

<http://dx.doi.org/10.7236/JIWIT.2012.12.5.197>

JIWIT 2012-5-25

광인터넷망에서 Cut-Set을 이용한 예비대역폭 비율 분석

Analysis of Spare Capacity Ratio in Optical Internet using Cut-Set

김태현*, 황호영**

Taehyoun Kim, Hoyoung Hwang

요약 본 논문에서는 광파장다중화(WDM) 기반 광인터넷 환경에서 논리적인 다중 링 구조에 의한 통신망 복구 기법의 대역폭 효율성을 연구한다. 이 방법은 링 토폴로지의 특성을 이용해 빠르고 간단한 복구 동작을 제공하며, 지역적인 복구를 수행한다. 동시에 다중 링 구성을 통하여 대체 경로의 분산과 공유 정도를 높이고 단위 링크당 예약되어야 하는 예비 광파장의 수를 줄임으로써 전체 통신망 자원 이용의 효율성을 높일 수 있다. 본 논문에서는 위험공유 링크그룹(SRLG) 개념을 이용하여 링크 손실을 복구하는데 필요한 예비대역폭 비율을 토폴로지상의 Cut-Set을 이용해 계산하고 이를 실험을 통해 비교 확인하였다.

Abstract This paper studies network recovery method using logical multiple ring architecture embedded in WDM optical Internet environment. The multiple ring-based recovery method provides fast and simple network restoration operation, and performs local recovery that is detouring the failed link. The multiple ring architecture can provide higher resource efficiency by sharing the backup routes and reducing the number of spare wavelengths. This paper calculates the required spare capacity ratio using Cut-Sets in the given network topology and performs simulation for comparative analysis.

Key Words : 광인터넷, 망복구, 예비대역폭, 다중 링, Cut-Set

1. 서 론

본 논문에서는 WDM 기반 광인터넷망에서 장애가 발생하였을 경우 이를 효율적으로 복구할 수 있는 기법에 대해 연구하였으며, 보다 적은 통신망 자원을 이용해 높은 복구율을 얻을 수 있도록 복구 기술의 효율성을 극대화하는 것을 연구의 중점 목표로 하였다. 복구 방법의 효율성은 목표로 하는 복구율을 얻기 위해 필요한 예비 자원의 양에 의해 결정되며, 효율성을 높이기 위한 기본적인 방법은 예비 자원의 공유이다. 이를 위해서 복구용 대

역폭의 공유뿐만 아니라 복구 경로의 공유를 통해 자원 이용의 효율성을 증가시킬 수 있는 논리적인 다중 링 구조에 의한 복구 기법에 대하여, 예비대역폭 비율을 계산하고 실험을 통해 결과를 비교 분석한다.

논리적 다중 링 구조는 지역적 복구를 수행하면서도 전역적 정보를 이용하는 종단간 복구와 같은 정도의 자원 효율성을 제공한다^[7]. 이러한 효율성의 증가는 링 토폴로지의 특성을 이용하여 예비 대역폭 뿐 아니라 대체 경로를 동시에 공유하며, 다중 링을 이용하여 단일 링에 비하여 대역폭의 공유 정도를 높임으로써 가능하다. 즉

*정회원, 서울시립대학교 기계정보공학과

**정회원, 한성대학교 멀티미디어공학과

접수일자 2012년 8월 3일, 수정완료 2012년 9월 5일

게재확정일자 2012년 10월 12일

Received: 3 August, 2012 / Revised: 5 September, 2012 /

Accepted: 12 October, 2012

**Corresponding author: hyhwang@hansung.ac.kr

Dept. of Multimedia Engineering, Hansung University, Korea

복구되어야 하는 링크의 전체 광파장 전송 용량을 보다 작은 단위로 나누어 여러 개의 복구용 링들을 통해 복구함으로써 단일 복구 경로가 아닌 다중 복구 경로를 이용하는 효과가 있으며, 예비 자원이 다중 경로상에 분배되므로 복구 경로의 단위 링크당 예약되어야 하는 예비 대역폭 파장의 수를 줄일 수 있다.

