

우편물 기간운송계획 알고리즘 A Postal Transportation Planning Algorithm

최지영*, 이경식*, 박성수**, 김진석*, 김혜규*
c jy@etri.re.kr, leeks@etri.re.kr, sspark@kaist.ac.kr,
kimjs@etri.re.kr, hkkim@etri.re.kr

*한국전자통신연구원 우정기술연구부, **한국과학기술원 산업공학과

Abstract

We consider a postal transportation planning in the transportation network of the form of hub and spoke. Given mail sorting centers and an exchange center, available vehicles and amount of mails to be transported between mail sorting centers, postal transportation planning is to make a transportation plan without violating various restrictions. The objective is to minimize the total transportation cost. To solve the problem, a tabu search algorithm is proposed. The algorithm is composed of a route construction procedure and a route improvement procedure to improve a solution obtained by the route construction procedure using a tabu search. Computational results show that the proposed algorithm can solve practically sized problems within a reasonable time and the quality of the solution is acceptable.

1. 서론

우체국에서는 현재 운송망을 우편물 교환센터를 중심으로 우편물을 상호 교환하는 허브와 스포크 형태의 집중국간 운송망으로 개편할 계획이다. 허브와 스포크 형태의 운송망에는 하나의 교환센터를 중심으로 다수의 집중국이 존재한다. 또한 하나의 집중국은 관내에 다수의 집배센터를 포함하고 있으며, 하나의 집배센터는 다수의 고객을 포함하고 있다.

우편물량의 흐름을 보면 우선 고객들의 우편물은 관할 집배센터에 의해 수집되고 이 우편물들은 다시 관할 집중국에 의해 수집된다. 집배센터로부터의 수집이 끝난 후 각 집중국에서는 수집된 우편물을 목적지가 속해 있는 집중국별로 구분해 교환센터의 교환시간에 맞추어 교환센터로 보내며, 교환센터에서는 각 집중국으로부터 온 물량을 목적 집중국별로 교환하는 기능을 수행한다. 교환된 물량은 다시 각 집중국으로 배달되고 집중국에서는 물량을 구분해 관내 집배센터로 배달한다. 집배센터에서는 우편물을 고객에게 배달함으로써 우편물은 최종 목적지에 도착하게 된다.

우편물량의 흐름에 따라 운송계획은 크게 세 가지로 나누어진다. 첫째는 하나의 교환센터와 다수의 집중국을 대상으로 하는 전국 운송계획이며, 둘째는 하나의 집중국과 관내 집배센터를 대상으로 하는 지역 운송계획이다. 셋째는 하나의 집배센터와 관할 구역 내 고객을 대상으로 하는 순로계획이다. 본 연구는 이 중에서 전국 운송계획 수립을 다루고자 한다.

교환센터와 집중국을 포함한 운송국, 운송국

사이의 운송로, 운송수단, 운송물량 등이 주어진 경우, 전국 운송계획이란 차량의 용량 제한이나 운송국의 시간 제한을 만족하며 모든 운송물량을 출발지에서 도착지까지 운송하는 운송경로를 설정하는 것을 의미한다. 이 때 목적함수는 각 경로들의 운송비용을 합한 총 운송비용을 최소화하는 것이다.

전국 운송계획에서 운송계획의 실제 대상이 되는 우편물량은 집중국과 집중국간에 존재한다. 우편물량은 출발 집중국에서 출발해 교환센터를 거쳐 도착 집중국으로 운송되거나(교환센터 경유경로), 집중국간 물량이 많은 경우 운송비용 절감을 위해 교환센터를 거치지 않고 출발 집중국에서 도착 집중국으로 직접 운송된다(직접경로). 또한 각 집중국에서 교환센터로 가는 물량과 교환센터에서 각 집중국으로 오는 물량이 많은 경우 차량의 용량제한 때문에 다른 집중국을 경유하는 것이 불가능하므로 집중국과 교환센터 간에 직접 운송된다(교환센터 직접경로). 교환센터 경유경로의 경우 상행경로에서는 상역(발송)만을 허용하며 하행경로에서는 하역(도착)만을 허용한다. 상행경로와 하행경로상의 경유지에서 작업시간은 상하역하는 운송물량에 비례하여 결정된다.

