

접근성 변동에 따른 도시토지이용 변화의 시·공간적 분석

Spatio-Temporal Analysis of Urban Land Use Change by Accessibility Changes

원석환* · 황철수

Seok-Hwan Won* · Chul-Sue Hwang

경희대학교 지리학과 대학원 석사과정* · 경희대학교 이과대학 지리학과 부교수

wonsh@khu.ac.kr* · hcs@khu.ac.kr

요 약

수도권의 도시화 과정은 서울로의 교통 접근성의 변화에 따라 급속하게 확산되었고, 현재도 진행 중이다. 도시화 과정 속에 인구 교외화, 주택 수의 증가, 도심용지 토지이용 증대, 토지가격의 증가 등의 다양한 공간적 변화가 이루어지고 있다. 이러한 급속한 도시화의 과정 속에 국토의 난개발이 이루어졌고 자연생태 파괴, 주택부족 및 교통 문제, 토지 투기 등의 사회적 문제를 야기했다. 본 연구에서는 도시화 현황을 살펴보고 교통접근성의 변화에 따른 주변 토지이용 변화의 상관성을 분석하였다. 상관성 분석 결과를 토대로 멀티 에이전트 시스템(MAS)을 이용하여 교통접근성과 토지이용 에이전트 간 상호작용의 관점에서 시뮬레이션 하였다. 그래서 교통접근성의 변화로 인한 주변 토지이용 변화를 공간적으로 예측하려고 한다. 도시화 현황을 살펴보기 위해서 지적도 자료를 이용하여 미시적인 경관 분석을 실시한 후 교통접근성의 변화에 따른 주변 토지이용 변화의 상관성을 분석하기 위해 교통자료와 토지이용 자료를 GIS분석 및 통계 분석 하였다. 그리고 상관성 분석 결과를 멀티 에이전트 시스템 전용 플랫폼에 적용하여 시뮬레이션 분석을 하였다.

1. 서론

‘도시가 되어가는 과정’이라고 정의할 수 있는 도시화 현상은 많은 사람들이 일정한 지역에 집중하여 그 지역의 인구수가 증가하고, 주변지역에 비해 인구밀도가 상대적으로 높아지는 과정을 의미한다. 이러한 도시화의 측정지표 중에 하나는 토지이용지표로 농업용 토지가 비농업용 토지로 전용된 비율이나, 도시와 주변지역의 지가 또는 지대 변화 등의 내용을 다루게 된다(권용우 외, 2004).

도시화는 사회적·생태적·환경적인 압력으로 이어져, 이를 이해해야 미래의 토지이용 변화를 계획하고 관리하여 지속가능한 상태로 이끌어 갈 수 있을 것이다. 지속가능한 도시개발에 대한 관심은 최근

수년 동안 급속히 증가하고 있으며, 이는 환경문제와 사회문제를 다루는데 있어 아주 중요한 역할을 하고 있다. 따라서 많은 국가들이 이러한 환경 친화적이고 지속가능한 개발(ESSD)의 개념을 개발계획에서 실행하고 있으며, 이는 국가 정책이나 도시계획에 있어 중요한 영향을 미치고 있다(김훈희, 2000).

신도시 및 산업단지의 조성, 대규모 택지 개발, 교통 시설 입지 등의 개발이 생태계에 미치는 영향을 최소화하여 환경 친화적이고 지속가능한 개발이 이루어지기 위해서는 개발이 이루어지는 지역의 토지이용 및 경관 구조 변화에 대한 보다 체계적인 모니터링을 통해 이러한 영향을 예측하고 관리할 필요가 있다(이형동 · 황철수, 2006).

본 연구의 목적은 도시화 현황을 살펴 보고 교통접근성의 변화에 따른 주변 토지이용 변화의 상관성을 분석하는데 있다. 상관성 분석 결과를 토대로 멀티 에이전트 시스템(MAS)을 이용하여 교통접근성과 토지이용 에이전트 간 상호작용의 관점에서 시뮬레이션 하려고 한다. 그래서 교통 접근성의 변화로 인한 주변 토지이용 변화를 공간적으로 예측하려고 한다.

