

Scatter Search를 이용한 컴퓨터 네트워크 확장의 경제적 설계

이한진 · 염창선[†]

부경대학교 경영학부

Economic Design for Expanding Computer Networks Using Scatter Search

Han-Jin Lee · Chang-Sun Yum[†]

Division of Business Administration, Pukyong National University

This paper presents an application of heuristic approach to problem of designing reliable network expansion. The problem essentially consists in finding the network topology that satisfies given set of reliability constraints. To efficiently solve the problem, a scatter search approach is proposed. The results of the two experiments show that scatter search is a more suitable approach for finding a good solution or near optimal solution in comparison with genetic algorithm.

Keywords : Network Expansion, Network Reliability, Scatter Search, Genetic Algorithm

1. 서론

기업은 경쟁력 향상을 위해 정보기술을 이용하고 있다. 정보기술 중 네트워킹 기술은 기업 구성원, 공급자 및 고객 간에 신속한 의사소통을 가능하게 한다. 그리고 기업 구성원들 간에 고가의 하드웨어와 소프트웨어 자원을 공유할 수 있게 한다. 이와 같이 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 컴퓨터 네트워크 설계와 관련된 기존 연구를 살펴보면 다음과 같다. Jan et al.(1993)은 분해법(decomposition)을 이용하여 네트워크 신뢰도를 제약 조건으로 하고 비용을 최소화하는 경제적 네트워크 설

계 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. 이한진, 염창선(2007)은 유전자 알고리즘을 이용하여 비용을 제약조건으로 하고 신뢰도를 최적화하는 네트워크 설계방법을 제시하였다. 이한진, 염창선(2008)은 Scatter Search(SS)를 이용하여 신뢰도 제약조건 하에서 비용을 최소화하는 네트워크 설계 방법을 제시하였다. 그리고 해를 찾는 성능이 GA보다는 SS가 더 우수하다는 것을 밝혔다.

기업에서 사용되는 컴퓨터 네트워크는 기업의 글로벌화, 사업영역 확대, 업무 증가에 따라 확장될 필요가 있다. Kumar et al.(1995)은 GA를 이용하여 직경(diameter), 또는 거리(distance), 또는 신뢰도(reliability) 제약조건 하

논문접수일 : 2010년 03월 09일 논문수정일 : 2010년 06월 18일 게재확정일 : 2010년 06월 22일

[†] 교신저자 yumcs@pknu.ac.kr

※ 이 논문은 2009학년도 부경대학교의 지원을 받아 수행된 연구임(PK-2009-29).

에서 기존 네트워크에 특정 노드를 추가하는 경제적 확장 설계 방법을 제시하였다. 그리고 Shao and Zhao(1998)는 신뢰도 제약조건 하에서 기존 네트워크에 여러 후보 노드 중 한 개의 노드를 선택하여 추가하는 경제적 확장 설계 방법을 제시하였다. 엄창선, 이만진(2005)은 GA를 이용하여 신뢰도 제약조건 하에서 기존 네트워크를 경제적으로 확장하는 설계 방법을 제시하였다. 이 연구는 기존 네트워크에 새 노드를 추가하는 이외에 여러 유형의 링크 수준 및 기존 링크의 교체비용까지 고려하였다. 기존 네트워크 확장 설계에 대한 연구는 대체적으로 GA가 많이 이용되었고, SS를 이용한 연구는 아직 이루어지지 않고 있다.

GA와 함께 진화 기법(evolutionary method)에 속하는 SS는 최근 조합 최적화 문제, 정수계획 문제, 연속변수 최적화 문제 등에 주로 이용되고 있다. 본 연구에서는 이러한 SS를 이용하여 신뢰도 제약조건 하에서 비용을 최소화하는 네트워크 확장 설계 방법을 제시하고자 한다. 그리고 네트워크 확장 설계 문제에 대한 실험을 통해 SS를 이용하는 방법이 GA를 이용하는 방법 보다 더 효과적이고 효율적으로 해를 탐색한다는 것을 밝힌다.

