

유전자 알고리즘을 이용한 환승센터의 시설배치*

Facility Layout of Transfer Center with Genetic Algorithm

박 경 옥

한 동 회

이 영 인

(서울대학교 환경대학원, 석사과정) (서울대학교 환경대학원, 박사과정) (서울대학교 환경대학원, 교수)

Key Words : 시설배치문제, A* 알고리즘, 네트워크 총비용, 유전자 알고리즘, 최적시설배치안

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구의 과정 및 구성
 - II. 본론
 - 1. 관련이론 및 선행연구 고찰
 - 2. 시설배치대안 평가기준 및 생성 알고리즘 정립
 - 3. 제안된 유전자 알고리즘의 적용
 - III. 결론 및 향후 연구과제
 - 1. 결론
 - 2. 연구의 한계 및 향후 연구방향
- 참고문헌

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

환승센터(Transfer Center)란 대중교통 수단을 환승할 수 있는 교통시스템을 말한다. 환승센터를 설치하면 교통수단 간 환승거리를 최대한 줄일 수 있다. 또한 접근시간을 포함하여 대중교통 이용자의 총통행시간을 단축시킬 수 있다. 일반적으로 환승센터 주변에는 환승주차장이 마련되기 때문에 승용차와 대중교통 간 환승도 가능해져 대중교통의 이용률을 높일 수 있다. 종합하면 환승센터의 주된 건설 목적은 이용객이 교통수단을 이용하는데 있어 편의를 도모하는데 있다. 환승센터에 관한 연구는 이용자들의 편의를 도모할 수 있을 뿐만 아니라, 환승센터의 효율적인 운영을 가능하게 한다는 점에서 중요하다고 볼 수 있다.

환승센터는 환승이 편리하게 이루어질 수 있는 곳이어야 한다. 때문에 환승센터 내에 설치되는 시설들은 환승을 고려하여 배치되어야 한다. 그러나 현재까지는 환승센터 내에 배치되는 시설들의 배치와 관련된 별도의 규정이 없으며, 시설 배치안을 평가하기 위한 기준도 마련되어 있지 않다.

* 본 논문은 국토해양부 국가교통핵심기술개발사업인 『교통연계 및 환승시스템 기술개발』의 지원을 받아 수행한 연구임.(06 교통핵심 A02-02)

환승센터에 대한 기존의 연구들은 이용객들의 최적경로와 관련된 것들이 대부분이다. 환승센터 내에서 최적경로를 산정하여 이와 관련된 정보를 이용객에게 제공함으로써 환승이 보다 편리하게 이루어지도록 하자는 것이다. 정보를 제공하는 것도 환승센터의 효율성을 증진시키는데 있어 하나의 대안이 될 수 있겠으나, 그것보다 근본적인 대안은 환승센터 내에 설치되어 있는 환승관련 시설들을 적절하게 배치하여 이용객들의 동선을 최소화하는 것이라 하겠다.

본 연구에서는 크게 두 가지 측면에서 연구를 진행하였다. 우선 현재 운영되고 있는 환승센터 내부시설의 시설배치안을 평가하기 위한 기준을 설정하는 것이다. 기준을 설정하는데 있어 기존에 보행자의 서비스수준을 평가하는데 이용되고 있는 효과적도들을 고려하였다. 다음으로 환승센터 내에 위치하는 시설들의 배치대안을 생성할 수 있는 알고리즘을 정립하는 것이다. 이와 관련된 선행연구가 미진한 관계로 본 연구에서 별도의 기준을 마련하여 알고리즘을 수립하였다.

2. 연구의 과정 및 구성

1) 연구의 기본전제 및 가정

우선 환승센터를 이용하는 이용객들은 합리적이며, 목적활동을 달성하기 위해 최단경로를 선택한다고 가정하였다. 여기

에서 목적활동이란 환승, 쇼핑, 배웅, 주차 등을 말한다. 첫 번째 가정에 따라 환승센터 내부시설의 위치가 바뀌면 이용객이 선택하는 최단경로도 변경된다.

