韓國環境復元技術學會誌 21(2)：39～51(2018)
J. Korean Env. Res. Tech. 21(2)：39～51(2018)
DOI：https://doi.org/10.13087/kosert.2018.21.2.39
ISSN 1229-3032

장기 미집행 도시계획시설 중 도시공원을 위한 보전/개발 공간의사결정 시스템*

-개미군집알고리즘(ACO)를 이용하여-

윤은주[1)] · 송은조[2)] · 정윤희[3)] · 김은영[4)] · 이동근[2)]

[1)] 서울대학교 협동과정 조경학 · [2)] 서울대학교 조경지역시스템공학부 ·
[3)] 서울대학교 농업생명과학연구원 · [4)] 수원시정연구원

Spatial Decision Support System for Development and Conservation of Unexecuted Urban Park using ACO*

-Ant Colony Optimization-

Yoon, Eun-Joo[1)] · Song, Eun-Jo[2)] · Jeung, Yoon-Hee[3)] · Kim, Eun-Young[4)] and Lee, Dong-Kun[2)]

[1)] Interdisciplinary Program in Landscape Architecture, Seoul National University,
[2)] Dept. of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University,
[3)] Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University,
[4)]Suwon Research Institute.

ABSTRACT

Long-term unexecuted urban parks will be released from urban planning facilities after 2020, this may result in development of those parks. However, little research have been focused on how to develop those parks considering conservation, development, spatial pattern, and so on. Therefore, in this study, we suggested an optimization planning model that minimizes the fragmentation while maximizing the conservation and development profit using ACO (Ant Colony Optimization). Our study area is Suwon Yeongheung Park, which is long-term unexecuted urban parks and have actual plan for private development in 2019. Using our optimization planning model, we obtained four alternatives(A, B, C, D), all of which showed continuous land use patterns and satisfied the objectives related to conservation

* 본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 환경정책기반공공기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다. (과제번호: 2016000210004)

First author：Yoon, Eun-Joo, Interdisciplinary Program in Landscape Architecture, Seoul National University, Tel : +82-2-880-4885, E-mail : youn01@snu.ac.kr

Corresponding author : Jeung, Yoon-Hee, Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Tel：+82-2-880-4885, E-mail : yhjung1@snu.ac.kr

Received：26 February, 2018. **Revised**：9 April, 2018. **Accepted**：21 March, 2018.

and development. Each alternative are optimized based on different weight combinations of conservation, development, and fragmentation, and we can also generated other alternatives immediately by adjusting the weights. This is possible because the planning process in our model is very fast and quantitative. Therefore, we expected our optimization planning model can support “spatial decision making” of various issue and sites.

Key Words : *Heuristic algorithms, suitability map, Suwon Yeongheung park, trades off*

I. 서 론

장기미집행 도시계획시설 일몰제에 따라 2020년 이후부터 지정이후 20년이 경과된 장기미집행 도시계획시설의 지정의 효력이 상실될 예정이다(2000년 7월 1일 이전에 결정 고시된 시설은 2000년 7월 1일 기준 20년경과). 이에 따라 실제로 도심 속 녹지로서 기능하고 있는 장기미집행 도시공원에 대한 개발이 가능해질 것으로 예상된다. 서울시의 경우 전체 장기미집행 도시공원 중 70%인 40.3㎢이 일몰제 실효 대상이다. 이에 대한 지자체의 대응은 어떤 장기미집행 도시공원을 우선적으로 매입하는가에 한정되어 있다. 장기미집행 도시공원을 대상으로 하는 학술연구 역시 연결성 측면(Ahn et al., 2014), 서비스 편익 측면(Lee et al., 2015), 혹은 법제도의 개설 측면(Kang, 2017) 에서 장기미집행 도시공원의 매입 및 보전의 우선순위를 결정하는데 집중되어 있다. 그러나 각 지자체의 예산집행 범위를 고려했을 때 보전이 필요한 상당수의 장기미집행 도시공원 역시 도시계획시설에서 해제될 것으로 예상된다(Seoul Development Institute, 2011). 현 시점에서는 ‘어느 장기미집행 도시공원을 우선적으로 보전해야 하는가’뿐만 아니라, ‘해제 대상이 된다면 어떻게 개발 또는 보전해야 하는가’에 대한 연구 역시 요구된다. 민간공원조성 특례제도 역시 유사한 맥락에서 이해할 수 있는데, 이는 해제 대상 장기미집행 도시공원에 일부 개발행위를 허가하는 대신, 대상지의 70%를 기부 채납방식으로 공원으로 보전하는 개념이다(Seoul Development Institute, 2011). 다만, 이 역시 개발과 보전 양 측면의 이익을 최대화하기 위한 구체적 방법론이 제시되어 있지 않아 합리적인 적용이 어려운 실정이다.

따라서 본 연구에서는 도시계획시설에서 해제 예정인 장기미집행 도시공원을 대상으로, 보전과 개발의 이익을 최대화하는 동시에 파편화 역시 저감할 수 있는 다목적 최적화 계획모델을 구축하고자 하였다. 또한 다양한 측면을 동시적으로 고려하기 위해(non linear problem) 휴리스틱계열의 최적화 알고리즘인 ACO(Ant Colony Optimization)를 적용하였다.

해당 모델은 다양한 선호도를 공간계획에 객관적 · 정량적으로 반영하는 도구로서(Yoon et al., 2017; Stewart et al., 2004) 해제된 장기미집행 도시공원의 개발과 관련한 다양한 이해관계자의 협의를 지원하고, 더 나아가 해당 공원의 생태적 가치를 효과적으로 보전하는 합리적 개발을 지원할 수 있을 것으로 예상된다.

