

옥외공간에서 수목의 다기능을 고려한 최적의 배식 위치 선정 모델*

- 수목의 그림자 효과, 시야차단, 개방성을 고려하여 -

박채연¹⁾ · 이동근²⁾ · 윤은주³⁾ · 모용원⁴⁾ · 윤준하²⁾

¹⁾ 서울대학교 협동과정조경학 박사과정 · ²⁾ 서울대학교 조경·지역시스템공학부 ·

³⁾ 일본국립환경연구소 사회환경시스템 연구센터 · ⁴⁾ 영남대학교 생명응용과학대학 산림자원 및 조경학과

Optimal tree location model considering multi-function of tree for outdoor space*

- considering shading effect, shielding, openness of a tree -

Park, Chae-Yeon¹⁾ · Lee, Dong-Kun²⁾ · Yoon, Eun-Joo³⁾ · Mo, Yong-Won⁴⁾ and Yoon, June-Ha²⁾

¹⁾ Interdisciplinary Program in Landscape Architecture, Seoul National University,

²⁾ Department of Landscape Architecture and Rural system Engineering, Seoul National University,

³⁾ Center for Social and Environmental Systems Research, National Institute for Environment Studies, Japan,

⁴⁾ Department of Forest Resources and Landscape Architect, College of Life and Applied Sciences,
Yeungnam University.

ABSTRACT

Open space planners and designers should consider scientific and quantified functions of trees when they have to locate where to plant the tree. However, until now, most planners and designers could not consider them because of lack of tool for considering scientific and quantitative tree functions. This study introduces a tree location supporting tool which focuses on the multi-objective including scientific function using ACO (Ant colony optimization). We choose shading effect (scientific function), shielding, and openness as objectives for test application. The results show that when the user give a high weight to a particular objective, they can obtain the optimal results with high value of that

* 본 결과물은 환경부의 환경정책기반공공기술개발사업(과제번호:E416-00021-0604-0) 및 2019년도 BK21 플러스 사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다(서울대학교 협동과정조경학 그린인프라 창조 인재 양성팀).

First author : Park, Chae-Yeon, Interdisciplinary Program in Landscape Architecture, Seoul National University,
Tel : +82-2-880-4885, E-mail : chaeyeon528@snu.ac.kr

Corresponding author : Lee, Dong-Kun, Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering,
Seoul National University,
Tel : +82-2-880-4875, E-mail : dklee7@snu.ac.kr

Received : 30 October, 2018. **Revised** : 21 February, 2019. **Accepted** : 14 February, 2019.

objective. When we allocate higher weight for the shading effect, the tree plans provide larger shadow value. Even when compared with current tree plan, the study result has a larger shading effect plan. This result will reduce incident radiation to the ground and make thermal friendly open space in the summer. If planners and designers utilize this tool and control the objectives, they would get diverse optimal tree plans and it will allow them to make use of the many environmental benefits from trees.

Key Words : *Ant colony optimization, tree allocation, park design, tree service, shading effect*

I. 서 론

옥외공간에서 이루어지는 식재 설계는 수목의 다양한 기능을 고려한다. 특히 공원과 같은 옥외공간에서는 그 공간의 이용자의 행태도 함께 고려하여 배식 위치, 수종, 크기 등을 결정한다. 수목의 대표적인 기능으로는 시선을 차단하거나 경계를 구분하고, 열린 경관과 대비될 수 있는 위요공간을 형성하는 등의 건축적 기능과, 배경효과와 조화로우음을 제공하는 미적 기능이 있으며, 이 외에도 기상학적, 생태적 기능 등 과학적으로 평가 가능한 기능을 갖는다. 실제 관련 연구에서는 수목이 태양열을 차단하여 이용자들이 상대적으로 시원하게 느끼는 공간을 형성하며(Holst and Mayer. 2011; Lee et al. 2013; Park et al. 2018), 주변 공기를 정화하고(Gromke and Blocken. 2015), 녹지의 연결성을 높이거나 생물들에게 서식처를 제공하는 기능이 있음을 과학적으로 밝히고 있다(Lopez et al. 2018).

이렇듯 수목이 다양한 기능을 가지고 있음에도 불구하고, 실제 식재 설계에서는 수목의 기능을 정량적으로 고려하지 못하고 있다. 이것은 타 분야 대비 옥외 공간에 대한 과학적 연구가 부족하다는 데에서 일부 기인한 것도 있으나, 공간 설계 및 계획 분야의 정성적 특성과, 기능을 평가하는 분야의 정량적 특성을 연계하는데 한계가 존재하기 때문이다. 수목의 정량적·정성적 특성의 통합적 고려가 가능한 도구가 있다면 위와 같은 한계를 벗어나는데 도움을 줄 수 있

을 것이다.

최근 공간계획에 다양한 목적을 달성하기 위한 도구로서 다목적 최적화 알고리즘(Multi-objective optimization)이 대두되고 있다. 다목적 최적화 알고리즘은 목적 함수를 이용하여 객관적, 정량적으로 목적 달성 수준이 높은 솔루션을 탐색해 가기 때문에, 옥외공간의 경우에도 설계안을 객관적, 정량적으로 평가할 수 있는 목적 함수만 규명한다면 적용이 가능하다(Yoon and Lee, 2017). 국내에서 최적화 알고리즘은 회로의 배열, 최적의 모델 변수 결정, 트러스트 돔 구조물 등의 분야에서 주로 사용되어 왔으나, 최근에는 공간 문제에도 적용된 사례가 있다(Park et al. 2017; Yoon et al. 2018). 최적화 알고리즘을 이용하게 될 경우 여러 가지 목적/기능을 모두 만족시킬 수 있는 대안을 찾아내기 때문에 수목의 여러 특성이 통합적으로 고려된 계획안들을 도출할 수 있다.

