

기피비용과 수송비용을 고려한 기피시설 입지문제

양 병 학*

*가천대학교 산업경영공학과

An unwanted facility location problem with negative influence cost and transportation cost

Byoung-Hak Yang*

*Department of Industrial Engineering, Gachon University

Abstract

In the location science, environmental effect becomes a new main consideration for site selection. For the unwanted facility location selection, decision makers should consider the cost of resolving the environmental conflict. We introduced the negative influence cost for the facility which was inversely proportional to distance between the facility and residents. An unwanted facility location problem was suggested to minimize the sum of the negative influence cost and the transportation cost. The objective cost function was analyzed as nonlinear type and was neither convex nor concave. Three GRASP (Greedy Randomized adaptive Search Procedure) methods as like Random_GRASP, Epsilon_GRASP and GRID_GRASP were developed to solve the unwanted facility location problem. The Newton's method for nonlinear optimization problem was used for local search in GRASP. Experimental results showed that quality of solution of the GRID_GRASP was better than those of Random_GRASP and Epsilon_GRASP. The calculation time of Random_GRASP and Epsilon_GRASP were faster than that of Grid_GRASP.

Keyword : Unwanted facility location, GRASP, Nonlinear programming, Newton's Method

1. 서 론

입지 문제는 물류, 경제학 분야에서 오랜 기간 연구되어온 분야이다. 최근 환경 물류에 대한 많은 연구가 진행되면서 기존의 입지 문제에서 재활용, 폐기물과 관련된 입지 문제를 다루는 새로운 연구가 진행되고 있다[5]. 고희정 외 2인[2]는 역물류와 순방향 물류를 통합한 수송비용 최소화 문제에 대한 유전 해법을 제시한바 있다. 이러한 연구들은 순방향 물류와 역방향 물류를 통합했을 때 총 비용을 최소화하는 입지 문제들을 다루고 있으며 그때의 비용은 주로 수송비용과 생

산 비용이다[9][15][17]. 그런데 박종화[4]에 의하면 환경관련 시설의 입지 문제에서는 다른 측면의 비용을 고려해야 하고 폐기물 매립시설 및 소각시설, 하수처리 시설, 공원묘지시설, 정신병동 등 각종 기피시설의 입지갈등문제가 보편적으로 나타나고 있다. 김형락과 최진식[1]의 연구에 의하면 기피시설에 대한 주민들의 반대로 인한 사회적 갈등으로는 서울시 원지동의 추모공원의 사례에서 알 수 있듯이 사업의 진행을 어렵게 하고 있다. 기피시설 문제를 다루는 기존의 연구들은 기피시설 인근 지역의 주민들의 반대를 완화하기 위한 협상과 경제적 보상에 관한 연구들이었다[4][6][7].

† 이 논문은 2013년도 가천대학교 교내연구비 지원에 의한 결과임. (GCU-2013-R003)

† Corresponding Author: Byoung-hak Yang, Department of Industrial Engineering, Gachon University, 1342 Seongnamdaero, Sujeong-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do, Korea.

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

Received January 4, 2013; Revision Received March 12, 2013; Accepted March 12, 2013.

<Table 1> Related Research on unwanted facility location problem

주요 선행 연구	연구내용	비고
박종화[4]	기피시설의 입지갈등 문제의 실태 분석	
김재철[3]	비선호시설의 입지갈등요인과 대안적 입지모형의 모색	사례 조사
김형락, 최진식[1]	공공갈등 조정과 해결 유형에 관한 연구	사례 조사
최열, 최재도[10]	기피시설 입지의 지역별 비교 및 결정요인 분석	설문 조사
최영국, 이순자[11]	기피시설 입지근접정도에 따른 주민 간 견해차이 분석	설문 조사
Isard와 Liossatos[14]	거리에 비례하는 비용과 거리에 반비례하는 비용을 고려한 입지 문제 제시	단일 거주지에 대한 모형

또한 연구 내용도 입지 후보지역을 선정한 이후 주민과의 갈등이 발생한 경우에 대한 사례 연구[1, 3]나 기피시설 인근 주민들에 대한 설문 조사[10] 또는 정책적 방향[8]을 제시하는 정도이다. 기피시설 때문에 발생하는 부정적인 비용을 기피비용이라 한다면 기피시설의 입지 문제에서는 기피비용을 고려해야 한다. 최영국과 이순자[11]는 기피시설에 대한 반발은 자신의 거주지에 가까울수록 커지고 멀어질수록 작아지는 성격을 가지고 있다고 했다. 이러한 사례들을 살펴보면 기피비용과 같은 부정적 비용은 거주지로부터의 거리에 반비례한다고 추정 할 수 있다. 쓰레기 매립지나 소각장의 경우에 거주지로부터 멀수록 설치가 쉽지만 거리가 멀면 수송비용이 크게 발생한다. 그러므로 우리는 기피시설의 후보지를 선정할 때 기피비용과 수송비용을 동시에 고려하는 기피시설 입지 문제를 해결하려고 한다. 또한 최근의 기피시설은 여러 지역 주민들이 관련된 문제여서 다수 거주지를 고려한 기피시설 입지 문제를 해결할 필요가 있다. 주요한 선행 연구는 <Table 1>과 같다.