도시화 현황을 살펴보기 위해서 지적도 자료를 이용한 미시적인 경관 분석을 실시한 후 교통접근성의 변화에 따른 주변 토지이용 변화의 상관성을 분석하기 위해 교통자료와 토지이용 자료를 GIS분석 및 통계 분석 한다. 상관성 분석 결과를 멀티 에이전트 시스템 전용 플랫폼에 적용하여 시나리오별 시뮬레이션 분석을 실시하고 예측분석하는데 목적과 의의를 둔다.

이를 통해 교통시설의 입지에 따른 주변의 토지이용 변화의 영향력을 예측하고 이에 따라 교통시설 입지 대상지역 선정 시 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

2. 연구 범위 및 방법

2.1 연구 범위

본 연구의 공간적 범위는 경기도 남양주시로 설정하였다. 남양주시는 서울특별시와 인접하여 개발압력이 높고, 계속되는 인구유입과 교통접근성의 증가로 인해 도심화가 이루어졌으며, 이로 인해 많은 토지이용변화가 일어나고 있는 곳이다.

시간적 범위는 2001년부터 2008년까지로 설정하였다. 남양주시는 계속되는 개발압력으로 인해 2000년 이후 도로망이 계속적으로 구축되었고, 2005년 12월에는 중앙선 복선전철화 사업으로 인하여 광역전철이 개통되었다. 따라서 연구지역의 개발이 진행되는 특성을 반영하여 2001년부터 2008년까지로 시간적 범위를 설정하여 분석 하였다.

2.2 연구 방법

본 연구의 방법은 크게 지리정보시스템(GIS, Geographic Information System), 멀티에이전트 시스템(MAS, Multi-Agent System)으로 나누어진다.

첫 번째는 GIS분야로, 지적도 자료를 이용해 가공된 토지이용 자료의 경관분석을 실시하여 미시적인 관점에서의 도심화 현상을 살펴본다. 일반적으로 토지이용 및 토지피복의 변화는 위성영상을 이용하여 살펴보는 연구가 주를 이루고 있다. 이러한 방법은 거시적 관점에서 토지이용 변화의 모습을 살펴보기에는 적절하지만, 미시적 관점에서의 도시화를 살펴보기에는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 지적도 자료를 이용하여 도심유지만을 대상으로 분석을 하였다.

두 번째는 역시 GIS분야로, 연도별 새로 개통된 도로 및 전철역을 대상으로 하여 접근성 분석을 통해, 새로 개통된 도로 및 전철역의 주변 토지이용 변화 현상을 살펴보고 교통접근성과 토지이용의 상관성 분석을 실시한다. 본 연구에서 사용되는 교통DB는 레벨 2로서 1:25,000 축척의 대중교통이 다니는 양방향 2차선 도로 이상의 도로만 해당된다.

마지막으로 MAS분야로, GIS분석 방법으로 분석된 자료를 바탕으로 멀티에이전트 시스템을 모델링하고, 시뮬레이션 분석을 통하여 시나리오별 예측분석을 가능하게 한다.

본 연구를 수행하기 위한 분석도구로는 각종 GIS의 공간분석 기능을 활용하기 위한 Arc GIS 9.3을 사용하였다. 경관분석을 하기 위해서 FRAGSTATS 3.3, 통계분석을 하기 위해서 SPSS 17을 사용하고, 멀티에이전트 시스템을 구현하기 위해서 NetLogo 4.0.4를 이용하여 모델링하였다.

3. 연구 결과

3.1 도시토지이용 변화 분석

3.1.1 전체 경관의 크기

해당 클래스의 총 면적의 합계를 살펴 보기 위해서 ‘클래스 면적(CA, Class Area)’ 경관지수분석을 하였다.