따라서 본 연구는 개미 군집 알고리즘을 이용하여 그동안 공간 설계 및 계획 분야에서 고려되지 못하던 수목의 객관적, 정량적 기능을 정성적 기능과 함께 고려할 수 있는 배식 위치 최적화 모델을 제안하고자 하였다. 이를 위해 수목의 객관적 기능인 그림자 효과와, 정성적 기능인 시선차단과 개방성을 함께 평가할 수 있는 목적함수를 규명하였다. 수목이 형성하는 그늘에서는 태양으로부터의 단파복사에너지가 차단되기 때문에 여름철 쉼터를 제공하는 효과가 있다. 본 연구에서는 정량적인 목적함수로 수목에

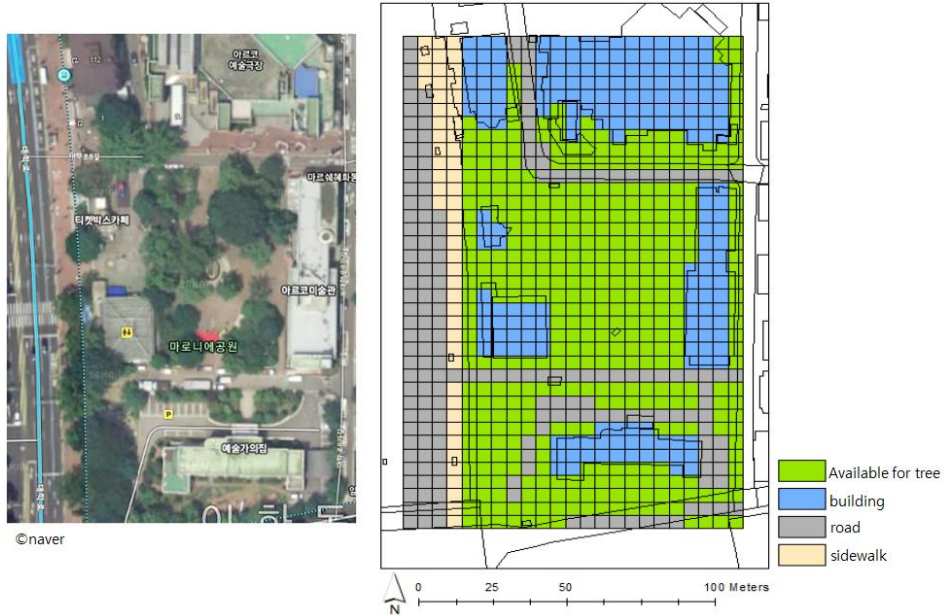


Figure 1. Research Site for pilot test. (left: aerial photograph, right: model domain)

의한 그림자 면적을 적용하였고, 설계자의 주관 이 반영될 수 있는 시선차단과 개방성을 수목의 정성적 기능으로 목적함수에 추가하였다. 또한 본 연구에서 반영하고 있지 않은 수목의 기능이더라도 수식, 평가도면 등의 목적함수에 포함시킨다면 추가 반영 가능하기 때문에 그 활용 가능성이 높을 것으로 예상된다.

II. 재료 및 방법

1. 연구 대상지

본 연구는 수목의 최적 위치를 찾아내는 모델을 제안하는 것을 목적으로 하며, 제안된 모델을 대상지에 시범적용 하였다. 대상지는 많은 사람이 이용하며 열 쾌적성이 문제가 될 수 있는 공간, 건물이 적게 분포하여 수목 그림자가 필요한 공간이라는 두 기준에 따라 선정하였다. 따라서 낮 동안에도 거주민과 관광객의 왕래가 많고 건물의 그림자가 적은 종로구에 위치한 마로니에 공원이 연구의 대상지로 선정되었다. 총 대상지역은 115×185m 이며 공간을 격자단위 (5

×5m)로 치환하여 연구에 활용하였다. 5m 격자 단위는 수목의 수관 폭을 고려하였을 때 수목 한 주가 위치하기 적절한 크기이다.

2. 입력 자료

격자마다 한 개의 공간이용(건축물, 도로, 보행로, 수목)이 할당되며 건물, 도로, 보행로를 제외한 공간을 수목이 위치할 수 있는 공간으로 정의하였다(Figure 1). 본 연구에서 제안하는 모델은 사용자가 수목의 규격과 주수를 지정하면, 그에 대한 최적의 위치를 제안해 준다. 본 연구는 대상지의 기존 수목을 무시하고 새로 배식하였을 때 어느 위치가 가장 좋은지에 대한 결과를 도출한 것이다. 단, 모델결과와 기존 대상지의 식재 위치를 비교하기 위해서 수목의 입력 자료는 현재 식재되어 있는 수목을 기준으로 하였다. 서울시 가로수, 공원녹지 수목 자료를 참조했을 때 현재 대상지에는 약 9m 높이의 수목 20주와 약 12m 높이의 수목 24주가 분포하고 있었다.

목적함수에 사용되는 변수로는 시야차단, 개

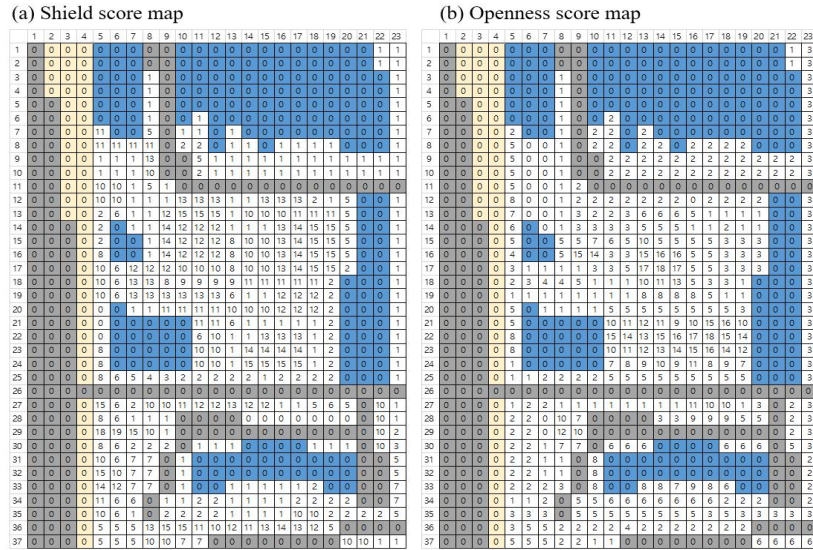


Figure 2. Score map for shielding and openness tree functions. (score: 0~20)