본 연구에서는 사전에 결정이 가능한 집중국간 직접 운송이나 집중국과 교환센터간 직접 운송에 의해 물량을 우선 처리하고, 남은 물량을 대상으로 운송계획을 수립하고자 한다. 운송계획 문제를 해결하기 위한 방법으로 본 논문에서는 타부 탐색 알고리즘을 제시한다. 알고리즘은 가능 해를 발생시키는 단계와 그 해를 개선하는 단계로 이루어진다. 해의 발생 단계에서는 insertion 휴리스틱[6]을 변형하여 적용해 가능 해를 생성하고, 해의 개선 단계에서는 해의 발생 단계에 의해 생성된 가능 해를 타부 탐색을 이용해 개선하여 국소 해에 머물지 않고 최적 해에 가까운 해를 찾을 수 있도록 하였다.

2. 문제 정의 및 기존 연구

2.1 문제 정의

운송계획 수립에 있어 대상이 되는 운송국은 하나의 교환센터와 다수의 집중국이다. 집중국과 집중국간 또는 집중국과 교환센터간 운송로는 기본적으로 모두 존재하며 방향성이 없다. 운송로를 운행하는데 있어 소요시간은 거리를 운송수단인 트럭의 속도로 나눈 값을 사용한다. 운송국간 물량을 운송하는 수단으로는 철도와 트럭을 고려한다. 트럭은 용량을 기준으로 서로 다른 유형이 존재한다. 운송물량은 통상과 소포로 구분되며 이 때 통상은 일반 우편물을 의미한다. 물량을 담은 운송용기는 우편물 유형에 따라 다르다. 통상의 경우 통 단위의 운송물량을 행낭에 담은 후 팔레트에 담아 운송하거나 상자에 담은 후 트롤리에 담아 운송하며,

소포의 경우 행낭에 담은 후 팔레트에 담아 운송한다.

위와 같은 기본적인 정보가 주어졌을 때, 운송계획을 통해 언고자 하는 정보는 어떤 유형의 차량이 어떤 경로를 통해 언제 얼마만큼의 물량을 운반하고, 이 때 각 경로별 운송비용 및 총 운송비용이 얼마인가 하는 것이다. 운송계획의 목적은 총 운송비용을 최소화하는 것으로 총 운송비용은 철도 운송비용과 트럭 운송비용의 합으로 계산되어진다. 이 때 운송계획을 통해 모든 운송물량이 처리되어야 한다. 다음으로 철도나 트럭에 의해 물량을 운송할 때 적재유형 테이블을 기준으로 철도나 트럭의 용량 제한을 만족해야 하며, 교환센터 경유경로의 경우 상행경로와 하행경로에서 각각 트럭의 용량 제한을 만족해야 한다. 마지막으로 교환센터와 집중국의 출발가능시각과 도착한계시각을 만족해야 한다.

2.2 가정

운송계획 수립에 있어 기본적인 가정사항에는 두 가지가 있다. 우선 교환센터와 각 집중국간 운송로의 소요시간은 교환센터의 도착한계시각과 집중국의 출발가능시각의 차보다 작거나 같고, 집중국의 도착한계시각과 교환센터의 출발가능시각의 차보다 작거나 같아야 한다. 다음으로 운송물량의 적재에 있어 발송해야 하는 물량을 하나의 운송경로를 통해서 한 대의 운송수단으로 운송하는 비분할 선적을 가정한다. 만약 물량이 많아 한 대의 운송수단으로 운송할 수 없는 경우에는 물량을 미리 분할하여 각각의 분할된 물량에 대해 비분할 선적을 적용한다.

