

# 유전자 알고리즘을 이용한 동사무소 통폐합 최적화방안 연구

박인옥 · 김우제<sup>†</sup>

서울산업대학교 산업정보시스템공학과

## A Study on the Optimal Planning for Dong Office Location by Genetic Algorithm

In-ok Park · Woo-Je Kim

Dept. of Industrial and Information Systems Engineering, Seoul National University of Technology, Seoul 139-743, Korea

In this paper we developed a method for an optimal planning to reorganize Dong offices to enhance the administrative efficiency. First we defined a mathematical model for the optimal planning problem of reorganizing Dong office and developed a genetic algorithm to solve the problem. For the purpose of minimizing standard deviation of population, area and distance among reorganized offices, the constraints such as allocation, distance, area, population, etc. are considered and weights are applied to Dong offices in the downtown and shopping area. The developed algorithm was applied for reorganizing Dong offices in Jongro Gu, Seoul. The results showed that the developed algorithm could be applied for the real world problem. This study may be applied to the optimal decision of reorganization of offices in the similar reorganization or company M&A situations by changing constraints and weights.

**Keyword:** genetic algorithm, optimal planning, reorganizing dong office

### 1. 서론

최근 행정안전부에서는 소규모 동사무소 3~5곳을 하나의 권역으로 묶는 동사무소 통·폐합을 추진하고 있다. 이는 교통과 통신 발달로 동 행정 운영의 지역적 확대, 도시 재개발 등에 따라 인구행정 수요의 증감으로 지역적 행정여건 변화, 복지행정 분야의 확대 등 변화된 행정환경 및 수요를 반영해야 할 필요성, 「정보화」의 진전에 따라 업무처리시간이 단축되고, 민원행정의 경우 동간의 경계가 없어져 전국 On-line으로 타 지역 민원처리 가능하게 되는 등 양적, 질적 변화가 고려된 사항이다(행정자치부, 2007).

서울시의 경우 민원 수요가 적고 인구 2만 명을 밑도는 동사

무소 100곳을 선정해 통폐합을 추진하고 있다. 서울시의 통폐합 기준은 △인구수 3만 명 이상 ‘대동제(大洞制)’를 지향하고 △인구밀도, 공동주택 보급증가, 동간의 거리, 지역개발 및 인구증가 등 여건변화 가능성, 기타 생활권·지리적 여건 등 자치구별 여건을 감안하여 통폐합을 추진한다. 그러나 시내 중심부처럼 업무용 빌딩이 몰려 있어서 행정 수요가 많은 경우는 주민 수가 적어도 감축대상에 포함되지 않는다. 통합 후 인구규모가 지나치게 증대될 우려가 있거나, 통합시 동 행정구역의 면적이 상대적으로 너무 넓은 경우 등도 고려되어야 할 대상이다(서울시, 2007).

기존의 연구들이 주로 다수의 입지후보지로부터 최적의 입지를 선정하는 입지선정 의사결정 문제를 다루었다면, 본 연

<sup>†</sup>연락처 : 김우제 교수, 139-743 서울 노원구 공릉2동 172, 서울산업대학교 산업정보시스템공학과, Fax : 02-974-2849,

E-mail : wjkim@snut.ac.kr

투고일(2009년 05월 15일), 심사일(1차 : 2009년 07월 30일), 게재확정일(2009년 08월 04일).

구는 기 존재하는 동사무소 중 다양한 물리적인 제약조건(통합 동의 적정한 인구 규모 및 면적, 인근 동사무소간의 거리, 동의 특성 등)을 반영하여 민원행정을 최적으로 수행하고, 통합된 동간의 균형성을 유지할 수 있는 최적안을 구하는 것이다. 본 연구에서는 유전자알고리즘을 이용하여 구청별 평균 20~30개의 동사무소 중 특정수 만큼의 동사무소를 통합대상으로 선정하기 위한 최적화 방법을 제안하고자 한다.

## 2. 기존 연구의 고찰

동사무소 통폐합 모델은 다수의 입지후보지로부터 최적의 입지를 선정하는 입지선정 의사결정 문제와 유사하다. 구청사, 소방서, 도서관, 우체국(집배송센터) 등 공공기관의 최적입지를 선정하기 위해 고려되어야 할 기준(인구, 지리적중심지, 지가, 정책, 주변시설확보 등)을 다양한 입지모델에 적용한 연구들이 진행되어 왔다. 도시 공공서비스 시설의 최적입지 선정을 위한 입지모형은 비용의 최소화(Minimizing Travel Cost)모형, 수요의 최대화(Maximizing Demand)모형, 형평성의 최대화(Maximizing Equity)모형, 서비스 제공 범위의 최대화인 Set Covering 모형, 시설 이용거리에 대한 만족도를 최대화하기 위한 공간 상호작용 모형으로 나누어진다(Hodgart, 1978).

공공 서비스 센터의 서비스 효율은 서비스 센터에 할당되는 시설의 질 및 종류에 영향을 받게 되고, 이 서비스를 받기 위한 노력은 이용자들이 이동해야 하는 거리에 연관이 있다. 즉 이용자들은 최소한의 이동거리로 서비스를 받고 싶어한다(Perl and Ho, 1990).

서비스 시설물의 입지선정 문제에 적용할 수 있는 일반적인 이론으로는 서비스 시설물 중심지 이론이 있다(이창원 외, 1998). 이 이론에서 사용하는 기준은 1) 서비스 시설물을 운영하기 위한 최소요구 인구, 2) 서비스 이용자가 서비스 시설물을 이용하기 위해 기꺼이 가고자 하는 거리인 최대이용거리, 그리고 3) 최소요구 인구가 사는 지역의 면적이다. 즉, 이 세 가지 기준을 이용하여 그 중심지에 서비스 시설물을 둔다는 이론으로 서비스 이용자의 공간분포를 고려한 중심지가 수요의 극대점이 되어 공공 서비스 시설의 최적 입지가 된다고 보는 이론이다.

박양준 등(1994)은 서비스 시설과 이용자 간의 총 통행거리의 최소화로 공간적 효율성을 추구하는 Weber모형과 가장 불리한 위치에 있는 서비스 이용자를 고려하여 서비스 시설과 이용자간의 최대통행거리를 최소화하는 Rawls모형을 채택하여 울산시의 관공서를 대상으로 효율성 및 형평성을 고려한 공공 서비스 시설의 입지선정을 제시하였다.

입지 선정문제에 유전자 알고리즘을 적용한 연구로 정유진(2004)은 공장입지 선정문제를 퍼지목적 계획법과 유전자알고리즘의 혼합하여 적용한 연구를, 민병직(2004)은 인구가동에 따른 입지선정문제에 대해, 문성민(2003)은 다수목적 입지할당 문제 해결에 대한 연구를 수행하였다. 차병철 등(2007)은 우

편집중국의 관할권역조정을 실시간으로 지원하기 위한 수리모형을 개발하고 권역조정 가능대상 수용국들에 대해 유전자 알고리즘을 실행하여 최적의 대안을 수립할 수 있는 시스템을 개발하였다.