방성, 그림자가 있다. 시야차단, 개방성은 공간 설계의 정성적인 특성을 반영할 수 있는 변수이다. 시야차단은 그 공간에 이용자가 주변의 사람 혹은 물체를 볼 수 없도록 수목이 시야를 차단하는 것을 의미한다. 예를 들어, 주차장 쪽을 가리기 위해 길에서 주차장 사이에 수목을 식재할 수 있다. 다음으로 개방성은 탁 트인 공간을 반영할 수 있는 변수이다. 광장과 같은 공간을 의도할 때 개방성을 높이고 수목이 식재되지 않도록 할 수 있다. 식재설계에서 공간 활용의 특성을 시야차단, 개방성으로만 설명할 수는 없지만 본 연구에서는 모델의 결과를 잘 보여줄 수 있는 변수 두 가지를 선정하였다. 본 연구에서 두 목적함수는 향후 모델의 결과와 실제 수목 배치 위치를 비교하기 위하여 실제 식재된 수목을 고려하여 점수 도면을 작성하였지만, 실제 모델이 활용 될 때는 설계자의 주관성이 드러날 수 있도록 직접 점수 도면을 작성하여 입력변수로 활용한다(Figure 2). 시야차단 점수 도면의 경우 0에서 20점 사이에서 시야차단이 필요한 격자일수록 높은 점수를 부여하였다. 개방성 점수 도면의 경우 역시 0에서 20점 사이에서 개방성이 요구되는 격자일수록 높은 점수를 부여하였다.

두 변수는 각 격자의 점수가 달라지지 않기 때문에 점수도면으로 들어가지만, 그림자의 경우 수목의 위치가 달라짐에 따라 각 격자의 값이 달라지기 때문에 점수도면이 아닌, 수목의 위치, 일사량, 태양 천정각, 방위각을 독립변수로, 그림자의 면적을 종속변수로 하는 함수로 들어가게 된다. 시범 적용의 경우 2017년 6월에서 8월까지 전운량이 5 미만인 날, 오후 2시의 일사량, 태양 고도각, 방위각을 기준으로 하였으며, 이때의 평균값은 각각 822 W/m^2 , 0.4587 radian , 3.7739 radian 이다. 그림자 함수의 설명은 아래와 같다.

Table 2. Input parameters

Categories	Parameters		
Land use	Building		
	Road		
	Sidewalk		
Tree	Number of trees		
	Size of trees		
Objective function	Shield	Score map	
	Openness	Score map	
	Tree shade	Irradiation	
		Solar elevation angle	
Solar azimuth angle			

1) 그림자 함수

그림자함수는 목적함수 중 그림자 기능을 계산해주기 위한 함수로, 수목의 위치가 바뀔 때마다 총 수목이 제공해주는 그림자의 값을 계산해준다. 그림자 값이란 수목이 없을 때 바닥이 받는 총 직달일사량에서 수목이 있을 때 받는 총 직달일사량의 차이를 의미한다. 가장 먼저, 대상 시기의 평균적인 태양 고도각과 방향각을 구한다. 건물이나 수목이 있을 경우 바닥으로 들어가는 태양 입사 광선이 차단되는데, 차단유무를 알기 위해서 바닥에서 반대로 태양의 입사 방향으로 광선을 쏘아 올려 건물이나 수목에 의해 차단되는 광선의 개수를 구한다. 건물에 의해 차단된 경우에는 바닥의 일사량을 0으로, 수목에 의해 차단된 경우에는 일사량의 20%로 한다(Huang, Akbari, Taha, & Rosenfeld, 1987). 분석의 해상도를 높이기 위해서 한 격자 당 일정한 간격으로 9개의 광선을 쏘아 올리고 그림자 값은 9개의 평균값을 사용한다(Figure 3). 즉, 바닥에서 쏘아올린 9개의 광선 중 건물에 의해서 n개가 차단될 경우 바닥의 일사량을 일사량 * (9-n)/9으로 계산하고, 9개의 광선 중 수목에 의해 n개가 차단될 경우 바닥의 일사량을 일사량 * {(9-n)+0.2*n}/9로 계산한다.

여름철 일사량은 옥외공간 이용자의 열 쾌적성에 큰 영향을 미치는 요소이다. 그림자 값이 클수록 이용자의 열 환경이 쾌적하다는 것을 의미한다.

3. 개미 군집 알고리즘

공간 문제에는 최적화 알고리즘 중 유전 알고리즘 (GA, Genetic Algorithms)이 가장 빈도 높게 적용되어 왔으며, 그 외에도 담금질 기법 (SA, Simulated Annealing), 개미 군집 알고리즘 (ACO, Ant Colony Optimization) 등 다양한 알고리즘이 개발되었다 (Aerts and Heuvelink, 2002; Li and Parrott, 2016; Liu, et al. 2012). 이 중 개미 군집 알고리즘은 1990년대에 Maniezzo (1992)이 개발한 최적화 알고리즘으로서, 개미

