

# 기존 관로망을 이용한 생존도가 보장된 광전송망의 설계기법

김 대근, 이 선우

한국통신 통신망연구소

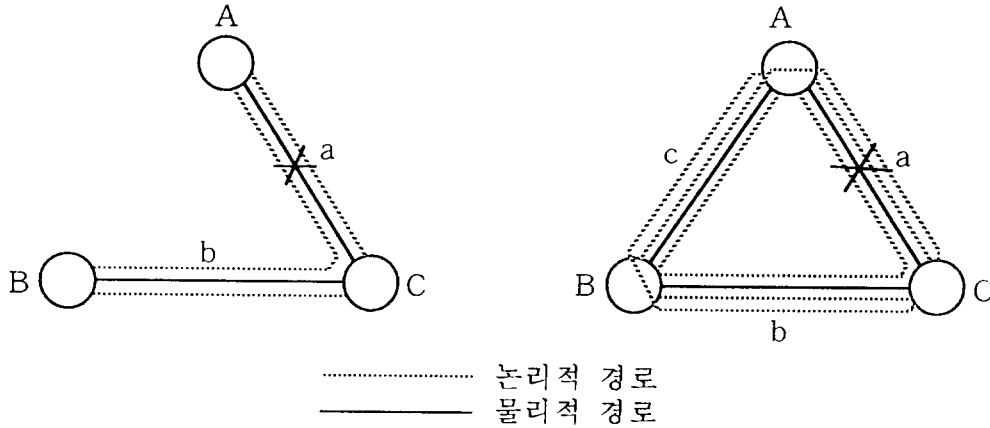
## 요 약

망구축 비용을 줄이고 이미 설치되어 있는 시설을 효율적으로 이용하는 관점에서 기존의 관로망을 이용하여 생존도가 보장되는 동기식 광전송망을 구축하는 설계기법에 대하여 연구하였다. 생존도를 보장하기 위해 물리망(physical network)과 논리망(logical network)을 함께 고려하여 관로망의 토폴로지가 이중연결도를 만족하도록 해야 한다. 이때 기존의 관로망에서 단순히 연결점으로 이용되는 지점을 집합 노드라고 하였으며 이 집합 노드를 설계시 고려하는 것이 현실적인 의미에서의 생존도를 보장할 수 있음을 보였다. 생존도가 보장된 동기식 광전송망을 설계하기 위한 설계절차를 제시하였으며 이를 이용하여 모델망을 설계하여 보았다. 모델망 설계시 집합 노드를 고려하였으며, 이러한 접근 방법이 기존 시설을 활용할 수 있어 망구축 비용을 감소시킬 수 있음을 보였다.

## 1. 서론

통신망의 설계에는 초기에 막대한 투자가 요구되므로 통신사업자의 입장에서는 가능한 한 적은 투자로 사용자의 통신수요를 충족시키며 만족할 만한 통신 서비스를 제공하는 것이 좋을 것이다. 즉, 어떠한 망의 설계에 있어 그 목적함수는 비용의 최소화가 되고, 제약조건으로 만족할 만한 통신 서비스의 제공이 요구된다. 동기식 광전송망에 있어서 만족할 만한 통신 서비스를 제공하기 위해서는 생존도(survivability)가 중요한 제약조건이 된다. 왜냐하면, 광통신의 초고속 정보전달능력이 정보의 전달을 빠르게 하는 반면, 선로 절단이나 전화국사의 고장과 같은 경우에는 막대한 양의 정보를 손실할 수 있는 가능성이 있기 때문에 이러한 비상 상황에서 통신 서비스를 회복시킬 수 있어야 하며 이러한 능력을 생존도라 한다. 따라서 동기식 광전송망의 설계시 생존도를 어떻게 보장할 것인가가 설계의 관건이 된다. 이러한 동기식 광전송망의 구축에는 막대한 초기 투자비용이 요구되므로 통신사업자의 입장에서는 가능한 한 적은 투자로 사용자의 통신수요를 충족시키며 만족할 만한 통신 서비스를 제

공하도록 망을 설계하는 것이 좋다. 본 연구에서는 망구축 비용을 줄이는 측면에서 기존 관로망을 이용하여 동기식 전송망의 토폴로지를 이중연결망으로 만들기 위해 집합 노드를 도입하였다. 또한 동기식 전송망의 설계를 위한 방법으로써 하나의 발견적 방법을 제시하였다. 발견적 방법을 사용한 이유는 광전송망 설계문제가 기존의 통신망 설계문제와는 달리 비용최소화와 용량할당 최적화에 생존도라는 목적함수가 추가되기 때문에 설계문제 전체를 최적화 모델을 사용하여 풀기 어렵기 때문이다. 생존도를 보장한다는 것은 만일의 경우를 대비한 여유용량 및 예비시설을 확보하는 것이기 때문에, 주어진 통신 수요량에 따른 비용최소화를 목적으로 하는 최적화 모델로 정량화 시키기 어렵다. 만일 통신 수요량을 포함한 기본적인 입력조건이 주어지고 이를 생존도를 보장함과 동시에 비용최소화를 하고자 한다면, 생존도와 비용최소화를 위한 통합적인 최적화 함수를 유도하여 이를 풀어내야 하겠으나 어떤 정량도구(measure)를 적용시켜야 하는지를 결정하는데 어려움이 있다. 이러한 어려움 때문에 기존에 미국 Bellcore에서 개발한 광통신망 설계 도구인 Fiber Options, Strategic Options, 그리



