

유전자 알고리즘을 이용한 도시공간형태별 입지선정 모델

나호영¹ · 이상현[†]

A Facility Location Model Considering the Urban Spatial Structure by Genetic Algorithm

Hoyoung Na · Sangheon Lee

ABSTRACT

Facility location problem is an important subject in many areas of modern business environment. In this paper, we deal with uncapacitated and multi-period facility location problem where the object is a maximization of total profit within predetermined cost. We assume that all demand have to be met. Particularly, we represent various types of customer based on four well-known urban spatial structures to represent a spread of customers. Those are concentric zone model, sector model, multiple nuclei model and star model respectively. We apply to the genetic algorithm to simulate a large scaled problem and develop simulator. We analyze both optimal numbers and locations of facilities for each urban structure. Furthermore, we examine the appropriate time to further expansion of the facilities in the planning horizon. The experimental results show that the developed algorithm can be applied effectively to the facility location problem in the various types of urban area.

Key words : Multi-period facility location problem, Urban spatial structure, Genetic algorithm

요 약

다수고객을 서비스하기 위한 설비의 입지선정문제는 현 기업환경 하에 많은 분야에서 광범위하게 응용되고 있는 실정이다. 본 논문은 사전 공개된 입지후보지와 관련비용을 근거로 하여 기업의 입장에서 이윤을 최대화하기 위한 입지선정문제를 다룬다. 고객은 도시공학 분야에서 잘 알려진 4개의 도시공간구조 이론에 근거하여 분포시키고, 이러한 고객의 모든 수요를 만족시키면서 용량제약을 갖지 않는 매장의 입지를 선정한다. 시뮬레이션을 통해 각 도시공간형태별로 상이한 고객의 분포형태와 계층별 거주지역의 밀집도가 매장의 입지에 미치는 영향을 확인하고, 고객에게 제품을 직접 배송하는 형태의 매장을 가정함으로써 운송비의 변화와 각 모형별 입지와 민감도를 확인한다. 또한 입지선정문제는 잘 알려진 NP-hard 문제임에 따라 합리적인 시간에 근사 최적해를 도출하기 위하여 유전자 알고리즘을 적용하고, 인구가 지속해서 유입되는 상황과 인플레이션이 발생하는 현실 상황을 반영하여 기간의 변화에 따라 고객 수와 각종 비용요소를 확률적으로 변화시켜 도시 형태별로 다 기간에 걸친 최적의 설비 수와 위치를 결정할 수 있는 모델을 제시하였다.

주요어 : 다 기간 입지선정문제, 도시공간구조, 유전자 알고리즘

1. 서 론

입지선정문제(Facility Location Problem, 이하 FLP)는 기업의 경영활동을 위한 기본적인 의사결정문제로서 공급

지와 수요지, 입지후보지가 주어질 때 기업의 목표를 극대화할 수 있는 설비의 수와 위치를 결정하는 문제이다. 이러한 입지선정문제는 설비의 설치비 및 운영비, 제품 운송비, 부지 매입비와 같은 경제적 요인과 인구분포 및 밀도, 인구 증감, 소비수준과 같은 인구적 요인 등의 계량화된 입지요인(location factor)을 바탕으로 결정된다¹⁾. 또한 고객의 수요나 분포와 같은 입지요인은 시간에 따라 변화하고 설비의 개설과 철수는 많은 비용을 요구하는 의사결정문제이기 때문에 특정 기간만을 분석하여 입지를

2008년 6월 23일 접수, 2008년 8월 1일 채택

¹⁾ 국방대학교 운영분석학과

주 저 자 : 나호영

교신저자 : 이상현

E-mail: leesangh@kndu.ac.kr

결정하는 것은 비용의 낭비를 야기할 수 있다. 따라서 변화하는 환경을 예측하고 이를 바탕으로 다 기간(multi-period)에 최적화된 입지를 선정하는 것은 경영자가 중장기적인 계획을 수립하는데 있어 매우 중요한 요소다.

FLP는 설비의 유형, 의사결정의 목적, 설비 용량제약의 유무, 가용비용의 제한여부, 고려기간 등에 따라 다양한 형태로 분류할 수 있으며, 이에 더하여 현실에 맞는 특수한 제약사항을 추가함으로써 상황에 따라 문제를 재정의 하고 해결하는 폭넓은 형태로 구분할 수 있다. 고려하는 기간에 따라서는 단일기간 입지 선정문제(single-period FLP, 이하 SFLP)와 다 기간 입지 선정문제(dynamic FLP, 이하 DFLP)로 분류할 수 있다. SFLP는 설치 설비수가 주어질 때, 수요자와의 각종 평균비용을 최소화하는 설비 위치를 결정하는 문제로 설비 용량제약의 유무에 따라 연구 되어왔다^[7,10,18,19]. DFLP는 설비 입지후보지가 주어진 상황 하에서 각 기간별로 수요와 비용의 변화에 따라 각기 다른 위치에 있는 설비들의 개설과 철수를 결정함으로써 총비용을 최소화하는 문제로, 기간에 따라 설비의 용량을 증설하는 경우만 다루는 문제^[16,20]와 변화하는 용량을 가진 설비의 개설과 철수를 모두 결정하는 문제^[9,12,13]로 구분되어 연구되어 왔다. 이러한 FLP는 Ballou^[6]에 의해 휴리스틱 알고리즘이 제시된 이후 Greedy, Branch and Bound, Lagrangian relaxation과 같은 기법을 적용하는 연구가 진행되어 FLP를 더욱 효율적으로 해결하게 되었다. 최근에는 FLP가 계산복잡도가 높은 조합최적화문제(combinatorial optimization problem)임에 따라 유전자 알고리즘(genetic algorithm), 시뮬레이티드 어닐링(simulated annealing), 타부탐색(tabu search) 등과 같이 메타휴리스틱(meta heuristic)을 적용하는 연구도 이루어지고 있다^[5,16,18].

