

유전 알고리즘을 이용한 복수 물류센터 입지분석용 패키지의 개발

양 병 학

경원대학교 산업공학과

Development of a Package for the Multi-Location Problem by Genetic Algorithm

Byung-Hak Yang

We consider a Location-Allocation Problem with the Cost of Land(LAPCL). LAPCL has extremely huge size of problem and complex characteristic of location and allocation problem. Heuristics and decomposition approaches on simple Location-Allocation Problem were well developed in last three decades. Recently, genetic algorithm(GA) is used widely at combinatorics and NLP fields. A lot of research shows that GA has efficiency for finding good solution. Our main motive of this research is developing of a package for LAPCL. We found that LAPCL could be reduced to trivial problem, if locations were given. In this case, we can calculate fitness function by simple technique. We built a database constructed by zipcode, latitude, longitude, administrative address and posted land price. This database enables any real field problem to be coded into a mathematical location problem. We developed a package for a class of multi-location problem at PC. The package allows for an interactive interface between user and computer so that user can generate various solutions easily.

1. 서론

입지모형이란 설비계획을 하는 데 있어 가장 먼저 선행되어야 하는 단계로 공항, 학교, 기계, 창고, 오물 처리장, 생산 공장, 우체국, 병원, 건물 등을 새로이 신축하고자 계획할 때 어느 곳에 입지를 선정하는 것이 가장 비용이 적게 들며 효과적인가를 알아내고자 하는 위치결정문제의 해결방안을 말한다. 그 동안 입지모형에서 다루어진 문제들을 분석해보면 개략적으로 다음과 같이 분류가 된다.

■ 수송비용 형태

수리적인 분석상 수송비용을 직각거리, 직선거리 또는 실제 거리에 의해서 산출한다. 직각거리 및 직선거리를 사용하는 경우에 평면상의 입지모형이라고 하고, 실제거리를 사용하는 경우 네트워크 모형이라고 한다.

■ 후보지의 사전 설정 여부

신설 설비의 입지후보지가 미리 결정된 경우에는 일반적인

로 네트워크 모형화가 가능해서 실제거리를 이용해 해결할 수 있다. 미리 결정되어 있지 않은 경우에는 많은 경우에 평면상의 입지모형으로 해결한다.

■ 입지비용 고려 여부

신설 설비의 후보지가 알려져 있는 경우에는 입지비용의 추정이 가능하여 고려되는 경우가 많이 있으나, 후보지가 미지인 경우에는 입지비용의 추정이 어려워 고려하지 않고 있다.

특히 우리 나라와 같이 경제력에 비하여 토지가격이 높은 곳에서는 후보지의 위치에 따른 수송비뿐만 아니라 토지구매비도 고려하여야 한다. 실제로 수송비만을 고려한 결과 우리나라 전체 매출액의 60% 정도를 발생시키는 수도권 지역이 항상 최적입지로 선정되었다. 이에 비해 수도권은 토지구매비가 높아서 입지에 불리한 조건을 가지고 있었다. 따라서 수송비와 토지구매비를 포함한 건설비를 모두 고려한 분석모형이 요구되고 있다. 본 연구에서 다루려는 문제는 입지문제로 알려진 수리계획문제를 기초로 실제 현장에서 발생하는 입지문제의 상황을 도입한 것이다. 비용함수에 토지구매비를 포함시킴

으로써 입지에 따라 수송비와 건설비가 동시에 변하는 상황을 고려해야 하는 보다 현실적인 문제를 해결하려고 한다. 따라서 본 연구에서 해결하려는 문제는 기존의 문제에 비하여 상당한 수리적 난이도가 요구된다. 본 연구의 목적은 이러한 복잡한 문제를 효율적으로 해결할 수 있는 컴퓨터 시스템을 개발하는 것이다.

2. 연구배경

본 연구에서 다루려는 입지 문제는 이미 많은 연구가 진행된 분야로 다음과 같은 결과가 알려져 있다.