(a) 토폴로지상 단일연결 (그림 1) 연결도의 예 (b) 토폴로지상 이중연결

고 SONET Toolkit의 경우에도 발견적 방법에 기초하여 부분적으로 최적화 하는 설계기법을 사용하였다. 따라서 통합모델이 개발되기 전 단계로써 본 연구에서도 발견적 방법을 사용하였으며, 발견적 방법에 사용한 원칙들은 다음과 같다.

- 생존도를 보장하기 위해 관로망의 토폴로지 설계와 전송장비의 배치 설계를 동시에 고려하였다.
- 토폴로지 설계시 기존 관로망을 이용하여 비용감소와 시설이용 효율을 높이고자 하였다.
- 생존도가 보장되는 구조를 먼저 결정하고, 결정된 구조를 최소 비용으로 구축하는 전략을 하였다. 즉, 트래픽 수요가 큰 노드들 사이에는 DCS장비를 이용한 메쉬 구조를 트래픽 수요가 비교적 적은 노드들 사이에는 ADM 장비를 이용한 링구조를 구축하는 것으로 하여, 각 구조를 적은 비용으로 구축하는 알고리즘을 개발하도록 하였다.

## 2. 관로망에서의 연결도와 접합 노드

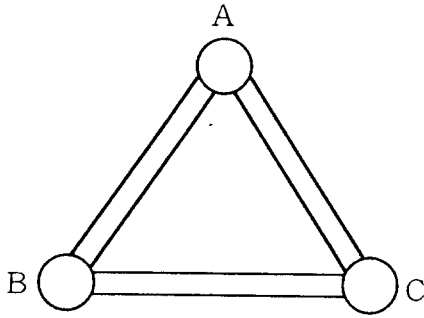
### (1) 관로망의 연결도와 생존도

생존도를 보장하기 위해서는 실제 관로망의 연결도가 중요하다. 통신망은 계층으로 모델링되어 같은 망을 모델링 하는데도 논리계층망 물리계층망으로 각각 다르게 모델링 되어진다. 생존도가 문제가 되지 않는 통신망 설계문제라고 한다면 논리계층망과 물리계층망이 나뉘어서 모델링 되고 설계되어도 문제될 것은 없으나 생존도가 중요한 제약 조건으로 주어지는 전송망 설계에서는 논리계층과 물리계층이 밀접한 상관관계를 가지게 된다. 물리계층에서 실제 관로망의

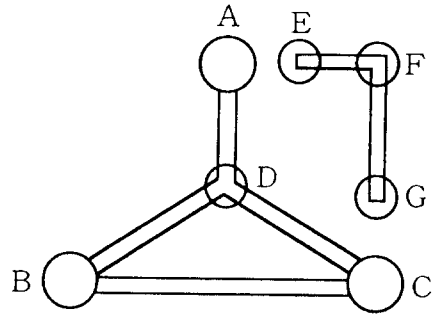
생존도를 보장하는 가장 기본적인 개념이 연결도인데, 이는 두 노드 사이의 연결관계를 나타내주는 것이다.  $n$ 중연결도 혹은 연결도가  $n$ 이란 두 노드 사이에 다른 링크 또는 노드들로 연결되는 독립적 경로가  $n$ 개임을 나타낸다. 생존도 관점에서 중요 노드 사이에는 적어도 이중연결도 이상을 보장하는 토폴로지가 필수적이다. 다음 (그림 1)은 토폴로지 상에서의 연결도가 왜 중요한 요인이 되는지를 보여주고 있다. (그림 1) (a)는 논리적으로는 노드 A와 노드 B, 노드 C 사이에 각각 다른 연결로 되어있으나 물리적으로는 링크 a가 공유되고 있어, 만일 링크 a가 절단되는 경우 각 노드 사이의 트래픽이 흐를 수 없음을 보여준다. 반면에 (그림 1) (b)는 논리적으로 뿐만 아니라 물리적으로도 이중연결도로 연결된 망을 나타내고 있다. 이 경우는 링크 a가 끊기더라도 트래픽이 링크 b, c를 통하여 흐를 수 있으므로 통신서비스가 복구될 수 있음을 보여준다.

