

論文 2003-40TC-10-1

# 과장 분할 광 네트워크에서 로드 밸런싱 기법을 적용한 라우팅 및 과장할당 알고리즘 연구

## (A Study on Load Balanced Routing and Wavelength Assignment Algorithm for Wavelength Routed Optical Networks)

朴民浩\*, 崔振植\*

(Min-Ho Park and Jin-Seek Choi)

### 요약

본 논문에서는 정적 모델에서 로드 밸런싱 기법을 적용한 라우팅 및 과장 할당 알고리즘을 제안한다. 제안된 로드 밸런싱 기법은 과장 할당 및 광 경로 선택 시 모든 링크 및 과장에 광 경로를 균등하게 분배하고 광 경로 선정 순서를 고려하여 망 자원을 효율적으로 사용하는 방법이다. 로드 밸런싱 효과를 극대화하기 위해 과장할당과 광 경로 선정이 결합된 레이어드 그래프에서의 시뮬레이션을 통해 제안된 기법이 기존 우선 선택 방식 알고리즘 보다 낮은 블로킹 확률과 적은 계산 시간을 갖는 효율적인 방법임을 증명한다.

### Abstract

In this paper, we propose load balanced routing and wavelength assignment (RWA) algorithm for static model. The proposed algorithm arranges the routing paths over the link uniformly and assigns routing paths according to the length of routing paths orderly. Thus, the proposed algorithm can efficiently utilize the network resources. Through the computer simulation on layered-graph model, we prove that the proposed algorithm improves network throughput and reduces blocking probability comparing to first-fit algorithm [1]. Moreover, the proposed algorithm considerably reduces computational time.

**Keywords**: Routing and wavelength assignment, Load balancing, Layered graph, Optical Network.

### I. 서론

통신 기술의 발전과 인터넷의 급격한 확산에 따라 인터넷 사용자 수와 트래픽이 폭발적으로 증가하게 되었고, 이로 인해 현재의 전기통신 기술만으로는 미래 사용자들의 대역폭 요구를 충족시켜 줄 수 없을 것으로 예상된다. 이를 위해 큰 대역폭을 제공해 줄 수 있는 새로운 통신 기술이 필요하게 되었다. 과장분할 다중화 방법은 한 개의 광섬유를 통해 여러 개의 서로 다른 파장의 전송 채널을 동시에 제공함으로써 기존 광섬유가 가진 대

\* 正會員, 韓國 情報通信 大學院 大學校  
(School of Engineering, Information and Communications University)

※ 본 연구는 한국 과학재단의 출연금으로 수행한 우수 연구 센터(OIRC) 사업의 연구결과입니다.

接受日字:2003年9月7日, 수정완료일:2003年10月10日

용량의 전송 채널을 파장 수만큼 확장할 수 있는 획기적인 방법이다. 따라서 파장분할 다중화 방식을 이용한 광 네트워크 구축은 인터넷 대역폭 한계를 극복하기 위한 차세대 인터넷의 핵심 기술로 각광 받게 되었다<sup>3, 10)</sup>.

지금까지 파장 분할 다중화 방식의 광 네트워크는 크게 두 가지 관점에서 연구되어 왔다. 하나는 Packet Switched Optical Networks (PSONs)이며, 다른 하나는 Wavelength Routed Optical Networks (WRONs)이다. 아직까지 PSONs는 광 버퍼링에 대한 기술적인 한계와 동기화 문제가 명확하게 해결되지 않았기 때문에 현재 네트워크 환경에 적용하기 어렵다. 반면, WRONs는 현재의 기술로서 실현 가능하지만 회선교환 기반의 비효율적인 파장 활용 문제로 인한 망 자원의 효율성 문제가 제기되고 있다. 따라서 WRONs에서 효율적인 라우팅 및 파장 할당 방법 (Routing and Wavelength Assignment: RWA)이 광인터넷 실용화의 핵심으로 연구되었다<sup>4)</sup>.

