

Scatter Search를 이용한 신뢰성 있는 네트워크의 경제적 설계

이한진* · 염창선**†

*경남대학교 경영학부

**부경대학교 경영학부

Economic Design of Reliable Networks Using Scatter Search

Han-Jin Lee* · Chang-Sun Yum**†

*Division of Business Administration, KyungNam University

**Division of Business Administration, Pukyong National University

This paper considers a topological optimization of a computer network design with a reliability constraint. The objective is to find the topological layout of links, at minimal cost, under the constraint that the network reliability is more than a given reliability. To efficiently solve the problem, a scatter search approach is proposed. Two illustrative examples are used to explain and test the proposed approach. Experimental results show evidence that the proposed approach performs more efficiently for finding a good solution or near optimal solution in comparison with a genetic algorithm approach.

Keywords : Economic Design, Reliable Network, Scatter Search

1. 서 론

현대 기업은 급변하는 환경 속에서 살아남고 치열한 국내외 경쟁에서 우위를 확보하기 위해 네트워킹 기술을 활용하고 있다. 기업의 네트워크는 기업 구성원들 간에 고가의 하드웨어와 소프트웨어 자원을 공유할 수 있게 할 뿐만 아니라, 다양한 부문에서 생성되는 정보를 빠르게 교환하여 과업수행 능력을 높이는 수단으로 사용되고 있다. 네트워크가 기업의 자원 및 신속한 정보 공유를 위한 중요한 역할을 하게 됨에 따라, 네트워크의 단절은 기업 활동에 직접적인 영향을 미치게 되었다. 이에 따라 신뢰성 있는 컴퓨터 네트워크 설계의 필요성이 제기 되어 왔다. 신뢰성 있는 컴퓨터 네트워크 설계는 NP-hard 문제에 해당된다(Wood, 1986; Cancela and Khadiri, 1995; Dengiz et al., 1997).

신뢰성 있는 네트워크 설계에 관한 기존 연구를 살펴보면 다음과 같다. Jan et al.(1993)은 분해법(decomposition)

을 이용하여 네트워크 신뢰도를 제약조건으로 하고 비용을 최소화하는 경제적 네트워크 설계 방법을 제시하였다. Deeter and Smith(1998)는 유전자 알고리즘(GA : genetic algorithm)을 이용하여 신뢰도를 제약조건으로 하고 비용을 최소화하는 경제적 네트워크 설계 방법을 제시하였다. 이 설계 방법은 Jan et al.(1993)이 네트워크의 링크를 단일 유형만을 고려한데 반해 여러 유형을 고려하고 있어 좀 더 발전된 설계 방법이라 할 수 있다. 이한진과 염창선(2007)은 비용을 제약조건으로 하고 신뢰도를 최대화하는 네트워크 설계에 있어서 해(solution)를 찾는 성능이 simulated annealing 보다는 유전자 알고리즘이 더 우수하다는 것을 밝혔다. 그리고 염창선, 이한진(2005)은 유전자 알고리즘을 이용하여 기존 네트워크를 경제적으로 확장하는 설계 방법을 제시하였다.

기존의 경제적 네트워크 설계 방법과 관련된 연구에서는 유전자 알고리즘을 이용한 연구가 다수를 이루고 있다. 이러한 유전자 알고리즘은 진화 기법(evolutionary

