

다중 파장 환경의 DWDM 망에서 파장 변환 기능에 대한 분석

김용성[†], 이재동[‡], 우종호^{‡‡}

요 약

차세대 인터넷 백본망에서 DWDM 기술은 기존의 TDM 기반 인터넷이 가진 회선 부족 문제를 해결하기 위한 대안으로 등장하였다. DWDM 망에서는 자원의 효율적인 사용과 각기 다른 사용자 요구사항을 충족하기 위해 연결 설정시 RWA 문제와 더불어 파장 변환 기능에 대한 고려가 필수적이다. 본 논문에서는 제한된 범위의 파장 변환 기능 및 선택된 노드의 파장변환기 사용에 대한 효율적인 방안에 대해 기술하고, 성능 실험을 통해 최적의 파장변환기 사용을 검증한다.

키워드 : 파장분할 다중화, 파장 할당, 파장 변환

A Study on Analysis of Wavelength-Conversion Function in DWDM Network of Multiple Wavelength Environment

Yong-Seong Kim[†], Jae-Dong Lee[‡], Chong-Ho Woo^{‡‡}

ABSTRACT

In the next-generation Internet backbone network, DWDM technology was appeared as an alternative to solve circuit shortage of existing TDM-based Internet. In this DWDM Network, it is inevitable to consider wavelength-conversion function as well as RWA in case of setting up connection for the efficient use of resources and customer satisfaction. This study is to describe an efficient strategy for the wavelength-conversion function with a limited range and for the use of a wavelength converter with the selected node, and to verify the optimum use of a wavelength converter through the performance test.

Keywords : DWDM, Wavelength Assignment, Wavelength Conversion

1. 서 론

통신기술과 웹(Web)의 급격한 확산에 따라 인터넷 사용자 수와 다양한 실시간 트래픽이 폭발적으로 증가하게 되었고, 이로 인해 기존 TDM

(Time Division Multiplexing) 기반의 인터넷망은 대역폭 부족문제에 직면하게 되었다. 또한 향후 멀티미디어 서비스와 같은 실시간성 트래픽의 급증이 예상되므로 새로운 설계 개념에 입각한 기술 혁신이 요구되며, 이것을 해결하기 위한 방안이 DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing) 전송 기술을 기반으로 하는 광 인터넷이다. 즉, 스위칭 장치의 고성능화와 전송 체계의

[†]정 회 원: 경남정보대학 IT학부 부교수(교신저자)
[‡]정 회 원: 경남정보대학 IT학부 부교수
^{‡‡}정 회 원: 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 교수
논문접수: 2005년9월30일, 심사완료: 2005년10월20일

광대역화를 위해 광섬유에 보다 많은 광 신호를 실어 보냄으로써 대역폭 부족 문제를 해결할 수 있다[1][2].

이러한 DWDM 망에서는 한 파장 당 수~수십 Gbps의 트래픽이 고속으로 전송되므로 망 대역폭의 효율적인 사용 측면에서 경로 설정 및 파장 할당시 효율적인 RWA(Routing and Wavelength Assignment) 문제[3][4]와 더불어 파장 변환 기능에 대한 고려가 필수적으로 요구된다.

일반적으로 DWDM 망에서 라우팅 알고리즘에 의해 설정된 경로에 파장을 할당할 경우, 노드나 파장 변환 기능을 제공하지 않는다면 경로상의 모든 링크에서 동일한 파장을 사용해야 하는 파장 연속성 제약 조건(Wavelength Continuity Constraint)[5]을 가진다. 그러나 이러한 제약조건은 변조된 데이터들을 입력 파장과 다른 출력 파장으로 전달하는 장비인 파장변환기의 도입으로 제거될 수 있으며[5], 이는 망의 블록킹 성능 및 자원의 효율성을 크게 향상시킨다[6]. 이러한 파장 변환 기능은 광 기술의 발달과 더불어 파이버 내 가용 파장의 증가에 따른 효율적인 자원(파장) 사용 측면에서 중요성이 증가하고 있다.

그러나 파장변환기의 도입은 하드웨어의 설치 비용과 구현의 복잡성을 증가시키는 단점이 있으므로 파장변환기의 이점을 충분히 제공할 수 있도록 설치되어야 한다. 이는 다중 파장이 사용되는 DWDM 망 환경에 파장 변환기의 도입으로 얻을 수 있는 성능 향상에 매우 중요한 문제이므로, 본 논문은 이러한 문제들을 다양한 환경에서 제한적인 파장 변환 기능을 적용 및 분석하여 효율적인 파장 변환 기능에 대해 고찰한다. 즉, 제한적인 파장 변환 기능의 도입으로 얻을 수 있는 성능 향상을 사용하는 라우팅 알고리즘, 파장의 수, 망의 토폴로지 및 크기 등의 많은 요인들에 의해 달라지므로 이러한 환경들에 기반한 제한적인 파장 변환 기능에 대한 분석을 기술한다.