### (2) 관로망의 접합 노드와 생존도

중요 노드 사이에 이중연결도를 만족하도록 토폴로지를 설계하는 것이 생존도 측면에서도 비용 최소화면에서도 효과적이며, 이러한 문제를 풀기 위한 발견적 방법이 연구되어 왔다[1]. 이러한 연구들은 연결도를 요구하는 노드를 중요노드와 그렇지 않은 노드로 구분하여 중요노드 사이를 이중연결도를 만족하도록 하였다. 본 고에서는 이들 노드 외에도 접합 노드를 추가하여 문제를 해결하도록 하였다. 접합 노드가 필요한 이유는 공통으로 쓰이는 관로망이 존재하기 때문에 이를 반영해야 기존에 사용된 관로망을 새로운 망 설계에 이용할 수 있기 때문이다. 다음 (그림 2)는 접합 노드가 어떠한 것인지 보여준다. 만일노드 A와 노드 B, 노드 A와 노드 C가 이



(a) 집합 노드 없이 모델링한 경우



(b) 집합 노드를 고려하여 모델링한 경우

(그림 2) 관로상에서 집합 노드를 고려한 모델링의 필요성의 예

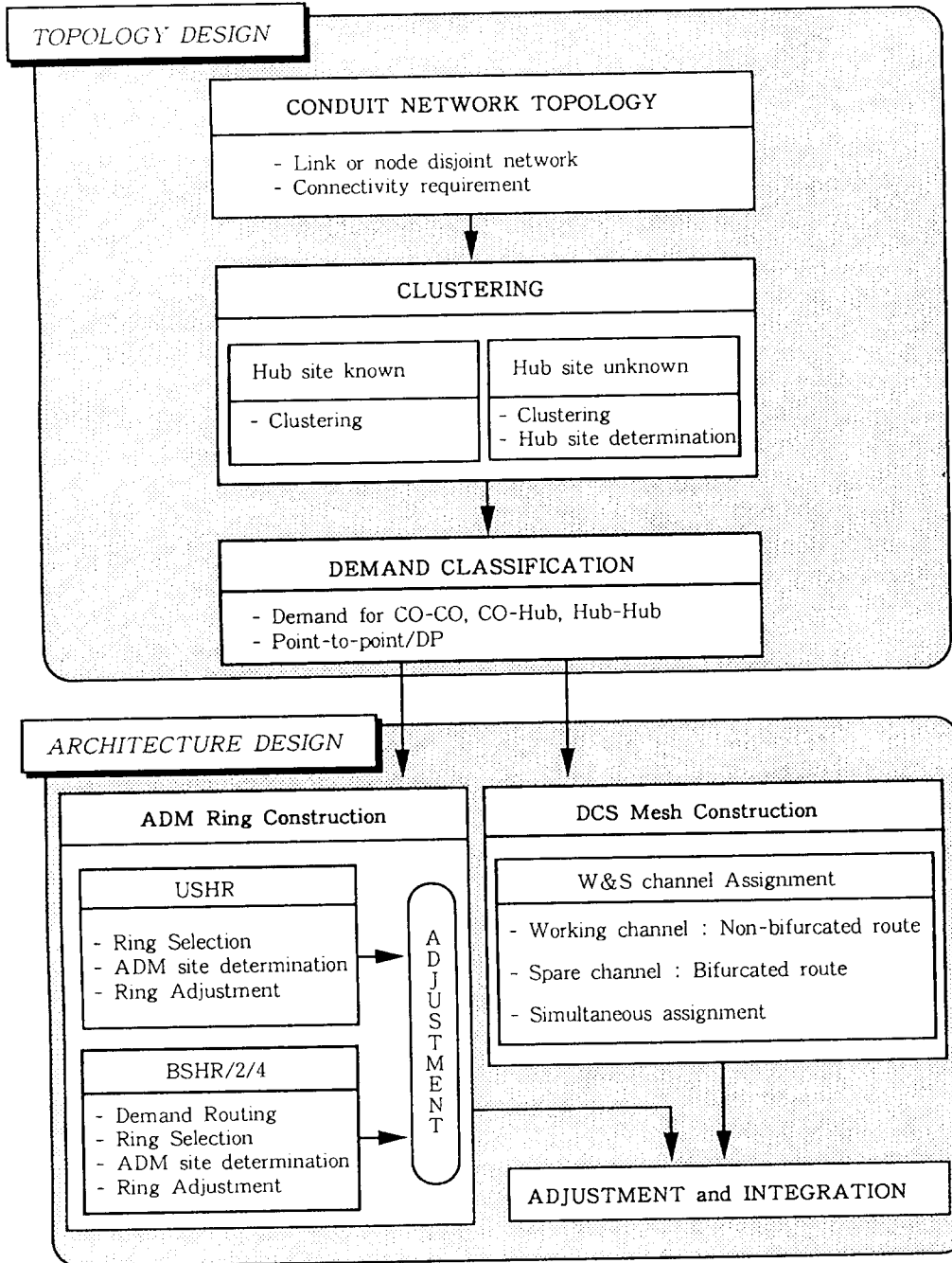
중연결도를 요구하는 노드들이라고 가정하면, (그림 2) (a)에 나타난 그림을 쉽게 생각할 수 있다. 그러나 관로상에서 (그림 2) (b)와 같이 공통으로 사용되는 구간이 있다면, D점은 아무런 역할도 하지 않으나 이를 노드의 한 종류로 간주하여야 한다. 왜냐하면 실제의 관로가 (그림 2) (b)와 같은데 (a)와 같이 모델링 되었을 경우, 만일 노드 A와 노드 D 사이에 선로절단같은 장애가 발생한다면 우회경로가 존재하여야 하나 실제로는 우회경로가 없기 때문이다. 본 논문에서는 D점을 집합 노드라고 부르기로 한다. 또한, (그림 2) (b)에서 노드 A와 노드 C를 직접 연결해주지 않는 E, F, G 점을 지나는 기존의 관로가 존재한다고 하면, 이러한 점들도 집합 노드로서 고려하여야 한다. 노드 A와 노드 C 사이에 새로운 관로를 증설해야 할 필요가 있을 경우 (그림 2) (a)와 같은 모델에서는 기존의 관로를 고려하지 않았으므로 망구축 비용이 크게 나타나게 된다. 이를 방지하기 위해 사전에 망구축 비용을 초기 조건으로 주어 논리적으로 연결가능성을 높이는 방법도 있으나, 이 경우 역시 물리적인 망이 어떻게 연결되는지에 대한 충분한 고려를 하지 못하므로 생존도를 보장한다는 것과는 멀어진다. 반면, (그림 2) (b)의 경우 E, F, G 점을 집합 노드들로서 고려해주면, 노드 A와 노드 C 사이의 연결비용도 적게 나오게 되는 것을 바로 알 수 있으며, 어느 관로를 이용했는지도 알 수 있다. 따라서 기존의 관로를 충분히 이용하기 위해서 이러한 집합 노드들을 가능한 많이 설정해 주면 좋겠으나, 실제의 경우 관로망을 구성하는 것은 통신구 및 가입자망에서의 인입구까지 복잡하게 구성되어 있으므로 이러한 집합 노드 위치 선정도 중요한 이슈가 될 수 있다. 이러한 집합 노드가 들어간 토폴로지 설계는 기존의 Steiner Tree 구성에서 쓰이는 연결점을 이용하는 방법과 유사하지만 이중연결도를 만족하도록 해야 하기 때문

