

공유제한 파장변환기를 갖는 WDM 광전달망 설계

정회원 신용식*, 이승민**, 박구현*

Design of WDM Optical Transport Networks with Share Limited Wavelength Converter

Yong-Sik Shin*, Seung-Minl Lee**, Koo-hyun Park* *Regular Members*

요약

본 논문은 multiwavelength optical networks 설계와 관련하여 2가지 문제에 대한 효율적 방법을 소개한다. 첫째, 망의 일부 노드에만 파장변환기를 설치한다고 할 때 파장변환기 설치노드 결정을 위한 효율적인 방법을 제안한다. 둘째, 모든 연결수요를 만족시키기 위해 각 링크별로 요구되는 광섬유 수를 결정하는 방법을 제안한다. 두 번째 방법은 파장변환기가 일부 노드에 설치된 경우에 대해서도 적용된다. 제안하는 두 방법은 일반적인 토폴로지를 갖는 망의 새로운 광경로 scheme에 기초한다. partial wavelength path(PWP) scheme이라고 새로이 정의한 광경로 scheme은 공유제한 변환기가 일부 노드에 설치되는 것이다. 공유제한 변환기는 제한된 수의 광경로가 파장변환 기능을 공유하는 구조를 갖는다. 정적(static)인 경로설정과 파장할당을 가정한다.

ABSTRACT

This paper introduces two efficient methods for the design of multiwavelength optical networks. First, we suggest a wavelength converter location method if they are located at some nodes. Second, we suggest a decision method about how many optical fibers must be required at each link to satisfy all connection demands. The second method is also for the network with wavelength converters at some nodes. These two methods are based on a new optical path scheme in the network of arbitrary topology. In the new optical path scheme, called partial wavelength path(PWP) scheme, limited channel converters are located at not all but some nodes. Limited channel converter allows limited number of optical paths to share wavelength conversion. Static routing and wavelength assignment is assumed.

I. 서론

WDM(Wavelength Division Multiplexing)은 장래 전광통신망에서 정보전송에 대한 가능성 있는 기술로 인정되고 있다. 본 연구의 multiwavelength optical network이란 WDM에 기초하는 wide area transport network이다. WDM에 의하면 양종단간의 연결수요를 만족시키는 망을 설계할 때 파장을 재사용을 할 수 있는 장점이 있다. 망 설계는 정적(static)인 경로설정 및 파장할당에 기초한다. 정적인 경로설정 및 파장할당이란 일정기간동안 end-to-end

요구 연결수에 대해 회선교환에 의해 연결되는 광경로에 파장을 할당하는 것을 뜻한다. 이 때 각 광경로에 할당되는 파장은 링크별로 각기 구별되어야 하며, 같은 파장이 할당될 경우 파장충돌이 되었다고 말한다.

Wide area transport network을 위한 정적인 경로설정 및 파장할당 문제는 NP-complete이며 효율적인 발견적 방법들이 많이 제안되었다^[1,2,3,4,5]. 정적인 경로설정 및 파장할당에서는 주어진 연결수요를 만족시키기 위한 최소 파장수 및 최소 망용량, 사용 파장수 및 망용량이 주어질 때 최대 가능 연결수

* 홍익대학교 산업공학과(khpark@wow.hongik.ac.kr)
논문번호: 98310-0721, 접수일자: 1998년 7월 21일

** 롯데알미늄주식회사 기획실

등을 척도로 방법의 성능을 평가할 수 있다. 정적인 경로설정 및 파장할당과 비교하여 동적(dynamic)인 경로설정 및 파장할당이 있다. 이는 호별로 단대단을 연결하는 경로를 설정하고 파장을 할당한다. 호의 설립을 요구할 때 이미 연결되어 있는 광경로는 유지시켜야 한다. 동적인 경로설정 및 파장할당 방법을 평가하는 가장 일반적인 척도는 호거절확률(call blocking probability)이다^[6,7].

파장변환기를 이용하면 파장 재사용의 효과를 향상시킬 수 있다. 파장변환기를 한 노드에 설치하면 설치된 노드를 경계로 그 노드를 경유하는 광경로에 할당되는 파장을 변경시킬 수 있다. 일반적으로 고려되는 광경로 설정 scheme에는 wavelength path(WP) scheme과 virtual wavelength path(VWP) scheme이 있다^[3,5,8]. WP scheme은 파장변환이 전혀 허용되지 않는 경우로 각각의 광경로에는 하나의 파장만 할당된다. 반면 VWP scheme은 모든 노드에 파장변환이 허용되어 하나의 광경로에 링크별로 서로 다른 파장이 할당될 수 있다. 그림 1의 (a)는 WP scheme을 나타내고 그림 1의 (b)는 VWP scheme을 나타낸다.

파장변환기의 비용 효과는 적다고 알려져 있다^[1,3,9]. 파장변환기를 사용할지라도 파장수에 대한 제약을 획기적으로 완화시키지는 못하며 정적인 경로설정 및 파장할당에서의 효과는 동적인 경우에 비해 더욱 적고 동적인 경로설정 및 파장할당에서는 특히 랜덤 라우팅의 경우 그 효과가 적다. 그러나 라우팅의 용이성, 수요 증가에 대한 대비, 망의 생존도를 고려한 계층구조 등을 위해서는 파장 변환기를 필요로 한다^[5,10,11]. 이러한 파장 변환기의 사용효과에 대한 논란은 여전히 진행되고 있는 상황이다.