2. 네트워크 확장 설계 문제의 표현

2.1 기본 가정 및 표기 형식

네트워크 확장 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 확장 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

2.2 네트워크 확장 문제의 모형

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

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

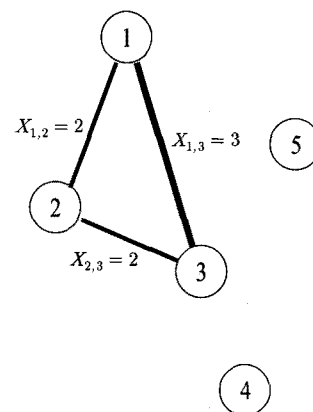
$$\text{제약조건 : } R(x) \geq R_0$$

여기서 c_{ij} 는 링크 $\{i, j\}$ 의 비용(\$)을 의미하며, $c_{ij} = a_{ij} \times d_{ij}$ 로 표현될 수 있다. a_{ij} 는 단위거리 당 링크 $\{i, j\}$ 의 비용(\$)을, d_{ij} 는 링크 $\{i, j\}$ 의 거리를 의미한다.

기존 네트워크에 설치된 링크를 더 나은 수준으로 교체하는 경우에는 새 링크 설치비용(\$) 이외에 추가적인 교체를 위한 비용(\$)이 소요된다. 링크 교체에 드는 비용이 단지 링크를 새로 설치하는 경우의 비용($c_{ij} = a_{ij} \times d_{ij}$)에 대해 r_e 배라고 가정하면, 기존 네트워크에 설치된 링크를 더 나은 수준으로 교체하여 설치하는 데 드는 비용은 $c_{ij} = (a_{ij} \times d_{ij}) \times (1 + r_e)$ 로 표현될 수 있다. 여기서 r_e 는 교체 비용율을 의미한다.

2.3 Scatter Search를 위한 네트워크 설계 구조의 표현

<그림 1>은 하나의 네트워크 확장 설계 문제를 보여



<그림 1> 네트워크 확장 설계 문제

주고 있다. 3개의 노드가 링크 $x_{1,2}$, $x_{1,3}$, $x_{2,3}$ 으로 연결되어 있는 기존 네트워크에 새로운 노드 4와 5를 확장하는 문제이다. 이 문제에서 링크 유형의 가지 수(k)는 4로 가정하며, 각 링크는 링크 유형 0, 1, 2, 3중 하나의 값을 가질 수 있다. 링크 유형 0은 비연결을 의미한다. 그리고 기존 네트워크의 각 링크에 대한 링크 유형은 $x_{1,2} = 2$, $x_{1,3} = 3$, $x_{2,3} = 2$ 로 주어져 있다. <표 1>은 <그림 1>의 네트워크 확장 설계 구조의 노드 간 링크의 유형을 보여 주고 있다. 각 셀의 값은 링크 유형을 의미한다.

<표 1> 노드 간 링크 유형

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

주) 링크 유형은 4가지로 0, 1, 2, 3이다. 음영은 기존 네트워크의 링크 유형을 나타낸다.

위의 네트워크 구조는 다음과 같은 하나의 해로 표현될 수 있다.