† 교신저자 yumcs@pknu.ac.kr

method)에 속한다. 진화 기법에 속하면서 널리 사용되고 있는 또 다른 탐색 방법으로 Scatter Search(SS)가 있다. SS는 Glover(1977)에 의해 처음으로 제안되었다. SS는 모집단 운용을 통한 진화, 기존 해들의 결합을 통한 새로운 해 생성, 후보 해들의 품질 비교를 통한 진화 단계별 우수한 해 유지 전략 등에서 유전자 알고리즘과 유사하다. 그러나 유전자 알고리즘은 대규모 모집단 내의 원소들을 무작위로 선택 및 결합(random combination)하여 새로운 해를 생성하는 반면, SS는 소규모 비중복의 모집단을 운용하며, 탐색 과정에 축적된 과거 역사를 감안하여 보다 체계적으로 해를 생성한다(Glover et al., 2000, Laguna and Marti, 2003). 또한 SS는 많은 최적화 문제에서 그 효과성이 입증된 다양화(diversification) 전략과 강화(intensification) 전략을 사용한다(송한식, 2006). 이러한 SS는 조합 최적화 문제, 정수계획 문제, 연속변수 최적화 문제 등에서 주로 사용되어 왔다. SS가 네트워크 분야에 적용된 연구를 살펴보면, Alvarez, González-Velarde, and De Alba(2005a; 2005b)는 capacitated multi-commodity 네트워크 설계를 위해 SS와 GRASP(greedy randomized adaptive search procedure) embedded SS를 이용하는 방법을 제시하였다. 그리고 Xu, Chiu, and Glover (2000)는 tree-star 네트워크 설계를 위해 타부 서치(tabu search)와 SS를 이용하는 방법을 제시하였다. 그러나 SS를 신뢰도 제약하의 네트워크 설계 문제에 이용한 연구는 이루어지지 않고 있는 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 SS를 이용한 신뢰도 제약하의 네트워크 설계 방법을 제시하고자 한다. 그리고 네트워크 설계 문제에 대한 실험을 통해 제시한 네트워크 설계 방법이 효율적으로 해를 탐색한다는 것을 보여준다. 또한 유전자 알고리즘을 이용한 설계 방법보다 더 효과적으로 해를 탐색한다는 것을 보여 준다.

2. Scatter Search를 이용한 네트워크 설계 문제의 표현

2.1 기본 가정 및 표기 형식

네트워크 설계를 위한 기본 가정은 다음과 같다.

- 각 노드의 위치는 주어져 있고, 노드들은 완전히 신뢰할 수 있다.
- 각 링크는 무방향적(bi-directional)이고, 네트워크에 중복된 링크는 존재하지 않는다.
- 링크의 상태는 작동(operational)이거나 고장(failed) 상태로 한정한다.
- 링크의 고장확률은 독립적이다.

네트워크 설계와 관련된 표기는 다음과 같다.

- E : 네트워크에 연결된 링크들의 집합
- $\{i, j\}$: 노드 i 와 j 를 연결하는 링크
- $x_{i,j} (\in \{0, 1, 2, \dots, k-1\})$: $\{i, j\}$ 의 링크 유형, 여기서 k 는 링크 유형의 가지 수
- $x (= \{x_{1,2}, x_{1,3}, \dots, x_{n-1,n}\})$: 네트워크 구조
- $C(x)$: 네트워크 x 의 설치비용
- $R(x)$: 네트워크 x 의 신뢰도
- R_0 : 요구된 최소의 네트워크 신뢰도

SS를 위한 표기는 다음과 같다.

- p : 모집단(population)의 크기
- b_1 : 참조해 집단(reference set)에서 우수한 해의 개수
- b_2 : 참조해 집단에서 다양화된 해의 개수
- i : 탐색 반복수
- i_{max} : 탐색 최대 반복수
- l : 지역탐색 반복수
- l_{max} : 지역탐색 최대 반복수

본 연구에서 제시하는 신뢰도 제약을 갖는 네트워크 설계 문제는 다음과 같이 모형화될 수 있다.

$$\text{목적함수 : Minimize } C(x) = \sum_{i,j \in E} c_{ij} \quad (1)$$

$$\text{제약조건 : } R(x) \geq R_0 \quad (2)$$

여기서 c_{ij} 는 링크 $\{i, j\}$ 의 비용을 의미하며, $c_{ij} = a_{ij} \cdot d_{ij}$ 로 표현될 수 있다. a_{ij} 는 단위거리 당 링크 $\{i, j\}$ 의 비용을, d_{ij} 는 링크 $\{i, j\}$ 의 거리를 의미한다.

2.2 Scatter Search를 위한 네트워크 설계 구조의 표현

<표 1>은 5개 노드로 구성된 네트워크의 노드 간 링크 유형을 보여 주고 있다. 각 셀의 값은 링크 유형을 의미한다.

