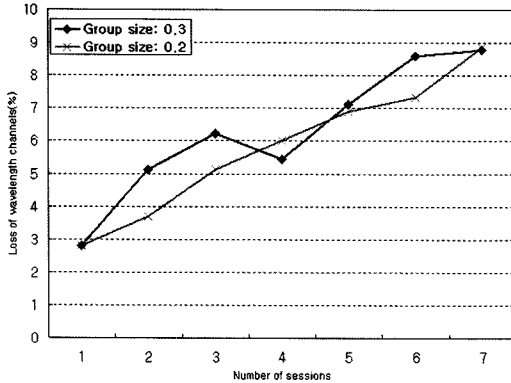


(b) 24-노드 토폴로지

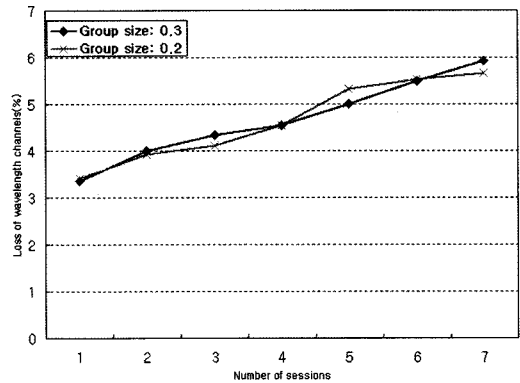
그림 9 멀티캐스트 세션 요청에 따른 파장 수 이득 비교

성 지연시간을 개선시킨 PMIPMR 알고리즘을 제안하였다. 또한 시뮬레이션 결과를 통해 파장 채널수를 조금 더 사용하지만, 멀티캐스트 세션을 형성하는데 있어 기존 라우팅 방법보다 효율적이고 적은 수의 파장을 사용

하여 멀티캐스트 트리를 형성할 수 있음을 보임으로써 차세대 인터넷 백본망으로 사용될 DWDM 망의 제어 프로토콜인 GMPLS(Generalized Multiprotocol Label Switching)에 적용이 가능함을 보였다.



(a) 14-노드 토폴로지



(b) 24-노드 토폴로지

그림 10 멀티캐스트 세션 요청에 따른 파장 채널수 손실 비교

### 참고 문헌

- [1] Xijun Zhang, et al., "On Fundamental Issues in IP over WDM Multicast," in *Int. Conf. Computer Communications and Networks (IC3N)*, pp.84-90, Oct. 1999.
- [2] G. Sahin, et al., "Multicast Routing and Wavelength Assignment in wide-area networks," *SPIE Proceeding, All Optical Networking*, pp.197-208, 1998.
- [3] C. Siva Ram Murthy, and Mohan Gurusamy, "WDM OPTICAL NETWORKS: Concepts, Design, and Algorithms," Published by Prentice Hall PTR. ISBN: 0130606375 Published: Nov. 26, 2001. Copyright 2000.
- [4] X. Zhang, J.Y. Wei and C. Qiao, "Constrained Multicast Routing in WDM Networks with Sparse Light Splitting," *Journal of Lightwave technology*, vol.18, Issue:12, pp.1917-1927, Dec. 2000.
- [5] N. Sreenath, G. Mohan, and C.Siva Ram Murthy, "Virtual Source Based Multicast Routing in WDM Optical Networks," *Photonic Network Communications*, vol.3, no.3. pp.217-230, July 2001.
- [6] N. Sreenath, N. Krishna Mohan Reddy, G. Mohan, and C. Siva Ram Murthy, "Virtual Source Based Tree: A New approach for WDM Optical Multicasting," *Proc. Of IEEE Workshop on High Performance Switching and Routing*, May 2001.
- [7] Jun-Mo Jo, Suk-Jin Lee, Kyung-Dong Hong, Chun-Jai Lee, Oh-Han Kang, Sung-Un Kim, Virtual Source-based Minimum Interference Path Multicast Routing in Optical Virtual Private Networks, *Photonic Network Communications*, vol.13, no.1, pp.19-30, Jun. 2006.
- [8] Jong-Gyu Hwang, Jae-Il Jung, Yong-Jin Park, Jung-Hyun Bae, Hyun-Su Song, Sung-Un Kim, A RWA Algorithm for Differentiated Services with QoS Guarantees in the Next Generation Internet based on DWDM Networks, *Photonic Network Communication*, vol.8, no.3, pp.319-334, Nov. 2004.
- [9] Hui Zang, Jason P. Jue, Biswanath Mukherjee, A Review of Routing and Wavelength Assignment Approaches for Wavelength Routed Optical WDM Networks, *Optical Networks Magazine*, vol.1, no.1, pp.47-60, Jan. 2000.
- [10] Jong-Gyu Hwang, Jae-Il Jung, Yong-Jin Park, Jung-Hyun Bae, Hyun-Su Song, Sung-Un Kim, A RWA Algorithm for Differentiated Services with QoS Guarantees in the Next Generation Internet based on DWDM Networks, *Photonic Network Communication*, vol.8, no.3, pp.319-334, Nov. 2004.
- [11] N. Sreenath, G. Mohan, and C. Siva Ram Murthy, "Virtual Source Based Multicast Routing in WDM Optical Networks," *Photonic Network Communications*, vol.3, no.3. pp.217-230, Jul. 2001.



#### 조 찬 호

2008년 부경대학교 전자정보통신공학과 졸업(학사). 2008년~현재 부경대학교 정보통신공학과 석사과정. 관심분야는 DWDM optical network, MPLS, Wireless Sensor Networks



#### 서 상 보

2006년 부경대학교 전자정보통신공학과 졸업(학사). 2008년 부경대학교 정보통신공학과 졸업(석사). 2009년~현재 KTF 부산 네트워크 본부, 관심분야는 GMPLS, RWA, Ubiquitous Sensor Networks



이 준 원

1976년 서울대 전자공학과 졸업(학사)  
 1992년 충북대 전산과 졸업(석사), 1997  
 년 충북대 전산과 졸업(박사). 1977년~  
 1979년 삼성전기 사원. 1980년~1998년  
 한국전자통신연구원(ETRI) 초고속망연  
 구실장. 1987년~1988년 미국 AT&T

Bell연구소 방문연구원. 2006년~2007년 미국University of  
 Virginia 교환교수. 1998년~현재 안동대학교 정보통신공학  
 전공 교수. 관심분야는 통신표준화, 초고속정보통신, 방재통  
 신, 그린 IT 등



김 성 운

1982년 경북대학교 전자공학과(학사). 1990  
 년 프랑스 파리 7 대학 정보통신공학과  
 (석사). 1993년 프랑스 파리 7 대학 정보  
 통신공학과(박사). 1982년~1985년 한국  
 전자통신연구소 연구원. 1985년~1995년  
 한국통신연구개발원 선임연구원 실장.

1995년~현재 부경대학교 정보통신공학과 교수. 2000년~  
 2001년 미국 NIST 초빙연구원. 2003년~현재 한국 ITU-T  
 SG15 의장. 2003년~현재 TTA PG201 프로젝트그룹 의  
 장. 2004년~현재 개방형컴퓨터통신연구회 이사. 2008년~  
 현재 ICT/환경융합표준포럼 의장. 관심분야는 MPLS,  
 DWDM optical network, Ubiquitous Sensor Networks