

# WDM 링에서 SONET ADM 수를 최소화하기 위한 트래픽 그루밍 알고리즘

정회원 노선 식\*, 윤승진\*, 김영천\*

## Traffic Grooming Algorithm for Minimizing the Number of SONET ADMs in WDM Ring Networks

Sun-Sik Roh\*, Sung-Jin Yoon\*, Young-Chon Kim\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 파장 분할 다중화(Wavelength Division Multiplexing: WDM) 기법을 이용한 링 구조의 고속 광 전송망에서 망 구성 비용의 주요 요소인 SONET ADM의 수를 줄이기 위한 효율적인 트래픽 그루밍 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 송신지와 수신지간의 연결을 조합하여 최대의 완전 연결-링을 구성하는 연결-링 구성 알고리즘과 하나의 파장에 되도록 많은 노드를 수용할 수 있도록 그룹화하는 연결-링 그루밍 알고리즘으로 구성되었다. 이들 알고리즘은 불규칙하고 다양한 트래픽 및 망 상황을 고려하여 단방향과 양방향 링 모두에 적용될 수 있도록 하였으며, 연결-링 구성 단계에서는 절단 기법을 이용하여 공백을 최소화할 수 있도록 하였다. 또한 양방향 WDM 링에서는 트래픽에 방향성이 존재하기 때문에 이를 고려한 방향 전환을 고려함으로써 보다 효율적인 완전 연결-링 구성이 가능하였다.

제안된 알고리즘의 성능 평가를 위하여 다양한 망 상황 및 트래픽 요구사항에 대하여 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션 결과 제안된 알고리즘이 다양한 트래픽 상황에서 기존의 알고리즘보다 SONET ADM 수를 줄일 수 있음을 보였다.

### ABSTRACT

In this paper, we propose an efficient traffic grooming algorithm to minimize the number of SONET ADMs which is the dominant cost of system in high speed optical ring networks. It is an optimal traffic grooming algorithm to be applied to both unidirectional ring and bidirectional ring under both uniform traffic and nonuniform traffic. The proposed traffic grooming algorithm consists of two subalgorithms : one is the algorithm to construct full connection-rings as many as possible to minimize gaps by cutting the connections and using redirection method, and the other is the algorithm to groom connection-rings into a wavelength to maximize the number of shared nodes. The simulation results show that the proposed algorithm is superior to conventional algorithm under various network conditions.

### 1. 서론

현재 고속 광 전송망은 교환 기능 없이 단순한 물리적 토폴로지로 노드를 연결할 수 있는 SONET

(Synchronous Optical Network) 링이 기본 구조로 널리 사용되고 있다. SONET 링은 슬롯에 데이터를 삽입하고 추출할 수 있는 SADM(SONET Add/Drop Multiplexer)과 서로 다른 SADM들을 상호 연결하는 광섬유로 구성되어 있다. SADM은 여러 낮은 전송속

\* 전북대학교 컴퓨터공학과 차세대통신망연구실(rss@networks.chonbuk.ac.kr)  
논문번호 : 99427-1025, 접수일자 : 1999년 10월 25일

도 트래픽을 하나의 높은 전송 속도 트래픽으로 다중화/역다중화한다. 하지만 앞으로 전개될 HDTV, VOD 등과 같은 대용량 멀티미디어 서비스와 다양한 정보 통신 서비스들의 통합으로 인한 통신 대역의 요구량을 기존 SONET 링 구조의 망으로는 충족시킬 수 없다<sup>[1-7]</sup>.

파장 분할 다중화 기법은 빛의 저손실 파장 영역을 분할하여 채널을 다중화하는 기법으로, 광 섬유의 방대한 대역을 효율적으로 사용하기 위한 방법이다. 파장 분할 다중화 기법을 사용함으로써 하나의 광섬유를 통하여 여러 파장을 동시에 전송할 수 있다. WDM 링에서 하나의 파장은 하나의 SONET 링을 구성할 수 있으므로 파장 분할 다중화 기법은 하나의 광섬유를 통해 독립적인 다중의 SONET 링을 제공할 수 있다.

파장 분할 다중화 기법을 사용하는 망을 설계할 때 중요한 점은 망 구성에 요구되는 전체 비용을 최소화하는 것이다. 망 구성에 요구되는 비용을 최소화하기 위해서 광소자 부분인 파장 수를 최소화하고 전기적 소자 부분인 SADM 수를 최소화해야 한다. 하지만 이 두 가지는 서로 보완 관계에 있으므로 동시에 최소화시키기는 어렵다. 현재 WDM 기술의 발달과 고속 광전송 소자의 개발로 인하여 파장 수 보다는 상대적으로 SADM의 수가 망 구성의 전체 비용에 많은 영향을 미친다. 따라서 망의 비용을 줄이기 위해서는 파장 수를 최소화하기보다는 SADM의 수를 최소화하여야 한다<sup>[3-7]</sup>. 이러한 SADM 수는 WDM 망을 설계할 때에 WADM (Wavelength ADM)의 사용과 이를 이용한 효과적인 트래픽 그루밍 알고리즘을 사용함으로써 줄일 수 있다.

최근 트래픽 그루밍 알고리즘에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 광 경로를 기반으로 광 경로의 분할 없이 파장을 구성하는 방법<sup>[6]</sup>, 망내의 트래픽을 하나 이상의 특정 노드들을 경유하도록 가상 토폴로지를 구성하여 트래픽을 그루밍 하는 방법<sup>[7]</sup>, 연결을 기반으로 하여 경험적 알고리즘에 의해 트래픽을 그루밍 하는 방법<sup>[8]</sup> 등이 있다. 그러나 망은 단방향 링과 양방향 링으로 구성될 수 있으며, 망의 트래픽은 균등 트래픽뿐만 아니라 불균등 트래픽으로 구성될 수 있음에도 불구하고, 기존 트래픽 그루밍 알고리즘은 단방향 링에 대한 제한적 연구<sup>[7]</sup>이거나, 균등 트래픽에 대한 제한적 연구<sup>[6,7]</sup> 또는 단순한 불균등 트래픽에 대한 연구<sup>[9]</sup>로서, 망의 상황이 종합적으로 고려되지 않았다.