에 좀 더 복잡한 문제이다.

### 3. 설계절차 및 모델망 설계

2절에서 언급한 관로망에서의 연결도와 집합 노드를 고려한 광전송망 설계 문제를 (그림 3)에 나타난 바와 같이 (1) 실제적인 관로망으로 주어지는 토폴로지 설계(topology design), (2) 동기식 전송장비(DCS 및 ADM)를 이용하여 비용최소화와 생존도를 고려한 전송장비 배치 설계(architecture design)의 두 가지 문제로 구분하였다. 이러한 접근방법이 최적화 모델은 아니나 생존도가 보장된 광전송망 설계 전체 흐름(flow)을 최적화하기에는 여러 가지 결정 변수가 관계하며 그 중에는 정량화될 수 없는 것들도 있기 때문에, 본 연구에서는 발견적 방법을 사용하였다. 설계의 절차가 반복적(iterative)이지 않은 이유는 토폴로지 설계를 위해 입력조건으로 주어진 것들이 전송장비 배치 설계를 거치면서 변하지 않으며, 또한 결과로 나온 것들을 다시 피드백 조건으로 주기 위한 것들이 모호하기 때문에 전체적으로 한 번의 흐름(flow)을 거치도록 하였다. 물론 각 단계에서는 망 설계자가 허용될 수 있는 결과들중 최적의 결과를 얻기 위해 반복적으로 프로그램을 수행시켜야 한다. 이러한 설계 절차에 해당하는 전체 망설계 알고리즘은 아직 개발되지 않았고 몇 가지만 개발되었다. 따라서 본 고에서는 모델망 설계를 위해서 몇 가지 사항은 초기 입력조건으로 설정해 주었으며, 개발된 알고리즘들의 적합성(feasibility)을 알아보았다. 동기식 전송망의 모델망 설계를 위해 다음의 사항을 전제조건으로 하였다.

- 관로망(통신구)의 실제 토폴로지(physical topology)가 주어져 있다. 이는 기존의 관로망을 구축하려는 동기식 광전송망에



(그림 3) 동기식 광전송망 설계 절차

- 사용할 수 있도록 하는 것이다.
- 보통 노드인 CO의 위치와 중요 노드인 후보 Hub의 위치가 알려져 있다.
- 트래픽 수요(traffic demand)는 CO와 CO 사이에 DS1급, DS3급으로 주어진다. DS3급은 OC1급으로 변환되고 DS1급 28개가 하나의 DS3급으로 취급된다.