Webb(1968), Rand(1976), Krarup과 Pruzan(1980)은 수배송비용이 분배센터나 배송센터의 위치, 차량의 적재용량과 운행경로 등에 따라 달라지게 됨을 보였다. 오래 전부터 많은 학자와 실무자들이 센터의 위치와 차량운행경로간의 상호 관련 관계를 인식하고는 있었지만, 차량운행경로문제(Vehicle Routing Problem) 자체의 계산상의 복잡성 때문에 입지분석에 차량운행경로를 반영하는 연구는 극히 제한적이었다. Eilon *et al.*(1971)은 분배센터 입지문제(Distribution Center Location Problem)에서 차량운행경로를 고려하였는데, 그는 외판원문제(Traveling Salesman Problem)에 확률방법을 적용하여 배달비용을 추정하였다. 이 추정치는 극히 한정적인 경우에만 유용하다. Federgruen과 Lageweg(1980)은 생산자로부터 소비자에 이르기까지 몇 단계를 거쳐서 상품을 분배하는 계층적 물류시스템을 설계하는 지침을 마련하였는데, 재고는 고려하지 않았다. Laporte와 Nobert(1983)는 여러 지점을 서비스하는 외판원들의 활동거점인 단일차고의 위치를 결정하는 문제를 다루었다. 이때 단일의 최적 차고위치는 차고의 운영비용과 차량운행비용이 최소가 되는 곳이다. 그들은 미리 차량운행경로비용을 추정하는 대신 최적의 차고위치와 복수의외판원의 차량운행경로를 동시에 산출하는 수리모형을 세우고 정수계획모형의 해법을 적용하는 방안을 제시하였다. Perl과 Daskin(1985)은 배달비와 창고운영비의 합계가 최소가 되도록 창고의 수, 규모와 위치, 고객을 관할하는 창고영역, 차량운행경로를 결정하는 창고입지문제와 차량경로문제가 복합된 문제(Warehouse Location Routing Problem)를 다루었다. 그들은 이 문제를 3개의 부분문제로 분할하였다. 배달비용은 부분문제의 하나인 복수차고 차량경로문제를 발전적 해법을 이용하여 푼 결과로 산출된다. 여기서 구해진 차량경로별 배달비용은 다른 부분문제의 하나인 입지문제에 대한 기본 정보로 활용된다. 그들은 입지문제와 차량경로문제를 번갈아 반복하여 풀음으로써 개선된 해를 얻게 되는 발전적 방법을 제시하였다. Daganzo는 차고를 중심으로 일정지역을 여러 구역으로 분할하고, 그 구역 내에 산재해 있는 지점들을 서비스할 차량의 경로를 수작업으로 만들어 가는 과정을 예시하고, 그 방법에 근거해서 구역의 형상에 맞추어 차량이 운행할 거리를 예측하는 간단한 공식을 개발하였다. Daganzo와 Newell(1986)

은 수송비와 재고유지비를 최소화하기 위한 물류시스템의 최적 구조를 찾으려 하였다. 최인찬(1997) 등은 경쟁적 입지선정 문제에서 안정집합을 찾기 위한 유전알고리즘을 제시했다. 최적입지에 대한 컴퓨터 모델로는 양병학(1995)의 직선거리를 기초로 한 평면상의 최적입지에 대한 컴퓨터분석모델 LAT가 있다. 이 모델에서는 직교좌표를 이용한 입지배정문제를 수송비만을 고려하여 휴리스틱 기법으로 해결했다.

본 연구에서 다루려는 물류시스템에 관련된 제 비용은 아래와 같다.

■ 후보지와 수요처간의 수송비용

거리별 수송단가는 알려져 있으며 수송비는 결국 수송거리, 수송단가와 수요량의 곱으로 결정된다.