다중 링 구조에서 예비대역폭 비율은 망 구성 알고리즘에 의한 시뮬레이션 결과를 통해 알 수 있다. 본 논문에서는 시뮬레이션 방법 외에도 Cut-Set을 이용하여 망 복구에 필요한 예비광파장의 비율을 이론적으로 계산하는 방법을 제안하였다. 또한 그 계산 결과를 시뮬레이션을 통한 결과와 비교 분석하였다.

II. 본 론

1. 다중 링 구조의 구성

통신망 토폴로지 그래프에서 하나의 링크가 단 하나의 링에만 포함되도록 설계된 논리적인 링의 집합을 단일 링 구조(Single ring-cover)라고 하며 이러한 단일 링 구조를 이용한 복구 기법이 연구되어 왔다^{[1][2]}. 단일 링 구조에 의한 복구 기법은 설계 및 동작이 간단하다는 장점이 있는 반면에 비효율적인 자원 효율성을 보여준다. 대부분의 단일 링 구조를 이용한 복구 기법은 전체 통신망의 총 대역폭 중 약 50%를 복구를 위해서 사용한다. 이 경우 정상적인 통신 서비스에 사용되는 대역폭의 총량과 비교한 예비 대역폭 비율은 약 100%가 된다. 단일 링 구조와는 다른 논리적인 링 구성방법으로서 이중 링 구조가 있다. 이중 링 구조(Cyclic Double Cover: CDC)란 토폴로지 그래프에서 모든 링크가 각각 정확히 두개의 링에만 속하도록 설계된 논리적인 링의 집합을 말한다. 통신망 복구를 위한 기존의 연구에서 이중 링 구조를 이용한 방법에 제시되었으며^[3], 이 방법에서는 하나의 링이 손실된 링크의 한쪽 트래픽을 복구한다. 즉 손실된 링크를 포함하는 두개의 링이 각각 손실된 링크의 한 방향씩 양방향의 복구를 수행한다. 이중 링 구조를 이용한 통신망 복구는 정확하게 50%의 통신망 대역폭을 복구를 위해서 사용하며, 따라서 예비 대역폭 비율은 100%가 된다^[4].

제안된 다중 링 구조는 통신망 토폴로지 상의 모든 링크들이 같은 수의 링에 포함될 수 있도록 구성된 논리적인 링의 집합을 말한다. 즉 각각의 링크는 M개의 논리적

인 복구용 링에 포함되도록 할당되며, 각각의 링은 손실된 링크의 대역폭 중 1/M 만큼을 양방향으로 복구하게 된다. 따라서 하나의 링크에 할당된 논리적인 링의 갯수 M이 커질수록 링 하나당 복구해야 하는 대역폭의 할당량은 적어지게 된다. 이때 하나의 링크에 할당된 논리적인 링의 갯수 M을 다중도라고 하며, 손실된 링크 대역폭을 1로 가정했을 때 링 하나가 복구해야 하는 링크 대역폭의 양 1/M을 다중 링 구조에서의 복구 단위라고 한다. 그림 1은 간단한 그물망 형태의 토폴로지에서 M=2일 경우의 논리적인 다중 링 구조의 예를 보여준다. 물리적인 링크는 실선으로 나타내어졌으며, 점선으로 나타낸 부분이 논리적인 링의 구성이다. 모두 5개의 논리적인 링이 사용되었으며 각각의 링크는 두개의 링에 포함되어 있다. 각 링크의 대역폭은 반으로 나누어져 각각 하나의 복구용 링에 할당되며, 각각의 복구용 링은 하나의 복구 단위, 즉 링크 대역폭의 1/2씩을 복구한다. 그림 1에 보인 것과 같이 통신망 장애로 인하여 링크 (2-5)가 손실된 경우 순실된 링크 대역폭의 1/2인 복구 단위 하나는 왼쪽의 링 경로 (2-1-4-5)를 통해 복구되며, 나머지 하나의 복구 단위는 오른쪽의 링 경로(2-3-6-5)를 통해 복구된다. 그림 1에서는 M=2인 경우의 예를 보였지만, M이 2보다 큰 수를 가질 경우로 쉽게 확장될 수 있다.