그림 1을 살펴보면 2001년 이후로 모든 도심용지 클래스의 면적이 증가하는 것을 알 수 있다.

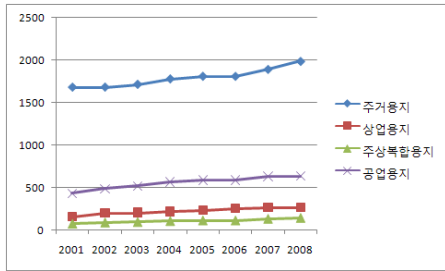


그림 1. 클래스 면적 변화

해당 클래스에 속하는 패치 개수를 살펴 보기 위해서 ‘패치 수(NUMP, Number of Patches)’ 경관지수분석을 하였으며 이는 경관의 파편화 정도를 나타낸다. 값이 작을수록 파편화가 적게 되었다는 것을 알 수 있다. NUMP 값은 해당 클래스의 절대적 면적이 넓은 지역에서 높게 나타날 수 있기 때문에 CA(클래스면적)지수와 함께 사용해야 의미가 더 크다.

그림 2와 그림 3을 살펴보면 주거용지와 공업용지의 패치 개수 값은 감소하는 추세이며, 상업용지와 주상복합용지의 지수 값은 증가하는 추세이다. 면적 지수 값과 연계하여 살펴보면, 주거용지와 공업용지는 클래스 면적은 증가하되 파편화 정도는 감소하는 것을 알 수 있고, 상업용지와 주상복합용지의 클래스 면적은 타 도심용지에 비해서 적게 증가하면서 파편화 정도는 높아지는 것을 알 수 있다.

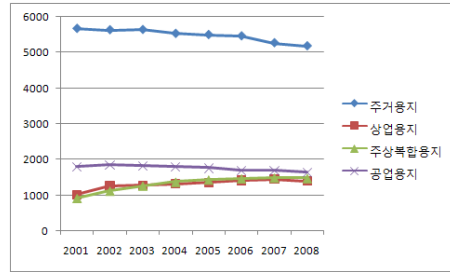


그림 2. 패치 개수 변화-1

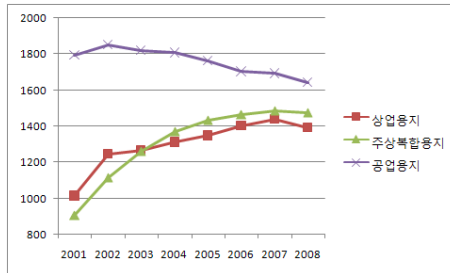


그림 3. 패치 개수 변화-2

3.1.2 경관 분포 모양

각 클래스별 경관의 분포 모양을 살펴 보기 위해 ‘총 가장자리(TE, Total Edge)’ 경관지수 분석을 하였다. 지수 값이 클수록 면적이 넓거나 복잡한 형태로 이루어져 있음을 나타낸다.

그림 4의 총 가장자리 길이 지수 값은 클래스 면적 지수 값과 연계하여 살펴보면 서로 비슷한 패턴을 보이는 것을 알 수 있다. 이는 도심용지들의 총 면적이 넓어지면서 가장자리 길이의 총합 또한 증가한 것으로 분석된다.

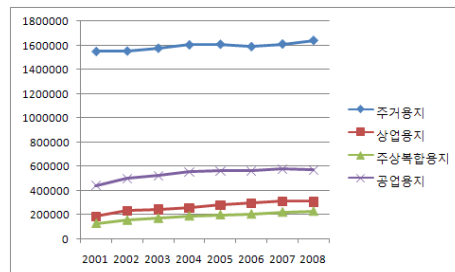


그림 4. 총 가장자리 길이 변화

총 가장자리 길이는 클래스별 절대적 비교가 될 수 없어 ‘가장자리 밀도(ED, Edge Density)’ 경관지수분석을 실시하였다. 이는 해당 패치의 가장자리 총합을 전체면적으로 나눈 분석방법이다. 가장자리 총합의 증가량이 면적의 넓이 증가량보다 크게 되면 ED값은 커지게 된다.

