

광전송망에서의 다중링 설계를 위한 최적화 모형 및 휴리스틱 알고리즘

정희원 이인행*, 이영옥**, 정순기***

An Optimization Model and Heuristic Algorithms for Multi-Ring Design in Fiber-Optic Networks

In-Haeng Lee*, Youngok Rhee**, Soon-key Jung*** *Regular Members*

요 약

광전송망은 망의 장애에 미리 대비할 수 있도록 신뢰성과 생존도를 고려하여 설계하여야 한다. 동기식 다중화의 국제표준인 SDH(Synchronous Digital Hierarchy) 방식의 광전송망은 장애 발생시 이를 자동적으로 복구할 수 있도록 생존도를 고려한 여러가지 망 재구성 기법들을 제공한다. 그 중 SHR(Self-Healing Ring)은 링의 형태로 망을 구성한 시스템으로 뛰어난 생존도와 경제성으로 통신사업자들의 기간통신망 구조로 활발히 채택되고 있다. 이 때, 링들이 설치되는 지역적 범위가 넓어지고 수요가 증가되면, 다수의 링들이 중첩되어 상호연결되는 다중링(Multi-ring) 구조로 발전하게 된다.

본 연구에서는 수요의 분할처리를 허용하는 BSHR(Bidirectional SHR)들이 연결한 다중링 설계 문제를 다룬다. 이 문제는 망구축용량을 최소화하는 관점에서 생존도가 보장되는 부하 최적화 문제가 되며, 혼합정수계획법에 의한 정식화가 가능하다. 그러나, 현실문제에서는 망구축용량의 최소화 뿐만아니라 노드간 수요로 다계위 수요가 주어지며 중계노드에서의 다중화 번들링도 같이 고려되어야 하므로 수리모형으로는 해결할 수 없는 복잡한 문제가 된다. 따라서 이와같은 고려사항들을 반영한 최적근사해법 실시간내에 구할 수 있는 휴리스틱 알고리즘을 개발하게 되었다. 사례연구에서는 휴리스틱 알고리즘을 적용한 실제 망설계 문제를 설명하였고, 망구성 방법에 따른 차이와 다중화 번들링 여부로 인한 실험 결과를 비교하였다.

ABSTRACT

The important considerations in the design of fiber-optic networks are reliability and survivability preparing against a failure. The SDH(Synchronous Digital Hierarchy), the international standard of optical transmission, offers several network reconfiguration methods that enable network to be automatically restored from failure. One of the methods is the SHR(Self Healing Ring), which is a ring topology system. Most network providers have constructed their backbone networks with SHR architecture since it can provide survivability economically. The network architecture has eventually evolved into a multi-ring network comprised of interconnected rings.

This paper addresses multi-ring network design problems. It is assumed that each ring is a Bi-directional SHR (BSHR) with demand splitting. One of the design problems is to minimize ring-construction cost. This problem can be formulated with MIP(mixed integer programming) model. However, it is difficult to solve the model within reasonable computing time on a large scale network because the model is NP-complete. Furthermore, in practice we should consider the problem of routing demands on rings to minimize total cost. This routing problem

* 하나로통신㈜ 기술실, Hanaro Telecom

** 데이콤 종합연구소 교환전송기술팀, DACOM Corporation

*** 충북대학교 컴퓨터공학과, Choongbook Univ.

논문번호 : 98319-0724, 접수일자 : 1998년 7월 24일

involves multiplex bundling at the intermediate nodes. A family of heuristic algorithms is presented for this problem. These algorithms include gateway selection and routing of inter-ring demands as well as load balancing on single rings.

The developed heuristic algorithms are applied to some network provider's regional and long-distance transmission networks. We show an example of ring design process and compare it with another ring topology design. Finally, we analysis the effect of bundling.

I. 서론

정보화 사회의 발전에 따라 급속하게 증가하는 다양한 통신 서비스를 만족시키기 위해 초고속, 대용량의 전송이 가능한 광전송망의 구축이 국내외적으로 활발히 진행되고 있다. 광전송망은 대용량 전송, 높은 신뢰도, 저렴한 용량 대비 비용, 장거리 전송 등 다양한 장점을 갖고 있으나, 망의 장애 시에는 막대한 피해가 발생하므로 이러한 특성들을 지속적으로 유지할 수 있도록 신뢰성(reliability)이나 생존도(survivability)를 고려하여 설계되어야 한다.

광전송 국제표준인 SDH(Synchronous Digital Hierarchy) 방식의 광전송망은 망의 장애시 이를 자동적으로 복구할 수 있도록 생존도를 보장한 여러 가지 망 재구성 기법들을 제공하고 있다. 대표적인 망 재구성 기법으로는 TM (Terminal Multiplexer)을 이용한 APS/DP(Automatic Protection Switch with Diverse Protection) 방식의 점-대-점 구조, ADM(Add-Drop Multiplexer)을 이용한 자체치유링(SHR : Self-Healing Ring) 구조, DCS(Digital Cross-connect System)를 이용한 그물망 구조 등이 있다^[1]. 그 중 ADM을 이용한 SHR구조는 비용적인 측면뿐 아니라 운용의 편의성등으로 인하여 여러 사업자의 기간망 구조로 활용되고 있다.

본 연구에서는 SHR 구조를 이용한 광전송망 가능한 최소의 비용으로 구현할 수 있는 망설계 기법을 다룬다. 망설계시 설치 ADM을 모두 하나의 링으로 연결하는 경우는 ADM의 장비특성 때문에 비교적 모형화가 용이하나, 복수의 링이 존재하는 경우는 각 링으로의 수요 분산량에 따라 링의 용량 및 특정 노드에서의 ADM의 수가 변하기 때문에 모형화 자체가 어려운 특성이 있다. 또한 비록 정식화 모형이 수립될 수 있는 경우라도 고려해야할 변수의 수나 제약 요소들이 많아 단시간내에 최적해나 실행가능한 해를 구하는 것은 매우 어렵다. 따라서, 고려해야할 변수들을 모두 감안하여 실제 상황에 적용할 수 있는 휴리스틱 알고리즘을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 절에서 다중링 설계 문제를 설명하고 III 절에서 다중링 설계 문제를 풀기 위한 정수 계획 모형과 제약식을 완화하여 하한값을 구하는 라그랑지안 완화기법을 제시한다. IV 절에서는 개발된 휴리스틱 알고리즘의 기능과 수행 절차를 설명하고 V 절에서 사례연구로 휴리스틱 알고리즘을 현실문제에 적용한 결과를 분석한다. 마지막으로 VI 절에서 결론을 맺는다.

II. 다중링 설계 문제

SHR 구조는 링 형태로 망을 구성하고, 노드나 링크의 장애시 자동적으로 미리 설치해둔 링상의 예비회선으로 복구시키는 방식으로, 경제적 장점 외에도 장애에 대해 100% 복구가 가능하여 주요 통신사업자들의 기간망(Backbone Network)으로 널리 도입되고 있다. SHR의 구현은 정상상태 하에서의 트래픽 흐름 방향에 따라 [그림 1]과 같이 단방향 SHR(Unidirectional SHR; USHR)과 양방향 SHR(Bidirectional SHR; BSHR)로 크게 구분되며, 그 중에서 BSHR 구조는 사용되는 광코어의 수와 채널 이용 방식에 따라 BSHR/2(BSHR with 2 Fibers)와 BSHR/4(BSHR with 4 Fibers)로 구분된다. 한편 BSHR에서는 어떤 노드 쌍간에 존재하는 양쪽 방향의 경로 중 하나의 경로만을 통해 수요를 처리하거나 아니면 두 개의 경로를 모두 이용하여 수요를 처리할 수도 있다. 전자의 경우를 수요의 분

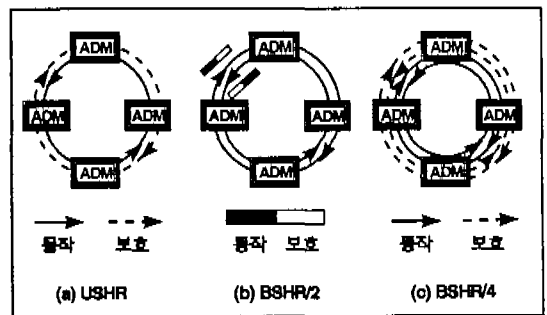


그림 1. 다양한 SHR 구조

할 처리를 허용하지 않는 방식(without demand splitting)이라 하고 후자의 경우를 수요의 분할 처리를 허용하는 방식(with demand splitting)이라 한다^[2]. 본 논문에서는 널리 적용되고 있는 수요의 분할처리를 허용하는 BSHR을 대상으로 한다^{[14],[15]}.