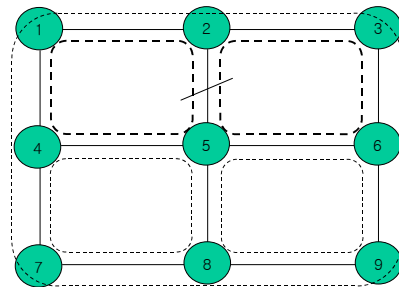


그림 1. 논리적 다중 링 구조의 예 (M=2)
Fig 1. An Example of Logical Ring Architecture (M=2)

2. SRLG 기반 예비대역폭 할당

다중 링의 구성에 있어 효율적인 예비 자원의 사용을 위해서는 링 간의 공유 링크의 수가 최소화 되어야 하며, 링의 길이가 최소화 되어야 한다. 다중 링 구조에서 복구에 필요한 예비 대역폭의 할당은 손실 위험 공유 링크 집

단(Shared Risk Link Group: SRLG)^[5] 개념을 이용하여 수행된다. 통신망에서 특정 링크를 공동으로 포함하는 서비스 연결들은 해당 링크에 장애가 발생하였을 경우 동시에 손실될 수 있다. 이렇게 단일 장비의 장애로 인하여 동시에 손실될 가능성이 있는 연결들은 손실 위험을 공유한다고 말한다. 망 복구에서 같은 손실 위험 공유 집단에 속한다는 것은 해당 서비스 연결들이 동시에 복구되어야 함을 의미한다. 그러므로 같은 손실 위험 공유 집단에 속한 서비스 경로들은 대체 경로 및 예비 대역폭을 공유할 수 없고, 효율적인 자원의 이용을 위해서는 이들이 서로 다른 대체 경로를 이용하도록 분산되어야 한다.

다중 링 구조를 이용한 복구 기법에서는 대체 경로와 복구해야 하는 링크가 동일한 논리적 링 상에 위치한다. 따라서 하나 이상의 링크를 공유하는 링은 같은 손실 위험 공유 집단에 속한다고 볼 수 있고, 이들은 단일 링크의 손실로 인해 동시에 대체 경로로서 활성화되어 복구를 수행할 수 있다. 다중 링 구조에서 임의의 링크 e 를 포함하는 손실 위험 공유 링크 집단 $SRLG_e^i$ 는 다음과 같이 정의된다.

$SRLG_e^i$: 링크 e 를 포함하며 최소한 하나 이상의 링크를 경로상에 공유하는 j 번째 논리적인 링의 집합.

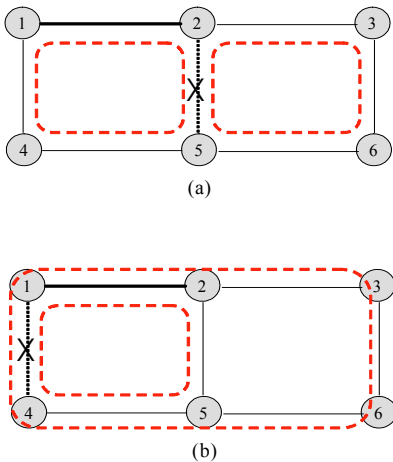


그림 2. 손실 위험 공유 링크 집단을 이용한 예비대역폭 할당
Fig 2. Spare Capacity Requirement on Links using SRLG

예를 들어 그림 2의 토폴로지에서 (a)와 같이 링크 (2-5)가 손실되었을 경우, 링크 (1-2)는 하나의 활성화

된 대체 경로 (2-1-4-5)에 의해 이용되며 따라서 링크 (1-2)상에서 예비 대역폭은 하나의 복구 단위만이 사용된다. 그러나 (b)에서 보이는 것과 같이 링크 (1-4)가 손실되었을 경우, 링크 (1-2)는 두 개의 활성화된 대체 경로 (1-2-5-4)와 (1-2-3-6-5-4)에 의해 동시에 이용된다. 따라서 이 경우에는 링크 (1-2)에 예비 대역폭으로 두개의 복구 단위가 필요하다. 이는 (b)의 경우에 링크 (1-2)상에서 활성화 된 두 개의 링이 같은 손실 위험 공유 집단에 속하기 때문이다. 즉, 링크 (1-2)에 할당되어야 하는 예비 대역폭의 총량은 동시에 활성화되어 대체 경로로 사용되어질 수 있는 링의 최대 수에 의해 결정된다.