II. 연구방법

1. 대상지

대상지는 2020년 해제 대상 장기미집행 도시공원에 해당하나, 국내에서 두 번째로 민간공원조성 특례제도가 적용되는 수원시 영흥공원으로 선정하였다. 수원시 영통구에 위치한 영흥공원은 원래 1969년 도시공원으로 지정되었으나

이후 방치되어 왔다. 공원 주변은 주거지가 밀집하여 분포하고 공원 내에는 주차장과 함께 불법건축물이 난립하여 해제 시 무분별한 난개발이 예상되는 지역이기도 하다. 공원 내부는 운동장·주차장 등의 공원 시설이 있으며 대부분이 녹지와 경작지로 구성되어 있다. 공원 주변의 토지이용은 주거지역, 상업지역, 공업지역으로 다양하다. 또한 공원은 도심 내에 위치하여 환경적으로 가치가 높다. 수원시는 2015년 4월 '수원시 도시 공원 개발 행위 특례에 관한 지침'을 제정하여 영흥공원을 민간을 통해 개발하는 것을 추진해 왔다. 그 결과 영흥공원은 2019년까지 수목원구역(15만㎡), 캠핑장 등의 공원구역(34만 7천㎡), 아파트의 비공원시설(10만 6천㎡)로 개발될 예정이다.

대상지 내부는 원천동과 영통동으로 구분된다. 대상지의 총 면적은 약 60만㎡이고, 그 중 시가화건조지역이 34만㎡, 농업지역, 산림지역, 초지, 나지가 16㎡이다. 대상지 분석은 30m×30m의 공간해상도로 진행되었으며, 대상지는 총 605개의 격자로 이루어져있다(Figure 1).

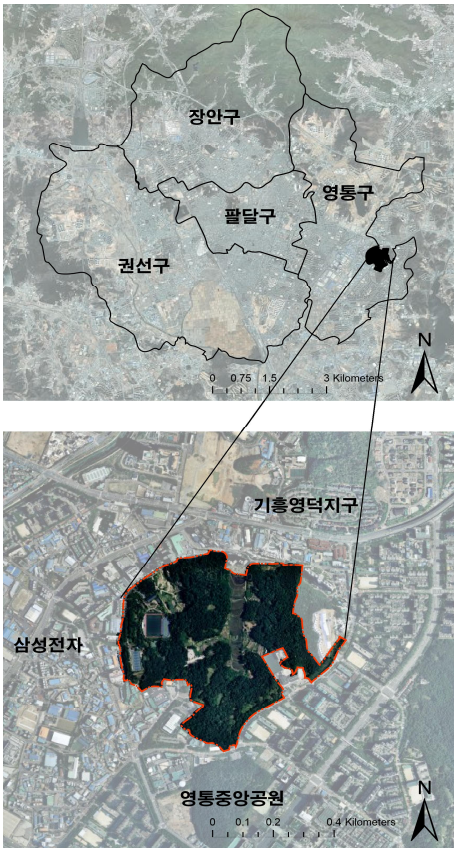

Figure 1. Study area

2. 연구 범위

본 연구의 내용적 범위는 보전과 개발의 적지를 선정할 수 있는 최적화 계획모델을 구축하여 장기미집행 도시공원인 수원시 영흥공원에 적용하는 것이다. 이를 위해, 첫째, 최적화 계획모델의 주요 이론인 개미군집알고리즘, ACO의 이론적 배경을 서술하였다. 둘째, ACO에 기반하여 최적화 계획모델의 구조를 구축하였다. 셋째, 계획모델의 입력 자료/기준으로 활용하는 적합도면 작성을 위한 계획지표를 구성하였다. 넷째, 수원시 영흥공원에 구축된 최적화 계획모델을 적용한 다음, 그 결과에 대하여 논의하였다.

본 연구의 공간적 범위는 수원시 영흥공원 일대로서, 공간의 배분은 영흥공원 구역 내에 한정하여 진행하였으나, 그 배분의 과정에서는 영흥공원에 인접한 토지이용을 고려하였다.

3. 최적화 계획모델 구축 및 분석

1) ACO의 이론적 배경

국외에서는 최적의 토지이용을 배분하는 데에는 다양한 알고리즘이 적용되어 왔다(Liu et al., 2012; Stewart et al., 2004). 1992년 Dorigo가 개발한 ACO(Ant Colony Optimization)은 TSP (traveling salesman problem), 데이터 클러스터링, 네트워크의 경로설정문제 등에 많이 적용되어 왔으나, 최근 들어 원격탐사, 적지선정, 토지이용의 예측과 같은 지리적 문제에 적용되고 있다(Li et al., 2009; Ma et al., 2017; Liu et al., 2012; Liu et al., 2007; Yang et al., 2012). 또한 ACO를 적용한 선행연구는 공통적으로 ACO가 기존의 다른 최적화알고리즘에 비해 보다 좋은 퍼포먼스를 보여주고 있음을 지적하고 있다(Liu et al., 2012).

ACO는 자연에서 관찰되는 개미군집의 행동양식, 즉 먹이를 탐색하는 과정에서의 협동과 적응의 체계를 모방한 알고리즘이다(Dorigo, 1992). 개미가 처음 먹이를 찾을 때까지 형성하는 경로는 무작위적이지만, 먹이를 찾은 집으로 돌아갈 때에는 거리와 먹이 질에 따른 농도의 페르몬을 보다 합리적인 경로에 남긴다. 같은 군집의 개미들은 남겨진 페르몬을 이용하여 먹이를 찾고, 또 자신의 페르몬을 더하게 된다(이때, 이전의 페르몬은 일정비율로 증발된다). 해당경로의 거리가 짧을수록 많은 개미가 선택하고, 짙은 농도의 페르몬이 남는다 (Figure 2). 최종적으로 개미의 집과 먹이를 오가는 경로 중 가장 짧은 경로가 남게 되는데(모든 개미가 선택하는), 이는 결국 긍정적인 피드백의 과정, 최적화 과정과 같다. 이러한 경로 선택의 문제는 같은 메커니즘을 활용한 지역선택의 문제로도 변환 가능하다.

