

# 관로가 있는 생존가능망 설계에 관한 효율적인 알고리즘 연구

강 호 관<sup>†</sup> · 한 치 근<sup>††</sup>

## 요 약

최근 각종 멀티미디어 서비스의 제공은 전송데이터의 급격한 증가를 가져왔으며, 이러한 서비스의 원활한 제공을 위해서는 초고속 통신망의 구축이 불가피하게 되었다. 초고속 통신망의 구축은 막대한 비용을 요구하기 때문에 망 구축비용의 감소를 위해서는 기존에 설치된 관로를 고려해야 한다. 또한 초고속 통신망은 하나의 선로에 많은 양의 데이터가 전송되므로 한 선로에 문제가 있는 경우 막대한 손실이 발생하는 특징을 지닌다. 이 때문에 전체 네트워크를 일정수준 이상의 생존도를 가질 수 있게 설계하여야 한다. 이러한 문제의 해결을 위해서 기존의 논문에서는 비용을 줄이기 위해 고려된 기존 관로를 다음 단계에서 배제하여 한 관로를 여러 경로에서 사용함으로써 얻을 수 있는 비용 절감효과를 상실하였다. 그러나 본 논문에서는 생존도를 유지하는 범위 내에서 기존에 설치된 관로를 최대한 고려하여 비용 절감을 극대화한 네트워크를 효과적으로 설계하는 방법을 제안한다. 제안한 방법을 사용하여 실험한 결과에 따르면 기존의 방법에 비해 약 7%의 비용절감 효과를 얻을 수 있었다.

## A Study of Efficient Algorithm for Survivable Network Design with Conduit

Hyo Kwan Kang<sup>†</sup> · Chi Geun Han<sup>††</sup>

## ABSTRACT

Network is changed from voice-based network into multimedia-based network by development of communication technology and multimedia service. We need a large bandwidth for multimedia service. The optical fiber is a more suitable medium than existing copper-based cable for large bandwidth. But, it is so expensive than copper-based cable. So, Minimizing total cost becomes a more important concept. In order to construct a minimum cost network, we have to consider existing conduits in network. On the other hand, optical fiber network allows that larger amount of traffic can be transmitted than copper-based network does. However, a failure of a node or link can make a serious damage to the network service. Thus, we have to get multiple paths to support continuous service even if a loss of failure occurs in some point of the network. The network survivability problem is to design the network that can provide reliable service to customers anytime with minimum total cost. In an existing solution of the network survivability problem with conduits, a conduit is considered only one time. But, the conduit is reusable if the network satisfies the required survivability. Proposed algorithm can more effectively considered already existed conduit. Network survivability and edge cost is predetermined. The proposed algorithm finds the best solution by conduit sharing within the limits of network survivability. According to the simulation result, the proposed method can decrease 7% of total cost than an existing method by effective conduits adaption.

**키워드 :** 망 설계(Network Design), 생존망(Survivable Network)

### 1. 서 론

기존의 네트워크는 음성정보만을 취급하여 정보전송에 불편을 느끼지 못했다. 하지만 최근 네트워크는 정보통신 기술의 발전과 멀티미디어 서비스의 개발로 기존 음성정보만으로 이루어진 네트워크가 아니라 VOD를 비롯한 각종 멀티미디어 서비스로 이루어진 네트워크로 변모해나가고

있다. 이러한 멀티미디어 서비스를 원활하게 공급자로부터 사용자에게 제공하기 위해서는 많은 대역폭을 요구하며, 이로 인해 커다란 용량의 망의 확보가 절실하게 되었다. 하지만 기존의 구리소재를 사용한 망으로는 멀티미디어 서비스에서 요구되는 커다란 용량을 확보할 수 없으며, 이를 만족시키는 새로운 소재의 개발이 필요하게 되었으며, 이것이 광섬유이다. 하지만 광섬유를 사용한 광통신망의 구축에는 기존 구리선 망에 비해 매우 큰비용이 소요되므로 비용을 최소화시키는 것이 보다 중요한 개념이 되었다. 비용을 최

<sup>†</sup> 정 회 원 : 경희대학교 전자정보학부 교수

<sup>††</sup> 정 회 원 : 경희대학교 대학원 전자계산공학과

논문접수 : 2001년 4월 24일, 심사완료 : 2001년 7월 18일

소화시키기 위해서는 기존 망 설계의 기본방법인 메쉬구조 보다는 이미 설치된 관로를 고려하여 최대한 선로의 중설을 줄이는 방향으로 비용을 감소시키는 설계가 필요하게 되었다.

또 한편으로는 광통신망은 한 회선에 아주 많은 양의 정보가 전송되므로 망의 일부가 손상된 경우에도 막대한 정보의 손실이 있게 된다. 그러므로, 광섬유를 이용한 통신망에서는 전체 통신망의 안정적인 운영을 위해 망의 일부가 손상을 입더라도 전체 망의 운영에는 지장이 없는 즉, 생존 가능망 설계가 요구된다.

망의 생존도는 크게 노드 k-연결 문제와 에지 k-연결 문제로 나뉜다. 노드(에지) k-연결 문제는 (k-1)개의 노드(에지)에 문제가 생기더라도 망의 연결성을 유지하는 경우를 말한다. 이 문제는 임의의 두 노드를 연결시키는 연결경로상의 노드(에지)가 서로 다르면서, k개의 서로 다른 경로를 가지는 문제라 할 수 있다.