제한적인 파장변환에 대한 연구가 있다^[7,8,12,13]. 제한된 수의 광경로에 대해 파장변환을 공유케하는 공유 제한 변환기를 모든 노드에 설치하는 경우의 연구^[7]와 모든 광경로에 대해 파장변환이 가능한 완전공유 파장변환기를 일부노드에만 설치하는 경우의 연구^[12]가 동적인 경로설정 및 파장할당에 대해 행해졌다. 또한 링 및 성형망과 같은 일반적(regular) 망에 대해 제한된 변환기능을 갖는 경우의 정적인 경로설정 및 파장할당 연구가 최근 행해졌다^[8]. 본 연구는 일반적인 토폴로지의 망에서 제한된 변환기능을 갖는 경우의 정적인 경로설정 및 파장할당 연구에 해당한다. 본 연구에서 고려하는 파장변환기는 공유 제한 변환기로서 이를 일부 노드에만 설치하는

scheme이다. 이러한 광경로 scheme을 본 연구에서는 partial wavelength path(PWP) scheme이라고 한다. 그림 1의 (c)는 1-채널 공유제한변환기를 갖는 PWP scheme을 표현한다. PWP scheme에서는 단일 파장 광경로와 다중파장 광경로가 모두 가능하며 파장변환기가 설치된 노드라 해도 제한된 수의 광경로만 파장변환이 가능하다.

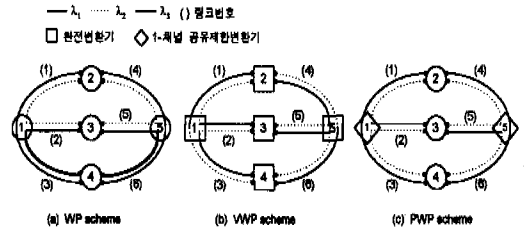


그림 1. 광경로 schemes

본 논문의 고려 대상이 되며 제한된 수의 파장수에 대해서만 파장변환이 가능한 공유제한 파장변환기의 구조는 그림 2와 같다.

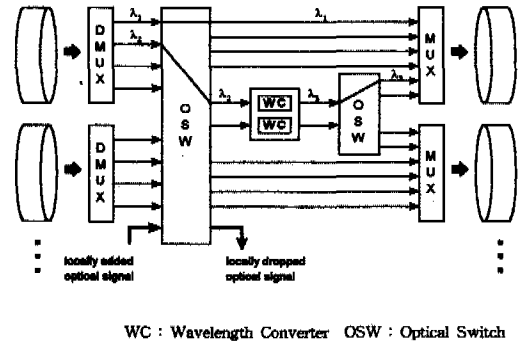


그림 2. 공유제한 파장변환기의 구조

본 논문은 공유제한변환 기능이 일부 노드에만 허용되는 PWP scheme하에서 파장변환기 설치노드 결정 및 광섬유 디맨저닝 알고리즘을 제시한다. 먼저 PWP scheme에서 최소의 파장수로 연결수요를 만족시키기 위한 효율적인 경로설정 및 파장할당 알고리즘을 제시한다. 이를 바탕으로 주어진 개수의 공유 제한 변환기 설치노드를 결정하는 알고리즘을 제시한다. 일부 노드에 공유제한변환기를 설치하는 PWP scheme이 모든 노드에 완전변환기를 설치하는 VWP scheme과 동일한 효과를 갖게 됨을 보인다. 만일 사용파장수와 파장변환기 수가 제한되면 요구되는 수요를 만족시키기 위해 링크의 광섬유 수를 증가시켜야 한다. 본 논문에서는 추가되는 광섬유 수를 최소로 하기 위한 광섬유 디맨저닝 알고

리즘도 제시한다. 제시하는 알고리즘들은 일반적인 토폴로지의 망을 전제로한 것이다.

II 절에서는 광경로 설정 알고리즘과 PWP scheme에서 광경로에 최소의 수로 파장을 할당하는 최소 파장할당 알고리즘을 제시한다. III 절에서는 공유 제한 변환기 설치 노드를 결정하기 위한 알고리즘 및 적용예를 보인다. IV 절에서는 사용파장수와 파장변환기 수가 주어졌을 때 수요를 만족시키기 위한 광섬유 디멘저닝 알고리즘 및 적용예를 보인다. 마지막으로 V 절은 결론이다.

II. PWP Scheme에서의 광경로 루팅 및 파장할당

Multiwavelength optical networks에서는 주어진 연결수요를 만족하는 광경로를 설정하고 여기에 파장 충돌 없이 파장을 할당한다. 본 절에서는 PWP scheme에 있어서 최소의 파장수를 이용하는 방법을 제안한다. 경로설정 및 파장할당 문제는 NP-complete이기 때문에 근사해를 찾아주는 효율적인 발견적 해법을 제안한다^[2]. 이를 위해 광경로 설정 (optical path routing) 알고리즘과 최소 파장할당 (minimum wavelength assignment) 알고리즘을 소개한다. 두 알고리즘은 PWP scheme하에서 파장변환기 설치노드 결정 및 광섬유 디멘저닝을 위한 기본적인 하부 알고리즘으로 이용된다.