그림 5를 살펴보면 주거용지의 가장자리 밀도 값이 가장 크면서 근소하게 증가하고, 타 주거용지 또한 지수 값의 증가가 나타난다. 도심지는 정형적인 확산보다 교통로를 중심으로 선형적으로 확산되는 경향을 보이는데, 이는 남양주시가 특히 임지·논·밭의 구성이 많기 때문에 나타나는 경향으로 파악된다.

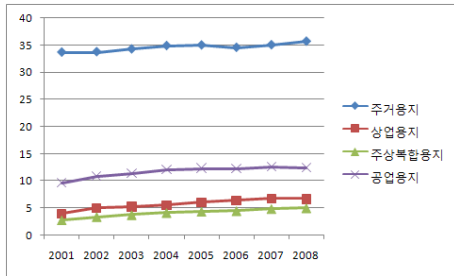


그림 5. 가장자리 밀도 변화

3.1.3 근접성 분포 경관

각 클래스별 근접성 분포 패턴을 살펴보기 위해 ‘평균 최근린 거리(MNN, Mean Nearest Neighbor Distance)’ 경관지수분석을 선정하였으며, 이는 패치간의 고립 정도를 측정하는 지수로 패치간의 가장자리 거리를 기반으로 추출하는 방법이기 때문에, 지수 값이 증가할수록 각 패치간의 거리가 멀어짐을 나타낸다.

그림 6을 살펴보면 주거용지를 제외한 도심용지의 평균 최근린 거리 값은 감소하는 것으로 나타난다. 주거용지는 기존부터 핵심지역을 중심으로 군집하여 확산되었기 때문에 평균 최근린 거리의 지수 값이 크게 변동하지 않게 나타나고, 상업용지·주상복합용지·공업용지의 증가로 인

해 파편화되어 있던 패치들 간 거리가 가까워지면서 파편화 정도의 감소가 나타나는 것으로 분석된다.

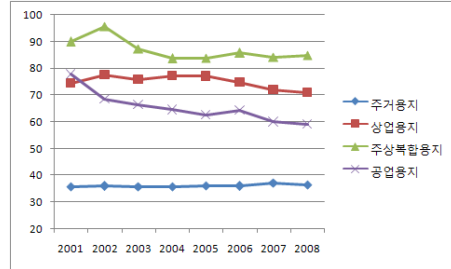


그림 6. 평균 최근린 거리 변화

또한 ‘산포 및 병렬지수(II, Interspersion and Juxtaposition Index)’ 경관지수분석은 경관에서 각 패치간의 산포 및 병렬형태를 추출하는 분석 방법이다.

그림 7을 살펴보면 주거용지의 II 값은 비교적 큰 변화를 보이지 않으며, 상업용지·주상복합용지·공업용지는 급격하게 지수 값이 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 MNN 지수를 설명했던 맥락과 같이 주거용지는 기존부터 핵심지역을 중심으로 변화하였기 때문에 산포 및 병렬지수에서도 큰 변화를 보이지 않은 것이며, 반면에 타 주거용지는 파편화되었던 패치들 간의 거리가 가까워지면서 산포 및 병렬지수도 감소하는 패턴을 보이는 것으로 분석된다.

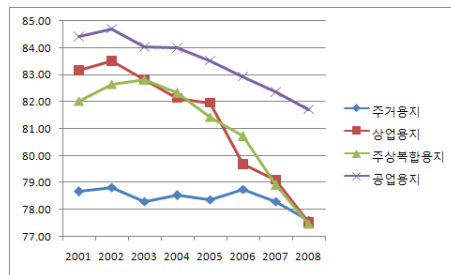


그림 7. 산포 및 병렬지수 변화

3.2 교통 접근성과 토지이용 변화의 상관관계 분석

3.2.1 도로의 변화와 토지이용 변화의 상관관계 분석

연구지역의 도로는 표 1과 같은 변화가 있었다.