링이 하나인 경우에는 생존도를 보장하는 SHR의 구성을 비교적 쉽게 할 수 있으며, 실제로 단일의 SHR을 대상으로한 링 부하(Single-Ring Load Balancing: SRLB) 문제 해결에 관하여서는 다양한 해법들이 제시되어 활용되고 있다^{[1],[2]}. 그러나 단일 링만으로는 처리할 수 있는 회선수요의 용량이나 링 상에 존재할 수 있는 노드의 수, 링의 총 길이 등에 제약이 따른다. 따라서, 넓은 지역을 대상으로 하거나, 회선수요의 양이 링 하나의 용량을 초과할 경우 [그림 2]와 같이 여러 개의 링들을 중복 또는 신규 설치하고 상호 연결하여 운영하게 된다. 이와 같이 다수의 링이 상호연결되어 있는 경우 다중링 부하최적화(Multi-Ring Load Balancing: MRLB) 문제라 할 수 있고, 이에 관한 연구는 아직 초보적인 단계이다.

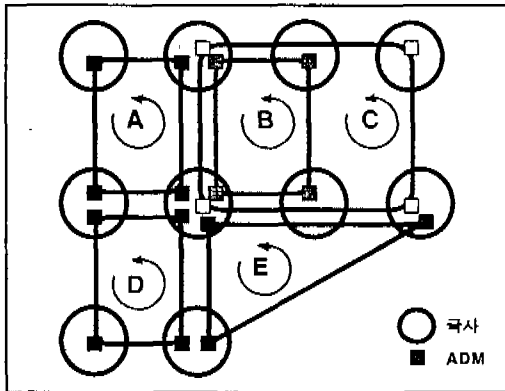


그림 2. 다중 링 연결 구조

다중링 구조에서는 동일 링 내에 속하는 노드간 수요는 해당 링을 구성하는 링크를 따라 전송되고, 다른 링에 속하는 노드간 수요는 같은 국사에 위치한 노드들을 연결시키거나 별도의 중간 링을 경유하여 처리해야 한다. 본 연구에서는 이와 같은 경우 링과 링을 연결하는 점점지역의 노드들 Gateway라고 부른다. 모든 노드들 Gateway로 사용 가능하지만 일반적으로 경비 측면이나 운용의 편의성 등의 이유로 Gateway노드는 소수의 국사로 한정되어있다.

다수의 링들이 연결된 구조에서는 단일 링에서와 달리 필연적으로 링크와 노드들 공유하는 부분에서

의 수요 처리 문제가 발생한다. 링의 연결시 실제 각 수요의 경로를 링별로 적절히 분할하고, 이에 따라 트래픽을 처리할 수 있는 링의 용량 및 링의 수를 결정하면 수요 처리를 위해 중첩되어 구성되는 링의 비용을 절감할 수 있고 링 내 수요를 수용할 수 있는 예비 용량을 충분히 확보할 수 있는 장점이 있다. 또한 동일한 물리적 토폴로지 상에 링이 중첩되어 구성된다면 수요를 어떤 링에서 처리할 것인가, 판로와 노드가 동일한 연결구간이 존재할 경우 연결구간의 수요를 어떤 링에서 처리할 것인가, 경유할 수 있는 링이 둘 이상인 경우 어떤 링을 경유하여 수요를 처리할 것인가를 결정하는 것이 수요를 각 링에 효율적으로 분산시키는 결정 요소가 된다. 이는 곧 여러 개의 링과 Gateway가 존재하는 다중링 구조 하에서 전체 링의 부하를 최소화 하도록 모든 수요의 경로를 지정해 주고 각 링이 담당해야할 수요량을 결정하는 문제라 할 수 있다.

한편 노드간의 각 수요는 일반적으로 DS1, DS1E, DS3, STM-1 등 4가지 속도로 주어진다. 현재 널리 사용되고 있는 SDH 방식의 2.5 Gbps급 링에서는 ADM 노드에서의 분기-결합이 STM-1 단위로 이루어진다. 따라서, 하위신호들을 고가의 다중화 장비를 이용하여 STM-1급의 신호로 다중화시켜서 ADM에 인가시키므로 이 과정의 효율성 여부에 따라 링부하와 비용에 영향을 미친다. 또한 중계 노드에서의 링크의 부하를 줄이기 위한 하위신호들의 번들링 방법도 동시에 고려되어야할 중요한 요인이다.

III. 최적화 모형

3.1 기존 연구

다중링 설계 문제에 관한 초기 연구들에서는 계층적 SHR을 구성하여 망구조의 효율성을 향상시키는 기법^[3]과, 대상지역과 수요를 최소의 비용으로 수용하기 위한 링생성 알고리즘 등과 같이 링 토폴로지를 구성하는 기법^{[4],[6],[7]} 등이 주로 연구되었다.

체계적인 전송망 설계시스템으로는 Bellcore에서 광전송망을 설계하는 의사결정 도구로서 개발한 SONET Toolkit^[8]이 대표적이다. SONET Toolkit에는 링을 구성하는 세 가지 휴리스틱 알고리즘들이 포함되어 있다. 먼저, 여러 노드 집합들 중에서 어떤 집합을 선택했을 때 노드간의 수요를 만족하는 링 구조가 점-대-점(Point-to-point) 구조보다 경제적인 효과가 있는지를 조사하는 문제(Node-set selec-

tion)를 통해 노드집합 M을 구한다. 그리고 M을 지나는 최소 비용의 사이클을 구하는 링 구성(Ring-routing) 문제를 해결한다. 그리고 BSHR의 경우 수요를 어떤 경로를 통해 만족시킬지를 결정하는 링 부하 문제를 풀게 된다. 이 기법의 단점은 링 구성 문제에서는 링크 비용만 고려하고 수요는 고려하지 않기 때문에 전체 최적화와는 거리가 있다는 점이다. 또한 회선 수요도 DS1, DS3만을 가정하고, 중간노드에서의 다중화 번들링이 고려되어 있지 않아 현실적인 고려사항들을 충분히 반영하지 못하고 있다.

3.2 혼합정수계획 모형

수요의 분할 처리를 허용하는 BSHR/2 구조를 대상으로 몇 가지 제약 조건을 고려하여 다중링 부하 최적화 문제의 수리적 모형을 세운 최근의 연구결과^[5]에서는 문제의 특성을 파악하고 효율적인 해법 개발을 위해, 이 문제를 다음과 같은 혼합정수계획(MIP: Mixed Integer Programming) 모형으로 정식화하였다.

[변수정의]

- R : 후보링의 집합
- E : 노드간 링크 집합
- u : u번째 유형
- c_r^u : r번째 링에 u번째 유형의 링을 한단위 설치하는데 드는 비용
- z_r^u : r번째 링에 추가할 u번째 유형의 링의 갯수
- G^u : u번째 유형의 링의 용량 단위
- K : 수요가 있는 노드쌍(Commodity)의 집합
- X_{ij}^k : (ij)링크를 거쳐 처리되는 k번째 수요의 수요량
- b_k : Source 노드는 o(k)이고 Destination 노드는 d(k)인 노드쌍 k의 수요량

[정식화 모형]

$$\min \sum_{u \in U} \sum_{r \in R} c_r^u z_r^u$$

$$s.t. \sum_{r \in R} \sum_{u \in U} G^u (z_r^u + D_r^u) \geq \sum_{k \in K} x_{ij}^k + \sum_{k \in K} x_{ji}^k, \{i, j\} \in E. \quad (1)$$

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

$$x_{ij}^k, z_r^u \in Z^+$$

G^u = Capacity of type u.
 D_r^u = Number of existing ring (topology r, type u).

모형에서 (1)식은 링크 (ij)를 지나도록 설치된 링들의 용량의 합은 이 링크를 지나는 모든 Commodity의 수요량을 처리할 수 있어야 함을 의미하는 용량제약(Capacity Constraint)이며, (2)식은 모든 수요에 대해서 수요지에서 공급지까지 필요한 용량의 흐름이 발생하도록 하는 흐름 균형 제약(Flow Conservation Constraint)이다.

이 모형은 수요를 충족시킬 수 있는 최소비용의 링 집합과 각 수요들의 경로를 제시해준다는 점에서 의미가 있다. 하지만 현실의 망설계 문제에 적용하기 위해서는 몇가지 문제점이 있다. 첫째로 이 모형은 실제 문제에서 발생하는 많은 제약 사항들을 적용할 수가 없다. 실제로는 링간 수요를 처리하는 Gateway가 일부 노드로 한정되어 있거나 이기종의 장비간 연결 제약, 하위 신호들이 링상에서 다중화되어 처리되는 등 제약 사항이 존재하지만 이런 제약 사항들은 모형화가 어렵고 모형화가 가능하다고 해도 제약식의 수가 상당히 증가하여 문제해결이 어렵게 된다. 두번째 문제점은 위 모형이 IP인데다 제약식의 종류가 상당히 많아 폴리노미얼 시간(Polynomial Time)내에 최적해를 발견할 수 없는 NP-Complete 문제라는 점이다. 링의 수나 수요가 많아짐에 따라 변수의 수가 폭발적으로 증가하기 때문에 다수의 링이 연결된 경우나 많은 수요자료가 주어질 경우에는 실질적으로 해를 구하기 어렵다.

