

# WDM/TDM 네트워크에서 사용자 요구 트래픽 특성을 고려한 분산 광 경로 설정 기법

## A Distributed Lightpath Establishment Scheme Considering User Traffic Characteristics in WDM/TDM Networks

임재복  
 목원대학교 IT공학과  
 이현태  
 목원대학교 IT공학과

Jae-Bok Lim (josua76@mokwon.ac.kr)  
 Dept. of IT Engineering, Mokwon University  
 Hyeun-Tae Lee (htlee@mokwon.ac.kr)  
 Dept. of IT Engineering, Mokwon University

중심어 : 파장분할다중화, 시간분할다중화, RWTA, 분산제어프로토콜, 후방예약

Keyword : WDM, TDM, RWTA, Distributed Control Protocol, Backward Reservation

### 요약

본 논문은 WDM/TDM 네트워크에서 사용자 요구 트래픽 특성에 따른 광 경로를 설정하기 위한 분산된 광 경로 설정에 관한 연구이다.

본 논문에서는 시간슬롯 기반의 WDM/TDM 네트워크에서 사용자 요구 트래픽 특성을 고려하여 시간슬롯을 효율적으로 제공할 수 있는 대역폭 보장형 시간슬롯 할당 (Guaranteed-Bandwidth Time-slot Allocation : GBTA) 알고리즘을 제안하였다. 이를 위해 사용자가 요구하는 트래픽 특성을 ATM 네트워크에서 정의하고 있는 서비스 범주에 적용하여 클래스를 구분하였다. 또한 링크의 이용률을 높이고 블로킹 확률을 최소화하기 위해서, 제안한 GBTA 방식을 적용한 분산형 광 경로 설정 프로토콜을 확장하였다. 분산형 광 경로 설정 프로토콜은 광 경로를 설정하기 위해 보다 최근의 정보를 가지고 자원을 예약하는 후방 예약 프로토콜 방식을 사용하였다. 제안된 GBTA 기반의 광 파장 경로 네트워크의 경로 설정 성능을 검증하기 위해서 네트워크 시뮬레이터 (NS)를 확장한 DOWTns를 이용하여 성능분석을 수행하였다.

### Abstract

In this paper, we study a distributed establishment scheme to setup lightpath in WDM/TDM Network considering user traffic characteristics.

We propose a GBTA(guaranteed-bandwidth time-slot allocation) algorithm which assigns time-slots according to the required traffic so that it can utilize given network resources efficiently in RWTA(routing and wavelength time-slot assignment) schemes. We consider traffic specification on the basis of ATM traffic classes. Also, in order to increase link utilization and minimize blocking probability, we extend distributed lightpath establishment protocol based on GBTA algorithm. In order to establish lightpath in distributed WDM/TDM network, we use backward reservation protocol that reserves resource with recent information.

We use DOWTns(Distributed Optical WDM/TDM ns) that is extended from NS(Network Simulator), in order to verify proposed GBTA-based optical wavelength routed network.

## 1. 서론

광전기적 그리고 전기적/광 변환이 없이 발신지에서 목적지까지 연결되는 통신 경로를 광 경로(Lightpath)라고 한다.

광 경로들의 집합으로 이루어지는 네트워크 구조를 논리적 토폴로지 또는 가상 토폴로지라고 한다. 하나의 광섬유에서 사용할 수 있는 파장의 수가 한정되어 있기 때문에 모든 노드 사이에 완전한 채널을 설정할 수 없다. 따라서, 제약사항이 있는 물리적 토폴로지 상에 논리적 토폴로지를 생성하기 위해

\* 본 연구는 한국과학재단과 목원대학교의 지원으로 수행 되었습니다.  
 접수번호 : #040128-002  
 접수일자 : 2004년 1월 28일, 심사완료일 : 2004년 6월 22일

\*교신저자 : 임재복, e-mail : josua76@mokwon.ac.kr

서는 어떻게 라우팅하며 어떠한 파장을 광 경로에 할당할 것인가에 대한 문제를 해결해야 한다. 이러한 광 경로 설정을 위한 라우팅과 파장 할당 문제를 RWA(Routing and Wavelength Assignment)라고 부른다[1],[2]. 회선 스위칭 기반의 WDM 네트워크에서는 세션을 요구한 트래픽에 대하여 파장에 대한 대역폭을 완전히 다 사용하는 것이 가장 이상적이지만, 그렇지 못할 경우 대역폭의 낭비가 있게 된다. 즉, 파장에 남아 있는 대역폭이 있다고 하여도 다른 트래픽이 남은 파장을 사용할 수 없게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 TDM(Time Division Multiplexing) 이용한 방법이 연구되었다[3],[4]. 세션의 대역폭의 요구에 대해 시간슬롯으로 지정하며 발신 노드에서 수신 노드까지의 경로에 적절한 파장과 시간슬롯을 할당한다. 따라서, 이러한 광 경로 설정을 위해서는 파장의 연속성 제약뿐만 아니라 시간슬롯의 제약 사항도 존재한다. 이 문제는 라우팅 및 파장과 및 시간슬롯 할당. (Routing, Wavelength and Timeslot Assignment: RWTA)라고 부른다. 또한, 네트워크의 성능을 높이기 위해서는 효과적으로 광경로를 설정하거나 해제하는 방법이 필요한데, 여기에는 중앙 집중 제어 방식과 분산 제어 방식이 있다.

