

링/링 토폴로지를 갖는 SDH망의 구축에 관한 연구

민병석, 안동혁, 차동완
한국과학기술원 테크노 경영대학원

Abstract

SDH로 대표되는 광전송기술은 대용량, 높은 신뢰성을 특징으로 하기 때문에 간단한 형태의 망토폴로지를 갖게 되므로, 링크나 노드가 손상되었을 경우에 생기는 손실은 엄청나다. 따라서 어느 하나의 링크나 노드가 훼손되더라도 그대로 망을 운용할 수 있는 생존도(Survivability)에 대한 요구가 절실하다.

생존도를 고려한 광전송장비는, 링토폴로지(Ring Topology)를 지원하는 ADM(Add Drop Multiplexing)과 메쉬토폴로지(Mesh Topology)를 지원하는 DCS(Digital Cross-connecting System)로 대별되며, 이들 각각을 이용하여 구성된 단일링, 또는 단일메쉬망 등의 기본망구조에 관한 연구는 상당히 축적되어 있다. 한편, 실제로 망구성에서 고려되는 링/링 토폴로지나 링/메쉬 토폴로지 등의 기본망의 결합구조에 관한 연구는 거의 이루어지지 못하고 있다.

본 연구에서는 링이 다수 연결한 링/링 토폴로지를 분석하고자 한다. 관로망과 수요가 주어져 있을 때, 이를 수용하는 다중링의 토폴로지와 수량을 결정하는 모형을 제시하며, 이에 대한 분석과 사례연구를 시행한다.

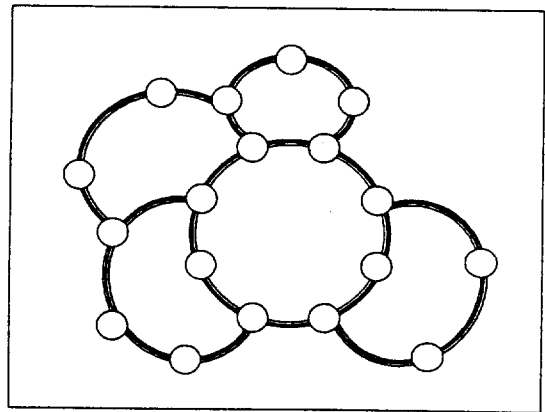
1. 서론

정보화 사회의 발전에 따라서 급속하게 증가하는 다양한 통신 서비스를 만족시키기 위해, 초고속/대용량의 전송이 가능한 광통신망의 구축이 활발히 진행되고 있다. 광통신망은 대용량 전송, 높은 신뢰도, 용량에 비해 저렴한 시스템 비용, 장거리 전송 등의 다양한 장점을 갖고 있으나, 망의 장애시 생길 수 있는 손실을 엄청나므로 이러한 특성들을 지속적으로 유지할 수 있도록 생존도를 고려하여 설계되어야 한다.

광전송 표준인 SDH(Synchronous Digital Hierachy)을 따르는 광전송장비는 생존도를 고려한 망 토폴로지를 전제로 하고 있으며, 이러한 장비는 링토폴로지(Ring Topology)를 지원하는 ADM(Add Drop Multiplexing)과 메쉬토폴로지(Mesh Topology)를 지원하는 DCS(Digital Cross-connecting System)로 대별되며, 이들 각각을 이용하여 구성된 단일링, 또

는 단일메쉬망 등의 기본망구조에 관한 연구는 상당히 축적되어 있다. 하지만, 실제로 망구성에서 고려되는 링/링 토폴로지([그림 1] 참조)나 링/메쉬 토폴로지 등의 기본망의 결합구조에 관한 연구는 거의 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 본 논문에서는 링이 결합된 형태인 링/링 토폴로지의 망을 대상으로 한다.

SHR의 구현은 정상상태 하에서의 트래픽 처리방향에 따라 USHR(Unidirectional SHR)과 BSHR(Bidirectional SHR)로 크게 구분되며, 또한 BSHR 구조는 사용되는 광 케이블의 수와 채널 이용 방식에 따라 BSHR/2와 BSHR/4로 구분된다. 그리고 BSHR에서는 어떤 노드 쌍간에 존재하는 두개의 경로 중 한 경로만을 통해 수요를 처리하는 경우와, 두개의 경로를 모두 이용하여 처리할 수 있는 경우로 나뉘는데, 본 논문에서는 수요의 분할 처리를 허용하는 BSHR/2의 경우를 대상으로 한다.



