

# Landsat 영상과 Pycnophylactic 보간 알고리즘에 의한 도시성장 분석 - 서울-경기 도시지역을 중심으로 -

## Temporal Urban Growth Monitoring using Landsat Imagery and Pycnophypactic Interpolation Method - The case of Seoul Metropolitan Area -

장 훈\*

Chang, Hoon

### 要 旨

1970년대 이후로 급속적인 경제발전과 더불어 서울의 도시화는 급속히 이루어졌으며 이에 따른 인구집중 역시 빠른 속도로 진행되었다. 본 연구에서는 서울과 그 주변 도시를 대상으로 인구자료와 행정구역도 그리고 Landsat 위성영상을 사용하여 인구밀도의 변화에 따른 도시의 성장형태를 분석하여 도시의 관리와 발전계획을 위한 기초 자료로 활용하고자 한다. 도시성장 분석을 위한 기존의 연구방법은 행정구역에 따른 인구밀도를 통해 수행되었으나 이는 행정구역 내에 일률적인 인구데이터의 분배로 실제 경우와 다른 해석이 가능할 수 있는 오류를 포함하고 있다. 이에 본 연구에서는 실질적인 대부분의 인구가 도시지역에 거주한다는 가정 하에 1985년부터 2000년까지의 5년 간격의 Landsat 위성영상을 사용하여 도시지역을 추출하고 이를 기초로 행정구역 내에 포함되어 있는 도시지역에만 인구를 배분하는 새로운 방식으로 인구밀도의 변화 추이를 나타내었다. 연구결과 기존에 방법에서는 발견되지 않았던 서울의 확장형태를 알 수 있었으며 또한 인구데이터의 경계현상을 Pycnophylactic 보간 알고리즘을 통해 제거함으로써 보다 실질적인 도시지역 인구밀도의 변화를 알 수 있었다. 이러한 인구밀도의 변화는 도시의 성장과 밀접한 상관관계를 갖기 때문에 이를 통해 서울 및 주변도시의 성장 형태를 확인할 수 있었다. 마지막으로 4장의 서울-경기 도시지역의 인구밀도 변화도를 제작하여 GIS를 이용한 관련 분야의 활용에 도움이 되고자 한다.

### Abstract

Since 1970s, Seoul Metropolitan Area has been growing in physical and demographic aspect. A number of new urban fringes, New City, had been particularly developed from the early of 1990s. To examine the urban growth, the population density maps are generally used to the efficient urban management tool. The density maps from political boundaries, however, were traditionally used to estimate an urban concentration, there is problems to apply directly to urban management decision making due to (i) the abrupt changes between boundaries and (ii) the inclusion of green areas and forests in these areas. The mass-preserving interpolation method, the Pycnophylactic interpolation, could provide more realistic density maps. In addition, the classified urban areas from satellite images corresponding years would turn out to be more reliable results since populations were only applied to urbanized areas. Even though the Pycnophylactic method makes the density larger, it would be useful to produce a general urban growth trend at large scale. Consequently, four different density maps are compared and reviewed for this study, and the cross-sectional analysis provided to get a glimpse of population density around the city center.

### 1. 서 론

지난 수십 년간 서울은 인구뿐만 아니라 도시의 지역적 성장에 있어서도 대단히 광범위한 발전을 이루었다. 특히 1980년대 이후 정치·경제적 포화상태에 다다르자

소위 “신도시”라고 불리는 주거 및 상업 도시를 서울 주변지역에 개발하기 시작하였다. 그러나 서울은 여전히 주변의 신도시들에 대한 교통망과 편의시설, 공공시설 등을 제공하는 보완적 기능은 유지하고 있으며 오히려 더욱 광범위한 영향력을 주고 있다. 한편, 1997년 국토

\* 성균관대학교 토목환경공학과 전임강사 (hchang@skku.edu)

개발연구원에서는 향후 20년간의 수도권 지역의 인구집중으로 인한 수도권 지역의 균형적 발전을 위한 계획을 발표하였기도 하였다(서울시정개발연구원 1997).

이렇듯 나날이 확장되고 있는 수도권 지역의 균형적인 발전과 개발을 위해서는 서울의 발전 상황과 확장에 대한 지속적인 연구가 필요로 한다. 일반적으로 도시의 변화 및 발전 상태를 예측하는 인자로는 인구데이터가 대표적으로 많이 활용된다. 과거 유럽 및 미국 등의 연구 성과를 살펴보면 흔히 행정구역과 인구데이터의 결합을 통해 도시의 성장모델 등을 예측해 왔다(Martin 1991). 이러한 단순한 알고리즘은 광범위한 지역의 도시변화를 나타내는 경우에 유용하게 사용될 수 있으나 행정구역 내의 인구변화를 예측하는데 있어 행정구역상 경계에서 발생하는 급작스러운 인구경계로 인해 실제적인 인구분포와는 전혀 다른 형태로 해석될 수 있는 위험을 내포한다(Frank 1999). 그러나 최근에는 GIS 기법 및 인공위성 영상의 활용 등 관련 기술의 발달에 따라 본 연구 분야에 있어서도 보다 정확한 도시지역 탐지가 가능하게 되었다. 위성영상을 이용하여 촬영지역의 분광특성에 따른 영상분류 과정을 거치면 도시지역의 추출이 가능하며 이를 기초로 도심지와 비도심지, 기타 세세한 지역까지도 간단히 분류가 될 수 있다(Chen 1998; Donnay와 Unwin 2001; Lo와 Faber 1997; Paulsson 1992; Weber와 Hirsch 1992). 이러한 영상분류 기법을 사용하면 실질적으로 인구가 거주하지 않는 부분들이 구별되어 도심지역에만 인구데이터를 부여함으로써 보다 실제적인 도시지역의 인구분포를 나타낼 수 있는 장점이 있으나 인공위성 영상의 해상도 및 분광대의 제약으로 인해 여전히 분류가 모호한(도심지인지 아닌지) 지역이 있을 수 있는 한계가 있다(Ryznar와 Wagner 2001; Masek 외 2000).