입지 문제에서 후보지의 위치가 미리 결정되어 있지 않으면 2차원 공간상에서 시설의 위치를 결정하는 연속적 입지 모형으로 접근한다[16]. 본 연구에서는 다루려는 문제는 다수의 거주지가 존재하는 2차원 공간상에서 하나의 기피시설의 위치를 결정하는 입지 모형의 범주에 속한다. 우리는 다수 거주지를 위한 하나의 기피시설을 설치하는 상황에서 기피비용과 수송비용을 고려한 기피시설 입지 문제를 제시하고, 기피시설 입지 문제의 성격을 규명하며, 제시된 기피시설 문제에 대한 효율적인 해법을 구축하는 것을 연구의 목표로 하고 있다.

2장에서는 기피시설 입지 문제의 비용 곡선의 성질을 다루고 있으며, 3장에서는 기피시설 문제를 위한 해법을 소개한다. 4장에서는 개발된 해법간의 비교 실험 결과를 제시하며 5장에서 본 연구의 결론을 제시하고 있다.

2. 문제 설명 및 비용 곡선

입지 문제 중에서 거리에 비례하는 수송비용과 거리에 반비례하는 비용을 동시에 고려한 경우는 Isard와 Liossatos[14]의 연구가 있었다. 그들은 전통적인 입지 문제가 총 수송비용을 최소화하는 경우만 고려한다고 비판하고 거리에 반비례하는 비용을 추가비용으로서 고려할 것을 제안하였다. 그러나 문제의 복잡성 때문에 하나의 거주지에 대한 설비의 입지 문제를 제시하고 이때의 최적점을 미분에 의해서 구하고 문제의 성격을 해석하였다. 본 연구에서는 Isard와 Liossatos[14]의 연구 모형에서 거주지가 하나인 경우에서 거주지가 다수개인 것으로 확장하였다.

본 연구에서 다루려는 기피시설 입지 문제에는 주민이 거주하는 거주지가 n 개 존재한다. 거주지는 2차원 공간에 존재하며 x 축과 y 축에서 각각 최솟값 0이고 최댓값이 1인 사각형 영역에 존재하고, 두 지점간의 거리는 직선거리를 가정하였다. 신설되는 기피시설의 수는 하나이며 그 위치를 결정해야 한다. 기피시설의 위치 (x, y) 에 따라 기피비용은 각 거주지에서 기피시설까지의 직선거리에 반비례하며 수송비용은 직선거리에 선형 비례한다. 거리별 기피비용과 수송비용은 거주지에 무관하게 동일한 것으로 가정하였다.

이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

상수
 n : 거주지의 수
 $P_i = (a_i, b_i)$: 거주지 i 의 위치좌표
 $0 \leq a_i \leq 1, 0 \leq b_i \leq 1$
 T : 단위거리당 수송비용
 U : 단위거리당 기피비용

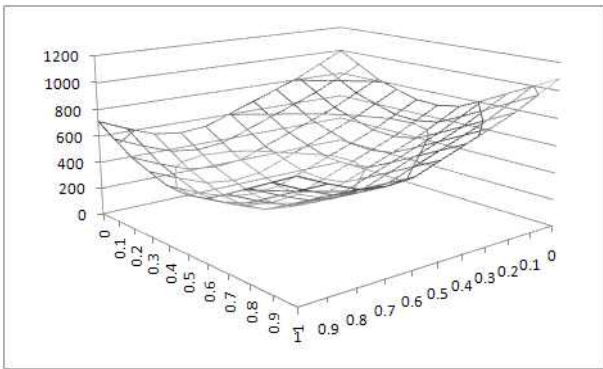
결정변수
 $X = (x, y)$: 기피시설의 위치 좌표

목적함수

$$\min f(X) = \sum_i^n (T\sqrt{(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2} + U/\sqrt{(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2})$$