본 논문에서는 앞서 언급한 RWTA 개념을 도입하여 보다 효과적으로 대역폭을 사용할 뿐만 아니라 서비스별로 대역폭을 보장하기 위한 대역폭 보장형 시간슬롯 할당(Guaranteed-bandwidth Time-slot allocation : GBTA)알고리즘을 제안한다. 이를 위해 사용자가 요구하는 트래픽 특성을 ATM 네트워크에서 정의하고 있는 서비스 범주를 적용하여 클래스를 구분한다. 특히 네트워크 상황에 따라 트래픽 전송 속도가 가변인 ABR(Available Bit Rate)을 모델링하여 GBTA의 성능을 분석하였다. GBTA는 네트워크에 최대의 대역폭과 최소의 대역폭을 시간 슬롯의 수로 요구함으로써 서비스별로 대역폭을 보장하여 각 트래픽의 요구에 QoS를 만족시킬 수 있음을 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 또한 효과적인 네트워크 자원의 공유와 사용자 요구의 트래픽에 따른 서비스를 제공하기 위해 분산구조의 WDM/TDM 네트워크를 설계하고 여기에 사용하기 위한 분산 프로토콜의 메시지와 설정 방법을 확장하였다. 예약 실패를 최소화하기 위해 여러 채널을 예약하는 진취적 예약 방법과 단지 하나의 채널을 예약하는 보수적 예약 방법을 적용하여 두 개의 방법에 대한 비교 평가를 위해 시뮬레이션을 수행하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 WDM/TDM 광 네트워크의 구조에 대해, III장에서는 대역폭을 보장하는 WDM/TDM 기반의 분산 프로토콜에 대해 기술하고 IV장에서

는 제한한 프로토콜의 성능 분석을 위한 시뮬레이션의 구성과 결과를 분석하고, V장에서 결론을 맺는다.

## II. WDM/TDM 광 네트워크의 구조

TDM 기반의 파장 라우팅 네트워크를 WDM/TDM이라고 한다. WDM/TDM에서 다중 세션은 TDM 프레임을 사용하는 단일 파장에 다중화될 수 있다. 세션의 대역폭의 요구는 시간슬롯(timeslot)으로 지정하며 발신 노드에서 목적지 노드까지의 경로에 적절한 파장과 시간슬롯을 할당한다. 따라서, WDM/TDM에서의 노드는 파장뿐만 아니라 시간슬롯도 라우팅을 할 수 있다. 노드의 라우팅 패턴은 시간슬롯을 기반으로 재구성된다. 노드에 들어오는 시간슬롯은 미리 정해진 출력포트에 저장되지 않고 곧 바로 나간다. WDM에서 하나의 링크에 두 개의 광 경로를 설정하기 위해 다른 파장을 이용하여야 하지만 TDM 방법은 같은 파장의 주기를 다르게 시간을 할당하여 전송할 수 있는 방법이다. 따라서, 파장의 연속성 제약뿐만 아니라 시간슬롯의 제약 사항도 존재한다. 시간슬롯의 제약 사항은 할당된 시간슬롯이 하나의 노드를 지날 때마다 링크의 지연과 노드의 처리 시간 때문에 이동된 시간슬롯을 계산하여야 한다.

그림 1은 TDM 기반의 파장 경로 네트워크에서 시간슬롯을 할당하는 예이다. 각각의 파장은 4개의 시간슬롯으로 구성된 프레임들로 나누어진다. A세션 트래픽은 노드 1에서 노드 2를 지나 노드 3으로 전달되는 경로이다. 이 경로는 링크 1에 슬롯 0과 1이 할당되고 링크 2에 슬롯 1과 2가 할당된다. 또한 C는 링크 1에서는 슬롯 3에, 링크 3에서는 슬롯 0에 할당된다. 링크에서의 전달시간과 노드에서의 처리 지연의 결과는 다음 링크의 시간슬롯과 같지 않고 이동된 시간슬롯에 대해 할당한다. 이러한 복합적인 링크의 지연은 시간슬롯의 수를 고려하여야 하며, 광 동기장치(synchronizer)의 사용으로 해당 슬롯에 데이터를 할당할 수 있다. 예로, 한 슬롯의 지연이 하나의 링크를 지날 때라고 가정한다면 링크 2에서는 이동된 시간슬롯을 쓰고 있음을 그림 1에서 확인할 수 있다.