■ 후보지의 투자비용

후보지의 투자비는 시설비와 토지구매비로 결정된다. 시설비는 어느 위치에서나 동일한 단가를 적용하며 용량에 선형 비례한다. 토지구매비는 위치에 따라 다른 단가를 적용하며 용량에 선형 비례한다.

■ 공장설립가능 지역

지도상에 공장설립이 가능한 지역은 제한되어 있다. 예를 들어 하천, 해양과 같은 자연적 입지불가 지역이나, 자연녹지와 같은 법률상 입지불가 지역이 존재한다. 이와 같은 입지불가 지역을 제외한 입지가능 지역 내에서 공장을 설립해야 한다.

■ 복수후보자: 각 후보지의 위치와 용량은 알려져 있지 않다. 후보지의 용량은 후보지가 담당하는 수요처의 수요량에 선형 비례한다.

■ 수요처: 수요처의 수는 복수이며 각 수요처는 후보지에 요구하는 수요량이 확정적으로 알려져 있다. 하나의 수요처는 하나의 후보지에서 전량 서비스를 받는다. 어느 후보지가 서비스할지는 결정변수가 된다.

이 모형은 잘 알려진 입지-배정(Location-Allocation)문제가 된다. 단, 후보지의 건설비용에서 토지구매비가 추가됨으로써 후보지의 위치에 따라 건설단가가 달라지는 문제로 확장되었음을 알 수 있다. 이 문제를 수리모형화 하면 다음과 같다.

LAPCL:

$$\begin{aligned} & \text{Min} \sum_i \sum_j z_{ij} D_i d_{ij} + \sum_i \sum_j z_{ij} R_i P(x_j, y_j) \\ & \text{subject to} \\ & (x_j, y_j) \in F \\ & \sum_j z_{ij} = 1, \text{ for all } i \end{aligned}$$

$z_{ij} = 0$ or 1 for all j, i

단,

n : 수요지의 수

m : 후보지의 수

F : 공장설립이 가능한 지역

z_{ij} : 1, 후보지 j 가 수요지 i 를 서비스한 경우
0, 아닌 경우

D_i : 수요지 i 의 수요량

R_i : 수요지 i 를 위한 후보지 용량 요구량

d_{ij} : 수요지 i 에서 후보지 j 까지의 단위 수송비

(x_j, y_j) : 후보지 j 의 평면상의 위치

$F(x_i, y_j)$: 위치별 토지단가

상기의 문제는 각각의 수요처를 어느 후보지가 서비스할 것 이냐의 할당문제와 후보지의 위치를 어디에 두어야 하느냐의 두 가지 문제가 복합적으로 발생하는 문제이다. 또, 기존의 문제와 달리 후보지의 위치에 따라 후보지 건설비용이 변하게 된다.

3. 유전알고리즘

유전알고리즘은 생물진화의 원리로부터 착안된 알고리즘으로, 확률적 탐색이나 학습 및 최적화를 위한 한가지 기법이라고 간주할 수 있다. 유전알고리즘은 적자생존 및 유전자 교환의 원리를 확률적으로 구현한다. 부모 역할을 수행할 때는 각 개체 해의 상대적 적합도에 비례하여 확률적으로 선발한다. 또한 유전자의 재조합 과정에서는 돌연변이에 의하여 유전인자를 임의로 변형하기도 한다. 이러한 의도적인 우연성의 활용은 탐색 절차가 국소적 최적해(local optimum)에 수렴하는 현상을 방지하기 위한 것이다.

유전알고리즘은 최적화를 위한 전통적 탐색기법과는 다르다. 첫째로, 유전알고리즘은 내재적인 병렬성(implicit parallelism)을 구비하고 있다. 고전적 탐색절차는 단일의 해를 평가하고 개선해 나가는 방식이지만, 유전알고리즘은 해의 집단을 동시에 진화시켜 나가는 방식이다. 둘째로, 다수의 해를 동시에 처리할 뿐만 아니라, 가능 해 공간의 여러 점으로부터 얻어 낸 모든 정보를 종합적으로 활용함으로써 유전알고리즘은 국소적 최적 상태로 수렴하는 문제를 효과적으로 억제한다. 이러한 두 가지 특징적 장점으로 인하여 유전알고리즘은 NP-hard 부류의 문제에 성공적으로 응용되고 있다.

