

論文2002-39TC-3-3

WGR을 사용한 완전 광 가입자망 설계의 경제성 비교 및 생존성에 관한 연구

(A Study on the Cost Analysis and Survivability of the All Optical Access Network Design using WGR)

崔漢奎*, 姜安求*, 趙圭燮**

(Han Kyoo Choi, An Goo Kang, and Kyu Seob Cho)

요약

수동적인 광 네트워크로 구현되는 가입자망은 광대역, 장거리 전송, 투명성의 특성을 갖는 네트워크로 설계할 수 있다. 특히 WDM과 WGR의 기술은 WDM-PON의 새로운 가입자망 구성을 가능하게 한다. 본 논문은 생존성을 갖는 광 가입자망의 구성요소들을 결정하는 알고리즘을 제안하고 여러 구조들에 대한 비용을 분석하여 경제적이고 생존성이 있는 광 가입자망 구축 방향을 제시한다. 결과에 의하면 여러 광가입자 구성 중에서 다중 성형 구조가 가장 경제적인 구조로 분석되었고, 제안한 알고리즘에 의해 설계된 구조에서 첫째 노드 장애와 모든 단일 링크 장애에 대한 생존성이 있음을 확인할 수 있었다.

Abstract

The implementation of passive optical network in the access network will result in design of the network that have characteristics of broadband, long distance transmission, transparency. Particularly, optical technologies of WDM and WGR have made a new access network of WDM-PON. This paper proposes the algorithm that determines structural elements of a survivable optical access network, and simulates the cost of various scheme of proposed network architectures. Our results show that multistage star is the most cost effective scheme than the other architectures and show that network architecture designed by proposed algorithm provides survivability with single link and 1st node failure.

Key Words : 광 가입자망, 생존성, WGR

I. 서론

가입자망의 트래픽은 기간망의 트래픽과 비교하여 상대적으로 적으나 광대역 멀티미디어 서비스에 대한

수요가 증가함에 따라 가입자망에서의 대용량 트래픽이 요구되며 이를 만족시키기 위해 가입자 전송 분야에서의 근본적인 변화가 요구되고 있다.

새로운 가입자망의 구성 형태로 여러가지 망 구조들이 제시되고 있으나 다양한 가입자 요구사항을 융통성 있게 충족시키기 위해서는 기간망에서 단말에 이르기까지 광 가입자망을 구성하는 것이 근본적인 해결책이 될 것이다.^[1-6]

오늘날 광섬유는 기간망에 광범위하게 적용되고 있고, 가입자망에도 도입되고 있다. 그러나 광섬유 전체 용량의 적은 부분만이 실용화되고 있어, 광섬유 용량을

* 正會員, 舟城大學 디지털情報通信工學科
(Department of Digital Information Communication Engineering JuSeong College)

** 正會員, 成均館大學校 電氣 電子 및 컴퓨터工學部
(School of Electric and Computer Engineering SungKyunKwan Univ.)

接受日字:2001年11月21日, 수정완료일:2002年2月7日

보다 효율적으로 활용하기 위하여 WDM (Wavelength Division Multiplexing)과 같은 다중화 기술이 제안되어 왔다.

WDM은 가입자에게 넓은 대역과 서비스 제공자에게 이익을 제공하지만, 하나의 광섬유로 대용량의 트래픽을 전송하기 때문에 WDM 시스템에서의 단일 장애도 심각한 서비스 손실을 초래하는 잠재적인 문제점이 있다. 따라서 다수의 가입자에게 대용량의 정보 전송 서비스를 제공하는 WDM-PON(Passive Optical Network)이 생존성을 갖는 것은 필수적이다. 그동안 기간망의 생존성에 대하여 많은 연구가 진행되어 왔으나, 광 가입자 네트워크의 생존성에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다.

일반적으로 광 네트워크의 생존성에 대하여 사용되어 온 기법에는 그림 1에 나타낸 것과 같이 사전 계획 보호와 동적인 복구가 있다^[9].

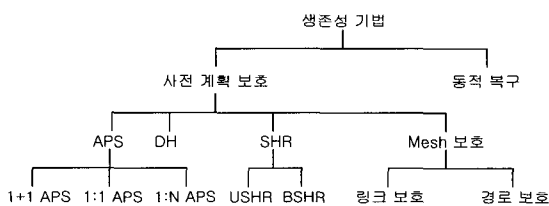


그림 1. 생존성 기법
Fig. 1. Techniques for survivability.