또한 배치변경의 대상이 되는 시설들은 계단, 엘리베이터, 에스컬레이터, 대합실, 화장실, 매표소, 개찰구 그리고 상업시설이다. 외부시설인 환승주차장, 정류장, 자전거보관소는 분석 대상에 포함시키되 배치변경 대상에서 제외하였다.

다음으로 시설물의 형태는 직사각형이라고 가정하였다. 이는 환승센터를 셀기반(cell-based)의 네트워크로 분석하기 때문이다. 시설의 규모는 모듈화(modularizing)하였으며, 동일한 종류의 시설은 같은 면적을 갖는다.

마지막으로 하나의 목적활동에 대해 기점과 종점이 주어졌을 때, 이용객이 선택하는 경로는 중간 경유지의 개수를 고려하여 산정하였다. 예를 들어 한 쌍의 기종점에 대해 중간 경유지가 한 곳인 경우, 총 두 개의 경로가 발생한다. 이 경우 각각의 경로에 대한 이용객의 선택은 확률적으로 이루어진다고 가정하였다.

2) 연구의 내용

먼저 본 연구에서는 시설배치의 평가기준, 시설배치대안 생성 알고리즘에 관한 기존의 연구를 고찰하여 한계점을 찾고, 이를 토대로 연구의 방향을 설정하였다. 그리고 시설배치안의 평가기준인 네트워크 총비용(Network Total Cost)을 새롭게 정의하였다. 또한 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)을 이용하여 시설배치대안 생성 알고리즘을 제시하였다. 마지막으로 네트워크 총비용과 제시한 알고리즘을 이용하여 모의실험을 한 후, 최적시설배치안을 도출하고자 하였다.

II. 본론

1. 관련이론 및 선행연구 고찰

1) 관련이론 고찰

(1) 시설배치문제(FLP)의 정의

시설배치문제(Facility Layout Problem)는 배치하고자 하는 시설들의 수 및 종류, 시설들 간 자재(Material)의 유동량(Flow Volume)이 주어졌을 때, 가용면적 내에 시설들을 배치하여 얻어지는 여러 시설배치대안들 중에서 시설들 간 자재의 운반비용의 합이 최소가 되는 시설들의 최적시설배치안을 찾는 문제이다.

(2) 시설배치문제의 정식화(Formulation)

시설배치문제를 수학적으로 정식화하기 위한 여러 모델들이 제안되었으나, 가장 기본적인 형태는 2차 할당 정식화(Quadratic Assignment Formulation)라고 볼 수 있다.(Kazuhiro, 1995) 여기에서 시설배치문제란 N 개의 특정 공간에 N 개의 시설들을 배치하여 얻어지는 시설배치대안들 중에서 식(1)의 목적함수 값 Z 를 최소화하는 배치대안을 찾는 것을 의미한다.

$$\text{minimize } Z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [(Volume)_{ij} \times (Distance)_{ij}] \quad (1)$$

여기서,

N = 배치되는 시설들의 총 개수
 $(Volume)_{ij}$ = 시설 i 와 시설 j 사이의 유동량
 $(Distance)_{ij}$ = 시설 i 와 시설 j 사이의 거리

2) 선행연구 고찰

(1) 시설배치안 평가기준

교통공학 분야에서는 시설배치안 평가기준에 관한 연구를 찾아볼 수 없었다. 뿐만 아니라 시설배치문제 연구가 활발하게 진행되고 있는 산업공학 분야에서도 이와 관련된 연구는 극히 드물었다. 앞에서 언급한 바와 같이 대부분의 연구에서는 식(1)을 토대로 한 목적함수를 시설배치안의 평가기준으로 사용하고 있었다. 이러한 경향은 기존의 연구들이 평가기준 자체보다는 시설배치문제를 해결하기 위한 최적화 기법에 초점을 두고 있기 때문인 것으로 볼 수 있다.

(2) 시설배치대안 생성 알고리즘

시설배치문제에 접근하는데 있어 다수의 연구들이 유전자 알고리즘을 적용하고 있다. 이는 유전자 알고리즘이 가지고 있는 특징이 시설배치문제를 풀어나가는데 있어 매우 유용하기 때문이다. 또한 많은 연구에서 유전자 알고리즘을 적용하여 생성된 시설배치대안이 다른 최적화 기법을 통해 생성된 시설배치대안보다 우수한 것으로 입증된 바 있다.