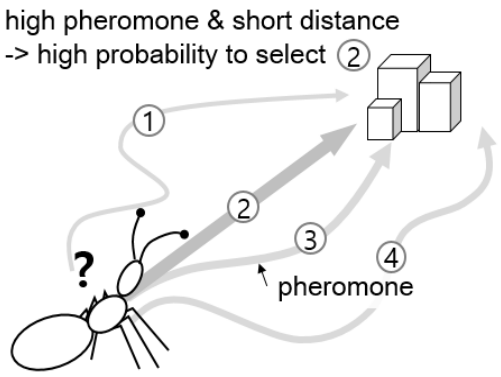

Figure 2. The concept of ACO

2) 최적화 계획모델 구축

위의 ACO개념을 이용하여, 도시미집행공원에 보전지역과 개발지역을 선택하는 최적화모델을 구축하였다. 본 연구에서 구축한 최적화 모델은 “개발이익의 최대화”, “보전이익의 최대화”, “파편화의 최소화”를 동시에 만족시키기 위하여, 일정 면적의 보전 및 개발지역을 대상지 내 어디에 위치시킬 것인지 결정하는 역할을 한다. 그 과정에서 사용자의 주관적인 선호도를 피드백 할 수 있기 때문에, 공간의사결정지원도구로도 해석할 수 있다(Figure 3).

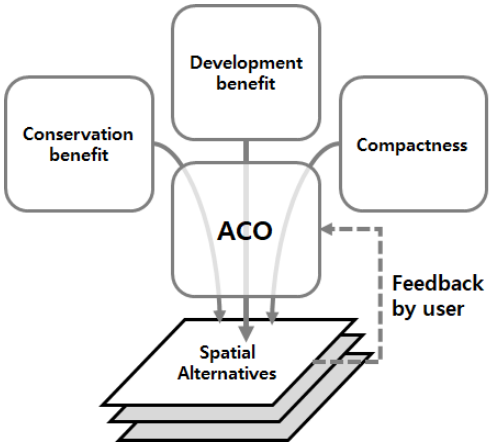

Figure 3. The concept of Spatial Decision Support System(SDSS)

전체적인 모델의 구조도와(Figure 4) 각 단계에 대한 설명은 아래와 같다.

A: 개발 및 보전지역을 각각 의미하는 두 유형의 개미군집을 설정하고, 각 유형에 속하는 개미 수는 할당되어야 하는 격자의 수와 일치시킨다. 해당 모델은 구체적인 계획과정의 초안으로서 활용 가능한 밑그림을 제시하고자, 특례제도 보다 적은 20%를 개발지로 (전체를 확정적으로 할당하기 보다는 우선순위가 있는 지역을 구분), 80%는 자연지로 배분되도록 설정하였다.

B: 보전, 개발 군집에 속하는 개미는 대상지 내 무작위 또는 현재 계획안에 따라 위치시킨다 (Initial solution).

C: 각 개미는 자기 유형에 대한 적합성(Heuristic value)과 페르몬(Pheromone)을 고려하여 옮길 수 있는 격자의 선택 확률을 계산하고 (Probability, 수식1), 룰렛휠(Roulette wheel)을 이용하여 확률적으로 선택한다.

D: 선택된 위치에 있던 다른 유형의 개미와 자리를 바꾸는데(Exchange site), 이것이 자신의 유형뿐만 아니라 다른 유형과 공간적 파편화 측면에서 모두 개선될 경우(Objective function, 수식2) 확정하고, 아니라면 되돌린다.

E: 모든 개미에 대해 '(C)-(D)' 과정을 반복한다.

F: 결정된 전체 개미 위치에 개선된 정도와 비례하는 농도의 페르몬을 추가한다(Pheromone update, 수식3).

G: 더 이상 좋은 대안이 도출되지 않는 수렴현상이 나타날 때까지(Max iteration) '(C)-(D)-(E)-(F)' 과정을 반복한다(세대의 진행에 따른 최적화를 의미한다).

H: 수렴한 뒤 최종적인 계획안을 출력한다(Final solution, Figure 4).

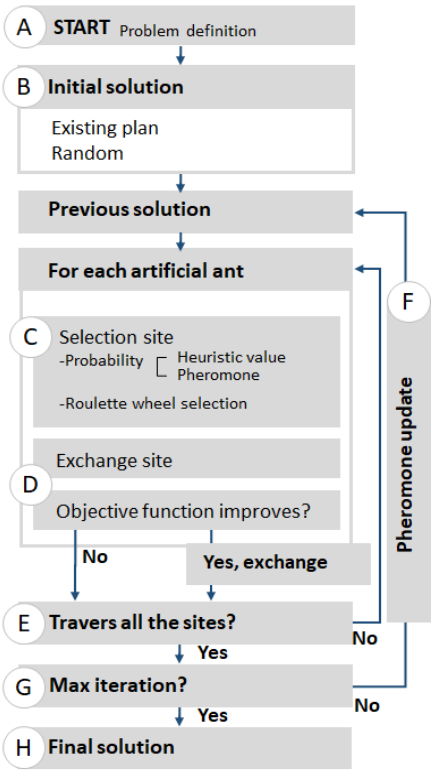

Figure 4. Flow of ACO model

각 단계에 해당하는 수식은 아래의 수식(1)~수식(5)와 같다. 우선, t번째 반복일 때 (C)에서 개미 q가 옮겨갈 확률 $Probability^{q_{ijk}}$은 q의 유형 k에 대한 격자 (i, j)의 적합성 $\eta_{ijk(t)}$와 페르몬 $\tau_{ijk(t)}$을 이용하여 산출하였다. 이때, 개미 q가 옮겨갈 수 있는 격자인 x 만을 대상으로 한다 (수식1).

$$Probability^{q_{ijk}} = \begin{cases} \dfrac{[\tau_{ijk(t)}]^{\alpha} \cdot [\eta_{ijk(t)}]^{\beta}}{\sum_{x \in allowed_q} [\tau_{x(t)}]\alpha \cdot [\eta_{x(t)}]^{\beta}}, & \text{if } (i,j) \in allowed_q \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (1)$$