이에 지금까지의 국·내외 연구 성과를 기반으로 인구데이터를 이용한 도시지역의 분석을 위해서는 다음과 같은 2가지 부분에 대한 개선이 필요하다고 본 연구를 통해 제기하고자 한다. 첫째, 인구데이터는 실질적으로 인구가 거주하는 도시지역 위주로 표현해야 한다. 둘째, 여전히 남아 있는 도심지 내 인구데이터의 경계에 대해서 적절한 보간 알고리즘이 적용되어야 한다. 보간은 흔히 인구데이터의 변화를 표현하기 위해 종종 사용되는 방법이다. 본 연구에서는 pycnophylactic 보간 알고리즘을 적용하고자 한다. pycnophylactic 보간법은 전체 데이터의 양이 보존되는 특징이 있다. 다시 말해 인구데이터의 총합은 보간 후에도 변화하지 않는다. 그러나 보간 후의 데이터의 범위가 크게 확장되는 현상이 나타난다(Rase 2001; Deichmann 1996).

마지막으로 본 연구에서는 1985년부터 2000년까지의

서울-경기지역에 대한 도시성장 형태를 인구데이터와 위성영상, 전자행정구역도 등을 이용하여 고찰함으로써 향후 서울-경기지역의 개발에 대한 계획적인 청사진을 제시하고자 한다. 또한 본 연구를 통해 4가지 형태의 인구밀도에 기초한 서울-경기 지역의 도시성장 변화도(1985~2000)를 비교함으로써 도시성장과 인구데이터의 관련성을 살펴보고 기존의 연구결과와 본 연구를 통해 제시한 연구결과를 평가해보고자 한다.

## 2. 연구대상지역 및 연구자료

### 2.1 연구대상지역

연구대상지역은 서울과 경기도 지역의 일부를 포함한 수도권지역으로 그림 1과 같으며 대략 75km×67km의 넓이를 갖고 있다. 연구대상지역의 선택은 수도권의 명확한 경계기준이 없는 관계로 본 연구를 통해 미리 조사된 인구자료에 기반하여 서울 주변의 모든 신도시를 포함한 영역으로 결정하였다.

서울은 해방 뒤 1950년대 이후로 한국의 수도로서 한국의 행정적, 경제적 중심 역할을 해오고 있다. 그러나 국가의 모든 중심시설의 집중으로 인해 서울에는 보다는 삶을 추구하려는 이들로 폭발적인 인구증가 현상이 발생했으며 이에 따라 서울의 환경은 급속히 오염되기 시작했고, 또한 삶의 질 역시 예전보다는 안 좋은 상태로 변화하고 있었다. 정부는 이러한 인구집중으로 인한 서울의 불균형화를 방지하기 위해 1990년대 초반부터 서울 근교 주변에 소위 “신도시”라고 불리는 집단적인 주거 및 상업 도시들을 개발하기 시작했다. 서울시에서는 이러한 신도시로 이주 정책을 통해 서울의 과밀한 인

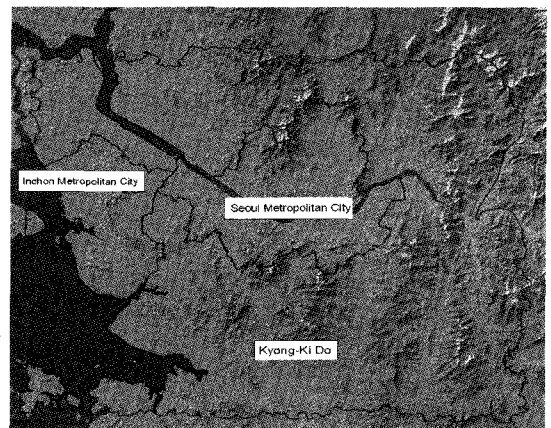


그림 1. 연구대상지역(수치지도모형과 연구지역의 위성영상의 합성)

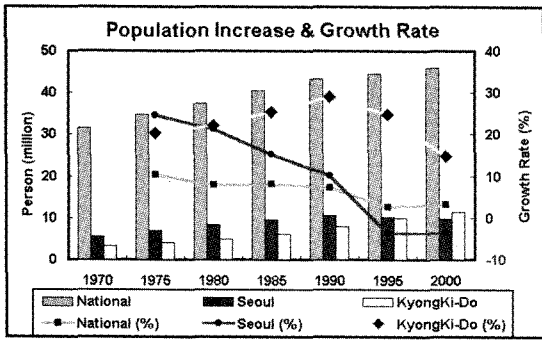


그림 2. 서울 및 경기도 지역의 인구증가 추세(1970년 - 2000년)

구를 재분포시킴으로써 서울과 서울 주변 신도시들 간의 균형적인 발전을 유도하고자 하였다. 한편 서울의 인구가 주변의 신도시들로 분산 배치되면서 자연적으로 서울을 포함한 수도권에 대한 거대화가 급속히 이루어지기 시작했다.

그림 2를 보면 1990년 신도시 개발 이후 서울의 인구는 감소추세를 나타내고 있으나 신도시들을 포함하는 경기도 지역의 인구는 급속히 증가함을 보여주고 있다. 또한 2000년도에 이르러 경기도 인구는 1000만명을 넘어섰으며 서울 보다 많은 인구가 거주하고 있는 것으로 조사되었다. 2000년도 인구자료에 의하면 서울의 인구증가율은 이미 마이너스(-)로 돌아섰으며 경기도는 감소추세를 나타내기는 하지만 여전히 10%이상의 인구증가율을 보이고 있음을 알 수 있다.