본 논문은 용량제약이 없는 설비의 다 기간 입지선정 문제를 다룬다. 이때, 고객의 위치와 설비의 입지후보지 위치를 제약이 없는 평면상에서 임의 좌표로 생성하는 기존연구와 차별화하여 보다 현실적으로 접근하여 대표적인 도시모형을 표현화한 4가지 도시공간구조(urban spatial structure) 이론을 통해 고객과 입지후보지 위치를 제한된 지역에 분포한다. 따라서 설비의 수와 위치는 도시 내부의 구조적 형태에 따라 각각 상이하게 결정되어야 함을 보이고, 다 기간을 분석하여 비용요소의 변화에 따른 설비 수의 변화를 확인한다. 이를 위해 변화하는 시장 환경 하에서 설비로부터 제품을 배송할 때 판매가격과 제비용을 고려하여 이윤을 극대화하는 기업의 입장에서 FLP를 해결한다. 이에 더하여, 피자전문점과 같은 배달위주의 프

랜차이즈 체인점(franchise system chain store)과 전자상거래의 발달로 인해 홈쇼핑(home-shopping)이 확산된 현실상황을 고려하여 판매자가 고객이 구매한 제품을 직접 배송하는 배달전문 매장의 FLP를 다룬다. 또한 일반적인 FLP는 특정한 성격을 갖는 경우를 제외하고 NP-hard문제로 알려져 있으므로^[6], 본 연구의 근사 최적해를 빠른 시간에 도출하기 위해 유전자 알고리즘을 적용한다.

본 논문의 구성은 2장에서 문제를 상세하게 정의하고 수리모형을 제시한다. 3장에서는 문제 해결을 위해 적용된 유전자 알고리즘에 대해 설명하고, 4장에서는 시뮬레이션에 의한 실험의 구성과 결과를 제시한다. 마지막으로 5장에서는 향후 연구방향을 제시한다.

2. 문제정의 및 수리모형

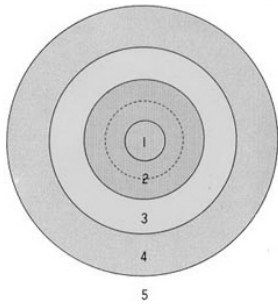
2.1 문제정의

본 연구의 범위는 매장과 고객으로 이루어진 물류망에서 매장의 위치와 수를 결정하는 것으로 가정 사항은 다음과 같다.

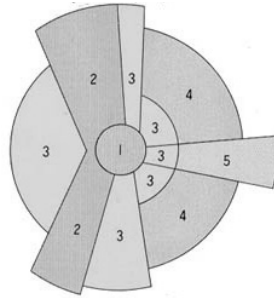
- 모든 고객의 수요를 충족한다.
- 고객의 수와 수요량 및 각종 비용요소는 기간에 따라 변한다.
- 고객은 최단거리 매장에서 모든 수요를 충족한다.
- 한번 개설된 매장의 폐쇄는 불가하다.
- 제품은 각 고객 수요만큼의 매장에서 고객에게 직접 배송한다.
- 모든 입지후보지는 사전에 결정되어 있으며, 관련 비용은 알려져 있다.

또한 매장의 수와 위치를 결정하는데 중요한 역할을 하는 고객의 분포 형태를 가정하기 위해 도시공간구조 이론을 적용하였다. 도시공간구조 이론은 도시 내부의 기능 지역을 공간적인 배열로 분할함으로써 여러 도시에 적용할 수 있는 공통된 패턴 혹은 규칙성을 표현하는 것이다. 도시의 공간구조는 도시를 형성과정과 발달 특성에 따라 상업, 행정 설비 등의 중추기능이 하나의 중심부에 집중되어 있는 단핵(simple-nucleus)구조, 도시의 대규모화에 따라 중추기능이 여러 곳으로 분산된 다핵(multi-nuclei)구조, 도로나 해변과 같은 축(axis)을 기준으로 중추기능을 비롯한 각 기능이 분산된 형태인 대상(narrow-strip)구조로 구분된다^[3].

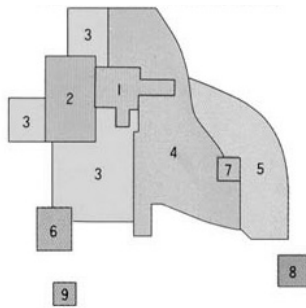
그림 1은 도시공간구조 이론에 따른 모형을 표현한 것



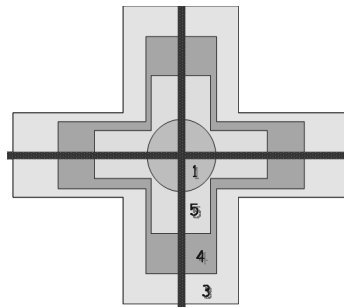
A. 동심원(Concentric Zone) 모형
(부지매입비: 1 > 5 > 4 > 2 > 3)



B. 구역(Sector) 모형
(부지매입비: 1 > 5 > 4 > 2 > 3)



C. 다핵심(Multiple Nuclei) 모형
(부지매입비: 1 > 5 > 8 > 7 > 4 > 2 > 3 > 9 > 6)



D. 성형(Star) 모형
(부지매입비: 1 > 5 > 4 > 3)

- 1: 중심상가지역
- 2: 도매 / 경공업지역
- 3: 저소득 계층지역
- 4: 중소득 계층지역
- 5: 고소득 계층지역
- 6: 중공업지역
- 7: 외곽상가지역
- 8: 교외거주지역
- 9: 교외산업지역

그림 1. 도시공간구조

으로, 그림 1.A는 도심을 중심으로 하여 5개의 동심원 형태의 지역 분화가 이루어지는 Burgess^[8]의 동심원(concentric zone)모형을 나타내고, 그림 1.B는 도심을 기점으로 부채꼴모양의 토지이용 패턴이 나타나는 Hoyt^[14]의 구역(sector)모형을 나타낸다. 상기 두 모형은 단핵구조 이론에 따른 모형으로 대도시를 제외한 대다수의 지방도시에서 나타나는 형태다. 그림 1.C는 다핵구조 이론을 전제로 하는 Harris and Ullman^[11]의 다핵심(multiple nuclei) 모형으로 단핵도시의 규모가 커지면서 대도시로 성장하면 중추기능이 분화되어 둘 이상의 핵을 형성하는 형태다. 그림 1.D는 대상구조 형태인 Hurd^[15]의 성형(star)모형으로 도심에서 사방으로 뻗어간 간선도로를 기반으로 도시가 발전하면서 도로를 기점으로 길게 구역을 분할하는 형태다.