적합성 $\eta_{ijk(t)}$은 유형 k에 대한 대상지 전체의 적합도 값의 합 $\sum_x Suit_{xk}$에 대한 각 격자 (i,j)에 대한 적합도 값 $Suit_{ijk}$의 비율을 이용하여 산출하였다 (수식2).

$$\eta_{ijk} = \frac{Suit_{ijk}}{\sum_x Suit_{xk}} \quad (2)$$

다음으로 (D)에서 개미 q의 위치변화가 보전, 개발, 공간적 파편화 모든 측면의 개선에 기여하는지 판단하기 위해, N개의 격자에 대해 보전측면에서의 적합도 값 $Suit_c$와 개발측면에서의 적합도 값 $Suit_d$, 각 유형의 파편화 정도를 측정하는 지수 값 $Comp_c$ 와 $Comp_d$를 이용하여 종합 점수 U값을 산출하였다(수식3). 수식2와 수식3에 반영한 적합도 값은 보전, 개발 각 부문에 대해 별도로 구축된 적합도 도면을 참조하였다. 파편화 정도 지수 값 역시 앞서 언급한 Moor Neighbor method를 이용하여 도출하였다. 개발, 보전, 파편화 저감에 대한 중요도에 따라 가중치 a, b, c를 조정할 수 있으며, 본 연구에서는 다양한 조합에 따른 최적화 결과를 제시하였다.

$$Objective\ funcion\ value\ (U) = \sum_{n=1}^{N} (a \cdot Suit_c + b \cdot Suit_d + c \cdot (Comp_c + Comp_d)) \quad (3)$$
$$\forall a+b+c=1$$

(F)에서 t번째로 결정된 도면을 이용하여 '$t+1$'

번째에서 사용할 페로몬 $\tau_{ijk(t+1)}$을 업데이트하게 되는데, t이전에 남겨졌던 페로몬은 ρ만큼 증발하고(수식4), t에서의 더해질 페로몬농도 $\triangle\tau_{ijk(t)}$는 종합 점수 U에 r만큼 비례한다(수식 5).

$$\tau_{ijk}(t+1)=\tau_{ijk(t)}(1-\rho)+\triangle\tau_{ijk(t)} \quad (4)$$

$$\triangle\tau_{ijk(t)}=r \cdot U \quad (5)$$

수식에 포함되는 상수값, 모델 파라미터인 α, β, ρ, r은 선행연구와 민감도 분석을 통해 적절한 값으로 결정하였다. 이상의 최적화 모델은 프로그래밍 언어인 MATLAP R2016b을 이용하여 구축되었다.

3) 계획지표 선정 및 적합도 분석

본 연구에서의 최적화 모델을 이용하여 "보전이익의 최대화", "개발이익의 최대화", "파편화의 최소화"의 세 목적을 동시에 만족시키고자 하였다. 따라서 최적화 모델을 구축하기 이전에 각 목적을 만족시켰는지 여부를 판단하기 위해서 만족 수준을 정량적으로 평가하기 위한 기준을 먼저 선정하였다. 우선 "보전이익의 최대화"와 "개발이익의 최대화" 측면에서는 보전, 개발 각각에 해당하는 적합성 지도를 구축하였다. 개발, 보전지역은 각각 적합도가 높은 지역에 위치할수록 "개발 및 보전이익의 최대화" 달성수준이 높은 것으로 판단하였다. 각 격자별로 개발이나 보전 중 한 가지만이 할당될 수 있기 때문에 개발과 보전과의 경합이 발생한다. 예를 들어, 개발과 보전가치가 모두 높은 격자인 경우, 어떠한 용도로 배분되는지에 따라 한 가지의 총 가치는 높아지고, 다른 한 가지의 총 가치는 손해를 볼 수 있다. 모델 내 최적화과정에서 이러한 것을 해결하기 위하여 개발과 보전, 파편화 측면에서의 전체 가치를 합하였을 때(가중치를 반영하여) 이전보다 좋아졌는지를 기준으로 선택하며 진행하였다.

각 적합도에 적용된 계획지표는 기존 연구에 활용되었던 지표들을 검토하여 선정되었다(Table 1). 보전부문 계획지표로는 국토환경성 평가지도, NDVI, 생물종 분포가 선정되었으며, 개발부문 계획지표로는 경사도, 지가차이, 도로로부터의 거리가 선정되었다. 각 지표별 등급을 구분 시, 연속적인 값이 나타나는 경우 등급 간 분산은 극대화, 등급 내 분산은 최소화할 수 있는 Natural Breaks 방법을 적용하였다 연속적인

Table 1. Selected indicators for each optimization objective

Objectives	Indicators	Definition	References
Conservation	ECVAM	The Environmental Conservation Value Assessment Map	Kim et al., 2012 Architecture&Urban Research Institute, 2014
	NDVI	Normalized difference vegetation index	Liu, X. et al., 2012
	Species	Species distribution based on 3rd National Ecosystem Survey	La et al., 2001 Korean Environment Institute, 2006
Development	Slope	Topographical characteristic	Lee, 2005
	Land price	Difference from average land price outside the study area by land-use types	Seoul Development Institute, 2015 Jang and Kim, 2013
	Distance from road	Accessibility to the road	Lee, 2013 Seoul Development Institute, 2015
Compactness	Neighbor method	Match between the focused cell and 8 neighboring cells	Eldrandaly, 2010 Cao et al., 2011 Karakostas, 2017

값이 아닌 경우에는 기존 등급을 적용하거나, 등 간격으로 등급화 하였다.

또한, 구분된 각 등급은 1~5점의 점수 범위에서 보전, 개발의 각 측면에서 좋은 등급일수록 5점에 가까운 점수를 부여하였다.

보전부문의 계획지표 중 국토환경성평가지도(ECVAM)는 친환경적인 토지이용 및 관리 유도를 위해 종합적인 환경적 가치를 평가한 것으로(Kim et al., 2012), 1/5,000 축척 자료를 이용하였다. 원 등급은 1등급이 보전가치가 높은 것으로 대상지 내에서는 2등급을 제외한 모든 등급이 나타났으며, 1등급 지역이 가장 많았다.