한편, 초기 인구자료인 1970년에 비해 경기도 인구는 2000년에 이르러 이 보다 3.5배나 늘어 인구가 11,404,090명에 이르게 되었다. 서울과 경기도의 인구를 합치면 대략 2200만명으로 전국인구에 대한 비율이 지난 30년간 28.24%에서 46.23%로 변화했다. 즉, 서울-경기를 포함하는 지역에 대한 인구분산 정책이 수행되었으나 결과적으로 서울을 포함하는 주변지역에 대한 도시화가 급속히

표 1. 인구통계 및 비율(통계청 제공, 인천광역시 제외)

연도	국내전체	서울	경기도	서울+경기도	전인구 비율
1970	31,435,252	5,525,262	3,353,272	8,878,534	28.24%
1975	34,678,972	6,879,464	4,034,707	10,914,171	31.47%
1980	37,406,815	8,350,616	4,930,335	13,280,951	35.50%
1985	40,419,652	9,625,755	6,177,533	15,803,288	39.10%
1990	43,390,374	10,603,250	7,970,687	18,573,937	42.81%
1995	44,553,710	10,217,177	9,942,118	20,159,295	45.25%
2000	45,985,289	9,853,972	11,404,090	21,258,062	46.23%

그리고 거대하게 이루어지는 현상을 초래하게 되었다.

## 2.2 연구자료

본 연구에서는 연구지역에 대한 도시성장 분석을 위해 인구데이터, 위성영상 데이터, 행정구역 데이터의 3가지 다른 형태의 자료를 이용하였다. 먼저 인구데이터는 1985년 이후로 2000년까지 5년마다의 통계청 인구센서스 자료를 통해 서울-경기도 지역의 인구자료를 준비하였다. 통계청에서는 5년마다의 인구센서스 데이터를 웹(Web)상에서 공개하고 있으며 행정구역에 따른 인구데이터뿐만 아니라 다양한 형태의 인구데이터를 제공하고 있다.

5년마다의 서울 및 경기도 지역에 변화된 도시지역 추출을 위해서 TM(Thematic Mapper) 혹은 ETM+(Enhanced Thematic Mapper Plus)에 의해 취득된 4장(1985, 1990, 1994, 2000)의 Landsat 위성영상을 사용하였다(표 2 참조). 연구에 사용된 모든 Landsat 위성영상은 30m의 해상도를 갖는 다중분광영상으로 4월부터 7월 사이에 촬영되었다. 연구에 사용된 Landsat 위성영상은 다른 GIS 자료와의 중첩 및 분석을 위해 단순기하보정(affine) 과정을 거쳐 WGS-84 기준의 UTM(zone 52) 좌표계로 통일하였다.

마지막으로 연구지역에 대한 5년마다의 행정경계(boundary) 데이터를 위해 본 연구에서는 국토연구원에서 제공하는 서울 및 경기도 지역의 1998년에 제작된 전

표 2. Landsat 위성영상의 촬영시기 및 해상도

취득일	센서종류	해상도(m)
May 14, 1985	TM	30
April 26, 1990	TM	30
July 26, 1994	TM	30
April 29, 2000	ETM+	30

자행정구역도(shape format)를 기초로 1985년부터 2000년까지 5년 간격의 전자 행정구역도를 polygon 편집 및 디지털라이징 과정을 통해 제작하였다. 변경된 행정구역의 검정을 위해서 1985년, 1990년, 1995년, 2000년도 행정구역총감을 이용하였다.

### 3. 처리과정 및 결과

서울과 경기도 주변의 신도시를 포함하는 수도권의 도시성장 분석을 위한 본 연구의 처리과정은 그림 3과 같다. 본 연구에서는 인구데이터와 도시의 성장은 밀접한 상관관계가 있다는 사실에 기초하여 일반적으로 행정구역에 따라 일률적으로 인구밀도를 나타내어 분석하는 기존의 분석방법 대신 위성영상을 이용하여 도시지를 추출하고 행정구역과의 중복지역에 실질적인 인구데이터를 배분함으로써 보다 실제적인 도시-인구의 변화를 추정하고자 한다. 또한 인구데이터의 경계현상을 제거하여 보다 현실감 있는 자료를 만들고자 pchnophylactic 보간 알고리즘을 적용하였다. 최종적으로 본 연구에서 제작된 최적의 인구 자료를 통해 도시의 성장형태를 분석하고 향후 도시계획 과정에 있어 중요한 기초 자료로 활용되도록 하는 것을 목적으로 한다.

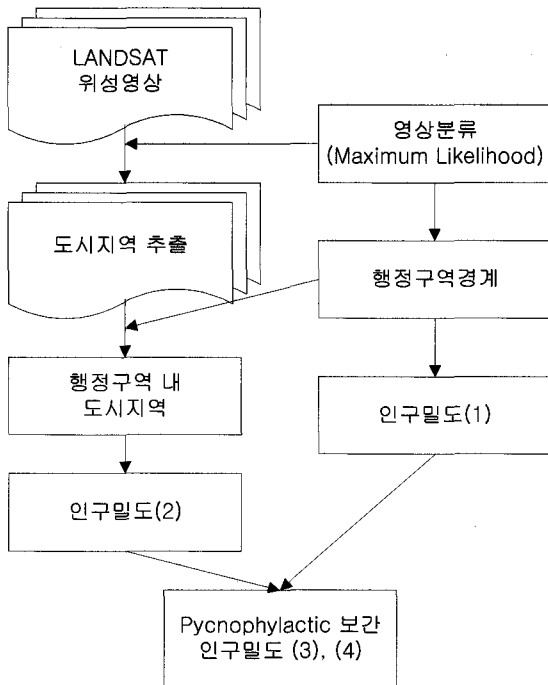


그림 3. 본 연구의 처리과정

본 연구에서는 위성영상과 추출된 자료의 공간적인 분석을 위해 ERDAS Imagine 8.4와 ArcView 3.2 & Spatial Extension을 사용하였으며 지원되지 않는 처리 알고리즘은 ESRI 웹 사이트에서 제공하는 Script 파일을 수정하여 구현하였다.

