

자기치유 다중 링을 이용한 전광 전달망의 설계

정회원 안기석*, 정노선**, 홍상기***, 홍종일****, 강철신****

Design of an All-Optical Transport Network using Multiple Self-Healing WDM Rings

Ki-Seok Ahn*, No-Seon Jung**, Sang-Kee Hong***, Jong-Ill Hong****, Cheoul-Sin Kang****

Regular Members

요 약

파장 분할 다중화(WDM) 전광 통신망은 다양한 멀티미디어 서비스를 수용할 수 있는 차세대 기간망으로 활용될 것으로 예상되고 있다. 본 논문에서는 다중 자기치유 링 기술을 이용한 WDM 전광 통신망의 구성방안을 도출하였다. 도출된 다중 자기치유 WDM 링 통신망은 자기치유 링 구조가 가지고 있는 망의 확장성과 대역폭의 효율적 이용이 가능하며 시스템이 간단해 망 제어 및 유지관리가 용이하다. 제안된 통신망의 링크용량 결정을 위하여 Population-Distance-Information(PDI) 트래픽 모델을 사용하였다. PDI 모델은 인구, 거리, 정보화 지수를 이용하여 광역중계국간의 트래픽을 예측하는 기법이다. PDI 트래픽 모델을 통하여 2010년대의 트래픽을 예측하고, 다중 자기치유 링을 사용한 균형 잡힌 WDM 전광 전달망을 설계하였다. 도출된 망의 성능특성을 고찰하기 위해 SLAM II(AWESIM)를 사용하여 시뮬레이터를 구성하였으며 이를 사용하여 망의 성능특성을 고찰하였다. 본 연구결과는 향후 WDM 전광 전달망의 구축시 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

ABSTRACT

In these days, wavelength division multiplexing(WDM) all-optical networks are being deployed to support various multimedia communication services. In this paper, a design of an all-optical WDM backbone network has been proposed by using multiple self-healing ring technology. The proposed multiple self-healing ring network improves network expandability and efficiency of bandwidth, while it retains simplicity and ease of network control, which are from the nature of self-healing rings. In order to determine the link capacity between the regional centers(nodes) within the proposed transport network, the Population- Distance-Information(PDI) traffic model has been devised. By applying the PDI traffic modeling technique, a well-balanced all-optical backbone network using multiple self-healing rings is designed for the 2010s in Korea. In order to observe performance characteristics of the proposed transport network, a simulator was developed using SLAM II(AWESIM) simulation language. The simulation results shows a well balanced load sharing of the network. The results form this research may be utilized when an All-Optical WDM transport network is installed in Korea.

I. 서 론

향후 2010년대의 차세대 통신망은 기존의 음성뿐

만 아니라 전자우편, 전자상거래, 화상회의, DB 검색, 영상을 포함한 새로운 응용 서비스 등의 멀티미디어 서비스가 요구됨에 따라 통신망의 대용량화, 고속화가 요구된다. 그러므로 현재의 전달망용 이용

* (주)우성사료(ckang@eve.hannam.ac.kr)

** 하이컴정보통신

*** 유광정보통신

**** 한남대학교 전자공학과 통신망연구실

논문번호 : 99378-0913, 접수일자 : 1999년 9월 13일

* 본 논문은 한국과학재단(97 특정기초연구)에 의해서 지원된 연구 결과입니다.

한 통신서비스는 한계에 이를 것으로 예상된다. 그림 1은 미국에서의 음성 트래픽과 데이터 트래픽의 증가율의 예상값을 보여주고 있다. 미국의 경우 1997년 데이터 트래픽이 음성 트래픽을 초과하여 2000년경에는 음성 트래픽의 5배, 2005년에는 23배에 달할 것으로 예측하고 있다.

우리 나라의 경우에는 약 2004~2005년경에 음성 트래픽이 데이터 트래픽과 같아질 것으로 예측되며, 2010년경의 전체 트래픽 양은 현재 트래픽의 약 30배 이상 될 것으로 예측된다. 따라서 이와 같이 급증하는 멀티미디어 데이터를 수용하기 위해서는 광대역 전송이 가능한 WDM 전광 통신망의 구현이 필수적이다^[1].

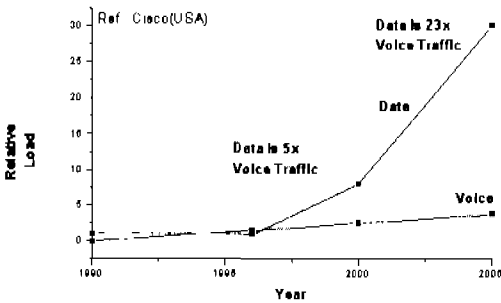


그림 1. 트래픽 예측(미국)

통신망이 대용량화 및 초고속화 됨에 따라 서비스 품질 안정적으로 제공할 수 있는 생존성(Survivability)을 높이는 것이 중요하다. 전송망의 생존성을 높이기 위한 방법으로 자기치유 기능을 지닌 자기치유 링(Self-healing Ring) 통신망과 Digital Cross-connect System(DCS) 시스템을 채용하는 자기치유 mesh망이 있다^[2]. 최근에 광 전송망 구조로 널리 사용되고 있는 SONET 링 구조에 WDM 기법을 적용함으로써 간단한 물리적 토폴로지도 경제성 있는 전송망을 구성할 수 있다. 본 논문에서는 자기치유 Mesh 망에 비하여 복잡한 라우팅 정책이 요구되지 않고, 시스템 하드웨어가 간단하여 복구가 신속한 자기치유 링 구조를 이용한 전광 전달망의 구조를 제안하였다. 제안된 전달망은 기본적으로 전체 통신망을 대규모의 단일 링 대신에 적은 수의 노드를 포함하는 소규모의 링들로 복합 구성한 다중 링 구조를 가진다. 각 링은 다른 링들로부터 독립적으로 운용, 관리되며, 전체 제어 시스템의 통제를 받는다. 또한, 본 논문에서는 WDM 다중 링 구성비용을 최소화하고, 경제성 있는 효율적인 파장할당을

