

역물류 네트워크를 위한 확장된 복수 Weber 문제의 GRASP 해법

양 병 학*

*경원대학교 산업정보시스템공학과

A GRASP heuristics for Expanded multi-source Weber problem on Reverse Logistics Network

Byoung-Hak Yang*

*Department of Industrial Engineering, Kyungwon University

Abstract

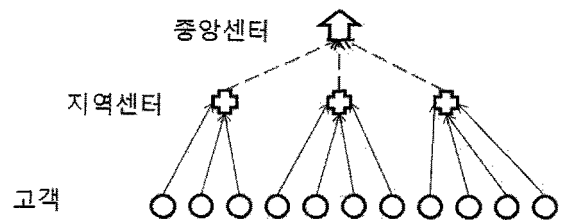
Expanded multi-source Weber problem (EWP), which introduced in this paper, is a reverse logistics network design problem to minimize the total transportation cost from customers thorough regional center to central center. Decision factor of EWP are the locations of regional centers and a central center. We introduce a GRASP heuristics for the EWP. In the suggested GRASP, an expanded iterative location allocation method (EILA) is introduced based on the Cooper's iterative location allocation method[3]. For the initial solution of GRASP, allocation first seed (AFSeed) and location first seed (LFSeed) are developed. The computational experiment for the objective value shows that the LFSeed is better than the AFSeed. Also the calculating time of the LFSeed is better than that of the AFSeed.

Keywords : Reverse Logistics, GRASP, Expanded multi-source Weber Problem

1. 서론

환경 문제에 대한 국제적인 공감대가 형성되면서 각국은 환경 규제와 환경 개선에 대한 투자를 강화하고 있다. 물류에서의 친환경 활동을 역물류라고 한다. 역방향 물류에서 폐기물과 반품의 수거 및 처리는 순방향 물류와는 별도의 네트워크를 이용하고 있으며 최근의 연구 경향은 역방향 네트워크의 설계에 집중되고 있다. 본 연구가 다루려는 역물류 네트워크의 구조는 <그림 1>과 같다. 위치가 알려진 다수의 고객들이 2차원 공간상에 위치하고 있다. 고객들은 반품 또는 폐기물을 근거리의 지역 센터로 수송한다. 지역 센터에서 고객별로 수거할 반품이나 폐기물의 양은 상대적으로 소량이어서 지역 센터에서 수거한 후에 일괄적으로 중앙 센터로 수송하게 된다. 고객으로부터 지역 센터의

수송단가와 지역 센터에서 중앙 센터로의 수송 단가는 서로 다른 것으로 알려져 있다. 우리가 다루려는 역물류 네트워크의 설계 문제에서는 각 지역 센터의 위치와 중앙 센터의 위치를 결정해야 한다. 또한 지역 센터가 담당할 고객들도 결정해야 한다. 우리가 다루려는 문제와 유사한 기존 문제를 복수 Weber (multi-source Weber) 문제[3]라 한다.



<그림 1> 중앙 센터와 지역 센터의 위치를 결정해야하는 역물류 네트워크

* 이 논문은 2010년도 경원대학교 지원에 의한 결과임.

† 교신저자: 양병학, 경기도 성남시 수정구 복정동 산65 경원대학교 산업정보시스템공학과

Tel: 031-750-5368, E-mail:byang@kyungwon.ac.kr

2010년 1월 5일 접수; 2010년 2월 26일 수정본 접수; 2010년 3월 4일 게재확정

복수 Weber 문제는 <그림 1>에서 중앙 센터를 고려하지 않고 지역 센터만을 결정하는 문제이며, 복수 Weber 문제의 복잡성은 NP-hard라고 알려져 있다[1].

본 연구에서 다루는 역물류 네트워크 설계 문제는 복수 Weber 문제를 2단계로 확장한 모형이며 기존 복수 Weber 문제를 부분 문제로 포함한다. 따라서 Np-hard 문제라고 판단된다. 본 연구에서는 이 확장된 복수 Weber 문제를 실용적으로 해결할 휴리스틱 해법을 개발하려고 한다.

2. 선행 연구

역물류 네트워크 설계와 관련된 기존의 연구들을 살펴보면 먼저 Ko et al.은 후보 센터의 위치가 알려진 상태에서 순방향 물류와 역방향 물류를 동시에 고려하면서 후보 수거 센터의 개설 여부를 결정하는 문제를 제시하고 유전 해법을 도입하였다[8]. Lee et al. 은 수거 센터, 분해 센터, 처리센터와 공급자로 구성된 다단계 역물류 네트워크에서 각 센터의 사용 여부를 결정하는 유전 해법을 제시하였다[9]. 그들의 연구에서도 각 센터의 위치는 미리 알려져 있었고 센터의 개설 여부를 결정하였다. Cruz-Rivera와 Ertel은 멕시코의 차량 폐기물 수거 네트워크를 단순 설비 배치 문제로 모형화하고 시나리오별로 비용을 분석하였다[4]. Min과 Ko는 순방향 물류와 역방향 물류를 동시에 고려하면서, 시간의 흐름에 따라 설비의 개폐 여부를 결정하는 문제를 모형화하고 유전 해법을 제시하였다[10].