2.3 사전처리 작업

2.3.1 직접경로 설정

특정 집중국간의 운송물량이 많은 경우에는 교환센터의 능력과 운송비용 절감을 위해서 해당 집중국간의 직접 경로를 개설하고 목적 집중국으로 직행하는 것이 가능하다. 직접 경로 설정이란 집중국간 운송물량이 트럭의 적재비율 이상인 경우 한 대의 트럭으로 운송이 가능할 때까지 해당 집중국간에 직접경로를 배정하여 물량을 처리하는 것을 의미한다. 이 때 돌아오는 경로는 고려하지 않으며 제약조건을 만족시키는 경우에 한해 직접경로를 개설한다.

2.3.2 교환센터 직접경로 설정

직접경로를 설정하고 난 후의 집중국간 운송물량은 모두 트럭 한 대분 미만으로 이 물량은 모두 교환센터를 경유해 도착 집중국으로 운송된다. 따라서 각 집중국별로 남은 운송물량을 더해 하나의 집중국에서 교환센터로 가는 발생물량과 교환센터에서 집중국으로 오는 도착물량을 계산한다. 집중국의 발생물량과 도착물량이 트럭의 적재비율 이상인 경우 한 대의 트럭으로 운송이 가능하며, 이 경우 트럭 용량제한 때문에 다른 집중국을 경유하는 것이 불가능하므로 한 대의 트럭으로 운송이 가능할 때까지 교환센터 직접경로를 개설하여 물량을 처리한다.

2.3.3 물량 분할

직접경로와 교환센터 직접경로를 설정한 후 각 집중국의 발생물량과 도착물량은 각각 트럭 한 대 미만이거나, 한 쪽 물량만 트럭 한 대 이상인 경우가 있을 수 있다. 물량이 트럭 한 대 이상인 경우 운송계획을 수립하기 위해서는 비분할 선적 가정에

맞게 물량을 미리 분할해야 한다. 물량을 분할한 후 그 수에 맞게 집중국을 생성하고, 하나의 집중국을 출발 집중국과 도착 집중국으로 따로 생성해 출발 집중국에는 발생물량을 할당하고 도착 집중국에는 도착물량을 할당한다. 운송계획을 수립하는 알고리즘 단계에서는 가능한 경로로 출발 집중국에서 출발해 교환센터를 지나 도착 집중국으로 돌아오는 경로를 고려한다.

2.4 기존 연구

VRPBTW(Vehicle Routing Problem with Backhauls and Time Windows, VRPBTW)는 한 경로에서 수집과 배달을 동시에 수행하는 문제로 배달을 위한 고객을 우선 방문한 후 수집을 위한 고객을 방문해야 하며, 배달물량이나 수집물량이 차량의 용량을 넘어서는 안 된다. 또한 각 고객마다 서비스를 허용하는 작업시간대가 정해져 있어서 각 차량은 이 시간 내에 서비스를 해야 한다. 운송계획에서 고려하는 교환센터 경유경로의 경우 교환센터와 각 집중국에 시간 제한이 존재하며 출발 집중국에서 물량을 싣고 교환센터로 간 후 다시 원래 출발했던 집중국으로 물량을 가져오기 때문에 배달과 수집이 한 경로에서 이루어진다고 할 수 있으므로 VRPBTW의 한 유형이라고 볼 수 있다.

VRPBTW에 대해 휴리스틱 해법, 최적화 기법, 타부 탐색 등과 같은 메타 휴리스틱을 이용한 기법들이 제시되고 있다[4, 7, 9]. VRP에 대해 타부 탐색과 simulated annealing을 적용한 결과 타부 탐색을 적용했을 때 더 좋은 해를 제공하였다[5]. 또한 VRPBTW에 대해 유전 알고리즘과 타부 탐색을 적용한 결과 타부 탐색이 더 좋은 해를 제공하였으며, 유전 알고리즘의 경우 타부 탐색과 비교해 해를 구하는데 시간이 훨씬 오래 걸렸다[3]. 본 연구에서는 이러한 결과들에 근거하여 사전처리 작업 후의 운송계획 문제에 대해 타부 탐색 기법을 적용하고자 한다.