기존의 생존도를 고려한 망 설계 방법은 크게 관로를 고려하지 않은 방법과 고려한 문제로 나뉜다. 관로를 고려하지 않은 문제는 다시 문제를 정형화 시켜서 정수계획법을 사용하는 방법[2]과 국부탐색을 이용한 휴리스틱 방법[13]으로 나뉜다. 정수계획법을 사용한 방법은 노드의 수와 연결도가 늘어날 경우 계산시간이 폭발적으로 증가하는 문제점이 있다. 그리고, 국부탐색을 이용한 많은 방법들은 기존관로를 고려하지 않았으며, 연결도가 모두 동일한 경우만을 가정하였기 때문에, 노드가 전체 망에 연결되어 있지 않아도 되는 경우를 포함하고 있지 않다. 이는 실제 망의 구축 시에는 이미 설치된 관로(Conduit)의 끝 지점을 의미한다. 이와 같은 상황을 고려하는 것은 문제의 복잡도를 급증시키는 결과를 가져온다. 또한 기존 관로를 이용하는 것은 새로운 관로를 광케이블로 설치하는 것의 약 1/20 정도의 비용이 드는 것으로 알려져 있다[11]. 때문에 망 설계시 기존 관로를 고려하는 것이 보다 적은 비용의 망을 설계할 수 있다. 기존의 생존도를 고려한 망 설계 방법에 이미 설치되어 있는 관로를 고려한 문제는 관로가 고려된 망의 생존도 문제(Survivable Network Design Problem(SNDP))라 부르며 NP-hard에 속하는 문제이다. 하지만 기존 관로를 고려한 방법[11]에서도 한 번 사용한 기존 관로를 다음 단계에서 배제하도록 정의하여 기존 관로를 여러 번 사용하여 얻을 수 있는 비용감소효과를 간과한 면이 있다. 따라서 본 논문에서는 기존 관로를 적용할 때 여러 번 사용되더라도 생존도가 보장되면서 비용을 감소시킨다면 이를 수용하게 하여 비용절감을 극대화시키는 방법을 연구하였다.

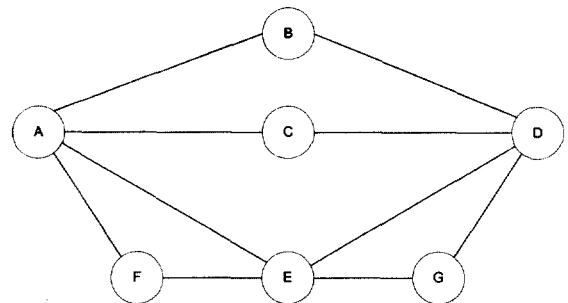
본 논문은 2장에서 생존도를 고려한 망 설계에 대해 알아보고, 3장에서는 기존의 망 설계방법에 대해 기술하며, 4장에서는 관로를 효과적으로 고려하여 제안한 휴리스틱 방법에 대해 설명한다. 5장에는 실험 결과 및 분석에 대해 기술하며, 6장에서 결론을 맺고 추후연구 방향에 대해서 기술한다.

## 2. 생존도를 고려한 망 설계 문제

### 2.1 문제 정의

임의의 망이 k-노드 또는 k-에지 연결도를 만족한다는 것은 (k-1)개의 노드 또는 에지가 손상되더라도 망의 연결성을 유지하는 것을 의미한다. 즉, 생존도를 유지한다는 것은 요구하는 연결도 이상의 서로 독립적인 경로가 존재하여야 한다는 것을 말한다.

망의 생존도는 노드 k-연결도 문제와 에지 k-연결도 문제로 나뉘어진다. 노드 k-연결도 문제는 망이 노드를 공유하지 않고 k개의 서로 다른 경로를 가지는 것을 의미하고, 에지 k-연결도 문제는 에지를 공유하지 않고 k개의 서로 다른 경로를 가지는 것을 의미한다. (그림 1)은 k-연결도에 관한 예를 보여준다. 노드 A에서 D사이에는 노드가 서로 다른 3개의 연결(예 ; A-B-D, A-C-D, A-E-D)을 갖게 된다. 또한, 4개의 에지가 서로 다른 연결 (예 ; A-B-D, A-C-D, A-E-D, A-F-E-G-D)을 가지게 된다.



(그림 1) k-연결도에 관한 예

(그림 1)의 예에서 보는 바와 같이 서로 다른 노드를 지나는 통신망(노드 독립 경로)이 되면, 서로 다른 에지를 지나는 통신망(에지 독립 경로)이 되지만 그 역은 성립하지 않는다는 것을 알 수 있다. 본 논문에서는 이와 같은 점을 감안하여 k-노드 독립 경로를 만족하는 망을 설계하는데 초점을 두었다.

이와 같이 생존도를 고려한 망의 설계는 크게 국부탐색(Local Search)에 기초를 둔 휴리스틱과 정수계획법(Integer Programming), 2가지 방법으로 나눌 수 있다.

### 3. 기존의 망 설계 방법

#### 3.1 정수계획법

Grötschel과 Monma은 실제 통신망 설계의 대상이 매우 희소할 경우 망의 노드와 에지를 매우 단순한 네트워크로 변환한 다음 평면분할법(Cutting Plane Method)을 적용하였다. Grötschel 등에 의해 제안한 정수계획법을 사용한 생존도가 고려된 망 설계문제는 다음과 같은 문제점이 있다.

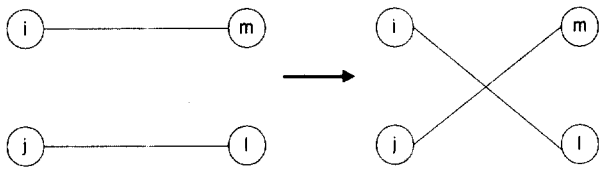
$G = (V, E)$ 에서 모든 노드간에 3중 연결도를 요구할 때의

제한식의 개수는  $T(n) = {}_n C_2 * (n-2) C_2 * 2^{n-4}$ 개의 제한식이 필요하게 되어 노드의 개수가 증가함에 따라 폭발적으로 증가하게 된다[11].

3.2 관로를 고려하지 않은 휴리스틱 방법

Steiglitz, Weiner, Kleitman은 각 노드의 연결비용이 주어졌을 때, 각 노드  $i, j$ 간의 연결도  $r_{ij}$  (Node Disjoint path의 개수)를 만족하는 망을 설계하는 방법을 연구하였다[9].