RWA는 WRONs에서 광 경로 설정 요구(lightpath connection request)에 대해 최적의 경로들을 선택하고 선택된 경로에 효율적인 파장을 할당하는 광 경로를 설정하는 문제이다. 광 경로 설정은 <그림 1>에서 보는 바와 같이 WRONs에서 양 종단 노드간에 통신을 하기 위해 설정되는 통신 경로를 의미한다. RWA문제에서 광 경로 설정 요구는 트래픽 특성에 따라 정적 모델과 동적 모델로 나뉘어 연구 되고 있다. 정적 모델은 주로 망 설계 시 고려되는 방법으로 모든 경로 설정 요구가 주어진 경우 광 경로를 설정하는 문제이다. 정적 모델에서는 한번 설정된 광 경로는 망이 운영되면서 해지(release) 되지 않는다. 반면에 트래픽 발생에 따라 동적으로 광 경로를 설정하고 트래픽이 없어지면 광 경로를 해지하는 동적 모델도 있다. 정적 모델에 대한 RWA문제를 정적 광 경로 설정 문제(static lightpath establishment : SLE)라 하고 동적 모델에 대한 RWA문제를 동적 광 경로 설정 문제(dynamic lightpath establishment : DLE)라고 한다<sup>4)</sup>. 본 논문에서는 네트워크 설계의 입장에서 RWA 문제만을 다루고자 한다.

현재 RWA 분야의 연구동향은 트래픽 특성 및 파장 변환 기능에 따라 여러 관점으로 접근되고 있다. 그러나 본질적으로 라우팅 선정 문제와 파장 할당 방법은 NP-Complete 문제이어서 주어진 시간 내에 최적의 해를 구할 수 없는 복잡한 문제임이 입증되었다<sup>5)</sup>. 이와 같은 파장 할당과 라우팅이 결합된 RWA는 서로 다른

복잡한 두 개의 문제가 조합 형태로 결합된 더욱 복잡한 문제이다. 즉 최적화 해는 망의 크기가 커지면 이에 따라 계산량이 기하급수적으로 증가하기 때문에 실제 환경에서 사용될 수 없는 문제점이 있다. 따라서 실질적인 망에서 RWA를 수행하기 위해 다양한 휴리스틱 알고리즘들이 요구되어 왔다<sup>3, 7-8)</sup>. 현재까지 제안된 대부분의 휴리스틱 알고리즘들은 라우팅과 파장 할당 문제를 독립적인 두개의 문제로 나누어 광 경로 결정을 위한 라우팅 문제를 해결한 후, 설정된 라우팅 경로에 파장을 할당하는 근사적인 해결책이 대부분 이었다<sup>3)</sup>.

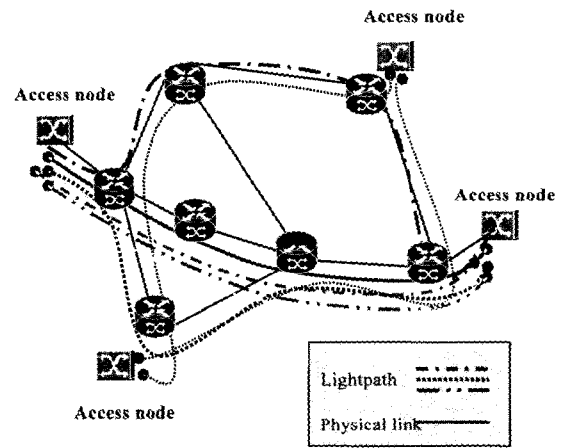


그림 1. 라우팅과 파장 할당 문제  
Fig. 1. Routing and wavelength assignment problem.

최근 제안된 레이어드 그래프 알고리즘은 기존의 독립된 파장 할당 방법의 근사적 해를 구하는 대신 파장 할당 문제를 라우팅에 결합함으로써 라우팅 및 파장 할당 문제를 단일 라우팅 문제로 단순화 시킨 획기적인 알고리즘이다. 특히 파장 변환기를 포함한 물리적인 망을 파장의 개수만큼 가상의 층으로 나누고 새로이 생성된 가상의 그래프 간에 링크로 표현함으로써 라우팅 단일 문제로 단순화한 알고리즘이다<sup>1), 2)</sup>.

그러나 기존 레이어드 그래프 알고리즘은 경로 선택 시 우선 선택(first-fit) 알고리즘만을 사용하여 특정 링크에 파장 할당이 집중될 수 있고 홉 카운트가 큰 광 경로의 경우 선택 순서가 늦고 경로선정이 제한되는 등 본질적인 자원의 균일한 사용을 보장하지 못해 자원 사용의 효율을 극대화 할 수 없었다.