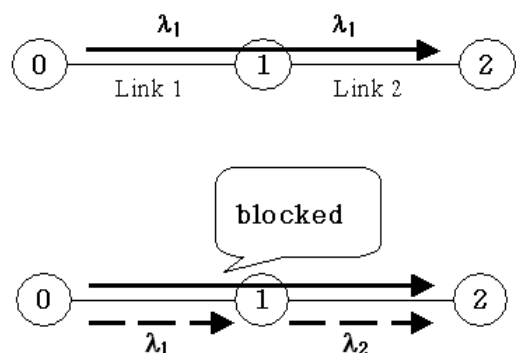
이를 위해, 본 논문에서는 먼저 2장에서 파장 변환 기능의 효율성에 대해 기술하고, 3장에서 모든 노드에 전 범위 파장 변환 기능을 제공하는 비효율성을 개선하기 위해 제한된 범위 및 선택된 노드에 파장 변환 기능을 도입하는 문제에 대해 기술한다. 또한 4장에서 라우팅 알고리즘, 파

이버내 가용 파장의 수, 망의 토폴로지 및 크기 등의 요인들에 대해 실제 시뮬레이션을 통해 성능 분석을 수행하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. DWDM 망에서의 파장변환 기능

현재 DWDM 망에서는 광 전송 기술 및 채널 스페이싱(Channel Spacing) 기술의 발달로 파이버 내에 가용 파장의 수가 기하급수적으로 증가하고 있고, 이러한 환경에서는 경로 설정시 효율적인 자원 활용을 위해서 파장 변환 기능에 대한 고려가 필수적으로 요구되는 실정이다[1][2][8].

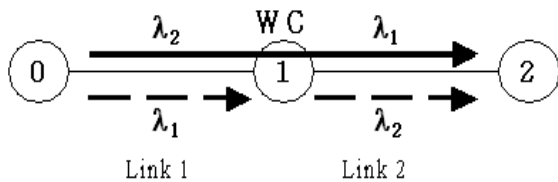
앞서 언급한 것처럼 파장 라우팅 네트워크에서는 특정 광 경로 상의 모든 링크에서 단일 파장을 사용해야 하는 파장 연속성 제약 조건을 가진다. 즉, <그림 1>과 같이 두개의 파장을 가진 두 링크(Link 1, Link 2)에서 노드 0과 노드 2를 연결하는 광 경로를 설립할 경우, 두 링크에서 이용 가능한 파장이 동일한 경우에만 설립 될 수 있다. 만약, 링크 1에는 파장 1이 이용가능 하지만 링크 2에서는 단지 잔여 파장 2만이 이용 가능할 경우, 파장 연속성 제약 조건을 만족하는 파장이 존재하지 않으므로 광 경로 설립은 실패하게 된다.



<그림 1> 파장 연속성 제약 조건(Wavelength continuity constraint)

이러한 파장 연속성 제약 조건을 가지는 상황에서 중간 노드에 변조된 데이터들을 입력 파장과 다른 출력 파장으로 전달하는 파장변환기를 설치하면 그 제약 조건은 제거될 수 있으며, 출

력 링크에 잔여 파장이 존재하기만 하면 광 경로 설정이 가능하다. 예를 들어, <그림 2>와 같이 노드 1이 전 범위 파장 변환 기능을 제공하는 OADM(Optical Add Drop Multiplexor) 혹은 OXC(Optical Cross Connect)라 가정할 때, 링크 1에서는 파장 2를, 링크 2에서는 파장 1을 사용하여 광 경로를 설립 할 수 있다. 이러한 파장변환기를 네트워크 상의 모든 중간 노드에 설치한다면, 전 범위 파장변환기를 가진 망은 기존의 회선 교환 망과 동일한 효과를 가질 수 있으며, 결론적으로 파장 변환기로 인해 연결 요구에 대한 전체적인 망 블록킹 성능을 향상 시킬 수 있다.



<그림 2> 전 범위 파장 변환

그러나 파장변환기의 높은 설치 비용과 파장변환기 경우에 따른 신호 감쇠에 따라 모든 링크에 전 범위 파장 변환 기능을 제공하는 것은 무리가 있으며, 파장 변화 기능을 제공하더라도 제한된 변화 기능에 대한 고려가 필수적으로 요구된다. 이러한 제한적인 파장 변환 기능에 대해서는 선택된 노드에 파장변환기를 설치하는 것과 한정된 범위로 출력 파장을 정하는 두 가지로 방식으로 접근하여 3장에서 다루고자 한다.

3. 제한된 파장 변환 기능

DWDM 망에서 파장 변환기의 사용으로 인한 효율성에 대해서 앞서 2장에서 기술하였다. 그러나 이는 이상적으로 네트워크 상의 모든 노드에 전 범위의 파장 변환이 가능한 파장 변환기의 사용을 가정하였다. 즉, 네트워크 상의 모든 OADM 혹은 OXC에 입력되는 파장에 대하여 사용 가능한 모든 파장으로 변환이 가능하다고 가정하는 것이다.

그러나 비록 전 범위 파장 변환기의 사용으로

망의 블록킹 확률은 감소시킬 수 있지만 파장 변환기의 높은 설치 비용과 기술적인 제약으로 실제로 구현하기란 매우 힘들다[7].

따라서 본 장에서는 모든 노드에 전 범위의 파장 변환이 가능한 파장 변환기가 아닌 제한적인 파장 변환에 대해 두 가지 관점, 즉, 제한된 노드에 효율적으로 파장 변환기를 배치하는 문제와 제한된 범위의 파장을 변환하는 문제에 대해 기술한다.