문제 LAPCL을 해결하기 위해서 각 후보지의 위치를 고정하는 경우를 고려해 보자. 이때 각 후보지의 가능한 위치는 평면상의 전 공간상에서 찾아나가야 한다. 각 후보지의 위치가 고정되면 후보지별로 서비스할 수요처를 선정하는 배정문제를 해결해야 한다. 그런데 후보지의 위치가 고정된 경우에는 특정수요처에서 각 후보지와의 수송비와 건설비가 미리 알려져

있는 상태가 된다.

이 문제는 다음과 같다.

$$\sum_j \text{Minimum}_{j=1}^m (D_i d_{ij} + R_i F(x_j, y_j))$$

이 문제의 최적해는 각각의 수요지에 대하여 건설비와 수송비가 최소가 되는 후보지를 찾아서 배정하면 된다. 이 문제는 $(n \times m)$ 개의 비교에 의해서 쉽게 구할 수 있음을 알 수 있다. 따라서 후보지의 위치를 결정하는 부분문제를 만들어 내는 전략만 효율적이라면 부분문제를 해결하는 것은 상당히 수월하다는 것을 알 수 있다. 이에 우리는 선입지 전략에 의해 이 문제를 해결하려고 한다.

■ 유전적 표현

한 문제에 대한 해는 m 개 후보지의 평면상의 (X, Y) 좌표가 된다. 따라서 한 개체는 다음과 같이 표현된다.

$$((x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_m, y_m))$$

단, x_i = 후보자 i 의 X좌표

y_i = 후보자 i 의 Y좌표

이때 각 변수값은 실수값으로 부동점(floating-point) 표현을 사용한다.

■ 목적함수

주어진 개체에는 m 개의 후보지 위치가 표시되어 있다. 기존의 수요자들에 대하여도 그 위치와 수요량이 알려져 있으므로 목적함수값은 다음과 같이 계산된다.

$obj_val = 0;$

for $i = 1$ to n ;

cost $t(i) = \max$;

serve $(i) = 0$

for $i = 1$ to m ;

if $\cos t(i) \geq D_i d_{ij} + R_i (P_j(x_j, y_j) + C)$

then $\cos t(i) = D_i d_{ij} + R_i (P_j(x_j, y_j) + C)$

serve $(i) = j$

endif;

next i ;

$obj_val = obj_val + \cos t(i);$

next j ;

■ 벌금함수

지도상의 지역 중에서 입지불가 지역에는 큰 값의 토지구매비(벌금)를 배정하여 적용도 상에서 불리하게 작용하도록 한다.

■ 선별(selection) 전략

선별은 토너먼트 선별법을 사용한다. 토너먼트 선별법이란

다음의 절차를 따른다.

- 단계 1. 토너먼트의 크기 k 를 결정한다.
- 단계 2. 현재 모집단에 있는 모든 개체를 임의의 순서로 나열한다.
- 단계 3. 나열된 개체 중 처음 k 개의 개체를 비교하여 그 중 가장 좋은 개체를 생존시키고, 비교된 개체들은 삭제한다.
- 단계 4. 나열된 개체가 모두 비교되면 현재 모집단의 개체들을 새로이 임의의 순서로 나열한다.
- 단계 5. 모든 개체가 구해질 때까지 단계 3과 단계 4를 반복한다.