3.3 라그랑지안 완화기법 (Lagrangian Relaxation)

위에서 기술한 바와같이 다중링 부하 최적화 문제는 NP-complete에 속하므로 근사적 방법을 통해서 해를 구하는 것이 필요하다. 이때 최적해에 대한 하한값을 알 수 있다면 상한값의 일종인 근사해, 즉 가능해(Feasible Solution)에 대한 성능을 보장해 줄 수 있으므로, 제약식의 일부를 쌍대화(Dualization)하여, 하한값을 구하는 라그랑지안 완화기법(Lagrangian relaxation technique)을 고려해 볼 수 있다.

최적화 모형에는 두 종류의 제약식이 있으므로 용량제약을 완화하는 방안과, 흐름균형제약을 완화하는 방안을 검토할 수 있다. 여기서 용량제약을 완화할 경우 남은 제약식은 정수조건(Integrality Property)을 만족하므로 기껏해야 선형완화문제의 해와 같은 수준의 하한값을 제공한다. 반면 흐름균형제약을 완화하는 경우는 남은제약이 정수조건을 만족하지 않으므로 전자보다 나은 값을 제공한다^[12].

본 연구에서는 이와 같은 일반적인 완화기법에서 다음의 절단제약(Cut Constraint)을 추가하여 하한값의 개선을 시도하였다. 절단제약은 임의의 Cut에서 링의 구축을 통해 제공되는 Cut의 용량이, 해당 Cut을 가로지르는 수요의 합보다 커야 한다는 것을 의미하며, Multicommodity Flow에서 이 제약은 타당함이 증명되어 있다^[13]. 절단제약은 용량제약을 완화한 경우에 더욱 효과적으로 작용하므로 라그랑지안 부문제는 다음과 같이 정식화 될 수 있다.

[변수정의]

- u_{ij} : 라그랑지안 승수
- W : 노드 집합(V)의 부분 집합
- $\delta(W)$: 링크의 양끝 노드중 한쪽노드는 W에 속하고 나머지는 W에 속하지 않는 링크 집합
- R_{ij} : I,j 링크를 지나는 링의 집합

$$\min \sum_{ueU} \sum_{reR} c_r^u z_r^u + \sum_{(i,j) \in E} u_{ij} \left\{ \sum_{k \in K} (x_{ij}^k + x_{ji}^k) - \sum_{reR_{ij}} \sum_{ueU} G^u(z_r^u + D_r^u) \right\}$$

$$s.t. \quad \sum_j x_{ij}^k - \sum_j x_{ji}^k = \begin{cases} b_k, & i=o(k) \\ -b_k, & i=d(k) \\ 0, & \text{else} \end{cases}, k \in K. \quad (3)$$

$$\sum_{i,j \in \delta(W)} \sum_{reR_{ij}} G_r z_r \geq \sum_{o(k) \in W, d(k) \notin W} r_k, W \subset V. \quad (4)$$

$$x_{ij}^k \in Z^+, z_r^u \in B, u_{ij} \geq 0.$$

위 모형은 (3)식과 (4)식을 분리할 수 있으므로 두 개의 부모형으로 분리될 수 있다. (3)식을 이용한 부모형은 k-folded 최단경로 모형이 되므로 쉽게 풀 수 있다. (4)식을 이용한 부모형은 링선정 모형이 되며, 링 수를 적절한 범위내에서 열거(enumeration) 시킴으로써 해를 구할 수 있다.

실제로 발견되는 문제크기에서 위의 방법으로 구한 하한값은 상당히 최적해에 근접한 결과물 보이는 것으로 판명되었다. 하지만, 여기서 제시하는 Primal Heuristic은 앞서 지적한 바와같이 수요의 규격화 등의 가정을 전제로 한 수리적으로 정의된 문제의 해만을 구하므로, 다양한 현실적인 설계 요소들을 동시에 고려해야 하는 실무에서 곧바로 사용하는 데는 한계가 있다.

다중링 설계 문제를 현실 문제에 곧바로 적용 가능하게 하기 위해서는 현실적인 제약 조건이나 가정사항을 모두 충족시키는 실행가능해를 구할 수 있는 휴리스틱 알고리즘의 개발이 필요하다. 따라서,

본 연구에서는 최적화 모형에서 산출된 해를 초기 해로 사용하여 링부하 최적화 및 하위수요들의 다중화 및 중간노드에서의 번들링을 모두 고려한 휴리스틱 알고리즘을 제시한다.

IV. 휴리스틱 알고리즘

4.1 개요

이 절에서는 실제 문제를 해결하기 위해 개발된 휴리스틱 알고리즘들의 고려 사항과 수행 절차에 대하여 알아본다. [그림 3]은 개발된 다중링 설계 휴리스틱 알고리즘의 총괄 실행 절차도이다. 크게 4 단계로 나누어지며 각 단계별로 서브알고리즘이 존재한다.

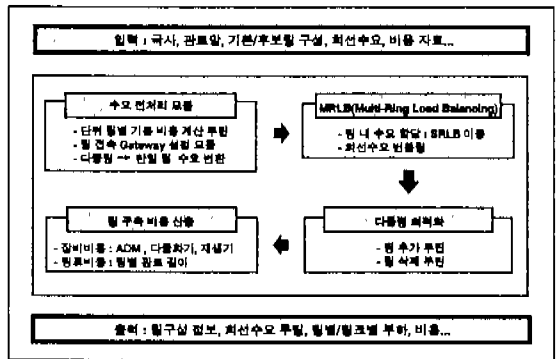


그림 3. 총괄 실행 절차도

4.2 단계별 알고리즘의 고려사항 및 주요 기능

4.2.1 수요 전처리 단계

수요전처리단계는 주어진 입력자료들을 바탕으로 다중링 설계를 하기위한 자료 변환단계이다. 다중링을 최적으로 설계하는 문제는 실시간 내에 해결하기 불가능하므로 본 논문의 휴리스틱 알고리즘은 다중링 설계 문제를 일정한 기준을 통하여 단일링 설계 문제로 변환하여 해결하게 된다. 다중링 문제를 단일링 문제로 변환하기 위한 중요한 고려 사항은 다중링간 수요를 처리하는 Gateway 선정문제로 Gateway를 어떻게 설정하는가에 따라 설계 결과에는 막대한 영향을 미치게 된다. 각 수요별로 경유 Gateway가 결정되면 수요를 단일링 수요로 변환하여 준다.

a. 기준 링 비용 계산 : 휴리스틱 알고리즘에서는 링에 수요할당을 하기위한 링 선택 기준으로 비용

이 가장 저렴한 링을 선택하게 되지만 링 구축 비용은 링이 처리하는 회선의 양과 구성 수에 따라 장비 내역과 비용이 결정되므로 실제 링설계가 끝난 후에야 구할 수 있게된다. 따라서 수요당 기준으로 사용하기 위한 링크 비용과 장비 비용에 근거한 링 비용을 산출할 필요가 있다. 본 논문의 휴리스틱에서는 장비를 구성하는 모듈을 최대로 실장하였을 경우의 장비 비용을 사용하여 비용을 계산하였다. 주어진 각 단위링들의 링크 길이, ADM 및 Regenerator 수와 기초 비용 관련 자료를 사용하여 링크 길이와 설치 장비 수에 의존하는 링의 한단위 설치 비용을 계산하여 링 선택의 기준으로 사용한다.

b. Gateway 설정 : 한 링에서 처리될 수 없어 여러 링을 거쳐야하는 모든 수요들은 링과 링 사이의 수요를 처리하는 Gateway 노드를 경유하게 된다. 주어진 수요가 서로 인접 링에 속해 있고, 인접 링간에 Gateway가 하나밖에 없는 경우는 수요를 루팅할 수 있는 경로가 하나뿐이지만 인접 링인데 Gateway가 둘 이상이거나, 경유하는 링이 여러개인 수요의 경우 다양한 루팅 경로가 존재한다. 이때 각 수요의 일차적인 Gateway 경로 및 Gateway 수를 결정하는데 본 알고리즘이 활용되며 그 실행절차는 [그림 4]와 같다. 각 대응 링에 대한 Gateway는 망

설계의 유연성을 더하기 위해 사용자가 미리 입력하도록 하였고, 별도의 모듈에서 모든 Gateway간 경로를 경유링 수가 최소가 되도록 Gateway간 Hop 수를 기준으로 최단거리를 계산 하여 산출한다. 수요가 경유하는 Gateway가 결정되어도 수요가 어떤 특정링에 할당되는 것은 아니고 다중링 수요를 단일링에서 처리할 수 있는 수요로 변환하기 위한 과정이다. 임의의 수요 k가 주어지면 그 수요의 $O(k)$, $D(k)$ 국사가 속한 링들을 찾는다. 수요의 $O(k)$ 국사가 속한 링셋과 $D(k)$ 국사가 속한 링셋을 보고 수요k가 동일 링내 수요인지, 인접 링간의 수요인지를 탐색하여 후보 Gateway 경로를 설정하고, 경유 링을 거치게 되는 원격 링간 수요인 경우에는 여러 후보 Gateway중에 양단 노드가 소속된 링의 Gateway를 결정한다. 두 Gateway 간의 경로는 별도 모듈에서 계산된 최단 거리 경로를 탐색하여 설정한다. 이 과정을 거치면 주어진 모든 수요쌍은 자신이 동일 링 내에서 처리되는 수요인지를, 동일 링이 아니면 어떤 국사를 Gateway로 하여 처리되는지가 결정된다.

c. 단일링 수요로 변환 : 모든 수요에 대해 단일링으로 처리 가능한 수요인지 다중링으로 처리해야 하는 수요인지 판단하고, 다중링으로 처리해야 하는 수요에 대해 앞의 Gateway설정 과정의 결과물 이용하여, 수요를 단일링에서 처리가능한 수요로 변환하는 과정이 수행된다.

