

최소비용을 갖는 데이터통신망 설계 알고리즘

正會員 장 경 훈*, 백 원 석*, 김 동 춘**, 김 경 연*, 김 경 식*

Data Communication Network Design Algorithm with Minimum Cost

Kyoung Hun Chang*, Won Seok Baek*, Dong Choon Kim**, Kyung Youn Kim*,
Kyung Sik Kim* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 노드와 노드사이에 링크 설치 비용과 트래픽 요구량이 주어졌을 때, 일반적인 상황에 이용될 수 있는 메쉬망 토폴로지를 구하는 데이터통신망(DCN: Data Communication Network) 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 비용 조건 중에서 MENTOR 알고리즘의 제한 조건인 삼각부등식을 필요로 하지 않는다. 제안된 알고리즘의 계산량은 N^3 이고, N 은 망의 노드 개수이다. 성능 평가 결과 제안된 알고리즘은 MENTOR 알고리즘에 비해 비용과 신뢰성에서 우수함을 나타내었다.

ABSTRACT

In this paper, the problem of obtaining topology for mesh network given the link costs and traffic requirements between all pairs of nodes is considered. The proposed DCN algorithm can be applied to the mesh network in a unified manner. Among the cost conditions, the triangle inequality of the MENTOR algorithm is removed in the proposed algorithm. The computational complexity of the algorithm is order N^3 , where N is the number of nodes in the network. The performances of proposed algorithm are better than those of the MENTOR algorithm in the case of the cost and the reliability of network.

I. 서 론

정보화시대에 즈음하여 통신망에 대한 수요는 폭발적으로 증가하고 있으며, 이에 부응하여 통신망 기술이 고도화 및 지능화 되고 있다. 이런 상황에서 사용자는 망을 사용하는데 불편이 없어야하며, 운영자는 사용자의 요구를 충족시키면서 경제적인 망을 구성하여야 하는데, 데이터통신망 토폴로지 설계 방법

* 제주대학교 전자공학과
Dept. of Electronic Engineering Cheju National University

** 제주한라전문대학 전산정보처리학과
論文番號: 96142-0503

接受日字: 1996年 5月 3日

은 크게 2가지로 나눌 수 있다. 첫째는 중앙집중식(스타형, 트리형) 형태이다. 이 방법은 단순한 데이터 통신망 형태를 설계할 수 있다는 장점이 있는 반면, 잠재된 병목현상과 중앙지역의 결정적 고장에 취약점을 가진다. 둘째는 분산망 형태인 메쉬망(Mesh Network)이다. 이 방법은 설계가 어려운 단점이 있으나, 병목현상과 고장에 대해서 면역성이 강하고 자원의 공유가 용이하다는 장점이 있다^[1].

그러나, 일반적으로 메쉬 형태를 갖는 토폴로지 최적화 설계는 용량배정, 링크 선택, 경로설정 등의 문제로 매우 복잡하다^[2, 3, 4]. 경로 설정과정의 계산량은 $O(N^3)$ 이나, 이를 메쉬망 설계에 응용하기 위한 'Branch Exchange' 과정을 도입하면 계산량은 $O(N^5)$ 로 증가한다^[5]. 이와 같은 이유로, 많은 망 설계자들은 계산량을 줄이면서 최소 망 구축 비용에 가까운 망을 설계하기 위해 근사화된 구조에 대한 해석 방법을 사용하였으며^[6, 7, 8, 9], 그중 가장 대표적인 것은 계산량을 $O(N^2)$ 로 감소시킨 A. Kershenbaum 등에 의해 제안된 휴리스틱(Heuristics)한 방법인 MENTOR(Mesh Network Topology Optimization and Routing) 알고리즘이다^[5, 6]. 그런데, MENTOR 알고리즘은 계산량을 감소시키는 장점을 갖지만^[5, 6], 휴리스틱한 알고리즘의 특징인 최소 망 구축 비용의 5%이내의 오차를 가지는 문제점을 나타내었다^[7, 8]. 이러한 비용 오차는 소규모 망에서는 별로 큰 문제가 아니지만, 대규모 망에서는 무시할 수 없는 값이다. 또한 MENTOR 알고리즘은 두 개의 입력 데이터인 각 노드간의 트래픽 요구량과 링크 설치 비용 중에서 링크 설치 비용이 두 노드 사이를 연결할 때 우회 경로의 비용 합이 직접 링크로 연결하는 비용보다 항상 크거나 같다는 삼각 부등식을 만족하여야 한다는 제한 조건이 있다.