일반화시켜서 기술하면, 다중 링 구조를 이용하는 통신망에서 하나의 링크에 할당되어야 하는 예비 대역폭의 양은 해당 링크를 포함하는 링들의 손실 위험 공유 집단 중 가장 많은 링을 가진 집단에 의해 결정된다. 즉, 링크 e 를 포함하는 임의의 손실 위험 공유 집단 $SRLG_e^i$ 의 예비 대역폭 요구량을 $R_{SRLG_e^i}$ 라 할때, 링크 e 에 할당되어 예약되어야 하는 예비 대역폭의 양 R_e 는 다음과 같이 결정되어진다.

$$R_e = \text{Max}(R_{SRLG_e^1}, \dots, R_{SRLG_e^n}) \quad (1)$$

통신망에서 링크당 사용가능한 대역폭이 1이라고 가정하면 임의의 링크 e 에 대하여 모든 $R_{SRLG_e^i}$ 의 값은 기본 복구 단위인 $1/M$ 의 정수배가 된다. 이 경우 다중 링 구조를 이용하는 통신망에서 하나의 링은 일정한 $1/M$ 의 예비 대역폭 요구를 가지며, 통신망 전체의 예비 대역폭 비율은 최소 $(100/M)\%$ 에서 최대 100% 의 범위를 가지게 된다. 최소값인 $(100/M)\%$ 의 예비 대역폭 비율은 모든 링크가 상호 독립적인(Disjoint) M 개의 복구용 링을 가지는 토폴로지에서 얻어질 수 있으며, 이는 연결성이 아주 높은 지역망이나 또는 하이퍼 큐브와 같이 특수한 토폴로지의 경우에 해당된다. 최대값인 100% 의 예비 대역폭 비율은 모든 링크의 예비 대역폭 할당 요구가 $(M/M=1)$ 인 경우, 즉 복구용 링 중에 상호 독립적인 경우가 전혀 없는 경우의 토폴로지에서 얻어지며, 물리적인 링 토폴로지가 이에 해당한다.

3. Cut-Set을 이용한 예비 대역폭 비율 계산

일반적인 광통신망의 경우처럼 하나의 링크가 양방향 전송을 수행할 수 있도록 두 개의 광섬유로 구성되어 있

어 링크 당 정상적인 서비스 전송에 사용되는 대역폭이 같다고 가정하면, 지역적 복구에 필요한 최적의 예비 대역폭 비율을 계산할 수 있다. 이를 위해 Cut-Set을 응용한 방법을 사용한다.

통신망 토폴로지 그래프에서 해당 그래프를 두 개의 독립적인 부분으로 분할하기 위해 제거되어야 하는 링크들의 집합을 Cut-Set이라고 한다. 하나의 Cut-Set에는 다양한 수의 링크들이 포함될 수 있으며 그림 3에는 각각 2개, 3개, 4개의 링크를 포함하는 Cut-Set의 예가 점선으로 표시되었다. 토폴로지 상의 모든 가능한 Cut-Set들은 각 Cut-Set에 포함되는 링크의 수에 따라서 분류할 수 있으며 n개의 링크를 포함하는 Cut-Set을 CS(n)으로 표시한다.

다중 링 구조를 이용한 복구 기법에서는 M개의 대체 경로에 예비 대역폭을 분산 할당한다. 이때 대체 경로상의 각 링크당 할당되어야 할 예비 대역폭의 양은 최대 손실 위험 공유 집단에 의해 결정되며, 이는 다시 M개의 대체 경로가 상호 독립적인 경로를 가질 수 있는가에 의존한다. 하나의 링크에 대한 복구 경로가 상호 독립적인 M개의 대체 경로를 가지기 위해서는 해당 링크를 포함하는 임의의 Cut-Set이 M+1개 이상의 링크로 구성되어야 한다. 즉 링크 e를 포함하는 임의의 Cut-Set CS_e^i 에서 링크 e를 제거한 후 M개 이상의 링크가 존재해야 상호 독립적인 M개의 대체 경로가 존재하며, 따라서 이 경우 각각의 링크에 하나의 복구 단위 1/M만을 예비 대역폭으로 할당할 수 있다. 만약 CS_e^i 에 M+1개 미만의 링크가 존재할 경우에는 e를 제외한 링크들 일부에 두 개 이상의 복구단위가 할당되어야 한다.

