

# WDM 링망의 효율적인 광 파장 할당 알고리즘

정희원 이 동 춘\*, 신 승 수\*\*, 박 순 홍\*\*\*, 조 용 환\*\*\*

## Efficient Optical Wavelength Allocation Algorithms for WDM Ring Networks

Dong-Choon Lee\*, Seung-Soo Shin\*\*, Soon-Hong Park\*\*\*, Yong-Hwan Cho\*\*\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문은 OMS(Optical Multiplex Section) 또는 OCh (Optical Channel) SPRING (Shared Protection Ring)에 적용되는 두 가지 광파장 할당 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션을 통해 특성을 비교하였다.

제안한 알고리즘 들은 WDM SPRING 네트워크에 적용할 수 있는 최적화 알고리즘과 논블러킹 알고리즘이며 대부분의 비교에서 최적화 알고리즘이 논블러킹 알고리즘에 비해 우수함을 보였다. 하지만, 논블러킹 알고리즘도 몇몇 기존 연결을 재구성하기 위한 광파장 연결이나 할당을 필요로 하지 않는 중요한 잇점이 있다.

### ABSTRACT

This thesis describes two wavelength allocation algorithms applied to OMS (Optical Multiplex Section) or OCh (Optical Channel) SPRING (Shared Protection Ring) and compares their characteristics by simulations.

Two wavelength allocation algorithms are optimal algorithm and nonblocking algorithm applicable on SPRING WDM networks. In particular, when a node is added in previous ring network, how to work for each algorithm is considered. The optimal algorithm is better than nonblocking for most of comparisons. Nonblocking algorithm has an important advantage, though. Nonblocking algorithm has no wavelength connection or allocation to reconfigure some previous connections.

### 1. 서 론

링 위상은 WDM 망 구조에서 선호하는 구조이다. 이는 망 생존성 능력과 링 상에 연결된 모든 노드들이 용량을 공유한다는 점에서 선호된다<sup>[1,2]</sup>. 이는 4선 공유 링 망을 위주로 고려하였다. 각 노드는 단일 파장과 최단 경로 루트를 통해 서로 통신하는 것이 이상적이다. 기존에 제안되고 있는 최적의 파장 할당 알고리즘은 파장 충돌 제약조건 위반을 범하지 않게 링 상의 모든 연결에 대해 파장들을 할당하는 방식이다<sup>[3]</sup>. 파장 충돌 제약조건은 단일 선로를 동시에 공유하는 광 신호들은 다른 파장을 가져야 한다는 것이다. 이 알고리즘은 행렬을 이

용한 방식이다. 행렬의 열은 링 상의 노드를 나타내고, 행은 각 노드에서 링 상의 모든 노드에 각 연결을 위해 요구되는 파장을 나타낸다. 적절하게 행렬을 채워줌으로써 제안된 규칙에 따라 최적으로 파장 할당을 얻게 된다.

본 논문에서는 이 방법이 갖는 문제점과 불확실한 부분들을 보완한 알고리즘을 제시한다. 기존의 알고리즘이 갖는 문제점 중 망에 이미 설치된 파장 연결 중 노드 추가 시 일부 연결이 다른 광 파장을 통해 재구성되어야 한다. 이를 해결하기 위해 노드 추가 혹은 삭제 시 기존의 경로에 전혀 영향을 주지 않는 알고리즘을 제안한다. 아울러, 제안한 알고리즘들에 OCh 수준의 공유 링 보호 기법을 수용할

\* (주)아이티 System s/w팀(dcllee@it.co.kr),

\*\* (주)시그마정보기술(shinss@trut.chungbuk.ac.kr)

\*\*\* 충북대학교 컴퓨터공학과(yhcho@cbuucc.chungbuk.ac.kr)

논문번호 : 00478-1221, 접수일자 : 2001년 12월 21일

수 있는 방법과 그에 따른 부가적인 가상 광 파장 연결 등의 관점에서 비교한다.