Jayarama et al.은 수거 센터와 최종 처리 센터로 구성된 역물류 네트워크를 설계하는 문제를 제시하고 p-메디언 문제의 휴리스틱을 이용하여 해결하였다[7]. 지금까지의 역물류 네트워크를 설계한 기존의 연구들은 지역 센터 후보자들의 위치가 알려져 있고, 후보자중 어떤 센터들을 설치할 것인가와 담당 구역을 어디로 할까를 결정하는 네트워크상의 설계 문제를 다루고 있다. 그러나 지역 센터 후보자들의 위치가 미리 알려져 있지 않은 상태에서 최적 위치를 결정해야 하는 경우가 존재한다. 기존의 연구들과 달리 본 연구에서는 센터 후보자들의 위치가 알려져 있지 않아서 센터의 공간상의 위치와 담당 구역을 동시에 구하는 평면상의 위치 배정 문제를 다루려고 한다. 우리가 다루는 문제는 2단계 평면상의 위치 배정 문제가 된다. 만약 우리가 다루는 문제에서 중앙 센터를 고려하지 않고 지역 센터만을 다룬다면 그러한 문제는 기본적인 평면상의 위치 배정문제인 복수 Weber 문제[3]가 된다. 복수 Weber 문제는 위치가 알려진 고객과 위치가 미정인

다수의 서비스센터를 연결하되 총 수송비용을 최소화하는 서비스센터의 위치와 서비스센터가 담당할 고객을 할당하는 문제이다. 이 문제의 최적해법은 아주 작은 문제에 대해서만 유효하며 문제의 크기가 큰 실용적인 문제에서는 여러 가지 휴리스틱들이 제안되고 있다. 가장 잘 알려진 휴리스틱 해법은 Cooper에 의해서 제안된 반복적 위치-할당 해법이다[2]. Cooper의 반복적 위치-배정 해법은 비교적 효율적이어서 이후 여러 연구에서 사용되었으며 이 해법을 지리 정보와 연결하여 시스템화한 연구가 Yang에 의하여 수행되었다[11].

그러나 Cooper의 해법은 초기해에 매우 민감해서 시작점에 따라 구해진 근사해의 목적함수의 값에 많은 차이가 있는 것으로 알려져 있다. 그 외에 사용 가능한 휴리스틱에 대한 비교 연구는 Brinberg et al.의 연구에서 자세히 살펴볼 수 있다[1]. 우리가 다루려는 문제는 기본적인 복수 Weber 문제에서 각 지역 센터를 연결하는 중앙 센터의 위치를 추가적으로 결정해야 한다.

우리가 조사한 바로는 2단계 복수 Weber 문제를 다룬 연구는 찾아보기 어려웠다. 우리는 복수 Weber 문제의 연구 결과들은 2단계 복수 Weber 문제에 적용하려고 한다.

3. 문제의 설명 및 관련 연구

3.1 확장된 복수 Weber 문제

네트워크 구성은 <그림 1>처럼 고객, 복수의 지역 센터(RCP: Regional collection center)와 하나의 중앙 센터(CCC: Central collection center)로 구성된 역물류 네트워크를 가정한다. 이는 기존의 복수 Weber 문제에 중앙 센터의 위치를 결정을 추가 하는 문제이다. 우리는 이 문제를 확장된 복수 Weber 문제(EWP: Expanded multi-source Weber Problem)라고 정의 하였다.

EWP의 기본 가정은 다음과 같다.

- 고객은 가장 가까운 지역 센터에서 반품접수를 한다.
- 지역 센터는 고객의 반품물량을 수거하여 중앙 센터로 수송한다.
- 고객의 위치와 반품 물량은 알려져 있다.
- 지역 센터와 중앙 센터의 위치를 결정해야 한다.
- 지역 센터가 담당할 고객을 할당해야 한다.
- 수송비는 수송단가×직선거리×수송량이다.
- 목적함수는 고객으로부터 중앙 센터까지의 총 수송비를 최소화한다.
- 지역 센터와 중앙 센터의 위치 및 지역 센터의 담당 구역을 결정해야 한다.

본 연구에서는 후보지들의 위치와 담당 구역을 결정하는 문제이다. 이를 수식화하면 다음과 같다.