■ 교차연산자

본 문제에서는 산술교차법을 사용하기로 했다. 산술교차란 두 부모의 선형조합에 의해 두 자손을 생산하는 것을 의미한다. 예를 들어 두 부모 $P1, P2$ 가 다음과 같다.

$$P1 = ((a_1, b_1), (a_2, b_2) \dots (a_m, b_m))$$

$$P2 = ((c_1, d_1), (c_2, d_2) \dots (c_m, d_m))$$

이때 자손은 다음과 같이 생산된다.

$$O1 = aP1 + (1 - a)P2$$

$$O2 = aP2 + (1 - a)P1$$

단, $0 < a < 1$

■ 돌연변이

균등돌연변이를 사용한다. 균등돌연변이(uniform mutation)는 해 벡터의 한 원소를 변화시키는 변이이다.

예를 들어 돌연변이가 $O1$ 에서 선택되었다면 돌연변이 후 결과는

$$O1 = ((a_1, b_1), \dots, (a_k, b_k)', \dots, (a_m, b_m))$$

이 된다. 여기서 $(a_k, b_k)'$ 는 (a_k, b_k) 정의 구역에서 임의로 추출한 값이다.

■ 파라미터 전략

본 연구에서 우리의 주요 관심사는 해의 진화과정 중에 교차비율과 돌연변이 비율을 변경시키는 경우, 해의 수렴과정에 미치는 영향이 어떠한가이다. 이는 시뮬레이티드 어닐링(simulated annealing)에서 차용한 개념이다. 이를 통해 우리는 초기단계에서 좀더 다양한 해 공간을 탐색하게 되리라고 기대한다.

- 해법 1: 교차비율, 돌연변이율 고정
- 해법 2: 교차비율 변경, 돌연변이율 고정

해법 3: 교차비율 고정, 돌연변이율 변경

해법 4: 교차비율, 돌연변이율 변경

이상을 정리하면 유전해법의 전체적인 흐름은 다음과 같다.

```

begin
  t ← 0
  P(t)의 초기화(초기모집단 생성)
  P(t)의 적응도 평가
  while (종료조건이 만족되지 않으면) do
    begin
      t ← t+1
      P(t-1)로부터 P(t)를 선별
        (토너먼트 선별 사용)
      P(t)의 유전연산
        (산술교차와 균등돌연변이)
      P(t)의 적응도 평가
    end
  end
end

```

4. 패키지 구성

4.1 마스터 파일

지역 좌표 마스터 파일은 이 패키지가 작업을 수행하는 데 있어 기초가 되는 자료로서 우편번호 상, 우편번호 하, 위도, 경도, 지역명과 공시지가로 구성되어 있다. 이러한 마스터 파일을 만들기 위해 30명의 인원이 6개월에 걸쳐 자료를 입력하였으며 우편번호부에 있는 5910개 지명의 위도, 경도를 모두 입력하였다. 토지단가는 난수를 발생시켜 실제토지단가와 대치하였다. 실제토지단가는 현재 공시지가의 관리 등에서 데이터 베이스로 관리하고 있으므로 추후 연결작업이 완성되면 실제 적용 상에도 좋은 결과를 기대할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 우리나라 우편번호상의 행정구역과 이 구역에 가상의 토지단가를 이용하여 해법을 적용하였다. 시스템은 Pentium III 프로세서를 사용하는 개인용 컴퓨터에서 Visual Basic 6.0을 이용하여 구성하였다.

4.2 파라미터

(1) 선별

선별은 2개에서 10개까지 총 9개에 대하여 분석하였다. 그 결과 선별개수가 3개인 경우 평균적인 목적함수값이 가장 우수하였고, 그 이후에는 오히려 불리하게 되는 것을 확인할 수 있었다. 일반적으로 선별개수를 2개를 사용한다는 연구결과(김여근, 1997)에 비추어 3개는 의미 있는 결과라고 판단된다.

(2) 교차비율

교차비율은 0.1에서 0.5까지 0.1씩 증가하며 분석하였다. 분석결과 0.3에서 우수한 값이 나왔다.