## III. 대역폭을 보장하는 WDM/TDM 기반의 분산 프로토콜

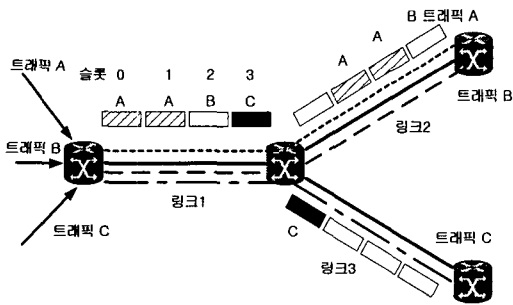


그림 1. WDM/TDM 파장 경로 네트워크

전방 예약 프로토콜은 광 경로를 설정하기 위해 먼저 가능한 자원을 예약하여 목적지 노드에 보내져야 하기 때문에, 자원을 발신 노드에서 예약하기 위해서는 전체 노드의 자원 정보를 알아야 하며 자원의 정보가 변경되었을 경우에는 주기적이거나 변경되었을 경우에만 새로운 정보를 보내야 한다. 이러한 방식은 WDM/TDM 네트워크에서는 WDM 네트워크에서 보다 제어 메시지의 정보량이 많아서 트래픽의 부하가 더욱 높고 동적으로 발생하는 트래픽에 의해 최근의 정보가 아닌 지난 정보에 의해 블록킹될 수 있으며 광 경로 설정하는 시간이 오래 걸릴 수 있다. 본 논문에서는 보다 최근의 정보를 가지고 자원을 예약하는 후방 예약 분산 프로토콜을 사용하여 WDM/TDM 네트워크에서 발신 노드와 목적지 노드 사이에 사용자 요구에 따른 동적인 광 경로를 설정한다[5],[6].

**1. 제안하는 대역폭 보장형 시간슬롯 할당 방법**

광 파장 경로 네트워크에서 시간슬롯을 도입한 RWTA에서는 시간슬롯의 할당이 제공하는 연결의 대역폭을 결정한다. 여기에서는 효과적으로 대역폭을 사용할 뿐만 아니라 서비스별로 대역폭을 보장하기 위한 대역폭 보장형 시간슬롯 할당 (GBTA)알고리즘을 제안한다. GBTA는 블록킹 확률만 고려하는 파장 경로 네트워크에 최소한의 대역폭을 시간슬롯의 수로 요구함으로써 서비스별로 대역폭을 보장하여 각 세션 트래픽의 QoS 요구를 만족시킬 수 있다. 또한 네트워크의 혼잡이 발생시 보장된 시간슬롯을 할당함으로써 세션이 블록킹 되지 않고 연결될 확률을 높여 세션의 연결성을 보장하여 QoS의 요구사항을 만족시킨다. 각 세션은 시간슬롯을 요구함에 있어 최소한의 대역폭을 보장하기 위해 그림 2와 같이 시간슬롯을 요구한다. 후방 예약 프로토콜의 자원 수집의 결과 경로상의 모든 노드들의 시간슬롯 할당 알고리즘은 그림 3과 같다.

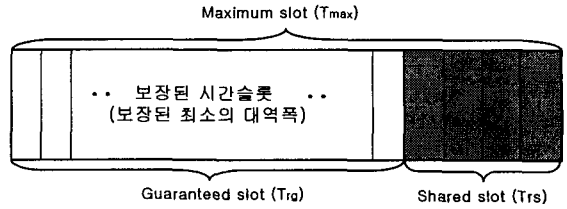


그림 2. 요구하는 시간슬롯

세션이 트래픽을 요구할 때에는 최대의 대역폭(Tmax)으로 요구를 한다. 네트워크의 자원이 가용할 때는 최대의 대역폭을 할당하고, 자원이 부족할 경우에는 보장된 시간슬롯(Trg)만큼만이라도 할당해 준다. 만일, 최대의 시간슬롯이 보장되지 않지만, 보장된 시간슬롯이상이 가용하다면 네트워크에서 가용한 만큼만 시간슬롯을 할당해 준다. 세션 요구한 보장된 시간슬롯 이하일 때는 블록킹된다.

- Allocation Algorithm -

- \* Tat : Available Timeslot
- \* Trg : Requested Guaranteed Timeslot
- \* Trs : Requested Shared-Timeslot
- \* Tmax : Requested Maximum Timeslot

Case 1 : Tmax < Tat  
→최대의 시간슬롯 예약

Case 2 : Trg ≤ Tat < Tmax  
→ 가용한 시간슬롯 예약

Case 3 : Tat < Trg  
→ Blocking !!