해 : {**2** **3** 0 0 **2** 0 0 0 0}

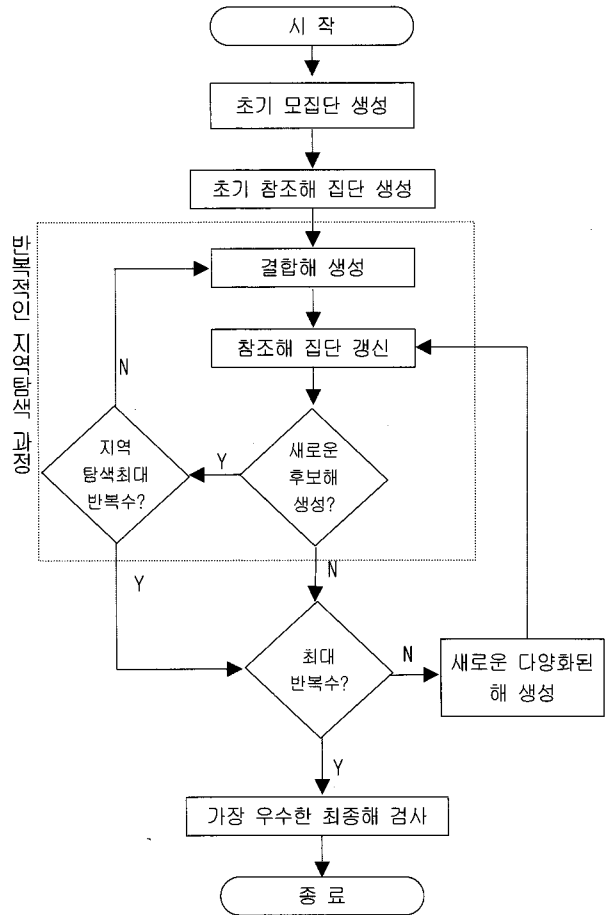
이는 <표 1>의 우 상향 삼각형 모양의 각 행을 1줄로 나열한 것으로, 네트워크의 노드 간 링크 유형이 해의 원소 값으로 표현된 것이다. 여기서 사각형으로 표시된 원소는 기존 네트워크의 링크를 의미한다.

3. Scatter Search를 이용한 경제적 네트워크 확장 설계

SS는 탐색 과정에 축적된 과거 역사를 감안하여 보다 체계적으로 해를 생성한다(Glover et al., 2000, Laguna, Marti, 2003). 또한 SS는 많은 최적화 문제에서 그 효과가 입증된 다양화(diversification) 전략과 강화(intensification) 전략을 사용한다(송한식, 2006). <그림 2>는 이러한 SS를 이용한 경제적 네트워크 확장 설계의 흐름도를 보여 주고 있다. 단계별 주요 절차는 아래와 같다.

- (1) 초기 모집단 생성
- (2) 초기 참조해 집단 생성
- (3) 반복적인 지역탐색 과정
 - 결합해 생성 및 결합해를 통한 참조해 집단 갱신

- (4) 탐색 최대 반복수 도달 확인
 - 최대 반복수에 도달한 경우 가장 우수한 최종해 검사
- (5) 다양화된 해를 통한 참조해 집단 갱신 및 지역탐색 반복



<그림 2> Scatter Search를 이용한 경제적 네트워크 확장 설계의 흐름도

먼저 초기 모집단의 생성을 위해, 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). 단, 초기 모집단 생성시 기존 네트워크 링크는 더 나은 수준으로의 교체만이 가능하므로, 기존 링크 수준 이상의 유형들 중에서 무작위로 결정한다. 초기 후보해들의 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(2005)의 신뢰도 계산함수를 사용한다. 각 후보해를 대

상으로 실행 가능해(feasible solution)이면 제약 조건에 가장 근접한 해가 되도록 개선(improvement)시킨다. 실행 불가능 해(infeasible solution)이면 실행 가능해가 되도록 개선시킨다. 개선된 p 개의 해로 초기 모집단을 구성한다(이한진, 엄창선, 2008).

초기 참조해 집단의 생성을 위해, 초기 모집단을 비용 계산함수로 보내서 비용이 적은 순서로 b_1 개의 해를 먼저 선택한다. 나머지 해 각각에 대하여, b_1 개의 해로부터의 이질성(heterogeneity) 정도를 계산하여 나머지 해 중에서 최대최소(maximin) 순서로 b_2 개의 해를 선정한다. 이질성 정도는 다양성 척도(diversity measure)로써 두 해의 대응하는 원소값 간의 이질적 거리에 대한 절대차의 합(sum of the absolute difference)으로 계산할 수 있다(Laguna and Marti, 2003). 예를 들어, 다음 두 해의 대응하는 원소값 간 절대차의 합이 9이므로 두 해의 이질성은 9이다.

해 1	{ 2 3 0 0 2 0 1 2 0 2 }
해 2	{ 3 2 0 3 3 0 1 1 1 3 }
절대차	1 1 0 3 1 0 0 1 1 1 절대차의 합 = 9

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.

