

Ring形 Network 설계문제의 휴리스틱 알고리즘 —Heuristic Algorithm for the Ring-type Network Design Problem—

김 길 동*
이 경 식**

Abstract

This paper aims at the problem that design the network of Ring-star type with the minimum cost, which the Ring is composed of the selected nodes(concentrators) among the several candidate nodes on the network and other nodes(terminals) is connected to the Ring by star subnetwork. Especially, we consider the terminal reliability in network design problem.

We develop the heuristic algorithm for network design problem to obtain the near optimal(best) solution for problem.

We use an add-heuristic method and 2-exchange method in developing the heuristic algorithm.

1. 서 론

현대의 많은 의사결정문제는 그 규모가 크고 구조 또한 복잡하여 최적의 해를 구하는 것이 쉽지가 않다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 여러가지 분석방법이 필요한데 이런 기법의 하나로 Network를 이용하는 분석을 들 수 있다.

Network 분석은 그 효율성과 다양한 응용 가능성 때문에 현실 문제에 많이 이용되고 있으며, 특히 이러한 Network를 이용하는 의사결정문제 중에서 통신 Network, 도로 Network, 가스 pipe Network 등의 설계문제에 보다 많은 응용이 가능할 것이고, 이에 대한 연구도 다양하게 진행되고 있다.

Network 설계에 있어서는 Ring 형태나 Tree 형태의 구조가 기본적으로 많이 이용되고 있고, 특히 LAN(Local Area Network)이나 MAN(Metropolitan Area Network)에서는 Ring 형태가 점차 중요시 되고 있다.

기존의 연구들은 Network 설계과정을 2단계로 분리하고, 먼저 최소비용의 Ring을 구성한 다음, 구성된 Ring에 Terminal을 Tree 형태로 연결하는 방법들이 대부분이었다[2], [3], [4].

그리고 일반적으로 Network 설계문제는 아래에 소개한 TSP, CSP, TPP를 이용한 Heuristic 해법들이 연구되어졌다.

본 연구는 이러한 Ring 형태의 Network 설계를 중요한 하나의 의사결정문제로 보고 이에 대한 Heuristic 해법을 제시하고자 한 것으로, Ring 형태의 Network 설계에 있어서 Terminal의 Reliability를 고려하는 문제에 대해 Add-Heuristic Method와 2-Exchange Method를 이용하여 최적에 가까운 해를 구하기 위한 Heuristic 해법을 제안하였다.

1.1 Traveling Salesman Problem(TSP)[1]

TSP 문제는 할당문제(Assignment Problem)와 유사한 것으로, Salesman이 Network 상에서 하나의 Node(Home node)에서 출발하여 그 이외의 모든 Node를 한번씩 거쳐서 Home node로 되돌아 오는 상황의 문제이다.

즉, TSP의 가장 중요한 가정은 Network상의 모든 Node를 한번씩 거쳐야 한다는 것이다. 이때 각 Node간의 거리, 시간, 또는 비용 등은 이미 알려져 있다고 가정을 한다.

따라서, TSP의 해는 총비용(총거리, 총시간)을 최소로 하기 위해서 모든 Node를 거치는 순서를 어떻게 결정해야 할 것인가를 제시하는 것이다.

*인천대학교 산업공학과 강사

**인하대학교 대학원 산업공학과

접수: 1992. 4. 25.

확정: 1992. 5. 2.

1.2 Covering Salesman Problem(CSP) [5]

CSP는 Tour 상에 존재하지 않은 모든 Node가 Tour 상에 존재하고 있는 임의의 Node와 일정거리내에 위치하도록 주어진 n개의 Nodes 중 Subset으로 이루어지는 최소비용의 Tour를 구하는 문제이다. 따라서 이러한 CSP는 TSP의 일반화된 문제로 생각될 수 있다.

Current[5]는 그림 1과 같이 주어진 Nodes의 일부 Node로 이루어지는 Traveling tour를 만들고, Tour 이외의 Demand node는 Tour 내의 Node와 일정거리에 위치에 있어야 하는 CSP를 제안하였다.

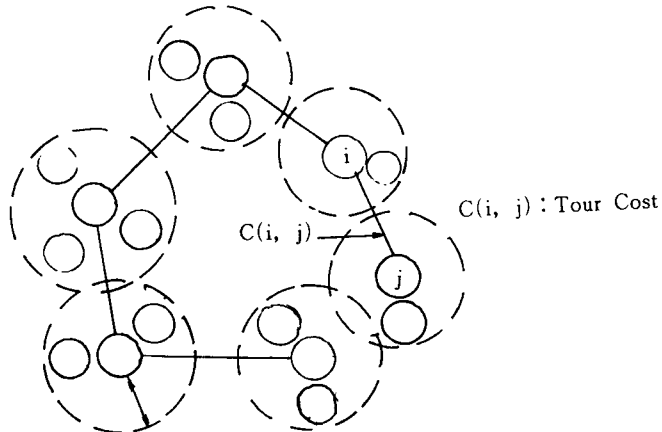


그림 1. Covering Saleman Problem

1.3 Traveling Purchaser Problem(TPP)

TPP는 TSP를 일반화시킨 문제로서 Ramesh[6]가 처음으로 제안하였으며, Ong[7]은 TPP를 다음과 같이 정의하였다.