3.1. 파장변환기의 효율적인 배치문제

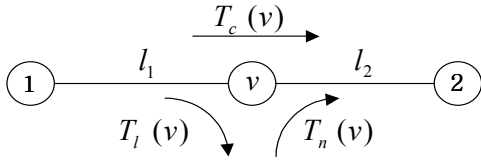
중단간 광전 변환이 없는 전광 망에서 사용되는 파장 변환기는 전광 파장 변환기여야 한다 [9][10]. 그러나 EDFA(Erbium Doped Fiber Amplifier)에서 발생하는 ASE(Amplified Spontaneous Emission) 잡음이나 레이저의 RIN(the Relative Intensity Noise)과 같이 가우시안 과정으로 취급될 수 있는 신호의 랜덤한 파동에 기인한 잡음들, 광 파이버에서의 전송 손실(attenuation)이나 색분산(chromatic dispersion), 그리고 비선형 현상(non-linear effect)으로 인한 펄스 모양의 왜곡, 파장들 간의 간섭으로 인한 누화 등 다양한 불안 요소에 의해 신호의 전력은 감쇠되어 S/N비를 최대 20dB 감소시킨다[11].

더욱이, 각 파장에 대해 분리된 광 스위치를 사용하기 때문에, 만약 M개의 입력과 M개의 출력 파이버가 각각 W개의 파장들을 가지고 있다면, 파장 변환 기능이 없는 경우 W는 M*M 스위치로 분리된다. 그러나 이와는 달리 파장 변환 기능이 있는 경우에는 MW*MW 스위치가 요구된다. 이러한 이유로, 만약 파장변환기가 모든 노드에 사용될 경우, 광 노드의 구현은 매우 복잡하게 되고, 또한 하드웨어 비용도 증가하게 된다. 즉, 모든 노드에서 파장 변환을 수행 할 경우 파장 변환기의 사용 뿐만 아니라 망의 확장성도 제한된다.

따라서 제한적인 파장 변환 기능을 제공하기 위한 방법으로 네트워크 상에 파장변환기들을 많은 링크의 연결로 대량의 트래픽이 발생하게 되어 잠재적으로 혼잡 상황이 발생할 확률이 높은

노드에 배치한다[12][13][14].

본 논문에서는 효율성 측면에서 비용 및 신호 감쇠 문제를 고려한 파장 변환기의 최적 배치 알고리즘인 Total outgoing traffic 방식[15]을 사용한다.



<그림 3> 중간노드에서의 트래픽

<그림 3>은 중간 노드 v 를 경유하는 트래픽으로 분류는 식(1), (2), (3)와 같다. 식(1)은 중간 노드 v 에서 유출되는 트래픽을 나타내며, 중간 노드 v 를 OADM(Optical Add Drop Multiplexor) 혹은 OXC(Optical Cross Connect)라 가정할 때, 사용자에게 유출되는 트래픽($T_l(v)$)을 나타낸다. 식(2)은 사용자 트래픽이 네트워크 상으로 삽입($T_n(v)$)되는 것을 나타내며, 식(3)은 중간 노드에서의 아무런 처리 없이 다음 노드로 전달되는 트래픽($T_c(v)$)을 나타낸다.

$$T_l(v) = \sum_{\{j: l_1 \in r_j, j: l_2 \notin r_j\}} \lambda_j \quad (1)$$

$$T_n(v) = \sum_{\{j: l_1 \notin r_j, j: l_2 \in r_j\}} \lambda_j \quad (2)$$

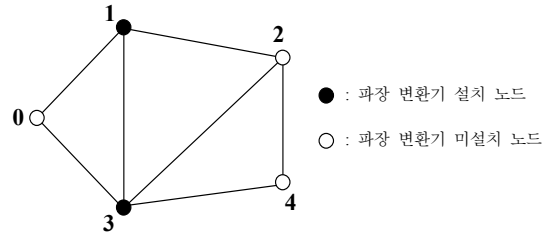
$$T_c(v) = \sum_{\{j: l_1 \in r_j, j: l_2 \in r_j\}} \lambda_j \quad (3)$$

$$T_{total}(v) = T_n(v) + T_c(v) \quad (4)$$

만약 파장 변환기가 N 개로 제한되어 있을 경우, 식(4)의 값이 가장 높은 N 개의 노드에 파장 변환기를 설치한다. 이는 네트워크 내에서 상대적으로 다른 노드들에 비해 다음 노드로 전달되는 트래픽($T_{total}(v)$)이 많은 노드에 파장 변환기를 설치함으로써 네트워크 자원을 보다 효율적으로 사용할 수 있다.

<그림 4>는 5-노드단순 네트워크 모델에 total

outgoing traffic 알고리즘을 적용하여 파장 변환기를 배치한 것으로 만약 파장변환기를 2개의 노드에 배치한다면, 1, 3(or 2) 노드들은 상대적으로 노드에 연결된 링크 수가 많아 식(4)의 값이 클 것으로 예상되는 노드들이다.



<그림 4> 5-노드 네트워크 모델

앞서 언급된 선택된 노드에 대한 파장변환기 배치 문제는 4장에서 시뮬레이션을 통해 라우팅 알고리즘, 파장의 수, 망의 토폴로지 및 크기 등의 다양한 환경에서 성능 실험을 분석 평가하여 최적의 파장 배치에 대한 성능 실험을 수행한다.

3.2. 제한된 범위의 파장변환

일반적으로 파장 변환 기능은 OADM 혹은 OXC에서 공간 스위칭을 통해 수행되며[16][17], 노드에서 파장 변환 기능을 어떻게 공유하는가에 따라 다양한 구조를 가진다. 일반적인 방법으로는 노드 혹은 링크가 파장 변환 기능을 공유하는 방법 혹은 선택된 링크상의 제한된 파장에 파장 변환기가 종속되는 방법 등이 있다.