본 논문에서는 망 설계 시간을 줄이기 위해 근사화된 구조 해석 방법을 사용함으로써 생긴 망 구축 비용의 오차를 최소로 하고, 링크 설치 비용이 삼각 부등식을 만족하지 않는 경우에도 설계 가능한 메쉬망 형태의 데이터통신망 토폴로지 설계 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘의 특징은 직접 링크와 우회 경로를 고려할 때 노드쌍의 순서를 비용이 큰 것에서부터 설치함으로써 링크에 누적되는 트래픽을 적게 하여 경제적인 경로를 선택하게 하고, 또한 망 설계 결과를 단 한 번의 설계로 망 구축 비용을 구한

다. 설계 과정은 노드쌍 순서 결정, 우회 노드 찾기 및 직접 경로 설치 단계의 3 단계로 이루어지며, 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안된 알고리즘과 MENTOR 알고리즘의 망 구축 비용을 비교한 결과 제안된 알고리즘을 적용한 경우가 망 구축 비용이 개선되는 것을 확인하였다.

II. 제안된 데이터통신망(DCN) 설계 알고리즘

1. 제안된 설계 알고리즘의 특징

제안된 알고리즘의 특징은 크게 두 가지로 말할 수 있다. 첫째는 직접 링크를 고려하는 노드쌍의 순서를 링크 설치 비용이 큰 순서로 정한다. 이는 직접 링크를 설치시 비용이 큰 링크를 먼저 고려하여 링크에 누적되는 트래픽을 적게 하며, 가능한 비용이 큰 링크를 설치하지 않는다. 또한 우회 경로를 선택할 때 역시 이 순서에 의해 설치를 함으로써 경제적인 경로를 선택하게 한다. 직접 링크 설치에 영향을 주는 것은 우회 경로의 실효 트래픽량([Original_traffic + H] % Cap (%: Modulus 연산자)); Original_traffic는 자신이 가진 원래의 입력 트래픽량이고, H는 직접 경로를 설치하지 못한 노드들로부터 넘겨받아 누적되는 트래픽량; Cap는 채널용량이다. 우회 경로의 실효 트래픽량의 확률 분포가 균일하다고 가정하므로 이를 이용하여 확률적으로 링크 설치 비용이 적게 드는 것을 선택한다. 우회 경로의 트래픽 분포는 처음에는 불균일하지만, 넘겨받는 트래픽의 횟수가 많을수록 균일한 분포에 가까워진다. 그러기 때문에 노드가 많은 망일수록 더 균일한 트래픽 분포를 가진다. 이를 이용하여 우회 경로의 선택은 우회 가능한 노드 중에서 평균 추가 비용이 적은 경로를 선택한다. 평균 추가 비용은 다음과 같은 식으로 정의할 수 있다.

$$\text{Average_Cost} = (\text{traffic}[i][j] \% \text{Cap}) / \text{Cap} * (\text{Cost}[i][k] + \text{Cost}[k][j])$$

둘째는 망 전체의 계산량에 영향을 주는 우회 경로의 계산량이 $O(N^3)$ 를 가진다. 이 계산량은 MENTOR 알고리즘의 계산량인 $O(N^2)$ 보다는 많으나, 실제적으로 보면 MENTOR 알고리즘은 트리모양을 구하는 알파(alpha)와 채널용량의 사용한계를 정하는 임계값(slack)을 변화시키면서 만들어낸 망 설계비용 가운데

최소값을 선택한다. 그러나, 제안된 데이터통신(DCN) 알고리즘은 단 한번의 설계 결과로 망 구축비용을 찾는다. 이런 계산량의 감소는 정칙 최적화 방법의 문제점인 많은 계산량을 해결하는 것으로, 이것은 설계 과정의 첫단계인 링크 설치 비용 순서를 이용하여 두 번째 단계인 우회 노드를 찾으므로 해의 범위(solution space)를 한정된 결과이다.