본 논문의 전체 구성은 2장에서 WDM 망에 적용되는 공유 링 보호 방법을 기술하고, 제 3장에서는 광 파장 할당 알고리즘에 대해 기술한다. 각 알고리즘에 대해 4장에서 비교한다.

## II. WDM 망에 적용되는 공유 링 보호 방법

### 1. 양방향 선로 절체링

집합된 WDM 신호가 지정된 보호 선로로 절체되거나 단일 선로 내 다른 WDM 대역으로 절체된다. 이 방식은 WDM 자원을 줄이는 것을 목적으로 하기 때문에 백업 경로의 WDM 신호는 장애의 다른 쪽 중단점에 도달 하기전 까지 역다중 되지 않고, 이 지점에서 운용 경로로 루프되고, 목적지 까지 전달되어 진다. 이 방식은 OMS shared protection ring (OMS/SPRING) 이라 한다<sup>[1,2,4,5,6]</sup>. 백업 루프가 광적으로 전체 링 상을 루프하기 때문에 광 선로 증폭기가 손실을 보상하기 위해 백업 경로 상에 요구된다. 링의 거리는 다른 광적인 손상에 의해서도 제한된다. 그러므로, 이 방식은 메트로폴리탄의 망 응용에 적합하다. 공유 링망은 2선과 4선으로 구분되어 구성할 수 있다. 그림 1에서 2선 공유 링 망의 보호 절체에 대해 도시하고 있다. 2선 공유 링 망의 경우는 광 선로 상의 운용 채널과 보호 채널을 구성하는 방법에 따라 광 파장에 대한 파장 변환이 필요한 경우와 그렇지 않은 경우로 구분될 수 있다<sup>[1,2,4]</sup>.

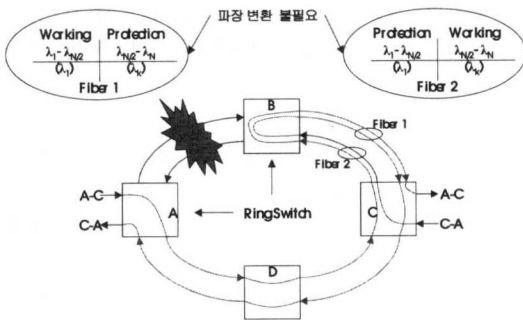


그림 1. 2선 공유 링 망의 보호 절체 (파장 변환이 필요하지 않는 공유 링 구성)

### 2. 양방향 경로 절체 링

이 방식은 대충 SDH/SONET의 4-fiber BLSR (Bidirectional Line Switched Ring) 혹은 MS-

SPRING (Multiplex Section Shared Protection Ring) 기법을 기본으로 하고 있고, 링 상의 보호 대역폭을 각 노드들이 공유하고 있다. 하나의 운용 광 경로에 장애가 발생한 경우, 링 상의 노드는 같은 방향으로 지정된 보호 대역폭을 통해 트래픽을 전달하도록 조정한다. 이를 스캔 절체라 한다. 스캔 절체가 실패한 경우에 노드들은 링 상의 다른 방향으로 트래픽을 전달하기 위해 루프시킨다. 이를 링 절체라 한다. 이러한 방식을 OCh 수준의 공유 링이라 한다<sup>[1,2,4,5,6]</sup>.

이는 OXC나 OADM을 통해 실현되어 진다. 스위치들이 각 보호되어지는 채널들에 필요하고, 링 상의 빠른 조정이 잘못된 연결을 피하기 위해 요구된다. 그림 2에서 OCh 공유 링망의 보호 절체에 대해 도시하고 있다.