본 논문에서는 선택된 링크상의 제한된 파장에 파장변환기가 종속되는 방법을 적용하여, 각 노드에서는 제한된 범위의 파장 변환기들이 사용된다. 식(5)는 파장변환기에서 제한된 범위로 파장을 변환할 경우에 파장 변환 범위를 수식으로 표현한 것으로 입력 파장(i)을 기준으로 출력 파장(o)을 $2k$ 영역으로 제한하는 것을 의미한다.

$$\lambda_i \rightarrow \lambda_{\max(i-k, l)} \leq \lambda_o \leq \lambda_{\min(i+k, w)} \quad (5)$$

노드에서의 파장 변환은 입력 파장을 임의의 다른 출력 파장으로 변환할 경우, 신호의 감쇠가 수반된다. 전광 망에서 사용되는 파장 변환의 경우, 파장변환기는 일반적으로 제한된 범위의 파

장 변환만을 지원한다. 흔히 사용되는 FWM(Four Wave Mixing) 파장변환기[11]의 경우, 출력 전력은 출력 파장과 입력파장 사이의 차가 늘어 날수록 더욱더 신호 감쇠가 크다. 따라서 부득이하게 입력 파장에 대해 출력 파장의 범위를 제한하는 것이 불가피하다.

이러한 파장변환기에서는 출력 파장에서의 신호 감쇠는 입력 파장을 기준으로 거의 대칭적으로 나타난다[19]. 즉, 1520nm의 입력 파장에서 1530nm의 출력파장으로의 파장 변환은 1520nm에서 1510nm로 변환하는 것과 거의 비슷한 출력 전력을 가진다. 따라서 변환 범위를 결정할 경우 식(4)에서와 같이 입력 파장을 기준으로 출력 파장 범위를 대칭적으로 결정하는 것이 바람직하다.

식(6)과 식(7)은 파장 변환의 정도를 나타내는 식으로 입력 파장을 제외한 최적의 파장 변환 범위를 결정하기 위해 사용된다.

식(6)은 입력 파장(i)이 전체 파장 범위(t)의 상위 혹은 하위 임계치에 가까워서 양방향으로 파장 변환 범위가 결정되면 변환 범위내의 출력 파장(o)이 전체 파장 범위(t)를 초과한다. 따라서 식(6)은 출력 파장 범위(o)를 상위 혹은 하위 단 방향으로 결정할 경우에 사용된다. 식(7)은 입력 파장(i)이 전체 파장 범위(t)의 중간값에 근사한 값을 가질 경우 양방향으로 파장 변환 범위를 결정하더라도 출력 파장의 범위(o)의 어떠한 출력 파장도 전체 파장 범위(t)를 넘지않을 경우 적용되는 수식이다.

$$C = \frac{100 \lambda_o}{(\lambda_t - 1)} \% \quad , \text{ if 단방향} \quad (6)$$

$$C = \pm \frac{100 \lambda_o}{2(\lambda_t - 1)} \% \quad , \text{ if 양방향} \quad (7)$$

파장 변환 범위를 결정하기 위해 식(6)과 식(7)을 적용하면, 먼저 식(6)에서 링크당 5개의 채널(파장, $t=5$)이 존재하고, 입력 파장에 대해 이용 가능한 출력 파장이 하나일 때($o=2$), 파장 변환의 정도는 $C=50\%$ 이다. 이는 제한된 범위의 파장 변환기가 주어진 입력 파장을 기준으로 총 파장 범위의 $C\%$ 정도의 상위 또는 하위 단방향으로

결정된 범위 만큼 변환할 수 있음을 나타낸다. 또한 식(7)에 의해 파장 범위를 상위 혹은 하위 양방향으로 나누어 각각 25%의 범위로 변환할 수 있음을 나타낸다. 이 때, 전 범위 파장 변환의 경우는 식(6)에 의해 C 값이 100%로 주어지고, 식(7)에서는 50%로나타나며, 파장 변환 기능을 제공하는 않는 경우는 식(6), (7) 모두 C 값이 0%로 주어진다.

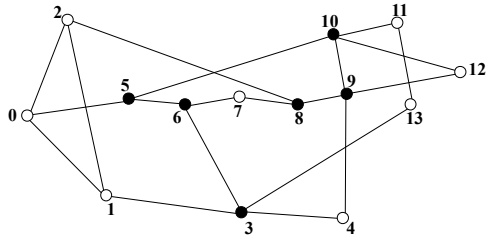
본 논문에서는 파장 변환의 효율적인 범위를 선택하기 위해 4장에서 성능 실험을 수행한다. 실험에서는 각기 다른 파장 변환 범위에 대해 라우팅 알고리즘, 망의 토폴로지 및 크기 등의 다양한 환경에서 성능을 분석 및 평가하여 최적의 파장 변환 범위를 결정한다.