3. 수리 모형

사전처리 작업 후의 운송계획 문제에 대한 수리 모형은 다음과 같다.

[기호 정의]

V : 운송국 집합, $V = V_0 \cup V_1 \cup V_2$

V_0 : 교환센터 집합, $V_0 = \{0\}$

V_1 : 상행경로상의 집중국 집합, $V_1 = \{1, 2, \dots, N\}$

V_1' : 상행경로상의 집중국 중에서 발생물량이 있는 집중국 집합, $V_1' \subseteq V_1$

V_2 : 하행경로상의 집중국 집합, $V_2 = \{1', \dots, N'\}$

V_2' : 하행경로상의 집중국 중에서 도착물량이 있는 집중국 집합, $V_2' \subseteq V_2$

E : 운송로 집합

Q : 트럭유형 집합

P_i : 집중국 $i \in V_1$ 에서 출발해 교환센터로 가는 가능한 상행경로 집합

P : 가능한 상행경로 집합, $P = \bigcup_{i \in V_1} P_i$

P_i' : 교환센터에서 출발해 집중국 $i' \in V_2$ 에 도착하는 가능한 하행경로 집합

P : 가능한 하행경로 집합, $P' = \bigcup_{i' \in V_2} P_{i'}$

c_p^q : 경로 $p \in P \cup P'$ 를 트럭유형 $q \in Q$ 로 운행할 때 운송비용

$$a_{ip} = \begin{cases} 1 & \text{집중국 } i \in V_1' \cup V_2' \text{의 물량이 경로} \\ & p \in P \cup P' \text{에 의해 운송되는 경우} \\ 0 & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

[결정 변수]

$$x_p^q = \begin{cases} 1 & \text{트럭유형이 } q \in Q \text{인 상행경로 } p \in P \text{를} \\ & \text{선택하는 경우} \\ 0 & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

$$y_{p'}^q = \begin{cases} 1 & \text{트럭유형이 } q \in Q \text{인 하행경로 } p' \in P' \text{를} \\ & \text{선택하는 경우} \\ 0 & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

[수리 모형]

$$\min \sum_{p \in P} \sum_{q \in Q} c_p^q x_p^q + \sum_{p' \in P'} \sum_{q \in Q} c_{p'}^q y_{p'}^q$$

s.t.

$$\sum_{p \in P} \sum_{q \in Q} a_{ip} x_p^q \geq 1, \forall i \in V_1' \quad (1)$$

$$\sum_{p' \in P'} \sum_{q \in Q} a_{i'p'} y_{p'}^q \geq 1, \forall i' \in V_2' \quad (2)$$

$$\sum_{p \in P} x_p^q - \sum_{p' \in P'} y_{p'}^q = 0, \forall i \in V_1, \forall i' \in V_2, \forall q \in Q \quad (3)$$

$$x_p^q \in (0, 1), \forall p \in P, \forall q \in Q$$

$$y_{p'}^q \in (0, 1), \forall p' \in P', \forall q \in Q$$

위 수리 모형에서 목적식은 상행경로의 운송비용 합과 하행경로의 운송비용 합을 더한 총 운송비용을 최소화하는 것을 의미한다. 제약식 (1)은 상행경로 상의 모든 집중국을 한 번 이상씩 방문해야 한다는 것을 의미하고, 제약식 (2)는 하행경로 상의 모든 집중국을 한 번 이상씩 방문해야 한다는 것을 의미한다. 제약식 (3)은 출발 집중국과 도착 집중국이 같고, 상행경로와 하행경로의 트럭유형이 일치해야 한다는 것을 의미한다.