본 연구는 공공 서비스의 가장 직접적인 접촉점을 이루는 동사무소의 최적 위치를 결정하는 문제로, 공간적 효율성을 추구하는 Weber 모형을 근간으로 서울시의 동사무소 통폐합 기본지침을 고려하여 통합대상 동의 선정을 위한 수리모형을 설계하고, 유전자 알고리즘을 이용하여 최적해를 구하였다. 이를 종로구청의 각종 현황자료를 기초로 실제 적용해 보고자 한다.

## 3. 문제의 정의 및 모형의 분석

### 3.1 문제의 정의

#### (1) 문제의 고려 조건

서울시의 동사무소 통폐합 지침에 근거하여 구청별 특정 수의 통합대상 동의 선정에 대한 최적 방안을 도출하고자 할 때 고려해야 하는 조건은 다음과 같다.

첫째, 통합 동사무소의 인구 및 면적 기준을 지침에 의해 부여한다. 즉, 통합동의 인구는 2~5만 명 사이의 규모로 하며, 통합동의 면적은 3~5Km<sup>2</sup>으로 제한한다. 또한, 통합동이 밀집되는 경우가 없도록 통합동간 거리의 최소 기준을 설정한다. 통합동간의 거리 최소기준은 0.5Km로 둔다. 둘째, 인접한 동사무소를 기준으로 통합 동을 선정한다. 셋째, 기존의 민원행정의 연속성 및 지원을 위해 1개의 통합동에 수용되는 동의 수를 3개까지로 제한한다. 넷째, 주간활동 인구와 행정업무처리의 온라인화로 직장근처 도심지 동의 민원업무 증가 등을 고려하여 도심에 위치한 동사무소는 타 동에 비해 관할 인구 및 면적 등에 가중치를 부여한다. 다섯째, 동사무소를 분할하여 통합하는 것, 향후 변화 가능성(지역개발, 인구증가 등), 지리적 여건, 지역정서, 학군, 선거구 등은 고려하지 않았다.

이러한 제약조건하에서 통합된 동간의 균형성을 유지하기 위해 통합 동간의 인구 및 면적의 표준편차를 최소화하고 수용된 동의 민원 서비스 이용거리를 최소화하는 것을 목적으로 한다.

#### (2) 지역별 가중치 설정

구청별 통합전의 동사무소 현황을 보면 관할 인구수는 최소 8백에서 최대 5만 명, 동 평균인구수는 8천~2만 5천 명 등 구청별로 현저하게 차이가 있음을 알 수 있다. 소규모 동은 주로 유동인구에 의한 민원업무 처리가 많은 종로구, 중구 등 도심에 위치하며, 통합 표준지침을 단순하게 적용하게 되면 이러한 구청은 거의 모든 동이 통합대상이 되어야 한다. 따라서 동사무소 통합 표준지침을 적용하기 위해서는 현재의 동사무소별

로 가중치를 설정하여 인구 및 면적을 각 지역의 특성에 맞게 적용할 수 있도록 하여야 한다. 즉, 통합동사무소의 인구 및 면적 기준 지침을 지역별 특성을 반영하면서 동일하게 적용하기 위해서는 지역별 가중치를 설정하여 밀집지역 및 상업지역의 경우에는 인구 및 면적을 그 지역의 실제 인구 및 면적 보다 크게 보정하여야 하며, 녹지지역의 경우에는 인구 및 면적을 그 지역의 실제 인구 및 면적 보다 작게 보정하여야 할 필요가 있다.

본 연구에서는 <표 1>과 같이 상관관계를 분석하여 지역별 가중치를 산정하였다. 즉, 종로구청 기본 통계정보를 기준으로 상관도 분석을 통해 동사무소별 민원처리건수와 공무원 수, 상업지역 및 공동주택 밀집지역과 민원처리건수가 상관관계가 있음을 확인 할 수 있었다. 따라서 동사무소별 민원처리건수를 기준으로 동별 가중치를 산정하였다.

$$\text{가중치} = \frac{\text{해당동의 민원처리건수}}{\text{동별 평균 민원처리건수}}$$

### 3.2 수리모형의 설계

#### (1) 설계 원칙

수리모형을 개발하기 위해서는 의사결정변수, 목적함수, 제약식에 대해 정의해야 하는 데 동사무소 통합 모형에는 다음과 같은 기준으로 수리모형을 설계하였다.

- 의사결정변수
  - 통합대상 동(수용동)을 결정 (통합동은 1, 수용동은 0인 이진변수)
  - 수용동은 하나의 통합동에 할당한다. (수용동을 해당 통합동에 할당하면 1, 그렇지 않으면 0인 이진 변수)
- 목적함수
  - 통합된 동간의 균형성 유지하기 위해 통합 동간의 인구 및 면적의 표준편차의 최소화 및 수용된 동의 통합동간의

민원 서비스 이용 거리의 최소화

- 제약조건
  - 인구제약 : 통합 동은 최소 인구수 2만 명 이상으로 하 되, 5만 명은 초과하지 않도록 한다.
  - 면적제약 : 주민의 접근성을 고려하여 통합동의 관찰 면적이 너무 커지지 않도록 3~5 km<sup>2</sup> 로 면적을 제한한다.
  - 거리제약 : 통합동이 밀집되는 경우가 없도록 통합동 간 거리 최소기준을 0.5km로 제한한다. 통합 동은 인접한 동사무소 중에서 선정된다.
  - 통합동수 제약 : 수용대상 동의 수를 변경하면서 최적해를 시뮬레이션할 수 있도록 한다.
  - 수용동수 제약 : 1개의 통합동에 수용되는 동의 수를 제한한다(3개동 이내).

#### (2) 수리모형 개발

위 기준을 바탕으로 수리모형 개발에 필요한 기호에 대한 정의와 이에 따라 개발된 동사무소 통폐합을 위한 수리모형은 다음과 같다.

- 인덱스
  - $i$  : 동,  $i = 1, \dots, N$
- 상수
  - [거리제약]
    - $D_{ij}$  : 동  $i$ 와 동  $j$ 간 거리
    - $\alpha$  : 통합동의 인구에 대한 상대적 중요도
    - $\beta$  : 통합동의 면적에 대한 상대적 중요도
    - $D_{\max}$  : 통합동간의 최소 허용 기준 거리
  - [인구제약]
    - $P_i$  : 동  $i$ 의 인구 수
    - $P_{\min}$  : 통합동의 허용 최소 인구 수
    - $P_{\max}$  : 통합동의 허용 최대 인구 수

Table 1. 가중치 부여를 위한 상관관계 분석

상관계수				상관계수			
		민원처리건수	공무원 수			민원처리건수	상업지역
민원처리건수	Person 상관계수	1,000	-.550*	민원처리건수	Person 상관계수	1,000	-.501*
	유의확률(양쪽)	.	.015		유의확률(양쪽)	.	.029
	제공합 및 교차곱	556.947	-78.368		제공합 및 교차곱	556.947	-23429105
	공분산	30.942	-4.354		공분산	30.942	-1301617
	N	19	19		N	19	19
공무원 수	Person 상관계수	-.550*	1,000	상업지역	Person 상관계수	-.501*	1,000
	유의확률(양쪽)	.015	.		유의확률(양쪽)	.029	.
	제공합 및 교차곱	-78.368	36.421		제공합 및 교차곱	-23429105.263	3.9242E+12
	공분산	-4.354	2.023		공분산	-1301616.959	2.180E+11
	N	19	19		N	19	19

주) \*, 상관계수는 0.05 수준(양쪽)에서 유의합니다.