위한 파장할당 알고리즘을 고안하였다. 고안된 알고리즘과 트래픽 모델을 적용하여 2010년대를 위한 망 구성 방안을 도출하고 시뮬레이션용 모형에 그 성능특성을 고찰하여 보았다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 PDI 트래픽 모델을 설명하고, 3장에서 제안된 전광 전달망의 구조와 균형 있는 파장할당은 위한 파장할당 알고리즘을 고안하여 자기치유 링 구조를 갖는 WDM 전광 전달망을 설계하였다. 4장에서는 시뮬레이션을 통하여 설계된 전광 전달망의 성능 특성을 고찰하였다. 그리고 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 트래픽 모델링

트래픽 예측은 전달망의 구조설계 및 링크 용량의 결정을 위한 가장 중요한 변수중 하나이다. 그러나, 현재 우리 나라에서는 실제 각 주요 중심국간의 트래픽의 통계값을 구할 수 없기 때문에 본 장에서는 우리 나라 환경에서 사용 가능한 PDI 트래픽 모델을 제안하였으며, 이를 사용하여 주요 중심국간의 트래픽 값을 예측하고 최적 전달망을 구성할 수 있도록 적용하였다.

1. 기존 트래픽 모델링 기법

트래픽 예측의 대표적 기법에는 COST239 Project에서 제안한 Population-Distance(PD) 트래픽 모델^[3]과 Population-Distance-Factor(PDF) 트래픽 모델링 기법^[4], 그리고 이들을 발전시킨 Population-Distance-Gross Group Product (PDG) 트래픽 모델링 기법이 있다^[5]. PD 트래픽 모델링 기법은 단순히 인구와 거리의 비율로 데이터의 송수신량을 예측하는 기법이다. PDF 트래픽 값은 PD 트래픽 값에 각각의 노드의 트래픽 보정치인 Penetration Factor를 적용하여 PD 트래픽 모델의 오차값을 보정한 것이다. 따라서 PDF 트래픽 모델의 값이 실제의 값과 유사한 값을 얻을 수 있으나, Penetration Factor를 적용하기 위해서는 실제 트래픽 통계치가 필요하다. 실제 트래픽은 알지 못한 경우 근사한 각 지역간의 트래픽 예상값이 필요하다. PDG 트래픽 모델링 기법은 Penetration Factor로 사용 가능한 실제 트래픽 통계값이 없을 때 광역 그룹의 경제활동이 활발하면 트래픽 발생률이 높을 것이라 가정하고 각 그룹별 지역의 1인당 경제 총생산액의 비로 얻은 G Factor를 각 노드간의 트래픽 보정값으로 부여하는 트래픽 모델링 기법이다.

2. PDI 트래픽 모델링

다가오는 2000년대에는 정보화 혁명으로 인하여 인터넷 서비스 및 각종 유무선 멀티미디어 통신 서비스가 본격적으로 사용될 것으로 예측되기 때문에, 트래픽 모델링시 각 지역의 정보화 지표물 적용함으로써 기존의 트래픽 모델들보다 더 우수한 트래픽 값을 예측할 수 있을 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 여러 가지 정보 지표들을 종합적으로 검토하여 통계물 낸 각 지역의 정보화 지수를 적용하는 Population-Distance- Information(PDI) 트래픽 모델링 기법을 고안하고, 이를 토대로 각 지역의 트래픽 값을 예측하였다. 2000년대에는 정보화의 정도에 따라 트래픽의 발생량이 좌우될 것으로 예측되기 때문에 정보화 지표물 이용한 PDI 트래픽 모델링을 통하여 예측한 트래픽 예측 값이 기존의 트래픽 모델들로부터의 트래픽 예측 값에 비해 실제 트래픽에 더 근사할 것으로 예측된다. 정보화지수는 정보화의 최고 수준을 $I(t)=1$ 이라는 가정을 두고 각 해당 년도의 1인당 정보 이용량, 정보 장비율, 정보관련종사자수, 매스컴보급수준, 정보공급수체수준 등의 각 지표물 종합하여 작성되었다⁶⁾. 이 정보화 지수는 여러 가지의 정보 지표물 종합적으로 검토해 통계물 낸 것으로 각 지역의 정보화 수준을 측정하는데 사용된다. PDI 트래픽 모델은 다음 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{s,t} = k \frac{P_s I_s P_t I_t}{Dist_{st}} \quad (1)$$

표 1. PDI 모델에 따른 구간별 채널 할당

송신노드	수신노드	인구 (백만)	거리 (km)	정보화지수 (I)	r	전구분용량 (%)	지구분용량 (%)	이송용량 (G=222)	10G 채널수
서울	대전	4,605	141	0.70	0.382	13.46%	28.14%	382	39
	대구	5,291	233	0.86	0.305	10.78%	20.90%	305	31
	부산	8,894	323	0.80	0.311	10.98%	21.30%	311	32
	광주	6,013	269	0.74	0.285	9.38%	18.18%	285	27
	제주	1,531	98	0.64	0.197	6.97%	13.61%	197	20
대전	서울	21,389	141	0.91	0.093	2.22%	28.57%	63	7
	대구	5,291	117	0.86	0.082	1.83%	24.20%	52	6
	부산	8,894	199	0.80	0.088	1.27%	18.81%	38	4
	광주	6,013	138	0.74	0.044	1.54%	20.42%	44	5
	제주	1,531	129	0.64	0.019	0.62%	8.89%	19	2
대구	서울	21,389	233	0.91	0.071	2.49%	20.03%	71	8
	대전	4,605	117	0.70	0.072	2.65%	20.60%	72	8
	부산	8,894	96	0.80	0.130	4.61%	37.06%	130	13
	광주	6,013	172	0.74	0.068	2.07%	18.61%	68	6
	제주	1,531	177	0.64	0.020	0.72%	5.81%	20	2
부산	서울	21,389	323	0.91	0.114	4.02%	21.70%	114	12
	대전	4,605	199	0.70	0.079	2.80%	16.17%	79	8
	대구	5,291	96	0.86	0.208	7.28%	39.48%	208	21
	광주	6,013	193	0.74	0.101	3.57%	19.30%	101	11
	제주	1,531	273	0.64	0.022	0.78%	4.28%	22	3
광주	서울	21,389	269	0.91	0.091	2.14%	23.73%	81	7
	대전	4,605	138	0.70	0.090	2.13%	23.61%	80	7
	대구	5,291	172	0.86	0.098	2.04%	22.67%	88	8
	부산	8,894	193	0.80	0.088	2.23%	24.73%	83	7
	제주	1,531	289	0.64	0.013	0.47%	5.28%	13	2
제주	서울	21,389	98	0.91	0.010	0.36%	37.80%	10	1
	대전	4,605	129	0.70	0.008	0.21%	22.23%	6	1
	대구	5,291	177	0.86	0.004	0.16%	16.66%	4	1
	부산	8,894	273	0.80	0.003	0.11%	11.78%	3	1
	광주	6,013	269	0.74	0.003	0.10%	11.25%	3	1