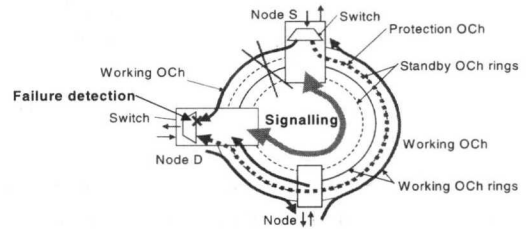


그림 2. OCh-SPRING 망의 보호 절체

## III. 파장할당 알고리즘

링 위상은 WDM 망 구조에서 선호하는 구조이다. 이는 망 생존성 능력과 링 상에 연결된 모든 노드들이 용량을 공유한다는 점에서 선호된다. 특히, 공유 링 망은 링 위상에서 많은 장점을 갖는 구조이다<sup>[1,2,4]</sup>. 각 노드는 단일 파장과 최단 경로 루트를 통해 서로 통신한다. 기존의 파장 할당 알고리즘은 메쉬 망에서의 할당 알고리즘 위주로 연구되었다<sup>[3,7,8]</sup>. 또한, 이미 설치되어 있는 노드에 대해 최적의 파장 할당을 얻고자 하는 목적으로 연구되었다. 본 논문에서는 링의 위상을 갖는 망 구조에서 특히, 공유 링 망에서 새로운 노드의 추가나 삭제 시 적용될 수 있는 광 파장 할당 알고리즘에 대해 제안하였다. 이 알고리즘은 망에서 새로운 노드의 추가 시 기존의 광 파장 할당 연결을 가능한 유지하고 새로운 노드를 포함한 전체 링 망의 노드 간의 연결을 최적으로 할당할 수 있는 알고리즘과 기존의 광 파장 할당 연결에 대해서는 하나도 변경하지 않고 새로운 노드와의 연결만을 추가하는 알고리즘을

제안하였다.

1. 최적화 알고리즘

최적화 알고리즘은 G. Ellinas 등이 제안한 WDM 공유 절체 링을 위한 새로운 광 파장 배정 알고리즘<sup>[3]</sup>에서 가지고 있는 문제점과 불확실한 부분들을 보완한 알고리즘이다.

G. Ellinas 등이 제안한 알고리즘에서는 우선, 홀수 개의 노드로 구성된 링 망에서 하나의 노드가 추가된 전체 짝수 개의 노드로 구성된 링 망으로의 확장 시 추가로 요구되는 광 파장 할당 개수에 대한 예측에 문제가 있다. 이 알고리즘에서는 짝수 개의 노드로 확장될 시 요구되는 전체 광 파장 W'의 개수가 노드 개수 N'의 값에 따라 N'이 2와 4의 배수이면, (W' = N'<sup>2</sup> / 8)의 산출식으로 구해지고, N'이 2의 배수이지만 4의 배수가 아니면, (W = (N<sup>2</sup> + 4) / 8)의 산출식으로 구해진다고 한 부분이다. 완전 매쉬 형의 구조에서 특히 4선 공유 링의 경우 링 상의 노드가 짝수 개인 N' 일 때 구해지는 산출식은 C<sub>MESH</sub>(N') = (N' X (N'+2))/8 이 된다.

그리고, 홀수 개의 노드로 확장된 링 망의 구성 시 진행되는 알고리즘의 내용 중 행 W+1에서 행 W'까지의 광 파장에 대한 절차는 수행되지 않는다. 왜냐하면, 실제 홀수 개인 N' (N'=N+1) 개의 노드로 구성된 링 망에서 요구되는 광 파장의 수 W'과 짝수 개(N)의 노드로 구성되는 링 망에서 요구되는 광 파장의 수 W는 동일하다.

최적화 알고리즘에 대한 흐름도를 그림 3에 도시하였다. 최적화 알고리즘은 초기화, 파라미터 결정,

광 파장 할당, 파라미터 변환의 네 단계로 구분되어 수행된다. 특히 광 파장 할당 단계는 그림 4와 같이 기존의 광 파장 연결을 수정하기 위한 세부단계와 추가로 요구되는 광 파장 할당 세부단계로 구분된다. 이 단계에서는 요구되는 모든 파장에 대해 수정이나 추가가 이루어진다. 광 파장은 첫번째 파장부터 W<sub>N'</sub> 번째 파장까지 반복 진행된다. 이 그림의 첫번째 비교는 우선 수정하고자 하는 광 파장이 이전의 최소 광 파장 요구범위에 있는 것인지 아니면 새로운 광 파장 범위인지를 구분한다. 이전의 광 파장 요구범위에 있는 경우는 기존의 광 파장 연결을 수정하기 위한 세부단계를 수행하고, 새로운 광 파장 요구범위에 있는 경우는 추가로 요구되는 광 파장 할당 세부단계를 수행한다.