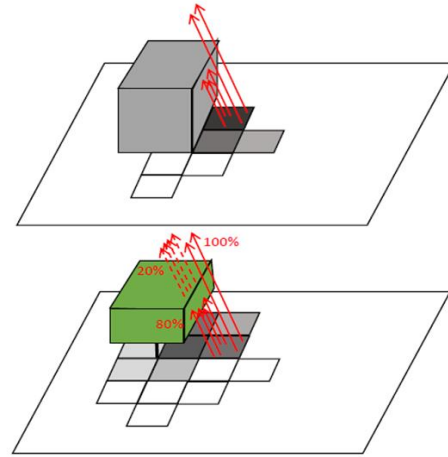


Figure 3. Intercepted solar radiation calculation for shading. (up: building, down: tree)

들이 페로몬(pheromone)을 이용해 먹이까지의 최적 경로를 선택하는 행동을 응용하여 시물레이션하는 방법이다. 관련 선행 연구에서는 도로 설계(최적 경로) 뿐만 아니라 시설물의 배치, 토지이용의 배분 등을 최적화하는 데에 기존의 알고리즘보다 좋은 퍼포먼스를 보여주고 있음을 보여준 바 있다(Li et al. 2009; Liu et al. 2012; Ma et al. 2017). Li et al (2009)는 ACO가 GA와 비교했을 때 연산 속도가 빠르고 더 높은 목적함수 값을 도출함을 밝힌 바 있다.

개미 군집 알고리즘은 최적화 방법 중 하나로, 개미가 좋은 해를 얻을 경우 페로몬을 남겨서 점차 세대가 지날수록 점차 좋은 해를 얻을 수 있게 하는 알고리즘이다. 본 모델에서 좋은 해의 기준은 목적함수 값을 최대해 주는 것으로, 그림자와 시야차단은 높고 개방성은 낮은 위치에 수목을 배식시키는 것을 목적으로 한다. 목적함수(F)는 식(1)과 같고, 최적화 알고리즘의 전체 알고리즘은 Figure 4와 같다. 개미가 이동함으로써 얻어지는 위치(해)를 수목 배식 위치로 볼 수 있으며, 이동할 때 마다 해당 위치의 목적함수를 계산하여 이전 해의 목적함수보다 클 경우 개미의 이동을 유지시키고 같거나 작을 경우에는 개미의 이동을 후퇴시켜 점차 좋은 해

로 유도해가는 과정이다.

$$F = w_1 \sum_{i=1}^{n_{Var}} shadow(i) + w_2 \sum_{j=1}^{n_{m_tree}} shield(j) - w_3 \sum_{j=1}^{n_{m_tree}} openness(j) \quad (1)$$

w_1, w_2, w_3 는 각 기능의 가중치이며 원하는 기능을 강조하기 위해 가중치를 조정할 수 있다. 기능의 값은 표준화되어 0부터 1까지의 값으로 나타낸다. 개미의 위치를 수목의 위치로 가정하였으므로, 최종적으로 개미들이 선택한 위치가 최적화된 수목의 위치가 된다. 처음에는 임의로 개미의 위치가 결정되나, 각 개미는 확률적으로 다른 격자를 선택하여 이동할 수 있다. 이때의 선택 확률($prob$)은 각 격자에 남겨진 페로몬의 농도(p)과 목적의 달성 정도와 관련 있는 휴리스틱(H)값을 이용해서 산정한다(식 2-4).

$$prob = \frac{P(i)^\alpha H(j)^\beta}{\sum P(i)^\alpha \sum H(j)^\beta} \quad (2)$$

$$p_{(r)} = p_{(r-1)}(1-e) + p' \quad (3)$$

$$p' = F_{best} * C \quad (3-1)$$

$$H = \frac{shield(i) - openness(i)}{n} \quad (4)$$

α : 페로몬 가중치, β : 휴리스틱 가중치, p_r : 해당 반복횟수의 페로몬 농도, p_{r-1} : 이전 반복횟수의 페로몬 농도, e 는 페로몬 증발비율, p' 는 새로 추가되는 페로몬 농도, n : 격자 수, F_{best} : 가장 높은 해의 목적함수 값, C : 상수

개미 한 마리가 확률적으로 다른 위치를 선택할 때에는 시야차단과 개방성 측면만을 고려하지만, 그 위치로 옮겨가는 것은 시야차단, 개방성, 그림자의 모든 측면에서 개선되었을 때에만 가능하다(식1). 모든 개미가 선택 및 자리 옮기기를 시도했을 때 한 번의 시뮬레이션이 완료되며, 이 때 변경된 개미의 위치는 페로몬의 형태로 기록된다. 이전 시뮬레이션에 의해 기록된 페로몬의 일정 부분 증발되고 ($1-e$), 수목의 위치가 개방성, 시야차단, 그림자 목적을 얼마나 만족하는지(F_{best})에 상수(C)만큼 비례하는 페