여기서 k 는 적절한 상수값이며, P_s 와 P_t 는 송신 노드와 수신 노드 각각의 인구, $Dist_{st}$ 는 송신 및 수신 노드간의 거리, I_s, I_t 는 송신 노드와 수신 노드 각각의 I Factor 이다. 현재 서울-대전 구간에 설치된 약 60Gbps의 전송로가 현재의 트래픽을 충분히 수용한다고 가정하고, 향후 2010년대의 트래픽을 위하여 상수 k 값을 1000(이 경우, 현재 포설된 용량에 약 30배임)으로 가정하여 우리 나라 트래픽 용량을 추정하였다. 주어진 식 (1)을 이용하여 인구, 거리, 정보화지수에 따른 각각의 노드에서 각 수신노드에 대한 트래픽 발생 비율과 필요 용량에 맞추어 10Gbps 채널을 사용하는 것으로 가정하여 채널 수를 계산하면 표 1과 같다.

III. 한국 실정에 적합한 Multi Self-Healing Ring 전광 전달망 구성

본 논문에서는 향후 2010년대에 초고속 광대역 서비스를 제공하기 위하여 전국을 6개의 광역 그룹으로 분류하고, 각 그룹에서 가장 인구가 많은 도시인 서울, 대전, 대구, 부산, 광주, 원주를 기간망의 광역 중계국 노드(regional center)로 설정하였다. 각 광역 중계국 노드는 각 그룹의 하위 중계국과 연결되며 전체 노드의 수는 현재 우리 나라 초고속정보통신망⁷⁾에서의 노드 구성과 같은 35개의 노드로 구성되는 것으로 가정하였다. 제주도는 광주권 광역중계국에 연결되어 있는 것으로 가정하였다.

1. Multi Self-Healing Ring 구성방안

현재 구성 되어있는 광전송망의 경우 동기식 광전송 기술(Synchronous Digital Hierarchy :SDH) 혹은 Synchronous Optical Network (SONET)을 사용하고 있으며 지능화된 전송설비들의 출현으로 인하여 매우 빠르게 발전하고 있다. 통신망이 발전할수록 중요하게 고려되어지는 생존성의 문제에서도 동기식 광전송 기술은 Self-Healing 방식으로 간단히 구성할 수 있다⁸⁾. 이처럼 생존성을 가진 경제적인 광전송망의 구축은 기존의 광전송망에 WDM 기술을 적용함으로써 구축이 가능하다.

SHR(ADM-SHR)로 구성되는 망 구조는 광신호(트래픽)의 방향에 따라 Unidirectional SHR(USHR)과 Bidirectional SHR(BSHR)로 구분된다. BSHR 구조는 다시 구성되는 광케이블 수와 방식에 따라 BSHR/2와 BSHR/4로 구분된다⁸⁻¹⁰⁾. BSHR/4 구조는 Time Slot Assignment(TSA) 기술을 적용하는

Add Drop Multiplexer(ADM)를 고려하는 경우로서, 2개의 광케이블에 의한 운용회선과 2개의 예비회선으로 구성된다. BSHR/2구조는 Time Slot Interchange(TSI) 기술을 적용하는 ADM을 고려하는 기술로 두 개의 광케이블이 각각 운용회선과 예비회선으로 사용되는 방식이다. 케이블 소요량은 BSHR/4방식이 더 많지만 ADM 장비 가격은 TSI를 채택하는 BSHR/2방식의 ADM장비가 더 비싸고 운영방식도 BSHR/2가 더 복잡하기 때문에 경제적인 망 구축을 위해서는 케이블 설치비용과 장비 가격, 시스템 운용측면 등의 관계를 분석하여야 한다. 전광 전달망을 구축하기 위해서는 다음의 사항들을 고려하여야 한다.

- (1) 링크 손실에 따른 대량의 정보 손실을 방지하기 위한 생존도 고려(물리적 경로).
- (2) 두 광역중계국 노드간 트래픽 수요를 서로 다른 2개의 경로로 설치할 관로망 설계.
- (3) 생존성이 고려되는 네트워크 구조 결정.
- (4) 노드들이 속해있는 행정구역, 지리적 특성, 대상 지역간의 트래픽 분포 등의 분석.

고속/광대역 통신을 위하여 국내에서는 이미 2000년대 초고속/광대역 통신망의 구현을 목표로 광전송망 구축이 활발히 진행 중에 있다.

이에 대한 시설 부지는 막대한 비용이 소요되므로 경제적인 광전송망 구축이 절실히 요구된다. 링 토폴로지 형태로 망을 구성할 경우 설정된 6개의 광역 중계국 노드들이 가질 수 있는 여러 가지의 링 네트워크 구조가 있을 수 있다. 다음 그림 2와 표 2는 네트워크를 구성하는 광역 중계국 노드가 6개이고, 노드간의 트래픽을 위하여 1개의 파장을 사용하며, 하나의 링 구조가 BSHR/4의 구조를 가진다고 가정하고 여러 가지의 경우에 대하여 비교하여 보여주고 있다.