(3) 돌연변이 비율

돌연변이는 교차에 0.1에서 0.05씩 증가하며 0.4까지 분석하였다. 분석결과 0.3과 0.35 정도에서 우수한 결과가 보이고 있다.

(4) 파라미터 전략

교차비율과 돌연변이율은 최대 0.5에서 해가 진행됨에 따라 조금씩 감소시켜서 마지막 단계에서는 각각 0.3과 0.35로 수렴하도록 하였다. 실험문제는 대리점의 수가 100개에서 1000개까지 10가지 종류에 대하여 10번의 반복실험을 실시하였다. 실험결과에 의하면 교차비율은 변경시키고, 돌연변이율은 고정시키는 전략이 가장 우수한 것으로 판명되었다.

4.3 패키지 구조

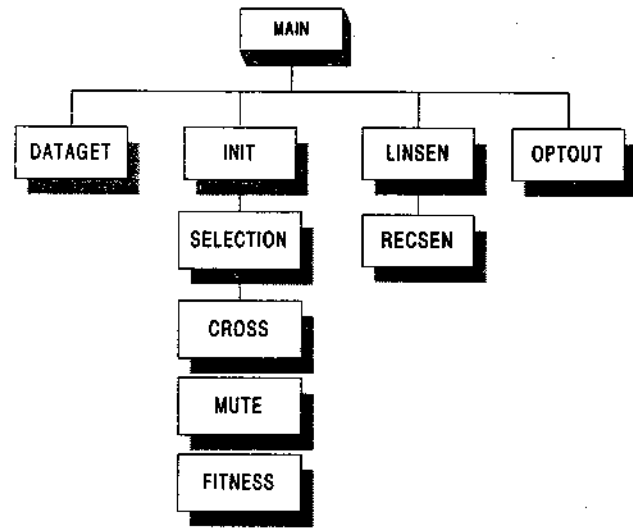


그림 1. 패키지 모듈의 구조

- MAIN : 전제 모듈을 관리 조절한다.
- DATAGET : 최초로 자료를 입력받아 처리한다.
- INIT : 각종 변수의 초기화와 유전알고리즘의 초기해를 생성한다.
- SELECTION : 선별기능을 수행한다.
- CROSS : 교차기능을 수행한다.
- MUTE : 돌연변이를 수행한다.
- FITNESS : 부분문제를 해결하여, 각 개체의 목적함수값을 구한다.
- LINSEN : 직선거리에 대한 민감도분석을 수행한다.
- RECSEN : 직각거리에 대한 민감도분석을 수행한다.
- OPTOUT : 최종해를 출력한다.

4.4 사용 예

프로그램을 수행하면 초기 화면이 나타난다. 이때 수행 준비를 선택한다.

메뉴에서 수행 준비를 선택하면 외부에서 지정한 대리점 주소 관련 입력 자료를 읽어 들여서 시스템 내에 준비된 위치 정보 데이터베이스와 연결하여 화면상에 현재의 대리점에 대한 위치가 <그림 2>와 같이 나타난다.



그림 2. 수행 준비 화면.

최적해를 구하기 전에 부가적으로 전국 대리점의 판매비율을 알고 싶으면 메뉴의 판매비 비중 분석을 선택하면 된다. 그러면 <그림 3>과 같이 각 대리점의 판매 비율과 비례하여 원의 반지름이 결정되고 그에 따라 전국적인 지도상에 표현된다.

다음은 최적해를 수행하는 단계인데 기본적으로 결정하여야 하는 두 가지가 있다. 먼저 사용할 거리 체제를 직선거리와 격자거리 중 선택해야 하는데, 기본값은 직선거리로 정해져



그림 3. 판매비 비중 분석 화면 화면.