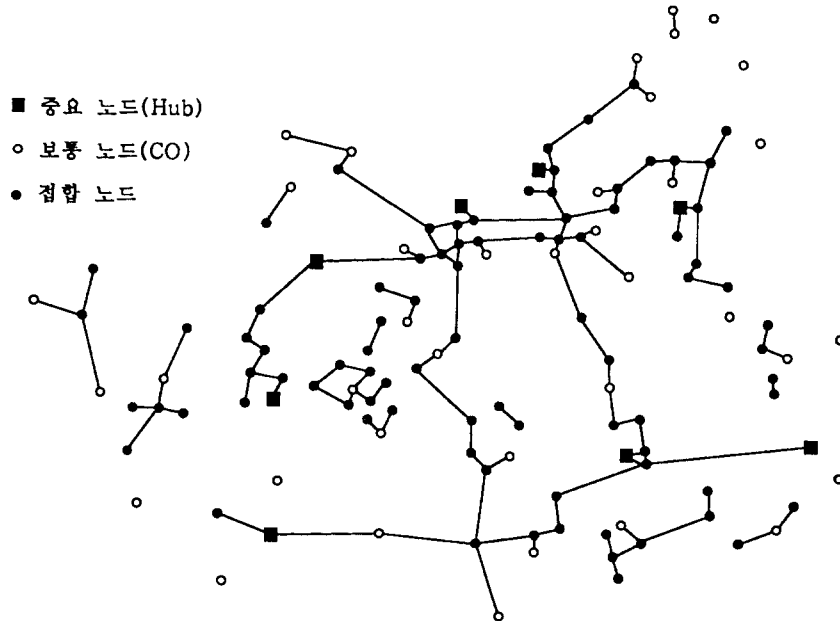
- 단말장비의 가격(ADM, DCS)이 주어져 있다.
- 광선로 포설 가격(Km당)이 주어져 있다.

(1) 토폴로지 설계(topology design)

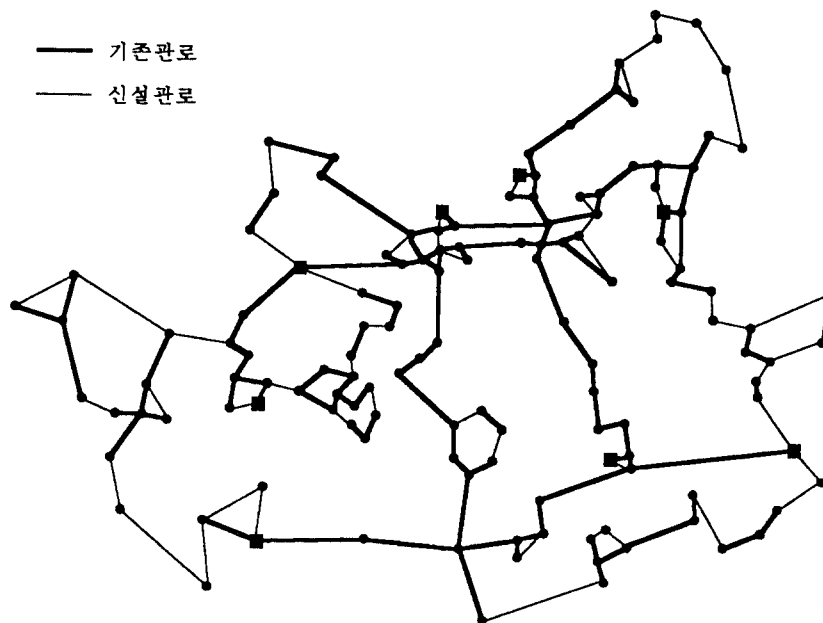
토폴로지 설계 모듈은 (그림 3)에서 보는 바와 같이 관로망 토폴로지(conduit network topology), 클러스터링(clustering), 수요구분(demand classification)의 세 가지 서브모듈(sub-

module)로 구성되어 있다. 판로망 토폴로지 서브 모듈에서는 비용절감을 위해 기존의 판로망을 이용하고, 생존도를 보장하기 위해 중요한 노드인 전화국에 대해서 적어도 이중연결도 이상을 보장하도록, 즉 두 개의 중요 노드 사이에는 적어도 두 개 이상의 다른 경로(path)가 존재하도록 토폴로지를 구성한다. 클러스터링 서브모듈에서는 구해진 판로망의 토폴로지를 기초로 하여 전체