본 논문에서는 광 경로 선택 시 모든 링크 및 파장에 광 경로를 균등하게 분배하고 광 경로 선정 순서를 고려하여 차례로 경로를 제공하여 망 자원을 효율적으로

사용하는 로드 밸런싱 RWA 알고리즘을 제안한다. 시뮬레이션을 통해 로드 밸런싱 효과 및 경로선정 순서가 성능에 미치는 영향을 측정하고 제안된 알고리즘과 기존 알고리즘과의 성능을 비교 분석하여 로드 밸런싱의 중요성을 입증하고자 한다. 실험 대상으로는 정적 모델 기반의 레이어드 그래프 알고리즘에 경로 선택 시 링크의 상태나 선택 순서를 고려한 로드 밸런싱 기법을 적용한 알고리즘을 이용한다.

## II. 레이어드 그래프 모델

### 1. 네트워크 모델

<그림 2>는 WRONs의 물리적 토폴로지를  $N(R,A,L,W)$  네트워크 모델로 표현한 것이다. 여기서  $R$  은 광 교환 노드의 개수,  $A$  는 액세스 노드들의 개수,  $L$  은 링크들의 개수 그리고  $W$ 는 링크당 가용한 파장들의 개수를 각각 나타낸다.

광 교환 노드는 광 도메인에서 파장단위로 경로를 설정해 주는 노드이고 액세스 노드는 전기적 도메인과 광 도메인 사이에 위치하는 전/광 변환이 가능한 사용자 노드를 의미한다. 액세스 노드는 링크 당 가용한  $W$ 개의 파장들을 이용해 광 교환 노드에 광 경로들을 설정한다.

가상의 레이어드 그래프 토폴로지는 물리적 토폴로지와 같이  $N'(V, A, E, X)$  네트워크 모델로 표현될 수 있다. 물리적 토폴로지에서의 마찬가지로  $V$ 는 광 교환 노드의 개수,  $A$  는 액세스 노드들의 개수,  $E$ 는 링크들의 개수 그리고  $X$ 는 링크당 가용한 파장들의 개수를 나타낸다. 이때  $V$  는  $R \times W$  가 되고  $E$  는

$$L \times W + R' \times \frac{W \times (W - 1)}{2}$$

이 된다. 단, 여기서  $R'$  은 파장 변환이 가능한 광 교환 노드의 개수이다. 레이어드 그래프에서 각각의 레이어는 상응하는 하나의 파장을 나타내기 때문에  $X$  는 항상 1 이 된다. 다만, 양 종단간 광 경로의 설정은 하나의 레이어에서만 이루어질 수도 있고 파장 변환기가 있는 경우 여러 레이어에 걸쳐서 이루어질 수도 있다.

예를 들어 링크당 가용한 파장의 개수가 3개인 물리적인 토폴로지  $N(V, A, E, X)$ 로부터 유도한 레이어드 그래프의 가상 토폴로지  $N'(V, A, E, X)$  는 <그림 3>과 같다. 이 그래프는 링크당 파장의 수만큼 서로 독립적인

가상의 망들이 존재하고 광 교환 노드들은 파장 개수만큼 복제가 되며 광 교환 노드에 파장 변환 기능이 있을 때 해당노드로부터 파장 변환이 가능한 모든 레이어 들로 가상 링크가 설정된다. 각 레이어에 해당하는 노드간의 링크 값은 물리적인 토폴로지의 값과 같은 값으로 설정이 되고 레이어 간의 가상 링크의 값은 0 혹은 아주 작은 값으로 설정 되어 라우팅 알고리즘 수행 시 경로 선정에 영향을 주지 않고 파장변환기를 이용할 수 있게 한다.

### 2. 수리적 최적화 공식과 알고리즘

정적 모델의 레이어드 그래프 알고리즘에서 경로설정 및 파장할당 문제는 다음과 같이 정수해를 갖는 최대 다품종 네트워크 플로우 (maximal multi commodity integer network flow) 방법을 적용하여 최적의 해를 구할 수 있다<sup>[1]</sup>. 종단 노드인  $s_n$  과  $d_n$  사이를 지나는 트래픽  $f(s_n, d_n), n=1, \dots, |M|$  은

$$f(s_n, d_n) = \begin{cases} 1 & \text{if a lightpath is established from } S_n \text{ to } d_n \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

으로 표현되고 링크  $e_{ij} \in E$  를 지나가는 트래픽  $x_{ij}^n$  은

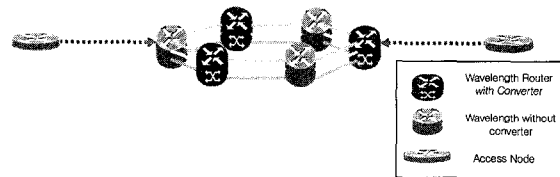


그림 2. 물리적 토폴로지  
Fig. 2. Physical topology.