- $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$: m개의 city
- $N = \{1, 2, 3, \dots, n\}$: n개의 item
- $C(i, j)$: city i에서 city j까지의 Traveling Cost
- $d(i, k)$: city i에서 item k를 구입하는 비용

Ong은 그림 2에서와 같이 Home City를 출발하여 City(Market) 중에서 일부를 통과하는 Tour를 구성하면서 Home City로 돌아오도록 하였다. 이때, Item 1, 2, ..., n을 1개씩 반드시 구입해야하며, $C(i, j)$ 와 $d(i, k)$ 의 비용의 합이 최소가 되도록 하는 TPP를 처음으로 제시하였고, 이의 해법으로 Tour를 점차 구성해가는 Insertion Method와 같은 Heuristic 해법을 제안하였다.

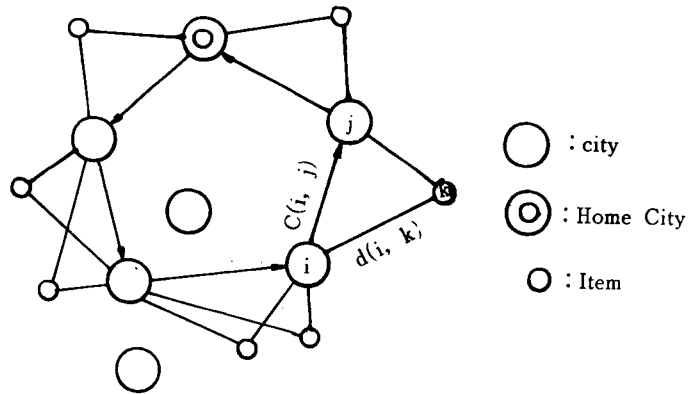


그림 2. Traveling Purchaser Problem

또한 Vob[8]은 TPP 문제를 Ring형 Network 설계문제에 응용하여 이를 0-1 선형 정수계획법 문제로 수식화하였다. 그리고 이러한 TPP의 해를 구하기 위해서 Lagrangian relaxation과 Primal heuristic을 이용해 Upper bound와 Lower bound를 구하였고, 이것을 이용한 Branch and Bound Algorithm을 개발하여 최적해를 구하도록 하였다.

2. 연구 대상 문제

Network 설계 문제에 있어서 Terminal의 Reliability와 Concentrator의 Capacity를 각각 고려한 Heuristic 해법을 찾아야 하겠지만, 본 연구에서는 Terminal의 Reliability만을 고려하는 문제로 제한하였다.

하나의 Terminal를 하나의 Concentrator에만 연결하였을 경우 연결된 Arc가 고장이 발생하면 고장난 Arc에 연결된 Terminal은 사용할 수 없게 되는 문제가 발생한다.

이러한 문제를 해결하기 위해 그림 3과 같이 하나의 Terminal을 두개의 Concentrator에 연결하면, 연결된 하나의 Arc에 고장이 발생하더라도 다른 Arc를 이용할 수 있으므로 하나의 Terminal을 연결했을 때보다 더 높은 신뢰도를 유지할 수 있다.

Pirkul[9]은 Tree 형태로 연결된 Concentrator의 위치를 정하여 Terminal을 2개의 Concentrator에 연결하여 이용가능성(Availability)과 신뢰성(Reliability)을 높이는 방법을 소개하였다.

그림 3에 Pirkul의 연구내용과 본 논문의 연구 내용을 비교하였다.

