

GIS 기반 개발가능지 정형화를 위한 토지형상기준 적용에 관한 연구

A Study on the Application of Land Form Indices to the Standardization of Development Available Lands, using GIS

김정훈¹⁾ · 조춘만²⁾ · 채명기³⁾

Kim, Jung-Hoon · Cho, Chun-Man · Chae, Myung-Ki

Abstract

The current study aims at the design of GIS-based systematic and quantitative standards for development available land forms, precluding any planners' subjective manipulation of those irregular lands. More specifically, first, as the elements of land form standards, both LFI (Land Form Index) and ARCI (Adjusted Related Circumscribing Circle Index) are proposed. Second, through the sample survey of ready-developed residential areas, standard minimum and maximum values for LFI and ARCI were extracted. Third, through the application of those standardized ranges of LFI and ARCI values, actual land form standardization process was performed for the lands with LFI and ARCI indices, falling below the range of standardized values. The significance of the current study lies within the objective proof of the possibility of GIS-supported land form standards applications to actual cases, through the introduction of LFI and ARCI as land form standard indices.

Keywords : GIS, LFI, ARCI, Development Available Land, Land Form

초 록

본 연구는 개발가능지 분석과정에서 부정형 토지에 대한 정형화의 과정에서, 기존에 적용되어 온 작업자의 주관적 판단을 배제하고, GIS기반 토지형상 기준을 마련하여 일련의 개발가능지 정형화과정을 도출하고자 하였다. 구체적으로는, 첫째, 토지형상의 계량화 지표들로서 토지형상지표(LFI, Land Form Index) 및 조정된 선형성지표(ARCI, Adjusted Related Circumscribing Circle Index)를 제시하였다. 둘째, 수도권 기존 택지개발(예정)지구들에 대한 사례조사 분석을 통해 표준 최대 및 최소 LFI 및 ARCI 지표값들을 추출하여 표준 토지형상기준 설정에 이용하였다. 셋째, 실제 사례에서 추출된 LFI 및 ARCI 지표값들의 분포를 기반으로 표준영역기준을 설정하고, 실제 토지를 대상으로 LFI 및 ARCI값 관련 토지형상지표 표준영역에서 벗어난 부정형토지들에 대한 개발가능지 정형화과정을 추가로 제안하였다. 본 연구는 실제 개발가능지 사례들을 가지고 다양한 부정형토지들의 객관적인 정형화를 실현하고자, GIS기반 토지형상기준 설정 및 적용을 통한 그 실현가능성을 객관적으로 보여준 데 그 의의가 있겠다.

핵심어 : 지리정보시스템, 토지형상지표, 조정된 선형성지표, 개발가능지, 토지형상

1. 서 론

개발 가능한 토지를 공급함에 있어 토지의 규모와 형상의 결정은 매우 중요한 이슈 가운데 하나이다. 토지규모의

경우, 정책결정에 따라 계획목표인구와 용적률 등 개발지표가 정해지면 GIS 등 다양한 공간분석기법을 통해 원하는 면적의 개발가능지가 쉽게 도출될 수 있다. 하지만, 토지 형상의 경우, 공급자의 입장이 우선시되어, 당연히 공

1) 정희원 · 제1 연구자 · 국토연구원 GIS연구센터 연구위원(E-mail:junghkim@krihs.re.kr)
2) 연결저자 · 정희원 · 국토연구원 지역도시연구실 책임연구원(E-mail:cmcho@krihs.re.kr)
3) 정희원 · 국토연구원 GIS연구센터 연구원(E-mail:mkchae@krihs.re.kr)

급비용이 최소화되는 측면에서 개발토지의 형상이 결정되기 쉽다. 일반적으로, 어떠한 토지형상이 해당 계획유형에 맞는 최상의 토지형상 대안인지의 여부를 결정하는 작업은 계획유형의 성격, 상위계획·관련계획과 등의 영향을 받을 뿐만 아니라, 계획유형을 막론하고 개별 계획 자체의 다양한 물리적·사회경제적 주변여건에 많은 영향을 받을 수 있어 아직까지 그 일반화는 불가능한 것으로 여겨져 왔다.

반면, 공간계획상 일반적인 계획가들의 자율성은 이러한 토지형상 및 그 결정과정의 일반화에 대한 필요성을 대체하는 역할을 수행해왔다. 따라서 일단의 토지개발을 위한 개발가능지의 선정 시, 토지의 형상은 그 토지의 규모보다 덜 우선시 되어온 것도 사실이다. 즉, 형상이 지나치게 부적합한 경우라도 전체 개발면적이 큰 경우 다양한 공간활용 기법으로 형상의 한계를 극복할 수 있으며, 때로는 개발구역 경계의 물리적 조건을 잘 활용할 경우, 친환경적 생태도시 개념이 적용된 도시공간 연출도 가능해진다. 물론, 토지 형상이 부정형이더라도 경우에 따라서는 토지이용의 효율성을 낮추거나 비용요인을 증가시킨다는 측면보다는 자연친화적 공간설계나 지역특성이 반영된 공간의 설계가 더 중요시될 수도 있다.

한편, 개발가능지 도출과정에서 과거 수작업의 경우 개발부적합 형상에 대한 작업자의 임의적 판단에 의한 일부 조정이 가능했으나, 전산장비 및 공간정보 처리·분석기술의 발달로 토지의 물리적 기준자체를 조정하기 전에는 결과물을 마음대로 조정하기 어렵다. 따라서 통상 개발가능지 분석결과를 보면 극단적인 부정형 형상들이 결과물에 포함되기 쉽다. 이런 형상은 여러 가지 주제도를 중첩 분석함에 따라 나타나는 현상인데, 결과적으로 토지개발 시 공간이용효율을 떨어뜨리거나 개발패턴을 왜곡시키는 등의 부작용을 낳을 수 있다. 따라서 이러한 기이한 형상들은 정형화작업을 거쳐 토지를 효율적으로 이용·관리·보전할 수 있도록 하여야 하나, 아직까지는 개발가능지 분석과 관련하여 이렇다 할 토지형상 분석체계가 수립되지 못한 것이 현실이다.

따라서 본 연구는 택지개발예정용지 선정을 위한 개발가능지 분석과정에 토지형상 처리에 있어서 작업자의 주관을 배제함과 동시에 부정형 토지형상 처리과정의 표준화를 위해, GIS를 이용한 일단의 토지형상기준체계 및 토지형상정형화 작업과정의 제안에 연구의 목적을 두고 있다. 단, 본 연구는 다양한 유형의 토지개발을 위한 개발

가능지 선정과정에 토지형상 개념을 적용하는 국내 최초의 연구로서의 한계를 가지고 있다. 일반적으로, 토지형상의 평가에는 다양하고 복잡한 판단기준의 적용이 가능할 수 있으나, 본 연구는 토지형상에 따른 토지이용의 효율성만을 토지형상의 판단기준으로 삼았다.