1. 광경로 설정 방법

광경로 설정 알고리즘은 주어진 망 토폴로지에서 노드쌍간의 연결수요에 대한 연결비율을 공정하게 증가시키면서 최대 링크부하를 최소화하도록 광경로를 설정하는 알고리즘이다^[14]. r_i 를 i 번째 노드쌍에 대한 연결량, d_i 는 i 번째 노드쌍에 대한 연결수요라 할 때, i 번째 노드쌍의 연결비율은 $\frac{r_i}{d_i}$ 이다. 노드별 연결비율중 가장 작은 값을 ρ 라 하고 광경로 설정 알고리즘은 최소 연결비율 ρ 가 1 이상이면 멈춘다.

광경로 설정 알고리즘은 주어진 망용량 하에서 연결수요를 만족시켜주기 위한 최소 요구 채널수 (minimum number of required channels : MNC)를 제안하며 MNC의 정의는 다음과 같다.

MNC =

$$\max \left\{ \left\lceil \frac{i\text{번째 링크를 지나는 광경로 수}}{i\text{번째 링크의 광섬유 수}} \right\rceil \mid \forall i \in E \right\} \quad (1)$$

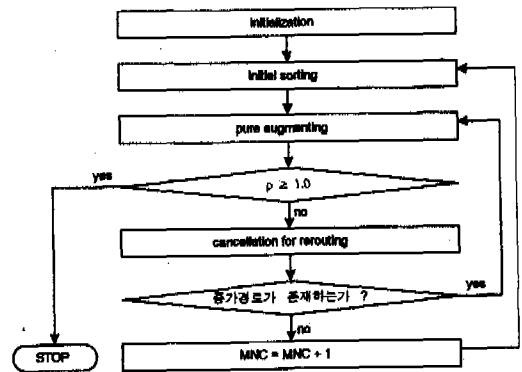
여기서 $\lceil x \rceil$ 는 x 보다 작지 않은 최소의 정수이며 E 는 링크집합이다. 광경로 설정 알고리즘의 단계는 다음과 같고 흐름은 그림 3과 같다.

[initialization step] : MNC를 1 또는 적당한 초기값으로 놓는다.

[initial sorting step] : 노드쌍의 연결비율에 대해 오름차순으로 정렬하고 가장 작은 연결비율을 갖는 노드쌍을 선택한다.

[pure augmenting step] : 선택된 노드쌍에 대해 연결비율을 증가시킬 수 있는 증가경로들을 발견하고 노드쌍별 우선순위를 연결비율의 오름차순으로 재정렬한다. 선택된 노드쌍에 대해 증가경로가 존재하지 않으면 다음 우선순위의 노드쌍을 선택하여 연결비율을 증가시킨다. 이 과정을 마지막 노드쌍까지 반복한다.

[cancellation for rerouting step] : 마지막 우선순위의 노드쌍에 대해서도 증가경로를 발견하지 못하면 최소 연결비율을 갖는 노드쌍을 제외한 모든 노드쌍에 대해 연결비율을 ρ 이상 유지하면서 가능한 모든 연결량을 취소하고 pure augmenting step으로 간다.



MNC = 최소 요구 채널수

그림 3. 광경로 설정 알고리즘의 흐름도

2. 최적 파장 할당 방법

노드쌍에 대한 광경로가 주어지면 최소 파장할당 알고리즘은 PWP scheme 하에서 최소의 파장수로 광경로에 파장을 할당한다. 최소 파장할당 알고리즘은 초기에 광경로를 길이가 긴것부터 내림차순으로 정렬하고, 정렬된 광경로에 낮은 번호의 파장부터 차례로 할당한다. 할당된 파장의 개수가 MNC보다 크면 사용파장수를 줄여주기 위한 단계를 수행한다.

최소 파장할당 알고리즘의 각 단계는 다음과 같으며 흐름은 그림 4와 같다. 여기서 MNC는 최소 요구 채널수이고, K는 일정 반복수이다.

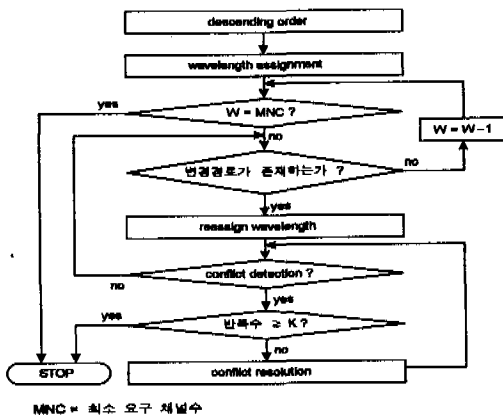
[descending order step] : 광경로를 hop수가 많은 순으로, 링크는 부하가 큰 순으로 정렬한다.

[wavelength assignment step] : 첫 번째 경로부터 차례로 가능한 작은 번호의 파장을 할당한다. W를 할당된 최대 파장번호라고 할 때 W와 MNC가 같으면 알고리즘을 종료한다.

[reassign wavelength step] : 파장번호 W가 할당된 경로를 변경경로라 하고 그 경로 중 최대부하 링크를 선택하여 그 링크에 W보다 작은 사용하지 않는 파장으로 변경해 준다. 이 파장을 변경파장이라 하자. ($W > MNC$ 이므로 변경파장은 반드시 한 개 이상 존재한다.)