사전 계획 보호와 동적인 복구 구조는 네트워크의 토폴로지에 따라 장점이 있음을 연구를 통해서 알려졌다. 예를 들면 링 토폴로지에서는 SHR(Self Healing Ring)이 가장 좋은 반면에, 단대단 링크에서는 APS (Automatic Protection Switching)가 가장 좋은 보호 기법이다^[8]. 현재 통신 네트워크의 대부분은 동적인 복구 방법보다 사전 계획 보호 구조를 사용한다.

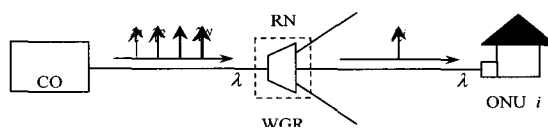
본 논문에서는 광 가입자망의 경제성과 생존성이 고려된 광 가입자망 구성 방안을 연구함으로써 경제적이고 생존력이 있는 광 가입자망 구축 방향을 제시한다. 본 논문의 II장에서 WDM-PON의 구성에 대하여 고찰하고, III장에서 생존성이 있는 광 가입자망 구조 설계 알고리즘을 제안하며, IV장에서 제안 알고리즘에 의해 설계된 광 가입자망에 대하여 분석한 후 V장에서 최종 결론을 맺었다.

II. WDM-PON의 구성

현재 광 기술은 광 신호를 전달하는 단순한 기술 외에 증폭, 라우팅, 다중화 등으로 발전하고 있다. 이를 활용하여 기존 PON에 새로운 광 기술을 접목함으로써 보다 효율적이고 강력한 광 가입자망 구성이 가능할 것이다. 완전히 수동적인 광 네트워크로 구현되는 WDM-PON은 광대역, 장거리 전송, 무손실, 투명성 있는 가입자망으로 구성될 것이다.

WDM-PON의 RN(Remote Node)은 다중화된 WDM 신호의 파장을 분리하여 여러 가입자에게 개별의 파장으로 제공한다. 이때 각 가입자에게 해당 파장을 할당하기 위하여 라우팅 기능이 수행된다.

이를 위하여 사용되는 광 소자는 평탄한 이득을 통하여 감쇠된 광 신호를 라우팅하는 WGR(Wavelength Grating Router)이며 현재 64×64 WGR이 개발되어 있다. WGR을 이용한 WDM 방식을 그림 2에 나타내었다.



CO : Central Office
ONU : Optical Network Unit
RN : Remote Node

그림 2. WDM-PON
Fig. 2. WDM-PON.

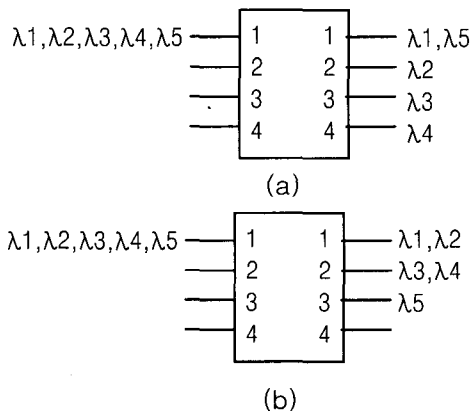


그림 3. M=4인 WGR의 파장 라우팅
(a) C=1, (b) C=2
Fig. 3. Routing performed by WGRs with M=4 and coarseness: (a) C=1 and (b) C=2.

WDM-PON에서 사용되는 파장은 네트워크의 토폴로지에 따라 정해지며, OLT(Optical Line Termination)에서 각 가입자에게 할당한다. 가입자는 RN의 WGR에서 자신의 파장을 라우팅하고, WGR의 입력파장에 대한 출력파장은 크기 M과 파장의 조합 크기 C(coarseness)에 따라 그림 3과 같이 라우팅된다.

III. 생존성을 갖는 광 가입자망 구조 설계 알고리즘

1. 광 가입자망의 구성 형태

광 가입자망은 기존의 가입자망과 같이 단순한 성형 토폴로지를 사용하여 구성하는 것이 초기의 광 가입자망 구축에 많은 이점이 있을 것이다. 성형 토폴로지의 광 가입자망으로 구성 가능한 형태는 그림 4와 같이 단일 성형, 이중 성형, 다중성형 등이 있는데, 단계(stage) k로 구분하면 단일 성형의 단계 수는 $k=0$, 이중 성형은 $k=1$, 다중성형은 $k \geq 2$ 이다.

광 가입자망을 설계하기 위해서는 단계와 단계간의 WGR, 단계의 수, 광 케이블, 광 케이블의 매설 등이 요구된다. 이러한 요소들이 효율적으로 구성함으로써 경제적인 광 가입자망 구성을 할 수 있다^[7].