주) \*, 상관계수는 0.05 수준(양쪽)에서 유의합니다.

[면적제약]

$A_i$  : 동  $i$ 의 면적

$A_{\min}$  : 통합동의 허용 최소 면적

$A_{\max}$  : 통합동의 허용 최대 면적

[가중치]

$w_i$  : 동별 가중치

[입력상수-시물레이션시 변경]

$M$  : 통합동의 개수

$M_{\max}$  : 1개의 통합동에 통합될 수 있는 수용동의 최대 개수

$$\bar{P} = \frac{\sum_j PP_j}{\sum_j Y_{jj}} \tag{10}$$

$$\bar{A} = \frac{\sum_j AA_j}{\sum_j Y_{jj}} \tag{11}$$

$$Y_{jj} = \begin{cases} 1 & \text{동 } j \text{가 통합동일 경우} \\ 0 & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{동 } i \text{가 동 } j \text{에 통합될 경우} \\ 0 & \text{그렇지 않은 경우} \end{cases}$$

• 의사결정변수

$Y_{jj}$  : 통합동이면 1, 수용동이면 0 이진변수

$Y_{ij}$  : 동  $i$ 를 동  $j$ 에 할당하면 1, 그렇지 않으면 0

• 목적함수

$$\begin{aligned} & \text{Minimize } \left( \sum_i \sum_j D_{ij} \times w_i \times P_i \times Y_{ij} \right) \\ & + \alpha \sqrt{\frac{\sum_j (PP_j - \bar{P} Y_{jj})^2}{\sum_j Y_{jj}}} \\ & + \beta \sqrt{\frac{\sum_j (AA_j - \bar{A} Y_{jj})^2}{\sum_j Y_{jj}}} \end{aligned}$$

• 제약식

[할당제약]

$$\sum_j Y_{ij} = 1 \quad \text{for } i = 1, \dots, N \tag{1}$$

$$Y_{ij} \leq Y_{jj} \quad \text{for } i = 1, \dots, N \quad j = 1, \dots, N \tag{2}$$

$$\sum_j Y_{jj} = M \tag{3}$$

$$\sum_i Y_{ij} \leq M_{\max} \quad \text{for } j = 1, \dots, N \tag{4}$$

[거리제약]

$$D_{jk} \times Y_{jj} \times Y_{kk} \geq D_{\max} \times Y_{jj} \times Y_{kk} \tag{5}$$

$j = 1, \dots, N, \quad k = 1, \dots, N, \quad i \neq k$

[인구제약]

$$P_{\min} \times Y_{jj} \leq \sum_i w_i \times P_i \times Y_{ij} \times Y_{jj} \leq P_{\max} \times Y_{jj} \tag{6}$$

$\text{for } j = 1 \dots N$

[면적제약]

$$A_{\min} \times Y_{jj} \leq \sum_i w_i \times A_i \times Y_{ij} \times Y_{jj} \leq A_{\max} \times Y_{jj} \tag{7}$$

$\text{for } j = 1 \dots N$

$$PP_j = \sum_j P_i Y_{ij} \quad \text{for } j = 1, \dots, N \tag{8}$$

$$AA_j = \sum_j A_i Y_{ij} \quad \text{for } j = 1, \dots, N \tag{9}$$

동사무소 통폐합을 위한 목적함수는 통합동간의 인구 및 면적 표준편차 최소화 및 수용된 동의 통합동간의 민원 서비스 이용 거리를 최소화하는 것으로 설정하였다. 인구 및 면적의 상대적 중요도를 고려하기 위해  $\alpha, \beta$ 가 도입되었다.

제약식 (1)은 할당제약으로 수용동  $i$ 가 오직 하나의 통합동에 할당되어야 함을, 제약식 (2)는 동  $j$ 가 통합동일때만 동  $i$ 가  $j$ 로 통합될 수 있다는 것을 의미한다. 제약식 (3)은 통합동의 개수, 제약식 (4)는 1개동에 통합되어지는 동의 수에 대한 제약사항으로 본 연구는 초기 계획시 통합되어질 동의 수 및 통합동의 수 등 조건을 바꿔가면서 반복적으로 시물레이션 하기위해 해당 값을 입력상수로 처리하였다. 제약식 (5)는 거리허용제약으로 통합동간의 거리는 통합동간의 기준거리를 초과해야 함을 의미한다. 제약식 (6)은 인구제약을, 제약식 (7)은 면적제약을 의미하며 동별 가중치를 부여하여 민원처리량이 많은 도심의 동 등에 가중치를 반영하도록 하였다. 제약식 (8)과 제약식 (9)는 각 통합동들이 담당해야할 인구와 면적을 나타낸다. 제약식 (10)과 식 (11)은 각 통합동들이 담당해야할 인구와 면적의 평균으로 목적함수에서 표준편차를 계산할 때 사용된다.

## 4. 해법 절차 및 유전알고리즘 설계

### 4.1 해법 절차

수리모델은 목적함수에 비선형식을 포함하고 있으며 제약식 (5), 식 (6), 식 (7)도 비선형으로 표현되어 비선형정수계획법으로 실제규모의 문제는 기존의 수리적 해법으로 풀기가 어렵다. 또한, 20~30개의 동사무소 중 특정수 만큼의 동사무소를 통합대상으로 선정하는 문제는 인구, 면적, 거리, 개별 특성 등 다양한 제약조건을 고려하여야 하며, 모든 가능한 대안을 비교해야 최적해를 구할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이 문제를 해결하기 위한 해법으로 유전알고리즘을 도입하였다.

본 연구에서 적용한 유전알고리즘의 절차는 다음과 같다.

#### (1) Preprocessing 단계

지역별 특성을 고려하기 위해 동사무소별 가중치를 산정하는 단계이다. 동사무소별 가중치는 해당구의 동별 평균 민원

처리수를 기준으로 해당 동의 민원처리수와의 비율을 가중치로 적용하였다.