이 연구에서는 두 노드에 대해 요구하는 연결도 이상의 독립 연결 경로를 확보하고 있는 가능해를 구하여 X-변환을 이용한 국부탐색을 수행한다. X 변환의 개념은 (그림 2)에서 보는 바와 같다. 현재 해가 에지  $(i, m)$  과  $(j, l)$  을 선택하고 있을 때  $cost(i, m) + cost(j, l) > cost(i, l) + cost(j, m)$ 인 경우 그 연결성을  $(i, l), (j, m)$ 으로 바꾸어 전체 비용을 감소시킬 수 있는 경우 에지를 교환하는 것을 말한다.



(그림 2) X-변환의 개념

3.3 관로를 고려한 휴리스틱 방법

관로를 고려하지 않은 연구에서는 모든 노드가 균등한 비중을 가지고 동일한 생존도를 요구하는 경우의 망을 구성하였지만 실제 경우에는 노드에 따라 중요도가 다르다. 그래서 일부 노드만 일정 수준이상의 연결요구도를 만족하고 나머지 노드는 망에 접속되어 있지 않아도 되는 비균일 노드 연결도를 가지는 경우를 고려한다. 이런 경우 중요노드는 높은 연결요구도를 가지게 되며 연결요구도가 0인 노드 (0 Type 노드)를 효과적으로 사용하여 비용을 줄이게 된다.

3.3.1 문제의 정의

기지국(노드)의 집합  $V$ 와 링크(에지)의 집합  $E$ 로 구성된 방향성 없는 임의의 그래프  $G=(V, E)$ 가 주어질 때, 두 점  $(x, y)$ 를 연결할 때 비용을  $C(x, y)$ 로 정의한다. 주어진 그래프  $G$ 에 대해 중요 노드의 연결도를 모두 만족하는 에지의 집합  $F$  ( $E$ 의 부분집합)를 선택하는 문제이며, 망의 구축비용  $C(F)$ 를 최소화하기 위한 0 Type 노드의 효과적인 활용이 문제의 목적이다. 이 때 비용  $C(x, y)$ 는 삼각 부등식을 만족하지 않는 경우를 가정한다. 삼각 부등식을 만족하는 문제란 세 노드 사이의 거리가 유클리드 거리로 정의되는 경우이며, 이는  $i, j, k$ 의 세 지점이 있을 때  $C(i, j) + C(j, k) \geq C(i, k)$ 를 만족하는 문제를 말한다. 기존 관로나

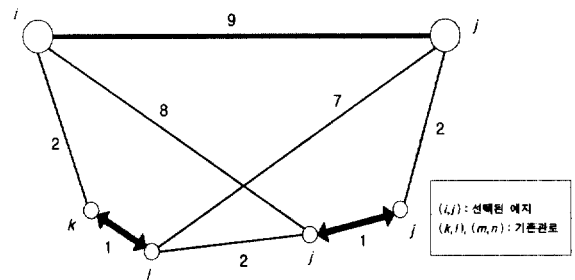
장애물 등을 고려한다면 삼각 부등식을 만족하지 않는 문제가 더욱 실제적인 상황에 가깝다고 볼 수 있다.

3.3.2 일반적인 방법에 관로를 적용할 경우의 문제점

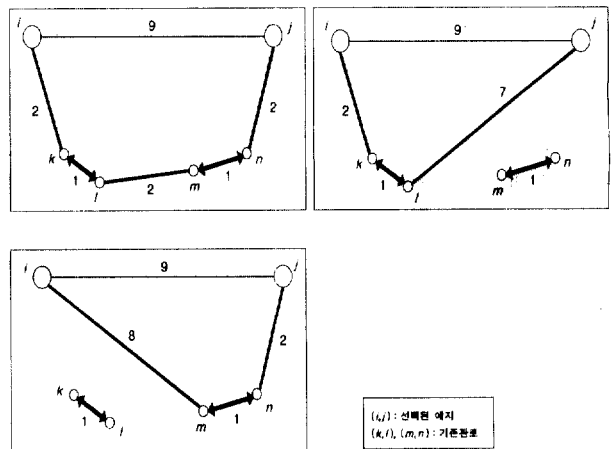
현존하는 망에는 차후의 망 구축을 위하여 광케이블을 제외한 모든 것이 설치되어 있는 것이 있는데 이를 관로라고 한다. 광통신망을 구축할 때 관로를 고려하지 않고 단순한 거리의 합으로만 비용을 책정하는 것은 최소화된 비용을 얻기 힘들다. 기존 관로의 끝점은 일정 수준 이상의 연결도를 요구하지 않을 수도 있으며 이를 0 Type 노드라고 한다. 기존 관로와 0 Type 노드의 등장은 노드수의 폭발적인 증가를 가져오며 이 경우 정수계획법은 제한식의 급증으로 문제해결이 매우 어려울 것으로 판단된다.

관로를 고려하지 않은 기존 방법[9]을 관로를 고려한 문제에 적용한 경우에는 관로의 등장으로 노드수의 폭발적인 증가를 가져와 이 방법으로는 시간적 제약으로 해결하기 어렵다. 또한, (그림 3)과 같은 네트워크에서 관로를 고려하지 않은 기존 방법을 사용할 경우 다음 (그림 4)와 같이 비용감소 효과를 상실할 수 있다.

(그림 3)에서  $(i, j)$ 는 선택된 에지이고,  $(k, l), (m, n)$ 은  $(i, j)$ 에 비해 상대적으로 짧은 기존 관로를 의미한다.