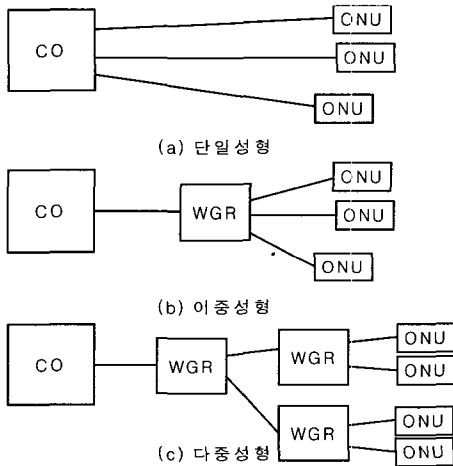


그림 4. 광 가입자망의 구성형태
Fig. 4. Architecture of an optical access network.
(a) single star, (b) double star, and (c) multi star.

향후의 광 가입자망은 광대역성, 투명성, 다양한 여러 가입자의 수용, 경제성, 확장성을 고려할 때, 현재의 전

화망으로 사용되고 있는 복합 회선망과 유사한 다중 성형 구조가 가장 효율적이라 예상되어, 본 논문에서는 다중 성형 구조를 WDM-PON의 구조로 선택하여 알고리즘을 설계하였다.

성형 광 가입자망 구조 설계를 위한 파라미터는 다음과 같다.

- U : WDM-PON 네트워크에 연결된 가입자의 수
- w : 각 링크상의 파장 수
- K : 가입자망의 WGR 단계 수
- N : 다중 성형을 구성하는 WGR의 수
- M : 다중 성형을 구성하는 WGR의 크기
- C : WGR에서 파장을 결합하여 출력하는 조합의 크기(coarseness)
- I : 각 WGR에서 사용되는 입력의 포트(port) 수

다중 성형 광 가입자망의 구조를 다음과 같이 가정하고 설계하였다.

- 첫 번째 단계의 WGR 수는 1개로 구성된다.
 $N_1 = 1$
- 첫 번째 단계의 WGR에서 C는 1이다. $C_1 = 1$
- 각 단계에서 WGR의 크기는 사용될 입력 수의 2배이다. $M_k = I_k \times 2$
- 각 단계에서 출력 포트의 총합은 다음 단계에서 입력 포트의 총합과 같다.

$$N_k \times M_k = N_{k+1} \times I_{k+1}$$

본 논문의 경우는 가입자 수가 균등한 경우를 전제로 하고, 기본조건으로 가정에 의해서 $N_1 = 1$, $C_1 = 1$ 으로 한다. 사용된 입력 포트의 수 $I_k < M_k$ 에 의해서 N_k 를 설정할 수 있는데, 이때 M_k 는 최소한 4개의 포트 수를 초과해야 한다.

본 논문에서는 첫 번째 단계의 보호용 WGR 추가로 생존성이 있는 광 가입자망을 설계하기 위하여 $M_k = I_k \times 2$ 로 하고, k번째 단계에서 입력 포트에 들어오는 파장의 수는 k번째 단계의 동일한 출력 포트로나가는 파장 수의 2배로 가정한다. 그리고, C는 단계별로 계산하여 $2k-1$ 로 하고, 사용 입력 포트의 수 I는 WGR 크기의 1/2로 설정한다. k번째 단계에서 WGR 개수는 k+1 단계의 WGR 개수보다 적어야 하고, WGR의 크기는 k+1 단계의 WGR의 크기보다 크거나 같아야 한다. k가 $M_k \times N_k = U$ 인 마지막 단계이면 가입자의 단말인 ONU가 있는 다중 성형 광 가입자망

의 최종 단계가 된다. 또한, 입력되는 파장의 수가 C보다 커야 하는데, 이는 입력 파장이 동일하게 출력되는 것을 방지하고자 하는 것이다. 따라서, 각 단계에서의 $w_{in}/w_{out}=2$ 이어야 하고, $I \times w_{in} = M \times w_{out}$ 이 되며, 다음 단계의 구조를 정하기 위해서, 첫 번째 단계에서 결정된 결과를 반영한다. 즉, $U/(2 \times w_{in})$ 의 값에서 약수 집합 쌍이 다음 단계의 (N, I)값이 된다. w에 따라서 단계의 수가 변경되는데, 단계의 수 k는 $k = \log_2 w$ 와 같이 정의할 수 있다.

가입자의 수 8, 파장의 수 4, WGR의 크기가 4인 광가입자망을 설계하면 그림 5와 같다.