(2) 유전알고리즘 적용단계

개체는 통합동의 설정 및 수용동의 할당의 두단계를 통해 구성되며, 통합동의 설정을 위한 초기해는 임의 생성법을 활용하여 생성하고, 통합동에 수용동을 할당하는 부분으로 구성된다. 각 개체의 적합도를 평가하여 선택 연산 처리시 상위 적합도를 갖는 개체의 일부를 선택하는 엘리트 보존기법과 휴리스틱 기법을 적용하였다. 최적해에 보다 빠르게 접근할 수 있도록 유전자 연산을 반복하여 적합도를 검정하고, 목적식에 가장 근접한 최적해를 찾는 절차를 거치게 된다.

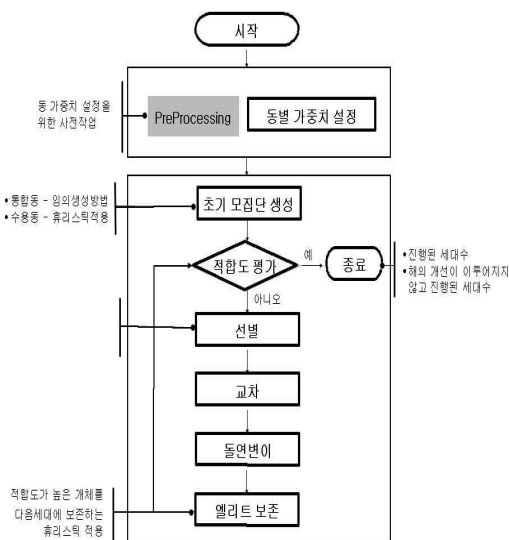


Figure 1. 동사무소 통합 최적화 적용 절차

4.2 유전알고리즘 설계

(1) 해의 유전자 표현

① 통합동 결정

유전자 알고리즘을 설계하는 데 있어 가장 중요한 요소 중의 하나는 염색체의 표현이다. 유전자의 표현은 문제의 특성을 잘 반영하여야 하는데, 본 연구에서는 해당 자치구의 동사무소 수 만큼의 스트링(String)으로 통합동 개체를 표현하였다.

문제에서 먼저 고려되어야 할 것은 통합동으로 선정되는 동을 표현하는 것으로 통합동으로 지정되는 동은 1로 그렇지 않은 동은 0인 이진부호로 하여 통합동의 유전자를 표현하고 통합동의 선정은 임의생성방법으로 선정하였다.

② 수용동의 할당

전체 동을 통합동에 할당하는 단계이다. 통합동으로 지정된 동에 대해서는 해당동을 통합동으로, 그 외의 동은 룰렛휠에 기초한 휴리스틱 기법으로 수용동을 통합동에 할당하였다.

통합동의 결정후 수용동을 할당할 때, 임의로 통합동을 결정하는 단순한 방법은 거리 제약조건에 만족되지 않게 먼 거리의 통합동으로 수용동이 할당될 가능성이 있어 해의 수렴속도를 불필요하게 늦추는 결과를 낳는다. 수용동은 가장 인접한 통합동으로 통합되어지는 것이 바람직하나, 허용 기준치 내에서는 최단거리의 통합동에 수용되지 않을 수도 있게 하였다. 이는 해들의 초기 수렴 경향을 해소하여 지역최적해(Local Optimal Solution)로 빠지지 않게 하기 위해서 일부 선택구간에는 난수에 의해 발생된 값으로 동을 할당하였다. 이 기준을 설정하기 위한 실험을 통해 각 선택확률에 따라 기준을 평가한 후 근사해를 구할 수 있도록 통합동을 지정하였다. 실험 결과, 가장 가까운 통합동으로 70%를, 두 번째 가까운 동으로 20%를 배정하고, 나머지는 임의할당 하는 방법을 사용하였다. 이 방법을 적용한 결과, 수용되는 동의 거리 제약조건을 충족시키는 개체를 많이 생성하여 해의 수렴속도를 빠르게 할 수 있었다.

수용동을 할당하는 휴리스틱 기법은 다음과 같다.

- 단계 1 : 해당 동의 통합동의 경우 동일한 동 번호를 할당하고 그렇지 않을 경우는 난수를 발생시켜 선택확률에 따른 단계 2의 최적기준을 평가하여 해당동을 할당한다.
- 단계 2 : 선택확률에 따른 수용동의 할당방식은 다음과 같다.
  - 선택확률(0~70%)는 해당동과 통합동과의 거리를 계산하여 가장 가까운 통합동을 할당한다.
  - 선택확률(71~90%)는 통합동 중 수용동에서 두 번째로 가까운 동을 할당한다.
  - 나머지 10%는 통합동을 난수로 발생시켜 임의 할당한다.
- 단계 3 : 다음 동을 단계 1~2를 반복적으로 수행하며 통합동을 모두 할당한다.

구 분	1동	2동	3동	4동	5동	6동	7동	8동	9동	10동	11동	12동	13동
통합동여부	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1
수용동할당	1동	1동	3동	5동	5동	5동	8동	8동	8동	10동	10동	13동	13동

Figure 2. 개체의 표현방법

(2) 초기 개체집단 생성

초기 모집단(Population)을 구성하는 개체의 모집단 갯수만큼 유전자를 생성하는 단계로 위의 통합동과 수용동의 할당과정을 모집단의 개체 수만큼 반복하여 초기 모집단을 생성한다. 통합동 개체의 생성은 동의 수 크기의 배열을 초기화한 후, 임의의 생성법을 사용하여 통합동의 갯수(입력상수)가 만족될 때까지 각 셀에 난수에 의해 발생된 수로 0,1의 수를 부여하여 생성하고, 이를 모집단의 수만큼 반복한다.

이때, 통합동의 수(입력변수)를 제외한 나머지 제약조건을 만족하지 않은 개체는 해의 다양한 전개를 위해 적합도 함수에 페널티를 부여하는 방식으로 처리하여 실행 불가능해가 가지고 있는 우성인자를 완전 제거하지 않고 다음 세대에서 선택될 수 있도록 구성하였다.

(3) 적합도 평가

유전알고리즘에서는 해를 표현하는 각 개체의 우수성에 대한 평가를 위해 적합도 함수를 결정해야 한다. 각 개체의 통합동과 수용동 할당이 완료되면 이에 대한 적합도를 계산한다.

동사무소 통폐합의 문제는 전체 민원서비스 이동거리의 최소화와 통합된 동간의 인구 및 면적의 편차를 최소화하도록 하고, 할당계약, 거리계약, 인구계약, 면적계약 등을 만족하지 못할 경우 벌금(Penalty)을 부여하였다.

적합도 함수식은 통합된 동간의 인구 및 면적의 표준편차 및 수용동의 서비스거리, 위의 제약사항에 따른 벌금 값이 작을수록 적합도가 높게 되도록 하였다.

벌금은 다음과 같은 조건에서 각각의 제약조건에 따라 부여하고, 각 제약조건별로 중요도의 차이에 따라 벌금의 부여조건을 다르게 산정할 수 있도록 하였다. 통합 기준의 충족 여부 등 제약조건을 계산시 동사무소별 가중치를 부여하여 계산하였다.