위 수리 모형의 경우 변수가 되는 가능한 경로들의 수는 지수적으로 막아서 처음부터 모든 변수를 포함시켜 문제를 풀 수 없다. 그러나 변수의 수가 지수적으로 많은 경우 LP relaxation을 열생성 기법을 사용해 해결할 수 있다. 본 운송계획 문제의 경우 가능한 경로들을 생성하는 column generation 문제는 시간 제한과 용량 제한이 있는 최단경로문제로서 NP-hard임이 알려져 있다[2]. 뿐만 아니라, 각 경로의 운송비용은 비선형인 운송비용 테이블로부터 구해지므로 column generation 문제의 목적식은 비선형이 된다. 따라서 본 연구에서는 위 모형을 이용하여 최적 해를 구하는 알고리즘 대신 휴리스틱 알고리즘을 개발하고자 한다.

4. 알고리즘

4.1 해의 발생 단계

해의 발생 단계는 타부 탐색에 적용할 초기 가능 해를 생성하는 단계로 본 연구에서는 Solomon [6]의 insertion 휴리스틱을 변형하여 적용한다. 본 문제의 경우 출발 집중국과 도착 집중국이 같아야 하기 때문에 집중국-교환센터-집중국 형태의 초기 경로를 생성하고, 상행경로는 상행경로에 하행경로를 하행경로에 insert를 수행하여 경로 수를 감소하

였다. Insert된 후의 새로운 경로가 시간제한이나 차량용량 등의 제약조건을 만족시키지 못하는 경우 고려 대상에서 제외하였다. 알고리즘 단계는 다음과 같다.

[해의 발생 단계]

단계 1 사전처리 작업에 의해 물량이 분할된 상태에서 각 집중국별로 출발 집중국-교환센터-도착 집중국으로 연결되는 초기 교환센터 경유경로를 생성해 초기 가능 해 S 로 한다.

단계 2 S 에 속하는 각 경로를 다른 모든 경로에 insert하여 이웃 해 집합 $N(S)$ 를 생성한다.

단계 3 새로운 가능 경로 해 $N(S)$ 중 총 운송비용이 최소인 가능 해 S' 을 선택하여 S 보다 운송비용이 감소하는 경우 ($C(S') < C(S)$) 단계 4로 가며, 그렇지 않은 경우 종료한다.

단계 4 $S = S'$ 으로 한 후 단계 2로 간다.

4.2 타부 탐색

해의 개선 단계에서는 해의 발생 단계에서 insertion에 의해 생성된 가능 해를 타부 탐색을 이용해 개선한다. 타부 탐색에서는 순환을 방지하기 위해 타부 목록을 이용해 제한을 둔다. 본 타부 탐색에서는 타부 목록에 어떤 집중국이 어떤 경로로부터 몇 번째 반복횟수에서 빠져나왔는지를 저장하여 원래 해 상태로 돌아가는 것을 방지한다. 타부 목록에 금지된 이동을 저장한 후 연속 $|T_s|$ 번의 반복횟수 이후에 타부 목록에서 제외해야 한다[5].

순환을 방지하기 위한 타부 제약은 좋은 해가 있을 수 있는 곳으로 움직이는 것을 방해할 수 있다. 이러한 한계를 극복하기 위한 새로운 조건이 열망기준으로[1], 새로운 가능 경로해 S' 이 타부라 하더라도 지금까지 발견된 가장 좋은 해 S_b 보다 더 좋은 경우 ($C(S') < C(S_b)$) 타부 상태를 무시하고 새로운 해로 받아들여 순환을 방지하면서 더 좋은 해를 찾는 것을 가능하게 한다.