2. 기존연구의 고찰

본 연구에서는 국내의 토지형상에 관한 자료를 중심으로 선행 연구에 대한 검토를 하였다. 선행연구 검토의 과정에서 토지관련 형상지표의 개념을 적용한 선행연구의 사례가 희박하여, 이미 형상의 계량화가 활발하게 진행되어 온 생태학 및 지리학 등에서 가장 광범위하게 사용되는 CI(Compactness Index) 및 SI(Shape Index) 개념을 개발가능지 토지형상지표 관련 주요 선행연구로 설정하여, 다음과 같이 크게 세 부문으로 나누어 문헌조사를 실시하였다. 첫째는 CI 개념을 형상계량화 및 분석에 적용한 사례, 둘째는 SI(Shape Index) 개념을 형상계량화 및 분석에 적용한 사례, 그리고 국내 개발가능지 관련 기존 연구들을 검토하였다.

먼저, CI개념을 형상분석에 적용한 예로서 Patton (1975)의 사례를 들 수 있는데, 그는 동물 서식지 분포의 변화과정을 분석하는데 CI개념을 처음 도입하였다. 동시에 그는 CI의 규모의존성(Scale-dependence)에 대한 한계를 지적하고 규모에 영향을 받지 않는 대안적 형상계량화 지표가 필요함을 언급하였다. 이후 Ebdon (1985)은 지리학적 공간분석기법의 하나로 형태의 계량화 지표 가운데 하나로 Compactness개념을 적용하였다. Compactness는 일정 면사상이 완전한 원의 형태에서 얼마나 형태가 변형되어 있는지를 계량적으로 표시해주는 지표로 사용되었으며, 'CI=면적(Area)/둘레길이(Perimeter)'로 형상을 계량화하였다. 그러나 Patton(1975)이 이미 지적하였듯이, CI는 동일 형상의 면사상이라도 규모에 따라 CI값이 다른 규모의존성의 한계를 가지고 있었다.

한편, Li & Yeh(1998)는 CI개념을 도시분석에 적용한 유용한 사례로서, GIS를 사용하여 지속가능한 도시 토지 개발 모델을 제시하였는데, 농촌의 빠른 도시화의 상황에서 도시지역의 무질서한 확산을 제어하는 방법을 제안하였다. 연구의 결론으로서, 한정된 양의 토지를 사용할 때 가능한 한 CI가 높은 토지이용 패턴이 토지이용의 효율성을 극대화할 수 있다고 주장하였다. 이어, Li & Yeh

(2004)는 중국 서부지역의 Pearl River Delta 지역에 있어서의 도시지역 확산 및 토지이용패턴의 변화에 대한 분석을 통해, 강력한 토지이용정책과 토지의 식생변화 간 관계성을 증명하고자 했는데, 도시확산 및 토지이용패턴의 계량화를 위해 역시 CI를 사용하였다. Das & Neutiyal (2004)의 경우는 CI를 생태학적으로 적용한 사례로서, 임지의 타 용도로의 전이가능성을 분석함에 있어 임분(林分, stand)¹⁾의 다양화지수와 CI를 사용한 최근의 사례이다. 이 연구에 서 숲의 형태 및 분산화 정도를 표현하는데 CI를 사용하였다.

SI(Shape Index) 개념을 형상분석에 적용한 사례로는, CI의 규모의존성에 대한 한계성을 극복하고 다양한 스케일의 면사상들을 비교할 수 있는 지표로서 Fractal 개념을 삽입한 Lovejoy(1982)의 경우를 들 수 있다. 그는 도형의 면적과 둘레길이(Perimeter)의 상관성을 분석하는 과정에서 Fractal 개념을 적용한 SI지표를 제시하였다. Fractal은 각 패턴에 있어서 규모의존성에 의한 변화내역에 대한 보정 없이 바로 면사상간 비교가 가능했다. 그러나 Fractal 개념이 적용된 다양한 형상계량화 기법들이 개발되었으나, 개념의 이해가 쉽지 않고 다양한 사례로의 적용이 어려운 단점을 가지고 있었다. 반면, McGarigal & Marks(1994)는 CI의 한계인 규모의존성을 극복하여 형상을 실용적으로 계량화하려는 형상지수(Shape Index)를 적용하였다. 이 연구는 원이나 정사각형 등 기하학적 정형으로부터 해당 형태가 얼마나 변형되어 있는지의 계량표시 지수로서 SI를 사용하였으며, Raster 기반 데이터에 대한 SI를 측정하는데 있어 “ $SI = 0.25 \times (p/\sqrt{A})$ ”의 공식을 적용하였다(p: 면사상의 총둘레, A: 총면적).

한편, 이후의 McGarigal & Marks(1994)의 SI 개념은 그 개념이 쉽고 응용이 용이함에 힘입어, 다양한 타 형상 지표들과의 접목을 통해 더욱 복잡한 연구들에 적용하는 사례들이 늘었는데, 그 대표적인 예로서 Hong 등(2000)의 연구를 들 수 있다. 그는 임지(landscape)의 공간패턴을 계량화하고자 하는 시도로서 SI 지표 및 타 지표를 연계하여 집단화지수(Aggregation Index) 개념을 제안하였다. 즉, Contagion Index, Shape Index 및 Probability of Adjacency 지표를 조합하여 집단화지수를 도출하였고, 이를 통해 다양한 임지(landscape)의 공간패턴 사례에 적용하였다.

마지막으로, 국내 개발가능지 관련 연구사례를 살펴보면, CI 및 SI 등 형상지표를 사용한 경우를 찾아볼 수는 없고, 일부 도시 토지형상 관련 국내 연구의 경우 토지의 규모와 경계의 길이 등만을 연구의 지표로 사용하는데 그치고 있다. 예로, 오윤표 외(2004)의 경우, 도시토지의 획지구모 및 최적형상 결정을 위한 모형 제시의 과정에서 개별 획지의 형태를 규정하는데 있어 세장비와 획지구모와의 관계를 통해 도시토지로서 최적형상을 제시하였다.

기타, 국내 개발가능지 분석이 포함된 연구 및 관련 문헌들을 살펴보면, 이성호(1988)는 부산광역시 도시용지 부족문제에 직면해 임계요인분석법을 이용한 개발가능지 분석을 실시하였고, 장동규 등(2000)은 환경친화적 택지개발편람을 통해 국내에서 가장 널리 사용되는 객관적인 개발가능지 분석관련 지침을 제시하였다. 한편, 황지욱(2002)은 접경지역의 자연환경, 토지이용 및 지역특성을 파악하기 위한 토지이용지표를 설정하고, GIS로 수치지도화하여 개발가능지를 분석하였다. 한편, 이정(2002)은 기존 관광개발적지 선정기법과 비교하여 GIS 분석을 통해 관광과 관련된 다양한 환경친화적 관광개발의 새로운 가능성을 제안하는 과정에서 도면중첩법에 의한 개발적지 선정과정을 보여주었다. 이상과 같이, 지금까지의 국내 개발가능지 관련 대부분의 연구사례들은, 개발가능지 선정절차 적용분야의 다양화에 기여하였으나, 개발가능지 분석과정의 주관성에 대한 문제의식이나 분석과정의 객관화를 위해 개발가능지 분석 과정에 토지형상 개념의 적용은 아직 시도된 바가 없다.