NDVI (Normalized difference vegetation index)는 식생의 활력도를 나타내는 정규화 식생지수로, 0부터 1까지의 값을 가진다. Landsat 8 인공위성영상을 사용하여 산림지역의 NDVI (0.6 이상)값을 5등급으로 구분하였다. 3차 자연환경조사자료와 중첩했을 때에는 한 지점에서 청개구리 서식이 확인되었으며, 이지점으로부터 서식반경 210m 이내에 포함되는 지역에 1점의 점수를 추가 부여하였다.

개발부문의 계획지표 중 경사도는 지형변동률을 나타내는 것으로(Lee, 2005), 30m×30m DEM 자료를 이용하였다. 기존에 사용되는 분류 기준을 도면에 맞게 일부 수정하여 5개의 등급으로 나누었다. 지가차이는 같은 동을 기준으로 지목별 대상지 외부 평균 지가와의 차이로서 2017년도 공시지가를 기준으로 하였으며 값이 클수록 개발 잠재력이 높다. 국토교통부의 개별 공시지가 정보를 이용하여 대상지 외부의 지가보다 낮은 경우만을 등급화 하였다. 도로로부터의 거리는 주변 지역과의 연계성을 나타내는 지표로서(Lee, 2013), 개별 도로로부터 60m 간격으로 버퍼를 준 다음 중첩하여 5등급으로 구분하였다.

다음으로 “파편화의 최소화”는 관리의 용이성, 보전 상 내부지역의 확보 측면뿐만 아니라, 최적화 방법 특성상 발생하는 파편화를 효과적으로 제어하기 위해 설정되었다. 이에 대한 만족 수준을 정량화하기 위해, 개별 격자에 대해 주변의 8개 격자와의 일치 빈도를 산출하는 Moor-neighbor method를 활용하였다(Eldrandaly, 2010; Cao et al., 2011; Karakostas, 2017).

4) 최적화 계획모델의 실행 및 분석

구축된 최적화 모델은 일종의 공간의사결정시스템으로서 하나의 가장 좋은 대안이 아닌, 반영하는 목적의 중요도에 따라 적절한 대안을 작성해주는 도구이다. 따라서 본 연구에서는 반영하는 목적, “개발지역의 적합성 최대화”, “보전지역의 적합성 최대화”, “파편화의 최소화”의 가중에 따라 다양한 대안을 작성한 후 비교분석하였다. 일반적으로 최적화 모델은 룰렛휠(Roulette wheel selection)과 같은 무작위적인 부분을 일부 포함하기 때문에 구동 때마다 약간의 변동이 있을 수 있다. 따라서 각 가중치 조합에 대해 5회 반복 구동한 후, 가장 좋은 대안을 선택하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 계획지표 선정 및 적합도 분석

선정된 계획지표에 대해 분석한 결과는 Table 2, Table3과 같다. 이를 개발과 보전 부문별로 중

Table 2. Result of Conservation indicators

Indicators	Score	Class	Area(㎡)
A. ECVAM (Grade)	5	1	433,800
	4	2	0
	3	3	2,700
	2	4	150,300
	1	5	20,700
B. NDVI	1	0.6~0.66	32,400
	2	0.66~0.72	50,400
	3	0.72~0.76	117,900
	4	0.76~0.80	182,700
	5	0.80~0.86	144,000
C. Species(m)	1	~210	138,600
	0	210~	963,000

Table 3. Result of Development indicators

Indicators	Score	Class	Area(㎡)
I. Slope(°)	5	0～5	149,400
	4	5～8	150,300
	3	8～15	252,900
	2	15～20	45,000
	1	20～	9,900
II. Land price (₩1,000)	1	～92	108,900
	2	925～136	237,600
	3	136～188	3,600
	4	188～385	183,600
	5	385～1,805	48,600
III. Distance from road	1	5～7	164,700
	2	7～10	206,100
	3	10～13	153,900
	4	13～16	46,800
	5	16～20	36,000

Table 4. Result of suitability maps

Color	Score	IV. Development		D. Conservation	
		Area(㎡)	%	Area(㎡)	%
	1	168,300	27.7	34,200	5.6
	2	149,400	24.6	34,200	5.6
	3	142,200	23.4	135,000	22.2
	4	69,300	11.4	109,800	18.1
	5	78,300	12.9	294,300	48.4
-		607,500	100	607,500	100

첩하여 다시 5개 등급으로 구분한 적합도 결과는 Table 4와 같다. 대상지는 개발적합도가 낮은 지역(52.4%)이 개발적합도가 높은 지역(24.3%)에 비해 더 많은 것으로 나타났다. 또한 보전적합도 측면에서 살펴보면 보전적합도가 높은 지역(66.5%)이 낮은 지역(11.2%)에 비해 더 많은 것으로 나타났다. 영흥공원은 도시 내에 위치한 점적 녹지로 개발적합도가 낮고 보전적합도가 높은 지역이 더 많은 것을 확인할 수 있었다.