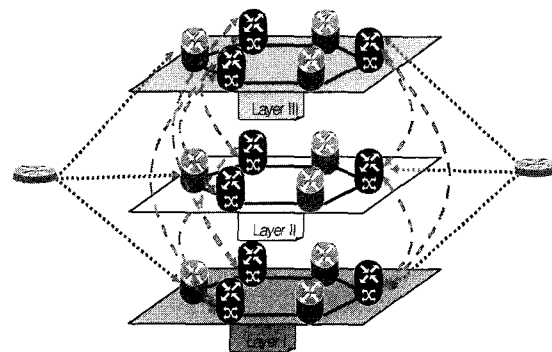


그림 3. <그림 2>에 상응하는 레이어드 그래프 모델  
Fig. 3. An equivalent layered-graph model with 3 wavelengths.

$$x_{ij}^n = \begin{cases} 1 & \text{if flow } n \text{ is assigned to edge } e_{ij} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

같이 표현된다. 이때 목적함수

$$\max \sum_{n=1}^{|M|} f(s_n, d_n)$$

는 주어진 과장 개수에 대하여 설정되는 광 경로의 개수를 최대화 할 수 있는 값으로 주어진다. 이때 함께 고려해야 하는 제약들은 다음과 같은 선형 제약식으로 수식화 된다. 첫째, 모든 액세스 노드에 들어오는 트래픽의 양은 나가는 트래픽의 양과 동일하다. 둘째, 양 종단 노드에서만 트래픽이 생성되거나 소멸된다. 모든 링크에는 동시에 1개 이상의 과장이 할당 될 수 없고 특정 링크에는 과장 할당이 안 될 수도 있다.

Maximize  $\sum_{n=1}^{|M|} f(s_n, d_n)$  subject to

$$\sum_{i \in v} x_{ij}^n - \sum_{k \in v} x_{jk}^n = \begin{cases} f(s_n, d_n) & \text{if } j = d_n \\ -f(s_n, d_n) & \text{if } j = s_n \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sum_{n=1}^{|M|} x_{ij}^n \leq 1 \quad \forall i, j \quad \text{and} \quad x_{ij}^n \geq 0 \quad \forall i, j$$

그러나 이와 같은 최적화 해는 망의 크기가 커지면 이에 따라 계산량이 기하급수적으로 증가하기 때문에 대수적 시간 안에 해를 구할 수 없는 문제점이 있다. 따라서 최적의 해와 근사하면서도 빠른 시간 안에 해를 구할 수 있는 우선 선택방식의 최단 경로 휴리스틱 알고리즘이 제안되었다<sup>[1, 2]</sup>.

정적 모델에서의 레이어드 그래프 알고리즘은 크게 2 단계로 구성된다. 1 단계에서는 물리적 토폴로지  $N(V, A, E, X)$ 에서 주어진 모든 광 경로 설정 요구에 대한 우선 선택 최단거리 경로 들을 찾고 구하여진 경로들을 합 카운트에 대해 오름차순으로 정렬한다. 물리적 토폴로지를 가상의 레이어드 그래프  $N'(V, A, E, X)$ 으로 변형한 후 오름차순으로 정렬된 최단거리 경로들에 대해 순차적으로  $N'(V, A, E, X)$ 에서 최단거리 경로를 찾는다. 유한한 값을 갖는 경로를 찾으면 해당 경로는 무한대의 값으로 갱신하고 그렇지 않으면 해당 광 경로 설정 요구는 2단계로 넘겨진다. 이러한

과정을 정렬되어 있는 모든 경로들에 대해서 고려한다. 2 단계에서는 1 단계에서 설정되지 못한 광 경로 설정 요구들에 대해 이전 단계에서 갱신되고 남아있는  $N'(V, A, E, X)$ 에 대해서 최단거리 경로를 찾는다. 2단계에서도 유한한 값을 갖는 경로를 찾지 못하는 해당 광 경로 설정 요구는 블록킹된다.