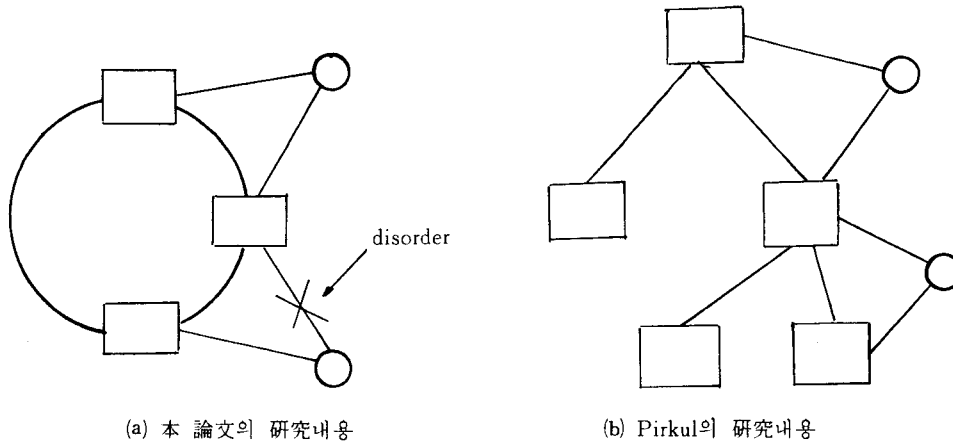


그림 3. 하나의 Terminal을 두 개의 Concentrator에 연결하는 문제

3. Heuristic 해법의 필요성과 Algorithm

위와 같은 문제를 해결하기에는 그 형태의 복잡성이나 해법의 난해성으로 많은 어려움이 있다. 즉, TSP가 포함되는 문제이기 때문에 TSP에 비해서 매우 복잡한 문제가 되므로 최적화기법보다는 Heuristic 해법이 중요시 된다고 본다.

따라서 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 연구에서는 Add-Heuristic Method와 2-Exchange Method를 이용한 새로운 Heuristic 해법을 개발하였다.

(1) Add-Heuristic Method

Ring을 구성하는 Node 갯수를 점차로 증가시키면 Ring 구성비용은 증가하지만 Ring에 Terminal node를 연결시키는 비용이, 감소될 수 있으므로, Ring 구성비용과 Ring과 Terminal node의 연결비용에 대한 Trade-off에 의해 총비용의 최소화를 이룰 수 있다.

(2) 2-Exchange Method

Ring이 구성된 상태에서 Ring 상의 서로 다른 두 개의 Node를 서로 Exchange하므로써 Ring 구성비용이 감소되면 Ring을 재구성하여 Ring 구성비용을 감소시킬 수 있다.

3.1 Heuristic Algorithm의 개발

Step 1. Add-Heuristic Procedure

- ① TSP에서와 같이 Ring에 포함되는 Node의 갯수를 2개에서 1개씩 점차로 증가시킨다.
- ② Ring에 포함되는 Node 중에서 연결비용이 작은 2개의 Concentrator에 각 Terminal를 연결한다.
- ③ 총비용을 계산하여 전 단계보다 총비용이 감소되면 Step 1을 반복하고, 그렇지 않으면 Step 2로 간다.

Step 2. 2-Exchange Procedure

Ring을 구성하는 비용을 감소시키기 위해서 Step 1의 ③에서 구성된 Ring상의 서로 다른 2개의 Node를 Exchange하여 해를 개선한다.

위의 Algorithm을 흐름도로 나타내면 그림 4와 같다.