유전자 알고리즘을 적용한 연구는 매우 많기 때문에 일일이 열거하기는 어렵다. 본 연구를 위해 참고한 Kazuhiro(1995), Maheswaran(1996), 우성식(1997), Islier(1998), 이근철(2000), 한성남(2001) 등의 연구에서도 유전자 알고리즘을 적용하였다. Tam(1992)과 같이 모의 담금질 기법을 적용한 사례도 있으나 그 수는 많지 않다.

3) 기존 연구와 본 연구의 차이점

먼저 본 연구에서는 시설배치안의 평가기준으로 네트워크 총비용(Network Total Cost)을 사용하였으며, 그 값을 시설들 간 교통량의 물리적인 이동거리의 합이 아닌 이동시간의

합으로 정의하였다. 이는 환승센터 이용객의 형태를 반영함과 동시에 다수의 보행균으로 인한 혼잡 또는 지체를 고려하기 위함이다. 또한 이용객이 목적활동을 달성하기 위해 기점에서 종점으로 이동하는 동안 들르게 되는 중간 경유지에서 소요하는 시간을 고려하여 네트워크 총비용에 반영하였다.

최적시설배치안을 도출하기 위한 기법으로는 유전자 알고리즘을 적용되 기존연구와는 조금 다른 방식을 사용하였다. 시설을 특정 공간에 할당하는 방식이 아니라 특정 시설이 입지할 수 있는 공간범위를 분석가가 직접 결정하도록 하는 방식을 적용하였다. 이러한 방식을 선택한 이유는 시설배치대안을 생성하는 단계에서부터 설계자의 의도를 반영하기 위함이다. 또한 이를 통해 과도한 제약조건을 지양하고 알고리즘의 효율성을 도모하고자 하였다.

[표 1] 기존 연구와 본 연구의 차이점

항목	Tam (1992)	한성남 (2001)	본 연구
평가기준 (총비용)	물동량의 이동거리	물동량의 이동거리	이용객의 이동시간
평가대상	화물	화물	사람
최적화 알고리즘	SA	GA	GA

주: SA-Simulated Annealing, GA-Genetic Algorithm

2. 시설배치대안 평가기준 및 생성 알고리즘 정립

본 연구는 시설배치안 평가기준과 시설배치대안 생성 알고리즘을 구축하는 것을 목적으로 한다. 따라서 시설배치안 평가기준이 가장 먼저 정의되어야 한다. 시설배치대안 평가기준으로 네트워크 총비용(Network Total Cost)을 사용하였다. 시설배치대안은 유전자 알고리즘을 이용하여 생성하되, 각각의 대안에 대한 네트워크 총비용을 계산하여 그 값이 최소인 대안을 최적시설배치안으로 선정하였다.

1) 네트워크 총비용(Network Total Cost)

시설배치안에 대한 평가기준으로 시설들 간 교통량의 물리적인 거리의 합을 사용하게 되면 혼잡이나 지체에 의한 영향을 고려하기가 어렵다. 본 연구에서는 시설배치안을 평가하기 위해 식(2)와 같이 네트워크 총비용을 정의하였다.

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \left[v_{ij} \times \left\{ \frac{d_{ij}}{-0.003v_{ij}^2 + 0.063v_{ij} + 74.47} + \frac{1}{\mu_{ij}} \right\} \right] \quad (2)$$

여기서,

N = 배치되는 시설들의 총 개수

v_{ij} = 시설*i*와 시설*j* 사이의 보행교통량

d_{ij} = 시설*i*와 시설*j* 사이의 거리

$1/\mu_{ij}$ = 시설*i*와 시설*j* 사이에 있는 중간 경유지에서 이용객이 소요하는 시간

네트워크 총비용은 환승센터 이용객이 목적활동을 달성하기 위해 기점에서 종점으로 이동하는 시간과 중간 경유지에서 소요하는 시간의 합으로 구성되어 있다. 각각의 시간을 세부적으로 설명하면 다음과 같다.