(그림 3) 기존 관로가 있는 문제

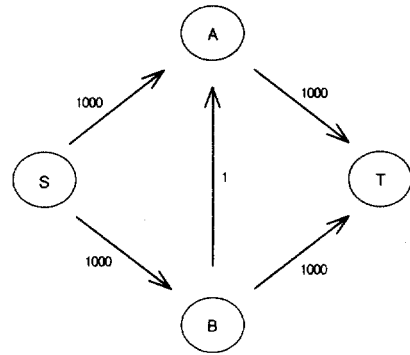


(그림 4) 관로를 고려하지 않은 기존 방법으로 해결하여 비용감소 효과를 상실한 경우의 예

각 에지의 비용이 (그림 3)에서와 같을 때 (그림 4a)처럼  $i-k-l-m-n-j$  순의 경로가  $i-j$ 간의 경로에서 가장 적은 비용

이 들지만 관로를 고려하지 않은 기존연구에서의 X-변환에 서는 연결된 예지 한 쌍만을 변화시킬 대상으로 고려하기 때문에 관로가 여러 개 고려된 i-k-l-m-n-j 의 연결 경로 가 선택되지 않는다. 특히 기존 관로는 짧으면서 많이 존재 하기 때문에 관로를 고려하지 않았던 기존방법으로 문제를 풀게될 경우 좋은 해를 구할 수가 없다.

관로를 고려한 휴리스틱 방법은 초기해 구축과정, 국부 변환과정, 관로 적용과정의 순서를 따른다.



(그림 5) Ford-Fulkerson 방법의 문제

(그림 6)은 Edmonds-Karp 방법으로 Maxflow를 구하는 방법을 나타낸다. <표 1>은 흐름함수  $f(i, j)$ 와 용량함수  $c(i, j)$ 가 있을 때, f-saturate arc, f-zero arch, f-positive arc의 의미를 보인다.

<표 1> Flow의 종류

f-saturate arc	$f(i, j) = c(i, j)$
f-zero arc	$f(i, j) = 0$
f-positive arch	$f(i, j) > 0, f(i, j) < c(i, j)$

- ① 초기해 구축  
초기 실행 가능망 (Initial Feasible Network, IFN)을 [9]에서 제시한 방법을 이용하여 구한다. 이 방법으로는 하나의 초기해만 구할 수 있으므로 국부변환의 다양성을 위하여 노드의 번호를 임의로 바꾸어 서로 다른 여러 개의 초기해를 구한다. 초기해를 구한 다음에는 Ford-Fulkerson 알고리즘을 수행해 가능해인지를 확인한다.
- ② 국부 변환  
국부 변환에는 X-변환이 가능한 쌍들을 감소폭이 큰 순서대로 저장한 후, 저장 순서대로 실행가능성을 확인하여 제일 먼저 만족되는 방향으로 변환하는 개선된 ALL 방법을 이용한 휴리스틱을 적용한다. 국부 변환 후에도 실행 가능성은 보장되지 않으므로 이를 조사한다.
- ③ 관로의 적용  
0 Type 노드를 제외한 중요노드에 대하여 두 노드간의 최단 경로를 찾는 Dijkstra 알고리즘을 사용하여 관로를 고려한다. 이 때 찾은 최단 경로에는 다른 중요노드를 포함하면 안 된다.

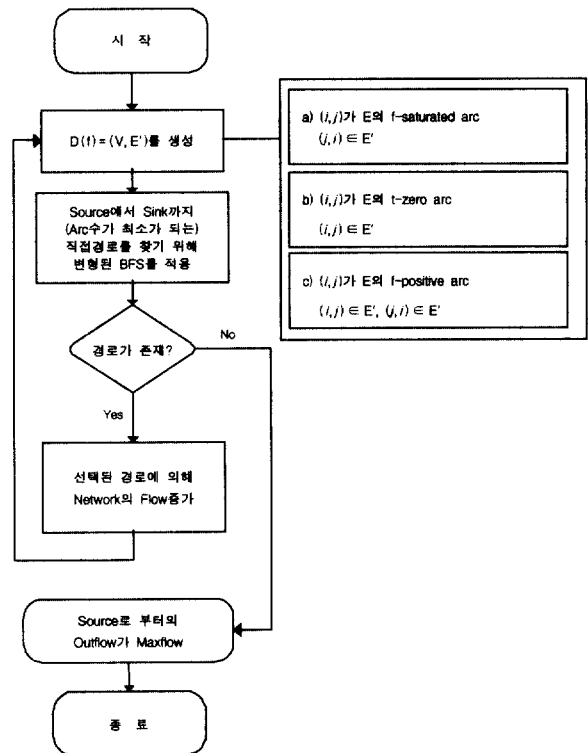
4. 제안된 휴리스틱 방법

기존의 관로를 고려한 망설계 방법은 경로의 실행가능성을 조사할 때 Ford-Fulkerson 방법을 사용하기 때문에 생기는 문제점과 관로의 적용시 한번 적용된 관로를 배제시키 기 때문에 생기는 두 가지 문제점이 있다.

4.1 Ford-Fulkerson 방법의 문제점 및 해결방안

Maxflow 문제를 푸는 간단한 방법 중 하나인 Ford-Fulkerson 방법은 효율이 가장 좋다고 할 수는 없다. Ford-Fulkerson 방법에서는 확대 경로를 찾는데 아무런 제약이 없으므로 좋은 방향으로의 경로를 선정했을 경우에는 문제가 되지 않으나 (그림 5) 와 같은 경우에는 문제가 생기게 된다.

(그림 5)에서 확대경로를  $S \rightarrow A \rightarrow T$ 나  $S \rightarrow B \rightarrow T$ 를 선택하는 경우에는 2번의 수행으로 해를 구할 수 있지만  $S \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow T$ 나  $S \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow T$ 를 선택하게면 흐름의 양은 계속 1이 되기 때문에 해를 얻기 위해서는 2000번의 수행이 필요한 비효율성을 갖게 된다. 때문에 본 논문에서는 확대 경로를 선택하는데 있어 경로를 이루는 노드의 수가 최소인 경로를 선택을 하여 최선의 해를 보장해주는 Edmonds-Karp 방법[5, 8]을 선택하였다.