이 작업을 통해 인접 링간 수요는 출발 노드 ↔ Gateway, Gateway ↔ 도착 노드로 수요로 변환되며, 1개의 경유링을 가지는 원격 링간 수요는 출발 노드 ↔ Gateway₁, Gateway₁ ↔ Gateway₂, Gateway₂ ↔ 도착 노드로 수요가 변환된다. [그림 5]에서 다중링 수요 [A:H]가 경유하는 Gateway가 GW-1, GW-2로 결정되었다면 다중링 수요[A:H]는 3개의 단일링수요[A:GW-1], [GW-1:GW-2], [GW-2,H]로 변환되어 처리한다.

4.2.2 다중링 부하최적화 단계
이 단계는 전처리단계에서 처리된 링기준 비용과 단일링

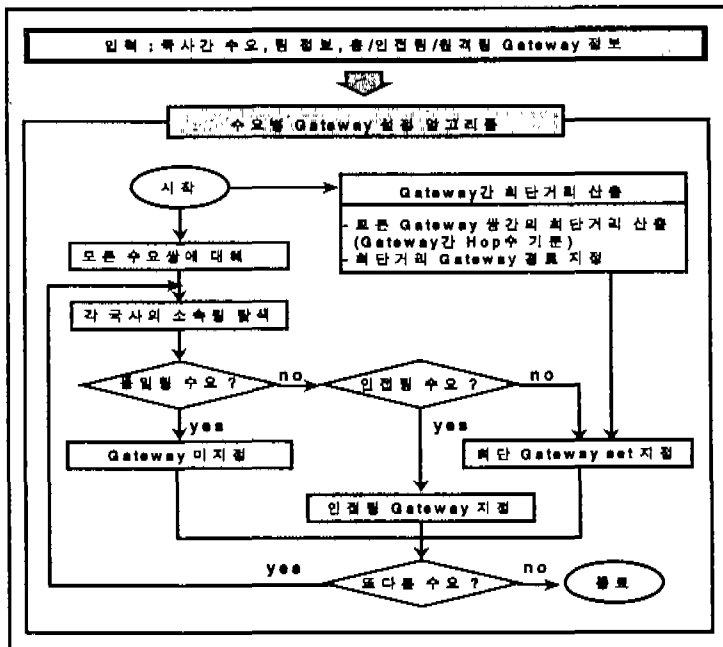


그림 4. Gateway 설정 절차

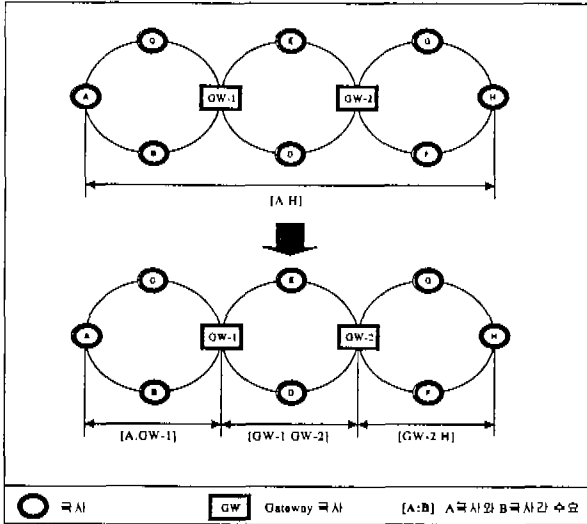


그림 5. 다중링 수요의 단일링 수요로 변환

수요들을 여러 링들에 어떻게 할당하여 처리할 것인가를 결정하는 단계이다.

a. 링별 수요 할당 : 주어진 링에 가능한한 최대의 수요를 할당시켜 추가로 설치되는 링의 수를 최소화할 수 있는 기반을 마련하는 것으로서 전체적인 흐름도는 [그림 6]과 같다. 수요의 전처리 작업으로서 DS1, DS1E, DS3, STM1급 등 네가지 속도

로 구성되어 있는 각 수요들을 SDH ADM 장비 인터페이스에 적용 가능하도록 STM1급으로 변환하는 작업이 필요하다. 변환된 수요는 각 링에 할당되는데, 링이나 관로가 중복된 경우, 기본 비용이 저렴한 링에 수요를 먼저 할당하기 위하여 각 링은 전처리 과정에서 계산된 링의 기본 비용 순으로 정렬된다. 비용이 저렴한 링에 먼저 수요를 할당하는 이유는 고비용의 링에 최대한 여유 용량을 남겨두어 최적화 과정에서 링을 추가해야 할 경우, 저비용 링을 추가 우선 순위로 두기 위함이다.

주어진 링이 비용순으로 정렬되면 저비용의 링부터 해당 링내에 존재하는 노드쌍간의 수요를 채우기 시작한다. 각 단위 링에 최대한 수요를 할당하기 위하여 본 알고리즘에서는

단일 링 부하 최적화 알고리즘^[2]을 사용하여 단위 링에 부과되는 부하를 최소화 한 후 여유용량이 발생되면 여유용량만큼 추가로 수요를 할당하는 작업을 반복하여 실행하고, 단일 링 부하 최적화 알고리즘을 사용해서도 더 이상 수요할당을 할 수 없을 경우 STM-1급 수요중 payload의 일부만 차 있는 신호들을 중간 노드에서 분기시킨 후 다른 수요들과 다중화하여 ADM으로 결합시키는 다중화 번들링 과정을 거쳐 수요를 추가 할당한다. 다중화 번들링 과정을 통해 링의 여유 용량이 발생하면 다시 처음부터 수요할당 작업을 반복하여 채우고자 하는 링에 최대한 수요를 할당한다. 이 작업은 모든 링에 수요가 할당될때까지 계속된다

4개의 수요를 3개의 링에 할당하는 과정이 [그림 7]에 나타나있다. 비용이 최소인 A-B-C링에 A-B와 A-C, B-C 수요가 일부 할당된 후 더 이상 처리할 수 있는 수요가 없으므로 다음으로 비용이 저렴한 C-B-D-E링이 A-C, B-C, B-E수요를 처리한다. 마지막으로 나머지 A-C, B-E수요를 A-B-D-E-C링에 할당한다.

b. 번들링 과정 : 수요 할당 과정에서 ADM간에 전송되고 있는 STM-1 신호들 중 하위신호들을 다중화시킨 STM-1들에는 payload의 일부만 차 있는 경우가 있다. 예를 들어 한 STM-1