### 3.1 영상분류

본 연구에서는 1985년부터 2000년까지 연구지역 내의 도시지역 추출을 위해 Landsat 다중분광 영상(1985, 1990, 1994, 2000)을 이용하였다. 영상분류에 사용된 알고리즘은 감독분류 방법 중 maximum likelihood 알고리즘으로 본 연구에서는 1) 도시지역, 2) 산림지역, 3) 강 및 바다, 4) 농지, 5) 불모지 등의 총 5개로 분류지역을 선정하였다. 각각의 분류지역에 대해서 최소 5개 이상의 signature를 취득하여 영상분류를 수행하였다. 초기 분류 영상에는 일반적으로 많은 미분류 지역과 오류 지역이 포함되어 있다. 따라서 보다 명확한 분류 영상을 얻기 위해 초기 분류 영상에 대하여 7×7 크기의 majority 필터를 적용하였으며, 미세 분류지역에 대해서는 이를 통합 또는 삭제하는 방법으로 최종분류 영상을 제작하였다(그림 4 참조). 최종분류 영상을 통해 서울의 도시형태는 다음과 같은 2가지 특징을 알 수 있었다. 첫째, 서울은 주변의 신도시와 또 하나의 거대한 광역시 인천으로 인해 지역적으로 넓은 도시화를 보이고 있었으며 둘째, 서울을 주위의 그린벨트 지역이 상당히 잘 보존되고 있음을 확인

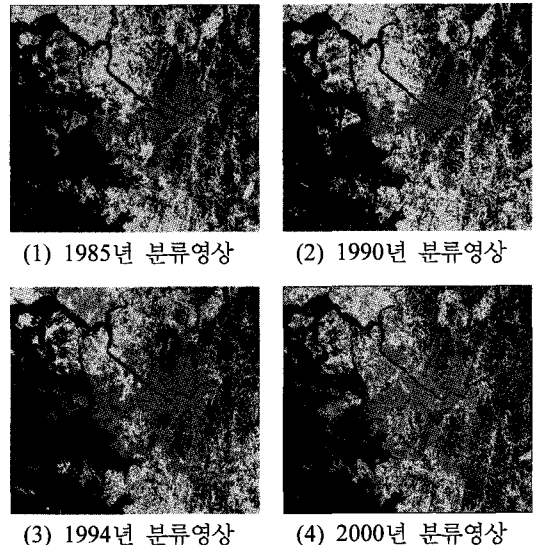


그림 4. ML 알고리즘에 의한 Landsat 위성영상의 분류결과 (붉은색 : 도시지역)

할 수 있었다.

그러나 본 연구에 사용한 위성영상의 해상도가 30m로 도시지역 내에서도 주거가 아닌 다른 목적으로 사용되는 많은 지역들을 엄격히 분류하는 데는 한계가 있었다.

### 3.2 공간분석작업

영상분류 작업을 통해 얻어진 분류영상은 본 연구목적에 따라 다시 도시와 비도시 지역으로 구분하였다. 도시/비도시 지역으로 구분된 영상은 공간 분석을 위해 Arc-View에서 입력 가능한 Grid Format으로 변환하였고 이를 다시 Shape Format으로 변환하여 행정구역도와 중첩

시켜 행정구역 내의 도시지역만을 추출하였다. 이렇게 추출된 행정구역 내의 도시지역에 대하여 통계청의 인구 데이터에 기초한 행정구역별 인구자료를 배분하였다. 마지막으로 여전히 남아있는 인구데이터의 경계 현상은 pycnophylactic 보간법을 통해 제거하였다. 그림 5는 지금까지 설명한 일련의 공간분석 처리과정을 보여주고 있다.