정적 모델에서의 레이어드 그래프 알고리즘은 다음과 같은 문제점을 갖는다. 첫째, 1단계에서 광 경로 설정 요구에 대한 경로들을 찾을 때 우선 선택 알고리즘을 사용한다. 그렇기 때문에 그 경로들을  $N'(V, A, E, X)$ 에서 찾는 경우 링크의 사용빈도를 고려하지 못한다. 따라서 특정링크의 사용이 증가하여 망 자원을 효율적이게 사용하지 못한다는 문제점이 발생한다. 두 번째 로는 1 단계에서 설정되지 못한 모든 광 경로 설정 요구들에 대해서 2단계를 수행하여야 한다는 것이다. 2단계는 물리적 토폴로지가 매우 복잡하고 규모가 커진 가상의 레이어드 그래프에서 수행되기 때문에 수행시간을 많이 소모한다는 문제점을 가지고 있다.

이러한 기존의 레이어드 그래프 알고리즘의 문제점을 보완하기 위해서 다음 장에서 레이어드 그래프 알고리즘 기반에 로드 밸런싱 기법을 적용하여 효율적이게 망 자원을 사용하고 동시에 계산시간 또한 향상시키는 알고리즘을 제안한다.

### III. 제안된 알고리즘

본 논문에서 제안하는 RWA알고리즘은 이전 장에서 설명한 레이어드 그래프 알고리즘과 같이 크게 2단계의 의사 코드로 구성된다.

다만 <그림 4>에서 보는 바와 같이 기존 알고리즘과 달리 PHASE I에서 우선 선택 방식의 최단거리 경로를 사용하는 것이 아니라 존재하는 모든 최단거리를 구하여 링크간의 사용빈도를 계산함으로써 망 자원을 효율적으로 사용한다. 자세한 알고리즘 구성은 다음과 같다.

<PHASE I>에서는 물리적 토폴로지에서의 광 경로 설정 요구들에 대한 최단 경로들을 계산한다. 계산된 경로들을 다양한 정렬 방법 (오름차순, 내림차순, 그리고 오름차순시 단일 홉 경로를 제외한 오름차순 -1홉)에 따라 정렬하고 정렬된 순서에 따라 레이어드 그래프에서 해당 경로와 레이어를 선택한다. 미리 고려된 경로들에 의해 <PHASE I>에서 해당 레이어에 경로를 할당할 수 없는 광 경로 설정 요구는 <PHASE II>로 넘겨진다.

이와 같이 가능한 가장 낮은 레이어를 사용하는 경로를 선택함으로써 특정 링크의 사용 빈도가 높아지는 경우를 최대한 억제하고 동시에 광 경로를 망 전체에 균등하게 분산시키는 로드 밸런싱 효과를 얻을 수 있다. 단, 경로들의 정렬시 동일 홉에 따른 후보 경로의 개수에 따라 오름차순으로 재 정렬하는 이유는 후보 경로의 수가 적을수록 <PHASE I>에서 광 경로가 설정되지 않을 확률이 크기 때문에 해당 경로들에게 먼저 기회를 주어서 <PHASE I>에서 설정되지 못하는 경우를 최대한 줄이기 위함이다.

```

Input
1) 물리적인 광 네트워크 토폴로지 N(R, C, L, W)
2) 광 경로 설정 요구들의 집합
<PHASE I>
1) 물리적인 토폴로지 N에서 모든 최단거리 경로 선정.
2) 선정된 경로들의 정렬.
  a. 홉 카운트에 대해서 오름차순 정렬 (오름차순 방법).
  b. 홉 카운트에 대해서 내림차순 정렬 (내림차순 방법).
  c. 홉 카운트가 1인 경우를 제외하고 오름차순으로 정렬, 홉 카운트가 1인 경우는 가장 뒤에 정렬 (올림차순-1홉 방법).
  (단, 같은 홉 카운트를 가지는 경로들은 후보 경로들의 개수에 따라 오름차순으로 정렬.)
3) 레이어드 그래프 N'(V, A, E, X) 구성.
4) while(모든 정렬된 광 경로 설정 요구에 대해서) {
  후보 경로 중 가장 낮은 레이어를 지나가는 경로 선택
  If(N'(V, A, E, X)에서 경로를 찾으면) {
    해당 경로에 파장 할당 } //end if
  else{
    Skip <PHASE I> } //end else
  } //end while
<PHASE II>
while(<PHASE II>에서 Skip 된 광 경로 설정 요구들에 대해서) {
  N'(V, A, E, X)에서 가능한 최단 경로를 찾는다.
  If(경로를 찾으면) {
    해당 경로에 파장 할당 } //end if
  else{
    해당 광 경로 설정 요구 BLOCKING } //end else
  } //end while
    
```