4. 성능 실험

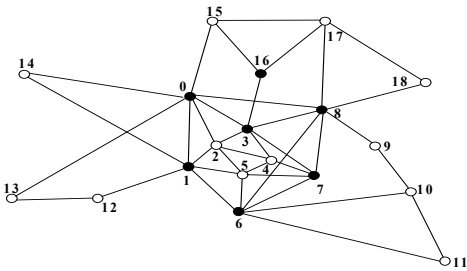
4.1. 시뮬레이션 환경

본 논문에서는 제한된 파장 변환 기능의 효율성 검증을 위해서 블록틀에 대한 성능 실험을 수행하였다. 3장에서 기술된 선택된 노드에 파장변환기를 배치하는 문제를 분석하기 위해서 각기 다른 상황인 라우팅 알고리즘, 토폴로지 및 망의 크기에 따른 다양한 환경에서의 성능 실험을 수행한다. 또한 제한된 범위의 파장 변환 기능을 제공하는 방안에 대한 성능 실험을 수행하기 위해 선택된 노드에 파장변환기를 배치하는 문제에 대한 성능 분석에서와 동일한 상황에서 성능을 비교 분석하였다.

실험에 사용된 망의 토폴로지는 <그림 5(a)>와 같이 현재 미국에서 DWDM 망으로 사용되고, DWDM 망 관련 대부분의 논문에서 망 토폴로지로 사용되는 NSFnet과 <그림 5(b)>에 나타난 유럽의 광 네트워크로 사용되고 있는 EON(European Optical Network)을 채택하였다. 망 내부 구조는 14개 노드(20개 링크)와 19개 노드(37개 링크)로 각각 구성되어 있으며, 링크 당 파이버의 수는 1개, 파장의 수는 파이버 당 8개로 가정하여 성능 실험을 수행하였다.



(a) 14-노드 NSFnet



(b) 19-노드 EON

<그림 5> 네트워크 모델

경로 설정을 요구하는 송, 수신 노드 쌍들은 전체 노드 쌍들 중에서 7쌍을 임의로 선택하였고, 각각의 연결 요구는 순차적으로 입력되어 각 노드 쌍들에 임의로 할당된다고 가정한다. 연결 설정 요구에 대한 블록은 경로를 설정할 수 없는 경우에 발생한다고 간주한다.

4.2. 성능분석 및 비교

<그림 6>은 3장에서 기술된 선택된 노드에 파장 변환기를 설치하는 문제를 NSFnet에서 파이버 내의 가용 파장을 8개로 전 범위로의 파장 변환이 가능하다고 가정하였다. 이러한 환경에서 각기 다른 라우팅 알고리즘을 사용하여 파장 변환기의 효율적인 배치 문제에 대해 성능 실험을 수행하였다.

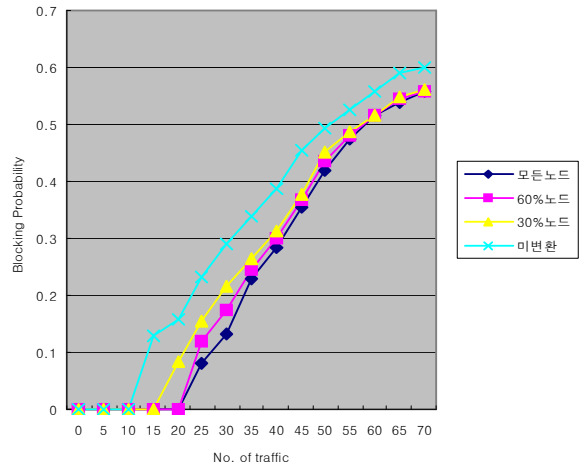
<그림 6(a)>는 고정 라우팅 환경에서 식(4)의 값이 높은 순으로 파장 변환기를 배치하여 성능 실험을 수행하였다. 배치되는 노드의 개수는 각각 100%, 60%, 30% 0%의 각기 다른 상황을 선택하였다.

결과에서 30%의 노드에 파장 변환기를 배치한 경우 100% 노드에 파장 변환기를 배치한 블록률 성능의 80%에 가까운 효율을 가졌고, 반면 60%의 노드에 파장 변환기를 배치했을 경우에는

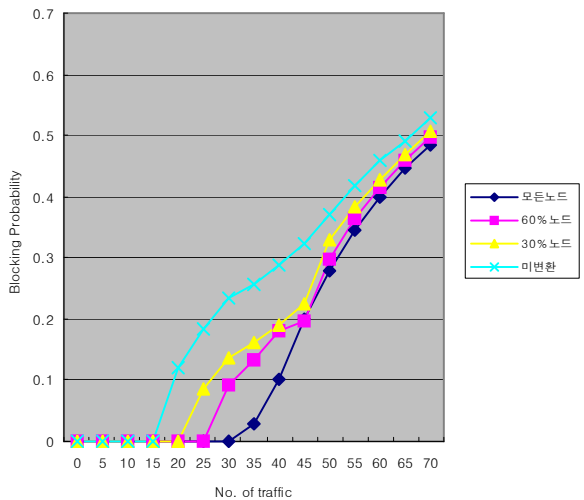
30%의 노드에 파장변환기를 배치한 것과 비교할 때 뚜렷한 성능 변화를 가져오지 못했다.

따라서 파장변환기의 비용이나 효율성을 고려할 때, 30% 정도의 노드에 파장변환기를 배치하는 것이 타당하다고 본다.

<그림 6(b)>에서는 <그림 6(a)>와 유사한 형태의 결과가 나타났으며, 반면 전체적으로 블록률이 낮은 것은 동적 라우팅 알고리즘이 네트워크 상황에 따라 동적으로 경로를 설정하기 때문인 것으로 보여 진다.