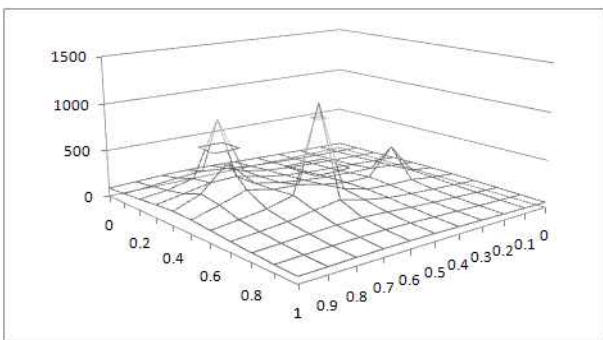
특별히 추가의 제약이 없다면 이 문제는 제약식이 없는 비선형계획법 문제가 된다. 거주지가 다수인 경우에 이와 같이 목적함수식이 복잡하여 최적점을 쉽게 구할 수 없는 형태의 문제가 된다. 이를 알아보기 위해서 거주지가 4개인 경우에 대하여 수송비용 곡선과 기피비용 곡선 그리고 총비용 곡선을 제시한 것이 <Figure 1>, <Figure 2>, <Figure 3>이다.

먼저 <Figure 1>은 수송비용을 곡면으로 제시하였다. 수송비용만을 고려하는 경우에는 목적함수식은 아래로 볼록한 형태이고 따라서 비선형계획법에 의하여 최적해를 구할 수 있다.



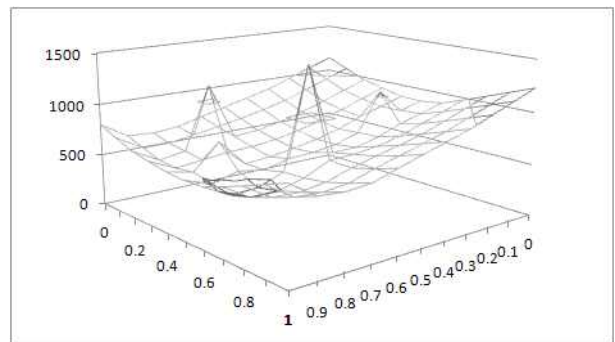
<Figure 1> Transportation cost for 4 resident area. (X,Y) is a location of facility. Z is the transportation cost for 4 resident area.

<Figure 2>는 기피비용을 제시하였다. 각 거주지에 근접할수록 높은 기피비용이 발생하고 거주지에서 멀어질수록 기피비용은 작아진다. 기피비용은 전체 거주지에서 멀리 떨어질수록 감소하는 형태이다. 하나의 거주지에 대해서는 기피비용은 위로 볼록한 형태이지만 다수 거주지 영역에 대한 기피비용의 합은 볼록 함수의 형태를 보이지 않고 불규칙한 형태의 곡선 모양을 보여 주고 있다.



<Figure 2> Unwanted cost for 4 resident area. (X,Y) is a location of facility. Z is the unwanted cost for 4 resident area.

<Figure 3>은 기피비용과 수송비용의 합인 총비용을 3차원으로 표시하였다. 거주지 근처는 기피비용 때문에 총비용이 증가하고 외곽지역은 수송비용 때문에 총비용이 증가한다. 수송비용을 절감하기 위해서는 거주지의 근처가 유리하지만, 거주지의 근처는 기피비용이 높게 발생하게 된다. 반대로 거주지로부터 멀리 떨어진 지역은 기피비용이 절감되지만 높은 수송비용이 발생한다. 수송비용과 기피비용이 결합된 총비용 곡선은 기피비용 곡선 때문에 볼록한 형태의 곡선이 아닌 불규칙적인 곡선의 형태를 보인다. <Figure 3>처럼 총비용 곡선은 지역 최적해를 다수 포함하고 있고, 전체 최적해를 찾는 것이 대단히 어려운 문제가 된다.



<Figure 3> Total cost for 4 resident area (X,Y) is a location of facility. Z is the total cost for 4 resident area.

3. 해법의 개발

기피시설 입지 문제가 지역 최적해가 다수 포함된 문제의 유형이어서 최적해를 찾는 것은 어려운 문제이다. 그뿐만 아니라 지역 탐색방법은 하나의 초기해로부터 이웃한 지역 최적해를 찾아주는 방식이기 때문에 최적해를 찾는 것도 어려운 일이다. 이런 경우 지역 탐색을 여러 번 수행하여 최적해를 찾을 가능성을 높이는 GRASP (Greedy Randomized adaptive Search Procedure)이 있다[13].