[conflict detection step] : 변경경로의 파장변환으로 인해 파장충돌이 발생한 링크를 선택한다. 이를 충돌링크라 하자. 충돌링크가 없으면 다음 변경경로를 찾는다. 충돌링크가 존재하면 파장충돌은 변경파장에 의해 발생한 것이다. 변경경로 외에 충돌링크를 경유하는 경로 중 변경파장을 갖는 경로를 찾는다. 그 경로를 충돌경로라 하자.

[conflict resolution step] : 충돌경로에 충돌링크에서 사용하지 않는 W보다 작은 파장을 할당한다. conflict detection step으로 간다.



MNC = 최소 요구 채널수

그림 4. 최소 파장할당 알고리즘의 흐름도

최소 파장할당 알고리즘의 간단한 적용예를 보인다. 그림 5와 같은 5개의 광경로를 고려한다. 여기서 각 링크당 광섬유 수는 모두 1로 가정한다.

() 링크번호

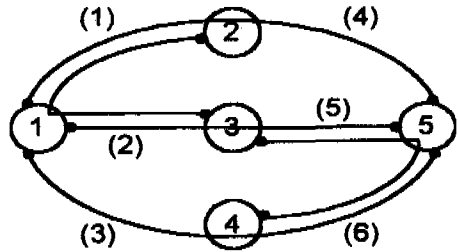


그림 5. 최소 파장할당 알고리즘 적용을 위한 광경로

최소 파장할당 알고리즘에서 descending order step을 수행한 후 wavelength assignment step을 수행한다. 두 단계가 수행된 후 각 경로별 파장할당 결과는 그림 6에서 평서체로 표현하였다. MNC는 2이고 현재의 할당 파장수 W는 3이다. 따라서 파장 3이 할당된 4번 경로(변경경로)를 찾아 reassign wavelength step을 수행하여 파장 3을 파장 1(변경 파장)로 변경한다. 그러면 conflict detection step에 의해 링크 5(충돌링크)의 충돌경로로 3번 경로를 찾는다. conflict resolution step에 의해 3번 경로의 파장을 파장 1에서 파장 2로 변경한다. 다시 conflict detection step과 conflict resolution step에 의해 5번 경로에서의 파장충돌을 해결하면 W와 MNC는 2로 같게 되어 알고리즘을 종료한다. 그림 6에서 굵은 글씨로 표현된 것은 파장할당 변경과정에 대한 수행 결과를 나타낸다. 그림 7은 최소 파장할당 알고리즘에 의한 파장할당 결과이다. 최소 파장할당 알고리즘은 PWP scheme을 위해 개발됐지만 여기서는 WP scheme에 대한 간단한 예를 보였다. PWP scheme에 대한 상세한 적용은 [15]을 참조할 수 있다.

경로 \ 링크	1	2	5	6	3	4
1	1-2-5	1				1
2	2-1-3	2	2			
3	3-5-4 ②		1→2	1→2		
4	1-3-5 ①	3→1	3→1			
5	1-4-5 ③			2→1	2→1	

(①, ②, ③)은 reassign wavelength 수행 순서이다.)

그림 6. 최소 파장할당 알고리즘 수행 결과

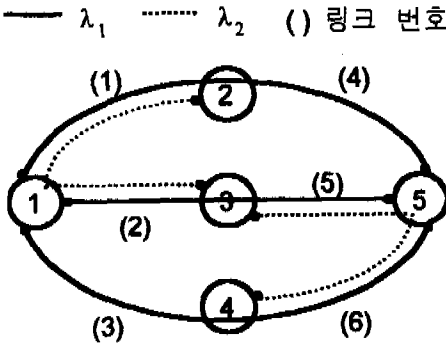


그림 7. 알고리즘에 의한 파장할당 결과

III. PWP scheme에서의 파장변환기 설치 결정

본 절에서는 일부 노드에서만 파장변환 기능이 허용되는 PWP scheme 하에서 연결수요를 만족시키는 최소의 파장변환기 설치 개수 및 설치 노드를 선정하기 위한 알고리즘을 제시한다. 파장변환기는 모든 광채널에 대해서가 아니라 제한된 수의 광채널에 대해서만 파장변환이 가능한 공유 제한 변환기라고 가정한다. 이와 같은 파장변환노드의 구조에 대해서는 Lee and Li [7]의 연구를 참조할 수 있다.

1. 파장변환기 설치노드 결정 방법

파장변환기 설치(wavelength converter location) 알고리즘은 최소 파장할당 알고리즘의 결과를 이용한다. 최소 파장할당 알고리즘의 결과 사용파장수 W 가 MNC 와 같으면 파장변환이 필요 없고 알고리즘은 종료한다. 반대로 W 가 MNC 보다 큰 경우 파장변환기를 일부 노드에 설치함으로써 사용파장수 W 를 MNC 까지 줄여줄 수 있다. 파장변환기 설치 알고리즘은 path window라는 자료구조를 유지한다. path window는 최소 파장할당 알고리즘을 수행할 때 파장을 변경하는 단계에서 고려했던 경로들을 유지하며 크기는 그때의 최소파장수 W 이다. 그림 6의 경우 path window 내에는 3, 4, 5번 경로가 포함된다. 그림 8은 알고리즘의 흐름을 나타내며 주요 단계는 다음과 같다.

[count paths step] : 노드별로 path window의 경로들이 경유한 회수를 계산한다.

[locate wavelength converter step] : path window 내의 경로들이 가장 많이 경유하는 노드를 선택하여 파장변환기를 설치한다.