변수 설명

- $i \in \{1, \dots, n\}$: 고객 i 의 지수
- $j \in \{1, \dots, m\}$: 지역센터의 j 의 지수
- n : 고객의 수
- m : 지역센터의 수
- $P_i = (a_i, b_i)$: 고객 i 의 2차원상의 위치
- w_i : 고객 i 의 반포량
- c_1 : 고객과 지역센터간의 거리당 수송비
- c_2 : 지역센터와 중앙센터의 거리당 수송비

결정변수

- $R_j = (x_j, y_j)$: 지역센터 j 의 2차원상의 위치
- $Q = (q_x, q_y)$: 중앙센터의 2차원상의 위치
- $z_{ij} = \begin{cases} 1: \text{고객 } i \text{를 지역센터 } j \text{가 담당} \\ 0: \text{담당하지 않음} \end{cases}$
- $d(P_i, R_j) = \sqrt{(a_i - x_j)^2 + (b_i - y_j)^2}$:
고객 i 에서 지역센터 j 까지의 직선거리
- $d(R_j, Q) = \sqrt{(x_j - q_x)^2 + (y_j - q_y)^2}$:
지역센터 j 에서 중앙센터까지의 직선거리

EWP(Expaned multi-source Weber Problem)

$$\begin{aligned} \text{Min} & \sum_j \sum_i c_1 w_i z_{ij} d(P_i, R_j) + \sum_j \sum_i c_2 w_i z_{ij} d(R_j, Q) \\ \text{s.t.} & \sum_j z_{ij} = 1, \forall i \end{aligned} \quad (1)$$

$$d(P_i, R_j) = \sqrt{(a_i - x_j)^2 + (b_i - y_j)^2}, \forall i, j \quad (2)$$

$$d(R_j, Q) = \sqrt{(x_j - q_x)^2 + (y_j - q_y)^2}, \forall j \quad (3)$$

목적함수식의 첫 번째 항목은 고객으로부터 지역 센터까지의 수송비를 의미한다. 이때 수송비는 고객의 반포량과 고객과 지역 센터까지의 직선거리의 곱에 비례한다. 결정 변수는 지역 센터의 위치와 지역 센터가 담당할 고객들에 대한 할당이다. 이 항목은 기본 복수 Weber 문제와 동일하다. 그리고 두 번째 항목은 지역 센터로부터 중앙 센터까지의 수송비를 의미하며 각 지역 센터에 수거된 고객의 반포량과 지역 센터와 중앙 센터까지의 직선거리의 곱에 비례한다. 이 항목은 기본

복수 Weber 문제에서 추가된 부분이며 지역 센터의 위치와 중앙 센터의 위치를 모두 결정해야 한다. 제약식 (1)은 한 고객은 반드시 하나의 지역 센터가 서비스해야 한다는 할당 제약식이다. 제약식 (2)는 고객과 지역 센터의 거리가 직선거리라는 제약식이다. 제약식 (3)은 지역 센터와 중앙 센터의 거리가 직선거리라는 제약식이다. EWP는 고객과 지역 센터의 관계에서는 기본 복수 Weber문제이고 그 상위에 지역 센터와 중앙 센터간의 단일 위치 결정 문제가 추가된 형태이다.

3.2 단일 위치 문제의 해법

우리가 다루려는 문제는 복수의 지역 센터의 위치를 결정해야 하지만 복수 지역 센터 문제의 기본 문제는 단일 위치 결정 문제가 된다. 단일 위치 결정 문제의 최적해는 쉽게 구할 수 있다. 또한 지역 센터가 담당해야 할 고객이 결정되어 있고, 중앙 센터의 위치가 결정되어 있다면 각 지역 센터의 위치를 결정하는 문제도 단일 위치 결정 문제가 된다. 이 문제의 해법은 Weiszfeld의 해법이 잘 알려져 있으며 다음과 같다[6].

단일 위치 문제에 대한 Weiszfeld의 해법[6]

- 단계 1: $t := 0, R^0 := (x^0, y^0)$
초기해를 임의로 배정한다.
- 단계 2: $\gamma_i(R^t) := \frac{w_i}{\sqrt{(a_i - x^t)^2 + (b_i - y^t)^2}}, \forall i$
- 단계 3: $\Gamma(R^t) := \sum_i \gamma_i(R^t)$
- 단계 4: $R^{t+1} := \sum_i \frac{\gamma_i(R^t)}{\Gamma(R^t)} P_i$
- 단계 5: $\text{if } (R^{t+1} - R^t) > \varepsilon$
 $\text{then } t := t+1$: 단계 2
- 단계 6: R^{t+1} 최종해

3.3 복수 지역 센터 문제의 해법

복수 지역 센터 문제는 단일 위치 문제와 고객의 할당을 동시에 해결하는 문제이다. 이 문제의 해법은 Cooper[2]가 제안한 반복적 위치-할당 해법이 유효한 것으로 알려져 있다. 반복적 위치-할당 해법의 단계는 다음과 같다.