따라서 본 논문은 WDM 링에서 SADM 수를 최소화

화하기 위하여 망의 다양한 트래픽 상황 및 단방향 링과 양방향 링에 모두 적용이 가능한 트래픽 그루밍 알고리즘을 제안하였다

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 WDM 링 네트워크의 종류와 노드의 구조 및 트래픽 그루밍 알고리즘 설계요소에 대하여 기술하고, III장에서 시스템 비용을 최소화하기 위하여 연결 링 구성 알고리즘과 연결 링 그루밍 알고리즘으로 이루어진 트래픽 그루밍 알고리즘을 제안한다. IV장에서는 제안된 알고리즘에 대한 시뮬레이션 및 결과에 대하여 분석을 하였으며, V장에서 결론을 맺는다.

## II. WDM 링 구조 및 트래픽 그루밍

### 1. WDM 링 네트워크 구조

자기치유 SONET 링은 대용량의 트래픽을 수용할 수 있고 망 고장시 빠른 회복 능력이 있기 때문에 현재 고속 광 전송망의 기본 구조로 널리 사용되고 있다. 자기치유 SONET 링은 방향성에 따라 단방향 링과 양방향 링으로 구성된다. 단방향 링에서는 이웃하는 노드들이 2 가닥의 광섬유로 연결되어 있으며, 하나의 광섬유에서 한쪽 방향으로 진행하는 광신호를 이용하여 송수신 노드간에 통신을 한다. 나머지 하나의 광섬유는 반대 방향으로 운행되며 자기치유를 위한 보호용으로 사용한다. 양방향 링은 이웃하는 노드들이 2 가닥 또는 4 가닥의 광섬유로 연결되어 있으며, 시계방향과 반시계방향에 대하여 데이터 전송용 광섬유와 자기치유를 위한 보호용 광섬유로 구성된다. 하지만 기존의 SONET 링 구조로는 다양한 정보 통신 서비스의 통합 및 새로운 대용량 서비스의 등장으로 인한 통신 대역의 요구를 만족시킬 수 없다.

WDM 기법은 이러한 대용량의 서비스를 수용하기 위한 방법으로, 빛의 저손실 파장 영역을 분할하여 하나의 광섬유를 통해 다수의 파장 채널을 제공한다. WDM 기법을 사용하는 링 망에서 각각의 파장 채널은 독립적인 SONET 링으로 구성할 수 있다. 그림 1은 이러한 SONET 링을 기반으로 WDM 링을 구성하는 방법을 나타내고 있다. 그림1-a)는 WDM기법에 의해 분할된 각각의 파장을 SONET 링으로 구성하며, 링을 구성하는 모든 노드들이 모든 파장을 이용할 수 있는 WDM 링 구조이다. 하나의 노드가 전송하길 원하는 트래픽을 모든 파장에 분산하여 전송한다. 즉 3개의 파장을 사용할 경우 각각의 노드들은 전송하길 원하는 트래픽을 3개

의 파장 중에서 사용 가능한 파장들에 분산하여 전송한다. 하지만 이러한 구조에서는 링을 구성하는 각각의 노드들이 망에서 사용하는 모든 파장에 대하여 SADM을 필요로 하므로 각 노드는 파장수만큼의 SADM의 수가 요구된다. 그림1-b)는 트래픽 그루밍 방법과 WADM을 사용하여 망에서 요구하는 SADM의 수를 줄인 WDM 링 구조이다. 트래픽 그루밍 방법을 이용함으로써 각각의 노드는 전송하길 원하는 트래픽을 모든 파장에 분산하여 전송하지 않고 트래픽을 모아서 몇 개의 파장에 그루밍하며, WADM은 노드에서 그루밍된 파장만을 이용하여 삽입/축출한다. 따라서 효과적인 트래픽 그루밍 알고리즘을 사용함으로써 노드에서 요구되는 파장의 수를 줄일 수 있으며, 각각의 노드는 그 노드에 그루밍된 파장에 대한 SADM만을 필요로 하기 때문에 SADM의 수를 줄일 수 있다<sup>[6,9]</sup>.

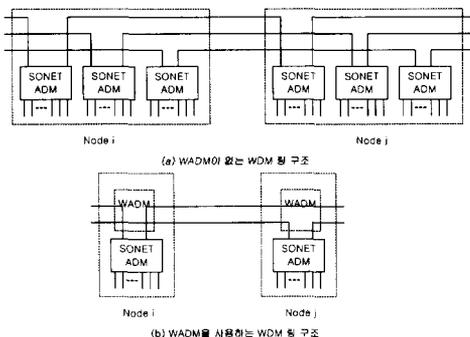


그림 1. SONET 기반의 WDM링

WDM 링에서 WADM과 SADM을 사용하는 노드의 구조를 그림 2에 나타내었다<sup>[2-7]</sup>. WADM은 하나의 광섬유를 통해 전송된 다중 파장을 각각의 파장으로 구분해주는 역다중화기 및 역기능을 수행하는 다중화기와 구분된 파장들 중에서 그 노드에서 데이터를 전송하는데 필요로 하는 파장들은 SADM에 연결시키고 사용되지 않는 파장들은 bypass 시키는 기능을 수행하는 스위치들로 구성된다. SADM은 다수의 낮은 전송속도를 갖는 신호를 하나의 높은 전송속도를 갖는 신호로 다중화/역다중화하는 기능을 수행한다. 예를 들어 각각의 SADM은 16개의 OC-3 신호나 4개의 OC-12 신호를 하나의 OC-48 신호로 다중화/역다중화한다. 한 노드에서 요구되는 트래픽을 전송하기 위해 필요한 SADM의 수는 노드에서 송수신하는 트래픽의 양과 트래픽을 사용 가능한 파장에 그루밍 하는 그루밍 알고리즘에 의

해서 좌우된다. 전기적 신호를 처리하는 DXC (digital cross-connect)는 트래픽을 상호 교환해주는 기능을 수행한다. ADM을 사용하는 노드는 DXC를 이용하여 한 파장으로 전송된 트래픽을 다른 파장으로 전환하여 전송할 수 있다.