SHR을 이용한 다중 링의 설계문제는 여러 가지 복잡한 변수들을 고려해야하는 매우 어려운 문제이다. 표 2에서 단일 SHR의 경우 광케이블의 소요는 가장 적지만 단일 링으로 구성함에 따라 여러 가지 구조 중 가장 많은 파장을 필요로 한다. 이는 대용량의 트래픽을 가지는 경우 제한된 링크로 인해 많은 파장이 필요하게 되고 고가의 ADM, OXC 등의 장비가 다량으로 필요함을 의미한다. 또한 망의 확장성에서 상당한 제한을 받는다. 반면에 4개의 SHR으로 구성되는 경우에는 망을 구성하는데 필요한 파장수는 감소되지만 케이블의 소요가 14(링 개수×링크 수)로 가장 많을 뿐만 아니라, 대부분의 노드

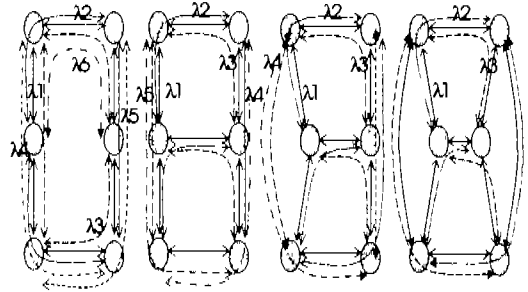


그림 2. 여러 가지 링 구성(1~4개 링으로 구성된 경우)방안 및 각각의 소요 파장

표 2. 여러 가지 링 구성에 따른 비교

Network 구조	교환 노드수	노드간 단위채널 사용시 소요파장	PDI 모델 적용최대 소요파장	광케이블 소요 (링수×링크)
단일 SHR	1	6	108	1×6 = 6
2개의 SHR	2	5	100	2×4 = 8
3개의 SHR	4	4	45	3+(2×4) = 11
4개의 SHR	6	3	41	(2×3)+(2×4) = 14

가 2개 이상의 링을 포함하게 되어 노드 구조가 복잡하며 비용도 증가하게 된다. 본 논문에서 이용한 우리나라의 PDI 트래픽 모델을 각각의 구조에 따라 적용한 예를 보면, 계산된 각 링크에 대한 최대 소요 파장이 단일 SHR과 2개의 SHR의 경우는 108개와 100개인데 반해 3개의 SHR을 이용하는 방안부터는 45개로 현저히 필요 파장수가 작아짐을 알 수 있다.

본 논문에서는 최적화 된 전광 전달망을 설계하기 위하여 시스템이 비교적 간단하고 적은 수의 노드에서 경제적인 BSHR/4 구조의 3개의 SHR을 이용하여 전광 전달망을 구성하는 것으로 가정하였다. 제한된 전광 전달망 구성 방안은 각 광역중계국 노드들의 지리적 여건(현재 및 건설중인 고속도로)과 트래픽 특성을 고려하고, 서로 다른 2개의 경로를 설치하기 위해 전국을 중부권과 남부권 그리고 서부권으로 구분하였다. 물리적인 경로인 관로는 현재 주요 고속도로를 이용하여 포설되어 있는 경부, 중부, 중앙, 호남, 서해안 고속도로의 기 설치된 광 관로망을 이용하는 것으로 가정하였다. 세안된 구조는 하나의 SHR으로 구성되는 것에 비해 소요되는 광케이블이 증대되는 단점이 있으나 고가의 ADM장

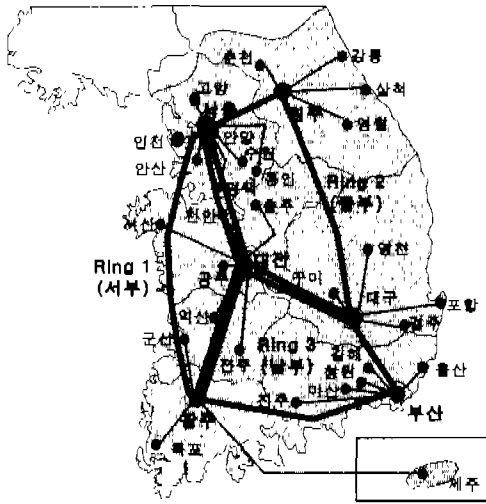


그림 3. 전체 광역 중계국 노드 구성

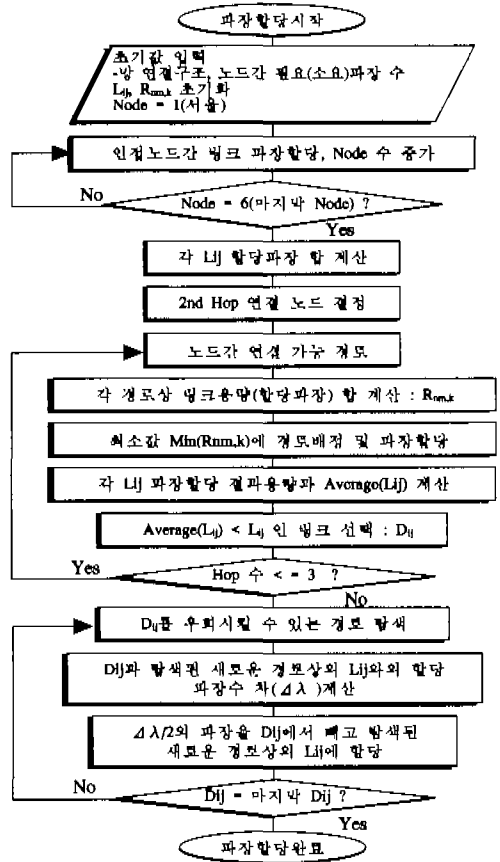
비율 줄일 수 있을 뿐만 아니라 운용 파장수를 현저하게 줄일 수 있고 두 개이상의 링크를 확보할 수 있어서 향후 파장 변환을 이용한 망의 진화에도 효과적으로 대처할 수 있다. 이처럼 대용량의 트래픽을 가지는 서울, 대전, 부산 등의 광역권을 서로 다른 링에 함께 구성함으로써 균형된 파장 할당이 가능하도록 하였다. 그림 3은 전체 광역 중계국 노드 구성의 예를 보여주고 있다.