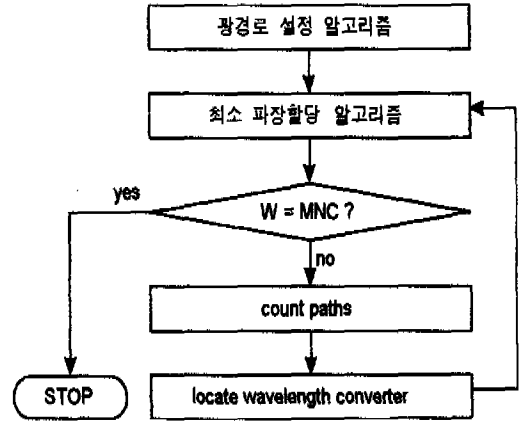


그림 8. 파장변환기 설치 알고리즘의 흐름도

파장변환기 설치 알고리즘을 이용하여 그림 1 (c)와 같이 1-채널 공유제한변환기가 설치되는 과정을 설명한다. 초기에 최소 파장할당 알고리즘을 수행한 결과는 그림 1 (a)와 같다. 이때 W 는 3이고 MNC 보다 크므로 count paths step을 수행한다. 이때 path window에는 2-1-4, 2-1-3, 3-1-4의 경로가 있다. locate wavelength converter step에 의해 path window내의 경로들이 가장 많이 경유하는 노드 1에 파장변환기를 설치한다. 다시 새로운 조건하에서 최소 파장할당 알고리즘을 적용하면 W 는 여전히 3으로 MNC 보다 크다. 이때의 path window에는 2-5-4, 2-5-3, 3-5-4의 경로가 있다. 다시 count paths step 및 locate wavelength converter step에 의해 노드 5에 파장변환기를 설치한다. 이제 최소 파장할당 알고리즘을 다시 적용하면 W 는 2가 되고 MNC 와 같기 때문에 알고리즘이 종료된다. 결과는 그림 1의 (c)와 같다.

2. 파장변환기 설치노드 결정 적용예

여기에서는 그림 9의 3×3 grid network과 EON(European Optical Network)[11]에 파장변환기 설치 알고리즘을 적용한다. 네트워크상의 각 링크는 양방향이고, 하나 또는 여러개의 광섬유를 갖는다. 알고리즘에서 고려되는 광경로도 양방향 채널을 의미한다. 3×3 grid network에 대해 최단경로가 3 hops 이상인 모든 노드쌍(10개)을 고려하였으며, 각 노드쌍의 연결수요는 모두 동일하다고 가정한다. 10개 노드쌍의 트래픽이 2, 4, 6, 8, 10인 경우에 대해 파장변환기 설치 알고리즘을 적용하였다. EON의 노드쌍별 연결수요는 [11]의 예를 축소 수정한 것으로 표 1과 같다. 표에서 ‘-’는 연결수요가 없음

을 나타낸다. 표 1의 노드쌍별 연결수요를 기본(base)으로 하여 동일한 노드쌍에 대해 연결수요가 2배, 4배, 6배가 되는 경우에 대해서 알고리즘을 적용하였다. 노드에 설치되는 파장변환기는 공유제한 채널수에 따라 8-채널 변환기, 16-채널 변환기로 표현하며 3×3 grid network에 대해서는 8-채널 변환기를 고려하였고, EON에 대해서는 16-채널 변환기를 고려하였다.

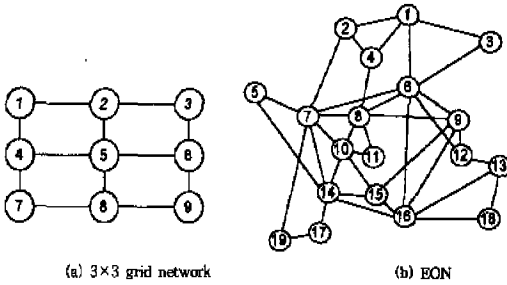


그림 9. 알고리즘의 적용 망

표 1. EON의 각 노드쌍별 연결수요

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	City
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Stockholm
2	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Celo
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Moscow
4	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Copenhagen
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Dublin
6	-	-	-	-	-	5	8	2	6	2	9	2	-	-	9	4	2	-	-	Berlin
7	-	-	-	-	-	5	4	-	2	-	10	3	8	2	-	-	-	-	-	London
8	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	5	3	2	2	-	-	-	-	-	Amsterdam
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Prague
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	4	2	-	-	-	-	Brussels
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Luxembourg
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	3	3	-	-	-	-	-	Vienna
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Zagreb
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	5	4	-	-	-	Paris
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	2	-	-	-	-	Zurich
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	2	-	-	Rome
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	2	-	Madrid
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Athens
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Lisbon

그림 10과 그림 11은 각각 3×3 grid network과 EON에 대한 파장변환기 설치 알고리즘 적용 결과를 나타낸다. 두 그림은 주어진 연결수요에 대해 파장변환기를 많이 설치할수록 사용파장수가 줄어드는 것을 보여준다. 점선으로 표현된 값은 최소요구 채널수(MNC)로서 PWP scheme 하에서 사용파장수의 하한값이 된다. 그림에 나타난 바와 같이 일부 노드에 공유제한변환기를 설치해두면 사용파장수가 VWP scheme의 MNC값으로 수렴함을 알 수 있다.

