

망 생존도를 보장하는 광전송망 설계

정회원 이인행*, 정순기**

Fiber-Optic Network Design Supporting Network Survivability

In-haeng Lee*, Soon-key Jung** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 대용량 트래픽의 효율적 전송을 위해 B-DCS(Broadband-Digital Cross-connect System)망, 간선링, 지선링의 3계층 구조 광섬유 기간전송망을 제안하며 각 계층에서 경제적으로 망의 생존도를 보장하는 설계방법을 연구한다. 링 구축비용을 혼합정수계획(MIP) 모델을 이용해 수리적으로 최적화할 경우 비다항식 완전 문제(NP-complete problem)가 되어 실시간 내에 해를 구하기가 어려워지므로 본 논문에서는 B-DCS망을 위한 운용회선 및 예비회선의 최적할당 문제, 간선링을 위한 다중링 부하최적화 문제, 지선링을 위한 중첩링 부하최적화 문제에 대한 휴리스틱 알고리즘을 각각 개발하여 사례분석을 통해 그 효용성을 보인다.

ABSTRACT

We propose 3-layered hierarchical fiber-optic backbone transmission network composed of B-DCS, Backbone ring, Edge ring for efficient transmission of high capacity traffic and consider design method to ensure network survivability of each layer at affordable cost. Mathematical ring-construction cost minimization using MIP(Mixed Integer Programming) models results in NP-complete problem. So, it is hard to solve it within reasonable computing time. on a large-scale network. Therefore we develop heuristic algorithms solving WSCAP(Working and Spared Channel Assignment Problem) for B-DCS, MRLB(Multi-Ring Load Balancing) problem for Backbone ring, and ORLB(Overlaid Ring Load Balancing) problem for Edge ring and show their usefulness through case study.

1. 서론

정보화 사회의 발전에 따라 이용자의 정보서비스 욕구는 텍스트 중심에서 멀티미디어 중심으로 변하고 있으며, 인터넷의 보급에 의한 정보통신 기술의 발전으로 대용량 데이터의 초고속 전송이 가능하므로 광통신망의 조기 구축에 대한 필요성이 증가되었다. 국내 초고속 정보통신망의 활성화와 발전을 위해서는 광통신망을 이용한 기간망의 고속화 및 광대역화가 필요하며, 나아가 가입자 선로까지의 광통신선로(FTTH: Fiber-To-The-Home) 보급도 필요하다. 그러므로 이들을 효과적으로 처리할 수 있는 광통신 기간망 체계의 구축 및 확장이 매우 중요한 과제로 등장하고 있다.

광통신망은 대용량 데이터의 고속, 장거리 전송 등이 가능한 특성을 지닌 만큼 임의의 환경적 재난이나 시스템 내부의 장애로 인한 경제적인 손실이 막대하므로 이를 방지하기 위해 비상사태 발생시 신속한 복구가 가능하도록 망의 신뢰성(reliability)과 생존도(survivability)를 고려하여 설계해야 한다.

ITU-T에서 국제표준으로 채택된 이후, 90년대부터 통신사업자들의 기간전송망 구축에 본격적으로 이용되고 있는 SDH(Synchronous Digital Hierarchy) 방식의 광전송망은 통신망의 생존도를 고려하여 장애 발생시에 망을 자동적으로 복구할 수 있도록 여러 종류의 망 재구성 기법들을 제공하고 있다. SDH 방식의 광전송망 구성을 위해 개발된 대표적인 전송 시스템으로 TM(Terminal Multiplexer), ADM(Add-Drop Multiplexer) 및 DCS 등이 있으며,

* 하나로통신(Lihkim@hanaro.com),
 논문번호 : 020036-0124, 접수일자 : 2002년 1월 24일

** 충북대학교 컴퓨터공학과(soonkey@cubcc.chungbuk.ac.kr)

이들을 적용한 광전송망의 운용과 장애 발생시에 신속한 망 재구성 방법에 대한 연구가 국내외에서 활발히 진행되었다. 망 구조 측면에서 TM을 이용한 Point-To-Point 구조, ADM을 이용한 SHR(Self-Healing Ring) 구조, 그리고 B-DCS를 이용한 그물망(mesh) 구조 등이 망 구축에 복합적으로 이용되고 있다.

현재 국내의 주요 기간통신 사업자들의 광전송망은 SHR 구조를 기반으로 하며, 다수의 링들이 연결된 망 구조를 취하고 있다. 링 구조의 가장 큰 장점은 효율적인 방법으로 망의 생존도를 보장할 수 있다는 점이다. 그러나 SHR로 구성된 광전송망은 용량 증설시 많은 비용이 소요되며 그 특성상 단일 링으로 처리할 수 있는 트래픽 용량이나, 링 상에 존재할 수 있는 노드들의 개수 및 링의 총 길이 등에서 기본적인 제약을 가지고 있다. 그러므로 링구조 중심의 광전송망은 장거리 전송을 위하여 다수의 링이 설치되어야 하며, 설치된 링들을 상호 연결하는 링들의 연결 구조를 취하게 된다.

광전송망의 구성 초기에는 링 구조가 설치비용 및 운영 측면에서 여러 장점들을 가지고 있으나 전송망의 영역이 확장되고, 노드간의 트래픽 수요량이 증가함에 따라 링간의 수요가 경우 링의 부하를 증가시켜 링 구조만으로는 모든 수요들을 효율적으로 처리할 수 없고 용량확장 비용도 많이 소요되므로 기존 링 구조를 기반으로 그림 1과 같은 3계위 구조의 망을 구축하는 것이 효과적이다^{1,2)}.

최상위 망 구조인 B-DCS 그물망은 대용량 수요를 직통 경로로 수용하거나, 링간 수요를 경우 링을 거치지 않고 직접 처리한다. 따라서 계위 구조를 갖는 광전송망의 구축 시 B-DCS를 이용하여 상위

망을 구성하고, 간선링과 지선링을 적절히 혼합한 형태의 하위망을 구성해야 할 것이다.

본 논문은 이러한 3계위 구조의 광전송망을 대상으로 효율적인 망 운용과 망의 재구성을 고려한 망 설계방법의 개발을 목적으로 하며 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 여러 개의 링들이 중첩 또는 연결되는 다중링 설계의 수학적 최적화 모델과 설계 휴리스틱 알고리즘을 제시하며 제 III장에서는 지선링 설계에 해당되는 중첩링 설계 알고리즘을, 제 IV장에서는 B-DCS망의 설계기법에 대하여 기술하고 제 V장에서 결론을 제시한다.

II. 간선링 설계

2.1 다중링의 설계 문제

SHR 구조는 뛰어난 생존도와 경제성을 가지고 있어 기간통신망 구조로 널리 이용되고 있으나 링들의 설치 범위가 확대되고, 수요가 증가되면 다수의 링들이 중첩되어 상호 연결되는 다중링(multi-ring) 구조로 발전하게 된다. 여기서 다중링은 간선링의 물리적 구성형태를 이르는 용어로 이하 간선링과 동일한 의미로 사용한다.

SHR의 구현은 트래픽의 흐름 방향에 따라 USHR(Unidirectional SHR)과 BSHR(Bi-directional SHR)로 크게 구분되며, BSHR 구조는 사용되는 광코어의 수와 채널 이용 방식에 따라 BSHR/2(BSHR with 2 fibers)와 BSHR/4(BSHR with 4 fibers)로 구분된다. BSHR에서는 특정 노드쌍 간에 존재하는 수요를 양방향의 경로 중에서 하나의 경로만을 통해 처리하거나, 두 개의 경로를 모두 이용, 수요를 분할하여 처리할 수도 있다. 전자의 경우를 수요의 분할 처리를 허용하지 않는 방식(method without demand splitting)이라 하고, 후자의 경우를 수요의 분할 처리를 허용하는 방식(method with demand splitting)이라 하며 여기서는 가장 널리 이용되고 있는 수요의 분할처리를 허용하는 BSHR의 다중링 설계 문제를 대상으로 한다.