이러한 고찰에 근거하여 통신망 토폴로지에서 모든 Cut-Set의 집합을 구하여 포함된 링크의 수에 따라 CS(1), ..., CS(N)으로 분류한 후 다중도 M에 대한 예비 대역폭의 총량을 구할 수 있다. 먼저 CS(1)의 경우에는 하나의 링크 제거만으로 토폴로지가 분할된다는 것을 의미하므로 어떠한 다중도 M에 대해서도 해당 링크의 복구가 불가능하다. CS(2)의 경우는 하나의 링크 제거 후에 다른 하나의 링크로 모든 복구경로가 통과하므로, 다중도 M에 관계없이 두 링크 모두에 $M/M=1(100\%)$ 의 예비 대역폭이 할당되어야 한다. CS(3)의 경우에는 하나의 링크 제거 후 다른 두 개의 링크를 이용해 복구 경로를 수용하므로 M=2인 경우에는 각 링크에 하나의 복구 단위, 즉 1/2만큼의 예비 대역폭이 할당될 수 있으나 M이 3이

상인 경우에는 일부 링크에 둘 이상의 복구 단위가 할당되어야 한다. 이때 전체적인 대역폭의 사용을 줄이기 위해서는 링크당 할당되는 예비 대역폭이 가능한 고르게 분포되어야 한다.

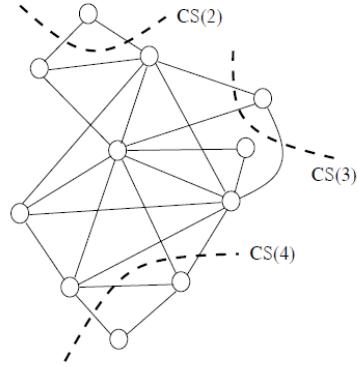


그림 3. 통신망 토폴로지 상의 Cut-Set의 예
Fig 3. Cut-Sets in Network Topology

즉, 다중도 M이 3이고, 세 개의 링크로 이루어진 Cut-Set CS(3)의 경우 하나의 링크 제거 후, 남은 두 개의 링크에 손실된 링크 대역폭의 절반씩 할당되어야 하나, 실제로는 다중도에 의해 복구 단위가 1/3씩 이므로, 남은 두 개의 링크에서 하나는 2/3의 대역폭이, 다른 하나의 링크에는 1/3의 대역폭이 할당되어야 한다. 만약 다중도 M이 4 이면 남은 두 개의 링크에 복구단위 두 개씩, 즉 $(1/4) \times 2$ 의 예비광파장이 각각 할당되며, 다중도 M이 5라면 남은 두 개의 링크에 각각 $(1/5) \times 3$, $(1/5) \times 2$ 의 예비 광파장이 각각 할당되어야 한다. 이와 같이 다중도 M과 Cut-Set의 형태에 따라 할당되어야 하는 예비광파장의 양은 표 1에 나타낸 바와 같다. 표 1에 X로 표시된 것은 복구가 불가능함을 나타낸다.