본 연구에서는 이웃 해 집합 $N_\lambda(S)$ 를 생성하는 방법으로 λ -interchange[8]를 변형하여 사용하며 이에 대한 자세한 설명은 참고문헌을 참고하기 바란다. $N_\lambda(S)$ 에서 새로운 가능 해 S' 을 선택하는 방법에는 BA(Best-admissible)와 FBA(First-best-admissible)의 두 가지가 있다. BA는 목적함수가 가장 많이 개선되거나 개선되는 해가 없는 경우 목적함수의 증가가 가장 적은 해를 선택하는 방법이다. FBA는 목적함수가 개선되는 해가 처음으로 생성되는 경우 그 해를 선택하고 개선되는 해가 없는 경우 목적함수의 증가가 가장 적은 해를 선택하는 방법이다. 알고리즘 단계는 다음과 같다.

[타부 탐색]

단계 1 해의 발생 단계에 의해 생성된 해 S 를 S_b 라 하고, $k=1$, $k_b=0$ 으로 한다.

단계 2 S 에 속하는 각 경로에 대해 (1, 0), (1, 1), (2, 0) 중 random하게 선택한 operator를 적용하여 이웃 해 집합 $N_2(S)$ 를 생성한다. BA와 FBA 중 선택한 방법에 따라 $N_2(S)$ 중 가능 해 S' 을 선택해 $S = S'$ 으로 하고 $k=k+1$ 로 한다. $C(S') < C(S_b)$ 인 경우 $S_b = S'$, $k_b=0$ 으로 하며, 그렇지 않은 경우 $k_b=k_b+1$ 로 한다.

단계 3 현재 반복횟수 k 가 최대 반복횟수 $MAXK$ 보다 크거나, 해가 개선되지 않은 상태에서의 반복횟수 k_b 가 해가 개선되지 않은 상태에서의 최대 반복횟수 $MAXK_b$ 보다 큰 경우 단계 4로 가며, 그렇지 않은 경우 단계 2로 간다.

단계 4 알고리즘을 종료하고, S_b 를 최종 해로 결정한다.

5. 실험 및 결과

5.1 예제 문제

예제 문제로 운송국 수가 11개, 16개, 21개이고 시간 제한이 3시간, 4시간인 경우에 대해 각각 5문제씩 총 30문제를 생성하였다. 시간 제한이란 출발 가능시각과 도착한계시각의 차이를 의미한다. 운송로 그래프는 양방향 완전그래프이며 모든 운송로의 거리는 유클리디언 거리이고, 철도 운송은 없다고 가정하였다. 트럭유형으로는 세 가지를 고려하였고 트럭유형별 적재비율은 모두 70%로 하였다. 트럭유형별로 트럭대수의 상한 및 트럭의 고정비용은 없다고 가정하였다. 운송물량은 통상과 소포로 나누어 통상물량은 구간 $U[50000, 150000]$ 에서 생성하고 소포물량은 구간 $U[100, 300]$ 에서 생성하였다. 알고리즘 파라미터 값으로 $|T_s|=5$, $MAXK=5000$, $MAXK_b=3000$ 을 사용하였다.

5.2 실험 결과

본 연구에 의해 제시된 알고리즘은 java로 구현되었으며, Pentium (700MHz) PC에서 실행되었다. 타부 탐색을 하는 과정에 random 요소가 있기 때문에 BA와 FBA를 적용하여 각각 10번씩 실행해 그 결과의 평균을 취하였다. 운송국 수가 11개인 문제의 경우 가능한 상행경로와 하행경로를 모두 생성하여 CPLEX 6.0에 의해 최적 해를 구했으며, 운송국 수가 16개인 경우나 21개인 문제의 경우 가능한 경로의 수가 너무 많아 최적 해를 구하는 것이 불가능하였다. 운송국 수가 11개인 문제에 한해서 최적 해와 비교를 한 결과 BA를 적용한 타부 탐색과 FBA를 적용한 타부 탐색의 경우 GAP 평균이 각각 0.287%와 0.508%로 타부 탐색 결과 얻어진 해의 품질이 매우 좋음을 알 수 있었으며, BA를 적용한 경우가 FBA를 적용했을 때보다 약간 더 좋은 결과를 주었다.