<표 1> 네트워크의 노드 간의 링크 유형

	1	2	3	4	5
1	-	2	3	0	2
2		-	3	0	0
3			-	3	2
4				-	0
5					-

위의 네트워크 구조는 다음과 같은 하나의 해로 표현될 수 있다.

해 : {2 3 0 2 3 0 0 3 2 0}

이는 <표 1>의 우 상향 삼각형 모양의 각 행을 1줄로 나열한 것으로, 네트워크의 노드 간 링크 유형이 해의 원소값으로 표현된 것이다.

3. Scatter Search를 이용한 네트워크 설계

3.1 네트워크 설계를 위한 절차

SS를 이용한 경제적 네트워크 설계의 단계별 주요 절차는 아래와 같다.

- (1) 초기 모집단 생성
 - (a) 무작위로 seed해를 생성하고 교란(perturbation)시킨다.
 - (b) 교란시킨 해를 신뢰도 계산함수로 보낸다.
 - (c) 교란시킨 해를 개선시킨다.
- (2) 초기 참조해 집단 생성
 - (a) 초기 모집단을 비용 계산 함수로 보낸다.
 - (b) 초기 모집단으로부터 우수한 해와 다양화된 해로 구성된 참조해 집단을 생성한다.
- (3) 반복적인 지역탐색 과정
 - (a) 결합해 생성
 - 참조해 집단으로부터 두 개의 해를 선택하여 결합해를 생성한다.
 - 결합해를 신뢰도 및 비용 계산함수로 보낸다.
 - 결합해를 개선시킨다.
 - (b) 참조해 집단 갱신
 - 결합해를 바탕으로 참조해 집단을 갱신한다.
 - 참조해 집단의 가장 우수한 해를 검사한다.
 - 참조해 집단을 이전 참조해 집단과 비교한다.
 - 만일 새로운 해가 추가되었고 지역탐색 최대 반복수에 도달하지 못했으면($l < l_{max}$), (a)로 간다. 그렇지 않으면 (4)로 간다.
- (4) 탐색 최대 반복수 확인
 - (a) 만일 탐색 최대 반복수에 도달했으면($i = i_{max}$), (6)으로 간다.
 - (b) 그렇지 않으면 (5)로 간다.
- (5) 다양화된 해를 통한 참조해 집단 갱신
 - (a) 새로운 다양화된 해를 생성하여 참조해 집단을 갱신한다.
 - (b) 참조해 집단을 비용 계산 함수로 보낸다.
 - (c) (3)으로 간다.
- (6) 가장 우수한 최종해를 검사한다.

3.2 초기 모집단의 생성

seed 해를 생성하기 위해 각 원소 값에 대해 k 가지의 링크유형 중 하나를 무작위로 선택한다. 생성된 seed 해의 원소를 한 개 이상 교란시켜 얻은 교란해(perturbation solution)와 교란해의 보수(complement)를 이용하여 해를 생성한다(Glover, 1977). 이 해의 신뢰도 제약조건에 대한 만족 여부를 확인하기 위해 신뢰도 계산함수로 보낸다. 본 연구에서는 Van Slyke and Frank(1972)이 제시한 방법에 연결 가능한 모든 네트워크 상태의 조합적인 개념이 추가된 이한진, 염창선(2007)의 신뢰도 계산함수를 사용한다. 실행 가능해(feasible solution)이면 제약조건에 가장 근접한 해가 되도록 개선(improvement)시킨다. 실행 불가능 해(infeasible solution)이면 실행 가능해가 되도록 개선시킨다. 개선된 p 개의 해로 초기 모집단을 구성한다.

3.3 초기 참조해 집단의 생성

초기 모집단을 비용 계산함수로 보내서 비용이 적은 순서로 b_1 개의 해를 먼저 선택한다. 나머지 해에 대하여, b_1 개의 해로부터의 이질성(heterogeneity) 정도를 계산하여 최대최소(maximin) 순서로 b_2 개의 해를 선정한다. 이질성 정도는 다양성 척도(diversity measure)로써 두 해의 대응하는 원소값 간의 이질적 거리에 대한 절대 차의 합(sum of the absolute difference)으로 계산할 수 있다(Laguna와 Marti, 2003).