- i) 할당계약위반 : 통합동 기준치(3개) 이상의 수용동을 통합할 경우
- ii) 거리계약위반 : 통합동간의 거리가 기준치보다 작을 경우
- iii) 인구계약위반 : 통합동의 인구 최대, 최소조건을 만족하지 못할 경우
- iv) 면적계약위반 : 통합동의 면적 최대, 최소조건을 만족하지 못할 경우

적합도 함수는 서비스 이용거리, 인구 및 면적표준편차의 최소화와 할당/거리/인구/면적 제약조건 ((4)~(7))의 최소화로 식은 다음과 같다.

$$\text{Minimize } \left( \sum_i \sum_j D_{ij} \times w_i \times P_i \times Y_{ij} \right) + \alpha \sqrt{\frac{\sum_j (PP_j - \bar{P}Y_{jj})^2}{\sum_j Y_{jj}}}$$

$$+ \beta \sqrt{\frac{\sum_j (AA_j - \bar{A}Y_{jj})^2}{\sum_j Y_{jj}}} + (P_1 \times \max(\sum_i Y_{ij} - M_{\max}, 0)) + (P_2 \times \max(D_{\max} \times Y_{jj} \times Y_{kk} - \sum_j D_{jk} \times Y_{jj} \times Y_{kk}, 0)) + (P_3 \times (\max(P_{\min} \times Y_{jj} - \sum_i P_i \times Y_{ij} \times w_i \times Y_{jj}, 0) + \max(\sum_i P_i \times Y_{ij} \times w_i \times Y_{jj} - P_{\max} \times Y_{jj}, 0))) + (P_4 \times (\max(A_{\min} \times Y_{jj} - \sum_i A_i \times Y_{ij} \times w_i \times Y_{jj}, 0) + \max(\sum_i A_i \times Y_{ij} \times w_i \times Y_{jj} - A_{\max} \times Y_{jj}, 0)))$$

*Penalty: (P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>4</sub>: penalty value)*

(4) 선택 및 재생산

선택연산은 자식염색체를 생성하기 위해 필요한 부모 염색체를 고르기 위한 연산으로 공통된 원칙은 우수한 해가 선택될 확률을 높여야 한다는 것이다. 여기에서는 우수한 염색체는 다음세대에 유지하고, 나머지는 개체들의 정규화된 적합도에 비례하여 개체를 선별하는 가장 대표적인 방법인 룰렛휠 방법을 적용하였다. 이 방법은 개체들의 적합도의 합을 계산하고, 각 개체들의 선택확률을 계산하여, 선택확률의 백분율에 따라 0~1사이에서 각 개체의 고유영역을 지정하여 적합도가 높은 개체가 선택확률이 높아질 수 있도록 하고, 적합도가 낮은 개체일지라도 선택될 확률을 부여하여 우성인자의 조기 소멸을 방지한다. 난수를 발생시켜 해당 개체를 선택하고, 선택된 해의 수가 전체 모집단의 크기와 같아질 때까지 이 과정을 반복한다.

• 선택 및 재생산 단계

단계 1: 개체들의 적합도 합을 계산한다.

$$f(k) = \sum_{i=1}^N f_i(k)$$

단,  $f_i(k)$ 는  $i$ 번째 개체의 적합도이다.

단계 2: 각 개체들의 선택확률을 계산하여 선택확률의 백분율에 따라 룰렛휠의 슬롯면적을 할당한다

$$P_s(s_i(k)) = \frac{s_i(k) \text{의 적합도}}{\text{개체들의 적합도의 합}} = \frac{f_i(k)}{f(k)} \cdot (1 \leq i \leq N)$$

단계 3: 룰렛휠을 수행하여 개체 하나를 선택하고 선택 개체를 저장장소에 복제한다.

단계 4: 저장장소에 복제된 개체수가 모집단의 크기와 일치될 때까지 반복한다.

(5) 변형된 교차연산

교차연산은 선택된 부모 염색체들의 교차를 통해 자식염색

체를 형성하는 연산이다. 교차연산방식중 변형된 점교차방식을 적용하였다. 랜덤하게 특정위치를 선택한 후 해당 위치를 기준 이후 값의 부모 염색체들의 양쪽의 값을 교차시키되, 이 문제의 기준인 통합동의 갯수를 만족할 수 있도록 변형된 교차방식을 적용하였다. 점교차를 수행한 후에 통합동의 갯수를 만족할 때까지 통합동의 인구수의 비례로 해당위치의 비트를 변환토록 하였다.

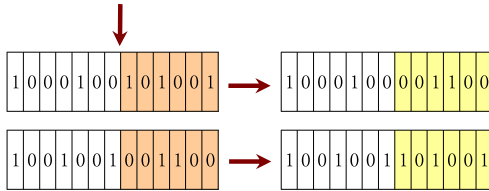
● 변형된 교차 연산

단계 1 : 교차확률에 의해 그 실시 여부를 결정한 후, 임의의 두 개체를 선택한다.

단계 2 : 특정 점교차 위치를 지정하고 점교차위치를 기준 이후의 부모 염색체들의 양쪽의 값의 교차를 수행한다.

단계 3 : 교차된 개체가 통합동의 수를 만족하는 지 검증한다.

단계 4 : 통합동의 수가 만족될 때까지 인구수를 기준으로 특정위치의 비트값을 변경해 가며 통합동의 수를 조정한다.



주) 특정점 위치 이후 부모염색체값 교차수행

Figure 3. 점 교차연산 처리방식

<그림 3>과 같이 통합동의 개수가 5인 경우를 고려하면, 교차연산의 수행 후에 자손개체들의 통합동의 수는 각각 4개, 6개로 달라진다. 이때, 교차 연산 후 통합동의 수가 부족(통합동의 수 4개) 경우에는 통합동이 아닌 동에서 가장 인구가 많은 동의 순서로 통합동을 할당한다. 반대로 교차연산후 통합동의 수가 많은 경우에는(통합동의 수 6개) 통합동이 아닌 동에서 인구수가 적은 동의 순서로 통합동에서 제외하는 방식으로 통합동의 수를 조정한다.

(6) 돌연변이 연산, 새로운 개체 생성

모의진화가 계속되는 동안 재생산과 교차연산자는 집단을 더욱 강하게 해주고 이로 인해 염색체들은 서로 닮아가게 되어 유전자의 다양성 부족으로 준최적해 또는 사점(Dead Corner)로 빠질 수 있다. 재생산과 교차 연산자는 지역해나 사점으로 부터 벗어나게 하는 메커니즘을 가지고 있지 않다. 이를 방지하기 위해 각 염색체 인자들에 대해 돌연변이 연산을 수행하는 것이다.