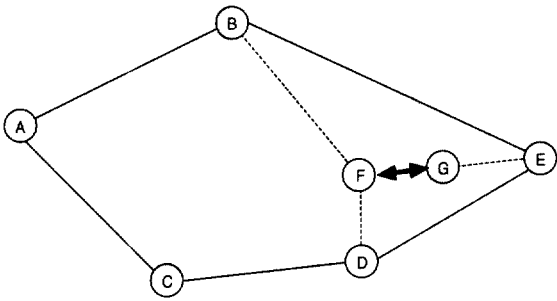
(그림 6) Edmonds-Karp 방법의 순서도

4.2 관로 적용시의 문제점 및 해결방안

관로를 고려한 기존 방법[11]에서는 관로의 공유 문제를 해결하기 위하여 한번 사용한 기존 관로를 다음 수행 시에 배제시키는 방법을 사용하였다. 기존 관로의 공유문제란 다

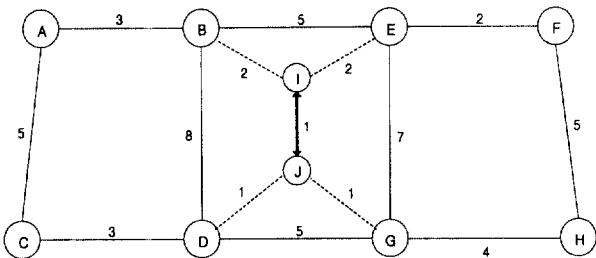
음과 같다.

노드 A와 E간의 연결요구도가 2인 (그림 7)과 같은 망이 있을 때 관로를 고려하지 않으면 노드A와 E간의 실제 연결도는  $2(A-B-E, A-C-D-E)$ 로 연결요구도를 만족한다. 하지만, 관로를 고려하였을 때,  $C(B, F) + C(F, G) + C(G, E) < C(B, E)$ 이고,  $C(D, F) + C(F, G) + C(G, E) < C(D, E)$ 인 경우 기존 관로 (F, G)를 공유하여 경로를 설정하면 실제 연결도는 1이 되어 연결요구도를 만족하지 못하는 경우가 생긴다. 이를 관로의 공유문제라 한다.



(그림 7) 기존 관로의 공유문제에 관한 예

관로를 고려한 기존 방법에서는 기존 관로의 공유문제를 해결하기 위해 고려된 기존 관로에 대해서 경로 설정시 배제시키기 때문에 다른 경로에서 고려되었던 기존 관로를 사용하여 비용이 감소되는 경우를 허용하지 않는다. 본 논문에서는 관로를 고려하여 비용의 감소를 최대로 증가시키기 위하여 관로가 한 경로에서 사용되었다라도 배제시키지 않는다. (그림 8)은 하나의 관로를 여러 개의 경로가 사용하여 비용을 절감시키는 망의 예이다.



(그림 8) 하나의 관로가 여러 경로에서 공유 가능한 예

(그림 8)에서 노드 A와 D, 노드 F와 G간의 연결 요구도는 2이며, 관로를 고려하지 않는 경우 만족한다. 하지만 관로 (I, J)를 고려하여 B-D의 경로를 B-I-J-D 경로로, E-G의 경로를 E-I-J-G 경로로 교체하는 경우는 B-D의 경로와 E-G의 경로의 연결 요구도를 모두 만족할 뿐만 아니라 노드 B에서 노드 D까지의 비용은 8에서 4로, 노드 E에서 노드 G까지의 비용은 7에서 4로 비용을 절감할 수 있게 된다.

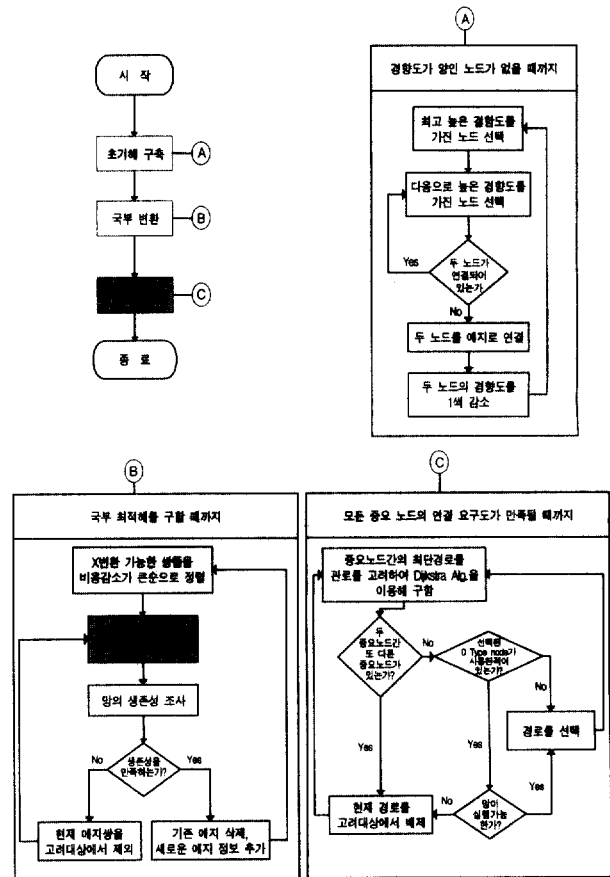
### 4.3 제안한 알고리즘의 특징 및 알고리즘

생존도를 고려한 기존 해법과 본 논문에서 제안한 방법을 정리하면 <표 2>와 같다.