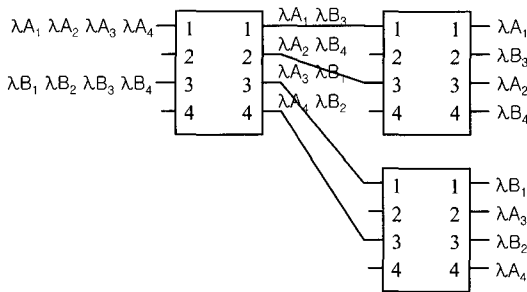


그림 5. 다중 성형 광 가입자망의 구성 예
Fig. 5. An example of a multistar optical access network.

2. 노드의 복구 방안 제안

복구 방법은 보호 대상에 따라 크게 트래픽 복구와 설비 복구로 구분된다. 트래픽 복구는 교환 망에 적용되는 기술로서 장애가 발생한 회선 주위의 트래픽을 다른 회선으로 라우팅하여 복구를 수행한다. 설비 복구는 전송망 설비에 적용되는 기술로서 장애가 발생한 회선 주위를 라우팅하여 복구한다. 설비 복구는 트래픽 복구 방법보다 적은 동작을 필요로 하므로 짧은 시간에 많은 서비스들을 복구할 수 있으므로 광 케이블의 전송 시스템에 적합한 복구 방법이다^[8].

성형 구조는 모든 노드들이 각각의 링크를 통해서 중심의 노드에 연결되는 망 구조이다. 만일 중심 노드에 이상이 생기면 그 노드에 연결된 노드들이 심각한 영향을 받을 수 있다. 마찬가지로 WDM-PON의 다중 성형구조도 첫 번째 WGR의 역할이 매우 중요하다. 만일 첫 번째 WGR에 장애가 발생이 된다면 전체의 가입자에게 심각한 영향을 주게 되므로 첫 번째 WGR 장애에 대한 대비책을 우선적으로 고려되어야 한다.

본 논문에서는 보호 WGR을 추가하여 첫 번째 운용 WGR 및 링크 장애, 단계 3 이상에서 단일 링크 장애에 대한 설비 복구와 방법을 제안한다. 복구 동작은 장애가 발생한 경우 최종 가입자 단의 ONU에서 수신된 운용 파장과 보호 WGR을 통하여 전송된 보호 파장 중에서 신호 상태가 양호한 파장을 선택함으로써 서비스의 연속성을 보장할 수 있다. 복구가 가능한 WDM-PON 설계의 제안 알고리즘은 다음과 같다.

- i) 1단계의 파장 수, WGR의 수, C를 설정한다.
- ii) 입력 포트의 수 $I_1 = U/w$ 를 설정한다.
- iii) 다음 단계의 (N, I)쌍은 $U/(2 \times w)$ 에 의해서 약수 쌍을 구할 수 있다.
- iv) 운용(working) WGR구조와 동일한 형태의 보호(Protection) WGR을 설정한다.
- v) 보호 WGR의 입력을 운용 WGR의 입력과 다르게 짝수 입력 포트에 설정한다.
- vi) 보호 WGR의 출력을 단계 2의 짝수 입력으로 연결한다.
- vii) 운용 WGR의 출력을 단계 2의 홀수 입력으로 연결한다.
- viii) WGR의 크기인 $M_k = I_k \times 2$ 를 설정한다.
- ix) $C_k = 2$ 로 한다.
- x) WGR의 수를 설정한다.
- xi) 입력 포트의 수를 설정한다.
- xii) 마지막 단계($K = \log_2 w$)가 아니면 viii~xi과정을 되풀이한다.

단, 마지막 단계 K에서 $M_K \geq \frac{w}{2}$, 마지막 전단계 K-1에서 $M_{K-1} > \frac{w}{2}$ 이어야 한다.

제안 알고리즘의 연결 단계를 나타내면 다음과 같다.

가. 단계 1

1) 입력

① 운용 WGR

$$i = 2n - 1 \quad n \in \left[1, \frac{M_1}{2} \right]$$

M1: 단계1의 WGR 크기

② 보호 WGR

$$i = 2n \quad n \in \left[1, \frac{M_1}{2} \right]$$

2) 출력

$$j = 1 + (i - 1 + (f - 1)) \bmod M_1,$$

$i \in [1, \frac{U}{f}]$, U : 가입자의 수, f : 파장 번호

나. 단계 2

1) 입력

$$n i_{2k-1} = j_{\text{worK}(n-1) - \frac{M_2}{2} + k}$$

$$n i_{2k} = j_{\text{protect}(n-1) - \frac{M_2}{2} + k}$$

$$k \in [1, \frac{M_2}{2}], n \in [1, N_2],$$

$$N_2 = \frac{M_1}{I_2}$$

M2: 단계 2의 WGR 크기

N2: 단계 2의 WGR 수

I2: 단계 2에서 각 WGR의 입력 수

2) 출력

$$j = 1 + (i - 1 + \lfloor \frac{f-1}{C_2} \rfloor) \bmod M_2$$

$$C_2 = \frac{N_2 \times I_2}{I_1}$$

I1: 단계 1에서 WGR의 입력 수

C2: 단계 2에서 파장의 조합 크기

다. 단계 m ($m \in [3, K]$, $K = \log_2 w$)