3.1 지역 탐색 해법

GRASP을 사용하기 위해서는 먼저 지역 탐색 해법을 개발해야 한다. 기피시설 입지 문제는 비선형계획법 문제이며 목적 함수의 형태가 오목 또는 볼록한 성격을 가지고 있지 않다. 비선형계획법 문제에서 사용할 수 있는 지역 탐색 해법으로는 Newton 해법이 가장 대표적이며, Newton 해법은 목적함수식의 2차 편미분

을 이용하여 다음과 같이 지역최적해를 탐색하는 효율적인 방법이다[12].

용어 정의

X_k : Newton해법의 K 번째 해

$$H(X_k) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f(X_k)}{\partial x \partial x} & \frac{\partial^2 f(X_k)}{\partial x \partial y} \\ \frac{\partial^2 f(X_k)}{\partial y \partial x} & \frac{\partial^2 f(X_k)}{\partial y \partial y} \end{bmatrix} : \text{헤시안 행렬}$$

$H(X_k)^{-1}$: 헤시안의 역행렬

비선형 계획법 문제를 위한 Newton해법은 다음과 같다[12].

Newton 해법[12]

단계 1:

$k = 1, X_1 = X$: 임의의 초기해

단계 2:

$X_{k+1} = X_k - H(X_k)^{-1} \Delta f(X_k)$

단계 3:

만약 $\|X_{k+1} - X_k\| \leq \epsilon$ 이면 단계 4로.

아니면 $k=k+1$ 로 두고 단계 2로.

단계 4:

$X' = X_{k+1}$:

X' 을 지역 최적해로 결정하고 해법 종결.

Newton 해법을 기피시설 입지 문제에 적용하기 위해서는 목적함수식의 2차 편미분 행렬인 헤시안 행렬 $H(X)$ 를 구해야한다. 먼저 목적함수에 $f(X)$ 를 1차 편미분하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial f(X)}{\partial x} &= \sum_i^n (T(x - a_i) / \sqrt{(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2} \\ &\quad + U(x - a_i) / [(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2]^{\frac{3}{2}}) \\ \frac{\partial f(X)}{\partial y} &= \sum_i^n (T(y - b_i) / \sqrt{(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2} \\ &\quad + U(y - b_i) / [(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2]^{\frac{3}{2}}) \end{aligned}$$

$f(X)$ 의 1차 편미분 결과를 다시 편미분하여 구한 2차 편미분 결과는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 f(X)}{\partial y \partial x} &= \sum_i^n (-T(x - a_i)(y - b_i) / [(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2]^{\frac{3}{2}} \\ &\quad + 3U(x - a_i)(y - b_i) / [(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2]^{\frac{5}{2}}) \\ \frac{\partial^2 f(X)}{\partial x \partial y} &= \sum_i^n (-T(x - a_i)(y - b_i) / [(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2]^{\frac{3}{2}} \\ &\quad + 3U(x - a_i)(y - b_i) / [(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2]^{\frac{5}{2}}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 f(X)}{\partial x \partial x} &= \sum_i^n (-T(x - a_i)^2 / [(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2]^{\frac{3}{2}} \\ &\quad + T / [(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2]^{\frac{1}{2}} \\ &\quad + 3U(x - a_i)^2 / [(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2]^{\frac{5}{2}} \\ &\quad - U / [(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2]^{\frac{3}{2}}) \\ \frac{\partial^2 f(X)}{\partial y \partial y} &= \sum_i^n (-T(y - b_i)^2 / [(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2]^{\frac{3}{2}} \\ &\quad + T / [(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2]^{\frac{1}{2}} \\ &\quad + 3U(y - b_i)^2 / [(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2]^{\frac{5}{2}} \\ &\quad - U / [(x - a_i)^2 + (y - b_i)^2]^{\frac{3}{2}}) \end{aligned}$$

위와 같이 구한 $f(X)$ 의 2차 편미분 결과를 이용하여 임의의 초기해 X 에 대하여 Newton해법을 적용하면 지역 최적해 X' 을 구할 수 있다.

3.2 탐색 해법의 개발

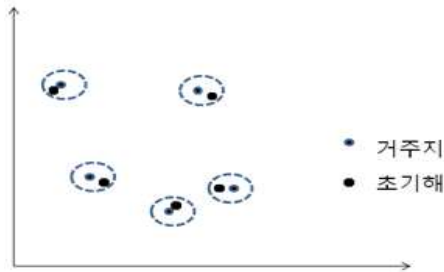
GRASP의 초기해는 지역 최적해의 우수성에 많은 영향을 주게 됨으로 효율적인 GRASP를 개발하기 위해서 초기해를 구하는 방법에 따라서 세 가지 GRASP 해법을 개발하였다. 먼저 다음과 같은 함수를 정의한다.