<표 2> 기존 해법과 제안한 해법의 비교

	기존 해법 1	기존 해법2	제안한 해법
Maxflow	Ford-Fulkerson Alg.	Ford-Fulkerson Alg.	Edmonds-Karp Alg
관로 적용	관로 적용 없음	적용되는 경우 한번만 적용	생존도를 만족하는 경우 계속 적용
특징	관로를 적용하면 식을 폭발적 증가로 문제 해결이 어려움	관로 적용후 고려 대상에서 제외하는데 따른 비용 증가	생존도를 만족하는 한 적용, 최대의 비용 절감 효과
기존해법 1 : 관로를 고려하지 않은 기존 방법 기존해법 2 : 관로를 고려한 기존 방법			

(그림 9)는 제안한 휴리스틱 방법의 순서도를 후처리 방법중 방법 9를 예로 들어 도시하였다. 본 논문에서는 망의 실행가능성을 조사하는 모든 부분에 기존의 Ford-Fulkerson 방식을 Edmonds-Karp방식으로 대체하여 성능을 높였다. 또한 한 경로에서 선택된 관로를 배제시키지 않으므로써 보다 좋은 해를 유도할 수 있다.



(그림 9) 제안한 휴리스틱의 순서도

각 방법에 따라 관로를 적용할 때 적용하는 방법이 다르다. 방법 2, 6, 10은 무작위 순으로, 방법 3, 7, 11은 거리가 짧은 중요노드에 먼저 적용하며, 방법 4, 8, 12은 관로를 거리가 긴 중요노드에 먼저 적용하고, 방법 5, 9, 13은 관로를 비용감소가 큰 중요노드에 먼저 적용한다. 기존 방법의 결과에 의하면 관로의 비용감소가 큰 순서대로 적용하는 것이 가장 효과적인 것으로 알려져 있으며, 본 논문에서도 방법 9를 개선시킨 방법 13을 제안하였다.

### 5. 실험 결과 분석 및 평가

#### 5.1 실험 환경 및 결과 분석

실험은 전체 23개의 일반 노드와 100개의 0 Type 노드에서 3중 연결을 요구하는 중요 노드 수를 각각 2개, 5개, 7개로 설정하여 수행하였다. 이때 일반노드 23개는 국내 주요 도시를, 그리고 중요노드의 수는 대도시를 의미하며, 일반노드간에는 2중 연결을 요구하는 것으로 가정하였다. 전체 노드(중요 노드, 일반 노드와 0 Type 노드)의 좌표는 무작위로 생성하였고, 좌표의 범위는 X좌표는 0~300, Y좌표는 0~450의 값을 선택하였다. 그리고, 중요 노드 사이의 거리가 30이하인 경우 90%가 관로가 되도록 생성하였다. 기존의 방법[11]과 제안한 방법의 각각의 알고리즘은 다음과 같다.

##### 5.1.1 실험 방법

방법 1은 관로를 고려하지 않은 기존방법[9]이며 방법 2부터 방법 9까지는 관로를 고려한 기존의 방법[11]이며, 방법 10부터 방법 13까지는 제안한 휴리스틱 방법이다. 관로를 고려한 기존방법에는 전처리 방법 (방법 2~5), 후처리 방법 (방법 6~9)이 있다. 전처리 방법은 (그림 9)에서 국부 변환이전에 관로를 적용하는 것이고, 후처리 방법은 국부 변환 후에 관로를 적용하는 방법이다. 자세한 사항은 [11]에 기술되어 있다. [11]에서 후처리 단계에 관로를 적용하는 경우 좋은 성능을 보였기 때문에 제안된 방법에서는 이 부분에 대해서만 실험을 하였다. 각 방법을 표기상의 편의를 위해 각각 다음과 같이 명명하였다. 각 방법은 중요노드의 개수가 각각 2, 5, 7인 경우에 대해 실험하였다.

방법 1. 관로를 고려하지 않은 방법(NCC)

- 전처리 방법(방법 2~방법 5)
  - 방법 2. 전처리 단계에 관로를 무작위 순으로 적용하는 방법(PrePCR)
  - 방법 3. 전처리 단계에 관로를 거리가 짧은 중요노드에 먼저 적용하는 방법(PrePCS)
  - 방법 4. 전처리 단계에 관로를 거리가 긴 중요노드에 먼저 적용하는 방법(PrePCL)

방법 5. 전처리 단계에 관로를 비용 감소가 큰 중요노드에 먼저 적용하는 방법(PrePCC)

- 후처리 방법(방법 6~방법 9)
  - 방법 6. 후처리 단계에 관로를 무작위 순으로 적용하는 방법(PPCR)
  - 방법 7. 후처리 단계에 관로를 거리가 짧은 중요노드에 먼저 적용하는 방법(PPCS)
  - 방법 8. 후처리 단계에 관로를 거리가 긴 중요노드에 먼저 적용하는 방법(PPCL)
  - 방법 9. 후처리 단계에 관로를 비용 감소가 큰 중요노드에 먼저 적용하는 방법(PPCC)
- 개선된 방법(방법 10~방법 13)
  - 방법 10. 방법 6을 개선한 방법(MPPCR)
  - 방법 11. 방법 7을 개선한 방법(MPPCS)
  - 방법 12. 방법 8을 개선한 방법(MPPCL)
  - 방법 13. 방법 9를 개선한 방법(MPPCC)

#### 5.1.2 실험 결과

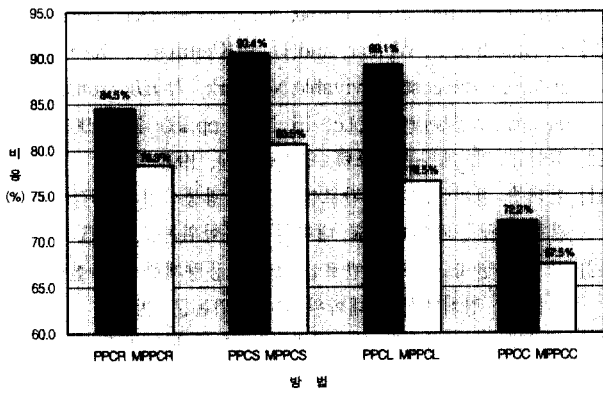
<표 3>은 전체 일반 노드 23개와 0 Type 노드 100개를 가지는 망에서 중요노드의 개수가 2일 때의 비용을 나타낸 것이다.