2. 파장할당 기법

링 네트워크의 구조가 선택되면 주어진 트래픽에 대한 파장할당이 필요하다^[11,12]. 일반적으로 파장할당을 위해서는 먼저 물리적인 경로를 선택하고 트

표 3. 파장할당 알고리즘에 따른 각 노드간 파장할당

노드	링	Ring 1 (서부)					Ring 2 (중부)					Ring 3 (동부)				
		부산	대구	광주	대전	서울	부산	대구	광주	대전	서울	부산	대구	광주	대전	서울
서울	수신	10	12	13	14	11	14	13	12	10	11	12	13	14	15	16
	전송	30	30													
	여유	31	6	8		20	20									
	파장	40				20										
대전	수신	7														
	전송	6	0													
	여유	2	2	2												
	파장	5														
대구	수신	8		6	6		2	2								
	전송	9				0										
	여유	2		2												
	파장	13														
부산	수신	7														
	전송	7														
	여유	2														
	파장	7														
합	수신	43	14	14	6	46	28	11	9	11	39	24	12	18	14	28
	전송	40														
	여유	3														
	파장	11														



L_{ij} : 인접 노드(노드와 노드) 간의 링크
 $R_{max,k}$: n노드와 m노드간의 경로(k: 가능한 경우의 수)
 D_{ij} : 각 링크중 평균보다 할당파장이 큰 노드와 노드간의 링크

그림 4. 파장할당 알고리즘

래픽에 따른 파장이 할당된다. 본 연구에서는 물리적인 경로 선택에 최단거리 라우팅방법을 적용하였다. 각 중계국 노드들에서는 파장 변환을 하지 않는 것으로 가정하였다. 다중 링형 망에서의 파장할당 알고리즘은 그림 4와 같다.

그림 5는 파장할당을 위한 기간망의 구조를 10Gbps 채널로 구성되는 링크별로 나타내었다. 그림 5를 적용하여 그림 4와 같은 파장할당의 단계를 수행한 결과는 표 3과 같다.

3. Multi Self-Healing Ring 구성

그림 6과 그림 7은 본 논문에서 제안한 다중 자기치유 링(Multiple Self-healing Ring)의 교환 노드의 내부 구조를 보여주고 있다. 2개 이상의 링이 교차하는 서울, 대전, 광주, 대구 광역 노드의 경우 각각의 링에 연결된 ADM으로부터 신호를 주고(add) 받음(drop) 수 있으며 Line-to-Line 모듈(module)을

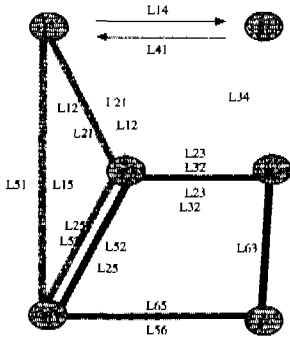


그림 5. 10Gbps 채널을 사용하여 구성된 기간망의 구조

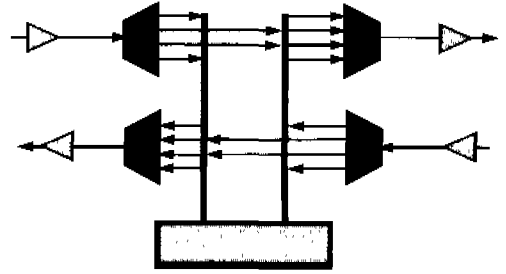


그림 8. 원주 노드에서의 ADM 구성

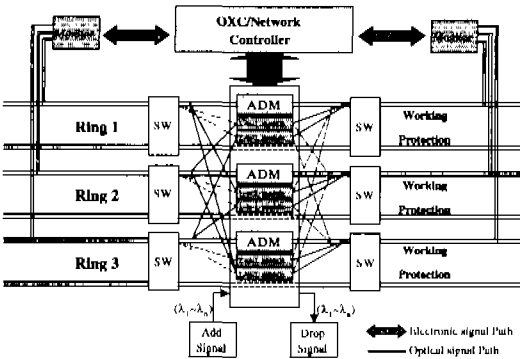


그림 6. 교환노드 구성(서울, 광주, 대구)

동해서 서로 다른 링으로 파장을 교환할 수 있다. 실선과 점선은 광신호의 방향이 오른쪽, 왼쪽임을 각각 나타낸다. 스위치 블록(SW)은 링크 또는 노드에 장애가 발생했을 때 운용회선과 예비회선간의 간단한 스위칭 작동만으로 신속한 복구를 해주는 장치로서 다중화기 및 역다중화기와 함께 구성된다. 그림 8은 나머지 노드(원주, 부산)들의 내부 구조를 보여주고 있다. 이들 노드는 다른 노드들에 비해 ADM만으로 구성되어 구조가 간단하다.

추후 전광 전달망 구축시 광 소자 및 관련기술의

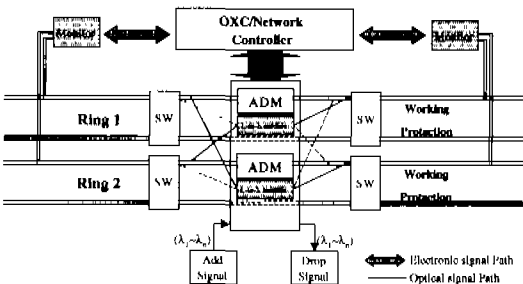


그림 7. 교환노드 구성(대전)

발전에 따라 WDM의 한 채널의 용량이 20Gbps~40Gbps로 될 수 있으나, 본 연구에서는 전광 전달망의 한 채널을 10Gbps로 가정하여 설계되었다. 표 4는 기간망 모델의 한 채널이 10Gbps일 때와 20Gbps일 때를 비교하여 유효용량을 나타내었다. 그림 9와 그림 10은 서울과 각 중계국노드간, 대전과 각 중계국 노드간의 유효용량을 비교하여 보여 주고 있다. 그림에서와 같이 주어진 트래픽 계산값에 대해 한 개 파장의 단위가 10Gbps인 경우에 20Gbps인 경우에 비하여 상대적으로 채널의 수는 많지만 더 효율적임을 보여 준다.