각 모형에서 고객의 밀도와 분포는 분할된 기능별 지역에 따라 다르게 나타나며, 부지매입비도 상이하다. 중심상가지역의 경우 핵심 상업 및 행정 설비가 밀집되어 도시 내부에서 토지이용률이 가장 높고, 이에 따라 가장 높

은 토지비를 형성한다. 중심지 주변은 도시의 초기 형성 과정에서 나타난 구(舊) 거주지역이며, 인구 증가와 교통 시설의 확충으로 인해 도시 외곽으로 신(新) 거주지역이 형성되면서 고소득층이 새로운 거주지역으로 이주하게 되고 각 소득계층은 계층별 거주지역을 형성하게 된다. 또한 공업지역 주변은 노동자 위주의 저소득층 거주지역이 형성되며, 고소득층은 공업지역에서 이격된 별도의 거주지역을 형성하게 된다. 하지만 그림 1.D의 성형모형과 같이 공업지역이 발달하지 않은 도시 경우 교통의 편의성으로 인해 고소득층 거주지역은 교통이 가장 발달한 중심지 주변에 밀집되어 형성된다. 계층별 거주지역의 토지비는 그림 하단부에 표시된 것과 같이 계층별 거주지역과 기능별 지역에 따라 상이하게 형성된다.

인구 밀도는 상·공업지역보다 계층별 거주지역이 더 높고, 계층별 거주지역도 중소득층, 저소득층, 고소득층 순으로 인구 밀집도를 나타낸다. 이때, 매장은 어느 지역에서나 설치될 수 있지만, 인구 밀도와 부지매입비가 상이한 상황에서 이윤을 최대화 하는 위치에 최적화된 수만

표 1. 비용요소

고정비 (Fixed cost)	시설투자비 (Investment cost)	유통비 (Transfer cost)	생산비 (Manufacturing cost)
· 직원고용/ 교육비 · 매장운영비 · 부지매입비	· 시설구입비 · 유동자산	· 운송비 · 생산비	· 노동비 · 자재구입비

크 설치된다.

표 1은 본 연구에서 고려하는 비용요소를 나타낸다. 잠재 설비에서의 고정비는 임직원 고용 및 교육비, 시설 관리비, 부지매입비 등으로 구성되어 있으며, 시설투자비는 시설 구입비와 유동자산으로 구성된다. 유동자산이란 초기 자본금을 의미한다. 생산비는 투입된 노동에 대한 가치와 원자재 구입비등으로 구성되고, 이러한 생산비와 생산된 제품에 대한 운송비는 유통비로 통합하여 고려한다.

2.2 수리모형

본 논문의 수리모형은 정수계획모형으로 나타난다. 잠재 고정비는 매장운영비와 부지매입비의 합으로 나타나고, 유통비는 운송비와 생산비의 합으로 나타난다. 특정 기간에서 한명의 고객으로 인한 수익은 단위제품당 판매가격과 유통비의 차에서 고객의 수요량을 곱하여 산출한다.

[상수변수]

- I : 총 고객 수
- J : 총 입지후보지 수
- K : 전체 기간 수
- D_{ik} : 기간 k 에서 고객 i 의 수요량
- AC_{jk} : 기간 k 에서 입지후보지 j 에서의 잠재 매장 운영비
- B_j : 입지후보지 j 의 부지매입비
- IC'_{jk} : 기간 k 에서 입지후보지 j 의 잠재 투자비용
- a : 단위 거리당 운송비용
- d_{ij} : 고객 i 로부터 개설된 입지후보지 j 까지 거리
- TC_{ijk} : 기간 k 에서 고객 i 로부터 입지후보지 j 까지의 운송비용 [$TC_{ijk} = a \times d_{ij}$]
- PC_k : 기간 k 에서의 단위제품당 생산비
- TFC_{ijk} : 기간 k 에 고객 i 로부터 입지후보지 j 까지의 유통비용 [$TFC_{ijk} = TC_{ijk} + PC_k$]
- SP_{ik} : 기간 k 에서의 판매가격

- M_{ijk} : 기간 k 에서 입지후보지 j 에서의 고객 i 로의 배송량
- R_{ijk} : 기간 k 에서 입지후보지 j 에서의 고객 i 에 의한 수익 [$R_{ijk} = (SP_{ik} - TFC'_{ijk}) \times M_{i.jk}$]

[결정변수]

- $X_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{기간 } k \text{에서 입지후보지 } j \text{에 운영중인} \\ & \text{매장이 고객 } i \text{에게 제품 공급시} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$
- $Y_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{기간 } k \text{에서 입지후보지 } j \text{에 매장 운영시} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$
- $Z_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{기간 } k \text{에서 입지후보지 } j \text{에 매장 신규} \\ & \text{설치시} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$

[수리모형]

$$\text{Max} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \left\{ \sum_{i \in I} R_{ijk} X_{ijk} - AC_{jk} Y_{jk} - (IC_{jk} + B_j) Z_{jk} \right\} \quad (1)$$

s. t.