네트워크 총비용에서 기점에서 종점으로 이동하는 시간은 도로용량편람에서 제시하고 있는 보행자 관련 효과척도를 바탕으로 계산된 것이다.

[표 2] 보행자 서비스수준

서비스수준	보행교통류율 (인/분/m)	보행속도 (m/분)
A	≤ 20	≥ 75
B	≤ 32	≥ 72
C	≤ 46	≥ 69
D	≤ 70	≥ 62
E	≤ 106	≥ 40
F	-	< 40

출처: 『도로용량편람』의 표<12-1> 중 일부 발췌, 건설교통부, 2001

본 연구에서는 [표 2]를 바탕으로 보행교통류율과 보행속도 간의 관계식(3)을 도출하였다.

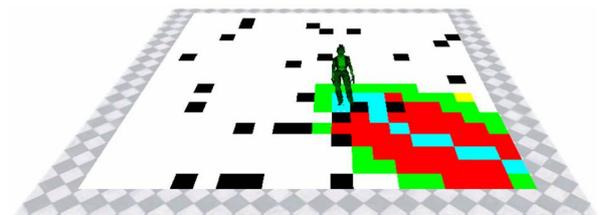
$$y = -0.003x^2 + 0.063x + 74.47 (R^2 = 0.996) \quad (3)$$

여기서,

x = 보행교통류율(인/분/m)

y = 보행속도(m/분)

목적활동에 따라 기점에서 종점으로 이동하는 시간은 앞서 도출된 관계식을 토대로 A* 알고리즘을 이용하여 산정하였다.



[그림 1] A* 알고리즘을 이용한 경로탐색의 예

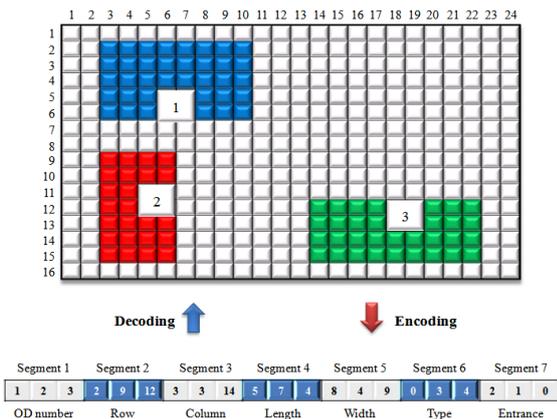
중간 경유지에서 소요하는 시간은 기중점 간 보행교통량을 바탕으로 대기행렬이론을 이용하여 산정하였다.

2) 시설배치대안 생성 알고리즘

(1) 시설배치문제에 있어 유전자의 구성

시설배치대안 생성 알고리즘은 유전자 알고리즘을 사용하였다. 유전자 알고리즘을 이용하여 시설배치문제를 해결하기 위해서는 염색체를 이용하여 가능해(Feasible Solution)를 표현(Encoding)하는 것뿐만 아니라, 알고리즘을 통해 도출된 최적해(Optimal Solution)를 배치도(Layout Plan)로 표현하는 방법(Decoding)도 중요하다. 본 연구에서는 가능해를 염색체로 표현하기 위해 [그림 2]와 같이 7개의 Segment를 갖는 염색체를 제안하였다. 첫 번째 Segment는 배치되는 시설의 기준점 번호, 두 번째 Segment는 시설물 기준셀의 세로좌표, 세 번째 Segment는 시설물 기준셀의 가로좌표, 네 번째 Segment는 시설물의 세로길이, 다섯 번째 Segment는 시설의 가로길이, 여섯 번째 Segment는 시설의 종류, 마지막으로 일곱 번째 Segment는 입구의 위치를 표현한다.

[그림 2]에서 Segment 1의 숫자는 시설의 일련번호임과 동시에 기준점 번호를 의미한다. Segment 2와 Segment 3은 앞서 설명한 바와 같이 기준셀의 좌표를 의미하는데, 여기에서 기준셀이란 시설의 좌측상단셀을 말한다. 기준셀의 위치는 분석가가 입력자료를 범위로 처리하면 염색체 생성 시에 난수를 이용하여 결정되는 값이다. Segment 4와 Segment 5는 각 시설에 대한 가로길이를 뜻한다. Segment 6의 시설물 종류는 임의로 번호를 부여하였다. 마지막으로 Segment 7의 입구위치는 각 시설경계의 가운데에 위치한다고 가정하였다. 입구가 상단에 위치하는 경우에는 0, 우측은 1, 하단은 2, 그리고 좌측은 3으로 표현하였다.