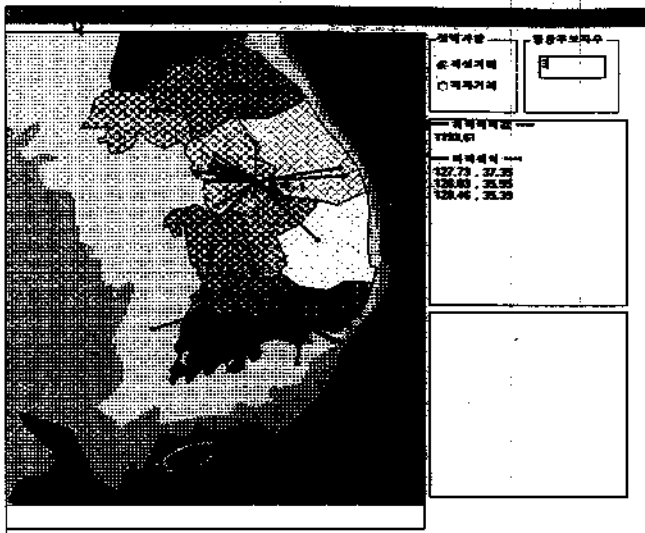


그림 4. 최적해 수행 화면.

있다. 다음으로 후보지의 수인데 화면 오른쪽 상단부에 입력하게 되어 있으며 기본값은 후보지가 1개인 경우이다. <그림 4>는 후보지가 3개이고 직각거리의 경우에 대한 최적해 수행 결과이다. 최적해의 정보는 화면 오른쪽 중간에 목적함수의 값과 위치가 수치로 표시되며 기하학적 위치는 화면 좌측의 지도상에 표시된다. 또 담당구역을 표시하기 위해 신설 후보지가 담당하는 대리점과는 직선을 연결하여 표시하였다.

최적해를 수행한 이후 사용자가 후보지의 위치를 변경하고 싶은 경우에는 마우스를 이용하여 원하는 위치에서 마우스 클릭을 하면 그곳을 새로운 후보지로 설정하며 이때 새로운 목적함수의 값과 후보지의 위치가 화면 오른쪽 최적해 출력창 아래의 창에 표시된다. 또한 기하학적 위치는 화면 좌측의 지도상에 표시되며 담당구역을 표시하기 위해 신설 후보지가 담당하는 대리점과는 직선을 연결하여 표시하였다. <그림 5>가 그 결과인데 <그림 4>와 비교하면 후보지 3의 위치가 변경되고 그에 따라 담당구역 및 목적함수의 변화된 결과를 볼 수 있

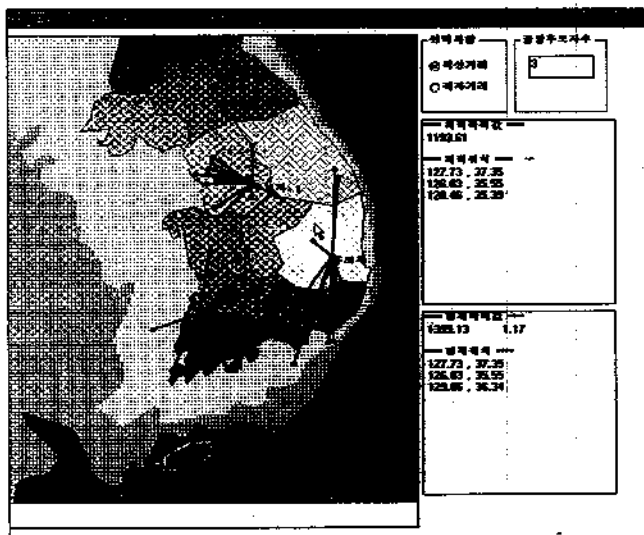


그림 5. 민감도 수행 화면.

다. 특히 한 화면에서 최적해와 사용자가 선호하는 새로운 해의 목적함수 값이 나타나므로 사용자가 자유자재로 후보지를 변경하고 최적해와 비교할 수 있다. 마지막으로 결과의 출력은 파일 형태와 보고서 형태로 선택할 수 있으며 화면상에 나오는 내용보다 자세한 정보가 포함되어 있다.