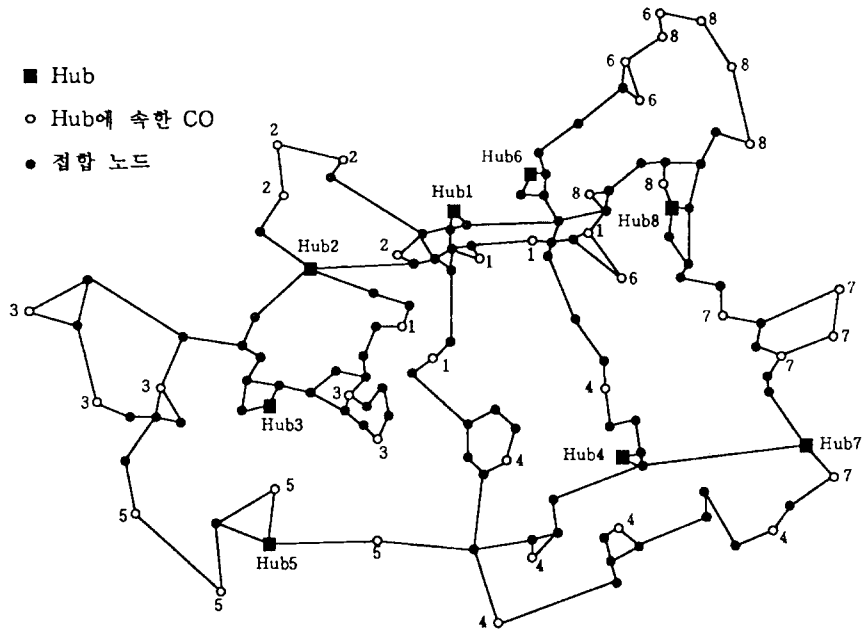
망을 부분 망으로 나누어 망 설계 알고리즘의 복잡도(complexity)를 낮추도록 한다[2]. 이렇게 구분된 부분 망을 클러스터(cluster)라 하며, 하나의 클러스터는 보통 노드인 CO들과 하나 또는 두 개의 중요 노드인 Hub로 구성되는 것으로 하였다. 클러스터 사이에는 Hub를 통해서만 트래픽이 전달되는 것으로 가정하였으므로, 클러스터링이 되면 망의 설계 문제는 각 클러스터내의 망



(그림 4) 접합 노드가 고려된 기존 판로망 모델



(그림 5) 기존 판로망을 이용한 이중연결망



(그림 6) 클러스터링 결과

을 어떻게 설계할 것인가 하는 문제와 클러스터 사이의 망을 어떻게 설계할 것인가 하는 두 가지 문제로 나뉘어진다. 이러한 두 가지 문제를 풀기 위해 처음에 전제조건으로 주어진 CO와 CO 사이의 트래픽 수요가 조정되어야 한다. 왜냐하면, 클러스터 사이에는 Hub을 통해서만 연결되는 것으로 하였기 때문에 서로 다른 클러스터의 CO들 사이의 트래픽 수요는 CO-Hub, Hub-Hub, 그리고 Hub-CO로 구분되어야 한다.

토폴로지 설계 모듈에서는 관로망 토폴로지 서브모듈에 대한 알고리즘을 한국통신과 KAIST가 함께 프로토타입으로 개발하였다. 개발된 알고리즘은 Tabu 알고리즘으로 Tabu Search 기법을 이용하여 주어진 노드들중 중요 노드 사이를 최소의 비용으로 이중연결도를 만족시키도록 하는 것이다[3]. 이 알고리즘은 기존의 관로를 고려하고 있지 않으므로 기존의 관로를 고려한 집합 노드에 대한 새로운 알고리즘이 필요하나, 우선은 집합 노드가 모두 연결에 참여한다고 가정하여 집합 노드를 중요 노드로 처리하여 프로그램을 수행하였다. (그림 4)는 모델링 되어진 관로망을 나타내고 있다. 광전송망 모델에 사용된 노드 수는 모두 133개로 39개의 노드가 보통 노드, 8개의 노드가 중요 노드이고 나머지 86개의 노드는 집합 노드이다. (그림 5)는 구성되어진 이중연결망을 보여주고 있다.

(그림 5)에서 보는 바와 같이 만일 기존의 관로에 대한 정확한 데이터가 충분히 주어지지 않으면 집합 노드의 수가 많다면 이중연결도를 만족하기 위해 신설해야 할 관로의 길이가 줄어들 수 있음

을 알 수 있다. 클러스터링 서브모듈에서는 전송 장비 배치 설계를 위해 클러스터를 임의로 나누어 (그림 6)에서 나타난 바와 같이 8개의 클러스터를 만들어, 각 중요 노드인 Hub에는 4~6개의 CO 노드를 갖도록 하였다. 각 Hub에는 DCS를 놓는 것으로 하고 CO와 Hub사이의 링 구조와 단대단 구조를 갖는다고 가정하여 이러한 것이 다음의 전송장비 배치설계시 입력조건으로 주어졌다.

## (2) 전송장비 배치 설계(architecture design)

클러스터내의 부분 망은 일반적으로 트래픽량이 적고 노드의 갯수가 20개 이하인 작은 크기의 망 형태를 가지며, 클러스터간의 망은 트래픽량이 많고 노드의 갯수는 클러스터내의 Hub의 수와 같지만 거리 상으로 넓은 범위를 포함하는 커다란 크기의 망 형태를 가진다. 동기식 광전송망을 구축하는데 사용되는 장비로는 회선분배 장치인 DCS(Digital Cross-connect System)와 ADM(Add-Drop Multiplexor)이 있다. 지금까지 상용화된 장비의 현황으로 DCS는 DS3급의 신호를 접속 분배할 수 있으며, ADM은 OC-48급의 2.5Gbps까지 전송가능한 정도이다. 현재 ETRI에서 STM-1(Synchronous Transport Module level1, 155.52Mbps)급까지 접속 분배할 수 있는 광대역 회선분배 시스템(BDCS)을 개발하고 있는 중이다[4]. 장비의 처리용량으로 볼 때, ADM은 클러스터내의 작은 크기의 망에 적합하고 DCS는 클러스터간의 트래픽량이 큰 망에 적합하다. <표 1>은 망의 크기와 구성장비 그리고 적용된 생존도를 보장하는 구조를 나타내고 있다.