3. 토지형상기준 및 유형설정

3.1 토지형상기준의 설정

기존의 개발가능지 분석에서는, 개발대상지에서 개발규제지와 개발불능지를 제외하고 남은 지역 중 지나치게 형상이 좋지 못한 일부 지역에 대하여 최소면적기준만을 적용하는 필터링과정을 통해 나머지 대부분의 지역을 개발가능지로 간주해왔다. 그러나 GIS를 이용한 중첩분석을 통해 얻어진 개발가능지는 선형이나 복잡한 모양을 갖는 형상 또는 홀 폴리곤(Hole Polygon)²⁾에 의한 아메바 형태 등 아주 다양한 형태를 갖는다. 이러한 형상들 중에

2) 홀 폴리곤에 의한 아메바 형태의 개발가능지는 기존시가지나 토지이용규제를 받는 소규모 토지들에 의해 발생하는데 실제 개발의 경우 이런 지역들은 연결 개발 또는 규제완화를 통해 개발이 가능하다.

1) 수종·수령·임상·생육상태 등이 비슷하고 인접 산림과 구별되는 한 단지의 산림을 지칭함

는 개발에 부적절한 형상이 포함되어 있는 반면, 목적에 따라서는 개발가능지로의 활용이 충분한 형상도 포함되어 있다. 여기에, 개발가능지 선정절차에 대한 토지형상개념 적용을 통한 개발가능지 정형화의 필요성이 대두된다.

본 연구는 토지형상이 복잡하지 않고 단순한 경우 또는 선형으로 길게 늘어져 있기보다는 집중되어 있는 경우가 토지의 개발이나 활용성에 훨씬 유리하다는 Li & Yeh(1998)의 주장을 근거로, 토지형상의 복잡성 및 선형성을 나타내는데 유용한 지표들을 적용하여 토지형상기준 설정을 위한 지표들로 삼았다. 또한 토지형상의 활용성 측면에서, 복잡하지 않고 단순할수록, 길게 늘어져 있지 않고 집중되어 있을수록, 토지형상기준 값이 커지도록 정의하였으며, 토지형상기준의 개념에 대한 일반의 이해도를 높이고자 직관성과 일관성을 기하였다.

본 연구는 개발가능지 분석에 대한 토지형상지표 적용의 기초연구로서 LFI와 ARCI를 양대 토지형상기준으로 설정하였다. 먼저, 기존 문헌을 살펴볼 때, 토지형상에 관한 일반적 지표로서 CI 또는 SI 등이 널리 적용되었으나, 본 연구는 기존 형상지표들의 규모의존성 및 개념복잡성의 문제를 해결할 수 있는 대안적 토지형상지표으로서 LFI(Land Form Index)를 제안하였다. LFI는 토지규모와 상관없이 일관성 있고 손쉬운 개념을 기반으로 일단의 토지형상 복잡성을 계량화할 수 있다. 즉, 아래 그림 1은 토지형상기준의 선정조건을 그림으로 설명하고 있는데, 토지형상의 복잡성을 예시한 것으로 토지형상의 외형이 동일하더라도 기존 시가지나 소규모 토지이용 규제지역에 의해 홀 폴리곤이 발생하면 토지의 활용 방안이 달라지므

로 이를 구분할 지표가 필요하다. 이를 위해 LFI를 도입하여 토지형상의 복잡성을 계량화하는 지표로 삼았다.

또한 그림 2는 토지형상의 선형성을 표현한 것으로, 토지형상 계량화에 LFI만 적용될 경우 토지형상과 홀 폴리곤 등 토지형태의 복잡성은 표현해낼 수 있으나, 정작 토지형상의 지나친 선형분포의 경우 필요 이상의 토지이용 제약상황 발생을 방지할 수 없는 단점을 내포하고 있다. 따라서 토지형상이 집중되어 있는 경우가 선형으로 길게 늘어져 있는 경우보다 토지의 개발이나 활용성 측면에서 유리하다는 전제 하에, LFI의 보조적 형상지표로서 ARCI를 도입하여 토지형상의 선형성을 계량화하는 지표로 삼았다.

3.2 토지형상지표(LFI)의 정의

본 연구에서 정의하고 있는 토지형상지표는 길이에 대한 면적의 비로 정의하되, 변환길이로 나눠 무차원화시켜 규모의존성의 한계를 극복하였다.

원에서의 형태지표 정의는 다음과 같이 표시할 수 있다. 여기서는 원의 면적을 둘레의 길이로 나누고 다시 반지름으로 나눠 무차원화하면 일정한 값을 갖는다.

$$LFI = \frac{\pi r^2}{2\pi r} = \frac{1}{2} \quad (1)$$

정사각형에서의 형태지표 정의는 다음과 같이 표시할 수 있다. 여기서는 정사각형의 면적을 둘레의 길이로 나누고 다시 한 변의 길이로 나눠 무차원화하였다.

$$LFI = \frac{a^2}{4a} = \frac{1}{4} \quad (2)$$

일반 도형의 토지형상지표 정의는 다음과 같이 표시할 수 있다. 여기서는 면적을 둘레의 길이로 나누고 다시 변환길이로 나눠 무차원화함으로써 동일 형상의 경우 규모(면적)에 관계없이 LFI값이 일정한 값을 갖도록 하여 LFI 값 간의 비교를 가능하게 해준다.

$$LFI = \frac{\text{면적}}{\text{둘레길이} \times \text{변환길이}} \quad (3)$$

한편, 원이나 정사각형 등 기준도형에 대한 일반도형(일반 면사상)의 상대적인 개념으로 SI지표가 사용되어져 왔는데, 규모의존성 및 개념복잡성을 탈피한 SI지표를 사용한 McGarigal & Marks(1994)는 Raster기반인 경우는 정사각형을, 벡터기반인 경우는 원을 기준도형으로 하여



그림 1. 토지형상의 복잡성 비교

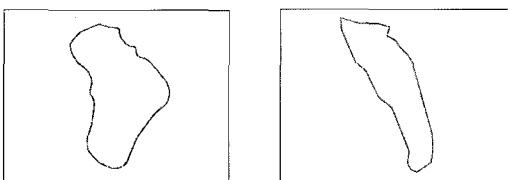


그림 2. 토지형상의 선형성 비교

표 1. 기준도형간의 LFI 비교

기준도형 : 원			기준도형 : 정사각형		
도형종류	LFI	비율(%)*	도형종류	LFI	비율(%)*
원(기준도형)	0.500000	100.00	원	0.282095	100.00
정사각형	0.443113	88.62	정사각형(기준도형)	0.250000	88.62
직사각형(1:2)	0.417771	83.55	직사각형(1:2)	0.235702	83.55
직사각형(1:3)	0.383748	76.75	직사각형(1:3)	0.216506	76.75
직사각형(1:4)	0.354491	70.90	직사각형(1:4)	0.200000	70.90
직사각형(1:5)	0.330277	66.06	직사각형(1:5)	0.186339	66.06
직사각형(1:6)	0.310115	62.02	직사각형(1:6)	0.174964	62.02
직사각형(1:7)	0.293092	58.62	직사각형(1:7)	0.165359	58.62
직사각형(1:8)	0.278514	55.70	직사각형(1:8)	0.157135	55.70
직사각형(1:9)	0.265868	53.17	직사각형(1:9)	0.150000	53.17
직사각형(1:10)	0.254772	50.95	직사각형(1:10)	0.143740	50.95

*원에 대한 각 도형의 토지형상지표의 비율

LFI식을 제시하였다. 본 연구는 변환길이를 동일면적의 기준도형으로 변환하였을 경우 대표길이를 정의하였는데, McGarigal & Marks의 경우처럼 정사각형과 원을 기준도형으로 비교하였다(그림 3 참조).