반복적인 지역탐색 과정을 위해, 먼저 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. 이때 두 원소값의 합이 허용하는 최대 원소값(링크 수준)을 초과하면 최대 원소값 만큼 뺀 값을 결합해의 원소값으로 한다. 단, 기존 네트워크 링크의 경우에는 0 또는 1의 난수를 발생시켜 0이면 첫 번째 후보해의 형질의 값을 복사하고, 1이면 두 번째 후보해의 형질값을 복사한다. 예를 들어, 최대 원소값이 3인 경우, 두 참조해가 선택되었다면, 두 참조해로부터 생성되는 결합해는 다음과 같다.

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

생성된 결합해를 신뢰도 및 비용 계산함수로 보낸 후

초기해와 동일한 방법으로 개선시킨다.

생성된 결합해를 현재 참조해 집단의 $b_1 + b_2$ 개 해와 비교하여, 우수성과 다양성이 인정되면 현재 참조해 집단의 우수성이나 다양성이 가장 낮은 해와 교체한다(Laguna and Marti, 2003). 이전의 참조해 집단과 비교했을 때, 새로운 해가 추가되었고 아직 지역탐색 최대 반복수(l_{max})에 도달하지 못했다면, 지역 탐색과정을 반복하여 실행한다.

만일 최대 반복수에 도달하였으면 가장 우수한 최종 해를 검사한다. 그렇지 않으면 현재 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. 새로 생성된 참조해 집단을 대상으로 지역탐색 과정을 실행한다.

4. Scatter Search를 이용한 네트워크 설계의 성능 실험

이 장에서는 두 개의 네트워크 확장 문제를 통해, 본 연구에서 제시하는 SS를 이용한 설계 방법의 성능을 실험한다. 실험은 Intel Core2 Duo(2.66GHz)와 3GB RAM으로 구성된 PC 환경에서 이루어졌다.

첫 번째 문제(문제 1)는 3개의 기존 노드에 새로운 2개의 노드를 추가하는 경우이고, 두 번째 문제(문제 2)는 4개의 노드에 새로운 2개의 노드를 추가하는 경우이다. 그리고 세 번째 문제(문제 3)는 4개의 노드에 새로운 3개의 노드를 추가하는 경우이다. 세 문제를 위해 사용된 각 링크 유형의 속성은 <표 2>와 같고, 기존 링크 교체 비용을(r_e)은 0.2로 한다.

<표 2> 링크 유형의 속성

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

4.1 문제 1 : 기존 3개 노드에 2개 노드 추가

기존 3개 노드에 새로운 2개 노드를 추가하는 문제 1을 위한 네트워크 확장 설계 구조가 <그림 1>에 표현되어 있다. 그리고 <표 3>은 노드 간 거리를 나타내고 있다.

<표 3> 노드 간 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 상대적으로 규모가 작기 때문에, 열거적(enumerative) 탐색 방법으로 최적해의 탐색이 가능하다. 염창선과 이한진(2005)은 이 문제의 다양한 신뢰도 제약 조건($R_0 = 0.850 \sim 0.999$)에 대해 열거적 탐색 방법으로 <표 4>와 같은 최적해를 얻었다.

<표 4> 문제 1에 대한 최적해(염창선, 이한진, 2005)

제약조건(R_0)	비용(\$)	네트워크 신뢰도	최적해
0.999	5,654	0.999	3323333333
0.995	4,418	0.995	3303222323
0.990	3,886	0.991	2303223303
0.950	2,882	0.951	2302202203
0.930	2,742	0.932	2301201203
0.900	2,532	0.906	2303200203
0.850	2,344	0.853	2303200102

문제 1에 본 연구에서 제안하는 SS를 이용한 확장 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($R_0 = 0.850 \sim 0.999$)에 대해 10개의 seed를 가지고 제 3장에서 제시한 설계 절차에 따라 실험을 수행하였다. <표 5>에는 이러한 실험 결과와 염창선과 이한진(2005)이 GA를 이용하여 얻은 실험한 결과가 나타나 있다.