### 3.3 질량보전보간방법 (Mass Preserved Interpolation Method)

현재의 GIS의 보간방법들은 점자료로부터 완만한 표면자료를 생성하기 위하여 빈번히 행해지고 있으나, 보

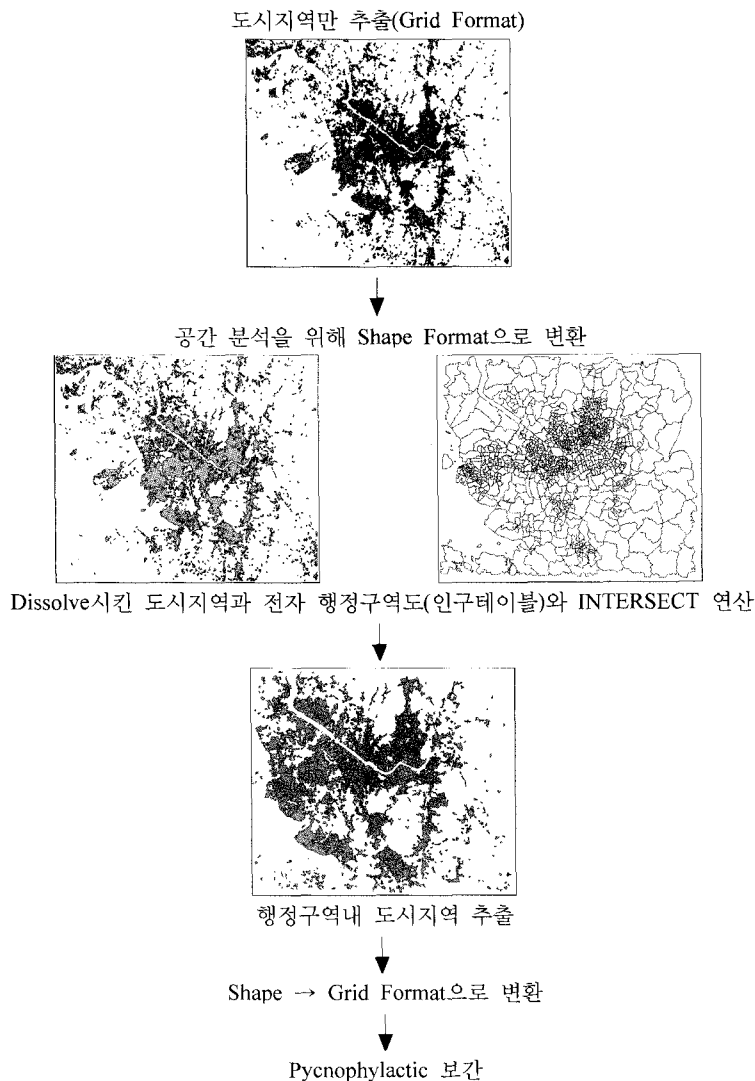


그림 5. 공간분석 처리과정

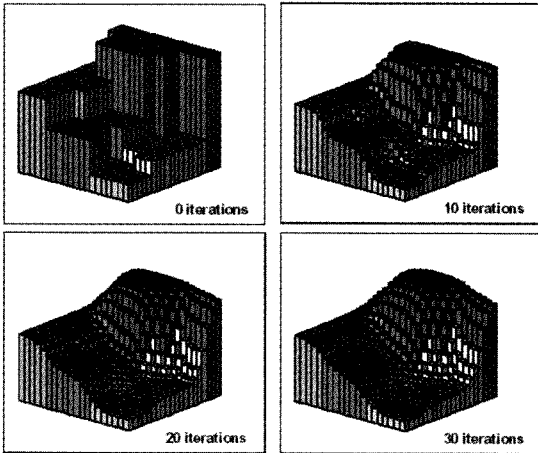


그림 6. Pycnophylactic 보간방법의 수행방법

간후에 전체 양이 보존되지 않아 보간전과 보간후의 양의 차이를 극복하기 어려운 점이 있다. 또한, 공간적인 보간관계를 정립되지 않아 인접하고 있는 면의 정보를 이용하는 사례를 찾아보기 어렵다. 위의 두 문제는 사회과학자로, 특히 인구자료를 이용한 분석에 많은 제약이 따라, 적합한 보간법의 선택이 중요하다. 이에 따라, 질량보전보간방법을 Tobler가 제시하였으며, 이는 주로 소축척지도에 사용되고 있으나, 현재 인구밀도에 있어서는 대축척지도에도 점차 사용되는 추세이다.

Tobler (1979)의 pycnophylactic 보간방법은 행정구역 단위의 총 인구를 바탕으로 인구밀도로 표현되는 평탄한 래스터 표면을 생성한다. Tobler의 접근방법은 총 인구를 해당되는 행정구역 단위의 표면을 점토로 만들어진 3차원 히스토그램이라고 가정한다. 그 다음 점토는 각

행정구역 단위내에서 이동하면서 전 대상영역의 표면을 최대한 평탄하게 만든다(Stetzer 1990). 이 Tobler의 보간방법은 Pycnophylactic 보간방법이라고도 불리며, 두 가지 제약조건이 있다. 첫 번째는 이 보간방법은 점토가 다른 영역단위로 이동할 수 없는 제한이 있어, 한 행정구역 내의 총 인구는 변하지 않게 된다. 두 번째 제약조건은 인구는 가까운 영역과 닮는 성향을 띤다는 것으로, 인접한 영역의 인구밀도가 높게 되면 인구밀도도 높아지고 그와 반대로 인구밀도가 낮으면 역시 낮은 경향을 보인다(Deichmann 1996; Tobler 외 1995; Tobler 와 Kennedy 1985).

Pycnophylactic 보간방법은 반복적인 수행으로 moving filter를 이용하여 값을 부여하는 데, filter는 주위의 격자값의 가중 평균치를 가운데 격자값에 대치하는 방식으로 수행된다. 그림 6은 이 과정을 도시적으로 표현하고 있다. 이런 반복적인 과정에서 pycnophylactic 제약조건은 각 반복과정 중 표면을 평탄화 후에 새로운 총 인구를 초기 인구값과 맞추기 위하여 조정한다. 이 과정은 미리 정의된 범위내에 들어오고 결과표면이 충분히 평탄해질 때까지 계속된다. 이 보간방법의 단점은 한 영역내에서 최대값과 최저값의 범위를 원자료보다 더 넓어질 수도 있다는 점이다. 하지만, 영역을 최소화로 설정하게 되면 위의 문제를 어느 정도는 감소시킬 수 있다.

#### 4. 결과 분석 및 고찰

##### 4.1 인구밀도와 도시성장

인구밀도는 도시과밀화를 나타내는 유용한 지표이다. 그러나 인구밀도는 단위 면적에 대한 인구의 수로 표현되기 때문에 종종 잘못된 정보를 제공하기도 한다. 예를

표 3. 서울 및 경기지역의 인구밀도변화(단위 : 명/km<sup>2</sup>)

		서울		경기도		인천	
		행정구역	행정구역 내 도심지	행정구역	행정구역 내 도심지	행정구역	행정구역 내 도심지
1985	면적	604.41	340.18	3,157.15	253.26	241.04	96.91
	인구밀도	15,947.97	28,335.32	1,062.15	13,240.84	5,745.59	14,290.74
1990	면적	604.43	393.27	3,115.75	266.05	282.44	132.69
	인구밀도	17,557.99	26,985.47	1,494.96	17,507.66	6,422.25	13,670.22
1995	면적	604.42	390.27	3,060.08	523.63	338.16	168.39
	인구밀도	16,927.33	26,215.74	2,019.94	11,804.46	6,579.47	13,212.85
2000	면적	604.42	389.46	3,060.02	606.74	338.16	190.10
	인구밀도	16,371.43	26,183.51	2,402.38	12,116.11	7,075.78	12,078.47

들어 대상지역에 넓은 비도시 지역이 포함되어 있으면 인구밀도는 낮게 나타나지만 좁은 도시지역에 많은 사람들이 집중해서 거주하고 있다면 실제론 높은 인구밀도를 가지고 있게 된다. 표 3은 행정경계에 의한 인구밀도와 행정구역 내 실제 도시지역에 대한 인구밀도를 비교하고 있다. 표 3에서 보면 서울의 행정구역 면적은 1985년 이후로 변함이 없으며 이에 반해 인천은 1990년 이후로 조금씩 경기도의 일부분을 편입하기 시작했으며, 1995년에 이르러선 1985년 비해 100km<sup>2</sup> 이상의 면적이 경기도에서 인천으로 행정구역상 편입되었다.