RAND(): 0에서 1사이의 값을 랜덤하게 생성하는 함수

Newton(X): 초기해 X 로부터 Newton 해법을 적용하여 지역 최적해 X' 를 찾아주는 함수.

e: 매우 작은 값에 해당하는 상수.

3.2.1 거주지 인근 초기해법



<Figure 4> Initial solutions for Epsilon_GRASP

해 공간상에서 기존의 거주지 P_i 근처에서 초기해를 발생시키고 지역 최적해를 탐색하도록 하는 방법이다. 거주지 P_i 에서 랜덤함수와 작은 상수 e 를 이용하여 초기해를 생성했으며 이를 Epsilon_GRASP(거주지 인근 초기해법)이라 정의하였다. GRASP의 한 iteration마다 모든 거주지로부터 랜덤함수에 의해 거주지의 이웃점을 초기해로 선택하고 이 초기해로부터 지역최적해를 탐색하고 가장 우수한 지역 최적해를 최우수해로 저장하였다. 이러한 탐색을 GRASP의 한 iteration마다 반복하였다. 종료 조건은 최대 iteration수를 50회로 하고 최우수해가 수정되지 않는 iteration이 10회 이상 되면 종료하도록 하였다.

Epsilon_GRASP

단계 1: 초기화

최우수해 $X^* = \emptyset$, $f(X^*) = 100000$, $it = 1$, $Max_it = 50$

단계 2: $i = 1$

단계 3: 초기해

$$X = P_i + e * (RAND(), RAND())$$

단계 4: 지역 탐색

$$X' = \text{Newton}(X)$$

단계 5: 만약 $f(X') < f(X^*)$ 이면 $X^* = X'$

단계 6: $i = i + 1$, 만약 $i < n$ 이면 단계 3으로 이동

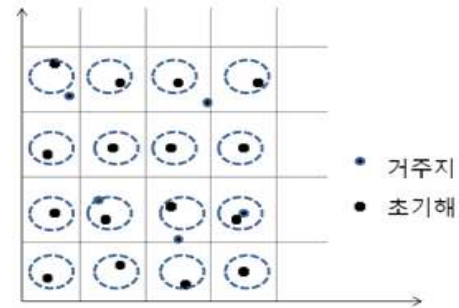
단계 7: 종결 규칙

it 가 50회에 도달하거나 최우수해의 수정이 10회 동안 이루어지지 않으면 종결.

그렇지 않으면 $it = it + 1$ 로 두고 단계2.

3.2.2 격자 초기해법

초기해 공간을 기존의 거주지와 무관하게 가능하면 모든 가능 구역에서 고르게 탐색하기 위해 2차 공간상에 격자모양으로 구획을 설정한 후 각 격자마다 랜덤하게 초기해를 발생시켰다. 초기해가 격자 마다 발생하여 이를 Grid_GRASP(격자 초기해법)이라 정의하였다.



<Figure 5> Initial solutions on Grid_GRASP

격자의 눈금은 x축에 대하여 50개, y축에 대하여 50개로 설정하였다. 이 방법은 전체 해 공간에서 초기해가 고르게 분포하도록 시도한 것이다. 이 방법에서도 한번의 iteration마다 모든 격자에서 하나의 초기해를 발생시키고 지역 탐색을 수행하였다. 종료 조건과 최우수해 저장 방법은 Epsilon_GRASP과 동일한 방법을 사용했다.

Grid_GRASP

단계 1: 초기화

최우수해 $X^* = \emptyset$, $f(X^*) = 100000$, $it = 1$, $Max_it = 50$

단계 2: $j = 1, k = 1$

단계 3: 초기해

$$X = ((j-1 + RAND())/50, (k-1 + RAND())/50)$$

단계 4: 지역 탐색

$$X' = \text{Newton}(X)$$

단계 5: 만약 $f(X') < f(X^*)$ 이면 $X^* = X'$

단계 6: $k = k + 1$, 만약 $k < 50$ 이면 단계 3으로 이동

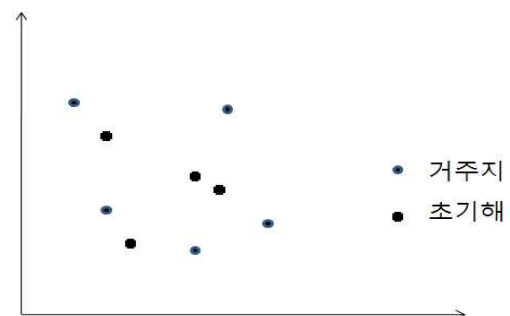
단계 7: $j = j + 1$, 만약 $j < 50$ 이면 단계 3으로 이동

단계 8: 종결 규칙

it 가 50회에 도달하거나 최우수해의 수정이 10회 동안 이루어지지 않으면 종결.