- 반복적 위치-할당 해법(ILA: Iterative Location Allocation)[2]
- 단계 1: 서비스 센터의 위치를 랜덤하게 지정한다.
- 단계 2: 각 고객을 가장 가까운 서비스 센터에 할당한다.
- 단계 3: 한 구역으로 할당된 고객들을 서비스할 서비스 센터의 위치를 새로 구한다. 센터의 위치는 구역 별로 단일 위치 최적화 문제를 이용하여 구한다.
- 단계 4: 서비스 센터의 위치가 변경되지 않을 때까지 단계 2와 3을 반복한다.

4. 해법 절차

4.1 기본 GRASP 해법

본 연구에서는 메타 휴리스틱의 한 종류인 GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedures)을 사용하여 해법을 개발하려고 한다.

GRASP의 기본 구조는 임의의 초기해로부터 지역 탐색(local search)으로 근사 최적해를 탐색하는 휴리스틱 방법을 사용한다. 지역 탐색 방법은 최적해를 찾아주지 못하고 초기해에 따라 근사 최적해가 다르게 구해진다. GRASP에서는 초기해를 랜덤하게 수정하여 지역 탐색을 여러 차례 수행하고 발견된 근사 최적해중 가장 우수한 해를 최종해로 선택한다. 최소화 문제에 대한 기본적인 GRASP는 다음과 같다[5].

기본 GRASP 해법[5]

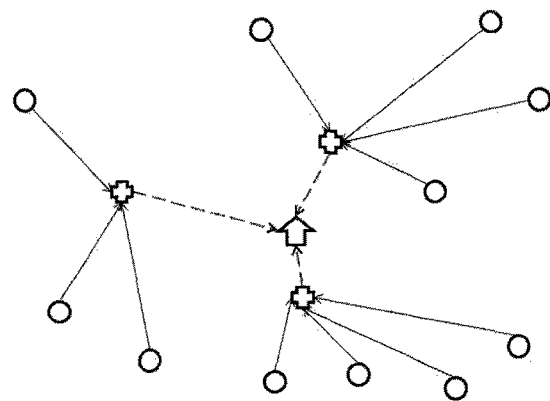
- 단계 1: $x_{best} := \emptyset; f(x_{best}) := \infty;$
- 단계 2: for $k = 1, 2, \dots, Maxiteration$
- 단계 3: $x := Seed()$
- 단계 4: $x_{current} := LocalSearch()$
- 단계 5: if $(f(x_{current}) < f(x_{best}))$
 then $x_{best} := x_{current}$
- 단계 6: endfor
- 단계 7: x_{best} 를최종해로 선정

기본 GRASP에서 Seed()는 초기해를 결정하는 함수이며 LocalSearch()는 지역 탐색을 수행하는 함수이다.

GRASP에서 해법의 성공 여부는 우수한 초기해 함수와 지역 탐색 함수를 설계하는 것이다.