또한, 행정구역 내 포함되어 있는 실질적인 도시지역의 면적변화를 살펴보면 1990년 이후로 신도시 개발과 함께 경기도 지역 내의 도시지역 면적이 급속도로 증가하고 있음을 알 수 있다. 1985년에 겨우 253.26km<sup>2</sup>에 해당하던 경기도 내 도시지역의 면적은 2000년에 이르러 606.74km<sup>2</sup>로 2배 이상의 증가를 보였다. 특히, 이러한 현상은 경기도 지역 내에 있는 2개의 거대한 신도시 개발로 인한 것으로 서울의 북서쪽에 위치한 일산과 남동쪽에 위치한 분당 신도시의 개발로 나타난 현상이다. 이 2개의 거대한 신도시에는 대단위의 아파트 단지와 상업단지가 밀집되어 있다. 유사하게 인천의 경우에도 1985년에 96.91km<sup>2</sup>에 지나지 않았던 도시지역이 2000년에 이르러 2배 이상의 크기로 성장하였다. 이는 인천시 역시 광범위한 개발로 인해 도시지역이 상당히 증가한 것이다. 반면에 서울은 1990년 이후로 도시지역의 면적 변화가 거의 없었으며 2000년에 이르러 389.46km<sup>2</sup>로 약간 감소하였다. 이는 서울의 도시개발이 상당히 억제되고 있으며 혹은 도시개발이 거의 포화상태에 이르렀다고도 생각할 수 있는 현상이다.

1995년 이후로 경기도나 인천 지역에서의 인구밀도는 그리 큰 변화가 없었다. 이는 지역 내 인구의 증가와 더불어 도시지역의 면적이 증가한 것으로 해석될 수 있으며 표 3에서 보듯이 1990년 이후로 경기도와 인천지역의 도시화가 상당히 빠른 속도로 진행되고 있음을 알 수 있다. 결국 지난 10여 년간 서울은 도시 확장을 상당히 억제하고 있으며 도시인구의 집중을 막고자 서울 외곽의 경기도와 인천 부근에 계속적인 신도시 위주의 도시개발 정책을 추진하여 인구집중을 막고 있는 상황이다. 특히, 이러한 현상은 서울 내의 높은 부동산 가격과 주택가격과도 연관성이 있다.

결론적으로 1990년대 초반부터 개발된 경기도지역의 거대한 신도시들은 대단위 주거단지와 상업단지 등을 갖추고 서울의 인구를 유입하면서 서울, 인천 등을 포함한 경기도 지역의 도시화를 빠르게 진행시키고 있다.

#### 4.2 도시성장형태

인구밀도에 의한 좀 더 정확한 도시성장 형태를 분석하기 위해 본 연구에서는 그림 7과 같이 행정구역에 의한 인구밀도와 행정구역 내 도시지역에 의한 인구밀도를 1985년부터 2000년까지 연대별로 나타내었다. 행정구역에 의한 인구밀도를 통해 서울 주변 지역의 도시성장을 살펴보면 다음과 같은 특성을 갖는다. 서울의 북서방향과 북동방향으로의 인구 유입은 증가하고 있으나 그렇게 급작스런 증가형태는 보이지 않고 있으며 서울의 남쪽으로도 상당히 완만한 증가형태를 보이고 있다.

그러나 행정구역 내 도시지역에 의한 인구밀도는 전혀 다른 성장형태를 보여주고 있다. 주요 도시화 진행 지역 중의 하나인 서울 북서쪽의 일산지역을 살펴보면 상당히 광범위한 지역으로 방사형태의 도시성장이 이루어지고 있음을 알 수 있으며 또한 이러한 성장형태 역시 행정구역에 의한 인구밀도에 비하면 상대적으로 급격한 인구밀도의 증가형태를 보이고 있다. 특히, 일산 신도시와 그 주변에 위치한 지역에는 대단위 아파트 단지와 상업단지, 편의시설, 서울과 연결된 도로망, 지하철 확충 등으로 도시화와 인구증가의 속도가 급속하게 이루어지고 있는 것으로 확인되었다. 이러한 추세는 향후로도 이 지역에 대한 인구유입이 지속적으로 이루어 질 것으로 예상된다.

한편 서울의 남동쪽 방향에도 분당 신도시를 중심으로 대단위 아파트 단지와 서울로의 도로망 확충 등으로 빠르게 도시화가 진행되고 있었다. 하지만 일산의 형태와는 다르게 분당을 중심으로 하는 이 지역의 도시화는 선형적인 형태를 나타내며 도시화가 진행 중이다. 또한 남서쪽의 기존 도시지역이었던 안산 등에서도 방사형의 도시성장을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 그러나 과거부터 도시화가 진행 중이었던 이들 지역의 인구증가는 신도시와는 달리 상당히 완만한 상태로 증가하고 있다.