링이 하나인 SHR 기반의 단일 링 부하최적화(SRLB: Single Ring Load Balancing) 문제 해결에 대해서는 다양한 해법들이 제안, 활용되고 있으며 이 중 알고리즘 EXACT와 INTEGER는 수요의 분할처리를 허용하는 BSHR 부하의 결정 문제에 있어서 각각 실수와 정수 단위의 흐름을 허용하는 경우에 최적해를 제공한다^{3,4,5)}. 그러나 단일 링만으로는 처리가능한 회선 수요의 용량이나, 링 상에 존재할

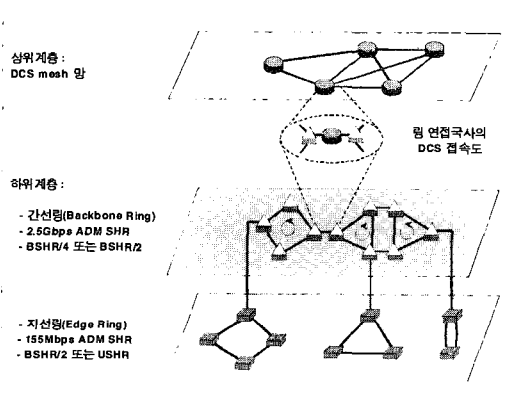


그림 1. 3계위 구조의 광전송망

수 있는 노드의 수, 링의 총 길이 등에 제약이 따른다. 그러므로 넓은 지역을 대상으로 하거나, 회선 수요의 양이 한 링의 용량을 초과할 경우에 여러 개의 링들을 중복 또는 추가로 설치하고, 상호 연결하여 운영해야 한다. 이와 같이 연결된 다수의 링과 결부된 문제를 다중링 부하 최적화(MRLB: Multi-Ring Load Balancing) 문제라고 하며, 본 논문은 이에 대한 연구에 중점을 두고 있다.

다중링 구조에서 동일 링내에 속하는 노드간의 수요는 해당 링을 구성하는 링크를 통해 처리된다. 링간 수요 처리를 위해서는 동일한 국사에 위치하는 노드를 연결시키거나, 별도의 중간 링을 경유하여 처리해야 하는데 이같이 링과 링을 연결하는 접점 지역의 노드가 게이트웨이가 되는데, 모든 노드를 게이트웨이로 사용할 수 있지만 비용, 망 운용의 편이성 등의 이유로 소수의 국사에 한정된다.

다중링 구조에서는 링크와 노드를 공유하는 부분에서의 수요처리 문제가 필연적으로 발생하는데, 이때 각 수요의 경로를 링별로 적절히 분할하고 이에 따른 트래픽을 처리할 수 있는 링의 용량과 수를 결정하면 링의 비용을 절감할 수 있으며, 링내의 수요를 수용할 수 있는 예비 용량을 충분히 확보할 수 있다는 장점이 있다. 이는 여러 개의 링과 게이트웨이가 존재하는 다중링 구조에서 전체 링의 부하를 최소화할 수 있도록 모든 수요의 경로를 지정해 주고, 각 링이 담당해야 할 수요량을 결정하는 문제와 동일한 의미를 가진다. 한편 노드간의 각 수요는 일반적으로 DS1, DS1E, DS3, STM-1급의 4가지 속도로 주어진다. 현재 널리 사용되고 있는 STM-16급 링에서는 ADM 노드에서의 분기-결합이 STM-1급 단위로 이루어진다. 따라서 하위 신호들을 고가의 다중화장비를 이용하여 STM-1급의 신호로 다중화시켜 ADM에 인가하므로 이 과정의 효율성 여부가 링의 부하와 비용에 영향을 미친다. 또한 중계 노드에서의 링크 부하 감소를 위해서는 하위 신호들의 번들링 방법도 동시에 고려되어야 한다.

2.2 수리적 최적화 모델

2.2.1 기존 연구

다중링 설계 문제에 관한 초기 연구에서는 계층적 SHR을 구성하여 망 구조의 효율성을 향상시키는 기법^[6]과 대상 지역의 수요를 최소 비용으로 수용시킬 수 있는 링 생성 알고리즘 등과 같은 링 토폴로지의 구성기법에 대한 연구가 주로 수행되었다

^[7,8,9]. 체계적인 전송망 설계 시스템으로는 광전송망의 설계시 의사결정 도구로서 Bellcore에서 개발한 SONET Toolkit을 들 수 있다^[10]. SONET Toolkit은 링 설계에 이용하는 세 종류의 휴리스틱 알고리즘을 포함하고 있지만 이 기법의 단점은 링 구성 문제에서 링크 비용만을 고려하고, 수요는 고려하지 않아 전체 부하의 최적화와는 거리가 있다는 점이다. 또한 회선 수요도 DS1, DS3급만을 전제로 하였으며, 중계 노드에서의 다중화 번들링 문제도 고려하지 않았기 때문에 실질적인 제약조건들을 충분히 반영하지 못하고 있다.

2.2.2 혼합정수계획 모델

수요의 분할 처리를 허용하는 BSHR/2 구조를 대상으로 실질적인 제약 조건들을 포함하는 다중링의 부하최적화 문제를 정식화하여 문제의 특성을 파악하고, 효율적인 해법을 구할 수 있는 다음과 같은 혼합정수계획 모델이 논문 [11]에서 제안되었다.

$$\text{minimize } \sum_r \sum_u c_r^u z_r^u,$$

$$\text{such that } \sum_r \sum_u G^u(z_r^u + D_r^u) \geq \sum_k (x_{ij}^k + x_{ji}^k) \quad (1)$$

$$\sum_j x_{ij}^k + \sum_j x_{ji}^k = \begin{cases} b_k, & i = o(k) \\ -b_k, & i = d(k), \quad k \in K \\ 0, & \text{others} \end{cases} \quad (2)$$

여기서 r 은 r 번째 링토폴로지, u 는 u 번째 타입의 링이며 c_r^u 는 r 번째 링에 u 번째 타입의 링을 설치하는데 소요되는 단위 비용, z_r^u 은 r 번째 링에 추가할 u 번째 타입 링의 개수, D_r^u 는 기설치된 링의 개수, G^u 는 u 번째 타입 링의 용량 단위, K 는 수요가 있는 노드 쌍의 집합, x_{ij}^k 는 링크 (i,j) 를 경유하여 처리되는 $k(\in K)$ 번째 수요의 양, b_k 는 소스 노드는 $o(k)$ 와 목적 노드 $d(k)$ 인 노드 쌍 k 의 수요량을 나타내는 변수이다. 또한 링크는 관로를 의미하며, 하나의 링크에 여러 개의 링이 연결될 수 있으므로 링크 (i,j) 는 여러 링이 공유 가능하다. 그리고 공유된 링크를 통과하는 모든 트래픽의 합은 그 링크를 공유하는 해당 링에 분배된다.

위 모델에서 용량 제약식 (1)은, 링크 (i,j) 를 통과하는 링들의 용량 합이 이 링크를 통과하는 모든 수요량을 처리할 수 있어야함을 의미하며, 흐름균형 제약식 (2)는 모든 수요에 대해 소스 노드에서 목적 노드까지 필요한 용량의 흐름을 보장함을 뜻한다. 위 모델은 수요를 충족시킬 수 있는 최소 비용의 링 집합과 각 수요의 경로를 설정해 줄 수 있다는

점에서 의미가 있으나, 실질적인 망 설계 문제 적용에는 다음의 두 가지 문제점이 있다.

첫째, 실제 문제에서 발생하는 많은 제약사항들을 모두 고려할 수 없다는 점이다. 실제 통신망에서는 링간의 수요를 처리하는 게이트웨이가 일부 노드로 한정되어 있거나, 이기종 장비간의 인터페이스 문제 및 하위 신호들이 링상에서 다중화되어 처리되는 등의 제약사항이 존재한다. 둘째, 이러한 제약사항들을 모두 포함하는 모델화가 가능해도 제약식의 수가 상당히 많으며 주요 변수에 정수 제약조건이 따르므로 다차항 시간(polynomial time)내에 최적해를 발견할 수 없는 NP-complete 문제가 발생한다.