원을 기준도형으로 한 경우 변환길이는 다음과 같이 표현될 수 있다(표 1 참조).

$$\pi r^{*2} = \text{면적} \Rightarrow r^* = \sqrt{\frac{\text{면적}}{\pi}} \quad (4)$$

한편, 정사각형을 기준도형으로 한 경우 변환길이는 다음과 같이 표현될 수 있다(표 2 참조).

$$a^{*2} = \text{면적} \Rightarrow a^* = \sqrt{\text{면적}} \quad (5)$$

위 표 1에서 보는 바와 같이 기준 도형에 따라 일반 도형의 토지형상지표 값은 다르지만 토지형상지표의 상대적인 값(비율)은 기준 도형에 관계없이 일정함을 알 수 있다. 이는 어떤 도형을 기준 도형으로 삼더라도 각 도형에 대한 토지형상지표는 변별력을 갖는다는 것을 의미한다. 본 연구는 가장 이상적인 도형인 원을 토지형상지표의 기준 도형으로 삼았다. 토지형상의 선형성을 판별하는 기준이 되는 ARCI 역시 최소경계원(smallest circumscribing circle)

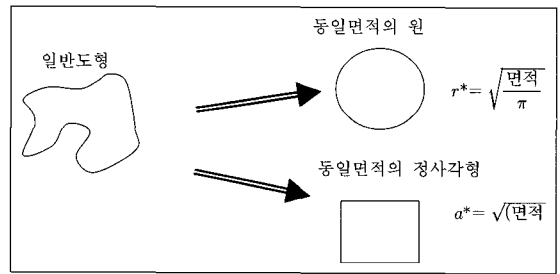


그림 3. 변환길이 개념도

을 기준으로 토지형상지표를 정의하였다.

한편, LFI 개념활용의 용이성 및 이해도를 높이고자, 기준도형의 형상지표를 1로 조정하기 위해 표 1의 토지형상지표 값에 2를 곱하여 McGarigal & Marks의 벡터 기반 SI와 비교하면 표 2와 같다.

표 2에서 보는 바와 같이, 본 연구에서 정의한 토지형상지표는 기준 도형을 1로 했을 때 토지형상지표 값이 1보다 작게 나오고, McGarigal & Marks의 SI값은 기준 도형을 1로 했을 때 SI값이 1보다 무한대로 크게 나타난다. 그러나 비율로 따져 보았을 때 그 감소율이나 증가율은 동일하게 나타남을 알 수 있다. LFI와 McGarigal & Marks의 SI는 비록 값은 다르지만 동일한 해석을 할 수 있다. 따라서 LFI는 기준도형을 원으로 하고 그 토지형상지표 값을 1로 조정하면 아래 식으로 최종 정의된다.

$$LFI = \frac{2 \times \sqrt{\text{면적}} \times \pi}{\text{둘레길이}} \quad (6)$$

3) LFI를 개념적으로 정의하면, 일반도형의 기준도형에 대한 형상의 비교값이다. 여기서 기준도형은 원, 정사각형, 직사각형, 삼각형 등 형상이 명확히 고정된 도형은 모두 가능하다. McGarigal & Marks의 SI개념과 비교를 위해 원과 정사각형만을 기준도형으로 설정하였다.

표 2. LFI와 McGarigal & Marks SI 비교

도형종류	LFI	토지형상지표 비율(%)*	벡터 기반 SI	벡터 기반 SI 비율(%)**
원(기준도형)	1.000000	100.00	1.000000	100.00
정사각형	0.886227	88.62	1.128379	88.62
직사각형(1:2)	0.835543	83.55	1.196827	83.55
직사각형(1:3)	0.767495	76.75	1.302940	76.75
직사각형(1:4)	0.708981	70.90	1.410474	70.90
직사각형(1:5)	0.660554	66.06	1.513880	66.06
직사각형(1:6)	0.620230	62.02	1.612306	62.02
직사각형(1:7)	0.586184	58.62	1.705949	58.62
직사각형(1:8)	0.557028	55.70	1.795240	55.70
직사각형(1:9)	0.531736	53.17	1.880632	53.17
직사각형(1:10)	0.509545	50.95	1.962537	50.95

* 원에 대한 각 도형의 토지형상지표 비율
 ** 원에 대한 각 도형의 벡터 기반 SI 역비율

3.3 선형지표(ARCI)의 정의

현재까지 토지형상과 관련하여 관련 지표개발이 매우 활발한 조경생태학(Landscape Ecology) 분야의 경우, 형상의 계량화와 관련하여 보편적으로 사용되는 프로그램 가운데 하나가 Raster기반 FRAGSTATS⁴⁾이다. FRAGSTATS가 사용하는 지표군 가운데 선형성지표(RCCI, Related Circumscribing Circle Index)는 일개 토지의 최소 경계원에 대한 해당 토지의 면적 비율을 의미한다. Raster기반 자료분석에서 RCCI는 아래 식과 같이 정의 되며, 해당 토지 전체의 선형성(overall patch elongation)을 측정하는데 사용된다.

$$RCCI = 1 - \frac{a_{ij}}{a_{ij}^*} \quad (7)$$

a_{ij} = 토지 ij 의 면적(m^2),

a_{ij}^* = 토지 ij 의 최소경계원의면적(m^2)이다.

즉, 나선형으로 꼬이면서 폭이 좁은 토지는 토지형상이 비교적 밀집되어 있으므로 낮은 RCCI 값을 갖는 반면, 폭이 좁고 길게 늘어진 토지는 높은 RCCI 값을 갖게 된다. 따라서 RCCI는 폭이 좁으면서 길게 늘어진 토지형상 계량화에 유용하게 사용될 수 있다.

RCCI의 의미를 벡터자료에서 기하학적으로 살펴보면 그림 4에서 보는 바와 같이 최소 경계원의 면적에 대한

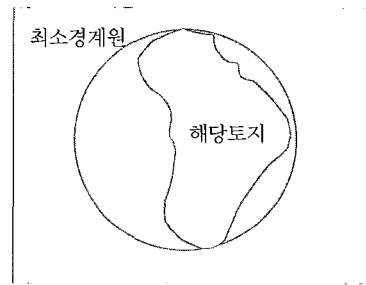


그림 4. RCCI의 기하학적 의미

최소 경계원 중 해당 토지가 아닌 지역의 면적 비로 설명할 수 있다. 따라서 해당 토지의 형상이 원형에 가까우면 RCCI 값은 '0'에 가까워지며, 해당 토지가 선형일수록 RCCI 값은 '1'에 가까워진다. 해당 토지의 면적이 '0'인 경우는 존재하지 않으므로 RCCI 값이 '1'인 경우는 없다.

그러나 위에 정의된 RCCI 값은 토지형상의 선형성을 계량화하기 위해 제시된 것으로, 토지형상이 양호할수록 작은 값을 가져 사용자로 하여금 토지형상의 좋고 나쁨을 판단하는 직관성에 혼란을 준다. 또한 앞에서 토지형상의 복잡성을 계량화하기 위해 사용된 LFI와 일관성을 유지하기 위해서도 위의 RCCI 정의를 재조정할 필요가 있다. 따라서, 본 연구는 아래 식에서 보는 바와 같이 최소경계원의 면적에 대한 해당 토지의 면적의 비로 RCCI를 재정의하였다. 즉, 토지형상의 기준을 직관적으로 쉽게 이해할 수 있고 앞서 정의된 LFI와 일관성을 갖도록 RCCI를 변형하여 ARCI로 명명하여 사용하였다(그림 5 참조).