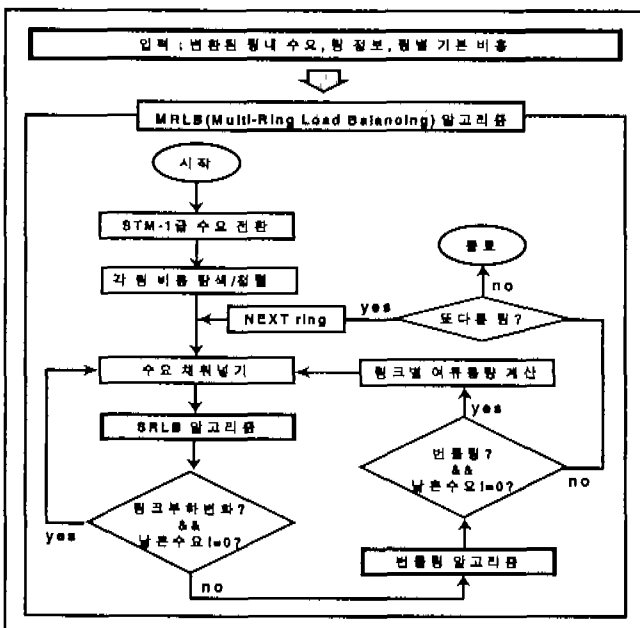


그림 6. 링별 수요 할당 절차

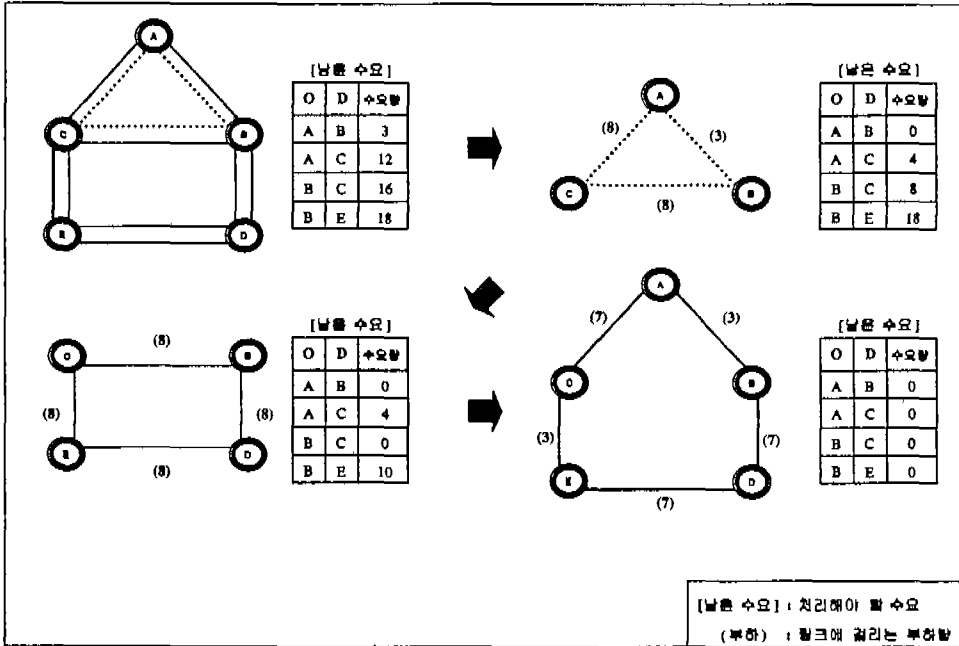


그림 7. 수요 할당 과정 예

신호가 DS3 신호 2개만 수용하고 있을 수도 있고, 극단적으로 DS1 신호 하나만을 수용하고 있을 수도 있다. 링내에서 이와 같은 STM-1 신호들이 많을 경우에는 망자원(링크) 활용율이 떨어진다. 따라서 중간에 있는 노드들(ADM)에서 STM-1 신호를 분기시켜 STM-1 다중화기에서 역다중화하여 하위 신호들을 분리해낸 다음 그 노드의 하위신호들과 함께 다시 STM-1 신호로 다중화하여 ADM으로 결합시키는 작업이 필요하게 된다. 이와 같은 과정을 다중화 번들링이라 한다.

[그림 8]에서 A-B, B-C구간에는 수요 처리를 위해 2회선씩 할당 되어있다. 회선 구성 내역을 보면 A-B, B-C간 수요에 A-C수요를 실어 보낼 수 있으므로 중간 노드인 B국사에서 A-C수요를 분기시켜 B-C수요와 함께 다중화 하여 C로 보내게된다. 번들링을 수행 함으로써 필요한 다중화기 수와 A-B, B-C간 회선수를 줄일 수 있었다.

4.2.3 최적화 단계

휴리스틱 알고리즘을 이용하여 망설계를 수행한 후 망을 보다 효율적으로 재구성하기 위한 단계이다. 주어진 후보링들로 망설계를 수행한 후 남은 수요를 최소의 비용으로 처리하기 위한 링의 추가나 링의 수요를 재루팅 함으로써 불필요한 링을 한 단위 줄일 수 있는지 검색하는 단계이다.

a. 링추가 : 기설치된 링에 주어진 수요를 최대한 채워넣은 후에도 수요가 남아있다면 링을 추가 구축해야 한다. 이때 남은 수요를 수용하면서 추가 링 구축 비용을 최소화할 수 있는 링 set을 결정하여 링을 추가한 후 수요를 할당하는 단계가 링 추가 과정으로 [그림 9]에 그 과정을 도시하였다.

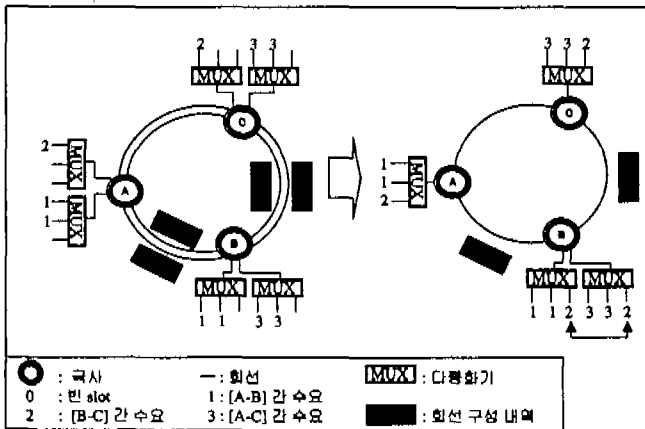


그림 8. 번들링 과정

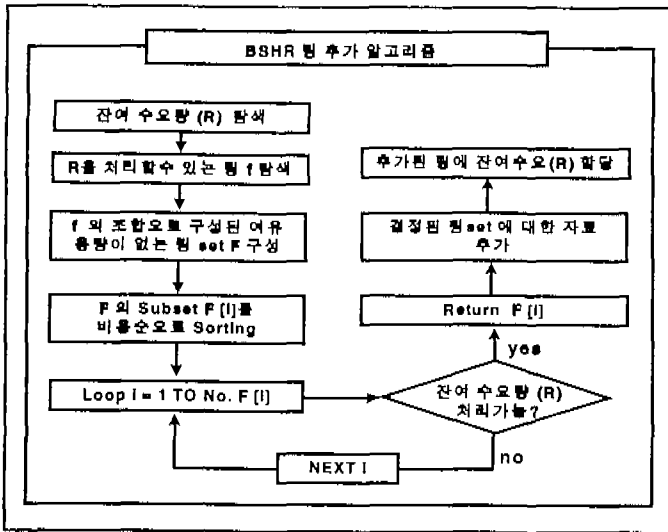


그림 9. 링 추가 알고리즘

[그림 10]이 링 추가 과정의 예이다. 후보링으로 처리하지 못한 수요가 있는 국사가 A,C,F이고 그 노드들을 포함하고 있는 링들을 전체 후보링셋이라고 할 때 후보링 셋의 부분집합으로 구성가능한 링셋을 비용순으로 검색하여 잔여 수요가 있는 노드들 모두 커버하는 링셋을 선택하게 된다. 후보링이 3개 이므로 가능한 조합은 7가지가 나오게 된다. 그 중 4번째 조합이 A, C, F노드들 모두 포함하는 가장

저렴한 링 셋으로 선택되어 추가된다.

b. 링감소 : 기설치 링 정보와 링 추가 과정을 통해 최종적인 링 토폴로지가 주어져 있다면 루팅의 변화를 통해 임의의 링을 한 단위 설치하지 않고도 주어진 수요를 만족할 수 있는지를 검색하는 단계이다. 링 수 감소 과정의 총괄 실행절차는 [그림 11]과 같다. 최종 링 토폴로지상에서 반드시 설치되어야만 하는 링들의 집합과 타 링으로 우회 경로가 보장되는 링들의 집합을 구분한다. 설치 안할 후보 링들이 결정되면 이 링들의 전체 조합을 구한 후 각 조합의 비용에 따라 정렬시킨다. 그 비용의 조합부터, 즉 비용을 최대한 절감시킬 수 있는 조합부터 차례로 소속

링의 수요를 타 링으로 우회시킬 수 있는지를 검색한다. 만약 어떤 링의 모든 수요가 타링들을 통해 우회시킬 수 있다면, 재루팅된 결과를 저장하고 종료된다.

불필요한 링을 제거하는 예가 [그림 12]에서 볼 수 있다. 링을 삭제하여도 그 링을 점유하는 수요들을 주변의 링들로 처리 가능하면 링을 삭제하게 된다.