<표 5> 문제 1의 탐색 결과

제약 조건 (R_0)	평균 탐색 해의 수		평균 탐색 비율(%)		최적해의 수	
	SS	GA*	SS	GA*	SS	GA*
0.999	12	3,006	0.018	4.599	10 of 10	10 of 10
0.995	943	4,032	1.439	6.169	9 of 10	7 of 10
0.990	2,239	2,442	3.416	3.736	10 of 10	10 of 10
0.950	250	2,982	0.382	4.562	10 of 10	8 of 10
0.930	274	2,736	0.419	4.186	10 of 10	9 of 10
0.900	14	3,654	0.022	5.591	10 of 10	10 of 10
0.850	30	2,397	0.045	3.668	10 of 10	10 of 10

주) * 염창선, 이한진(2005)의 탐색 결과.

네트워크 신뢰도 제약조건에 대해 SS를 이용한 확장 설계에서는 평균 탐색 해의 수(= 10개의 seed에 대한 총

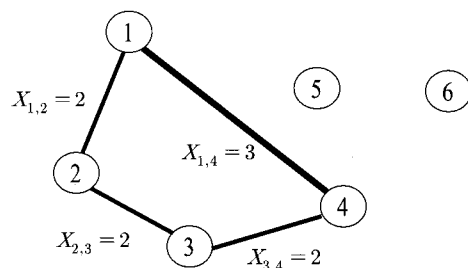
탐색 해의 수/10)는 12개에서 2,239개 사이로 나타났으며, 평균 탐색 비율(= 평균 탐색 해의 수/탐색 대상 해의 수)은 0.018%에서 3.416% 사이로 나타났다. 반면에 GA를 이용한 확장 설계에서는 평균 탐색 해의 수는 2,397개에서 4,032개 사이이고, 평균 탐색 비율은 3.668%에서 6.169% 사이이다. 그리고 SS를 이용한 확장 설계에서는 70개의 seed 중 1개에서만 최적해를 찾지 못한 반면에, GA를 이용한 확장 설계에서는 6개에서 최적해를 찾지 못했다.

이러한 결과는 본 연구에서 제시한 SS를 이용한 확장 설계 방법이 GA를 이용한 확장 설계 방법 보다 높은 비율로 빠르게 최적해를 찾는다라는 것을 보여 주고 있다. 즉 SS를 이용한 확장 설계 방법이 GA를 이용한 확장 설계 방법 보다 더 효과적이고 효율적인 확장 설계 방법이라는 것을 보여 주고 있다.

일반적으로 최적해로의 수렴은 하나의 해에 대한 탐색 시간 보다는 탐색 방법에 의해 크게 영향을 받으므로, 네트워크 설계에 있어서 탐색 소요시간은 중요한 이슈로 다루지 않는다(Deeter and Smith, 1998).

4.2 문제 2 : 기존 4개 노드에 2개 노드 추가

기존 4개 노드에 새로운 2개 노드를 순서적으로 추가 하고 신뢰도 제약조건(R_0)을 0.9000으로 하는 문제 2에 대한 네트워크 확장 설계 구조가 <그림 3>에 표현되어 있다. 그리고 노드 간 링크 유형 및 거리는 각각 <표 6>과 <표 7>에 각각 나타나 있다.



<그림 3> 네트워크 확장 설계를 위한 문제 2($R_0 = 0.9000$)

<표 6> 노드 간 링크 유형

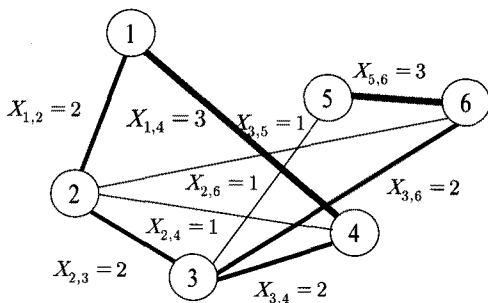
	1	2	3	4	5	6
1	-	2	0	3	0	0
2		-	2	0	0	0
3			-	2	0	0
4				-	0	0
5					-	0
6						-

주) 링크 유형은 4가지로 0, 1, 2, 3이다. 음영은 기존 네트워크의 링크 유형을 나타낸다.