그림 4. 제안된 알고리즘의 의사 코드  
Fig. 4. Pseudo code of proposed algorithm.

<PHASE II>는 <PHASE I>에서 skip된 광 경로 설정 요구에 대해서 사용 가능한 모든 광 경로를 활용하여 최단거리 경로 알고리즘을 수행하여 가능한 경로를 찾는 복잡한 단계이다. <PHASE II>에서도 경로를 찾지 못하면 해당 광 경로 설정 요구는 망내의 어떤 경로로도 파장할당이 되지 않기 때문에 최종적으로 블록킹된다.

#### IV. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 NSFNet 토폴로지에서 정수해를 갖는 최대 다품종 네트워크 플로어 방법을 이용하여 구해진 최적의 파장 개수 13개를 사용하여 정적 모델 환경에서 성능 비교를 수행하였다. 광 경로 설정 요구는 모든 링크간의 요구를 고려하였다. 또한 모든 노드에 파장 변환기능은 없다고 가정하였고 시뮬레이션은 <그림 5>에 보여주는 한국 정보통신 대학원에서 개발한 RWA 전문 시뮬레이터인 NONs(Next generation network laboratory Optical Network Simulator)에서 구현하여 성능 측정을 수행 하였다<sup>6)</sup>.

<그림 6>은 기존의 알고리즘과 제안한 알고리즘을 각각1000회 반복하여 그 중 임의로 100개를 추출한 결과이다. 성능 결과로는 전체 광 경로 설정 요구에 대한 블록킹 확률을 나타낸 것이다. <그림 6(a), (b), (c)>는 각각 로드 밸런싱 알고리즘에 광 경로 선정 순서를 고려하는 오름차순, 내림차순 그리고 1 홉 경로를 제외한 오름차순 순서로 적용한 알고리즘의 성능 결과이다. 모든 그래프에서 4.395를 나타내는 점선은 기존 레이어드 그래프 알고리즘의 우선 선택 방법에 대한 블록킹 확률이고, 실선은 실행횟수에 따라 제안한 알고리즘들의 블록킹 확률을 나타낸 것이다. 기존의 우선선택 방식 알고리즘이 항상 같은 블록킹 확률 갖는 것에 반해 제안한 알고리즘은 여러 경로들 중 가장 낮은 레이어를 지나는 광 경로를 임의 선택하기 때문에 시뮬레이션 수행 시마다 블록킹 확률이 조금씩 다르게 나타난다. 그럼에도 불구하고 거의 모든 경우에 기존의 방식보다 낮은 블록

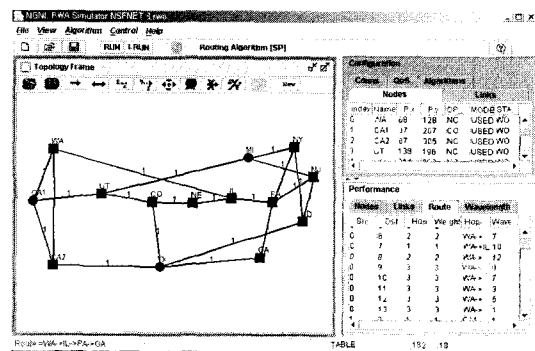


그림 5. NONs의 GUI와 NSFNet 토폴로지  
Fig. 5. GUI of NONs and topology of NSFNet.

킹 확률을 가지고 어떤 경우에는 최적의 해와 같은 블로킹 확률인 0%인 경우도 찾는다.