표 1. 다중도 M과 Cut-Set 변화에 따른 예비 대역폭 할당
Table 1. Spare Capacity Assignment for the given number of M and type of Cut-Set

Cut-Set	M = 1	M = 2	M = 3	M = 4	M = 5
CS(1)	X	X	X	X	X
CS(2)	1+1	1+1	1+1	1+1	1+1
CS(3)	...	$\frac{1}{2} \times 3$	$\frac{2}{3} \times 2 + \frac{1}{3} \times 1$	$\frac{2}{4} \times 3$	$\frac{1}{5} \times 2 + \frac{2}{5} \times 1$
CS(4)	...	...	$\frac{1}{3} \times 4$	$\frac{1}{4} \times 3 \times 2 + \frac{1}{4} \times 2$	$\frac{1}{5} \times 3 + \frac{1}{5} \times 1$
CS(5)	...	...	...	$\frac{1}{4} \times 5$	$\frac{1}{5} \times 4$
CS(6)	...	...	...	...	$\frac{1}{6} \times 6$

예를 들어 다음 그림 4의 통신망 토폴로지는 100개의

노드와 180개의 링크로 이루어졌으며, CS(2)형태의 Cut-Set이 그림에 표시된 것 같이 모서리에 4개 존재하고, CS(3)형태의 Cut-Set은 그림에 일부 표시된 예와 같이 모서리와 토폴로지 가장자리를 따라 40개 존재한다. 따라서 CS(2)형태의 Cut-Set에 속하는 8개의 링크에는 예비대역폭이 $M/M = 100\%$ 가 할당되어야 한다. $M=2$ 인 경우에는 나머지 172개의 링크에 $1/2 = 50\%$ 의 예비대역폭이 할당되면 된다. 만약 $M=3$ 일 경우는, CS(3)에 포함되는 총 68개의 링크 중 이미 100%가 할당되어야 하는 CS(2)의 8개를 제외한 60개 중에서, 표 1의 규칙에 따라 바깥쪽의 28개의 링크에 $2/3 = 66.6\%$ 의 예비대역폭이 할당되어야 하고, 나머지 144개의 링크에는 $1/3 = 33.3\%$ 의 예비대역폭이 할당되면 된다. 이와 같이 주어진 토폴로지에 존재하는 Cut-Set의 형태와 수에 따라 복구에 필요한 예비대역폭의 양을 계산할 수 있다.

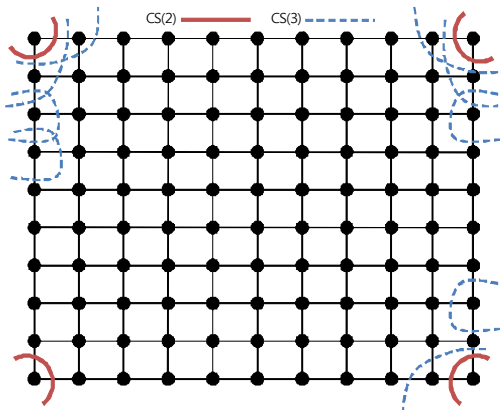


그림 4. 10×10 격자형 토폴로지에서 Cut-Set의 형태
Fig 4. Cut-Sets in 10×10 Grid Network Topology

4. 실험 결과 분석

본 논문에서 WDM 망의 링크는 그림 5와 같이 4개의 광섬유로 구성되어 있다고 가정한다. 양방향 전송을 위하여 서로 다른 방향의 두개의 광섬유가 하나의 쌍을 이루며, 정상 서비스 경로를 위한 광섬유 쌍(Working fiber pair)과 복구 서비스를 위한 광섬유 쌍(Protection fiber pair)으로 구분된다. 각각의 광섬유가 수용하는 광파장 채널의 수는 같다고 가정한다. 이러한 두 쌍의 광섬유는 널리 사용되고 있는 WDM 링크 구성의 기본 단위이며, 이는 기본 단위의 배수의 광섬유를 갖는 링크의 경우로 쉽게 확장될 수 있다.

WDM 망에서는 하나의 링크에 수십 또는 수백 개 이상의 광파장을 이용해 서로 다른 채널들을 수용한다. 이러한 망에서 링 구조를 이용한 망 복구를 위해서는 하나의 링크에 포함되는 채널들이 여러 개의 복구 단위로 분리되어야 한다. 하나의 링크가 여러 개의 광섬유를 이용한 다중 광섬유 링크로 구성되어 있을 경우에는 각각의 광섬유가 하나의 복구 단위가 될 수 있다. 다중 광섬유 링크를 이용한 WDM 망의 설계는 실제 광통신망에서 자주 사용되는 방법이다.