2. 제안된 알고리즘의 입력 데이터 조건

실제적으로 채널은 대기 지연(queueing delay), 블럭킹(blocking) 등에 의해 링크 용량 전부를 트래픽 전송에 이용할 수 없으며, 또한 오버헤드도 링크의 이용도를 감소시킨다. 트래픽은 양방향(bidirectional)성을 갖는다고 가정한다. 일반적으로 링크 설치 비용은 각기 다른 용량을 가진 망에서는 3차원의 행렬이 되지만, 동일한 용량을 가진 망에서는 2차원 행렬 형태를 가진다.

제안된 알고리즘은 최소 망 구축 비용을 구하기 위해 망 설계 과정에서의 계산 시간에 대한 문제점을 해결하고, MENTOR 알고리즘의 문제점인 삼각 부등식을 만족한다는 제한 조건을 제거하여 다음과 같이 가정한다.

1) 채널 조건

(1) 각 채널은 동일한 용량을 가진다.

(2) 채널 용량은 큐잉 지연과 블럭킹을 발생하지 않은 범위까지만 사용한다고 가정한다. 채널 용량의 사용 한계를 이용도와 채널 용량의 곱이라 하고 이 범위에서는 지연과 블럭킹은 일어나지 않는다고 가정한다. 본 논문에서는 이용도를 1로 가정하여 채널 용량 전부가 트래픽 전송에 이용된다고 가정한다.

2) 트래픽 조건

(1) 각 노드는 근원지(source)와 목적지(destination) 역할을 모두 할 수 있다.

(2) Traffic[i|j]는 i노드와 j노드 사이에 요구되는 트래픽 양을 나타내는 행렬 값이며, 트래픽은 양방향으로 전송될 수 있다.

3) 링크 비용 조건

(1) 링크 비용(Cost[i|j]/channel)은 거리에 비례하여 증가한다.

(2) 링크 비용은 노드 i와 노드 j에 대해 대칭(sym-metric)이다.

3. 제안된 설계 알고리즘의 설계 단계

제안된 알고리즘의 설계 단계는 입력 데이터 조건에 의해 주어진 데이터를 이용하여, 노드쌍 순서 결정, 우회 노드 찾기, 직접 링크 설치 결정 단계 등의 3 단계로 구성된다.

1) 1 단계: 노드쌍 순서 결정

(1) 링크 비용이 대칭이므로 $N \cdot (N-1)/2$ 개의 링크만을 사용

(2) 노드쌍의 비용이 큰 것부터 작은 순으로 결정

2) 2 단계: 우회 노드 찾기

1 단계에서 구한 노드쌍의 순서로 구하는데, 식(1)을 만족하는 경우에만 우회 노드를 가진다. 식(1)은 노드 i 와 노드 j 사이의 우회 노드를 찾을 때 노드 i, j 를 제외한 나머지 노드인 k를 변화시켜 가면서 우회 경로 설치비용 합이 최소인 우회 경로를 가지는 노드를 선택한다. 우회 노드를 선택하는 과정중 두 노드 사이에서 직접 링크를 설치하는 비용과 비교하여 우회 경로 상의 링크 설치 비용중 어느 하나라도 큰 경우에 이 노드쌍은 우회 노드를 가지지 않는다.

$$\begin{cases} \text{Min}[Cost[i][k]+Cost[k][j]] \\ \text{Subject to } Cost[i][j] < Cost[i][k] \text{ and } Cost[i][j] < Cost[k][j] \end{cases} \quad (1)$$

여기서 Min(x)는 x의 최소값, N은 노드수를 나타내고 $0 \leq k < N, i \neq k, j \neq k$ 이다.

3) 3 단계: 직접 링크 설치 결정

직접 링크 설치 순서는 1 단계에서 구한 비용이 큰 노드쌍으로부터 시작한다. 2 단계에서 구한 우회 노드와 다음의 2 개의 조건식에 의해 직접 경로 설치 여부를 결정한다.