다중링 설계문제의 해결방법을 실무에 직접 적용하기 위해서는 실질적인 제약조건이나, 가정요소를 모두 충족시키면서 실행 가능한 해를 구하는 휴리스틱 알고리즘의 개발이 필요하다. 그러므로 본 논문에서는 앞에서 도입한 부하최적화 모델로부터 산출된 해를 초기 해로 사용하고 링 부하의 최적화, 하위 수요들의 다중화 및 중계 노드에서의 번들링 모듈을 고려하는 휴리스틱 알고리즘을 도출하였다.

2.3 다중링 설계 알고리즘

2.3.1 모듈 구성

휴리스틱 알고리즘은 그림 2와 같이 4단계로 구성되며 각 단계는 서브 모듈로 처리된다.

2.3.2 수요 전처리 모듈

이 단계에서는 다중링 간의 수요를 처리하는 경유 게이트웨이를 설정하여 수요를 각 링의 단일링 수요로 변환하는 것이 중요하다.

(1) 기준 링의 비용 계산

링이 처리하는 회선량과 수요에 따라 실제 구축

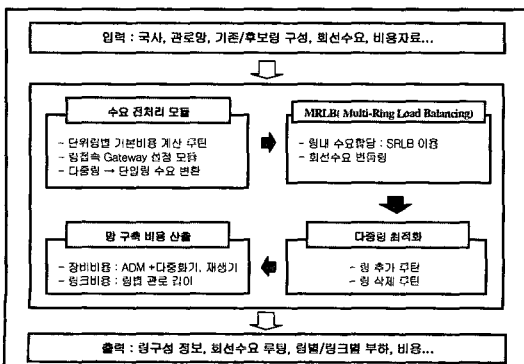


그림 2. 모듈 구성도

비용은 장비내역과 기본비용에 의해 결정되어 링설계 완료 후에야 정확한 비용 산출이 가능하므로 수요할당 기준으로 이용하기 위해 개략적인 비용 발생 데이터를 구하여 사용해야 한다. 주어진 각 단위 링들의 링크 길이, ADM 및 재생성기 수와 기본비용 관련 데이터를 이용, 단위 링의 설치비용을 계산하여 링의 선택기준으로 사용한다.

(2) 게이트웨이 설정

그림 3과 같이 각 링의 노드들 중 망설계의 유연성을 높일 수 있는 후보 게이트웨이를 선정하며, 별도의 모듈을 이용하여 경유 링의 수가 최소가 되도록 게이트웨이간의 홉(hop)수를 기준으로 최단 거리를 계산, 모든 게이트웨이 간의 경로를 산출한다.

(3) 단일 링 수요로의 변환

앞의 게이트웨이 설정과정 결과를 이용하여 다중링으로 처리해야 하는 수요는 단일 링에서 처리가 가능한 수요로 변환시킨다. 1개의 경유 링을 소유하는 원경 링간의 수요는 소스 노드에서 Gateway_1으로, Gateway_1에서 Gateway_2로, Gateway_2에서 목적노드 순으로 수요 변환된다.

2.3.3 부하 최적화 모듈

수요 전처리 단계의 결과인 링 기준비용과 단일링의 수요를 여러 링들에 할당, 처리하는 단계이다.

(1) 링별 수요 할당

주어진 링에 가능한 최대 수요를 할당시켜 추가로 설치될 링의 수를 최소화시키는 과정으로 4가지 속도(DS1, DS1E, DS3, STM-1급)로 구성되어 있는

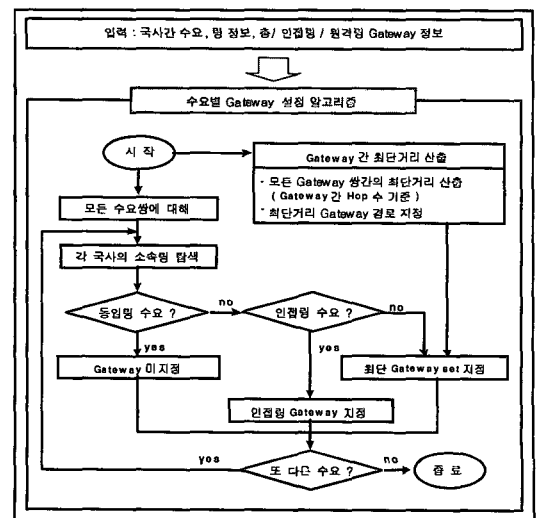


그림 3. 게이트웨이의 설정 과정

각 수요를 ADM 장비 인터페이스에 적용이 가능하도록 STM-1급으로 변환시키는 작업이 필요하다. 변환된 수요는 각 링에 할당되며, 링이나 관로가 중복된 경우에 기본비용이 저렴한 링에 수요를 우선 할당하기 위하여 각 링은 전처리 과정에서 산출된 링의 기본비용 순으로 정렬된다. 단일 링 부하최적화 알고리즘^[3]을 사용하여 단위 링에 부과되는 부하를 최소화하고, 링에 여유용량이 발생되면 여유용량 만큼 추가로 수요를 할당하는 작업을 반복, 수행한다.

(2) 번들링 과정

수요 할당 과정에서 ADM간에 전송되는 STM-1급 신호들 중에서 하위 신호를 다중화시킨 STM-1급에는 할당된 부하(payload)의 일부만이 점유되는 경우가 있다. 링내에 이 같은 STM-1급 신호들이 많을 경우 망 자원의 활용률이 낮아진다.

그러므로 중간 노드들(ADM)에서 STM-1급 신호를 분기시켜 STM-1급 다중화기에서 역다중화로 하위 신호들을 분리시킨다. 그리고 해당 노드의 하위 신호들과 함께 다시 STM-1급 신호로 다중화하여 ADM과 결합시키는 작업이 필요하다. 이러한 신호 처리과정을 다중화 번들링이며 그림 4는 예를 보이고 있다.

2.3.4 링 최적화 모듈

주어진 후보 링들로 링을 구성한 후에 잔여 수요를 최소 비용으로 처리하기 위해서 링의 추가나, 링의 수요를 재라우팅하여 불필요한 링의 삭제 여부를 결정한다.

2.3.5 링 구축비용 산출 모듈

링의 수가 같더라도 설계 결과에 따라 각 링의 여유 용량은 달라질 수 있으므로 효율적인 라우팅 결과를 분석하기 위해서는 링을 구성하는 모든 노

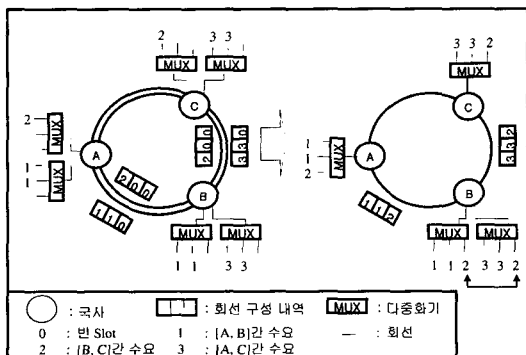


그림 4. 다중화 번들링의 예

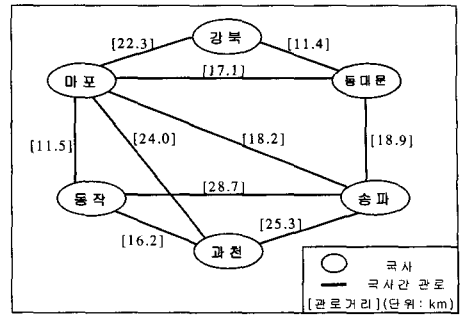


그림 5 서울지역 기간전송망 구조

드 각각에 할당된 수요 처리에 사용되는 장비의 비용을 계산해야 한다. 링을 구성하는 ADM, 재생성기 및 광증폭기의 수가 같아도 링내 또는 링간의 수요 라우팅 결과에 따라 각 노드에서 결합 또는 분기 회선을 수용하는 STM-1급 다중화기의 수와 다중화기가 수용하는 DS1, DS1E, DS3 회선 수에 따라 장비 비용이 달라지므로 이를 고려하여 해당 링에 소요되는 모든 STM-1급 다중화기의 비용과 링 기본장비 비용을 합산하여 링의 실제 구축비용을 산출한다.