표 1. 연도별 도로 연장 거리

기간	도로 연장 거리
01~02년	113,576m (약 24.5%)
02~03년	162,074m (약 34.9%)
03~04년	19,758m (약 4.2%)
04~05년	55,548m (약 11.9%)
05~06년	0
06~07년	0
07~08년	0

그림 8과 그림 9는 버퍼거리 내 도심용지로 용도 변환된 필지의 변화율을 선형모형을 통해서 나타낸 것이다. 도로연장이 상대적으로 많이 이루어진 2002~2003년도에는 선형모형의 R²값은 가장 높게 나왔고, 도로연장이 이루어지지 않은 2005~2006년의 R²값은 매우 낮게 나왔다.

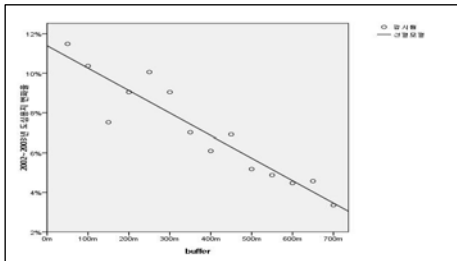


그림 8. 2002~2003년 도로 버퍼거리별 도심용지 변화율(R²=0.876)

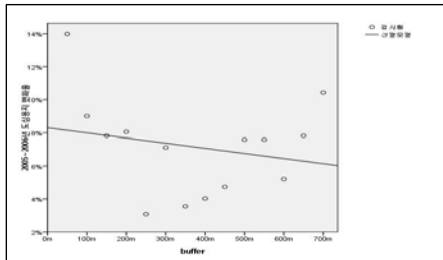


그림 9. 2005~2006년 도로 버퍼거리별 도심용지 변화율(R²=0.048)

표 2는 신규도로 버퍼거리와 도심용지 변화율의 Pearson 상관분석 결과 값이다. 이 결과 역시 도로연장이 가장 많이 이루어진 2002~2003년도의 상관계수 값이 가장 높게 나오며, 도로연장이 이루어지지 않은 2005~2008년의 상관계수 값은 낮게 나타난다.

표 2. 신규도로 버퍼거리와 도심용지 변화율의 Pearson 상관분석

	01 ~ 02 년	02 ~ 03 년	03 ~ 04 년	04 ~ 05 년	05 ~ 06 년	06 ~ 07 년	07 ~ 08 년
상관 계수	-0.802	-0.936	-0.602	-0.589	-0.220	-0.554	-0.247

선형 모형 및 Pearson 상관분석 결과 모두 신규 도로의 버퍼거리와 도심용지로의 토지이용 변화율과는 부적(負的)인 상관관계가 나타나는 것을 알 수 있다.

도심용지로의 토지이용변화 패턴을 살펴보면 도로의 신설이 이루어진 2001~2005년은 상관분석 결과에서도 알 수 있듯이 신규도로와 가까운 필지를 중심으로 변화가 이루어졌다.

3.2.2 전철의 변화와 토지이용 변화의 상관관계 분석

연구지역의 철도 현황으로는 2005년 12월에는 중앙선 복선전철화 사업으로 인하여 광역전철이 개통되었다.

표 3. 연도별 철도역 현황

기간	철도역
01~02년	경춘선 5개소, 중앙선 4개소
02~03년	
03~04년	
04~05년	경춘선 5개소, 중앙선 5개소
05~06년	
06~07년	1호선 3개소 (도농, 양정, 덕소 광역 전철 개통)

그림 10과 그림 11은 전철역 버퍼거리 내 도심용지로 용도 변환된 필지의 변화

을을 선형모형을 통해서 나타낸 것이다. 광역전철이 개통된 2005년을 중심으로 2002~2004년, 2005~2007년의 R^2 값이 높게 나타났다. 신규 도로의 버퍼거리와 도심용지로 용도 변환된 필지의 변화율간의 R^2 값보다 더 높게 나타났다.