그림 3. 시간슬롯 할당 알고리즘

**2. 트래픽 서비스 클래스에 따른 시간슬롯 할당**

네트워크에는 여러 형태의 트래픽이 발생하므로 트래픽 제어가 어렵다. 특히 파장 경로 네트워크와 같은 회선 교환에서는 파장, 시간슬롯을 점유하는 세션의 수가 최대가 될 때, 요구되는 세션 트래픽은 모두 손실이 된다. 그러므로 트래픽 특성에 따른 서비스를 분류하여 효과적으로 자원을 할당하는 것이 필요하다. 현재 통합된 서비스 네트워크를 위해 서비스별 발생 트래픽의 형태에 따라 정의된 몇 개의 서비스 범주들이 존재한다. 본 논문에서는 ATM 네트워크에서의 트래픽 특성에 따른 시간슬롯 할당 방법을 고려한다. ATM 네트워크에서의 트래픽 클래스는 다음과 같이 구분된다. CBR(Constant

Bit Rate), rtVBR(real-time Variable Bit Rate), nrtVBR(non real-time Variable Bit Rate), UBR(Unspecified Bit Rate), ABR(Available Bit Rate). ATM에서 정의하고 있는 트래픽에 따른 서비스 클래스의 적용 범위를 정리하면 표 1과 같다. ATM에서는 각 트래픽의 특성을 규정짓기 위해 셀율과 관련된 파라미터를 정의하고 있으며, 표 2와 같다.

표 1. ATM 트래픽 서비스 클래스의 적용범위[10]

Traffic Class	적용 범위
CBR	• E1, DS1, DS3 등의 전용선 서비스 • 음성, 비디오 등 cell delay variation에 민감한 서비스
rt-VBR	• Burst 한 특성을 갖는 실시간 서비스 • 가변 압축률의 동영상이나 음성 전송
nrt-VBR	• Burst 한 특성을 갖으며 비 실시간의 데이터 트래픽 전송 • 중변 데이터 전송에 적합
ABR	• 망 상황에 따라 트래픽 전송속도 가변 • LAN 등에 적합
UBR	• 트래픽 QoS 보장 없음 • Best Effort 서비스에 적합

CBR은 연결이 맺어진 동안 채널 자원의 고정된 대역폭을 요구함으로 PCR에 의해 CBR 특성이 규정된다. 따라서 일정한 양을 할당해야 함으로 보장된 시간슬롯(Trg)을 요구한다. rtVBR은 실시간 음성과 화상정보를 수용하도록 제안되었다. 그래서 지연과 지연 변화에 대한 강한 제한값과 매우 낮은 패킷 loss 비율을 요구한다. 이 서비스를 제공하기 위해서는 고정 대역폭을 할당해야 함으로 보장된 시간슬롯(Trg)을 요구한다. ABR은 실시간 서비스와 같이 우선 순위가 높은 트래픽이 네트워크 자원을 우선적으로 사용하고 남은 자원을 공정하게 공유하도록 하는 방식이므로 시간슬롯을 최대와 보장된 트래픽으로 구분하여 정의할 수 있다(Trg, Trs). UBR은 지연이 그렇게 중요하지 않은 Best Effort 서비스에 적합하고 가능한 많은 연결을 수용하는 것을 목적으로 하기 때문에 Trs로 시간슬롯을 할당할 수 있다.

### 3. 라우팅 구성과 자원 할당 방법

광 경로 설정을 하기 위해서 발신 노드는 목적지 노드로 선택한 경로를 따라 연결 요청 메시지를 보내야 한다. 제안한

구성에서는 목적지 노드를 찾기 위해 가장 짧은 경로를 선택

표 2. 트래픽 클래스에 따른 시간슬롯 할당

Traffic Class	Rate Guarantees(Descriptor)	시간슬롯 할당
CBR	• Peak Cell Rate(PCR)	Trg
VBR	• Sustained Cell Rate(SCR)	Trg
ABR	• Minimum Cell Rate(MCR) & • Allowed Cell Rate(ACR)	Trg, Trs
UBR	• No Guarantees	Trs

하는 방법을 사용하였다. 광 경로 설정하기 위한 요청 메시지는 결정된 경로를 따라 목적지 노드로 전달한다. 또한 이 요청 메시지는 각각의 노드를 지날 때 링크의 자원 정보를 수집하는 방법을 사용하였다.

그림 4는 목적지 노드까지 보내지는 요청 메시지의 정보 수집 동작을 설명한다. 파장은 여러 개의 슬롯으로 구성된다. 초기 R0 노드에서 목적지 노드 Rj+1 노드까지 결정된 경로를 따라 전달되며 처음 노드 R0에서는 R1의 노드 사이의 사용되고 있는 정보를 업데이트 한다. 정보를 업데이트 하면서 사용할 수 없는 슬롯은 제외시킨다.