비용이 적은 b_1 개의 우수한 해와 b_2 개의 다양화된 해를 합하여 초기 참조해 집단을 구성한다. 참조해 집단은 모집단 해 중에서 우수한 해와 그 해의 인근 지역을 한정하여 탐색하는 지역탐색을 가능하게 한다(송한식, 2006). 초기 참조해 집단 중에서 가장 우수한 해를 검사한다.

3.4 반복적인 지역탐색 과정

3.4.1 결합해 생성

참조해 집단에서 선택한 두 개의 해를 연산하여 결합해를 생성한다. 선택된 두 개의 해의 각 대응하는 원소의 값이 같으면 결합해의 대응하는 원소값을 0으로 한다. 대응하는 원소의 값이 다르면 두 원소값의 합을 결합해의 원소값으로 한다. 단, 두 원소값의 합이 허용하는 최대 원소값(링크 수준)을 넘으면 최대 원소값만큼 뺀 값을 결합해의 원소값으로 한다. 예를 들어, 최대 원소값이 3인 경우, 두 참조해가 선택되었다면, 두 참조해로부터 생성되는 결합해는 다음과 같다.

참조해 1	{	3	0	0	3	3	0	1	2	0	3	}
참조해 2	{	2	0	0	3	2	0	1	1	1	3	}
결합해		2	0	0	0	2	0	0	3	1	0	

생성된 결합해를 초기해와 동일한 방법으로 개선시킨다.

3.4.2 결합해를 통한 참조해 집단 갱신

결합해를 참조해 집단의 $b_1 + b_2$ 개 해와 비교하여, 우수성과 다양성이 인정되면 참조해 집단의 우수성이나 다양성이 가장 낮은 해와 교체한다(Laguna and Marti, 2003). 갱신된 참조해 집단이 이전의 참조해 집단과 비교했을 때, 새로운 해가 추가되었고 아직 지역탐색 최대 반복수에 도달하지 못했으면, 지역 탐색과정을 반복하여 실행한다. 그렇지 않으면, 3.5절에 기술된 다양화된 해를 통해 참조해 집단을 갱신한 후 지역탐색 과정을 실행한다.

3.5 다양화된 해를 통한 참조해 집단 갱신

참조해 집단의 우수한 해(b_1 개)를 보존하고, 초기 참조해 집단의 다양화된 해 생성과 동일한 방법으로 b_2 개의 다양화된 새로운 해를 생성한다. 보존된 b_1 개의 해와 새로 구한 다양화된 b_2 개의 해를 합하여 새로운 참조해 집단으로 삼는다. 새로이 생성된 참조해 집단을 대상으로 지역탐색 과정을 실행한다.

4. Scatter Search를 이용한 네트워크 설계의 성능 실험

이 장에서는 두 개의 네트워크 설계 문제를 통해, 본 연구에서 제시하는 SS를 이용한 설계 방법의 성능을 실험한다. 실험은 PentiumIV(1.8GHz)와 512MB RAM으로 구성된 PC 환경에서 이루어졌다.

첫 번째 문제는 5개의 노드를 연결하는 경우이고, 두 번째 문제는 7개의 노드를 연결하는 경우이다. 두 문제를 위해 사용된 각 링크 유형의 속성은 <표 2>와 같다.

<표 2> 링크 유형의 속성

링크 유형	신뢰도	단위거리 당 비용(\$)
0(비연결)	0	0
1	0.7	8
2	0.8	10
3	0.9	14

4.1 문제 1 : 5개 노드 연결

5개 노드를 갖는 네트워크 설계 문제 1을 위한 노드

간 거리는 <표 3>과 같다. 이 문제는 Deeter and Smith (1998)가 유전자 알고리즘을 이용한 네트워크 설계를 위해 사용한 문제이다.

<표 3> 노드간 거리(단위 : m)

	1	2	3	4	5
1	-	32	54	62	25
2		-	34	58	45
3			-	36	52
4				-	29
5					-

문제 1은 네트워크 설계 문제에 있어 상대적으로 규모가 작기 때문에, 열거적(enumerative) 탐색 방법으로 최적해의 탐색이 가능하다. 이 문제에 대한 탐색공간의 크기는 $4^{\{5(5-1)/2\}} = 1,048,576$ 개이다. 다양한 신뢰도 제약조건($R_0 = 0.85000 \sim 0.99900$)에 대해 열거적 탐색 방법으로 구한 최적해가 <표 4>에 나타나 있다.