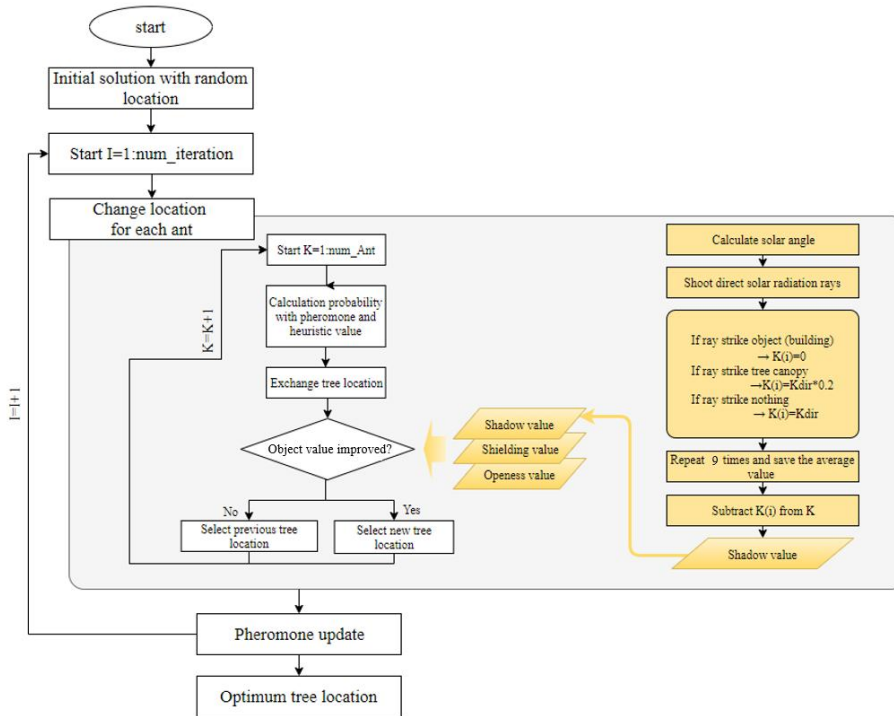


Figure 4. ACO algorithm for optimal tree location model

Table 3. Functions' weight in the three different scenarios

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
w_1	1/3	1/2	3/5
w_2	1/3	1/4	1/5
w_3	1/3	1/4	1/5
$w_1 : w_2 : w_3$	1:1:1	2:1:1	3:1:1

로몬이 더해진다(식 3). 이것은 최적화 시물레이션의 후반부로 갈수록 목적함수 측면에서 그 값이 더 높은 결과가 도출되는 특성을 효과적으로 반영한 것으로 이해할 수 있다.

시범 적용에서는 전체 반복횟수를 300으로 했다. 대상의 규모나 모델의 복잡성 등에 따라 반복횟수는 달라질 수 있기 때문에 이용자는 다양한 시도를 통해서 사용자가 특정 횟수 값을 지정하거나 수렴 정도를 이용해서 반복횟수를 지정하는 방법을 사용해야 한다.

4. 수목 배식 위치 시나리오

개미 군집 알고리즘과 같은 최적화 알고리즘은 사용자가 여러 가지 조건을 둬으로써 원하는 방향의 최적 해를 찾는 것이 가능하다. 본 연구에서 그림자 변수는 수목의 정량적 효과를 파악해줄 수 있는 도구로 가중치 변화를 통해서 정량적 효과의 차이를 파악하고자 하였으며, 그림자 변수 w_1 의 비율을 다른 가중치 대비 1배, 2배, 3배로 증가하는 시나리오를 설정하였다(Table 2). 그림자의 가중치를 높임에 따라 그림자 값이 더 높은 해가 선택되는지 확인하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 시나리오 별 최적화 결과

그림자 가중치를 다르게 했을 때 도출된 수목의 배식 도면은 Figure 5와 같다. 세 시나리오에서 동일하게 선택된 지점은 대상지 전체의 그림자 값을 높이고, 시야 차단이 중요한 곳에 위치하며 동시에 중요 지점의 개방성을 높이는 곳이라고 볼 수 있다. 대상 시기에 그림자는 건물,

수목의 동북 방향으로 만들어지기 때문에 건축물의 남쪽이나 건물이 없는 공간에 많이 위치하게 되었다.

시나리오 별 차이는 w_1 의 가중치를 다르게 해 준 것인데, 시나리오 3이 1과 2에 비해 그림자 값이 가장 큰 것을 확인할 수 있다(Table 3). 3개의 시나리오 모두 유사한 지역을 선택했지만, 시나리오 3으로 갈수록 나무가 서로 떨어져서 위치하거나 수목의 규모가 바뀌면서 그림자 값이 더 커졌다. 특히 A지역의 경우, 시나리오 1에서는 수목끼리 뭉쳐있는 경향을 보였지만, 시나리오 2와 3에서는 붙어서 식재되는 것이 없게끔 위치하였다. 그림자 효과를 증대시키기 위해서는 최대한 수목의 간격을 유지시키는 것이 중요한 것을 알 수 있다. 수목을 가깝게 식재하는 것 보다 떨어진 곳에 식재하는 것이 열 환경 개선에 도움이 되는 것은 기존 연구에서도 지적된 바 있다. Yoon et al. (2019)는 열 환경 개선을 높일 수 있는 최적화 결과에서 기존 수목 주위보다는 도로 주변이나 공지에 새로운 수목이 식재되는 것을 보여주었다. 지역 B는 상대적으로 개방도가 높고 차폐성이 낮아 두 가지 목적으로는 수목이 위치하기 어려운 지역이다. 하지만 그림자 목적의 가중치를 높게 할수록 이 지역에 식재되는 수목이 늘어나는 것으로 보아 B 지역이 그림자 양을 최대로 할 수 있는 위치인 것으로 사료된다.

이러한 시나리오별 차이는 이전의 최적화 토지이용 계획모델에서도 동일하게 나타난 바 있다 (Yoon and Lee, 2017). 개발이익, 보전이익을 두 가지 목적으로 두었을 때 각 측면의 가중치에 따라 토지이용 배분이 다르게 나타났고, 중도