(a) 고정 라우팅(Fixed Routing)

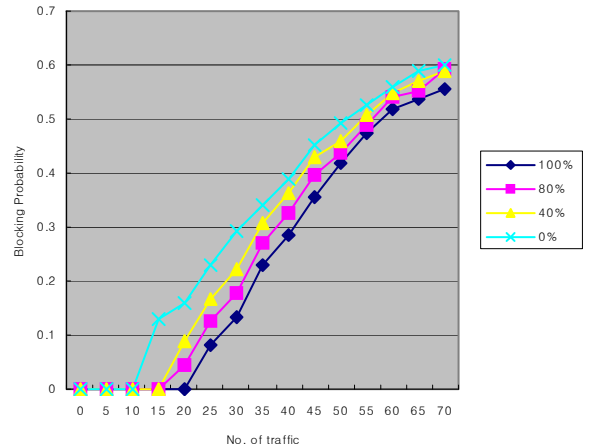
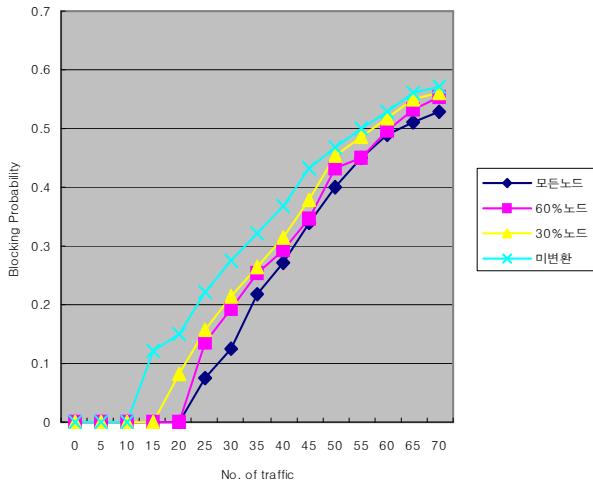


(b) 동적 라우팅(Dynamic Routing)

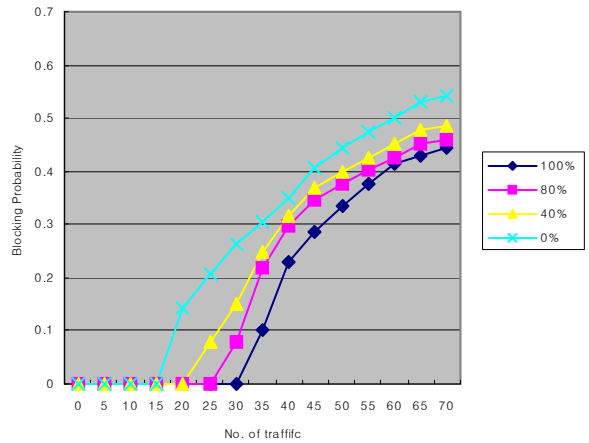
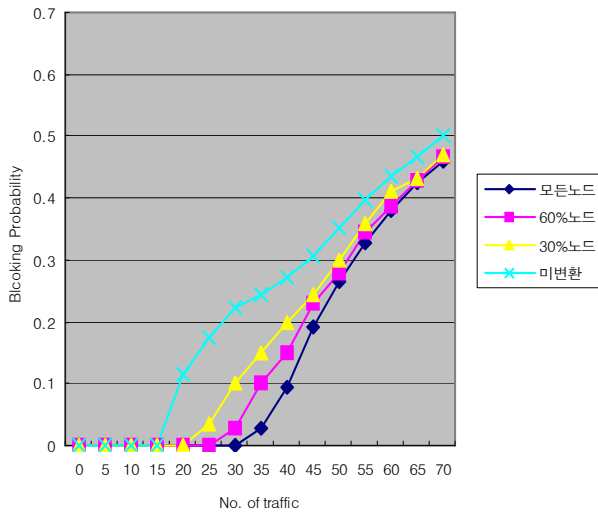
<그림 6> 파장변환기 설치 노드의개수에 따른 블록률의 변화(NSFnet)

또한 각각의 실험에서 트래픽이 증가할수록 블록률은 서로 유사하게 나타나는데, 이는 연결이 설정된 트래픽이 증가함에 따라 네트워크내의 여유 자원이 감소하기 때문에 파장변환기의사용의 효율이 떨어지기 때문이다.

블록률 측면에서 효율적인 것으로 나타났다. 또한, 전체적으로 블록률 성능이 <그림 6>에 비해 낮게 나타나는데, 이는 EON의 네트워크가 NSFnet 보다 크며, 네트워크 내의 링크의 수가 많아 가용 자원이 많기 때문이다.