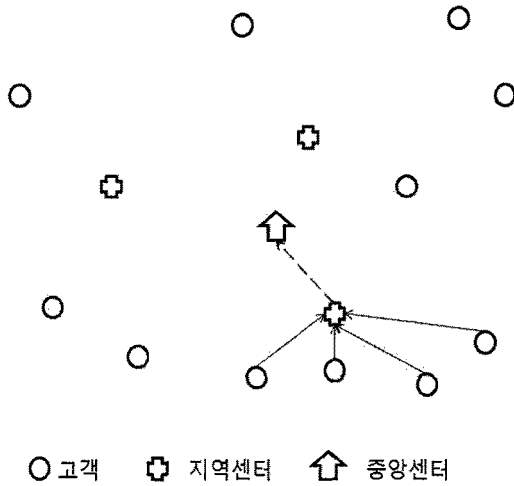
4.2 확장된 반복적 위치-할당 해법

본 연구에서 사용할 지역 탐색 함수는 기본 복수 Weber문제에서 사용되는 반복적 위치-할당 해법을 EWP에 적합하게 개발한 확장된 반복적 위치-할당 해법(EILA: Expanded Iterative Location Allocation)을 개발하였다. EILA의 개념은 다음과 같다. 먼저 <그림 2>과 같이 지역 센터와 중앙 센터의 위치를 임의로 결정하고 지역 센터의 담당 구역도 임의로 결정하여 초기해로 사용한다. 초기해에 의해서 각 지역 센터별로 담당 구역이 설정되고 지역 센터에 배정된 고객들과 중앙 센터를 고정된 설비로 가정하면 <그림 3>처럼 고객들과 중앙 센터를 지역 센터가 연결하는 단일 입지 문제가 된다. 단일 입지 문제는 Weizfeld의 해법에 의해서 최적 위치를 쉽게 찾을 수 있다. 모든 지역 센터의 위치를 단일 입지 문제에 의해서 수정하면 <그림 4>처럼 지역 센터의 위치가 고정된 상태에서 모든 지역 센터를 연결하는 중앙 센터의 위치를 구하는 또 다른 단일 입지 문제를 해결한다. 이때에도 Weizfeld의 해법에 의해서 중앙 센터의 위치를 수정한다. 모든 지역 센터와 중앙 센터의 위치가 수정되어 고정되면 <그림 5>처럼 각 고객별로 최적의 지역 센터를 재배정한다. 이때 고객을 출발점으로 지역 센터를 경유하여 중앙 센터로 이동하는 수송비중 최소 비용을 탐색하여 최소 비용으로 연결하는 지역 센터를 그 고객이 방문할 지역 센터로 배정한다. 담당 구역이 재배정되면 지역 센터의 위치 및 중앙 센터의 위치 수정을 다시 수행하며, 센터들의 위치가 수정되면 담당 구역을 재배정한다. 이와 같은 절차를 해의 변화가 더 이상 없을 때까지 반복하게 된다. 이 방법은 반복적 위치-할당 해법을 확장한 것으로 다음과 같이 정리된다.

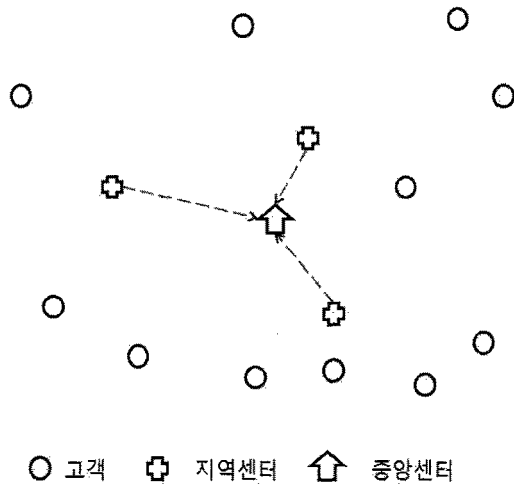


○ 고객 ⊕ 지역센터 ⬆ 중앙센터

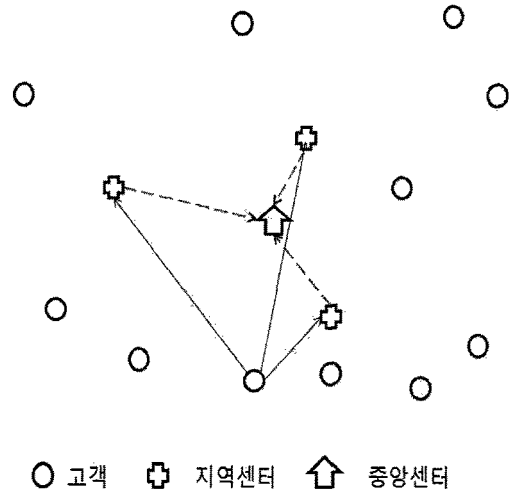
<그림 2> 센터의 위치 초기해



<그림 3> 지역 센터의 위치 조정



<그림 4> 중앙 센터의 위치 조정



<그림 5> 고객별 담당 구역의 재할당

확장된 반복적 위치-할당 해법

(EILA: Expanded Iterative Location Allocation)

단계 1 : 지역 센터의 위치, 중앙 센터의 위치, 지역 센터의 담당 구역을 임의로 배정

단계 2 : 지역 센터별로 할당된 영역내의 고객들과 중앙 센터를 서비스하는 지역 센터의 최소비용위치를 계산

단계 3 : 지역 센터를 서비스하는 중앙 센터의 최소비용위치를 계산

단계 4 : 구해진 센터의 위치에 의해서 지역 센터별 영역 재할당

(각 고객별로 가장 가까운 고객 센터에 배정)

단계 5 : 지역 센터와 중앙 센터의 위치가 변하지 않을 때 까지 단계 2,3,4를 반복

4.3 GRASP 초기해법

EILA 역시 초기해에 따라 구해지는 근사 최적해가 다르기 때문에 여러 종류의 초기해에서 출발하여 EILA를 적용하였다. 이 때 초기해를 구하는 방법은 지역 센터별 소비자 담당 구역을 먼저 설정하고 담당 구역별 지역 센터의 위치를 결정하는 선배정 방식과 지역 센터의 위치를 먼저 결정하고 지역 센터별 담당 구역을 결정하는 선위치 방식의 두 가지 대안을 고려하였다.