4) <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>

$$\text{조정된 RCCI(ARCI)} = \frac{\text{해당 토지의 면적}}{\text{최소경계원의 면적}} \quad (8)$$

여기서, 조정된 RCCI 즉 ARCI 값은 해당 토지의 형상이 원형에 가까우면 '1'에 가까워지며, 해당 토지가 선형일수록 '0'에 가까워진다. 해당 토지의 면적이 '0'인 경우는 존재하지 않으므로 ARCI 값이 '0'인 경우는 없다.

한편, ARCI를 실제 개발가능지 분석에 적용하는 과정

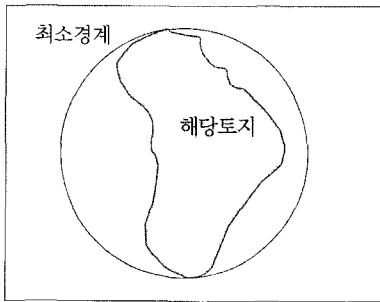


그림 5. ARCI의 기하학적 의미

에서, 기존 시가지나 토지이용규제를 받는 소규모 토지들에 의해 홀 폴리곤이 발생하는 경우가 있다. 이때, 홀 폴리곤을 그대로 둔 상태에서 ARCI를 계산하게 되면 ARCI 값이 왜곡되어 나타난다. 즉, ARCI는 홀 폴리곤을 그대로 둔 상태에서 계산하게 되면 홀 폴리곤이 없는 형상보다 ARCI 값이 작아 실제보다 긴 형상으로 평가된다. 이런 문제를 해결하기 위해 본 연구는 그림 6에서 제시된 과정을 거쳐 ARCI를 계산하였다. 즉, 홀 폴리곤이 있는 토지의 경우 홀 폴리곤을 제거하여 해당 토지의 면적을 구하고 이를 최소 경계원의 면적으로 나눠 조정된 ARCI 값을 계산하였다. 홀 폴리곤의 유무에 의한 토지형상의 복잡성 평가는 앞서 제시한 LFI를 이용해서 가능하기 때문이다.

3.4 토지형상지표(LFI)와 선형성지표(ARCI)의 관계

아래 표 3은 원, 정사각형, 직사각형에 대한 LFI와 ARCI의 값들을 비교한 것이다. 원에서 가로 대 세로 비율이 높은 직사각형으로 갈수록 LFI와 ARCI값이 감소하게 되

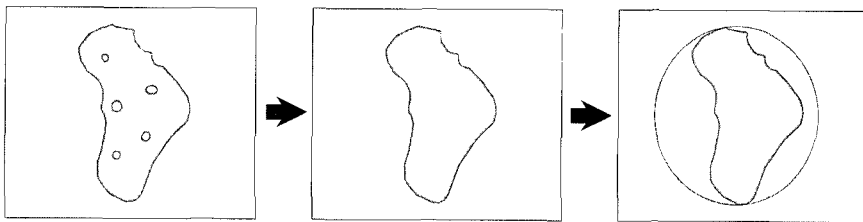


그림 6. ARCI 계산과정

표 3. 토지형상지표와 ARCI 비교

도형종류	LFI	토지형상지표 비율(%)*	ARCI	ARCI 비율(%)**
원	1.000000	100.00	1.000000	100.00
정사각형	0.886227	88.62	0.636620	63.66
직사각형(1:2)	0.835543	83.55	0.509296	50.93
직사각형(1:3)	0.767495	76.75	0.381972	38.20
직사각형(1:4)	0.708981	70.90	0.299586	29.96
직사각형(1:5)	0.660554	66.06	0.244854	24.49
직사각형(1:6)	0.620230	62.02	0.206471	20.65
직사각형(1:7)	0.586184	58.62	0.178254	17.83
직사각형(1:8)	0.557028	55.70	0.156706	15.67
직사각형(1:9)	0.531736	53.17	0.139746	13.97
직사각형(1:10)	0.509545	50.95	0.126063	12.61

* 원에 대한 각 도형의 토지형상지표 비율. 토지형상지표 값은 원을 기준도형으로 계산

** 원에 대한 각 도형의 ARCI의 비율

는데, 이는 원에서 가로 대 세로 비율이 높은 직사각형으로 갈수록 도형의 형상이 더 복잡해지고 선형의 형태를 갖기 때문이다. 또한, 각 도형에 따른 비율의 변화가 LFI에 비해 ARCI가 더 급격하게 감소하는 현상을 보이는데, 이는 원, 정사각형, 직사각형의 경우 도형의 복잡성보다는 선형성의 변화를 더 많이 보이기 때문이다.

3.5 토지형상 유형구분

LFI와 ARCI의 기준 도출을 위하여, 수도권에 위치한 총 250개의 택지개발(예정)지구를 대상으로(그림 7 참조) LFI와 ARCI를 계산 분석하여, 각 지표의 최대, 최저 및 평균값 등을 도출하였다. 각 지구에 대해 구해진 면적과 둘레길이를 바탕으로, 본 연구가 정의한 LFI 값을 계산하

여 분석한 결과 평균 0.687084, 최소 0.311589, 최대 0.947271로 나타났다. 또한 ARCI를 계산하여 분석한 결과 평균 0.405161, 최소 0.116874, 최대 0.754730으로 나타났다.

본 연구는 소규모 지역에 대한 최소면적 필터링 이후에 남은 개발가능지를 LFI 및 ARCI의 기준에 따라 표 4와 같이 네 가지 유형으로 구분하여, 이후 토지형상 정형화작업에 사용토록 하였다. 여기에 사용된 LFI와 ARCI 기준은 실제 택지개발(예정)지구를 분석하여 도출된 값을 사용한 것으로, 최저 LFI 값의 경우 김포 양촌지구의 0.311589를, 최저 ARCI 값의 경우는 서울 가양지구의 0.116874를 사용하였다(그림 8 참조).

4. 토지형상의 정형화 작업

LFI 및 ARCI 값이 지나치게 작은 토지형상은 복잡한 외형과 지나친 선형의 형태로 되어있어 토지로서의 활용가치가 현저히 떨어진다. 하지만, 이런 유형의 토지라도 일정수준 이상의 면적규모를 보유할 경우 단순한 제척처리보다는 형상의 재조정을 통한 활용이 필요하다. 즉, 일부 형상을 분리시킴으로서 토지형상을 개선하거나, 토지형상 중 가로나 세로 폭이 최소인 지점에서 분리하거나, 토지형상 경계일부가 뺏겨진 부분 등은 제척할 수 있고, 또 재조정 후에도 여전히 개발 부적절 형상으로 분류되는 개발가능지는 제척시키는 등 일련의 판단과정이 필요하다. 본 연구는 이러한 일련의 LFI 및