각 적합도의 공간적인 분포를 살펴보면(Figure 5, 6), 대상지의 북측 부분은 개발적합도가 낮고 보전적합도가 높게 나타났다. 이러한 지역은 보전을 위한 계획적 결정과 합의가 쉽게 이루어질 수

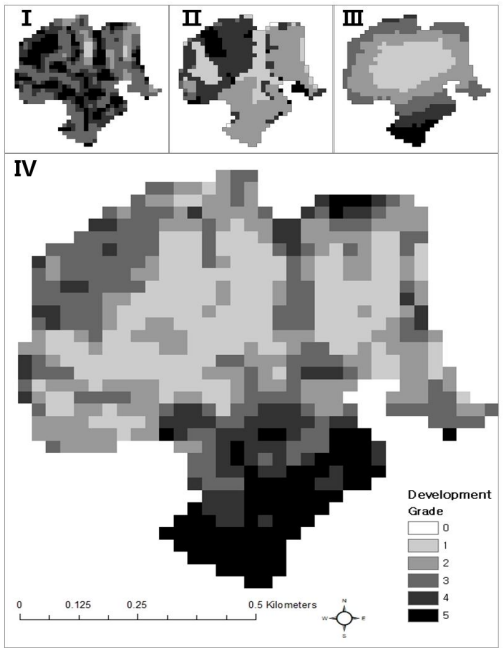

Figure 5. Suitability map for development (I : Slope, II : Land price, III : Distance from road, IV : Suitability map)

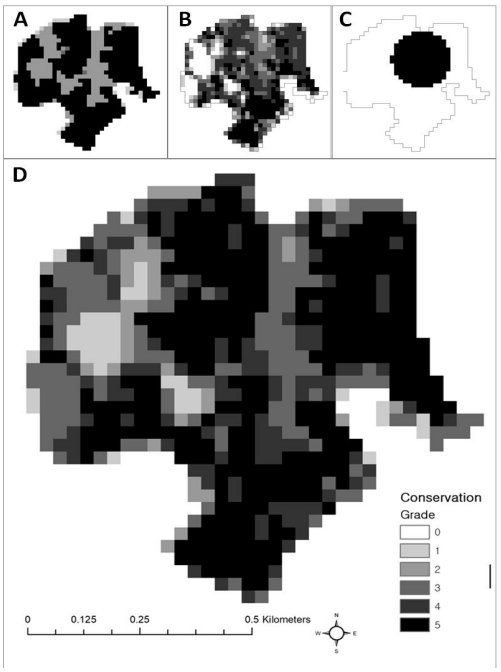

Figure 6. Suitability map for conservation (I : ECVAM, II : NDVI, III : Species, IV: Suitability map)

Table 5. Fitness value of Alternatives

Alternatives	important objective	Weights*	Fitness values			
			Development	Conservation	Compactness	Total
A	Development	0.6:0.3:0.1	596	2,177	8,244	11,017
B	Conservation	0.3:0.6:0.1	425	2,352	8,150	10,927
C	Compactness	0.3:0.3:0.4	495	2,212	8,292	11,002
D	-	0.45:0.45:0.1	545	2,263	8,110	10,918

*development : conservation : compactness

있다. 그러나 남측 부분은 개발적합도와 보전적합도가 모두 높은 지역으로 계획을 위해 추가적인 합리적 의사결정 근거가 필요하다 할 수 있다.

2. 최적화 계획모델 결과

최적화 모델을 이용하여 “보전이익의 최대화”, “개발이익의 최대화”, “파편화의 최소화” 세 가지 목적에 대한 가중치의 조합에 따라 네 개의 대안을 작성하였다. 대안은 개발에 높은 가중치를 부여한 “대안 A”, 보전에 높은 가중치를 부여한 “대안 B”, 파편화 저감에 높은 가중치를 부여한 “대안 C”, 각 목적에 대해 유사한 가중치를 부여한 “대안D”로 구성하였다. 대안D의 경우 파편화(compactness) 부분에 가중치가 과소하게 부여된 것으로 보이나 이것은 각 부문의 점수 폭이 상이한 것을 보전하기 위함이다. 각 대안에서 중요하게 설정한 목적의 점수가 4개 대안 중 가장 높게 나타났으므로, 본 연구에서 구축한 최적화 모델이 의사결정자의 선호도를 잘 반영하고 있음을 알 수 있다(Table 5, grey box).

각 대안에 대한 공간적인 패턴과(Figure 8), 개발과 보전 측면에서의 적합도 패턴(Figure 5, 6)을 비교분석한 결과, 이러한 특성이 보다 잘 나타났다. 개발이익의 최대화에 중점을 둔 대안A는 개발지가 대부분 남측부분에 배분되었는데, 개발적합도가 높은 지역과 일치하였다(Figure 8A의 동그라미). 이것은 실제 수립된 수원시 영흥공원 개발계획안 중 초기의 형태와 가장 유사하다. 대안B, 대안C, 대안D는 대안 A에 비해 해당지역에 보다 적은 개발지가 배분되었다(Figure 8B, C, D). 대상지 북측은 보전적합도가 높은 지역과 개발적합도가 높은 지역이 상반되게 나타나지만, 남측은 해당지역들이 중첩되어 나타났다. 따라서 남측은 자연지, 개발지간 경합이 강하게 발생하며 각 측면의 가중치에 따라 배분이 다르게 나타난 것으로 해석할 수 있다. 보전이익의 최대화에 중점을 둔 대안B에서는 개발지 대부분이 남측을 제외했을 때 개발적합도가 높은 북서쪽에 배분되었으며(Figure 8B의 동그라미), 현재의 대상지 내 시설지 위치와 같다. 파편화의 최소화에 중점을 둔 대안C는 개발, 보전 측면에서는 대안 A, 대안B에 비해 점수가 낮으나(Table 5), 대상지 내 배분된 개발지 패치의 수가 가장 적은, 컴팩트한 공간구성이 나타났다(Figure 8C). 현재 수원시 영흥공원에서 실제 진행되고 있는 설계안은 우수한 산림의 훼손을 최소화하는 방향으로 수정되었으며, 본 연구에서 제안된 대안 중 B와 C의 중간적 특성을 보인다.