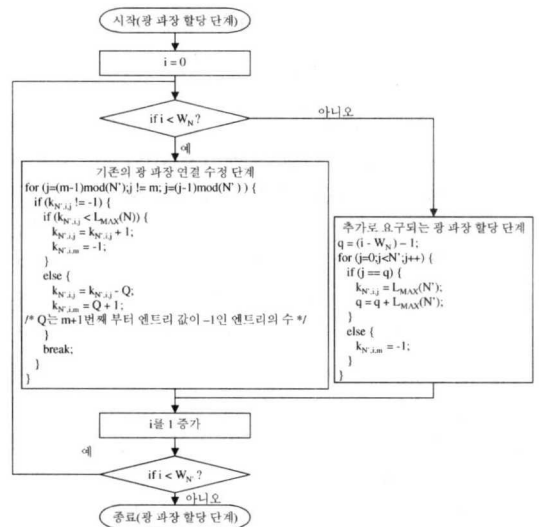


그림 4. 광 파장 할당 단계에 대한 세부 흐름도 (최적화 알고리즘)

기존의 광 파장 연결을 수정하기 위한 세부단계에서는 추가되는 노드가 링 상에 설치되는 위치 m 으로부터 왼쪽 방향, 즉 노드의 위치 번호가 감소하는 방향으로 이 행렬의 엔트리 값인 k<sub>N',ij</sub> 이 1이 아닌 최초의 엔트리를 검색한다. 조건에 해당되는 엔트리(N',i,j)에 대해 이의 값 k<sub>N',ij</sub> 이 이전 링 망의 최대 루팅 값 L<sub>MAX</sub>(N) 보다 작은 경우는 엔트리 값이 (k<sub>N',ij</sub> = k<sub>N',ij</sub> + 1)의 산출식에 의해 수정된다. 그리고, 새로운 노드에 해당되는 엔트리(N', i, m)의 엔트리 값은 1로 한다. 이 의미는 해당되는 파장 연결이 이 노드를 통과한다는 것이다. 최대 루팅 값과 같은 경우는 먼저 m+1 번째 열부터 엔트

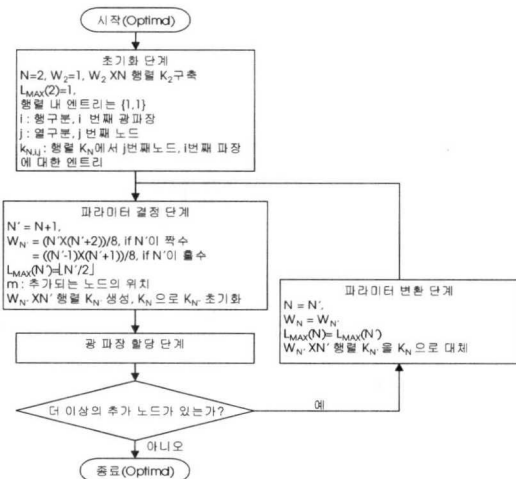


그림 3. 최적의 루팅 조건을 유지하는 최적화 알고리즘 흐름도



리 값이 1 인 엔트리의 수를 Q라 할 때, 엔트리 값이  $(k_{N',ij} = k_{N,i,j} - Q)$ 의 산출식에 의해 수정된다. 그리고, 새로운 노드에 해당되는 엔트리  $(N', i, m)$ 의 엔트리 값은  $(Q+1)$ 로 한다.