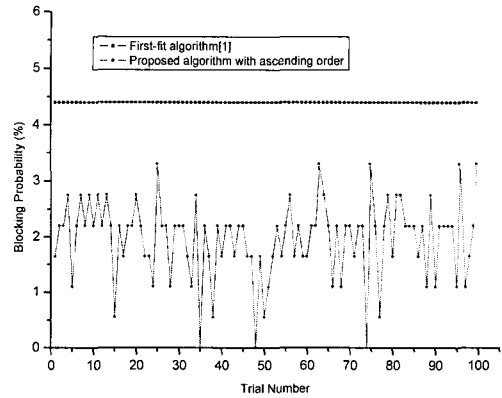
<표 1>은 각각의 알고리즘이 갖는 평균 블로킹 확률과 수행시간을 나타낸 것이다. 로드 밸런싱의 효과는 경로들이 가지는 홉 카운트가 클수록 그리고 후보경로들이 많을수록 더 크다. 그러므로 알고리즘이 진행됨에 따라 긴 홉 카운트의 광 경로를 가지는 오름차순이 내림차순 보다 로드 밸런싱의 효과가 더 크다. 그럼에도 불구하고 내림차순 정렬방식이 오름차순 정렬방식에 비해 블로킹 확률 관점에서 더 좋은 성능을 보이는 이유는 다음과 같다.

내림차순 정렬 방식에서는 긴 홉 카운트를 갖는 광 경로들이 먼저 할당되면서 최단 경로의 사용 확률이 높을 뿐만 아니라 할당된 긴 홉 카운트 경로들 사이의 사용되지 않는 링크들로 짧은 홉 카운트의 광 경로들이 할당되는 효과 또한 얻기 때문이다. 반면에 오름차순 방식에서는 짧은 홉 카운트를 갖는 광 경로들을 미리 고려하기 때문에 이러한 광 경로들이 레이어 간에 촘촘하게 할당 되므로써 뒤에 고려되는 긴 홉 카운트를 갖는 광 경로들이 더 많은 우회 경로를 사용하여야 하고 또 긴 경로들이 사용하고 남은 링크들을 활용할 수 없기 때문에 블로킹 확률이 상대적으로 크다. 1 홉을 제외한 오름차순의 경우 이 둘의 장점을 결합해서 가장 좋은 성능을 나타낸다. 이유는 기본적으로 오름차순 정렬방식이기 때문에 오름차순이 갖는 로드 밸런싱의 효과를 얻고 동시에 1홉 경로를 가장 뒤에 고려함으로써 내림차순에서 고려되는 최단 경로의 사용 효과를 동시에 얻기 때문이다.

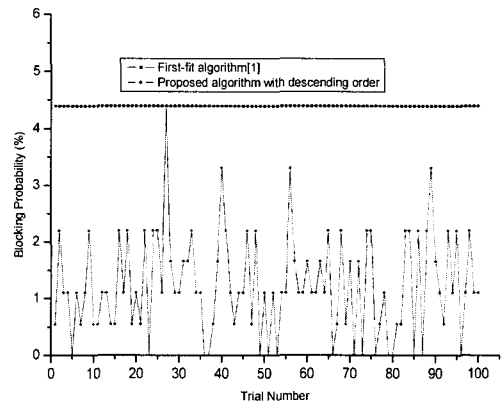
또한 기존의 알고리즘에 비해 <PHASE I>에서 설정되지 않는 광 경로 설정 요구의 개수를 최소화 하므로써 규모가 큰 가상의 레이어드 그래프에서 수행되는 <PHASE II>의 수행 횟수를 줄여 알고리즘의 실행 시간을 항상 시켜 주는 것을 알 수 있었다.

표 1. 알고리즘의 성능 평가  
Table 1. Performance results of algorithm.

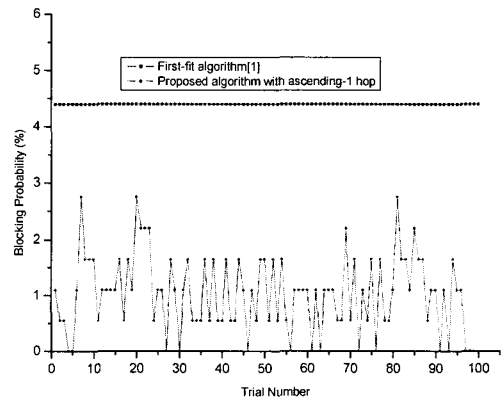
	우선선택 알고리즘	로드 밸런싱 알고리즘		
		오름차순	내림차순	오름차순-1hop
평균 블로킹 확률 (%)	4.395	2.04	1.45	1.09
평균 수행 시간(msec)	1122	547	587	498



(a) 제안된 알고리즘 - 오름차순



(b) 제안된 알고리즘 - 내림차순



(c) 제안된 알고리즘 - 오름차순 1홉 제외

그림 6. 블로킹 확률  
Fig. 6. Blocking Probability.