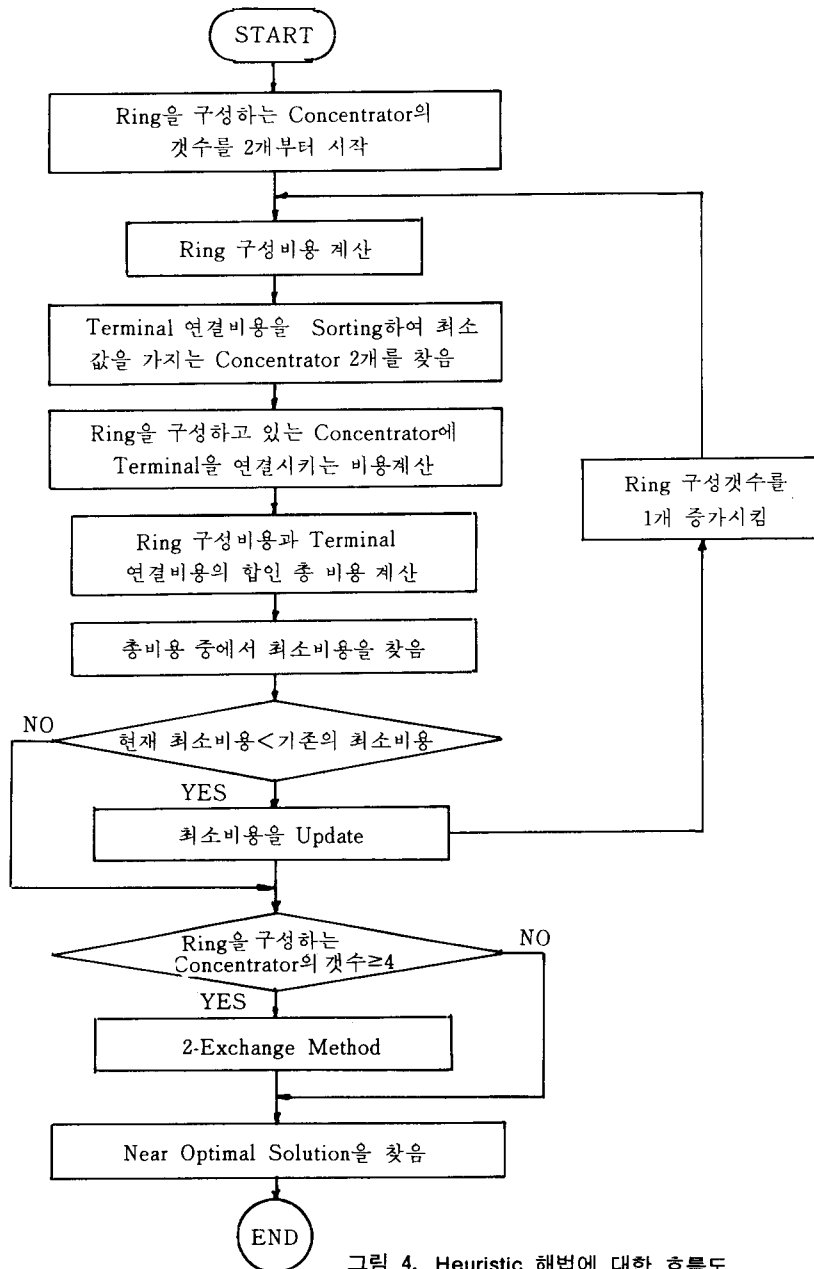


그림 4. Heuristic 해법에 대한 흐름도

4. Heuristic 해법의 적용 및 분석

그림 5의 Network은 Concentrator의 설치가능 후보 Node 갯수가 15개이고, Concentrator에 연결되어야 할 Terminal Node 갯수가 40개로 구성되어 있는 Complete graph를 대상으로 한다.

그리고 각 비용의 계산은 Concentrator간의 비용의 변화에 따라 Network 구성이 어떻게 달라지는지를 알아보기 위해, Concentrator와 Concentrator간의 비용은 Euclidean space에서의 Distance에 10배, 20배를 하여 구하였고, Concentrator와 Terminal 간의 비용은 Euclidean space에서의 Distance에 5배를 하여 구하였다.

이와같은 Network를 대상으로 본 연구의 Heuristic 해법을 적용시켜서 Simulation을 행하였으며, 실행결과를 표 1, 2와 같다.