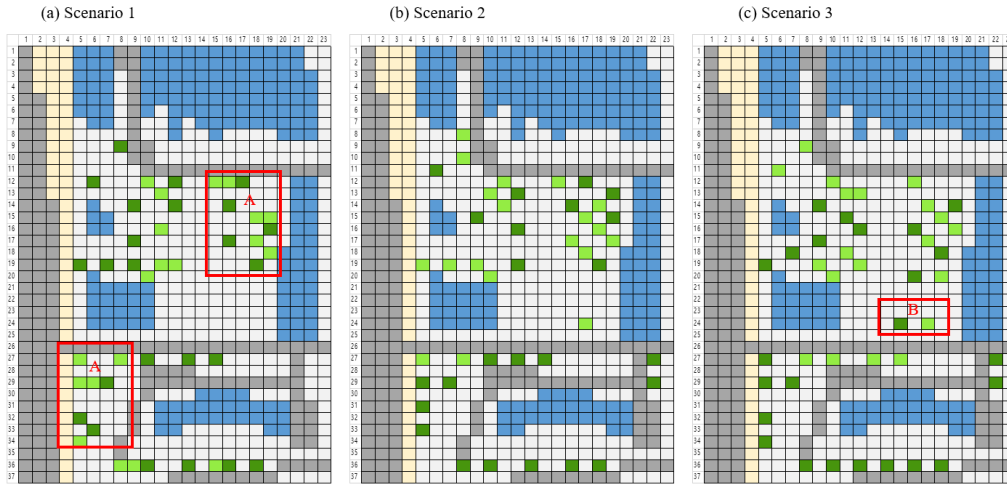


Figure 5. Tree location results from the different weights simulations

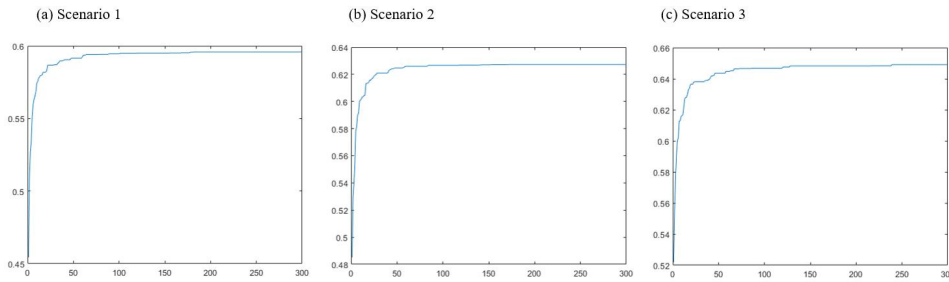


Figure 6. The variation of objective Function value(F). (x axis: iteration, y axis: F).

적인 성격을 지닌 대안도 도출되었다. 시나리오 별 차이를 도출해주는 최적화의 특징은 여러 대안을 도출해준다는 면에서 의미가 있다. 특히 여러 가지 해택을 모두 만족시킬 수 있는 공간적 대안을 찾기란 하지만 쉽지 않기 때문에 (Brookes, 2001), 위와 같은 최적화 대안이 갖는 의미가 크다. 아직까지 공간 계획 및 설계에 최적화 방법론을 적용한 사례가 많지 않기 때문에 본 연구에서 제안한 방법은 앞으로 여러 분야에서 발전될 가능성이 클 것이다.

Figure 6은 최적화 반복 횟수를 증가시킬 때마다 도출된 도면의 목적함수 값을 나타낸 것이다. 목적함수 값은 특정지점에서 수렴하는 패턴을 보인다. 시나리오 1과 2는 200회 이전에, 시나리오 3은 250회 이전에 수렴하는데, 이것은 400회 이상의 반복적인 시뮬레이션에서도 목적함수가 더 높은 해를 얻기 힘들며 현재 출력된 도면이 충분한 탐색을 통해 얻은 도면 중 가장 목적함수가 높은 결과라는 것을 의미한다. 초기의 값은 수목의 배식 위치를 모두 임의로 지정

Table 4. F_{best} , shadow value in each scenario

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
shadow value	84,606	86,838	86,908
shadow increase (%) compared with no tree	75.7%	80.36%	80.5%
F_{best}	0.60	0.63	0.65
F_{best} increase (%) based on initial answer	31%	29%	22%

했을 때의 값인데, 시나리오 1, 2, 3 모두 최적해 일 때 값이 초기 값에 비해 22~31% 증가한 것을 확인할 수 있다(Table 3). 이것은 옥외공간의 식재 설계 시 본 모델을 이용하여 필수적으로 충족시켜야 하는 수목의 기능을 최대화하는 위치를 모의할 수 있음을 보여주고 있다.

본 시범 적용의 결과는 6-8월 오후 2시에 한정되어 있다. 6-8월은 열 스트레스가 가장 높은 여름철에 해당하며, 이 중 2시는 일사량이 높으며 그림자가 어느 정도 생성되는 시기다. 동시에 이 시기는 사람들이 공원을 많이 이용하는 시기이므로, 본 연구에서 도출한 결과는 다수의 공원 이용객에게 열 쾌적성을 고려한 수목의 배식 위치를 도출하였다는 측면에서 의미 있는 결과이다. 하지만 본 연구에서는 응용 가능한 설계 모델을 제시하는데 목적이 두었으며, 그러한 맥락에서 다른 계절과 시간대를 기준으로 한 그림자의 변화에 대해서도 입력자료를 일부 수정함으로써 모의할 수 있다.

2. 실제 수목 배식 위치와 비교

Figure 7은 모델 결과(시나리오 3)와 실제 수목 배식 위치 도면을 비교한 것이다. 시야차단과 개방성은 실제 수목 위치를 보고 값을 정했기 때문에 몇몇 지점은 유사하게 나타난다. 하지만 모델은 그림자 기능을 추가했기 때문에 실제 수목과는 다소 다른 결과를 보인다. 중앙의 광장(A 지역)은 주변에 건물이 없어 일사 차단이 안 되기 때문에 바다의 일사량이 높게 나오는 지역이다. 모델 결과의 경우 일사량을 줄이기 위해 실제보다 수목을 더 넓게 분포하도록 위치하였다. 모델 결과는 실제 도면의 그림자 값(80384) 보다 8%정도 상승하였으며, 그림자의 분포가 넓어진 것을 볼 수 있다(Figure 8). B 지역의 경우 모델의 결과, 수목이 매우 일정한 간격으로 1열 식재된 것을 볼 수 있다. 이는 모델에서 가장 효율적인 위치를 선정했기 때문이다. 하지만 일부 심미적 기능을 위해서는 실제

수목 위치처럼 일정한 간격이 아닌 임의적인 간격으로 식재할 수 있을 것이다. 만약 일부 수목에 대해서 위와 같은 설계적 요소를 강조하고자 한다면, 최적화 알고리즘 이전에 일부 수목 배식 위치를 제약조건(constraint)으로서 사전에 고정시킬 수도 있을 것이다.