여기에서는 임의의 두 비트를 선택하여 돌연변이 확률이내의 경우 수용동과 통합동의 위치를 바꾸는 방식을 선택하였으며, 이 때 통합동과 수용동의 상호변환을 위해 두 점의 값이 서로 다를 경우에만 돌연변이 연산을 수행하였다.

● 돌연변이 연산

단계 1 : 돌연변이 확률에 의해 변이 실시 여부를 결정한다. 난수(r)을 발생시켜 난수가 돌연변이 확률이내이면 변이를 실행한다.

단계 2 : 선택된 두 점 위치를 지정하고 두 점의 값이 서로 다를 경우 두 점의 위치를 바꾸는 돌연변이 연산을 수행한다.

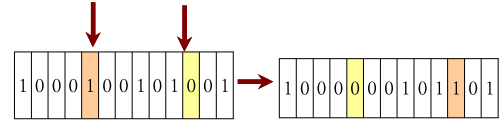


Figure 4. 돌연변이연산 처리방식

통합동 개체에 대한 교차와 돌연변이 연산을 수행한 이후에는 해당 통합동에 대한 수용동을 할당하는 휴리스틱을 수행하며, 적합도 평가 이후 연산을 반복적으로 수행한다.

교배연산과 돌연변이 연산 수행 후 새로운 유전자 집합을 생성시, 적합도 평가 후 적합도 순으로 정렬하여 기존의 개체중 적합도가 높은 상위 개체를 다음 세대에도 유지하는 엘리트 보존 휴리스틱을 적용하였다.

또한, 하위 25%에 해당하는 기존의 개체는 새로운 개체로 교체하여 해집합에 추가시켰다.

(7) 알고리즘 종료

유전알고리즘의 종료조건은 최대 탐색반복을 초과하거나, 일정 횟수만큼 해의 개선이 이루어지지 않은 경우 유전알고리즘을 종료한다.

5. 실험 및 결과분석

5.1 개발 환경

각 동의 인구 및 면적은 서울시 홈페이지(www.seoul.go.kr)의 주민등록 인구통계에서 정보를 수집하였으며, 동사무소 간의 거리는 지리정보상의 공간 좌표값을 기준으로 산정하였다. 주요 기준 정보를 DB(오라클)에 저장하고, pro\*C 프로그램을 이용하여 개발하였다. 타 구청으로의 확장성을 고려하여 주요정보를 프로그램에 상수값으로 지정하지 않고, DB에서 읽어와 처리하는 방식으로 구현하였으며, 통합동의 수를 입력변수로 지정하여 변동하면서 다양한 시뮬레이션을 통해 유전자알고리즘의 최종해를 도출할 수 있도록 하였다.

5.2 최적 파라미터 결정

유전자 알고리즘에서 유전 파라미터를 적절히 조화시키는 작업은 구성된 알고리즘이 최적의 성능을 발휘할 수 있도록 도와주고, 탐색이 원치 않은 방향으로 진행되어 가는 것을 막아

주기 때문에 유전 파라미터의 설정은 매우 중요한 작업이다.

유전파라미터에는 모집단의 크기, 교배확률, 돌연변이확률, 종료조건 등을 고려할 수 있다. 각각의 파라미터에 따른 수행 횟수를 비교하기 위한 파라미터 외에 다른 파라미터들을 고정하고 시뮬레이션을 하였다. 본 연구에서 각각의 파라미터를 조정하여 10회 시뮬레이션을 실행하여 평균을 측정하였다.

(1) 개체집단의 크기

개체 집단의 크기는 20에서 200까지 20씩 증가시키면서 유전자 알고리즘이 해를 찾는 데 반복한 수행횟수를 측정하였다. 개체의 총 개수가 180개일 때 가장 좋은 처리결과를 보였다.

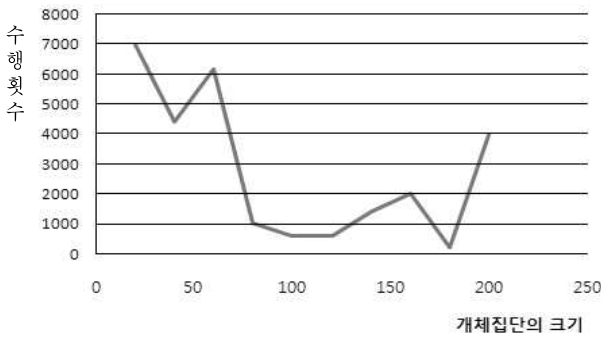


Figure 5. 개체집단의 크기와 수행횟수

(2) 교배비율

교배를 수행할 때 개체 전체를 대상으로 얼마만큼의 개체에 교배연산을 수행할 지를 결정하는 확률을 변경하여 시뮬레이션을 하였다. <그림 6>과 같이 교배비율 60%일 때 가장 빠르게 최적해에 접근하는 것을 볼 수 있다. 교배비율이 너무 적으면 다음 세대에 상위 순위의 유전자 전체의 변화가 너무 적어져 해 공간을 다양하게 탐색하지 못하고 반대로 너무 높은 확률로 교배비율을 설정하면 전 세대의 좋은 유전자가 다음 세대로 넘어가지 않아 탐색시간이 더 걸릴 수 있다.

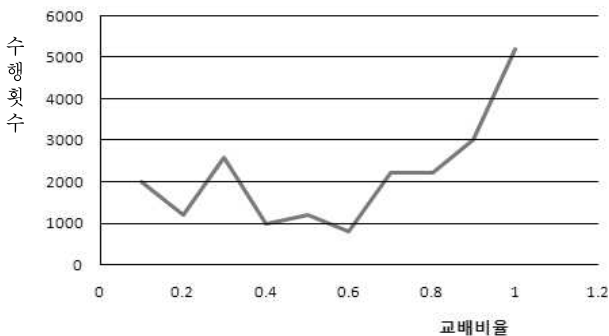


Figure 6. 교배비율과 수행횟수

(3) 돌연변이율

각 유전자에 돌연변이가 발생할 확률을 결정하는 파라미터를 변경하여 돌연변이율을 0.5~5%까지 0.5%단위로 변경하면

서 시뮬레이션 한 결과, 4.5%일 경우의 반복 실행수가 가장 적게 나왔다.

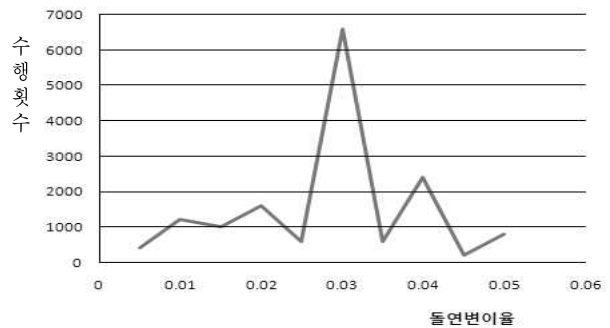


Figure 7. 돌연변이율과 수행횟수

(4) 신규개체 생성비율

다음으로 새로 생성되는 개체집단에 대해 적합도별 선택비율을 결정하는 실험을 하였다. 총 개체 수에 비해 너무 많은 비율로 새로운 개체를 추가하면 현재의 좋은 유전형질의 개체를 잃어버릴 수 있어 탐색에 더 많은 시간이 필요하게 된다. 시뮬레이션 결과 전체 개체의 적합도 함수의 하위 25%에 해당하는 개체에 대해서 새로운 개체를 추가하는 것이 가장 좋은 결과를 보였다.