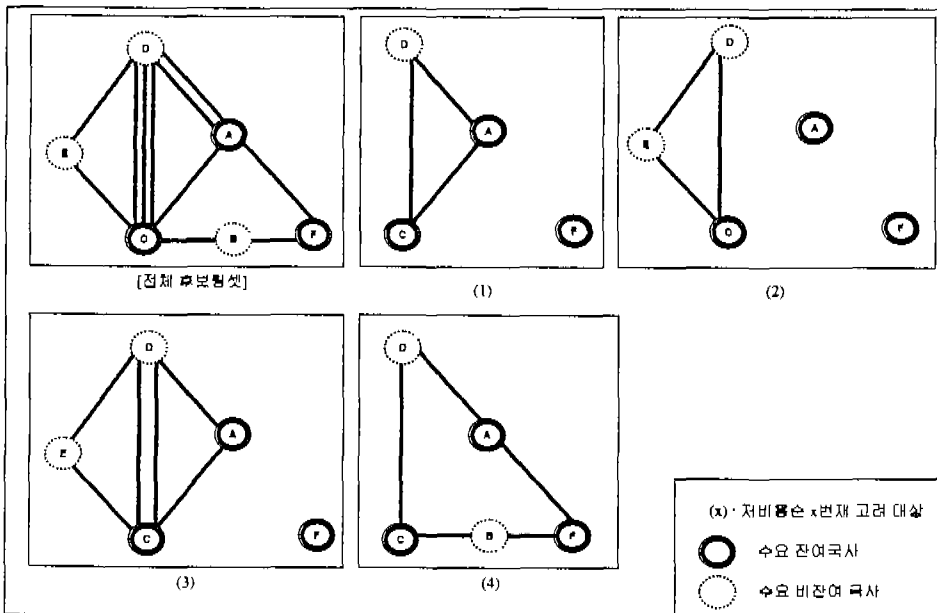


그림 10. 링 추가 과정의 예

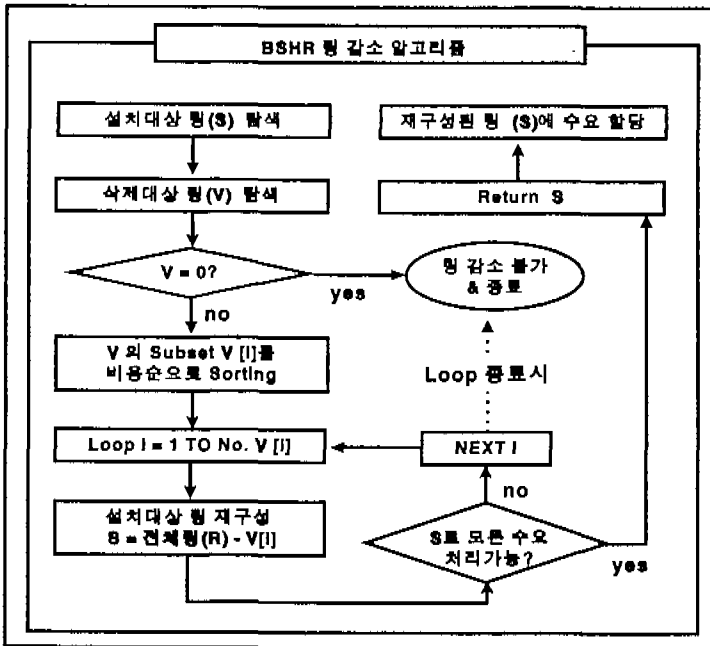


그림 11. 링 감소 절차

4.2.4 구축 비용 산출

서로 다른 망설계 알고리즘이 존재할 때, 다중 링의 설계 결과로 주어진 입력 수요가 각 링에 효율적으로 루팅이 되었는지를 정량적으로 판단할 수 있는 요소는 설계 결과로 얻어진 링의 수와 링 구축 비용이다. 그러나 설계 결과로 구해진 링의 수가 같고, 구해진 링의 토폴로지가 같다면 ADM이나 재생기의 수, 링크 길이만을 이용하여 구한 각 링의 기본비용

의 합으로 계산된 총 설치 비용은 동일해진다. 그러나 필요한 링의 수가 같더라도 설계 결과에 따라 각 링의 여유 용량은 달라질 수 있다. 따라서 효율적인 루팅 결과를 판단하기 위해 링을 구성하는 모든 노드에 대해 해당 노드에 할당된 수요를 충족시키기 위한 장비 비용을 계산하도록 하였다. 본 유리스틱 알고리즘에서는 Gateway에서 DCS장비를 사용하지 않고 MUX 장비를 이용하여 STM-1수요를 Packing/Unpacking한다고 가정하여 필요한 ADM장비와 MUX장비 비용을 계산하였다. 따라서 Gateway에서의 DCS장비 비용이 없고 용량제약도 존재하지 않게 된다. 알고리즘의 총괄 실행 절차는 [그림 13]에 제시되어 있다.

링을 구성하는 ADM, 재생기, 팜중복기의 수가 같더라도 링내/링간 수요 루팅 결과에 따라 각 노드에서 결합/분기 회선을 수용하기 위한 STM-1 다중화기의 수는 달라진다. STM-1 다중화기의 수에 따라 STM-16 ADM을 구성하는 유니트들의 수량도 달라진다. 또한 STM-1 다중화기의 수가 동일하더라도 다중화기가 수용하는 DS1, DS1E, DS3 회선수에 따라 다중화기를 구성하는 유니트들의 수량이 달라지므로 전체 장비 구축 비용은 차이가 있다.

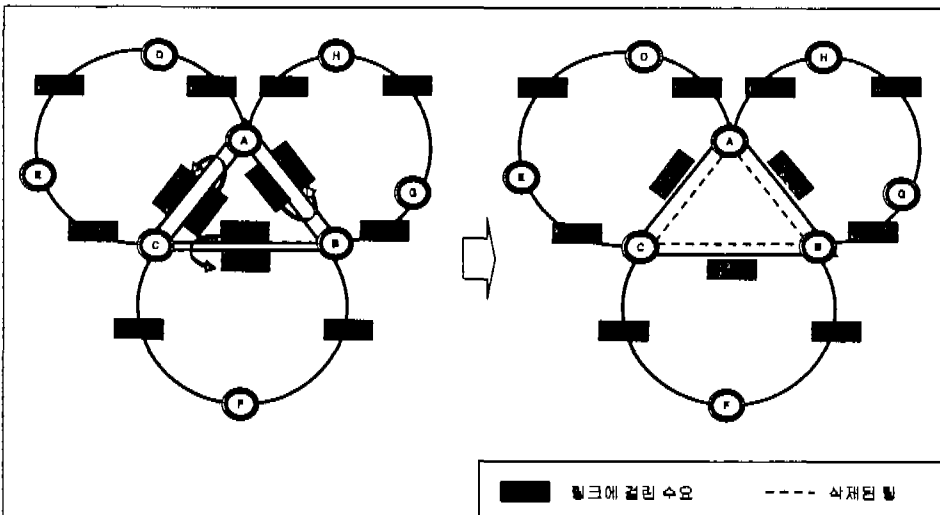


그림 12. 링 감소과정의 예

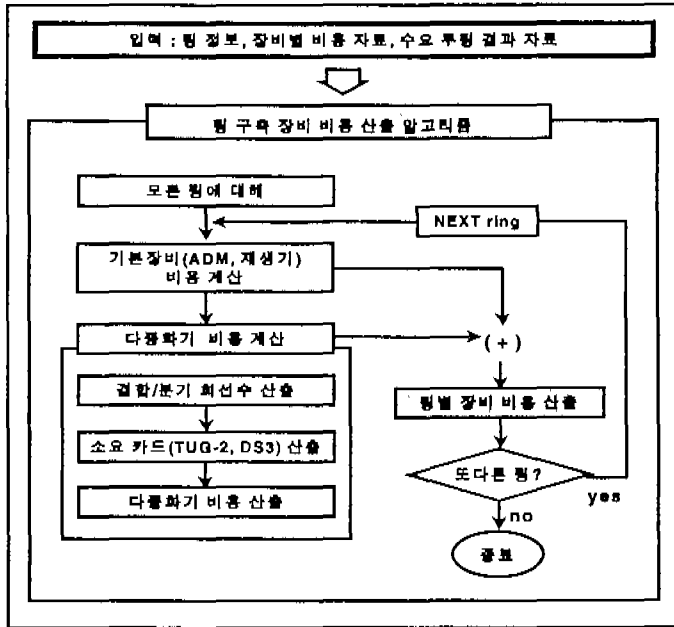


그림 13. 링 구축 비용 산출 알고리즘

알고리즘 실행시에는 기본 입력 사항과 링 설계 결과가 입력으로 주어지며, 모든 링에 대해 ADM, 재생기 수 등에 따라 기본 장비 비용이 계산된다. 4.2.2의 단위 링별 기본 비용과 다른 점은 결합/분기되는 STM-1 회선 수에 따라 ADM 구축 비용이 노드별로 차이가 있다는 점이다. 기본 장비 비용 계산 완료 후, 결합/분기되는 STM-1 회선에 다중화 되어 있는 DS1, DS1E, DS3 회선 수에 따라 해당 STM-1 다중화기에 소요되는 유니트 물량을 산출하여 STM-1 다중화기의 비용을 계산한다. 해당 링에 소요되는 모든 STM-1 다중화기의 비용을 산출하여 앞서 구해진 링의 기본 비용과 합하면 해당 링의 실제 링 구축 비용이 얻어진다.

V. 알고리즘 적용 사례 및 결과 분석

본 논문에서는 사례연구로 ADM을 이용한 다중링 구조로 되어있는 하나로통신 초기 전송망 설계 문제와 데이콤의 장거리 기간 전송망 설계 문제를 다루었다. 이 문제들을 링 토폴로지를 달리하여 설계함으로써 망을 구성하는 링토폴로지를 변화시킴에 따라 다양한 결과를 얻을 수 있음을 보였고

번들링 수행 여부에 따른 결과물 분석하였다.

5.1 하나로통신 초기 전송망 설계 문제

하나로통신 서울지역의 초기 전송망의 물리적 토폴로지는 [그림14]와 같다. 국사간 거리는 Km단위로 판로 옆에 기술되어있다. 총 6개의 노드로 이루어지며 각 노드에서 다시 링이나 점대점 구조의 지선망을 가지는 2계위 구조를 가진다. 본 연구에서는 지선망을 제외한 2.5Gbps급의 BSHR/2 구조로 이루어지는 국간링만을 설계한다. 전체 망(SET-1)은 [표 1]과 같이 총 2개의 링으로 구성된다. 처리 수요는 STM1, DS3, E1, T1으로 이루어지는 14개의 다계위 수요이다.