그렇지 않으면 $it = it + 1$ 로 두고 단계2.

3.2.3 임의 초기해법



<Figure 6> Initial solutions on Random_GRASP

초기해를 2차원 공간상에 랜덤 함수를 이용하여 임의의 점으로 선정하였다. GRASP에서 한번의 iteration을 수행할 때 모두 거주지의 수만큼의 임의의 초기해를 발생시켰다. 이때 초기해는 거주지와는 무관하게 전체 해공간에서 랜덤하게 발생시켰으며 이를 Random_GRASP(임의 초기해법)이라 정의하였다. 임의로 발생한 초기해들에 대하여 차례로 Newton 해법을 적용하여 이웃한 지역 최적해들을 탐색하였다. GRASP의 한 iteration마다 이와 같은 절차를 반복하였다. 종료 조건과 최우수해 저장 방법은 Epsilon_GRASP과 동일한 방법을 사용했다.

```

Random_GRASP
단계 1: 초기화
    최우수해  $X^* = \emptyset$ ,  $f(X^*) = 100000$ ,  $it = 1$ ,  $Max\_it = 50$ 
단계 2:  $i = 1$ 
단계 3: 초기해
     $X = (RAND(), RAND())$ 
단계 4: 지역 탐색
     $X' = Newton(X)$ 
단계 5: 만약  $f(X') < f(X^*)$  이면  $X^* = X'$ 
단계 6:  $i = i + 1$ , 만약  $i < n$  이면 단계 3으로 이동
단계 7: 종결 규칙
     $it$ 가 50회에 도달하거나 최우수해의 수정이 10회 동안 이루어지지 않으면 종결.
    그렇지 않으면  $it = it + 1$ 로 두고 단계2.
    
```

<Table 2> Data example for each problems

문제의 크기	거주지 i의 x좌표	거주지 i의 y좌표	단위거리 당 수송비용	단위거리 당 기피비용
100	0.03539	0.65478	50	1
	(~이하 99개)			
200	0.8861	0.37099	50	1
	(~이하 199개)			
300	0.62613	0.98005	50	1
	(~이하 299개)			
400	0.66783	0.51183	50	1
	(~이하 399개)			
500	0.69222	0.07831	50	1
	(~이하 499개)			
600	0.20585	0.81419	50	1
	(~이하 599개)			
700	0.6868	0.58607	50	1
	(~이하 699개)			
800	0.14794	0.09562	50	1
	(~이하 799개)			
900	0.72645	0.97975	50	1
	(~이하 899개)			
1000	0.15847	0.84162	50	1
	(~이하 999개)			

4. 거주지 인근 초기해법, 격자 초기해법, 임의 초기해법 간의 비교 실험

세 가지 GRASP해법을 C++로 구현하였다. 실험을 위하여 거주지의 수가 100개에서 1000개까지의 거주지의 수를 100개씩 증가시키면서 모두 10개의 실험 문제를 랜덤하게 작성하였다. 10개 문제는 세 가지 해법에 동일하게 사용하였으며 실험 문제 크기별로 사용된 거

주지 자료의 일부 예는 <Table 2>와 같다.

각 문제당 10번의 반복 실험을 실시하였으며 실험에 사용된 컴퓨터의 CPU는 인텔 Core2 Duo 2.2GHz이었으며 Visual Studio 2008에서 실험 프로그램을 구축하였다.

먼저 세 가지 해법의 문제 크기 별 목적함수 값을 10번의 반복 실험하여 최소값, 최댓값, 평균값을 <Table 3>에 제시하였다. 평균값에 대하여 비교해 보면 Grid_GRASP이 모든 문제의 크기에서 우수한 해를 제공하였다. Random_GRASP은 Grid_GRASP과 유사

했지만 문제 크기 100, 300, 600개 문제에서 불리하게 나왔다. 또한 Random_GRASP은 문제 크기 1000개 문제를 제외하면 최댓값에서도 불리하게 나왔다. 따라서 목적함수 값의 우수성에서는 Grid_GRASP이 가장 우수한 것으로 판단된다. Epsilon_GRASP은 목적함수 값의 평균에서 다른 해법보다 불리한 해를 제공하고 있으며 최솟값과 최댓값이 다른 해법보다 크게 차이나서 해법을 수행할 때마다 다른 해를 제공하는 경향이 나타났다. 또한 Epsilon_GRASP으로 구한 최솟값이 Grid_GRASP이나 Random_GRASP의 평균보다도 불리하게 나왔다. 해의 품질 면에서 Epsilon_GRASP은 다

른 해법보다 불리한 해법으로 판단된다.