4.3.1 선배정 초기해법

선배정 초기해법(AFSeed: Allocation First Seed)

단계 1 : 지역 센터의 담당 구역을 임의로 결정한다.

단계 2 : 지역 센터별로 할당된 영역내의 고객들과 중앙 센터를 서비스하는 지역 센터의 최소비용위치를 계산

단계 3 : 지역 센터를 서비스하는 중앙 센터의 최소비용위치를 계산

4.3.2 선위치 초기해법

선위치 초기해법(LFSeed: Location First Seed)

단계 1 : 지역 센터의 위치, 중앙 센터의 위치를 임의로 배정

단계 2 : 구해진 센터의 위치에 의해서 지역 센터별 영역 재할당(각 고객별로 가장 가까운 고객 센터에 배정)

4.4 개발된 GRASP 해법

이 상을 종합하면 우리가 개발한 EWP를 위한 GRASP은 다음과 같다.

EILA를 이용한 GRASP 해법

- 단계 1: $x_{best} := \emptyset; f(x_{best}) := \infty;$
 단계 2: *for* $k = 1, 2, \dots, \text{Maxiteration}$
 단계 3: $x := \text{AFSeed}() \text{ or } \text{LFSeed}()$
 단계 4: $x_{current} := \text{EILA}();$
 단계 5: *if* $(f(x_{current}) < f(x_{best}))$
 then $x_{best} := x_{current}$
 단계 6: *endfor*
 단계 7: x_{best} 를 최종해로 선정

5. 실험 및 분석

시스템은 비주얼 스튜디오 시스템에서 GRASP해법을 구축하였으며 Intel Core2 Quad CPU에서 실험을 실시하였다. 실험을 위하여 고객의 수가 100개에서 1000개까지의 문제를 랜덤하게 작성하였다. GRASP에서 지역 탐색은 확장된 반복적 위치-할당 해법을 사용하였고, 초기해는 선배정 방식과 선위치 비교 실험하였다.

5.1 문제의 크기에 따른 비교

첫 번째 실험에서는 모든 크기의 문제에서 지역 센터는 5개를 개설하는 경우에 대하여 실험을 실시하였다. 각 문제별로 20번씩 반복 실험을 실시하였다. 먼저 목적함수 값에 대한 비교 실험에서 평균적으로 선위치 방식이 선배정 방식보다 우수하였다. <표 1>에 의하면 평균적으로 초기해를 선위치 방식으로 구하는 경우 최종해의 목적함수 값이 선배정 방식의 89%정도였다.

<그림 6>에 의하면 문제의 크기가 증가함에 따라 목적함수의 차이는 점점 커져서 큰 문제의 경우에도 선위치 방식의 초기해 방법이 우수한 것으로 나타났다.

초기해를 구하는 방법에 따라 요구되는 연산 시간에 대한 실험 결과가 <표 2>에 제시되었다. 연산 시간의 경우에 평균 시간이 선위치 방식이 선배정 방식의 25.8%대 정도로 나와서 선위치 방식이 우수한 것으로 나타났다. <그림 7>에 따르면 문제의 크기가 증가함에 따라 선배정 방식의 연산시간 증가율은 선위치 방식의 증가율 보다 더 커서 큰 문제의 경우에도 선위치 방식이 더 우수한 것으로 나타났다.

5.2 지역 센터의 크기에 따른 비교

두 번째 실험은 고객의 수가 500개인 문제에 대하

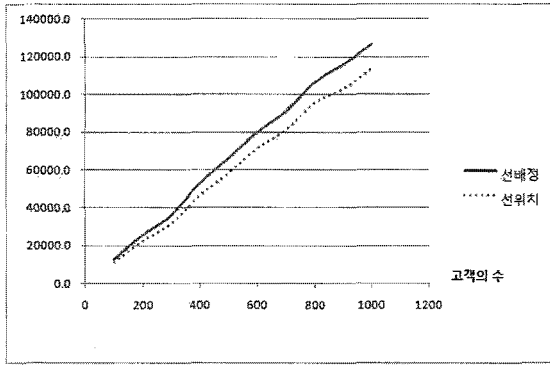
여 지역 센터의 수를 1개를 개설하는 경우부터 50개를 개설하는 경우까지를 비교 실험하였다. <그림 8>은 지역 센터의 수에 따른 두 초기해법의 목적함수 값의 도표화 하였다. 지역 센터가 하나인 경우는 선 배정 방식과 선위치 방식에 상관없이 목적 함수 값이 동일하였다. 그러나 지역 센터의 수가 증가함에 따라 선위치 방식에 의해서 구해진 해의 목적함수 값이 더 우수하였다. <그림 9>는 지역 센터에 따른 초기 해법간의 연산 시간을 비교한 결과가 제시되어 있다. 연산 시간의 경우에도 선위치 방식의 초기해가 우수하였으며 지역 센터의 수가 증가할수록 그 격차는 더 크게 차이가 났다.