<표 1> 적용된 망에 따른 존도를 보장하는구조

적용된 망	망의 크기	생존도를 위한 구조	사용 장비
클러스터내의 부분 망	작다	링 구조	ADM
클러스터간의 망	크다	메쉬 구조	DCS

<표 2> 클러스터에서 ADM 링 구성 결과

	노드수	트래픽량 (OC-1)	소요 ADM 수		광선로 연장 (Km)
			OC-12	OC-48	
클러스터 1	6	789	2	47	1,231
클러스터 2	5	350	0	24	248
클러스터 3	6	569	28	22	367
클러스터 4	7	632	36	33	1,485
클러스터 5	5	340	16	19	598
클러스터 6	5	286	0	14	407
클러스터 7	6	532	32	32	1,234
클러스터 8	7	552	0	59	562
총 계	47	4,050	114	250	6,132

가. ADM 링 구조 설계 각 클러스터마다 클러스터에 속한 노드정보와 노드의 연결상태를 나타내주는 아크(arc)정보, 노드가 다른 노드들로 보내야 하는 트래픽 수요량을 입력으로 받아 주어진 가능한 링(possible ring)에서 링의 형태를 선택하고 링의 용량을 결정하도록 하였다. 여기서는 단방향 자가복구링만으로 설계하였다. 가능한 링은 사용자가 노드의 연결 형태를 보고 직접 다수의 링을 입력하였다. KAIST와 공동 개발한 프로그램을 수행하여 각 클러스터에서의 선택된 링의 모양, 링의 용량, 구성된 ADM의 갯수, 광선로 길이 등을 결과물로 얻을 수 있었다[5]. <표 2>는 각 클러스터마다 소요된 ADM의 수와 광선로 길이를 나타내 주고 있다. 여기서 하나의 클러스터에는 2~7개의 링이 설치된다. 표에서 소요되는 ADM의 갯수가 처리해야 할 트래픽에 비해 많은 것은 링 형태의 구조적인 특성과 프로그램 수행상의 문제점으로 링의 용량을 결정하는 조합을 입력으로 미리 설정하여 주었기 때문이다. 즉 링이 가질 수 있는 용량을 3가지 형태로 주었으며, 트래픽 수요가 큰 노드를 링에 포함시키기 위하여 링의 용량을 최대 OC-168까지 허용하였다. 그리고 이것은 3개의 OC-48과 1개의 OC-24로 구성되는 것으로 하였다. 이 문제는 링이 가질 수 있는 링의 용량을 더 늘인다면 해결될 것으로 보이나 알고리즘의 복잡도가 높아지므로 이에 대한 연구를 계속할 것이다.

나. DCS 메쉬 구조 설계 기존에 개발된 운용/복구 채널 할당(working/spare channel assignment). 알고리즘은 모든 노드에 DCS가 있다고 가정하여 설계하였기 때문에 이를 현실에 적용하는

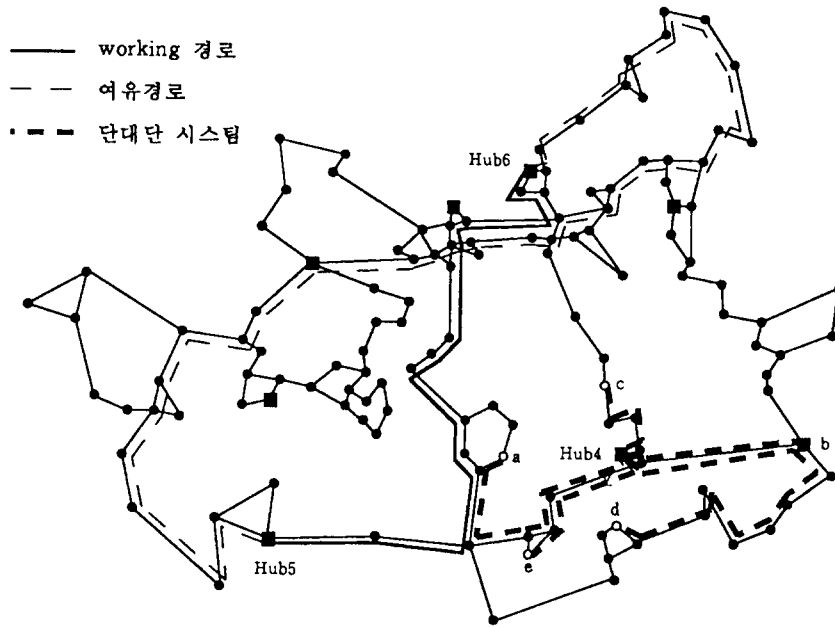
데는 문제가 있어서 DCS가 놓이지 않은 집합 노드를 고려하여 메쉬 구조를 설계하였다. 즉, DCS를 이용하여 논리적으로 운용회선(working channel)과 예비회선(spare channel)을 할당함과 동시에 광선로의 설치를 위한 길이도 최소가 되도록 하였다. 집합 노드에는 DCS장비가 없으므로 광선로는 단순히 지나가거나 혹은 분기된다. 이러한 집합 노드를 통해 분기되어 할당된 회선용량이 하나의 광선로로 담당할 수 없게 되면 다른 광선로를 설치해야 하는데, 이때 새로 설치되는 광선로는 분기되기 전의 관로를 통한 노드의 DCS에서 오게 되므로 현실적으로 분기되기 전의 관로에 할당된 용량의 증가를 초래한다. Hub에서 같은 클러스터내의 CO에는 바로 단말 모드(terminal mode)의 ADM으로 단대단 직접연결을 이용하여 전체를 가능한 최소경비가 되도록 구성하였다. 그 결과 (그림 7)에 예를 든 것과 같이 Hub 5와 Hub 6 사이의 운용회선의 광선로 경로(fiber route)와 예비회선 광선로 경로를 얻을 수 있었고 Hub 4에서 각 CO(노드 a, b, c, d, e)로의 단대단(point-to-point) 시스템의 광선로 경로도 얻을 수 있었다. DCS 메쉬망 구성을 위한 소요 전송장치 내역을 <표 3>에 정리하였으며 각