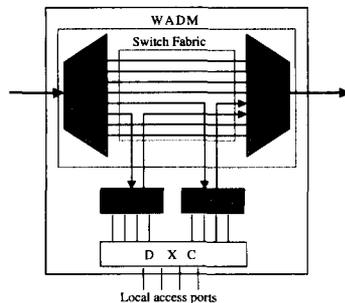


그림 2. WDM 링 노드 구조

## 2. 트래픽 그루밍을 위한 고려사항

WDM 링을 설계할 때에 중요한 점은 시스템의 구성비용을 최소화하는 것이다. WDM 링에서 시스템 구성비용의 요소는 광소자 부분인 파장 수와 전기적 소자 부분인 SADM 수이다. 따라서 시스템 구성비용을 최소화하기 위해서는 파장 수 및 SADM 수를 최소화하여야 한다. 하지만 파장 수와 SONET ADM수의 최소화를 동시에 이루기는 어렵다.

그림 3은 하나의 파장이 한 연결-링을 수용할 수 있을 때, 두 가지 목적이 서로 상반되는 경우를 보여주고 있다. 연결-링은 광경로를 구성하는 연결들을 이용하여 구성된 링이다. 그림 3-a)는 파장 수를 최소화하도록 연결-링을 구성한 것으로, 이때 파장 수는 2이고 사용되는 SADM은 8개이다. 하지만 그림 3-b)와 같이 SADM의 수를 줄이도록 연결-링을 구성하면, 파장 수는 3이지만 SADM은 7개이다. 따라서 파장과 SADM의 경제성을 고려하여 시스템 구성비용을 최소화할 수 있도록 설계하여야 한다.

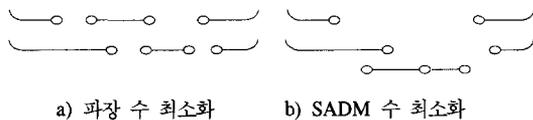


그림 3. 파장 수 최소화와 SADM 수 최소화

최근 WDM 기술의 발달과 고속 광전송 소자의 개발로 인하여 광 관련 소자 부분 보다 전기적 소자 부분이 망 전체 비용의 결정에 중요한 요인이

되었다. 그러므로 망 전체 비용을 줄이기 위해서는 파장 수 보다 SADM 수를 줄일 수 있어야 한다. 따라서 트래픽 그루밍 알고리즘을 설계함에 있어서 파장 수의 최소화보다는 SADM 수의 최소화에 목표를 두어야 한다.

요구되는 SADM을 최소화하기 위한 트래픽 그루밍 기법을 설계함에 있어서 고려해야 할 요소는 그루밍의 단위와 접근 방법이다. 그루밍의 단위 관점에서 트래픽 그루밍 기법은 근원 노드에서 목적 노드로의 광경로를 기본 단위로 하는 광경로 기반 그루밍 기법<sup>[5-7]</sup>과 광경로를 이루는 연결을 기본 단위로 하는 연결 기반 그루밍 기법<sup>[8]</sup>으로 구분할 수 있다. 또한 그루밍 기법의 접근 방법면에서 트래픽 그루밍 기법은 가상 경로의 구성에 의한 그루밍 방법<sup>[7]</sup>과 휴리스틱 알고리즘에 의한 그루밍 방법<sup>[8]</sup>으로 나누어진다.

논문[9]에 의하면 그루밍 기법을 사용하지 않았을 때보다 그루밍 기법을 사용했을 때 SADM 수에 있어서 절약률이 평균 70%에 달했으며, 노드수가 증가할수록 절약률은 점점 더 증가하였다. 그루밍의 단위 관점에서는 망 자원의 다양한 환경에서 연결 단위의 그루밍 방법이 광경로 단위의 그루밍 방법보다 SADM 수를 더 최소화할 수 있다. 또한 가상 경로 구성에 의한 그루밍 방법보다 휴리스틱 알고리즘에 의한 방법이 SADM 수를 더 최소화할 수 있었으며, 특히 망내의 트래픽이 다양한 상황에서 가상 경로 구성에 의한 그루밍 방법은 요구 SADM 수의 변화가 많은 반면에 휴리스틱 알고리즘에 의한 그루밍 방법은 SADM 수가 트래픽 유형의 변화에 대하여 안정적이며 비교적 효율적이었다. 따라서 트래픽 그루밍 알고리즘을 설계함에 있어서, 파장의 수를 최적화 하면서 SADM의 수를 최소화하는데 목표를 두어야 하며, 광경로보다는 연결을 기본 단위로, 가상 경로 구성에 의한 방법보다는 휴리스틱 알고리즘에 의한 방법이 효율적이다.

### III. 제안된 트래픽 그루밍 알고리즘

본 장에서는 SADM의 수를 최소화하기 위한 트래픽 그루밍 알고리즘을 제안하였다. 이를 위해 망의 다양한 트래픽 특성을 잘 반영할 수 있도록 균등 트래픽 및 불균등 트래픽 상황에서 효율적으로 동작할 수 있는 트래픽 그루밍 알고리즘이 되도록 설계하였다. 제안된 알고리즘은 연결-링 구성 알고리즘과 연결-링 그루밍 알고리즘으로 구성된다.

연결-링 구성 알고리즘에서는 WDM 링이 단방향 링과 양방향 링으로 구성될 수 있으므로 각 링 구조에 대한 연결-링 구성 알고리즘을 제안하였다.

#### 1. 연결-링 구성 알고리즘

##### 1) 연결-링 구성

WDM 링이 0부터 N-1까지 N개의 노드로 구성되어 있다고 가정한다. 임의의 i 노드에서 발생하는 전체 연결의 수를  $T_i$ 로 정의하고, i 노드에서 j 노드로 전송하길 원하는 연결의 수를  $T_{ij}$ 로 정의한다. 균형 트래픽의 각 노드의  $T_{ij}$  값이 동일한 반면 불균형 트래픽에서는  $T_{ij}$  값이 다르다.  $T_{ij}$ 에 속해 있는 임의의 연결을  $t_{ij}$ 라 정의하면, 망 전체적으로 연결들의 조합으로 이루어진 연결-링을 구성할 수 있다. 이때 구성되는 연결-링은 불균형 트래픽 상황이므로 완전 연결-링과 부분 연결-링으로 구분된다.