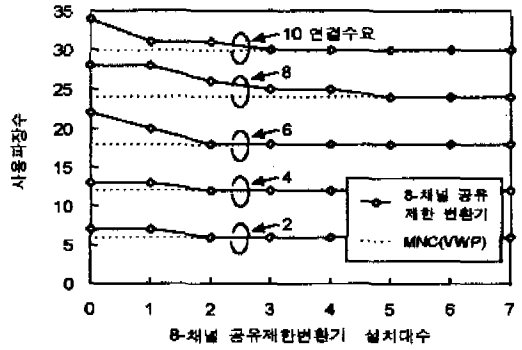


그림 10. 3×3 grid network에 대한 사용파장수

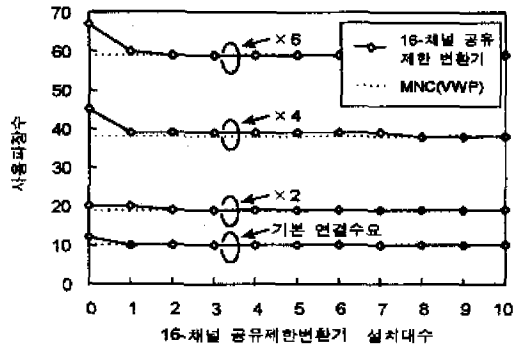


그림 11. EON에 대한 사용파장수

IV. 광섬유 링크 디멘저닝

본 절에서는 PWP scheme 하에서 광섬유 디멘저닝(Optical fiber dimensioning) 알고리즘을 제시한다. 최근에 Multiwavelength optical network에서의 디멘저닝과 관련된 연구가 발표되고 있다[3,16]. 이들 연구는 VWP scheme 하에서 주어진 연결수요를 만족하면서 all-optical cross-connect내의 port수 및 filter수를 최소화시켜준다. 특히 Limal et al.은 파장변환 component수와 총 광섬유 길이의 상관관계에 대해 연구하였다[3].

광섬유 디멘저닝은 사용 가능한 파장수와 공유제한 변환기 수가 주어진 PWP scheme 하에서 모든 연결수요를 만족시키기 위한 링크별 최소 광섬유수를 결정해준다. 제시하는 광섬유 디멘저닝 알고리즘을 파장변환기 수 및 파장변환기의 공유 채널수의 다양한 조합에 대해 반복 적용하면 노드에서의 파장변환기 디멘저닝도 가능하다.

1. 광섬유 링크 디멘저닝 방법

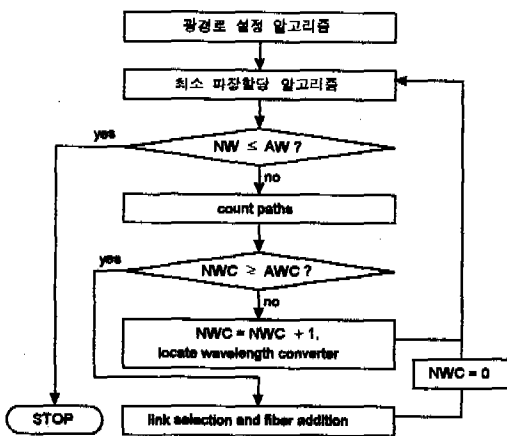
사용 가능한 파장수와 공유제한변환기 수가 주어진다고 가정한다. 광섬유 디멘저닝 알고리즘은 광경로

설정 알고리즘에 의해 결정된 광경로를 이용하여 시작한다. 다음으로 최소 파장할당 알고리즘과 파장변환기 설치 알고리즘을 이용하여 주어진 수의 공유제한변환기가 설치될 노드를 결정한다. 만일 주어진 파장수로 연결수요의 모든 경로에 파장할당이 가능하면 알고리즘을 종료한다. 그렇지 않으면 link selection and fiber addition step에 의해 링크에 광섬유를 추가하고 알고리즘을 반복 적용한다. 광섬유 디멘저닝 알고리즘은 PWP scheme에서 적용가능하다. 알고리즘의 주요 단계는 다음과 같고 흐름은 그림 12와 같다. 그림 12에서 NW는 현재 할당된 파장수이며 NWC는 현재 사용된 공유제한변환기의 수이다.

[count path step] : 노드별로 path window의 경로들이 경유한 회수를 계산한다. 파장변환기 설치 알고리즘의 해당부분과 동일하다.

[locate wavelength converter step] : path window 내의 경로들이 가장 많이 경유하는 노드를 선택하여 파장변환기를 설치한다. 파장변환기 설치 알고리즘의 해당부분과 동일하다.

[link selection and fiber addition step] : path window내의 경로들이 가장 많이 경유하는 노드의 인접링크중 최대부하 링크를 선택하고 이 링크에 광섬유 하나를 추가한다.