$$\sum_{j \in J} X_{ijk} = 1 \quad \forall i, k \quad (2)$$

$$X_{ijk} \leq Y_{jk} \quad \forall i, j, k \quad (3)$$

$$\sum_{j \in J} M_{ijk} = D_{ik} \quad \forall i, k \quad (4)$$

$$Y_{jk} \leq Y_{j(k+1)} \quad \forall j, k \quad (5)$$

$$Z_{jk} = Y_{jk} - Y_{j(k-1)} \quad \forall j, k \quad (6)$$

$$X_{ijk}, Y_{jk}, Z_{jk} = 0 \text{ or } 1 \quad \forall i, j, k \quad (7)$$

위 수리모형의 목적함수 (1)은 총 수익에서 총 고정비와 총 설치비를 제외한 순이익을 최대화하는 것이다. 제약조건 (2)는 각 고객은 한 개의 매장에서만 수요를 충족하는 것을 의미한다. 제약조건 (3)은 입지후보지에 매장이 설치되어야만 제품을 공급할 수 있음을 의미하며, (4)는 모든 고객의 수요는 충족되어야 함을 나타낸다. 제약조건 (5)와 (6)은 한번 개설된 매장은 폐쇄될 수 없다는 것을 의미한다.

이러한 수리모형은 일반적인 FLP와 마찬가지로 규모가 큰 실제 문제에서는 최적해를 찾는 것이 매우 어렵다. 예를 들어, 1,000개의 고객노드와 100개의 입지후보지에 대한 문제는 100,000개 이상의 제약식과 변수로 구성된다.

정수계획법 문제가 되어 최적해를 도출하는데 장시간이 소요된다. 따라서 본 논문에서는 유전자 알고리즘을 이용하여 근사 최적해를 도출한다.

3. 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘(이하 GA)은 적자생존과 자연도태의 진화원리에서 착안된 알고리즘으로, 해 공간에 대한 확률적 탐색을 통해 복잡한 문제의 근사 최적해를 비교적 합리적인 시간에 제공하는 메타휴리스틱 기법이다. 본 논문의 문제를 해결하기 위한 GA의 적용은 다음과 같다.

3.1 유전자 표현(Representation Scheme)

GA를 이용하여 어떤 문제를 해결하기 위해서는 해당 문제에 적합한 염색체의 구성이 필요하다. 본 논문에서는 FLP에 GA를 적용하기 위해 각 염색체가 입지후보지의 수(F)와 동일한 크기의 비트(bit)를 갖도록 하고, 각 비트를 입지후보지에 대한 매장의 설치여부를 나타내는 0과 1의 이진문자열(binary-string)로 표현한다. 즉, 한 개의 비트는 하나의 입지후보지를 나타내고, i 번째 비트의 값이 1이면 해당 입지후보지에 매장을 설치한다는 것을 의미하며, 0은 매장이 설치되지 않음을 의미한다. 예를 들어, 6개의 후보지 가운데 1, 3, 6번에 매장을 설치한다면 그림 2와 같이 표현 할 수 있다.

각 비트는 3차원 배열의 형태로 표현된 추가정보를 갖게 되는데 이는 모든 기간에 동일하게 적용되는 입지후보지에 대한 정보(후보지 좌표, 부지매입비, 이전기간 매장 운영 여부)를 나타낸다.

3.2 초기해 생성(Initial Population Generation)

GA를 이용하여 최적해를 빠른 시간에 도출하기 위해서는 좋은 초기해로부터 탐색을 시작하는 것이 중요하다. 매장의 신규 개설은 허용하되 폐쇄는 불가하다는 제약사항을 위반하는 해를 초기에 배제함으로써 실행가능한 해에서부터 최적해를 탐색한다. 즉, 매 기간마다 무작위로

1	0	1	0	0	1	: 매장 설치여부
(3,4)	(1,5)	(2,7)	(9,2)	(7,4)	(8,3)	: 후보지 좌표
8000	5000	4000	2000	3000	6000	: 부지매입비
1	0	0	0	0	1	: 이전기간 매장 운영여부

그림 2. 유전자 표현

생성된 매장 설치 비트와 이전기간 매장 운영여부 비트를 비교하여 제약사항을 만족하는 염색체만을 초기해에 포함시킨다. 그림 3의 A와 같이 이전기간에 매장이 운영된 후보지에 현재기간에도 매장이 운영되면 가능해로 해집단에 포함시키고, B의 네 번째 비트와 같이 이전기간에 매장이 운영되었음에도 현재기간에 매장이 운영되지 않는다면 실행불가능해가 된다. 따라서 이 염색체는 초기해에 포함시키지 않는다.

3.3 적합도 평가(Fitness Evaluation)

새로운 해집단이 형성 될 때마다 각 염색체에 대한 적합도가 평가된다. 적합도는 식 (8)과 같이 해당 염색체의 총 이윤으로 계산된다.

$$\sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \{R_{ij}X_{ij} - AC_jY_j - (IC_j + B_j)Z_j\} \quad (8)$$

이때, 엘리트 전략(elite strategy)을 적용하여 해당 세대(generation)에서 가장 높은 적합도를 가지는 우수한 염색체의 정보를 유지함으로써 우수 유전자가 소실되는 것을 방지한다.

3.4 선택 및 재생산(Selection & Reproduction)

선택연산은 다음 세대를 구성하는 염색체를 초기해에서 선별하는 과정이다. 본 논문에서는 일반적으로 많이 쓰이는 룰렛 휠(roulette wheel) 기법을 이용하며, 각 개체의 선택확률 P_k 는 식 (7)을 통해 산출한다. 이때, 적합도가 음수인 열성염색체는 확률값을 '0'으로 하여 선택되지 않도록 한다. 선택연산은 해집단의 수만큼 반복하고 선택된 염색체로 해집단을 재생산한다.

$$P_k = f_k / \sum_{i=1}^N f_i \quad (9)$$

여기서, f_k : k 번째 염색체의 적합도, N : 총 염색체 수

A.	1	0	1	0	0	1	: 매장 설치여부
	1	0	0	0	0	1	: 이전기간 매장 운영여부
B.	1	0	1	0	0	1	: 매장 설치여부
	1	0	0	1	0	1	: 이전기간 매장 운영여부

그림 3. 초기해 생성

3.5 교차 및 보수(Crossover & Repair)