5. 결론

본 연구에서는 토지구매비를 고려한 입지-배정 문제를 분석할 수 있는 패키지를 제시하였다. 패키지에는 우리 나라의 행정구역을 우편번호 시스템에 의해서 분할하고, 그에 따라 위도, 경도, 주소 그리고 토지가로 구성된 데이터베이스를 구축하였다. 이 데이터베이스에 의해서 지리적인 입지문제를 그래픽상에서 구현할 수 있었다. 다음으로 입지-배정 문제는 유전알고리즘을 이용하여 해법을 개발하였다. 실험을 통하여 적절한 유전알고리즘의 파라미터들을 추정하였다. 유전알고리즘에서는 통상 해의 진행 중에는 파라미터 값을 고정시키는데 본 연구에서는 초기에는 큰 값을 주어 해의 탐색공간을 넓혀 보려고 했다. 실험 결과 교차비율의 경우에 유용한 것으로 나타났다. 교차비율의 경우에 유용하게 나타난 이유와 교차비율의 변화 방법에 대하여는 추후로 좀더 세밀한 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다. 개발된 유전알고리즘은 추후에 요구될 상황변화에 다른 해법보다 쉽게 적용할 수 있는 장점이 있으므로 현실 변화나 추가 요구에 쉽게 대응할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

김여근, 윤복식, 이상복 (1997), *패터니스틱*, 영지문화사.
 양병학 (1995. 10), 좌표계를 이용한 입지모형 분석용 패키지(LATV1.0)의 개발, *경영과학*, 12(3).
 최인찬, 김성인, 황대호 (1997), 경쟁적 입지선정 문제의 안정집합을 찾기 위한 수리적 모형과 유전 알고리즘, *대한산업공학회지*, 13(1).
 Daganzo, C. F. (1984a), The Length of Tours in Zones of Different Shapes, *Trans. Res.-B*, 18B, 135-145.
 Daganzo, C. F. (1984b), The Distance Traveled to Visit N Points with a Maximum of C Stops per Vehicle : An Analytic Model and an Application, *Transp. Sci.*, 18, 331-350.
 Daganzo, C. F. and Newell, G. F. (1986), Configuration of Physical Distribution Networks, *Networks*, 19, 113-132.
 Eilon, S., Watson-Gandy, C. D. T. and Christofides, N. (1971), *Distribution Management: Mathematical Modelling and Practical Analysis*, Charles Griffin, London.
 Federgruen, A. and Lageweg, B. J. (1980), Hierarchical Distribution Modelling with Routing Costs, *Report BW*, 17. Mathematisch Centrum, Amsterdam.
 Goldberg, D. E. (1989), *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley Publishing Company Inc.
 Krarup, J. and Pruzan, P. M. (1980), The Impact of Distance on Location Problems, *Eur. Jn. of Oper. Res.* 4, 256-269.

Laporte, G. and Nobert, Y. (1983), An Exact Algorithm for Minimizing Routing and Operating Costs in Depot Location, *Eur. Jn. of Oper. Res.* 12, 82-89.
Perl, J. and Daskin, M. S. (1985), A Warehouse Location-Routing Problem, *Trans. Res. B* 19, 381-396.

Rand, G. K. (1976), Methodological Choices in Depot Location Studies, *Optim. Res. Q.* 27, 241-249.
Webb, M. H. J. (1968. 3), Cost Functions in the Location of Depots for Multi-Delivery Journeys, *Optim. Res. Q.* 19, 311-328.



양 병 학

서울대학교 산업공학과 학사

서울대학교 산업공학과 석사

서울대학교 산업공학과 박사

현재: 경원대학교 산업공학과 부교수

관심분야: 물류관리, 유전알고리즘, 입지문제