종합하면 1985년부터 2000년까지 도시지역의 인구밀도 변화도를 통해 본 도시성장 형태는 서울의 북서쪽의 일산과 서쪽의 거대도시 인천을 기점으로 한 북서쪽의 방사형태와 남동쪽의 분당을 중심으로 하는 선형형태 그리고 남서쪽의 안산 등 기존 도시들을 중심으로 하는 원형형태 등으로 도시화가 이루어지고 있음을 알 수 있었다. 또한 행정구역에 따른 인구밀도의 변화도를 통해서 이러한 도시의 성장형태를 구분할 수가 없었으며 도시화의 진행상태 역시 실제보다는 완만하게 나타나고 있는 것처럼 확인되었다.

#### 4.3 Pycnophylactic 보간에 따른 도시성장형태

앞 절에서는 행정구역에 의한 인구밀도와 도시지역에

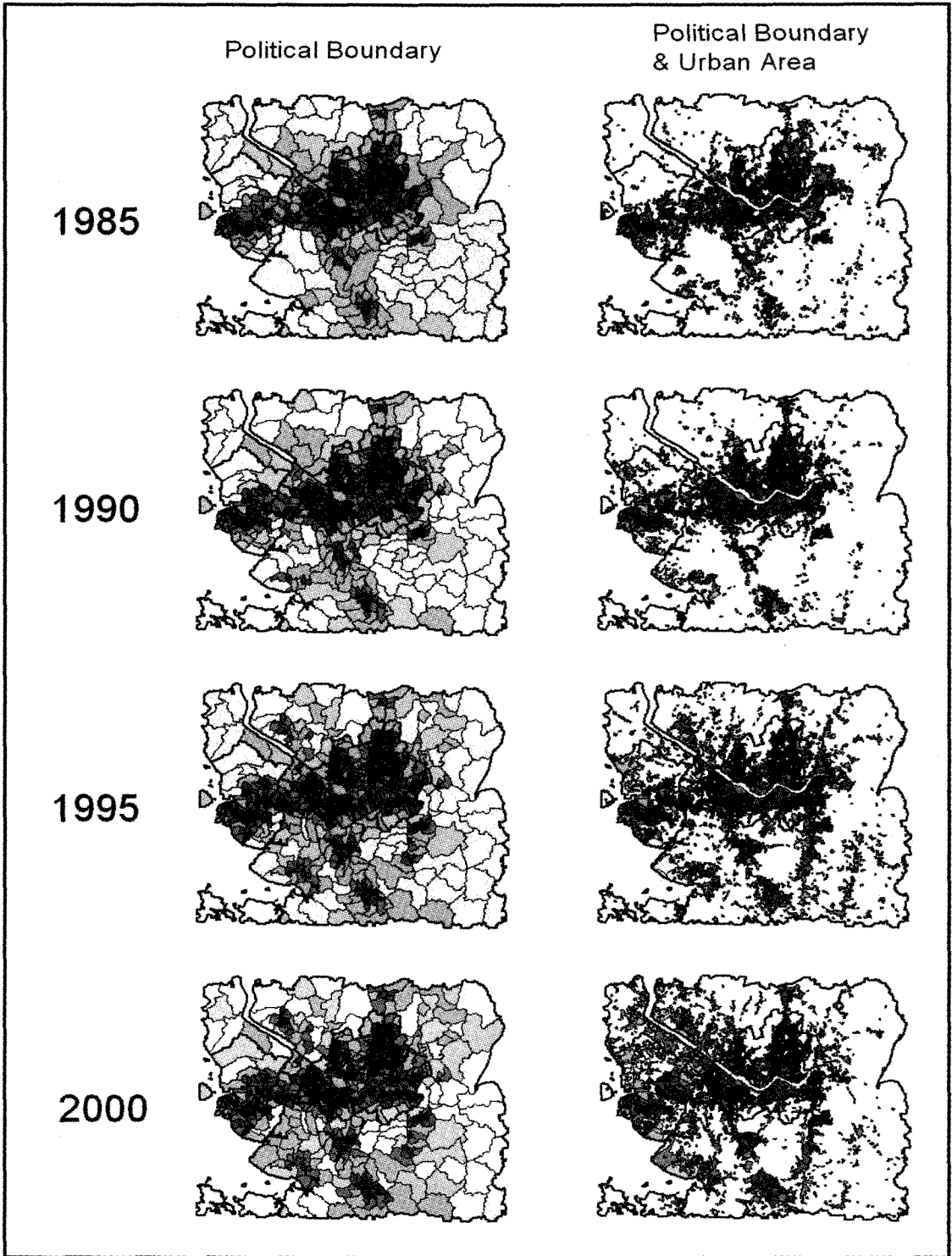


그림 7. 인구밀도의 변화 (좌측:행정구역에 의한 인구밀도, 우측:도시지역에 의한 인구밀도)