1) 입력

$$n i_{m(2k-1)} = j_{(m-1)((n-1) - \frac{M_m}{2} + k)}$$

$$k \in [1, \frac{M_m}{2}], M_m = 2 \times I_m$$

$$n \in [1, N_m], N_m = \frac{N_{m-1} M_{m-1}}{I_m}$$

Mm: 단계 m의 WGR 크기

Nm: 단계 m의 WGR 수

Mm-1: 단계 m-1의 WGR 크기

Nm-1: 단계 m-1의 WGR 수

I_m: 단계 m에서 각 WGR의 입력 수

2) 출력

$$j_m = 1 + (i_m - 1 + \lfloor \frac{f-1}{C_m} \rfloor) \bmod M_m$$

im: 단계 m에서 입력 포트

Cm: 단계 m에서 파장의 조합 크기

IV. 결과 및 경제성 분석

제안한 알고리즘을 적용하여 생존성이 있는 광 가입

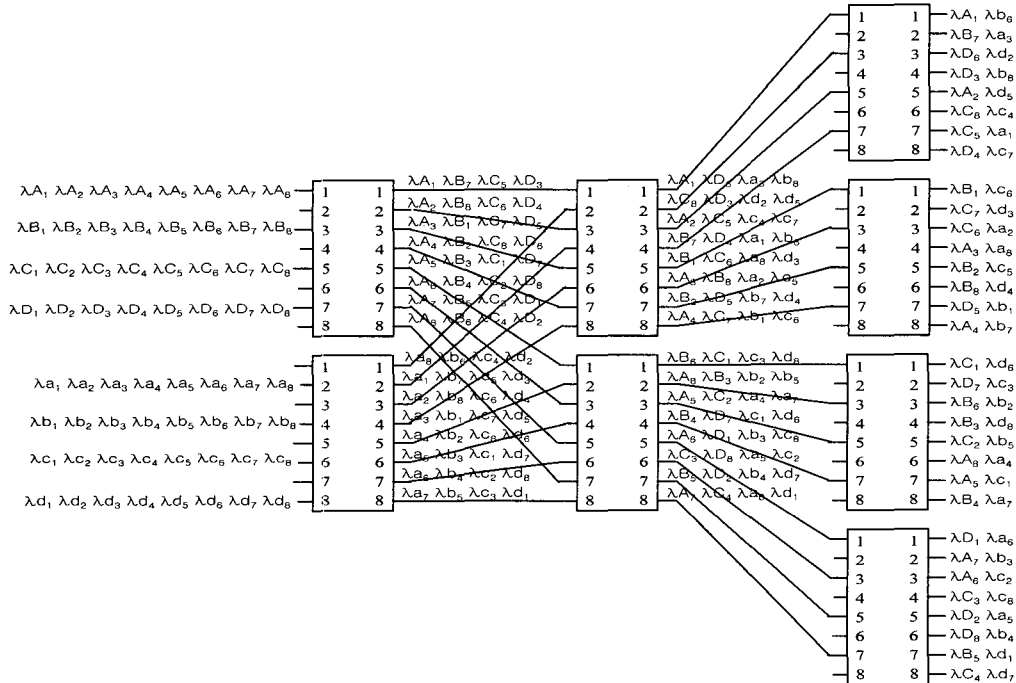


그림 6. 보호 절체를 갖는 성형 광 가입자망의 구성 설계 예

Fig. 6. An example of survivable multistage star optical access network.

자망을 설계한 예를 그림 6에 나타내었다. 이 결과는 가입자의 수 32, 파장의 수 8, 입력 포트의 수 4, 단계 1에서 3까지의 WGR 크기 8, 단계 3에서 C는 2로 한 파라미터를 적용하여 구성한 것이다. 라우팅을 하여 각 가입자에게 할당된 파장에서 각 가입자마다 운용 파장(대문자 표기)과 보호 파장(소문자 표기)이 도달되고 있는 것을 알 수 있다. 이와같이 각 가입자는 운용 링크 크로 입력된 운용 파장과 보호 링크로 입력된 보호 파장으로 구성되어 있어 첫 번째 WGR로 입력되는 운용 링크 전체 장애(그림 7, 9), 운용 WGR 장애(그림 8)가 발생되더라도 보호 파장으로 절체되어 생존성을 갖게 된다. 또한, 각 가입자에게 배정된 파장은 각각 다른 경로의 링크를 통하여 전달되기 때문에 단일 링크의 장애(그림 10)가 발생되더라도 서비스의 연속성이 보장됨을 알 수 있다.