교차연산은 부모세대의 적합도가 높은 염색체를 유지하면서 더 나은 자식 세대를 형성하기 위한 과정이다. 본 논문에서는 균등(uniform)교차를 적용한다. 예를 들어, 그림 4와 같이 두 부모염색체(P_1, P_2)가 선택되면 염색체의 비트 수만큼 1과 0으로 구성된 난수(T_p)를 발생시키고, 난수가 1에 해당하는 두 염색체의 비트를 교차시켜 두개의 자식염색체(C_1, C_2)를 생성한다. 이전기간 매장 운영여부(O_p)와 비교하여 제약식 (5)를 위반하는 비트는 반전시켜 이전기간 운영된 매장은 계속 운영되도록 보수한다. 이와 같은 교차과정을 거쳐 생성된 두 자식염색체를 해당 부모염색체와 대체(replacement)하여 새로운 해집단을 생성한다.

3.6 돌연변이(Mutation)

돌연변이는 의도적으로 부모염색체에 없는 형질을 갖게 하여 염색체를 재생산하는 과정으로, 국지 최적해(local optimal solution)에 빠지거나 열등한 개체집단으로 수렴하는 것을 방지하는 연산자다. 본 논문에서 적용한 단순 돌연변이(simple-mutation)는 순차적으로 염색체의 비트마다 $U[0, 1]$ 범위의 난수를 발생시켜 미리 정해진 돌연변이율(mutation rate, P_m)보다 작은 수에 해당하는 비트를 반전한다. 이때 제약식 (5)를 위반하지 않기 위해 이전 기간에 매장이 설치된 후보지의 비트가 반전되는 것을 방지해야 한다. 따라서 이전기간에 매장이 운영되지 않은 후보지 비트에서만 돌연변이가 수행되도록 한다.

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

4.1 실험계획

본 논문에서는 다기간에 걸쳐 수요와 제비용이 변하는 상황에서 인구분포 유형에 따른 매장의 수와 최적 입지를 효율적으로 시뮬레이션하기 위해 표 2와 같이 입력변수를 설정하였다. 각 비용요소는 $U[2\%, 5\%]$ 로 나타나는 인플

P_1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1
P_2	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1
T_p	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0
C_1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1
C_2	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1

그림 4. 균등교차

레이션(inflation)을 묘사하기 위해 기간에 따라 확률적인 비율로 증가하도록 한다. 고객의 분포는 통계청 자료³⁾에 따라 소득 계층별 구성 비율로 적용하여 해당 계층지역에 임의 좌표를 생성한다. 입지후보지는 50개의 좌표를 임의로 생성하여 4개의 도시공간 모형과 10개의 실험기간 동안 동일하게 적용한다. 각 후보지별 부지매입비는 해당 좌표에 해당하는 기능 지역의 부지매입비를 적용한다.

실험은 총 세 가지로 구성한다. 첫째, 4가지 도시공간 모형에 동일한 고객수와 비용요소를 적용하여 도시 유형별로 설비 입지가 어떻게 달라지는지 확인한다. 둘째, 각 모형의 입지가 운송비에 얼마나 민감한지를 확인하기 위해 다른 입력변수는 고정시키고 운송비만 변화시켜 실험을 진행한다. 셋째, 기간의 변화에 따라 고객 수와 비용요소가 변할 때 설비운영이 어떻게 달라지는지 확인하기 위해 10개 기간을 적용하여 실험한다.

4.2 결과 분석

시뮬레이션에 앞서 GA에 적용할 파라미터(parameter)를 결정하기 위한 실험을 하였다. 알고리즘은 VC++로 구

표 2. 비입력변수 설정

변수	내 용
기간(K)	· 총 10개 Period
입지 후보지(J)	· 1 st Period : 50개 후보지좌표 무작위 생성 · Subsequent Period : 1 st period와 동일 위치 ※ 4개 모형에 동일한 좌표 적용
고객 (I)	· 1 st Period : 10,000 · Subsequent Period : 1000 증가
수요량 (D_{ik})	· $U[5000, 6000]$ 사이 무작위 발생 · 고객 계층에 따른 수요량 차이 없음
고정비 (FC_{jk})	· 1 st Period : 부지매입비 + 매장운영비 - 부지매입비 : 지역별 차등 적용 (2,500~10,000) - 매장운영비 : 2,000 · subsequent Period : $U[2\%, 5\%]$ 로 증가
투자 / 유통비 (IC_{jk} / TFC_{jk})	· 1 st Period - 설비당 투자비용 : 10,000 - 단위 수량당 유통비용 : 1 · Subsequent Period - 설비당 투자비용 : $U[2\%, 5\%]$ 로 증가 - 단위 수량당 유통비용 : 1st와 동일
생산비 / 제품가격 (PC_k / SP_k)	· 1 st Period - 단위 수량당 생산비 : 5 - 단위 수량당 제품가격 : 50 · Subsequent Period : $U[2\%, 5\%]$ 로 증가
인구구성	· 저소득 : 중소득 : 고소득 = 3 : 6 : 1

현하였고, 컴퓨터는 Dual-Core CPU 6420 2.13GHz, RAM 2GB를 사용하였다. GA의 수행을 위한 초기 해집단은 100개, 세대수는 500세대를 진행하고, 돌연변이율(P_m)은 0.05를 적용한다.

4.2.1 도시공간모형별 입지

단일 기간을 대상으로 동일한 입지후보지에 대하여 실험한 결과 도시공간구조별 매장 수와 위치는 그림 5와 같다.