추가로 요구되는 광 파장 할당 세부단계에서는 엔트리에 부여할 값으로  $L_{MAX}(N')$ 나 혹은 1값이 된다. 먼저  $L_{MAX}(N')$  값을 엔트리의 값으로 부여할 엔트리의 열의 위치를 결정하는 q를  $(q = (i - W_N) / 1)$ 의 산출식으로 구한다. 다음으로 해당 광 파장을 나타내는 행의 모든 열에 대해 열 j가 q와 일치하는 지 비교한다. 일치하면, 엔트리 값  $k_{N',ij}$ 는  $L_{MAX}(N')$ 가 된다. 그리고, 다음에 해당되는 열의 위치를 결정하기 위해 q의 값을  $(q = q + L_{MAX}(N'))$ 의 산출식으로 다시 구한다. 일치하지 않는 경우는 해당 엔트리의 값  $k_{N',ij}$ 을 1로 지정한다. 이 과정을 해당 행의 모든 열에 대해 수행한다.

2. 언블러킹 알고리즘

최적화 알고리즘에서 최적의 루팅 조건을 만족하기 위해 기 설정된 연결 중에  $L_{MAX}(N)$  개 만큼의 연결에 대해 재구성성을 해야 한다. WDM 망에서 광 파장에 대해 재구성성을 한다는 것은 장치의 유지보수나 운용 측면에서 많은 어려움을 줄 수 있다. 또한, 기존 서비스를 제공하고 있는 광 파장 연결을 재구성해야 한다는 것은 심각한 문제가 될 수 있다. 이는 운용 중인 서비스의 경우 양 방향의 연결에 대한 재구성성을 수행해야 하므로, 수 십 밀리에서 길게는 수백 혹은 수 초간 서비스의 단절을 유발할 수 있다. WDM 신호의 경우는 수십만에서 수백만 가입자의 신호 혹은 수십기가 비트 단위의 데이터 트래픽을 전달하기 때문에 이러한 서비스의 단절은 망 사업자 및 사용자들에게는 심각한 문제가 되는 것이다.

그러므로, 이 절에서는 이러한 문제점을 보완하기 위해 기존의 파장 연결에 대해서는 영향을 주지 않고, 새로 설치되는 노드를 중심으로 각 노드와의 연결을 설정해 주는 언블러킹 알고리즘을 제안하였다. 그림 5는 언블러킹 알고리즘에 대한 흐름도를 도시하고 있다.

언블러킹 알고리즘은 초기화, 파라미터 결정, 광 파장 할당, 파라미터 변환의 네 단계로 구분되어 수행된다. 특히 광 파장 할당 단계는 그림 6과 같이 기존의 광 파장 연결을 수정하기 위한 세부단계와 추가로 요구되는 광 파장 할당 세부단계로 구분된다. 이 단계에서는 요구되는 모든 파장에 대해 수정

이나 추가가 이루어진다. 광 파장은 첫번째 파장부터  $W_N$  번째 파장까지 반복 진행된다. 이 그림의 첫번째 비교는 우선 수정하고자 하는 광 파장이 이전의 최소 광 파장 요구범위에 있는 것인지 아니면 새로운 광 파장 범위인지를 구분한다. 이 전의 광 파장 요구범위에 있는 경우는 기존의 광 파장 연결을 수정하기 위한 세부단계를 수행하고, 새로운 광 파장 요구범위에 있는 경우는 추가로 요구되는 광 파장 할당 세부단계를 수행한다.