V. 결 론

본 논문에서는 정적 모델에서 로드 밸런싱 기법과 광 경로 설정 요구 순서를 고려하는 방식의 로드 밸런싱

RWA 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 망 트래픽에 따라 경로를 고르게 분포 시키고 파장 할당 순서를 고려하여 링크 사용의 효율성을 높일 수 있었다. 또한 시간이 많이 걸리는 PHASE II의 경로 수를 줄임으로써 전체적인 알고리즘 실행 시간을 줄일 수 있었다. 향후 정적 모델만이 아닌 동적 모델과 파장 변환기능이 포함된 환경에서도 망 상태에 따른 경로의 로드 밸런싱 기법을 이용하여 파장 할당 알고리즘을 연구하고자 한다.

### 참 고 문 헌

- [1] C. Chen and S. Banerjee, "A New Model for Optimal Routing and Wavelength Assignment in Wavelength Division Multiplexed Optical Networks," in INFOCOM '96, Page(s): 164-171, March 24-28, 1996, San Francisco, CA, USA.
- [2] C. Chen and S. Banerjee, "A New Model for Optimal Routing in All-Optical Networks with Scalable Number of Wavelength Converters," Proc. IEEE Globecom '95, Nov. 1995.
- [3] J. S. Choi, N. Golmie, F. Lapeyrere, Mouveaux and D. Su "A Functional Classification of Routing and Wavelength Assignment Algorithms for WDM routing networks:Static case," NRC 2000, New Jersey, USA, April 14-15, 2000.
- [4] H. Zang and J. P. Jue, and B. Mukherjee, "A Review of Routing and Wavelength Assignment Approaches for Wavelength-Routed Optical WDM Networks," SPIE Optical Networks Magazine, vol. 1, no. 1, Jan. 2000.
- [5] I. chlamtac, A. Ganz and G.Karni, "Lightnet : lightpath based solutions for wide bandwidth WANs," in INFOCOM '90 Vol3, Page(s):1014-1021, 1990.
- [6] M. H. Park and J. S. Choi, "The Framework for Routing and Wavelength Assignment (RWA) Simulator : Architecture and Simulation Study" CEIC2002, November 28-29, 2002.
- [7] Z. Zhang. And A. S. Acampora, "A heuristic wavelength assignment algorithm for multihop WDM networks with wavelength routing and wavelength reuse," IEEE/ACM Trans. on Networking, vol. 3, No. 3, Page(s): 281-288, 1995.
- [8] J. Kim and D. Lee, "Predefined Path Selection Methods for Dynamic Routing and Wavelength Assignment in WDM Networks," OFC 2003, vol. 1, Page(s):140-142, Atlanta, Georgia, USA, March 23-28, 2003.
- [9] S.-H. Choi, D. C. Lee, J. S. Choi, and Y.-H. Jeong, "Standardization Efforts in Optical Networking Focused on Architecture and Signaling Issues," SPIE/Optical Networks Magazine, May/June, 2003.
- [10] B. Mukherjee, "WDM Optical Communication Networks: Progress and Challenges," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 18, No. 10, October 2000.

### 저 자 소 개



朴民浩(正會員)

2002년 3월~현재 : 한국 정보통신 대학원 대학교 석사 과정. 2003년 6월~현재 : 한국 전자통신 연구소 위촉 연구원. 2002년 2월 : 동국대학교 정보통신 공학과 학사



崔振植(正會員)

2001년 3월~현재 : 한국 정보통신 대학원 대학교 교수. 1995년 9월~2001년 2월 : 공주대 교수. 1998년 9월~2000년 9월 : NIST 방문 연구원. 1995년 8월 : 한국과학기술원 박사. 1987년 2월 : 한국과학기술원 석사. 1985년 2월 : 서강대학교 학사