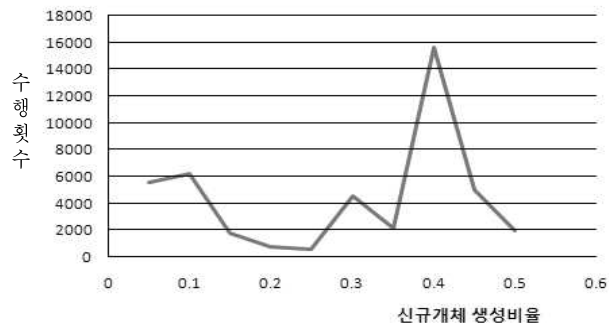


Figure 8. 신규개체 생성비율과 수행 횟수

Table 2. 유전파라미터 설정

모집단의 크기	교배 확률	돌연변이 확률	신규개체 생성비율
180	0.6	0.05	하위25%

5.3 휴리스틱 적용에 따른 효과 비교

본 연구에서 수용동의 할당시 적용한 휴리스틱 기법의 해의 수렴속도 향상 정도를 실험하였다. 통합동의 결정 후 수용동을 할당시 임의로 통합동을 결정하는 단순한 방법은 거리 제약조건에 만족되지 않게 먼 거리의 통합동으로 수용동이 할당되는 경우 등을 발생시켜 50만 번의 처리에도 해가 수렴되지 않았다.



반면 휴리스틱을 다음 표와 같이 적용하여 비교한 결과 가장 가까운 통합동으로 수용동을 할당하는 비율을 70%, 두 번째 가까운 동으로 20(%)를 배정하고, 나머지 10(%)는 임의할당 방법으로 해의 수렴속도를 현저하게 증가시킬 수 있었다.

Table 3. 휴리스틱 적용 유형

구 분	휴리스틱 적용유형		
	(a)(%)	(b)(%)	(c)(%)
1	10	10	80
2	10	20	70
3	20	10	70
4	10	30	60
5	20	20	60
6	30	10	60
7	10	40	50
8	20	30	50
9	30	20	50
10	40	10	50

주) (a): 수용동 임의 할당 비율.  
 (b): 두 번째 가까운 동으로 수용동 할당 비율.  
 (c): 가장 가까운 통합동으로 수용동 할당 비율.

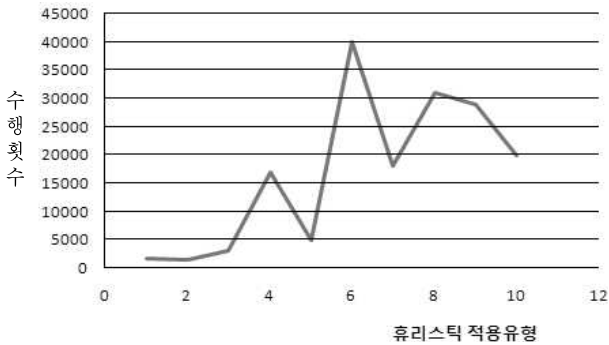


Figure 9. 휴리스틱 적용유형과 수행횟수

5.4 실험 대상 및 실험결과

실험은 종로구의 수용동의 수를 4개, 8개, 10개로 각각 설정한 경우로 처리한 후 통합 전/후의 주요정보(인구, 면적, 거리) 등의 변동 결과를 검토하였다.

종로구의 경우 도심 지역으로 모두 2만 명 이하의 소규모 동으로 구성되어 있다. 서울 도심에 위치하고 청계천 복원 등으로 유동인구가 많으며, 행정의 중심지로 청와대를 비롯하여 공공기관 118개소 집중지역으로 공무원 1인당 주민수는 작으나, 직장인의 민원처리가 많아 인구 대비 동수가 많은 지역이다.

종로구는 통합 전 19개의 동으로 구성되어 있다. 이들에 대해 통합동을 11개로 유지하는 대안과 15개로 유지하는 대안에 대해 유전알고리즘을 적용하여 종로구의 동사무소 통폐합을 적용하였다. 그 결과는 <표 4>와 같다.

Table 4. 종로구 동사무소 통합 예

통합 전 (19개동)	통합동이 11개인 경우	통합동이 15개인 경우
청운동, 효자동, 사직동, 삼청동, 부암동, 평창동, 무악동, 교남동, 가회동, 종로1234가동, 종로56가동, 이화동, 혜화동, 명륜3가동, 창신1동, 창신2동, 창신3동, 승인1동, 승인2동	(청운동, 효자동), 사직동, (삼청동, 가회동), 부암동, 평창동, (무악동, 교남동), 종로1234가동, (종로56가동, 이화동), (명륜3가동, 혜화동), (창신1동, 창신2동), (창신3동, 승인2동, 승인1동)	(청운동, 효자동), 사직동, (삼청동, 가회동), 부암동, 평창동, 무악동, 교남동, 종로1234가동, 종로56가동, 이화동, (명륜3가동, 혜화동), 창신1동, 창신2동, 승인2동, (승인1동, 창신3동),

주) \*는 통합동을 의미함.

(1) 통합동이 11개인 경우의 분석

종로구의 8개동 수용(통합동 11개동)의 최적화 실행결과를 확인을 위해 통합 전/후의 인구, 면적 등 주요정보의 변동사항을 검증하였다. 아래와 같이 통합전과 통합후의 인구 및 면적

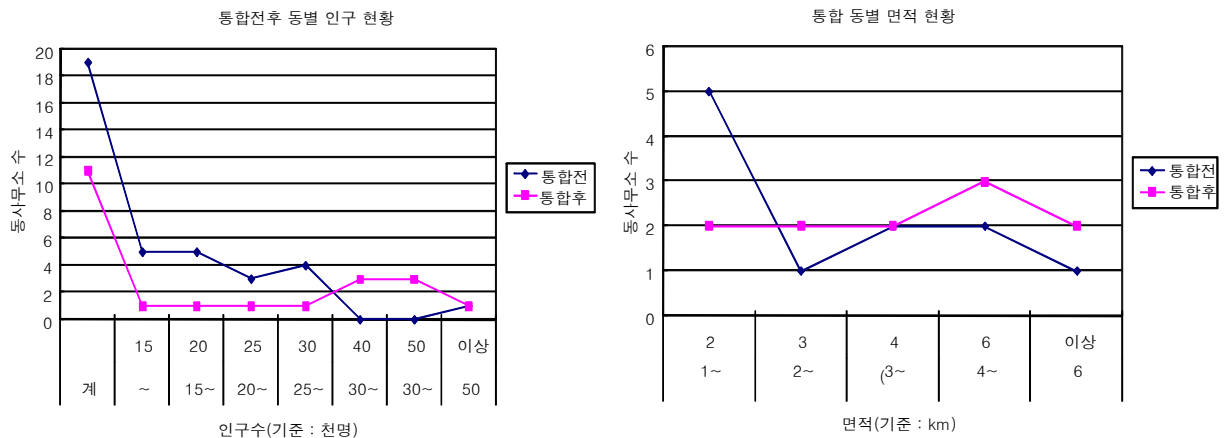


Figure 10. 통합 전/후 인구 및 면적 변동

분포 현황이 기존의 소규모 동이 없어지고 목적하던 대로 중 규모 이상의 동으로 통합되었음을 확인 할 수 있다.