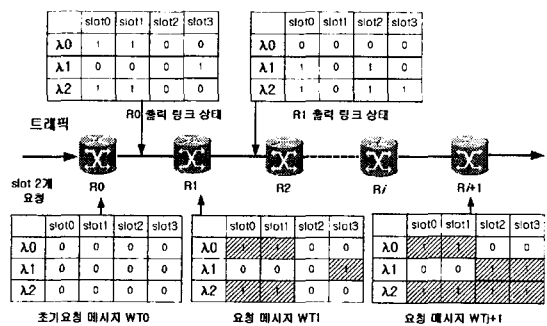


그림 4. 요청 메시지 정보

슬롯을 두 개 요청하는 트래픽은 목적지까지 요구 메시지를 전달하고 목적지 노드는 요청 메시지를 받으면 수집한 정보를 바탕으로 가용한 파장과 시간슬롯을 할당하여야 한다. 그림 4에서는  $\lambda_0$  파장의 2, 3번째 슬롯과  $\lambda_1$ 의 슬롯 1, 2가 가용한 상태이다. 파장 할당과 시간슬롯의 할당은 3장에 언급한 할당 알고리즘 중에 하나를 택하여 사용하며  $\lambda_0$  파장의 2, 3번째 슬롯을 할당한다.

4. 확장한 분산 프로토콜

1) 제어 메시지 종류

프로토콜에 사용되는 제어 메시지는 표 3과 같다. 제어 메시지는 [9]논문에서 제안한 제어메시지를 확장하여 설계하였다.

표 3. 제어 메시지

메시지 종류	기 능
PROB	· 연결 요청을 위한 메시지 · 발신지
RESV_MAX	· 파장과 최대 시간슬롯 예약을 위한 메시지 · 목적지, 중간노드
RESV_G	· 파장과 보장된 시간슬롯 예약을 위한 메시지 · 목적지, 중간노드
ACK	· 성공적인 광 경로 설정 메시지 · 발신지
S-NACK	· 수집한 자원 전체가 가용하지 않은 상태이거나 링크로 전달하지 못하였을 경우의 요청 실패 메시지 · 발신지, 중간노드
D-NACK	· 링크의 자원을 예약하지 못하였을 경우의 예약 실패 메시지 · 목적지, 중간노드
FAIL_MAX	· 최대 시간슬롯 예약 실패 메시지 · 중간노드
FAIL_G	· 보장된 시간슬롯 예약 실패 메시지 · 중간노드

5. 광 경로 설정 과정

기존의 광 경로 설정 과정은 그림 5의 (a)와 같이 이루어진다. 발신노드에 요구하는 트래픽이 발생하면 데이터를 보내기 전에 경로 설정을 위한 PROB 제어 메시지를 목적지 노드로 보낸다. 이때 PROB 메시지는 미리 결정된 최단 경로를 사용한다. PROB 메시지는 목적지 노드까지 가면서 중간 링크의 가용한 자원을 수집한다. PROB 메시지를 받은 목적지 노드는 PROB 메시지가 수집한 자원을 바탕으로 파장 및 시간슬롯을 할당한다. 할당된 자원을 RESV(reservation) 메시지로 발신 노드로 보내면서 중간 노드의 자원을 예약하며 또한 노

드의 스위치를 구성한다. 발신 노드는 RESV 메시지를 받으면 목적지 노드에 ACK(acknowledgment) 메시지를 보내고 할당된 자원을 이용하여 데이터를 보낸다. (b)는 확장된 방법으로 세션이 요구한 최대의 시간슬롯이 예약되는 과정을 보여준다.