<표 1> 선배정 초기해법과 선위치 초기해법의 목적함수값 비교

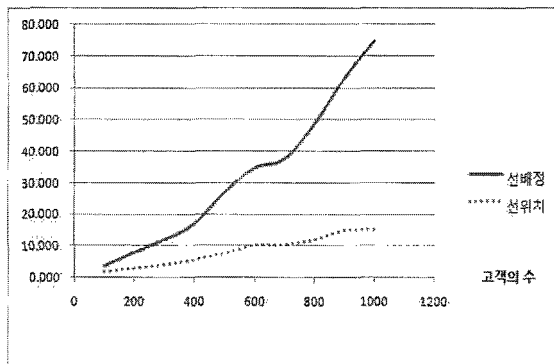
| 고객의 수 | 선배정 | 선위치 | 비율(%) |
|-------|----------|----------|-------|
| 100 | 12752.5 | 11470.1 | 89.9 |
| 200 | 25542.3 | 22643.7 | 88.7 |
| 300 | 36053.4 | 31910.0 | 88.5 |
| 400 | 52617.3 | 46368.7 | 88.1 |
| 500 | 65929.7 | 58062.7 | 88.1 |
| 600 | 79776.5 | 71259.2 | 89.3 |
| 700 | 91024.1 | 81262.3 | 89.3 |
| 800 | 106490.6 | 95550.3 | 89.7 |
| 900 | 115965.4 | 102924.7 | 88.8 |
| 1000 | 126874.6 | 113453.7 | 89.4 |
| 평균 | 71302.6 | 63490.6 | 89.0 |

<표 2> 선배정 초기해법과 선위치 초기해법의 연산시간 비교

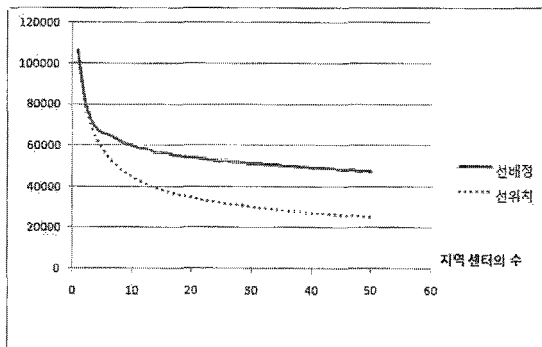
| 고객의 수 | 선배정(초) | 선위치(초) | 비율(%) |
|-------|--------|--------|-------|
| 100 | 3.771 | 1.778 | 47.1 |
| 200 | 8.062 | 2.821 | 35.0 |
| 300 | 12.044 | 3.970 | 33.0 |
| 400 | 17.033 | 5.614 | 33.0 |
| 500 | 26.889 | 7.639 | 28.4 |
| 600 | 34.760 | 10.135 | 29.2 |
| 700 | 37.667 | 10.379 | 27.6 |
| 800 | 48.992 | 11.940 | 24.4 |
| 900 | 63.317 | 14.984 | 23.7 |
| 1000 | 74.606 | 15.284 | 20.5 |
| 평균 | 32.714 | 8.455 | 25.8 |