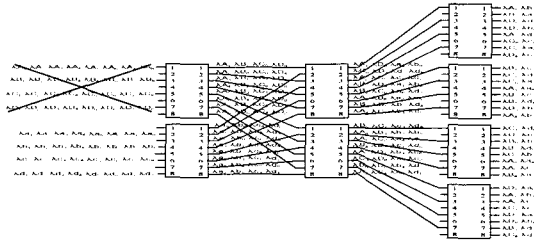


그림 7. 운용 링크장애의 경우
Fig. 7. A case of working link failure.

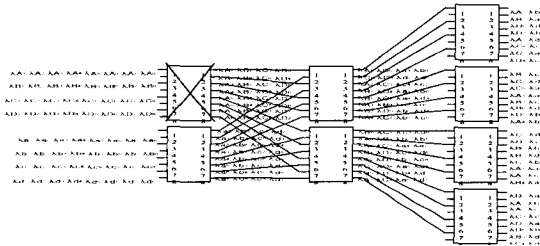


그림 8. 첫째 운용 WGR 장애의 경우
Fig. 8. A case of failure of the working WGR.

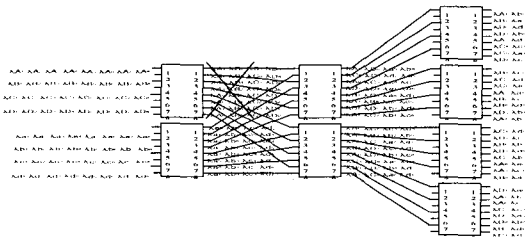


그림 9. 단계 1과 단계 2사이의 링크장애
Fig. 9. A case of link failure between stage 1 and stage 2.

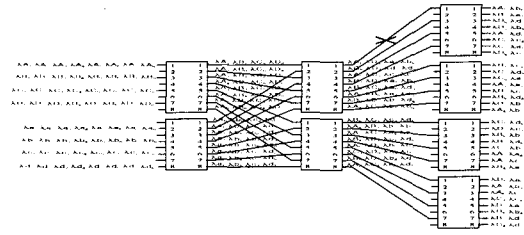


그림 10. 단계 3의 단일 링크장애
Fig. 10. A case of working single link failure at stage 3.

경제성 분석을 위하여 CO에서 ONU까지의 거리는 1.57km로 하고 표 1과 같이 구분하여 적용하였으며, WGR비용은 표 2를 적용하여 계산하였다⁷⁾.

케이블비용은 km당 2,000\$로 하였고, 설치비용은 15,000\$로 하였으며^[10], WGR까지의 케이블은 8코어를 한 묶음으로 하여 설치비용을 계산하였고, OLT와 ONU의 비용은 고려하지 않았다.

표 1. 단계별 거리 (단위:m)
Table 1. Link length(meter).

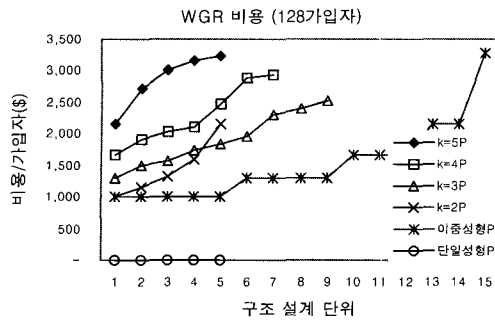
WGR단계 수	1	2	3	4	5
1	1,000	570			
2	1,000	400	170		
3	1,000	400	100	70	
4	1,000	400	100	50	20

표 2. WGR 비용 (단위: \$)
Table 2. WGR cost(\$).