(a) 고정 라우팅(Fixed Routing)



(b)동적 라우팅(Dynamic Routing)

(b)동적 라우팅(Dynamic Routing)

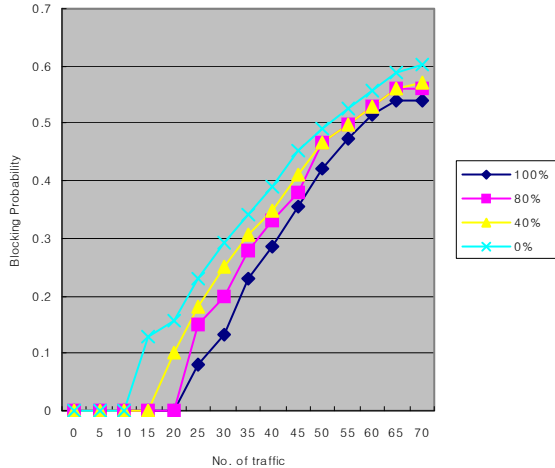
<그림 7> 파장변환기 설치 노드의 개수에 따른 블록률의 변화(EON)

<그림 7>은 <그림 6>과 같은 상황에서 유럽의 광 네트워크로 사용되고 있는 EON 환경에서의 블록률 성능을 나타낸다. <그림 6>과 마찬가지로 30%의 노드에 파장변환기를 배치하는 것이

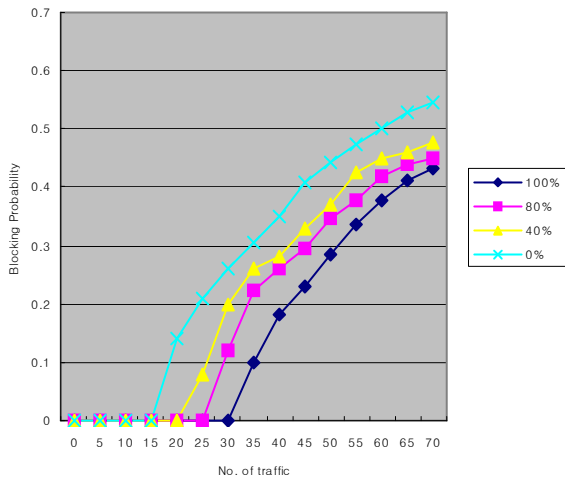
<그림 8> 파장 변환 범위 변화에 따른 블록률 성능(NSFnet)

<그림 8>은 NSFnet을 실험 모델로 사용하여 링크당 파장수를 8개로 가정한 환경에서 전체 파장 변환 범위의 변화에 따른 블록률 성능을 나타낸다. 실험 결과에 따르면 파장 변환 범위의 정도를 나타내는 식(6)과 식(7)의 값이 각각 40%, 20%를 가질 때, 전체 범위로의 변환 즉, 식(6),

식(7)이 각각 100%, 50%의 값을 가지는 파장 변환기를 사용했을 경우에 나타나는 값의 80%에 가까운 블록률 성능을 얻을 수 있다.



(a) 고정 라우팅(Fixed Routing)



(b) 동적 라우팅(Dynamic Routing)

<그림 9> 파장 변환 범위 변화에 따른 블록률 성능(EON)

<그림 9>는 EON을 실험 모델로 사용하여 <그림 8>의 성능 실험과 같은 상황에서 수행된 전체 파장 변환 범위의 변화에 따른 블록률 성능을 나타낸다. 실험 결과에 따르면 파장 변환 범위의 정도를 나타내는 식(6)과 식(7)의 값이 각각 40%, 20%를 가질 때, 전체 범위로의 변환 즉, 식(6), 식(7)이 각각 100%, 50%의 값을 가지는 파

장 변환기를 사용했을 경우에 나타나는 값의 80%에 가까운 블록률 성능을 얻을 수 있다. 이는 <그림 8>의 결과와 유사한 결과로 보여 지며, 단, 블록률은 EON의 많은 네트워크 여유 자원으로 인해 NSFnet에 비해 전체적으로 낮게 나타난다.

5. 결 론

현재 인터넷의 광범위한 보급으로 기존의 텍스트 기반의 TDM(Time Division Multiplexing) 인터넷 망에서 멀티미디어 서비스와 같은 실시간성 트래픽 전송을 보장하는 DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing) 전송 기술을 기반으로 하는 광 인터넷으로 발전하고 있다.

이러한 DWDM 망에서는 대량의 트래픽을 수십 Gbps 정도로 고속 전송되므로 망 대역폭의 효율적인 사용 측면에서 경로 설정 및 파장 할당 시 효율적인 RWA(Routing and Wavelength Assignment) 문제와 더불어 파장 변환 기능에 대한 고려가 필수적으로 요구된다.

일반적으로 DWDM 망에서는 파장 할당시 노드가 파장 변환 기능을 제공하지 않는다면 모든 링크에서 동일한 파장을 사용해야 하는 파장 연속성 제약 조건을 가진다. 하지만 이것은 파장 변환기의 사용으로 제거될 수 있으며, 이로 인해 망 자원을 보다 더 효율적으로 사용하여 네트워크내의 블록을 최소화 할 수 있다. 이러한 파장 변환 기능은 광 기술의 발달과 더불어 파이버네가용 파장의 증가에 따른 파장의 효율적 사용면에서 중요성이 더욱 증가되고 있다.

따라서 본 논문에서는 네트워크내의 자원을 효율적으로 사용하기 위한 방안으로 파장 변환 기능을 도입하여 네트워크의 효율성 개선에 대해 기술하였고, 또한 모든 노드에 전 범위 파장 변환 기능을 제공할 경우의 비효율성을 개선하기 위해 제한된 범위 및 선택된 노드에 파장 변환 기능을 제공하여 효율적인 파장 변환 기능의 적용에 대해 고찰하였다. 또한 다양한 상황에서의 성능 실험을 통해 최적의 파장 사용 범위 및 배치 문제를 검증하였다.