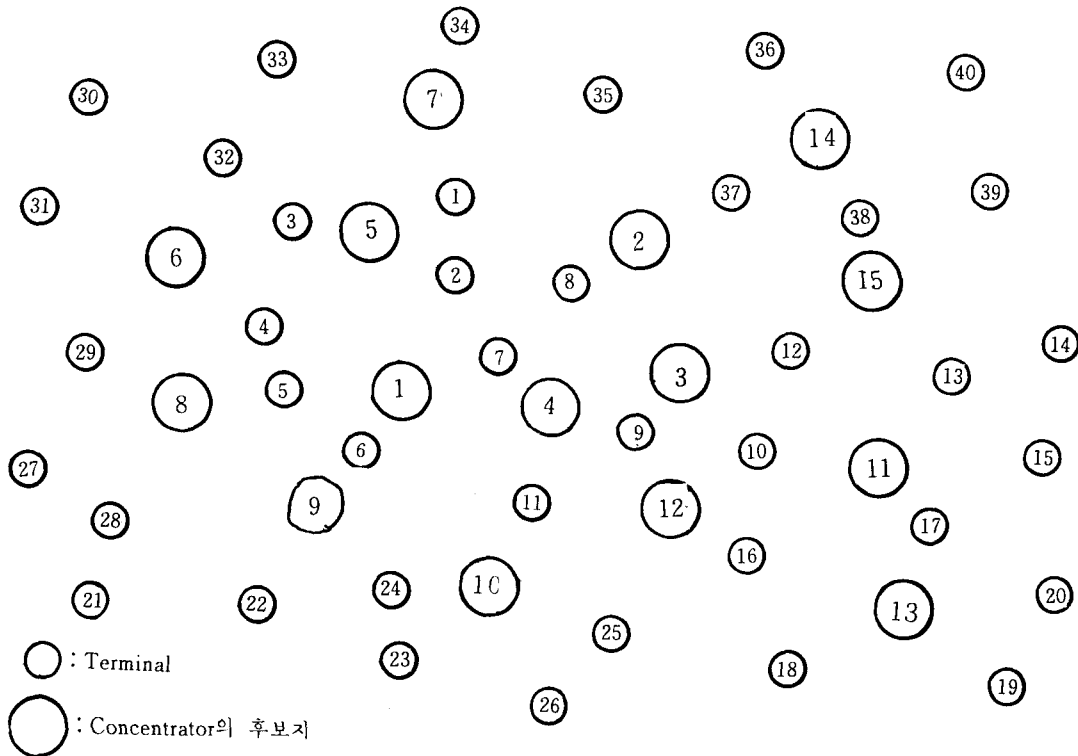


그림 5. Heuristic 해법 적용을 위한 Network 구성

4.1 Distance*10의 결과 및 Ring Network

표 1은 Add-Heuristic Procedure와 2-Exchange Procedure를 행한 후의 최적해 값이 1490이고, Ring 구성은 11의 Concentrator(좌측번호)에 각 Terminal(우측번호)이 연결된 것을 나타낸다.

그림 6은 표 1에서 얻은 결과를 그림 5의 Network에 나타낸 것이다.(표 2와 그림 7도 이와 같은 방법으로 나타낸 것이다.)

표 1. 실험결과(Distance*10)

```

Final Minimum=1503
## #2-EXCHANGE##
3 12 11 15 2 5 4 9 8 6 1:342 1151 1493
4 12 11 15 2 5 9 8 6 1 3:342 1151 1493
5 6 8 9 12 11 15 2 1 3 4:342 1151 1493
5 1 6 8 9 12 11 15 2 3 4:339 1151 1490

*OPTIMAL SOLUTION !=1490
5: 1 2 3 30 32 33 34 35
1: 2 5 6 7
6: 3 4 29 30 31 32 33
8: 4 5 21 22 27 28 29 31
9: 6 21 22 23 24 26 27 28
12:10 11 16 17 18 19 20 23 25 26
11:10 13 14 15 16 17 18 19 20
15:12 13 14 15 36 37 38 39 40
2: 1 8 34 35 36 37 38 39 40
3: 7 8 9 12
4: 9 11 24 35
    
```

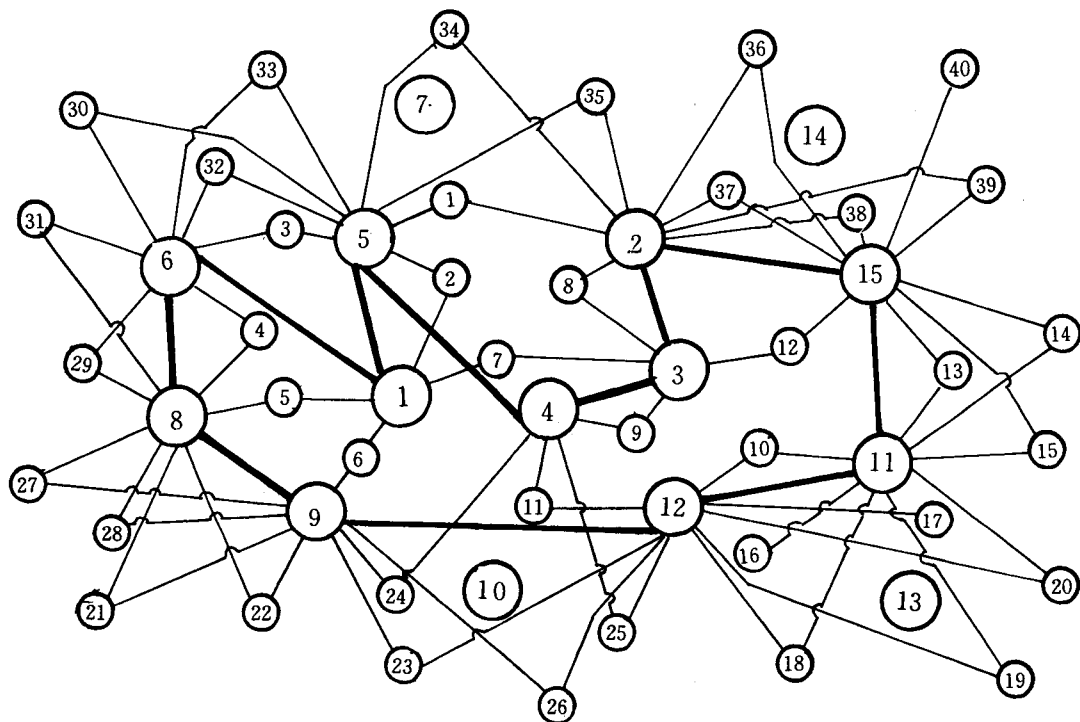


그림 6. Ring의 구성 및 Terminal의 연결 상태(Distance*10인 경우)

4.2 Distance*20의 결과 및 Ring Network

4. Heuristic 해법의 적용 및 분석

그림 5의 Network은 Concentrator의 설치가능 후보 Node 갯수가 15개이고, Concentrator에 연결되어야 할 Terminal Node 갯수가 40개로 구성되어 있는 Complete graph를 대상으로 한다.