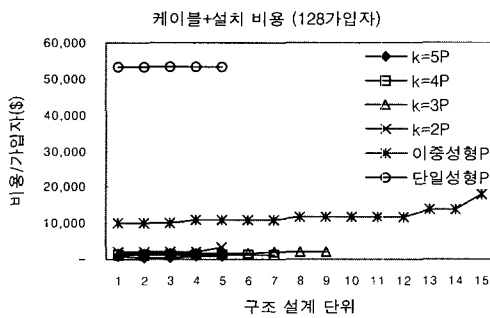
WGR크기	4	8	16	32	64
가 격	6,580	8,660	13,320	20,840	32,000

가입자의 수를 128로 설정하여 각 구조별로 비용을 산출한 결과(그림 11)에 의하면,

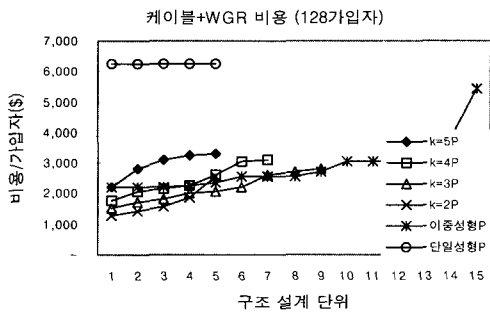
- i) WGR 비용이 단일 성형에서는 발생되지 않으며, 이중 성형, 다중 성형(단계 k=2, 3, 4, 5) 순서로 증가한다.
- ii) 케이블 및 설치 비용은 다중성형(k=5, 4, 3, 2), 이중 성형, 단일 성형 순서로 증가한다.
- iii) WGR 및 케이블 비용은 다중 성형(k=2, k=3, k=4) 이중 성형, 다중 성형(k=5), 단일 성형의 순서로 증가한다.



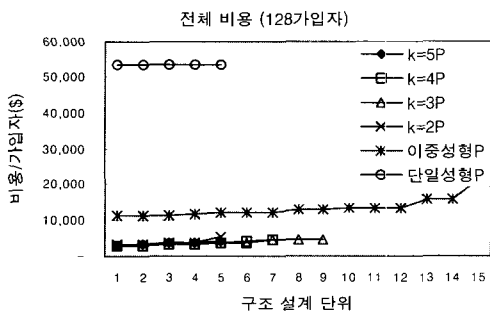
(a) WGR 비용/가입자



(b) 케이블 및 설치 비용/가입자



(c) WGR 및 케이블 비용/가입자



(d) 전체 비용/가입자

그림 11. 보호절체를 고려한 구조별 광 가입자망의 구성 비용

Fig. 11. Cost per user of the architectures for the survivability in a multistage optical access network.

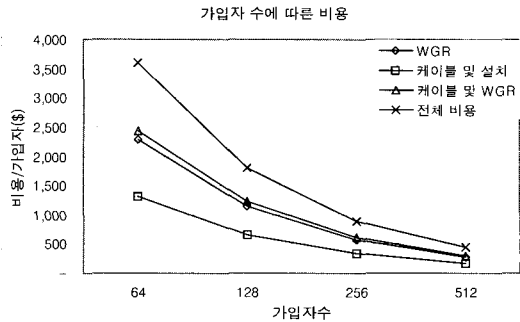


그림 12. 가입자의 수에 따른 광 가입자망의 구성 비용
Fig. 12. Comparing the cost per user among the number of user for a optical access network.

iv) WGR, 케이블 및 설치 등의 전체 비용은 다중 성형(k=4, k=3, k=5, k=2), 이중 성형, 단일 성형 순서로 증가한다.

결과에 의하면 다중 성형에서 단계 k=4의 구조가 가장 경제적인 것으로 분석되었다. 또한, 가입자의 수에 따른 광 가입자망의 경제성은 그림 12에 나타난 것과 같이 가입자의 수가 증가할수록 급격하게 감소하므로 가입자의 수가 클수록 보다 경제적인 가입자 망의 구성이 가능함을 알 수 있다.

VI. 결론

본 논문에서 대용량의 정보를 초고속으로 전달할 수 있는 광 가입자망을 구성하는데 있어, 생존성을 고려하여 WGR을 이용한 다중 성형 구조의 광 가입자망 설계 알고리즘을 제안하였다. 제안 알고리즘을 이용하여 가입자의 수에 따라 조절 가능하고 첫 번째 WGR의 장애에 대한 문제를 보완한 다중 구조의 가입자망이 효율적으로 설계될 수 있다. 보호 WGR의 추가에 따른 비용은 다소 상승하나 신뢰성을 고려해 본다면 대용량의 데이터를 가입자에게 보다 안정적으로 전달할 수 있다는 중요한 이점이 있다. WDM-PON의 구조가 현재의 다중 성형 구조가 아닌 다른 토폴로지로 구성되는 경우 다른 영역의 첫 번째 WGR로 사용될 수 있다. 즉, 운용 WGR역할과 보호 WGR 역할을 겸용하여 사용할 수 있다. 이에 따라 WGR의 비용 부담이 크게 적어질 것이므로, 첫 번째 WGR을 보호 절체하는 WDM-PON 구조는 경제성과 생존성 면에서 상당한 장점을 갖는다. 제안한 알고리즘으로 광 가입자망의 구성요소를 결정