<표 3> 중요 노드의 개수가 2일 때 각 방법별 비용

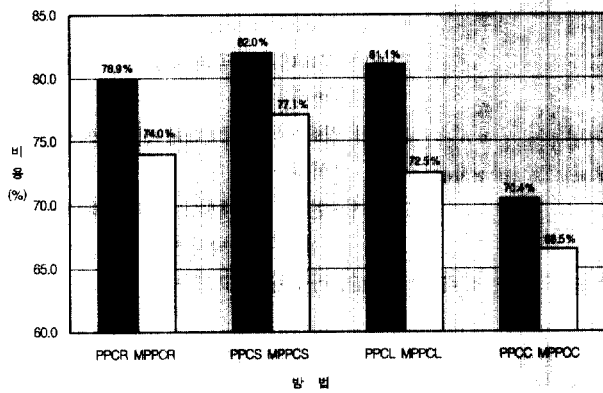
분 류	번 호	방 법	최소 초기해	초기해 평균	최소 국부해	국부해 평균
무 관 로	1	NCC	33,596	37,095	28,401	29,134
관로고려 (Pre-processing)	2	PrePCR	39,300	42,829	31,084	31,816
	3	PrePCS	30,786	36,226	24,925	27,087
	4	PrePCL	35,972	39,370	32,965	33,464
	5	PrePCC	35,215	40,550	33,708	34,540
관로고려 (Post-processing)	6	PPCR	35,978	39,471	22,147	22,585
	7	PPCS	35,978	39,471	22,167	22,167
	8	PPCL	35,978	39,471	21,816	22,545
개선된 관로고려 (Modified Post-processing)	9	PPCL	33,978	39,471	19,740	20,379
	10	MPPCR	35,978	39,471	20,535	21,325
	11	MPPCS	35,978	39,471	21,291	21,518
	12	MPPCL	35,978	39,471	20,401	21,789
	13	MPPCC	33,978	39,471	18,718	19,185

(그림 10)은 실험한 각 방법의 최소 국부해 비용을 관로를 고려하지 않은 기존 방법의 최소 국부해 비용을 100%로 가정하고 이에 대해 비교한 값을 도표로 나타낸 것이다. (그림 10)의 (a)는 중요 노드의 개수가 7개인 경우이며, (b)는 중요 노드가 2, 5, 7 개인 경우의 평균을 나타낸다.

(그림 11)은 기존의 관로의 후처리 방법에 비해 개선된 후처리방법의 비용감소정도를 도표로 나타낸 것이다.

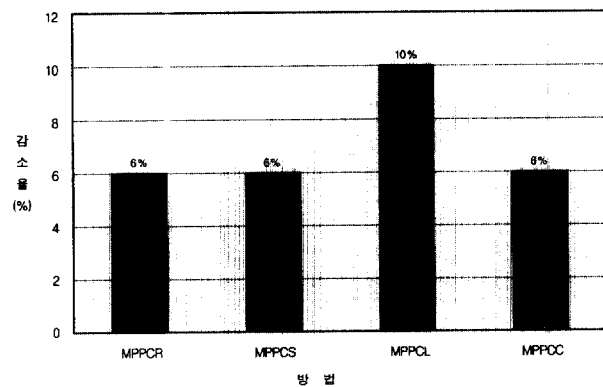
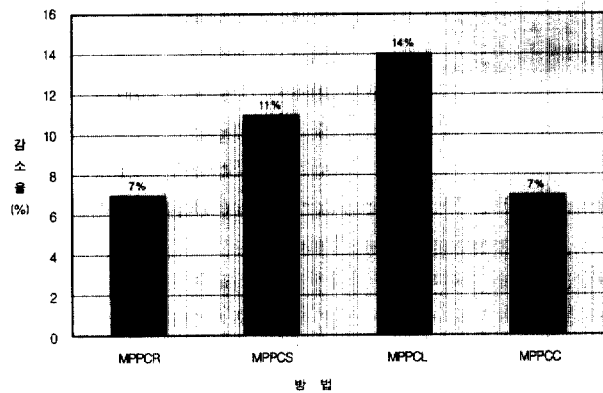


(a) 방법별 비용비교(중요노드 7개)



(b) 방법별 비용비교(전체)

(그림 10) 각 방법별 망 구축 비용



(그림 11) 개선된 방법의 비용감소율

### 5.2 실험 결과 분석

초기해의 값은 실험 결과에서 초기해를 구하기 전에 관로를 적용한 경우가 X-변환 후에 적용한 경우보다 적은 값을 갖는 것을 알 수 있다. 그 중에도 중요노드간의 거리가 짧은 노드쌍에 먼저 관로를 고려하는 것이 가장 좋은 값을 가짐을 볼 수 있다. 이러한 결과는 초기해의 값은 관로의 적용시점에 영향을 받으며, 관로를 적게 사용하게 되는 거리가 짧은 노드쌍을 먼저 고려하는 것이 좋은 것으로 분석할 수 있다.

초기해의 값은 전처리 방법의 경우 거리가 짧은 노드쌍을 먼저 고려하는 방법 3(PrePCS 방법)의 경우가 관로의 공유문제를 적게 발생시키면서 좋은 해를 구함을 알 수 있다. 하지만, 국부 변환후의 국부해의 값은 후처리 방식이 우수함을 알 수 있다. 하지만, 후처리 방식은 기존의 방법으로는 관로를 한번씩만 고려해야만 하는 제약 때문에 거리가 먼 중요노드사이에 사용된 관로를 짧은 거리의 중요노드가 사용하지 못하는 비효율성이 발생된다. 본 논문에서 제안한 해법은 결과에 따르면 사용된 관로를 다시 사용함으로써 보다 좋은 해를 가지게 됨을 알 수 있다.