그리고 각 비용의 계산은 Concentrator간의 비용의 변화에 따라 Network 구성이 어떻게 달라지는지를 알아보기 위해, Concentrator와 Concentrator간의 비용은 Euclidean space에서의 Distance에 10배, 20배를 하여 구하였고, Concentrator와 Terminal 간의 비용은 Euclidean space에서의 Distance에 5배를 하여 구하였다.

이와같은 Network를 대상으로 본 연구의 Heuristic 해법을 적용시켜서 Simulation을 행하였으며, 실행결과를 표 1, 2와 같다.

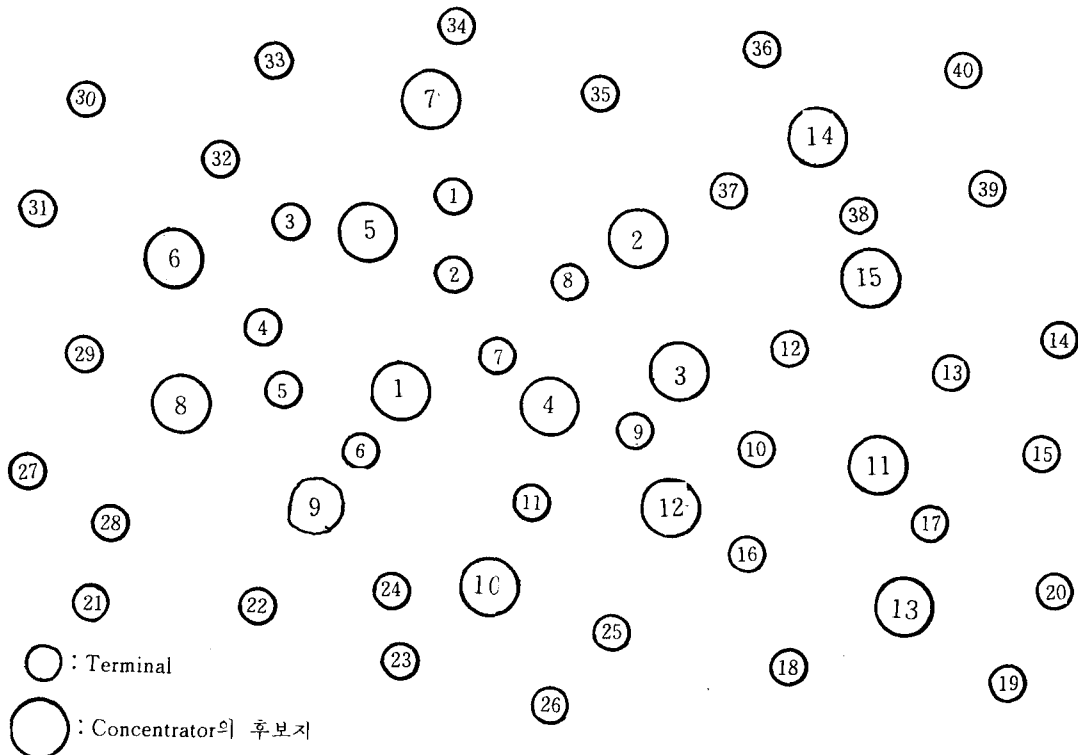


그림 5. Heuristic 해법 적용을 위한 Network 구성

4.1 Distance*10의 결과 및 Ring Network

표 1은 Add-Heuristic Procedure와 2-Exchange Procedure을 행한 후의 최적해 값이 1490이고, Ring 구성은 11의 Concentrator(좌측번호)에 각 Terminal(우측번호)이 연결된 것을 나타낸다.

그림 6은 표 1에서 얻은 결과를 그림 5의 Network에 나타낸 것이다.(표 2와 그림 7도 이와 같은 방법으로 나타낸 것이다.)

표 1. 실험결과(Distance*10)

```

Final Minimum=1503
###2-EXCHANGE###
3 12 11 15 2 5 4 9 8 6 1:342 1151 1493
4 12 11 15 2 5 9 8 6 1 3:342 1151 1493
5 6 8 9 12 11 15 2 1 3 4:342 1151 1493
5 1 6 8 9 12 11 15 2 3 4:339 1151 1490

*OPTIMAL SOLUTION !=1490
5: 1 2 3 30 32 33 34 35
1: 2 5 6 7
6: 3 4 29 30 31 32 33
8: 4 5 21 22 27 28 29 31
9: 6 21 22 23 24 26 27 28
12:10 11 16 17 18 19 20 23 25 26
11:10 13 14 15 16 17 18 19 20
15:12 13 14 15 36 37 38 39 40
2: 1 8 34 35 36 37 38 39 40
3: 7 8 9 12
4: 9 11 24 35
    
```