[그림 2] 시설배치문제를 위한 유전자 구성의 예시

(2) 제안된 유전자 알고리즘과 유전자 연산

유전자 알고리즘에서 해결하고자 하는 문제의 가능해에 해당하는 개체(Individual)는 모집단의 한 원소가 되고 이 모집단의 각 원소를 모집단의 개체 또는 문제에 대한 해(Solution)인 염색체(Chromosome)라 부른다. 이 염색체는 유

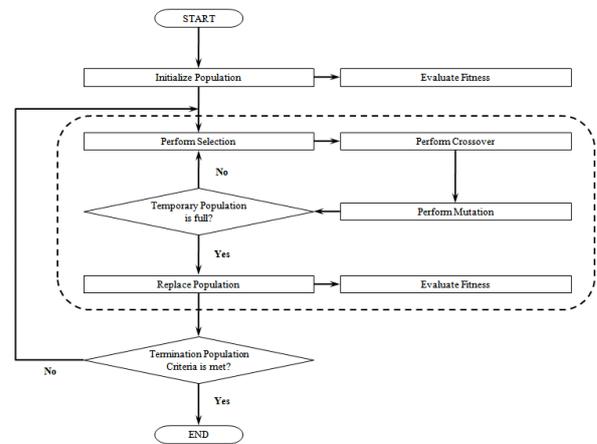
전인자(Gene)로 알려진 부호(Symbol)들의 조합으로 표현된다. 각각의 세대(Generation)에서 부모 염색체들이 자손(Child)을 생성하기 위해 선택(Selection) 과정을 통해 모집단으로부터 선택되고 보다 다양한 염색체들을 생성하기 위해 교배, 돌연변이 등과 같은 유전자 연산(Genetic Operation)이 선택된 두 부모 염색체에 적용된다.

본 연구에서는 선택, 교배, 그리고 돌연변이가 자손을 생성하기 위해 사용되었다.

(3) 제안된 유전자 알고리즘의 개요

본 연구에서 제안된 유전자 알고리즘을 순서도로 표현하면 [그림 3]과 같고, 이를 단계별로 살펴보면 다음과 같다.

- <단계 1> 초기 모집단을 무작위로 생성
- <단계 2> 모집단 개체들의 적합도 값을 계산
- <단계 3> 교배를 위해 모집단으로부터 두 부모 개체를 선택
- <단계 4> 교배 연산을 수행
- <단계 5> P_m 의 확률로 돌연변이 연산을 수행
- <단계 6> 개체들의 적합도 값을 계산
- <단계 7> 알고리즘 종료기준을 만족할 때까지 단계 3~단계 6을 반복



[그림 3] 제안된 유전자 알고리즘 순서도

(4) 유전자 연산

① 선택(Selection) 연산

선택은 재생(Reproduction)을 위해 모집단으로부터 두 부모 개체를 선택하는 과정으로 본 연구에서는 비례선택(Proportionate Selection 또는 Roulette Wheel Selection)을 사용하였다. 비례선택은 적합도 값이 큰 개체일수록 선택확률이 높아지는 원리를 이용한 것이며, 수식으로 표현하면 식(4)와 같다.