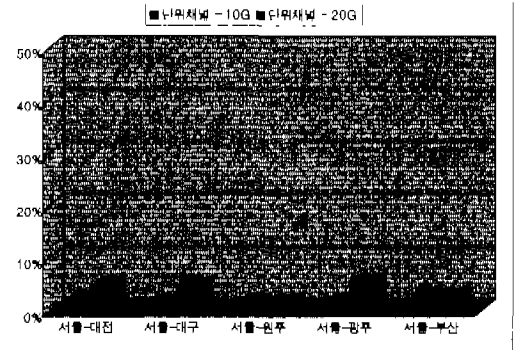


그림 9. 서울기점 각 광역노드간의 유효용량 비교

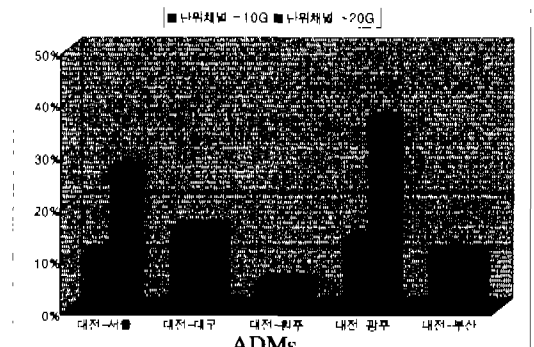


그림 10. 대전기점 각 광역노드간의 유효용량 비교

현재까지 포설되어 있는 기간망에서는 주로 회선 교환에 기초하여 망이 설계되어 있었기 때문에 각 노드간에 포설되어 있는 링크의 양방향 용량이 같도록 대칭적으로 포설되어 있으나, 향후 2000년대 중반 이후에는 트래픽 특성상 패킷 데이터(혹은 ATM 셀)가 트래픽의 대부분을 차지할 것이므로 본 연구에서는 각 광역 중계국 노드간에 예측되는 양방향 링크 용량에 맞추어서 파장채널의 수를 비대칭적으로 할당되었다. 제 2장에서 제안된 PDI 트래픽 모델의 T값을 이용하여 작성된 표 5는 각 중계국 노드간 송신채널의 수와 수신채널의 수가 각 방향에서 예측되는 트래픽 값에 따라 서로 다르게 비대칭적으로 할당되었음을 보여준다.

표 4. 단위채널(10G, 20G)에 대한 유휴용량

송신노드	수신노드	예상 트래픽	단위채널 10G 경우		단위채널 20G 경우	
			채널수	유휴용량	채널수	유휴용량
서울	대구	382	39	2.09%	20	4.71%
	대전	305	31	1.64%	18	4.92%
	광주	197	20	1.52%	10	1.52%
	부산	265	27	1.89%	14	6.86%
	전주	311	32	2.89%	18	2.89%
대전	서울	63	7	11.11%	4	28.89%
	대구	52	8	15.38%	3	15.38%
	광주	19	2	5.26%	1	5.26%
	부산	44	5	13.64%	3	36.36%
	전주	38	4	11.11%	2	11.11%
대구	서울	71	8	12.68%	4	12.68%
	대전	72	8	11.11%	4	11.11%
	광주	20	2	0.00%	1	0.00%
	부산	58	6	3.45%	3	3.45%
	전주	130	13	0.00%	7	7.89%
전주	서울	10	1	0.00%	1	100.00%
	대전	6	1	86.87%	1	233.33%
	대구	4	1	150.00%	1	400.00%
	광주	3	1	233.33%	1	566.67%
	부산	3	1	233.33%	1	566.67%
광주	서울	81	7	14.76%	4	31.15%
	대전	60	7	16.67%	3	0.00%
	대구	58	6	3.45%	3	3.45%
	부산	13	2	53.85%	1	53.85%
	전주	83	7	11.11%	4	28.89%
부산	서울	114	12	5.26%	6	5.26%
	대전	79	8	1.27%	4	1.27%
	대구	206	21	1.94%	11	6.80%
	광주	22	3	36.36%	2	81.82%
	전주	101	11	8.91%	6	18.91%

표 5. 각 중계국 노드별 채널 할당

송신 \ 수신	1	2	3	4	5	6	노드	송신 채널계
1		30	31	32	27	20	서울	149
2	7		6	4	5	2	대전	24
3	8	8		13	6	2	대구	37
4	12	8	21		11	3	부산	55
5	7	7	6	7		2	광주	29
6	1	1	1	1	1		전주	5
수신채널계	35	63	65	57	60	29		

IV. 성능분석을 위한 시뮬레이션 연구

본 장에서는 제 3장에서 설계된 우리 나라 실정에 맞는 SDH 기반의 다중 자기치유 WDM 광전

달망의 성능특성을 비교, 분석하기 위하여 시뮬레이션 모델을 설정하고 SLAM II 언어를 이용한 시뮬레이터를 구현하였다.

1. 시뮬레이션 모델 및 가정

전광 전달망의 성능평가를 위하여 다음의 구체적인 사항들이 시뮬레이션을 위하여 설정되었다.

- (1) 각 노드들에서의 데이터 발생은 포아송 프로세스(Poisson process)에 의한다.
- (2) 각 광역 중계국 노드에서의 데이터 발생 분포는 3절에서 제안된 PDI 트래픽 분포를 따르는 것으로 가정한다.
- (3) 데이터 메시지의 평균 길이는 3이며 지수분포에 따른다.
- (4) 블록킹된 데이터들은 재전송을 위하여 계속 전송을 시도하는 것으로 가정한다.

전광 전달망의 일차적인 관심사는 평균 전달 지연시간, 구간별 처리율의 포화점 등이다. 따라서 시뮬레이터는 설계된 다중 자기치유 WDM 전광 전달망의 성능 특성을 살펴 볼 수 있도록 평균 전달 지연시간(대기시간+데이터 전송시간)과 구간별 링크 이용률이 출력값으로 제공되도록 설계되었다.