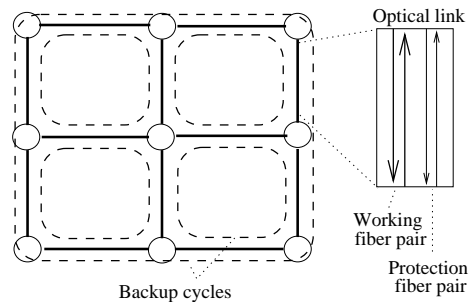


그림 5. WDM 망에서의 링크 구성
Fig 5. A Link Construction in WDM Networks

다중 링 구조의 성능 실험을 위해 10개의 실제로 사용되는 메쉬 형태의 토폴로지를 가지고 시뮬레이션을 수행하였으며, 이때 각 링크는 일반용 및 복구용 트래픽을 수용하는 두 쌍의 양방향 광섬유로 구성되어 있고 각 광섬유는 60개의 광파장을 수용한다고 가정하였다.

표 2. 다중도 M에 따른 예비 대역폭 비율
Table 2. Spare Capacity Overhead Ratio for various M

Network Topology				Capacity Overhead (%)			
No.	노드	링크	밀도	M=1	M=2	M=3	M=4
1	10	22	4.40	91.9	50.0	39.4	36.3
2	11	23	4.18	82.6	63.0	55.1	55.4
3	12	21	3.00	90.5	59.5	68.3	75.0
4	14	28	3.73	96.4	57.1	54.8	59.8
5	20	32	3.20	93.8	50.0	56.3	65.6
6	28	47	3.55	97.9	62.8	58.9	62.7
7	20	31	3.10	96.8	71.0	69.9	67.7
8	30	59	3.93	93.2	53.4	45.2	51.2
9	53	79	2.98	98.7	75.3	76.8	80.3
10	100	180	4.00	100	52.2	41.5	56.1
평균				94.2	59.4	56.6	61.0

표 2는 시뮬레이션 실험에 의한 다중도(M)에 따른 예비 대역폭의 비율을 보여준다. 예비 대역폭 비율은 단일 링크의 손실을 100% 복구하는데 요구되는 광파장의 예약 비율을 말한다. 단일 링 구조(M=1)에서 요구되는 평균 예비대역폭 비율이 90% 이상인데 비해 다중 링 구조에서는 이 비율이 60% 미만으로 줄어든다. 이 결과를 통해 다중 링 구조를 이용한 복구 방법이 단일 링 구조에 비하여 월등한 대역폭 효율성을 제공함을 확인할 수 있고, 이 결과는 특히 통신망의 밀도가 높을수록 뚜렷하다. 밀도란 노드당 평균 링크 수(degree)를 말하며, 높은 밀도에서 다중 링 구조의 장점인 복구 경로의 분산과 예비 대역폭의 공유 효과를 최대화함을 알 수 있다. 다중도 M이 4 이상이면 더 이상 대역폭 효율성이 증가하지 않으며, 이는 실제적인 토폴로지에서 4개 이상의 겹치지 않는 복구 경로를 찾기 어렵기 때문이다. 따라서 다중도 M이 2 또는 3일 경우 대부분의 토폴로지에서 최적의 대역폭 이용을 보이며 이는 다중 링 구조의 설계에 지나치게 많은 링이 사용될 필요가 없음을 뜻한다. 예비 대역폭의 감소는 결과적으로 같은 수의 광파장을 가지고 보다 많은 트래픽의 수용을 가능하게 한다.

본 논문에서 그림 3과 그림 4에 보인 통신망 토폴로지는 표 2에서 각각 2번과 10번 네트워크에 해당한다. 이다. 두 개의 토폴로지에서 다중도 M이 2, 3 일 경우, 앞서 기술한 Cut-Set을 이용한 예비 대역폭 계산 결과는 다음 표 3과 같다.