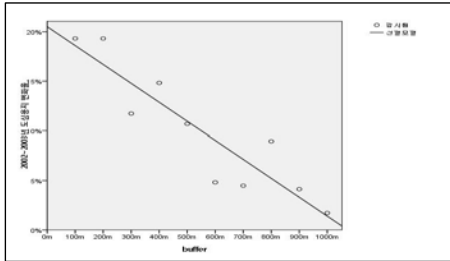


그림 10. 2002~2003년 전철 버퍼거리별 도심용지 변화율($R^2=0.833$)

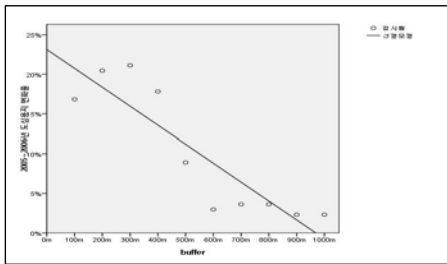


그림 11. 2005~2006년 전철 버퍼거리별 도심용지 변화율($R^2=0.795$)

표 4는 전철역 5개소 버퍼거리와 도심용지 변화율의 Pearson 상관분석 결과 값이다. 전체적으로 부적인 상관관계가 강하게 나타나며 신규도로 버퍼거리와 도심용지 변화율의 Pearson 상관분석 결과보다 부적인 상관관계도 더 높게 나타나는 것을 알 수 있다.

표 4. 전철역 버퍼거리와 도심용지 변화율의 Pearson 상관분석

	01 ~ 02 년	02 ~ 03 년	03 ~ 04 년	04 ~ 05 년	05 ~ 06 년	06 ~ 07 년	07 ~ 08 년
상관 계수	-0.767	-0.913	-0.881	-0.768	-0.892	-0.830	-0.703

광역 전철이 개통되기 전에도 동일 지역은 역을 중심으로 거리와 도심용지 변화 간에 부적인 상관관계를 가지고 있었다. 광역 전철이 개통되면서 버퍼거리 500m 안쪽에서는 더 활발한 도심용지의 변화가 이루어졌다. 이는 철도 노선이 기존에 입지하고 있었기 때문에 버퍼거리와 도심용지 변화의 부적인 상관관계를 나타냈을 것이고, 광역 전철 노선이 개통되면서 인근 지역 개발에 큰 영향을 미쳤던 것으로 분석된다.

3.3 멀티에이전트 시스템 구축

앞서 교통 접근성 변동에 따른 도시토지이용 변화의 상관성 분석을 한 결과를 토대로, 멀티에이전트 시스템을 NetLogo 프로그램으로 그림 12와 같이 구현하였다.

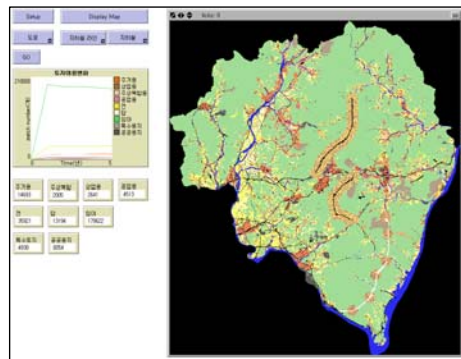


그림 12. 본 연구에서 구현한 멀티에이전트 시스템 인터페이스

도로 및 전철역을 중심으로 버퍼거리 500m 내에서 상관성이 크게 나타난 결과를 통해 표 5의 내용을 적용하여 시스템을 구현하였고, 그림 13은 본 연구에서 넷로고 프로그램을 이용하여 코딩한 소스 일부이다.