Figure 11. 지리정보를 통한 통합결과 확인

지리정보를 이용하여 통합동의 처리결과를 확인한 결과 인접하지 않은 동으로 통합된 경우는 없고, 인접한 소규모 동이 통합대상이 되고 있음을 확인 할 수 있다.

(2) 통합동이 15개인 경우의 분석

통합동이 15개의 경우에는 종로구의 통합 추진 계획(종로구, 2007)에 제시된 형태이며, 2008년 11월 청운·효자동 통합 후 나머지 3개동은 2009년 현재 통합을 추진 중이다. 이 경우와 비교하면 4개 동의 시뮬레이션 결과는 실제 통합 추진사항과 거의 유사하게 결과가 도출되었음을 확인할 수 있다.

Table 5. 종로구의 실제 통합추진계획과 비교

종로구청 추진 현황		4개동 통합 시뮬레이션 결과
청운동, 효자동 삼청동, 가회동 명륜3가동, 혜화동 송인1동, 송인2동	⇔	청운동, 효자동 삼청동, 가회동 명륜3가동, 혜화동 송인1동, 창신3동

종로구청 추진 현황중 송인1동, 송인2동의 경우 동 통합대상으로 선정시 동일 선거구의 유지를 위한 목적이 중요한 고려사항으로 검토된 결과이다(종로구, 2007). 본 연구에서는 선거구를 고려하지 않았다.

6. 결론 및 향후 연구방향

본 연구에서는 최근의 동사무소의 통폐합과 관련하여 인구 규모 및 면적, 인근 동사무소간의 거리, 동의 특성 등 물리적인 제약조건을 고려하여 통합 동의 선정에 대한 최적방안을 도출하기 위해 수리모형 및 유전자 알고리즘을 적용한 프로그램을 개발하였다.

통합동의 선정에 있어 인구 및 면적의 표준편차를 최소화하고, 할당제약, 거리제약, 면적제약, 인구제약 등 제약사항을 만족하지 못하는 경우 벌칙을 부여하여 최적의 통합동을 선정하는 방안을 검토하고 시험하였다. 통합되어질 동의 선택은 각 자치구의 지역적인 특성을 다양하게 고려하여 선택되어야 하지만, 본 연구결과를 활용하여 각 자치구별로 형평성 있게 사업이 추진되고 있는 지를 종합적으로 평가해 보거나, 초기 계획시 통합되어질 동의 수 등 조건을 변경해 가면서 최적안을 시뮬레이션 해볼 수 있다.

추후 연구에서는 이 시스템을 기반으로 하여 다음의 다양한 조건을 추가하여 실제 통합조건과 유사한 시뮬레이션을 해 볼 수 있으며, 제약조건 및 가중치 등을 변경하여 이와 유사한 통합개편, 기업합병에 따른 사무소의 통합 등 확장하여 연구할 수 있다.

- 시의원 및 구의원 수에 변동이 없도록 하는 조건
- 특수요건(도서관 등 복지시설 분포 현황) 고려
- 불합리한 동 경계를 조정하여 동사무소를 분할하여 별도 통합 동으로 분리
- 인구 분포(노령층, 중장년층 등)를 고려
- 통합동의 수를 입력정보로 받아들이지 않고 최적 통합동의 수를 결정하는 모형으로의 확장
- 특정 동사무소(예, 그 지역의 행정 중심) 통합동 기결정 상태에서 통합 모형화 등

참고문헌

Administration Division, Seoul City (2007), Master plan for reorganizing Dong Office.

Ministry of Government Administration and Home Affairs (2007), The Guidelines for reorganization of small Dong Office.

Jongro-gu Office (2007). Execution plan for integrating Dong-office and adjusting administrative districts.

[http://www.seoul.go.kr/seoul/summary/statistics/briefing/index\\_v2007.html](http://www.seoul.go.kr/seoul/summary/statistics/briefing/index_v2007.html).

<http://gis.seoul.go.kr/StatisticalMap/index.jsp>.

Cha, B-C. and Kim, W-S. (2007), Simulator for restrict adjustment of mail sorting centers : A case study, *IE Interfacs*, **20**(4), 515-524.

Mun, S-M. (2003), Multiple objective location -allocation problem solving using Genetic Algorithms, *Yonsei University Master's degree thesis*.

Min, B-G. (2006), A study on facility location problem due to the migration using Genetic Algorithm, *National Defense University Master's degree thesis*.

Jeong, Y-J. (2004), Hybrid application of fuzzy goal programming and Genetic Algorithm for plant location problem, *Yonsei University Master's degree thesis*.

Park, Y-C., Lee, C-W., and Hwang, H-S. (1996), The analysis and optimal selection on the location of public service : Gu-office, fire station, and Post office in Ulsan, Korea, *Journal of Korea Regional Development*, **8**(1), 23-53.

Lee, C-W., Kwon, S-B., Gang, J-S., Gang, C-G., and Kim, J-N. (1998), The Study of mailing center location using the AHP methodology, *Policy Analysis Assessment*, **9**(2).

Perl, Jossel and Ho, Peng-Kuan (1990), Public Facilities Location under Elastic Demand, *Transportation Science*, **24**, 117-136.

Beasley, J. E. and Chu, P. C. (1996), A Genetic Algorithm for the Set Covering

Problem, *European Journal of Operational Research*, **94**, 392-404.  
Hodgart, R. L. (1978), Optimizing Access to Public Service : A Review of

Problems, Models and Methods of Locating Central Facilities, *Progress in Human Geography*, **2**(1), 17-48.



**박인옥**

서울대학교 학사  
서울산업대 정보산업공학 석사  
현재. 서울시청 세무정보개발팀 근무  
관심분야. 정보기술최적화, 데이터마이닝



**김우제**

서울대학교 산업공학과 학사  
서울대학교 산업공학과 학사  
서울대학교 산업공학과 학사  
현재 : 서울산업대학교 산업정보시스템  
공학과 교수  
관심분야: 경영과학, 소프트웨어 공학, IT  
서비스