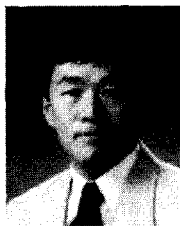
하였으며 광 가입자망에 대한 생존성을 고려한 광 가입자망 구성 방안을 연구함으로써 신뢰성있는 광 가입자망 구축 방향을 제시하였다. 설계 결과에 의하면 첫 번째 운용 링크 전부 및 WGR에서 발생한 장애, 또는 단계 2 이후의 단일 링크 장애에 대한 보호가 완벽하게 이루어 짐을 알 수 있었고, 가입자의 수를 증가시킬수록 보호 절체가 없는 광 가입자망 구축 비용의 차이가 감소됨으로써 가입자가 많은 경우에는 경제적인 광 가입자망 구축이 가능하다. 따라서 제안한 알고리즘을 이용하면 경제적이고 신뢰성있는 파장분할 다중화 광 가입자망을 설계할 수 있을 것으로 판단되며, 향후 광 기술의 발전으로 더 많은 포트의 수를 가진 WGR이 제조됨으로써 적은 비용으로 보다 많은 가입자를 수용하고 신뢰성을 갖는 광 가입자 망 구조를 설계할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] Babul Miah and Laurie Cuthbert, "An Economic ATM Passive Optical Networks," IEEE Commun. Magazine, pp. 62~68, March 1997.
 [2] G.V.Plas, I.Voorde, "The Evolution of the Optical Access Network and the Related Technical Issues," SPIE Vol. 2614, pp. 296~303, 1995.
 [3] Ingrid Van de Voorde and Gert Van der Plas, "Full Service Optical Access Networks: ATM

Transport on Passive Optical Networks," IEEE Commun. Magazine, pp. 70~75, April 1997.
 [4] C.L.Driel, P.M.Grinsven, V.Pronk, W.A.Snijders, "The Revolution of Access Networks for the Information Superhighway," IEEE Commun. Magazine, pp. 104~112, June 1997.
 [5] C.Plaats, P.Vetter, W.Parys, "Advanced and Evolution Friendly Deployment of Fiber in the Access Network," BAE Guideline G1 Group BA,http://www.uk.infowin.org/ACTS/ANALYSYS/CONCERTATION/beal-g1.htm, June 1997.
 [6] Y.Mochida, "Technologies for Local-Access Fiberling," IEEE Commun. Magazine, pp. 64~73, Feb. 1994
 [7] G.Maier, M.Martinelli, A.Pattavina, E.Salvadori, "Multistage WDM Passive Access Networks : Design and Cost Issues," IEEE ICC'99, pp. 1707~1713, 1999.
 [8] Tsong-Ho Wu, "Fiber Network Service Survivability", Artech House, Boston, 1992.
 [9] D.zhou, S.Subramaniam, "Survivability in Optical Networks", IEEE Network, Vol. 14, issue 6, pp. 16~23, Nov/Dec. 2000.
 [10] A.H.Tan, "SuperPON - A Fiber to the Home Cable Network for CATV and POTS/ISDN /VOD as Economical as a Coaxial Cable Network," IEEE Journal of Lightwave Tech. Vol. 15 No.2, pp. 213~218, Feb. 1997.

저 자 소 개



崔漢奎(正會員)

1982년 2월 : 고려대학교 전자공학과 졸업 공학사. 1984년 2월 : 고려대학교 전자공학과 졸업 공학석사. 2002년 2월 : 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부 공학박사. 1984년 1월~1995년 2월 : LG정보통신 중앙연구소 선임연구원. 1995년 3월~현재 : 주성대학 디지털정보통신공학과 부교수. <주관심분야 : 광통신망, 가입자망, 정보통신망>

姜安求(正會員)

1982년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 졸업 공학사. 1984년 8월 : 고려대학교 전자공학과 졸업 공학석사. 2000년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 공학박사. 1994년 3월~현재 : 주성대학 디지털정보통신공학과 부교수. <주관심분야 : SI, 광통신망, 가입자망, 통신망>

趙圭燮(正會員)

1974년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 공학사. 1976년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 공학석사. 1989년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 공학박사. 1973년 3월~1992년 2월 : 한국전자통신연구소 연구위원. 1992년 3월~현재 : 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수. <주관심분야 : 통신망관리, 광전송기술, B-ISDN>