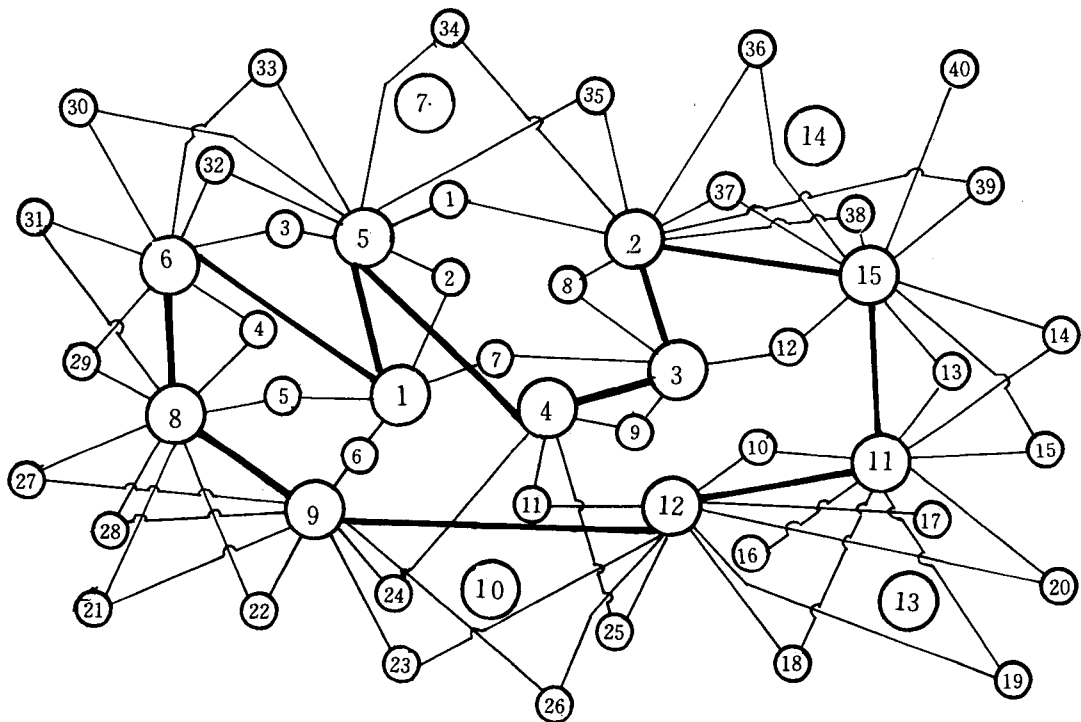


그림 6. Ring의 구성 및 Terminal의 연결 상태(Distance*10인 경우)

4.2 Distance*20의 결과 및 Ring Network

표 2. 실행결과(Distance*20)

FINAL MINIMUM=1991																		
###2-EXCHANGE###																		
4	12	11	15	2	1	3	388	1599	1987									
*OPTIMAL SOLUTION !=1987																		
4	:	4	5	6	9	11	21	22	23	24	25	26	27	28	29	31		
12	:	10	11	16	17	18	19	20	23	24	25	26						
11	:	10	13	14	15	16	17	18	19	20								
15	:	12	13	14	15	35	36	37	38	39	40							
2	:	1	2	3	8	30	32	34	35	36	37	38	39	40				
1	:	1	2	3	4	5	6	7	21	22	27	28	29	30	31	32	33	34
3	:	7	8	9	12													