### 5.3 평가 및 고찰

새로운 통신망을 구축하는데 있어서 가장 고려해야 할 사항은 경제적인 요소라 할 수 있다. 본 논문에서는 경제적인 요소를 고려함에 있어 이미 구축되어있는 관로를 보다 효과적으로 고려할 수 있는 방법을 제안하였다. 그 결과로 기존의 방법에서 효과적인 방안으로 제시한 관로의 후처리 방법을 응용하여 관로가 공유되더라도 생존도가 만족된다면 비용을 줄일 수 있는 방법을 제시하였다. 그러나, 구리망에서 광통신망으로의 발전에만 국한할 것이 아니라 기존망의 대역폭 확충에 보다 효과적으로 적용되기 위해서는 용량의 고려가 반드시 필요하다고 하겠다. 또한 새로이 개발되는 많은 노드들을 사용한 망의 설계를 위해서는 각 노드의 특성을 적용시킬 수 있는 부분도 필요하다.

### 6. 결론 및 향후 연구방향

본 논문에서는 초고속 통신망의 구축을 위해서 광케이블을 설치하는 경우 망의 생존도를 보장하는 망의 설계하는 경우 기존의 관로를 최대한 고려하여 망의 구축비용을 최소화하는데 중점을 두었다. 기존의 논문에서 실행가능성을 조사하는데 이용되는 Ford-Fulkerson 방법을 Edmonds-Karp 방법으로 바꾸어 성능을 높였다. 또한 사용하는 기존의 관로를 여러 경로에서 사용하여 비용을 감소시킬 수 있음에도 불구하고 이를 제한하여 비용 감소 효과를 극대화시키지 못하는 점에 착안하여 본 논문에서는 관로를 여러 경로에서도 사용하여 비용 감소 효과를 극대화시킬 수 있도록

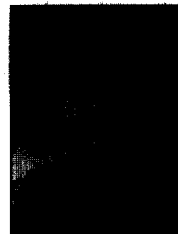
록 하였다. 실험 결과에 의하면 관로의 공유를 허용하는 경우 그렇지 못한 경우에 비해 평균적으로 7%의 비용감소효과가 있음을 알 수 있었다.

향후 연구과제로는 기존 방법에 비해 망의 생존도를 검사하는 부분이 많은 비중을 차지하므로 수행능력의 향상을 위해 이 부분에 대해 보다 효과적인 알고리즘을 개발, 적용하여야 한다. 또한, 최근에는 각종 통신기술의 급속한 발전으로 다양하고 새로운 형태의 통신 노드들이 많이 등장하게 되었다. 다양한 형태의 노드의 출현으로 인한 각 노드의 특성을 고려하는 부분과 멀티미디어 서비스를 보다 효과적으로 제공하기 위해 노드간의 시간 제약에 대해서도 고려된 보다 효과적인 알고리즘에 대한 연구가 필요하다.

### 참 고 문 헌

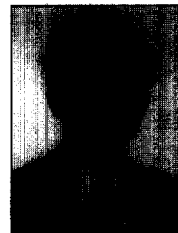
[1] G. Brassard and P. Bratley, "Algorithmics theory and Practice," PRENTICE HALL, 1988.  
 [2] R. Sedgewick, "Algorithms in C++," Addison-Wesley, 1992.  
 [3] Shimon Even, "Graph Algorithm," COMPUTER SCIENCE PRESS, 1979.  
 [4] J. A. Bondy and U. S. R. Murty "Graph Theory with Applications," AMERICAN ELSEVIER PUBLISHING CO. 1976.  
 [5] V. K. Balakrishnan, "Schaum's Outline of Theory and Problem of Graph Theory," McGraw-HILL, 1995.  
 [6] Douglas B. West, "Introduction to Graph Theory," PRENTICE HALL, 1996.  
 [7] M. Grötschel, and C. L. Monma, "Integer Polyhedra Arising from Certain Network Design Problems with Connectivity Constraints," SIAM J. Disc. Math., Vol.3, No.4, pp.502-523, 1990.  
 [8] M. Grötschel, C. L. Monma, and M. Stoer, "Computational Results with a Cutting Plane Algorithm for Designing Communication Networks with Low-Connectivity Constraints,"

Operations Research, Vol.40, No.2, pp.309-330, 1992.  
 [9] K. Steiglitz, P. Weiner, and D. J. Kleitman, "The Design of Minimum-cost Survivable Network," *IEEE Transaction on circuit Theory*, Vol.ct-16, No.4, pp.455-460, 1969.  
 [10] 김여근 외, 메타휴리스틱, 영지출판사, 1997.  
 [11] 이태주, 한치근, "기존 관로를 고려한 광통신망의 최적설계에 관한 연구", 경희대학교 대학원 석사학위논문, 1995.  
 [12] 강영호, 한치근, "기존 관로를 고려한 용량제한 광통신망 설계연구", 경희대학교 대학원 석사학위논문, 1999.  
 [13] 이재규, C로 배우는 알고리즘 (II), 도서출판 세화, 1996.



### 강 호 관

e-mail : river88@khu.ac.kr  
 1998년 경희대학교 공과대학전자계산공학과 (학사)  
 1998년 경희대학교 공과대학 전자계산공학과 (석사)  
 1998년~현재 경희대학교 공과대학 전자계산공학과 박사과정  
 관심분야 : 망 관리 알고리즘, 라우팅 알고리즘 등



### 한 치 근

e-mail : cghan@khu.ac.kr  
 1983년 서울대학교 공과대학 산업공학과(학사)  
 1985년 서울대학교 대학원 산업공학과(석사)  
 1986년~1988년 Master Computer Science Department, The Pennsylvania State University  
 1988년~1991년 Ph.D. Computer Science Department, The Pennsylvania State University  
 1992년~현재 경희대학교 전자정보학부 교수  
 관심분야 : 최적화, 예측 시스템, 망 관리 알고리즘 등