다음으로 <Table 4>에 연산 시간을 해법 별 문제의 크기 별로 제시하였다. 연산시간의 평균에서는 Epsilon_GRASP과 Random_GRASP이 비슷하게 우수하게 나왔으며 전체 10개 문제 중 각각 5개씩 Epsilon_GRASP과 Random_GRASP가 우수한 것으로 나왔다. 전체적으로 Random_GRASP이 연산 시간이 가장 우수한 것으로 판단된다. 반면에 Grid_GRASP은 연산시간은 불리한 것으로 분석되었다. Grid_GRASP은 최소연산시간이 나머지 두 해법의 최대연산시간보다도 큰 것으로 분석되었다.

<Table 3> Objective function values on each methods

문제의 크기	Epsilon_GRASP			Grid_GRASP			Random_GRASP		
	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대
100	2594.9	2632.3	2676.5	2121.1	<u>2121.1</u>	2121.1	2121.1	2121.2	2121.6
200	4948.2	4991.8	5070.8	4501.6	<u>4501.6</u>	4501.6	4501.6	<u>4501.6</u>	4501.8
300	6966.0	7263.2	7422.7	6890.7	<u>6890.7</u>	6890.7	6890.7	6890.8	6890.9
400	9575.1	9593.3	9623.0	9070.8	<u>9070.8</u>	9070.8	9070.8	<u>9070.8</u>	9070.9
500	11446.2	11473.0	11502.7	10958.1	<u>10958.1</u>	10958.1	10958.1	<u>10958.1</u>	10958.3
600	13682.3	13795.7	13875.1	13313.5	<u>13313.5</u>	13313.5	13313.5	13313.6	13314.0
700	15952.2	15985.5	16033.9	15510.0	<u>15510.0</u>	15510.0	15510.0	<u>15510.0</u>	15510.0
800	18417.4	18466.0	18526.5	17982.9	<u>17983.0</u>	17983.0	17982.9	<u>17983.0</u>	17983.4
900	20934.5	20984.5	21006.1	20488.7	<u>20488.7</u>	20488.7	20488.7	<u>20488.7</u>	20488.9
1000	23021.7	23045.2	23076.4	22560.5	<u>22560.6</u>	22560.8	22560.5	<u>22560.6</u>	22560.7
평균		12823.1			<u>12339.8</u>			<u>12339.8</u>	

<Table 4> Calculations times on each methods

문제의 크기	Epsilon_GRASP			Grid_GRASP			Random_GRASP		
	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대
100	0	<u>0.2</u>	1	5	11.1	21	0	0.3	1
200	0	<u>1</u>	2	10	17.3	34	0	1.3	3
300	2	<u>3.2</u>	5	15	20.7	36	2	3	4
400	3	5.5	9	21	29.9	37	3	<u>5.1</u>	8
500	5	8	12	26	47.6	93	5	<u>7.4</u>	11
600	7	12.8	21	35	53.9	72	7	<u>11.9</u>	20
700	11	16.1	25	40	64.3	121	10	<u>14.2</u>	23
800	15	<u>18.1</u>	31	38	52.6	73	12	21	37
900	16	<u>22</u>	38	44	66.3	95	17	27.6	44
1000	20	40.6	58	52	78.9	136	20	<u>33.8</u>	49
평균		12.75			44.26			<u>12.56</u>	

5. 결 론

최근 환경과 관련된 입지 문제는 물류 분야의 중요한 주제가 되어 많은 연구가 진행되고 있다. 그런데 기존의 연구들은 순방향 물류와 역방향 물류의 통합의 측면에서 수송비용과 역물류 처리비용만을 고려한 입지 문제를 다루고 있었다. 한편 환경관련 시설이 기피시설이어서 기피시설이 입지해야 하는 주변 주민들의 반대와 이를 처리하는 사회적 비용이 막대하게 발생하여 이를 최소화할 수 있는 정책에 관한 연구들도 많이 이루어지고 있었다. 본 연구에서는 기피시설의 후보지를 선정할 때 사용자 측면의 수송비용과 주민 입장의 기피비용을 동시에 고려하는 기피시설 입지 문제를 제안하였다.

제안된 기피시설 문제는 비선형최적화 문제이며 목적함수식이 볼록 또는 오목함수의 형태가 아니어서 다수의 지역 최적해를 내포하고 있다는 것을 보이고 전체 최적해를 구하기 힘든 문제의 형태라는 것을 밝혔다.