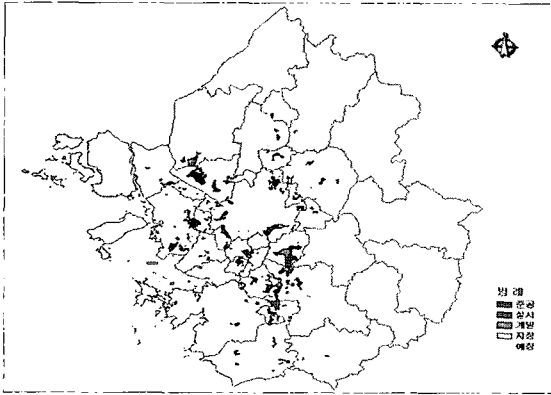


그림 7. 수도권 택지개발(예정)지구 분포도

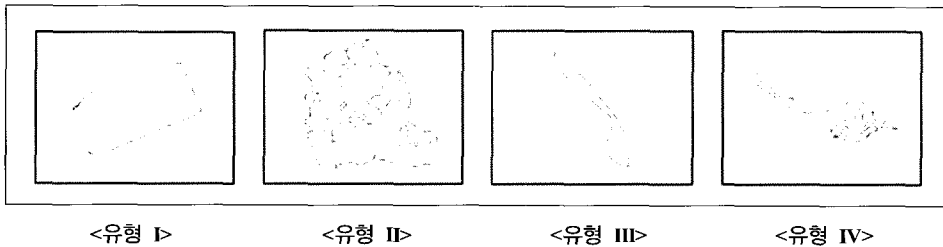


그림 8. 토지형상 유형별 예시

표 4. 개발가능지의 토지형상 유형구분

유형 구분	형상기준	활용 가능성
유형 I	$LFI \geq 0.311589, ARCI \geq 0.116874$	모든 개발유형의 개발가능지로 적합
유형 II	$LFI < 0.311589, ARCI \geq 0.116874$	대규모 택지개발사업과 같은 대규모 사업 등에 적합
유형 III	$LFI \geq 0.311589, ARCI < 0.116874$	소규모 택지개발사업, 제1종, 2종 지구단위계획 등에 활용
유형 IV	$LFI < 0.311589, ARCI < 0.116874$	정형화작업으로 유형조정 또는 개발가능지에서 제척

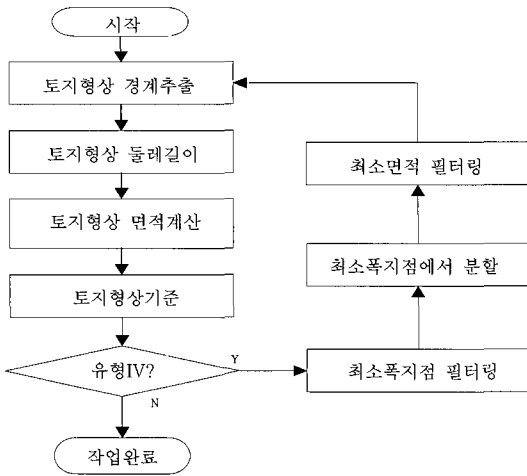


그림 9. 토지형상 정형화작업 흐름도

ARCI 값 개선과정을 토지형상 정형화 작업으로 설정하였다.

토지형상의 정형화 작업은 우선 개별 토지형상의 경계를 추출하고, 토지형상의 둘레길이와 면적을 계산하여 LFI와 ARCI를 계산한다. 이어, LFI와 ARCI값을 근거로 토지형상을 유형별로 분류(유형 I~IV)한다. 그리고 최소폭 지점을 탐색하여 분리하고, 최소면적 필터링을 수행하는 절차로 이루어진다. 이러한 전체 프로세스는 해당 토지형상이 유형 IV에서 유형 III이나 유형 II 또는 유형 I로 바뀔 때 종료된다(그림 9 참조).

4.1 토지형상 경계추출

부정형의 형상에 대해 최소폭 지점을 자동으로 결정하는 프로세스는 무수히 많은 경우의 수가 발생하고, 각 경우에 대해 전문가 수준의 판단을 필요로 한다. 특히 벡터 기반의 데이터에서는 서로 인접한 점들과의 연결선을 최소폭으로 인식하게 되는 오류가 많이 발생하기 때문에 본 연구에서는 Raster기반의 데이터에서 정형화 작업을 수행하는 방법을 선택하였다.

LFI를 계산하기 위해 토지형상의 실면적과 내부홀의 둘레를 포함한 전체 둘레 길이가 필요하고, ARCI를 계산하기 위해서는 홀을 제외한 외곽경계의 면적과 최소경계원의 면적이 필요하다. 이런 작업을 래스터 기반의 데이터에서 수행하기 위해서는 셀 탐색을 통한 토지형상 경계 추출이 선행되어야 한다. Raster기반의 데이터는 벡터 기반의 데이터와는 달리 위상관계(Topology)를 갖고 있지

⑦ (-1,1)	⑧ (0,1)	① (1,1)
⑥ (-1,0)	⑨ (0,0)	② (1,0)
⑤ (-1,-1)	④ (0,-1)	③ (1,-1)

그림 10. 셀 탐색을 위한 3×3 윈도우

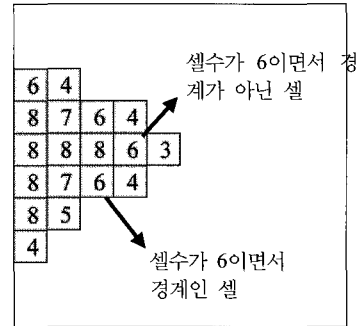


그림 11. 주변 8개 셀 중 셀 수가 6인 경우의 예

않기 때문에 토지형상의 경계 추출을 위해서 주위 셀 탐색이 필수적이다.

위의 그림 10에서 보는 바와 같이 3×3 윈도우를 설정하여 주변 8개 셀(①번 셀~⑧번 셀)을 모두 탐색하여 셀 수를 계산하면 0에서 8까지 수가 나올 수 있다. 셀 수가 0인 경우는 독립 셀로 토지로서 활용가치가 없는 좁은 지역이므로 최소면적 필터링 과정에서 제거되어 존재하지 않는다. 셀 수가 1인 경우는 뾰족하게 튀어나온 부분으로 정형화 과정에서 제거된다. 셀 수가 7 또는 8인 경우는 형상의 내부로서 경계에서 제외된다. 결국 형상의 경계가 될 수 있는 경우는 셀 수가 2에서 6인경우로 2에서 5까지는 분석결과 형상의 경계에 해당되었으나 셀 수가 6인 경우는 위의 그림 11에서 보는 바와 같이 경계인 셀과 경계가 아닌 셀이 존재한다.

이런 문제를 해결하기 위해 주변 8개 셀 모두를 탐색하지 않고 변으로 접한 셀(그림 10에서 ②, ④, ⑥, ⑧번 셀) 4개에 대해 셀 탐색을 수행하여 셀 수가 1~3인 경우를 경계 셀로 하고 셀 수가 4인 경우는 형상 내부의 셀로 판단하여 경계 셀에서 제외하였다. 다음 그림 12와 같이, Raster기반의 토지형상(a)에 대해 셀 탐색을 수행한 결과(b)의 형상에서 (c)와 같이 경계를 추출하였다.