수요 처리를 위한 SET-1의 링설계 결과는 총 5개의 링으로 처리되며 후보링 A,B 외에 마포, 동작, 송파로 집중되는 수요를 처리하기 위해 A링이 2개, 나머지 수요 처리를 위한 B링이 1개 추가 되었다. 주어진 링 토폴로지에 수요의 특성을 감안하여 2개의 토폴로지를 추가 하여 링을 설계하였다. 추가된 링을 포함한 전체 망 구조(SET-2)는 [표 2]에 나타나있다. 주어진 SET-2로 설계한

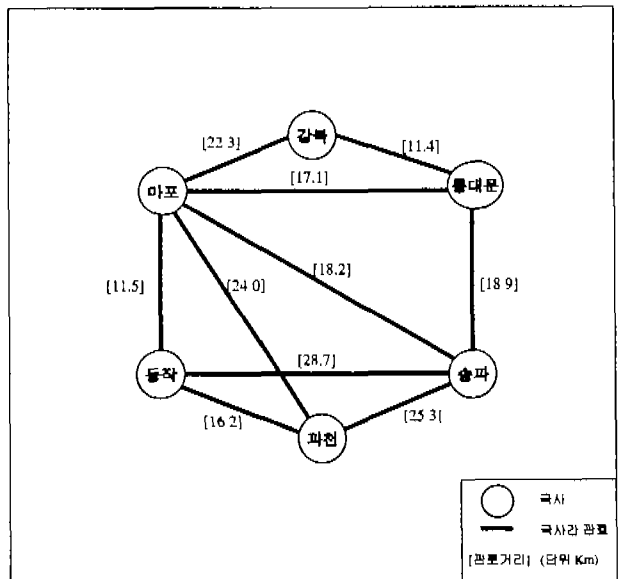


그림 14. 하나로 통신 서울지역 국간 전송망 구조

결과는 [표 3]으로 링 수에서는 SET-1과 마찬가지로 5개의 링으로 구성되었다.

표 1. SET-1 링 구성 노드

링	구성 노드
A	마포-동작-송파
B	마포-동작-과천-송파-동대문-강북

표 2. SET-2 링 구성 노드

링	구성 노드
A	마포-동작-송파
B	마포-동작-과천-송파-동대문-강북
C	마포-송파-동대문-강북
D	마포-동작-과천

표 3. SET-2의 설계 결과

링	A	B	C	D
수	2	1	1	1

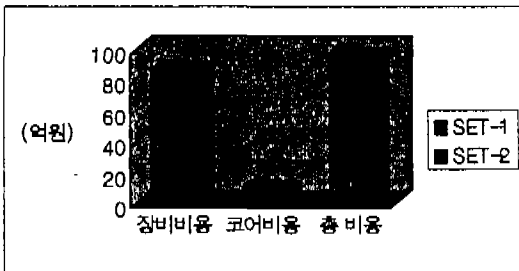


그림 15. SET-1, SET-2의 망구축 비용 비교

망설계 문제의 목적은 망구축 비용을 최소화하는 것이므로 망설계의 선택 기준으로 비용을 사용하게 된다. 망구축 비용의 계산에서 코어 비용은 광코어 1Km당 2700천원의 입차 비용으로 가정하였고 장비는 STM 16급의 ADM장비와 STM-1급의 다중화 장비가격을 이용하였다. 시내망이므로 거리가 짧아 장비비용에 비해 상대적으로 광코어 비용이 적은 부분을 차지했다. [그림 15]에서 장비비용과 코어비용 모두 SET-2가 더 좋은 결과를 보였다. SET-1은 링토폴로지가 간단하므로 링유지 보수면에서 SET-2보다 더 용이하지만 [그림 13]에서 알 수 있듯이 비용면에서 SET-2가 2.6% 더 우수하다. 링에 추가된 부하량을 분석하기 위해 각링의 부하에 대한 자료가 [표 4]에 나타나있다. SET-1이 대체적으로 더 여유용량이 많고 평균 부하가 적지만 SET-2와 큰 차이가 없는 것을 알 수 있다.

표 4. 링 부하 비교

링	부하평균	표준편차	여유용량
SET-1	A-1	8.0	0
	A-2	7.3	0.94
	A-3	5.3	0.47
	B-1	4.83	2.54
	B-2	4.83	1.06
SET-2	A-1	7	1.41
	A-2	8	0
	B	5.16	0.89
	C	6.75	2.16
	D	7.3	0.94

결과적으로 링의 토폴로지를 다양하게 실험하여 링구축 비용을 줄일 수 있는 가능성을 보였다. 망설계 작업은 망이 조금만 커져도 숙련된 엔지니어가 수행하는데 한달 정도의 시간이 걸리게 된다. 하지만 시스템을 이용하므로 좋은 결과를 얻을 뿐만 아니라 짧은 시간내에 여러가지 경우의 망을 설계하여 서로 비교 가능하게 된다.

5.2 데이콤 기간 전송망 설계 문제

이 장에서는 5.1장의 하나로 통신 초기망 설계 문제 보다 복잡한 구조를 가진 데이콤 기간 전송망 설계 문제를 다루었다. 데이콤 기간 전송망의 물리적 토폴로지는 [그림 16]과 같다. 총 28개의 국사와 36개의 링크로 이루어지며 링간 연결을 위한 4개의

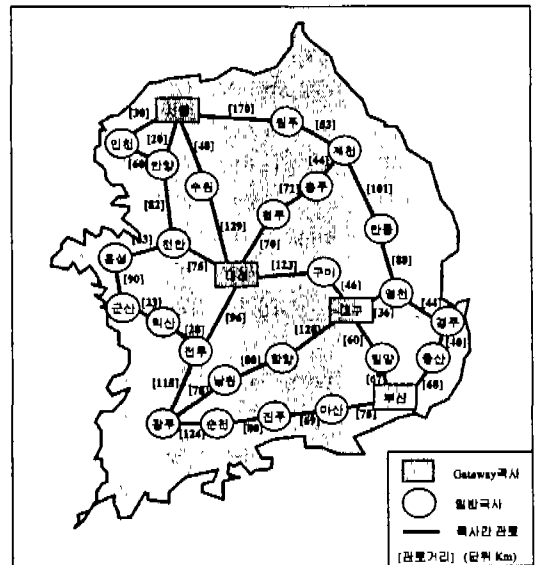


그림 16. 데이콤 전송망 국사 및 판로망도

Gateway국사들 가진다. 주어진 전송망(SET-3)은 총 8개의 링으로 구성되며 각 링의 구성 노드는 [표 5]에 나타나있다. 노드간 수요는 총 90개로 STM1, DS3, E1, T1급의 다계위로 주어진다.

표 5. SET-3 링 구성 노드

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

다중링 설계 과정을 거쳐 주어진 수요를 처리하기 위한 링 셋이 [표 6]에 나타나있다. 모든 수요를 처리하기 위해 주어진 8개의 후보링과 5개의 링이 추가 되었다. 추가된 링은 망의 중간에 위치하여 점유하는 수요가 많은 E링과 수요가 많은 노드로 이루어진 D링, G링, H링이 추가되었다.

표 6. SET-3 망 설계 결과

링	A	B	C	D	E	F	G	H	계
수	1	1	1	2	3	1	2	2	13

5.1장에서 본 바와 같이 망 설계의 결과는 망을 구성하는 링토폴로지에 따라 다양한 결과물 가져오게 된다. SET-3과 비교 하기위한 새로운 링구조(SET-4)는 [표 7]과 같다. 모두 5개의 링으로 구성되며 대부분의 링이 SET-3 보다 더 많은 노드수로 이루어진 것을 알 수 있다.

표 7. SET-4 링구성 노드

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

동일한 수요를 모두 처리하기위해 SET-4를 이용한 링 설계 결과는 [표 8]과 같다. SET-3은 13개의 링이 생성된데 반하여 SET-4는 9개의 링으로 처리할 수 있었다. 링 수에서는 SET-4가 SET-3의 결과보다 적어 운용상의 잇점이 있고 각 링의 링크의 부하평균과 표준편차, 최대 여유 용량을 [표 9]에서 비교해 볼 때 평균적으로 SET-4가 더 많은 부하가 걸려 있으며, SET-3이 최대 여유 용량이 좀 더 많은 것을 알 수 있다.

표 8. SET-4 설계 결과

링	I	J	K	L	M	계
수	1	3	1	2	2	9

표 9. 토폴로지에 따른 링크 부하 비교

링	SET-1			링	SET-2		
	부하 평균	표준 편차	여유 용량		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
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				
H2	0.43	0.49	7				

망의 운용면뿐 아니라 망구축 비용기준에서 비교해 보면 [그림 15]에서와 같이 SET-4를 이용한 설계가 코어비용, 장비비용에서 SET-3보다 좋은 결과물 얻었고 총비용은 SET-4가 SET-3 보다 약 9.3% 정도의 비용 감소를 보였다. 결과에서 볼 수 있듯이 링을 다양하게 설계해 봄으로써 보다 효율적인 망 구성이 가능하다.