[그림 1] 다중 링 연결 구조

2. 문제의 정의와 분석

링들의 연결 구조에서는 단일 링에서와 달리 임의의 두 노드간에 가능한 경로는 다수 존재할 수 있고, 또 동일한 관로를 흐르는 수요를

그 관로를 공유하는 링간에 분할해야 하는 문제가 생긴다. 이러한 문제는 [그림 1]에서와 같이 링간에 관로(광케이블)와 국사를 공유하고 있지만, 각 링별로 ADM장비와 광코아는 분리가 되어 있기 때문이다. 다중 링 부하 최적화 문제(MRLBP : Multiple Ring Load Balancing Problem)는 다음과 같이 정의된다. 즉, 관로망과 후보링, 그리고 노드간 수요가 주어질 때, 전체 링 설치비용을 최소화하는, 각 수요의 최적 경로, 링 용량의 결정하는 문제이다.

링의 설치를 통해 망을 구성할 때 발생하는 비용은 각각의 링에 대해 노드비용과 링크비용으로 나누어 생각할 수 있다. 노드비용은 ADM장비가격과 회선의 연결과 관련된 광증폭기 비용, MUX비용으로 구성되며, 추가로 링간의 연결시에 소요되는 Patch비용을 꼽을 수 있다. 그리고 링크관련비용은 ADM을 연결하는데 필요한 광코아비용과 중계를 위한 광재생기(Repeater)비용으로 구성된다. 이 중 MUX장비는 특정 노드에서 수요의 Add-Drop을 위한 것이므로 회선구성과는 상관없이 수요량에만 의존하는 값이다. 그리고 링의 연결시에 ADM간을 연결하는 Patch는 전체가격에서 차지하는 비중이 미미하다. 따라서 링을 한단위 설치하는데 드는 비용은, ADM장비가격과 광증폭기 가격, 그리고 광코아비용과 재생기 비용의 합이라고 볼 수 있다. 이러한 점을 고려하여 다중링 부하최적화문제를 정의하면 다음과 같다.

[Notation]

- $V = \{1, \dots, n\}$: ADM 장비가 놓이는 노드의 집합.
- $E = \{(i, j) : i \in V, j \in V, i < j\}$: 링크의 집합.
- $R = \{1, \dots, r\}$: 후보링 집합.
- E_r : r 번째 링을 구성하는 링크의 집합.
- K : 수요노드 쌍(Commodity)의 집합.
- b_k : Source 노드는 $o(k)$ 이고 Destination 노드는 $d(k)$ 인 노드쌍 k 의 수요량.
- c_r^t : r 번째 링에 t 번째 유형의 링을 한단위 설치하는데 드는 비용.
- G^t : t 번째 유형의 링의 용량 단위.
- $l_{(i,j)}^r$: r 링의 링크 $\{i, j\}$ 에 걸리는 부하.
- x_{ij}^k : (i, j) 링크를 거쳐 처리되는 $k(k \in K)$ 번째 수요의 양.
- z_r^t : r 번째 링에 설치될 t 번째 유형의 링의 갯수.

[MRLB]

$$\begin{aligned} \min \quad & \sum_r \sum_j c_r^t z_r^t \\ \text{s. t.} \quad & \sum_r G^t z_r^t \geq l_{(i,j)}^r, \quad \{i, j\} \in E_r, r \in R \\ & \sum_k x_{ij}^k + \sum_k x_{ji}^k = \sum_{\{r, (i,j) \in E_r\}} l_{(i,j)}^r, \{i, j\} \in E \\ & \sum_j x_{ij}^k - \sum_j x_{ji}^k = \begin{cases} b_k, & i = o(k) \\ -b_k, & i = d(k) \\ 0, & o.w. \end{cases}, k \in K \\ & z_r^t \in Z^+, x_{ij}^k \in R \end{aligned}$$

첫째 제약식은 용량제약으로, 링에 속한 모든 링크에 부하되는 수요량을 처리할 수 있을 정도의 용량을 설치하여야 한다는 것을 의미한다. 두 번째 제약식은 등식제약으로, 링크 $\{i, j\}$ 를 지나는 설치된 링들의 용량의 합은 이 링크를 지나는 모든 트래픽의 합과 동일하여야 한다는 것을 나타낸다. 세 번째 제약식은 모든 수요에 대해서 수요지에서 공급지까지 필요한 용량의 흐름이 발생되도록 하는, 흐름균형제약(Flow Conservation Constraint)이며, 이 제약에 의해서 수요의 처리가 보장된다.