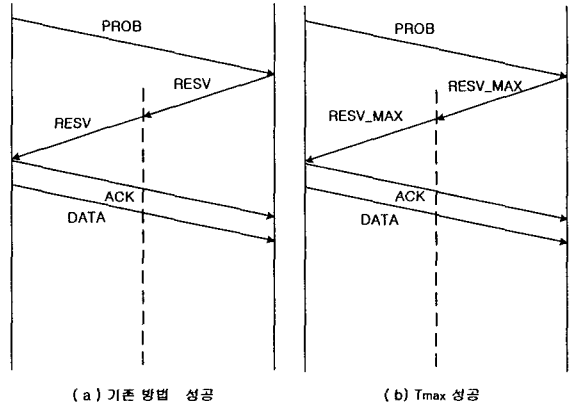


그림 5. 광 경로 설정 과정 1

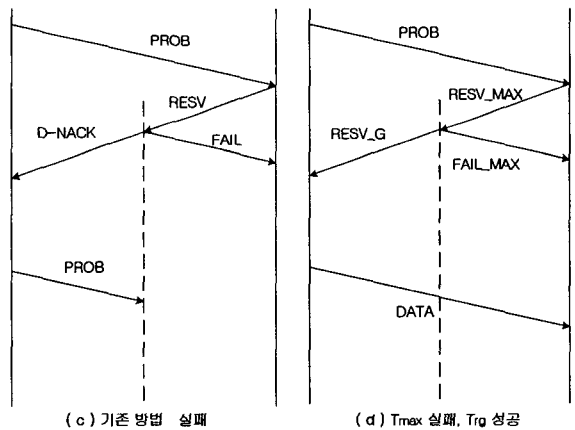


그림 6. 광 경로 설정 과정 2

그림 6은 기존 방법에서의 실패했을 경우와 제안한 방법과 비교한 것이다. (c)의 경우는 목적지 노드에서 RESV 메시지가 발신 노드로 전달될 때 자원을 할당할 수 없는 경우이다. 자원을 할당할 수 없으므로 연결 실패 메시지인 D-NACK(destination negative-acknowledgment) 메시지를 발신노드로 보내고 목적지 노드로는 FAIL 메시지를 보낸다. FAIL 메시지는 목적지 노드로 가면서 예약한 자원을 해제한다. (d)는 요구한 최대의 시간슬롯을 설정함에 있어서는 실패하였지만 해당 경로에 있어 보장된 시간 슬롯은 가용한 경우이다. 이 경우에

있어서 중간노드는 FAIL\_MAX(fail maximum) 메시지를 목적지 노드로 보내면서 이미 설정해 놓은 시간슬롯에서 보장된 슬롯의 차에 해당하는 시간슬롯을 해제하게 된다. 또한 중간노드는 발신지 노드로 RESV\_G(reservation guaranteed) 메시지를 보내면서 최대 시간슬롯은 가용하지 않지만 요구한 보장된 시간슬롯을 가용하므로 데이터를 전송할 수 있게 된다. 그림 6 (d)의 경우는 중간노드에서 보장된 시간슬롯도 가용하지 않은 경우이다. 자원을 할당할 수 없으므로 연결 실패 메시지인 D-NACK 메시지를 발신 노드로 보내고 목적지로는 FAIL\_G(fail guaranteed) 메시지를 보내면서 최대로 요구한 시간슬롯을 해제한다. 그림 7의 (f)는 최대 시간슬롯은 실패하여 보장된 시간슬롯으로 예약하는 과정에서 실패하는 경우이다.

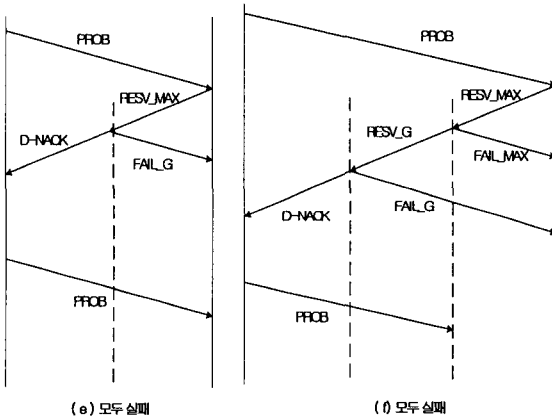


그림 7. 광 경로 설정 과정 3

### 6. 자원 예약 잠금 방법

목적지 노드는 PROB 메시지를 받고 메시지의 수집된 정보에 의해 자원을 할당하고 RESV 메시지를 보낸다. 하지만 PROB 메시지는 자원을 예약하는 것이 아니기 때문에 RESV 메시지가 자원을 예약할 때 수집된 정보와는 다르게 다른 호에 의해 쓰여지고 있을 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 자원 예약 잠금 방법을 사용한다. 자원을 예약할 때 다른 자원이 사용하지 못하도록 잠금 상태를 만든다. 하지만 RESV 메시지가 먼저 도착한 메시지가 자원을 잠금 상태로 만들 수 있기 때문에 다음과 같은 방법을 사용한다.

자원을 예약하는 방법에는 진취적 예약(Aggressive reservation)과 보수적 예약(Conservation reservation) 두 가지 방법이 있다. 진취적 예약 방법은 예약하는 과정에 있어서 여

러 개의 가상 채널을 잠그고 연결을 설정하기 위해 시도하며 그 중 하나의 채널만 통신 채널로 할당하고 나머지 채널은 해제한다. 보수적 예약 방법은 예약 과정에 있어서 하나의 채널만 사용한다. 진취적 예약 방법은 보수적 예약 방법보다 블록킹 확률을 줄일 수 있지만 너무 많은 자원을 사용하여 예약하면 다른 연결은 블록킹 될 것이다[7].