SADM의 수를 줄이기 위해서 효율적으로 연결-링을 구성하기 위한 기법이 필요하다. 그림 4는 연결-링을 구성할 때, 연결-링에 존재하는 공백의 수가 많을수록 SADM 수가 증가함을 보여주고 있다. 그림 4-a)는 연결-링 구성 과정에 의해 a 노드에서 d 노드까지의 부분 연결-링이 구성된 가운데 두 개의  $t_{c,a}$ 와  $t_{c,b}$  연결이 존재할 경우이다.  $t_{c,b}$  연결을 구성된 연결-링에 포함시킬 경우 추가적인 공백이 생겨나므로 6개의 SADM이 필요하다. 하지만 그림 4-b)와 같이 구성된 연결-링에 추가적인 공백이 발생하지 않도록  $t_{c,a}$  연결을 포함시킬 경우 a 노드가 중복됨으로 인해 5개의 SADM이 필요하다. 따라서 연결-링을 구성할 때에 공백이 존재하지 않는 완전 연결-링을 구성하거나 되도록 공백의 수가 적은 부분 연결-링을 구성함으로써 SADM의 수를 최소화할 수 있다.

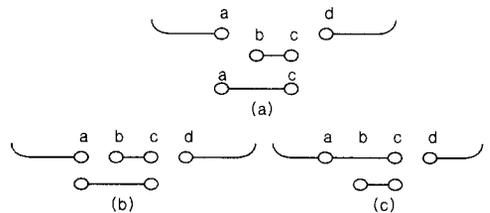


그림 4. 공백과 SADM

그림 5는 본 논문에서 부분 연결-링을 공백이 없는 완전 연결-링으로 만들기 위해 사용하는 절단 방법을 나타낸다. 연결-링 구성 과정에 의해 A와 B

두 개의 부분 연결-링이 구성되고, 아직 연결-링에 포함되지 않은 연결  $t_{c,a}$ 가 존재할 경우, 연결  $t_{c,a}$ 는 이미 구성된 부분 연결-링 A나 B 둘다와 중복되므로 어느 연결-링에도 포함될 수 없다. 하지만  $t_{c,a}$ 를 b 노드에서 절단하여  $t_{c,b}$ 와  $t_{b,a}$ 로 나누면  $t_{c,b}$ 는 부분 연결-링 B에 포함되고,  $t_{b,a}$ 는 부분 연결-링 A에 포함할 수 있다. 따라서 절단 방법을 사용하여 부분 연결-링 A와 B를 완전 연결-링으로 만들어 공백을 줄일 수 있다. 절단 방법을 사용하지 않을 경우 필요한 SADM의 수는 6개이었지만, 절단 방법을 사용한 경우 필요한 SADM의 수는 4개이다. 결국 절단 방법을 이용하여 공백이 없는 연결-링을 구성함으로써 SADM의 수를 줄일 수 있다.

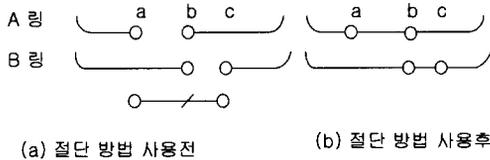


그림 5. 절단 방법

2) 단방향 링에서 연결-링 구성 알고리즘

단방향 링에서 근원 노드에서 목적 노드로의 라우팅은 시계방향의 단방향으로 이루어진다. 그림 6은 이러한 점을 이용하여 단방향 링에서 트래픽 매트릭스가 주어졌을 때 연결-링을 구성하는 알고리즘의 흐름도를 나타내고 있다.

먼저 주어진 트래픽 매트릭스에서 연결들을 결합하여 완전 연결-링을 구성하여 완전 연결-링 리스트에 추가한다. 완전 연결-링으로 구성되지 않고 남아있는 연결들을 이용하여 부분 연결-링을 구성하여 부분 연결-링 리스트에 추가한다. 부분 연결-링 중에서 절단 방법을 적용할 수 있는 부분 연결-링 쌍을 선택한다. 부분 연결-링 리스트에 포함된 연결 중에서 절단 방법을 사용하여 선택된 부분 연결-링 쌍을 완전 연결-링으로 만들 수 있는 연결을 선택한다. 선택된 연결을 절단하여 두 부분 연결-링을 완전 연결-링으로 구성한다. 구성된 완전 연결-링을 완전 연결-링 리스트에 추가한다. 더 이상 절단 방법을 사용할 수 없을 때까지 이 과정을 반복 수행한다. 최종적으로 완전 연결-링 리스트와 부분 연결-링 리스트에 존재하는 연결-링들이 단방향 링에서 연결-링 구성 알고리즘에 의해 구성된 연결-링이다.

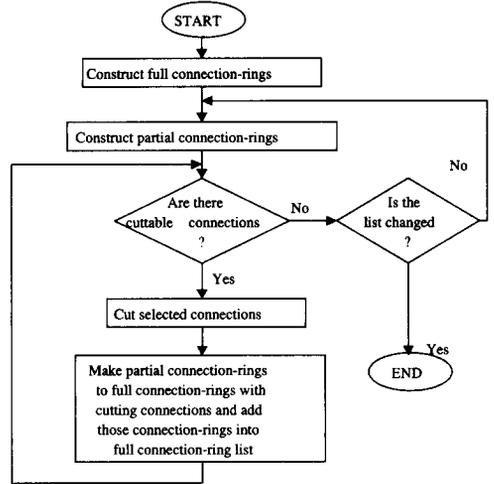


그림 6. 단방향 링에서 연결-링 구성 알고리즘 흐름도

3) 양방향 링에서 연결-링 구성 알고리즘

양방향 링에서는 시계방향과 반시계방향의 두 방향이 존재하게 되며, 근원노드에서 목적 노드로의 경로는 최단거리 경로를 기본으로 한다. 그러므로 양방향 링에서 연결-링을 구성하기 위해서는 단방향 링에서의 연결-링을 구성하는 알고리즘과는 다르게 방향성을 우선적으로 고려해야 한다.