(1) 트래픽 요구량이 채널 용량을 초과하는 경우
<조건식 1>

직접 링크 설치 비용과 우회 경로 비용 합을 비교하여 작은 경우에 직접 링크를 설치하고, 그렇지 않으면 우회 경로로 선택된 노드쌍에게 트래픽량을 넘겨준다.

$$\begin{aligned} Cost[i][j] \\ \leq Cost[i][k]+Cost[k][j] \end{aligned} \quad (2)$$

k: 우회 노드

<조건식 2>

조건식 1에서 직접 링크를 선택하고 남은 실효 트래픽 요구량에 대한 직접 링크 설정 여부를 결정한다. 트래픽 요구량이 우회 경로를 통해 전송될 때 추가되는 링크 설치 비용의 평균 설치 비용은 실효 트래픽요구량을 채널 용량으로 나눈 값에 우회 경로 비용을 곱한 값이다. 이 평균 설치 비용보다 직접 링크 설치 비용이 작을 때는 직접 링크를 설치한다.

$$\begin{aligned}
 &Cost[i][j] \\
 &\leq (Cost[i][k] + Cost[k][j]) \\
 &\quad * ((Traffic[i][j] + H) \% Cap) / Cap \\
 &\left\{ \begin{array}{l} k: \text{우회 노드} \\ H: \text{넘겨 받는 트래픽 요구량} \\ Cap: \text{채널 용량} \end{array} \right. \quad (3)
 \end{aligned}$$

(2) 트래픽 요구량이 채널 용량보다 작을 경우 조건식 2를 만족하는 경우에 직접 링크를 설치한다.

III. 시뮬레이션 및 고찰

1. MENTOR 알고리즘과 제안된 알고리즘의 설계 결과 비교

표 1. 트래픽 요구량
Table 1. The traffic requirements

노드	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	80	80	80	80	80	80	80	80	80
1	80	0	80	80	80	80	80	80	80	80
2	80	80	0	80	80	80	80	80	80	80
3	80	80	80	0	80	80	80	80	80	80
4	80	80	80	80	0	80	80	80	80	80
5	80	80	80	80	80	0	80	80	80	80
6	80	80	80	80	80	80	0	80	80	80
7	80	80	80	80	80	80	80	0	80	80
8	80	80	80	80	80	80	80	80	0	80
9	80	80	80	80	80	80	80	80	80	0

표 2. 링크 비용(비용/채널)
Table 2. The link costs(cost/channel)

노드	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	8308	3130	5242	1231	2440	8275	5101	5731	7396
1	8308	0	6199	5104	8137	6910	1309	4699	4597	2062
2	3130	6199	0	3802	2989	1708	6187	3394	4129	5332
3	5242	5104	3802	0	5017	4294	4927	1672	1567	4042
4	1231	8137	2989	5017	0	2320	8098	4888	5509	7213
5	2440	6910	1708	4294	2320	0	6895	3976	4690	6037
6	8275	1309	6187	4927	8098	6895	0	4558	4402	1915
7	5101	4699	3394	1672	4888	3976	4558	0	1747	3646
8	5731	4597	4129	1567	5509	4690	4402	1747	0	3538
9	7396	2062	5332	4042	7213	6037	1915	3646	3538	0

노드 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
도시 뉴욕 LA 시카고 휴스턴 필라 디트 샌디 달라스 샌안토 피닉스 델피아 로이트 에고 니오

표 3. MENTOR 알고리즘을 이용한 결과

Table 3. The result using the MENTOR algorithm

노드쌍	채널수	채널 트래픽	전체 트래픽	링크 비용	전체 비용 (링크 비용 * 채널수)
0 -- 4	3	720	720	1231	3693
1 -- 2	1	320	1040	6199	9892
1 -- 6	2	400	1440	1309	12510
2 -- 5	4	1040	2480	1708	19342
2 -- 7	2	640	3120	3394	26130
2 -- 9	1	320	3440	5332	31462
3 -- 4	1	320	3760	5017	36479
3 -- 7	2	384	4144	1672	39823
3 -- 8	2	624	4768	1567	42957
4 -- 5	2	640	5408	2320	47597
4 -- 9	1	320	5728	7213	54810
6 -- 9	3	960	6688	1915	60555
7 -- 8	1	336	7024	1747	62302
8 -- 9	3	720	7744	3538	72916

미국의 10개 도시를 노드로 하는 A. Kershenbaum^[5]의 표1 및 2와 같은 입력 데이터를 이용하여 설계하였다.