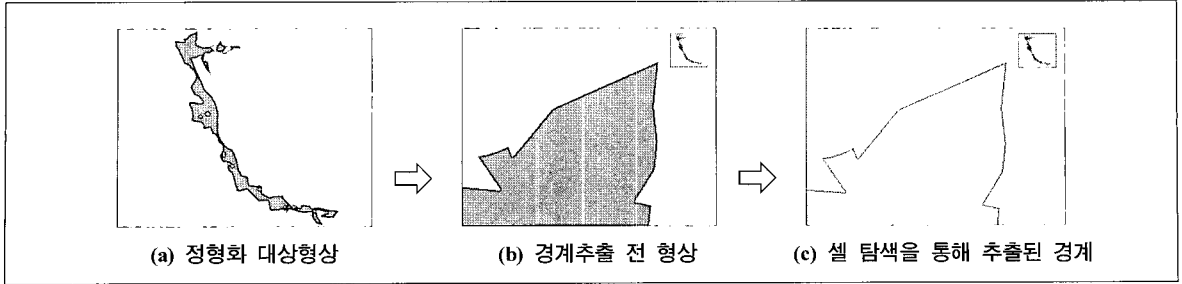


그림 12. 정형화 대상 형상의 경계추출 예시

		2	3	3	2				
	2	4	4	4	4	2			
	3	4	4	4	4	3			
	3	4	4	4	4	3			
	2	4	4	4	4	4	1		
		2	3	3	3	2			

그림 13. 셀 탐색을 통해 추출된 경계

4.2 토지형상 둘레길이 계산

토지형상 둘레길이 계산은 경계추출 과정에서 나온 경계셀을 활용하면 쉽게 구할 수 있다. 변으로 인접한 셀 수가 1인 경우는 세 변이 경계를 이루고, 셀 수가 2인 경우는 두 변이, 셀 수가 3인 경우는 한 변이 경계를 이루므로 각각의 경우 해당 셀 수와 셀의 공간해상도를 이용하여 둘레길이를 계산한다. 위의 그림 13 형상의 경우, 변으로 인접한 셀 수가 1인 경우가 1개, 셀 수가 2인 경우가 7개, 셀 수가 3인 경우가 9개이므로, 셀의 해상도를 1m×1m 라고 가정할 때 둘레길이는 26m가 된다.

4.3 토지형상 면적계산

앞에서 LFI를 $2 \times \sqrt{\text{넓이} \times \pi} / \text{둘레길이}$ 로 정의 하였고, ARCI를 '도형의 최외곽경계면적/최소경계원의 면적'으로 정의하였다. LFI를 정의하는 식에서의 넓이는 토지형상의 내부에 홀 폴리곤이 포함되어 있는 경우 이 면적을 제외한 실 면적으로서 토지형상 전체 셀 수와 공간해상도를 이용하여 구할 수 있다. 그러나 ARCI를 정의하는 식의 최외곽 경계면적은 내부에 홀 폴리곤이 있더라도 이를 제외하지 않는 면적으로서 이는 토지형상 전체의 선형성을 계량화하는 ARCI의 특성 때문이다.

한편, Raster기반 데이터에서 토지형상 내부의 홀 폴리

곤을 인식하고 그 면적을 구하는 것은 벡터 기반의 데이터에 비해 복잡하고 어려운 과정이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 경계 추출과정에서 나온 경계셀 탐색을 통해 벡터 데이터로 변환한 후 최외곽 경계면적을 구하였다.

또한, ARCI를 정의하는데 필요한 또 하나의 요소인 최소 경계원의 면적은 해당 토지형상의 MBR(Minimum Bounded Rectangle)을 이용하여 계산하였다. MBR은 토지형상을 외접하는 사각형을 말하며 GIS에서 지형자료를 표현하는 기본요소 중의 하나인 면사상(Polygon)의 위상관계(Topology)를 표현하는데 사용된다.

4.4 토지형상기준 지표계산 및 유형구분

앞서 정의한 바와 같이, 본 연구는 총 250개 수도권 택지개발(예정)지구 분석을 통해 얻은 LFI와 ARCI의 최소 기준을 바탕으로 유형 I부터 유형 IV까지 네 개의 토지형상 유형을 구분하였다. 이 중 모든 유형이 토지형상 정형화 작업의 대상이 되는 것이 아니라, 유형 VI의 경우에 해당하여 형상의 복잡성과 선형성의 정도가 LFI 및 ARCI의 최소기준에 미달하는 형상이 정형화 대상이 된다.

따라서 정형화 작업 중, 본 과정에서는 셀 탐색을 통해 얻어진 형상의 둘레길이, 실 면적, 최외곽경계면적, 최소 경계원의 면적을 이용하여 토지형상의 기준이 되는 LFI와 ARCI를 계산하여 유형구분을 마친 후, 유형이 I~III에 속할 경우 정형화 작업을 종료하고 IV인 경우는 다음 단계로 넘어가게 되는 판단과정을 거친다.

4.5 최소폭 지점 탐색 및 분할

토지형상이 유형IV에 속할 경우 폭이 최소가 되는 지점을 탐색하게 된다. 최소폭 지점의 탐색은 가로방향과 세로방향으로 나누어 이루어지며 셀의 수가 가장 작은 지점에서 분할이 이루어진다. Raster기반의 자료에서는 셀의 값을 해당 토지형상의 값에서 제외시킴으로써 최소폭

지점에서의 토지형상 분할을 간단히 수행할 수 있다. 실제 작업 과정을 분석한 결과, 초기에는 외곽의 뾰족한 부분을 깎아 내다가 개미허리와 같은 폭이 좁은 지역에서 형상을 분할하는 것을 관찰할 수 있었다.

4.6 최소면적 필터링

좁은 면적의 토지는 토지로서 활용가치가 떨어지며 용도에 따라 규모가 법률로 제한되어 있는 경우도 있다. 건축법에서는 60m² 이하의 건축행위 자체가 제한되어 있으며 택지개발촉진법에서도 10만m² 이상만 개발이 가능하도록 되어 있다. 또한 신도시와 같은 대규모 개발의 경우 대부분 10만평 이상의 규모를 필요로 한다. 따라서 토지의 활용 용도에 따라 정형화 작업 시 최소면적 필터링의 기준을 다르게 설정해야 한다.

본 연구에서는 토지의 활용이 가장 활발한 택지개발사업의 최소면적 기준을 적용하여 10만m² 미만은 최소면적 필터링 과정에서 제외시켰다.

5. 결 론

기존의 방식대로 GIS의 중첩분석을 통해 얻어진 개발가능지는 개발에 부적절한 소규모 형상, 점적으로 흩어져 있는 아메바 형상, 길쭉한 형상, 개미허리 형상 등을 포함하여 다양한 형상의 일단의 토지들을 포함한다. 이러한 형상들은 토지이용 효율을 떨어뜨리고 개발패턴을 왜곡시킬 수 있으나 체계화된 정형화작업이 없어 작업자의 주관적인 판단에 의해 배제되어왔다. 본 연구는 이런 부정형의 형상들을 제척하는데 작업자의 주관이 아닌 자동화 알고리즘 개발을 통한 토지형상화 작업을 바탕으로 체계적이고 계량적인 토지형상기준을 제시하고자 하였다. 이는 개발비용을 최소화, 효율적인 개발수행 및 토지이용의 효율성 제고 등에 기여할 것으로 기대된다.

본 연구는 다음과 같은 한계점을 가지며, 이들을 바탕으로 몇 가지 향후 연구가 가능하겠다.