2.4 알고리즘의 적용사례 및 결과분석

제안한 다중링 설계 알고리즘의 적용사례로 ADM을 이용한 다중링 구조를 갖는 (주)하나로통신의 초기 시내 기간전송망 설계문제와 (주)데이콤의 장거리 기간전송망 설계문제를 선택하였다.

2.4.1 시내 기간전송망 설계

하나로통신에서 구축한 서울지역 초기 기간전송망의 물리적 토폴로지는 그림 5와 같이 6개 노드로 구성된 STM-16급의 BSHR/2 구조이다.

다음의 표 1, 2는 각각 2개와 4개의 링 토폴로지 로 구성된 링집합 SET-1과 SET-2의 설계 결과로서 수요처리에 총 5개의 링이 소요됨을 알 수 있다. 최소의 망 구축비용이 설계 선택기준이므로 동수의 링이 소요되더라도 그림 6에서와 같이 장비 비용과 광코어 비용 모두에서 SET-2가 더 좋은 결과를 나타내고 총 비용도 2.6% 더 우수하여 SET-2를 최종 링 토폴로지로 결정할 수 있다.

표 1. SET-1의 링과 노드 구성

링	노드 구성	결과 링수
A	마포-동작-송파	3
B	마포-동작-과천-송파-동대문-강북	2

표 2. SET-2의 링과 노드 구성

링	노드 구성	결과 링수
A	마포-동작-송파	2
B	마포-동작-과천-송파-동대문-강북	1
C	마포-송파-동대문-강북	1
D	마포-동작-과천	1

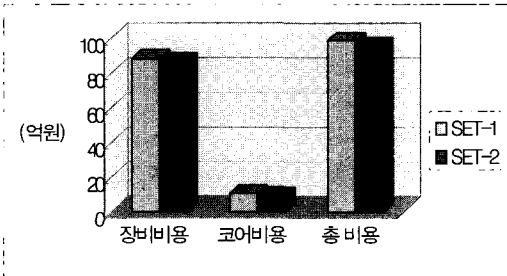


그림 6. SET-1과 SET-2의 구축비용 비교

2.4.2 장거리 기간전송망 설계

28개 국사, 36개 링크, 그리고 링간의 연결을 위한 4개의 게이트웨이 국사로 이뤄진 적용대상 대이콤의 장거리 기간전송망 물리적 토폴로지는 그림 7과 같다.

망구조 SET-3와 SET-4는 각각 8개와 5개의 링으로 구성되며, 노드 구성과 설계결과에 의한 링수는 표 3, 4와 같다.

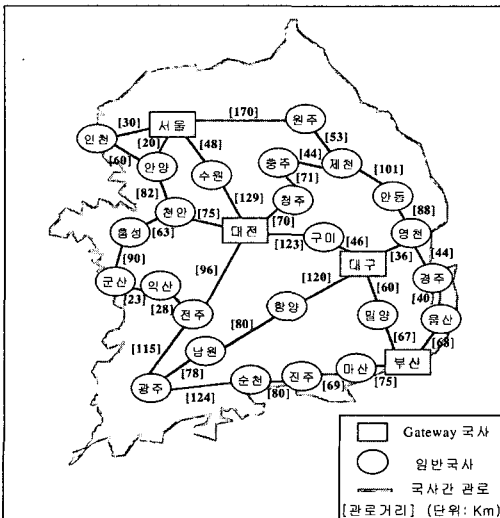


그림 7. 장거리 기간전송망 구조

표 3. SET-3의 링과 노드 구성

링	노드 구성	결과 링수
A	서울-인천-안양	1
B	서울-안양-천안-대전-수원	1
C	마포-송파-동대문-강북	1
D	대전-전주-광주-순천-진주-마산-부산-밀양-대구-구미	2
E	서울-수원-대전-청주-충주-제천-원주	3
F	부산-밀양-대구-영천-경주-울산	1
G	대전-구미-대구-밀양-부산-울산-경주-영천-안동-제천-충주-청주	2
H	대전-전주-광주-남원-함양-대구-구미	2

표 4. SET-4의 링과 노드 구성

링	노드 구성	결과 링수
I	서울-원주-제천-충주-청주-대전-천안-안양-인천	1
J	서울-안양-천안-대전-수원	3
K	대전-구미-대구-함양-남원-광주-전주-익산-군산-홍성-천안	1
L	대전-전주-광주-남원-함양-대구-밀양-부산-울산-경주-영천-안동-제천-충주-청주	2
M	대전-전주-광주-순천-진주-마산-부산-밀양-대구-구미	2

표 5. SET-3와 SET-4의 링 부하 비교

링	SET-1			SET-2			
	부하 평균	표준 편차	여유 용량	링	부하 평균	표준 편차	여유 용량
A	7.67	0.47	0	I	7.1	1.28	0
B	7.6	0.49	0	J-1	7.8	0.4	0
C	2.17	0.89	5	J-2	8.0	0	0
D-1	6.7	1.35	0	J-3	1.6	0.48	6
D-2	2.0	0.77	5	K	7.18	0.94	0
E-1	7.14	1.46	0	L-1	7.07	0.85	0
E-2	7.29	0.45	0	L-2	1.87	0.80	5
E-3	2.43	0.49	5	M-1	6.7	1.35	0
F	3.5	1.5	3	M-2	2.2	0.87	5
G-1	6.5	0.76	0				
G-2	0.92	0.64	6				
H-1	7.0	1.06	0				
H-2	0.43	0.49	7				

SET-3는 모든 수요를 처리하기 위해 주어진 8개의 후보 링에 5개의 링이 추가되어 총 13개의 링으로 구성되었고 많은 노드를 포함한 SET-4는 9개의

링으로 구성되었다. 링 수에서는 SET-4가 SET-3의 결과보다 적기 때문에 SET-4가 망 운용상에 이점이 있으나 표 5에서와 같이 각 링의 링크 부하평균과 표준편차를 비교하면 평균적으로 SET-4에 더 많은 부하가 부과되며, 최대 여유용량은 SET-3가 더 많은 것으로 분석되었다.

그러나 그림 8과 같이 코어 및 장비 비용을 포함한 망 구축비용에서는 SET-4가 SET-3보다 약 9.3%정도 적어 더 좋은 결과를 나타내고 있다. 이와 같이 다양한 종류의 링 설계를 통해 비용면에서 효율적인 망의 구축이 가능한 솔루션을 찾을 수 있음을 알 수 있다.

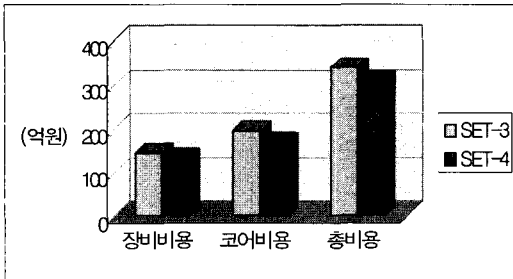


그림 8. SET-3과 SET-4의 구축비용 비교

위의 두 사례연구를 통해 링 토폴로지를 다양하게 설정함으로써 전체 망의 구축비용을 최소화할 수 있음을 알 수 있다. 이 휴리스틱 알고리즘으로 망 설계의 시간단축 뿐만 아니라, 다양한 설계대안들의 분석을 통한 설계품질 향상도 기대할 수 있다.