1) 표 1, 표 2를 이용한 MENTOR 알고리즘의 설계 결과

이때 채널 용량은 336, $0 \leq \alpha < 1$, $0 \leq \text{slack} < 1$ 을 0.1 단위로 사용하였으며 그 결과는 표3과 같다.

표 3의 설계 결과는 중심 노드는 7을 가지고, α 는 0.0, 임계값(slack)은 0.8을 가지는 메쉬망이 설계된다. 망 설계의 최대 관심인 망 구축 비용은 72916, 시간 지연에 영향을 주는 연결된 노드쌍의 수는 14개를 가진다. 그림 1은 MENTOR 알고리즘의 최종 설계 결과이다.

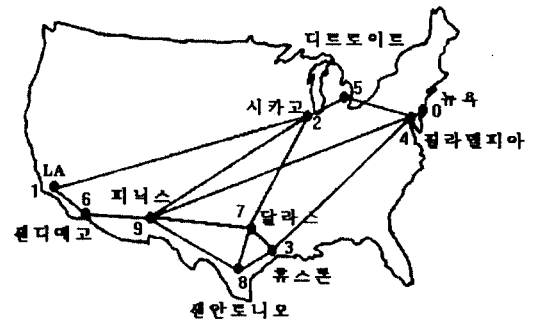


그림 1. MENTOR 알고리즘을 이용한 최종 메쉬망 설계 결과

Fig. 1. The final mesh network design using the MENTOR algorithm.

2) 동일한 입력데이터를 이용한 제안된 알고리즘의 설계 결과

여기서도 채널 용량은 336을 이용하였으며 그 설계 결과는 표4와 같다.

표 4. 제안된 알고리즘을 이용한 결과

Table 4. The result using the proposed algorithm

순서	노드쌍	우회 노드	채널수	채널 트래픽	전체 트래픽	망 크 비용	전체 비용 (망크 비용 * 채널수)
1	4 --- 9	2	1	320	320	7213	7213
2	1 --- 2	9	1	320	640	6199	13412
3	2 --- 9	7	1	320	960	5332	18744
4	3 --- 4	7	1	320	1280	5017	23761
5	5 --- 7	2	1	320	1600	3976	27737
6	7 --- 9	8	1	240	1840	3646	31383
7	8 --- 9		2	480	2320	3538	38459
8	2 --- 7		1	320	2640	3394	41853
9	0 --- 5	4	1	240	2880	2440	44293
10	4 --- 5		2	400	3280	2320	48933
11	1 --- 9	6	1	320	3600	2062	50995
12	6 --- 9		2	640	4240	1915	54825
13	7 --- 8	3	1	240	4480	1747	56572
14	2 --- 5		3	720	5200	1708	61696
15	3 --- 7		1	240	5440	1672	63368
16	3 --- 8		2	480	5920	1567	66502
17	1 --- 6		1	80	6000	1309	67811
18	0 --- 4		2	480	6480	1231	70273

표 4의 설계 결과는 망 설계의 최대 관심인 설계 비용은 70273, 시간 지연에 영향을 주는 전체 트래픽량은 6480, 망의 신뢰성에 영향을 주는 연결된 노드쌍의 수는 18개를 가진다. 그림 2는 제안된 알고리즘의 최종 설계 결과이다.