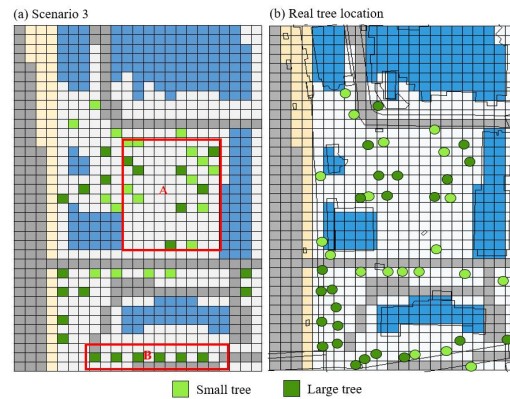


Figure 7. Tree location result (scenario 3, left) and real tree location (right).

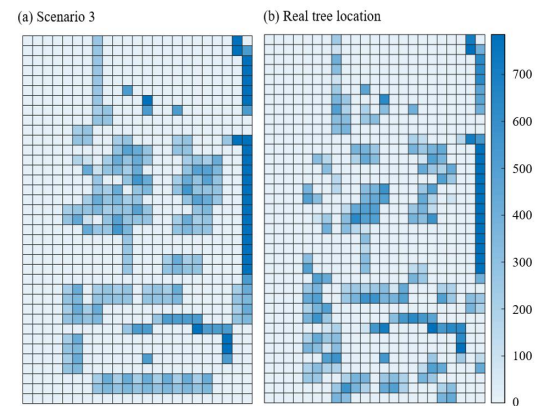


Figure 8. shade map (building+tree) of model result (scenario 3, left) and real tree location (right)

3. 적용된 수목 기능의 한계와 발전 방향

본 연구에서는 개미 군집 알고리즘을 이용하여 수목의 객관적이고 정량적인 기능과 설계자의 의도가 포함된 정성적 기능을 함께 고려할 수 있는 수목 최적화 모델을 제한하였다. 본 연구에서는 정량적인 기능으로는 그림자 효과, 정

성적인 기능으로는 시야차단과 개방성만 선정하였기 때문에 다른 가치를 포함시키지 못했다는 한계점을 가진다. 또한 정성적 기능을 도면화하는 과정에서 설계자가 점수를 부여하는 것이 기준에 설계자가 공간의 개방성을 부여하고 수목을 통해 시야를 차단하는 방식과는 차이가 있어, 실제로 활용되기 까지 방법에 대한 적합성에 대한 논의가 필요할 것으로 보이며, 여러 가지 주관적 조건들을 객관화할 수 있는 방안이 탐구되어야 할 것이다. 마지막으로 정량적 기능과 정성적 기능을 연계하는 부분에 대한 논의도 필요할 것으로 보인다. 본 연구에서는 각각의 기능에 대한 가중치를 설정해주는 것으로 하였으나, 앞서 제한한 것처럼 모델 내에서 제약요건을 추가할 수도 있다.

또한 본 연구에서는 성목의 규격만 고려하여 분석하였으나, 이식단계의 수목이 성목이 아닐 경우에는 성장하는 크기에 대한 고려가 필요할 수 있다. 이 경우에는 초기 이식단계에서부터 성목이 될 때까지의 시간을 구분하여 그 때마다의 그림자를 평가하는 방법이 있을 수 있겠으나, 본 연구는 초기연구로써 성목인 경우만 고려하였다. 건물과 같은 기반시설과는 달리 성장한다는 점이 수목의 큰 특징이다. 따라서 향후에는 성장과 관련된 시간 스케일을 고려한 연구가 필요할 것이다.

수목 기능을 포함시키는 과정에서 아직까지는 많은 한계가 있지만 그림에도 본 연구는 식재설계에서 수목의 정량적, 과학적 기능이 포함될 수 있다는 가능성을 보여줬다는 점에서 의미를 가진다. 본 연구에서의 시범적용은 수목이 없는 상태를 가정한 후 최적의 수목 배식 위치를 찾아내었다. 그러나 기존에 수목이 있는 대상지에서도 추가적인 수목에 대한 배식 위치를 찾기 위한 수단으로도 활용될 수 있을 것이다. 따라서 본 방법은 새로운 계획 및 설계에서뿐만 아니라 도시재생사업, 환경정비사업 등 다양한 사업에서 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 향

후 본 모델을 기존에 개발되어 있는 수목의 기능 평가 모델(공기 정화 기능, 녹지 연결성 향상 기능 등)과 연계시킨다면 더 다양한 수목의 기능을 함께 평가할 수 있게 할 수 있을 것이다. 이러한 수목의 과학적 기능은 대상지에 적합하도록 선정되어야 할 것이다.

IV. 결 론

지금까지 옥외공간에서 수목을 배치할 때는 대부분 열 환경 개선, 생물 다양성 증가, 공기 질 개선 등 다양한 수목의 과학적이고 정량적인 기능을 고려하지 못하였다. 그 이유는 수목에 관한 많은 과학적 연구가 설계 및 계획에 잘 반영되지 못했기 때문이다. 본 연구에서는 과학적 연구와 설계를 연결할 수 있는 수목 배식 위치 모델을 제시함으로써 이러한 간극을 줄이고자 했다. 정량적 기능을 포함한 수목의 다기능을 함께 고려하기 위해 다목적 최적화 방법론을 사용했으며 그 중에서도 최적의 수목 배식 위치를 알기에 용이한 개미 군집 알고리즘을 이용하였다. 본 연구에서는 수목의 정량적 기능을 그림자를 통한 열 환경 개선에 맞추었으며 추가로, 수목으로 얻을 수 있는 시야차단기능이나 개방성을 목적으로 하여 마로니에 공원에 시범적용하였다.