<표 7> 노드 간 거리(단위 : m)

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

초기 탐색 실험을 통해 초기화 값($p = 14, b_1 = 3, b_2 = 4, i_{max} = 1000, l_{max} = 20$)을 얻은 후, 제 3장에서 제시한 설계 절차에 따라 실험을 수행하였다. 최대 반복수($i = i_{max}$)까지 실험을 수행한 결과, <그림 4>와 같은 설계구조를 갖고, 네트워크 비용이 2,302\$, 네트워크 신뢰도가 0.9003인 가장 우수한 최종해{203002101212003}을 찾았다. <표 8>은 문제 2에 대한 가장 우수한 최종해의 노드 간 링크 유형을 나타내고 있다.



<그림 4> 가장 우수한 해(2,302\$)

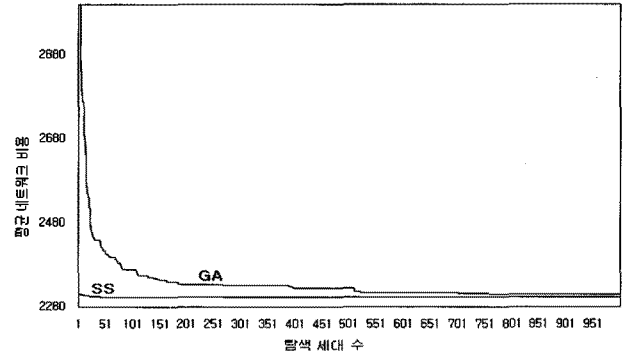
<표 8> 가장 우수한 해의 노드 간 링크 유형

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

<그림 5>는 본 연구에서 제안된 SS 탐색방법과 GA를 이용한 네트워크 설계 방법 각각에 대해 10개의 seed를 사용하여, 탐색 세대 수의 증가에 따른 평균 네트워크 비용의 변화 추이를 살펴본 결과이다.

SS를 이용한 확장 설계 방법은 탐색 세대 수가 증가함에 따라 평균 네트워크 비용이 급격히 떨어져 약 45세대 수에서 약 2,302\$로 수렴한 반면에, GA를 이용한 확장 설계 방법은 1000세대 수에서도 평균비용이 2,308\$로

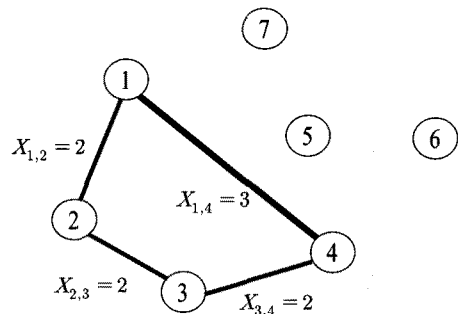
써 SS를 이용한 확장 설계 방법보다 높았다. 이러한 결과는 본 연구에서 제시한 SS를 이용한 확장 설계 방법이 GA를 이용한 확장 설계 방법보다 더 효율적이라는 것을 보여주고 있다.



<그림 5> SS와 GA를 이용한 설계 방법의 성능 비교(문제 2)

4.3 문제 3 : 기존 4개 노드에 3개 노드 추가

기존 4개 노드에 새로운 3개 노드를 순서적으로 추가하고 신뢰도 제약조건(R_0)을 0.9000으로 하는 문제 3에 대한 네트워크 확장 설계 구조가 <그림 6>에 표현되어 있다. 그리고 노드 간 링크 유형 및 거리는 각각 <표 9>과 <표 10>에 각각 나타나 있다.