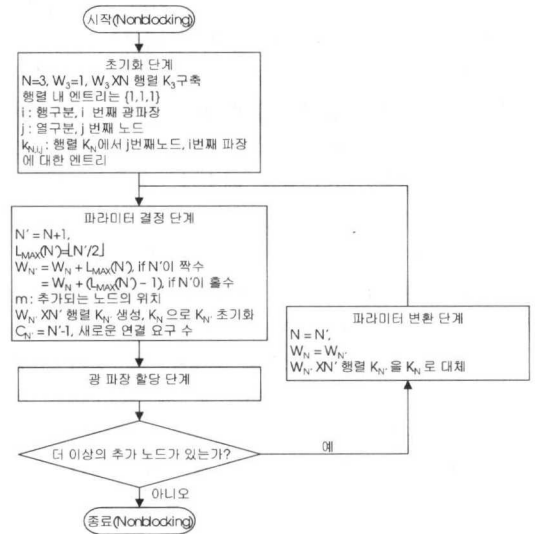


그림 5. 기 설정 파장 할당 연결을 유지하는 언블러킹 알고리즘 흐름도

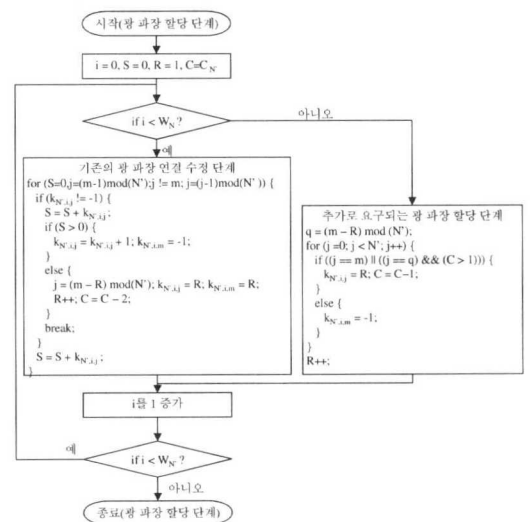


그림 6. 광 파장 할당 단계에 대한 세부 흐름도 (언블러킹 알고리즘)

기존의 광 파장 연결을 수정하기 위한 세부단계에서는 추가되는 노드가 링 상에 설치되는 위치  $m$  으로부터 왼쪽 방향, 즉 노드의 위치 번호가 감소하는 방향으로 이 행렬의 엔트리 값인  $k_{N',ij}$  이 1이 아닌 최초의 엔트리를 검색한다. 조건에 해당되는 최초의 엔트리를 검색해 가는 동안, 계속 검색하는 엔트리의 값을 변수  $S$ 에 누적한다. 조건에 해당되는 엔트리  $(N',i,j)$ 에 대해 이 엔트리의 값까지 누적한 변수  $S$ 의 값이 0보다 큰 경우는 엔트리 값이  $(k_{N',ij} = k_{N',ij} + 1)$ 의 산출식에 의해 수정된다. 그리고, 새로운 노드에 해당되는 엔트리  $(N', i, m)$ 의 엔트리 값은 1로 한다. 그렇지 않은 경우는 설정 요구되는 연결의 루팅 값인  $R$ 에 대해,  $((m - R) \bmod(N'))$  번째 노드와  $m$ 번째 노드에 해당되는 엔트리의 값을  $R$ 로 부여한다. 그리고, 연결 요구 수는 2 만큼 감소된다.

추가로 요구되는 광 파장 할당 세부단계에서는 루팅 값  $R$ 을 부여할 노드를 먼저 정한다. 이 노드는 새로 추가되는 노드와 기존의 노드에서 새롭게 추가된 광 파장에 값을 부여할 노드를 정하는 것이다. 노드 결정 변수  $q$ 는  $((m - R) \bmod(N'))$ 의 산출식으로 구할 수 있다. 이 노드 값을 가지고, 해당 광 파장에 해당되는 행의 전체 열에 대해 엔트리의 값을 부여해 나간다. 만일 열의 값이  $m$ 인 경우와 열의 값이  $q$ 와 일치하면서 남은 연결 요구의 수가 1보다 큰 경우에는 엔트리  $(N', i, j)$ 의 엔트리 값  $k_{N',ij}$  에  $R$ 을 부여하고, 연결 설정의 요구 수를 하나 감소시킨다. 그렇지 않은 경우는 엔트리에 1 값을 부여한다.

### 3. 광 파장 할당 알고리즘 비교

이 장에서 제안되는 알고리즘들에 적용될 광 파장 할당을 위한 제한 조건은 4선 공유 링 망에서 메쉬 형태의 광 파장연결을 유지하는 것이다. 제안한 알고리즘들에 대한 비교는 광 파장 연결 시 요구되는 최소의 광 파장 수, OCh-SPRING의 적용을 위한 가상연결 수, 노드 추가/삭제 시 재구성을 필요로 하는 파장 연결 수와 이 값들의 누적치에 대해 비교하였다.