중도적인 성격을 지니는 대안D는 개발, 보전의 각 측면에서 모든 대안 중 두 번째로 높은 점수가 나타났으나 총점은 가장 낮았고(Table 4), 개발지가 여러 개의 패치로 분산되어 나타나는 특성이 나타났다(Figure 8D). 그러나 최적화 기법 측면에서는 대안D 역시 반복연산 되는 동안(1~20세대) 개발, 보전, 파편화 측면에서 모두 개선되는 것을 확인할 수 있다(Figure 7). 또한 모든 대안에서 공통적으로 대상지 내부와 외부의 토지이용 패턴이 연속되는 경향이 나타났다. 다시 말해, 대상지 내·외부의 자연지역 연결성뿐만 아니라 개발지역 연결성을 확보함으로써

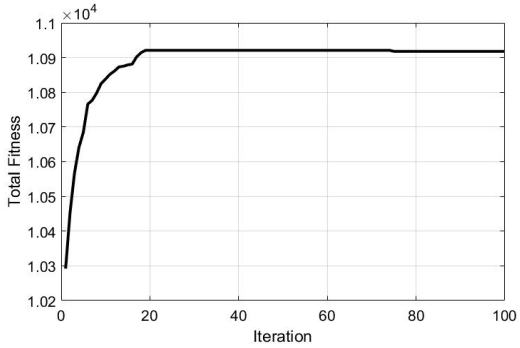

Figure 7. Fitness curve of AlternativeD

생물의 서식처 · 이동통로 확보, 기존 기반시설의 효과적 이용 등을 기대할 수 있다.

A, B, C, D의 모든 대안에서 공통적으로 개발지가 2개 지역 이상으로 분산되어 배부되었는데, 이것은 집약적으로 나타나는 실제 개발지 패턴과는 차이가 있다. 본 연구의 모델에서는 파편화와 관련된 가중치를 높게 부여함으로써 어느 정도 해소될 것으로 판단되나, 향후연구에서는 격자단위가 아닌, 패치의 수를 제약사항(constraints)으로 반영하는 것을 고려할 필요가 있다.

본 연구는 최적화 계획모델을 구축하고, 그 적용가능성을 제시하는 것에 중점을 두었다. 따라서 실제 장기미집행 도시공원이 해제되는 지역을 연구대상지로 하였으나, 보전 및 개발 측면의 계획지표 등은 기존의 학술연구에서 주로 적용되는 항목을 반영하였다. 그러나 본 연구에서 제시한 계획모델이 개발지역(공원 외 지역)/보전지역을 선정하는데 실제 확대 적용되기 위해서는 다음의 사항이 추가 고려되어야 할 것으로 판단된다. 첫째, 산림식생 및 토지이용에 대한 구체적인 현장 실측자료가 보완되어야 한다.

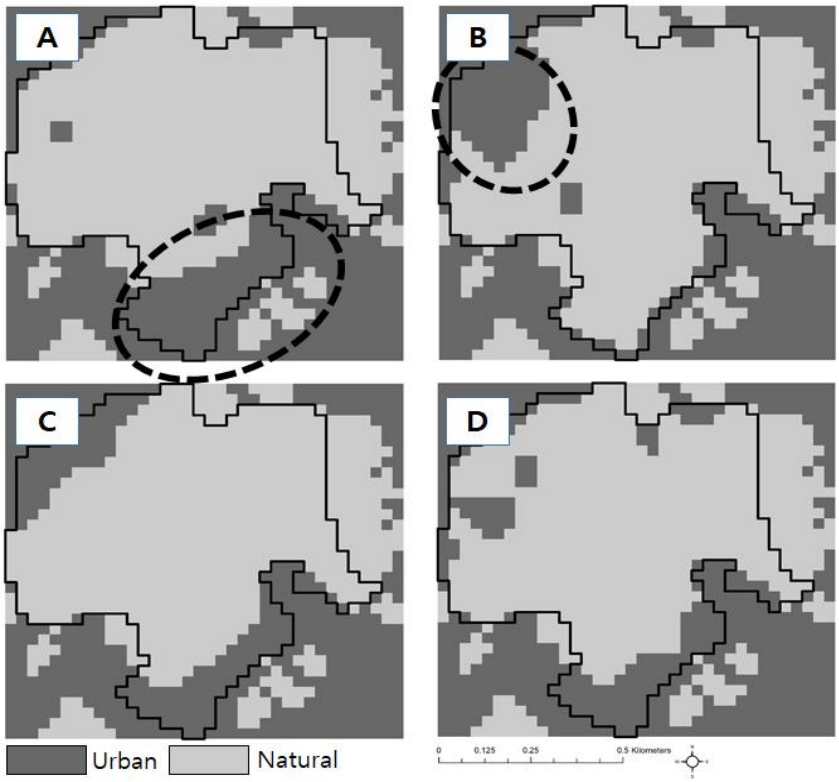

Figure 8. Suitability map for conservation
(A: Alternative 1, B: Alternative 2, C: Alternative 3, D: Alternative 4)

둘째, 본 연구에서는 용도지역/지구, 지목, 표고, 방재가능성 등은 개발의 형태를 결정짓는 중요한 지표이므로 별도 고려할 필요가 있다. 또한 표고, 방재가능성 등의 지표 역시 추가 고려할 필요가 있다. 셋째, 주변 토지이용 및 기존의 시설(쓰레기 소각장 등)에 대한 법적 규제사항을 검토 및 반영해야 한다. 특히 이러한 법적사항은 대안 작성에 반드시 반영되어야 하는 것으로, 정량적 계획모델에서는 제약조건(constraint)으로서 설정할 필요가 있다.