2.4.3 번들링 효과

SET-3와 SET-4에서 링별 수요 할당 과정의 번들링 효과를 보면 SET-3은 11회, SET-4는 14회 발생하였다. 번들링이 적은 빈도로 발생하더라도 번들링을 수행하면 미수행 시보다 링의 최대 여유용량은 증가되며, 장비 비용은 감소되었다. 표 6과 같이 SET-4는 번들링 수행 전후로 장비 비용은 5.9%, 광코어 길이는 3.5%의 절감 효과를 보여 전체 망의 총 구축비용은 4.6% 감소되었다. SET-4에 대한 번들링 수행 전후 결과표 7에서 번들링 미수행 시 링 J 대신 링 I가 추가되는데 이는 링을 추가하고도 번들링을 수행하지 않을 경우 남은 수요는 링 J를 구성하는 노드들에서 처리되지 못하므로 노드수가 많은 링 I가 추가된 것을 의미한다. 결과적으로 비용 증가를 초래한다. 하지만 과도한 번들링 수행은 망 운용상의 불편과 전송 품질의 저하를 초래할 수 있

으므로 망 자원을 최대한 활용하기 위하여 링내에서의 번들링 수행을 1-2회로 제한하는 것이 타당한 것으로 분석되었다.

표 6. SET-3와 SET-4의 번들링 여부에 따른 결과 비교

구분	SET-3		SET-4		차이(%)	
	번들링 수행	번들링 미수행	번들링 수행	번들링 미수행	SET-3	SET-4
장비비용 (백만원)	14,466	15,299	13,699	14,562	5.4	5.9
평균 링크부하	4.71	4.89	5.50	5.79	3.6	5.0
평균 여유용량	2.4	2.1	1.8	1.4	12.5	22

표 7. 번들링 수행여부에 따른 SET-4의 링 구성 비교

링	I	J	K	L	M	계
번들링 수행	1	3	1	2	2	9
번들링 미수행	2	2	1	2	2	9

III. 지선링 설계

3.1 지선링 설계 문제

통신 사업자들은 가입자망 구축에 FTTx, HFC, xDSL, WLL 및 LMDS 등 매우 다양한 기술적 대안들을 이용하여 광대역 서비스를 수행하려 한다. 수요노드가 되는 이들 가입자망은 인구분포 및 주거형태에 따라 도심 지역을 중심으로 우선 적용되므로 시내 전송망과 상호 연결, 연동되어야 한다.

시내 전송망에는 교환 국사간을 연결하는 국간망과 교환 국사와 수요 노드를 연결하는 지선망이 있다. 국간망과 지선망은 USHR, BSHR 모두를 이용하여 구현할 수 있으나 국간망의 수요구조는 모든 가능한 교환 국사들의 조합간에 수요가 존재하는 그물망 구조를 가지므로 망구축에 USHR보다는 BSHR이 적합하며, 지선망의 경우는 대부분 성형 구조이므로 USHR이 적합하다고 할 수 있다. 본 장에서는 지선망에 해당하는 중첩링 설계문제에 대해 논의한다.

기존 연구^[3,4,7]는 링에서 ADM을 설치할 노드의 선택 문제에 대해서는 전혀 고려하지 않고 있어 수요로부터 부과되는 부하가 링의 용량에 미달될 때 의미가 있으나 링의 용량을 초과할 때는 다수의 링을 중첩 포설해야 하므로, 다음과 같은 사항을 고려한 새로운 망 모델의 개발이 필요하다.

- 1) 설치될 링의 접수
- 2) 설치될 각 링에서 ADM 설치 노드의 선택
- 3) 각 설치 링에서 추가적인 수요의 처리방법

3.2 수리적 최적화 모델

3.2.1 중첩링의 부하 최적화

수요량이 단일링의 용량을 초과할 경우 기존의 링 설계 문제에서는 최대 부하링크의 최소화 방법만을 고려하고 있어 ADM의 설치위치 외에 링의 접수와 ADM 설치노드 위치를 종합적으로 반영한 의사결정 정보를 제공하지 못하므로 이의 해결을 위해 중첩링 부하최적화 문제(ORLP)로 접근한다. 이 문제는 전체 수요를 각 링의 처리부분에 할당하는 수요 그래프의 분할 문제로 이해할 수 있다.

링 구축의 두 가지 비용요소인 광코어 비용은 링수에 비례하여 발생하고, ADM 장비비용은 ADM이 설치될 노드 수에 비례하여 발생하므로 수요 그래프를 각 링의 부하량에 따라 분할하되, 광코어의 비용 관점에서는 가능한 적은 수의 노드군집으로 분할해야 하며, ADM 장비비용의 관점에서는 단일 군집내에서 가능한 중단 노드를 공유하는 수요끼리 묶는 것이 좋다. 실제로는 광코어 비용에 비하여 ADM 장비비용이 전체 비용에 많은 영향을 미치므로 후자 쪽의 반영에 비중을 두는 것이 바람직하다.

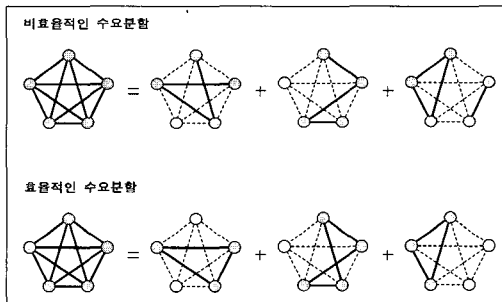


그림 9. 비효율적인 수요분할과 효율적인 수요분할

그림 9는 중단 노드가 비효율적으로 공유되는 수요 분할과 효율적으로 공유되는 수요 분할의 예를 나타낸다. 중단 노드의 효율적 공유로 ADM 설치위치를 전체 노드 수에 비해 각각 2, 1, 2개씩 감소시킬 수 있음을 알 수 있다.

3.2.2 혼합정수계획 모델

국사, 관로 길이가 나타나 있는 물리적인 링 토폴로지, 노드간 수요, 소스 노드와 목적지 노드간 수

요량, 그리고 후보 링 집합과 용량을 입력으로 하여 링 포설 비용을 최소화하는 목적함수를 혼합정수계획으로 유도하면 아래와 같다.

$$\text{minimize } \sum_{r \in R} c_1 Z_r + \sum_{r \in R} \sum_{i \in V} c_2 Y_{ir},$$

$$\text{such that } \sum_{r \in R} x_{kr} = b_{kr}, \quad k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{k \in K} x_{kr} \leq D z_r, \quad r \in R \quad (4)$$

$$x_{kr} \leq b_{kV} y_{(k)r}, \quad x_{kr} \leq b_{kV} y_{(k)r} \quad (5)$$

여기서 D 는 링의 용량, V 는 ADM장비가 설치될 국사 노드의 집합, L 은 노드간 링크 집합이며 c_1, c_2 는 링과 ADM의 단위 설치비용, z_r 은 링 선택변수 ($\in \{0,1\}$), x_{kr} 은 수요중 링에 의해서 처리되는 수요량, y_{ir} 은 ADM-링 설치변수 ($\in \{0,1\}$)이다.

위 모델에서 식 (3)은 모든 수요가 각 링에 분할되어 반드시 처리되어야 한다는 조건을 나타내는 수요처리 제약조건이고 식 (4)는 하나의 링으로 처리되는 수요의 합이 링의 용량을 초과할 수 없음을 나타내는 링용량 제약조건이며 식 (5)는 특정 수요가 링에서 처리되기 위해서는 수요 쌍의 양끝 노드에 해당하는 국사에 ADM 장비가 설치되어야 한다는 제약조건이다. 그런데, 다중링 부하최적화 문제처럼 중첩링 부하최적화 문제도 NP-complete문제여서 휴리스틱 알고리즘의 개발이 요구된다.

3.3 지선링 설계 알고리즘

단방향의 라우팅 경로를 가지는 USHR방식의 중첩링 설계 시 고려해야 할 사항은 수요를 할당할 링의 선택이다. 즉, 주어진 N 개의 수요를 M 개의 링에 효율적으로 할당하는 문제이다.