<그림 6> 네트워크 확장 설계를 위한 문제 3($R_0 = 0.9000$)

<표 9> 노드 간 링크 유형

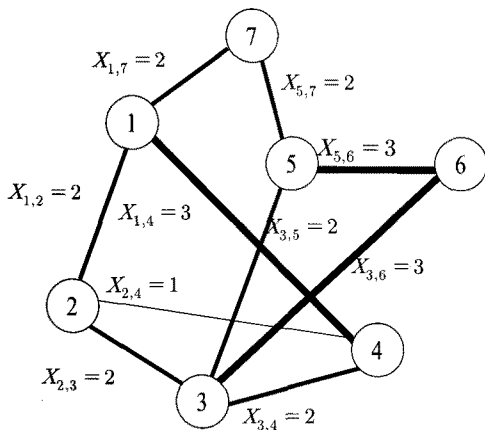
	1	2	3	4	5	6	7
1	-	2	0	3	0	0	0
2		-	2	0	0	0	0
3			-	2	0	0	0
4				-	0	0	0
5					-	0	0
6						-	0
7							-

주) 링크 유형은 4가지로 0, 1, 2, 3이다. 음영은 기존 네트워크의 링크 유형을 나타낸다.

<표 10> 노드 간 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($p = 14, b_1 = 3, b_2 = 4, i_{max} = 1000, l_{max} = 20$)을 얻은 후 실험을 수행한 결과, <그림 7>과 같은 설계구조를 갖고, 네트워크 비용이 2,892\$, 네트워크 신뢰도가 0.9002인 가장 우수한 최종해 {203002210002230000320}을 찾았다. <표 11>은 가장 우수한 최종해의 노드 간 링크 유형을 나타내고 있다.



<그림 7> 가장 우수한 해(2,892\$)

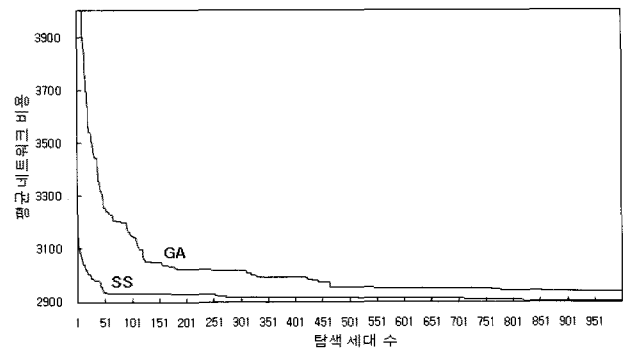
<표 11> 가장 우수한 해의 노드 간 링크 유형

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

SS 탐색방법과 GA를 이용한 네트워크 설계 방법 각각에 대해 10개의 seed를 사용하여, 탐색 세대 수의 증

가에 따른 평균 네트워크 비용의 변화 추이를 살펴본 결과가 <그림 8>에 나타나 있다.

SS를 이용한 확장 설계 방법은 탐색 세대 수가 증가함에 따라 평균 네트워크 비용이 급격히 떨어져 약 800세대 수에서 약 2,900\$로 수렴한 반면에, GA를 이용한 확장 설계 방법은 1000세대 수가 넘어 갈 때까지도 평균 네트워크 비용이 SS를 이용한 확장 설계 방법보다 높았다. 이러한 결과는 본 연구에서 제시한 SS를 이용한 확장 설계 방법이 GA를 이용한 확장 설계 방법보다 다양한 문제에서도 더욱 효율적이라는 것을 의미한다.



<그림 8> SS와 GA를 이용한 설계 방법의 성능 비교(문제 3)

5. 결론

기업은 자원 및 신속한 정보 공유를 위해 컴퓨터 네트워크를 활용하고 있다. 컴퓨터 네트워크의 단절은 기업의 업무 활동에 직접적인 피해를 주기 때문에 기업에서는 신뢰성 있는 컴퓨터 네트워크를 구축하여 사용할 것을 원한다. 신뢰성 있는 컴퓨터 네트워크는 기업의 글로벌화, 사업영역 확대, 업무 증가에 따라 확장이 요구된다. 신뢰성 있는 네트워크 확장 설계를 위해 그 동안 유전자 알고리즘에 대한 연구가 주로 이루어져 왔다. 유전자 알고리즘과 유사한 진화기법으로 다양화 및 강화 전략을 사용하는 Scatter Search가 최근 여러 최적화 문제 등에서 널리 사용되고 있다. 그러나 아직 네트워크 확장 설계와 관련된 문제에는 그 적용이 활발하지 이루어지지 않고 있다.