표3, 4의 채널 트래픽은 채널이 설치된 노드쌍 사이에 전송되는 트래픽량으로 원래 트래픽(Original traffic)

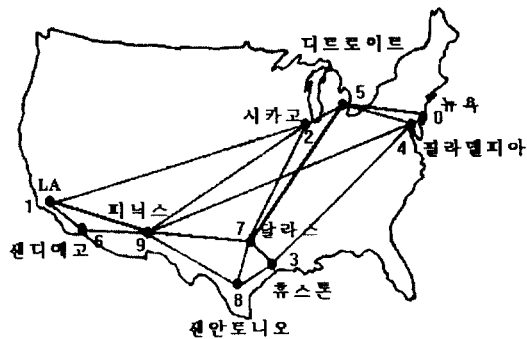


그림 2. 제안된 알고리즘을 이용한 메쉬망 설계 결과
Fig. 2. The final mesh network design using the proposed algorithm.

에 직접 경로를 설치하지 못한 노드쌍 채널에서 우회된 트래픽량을 더한 값이다. 표3에서 0-4 노드쌍사이 채널 트래픽이 720인 경우, 0-4 노드쌍 사이에 원래 트래픽량인 80에 우회된 트래픽량인 640이 더해진 것이다.

MENTOR 알고리즘은 망의 형태를 구성하는데 영향을 주는 변수와 임계값을 0.1 단위로 변화시키면서 설계하므로 100개의 망을 구성한다. MENTOR 알고리즘은 이런 100개의 망 설계 중에서 망 구축 비용이 최소 값인 것을 선택하였고, 제안된 알고리즘은 한번의 설계 결과 값이므로 off-line 계산량을 줄일 수 있다.

미국의 10개 도시를 노드로 하는 입력 데이터를 사용한 결과는 제안된 알고리즘이 MENTOR 알고리즘에 비해 3.6%의 망 구축 비용 이득을 나타냈다. 또한, 신뢰성의 측정 요소인 연결 노드쌍에서는 14개를 가진 MENTOR의 설계보다는 많은 18개로 신뢰성을 증가시켰으며, 전체 트래픽 요구량의 감소는 노드에서 처리되는 트래픽 요구량을 줄이므로써 노드상에서 일어나는 시간 지연을 줄이므로 전체적인 망의 시간 지연을 줄이는 결과를 나타내었다.

설계 결과 비교에서 제안된 알고리즘은 주요 관심인 망 구축 비용에서 MENTOR 알고리즘보다 개선됨을 나타내었다. 대체로 서로 상충 관계(trade-off)에 있는 다른 망 성능 평가 요소에 대해서도 우수한 결과를 나타내었다.

2. 트래픽이 랜덤할 때의 시뮬레이션 고찰

본 절에서는 MENTOR 알고리즘과 제안된 알고리즘의 상대적인 비교를 통해 제안된 알고리즘이 망 구축 비용 측면에서 우수한 설계를 할 수 있음을 나타내었다.

노드가 많이 설치된 망에 대해서 알아보기 위해 노드가 10개 이상인 것에 대해서 시뮬레이션을 하였다. MENTOR 알고리즘과 비교를 위해 노드에서의 설치 비용은 삼각 부등식을 만족하는 값을 랜덤하게 발생하여 이용하였으며, 이 설치 비용에 대해 트래픽을 랜덤하게 발생시켜서 입력 트래픽으로 이용하였다.

그림 3의 시뮬레이션의 결과는 MENTOR 알고리즘의 결과 값을 100으로 기준을 정한 후 망 구축 비용, 시간 지연에 관계 있는 전체 트래픽 요구량과 망

의 신뢰성을 나타내는 연결 노드쌍의 수에 대해 제안된 알고리즘을 비교하였다. 성능 평가 요소 중 망 구축 비용을 보면 노드가 12개, 13개인 경우에 다소의 증가함을 보였으나, 노드가 14개 이상인 망에 대해서는 MENTOR 알고리즘에 비해서 약 2%정도의 망 구축 비용의 감소를 나타냈다. 신뢰성을 나타내는 연결 노드쌍의 수는 전체적으로 증가함을 보이고 있다. 망에서 시간 지연에 영향을 주는 전체 트래픽 요구량은 노드수가 15개에서 17개는 감소를 하였으나, 18개 이상에서는 증가함을 보였다. 망의 성능을 평가하는 요소들은 모두가 상충 관계(trade-off)에 있기 때문에 이를 모두 만족할 수는 없다. 노드수가 증가할수록 제안된 알고리즘은 망의 설계 목적인 망 구축 비용에 대해서 MENTOR 알고리즘보다 개선된 망을 설계할 수 있음을 보여주고 있다. MENTOR 알고리즘은 트리 구조를 결정하는 변수와 직접 링크를 설치하는 임계값을 각각 0.1씩 증가시키면서 구한 100개의 망 가운데 망 구축 비용이 최소인 망을 선택하였다.