지선링 설계 알고리즘을 보여주는 그림 10에서 첫 번째 단계인 초기 해의 설정과정에서는 최소 차수 노드(minimal-degree node)의 수요를 최대 용량 링에 할당하여 링에 설치될 ADM 장비의 수를 최소화하는 것이 목적이다. 주어진 모든 수요의 출발지와 목적지를 확인하여 각 노드의 차수를 계산하고, 차수에 따라 노드를 오름차순으로 정렬한다. 정렬된 순서대로 노드를 선택하여 노드에서 발생하는 수요를 확인하고, 여유 용량이 가장 큰 링에 수요를 할당한다. 노드의 수요를 하나의 링에 할당할 수 없는 경우는 수요를 분할하여 할당한다.

두 번째 단계인 초기 해 개선 과정에서는 첫 단계에서 구해진 초기 해를 변경시켜 ADM장비의 수를 감소시키는 과정이다.

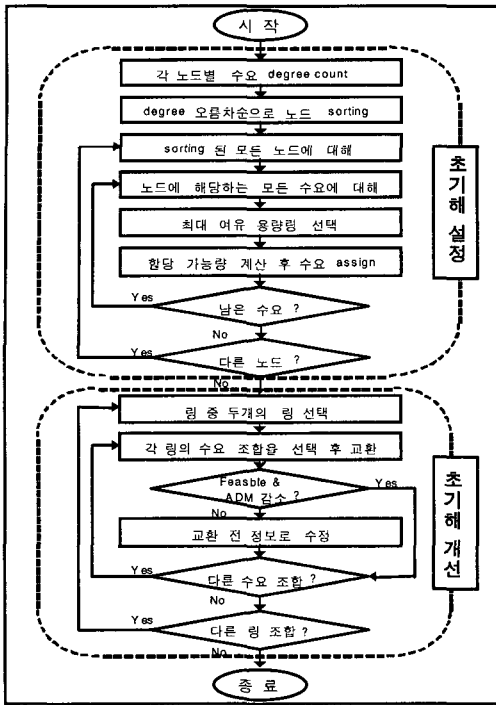


그림 10. 지선링의 설계 과정

3.4. 알고리즘의 적용사례 및 결과분석

각 7 ~ 12개의 노드 수로 구성된 링에 수요쌍의 개수를 변화시켜가며 제안된 지선링 설계 알고리즘을 적용한 결과와 Cplex패키지를 이용한 결과를 비교하여 성능을 평가한다.

휴리스틱 알고리즘의 수행 결과 최적 해와 일치하는 경우가 많았으나 그렇지 못한 경우 그 차이는 평균 약 2% 정도로 분석되었는데 이는 링비용이 ADM장비 비용보다 적은 경우 링을 한 단위 증가시켜 전체 비용을 감소시키는 유연성의 기여에 기인하며 모듈 설계과정의 추가 개선으로 이 차이를 줄일 수 있는 여지가 있으나 여기서는 수학적 접근

표 8. 지선링 설계 알고리즘의 성능평가 (단위 : 만원)

노드수	수요쌍 개수	Cplex		알고리즘	
		망구축 비용	소요 시간	망구축 비용	Gap
7	7	23,600	151	23,600	0.0%
8	8	25,200	17	25,200	0.0%
8	11	29,600	406	31,600	6.7%
10	9	25,200	6	25,200	0.0%
11	10	29,600	1,789	29,600	0.0%
12	13	35,600	732	37,600	5.6%

이 아닌 알고리즘만으로도 최적해에 매우 근사하는 해를 구할 수 있음을 보여주고 있다.

IV. B-DCS망 설계

4.1 B-DCS망의 설계 문제

통신망 기술의 발전에 따라 기존의 점-대-점이나 링 형태의 통신망으로는 기하 급수적으로 늘어나는 통신 노드들 간의 트래픽 수요를 처리할 수 없게 되었다. 그러므로 많은 통신 노드쌍간의 트래픽 수요를 효율적으로 처리하기 위해서는 DCS를 이용한 그물망 타입의 형태로 통신망이 진화하게 된다.

B-DCS망은 장애발생시 우회 경로상의 링크에 설치된 예비회선을 이용하여 운용회선을 재구성함으로써 망의 자동복구가 가능하다. 그러나 동시다발적 상황을 포함한 모든 가능한 장애발생에 대처하기 위해 예비회선을 설치할 경우 많은 비용이 발생하므로 하나의 링크장애에 대비하여 예비회선을 설치하는 것이 일반적인 장애 대처 방법이다. B-DCS망의 장애복구 방법 중 경로복구 방법은 장애가 발생한 링크를 지나는 트래픽의 운용회선 경로 전체를 장애가 발생된 링크를 포함하지 않는 예비회선 경로로 교체하여 장애를 복구시키는 방식이며 링크 복구방법은 링크에 장애가 발생하게 되면, 장애가 발생된 링크만을 우회시키는 우회경로를 통해 장애를 복구하는 방식이다. 경로 복구방법은 망자원을 효율적으로 사용할 수 있는 장점을 가지고 있으나 복구시간이 느리며, 운용이 복잡하다는 단점을 가지고 있어, B-DCS 그물망에서는 대부분 링크 복구방법을 이용하고 있다. 전체 회선 수를 최소화시키면서 운용 및 예비 회선을 설치하는 것은 매우 어려운 문제이다. 운용 회선과 예비회선 할당 문제를 분리시켜 해결하거나 운용회선의 할당은 주어진 것으로 가정하고 예비회선의 효율적인 할당 방법만을 고려하는 기존 연구^[12,13,14]와 달리 본 논문은 링크 복구방법을 적용하고 운용회선과 예비회선 할당 문제를 동시에 고려하여 전체 설치 회선 수를 최소화시킬 수 있는 운용 및 예비 회선 할당 알고리즘을 제안하였다.

4.2 수리적 최적화 모델

운용 및 예비회선의 최적 할당 문제(WSCAP)를 해결하기 위해 B-DCS망의 구축비용 최소화를 목적 함수로 하여 입력자료와 제약조건을 바탕으로 관련 수식을 도출하면 아래와 같다.

$$\text{minimize } C_{DCS} \sum_{m \in V} z_m + C_{FIBER} \left(\sum_{(l,m) \in E} f_{lm} \right),$$

such that

$$\sum_j x_{ij}^k + \sum_j x_{ji}^k = \begin{cases} b_k, & i = o(k) \\ -b_k, & i = d(k), \quad k \in K \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

$$\sum_{(l,m) \in q_m^n} y_{lm} \geq \sum_k (x_{ij}^k + x_{ji}^k) \quad (7)$$

$$af_{lm} \geq y_{lm} + \sum_k (x_{ij}^k + x_{ji}^k) \quad (8)$$

$$\beta z_m \geq \sum_l f_{lm} \quad (9)$$

여기서 C_{DCS} 와 C_{FIBER} 은 각각 B-DCS 단위당 설치비용과 광코어 단위당 설치비용이며, V 와 E 는 노드와 링크의 집합을, y_{lm} 과 f_{lm} 은 (l,m) 링크의 예비회선용량과 광코어의 개수를, Q_{lm} 은 (l,m) 링크의 모든 e-cut 집합, q_m^n 은 Q_{lm} 중 n 번째 e-cut, z_m 은 노드 m 에 설치된 B-DCS 개수를 나타내는 변수다.

식 (6)은 발생지-목적지 쌍간에 수요가 주어졌을 경우 수요의 흐름이 망을 통해서 발생지에서 목적지로 정확히 전송되는 것을 보장하는 흐름균형 제약식이고 식 (7)은 장애발생시 링크에 할당된 운용회선의 복구에 사용될 예비회선 용량 확보에 대한 제약식이다. 식 (8)은 광코어당 전송할 수 있는 B-DCS 인터페이스 모듈의 전송 용량에 대한 제약식으로 인터페이스 모듈의 전송용량이 a 개의 STM-1급 신호를 동시에 수용할 수 있다는 것을, 식 (9)는 B-DCS 장비의 용량 제한을 위한 제약식으로 B-DCS 장비당 β 개의 인터페이스 모듈을 수용할 수 있다는 것을 각각 의미한다.