본 연구에서는 새 노드 부가 및 링크 수준을 고려하는 신뢰성 있는 네트워크 확장 문제에 대해, Scatter Search를 이용하는 설계 방법을 제시하였다. 그리고 세 개의 수치적 문제를 통해, Scatter Search를 이용한 네트워크 확장 설계 방법이 유전자 알고리즘을 이용한 네트워크 확장 설계 방법 보다 효과적이고 효율적이라는 것을 밝혔다. 즉 기업 내의 네트워크 담당자가 기존 설치된 네트

워크에 새로운 노드 추가와 기존 링크의 용량을 확장하는 네트워크 확장 설계를 하고자 할 때 Scatter Search를 이용하는 것이 바람직하다는 것을 밝혔다.

본 연구에서 제시한 Scatter Search를 이용하는 네트워크 확장 설계 방법이 네트워크 신뢰도를 중요시하면서 최소한의 비용으로 기존 네트워크를 확장 설계하고자 하는 기업에 널리 활용되길 기대한다.

참고문헌

- [1] 송한식; “함수추정을 위한 시뮬레이션 최적화 : Scatter Search의 경우”, 한국생산관리학회지, 17(2) : 133-154, 2006.
- [2] 염창선, 이한진; “신뢰도 제약을 갖는 기존 네트워크 확장을 위한 설계”, 한국보전경영학회지, 10(1) : 17-22, 2005.
- [3] 이한진, 염창선; “비용 제약을 갖는 컴퓨터 네트워크의 최적화”, 산업경영시스템학회지, 30(1) : 82-88, 2007.
- [4] 이한진, 염창선; “Scatter Search를 이용한 신뢰성 있는 네트워크의 경제적 설계”, 산업경영시스템학회지, 31(1) : 101-107, 2008.
- [5] Cancela, H. and El Khadiri, M.; “A Recursive Variance-Reduction Algorithm for Estimating Communication-Network Reliability,” *IEEE Transactions On Reliability*, 44(4) : 595-602, 1995.
- [6] Deeter, D. L. and Smith, A. E.; “Economic Design of Reliable Networks,” *IIE Transactions*, 30 : 1161-1174, 1998.
- [7] Dengiz, B., Altiparmak, 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.
- [8] Glover, F.; “Heuristics for Integer Programming Using Surrogate Constraints,” *Decision Science*, 8 : 156-166, 1977.
- [9] Glover, F., Laguna, M., and Marti, M.; “Fundamentals of Scatter Search and Path Relinking,” *Control and Cybernetics*, 39(3) : 653-684, 2000.
- [10] Jan, R. H., Hwang, F. H., and Cheng, S. T.; “Topological Optimization of a Communication Network Subject to a Reliability Constraint,” *IEEE Transactions of Reliability*, 42(1) : 63-70, 1993.
- [11] Kumar, A., Pathak, P. M., and Gupta, Y. P.; “Genetic-Algorithm-Based Reliability Optimization for Computer Network Expansion”, 44(1) : 63-72, 1995.
- [12] Laguna, M. and Marti, R.; “Scatter search. Methodology and implementation in C,” Boston : Kluwer Academic Publishers, 2003.
- [13] Shao, F. M. and Zhao, L. C.; “Topological Optimization of Computer Network Expansion With Reliability Constraint,” *Computers Math. Applic.*, 35(11) : 17-26, 1998.
- [14] Wood, R. K.; “Factoring Algorithms for Computing K-Terminal Network Reliability,” *IEEE Transactions On Reliability*, 35(3) : 269-278, 1986.
- [15] Van Slyke, R. M. and Frank, H.; “Network Reliability Analysis-Part I,” *Networks*, 1(3) : 49-64, 1972.