[Lemma] MRLB는 NP-Complete이다.

(증명) NP-Complete에 속하는 Steiner Tree의 Feasibility 문제가 MRLB 문제로 Polynomial Transform이 된다. 임의의 Steiner Tree문제에 대해서 노드 집합을 후보링 집합 R 로 정의하고, 링크의 집합 E 를 링과 링이 접하는 노드로 정의한다. Steiner Tree 문제의 임의의 해는 Tree로 주어진다. 목적식 값을 B 라 하고, c 를 노드의 비용, 즉 링 설치비용으로 둔다(각 링의 설치비용은 모두 같다고 가정한다). 그리고 터미널 노드 중 하나를 임의로 선택하고 그 노드로부터 나머지 터미널 노드들에 수요가 있고 다른 노드들로는 수요가 없다고 하자. 이때 모든 수요의 합은 한 단위의 링용량보다 작다고 가정한다. 그러면 MRLB 문제에서 Steiner Tree의 링크에 해당하는 노드를 선택하고 Steiner Tree의 노드 즉, 터미널 노드와 경유하는 노드에 해당하는 링을 선택하면 목적식 값이 $B + (m+1) \times c$ 가 되는 하나의 해를 얻을 수 있다. 단, c 는 한단위 링설치비용이고 m 은 Steiner Tree에서의 링크의 개수이다. 역으로 이러한 MRLB문제의 해가 있을 때 대응하는 하나의 Steiner Tree문제의 해를 얻을 수 있다. Q.E.D.

위에서 제시한 MRLBP는 다음과 같이 여러 방향으로 문제의 확장이 가능하다. SDH방식을 따르는 링장비는 단일한 용량을 갖는 것은

[표 3] 결과의 요약

링	1		2		3		4		5		6		7		9		12		14		15		계	
용량	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
96	2		3		2		1		1		1		1											
97	2		3		2		1		1		1		1											
98	2	1	3		2		1		1		1		2										1	1
99	2	1	3		2		1		1		1		2		1									1
2000	2	1	3		2		1		1		1		2		1									
2001	2	1	3		2		1		1		1		3		1			1		1			3	
계		1											2		1			1		1			4	2

아니며, [표1]과 같이 다수의 용량을 지원한다. 각 링의 용량은 그 링을 구성하는 모든 링크의 부하를 처리할 수 있어야 하므로, 각 링에 설치된 링의 총 용량이 해당 링크의 총 부하를 처리해야 한다. 따라서 1번 제약을 $\sum_r G^i z_r^i \geq l_{(i,j)}$ 의 형태로 바꿀 경우, 다수의 용량을 고려한 문제로 확장가능하다.

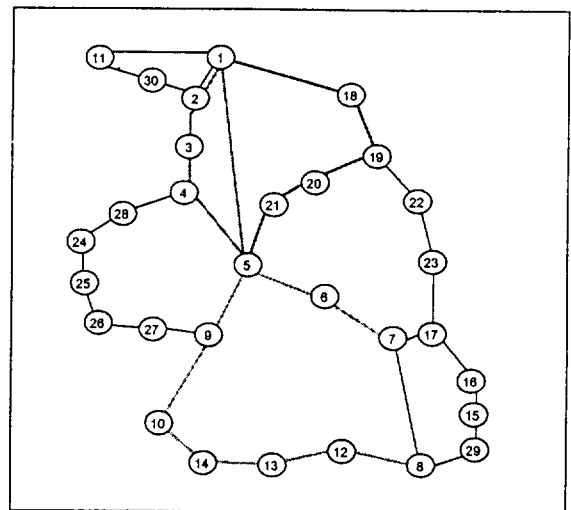
[표 1] 링의 기준 용량

용량 단위	전송율(bps)	용량(DS3)
STM-1	155.5M	3
STM-4	622M	12
STM-16	2.5G	48
STM-64	10G	192