그림 5.A의 동심원(Concentric Zone) 모형은 도시 내부에서 인구밀도가 가장 높고 저소득층과 고소득층의 중간에 분포된 중소득층 지역(4번)에 대부분의 매장이 위치한다. 일부 매장은 상대적으로 저렴한 부지매입비로 인해 저소득 계층지역에 위치하게 된다. 그림 5.B의 구역(Sector) 모형은 고객이 분포된 각 계층 지역을 분할하는 경공업지역(2번)으로 인해 이 지역을 기준으로 하여 매장의 위치가 양분되며, 동심원 모형에 비해 적은 수의 매장이 설치된다. 이는 계층별 거주지역이 동심원 모형보다 협소한 공간에 밀집되어 있어 다수의 고객에 대한 운송비보다 매장 설치비가 상대적으로 크기 때문에 적은 수의 매장으로 해당 지역의 고객을 담당하기 때문이다. 그림 5.C의 다핵심(Multiple nuclei) 모형은 각 계층 지역이 앞의 두 모형보다 분할되어 분포되어 있다. 또한 고소득 계층 지역(5번)과 교외 거주지역(8번)을 담당하는 매장이 부지매입비가 상대적으로 낮은 교외 거주지역에 위치하는 것을 확인할 수 있다. 그림 5.D의 성형(Star) 모형은 도로축 주변지역을 중심으로 고객이 밀집되어 분포하고 있어 도로의 교차지역인 중심지에 매장을 설치하는 것이 운송비용을 최소화할 수 있지만 높은 부지매입비로 인해 중심지에서 떨어진 중소득 계층지역에 위치하게 된다. 이때 도로를 중심으로 인구가 양분되므로 도로 주변으로 매장이 위치하는 것을 알 수 있다.

4.2.2 운송비 변화

부지매입비를 제외한 비용요소와 전체 고객 수가 동일한 상황에서의 매장 수는 운송비와 매장 설치 및 운영비에 따른 이윤의 차이로 결정된다. 운송비와 매장 수의 관계를 확인하기 위해 동일 조건에서 단위 수량당 운송비용을 0.1에서 10까지 변화시켜 실험하고, GA를 이용하여 산출한 매장 수와 총이윤은 10회의 반복실험에서 총 이윤이 가장 높은 결과를 기준으로 채택하였다.

운송비가 동일할 때 도시공간모형별 매장 수의 차이는 각 계층 지역의 고객 분포와 밀도의 차이로 인해 발생한다. 표 3의 실험결과와 같이 고객의 밀집도가 높은 구역 모형과 성형 모형은 운송비가 0.1일 때 1개의 매장으로도 최대의 이윤을 낼 수 있다. 다핵심 모형의 경우 비교적 고객의 밀집도는 높지만 여러 지역에 분산되어 있어서 2개의 매장이 운영되어야 이윤을 최대화 시킬 수 있다. 고객의 밀집도가 낮고 넓은 지역에 분포되어 있는 동심원 모형의 경우 3개의 매장이 운영되는 것이 최적의 매장 운영 방안이 되며 다른 모형에 비해 많은 수의 매장운영으로 인해 이윤이 가장 낮음을 알 수 있다.

그러나 운송비 증가는 모든 모형의 매장 수를 증가시

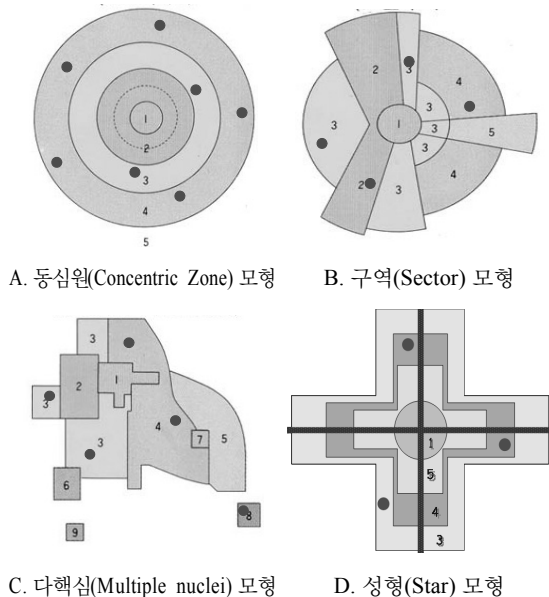


그림 5. 도시 내부구조에 따른 입지 (● : 설치된 매장)

표 3. 운송비 변화에 따른 매장 수와 총이윤

구 분	운 송 비					
	0.1	0.5	1	5	10	
동심원 모 형	매장수	3	5	7	9	18
	총이윤	155,124	131,745	125,200	6,915	35
구 역 모 형	매장수	1	2	4	5	13
	총이윤	181,421	175,238	142,067	10,216	881
다핵심 모 형	매장수	2	4	5	7	12
	총이윤	175,118	163,617	144,172	9,875	915
성 형 모 형	매장수	1	2	3	6	14
	총이윤	174,312	160,131	139,142	8,114	426

킨다. 특히 총이윤이 운송비에 민감한 동심원 모형의 경우 가장 많은 매장이 운영되어야 최적의 이윤을 낼 수 있다. 이는 매장의 설치비용이 운송비로 인한 손실보다 작기 때문이다. 또한 고객의 거주지역이 길게 뻗어 있는 형태인 성형 모형의 경우도 운송비 증가에 따라 매장수가 급격히 증가하는 것을 확인 할 수 있다. 구역 모형과 다핵심 모형은 상대적으로 협소한 지역에 고객이 밀집되어 있어 운송비가 판매수익에 영향을 상대적으로 적게 미치므로 매장수의 변화가 크지 않다.

그림 6은 매장 수의 증가를 그래프로 나타낸 것으로 동심원 모형에서의 매장 수가 운송비에 가장 많은 영향을 받아 증가하는 것을 알 수 있다. 성형 모형은 다른 모형에 비해 운송비 증가에 따라 매장 수가 급격하게 증가하여 운송비에 가장 민감함을 알 수 있다.