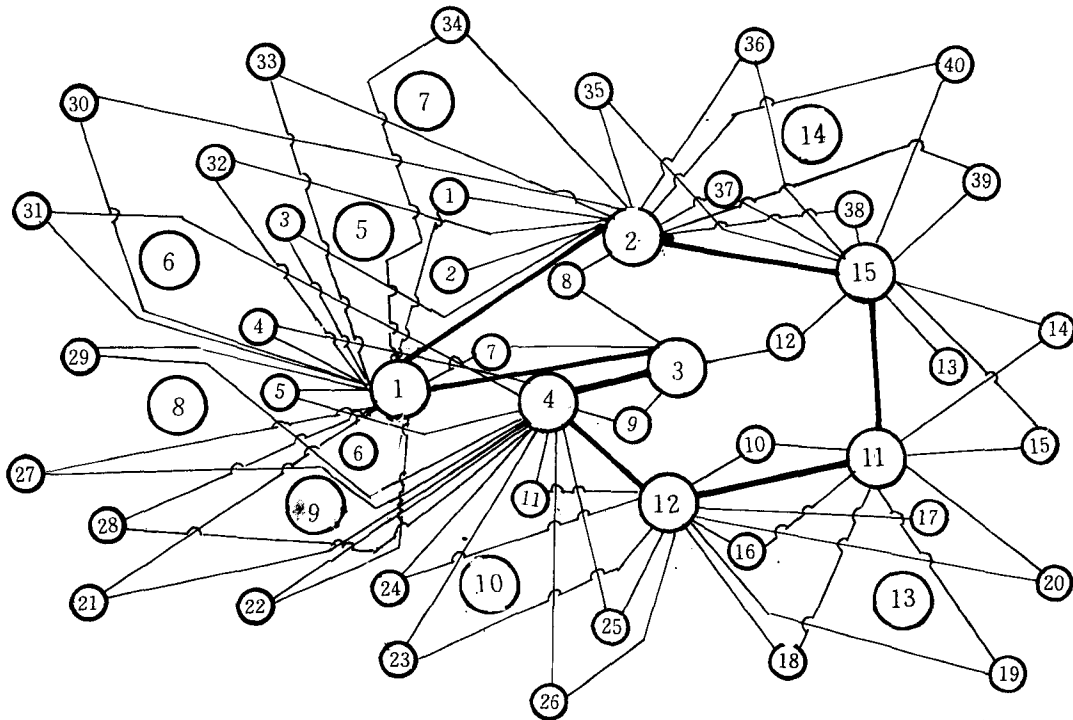


그림 7. Ring의 구성 및 Terminal의 연결 상태(Distance*20인 경우)

4.3 결과의 비교

4.1과 4.2의 결과를 비교해 보면 다음과 같다.

- (1) Ring에 포함되는 Node의 갯수가 증가함에 따라서 일반적으로 Ring 구성비용이 증가하는 반면에 Ring에 Terminal을 연결시키는 비용은 감소한다.
- (2) Ring을 구성하는 Concentrator간의 비용이 작아짐에 따라서 Ring을 구성하는 Concentrator의 갯수가 더 많지만 총비용은 적다.
- (3) Ring을 구성하는 Concentrator의 수가 증가함에 따라서 Ring을 구성한 각 Concentrator에 연결되는 Terminal의 갯수가 더 적다.

5. 결 론

본 연구에서는 Network 상의 여러 후보 Node 중에서 일부 Node로 Ring을 구성하고 여러 Terminal node를 Ring에 연결시키는 Ring 형태의 Network를 최소비용으로 구성하는 문제를 다루었다.

특히, 이러한 Ring 형태의 Network 설계문제 중에서 Terminal의 Reliability를 고려하는 문제를 효과적으로 해결하기 위하여 TSP에서 효율적으로 사용해왔던 기법 등을 이용하는 Heuristic 해법을 개발하였다.

Ring 형태의 Network 중에서도 Dual-Ring이나 Bridge-Ring 등은 LAN이나 MAN의 규모가 커지고 확장됨에 따라 그 중요성이 인정되므로 이에 대한 연구도 시급하다고 본다.

앞으로 Concentrator의 Capacity를 고려하는 문제와 Reliability와 Capacity를 동시에 고려하는 문제의 Network 설계문제에 대한 최적화 기법이 개발되면 총 비용을 더 감소시킬 수 있는 해를 얻을 수 있으리라 생각한다.

참 고 문 헌

- [1] 姜錫昊, Operations Research, 英志文化社, 1986.
- [2] T. B. Boffey, "Location Problem Arising in Computer Network," *Journal of Operations Reserch Soc.* 40(4), 347-354, 1989.
- [3] G. Y. Handler and P. B. Mirchandani, *Location on Networks*, MIT, 1978.
- [4] C. C. Lo, A. Kershenbaum, "A Two-Phase Algorithm and Performance Bounds for the Star-Star Concentrator Location Problem," *IEEE Trans, on Commu.*, 37(11), 1151-1163, 1987.
- [5] J. R. Current and D. A. Schilling, "The Covering Salesman Problem," *Transportation Science*, 23(31), 208-213, 1989.
- [6] T. Ramesh, "Traveling Purchaser Problem," *Working Paper, Dept. of Mathematics*, Regional Engineer College, Waranga, 1978.
- [7] H. L. Ong, "Approximate Algorithms for the Traveling Purchaser Problem," *OR Letters*, 1(5), 201-205, 1982.
- [8] S. Vob, "Designing Special Communication Network with the Traveling Purchaser Problem," *Proceedings of 1st ORSA Telecommunications SIG Conference*, Florida, 1990, pp. 106-110.
- [9] H. Pirkul, S. Narasimhan and Prabuddha De, "Locating Concentrator for Primary and Secondary Coverage in a Computer Comuication Network," *IEEE Trans. on Commu.*, 36(4), 450-458, 1988.