넷째, 모든 대상지에서 일반적으로 고려하는 사항 외에, 지역의 고유성/특수성을 공간의 구성에 반영하는 것을 검토해야 한다. 구체적으로는 지역의 특성에 따라 공간배분의 목적 (보전, 개발, 파편화 수준), 각 목적에 대한 계획지표, 가중치 등을 상이하게 구성할 수 있다. 예를 들어, 도시화지역에 고립된 장기미집행 도시공원이라면 보전 측면의 계획지표에 도시민에게 녹지가 제공해줄 수 있는 서비스나 어메니티 관련 지표를 반영할 수 있을 것이다. 또는 징검다리 녹지로서 중요한 역할을 하고 있고, 다양한 종의 서식이 발견된다면 종의 중요도를 반영한 계획지표를 구성할 수 있을 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구는 장기미집행 도시공원 해제 시 “합리적 개발”을 위해 적용 가능한 최적화 계획모델을 구축하였으며, 수원시 영흥공원을 대상으로 사례 적용 및 분석하였다. 수 년 이내에 전국의 많은 장기미집행 도시공원이 해제 및 개발될 예정임에도 불구하고, 해당 공원의 다양한 가치(사회, 경제, 환경적 가치를 포함한)를 합리적으로 보전 혹은 최대화 할 수 있는 도구가 정책적・학술적으로 미흡하다는 점 등을 고려한다면, 본 연구의 기여도가 클 것으로 예상된다. 특히, 본 연구에서 제안한 최적화 모델은 사용자의 선호도를 공간계획안으로 작성해주는 “공간의사결정지원도구”로서(Yoon et al., 2017; Stewart et al., 2004), 장기미집행 도시공원의 개발에 관여하는 이해관계자(계획가, 정책입안자, 소유자, 공학자 등)간의 협의를 효과적으로 지원할 수 있을 것으로 판단된다(Voskamp and Ven, 2015).

또한 본 연구에서 제안한 최적화 계획모델은 “보전 및 개발에 대한 적합도면”과 “최적화 알고리즘”을 결합한 구조로서 그 응용성・확장성이 높다. 구체적으로는, 지역의 특성을 반영한 적합도면을 구축하거나, 취득한다면, 수원시 영흥공원이 아닌 다른 장기미집행 도시공원 지역에 바로 적용이 가능할 것으로 판단된다.

References

Ahn, Y.J., Lee, D.K., Kim, H.G., Mo, Y.W. 2014. Applying connectivity analysis for prioritizing unexectued urban parks in Sungnam. Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology 17(3): 75-86 (In Korean).

Architecture&Urban Research Institute. 2014. A study on the management system of urban parks unimplemented towards expanding daily life infrastructure (In Korean).

Janag, N.J., Kim, J. 2013. A simulation to estimate the applicability of special use permit policy to Seoul park system. Journal of Korean Planning Association 48(4): 169-186 (In Korean).

Kang, S.J. 2017. A Study on the legal improvement of long term unexecuted urban parks. Kyungsung Law Review 26(0): 91-122 (In Korean).

Kim, E.Y., Jeon, S.W., Song, W.K., Kwak, J.Y., Lee, J. 2012. Application of ECVAM as a indicator for monitoring national environment in Korea. Environmental Policy

Research 11(2): 3-16 (In Korean).

Korean Environment Institute. 2006. Suggestion of biodiversity as a criterion for the environmental assessment (In Korean).

Lee, H.J. 2013. A study on deduction of planning indicators and AHP for development plan of industrial complex: focusing on industrial complex in Gyeonggi province. Graduate School of Engineering, Hanyang university (In Korean).

Lee, J.J. 2005. A study on the development of the planning indicator of the Korean style Eco-city. Journal of Korean Planning Association 40(4): 9-25 (In Korean).

Lee, K.J., Ahn, M.J., Lee, S.M. 2015. A study on determining a locational priority for publicly purchasing unexecuted park sites considering the level of service benefits. Journal of Korean Cartographic Association 15(2): 51-65 (In Korean).

Ra, J.H., Ryu, Y.S., Sagong, J.H. 2001. An evaluation of biotope based on its valuation criteria in terms of conservation of species and habitat. Journal of Korean institute of landscape architecture 29(1): 100-112 (In Korean).

Seoul Development Institute. 2015. A study on the plan to establish standards for setting priorities of compensation for unexecuted urban planning facilities infrastructure in green tract of land (In Korean).

Seoul Development Institute. 2011. A Study on the urban park management system with special use permits in Seoul (In Korean).

Cao, K. · Batty, B. · Huang, B. · Liu, Y. · Yu, L. and Chen, J. 2011. Spatial multi-objective land use optimization: extensions to the non dominated sorting genetic algorithm-II. Int J Geogr Inf Sci 25: 1949-1969.

Dorigo, M. 1992. Optimization, learning and antural algorithms. Thesis (PhD), Department of Electronics, Politecnico diMilano, Italy.

Eldrandaly, K. 2010. A GEP-based spatial decision support system for multisite land use allocation. Appl Soft Comput J 10: 694-702.

Karakostas, S.M. 2017. Bridging the gap between multi-objective optimization and spatial planning: a new post-processing methodology capturing the optimum allocation of land uses against established transportation infrastructure. Transp Plan Technol 40: 305-326.

Li, X. · He, J. and 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.

Liu, X. · Li, X. · Shi, X. · Huang, K. and Liu, Y. 2012. A Multi-type ant colony optimization (MACO) method for optimzal land use allocation in large areas. International Journal of Geographical Information Science 26(7): 1325-1343.

Liu, X. · Li, X. · Yeh, A.G.O. · He, J.Q. and Tao, J. 2007. Discovery of transition rules for geographical sellular automata by using ant colony optimization. Sci China Ser D-Earth Sci 50(10): 1578-1588.

Ma, S. · Li, X. and Cai, Y. 2017. Delimiting the urban growth boundaries with a modified ant colony optimization model. Computers, Environment and Urban Systems 62: 146-155.

Stewart, T.J. · Janssen, R. and van Herwijnen, M. 2004. A genetic algorithm approach to multiobjective land use planning. Computers &

Operations Research 31: 2293-2313.

Voskamp, I.M. and Ven, F.H.M. 2015. Planning support system for climate adaptation: Composing effective sets of blue-green measures to reduce urban vulnerability to extreme weather events. Building and Environment 83: 159-167.

Yang, X. · Zheng, X.Q. and Lv, L.N. 2012. A spatiotemporal model of land use change based on ant colony optimizaton, Markov chain and cellular automata. Ecological Modelling 233: 11-19.

Yoon, E.J. · Lee, D.K. · Kim, H.G. · Kim, H. R. · Jung, E. and Yoon, H. 2017. Multi-Objective Land Use Allocation Considering Landslide Risk under Climate Change: Case Study in Pyeongchang-gun, Korea. Sutainability 9