<표 4> 제약조건에 따른 최적해

제약조건(R_0)	비용(\$)	네트워크 신뢰도	최적해
0.99900	5,522	0.99908	332333323
0.99500	4,352	0.99518	3113311313
0.99000	3,754	0.99052	3203322303
0.95000	2,634	0.95353	3003302303
0.93125	2,416	0.93361	2003301303
0.90000	2,184	0.91854	3003300303
0.85000	1,904	0.85536	3003200203

문제 1에 대해 본 연구에서 제안하는 SS를 이용한 설계 방법을 적용하여 그 성능을 알아보려고 한다.

초기 탐색 실험을 통해 초기화 값($p = 12, b_1 = 3, b_2 = 3, i_{max} = 400, l_{max} = 20$)을 얻은 후, 각 신뢰도 제약조건($R_0 = 0.85000 \sim 0.99900$)에 대해 10개의 seed를 가지고 3.1절에서 제시한 설계 절차에 따라 실험을 수행하였다. 그 결과가 <표 5>에 나타나 있다. 각 신뢰도 제약조건에 대해, 10개 seed 모두에서 최적해가 도출되었다.

네트워크 신뢰도 제약조건에 대한 평균 탐색한 해의 수(= 10개의 seed에 대한 총 탐색 해의 수/10)는 12개에서 2.060개 사이로 나타났으며, 탐색공간에 대한 탐색 해의 백분율(= 평균 탐색한 해의 수/1,048,576) × 100)은 0.0011%에서 0.1965% 사이의 값으로 나타났다. 이러한 실험 결과는 탐색공간에 비해 탐색한 해의 수가 매우

<표 5> 문제 1의 탐색 결과

제약조건 (R_0)	평균 탐색한 해의 수	탐색공간에 대한 탐색 해의 백분율(%)	최적해의 수
0.99900	12	0.0011	10 of 10
0.99500	2060	0.1965	10 of 10
0.99000	114	0.0109	10 of 10
0.95000	24	0.0023	10 of 10
0.93125	583	0.0556	10 of 10
0.90000	15	0.0015	10 of 10
0.85000	69	0.0066	10 of 10

작아, 본 연구에서 제시한 설계 방법이 효율적으로 최적해를 탐색한다는 것을 의미한다.

<표 6>은 각 신뢰도 제약조건($R_0 = 0.85000 \sim 0.99900$)에 대해 10개의 seed를 가지고 Deeter와 Smith(1998)의 GA와 본 연구에서 제시한 SS를 이용하여 찾은 최적해의 수를 보여 주고 있다.

<표 6> Deeter and Smith(1998)의 GA와 SS 비교

제약조건 (R_0)	최적해의 수	
	Deeter and Smith(1998)의 GA	SS
0.99900	8 of 10	10 of 10
0.99500	4 of 10	10 of 10
0.99000	10 of 10	10 of 10
0.95000	10 of 10	10 of 10
0.93125	10 of 10	10 of 10
0.90000	10 of 10	10 of 10
0.85000	10 of 10	10 of 10

SS를 이용한 설계에서는 모든 제약조건에서 10개의 seed 모두에 대해 최적해를 찾았다. 반면에 Deeter and Smith(1998)의 GA를 이용한 설계에서는 가장 높은 수준의 신뢰도 제약조건인 $R_0 = 0.99900$ 과 0.99500 에서 10개의 seed 중 각각 8개와 4개만의 최적해를 찾았고, 그 외의 제약조건에서는 10개의 seed 모두에 대해 최적해를 찾았다. 그리고 동일한 실험 환경에서 SS를 이용한 설계는 GA를 이용한 설계 보다 하나의 해를 찾는 데 약 3.3배의 탐색 시간(= $0.144/0.043$ seconds)이 소요되었다. 이로부터 SS를 이용한 설계 방법은 GA를 이용한 설계 방법 보다는 최적해로의 수렴할 가능성이 높은 큰 장점은 갖고 있으나 하나의 해에 대한 탐색 시간은 다소 느리다는 것을 알 수 있다. 일반적으로 최적해로의 수렴의 정도는 하나의 해에 대한 탐색 시간 보다는 탐색 방

법에 의해 크게 영향을 받으므로, 네트워크 설계에 있어서 탐색 소요시간은 중요한 이슈로 다루어지고 있지 않다(Deeter and Smith, 1998).