AW : 사용 가능 파장수
AWC : 사용 가능 파장변환기 수

그림 12. 광섬유 디멘저닝 알고리즘의 흐름도

그림 1의 (a)에 대해 알고리즘을 적용하면 다음과

같다. 사용 가능한 파장수 AW가 2이고 파장변환이 허용되지 않는 경우, 즉 AWC는 0이라고 가정한다. 최소 파장할당 알고리즘 수행결과 NW가 3으로 사용 가능한 파장수 이상이다. 따라서 알고리즘은 count paths step을 수행하고 노드 1이 선택된다. 파장변환기를 사용할 수 없는 경우이므로 link selection and fiber addition step에 의해 노드 1에 대한 인접링크들(링크 1, 링크 2, 링크 3)의 부하를 계산한다. 이 경우 모든 인접링크의 부하는 동일하게 2이므로 임의로 링크 1을 선택하여 광섬유 1쌍을 추가한다. 다시 최소 파장할당 알고리즘을 수행하면 여전히 NW가 3이므로 동일한 과정을 통하여 노드 5를 선택하고 노드 5에 대한 인접링크(링크 4, 링크 5, 링크 6)중 임의로 링크 4를 선택하여 광섬유 1쌍을 추가한다. 다시 최소 파장할당 알고리즘이 수행되면 NW가 사용 가능 파장수 AW와 동일하게 2가 되고 알고리즘이 종료된다. 따라서 링크 1과 링크 4의 광섬유수는 2개로 결정되고 나머지 링크는 모두 1개의 광섬유로 결정되어 그림 13과 같다.

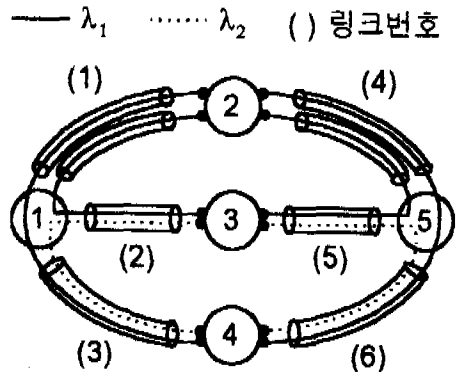


그림 13. 광섬유 디멘저닝 알고리즘의 적용결과

2. 광섬유 링크 디멘저닝 방법 적용에

광섬유 디멘저닝 알고리즘을 그림 9의 3x3 grid network과 EON에 적용하였다. 노드쌍 및 연결수요는 파장변환기 설치 알고리즘에서 적용했던 경우와 동일하게 하였다. 사용 가능한 파장수는 3x3 grid network과 EON 각각에 대해 6개와 10개로 하였으며 파장변환기는 3x3 grid network에 대해서는 8-채널 공유제한변환기를, EON에 대해서는 16-채널 공유제한변환기를 사용하였다. 광섬유 디멘저닝 알고리즘에 대한 적용결과는 그림 14와 그림 15이다. 그림 14 및 그림 15는 각 연결수요에 대해서 총 광섬유수를 나타내고 있지만 실제 광섬유 디멘저닝

알고리즘은 링크별로 광섬유 수를 제공해준다.

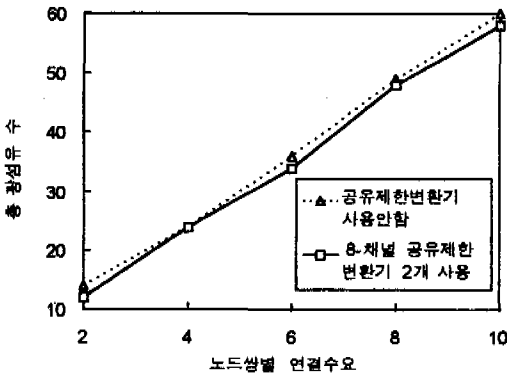


그림 14. 3x3 grid network에 대한 총 광섬유 수

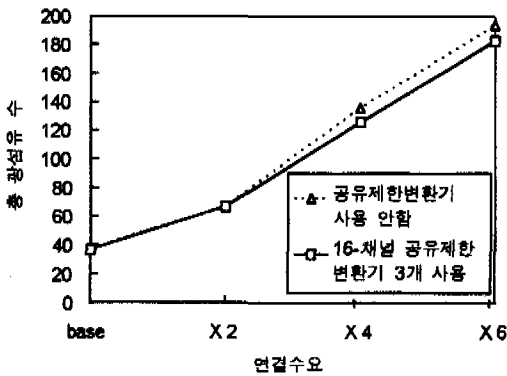


그림 15. EON에 대한 총 광섬유 수

V. 결론

본 논문은 공유제한 변환기능을 갖는 광전달망의 설계를 위해 2가지 문제에 대한 효율적인 방법을 소개하였다. 첫째 망의 일부 노드에만 파장변환기를 설치한다고 할 때 효율적인 노드 선정방법을 제안하였고, 둘째 사용가능 파장수와 설치할 파장변환기 수가 주어졌을 때 모든 연결수요를 만족시키기 위한 링크별 광섬유수의 결정 방법을 제안하였다. 두 번째 방법 또한 일부 노드에 파장변환기를 갖는 망을 위한 것이다. 이 두가지 방법은 일반적인 토폴로지의 망을 고려했고, 새롭게 제안한 PWP scheme에 기초하였다. PWP scheme에서는 공유제한변환기가 일부노드에 설치된다. 공유제한변환기는 제한된 수의 광경로가 파장변환기능을 공유하는 구조를 갖는다.

제시한 2가지 방법은 광경로 설정 알고리즘과 최소 파장할당 알고리즘에 기초하였다. 광경로 설정 알고리즘은 주어진 망에서 각 노드쌍간의 연결수요

를 만족시켜주는 광경로를 결정해주고, 최소 파장할당 알고리즘은 PWP scheme 하에서 광경로에 파장을 할당해준다.