양방향 링에서 트래픽 매트릭스가 주어지면, 최단 경로에 의해 트래픽 매트릭스를 시계방향 매트릭스와 반시계방향 매트릭스로 분할한다. 먼저 초기 완전 연결-링 리스트와 부분 연결-링 리스트를 만든다. 시계방향과 반시계방향에 대하여 각각 완전 연결-링을 구성하고, 각 방향에 대한 완전 연결-링 리스트에 추가한다. 완전 연결-링을 구성하는데 사용되지 않고 남아있는 연결들을 이용하여 부분 연결-링을 구성하고, 각 방향에 대한 부분 연결-링 리스트에 추가한다.

구성된 부분 연결-링 리스트에 있는 연결들에 대하여 방향 전환 방법을 적용한다. 반시계방향 부분 연결-링 리스트에 있는 연결 중에서 방향을 전환하여 시계방향 부분 연결-링을 완전 연결-링으로 구성할 수 있는 연결을 검색한다. 방향 전환이 가능한 연결이 존재하면, 연결의 방향을 시계방향으로 전환하고 시계방향 부분 연결-링을 완전 연결-링으로 구성하여, 시계방향 완전 연결-링 리스트에 추가한다. 반시계방향 부분 연결-링 리스트에 대해서도 동일한 방향 전환 방법을 적용한다.

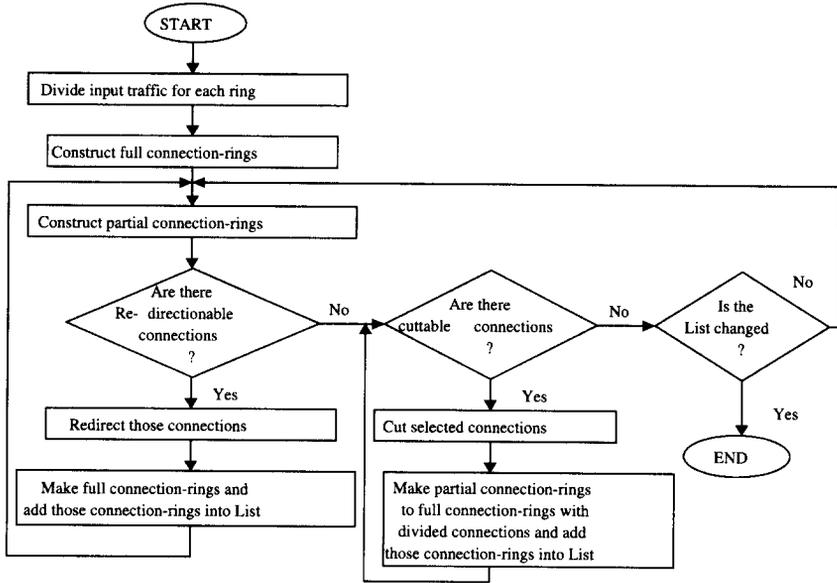


그림 7. 양방향링에서 연결-링 구성 알고리즘 흐름도

마지막으로 절단 방법을 사용한다. 절단 방법은 단방향링에서 연결-링 구성에 사용된 알고리즘과 유사하다. 양방향 링에서는 시계방향과 반시계방향에 대하여 절단 방법을 사용하여 부분 연결-링을 완전 연결-링으로 구성한다. 완전 연결-링 리스트와 부분 연결-링 리스트에 변화가 없을 때까지 방향 전환 방법과 절단 방법을 적용한다. 최종적으로 완전 연결-링 리스트와 부분 연결-링 리스트에 존재하는 연결-링들이 연결-링 구성 알고리즘에 의해 구성된 연결-링이다. 그림7은 양방향 링에서 연결-링 구성 알고리즘의 흐름도를 나타낸다.

## 2. 연결-링 그루밍 알고리즘

연결-링 구성 알고리즘에 의해 구성된 연결-링의 전체 수를  $C$ , 하나의 연결-링의 전송 용량을  $B_c$ , 한 파장의 전송 용량을  $B_w$ 라고 하면, 한 파장이 수용할 수 있는 연결-링의 수  $g$ 는 식(1)과 같이 구할 수 있다.

$$g = \left\lfloor \frac{B_w}{B_c} \right\rfloor \quad (1)$$

이때  $g$ 값은 그루밍 인자가 된다. 망에서 발생하는 트래픽을 전송하기 위해 필요한 파장의 수는 식(2)와 같다.

$$W = \left\lceil \frac{C}{g} \right\rceil \quad (2)$$

하나의 파장은 그루밍 인자  $g$ 개만큼의 연결-링을 포함할 수 있으므로, 구성된 전체 연결-링 중  $g$ 개를 선택하여 하나의 파장을 할당하여 그루밍할 수 있다. 이때 임의의  $g$ 개의 연결-링을 선택하여 파장을 할당할 경우 각각의 노드는 파장마다 SADM을 두게 되며, 이는 동일 상황에서 가장 많은 SADM을 사용하게 된다. 그러므로 연결-링을 모아 파장을 할당할 때 SADM수를 최소화 할 수 있도록 연결-링을 선택해야 한다. 따라서 본 논문에서는  $g$ 개의 연결-링을 선택할 때 공유 SADM의 수를 최소화할 수 있는 연결-링을 선택하여 그루밍하였다. 그림 8은 연결-링 그루밍 알고리즘의 흐름도를 나타낸다.

초기 연결-링을 선택할 때 노드 수가 제일 많은 연결-링을 기준 연결-링으로 선택하고, 그루밍 리스트(CR\_L)에 추가한다. 그루밍 되지 않고 남아있는 각각의 연결-링을 그루밍 리스트에 있는 연결-링과 비교하여 공유 노드 수가 많은 연결-링을 선택하고, 그루밍 리스트에 추가한다. 이런 과정을 반복하여 선택된  $g$ 개의 연결-링을 리스트에 추가하고, 이 연결-링들을 하나의 파장에 그루밍한다. 이러한 과정을 식(2)에서 구한 파장 수만큼 반복 수행한다. 결국 한 파장 안에 포함되는 공유 노드 수를 최대화하여 각 노드에서 최소의 SADM을 사용할 수 있도록 그루밍한다.