2. 시뮬레이션 결과

상기와 같은 조건에서 6개 광역 중계국 노드들 연결하여 그림 3과 같은 기간망 모델로 시뮬레이션을 수행하였다. 일부 대표적인 시뮬레이션 결과들을 그림 11~그림 14에 도시하였다. 그림 11은 서울 기점 각 광역중계국간 트래픽 변화에 따른 평균 전달 지연시간을 보여주고 있으며, 그림 12는 서울 기점 각 광역중계국간 트래픽 변화에 따른 링크 이용률을 보여주고 있다. 그림 13과 그림 14는 대전 기점 각 광역중계국간, 그리고 대구 기점 각 광역중계국간의 평균 전달 지연시간 및 링크 이용률 특성을 보여주고 있다. 상기의 시뮬레이션 결과들로부터 다음의 사항들이 관찰되었다.

- (1) 그림 11과 그림 13에서, 제안된 다중 링 전달망의 안정상태(트래픽이 작은 경우)에서는 평균전달 지연시간이 대략 3정도이다. 이는 메시지 평균 전송 시간인 3 정도의 평균전달 지연시간에 기인한다.
- (2) 그림 11은 서울을 기점으로 한 각 중계국간의 평균 전달지연시간 측정치이다. 트래픽이 증가하여 평균 도착율이 65~75가 되면서 평균전달 지연시간은 급격히 증가하기 시작하여 도착시간 간격이 1/70~1/75이상이 될 때 모든 링크가 포화됨을 알 수 있다. 이는 서울을 기점으로 각 중계국 노드간의 송

수신에 필요한 채널 수가 트래픽 요구값에 잘 부합 되도록 할당되어 데이터들의 전달지연시간 특성이 고른 분포로 포화됨을 의미한다. 즉, 표 6과 그림 9에서 알 수 있듯이 링크 용량에 있어서 전체 트래픽에 비해 유휴용량이 상대적으로 작아 링크 용량 설정이 균형 있게 잘 이뤄졌음을 알 수 있다.

(3) 그림 12는 서울과 각 중계국 노드간의 링크 이용률이다. 모든 중계국과의 이용률이 동일하게 분포되어 있음을 알 수 있다. 또한, 그림 11과 비교하여 보면 이용률이 약 85~90% 정도에서 전달지연시간 특성이 포화됨을 알 수 있다.

(4) 그림 13은 대전과 대구를 기점으로 한 각 중계국간의 평균 전달지연시간 특성을 보여준다. 대전-대구의 구간이 가장 나중에 포화되고, 대부분의 구간이 트래픽 발생간격 1/60 이상이 되면서 전달지연시간의 급격한 증가를 보여준다. 그림 11에 비해 각 구간별로 존재하는 유휴용량으로 인하여 포화점들이 조금씩 차이가 있는 것을 볼 수 있다. 이는 표 4에서 알 수 있듯이 서울을 기점으로 하는 링크들의 용량에 비해 필요한 트래픽 요구량이 현저히 작고 할당된 하나의 채널이 10Gbps의 용량을 가짐에 따라 상대적인 유휴 용량의 비율이 크기 때문이다.

(5) 그림 14는 대전과 대구를 기점으로 하는 각 중계국 노드간의 채널 이용률을 나타낸 그래프이다. 모든 중계국과의 이용률이 비교적 고르게 분포되어 있음을 알 수 있다. 그림 13과 비교하여 보면 이용률의 약 85~90% 정도에서 전달지연시간 특성이 포화됨을 알 수 있다.

(6) 대부분의 링크 구간이 일정한 부분에서 포화됨에서 알 수 있듯이 전체적으로 2010년대에 요구되는 트래픽을 예측하여 설계된 다중 자기치유 WDM 광 전달망은 균형 잡힌 성능특성을 나타내고 있음을 확인할 수 있다.

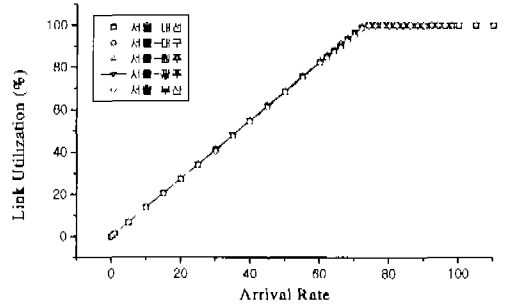


그림 12. 서울기점 각 중계국간 링크 이용률

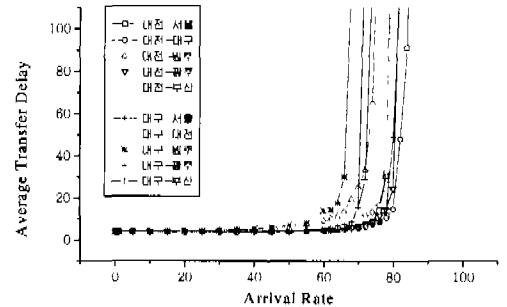


그림 13. 대전, 대구기점 각 중계국간 데이터 평균전달 지연시간

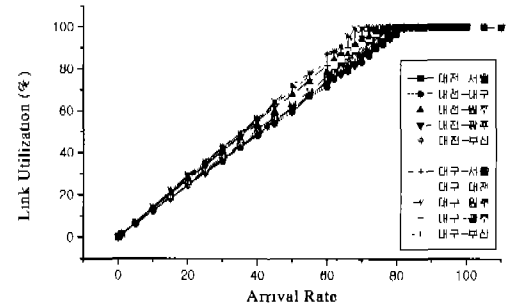


그림 14. 대전, 대구기점 각 중계국간 링크 이용률

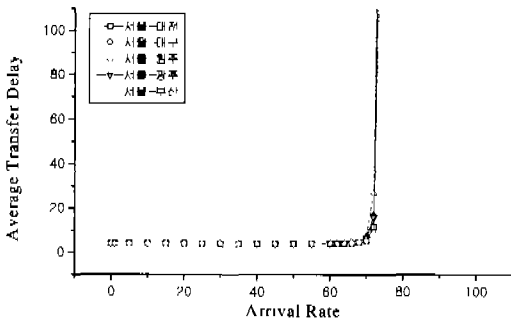


그림 11 서울기점 각 중계국간 데이터 평균전달 지연시간

V. 결론

본 논문에서는 2010년대에 우리 나라 환경에 적합한 다중 자기 치유 링 구조를 사용한 WDM 전광 전달망의 새로운 모델을 제안하였다. 제안된 전달망은 기본적으로 전체 통신망을 대규모의 단일 링 대신에 적은 수의 노드를 포함하는 소규모의 링들로 복합 구성된 다중 링 구조를 갖는다. 향후 우리 나라의 2010년대에 적용 가능한 트래픽 값을 도출하기 위하여 새로운 트래픽 모델링 기법인 PDI 트래픽 모델을 고안하였고, 이를 사용하여