표 3. Cut-Set을 이용한 예비 대역폭 계산
Table 3. Spare Capacity Calculation using Cut-Set

Topology No.	Spare Capacity Calculation	
	M=2	M=3
No. 2 (11 노드, 23 링크)	$(1 \times 6) + (1/2 \times 17)$ = 14.5 (예비대역폭) 14.5/23 = 63.04%	$(1 \times 6) + (2/3 \times 3) + (1/3 \times 14)$ = 12.66 (예비대역폭) 12.66/23 = 55.07%
No. 10 (100 노드, 180 링크)	$(1 \times 8) + (1/2 \times 172)$ = 94 (예비대역폭) 94/180 = 52.22%	$(1 \times 8) + (2/3 \times 28) + (1/3 \times 144)$ = 74.66 (예비대역폭) 74.66/180 = 41.48%

이 결과는 표 2의 해당 토폴로지에서도 밀줄 친 부분의 결과와 일치하며, 따라서 Cut-Set을 이용한 계산 결과와 시뮬레이션을 통해 얻은 실험 결과가 같음을 확인 할 수 있다.

II. 결론

논리적인 링 토폴로지의 구성을 통한 복구기법은 신속하고 간단한 WDM 광통신망 복구 방법을 제공하며, 동시에 복구 경로와 예비 대역폭의 공유를 최대화 하여 자원의 효율성을 향상시킨다는 목적에 매우 적합하다. 본 논문에서는 시뮬레이션 방법 외에도 Cut-Set을 이용하여 망 복구에 필요한 예비광파장의 비율을 이론적으로 계산하는 방법을 제안하였다. 또한 그 결과를 시뮬레이션 결과와 비교 분석함으로써, 이론적인 계산 결과가 시뮬레이션 실험 결과와 높은 일치성과 유효성을 가짐을 보였다.

참고 문헌

- [1] S. Ahn, A Fast VP Restoration Scheme using Ring-Shaped Sharable Backup VPS, Proceedings of Globecom'97, pp.1383-1387, Nov. 1997
- [2] L. M. Gardner, et al., Techniques for Finding Ring-Covers in Survivable Networks, Proceedings of Flobecom'94, pp.1862-1866, Nov. 1994
- [3] G. Ellinas, A. G. Hailemariam, T. E. Stern, Protection Cycles in Mesh WDM Networks, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 18, No. 10, pp.1924-1937, Oct. 2000
- [4] T. E. Stern, K. Bala, Multiwavelength Optical Networks, Addison Wesley, 1999
- [5] S. Chaudhuri, G. Hjalmtysson, J. Yates, Control of Lightpaths in an Optical Networks, In Optical Internetworking Forum OIF 2000.04. Jan. 2000
- [6] M. Bakri, M. Koubaa, A. Bouallegue, An iterative Partial Path Protection-based approach for routing static D-connections in WDM transparent networks with SRLG constraints, Proc. of ICOIN2012, Feb. 2012
- [7] Hoyoung Hwang, Sungsoo Lim, WDM Optical Network Restoration and Spare Resource Planning using Multiple Ring-Cover. Journal of Korea Information Processing Society, Vol. 12-C, No. 6, Oct. 2005

[8] Sun-Kwon Jang, Dong-Sung Kang, A Wire/Wireless Convergence System for Ubiquitous network using Optical WDM-PON. Proc. of

Summer Conference of Korea Institute of Information Technology, Jun. 2006

※ 본 연구는 한성대학교 교내연구비 지원으로 수행되었음.

저자 소개

김 태 현(정회원)



- 1994년 : 서울대학교 컴퓨터공학 학사
- 1996년 : 서울대학교 컴퓨터공학 석사
- 2001년 : 서울대학교 전기컴퓨터공학 박사
- 2001년 ~ 2005년 : (주)지씨티리서치 책임연구원
- 2005년 ~ 현재 : 서울시립대학교 기

계정보공학과 부교수

<주관심분야 : 임베디드시스템, 이동통신>

황 호 영(정회원)



- 1993년 : 서울대학교 컴퓨터공학 학사
- 1995년 : 서울대학교 컴퓨터공학 석사
- 2003년 : 서울대학교 전기컴퓨터공학 박사
- 2003년 ~ 2007년 : 안양대학교 디지털미디어학부 조교수
- 2007년 ~ 현재 : 한성대학교 멀티미

디어공학과 부교수

<주관심분야 : 정보통신, 유무선 네트워크, 멀티미디어>