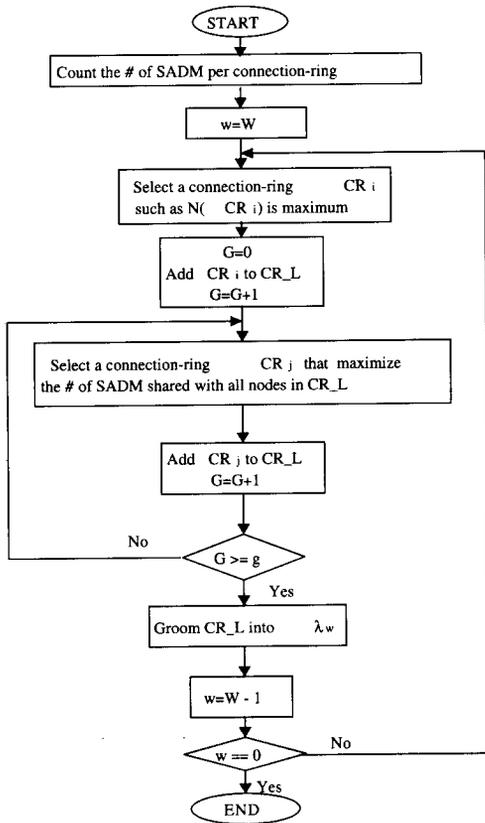


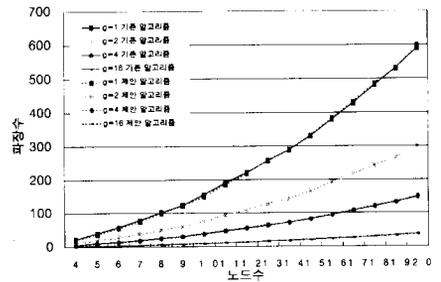
그림 8. 연결링 그루밍 알고리즘

#### IV. 시뮬레이션 및 성능 평가

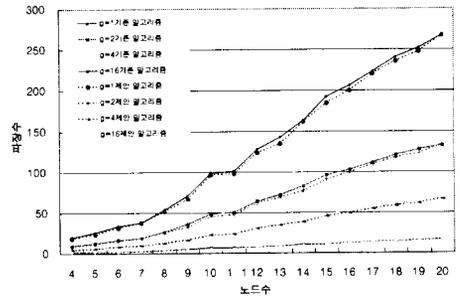
본 장에서는 제안된 알고리즘에 대한 시뮬레이션 결과를 분석한다. 시뮬레이션은 단방향 WDM 링과 양방향 WDM 링에 대하여 수행하였다. 망에서 발생하는 트래픽은 균등 및 불균등 트래픽 등 다양하게 적용하였다. 이를 위해 송수신 노드간에 전송되는 트래픽은 연결의 수가 1에서 10까지의 난수를 발생시켜 다양한 트래픽 양을 갖도록 하였다. 또한 다양한 불균형 트래픽에서의 성능평가를 위하여 트래픽 유형을 1개의 노드로 트래픽이 집중되는 경우와 다수의 노드로 집중되는 경우, 그리고 모든 노드로 균등하게 분산되는 경우(균등 트래픽)에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다. 제안된 알고리즘의 성능을 평가하기 위해, 기존 트래픽 그루밍 알고리즘서 가장 적은 파장과 SADM을 갖는 참고문헌[8]의 트래픽 그루밍 알고리즘과 비교하였다.

그림 9에서는 노드의 수를 1에서 20까지 증가시

켰을 때, 망 전체 트래픽을 수용할 수 있는 파장의 수를 나타낸다. 단방향링에서 제안된 알고리즘에 의해서 요구되는 파장 수는 기존 알고리즘의 파장 수와 거의 비슷한 결과를 나타내고 있다. 이러한 현상은 그루밍 인자가 1에서 16까지 변하더라도 같은 결과를 나타내고 있으며, 또한 다양한 트래픽 상황에서도 유사한 결과를 나타내고 있다. 하지만 양방향 링에서는 제안된 알고리즘에서 요구되는 파장 수는 기존 알고리즘의 파장 수보다 더 적게 요구됨을 알 수 있다. 이는 제안된 알고리즘이 양방향링에 대하여 방향성을 고려함으로써 적절한 방향 전환을 통해 더 많은 완전 연결링을 구성할 수 있기 때문이다.



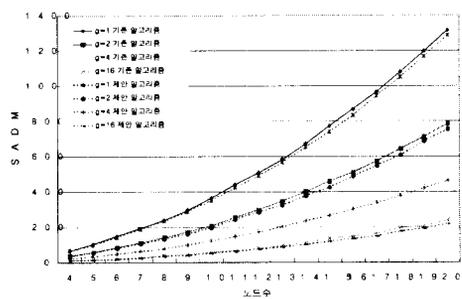
a) 단방향 링



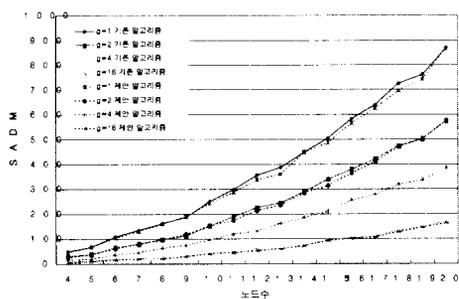
b) 양방향 링

그림 9. WDM 링에서의 요구 파장 수

그림 10, 11, 12는 노드의 수와 그루밍 인자를 변화시켰을 때 요구되는 SADM의 수를 나타내었다. 그림 10은 망내의 모든 트래픽이 임의의 한 노드에 집중되는 상황에서의 요구 SADM 수를 나타내었다. 그림 11은 망내의 트래픽이 임의의 m개의 노드에 집중되는 상황에서의 요구 SADM 수를 나타낸다. 그림 12는 트래픽이 망내의 모든 노드에 같게 분포되는 균등 트래픽하에서의 요구 SADM 수를 보였다.