표 5. 버퍼거리 500m 내에서 용도 변환 필지들의 평균 변화율

	도로	전철
주거용지로 전환	18%	26%
상업용지로 전환	8%	6%
주상복합용지로 전환	7%	12%
공업용지로 전환	5%	2%
밭으로 전환	37%	21%
논으로 전환	5%	6%
임지로 전환	3%	1%
특수토지로 전환	1%	0%
공공용지로 전환	16%	26%

```

extensions { @is }
@dbasis { basetest-dataset }
patches-on { basetest }

to setup
  ca
  : Note that setting the coordinate system here is optional, as
  : long as all of your datasets use the same coordinate system.
  : gis:load-coordinate-system (word "data/" projection ".prj")
  : Load all of our datasets

  set basetest-dataset gis:load-dataset "data/raster10.asc"
  : Set the world envelope to the union of all of our dataset's envelopes
  gis:set-world-envelope (gis:envelope-union-of
                        (gis:envelope-of basetest-dataset))
                        do-plots

end

to display-basetest-patches
  : This is the preferred way of copying values from a raster dataset
  : into a patch variable: in one step, using gis:copy-raster.
  gis:copy-raster basetest-dataset basetest
  : Now, just to make sure it worked, we'll color each patch by its
  : elevation value.
  let min-elevation gis:minimum-of basetest-dataset
  let max-elevation gis:maximum-of basetest-dataset
  ask patches [
    : note the use of the "<= 0 or >= 0" technique to filter out
    : "not a number" values, as discussed in the documentation.
    if (basetest <= 0) or (basetest >= 0)
      [ set pcolor scale-color white basetest min-elevation max-elevation
        if (basetest = -9999)
          [ set pcolor white ]

    if (basetest = 10)
      [ set pcolor [248 128 82]

    if (basetest = 20)
      [ set pcolor [242 195 125]
  ]
  
```

그림 13. 본 연구에서 시스템 코딩한 소스 일부

4. 결론 및 향후 연구

토지용도가 포함된 지적자료를 이용해 적합한 경관지수를 선정하여 경관분석을 하였다. 1)면적, 패치밀도, 크기 변화 관련 지수, 2)가장자리 관련 지수, 3)최근린, 확

산 및 산포 관련 지수들을 이용하여 미시적인 경관분석을 하였다.

이 분석 방법은 기존에 주로 이용되었던 위성영상을 이용한 경관분석의 단점인 정확도 문제와 미시적으로 살펴보기 힘든 점들을 극복할 수 있다. 결론적으로는 위성영상 자료와 지적자료의 동시 활용을 통해 서로의 단점을 보완하여 보다 정확한 분석이 이루어질 것으로 본다.

교통(도로·전철) 접근성 변화와 도심용지로의 토지이용 변화는 큰 상관관계가 나타남을 알 수 있었다. 도로·전철 요소 모두 변화한 당해 연도 및 직후 연도의 시간적 범위 내에서 기존 선행연구에서 밝혀진 약 500m의 영향력을 보였으며, 그 이후는 미 도심화 된 지역을 중심으로 영향력이 나타났다.

상관분석 결과를 멀티에이전트 시스템에 적용하여 신규 교통시설 입지에 따른 주변의 토지이용 변화를 예측할 수 있도록 구현하였다.

본 연구에서 사용한 교통DB는 레벨 2로서 1:25,000 축척의 대중교통이 다니는 양방향 2차선 도로 이상의 도로만 해당되는데, 레벨 1의 도로 네트워크 자료가 존재하였다면 버퍼분석이 아닌 각 필지별 도로의 접근성을 GIS 분석 중의 일종인 네트워크 분석(Network Analysis)을 실시하여 좀 더 미시적으로 분석할 수 있었을 것이다. 이 점은 데이터의 한계에 따른 연구의 한계 및 향후 타 연구 방법에 고려할 사항이다.