확장한 분산 프로토콜을 사용하였을 경우의 진취적인 예약에 있어서 여러 개의 가상채널을 사용하므로 동시에 최대 시간슬롯이나 보장된 시간슬롯의 성공 시에 어느 광 경로를 선택할 것인지 정책이 필요하다.

### IV. 성능평가

제안된 프로토콜 방법을 사용하여 WDM/TDM 네트워크에서 진취적 예약 방법과 보수적 예약 방법의 성능을 NS(Network Simulator)를 확장한 DOWTns(Distributed Optical WDM/TDM Network Simulator)를 통해 랜덤 토폴로지 환경하에서 각각 비교하였다[8],[9].

그림 8은 보수적 예약 방법과 진취적인 방법의 예약 채널을 2개로 설정했을 경우에 블록킹 확률을 나타낸 그래프이다. 25개의 노드와 링크의 연결 확률 0.1로 랜덤 토폴로지에서 시뮬레이션 하였다. 여기서 모든 링크는 파이버 1개, 파장 12, 시간슬롯 32개로 같다. 또한 링크의 지연은 백분 망의 거리가 약 20~100km 임을 고려하여 0.5ms로 하였다. 파장할당은 FF로 하고, 시간슬롯 할당은 GBTA를 적용한 FFT 방법을 사용하였다. 노드 당 동시에 발생한 트래픽 수는 1200이며 트래픽 부하를 증가시켰을 경우 광 경로 설정 시간의 변화를 나타내는 그래프이다. 예약 채널을 2개로 설정한 진취적인 방법의 경우에 보수적인 방법보다 트래픽 부하 0.2에서 블록킹 확률이 약 24%가 낮아 졌고, GBTA를 적용했을 경우 예약채널을 2개로 설정한 진취적인 방법이 보수적인 방법보다 트래픽 부하 0.2에서 25%정도 블록킹 확률이 낮아졌다. 트래픽 노드가 0.15일때 블록킹 확률이 바뀌어 GBTA를 적용한 보수적 예약 방법이 진취적인 방법보다 더 성능이 향상됨을 볼 수 있다.

그림 9는 보수적 예약 방법과 진취적인 방법의 예약 채널을 2개로 설정했을 경우에 링크 이용률을 나타내는 그래프이다. 트래픽의 부하가 증가함에 따라 보수적인 방법이 진취적인 방법보다 더 낮은 링크 이용률을 보인다. 또한 GBTA를 적용한 진취적인 방법이 트래픽 부하가 증가함에 따라 GBTA를 적용한 보수적인 방법보다 더 높은 링크 이용률을 보인다.

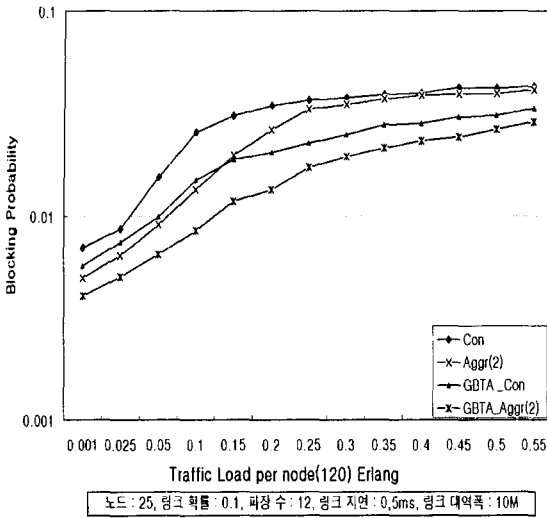


그림 8. 예약방법에 따른 블로킹 확률

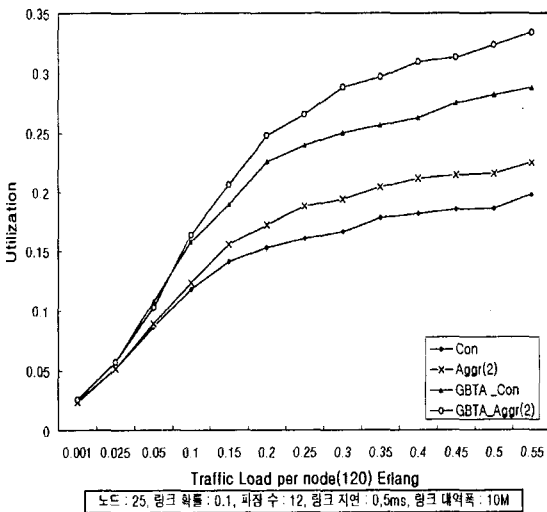


그림 9. 예약 방법에 따른 링크 이용률

## V. 결론

본 논문에서는 WDM/TDM 네트워크에서 사용자 요구 트래픽 특성에 따른 광 경로를 설정하기 위한 분산된 광 경로 설정에 관하여 연구하였다. RWTA에서 요구되는 트래픽에 따라 시간슬롯을 제공하여 자원을 효율적으로 사용 할 수 있는 대역폭 보장형 시간슬롯 할당 알고리즘을 제안하였다. 트래픽 특성은 ATM 트래픽 클래스를 기준으로 전송률을 보장할 수