각 광역 중계국간의 트래픽 예측 값을 계산하였으며, 이를 토대로 각 광역 중계국간의 링크 용량을 결정하였다. 본 연구에서는 SONET의 OC-192 (9953.28Mbps)를 수용할 수 있는 10Gbps 광 채널을 사용하는 것으로 가정하여 트래픽 예측값에 따른 채널할당을 통해 상호 비대칭적으로 채널이 할당된 다중 자기 치유 링 구조를 사용한 WDM 전광 전달망을 설계하였다. 또한, 시뮬레이션을 통하여 제안된 전달망의 성능특성을 고찰하였으며, 시뮬레이션 결과 제안된 광 전달망은 균형 잡힌 성능특성을 나타내고 있음을 확인하였다. 본 연구에서 수행된 연구 결과는 추후 우리 나라의 WDM 전광 전달망의 구축시 미래에 요구되어지는 트래픽을 안정적으로 수용하면서 경제적이고 신뢰성 있는 망 구축을 위하여 활용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] Paul E. Green, "The Future of Fiber-Optic Computer Networks," *IEEE Computer Magazine*, vol. 18, No. 9, pp.78-87, Sep. 1991.

[2] T. H. Wu, D. J. Kolar, and R. H. Cardwell, "Survivable network architecture for broadband fiber optic networks: model and performance comparison," *J. Lightwave Technol.*, 6, pp.1698- 1709, 1988.

[3] M. J. O'Mahony, D. Simeonidou A. Yu, and J. Zhou, "The Design of a European Optical Network," *IEEE Journal of Lightwave Technology*, Vol. 11, No. 5/6, pp.817-828, May/June, 1993.

[4] M. C. Sinclair, "Improved model for European international telephone traffic," *Electronic Letters*, Vol. 30, No. 18, pp.1468-1470, September, 1994.

[5] 송영남, 박효준, 강철신, 박일종, 채창준, 서완석, 이성운, "트래픽 모델링 및 전광 WDM 전달망 설계," *Proc. of Photonics Conference '97*, 제주, pp.361-362, 1997년 11월.

[6] 한국전산원, 우리 나라 지역별 정보화수준 측정을 위한 지표개발 I, 1997. 12.

[7] 초고속 통신망을 위한 HAN/B-ISDN 워크샵, 한국통신학회, 대한전자공학회, 경주, June 1995.

[8] T. H. Wu and R. C. Lau, "A Class of Self-Healing Ring Architectures for SONET

Network Applications," *IEEE Transactions on Communications.*, V.40, No.11, pp.1746- 1756, Nov. 1992.

[9] Tsong-Ho Wu, *Fiber network service survivability*, Artech House Inc., Norwood, MA, 1992.

[10] I. Haque, W. Kremer and K. Raychaudhuri, "Self Healing Ring in a Synchronous Environment," *SONET/SDH A Sourcebook of Synchronous Networking*, pp.131-139, IEEE PRESS., New York, 1996.

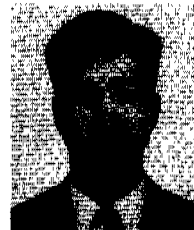
[11] N. Wauters and P. Demeester, "Wavelength Routing Algorithms for Transparent Optical Networks," in *Proc. ECOC'95*, pp.855-858, Sept. 1995.

[12] L. Wuttisittikulki and M. J. O'Mahony, "Design of an Efficient and Practical Algorithm for Wavelength Assignment in Multi-Wavelength Ring Transport Networks," in *Proc. GLOBECOM'97*, 1997.

[13] 한국통계연감, 통계청, 1998.

안 기 석(Ki-Seok Ahn)

정회원



1995년 2월 : 한남대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1998년 3월~현재 : 한남대학교 전자공학과 석사과정
 1999년12월~현재 : (주)우성사료

<주관심 분야> WDM 전광전 송망 및 위성 ATM

정 노 선(No-Seon Jung)

정회원



1998년 2월 : 한남대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1998년 3월~현재 : 한남대학교 전자공학과 석사과정
 1999년12월~현재 : 하이콤 정보통신

<주관심 분야> WDM 전광전 송망 및 위성 ATM

홍 상 기(Sang-Kee Hong) 정회원



1998년 2월 : 한남대학교 전자공
학과 졸업(공학사)
1998년 3월 ~ 현재 : 한남대학교
전자공학과 석사과정
1999년12월 ~ 현재 :
유광정보통신

<주관심 분야> WDM 전광전 송망 및 위성 ATM

홍 종 일(Jong-Il Hong) 정회원



1999년 2월 : 한남대학교 전자공
학과 졸업(공학사)
1999년 3월 ~ 현재 : 한남대학교
전자공학과 석사과정
<주관심 분야> WDM 전광전
송망 및 위성 ATM

강 철 신(Cheol-Shin Kang) 정회원



1972년 ~ 1979년 : 한양대학교
전자공학과 졸업(공학사)
1982년 ~ 1984년 : Oregon State
University, 전기 및
컴퓨터공학과(공학석사)
1984년 ~ 1987년 : Oregon State
University, 전기 및
컴퓨터공학과(공학박사)

1978년 ~ 1987년 : 금성사(현LG전자) 중앙연구소, 연
구원

1990년 ~ 1991년 : 미국연방 국방정보부(DIA), 초청
교수

1987년 ~ 1992년 : 미국 American University,
Washington, D.C. 전산정보학과 조교수

1991년 ~ 1992년 : 한국전자통신연구소, 선임 연구원

1992년 ~ 현재 : 한남대학교 전자공학과, 교수

IEEE, Phi Kappa Phi, Sigma Xi : 정회원

대한전자공학회, 한국통신학회, 한국정보학회

: 종신회원

<주관심 분야> 광통신망의 설계 및 성능분석, 위성
통신, 광대역 통신망