<표 3> Hub간 총 DCS 구성

DCS 용량	OC-3	OC-12	OC-48
소요 DCS 수	28	42	536

<표 4> CO간 총 단대단 시스템 구성

ADM 용량	OC-3	OC-12	OC-48
소요 ADM 수	20	62	204



(그림 7) DCS 매쉬의 예

<표 5> 총 광선로 및 regenerator 구성

광선로 총연장	4,771.2 Km
regenerator의 수	0개

Hub에서 CO 모드로 단대단 시스템을 위한 ADM과 광선로에 관한 구성 내역은 <표 4>에 실었다. 또한 <표 5>에 광선로 구성 내역을 나타냈다. 단 거리는 지도상에서 측정한 개략적인 거리이다. 여기서 regenerator의 수가 0인 것은 regenerator가 필요한 거리를 100Km 라고 가정하여 프로그램을 수행한 결과이다.

#### 4. 결론

망 구축 비용을 절감하는 방법으로써 기존의 관로망을 이용하여 생존도가 보장되는 동기식 광전송망을 설계하여 보았다. 동기식 광전송망을 구축하기 위한 설계기법으로 크게 토폴로지 설계 모듈과 전송장비 배치설계 모듈의 두 가지로 나누는 접근법을 사용하였다. 토폴로지 설계에서는 우선 기존의 관로망을 포함하여 관로망이 적어도 이중연결도를 만족시키도록 하였으며, 설계 알고리즘의 복잡도를 낮추기 위해 전체 망을 여러 개의 부분 망으로 나누어 이를 클러스터라 하였다. 전송장비 배치설계에서는 경제성과 생존도를 고려하여 클러스터내의 망을 ADM 링 구조로써 설계하고, 클러스터간의 망을 DCS 매쉬 구조로써 설계하는 것으로 하였다. 이러한 설계절차에 따른 각 모듈이 완전히 개발되지는 않아, 일부분은 입

력조건으로 주고서 모델망을 설계하였다.

기존의 관로망을 이용하기 위해 집합 노드를 고려해야 하며, 본 고에서는 집합 노드를 모두 사용한다고 가정하여 토폴로지 문제를 해결하였다. 그러나, 집합 노드가 모두 사용되는 것은 아니므로 선택적으로 집합 노드의 연결을 하는 모델에 대한 연구가 계속되어야 하겠고, 전송장비 배치 설계를 위한 설계 모델에 있어서도 장비가 실제로 설치되지는 않지만 생존도에 영향을 주는 집합 노드를 고려한 모델의 개발이 필요하다.

#### 참고 문헌

- [1] Martin Grotscchel, Clyde L. Monma, Mechthild Stoer, "Computational Results with a Cutting Plane Algorithm for Designing Communication Networks with Low-connectivity Constraints," Operations Research, Vol.40, No.2, pp. 309-328, 1992.
- [2] Architectures of Transport Networks based on the Synchronous Digital Hierarchy(SDH), ITU-T Recommendation G.803, 1993.
- [3] 이 채영, 광통신망 최적설계 및 성능평가 시스템 개발, 한국통신 장기기초연구과제 보고서, 1993.
- [4] 광대역 회선분배 시스템(BDCS) 개발, 한국전자통신연구소, 1993.
- [5] 차 동완, 재구성이 가능한 통신망 구축최적화 시스템 개발, 한국통신 장기기초연구과제 보고서, 1994.