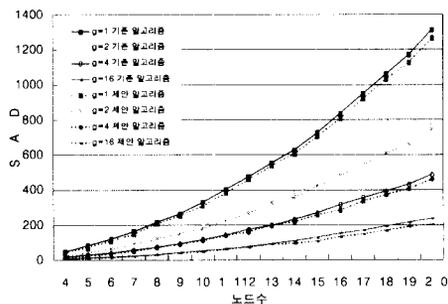
a) 단방향 링



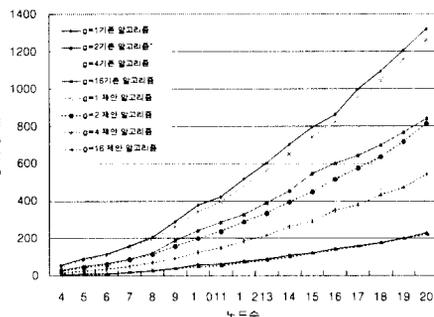
b) 양방향 링

그림 10. WDM 링에서 요구 SADM 수 (트래픽이 특정노드에 집중)

그림 10과 그림 11에서 제안된 알고리즘에 의해 구성된 SADM의 수가 기존 알고리즘에 의해 구성되는 SADM의 수보다 적다. 특히 그림 11에서 양방향 링의 경우 제안된 알고리즘을 사용하여 평균 25개, 최대 95개의 SADM을 줄일 수 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 단방향 링과 양방향 링에서 동일하게 나타난다. 또한 노드의 수가 증가할수록 요구 SADM의 수는 더욱 감소함을 알 수 있다. 이는 절단을 사용하여 연결-링에 존재하는 공백을 제거함으로써 공유하는 SADM의 수를 늘릴 수 있기 때문이다. 특히 양방향 링에서 방향 전환에 의해 완전 연결-링의 수를 증가시킴으로 공유 SADM의 수를 증가시켰으며, 망 전체적으로는 공유하는 SADM 수의 증가는 동일한 상황에서 트래픽을 제공하기 위해 필요한 SADM 수를 감소시키는 효과를 가져왔다. 그루밍 인자가 변하더라도 제안된 알고리즘에 의해 구성되는 SADM 수가 적음을 확인할 수 있다. 그루밍 인자가 적을 때 두 알고리즘에 차이가 더 많이 발생하는 것은 제안된 알고리즘에서 절단 방법에 의한 완전 연결-링 구성 효과가 상대적으로 많기 때문이다.



a) 단방향 링

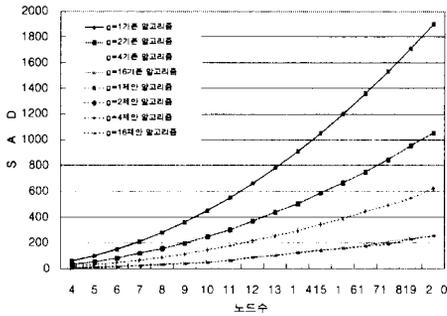


b) 양방향 링

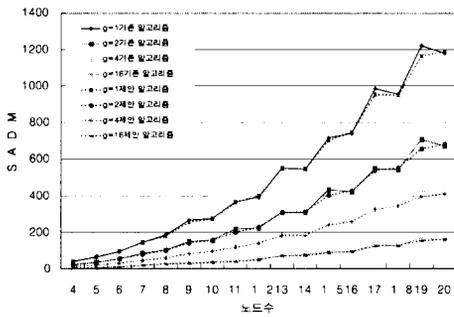
그림 11. WDM 링에서 요구 SADM 수 (트래픽이 임의의 m개 노드에 집중)

그림 12-a)와 같이 단방향 링에서 모든 노드에 트래픽이 균등하게 분포되었을 경우 제안된 알고리즘의 요구 SADM의 수는 기존 알고리즘의 요구 SADM수와 비슷하다. 이는 균등 트래픽에서는 모든 트래픽이 연결-링으로 구성이 가능하기 때문에 절단 방법을 사용되지 않기 때문이다. 그림 12-b)와 같이 양방향 링에서도 비슷한 결과를 보인다. 양방향 링에서 초기 트래픽을 시계방향과 반시계방향으로 분배하는 방법과 구성된 연결-링을 그루밍 하는 알고리즘의 차이로 인해 제안된 알고리즘이 다소 좋은 성능을 나타내고 있다. 결국 제안된 그루밍 알고리즘은 불균등 트래픽뿐만 아니라 균등 트래픽에 모두 적용할 수 있으며, 두 경우 모두 제안된 그루밍 알고리즘을 적용함으로써 요구 SADM 수를 최소화할 수 있다.

그림 13은 트래픽 그루밍 알고리즘을 사용하지 않는 경우에 대해 제안된 알고리즘과 기존 알고리즘의 요구 SADM 수의 절약을 나타낸 것이다. 그루밍 알고리즘을 사용하지 않는 경우 망에 있는 모든 노드는 사용되는 모든 파장에 대하여 SADM



a) 단방향 링



b) 양방향 링

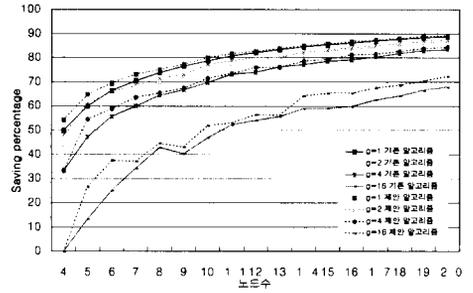
그림 12. 균등 트래픽에 대한 요구 SADM 수

을 갖아야 하므로 필요한 SADM의 수는  $(N*W)$ 개이다. 반면에 트래픽 그룹링 알고리즘을 사용하였을 때 SADM의 절약율을 식(3)과 같이 정의하였다.