표 1. 타부 탐색 휴리스틱 결과(운송국 수 11개)

번호	최적해 목적 함수 값	BA			FBA		
		목적함수 값	GAP (%)	시간 (초)	목적함수 값	GAP (%)	시간 (초)
1	1784404	1784404.0	0.00	94.9	1784787.8	0.02	64.5
2	1347221	1354491.0	0.54	66.0	1360620.8	0.99	44.1
3	1757262	1765749.2	0.48	23.8	1765496.4	0.47	17.9
4	2346441	2365302.8	0.80	91.3	2377720.4	1.33	56.8
5	1098928	1098928.0	0.00	27.9	1101607.0	0.24	25.1
6	1815850	1820364.8	0.25	44.4	1821772.7	0.33	30.1
7	1617520	1622101.1	0.28	89.9	1624713.8	0.44	69.8
8	1837778	1841460.8	0.20	101.2	1846550.9	0.48	68.4
9	1861794	1862961.2	0.06	72.9	1868326.0	0.35	49.4
10	1333616	1337060.9	0.26	35.1	1339371.2	0.43	26.7

6. 결론

본 논문은 허브와 스포크 형태의 운송망에서 하나의 교환센터와 다수의 집중국을 대상으로 운송국들간에 운송경로를 설정하고 설정된 운송경로에 차량을 할당하는 전국 운송계획 수립을 다루고 있다. 운송계획의 목적은 총 운송비용을 최소화하는 것이며 운송계획 수립시 다양한 제약조건을 만족해야 한다.

본 논문에서는 집중국간 직접 운송이나 집중국과 교환센터간 직접 운송에 의해 물량을 사전처리한 후 남은 물량을 대상으로 운송계획을 수립하였으며, 이에 대한 해법으로 타부 탐색을 이용한 알고리즘을 제시하였다. 알고리즘은 insertion을 이용해 가능 해를 생성하는 해의 발생 단계와 해의 발생 단계에 의해 생성된 가능 해를 타부 탐색을 이용해 개선하는 해의 개선 단계로 이루어진다. 운송국 수가 11개, 16개, 21개인 문제에 대해 타부 탐색 과정에 BA와 FBA의 두 가지 방법을 적용하여 실행하였으며, 운송국 수가 11개인 문제에 한해 최적 해와 비교를 한 결과 좋은 결과를 보였다.

참고문헌

- [1] 김여근, 윤복식, 이상복, 메타 휴리스틱, 영지문화사, 1999.
- [2] Ball, M. O., T. L. Magnanti, C. L. Monma, G. L. Nemhauser, *Network Routing*, North-holland, Amsterdam, 1995.
- [3] Duhamel, C., J.-Y. Potvin and J.-M. Rousseau, A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Backhauls and Time Windows, *Transportation Science*, 31, 49-59, 1997.
- [4] Gelinass, S., M. Desrochers, J. Desrosiers and M. M. Solomon, A New Branching Strategy for Time Constrained Routing Problems with Application to Backhauling, *Annals of Operations Research*, 61, 91-109, 1995.
- [5] Osman, I. H., Metastrategy Simulated Annealing and Tabu Search Algorithms for the Vehicle Routing Problem, *Annals of Operations Research*, 41, 421-451, 1993.
- [6] Solomon, M. M., Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints, *Operations Research*, 35, 254-265, 1987.
- [7] Thangiah, S. R., J. Y. Potvin and T. Sun, Heuristic Approaches to Vehicle Routing with Backhauls and Time Windows, *Computers & Operations Research*, 23, 1043-1057, 1994.
- [8] Toth, P., and D. Vigo, A Heuristic Algorithm for the Symmetric and Asymmetric Vehicle Routing Problems with Backhauls, *European Journal of Operations Research*, 113, 528-543, 1999.
- [9] Yano, C., T. Chan, L. Richter, T. Cutler, K. Murty and D. McGettigan, Vehicle Routing at Quality Stores, *Interfaces*, 17, 52-63, 1987.