특히, 운송비가 최대값인 10의 경우에 매장수가 급격

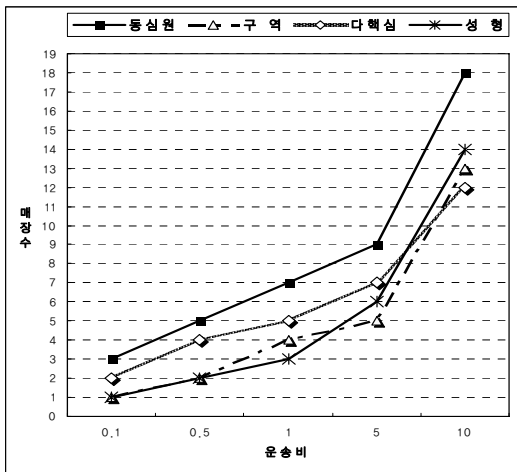


그림 6. 운송비 변화에 따른 매장 수

히 증가하는 것은 거리에 따른 유통비가 매장의 설치 및 운영비보다 과다하여 매장의 추가 설치로 매장간 고객 간의 거리를 줄이는 것이 최대 이윤을 창출할 수 있기 때문이다. 그러나 증가된 유통비와 매장 설치 및 운영비로 인해 경상수지가 점차 악화되는 것을 확인 할 수 있고 과도한 유통비가 판매된 제품의 수익성에 지대한 영향을 줄 수 있음을 파악할 수 있다.

4.2.3 기간 변화

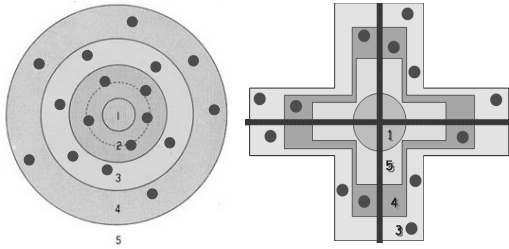
인구유입이 지속해서 이루어지는 도시 상황을 가정하여 기간의 변화에 따라 고객 수를 일정량 증가시키고 인플레이션을 확률적으로 반영하여 각 비용요소를 증가시키면서 매장 수와 총이윤의 변화를 분석하였다.

10개 기간을 설정한 시뮬레이션 결과는 표 4와 같다. 고객 수의 증가는 제품 배송량의 증가를 초래하고, 이로 인한 운송비의 증가는 매장의 추가 설치에 따른 고정비보다 더 크게 되므로 매장 수는 증가하게 된다. 고객이 거주 지역에 넓게 분포되어 있고 밀집도는 낮으면서 전 지역에 균일하게 분포된 동심원 모형은 인구의 증가에 따라 상대적으로 많은 수의 매장이 필요하게 되고, 가장 많은 수의 매장 운영으로 인해 대부분의 기간에서의 총이윤은 다른 모형에 비해 상대적으로 낮게 나타난다.

성형 모형의 경우 도로의 교차지점인 중심지 주변에 매장을 위치하는 것이 운송비를 최소화할 수 있기 때문에 소수의 매장으로도 양 축의 도로를 따라 분포된 고객을 담당하면서 이윤을 최대로 할 수 있을 것이다. 그러나 동심원 모형과 달리 중심지 주변에 높은 부지매입비를 갖는 지역이 형성된 특이성으로 인해 많은 부지매입비를 지불 하면서 소수의 매장을 운영하는 것보다 부지매입비가 낮은 지역에 다수의 매장을 운영하는 것이 총이윤을 최적화할 수 있다. 따라서 성형 모형은 다른 모형에 비해 고객수가 증가할수록 급격하게 매장 수가 증가하고 안정화 상태

표 4. 기간 변화에 따른 매장 수와 총이윤

구 분		기 간									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
동심원 모형	매장수	7	7	8	9	11	11	12	13	14	16
	총이윤	125,200	165,202	207,592	240,281	278,990	288,992	305,721	328,350	365,116	397,277
구역 모형	매장수	4	5	7	7	7	8	8	9	10	11
	총이윤	152,067	180,303	216,709	249,765	258,763	303,984	336,071	368,621	417,781	420,376
다핵심 모형	매장수	5	6	7	7	8	8	9	9	10	10
	총이윤	144,172	181,424	227,493	254,258	283,581	309,534	329,712	334,214	388,145	439,716
성형 모형	매장수	3	5	6	6	8	8	8	11	12	13
	총이윤	139,142	157,092	196,560	217,389	280,441	289,108	298,235	335,774	376,403	412,531



A. 동심원(Concentric Zone) 모형 B. 성형(Star) 모형

그림 7. 10기(期)에서의 입지 (● : 설치된 매장)

(equilibrium)에 도달하기 전까지는 가장 낮은 이윤을 보이게 된다. 그림 7은 최종 기간인 10기(period)에서의 동심원 모형(그림 7.A)과 성형 모형(그림 7.B)의 입지를 나타낸 것이다. 중심지 주변에 부지매입비가 낮은 지역이 형성된 동심원 모형은 운송비와 매장 설치비를 최소화 할 수 있는 중심지 주변(2번, 3번)에 대부분의 매장이 분포하였고, 성형 모형은 부지매입비가 높은 중심지 주변을 피해 외곽지역(3번, 4번)에 다수의 매장이 위치하는 것을 확인할 수 있다. 앞 절에서 살펴본 운송비와 함께 부지매입비가 매장의 입지에 중요한 요소임을 파악할 수 있다.

상대적으로 좁은 지역에 고객의 밀집도가 높은 구역 모형과 다핵심 모형은 같은 고객수와 수요량에서 적은 수의 매장으로 고객의 수요를 충족시킬 수 있고, 증가된 고객으로 인한 운송비의 증가는 상대적으로 적게 나타내기 때문에 총이윤이 높게 나타나는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 주어진 계획기간 동안 고객의 모든 수요를 충족시키면서 이윤을 최대화하기 위해 매장의 입지를 선정하고 기간의 변화에 따른 인구 증가시 추가 개설을 결정하는 문제에 대해 연구하였다. 기존의 FLP와 달리 고객을 4가지의 도시공간모형에 따라 다르게 분포시키고, 부지매입비를 지역에 따라 차등 적용함으로써 매장의 입지와 총이윤이 모형에 따른 민감도를 분석하였다. 또한 FLP는 계산복잡도가 높은 조합최적화 문제이므로 문제의 크기가 커지면 최적해를 합리적인 시간 내에 산출하는 것이 어렵기 때문에 비교적 빠른 시간에 우수한 해를 도출하기 위해 메타휴리스틱 기법인 GA를 적용하였다.