4.2 문제 2 : 7개 노드 연결

7개 노드와 신뢰도 제약조건($R_0 = 0.95000$)을 갖는 네트워크 설계 문제 2를 위한 노드간 거리는 <표 7>과 같다.

<표 7> 노드간 거리

(단위 : m)

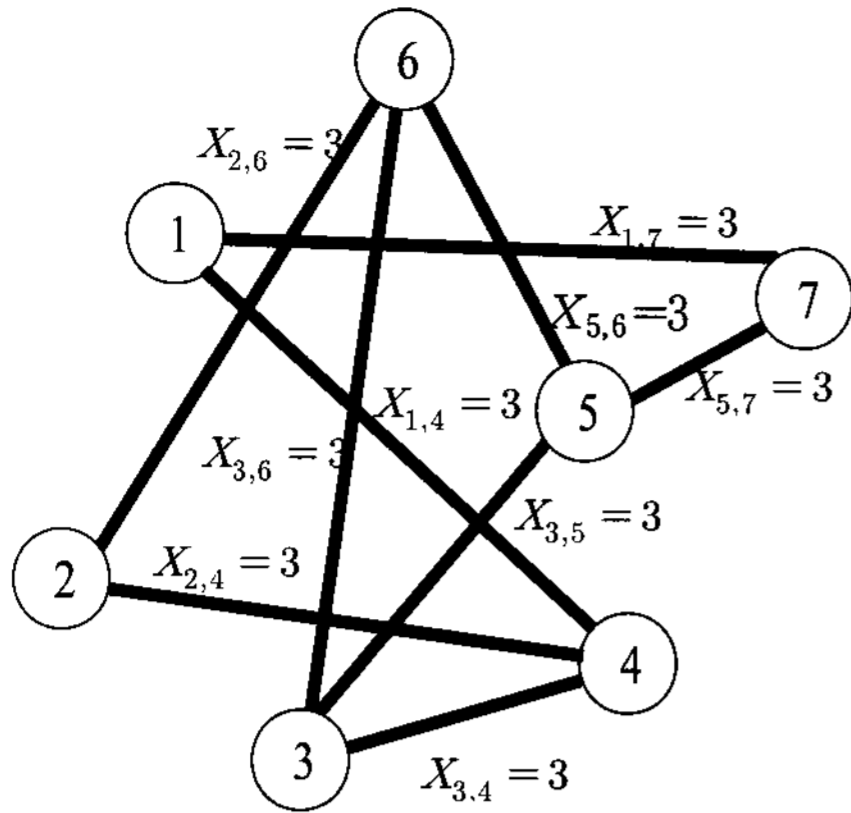
	1	2	3	4	5	6	7
1	-	47	41	24	48	54	33
2		-	20	28	39	31	65
3			-	34	19	15	49
4				-	50	51	54
5					-	13	41
6						-	54
7							-

초기 탐색 실험을 통해 초기화 값($p=8, b_1=2, b_2=2, i_{max}=500, l_{max}=20$)을 얻은 후, 3.1절에 제시한 설계 절차에 따라 실험을 수행하였다. 초기 반복수($i=1$)에서는 <그림 1>와 같은 설계 구조를 갖고, 네트워크 비용이 3,332\$, 네트워크 신뢰도가 0.952342인 가장 우수한 해 {003003030303330000330}를 찾았다. <표 8>은 초기 가장 우수한 해의 노드 간 링크 유형을 나타내고 있다. 그리고 최대 반복수($i=i_{max}$)까지 실험을 수행한 결과, <그림 2>와 같은 설계구조를 갖고, 네트워크 비용이 3,146\$, 네트워크 신뢰도가 0.950208인 가장 우수한 최종해 {003003330101230000330}을 찾았다. <표 9>는 가장 우수한 최종해의 노드 간 링크 유형을 나타내고 있다.