4.3 B-DCS망 설계 알고리즘

식으로 표현된 WSCAP 또한 NP-complete 문제이므로 효과적인 망설계를 위한 알고리즘을 제시한다. 링크상에 설치될 광코어 수를 무한대로 가정하는 기존 연구와는 달리, 본 논문은 회선 할당시 제약조건식 (8)을 고려하며, B-DCS가 설치되지 않아도 링크 분기가 발생하는 망토폴로지도 포함하고 있다.

4.3.1 운용회선망 생성

그림 11의 운용회선망 생성 모듈은 수요가 존재하는 B-DCS간의 최단경로에 운용회선을 할당하는 기존 방법과는 달리, 초기 운용회선망의 할당시 과부하가 걸리는 링크를 우선적으로 검색하여 부하가 적은 링크들로 우회시키는 과정을 반복 수행함으로써 예비회선과의 공유를 향상시킨다.

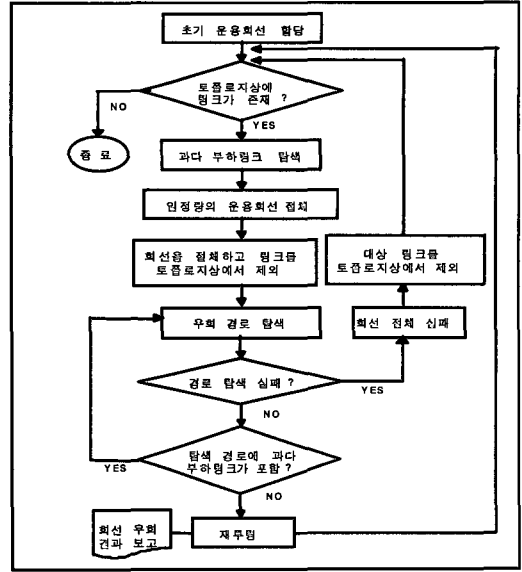


그림 11. 운용회선망의 생성 과정

4.3.2 예비회선 할당

예비회선 할당 알고리즘은 망의 장애발생시 링크 복구방법에 의해 운용회선을 우회하는 예비회선을 할당하는 과정이다.

운용회선을 소유하고 있는 각 링크에서 회선 추가없이 이미 설치된 예비회선에서 가능한 수의 예비회선을 확보하되 더 이상 추가 예비회선의 할당이 없이 예비 회선 확보가 불가능한 경우는 우회경로의 반복 때마다 최소의 추가 회선을 설치하여 예비회선을 확보할 수 있는 경로를 검색하여 여유용량이 없는 링크에 회선을 추가 할당한다.

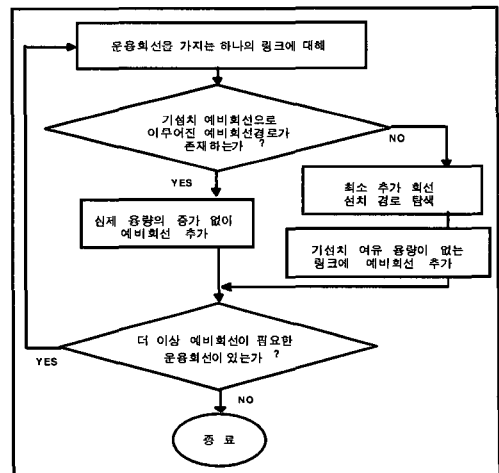


그림 12. 예비회선의 할당 과정

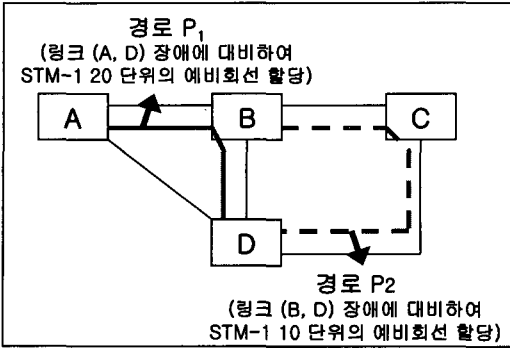


그림 13. 예비회선 할당의 개선과정

4.3.3 예비회선 할당의 개선

예비회선 할당 개선은 운용 및 예비회선의 할당 후, 예비회선 우회로 회선수 감소가 가능한 링크를 검색하는 과정으로 이는 장애가 동시에 발생하지 않는 운용회선의 경우 예비회선을 공유할 수 있다는 사실을 이용한다.

그림 13과 같이 링크 (A,D)의 장애에 대비하여 링크 (A,B), (B,D)로 구성된 경로 P1에 STM-1급 20단위의 예비회선과, 링크 (B,D)의 장애에 대비해 링크 (B,C), (C,D)로 구성된 경로 P2에 STM-1급 10 단위의 예비회선이 각각 확보되어 있다고 가정하면 링크 (A,D)와 (B,D)에 할당된 운용회선들은 한 링크의 장애 시 동시에 영향을 받지 않으므로 예비회선의 공유가 가능하다. 그러므로 링크 (B,D)에 할당된 STM-1 20급 단위의 예비회선 중 10단위를 경로 P2를 통하여 우회시킴으로써 전체 예비회선 할당량을 10단위 줄일 수 있다.

4.4 알고리즘의 적용사례 및 결과분석

그림 14의 B-DCS 망 토폴로지에 표 9의 수요를 대입하여 기존 알고리즘과 제안 알고리즘의 성능을

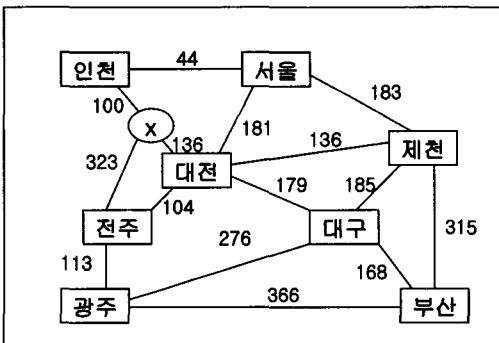


그림 14. B-DCS망 토폴로지

표 9. 발생지-목적지간의 수요

지역	0	1	2	3	4	5	6	7
서울	0	84	96	32	35	72	60	0
인천	1		12	3	17	12	20	0
대전	2			10	24	22	21	0
전주	3				7	7	6	0
광주	4					10	8	0
대구	5						63	0
부산	6							0
제천	7							

비교한다. 그림의 링크에 표현된 수치는 Km단위의 노드간 거리이며 B-DCS의 설치없이 분기되는 링크의 표현을 위해 x라는 더미노드가 도입되었고 수요 단위는 STM-1급으로 주어진다.

과부하가 걸리는 노드의 운용회선 부하가 우회됨으로써 표 10과 같이 최단경로에 의한 운용 및 예비회선 할당 결과보다 운용회선 할당량은 많으나 예비회선의 할당량은 알고리즘을 이용해 운용회선을 할당한 경우가 최단경로를 이용하는 경우보다 적은 것으로 분석되었다. 표 10의 결과 회선 수에 거리를 곱한 값을 그래프로 나타낸 그림 15를 통해, 알고리즘을 이용하여 운용회선을 우회시키면 운용회선 수는 증가되지만 예비회선의 공유도가 증가되어 결과

표 10. 회선할당 결과의 비교

링크 (O-D)	거리 (Km)	최단경로를 이용한 회선 할당		알고리즘을 이용한 회선 할당	
		운용	예비	운용	예비
0-1	44	148	148	148	148
0-2	181	279	148	199	148
0-7	183	80	131	160	51
1-x	100	0	148	0	148
2-3	104	134	83	99	51
2-5	179	140	11	105	5
2-7	136	0	80	10	80
2-x	136	0	105	0	124
3-4	113	83	91	48	75
3-x	323	0	43	0	24
4-5	276	10	81	45	69
4-6	366	8	10	8	6
5-6	168	90	79	90	80
5-7	185	0	0	70	16
6-7	315	80	80	80	84
총 계		1,052	1,238	1,062	1,109

적으로 전체 회선량이 감소됨을 알 수 있다. 이는 최단경로를 이용할 경우 운용회선 수가 예비회선 수보다 적지만 먼 우회 경로를 이용해야 하므로 광코어 비용을 더욱 증가시키는 결과를 초래하기 때문이다. 그림 16은 표 10을 이용하여 코어 비용과 국사별 소요 B-DCS 장비비용을 구한 그래프이다. 장비비용은 각 노드의 소요 회선수에 의해 결정되는 고정비용과 STM1-16급 인터페이스 모듈비용의 합으로 구해진다. 알고리즘을 이용한 운용회선 할당 방법을 통해 망을 구축했을 경우 최단경로를 이용할 때보다 전체 망구축 비용을 약 2.5%정도 절감할 수 있음을 알 수 있다.