또한 개발제한구역은 고려하지 않았는데, 이는 개발제한구역이 정책적인 요소이며 연도별로 특별한 패턴에 의해서 설정 및 해제가 되는 것이 아니기 때문에 본 연구에서는 교통접근성과 토지이용의 상호작용만을 고려하여 연구를 수행하였다. 좀 더 정확한 예측을 위해서는 개발제한구역에 대한 요소를 적용하여 분석이 이루어져야 할 것이다.

마지막으로 멀티에이전트 시스템을 구

현하는데 있어서 신규 교통시설 입지에 따른 토지용도의 변화 모습을 1년 내의 변화 모습만을 예측하도록 설계되었다. 실질적 변화패턴을 보기 위해서는 1년 이상의 시간적 흐름에 따른 지속적인 변화 모습 또한 예측해야 할 것이다. 이를 위해서 좀 더 긴 시간적 범위 안에서 연구·분석하여 시스템에 적용 및 구현해야 할 것이다.

참고문헌

- 권용우, 2002, 수도권 공간 연구, 도서출판 한울
- 김두현 외, 2002, 대규모 택지개발에 따른 도시공간구조 변화특성에 관한 연구, 대한국토도시계획학회지 '국토계획', 제37권 5호
- 김홍원, 2007, 기성시가지 지하철 역사 입지에 따른 토지이용 변화 특성에 관한 연구: 인천도시철도 1호선을 대상으로, 한양대학교 석사학위 논문
- 김훈희, 2000, 토지이용변화 확률에 따른 녹지 환경의 민감성 평가: 천안시의 지속가능한 토지이용을 중심으로, 상명대학교 박사학위 논문
- 윤영수 외, 2005, 복잡계 개론, 삼성경제연구소
- 윤은주, 2006, 서울시 도시녹지 평가를 위한 경관지수의 민감성 및 변별력 분석, 서울시립대학교 박사학위 논문
- 이규성 외, 2009, 한반도 토지이용 및 토지피복 모니터링 위한 현안분석, 대한원격탐사학회지, 제25권 1호, pp.71~83
- 이도원, 2001, 경관생태학, 서울대학교 출판부
- 이상우 외, 2004, 경관생태지수 사용에 대한 고려사항과 문제점에 관한 고찰, 한국조경학회지, 제32권 5호, p.78
- 이형동·황철수, 2006, 대규모 택지개발에 따른 토지이용패턴변화와 시공간적 특성 분석: 고양시를 사례로, 국토지리학회지 지리학연구, 제40권, pp.155~167
- 최유란, 2009, 대규모 복합용도개발이 주변상권에 미치는 영향에 관한 연구: 멀티에이전트시스템(MAS)을 이용하여, 한양대학교 석사학위 논문
- 홍지연, 2008, 서울시 지하철 이용자의 통행 수요와 토지 이용과의 관계, 성신여자대학교 석사학위 논문
- Alonso, V. O., 2007, A Reflection on the effects of transport costs within the new economic geographic, *Review of Urban & Regional Development Studies*, Vol 19, pp.49~65
- David, J., 2004, Negotiation and Cooperation in MAS: Application to the Hoist Scheduling problem, Ph.D Dissertation of KAIST
- Forrester, J. M., 1961, *Industrial Dynamics*, MIT Press
- Gell-Mann, M., 1995, *The Quark and the Jaguar: Adventures in the Simple and Complex*, Owl Books
- Mcgarigal, K., 1994, *Fragstats: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure* (unpublished computer program user manual and guide, Oregon State University, Corvallis
- Michael, B., 2005, *Cities and Complexity*, MIT Press
- Wilensky, U., 2009, NetLogo 4.0.4 User Manual
- Occelli, S. et al., 2009, Learning about urban mobility : Experiences with a multi-agent-system model, *Environment and Planning B*, Vol 36, pp.772~786