시뮬레이션 결과 각 도시공간모형은 고객의 거주지역의 밀집도와 분포된 범위에 따라 매장 수가 다르게 나타남을 확인할 수 있다. 고객의 밀집도가 가장 낮고 분포의

범위가 넓은 동심원 모형은 제품 운송비가 매장의 설치 및 고정비보다 크게 되어 가장 많은 수의 매장이 설치됨을 확인할 수 있다. 또한 운송비를 다양하게 변화시키면서 매장 수의 변화를 실험한 결과 계층별 거주지역의 분포와 고객의 밀집도가 운송비에 민감하게 반응함을 확인할 수 있고 기간을 변화시키면서 고객 수와 비용요소를 증가시킨 실험에서는 부지매입비가 매장의 입지에 큰 영향을 미치는 것을 파악할 수 있다.

향후 연구과제로는 본 연구에서 다루지 않은 매장의 용량제약을 고려하여 최적해를 찾는 모형을 구축하는 것과 총이윤에 큰 영향을 미치는 유통비를 절약하기 위해 수요가 발생하는 고객들에게 최소비용으로 배송할 수 있는 경로를 고려하는 차량경로문제(Vehicle Routing Problem, VRP)와 결합한 LRP(Location-Routing Problem) 알고리즘 개발이 요구된다.

참 고 문 헌

1. 권용걸, 강양석(2002), “대형할인점 입지 결정 요인에 관한 연구”, *대한국토·도시학회지*, 제 37권, 제 1호, pp. 207-217.
2. 배순석(2001), “수도권 신도시개발의 인구유입효과”, *주택연구* 제 9권, 제 1호, pp. 5-26.
3. 이봉섭(2002), *도시론*, 도시문제연구소.
4. 최순식, 이영훈(2007), “기간별 수요가 변하는 상황에서의 입지선정 문제에 관한 연구”, *대한산업공학회지*, 제 33권, 제 4권, pp. 439-446.
5. Al-Sultan, K. S. and Al-Fawzan, M. A.(1999), “A Tabu Search Approach to the Uncapacitated Facility Location Problem”, *Annals of Operations Research*, Vol. 86, pp. 91-103.
6. Ballou, R. H.(1968), “Dynamic Warehouse Location Analysis”, *Journal of Marketing Research*, Vol. 5, pp. 271-276.
7. Barcelo, J. and Casanovas, J.(1984), “A Heuristic Lagrangean Algorithm for the Capacitated Plant Location Problem”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 15, pp. 212-226.
8. Burgess, E. W.(1925), “The Growth of the City”, *Univ. of Chicago Press*, Chicago, pp. 47-62.
9. Canel, C.(1999), “The Uncapacitated Multi-period Facilities Location Problem with Profit Maximization”, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 29, No. 6, pp. 409-433.
10. Geoffrion, A. M. and McBride, R.(1978), “Lagrangian Relaxation Applied to Capacitated Facility Location Problem”, *IIE Transactions*, Vol. 10, pp. 40-47.

11. Harris, C. and Ullman, E.(1945), "The Nature of Cities", *Annal of the American Academy of Political Social Science*, Vol. 242, pp. 7-17.
12. Hinojosa, Y. and Puerto, J. and Fernadez, F. R.(2000), "A Multiperiod Two-echelon Multicommodity Capacitated Plant Location Problem", *European Journal of Operational Research*, Vol. 123, pp. 271-291.
13. Hormozi, A. M. and Khumawala, B. M.(1996), "An Improved Algorithm for Solving Multi-period Facility Location Problem", *IIE Transactions*, Vol. 28, pp. 105-114.
14. Hoyt, H.(1939), *The Structure and Growth of Residential Neighborhood in American Cities*, Fedal Housing Administration, Washington, D.C.
15. Hurd, R. M.(1903), *Principle of City Land Values, The Record and Guide*, New York.
16. Jacobs, L. W. and Brusco, M. J.(1994), "A Simulated Annealing-based Heuristic for the Set Covering Problem", *Preceding Decision Sciences Institute, Annual Meeting*, Vol. 2, pp. 1189-1191.
17. Jacobsen, S. K.(1977), "Heuristic Procedures for Dynamic Plant Location", Working Paper, *The Institute of Mathematical Statistics & Operations Research*, The Technical University of Denmark, Lyngby.
18. Jaramillo, H. J. and Bhadury, J. and Batta, R.(2002), "On the Use of Genetic Algorithms to Solve Location Problems", *Computer & Operations Research*, Vol. 29, pp. 761-779.
19. Kuen, A. A. and Hamburger, M. J.(1963), "A Heuristic Program for Locating Warehouses", *Management Science*, Vol. 9, pp. 643-666.
20. Neebe, A. E. and Rao, M. R.(1983), "An Algorithm for the Fixed Charge Assigning Users to Sources Problem", *Journal of the Operations Research Society*, Vol. 34, pp. 1107-1113.



나 호 영 (cadet1@nate.com)

2003 육군사관학교 컴퓨터공학 학사
2007~현재 국방대학교 운영분석 석사

관심분야 : 네트워크 최적화, SCM



이 상 현 (leesangh@kndu.ac.kr)

1977 육군사관학교 전기공학 학사
1985 미 Naval Postgraduate School 산업공학 석사
1991 미 Georgia Institute of Technology 산업공학 박사
2000~현재 국방대학교 운영분석학과 교수

관심분야 : 최적화 및 네트워크모형, SCM, 시뮬레이션