첫째, 토지형상기준 정의를 위해서 토지형상 관련 지표 가운데 LFI와 ARCI, 즉 단일 토지형상에 국한된 지표들만을 적용한 한계를 가지고 있다. Hong 등(2000)의 연구에 포함되었던 집단화지수(Aggregation Index), 접촉지수(Contagion Index) 및 인근가능성지수(Probability of Adjacency) 등 두개 이상의 토지형상의 상호관련성을 고려한 토지형상 정형화 문제로 연구주제를 확대해 볼 수

있겠다.

또 다른 연구의 한계로서, 본 연구는 토지형상 우열의 판단기준을 토지이용 효율성에 국한하였다. 이는 GIS 중첩분석에 의한 지나치게 복잡하고 다양한 개발가능지 형상도출 현상뿐만 아니라, 주변의 지형지세 및 개발여건 등 토지형상에 미치는 제 영향의 범위가 본 연구의 한계를 뛰어넘는 것임에 기인했다. 향후 연구에는 토지형상의 판단기준으로서 토지이용 효율성 이외, 지속가능성(Sustainability), 생태도시화, 도심재생, 장소성, 근린의식 등 좀 더 다양한 토지형상 판단요소가 적용될 수 있겠다.

마지막으로, 토지이용 효율성의 측면에서, 토지형상 정형화 필요성의 확대적용 방안으로서 다음과 같은 향후 연구의 필요성이 제기된다.

첫째, 토지형상과 토지조성비와의 관계를 규명해볼 필요가 있다. 즉, 토지형상의 정형성과 토지개발 조성비가 저렴해질 가능성이 있다. 물론 토지 개발을 위한 조성비 지출규모는 세부목적 즉 지형지세, 지반의 종류, 물가지수, 시공사 물류체계 등 다양한 요소들에 의해 영향을 받으므로 토지형상과 토지개발 조성비 간 상관성을 규명하기 쉽지 않으나, 좀 더 광범위하고 지속적인 자료조사 및 분석을 통해 토지의 형상이 일단의 토지조성비에 영향을 미칠 가능성, 형상지수의 증감에 따른 조성비에 대한 영향의 정도 그리고 일정 형상지수 이하의 경우 급격한 조성비 상승으로 영향을 미칠 수 있는 임계치(critical points) 등을 규명해 볼 필요가 있다.

둘째, 토지형상과 건축연면적과의 관계를 살펴볼 필요가 있다. 토지형상이 정형적일수록 해당 토지전체의 이용 효율성이 극대화되어 좀 더 많은 건물배치가 가능해지고 따라서 연면적의 극대화에 기여할 가능성이 있다. 물론, 각 개발계획에서 추구하는 도시상, 개발목적 및 전략이 상이할 경우 이에 따른 개발밀도 및 도시구조가 다를 수는 있다. 그러나, 토지의 정형화를 통하여 좀 더 토지의 이용효율을 극대화하고, 더 많은 인구를 수용할 수 있는 여력을 확보한다면, 융통성 있고 계획적 자율성을 더 실현할 수 있는 공간확보가 가능할 수 있다.

셋째, 토지형상과 도시기반시설 공급의 효율성과의 관계를 살펴볼 필요가 있다. 토지형상이 정형적일수록 당해 개발계획 지구에 공급되는 도시기반시설의 총량을 줄일 수 있는 가능성이 있다. 이는 지구 내 토지형상의 정형화가 토지이용 효율성 극대화로 이어져, 좀 더 적은 양의 도시기반시설 공급으로도 도시에 필요한 기반시설의 요

구수준을 충족할 수 있다는 논리이다. 특히 도시기반시설 가운데 네트워크형 기반시설에 해당하는 도로, 상하수도, 정보통신망 등의 경우가 도시형상과 토지이용의 효율성과 관련된 좋은 예가 될 수 있다.

넷째, 토지형상이 도시의 난개발 가능성에 영향을 미칠 수 있다. 즉, 토지형상이 부정형에 가까울수록 향후 도시의 무계획적 외연확산(Urban Sprawl)을 부채질할 가능성이 있다. 과거 제1기 신도시에 해당하는 분당 및 일산 등의 경우 주변 준도시지역, 준농림지역 및 무허가 취락시설 등이 인근의 양호한 도시기반시설, 양호한 도로경관, 주변지역과의 원활한 교통체계 등에 무임승차(Free Ride)하는 사례가 문제시 되어왔다. 특별한 물리적 사유가 없이 해당 택지개발 부지의 일부가 지나치게 부정형을 보인 다든지, 대부분 형상이 양호함에도 개미허리형상을 보인 다든지, 지나치게 선형(Linear) 토지형상을 보이는 등의 경우 주변으로의 난개발 및 도시의 무계획적 외연확산 등을 더 쉽게 초래할 가능성이 있다.

참고문헌

- 고준환 (2001), 도시토지이용분류 코딩체계 개발에 관한 연구, 한국측량학회지, 제19권 4호, pp. 385-393.
- 고준환 (2002), 토지관련 업무의 정보화 추진방안에 관한 연구, 한국측량학회지, 제20권 1호, pp. 93-101.
- 민숙주, 김계현, 박태욱, 전방진 (2004), GIS기반의 통계정보를 이용한 토지이용 분류, 한국측량학회 2004 추계학술발표회 논문집, pp. 343-347.
- 오윤표, 임재문 (2004), 도시토지의 획지구도 및 최적형상결정 모형구축에 관한 연구, 국토계획, 대한국토·도시계획학회, pp. 57-70.
- 이성호 (1988), 부산지역 개발가용지분석, 국토연구, 국토개발연구원, 제11권, pp. 141-157.
- 이정 (2002), GIS를 이용한 관광지 개발 후보지 입지선정에 관한 연구: 광양시를 사례로, 전남대학교 석사학위 논문.
- 장동규 외 15명 (2000), 환경친화적 택지개발편람, 건설교통부 한국토지공사.
- 황지욱 (2002), 보전지역과 개발가능지의 설정에 관한 연구: 경기도 접경지역의 사례를 중심으로, 한독사회과학논총, 한독사회과학회, 제12권, pp. 197-215.
- Das, J. K. and Nautiyal, J. (2004), *Forest variability index: a vector quantifying forest stand diversity and forest compactness*, Forest Policy and Economics 6, pp. 271-288.
- Ebdon, D. (1985), *Statistics in Geography*, Basil Blackwell, Oxford.
- Hong S. H., Barry E. D. and David J. M. (2000), *An aggregation index(AI) to quantify spatial patterns of landscapes*, Landscape Ecology 15, pp. 591-601.
- Li, X. and Yeh, A. G. (1998), *Sustainable land development model for rapid growth areas using GIS*, International Journal of Geographical Information Science 12, pp. 169-189.
- Li, X. and Yeh, A. G. (2004), *Analysing Spatial restructuring of land use patterns in a fast growing region using remote sensing and GIS*, Landscape and Urban Planning 69, pp. 335-354.
- Lovejoy, S. (1982), *Area-perimeter relation for rain and cloud areas*, Science 216, pp. 185-187.
- McGarigal, K. and Marks, B. J. (1994), *Spatial Pattern Analysis Program for quantifying landscape structure*, FRAGSTATS version 2.0, Oregon State Univ, Corvallis.
- Patton, D. R. (1975), *A diversity index for quantifying habitat 'edge'*, Wildlife Society Bulletin 3, pp. 171-173.

(접수일 2006. 2. 28, 심사일 2006. 3. 10, 심사완료일 2006. 3. 20)