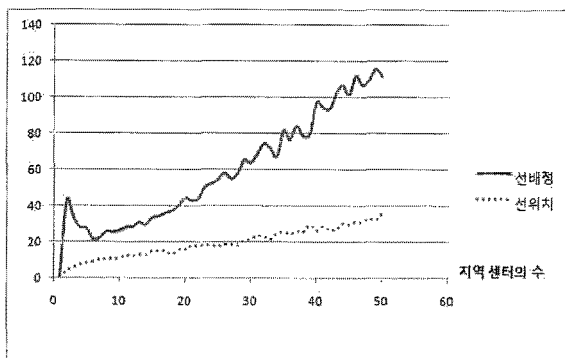
<그림 6> 문제의 크기에 따른 목적함수의 비교



<그림 7> 문제의 크기에 따른 연산시간의 비교



<그림 8> 지역 센터 수에 따른 목적함수의 비교



<그림 9> 지역 센터 수에 따른 연산시간의 비교

6. 결론

본 연구는 고객들의 반품과 폐기물을 처리하는 지역 센터와 지역 센터에서 수거된 반품 및 폐기물을 처리하는 중앙 센터로 구성된 역물류 네트워크에서 지역 센터의 담당 구역을 설정하고 지역 센터와 중앙 센터의 위치를 결정하는 확장된 복수 Weber 문제를 다루고 있다. 많은 역물류 네트워크 설계 문제가 후보 센터들의 위치가 알려진 상태에서 센터의 설치와 담당 구역 설정 문제를 다루고 있으나 본 연구에서는 후보 센터의 위치가 알려져 있지 않은 상태에서 센터의 공간상의 위치와 담당구역을 결정하는 문제를 다루고 있다.

해법으로는 GRASP을 사용하였다. GRASP해법은 지역 탐색을 기본으로 활용하면서 초기해를 반복적으로 변화시켜서 우수한 근사 최적해를 탐색하는 해법이다.

본 연구에서는 반복적 위치-할당 해법을 수정 보완한 확장된 반복적 위치-할당 해법을 도입하였다. 초기해 방법으로는 지역 센터의 할당을 먼저 하는 선택정 초기해법과 센터들의 위치를 먼저 설정하는 선위치 초기해법을 사용하였다. 고객의 수에 따른 해법간의 비교 실험에서 선위치 초기해법이 목적함수 값과 연산시간 면에서 더 우수한 것을 알 수 있었다. 지역 센터의 수에 따른 해법간의 비교 실험에서도 선위치 초기해법이 목적함수 값과 연산 시간 면에서 더 우수한 것으로 밝혀졌다.

본 연구의 결과를 이용하여 향후 중앙 센터의 수가 복수인 경우 또는 센터의 용량에 대한 제약이나 설비 투자의 제한이 있는 역물류 네트워크 설계 문제를 연구하려고 한다.

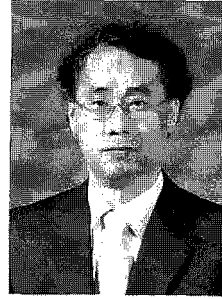
7. 참고 문헌

- [1] Brinberg, J., P. Hansen, N. Madenović, and E.D. Taillard "Improvements and Comparison of Heuristics for Solving the Uncapacitated Multisource Weber Problem" *Operations research*, 48, no.3 (2000):444-460.
- [2] Cooper, L. "Heuristic Methods for Location - Allocation Problems." *SIAM review*, 6, no.1(1964):37-53.
- [3] Cooper, L. "Location - Allocation Problems." *Operations research*, 11, no.3 (1963) :331-343.
- [4] Cruz-Rivera, R., and J.G. Ertel. "Reverse Logistics Network Design for the Collection of End-of-Life Vehicles in Mexico." *European journal of operational research*, 196, no.3 (2009):930-939.
- [5] Festa, P., and M. Resende. "Hybrid Grasp Heuristics." In *Foundations Of Computational*

- Intelligence, edited by A. Abrahametal,(2009) :75-100.
- [6] Francis, R.L., L.F. McGinnis, and J.A. White. Facility Layout and Location : An Analytical Approach. :PrenticeHall, (1992).
- [7] Jayaraman, V., R.A. Patterson, and E. Rolland. "The Design of Reverse Distribution Networks: Models and Solution Procedures." European journal of operational research, 150, no.1 (2003):128-149.
- [8] Ko, HJ., C.S. Ko, and KH Chung. "A Genetic Algorithm Approach for Logistics Network Integrating Forward and Reverse Flows." IE Interfaces, 17, no.5(2004):141-151.
- [9] Lee, J.E., M. Gen, and K.G. Rhee. "Network Model and Optimization of Reverse Logistics by Hybrid Genetic Algorithm" Computers & Industrial Engineering, 56, no.3 (2009):951-964.
- [10] Min, H, and HJ. Ko "The Dynamic Design of a Reverse Logistics Network from the Perspective of Third-Party Logistics Service Providers." International Journal of Production Economics, 113, no.1 (2008) :176-192.
- [11] Yang, B. "Development of a Package for the Location Problem by Coordinate System" Korean Management Science Review, 12, no.3(1995):117-134.

저 자 소 개

양 병 학



서울대학교 산업공학과에서 학사, 석사, 및 박사학위를 취득하였고 동경공업대학교와 테네시 주립대학교에서 객원 연구원으로 활동하였다. 현재 경원대학교 산업정보시스템공학과 교수로 재직 중이며 주요 관심분야는 물류관리, 공급사슬관리 및 메타 휴리스틱이다.

주소: 경기도 성남시 수정구 복정동 산65 경원대학교 산업정보시스템공학과