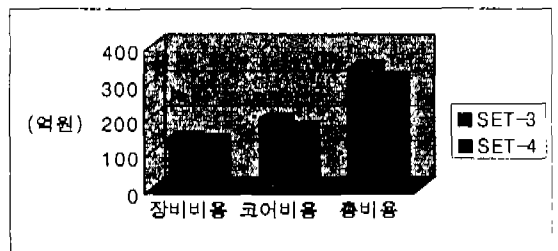


그림 15. SET-3, SET-4의 비용 비교

5.3 번들링 효과

이 절에서는 링에 수요를 할당하는 과정에서의 번들링 알고리즘의 효과에 대하여 기술하였다. 번들링은 주어진 수요에서 SET-3은 11번 발생하였고 SET-4는 14번 발생하였다. 번들링이 이루어지기 위해서는 여러가지 조건들이 만족되어야 하므로 적은 빈도로 발생하지만 번들링 발생의 결과로 링의 최대 여유 용량이 증가 하였고 장비 비용이 감소하였다.

표 10. 번들링 여부에 따른 결과 비교

	SET-3		SET-4		차이(%)	
	번들링 수행	번들링 비수행	번들링 수행	번들링 비수행	SET-3	SET-4
장비비용 (천원)	14466 441	15299 414	13699 847	14562 556	5.4	5.9
평균링크 부하	4.71	4.89	5.50	5.79	3.6	5
여유용량 평균	2.4	2.1	1.8	1.4	12.5	22

SET-4에서는 번들링 여부에 따라 장비 구성뿐 아니라 링구성도 변화되었다. [표 11]에서 보는 바와같이 번들링 비수행시 J링 대신 I 링이 추가 되었다. 이것은 링수가 시에 번들링을 수행하지 않은 경우는 남은 수요를 J링을 구성하는 노드들로 처리하지 못하므로 노드수가 많은 I링을 추가 하게 되어 결과적으로 비용의 증가를 가져오게 되었다. [표 10]에서 비교한 바와 같이 장비 비용에서는 번들링 수행과 비수행이 5.9%의 차이를 보였고 광코어 길 이에서는 3.5%의 절감을 보여 전체망 구축 비용에서는 4.6%의 비용이 절감되었다.

표 11. 번들링여부에 따른 SET-4의 링구성 비교

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

그러나, 실제 망에서 너무 많은 번들링이 발생할 경우 운용상의 불편과 전송품질의 저하, delay등이 발생하므로 번들링 회수를 적절히 제한할 필요가 있다.

VI. 결론

링을 중심으로 광전송망을 운용하게 되는 경우,

어느 정도 이상인 지역적 범위의 수요를 처리하기 위해서 여러 개의 링들을 설치하고 상호 연결하여 운영하여야 하므로 다중링 부하 최적화 문제는 광전송망의 설계시 반드시 해결되어야 한다. 그러나 기존의 연구들은 단일링만을 대상으로 부하 최적화 문제를 다루었고 다중링의 경우, 링의 최적 용량 결정은 문제의 정의 정도만 제시되어 있는 상태이다. 본 연구에서는 다중링 부하 최적화 문제의 현실문제에의 적용을 위한 휴리스틱 알고리즘을 제시하였으며 실제 하나로 통신 초기망과 데이콤의 기간 전송망 구조 데이터를 대상으로 실험을 하였다. 실제 운용되고 있는 광전송망 관련 자료를 입력으로 하여 제시된 휴리스틱 알고리즘을 적용하였는데, 휴리스틱 해법의 특성상 링의 신설 문제, 기존링을 고려한 링의 확장 문제, 새로운 토폴로지의 링 선택 문제 등 다중 링 설계에 관련한 여러 가지 현실적인 의사결정 문제에 관해 제시된 알고리즘이 다양하게 적용될 수 있음을 살펴보았다.

휴리스틱 알고리즘을 이용하면 다양한 망토폴로지로 실험 가능하므로 보다 효율적인 망구조를 찾을 수 있다. [그림 15]와 [그림 17]에서 새로운 링 토폴로지를 실험한 결과 각각 2.6%와 9.3%의 비용 절감을 얻을 수 있었다. 번들링의 효과로 장비비용이 줄어들고 링크 활용도가 증가 함을 [표 10]에서 보았다. SET-4는 번들링 여부에 따라 장비비용에서 5.9%뿐 아니라 링구성도 변화되어 코어 비용에서 3.5%의 비용절감을 얻을 수 있었다.

제시된 휴리스틱 알고리즘의 문제점으로는 실험 결과가 최적해를 보장하는 것은 아니라는 것이다. 따라서 알고리즘의 성능을 확인할 수 있는 다양한 이론적 검증 기법들에 대한 연구가 계속될 필요가 있다.

참고 문헌

- [1] S. Cosares and I. Sanice, "An Optimization Problem Related to Balancing Loads on SONET Rings," Telecommunication Systems, Vol. 3, No. 2, 1994.
- [2] Y. S. Myung, H. G. Kim, and D. W. Tcha, "Optimal Load Balancing in SONET Bidirectional Rings," Operations Research, Vol. 45, No. 1, 1997.
- [3] J. J. Shi and J. P. Fonseka, "Dimensioning of Self-Healing Rings and Their Interconec-

tions," IEEE Globecom '93, Houston, pp. 1579-1583.

[4] J. B. Slevinsky, W. D. Grover, and M. H. MacGregor, "An Algorithm for Survivable Network Design Employing Multiple Self-Healing Rings," IEEE Globecom '94, San Francisco, pp. 1862-1866.

[5] 이영욱, 민병석, 김경민, "생존도를 고려한 SDH 망의 진화방안," 한국경영과학회 '96추계학술대회 발표논문집, 1996. 10. 26., 고려대학교, pp. 190-193.

[6] J. J. Shi and J. P. Fonseka, "Interconnection of Self-Healing Rings," ICC '96, Vol. 3, pp. 1563-1567.

[7] J. J. Shi and J. P. Fonseka, "Hierarchical Self-Healing Rings," IEEE Trans. on Networking, Dec. 1995.

[8] 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, Vol. 25, No. 1, 1995

[9] T. H. Wu, "Emerging Technologies for Fiber Network Survivability," IEEE Communications Mag., Vol. 33, No. 2, pp. 60-75, Feb. 1995.

[10] M. Minoux, "Network Synthesis and Optimum Network Design Problems: Models, Solution Methods and Applications," Networks, Vol. 19, 1989.

[11] D. W. Tcha, "Design Issues in Survivable Synchronous Optical Transmission Networks," KTIS, 1994.

[12] G. L. Nemhauser and L.A. Wolsey, Integer and Combinatorial Optimization, Wiley, 1988.

[13] H. Okamura and P. D. Seymour, "Multi-commodity Flow in Planar Graphs," J. of Combinatorial Theory B, Vol. 31, pp.75-81, 1981.

[14] Masahiro Takatori, Yukio Nakano, Yoshihiro Ashi, "A High Performance Switch for OC-12 SONET Self-Healing ring Networks" IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, Vol. 14, No.2, February 1996.

[15] Mark R. Willson, "The Quantitative Impact of

Survivable Network Architectures on Service Availability", IEEE Communications MAGAZINE Vol. 36, No. 5, May 1998

이 영 욱(Youngok Rhee)

정회원



1985년 2월 : 서울대학교 산업공학과 (학사)
 1987년 2월 : 한국과학기술원 (KAIST) 경영과학과 (공학석사)
 1996년 8월 : 한국과학기술원 (KAIST) 경영공학과 (공학박사)

1987년 3월~1993년 4월: 한국통신기술주식회사(KTI)
 1993년 5월~현재 : 하나로 통신 인터넷기술실장
 현재 : 가입자전송기술팀장 및 교환전송기술팀장
 <주관심 분야> 광전송망, 케이블통신, 고속인터넷

이 인 행(In-Haeng Lee)



1978년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1989년 2월 : 한양대학교 산업대학원(산업공학석사)
 1983년 1월~1997년 6월 : 데이콤 서울운용센터장 (본부장)

1997년 7월~1997년 11월 : 데이콤 이사대우
 1997년 12월~1998년 4월 : 하나로통신 기술기획 실장
 1997년 5월~1998년 4월 : 하나로통신 기술기획 담당 이사
 1998년 12월~1999년 4월 : 하나로통신 네트워크 담당 이사
 1999년 5월~현재 : 하나로통신 상무이사(망계획담당)

정 순 기(Soon-key Jung)



1964년 3월~1971년 2월 : Universitaet Dortmund (Dipl.Inform.)
 1990년 4월~1982년 8월 : Rijksuniversiteit Groningen (Doktor)
 1983년 1월~1983년 11월 : 서독 Philips Data Systems 연구원

1983년 12월~1985년 : 한국데이터통신 (데이콤) 책
임연구원
1985년 5월~현재 : 충북대학교 컴퓨터과학과 교수
1998년 4월~현재 : 충북대학교 도서관장