있도록 고려하였다. 또한 링크의 이용률을 높이고 블로킹 확률을 최소화하기 위해서, 제안한 GBTA 방식을 적용한 분산형 광 경로 설정 프로토콜을 확장하였다. 분산형 광 경로 설정 프로토콜은 광 경로를 설정하기 위해 보다 최근의 정보를 가지고 자원을 예약하는 후방 예약 프로토콜 방식을 사용하였다.

시뮬레이션을 수행한 결과 GBTA를 적용한 WDM/TDM에서 보수적 예약 방법과 진취적 예약 방법에 대해 시뮬레이션을 수행한 결과 GBTA를 적용한 보수적, 진취적인 예약 방법에서 블로킹 확률을 줄일 수 있었으며, 2개의 채널을 예약하는 진취적 방법이 보수적 방법보다 블로킹 확률이 더 줄어 들었다. WDM/TDM 기반의 분산 구조에서 더욱 연구할 부분은 사용자 레벨에 따른 차별화된 RWTA의 연구로서 라우팅의 문제를 해결하기 위한 접근 방식의 연구가 필요하며 기존의 QoS 모델과 WDM QoS 모델간의 연동에 대한 많은 연구가 이루어져야 할 것이다.

## 참고 문헌

- [1] R. Ramaswami and K. N. Sivarajan, "Design of logical topologies for wavelength-routed optical networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 14, No. 5, pp. 840-851 June 1996.
- [2] H. Zang and J. P. Jue and B. Mukherjee, "A review of routing and wavelength assignment approaches for wavelength-routed optical WDM Networks," Optical Networks Magazine, Vol. 1, pp. 47-60, Jan 2000.
- [3] Nen-Fu Huang, Guan-Hsiung Liaw, and Chuan-Pwu Wang, "A novel all-optical transport network with time-shared wavelength channels," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 18, No. 10, pp. 1863-1875, Oct 2000.
- [4] Bo Wen and K. M. Sivalingam, "Routing, wavelength and time-slot assignment in time division multiplexed wavelength-routed optical WDM networks," in IEEE INFOCOM, (New York, NY), June 2002.
- [5] Andrei G. Stoica and Abhijit Sengupta, "On a dynamic wavelength assignment algorithm for wavelength routed all-optical networks," Optical Networks

Magazine, Jan/Feb 2002.

[6] Jun Zheng and Hussein T. Mouftah, "Distributed lightpath control based on destination routing in wavelength-routed WDM Networks," *Optical Networks Magazine*, July/Aug 2002.

[7] Bo Wen, Nilesh M. Bhide, Ramakrishna K. Shenai, and Krishna M. Sivalingam, "Optical wavelength division multiplexing (WDM) network simulator (OWns): Architecture and Performance Studies," in *SPIE Optical Networks Magazine Special Issue on "Simulation, CAD, and Measurement of Optical Networks,"* Sep/Oct 2001.

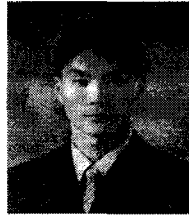
[8] X. Yuan and R. Melhem and R. Gupta, "Distributed path reservation algorithms for multiplexed all-optical interconnection Networks".

[9] 임재복, "WDM/TDM 네트워크에서 광 경로 설정 알고리즘", 한국해양정보통신학회논문지, 제7권 제7호, pp. 1427-1433, 2001.

[10] E. Crawley, "A framework for integrated services and RSVP over ATM," *rfc2382*, 1998.

임재복(Jae-Bok Lim)

준회원



2002년 2월 : 목원대학교 정보통신공학과 졸업(공학사)  
 2004년 2월 : 목원대학교 IT 공학과 (공학석사)  
 2003년 3월 ~ 현재 : (주)호림테크 널러지 연구원

<관심분야> : 광 인터넷, 초고속통신망

이현태(Hyeun-Tae Lee)

종신회원



1983년 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)  
 1986년 : 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1997년 : 연세대학교 전자공학과 (공학박사)

1986년 ~ 1997년 : 한국전자통신연구원 선임연구원  
 1997년 ~ 현재 : 목원대학교 정보통신·전파학부 부교수  
 <관심 분야> : 초고속통신망, 광 인터넷, e-Learning콘텐츠, 임베디드 소프트웨어