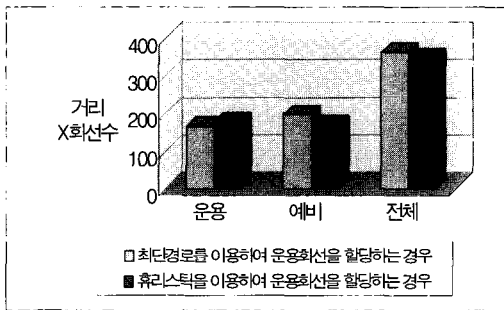


그림 15. 전체 회선수의 비교

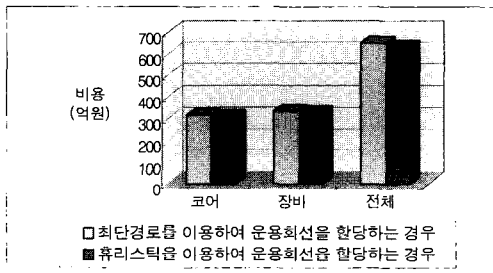


그림 16. 망 구축비용의 비교

V. 결론

본 논문에서는 전송망의 영역이 확장되고 노드간의 수요량이 증가함에 따라 이들 수요를 처리할 수 있는 3계위 망구조를 효율적인 망구축 방안으로 제안하면서 이들 각 계층에서 장애의 발생에도 자동 복구가 보장되는 시스템을 이용하여, 주어진 수요를 비용-효과적으로 처리할 수 있는 광전송망 설계를 수행하였다.

각 장의 내용을 정리하면 제 II장 간선링 설계에서는 여러 개의 링들이 중첩 또는 연결되는 망 토

폴로지 상에서의 다중링 설계 문제를, 제 III장 지선링에서 논리 링들의 접속과 각 논리 링에 설치할 ADM의 설치위치를 결정하는 중첩링 설계 문제를, 끝으로 제 IV장 B-DCS 망 설계에서는 운용회선과 예비회선의 할당을 동시에 고려하는 그물망 설계문제를 각각 다루었다.

이들 설계문제를 혼합정수 계획 모델에 의해 수식적으로 접근할 때 노드와 수요의 증가가 동반되면 필연적으로 NP-complete 문제가 되지만 기존의 방식을 개선하여 새로 제안된 휴리스틱 알고리즘들을 적용하면 현실적 설계 요소들이 반영되면서도 실시간 내에 해를 구할 수 있기 때문에 의사결정 요소가 결여된 수리 모형에 비하여 우수한 최적화 값을 구할 수 있다. 그리고 직접 3계위 광전송망을 처음부터 현장에 적용하기 전에 제안된 알고리즘을 이용하여 망 구조를 사전에 시뮬레이션할 수 있으므로 잘못된 망설계로 인한 위험요소를 줄일 수 있으며, 망 구축비용의 사전 산출과 효과적인 망 구조의 도출이 가능함을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] Tsong-Ho Wu, "Emerging Technologies for Fiber Network Survivability", *IEEE Communications Magazine*, pp. 58-74, 1995.
- [2] 김경민, 이영옥, "데이콤 장거리 광전송망 구조의 진화전략", '96 추계종합 학술발표회 논문집, 15(2), pp. 980-983, Nov. 1996.
- [3] Y. S. Myung, H. G. Kim, and D. W. Tcha, "Optimal Load Balancing in SONET Bidirectional Rings", *Operations Research*, 45(1), 1997.
- [4] S. Cosares and I. Saniee, "An Optimization Problem Related to Balancing Loads on SONET Rings", *Telecommunication Systems*, 3(2), 1994.
- [5] 한국과학기술원 정보통신경영연구소, "광전송 기간망의 효율적인 구축 및 운용방안에 관한 연구", 데이콤 종합연구소, 1996.
- [6] J. J. Shi and J. P. Fonseka, "Dimensioning of Self-Healing Rings and Their Interconnections", *IEEE Globecom '93*, pp. 1579-1583, 1993.
- [7] J. B. Slevinsky, W. D. Grover, and M. H. MacGregor, "An Algorithm for Survivable

Network Design Employing Multiple Self-Healing Rings”, *IEEE Globecom '94*, pp. 1862-1866, 1994.

[8] J. J. Shi and J. P. Fonseka, “Hierarchical Self-Healing Rings”, *IEEE Trans. on Networking*, Dec. 1995.

[9] J. J. Shi and J. P. Fonseka, “Interconnection of Self-Healing Rings”, *ICC '96*, 3, pp. 1563-1567, 1996.

[10] S. Coares, D. N. Deutsch, I. Saniee, and O. J. Wasem, “SONET Toolkit : A Decision Support System for Designing Robust and Cost-Effective Fiber-Optic Networks”, *Interfaces*, 25(1), pp. 20-40, 1995.

[11] 이영욱, 민병석, 김경민, “생존도를 고려한 SDH 망의 진화방안”, *한국경영과학회 '96추계종합학술발표회 논문집*, pp. 190-193, Oct. 1996.

[12] Sakauchi, H., Y. Okanoue, and S. Hasegawa, “Spare-channel design schemes for self-healing networks”, *IEICE Trans. Communications*, E75-B(7), pp. 624-634, July. 1992.

[13] Lee, K.S., K.C. Park, S.S. Park, and H.S. Lee, “Spare channel assignment for B-DCS mesh-restorable networks”, *3rd International Conference on Telecommunication Systems*, pp. 296-307, 1995.

[14] Grover, W. D., T. D. Bilodeau, and B. D. Venables, “Near Optimal Spare Capacity Planning in a Mesh Restorable Network”, *Globecom '91*, pp. 2007-2012, 1991.

2000년 4월 - 2001년 7월 하나로통신 네트워크본부 전무

2001년 7월 - 하나로통신 부사장
<주관심 분야> 통신공학, 광통신 공학, 알고리즘

정 순 기(Soon-key Jung)

정회원



1982년 8월 : Uni. Dortmund, Informatik, Dipl. Inf.

1994년 2월 : Uni. Groningen, Computing Science, Dr.

1985년 5월 - 충북대학교 컴퓨터공학과 교수

1998년 4월-2000년 4월 충북대학교 도서관장

1996년 12월 - 1998년 11월 한국과학재단 한독기초과학협력위원회 정보분과위원장

1992년 9월-1994년 8월 충북대학교 전산소장
<주관심 분야> 데이터베이스시스템, 실시간시스템, 소프트웨어공학

이 인 행(In-haeng Lee)

정회원



1978년 2월 : 서울대학교

전자공학과 공학사

1989년 2월 : 한양대학교

산업공학과 공학석사

2002년 2월 : 충북대학교 컴퓨터

터공학과 공학박사

1983년 - 1997년 데이콤종합연구소 연구본부장

1997년 12월 - 1999년 5월 하나로통신 기술기획실 이사

1999년 5월 - 2000년 3월 하나로통신 네트워크본부 상무