반면에 GA를 이용한 설계($p=60, i_{max}=1000$)에서는 네트워크 비용이 3,330\$, 네트워크 신뢰도가 0.950801인 가장 우수한 최종해 {103003120101220000330}을 찾았다. GA를 이용한 설계의 네트워크 비용이 SS를 이용한 설계의 네트워크 비용 보다 184\$ 만큼 더 많다. 이는 SS를 이용한 설계 방법이 GA를 이용한 설계 방법 보다 더 효과적인 네트워크 설계 방법이라는 것을 의미한다.

5. 결 론

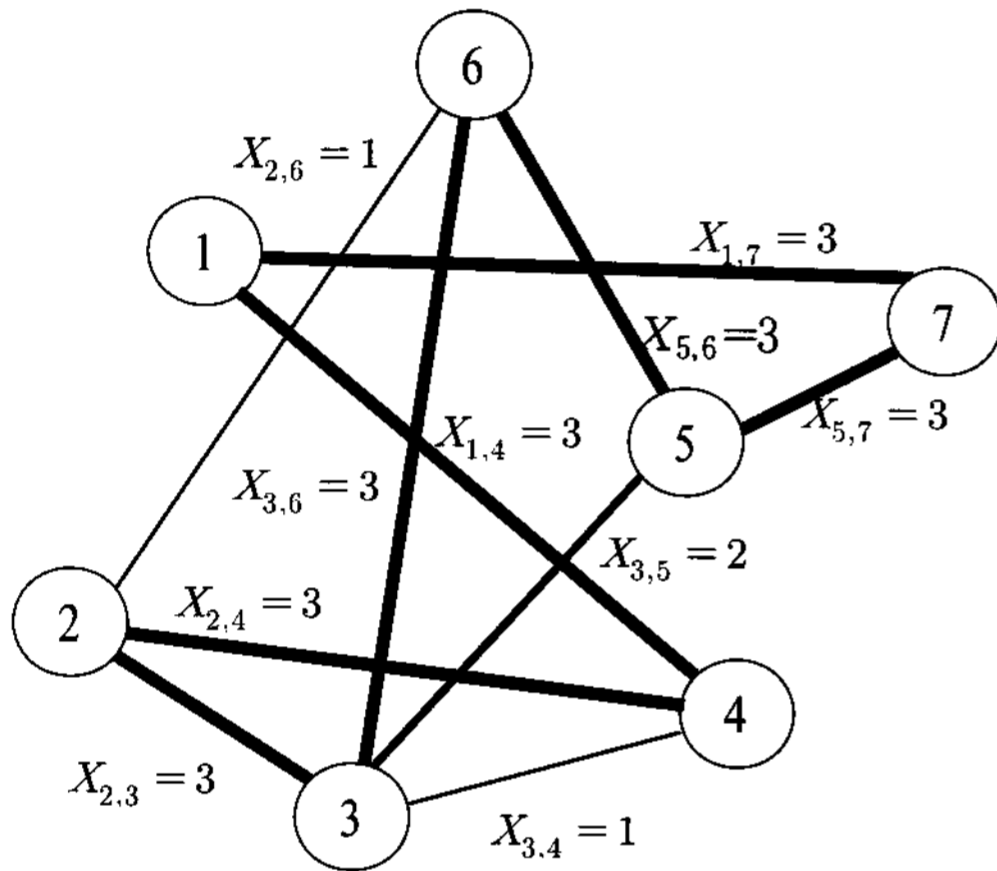
네트워크가 기업의 자원 및 정보 공유를 위한 중요한



<그림 1> 초기 가장 우수한 해($C(x) = 3,332\$$)

<표 8> 초기 가장 우수한 해의 노드 간 링크 유형

	1	2	3	4	5	6	7
1	-	0	0	3	0	0	3
2		-	0	3	0	3	0
3			-	3	3	3	0
4				-	0	0	0
5					-	3	3
6						-	0
7							-



<그림 2> 가장 우수한 최종해($C(x) = 3,146\$$)