이러한 비선형최적화 문제를 해결하기 위해 지역 탐색 해법으로는 Newton 해법을 사용하였고, 더 우수한 지역 최적해를 탐색하기 위해서 GRASP해법을 사용하였다. GRASP해법에서 초기해를 발생시키는 방법에 따라 Random_GRASP, Epsilon_GRASP, Grid_GRASP이라는 세 가지 GRASP 해법을 설계하였다. 세 가지 해법간의 우수성 비교를 위하여 C++로 프로그램을 구축하고, 연산 시간과 해의 우수성에 대하여 거주지의 수가 100개에서 1000개까지의 10개의 실험 문제를 사용하여 비교 실험을 실시하였다. 실험 결과에 의하면 해의 우수성에서는 Grid_GRASP 해법이 우수했으며, 연산 시간에서는 Random_GRASP, Epsilon_GRASP 해법이 우수하였다.

우리가 해결한 문제는 다수의 거주지를 서비스할 하나의 기피시설을 설치하는 경우였다. 이 연구를 기반으로 복수의 기피시설을 설치하는 경우와 추가적인 제약 조건을 고려하는 경우의 문제를 해결할 수 있는 해법을 개발하려고 한다.

6. 참 고 문 헌

- [1] 김형락, 최진식. "공공갈등 조정과 해결 유형에 관한 연구." 한국행정학회 학술대회 발표논문집 (2009): 319-335.
- [2] Ko, H.J., C. S. Ko, K. H. Chang. "A Genetic Algorithm Approach for Logistics Network Integrating Forward and Reverse Flows." IE Interfaces, 17 (5) (2004): 141-151.
- [3] Kim, J.C. "The Conflict Factors and Alternative Siting Models of LULUs." The Geographical Journal of Korea, 33 (3) (1999): 155-171.
- [4] Park, J.H. "Conflicts over the Siting of Locally Unwanted Facilities and An Overlapping Consensus" The Journal of Korea Planners Association, 35 (5) (2000): 261-277.
- [5] Yang, B.H., "A Literature Survey on the Green Logistics in Korea during 21C" Journal of the Korean Institute of Plant Engineering", 15 (1) (2009): 27-36.
- [6] Lee, M.H., N.H. Choi "Causal Loops and Stock-Flow Models of Project Delay Confronted with Location of Locally Unwanted Facilities." Korean System Dynamics Review, 7 (1) (2006): 91-118.
- [7] Lee, M. H., D.C. Kim "LULUs and Conflict Management: Model Buildings for Compensation Standards and Limitations." The Journal of Korea Planners Association, 34 (3) (1999): 169-190.
- [8] Lee, S.J. "A Theoretical Explanation on the Resolution of Environmental Conflicts and its Institutionalization." Journal of Environmental Policy and Administration 14 (1) (2006): 75-98.
- [9] Lee, J.S. "Reverse Logistics Network Design for Reuse, Remanufacturing and Recycling." Korea Logistics Review, 14 (1) (2004): 77-104.
- [10] Choi, Y, Choi J.D. "Comparative Analysis on NIMBY Facility and Location - Suyeong Nambu Haeundae Sewage Disposal Plants Cases-." Journal of the Korean Society of Civil Engineers D, 26 (3D) (2006): 491-497.
- [11] Choi, Y.G. Lee S.J., "Differences of Residents' Opinions Related to the Proximity of LULUs." The Korea Spatial Planning Review (1997): 37-54.
- [12] Bazaraa, M. C.M. Shetty. Nonlinear Programming Theory and Algorithms. N.Y.: John Wiley & Sons, (1979): 292-297.
- [13] Festa, P., M. Resende. "Hybrid Grasp Heuristics." In Foundations Of Computational Intelligence, edited by A. Abraham et al., (2009) 75-100.
- [14] Isard, W., P. Liossatos. "Industrial Location : Agglomeration and Feedback Analysis." Regional Science Association, 28 (1972): 7-36.
- [15] Lu, Z., N. Bostel. "A Facility Location Model for Logistics Systems Including Reverse Flows: The Case of Remanufacturing Activities." Computers

& operations research, 34 (2) (2007): 299-323.

- [16] ReVelle, C.S., H.A. Eiselt, M.S. Daskin. "A Bibliography for Some Fundamental Problem Categories in Discrete Location Science." European journal of operational research, 184 (3) (2008): 817-848.
- [17] Srivastava, S.K. "Network Design for Reverse Logistics." Omega, 36 (4) (2008): 535-548.

저자 소개

양 병 학



서울대학교 산업공학과에서 학사, 석사 및 박사학위를 취득하였다. 현재 가천대학교 산업경영공학과 교수로 재직 중이다. 주요 관심분야는 물류관리, 공급사슬관리이다.

주소: 경기도 성남시 수정구 가천대학교 산업경영공학과