한편, 이미 설치되어 있는 링이 있어서 기존링은 유지한 상태에서 링의 추가만을 고려할 때, 즉 설치된 링을 유지한 상태에서 링을 추가하는 경우는 다음과 같은 제약식의 변형으로 반영할 수 있다. 즉, 링 r 에 w_r^i 단위가 이미 설치되어 운용중이라고 할 때, 1번 제약식을 $\sum_r G^i (z_r^i + w_r^i) \geq l_{(i,j)}$ 로 바꾸게 되면, 링크의 부하를 기존의 용량과 신설용량의 합으로 처리하게 되므로, z_r^i 는 추가되는 링의 단위를 의미한다.

3. 사례연구

대상으로 하는 광전송망([그림 2] 참조)은 현재 최대의 용량을 제공하는 STM-16급의 링을 사용하고 있으며, 앞으로 STM-64급의 링을 도입하려고 하고 있다. 그리고 현재 운용중인 링은 [표 2]와 같다. 그리고 향후 5년간 예측된 수요 자료를 바탕으로 이 수요를 수용하는 링의 용량을 구해보았다. 이 결과는 [표3]과 같다.



[그림 2] 관로망도

[표 2] 후보링

후보링	구성노드
1링	1-2-3-4-5-1
2링	5-9-10-14-13-12-8-7-6-5
3링	1-5-21-20-19-18-1
4링	7-8-29-15-16-17-7
5링	5-6-7-8-29-15-16-17-23-22-19-20-21-5
6링	4-28-24-25-26-27-9-5-4
7링	1-2-30-11-1

4. 결론

링을 중심으로 광전송망을 운용하게 되는 경우, 어느정도 이상인 지역적 범위의 수요를 처리하기 위해서 다수의 링이 상호 연결/운용되므로, 다중링 부하최적화 문제는 실질적인 망설계과정에서 발생할 수 있는 매우 중요한 문제이다. 그러나 기존의 연구들은 단일링만을 대상으로 부하 최적화 문제를 다루었고, 다중링의 경우 링의 최적 용량 결정은 문제의 정의 조차 제시되지 않은 상태이다. 본 연구에서는 아직까지 연구되지 않은 다중링 부하 최적화 문제를 제시하였고 제시된 문제에서 발생하는 링의 연결구조와 이에 따라 나타나는 제반 사항들을 고려하여 문제에 대한 최적화 모형을 세웠다. 그리고 사례연구를 통해서 제시된 최적화 모형을 적용하였는데, 링의 신설 문제, 기존링을 고려한 링의 확장 문제, 새로운 토폴로지의 링 선택 문제 등 다중 링 설계에 관련한 여러 가지의 사결정 문제에 관해 제시된 모형이 다양하게 적용될 수 있음을 살펴보았다. 따라서 문제의 성격을 고려할 때 대형의 문제를 적절한 시간 내에 해결할 수 있는 효율적인 해법 개발이 뒤따라야 할 것이다.

5. 참고문헌

- [1] Cosares, S. and I. Saniee, "An Optimization Problem Related to Balancing Loads on SONET Rings," *Telecommunication Systems*, Vol. 3, No. 2, 1994.
- [2] Myung, Y. S., H. G. Kim, and D. W. Tcha, "Optimal Load Balancing in SONET Bidirectional Rings," to appear in *Operations Research*.
- [4] Slevinsky, J. B., 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.
- [6] Shi, J. J. and J. P. Fonseka, "Interconnection of Self-Healing Rings," *ICC '96*, Vol. 3, pp. 1563-1567.
- [7] Shi, J. J. and J. P. Fonseka, "Hierarchical Self-Healing Rings," *IEEE Trans. on Networking*, Dec. 1995.
- [8] Wu, T. H. "Emerging Technologies for Fiber Network Survivability," *IEEE Communications Mag.*, Vol. 33, No. 2, pp. 60-75, Feb. 1995.
- [9] Minoux, M., "Network Synthesis and Optimum Network Design Problems: Models, Solution Methods and Applications," *Networks*, Vol. 19, 1989.
- [10] Tcha, D. W., "Design Issues in