PWP scheme 하에서 파장변환기 설치 알고리즘을 제시하였다. 알고리즘은 연결수요를 만족시켜주기 위한 최소의 파장변환기 수와 설치노드를 결정해준다. 파장변환기 설치 알고리즘은 광경로 설정 알고리즘을 이용하여 광경로를 설정하고, 모든 연결수요가 만족될 때까지 최소 파장할당 알고리즘을 반복 적용한다. 3x3 grid network과 EON에 대해 알고리즘을 적용하였으며 적용 결과를 통하여 일부 노드에 공유제한변환기를 설치하는 PWP scheme이 모든 노드에 완전변환기를 설치하는 VWP scheme과 동일한 효과를 나타내는 것을 보였다. 즉, 파장변환기 설치 알고리즘은 VWP scheme과 동일한 효과를 가지면서 파장변환기 설치 비용을 최소화해줄 수 있다.

PWP scheme 하에서 광섬유 디멘저닝 알고리즘을 제시하였다. 사용 가능한 파장수와 파장변환기 수가 제한되는 경우 광섬유 디멘저닝 알고리즘은 연결수요를 만족시켜주기 위한 링크별 광섬유 수를 결정해준다. 알고리즘은 최소 파장할당 알고리즘과 파장변환기 설치 알고리즘을 이용하며, 모든 연결수요가 만족될 때까지 광섬유를 추가한다. 3x3 grid network과 EON에 대해 알고리즘을 적용하였으며, 다양한 연결수요에 대해 요구되는 총 광섬유수를 보였다.

본 논문에서 제시한 파장변환기 설치 알고리즘과 광섬유 디멘저닝 알고리즘은 비계층 망의 설계를 위해 개발되었다. 그러나 두 알고리즘은 계층화된 망의 설계 문제에도 적용될 수 있다. 특히 링, semi-mesh, mesh 등의 regular 토폴로지를 갖는 subnetwork간을 연결하는 노드에만 공유제한변환기를 설치할 때 이는 PWP scheme이 된다[10,11]. 이러한 계층구조의 망에서 광경로 설정, 파장할당, 파장변환기 및 광섬유 디멘저닝은 본 연구에서 제시한 알고리즘을 일부 수정하여 적용할 수 있다[15].

참고 문헌

[1] B.V. Caenegem and P. Demeester, "Planning of the fiber- and pathlayer of WDM networks", Photonic Networks, Optical Technology and Infrastructure, D.W. Faulkner and A.L. Harmer (Eds.), IOS Press, pp.

- 95-102, 1997.
- [2] I. Chlamtac, A. Ganz and G. Karmi, "Lightpath communications: An approach to high-bandwidth optical WANs", IEEE Transactions on Communication, Vol. 40, No. 7, pp. 1171-1182, 1992.
- [3] M. Listanti, M. Berdusco and R. Sabella, "Optical path strategies in WDM all-optical networks: Minimization of wavelength converters in optical cross connects", IEEE INFOCOM '97, pp. 583-587, 1997.
- [4] R. Ramaswami and K.N. Sivarajan, "Design of logical topologies for wavelength-routed all-optical networks", IEEE INFOCOM '95, 1995.
- [5] N. Wauters and P. Demeester, "Design of the optical path layer in multiwavelength cross-connected networks", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 14, No. 5, 1996.
- [6] A. Briman and A. Kershenbaum, "Routing and wavelength assignment methods in single-hop all-optical networks with blocking", IEEE INFOCOM '95, pp. 431-435, 1995.
- [7] K.-C. Lee and V.O.K. Li, "Routing and switching in a wavelength convertible optical network", IEEE INFOCOM '93, pp. 578-585, 1993.
- [8] R. Ramaswami and G.H. Sasaki, "Multiwavelength optical networks with limited wavelength conversion", IEEE INFOCOM '97, 1997.
- [9] M. Kovacevic and A. Acampora, "On wavelength translation in all-optical networks", IEEE INFOCOM '95, 1995.
- [10] E. Limal, B. Mikkelsen and K.E. Stubkjaer, "Building WDM wide area resilient transport network from 4-node semi-mesh and mesh sub-networks", IEEE ICC, pp. 1311-1319, 1997.
- [11] L. Wuttisittikulkij and M.J. O'Mahony, "Design of a WDM network using a multiple ring approach", IEEE GLOBECOM '97, 1997.
- [12] S. Subramaniam, M. Azizoglu and A.K. Somani, "Connectivity and sparse wavelength conversion in wavelength-routing networks", IEEE INFOCOM '96, pp. 148-155, 1996.
- [13] J. Yates, J. Lacey, D. Everitt and M. Summerfield, "Limited-range wavelength translation in all-optical networks", IEEE INFOCOM '96, pp. 954-961, 1996.
- [14] 박구현, 우재현, "연속적 최대-최소 연결비율문제: 회선망에서 공정성과 효율성을 갖는 라우팅", 한국경영과학회지, 제 22권, 제 2호, pp. 13-29, 1997.
- [15] 박구현, 신용식, 이승민, "계층적 구조를 갖는 WDM 광전달망에서 파장할당 알고리즘", 한국통신학회 발표논문집, 제 16권, 제 2호, pp. 939-951, 1997.
- [16] E. Limal, B. Mikkelsen and K.E. Stubkjaer, "Optical cross-connect and link dimensioning of a multi-wavelength network with and without wavelength converters", Photonic Networks, Optical Technology and Infrastructure, D.W. Faulkner and A.L. Harmer (Eds.), IOS Press, pp. 33-38, 1997.