그림 7은 OCh-SPRING망의 노드 증설 시 광 파장 할당 알고리즘 별로 필요한 광 파장의 수에 대한 비교를 도시하고 있다.

최적의 알고리즘을 적용한 경우에 요구되는 광 파장의 수는 노드 수가  $N$ 일 경우  $((N \times (N+2)) / 8$  혹은  $((N-1) \times (N+1))/8$  개의 광 파장이 요구된

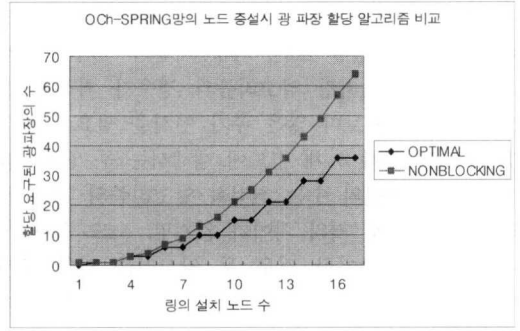


그림 7. OCh-SPRING망의 노드 증설 시 광 파장 할당 알고리즘 비교

다. 그리고, 언블러킹 알고리즘의 경우는 노드 수가  $N$ 일 경우  $(W_{N-1} + (N / 2))$ , 혹은  $(W_{N-1} + (N / 2 - 1))$  개의 광 파장이 요구된다. 그러므로, 언블러킹 알고리즘의 경우, 최적화 알고리즘의 경우 보다 약 40% 정도의 추가적인 광 파장 할당이 요구된다. 또한, 최대 16 개의 노드로 4선 SPRING 망을 구축할 경우에, 최적화 알고리즘을 채택하는 경우는 40 채널 정도의 광 파장 다중 능력을 갖는 장치면 가능하다, 언블러킹 알고리즘을 채택하는 경우는 64/80 채널 정도의 광 파장 다중 능력을 갖는 장치가 필요하다. 이 점은 광 소자의 현 기술로 모두 가능하다, 가격 측면에서는 상당한 차이가 예측된다. 특히, 64/80 채널의 경우는 현재 초기화 형태의 장치가 소개되고 있다.

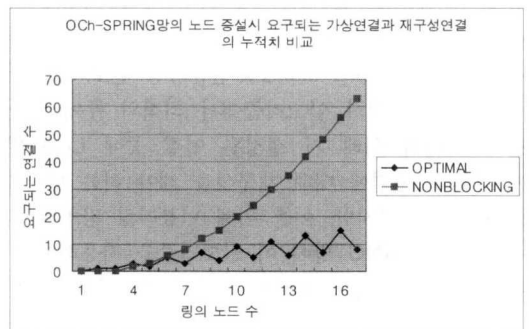


그림 8. OCh-SPRING망의 노드 증설 시 요구되는 가상연결과 재구성 연결의 누적치 비교

그림 8은 OCh-SPRING망의 노드 증설 시 요구되는 가상연결과 재구성 연결의 누적치를 비교하였다. 가상 연결과 재구성 연결 모두 구성에 대한 새로운 변경을 요한다. 하지만, 심각성 측면에서는 재구성 연결이 훨씬 높다. 이 그림에서는 단지 이 두

가지의 추가 연결성에 대해 같은 가중치를 가지고 비교하였다. 그림을 보면, 가상 채널의 수가 상대적으로 많은 너블러킹 알고리즘의 경우가 최적화 알고리즘의 경우 보다 많은 추가 연결을 필요로 하고 있다. 노드 수가 8 개 정도에 대해서는 두 알고리즘 간의 추가 연결의 수는 최적화 알고리즘의 경우 조금 작은 정도로 거의 차이가 없지만, 노드 수가 10 개 이상으로 증가할 경우 두 알고리즘 간의 추가 연결 수에 대한 차이는 두 배에서 거의 네 배 가까이 된다.