누적되는 트래픽을 적게하여 비용이 큰 링크의 설치를 적게 하였다. 그리고, 우회 경로의 설치도 노드쌍의 비용이 큰 순서로 결정하므로써 경제적인 경로를 선택하게 하여 전체적으로 망 설계 비용의 감소를 나타내었다. 특히 많은 노드로 이루어진 망 설계에는 MENTOR 알고리즘보다 망 구축비용면에서 우수한 설계 결과를 보여준다. 또한 신뢰성을 나타내는 연결 노드쌍의 개수는 전체적으로 증가하여 보다 신뢰성 있는 망을 설계할 수 있음을 보였다. 이러한 시뮬레이션의 결과들은 계산 시간의 증가 없이 삼각 부동식을 만족하지 않는 경우에도 적용 가능한 범위를 확장하여 설계 가능성을 보여주었다.

향후 연구 과제로는 단일 채널을 이용한 설계에서 이 채널 용량을 어떻게 결정하여 설계하여야 하는 것과, 망 설계 결과에서 나타나는 망에 연결된 링크쌍이 단지 하나 뿐인 노드가 생기는 문제에 대한 연구가 계속적으로 이루어져야 하겠다.

참고 문헌

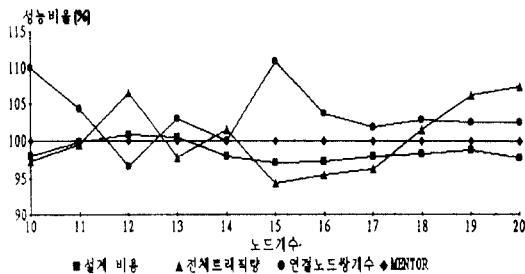


그림 3. 시뮬레이션 결과
Fig. 3. The results of the simulation.

V. 결 론

본 논문에서는 단일 채널 용량을 이용한 메쉬망 설계에서 적은 설계 시간으로 망 구축 비용이 MENTOR 알고리즘보다 개선된 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 MENTOR 알고리즘의 문제점인 트리 모양의 제약과 직접 링크 설치시의 비용 증가를 줄이기 위하여 삼각 부동식을 만족하여야 한다는 제한 조건을 제거하였다. 즉, 직접 링크를 고려하는 노드쌍의 순서를 비용이 큰 것에서부터 고려함으로써 링크에

1. Uyless Black, "Computer Network", Prentice-Hall. 1992.
2. L. Kleinrock, "Queueing System Vol. 1: Theory", Wiley, 1975.
3. Mischa Schwartz, Computer comm. Network Design and Analysis, Prentice-Hall. 1977.
4. L. Kleinrock, "On the Modeling and Analysis of Computer Networks" *Pro. of the IEEE*. Vol. 81, NO. 8, pp. 1179-1191, 1993.
5. Aaron Kershenbaum, Telecommunication Network Design Algorithm, McGraw-Hill. 1993.
6. Aaron Kershenbaum, Parviz Kermani and George A. Grover, "MENTOR: An Algorithm for Mesh Network Topological Optimization and Routing," *IEEE Trans. Comm.* Vol. 39, pp. 503-513. 1991.
7. F. Garzia Ricardo, R. Garzia Mario, 1990, Network Modeling Simulation and Analysis, Marcel Dekker.
8. Harrell J. Van Norman, LAN/WAN Optimization Techniques, Artech House. 1992.
9. C. L. Monma and D. D. Sheng, "Backbone net-