연구 결과 3개의 기능에 가중치를 다르게 할 경우 서로 다른 최적화된 수목 배식 위치 도면이 도출되었다. 가장 큰 목적함수 값을 지닌 도면은 그림자의 가중치를 가장 크게 한 시나리오 3이었으며 임의적으로 배치했던 초기의 해 보다 약 80% 증가한 값을 가진 것을 확인하였다. 또한 이를 실제 도면과 비교했을 때, 건물과 떨어진 지역과 같이 그림자가 겹치지 않는 지역에 수목을 배치함으로써 그림자 값을 극대화 한 것을 확인할 수 있었다. 그러나 본 모델은 수목의 기능은 3 가지로 제한되었고 설계적 요소를 제대로 반영하지 못하는 한계가 있다. 이는 목적

함수의 증가, 제약조건 등의 개선을 통해 충분히 개선될 수 있을 것으로 보인다.

본 모델은 정성적이고 설계적인 요인만 고려했던 식재설계에 정량적이고 과학적인 기능을 함께 고려할 수 있게 했다는 점에서 큰 의의를 지닌다. 모델의 결과로만 수목 배식 위치를 결정할 수는 없겠지만 식재설계에 중요한 자료로 활용된다면, 옥외공간에서 수목의 과학적인 기능이 지금보다 효과적으로 발휘될 수 있을 것이다.

References

- Aerts, J. C. J. H. · Heuvelink, G. B. M. 2002. Using simulated annealing for resource allocation. *International Journal of Geographical Information Science*, 16(6), 571-587. <https://doi.org/10.1080/13658810210138751>
- Brookes, C. J. 2001. A genetic algorithm for designing optimal patch configurations in GIS. *International Journal of Geographical Information Science*. 15(6), 539-559. <https://doi.org/10.1080/136588101316907227>
- Gromke, C. · Blocken, B. 2015. Influence of avenue-trees on air quality at the urban neighborhood scale. Part II: Traffic pollutant concentrations at pedestrian level. *Environmental Pollution*, 196, 176-184. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.10.015>
- Holst, J., · Mayer, H. 2011. Impacts of street design parameters on human-biometeorological variables. *Meteorologische Zeitschrift*, 20(5), 541-552. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2011/0254>
- Huang, Y. J. · Akbari, H. · Taha, H. · Rosenfeld, A. H. 1987. The Potential of Vegetation in Reducing Summer Cooling Loads in Residential Buildings. *American Meteorological Society*, 26, 1103-1116.
- Lee, H. · Holst, J. · Mayer, H. 2013. Modification of human-biometeorologically significant radiant flux densities by shading as local method to mitigate heat stress in summer within urban street canyons. *Advances in Meteorology*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/312572>
- Li, X. · He, J. · Liu, X. 2009. Intelligent GIS for solving high-dimensional site selection problems using ant colony optimization techniques. *International Journal of Geographical Information Science*, 23(4), 399-416. <https://doi.org/10.1080/13658810801918491>
- Li, X. · Parrott, L. 2016. An improved Genetic Algorithm for spatial optimization of multi-objective and multi-site land use allocation. *Computers, Environment and Urban Systems*, 59, 184-194. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2016.07.002>
- Liu, X. · Li, X. · Shi, X. · Huang, K. · Liu, Y. 2012. A multi-type ant colony optimization (MACO) method for optimal land use allocation in large areas. *International Journal of Geographical Information Science*, 26(7), 1325-1343. <https://doi.org/10.1080/13658816.2011.635594>
- Liu, Y. · Tang, D. · Liu, D. · Kong, X. 2012. A Land Use Spatial Allocation Model based on Ant Colony Optimization. *Geog.Leeds. Ac.Uk*, 8(1991), 1115-1126.
- Lopez, B. E. · Urban, D. · Whiter, P. S. 2018. Nativity and seed dispersal mode influence species' responses to habitat connectivity and urban environments. *Global Ecology and Biogeography*, 1-14. <https://doi.org/10.1111/geb.12760>
- Ma, S. · Li, X. · Cai, Y. 2017. Delimiting the urban growth boundaries with a modified

- ant colony optimization model. *Computers, Environment and Urban Systems*, 62, 146-155. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2016.11.004>
- Maniezzo, A. C. M. D. V. 1992. Distributed optimization by ant colonies. In *Toward a practice of autonomous systems: proceedings of the First European Conference on Artificial Life*. Mit Press.
- Park, C. Y. · Lee, D. K. · Krayenhoff, E. S. · Heo, H. K. · Ahn, S. · Asawa, T. · Akinobu, M. · Kim, H. G. 2018. A multilayer mean radiant temperature model for pedestrians in a street canyon with trees. *Building and Environment*, 141, 298-309. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.05.058>
- Park, Y. · Lee, D. · Yoon, E. · Mo, Y. · Leem, J. 2017. Land Use Optimization using Genetic Algorithms. *Journal of Environmental Impact Assessment*, 26(1), 44-56. (in Korean with English summary)
- Yoon, E. J. · Lee, D. K. 2017. Basic Study on Spatial Optimization Model for Sustainability using Genetic Algorithm -Based on Literature Review-. *Journal of Korean Environmental Restoration Technology*, 20 (6), 133-149.
- Yoon, E. J. · Song, E. J. · Jeung, Y. H. · Kim, E. Y. · Lee, D. K. 2018. Spatial Decision Support System for Development and Conservation of Unexecuted Urban Park using ACO. *Journal of Korean Environmental Restoration Technology*, 21(2), 39-51. (in Korean with English summary)
- Yoon, E. J. · Kim, B · Lee, D. K. 2017. 2019. Multi-objective planning model for urban greening based on optimization algorithms. *Urban Forestry & Urban Greening*, In press. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.01.004>