$$P_i = \frac{f(\text{parent}_i)}{\sum_k f(\text{parent}_k)} \quad (4)$$

여기서,

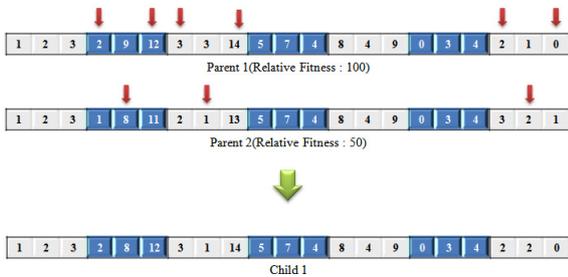
P_i = i 번째 개체의 선택 확률

$f(\text{parent}_i)$ = i 번째 개체의 적합도 값

$\sum_k f(\text{parent}_k)$ = 현 세대에서 모든 개체들의 적합도 값의 합

② 교배(Crossover) 연산

교배 연산은 비례선택 과정을 통해 선택된 두 부모 개체로부터 자손을 생성하는 과정으로 본 연구에서는 제안된 유전자 중 Segment 2, Segment 3, 그리고 Segment 7을 교배대상 유전자로 사용하였다. 이에 대한 교배 메커니즘은 [그림 4]에 설명되어 있다.

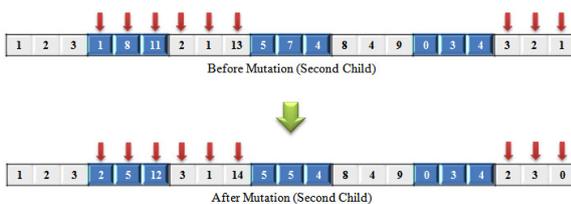


[그림 4] 유전자 교배 연산의 메커니즘

제시된 예와 같이 선택된 두 부모 염색체 간 적합도의 상대적인 비가 2대1인 경우, 적합도가 높은 부모 Parent 1의 유전자를 부모 Parent 2의 유전자보다 자식 세대에 보다 많이 물려주게 된다.

③ 돌연변이(Mutation) 연산

돌연변이 연산은 교배 연산이 모두 끝난 후, 유전자의 Segment 2, Segment 3, 그리고 Segment 7에 대해 실시하게 된다. 바꾸어 말하면, 시설의 기준셀 좌표와 입구위치를 다시 설정한다는 의미이다. 이 경우 최초에 염색체를 생성할 때와 마찬가지로 난수를 발생시켜 돌연변이 인자를 결정하게 된다. 돌연변이 연산의 메커니즘은 [그림 5]에 설명되어 있다.



[그림 5] 유전자 돌연변이 연산의 메커니즘

3. 제안된 유전자 알고리즘의 적용

1) 모의실험 대상 및 입력자료의 결정

(1) 모의실험 대상 - 광명역 지상1층

제안된 유전자 알고리즘을 적용하기 위한 대상으로 광명역 지상1층을 선정하였다. 선정 이유는 표본 O/D가 확보되어 있기 때문이다.

(2) 입력자료

- 모집단의 크기(염색체의 개수) : 50개
- 돌연변이 확률 : $P_m=0.1$
- 알고리즘 종결조건 : 한 집단 내에서 적합도 값이 가장 큰 염색체와 적합도 값이 가장 작은 염색체의 차이가 1%미만인 경우, 알고리즘 종결
- 단위셀의 크기 : 가로 2m×세로 2m
- 가용면적의 크기 : 4033cells(가로 109cells×세로 37cells)
- 배치대상 시설물(세로cells×가로cells) : 출입구(2×7), 매표소(2×6), 계단(1×5), 에스컬레이터(1×6)
- 전수화 된 1시간 단위의 보행교통량 O/D (1시간 동안 총 이용객수 3,378명)

(3) 제안된 유전자 알고리즘의 구현

제안된 유전자 알고리즘은 Microsoft Visual C++ 6.0을 이용하여 구현되었고, Pentium IV 3.0GHz 1.0GB RAM에서 프로그램을 실행하였다.

2) 제안된 유전자 알고리즘에 의한 계산 결과

계산 결과는 [표3]과 같다.

[표 3] 제안된 유전자 알고리즘에 의한 계산 결과

모집단의 수	세대수	계산 시간	목적함수 값
50개체	94회	약3분	14,630.8분

여기에서 목적함수 값이 의미하는 바는 광명역 지상1층을 이용하는 이용객들이 목적활동을 달성하기 위해서 이동하는 동안 걸린 시간의 총합을 뜻한다.