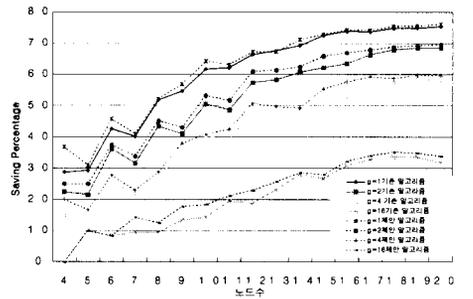
$$S = \frac{N*W - D}{N*W} * 100 \quad (3)$$

여기서 D는 트래픽 그룹링 알고리즘을 적용하였을 때 요구되는 SADM의 수이다.

절약율은 노드 수가 일정할 때에 그룹링 인자 g가 커짐에 따라 감소하는데(g=1일 때, 평균 절약율은 79.20%, g=16일 때, 평균 절약율은 60.22%), 이는 하나의 파장에 더 많은 연결-링이 포함되기 때문에 공유되지 않는 SADM의 수가 더 증가하기 때문이다. 또한 절약율은 노드의 수가 증가함에 따라 증가되다가 안정화된다. 즉 g가 1이고 노드수가 4일 때 절약율은 54%이나, 노드 수가 16일 때 절약율은 약 85%이고 노드 수가 증가함에 따라 절약율은 완만하게 증가한다. 기존 알고리즘보다 제안된 알고리즘을 사용하므로 절약율 관점에서 더 좋은 성능을 보였으며 그룹링 인자의 증가에 따라 절약율의 차이는 더 커짐을 확인할 수 있었다.



a) 단방향 링



b) 양방향 링

그림 13. SADM의 절약율

## V. 결론

본 논문에서는 WDM 링을 설계할 때에 중요한 고려사항인 망의 구성비용을 최소화하기 위한 트래픽 그룹링 알고리즘을 제안하였다. 제안된 트래픽 그룹링 알고리즘은 연결-링 구성 알고리즘과 연결-링 그룹링 알고리즘으로 구성되었다. 연결-링 구성 알고리즘에서는 SADM의 수를 줄이기 위해 공백이 없거나 공백의 수가 적은 연결-링을 구성하도록 하였으며, 부분 연결-링을 공백이 없는 완전 연결-링으로 만들기 위해 절단 방법을 사용하였다. 양방향 링에서는 연결-링을 구성할 때에 부분 연결-링을 트래픽의 방향을 바꾸어 줌으로써 완전 연결-링으로 만들었다. 연결-링 그룹링 알고리즘에서는 연결-링을 그룹링 할 때에 공유 SADM 수를 많도록 하여 요구 SADM의 수를 줄였다. 또한 망의 중합적 상황, 즉 단방향 링과 양방향 링 그리고 균등 트래픽과 불균등 트래픽에 모두 적용할 수 있는 적응형 트래픽 그룹링 알고리즘이 되도록 설계하였다.

시뮬레이션 결과를 통하여 동일한 트래픽 상황에서 제안된 알고리즘을 사용할 때에 단방향 링에서

제한된 알고리즘에 의해 요구되는 파장 수는 기존의 알고리즘에 의해 요구되는 파장 수와 비슷하였으나, 양방향 링에서는 방향의 전환으로 인하여 파장의 수가 기존의 알고리즘보다 더 적음을 알 수 있었다. 또한 SADM의 수는 단방향 링과 양방향 링 모두에서 기존 알고리즘보다 제안된 알고리즘에서 더 적게 요구되었다. 특히 제안한 트래픽 그루밍 알고리즘을 사용함으로써 SADM 수를 단방향링에서 평균 70%, 양방향 링에서 평균 50% 절약할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] R. Barry and P. Humblet, "Models of Blocking Probability in All-optical Network with and without Wavelength Changes," IEEE JSAC/IEEE-OSA JLT: Special Issue on Optical Networks, Vol. 14, No.5, pp. 858 ~ 867, 1996.

[2] O.Gerster, R.Ramaswami and G.Sasaki, "Dynamic Wavelength Allocation in WDM Ring Networks with Little or No Wavelength Conversion," The 34th Allerton conf. on Communications, Control, and Computing, pp. 32 ~43, 1996.

[3] O.Gerster, P. Lin and G.Sasaki, "Wavelength Assignment in a WDM Ring to Minimize Cost of Embedded SONET Rings," INFO COM'98, pp. 94 ~101, 1998.

[4] Jane M.Simmons, Evan L.Goldstein, and Adel A.M.Saleh, "Quantifying the Benefit of Wavelength Add-Drop in WDM Rings with Distance- Independent and Dependent Traffic," IEEE Journal of Lightwave Tech., vol.17, no.1, pp. 48 ~57, Jan. 1999.

[5] Randy Berry and Eytan Modiano. "Minimizing Electronic Multiplexing costs for Dynamic Traffic in Unidirectional," ICC'99, pp. 1724 ~1730, June 1999.

[6] Eytan H.Modiano and Angela L.Chiu, "Traffic Grooming Algorithms for Minimizing Electronic Multiplexing Cost in Unidirectional SONET/WDM Ring Networks," CISS'98, Mar. 1998.

[7] O.Gerster, R.Ramaswami and G.Sasaki, "Cost

Effective Traffic Grooming in WDM Rings," IEEE/ACM Trans. Networks, pp. 69 ~77, May 1998.

[8] X.Zhang, and C.Qiao, "An Effective and Comprehensive Solution to Traffic Grooming and Wavelength Assignment in SONET/WDM Rings," SPIE Proc. of Conf. on All-Optical Networking, vol.3531, pp.221 ~232, Nov. 1998.

[9] 윤승진, 노선식, 이호숙, 김영천, "WDM 링에서 SONET ADM 수의 최소화 기법에 대한 성능평가," 한국통신학회 하계종합학술발표회 논문집, pp. 389 ~392, 1999. 6.

노 선 식(Sun-sik Roh) 정회원  
한국통신학회 논문지 제 20권 제 8호 참조  
현재 : 전북대학교 컴퓨터공학과 박사수료

윤 승 진(Sung-jin Yoon) 학생회원  
1999년 2월 : 전북대학교 컴퓨 터공학과(학사)  
1999년 3월~현재 : 전북대학교 컴퓨터공학과 석사과정



김 영 천(Young-chon Kim) 정회원  
한국통신학회 논문지 제 19권 제 2호 참조  
현재 : 전북대학교 컴퓨터공학과 교수