기술된 내용은 향후 DWDM 망의 제어 프로토

콜로 사용될 GMPLS에서 RWA 수행시 더욱 더 효과적으로 자원을 활용할 수 있는 방안으로 적용될 수 있으리라 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] C. A. Bracket, "Dense wavelength division multiplexing networks: Principles and applications", IEEE. J. Select. Areas Commun., vol. 8, no. 6, pp. 948-964, Aug. 1990.
- [2] P. F. Green, "Fiber-Optic Networks", Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1992
- [3] H. Zang et al., " A Review of Routing and Wavelength Assignment Approches for Wavelength-Routed Optical WDM Networks", Optical Networks Magazine, vol. 1, no. 1, pp. 47-60, January 2000.
- [4] Dhritiman Banerjee and Biswanath Mukherjee, "A Practical Approach for Routing and Wavelength Assignment in Large Wavelength-Routed Optical networks", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 14, NO. 5, JUNE 1996
- [5] Kuo-Chun Lee and Victor O. K. Li, "A Wavelength-Convertible Optical Network", Lightwave Technology, Journal of, Page(s): 962, May 1993
- [6] J. Yates, "Performance Analysis of Dynamically-Configurable Wavelength-Division Multiplexed Networks", Ph.D. Thesis, The University of Melbourne, Australia, 1997.
- [7] N. Wauters, W. Van Parys, B. Can Caenegem and P. Demeester, "Reduction of Wavelength Blocking through Partitioning with Wavelength Converters", Optical Fiber Commun. Conf., pp. 122-123, Feb. 1997.
- [8] K. Sato, S. Okamoto and H. Hadama, "Network Performance and Integrity Enhancement with Optical Path Layer Technologies", IEEE JSAC, vol. 12, no. 1, pp. 159Jan. 1994.
- [9] E. Karasan and E. Ayanoglu, "Performance of WDM Transport Networks", IEEE JSAC, vol. 16, no. 17, pp. 1081Sept. 1998.
- [10] B. Ramamurthy and B. Mukherjee, "Wavelength Conversion in WDM Networking", IEEE JSAC, vol. 16, no. 7, pp. 1061Sept. 1998.
- [11] K. Inoue et. Al., "Influence of Stimulated Brillouin scattering on Optimum Length in Fiber Four Wave Mixing Wavelength Conversion", IEEE Photonic Technology Letters, 7:327-329, Mar. 1995
- [12] S. Subramaniam, M. Azizoglu and A. Somani, "All-Optical Networks with Sparse Wavelength Conversion", IEEE Trans. on Networking, vol. 4, no. 4, pp. 544-557, August 1996.
- [13] Suresh Subramaniam, Murat Azizoglu and Arun K. Somani, "On the Optimal Placement of Wavelength Converters in Wavelength-Routed Networks", INFOCOM '98 Seventeenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, Proceedings IEEE, Volume: 2, Page(s): 902 -909 vol.2, 29 March-2 April 1998
- [14] Suresh Subramaniam, Murat Azizoglu and Arun K. Somani, "All-Optical Networks with Sparse Wavelength Conversion", Communications 1999, ICC '99 1999 IEEE International Conference on, Volume: 3, Page(s): 2037-2041 vol.3, 6-10 June 1999
- [15] Amrinder S. Arora and Suresh Subramaniam, "Wavelength Conversion Placement in WDM Mesh Optical Networks", Photonic Network Communications, 4:2, 167-177, 2002
- [16] H. Harai, M. Murata and H. Miyahara, "Performance of Alternate Routing Methods in All-Optical Switching Networks", IEEE INFOCOM, pp. 517-525, April 1997.

- [17] L. Lin, E. Karasan and R. Tkach, "Layered Switch Architecture for High Capacity Optical Transport Networks", IEEE JSAC, vol. 16, no. 17, pp. 1074-1078, Sept. 1998.
- [18] N. Wauters, W. Van Parys, B. Can Caenegem and P. Demeester, "Reduction of Wavelength Blocking through Partitioning with Wavelength Converters", Optical Fiber Commun. Conf., pp. 122-123, Feb. 1997.

- [19] K. R. Venugopal, M. Shivakumar and P. Sreenivasa Kumar, "A Heuristic for Placement of Limited Range Wavelength Converters in All-Optical Networks", INFOCOM '99 Eighteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, Proceedings IEEE, Volume: 2, Page(s): 908 -915 vol.2, 21-25 March 1999.

김 용 성



- 1987 경북대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
1991 경북대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)

1998 부경대학교 정보시스템학과 박사수료
1992~현재 경남정보대학 부교수
관심분야: 프로토콜 엔지니어링, WBI 등
E-Mail: yskim@kit.ac.kr

이 재 동



- 1986 경북대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
1991 경북대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)

2003 부경대학교 정보통신공학과(공학박사)
1998~현재 경남정보대학 부교수
관심분야: 프로토콜엔지니어링, DWDM, WBI 등
E-Mail: jdlee@kit.ac.kr

우 종 호



- 1978 경북대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
1981 경북대학교 전산공학전공 (공학석사)

1990 경북대학교 전자공학과 전산공학전공 (공학박사)
1981~현재 부경대학교 전자컴퓨터정보통신 공학부 교수
1987~1988 미국 뉴욕, RPI CS, Visiting professor
2001~2002 미국 루이지애나, LSU at Baton Rouge ECE, Visiting professor
관심분야: Embedded System, Network Evaluation, e-Learning System, VLSI Array Design, WBI, 프로토콜엔지니어링 등
E-Mail: chwoo@pknu.ac.kr