[표 4] 기존 시설배치안과 도출된 시설배치안의 비교

배치안	총비용 (분)	평균비용 (분/인)	사용셀 개수(개)
기존 시설배치안	14,944.2	약 4.4	813
도출된 시설배치안	14,630.8	약 4.3	1018

기존 시설배치안과 도출된 시설배치안의 총비용을 비교해 본 결과, 현재의 시설배치안을 도출된 시설배치안으로 변경할 경우, 약 2.1%의 총비용이 감소되는 것으로 나타났다.

III. 결론 및 향후 연구과제

1. 결론

본 연구는 환승센터 내부시설의 최적배치에 관한 연구로 다음과 같은 내용의 연구를 수행하였다.

- 1) 시설배치안의 평가기준으로 네트워크 총비용(Network Total Cost)을 사용하였으며, 그 값을 시설들 간 교통량의 물리적인 이동거리의 합이 아닌 이동시간의 합으로 정의하였다. 이를 통해 환승센터 이용객의 형태를 반영함과 동시에 다수의 보행군으로 인한 혼잡 또는 지체를 고려하고자 하였다.
- 2) 네트워크를 셀기반(cell-based)으로 해석하고 최적시설배치안을 도출하기 위한 기법으로 유전자 알고리즘을 적용하였다. 기존에 사용되던 알고리즘과의 차이점은 시설을 특정 공간에 할당하는 방식이 아니라 특정 시설이 입지할 수 있는 공간범위를 분석가가 직접 결정하도록 처리했다는 점이다. 이를 통해 시설배치대안을 생성하는 단계에서부터 설계자의 의도를 반영하고자 하였다.
- 3) 제안된 유전자 알고리즘을 모의실험에 적용하여 광명역 지상1층의 시설배치대안을 제시하였다. 제시된 시설배치대안의 총비용은 기존 시설배치대안의 총비용보다 적은 것으로 나타났다.

2. 연구의 한계 및 향후 연구방향

본 연구는 다음과 같은 측면에서 한계를 지닌다.

첫째, 복층 환승센터에 대한 최적화 작업을 고려하지 못했다. 본 연구는 단층인 환승센터를 대상으로 하였다. 모의실험 대상인 광명역의 경우 이용객이 이용할 수 있는 영역은 총 3개 층에 달한다. 복층 환승센터의 내부시설 배치를 최적화할 수 있는 연구가 수행되어야 한다.

둘째, 시설배치최적화의 대상이 환승센터 내부시설에만 한정되어 있다. 환승센터를 이용하는 이용객들의 발생은 환승센

터 외부인 환승주차장, 버스정류장, 자전거보관소 등에서 시작된다. 이 또한 추후 연구를 통해 보완되어야 할 부분이다.

참고문헌

1. 우성식, 박양병, "블록단위 설비배치를 위한 유전자 알고리즘의 적용", 경영과학 제14권 제1호, 1997
2. 윤상원, 배상훈, "대중교통 수단선택과 연계한 복합 환승센터 내 보행자 최적경로 산정", 한국ITS학회는 문지 제6권 제2호, 2007
3. 진강규, "유전알고리즘과 그 응용", 교우사, 2002.
4. 한성남, 이규열, 노명일, "최적 공간 배치 설계를 위한 개선된 유전 알고리즘에 관한 연구", 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회, 2001
5. 도로용량편람, 건설교통부, 2004
6. 도시철도 정거장 및 환승, 편의시설 보완 설계 지침, 건설교통부, 2002. 11
7. A. A. Islier, "A genetic algorithm approach for multiple criteria facility layout design", International Journal of Production Research, Vol.36, No.6, 1998.
8. Das, S., "A facility layout method for flexible manufacturing systems", International Journal of Production Research, 31(2), 1993
9. Kazuhiro Kado, "An Investigation of Genetic Algorithms for Facility Layout Problems", University of Edinburgh, 1995
10. Maheswaran Rajasekharan, Brett A. Peters, Taho Yang, "A Genetic Algorithm For Facility Layout Design In Flexible Manufacturing System", 1996
11. Mitchell, "An Introduction to Genetic Algorithms", MIT press, 1997
12. Robin S. Liggett, "Automated facilities layout : past, present and future", Automation in Construction 9, 2000
13. Tam KY, "A simulated annealing algorithm for allocation space to manufacturing cells", International Journal of Production Research, Vol.30, 1992.