<표 9> 가장 우수한 최종해의 노드 간 링크 유형

	1	2	3	4	5	6	7
1	-	0	0	3	0	0	3
2		-	3	3	0	1	0
3			-	1	2	3	0
4				-	0	0	0
5					-	3	3
6						-	0
7							-

수단으로 활용되면서, 효율적 네트워크 설계는 기업 활동에 직접적인 영향을 미치게 되었다. 이에 따라 기업은 신뢰성 있는 네트워크를 설치하여 운영하길 원한다. 이러한 네트워크 설계를 위해 그 동안 유전자 알고리즘이 주로 이용되어 왔다. 유전자 알고리즘과 같은 진화기법으로 다양화 및 강화 전략을 사용하는 scatter search가 최근 여러 최적화 문제 등에서 널리 사용되고 있다. 그러나 아직 신뢰도 제약하의 네트워크 설계 문제에는 적용되지 않고 있는 실정이다.

본 연구에서는 신뢰도 제약하의 네트워크 설계를 위해 scatter search를 이용하는 새로운 네트워크 설계 방법을 제시하였다. 그리고 네트워크 설계 문제를 통해 설계하는 과정을 보여 주었으며, 제시한 네트워크 설계 방법이 유전자 알고리즘을 이용한 네트워크 설계 방법보다 더 효과적으로 최적해를 탐색한다는 것을 보여 주었다.

본 연구에서 제시한 scatter search를 이용하는 네트워크 설계 방법이 주어진 신뢰도를 만족하면서 최소한의

비용으로 네트워크를 설계하고자 하는 기업에 널리 활용되길 기대한다.

참고문헌

- [1] 송한식; “함수추정을 위한 시뮬레이션 최적화 : Scatter Search의 경우”, 한국생산관리학회지, 17(2) : 133-154, 2006.
- [2] 이한진, 염창선; “비용 제약을 갖는 컴퓨터 네트워크의 최적화”, 산업경영시스템학회지, 30(1) : 82-88, 2007.
- [3] 염창선, 이한진; “신뢰도 제약을 갖는 기존 네트워크 확장을 위한 설계”, 한국보전경영학회지, 10(1) : 17-22, 2005.
- [4] Alvarez, A.; González-Velarde, J. L., and De-Alba, K.; “Scatter Search for Network Design Problem, Annals of Operations Research,” 138(1) : 159-178, 2005.
- [5] Alvarez, A., González-Velarde, J. L., and De Alba, K.; “Grasp Embedded Scatter Search for the Multicommod-

- ity Capacitated Network Design Problem,” *Journal of Heuristics*, 11(3) : 233-257, 2005.
- [6] Xu, J., Chiu, S., and Glover, F.; “Tabu Search and Evolutionary Scatter Search for Tree-Star Network Problems, with Applications to Leased-Line Network Design,” *Telecommunications Optimization : Heuristic and Adaptive Techniques*, John Wiley and Sons, 2000.
- [7] Deeter, D. L. and Smith, A. E.; “Economic Design of Reliable Networks,” *IIE Transactions*, 30 : 1161-1174, 1998.
- [8] Dengiz, B., Altıparmak, F., and Smith, A. E.; “Efficient Optimization of All-Terminal Reliable Networks Using an Evolutionary Approach,” *IEEE Transactions on Reliability*, 46(1) : 11-17, 1997.
- [9] Glover, F.; “Heuristics for Integer Programming Using Surrogate Constraints,” *Decision Science*, 8 : 156-166, 1977.
- [10] Glover, F., Laguna, M., and Marti, M.; “Fundamentals of Scatter Search and Path Relinking,” *Control and Cybernetics*, 39(3) : 653-684, 2000.
- [11] Laguna, M. and Marti, R.; *Scatter search. Methodology and implementation in C*, Boston : Kluwer Academic Publishers, 2003.
- [12] Wood, R. K.; “Factoring Algorithms for Computing K-Terminal Network Reliability,” *IEEE Transactions On Reliability*, 35(3) : 269-278, 1986.
- [13] Van Slyke, R. M. and Frank, H.; “Network Reliability Analysis-Part I,” *Networks*, 1(3) : 49-64, 1972.