이러한 비교를 통해 노드가 작은 경우에는 너블러킹 알고리즘이 최적화 알고리즘에 비해 큰 성능의 차를 갖지 않고, 너블러킹 알고리즘이 갖는 연결의 재구성이 일어나지 않는 장점을 가질 수 있다. 하지만, 노드의 수가 8개 이상으로 증가할 경우는 오히려, 재구성 연결을 감수하고, 최적화 알고리즘을 이용하는 것이 장치의 현실화와 비용 측면에서 유리하다고 판단된다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 OCh-SPRING 망에 적용될 수 있는 광 파장 할당을 위한 알고리즘에 대해 최적화 알고리즘과 너블러킹 알고리즘을 제안하였다. 최적화 알고리즘의 경우는 기존의 알고리즘에서 흡수 개의 노드로 구성된 링 망에 대해 하나의 노드가 추가된 전체 짝수 개의 노드로 구성된 링 망으로의 확장 시 추가로 요구되는 광 파장 할당 개수에 대한 예측에 문제가 있는 점을 보완하고, 이의 알고리즘을 구체화하였다. 그리고, 너블러킹 알고리즘에서는 제안한 최적화 알고리즘에서 최적의 루팅 조건을 만족하기 위해 기 설정된 연결 중에  $L_{MAX}(N)$  개 만큼의 연결에 대해 재구성을 해야 하는 단점을 보완하였다. 하지만, 이를 위해 너블러킹 방법의 경우, OCh-SPRING 망에 이 알고리즘을 적용하기 위해 많은 수의 가상 채널을 설정해 주어야 하는 단점을 가지고 있다. 또한, 요구되는 광 파장의 수도 최적화 알고리즘에 비해 노드 수가 많아 지는 경우 약 40 % 정도 더 요구된다. 이러한 각 알고리즘의 장점들과 요구 광 파장 수에 따라 비교적 적은 노드들로 구성된 망에서는 가능한 너블러킹 알고리즘을 적용하고, 많은 수의 노드로 구성된 OCh-SPRING 망에서는 최적화 알고리즘을 적용하는 것이 유리하다고 판단된다.

향후로 연구되어야 할 것으로 예상되는 것은 광

파장 할당 알고리즘 측면에서, 너블러킹 알고리즘이 갖는 단점을 해결하기 위해 최적화 알고리즘과 너블러킹 알고리즘을 병행해서 사용하는 알고리즘의 연구가 필요하다고 예측한다. 이는 만일, 망의 운용 측면에서 어느 정도의 서비스 단절이 허용되는 시점에 현재의 망 구성을 최적화 알고리즘을 이용하여, 망 전체의 재구성을 수행하고, 이 후 추가되는 노드에 대해서는 신호의 단절을 보호해 주는 너블러킹 알고리즘을 적용하면, 보다 효율적인 알고리즘을 도출할 수 있을 것이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] P. Bonenfant, "Optical Layer Protection and Restoration,"11th Tyrrhenian Wksp., 1999.
- [2] J. Manchester and P. Bonenfant, "Fiber Optic Network Survivability: SONET/Optical Protection Layer Interworking,"NFOEC '96, 1996, pp. 90718.
- [3] G.Ellinas, K.Bala, G.Chang, "Scalability of a novel wavelength assignment algorithm for WDM shared protection rings," OFC'98 Technical Digest, Feb. 1998, pp. 363-364
- [4] ITU-T Draft Rec. G.872, Architecture of Optical Transport Networks,"Feb.1999, SG 13, question 19.
- [5] P. Bonenfant and O. Gerstel, "Protection and Restoration in Optical Networks", OFC 2000, short course SC144.
- [6] Robert MacDonald, Li-Ping Chen, Chao-Xing Shi, Boris Faer, Requirements of Optical Layer Network Restoration," OFC2000, Mar. 2000, pp ThE3-1-ThE3-3
- [7] P. Bonenfant, "Protection and Restoration in Optical Networks,"OFC'99, Tutorial, Feb. 1999, pp. 199-216
- [8] Shen Gangxiang, "Designing WDM Optical Network for Reliability: Routing Light Paths Efficiently for Path Protection,"OFC2000,Mar. 2000, pp ThD3-1-ThD3-3