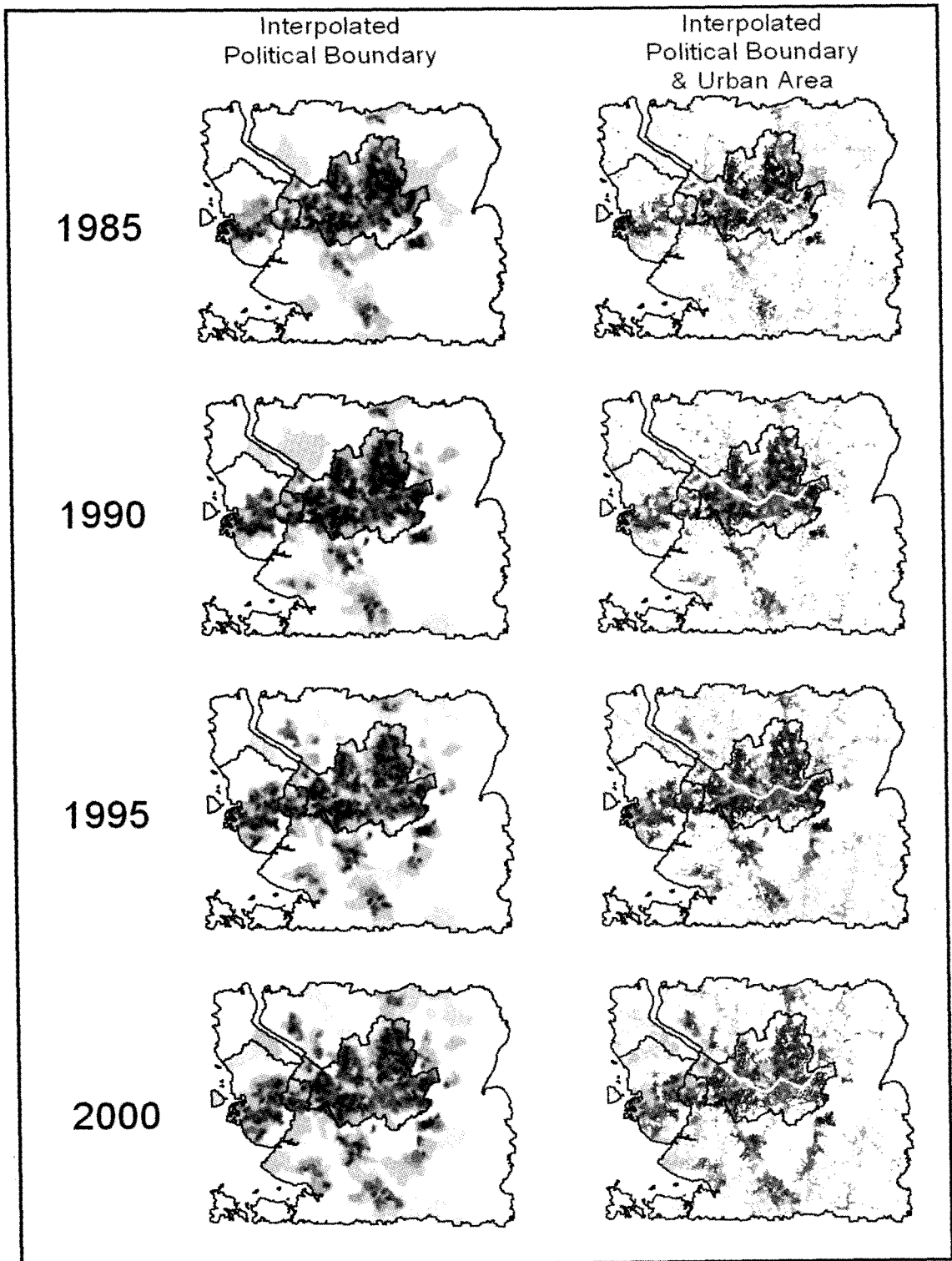


그림 8. 인구밀도의 변화 (좌측:행정구역에 의한 인구밀도, 우측:도시지역에 의한 인구밀도)

의한 인구밀도의 변화를 통해 서울의 도시성장형태를 분석하였다. 본 연구에서는 인구데이터를 표현할 때 발생하는 경계현상을 제거하여 보다 현실적인 인구밀도를 나타내기 위한 방법으로 pycnophylactic 보간 알고리즘을 적용하여 또 다른 분석 자료를 그림 8과 같이 나타내었다.

그림 8을 통해 보면 서울의 남동쪽방향에 위치한 분당 신도시를 중심으로 하는 도시화 지역과 북서쪽의 일산 신도시를 중심으로 하는 도시화 지역 등에 대해서 그림 7을 통한 분석과 동일한 결론을 얻을 수 있었으며 그림 7에서의 결과와는 달리 서울시 내 구역별 인구분포의 각 중심의 위치가 뚜렷이 구분되었다. 이러한 자료는 광범위한 도시성장 분석 외에도 서울시 내의 구역별 인구밀도의 변화를 확인할 수 있기 때문에 도시 내 균형적인 발전계획을 수립하는데 유용한 자료로 활용될 수 있으리라 사료된다.

#### 4.4 거리에 따른 인구밀도의 변화

인구밀도의 변화 추이를 구체적으로 알아보기 위하여 각 방법에 따른 인구밀도를 특정한 년도에 대하여 도시적으로 표현하였다(그림 9). 중심지로부터의 거리를 계산하기 위하여 중심지는 서울 광화문을 지표로 삼았으며, 그 지점으로부터 동심원을 생성하여 25km 까지의 지역에 대한 인구밀도를 계산하였다.

그림 9에서 보는 바와 같이 단순 행정구역상에 의거한 인구밀도의 결과값은 행정구역내의 녹지 또는 그 외 주거지역이 아닌 지역이 많이 포함되어 인구밀도가 현저히 낮은 값을 보이고 있다. 또한, 행정구역으로 얻어진 인구밀도를 보간을 수행하더라도, 본 연구에 쓰인 보간방법이 총값을 보존하므로 보간후의 인구밀도는 큰 변화를 보이지 않았다.

그에 반하여 영상으로부터 추출된 주거가능지역에 인구를 부여하여 얻어진 인구밀도의 경우에는 매우 다른 결과를 보여주었다. 도심지로부터 6-7km까지는 행정구역에서부터 얻어진 인구밀도보다 약 30%의 증가된 밀도를 보였지만, 일반적으로 정체되는 비슷한 양상을 보였다. 하지만, 7km 이상 지역에서는 현저히 다른 추세를 보였다. 행정구역에서 얻어진 인구밀도는 감소세로 나타났지만, 주거가능지역만을 추출한 인구밀도에서는 급격한 증가를 보여 11km에서 최고점을 나타내었다. 그 이후는 감소하고 있지만 인구밀도는 2배 이상의 큰 차이를 보였다. 보간된 결과도 위의 경우와 마찬가지로 총질량을 보존하는 보간법의 특성상 큰 차이를 보이지는 않았지만, 최고점에서는 다소 수치가 증가하는 것을 발견할 수 있었다.

위의 현상을 분석해보면 다음의 사항을 도출할 수 있

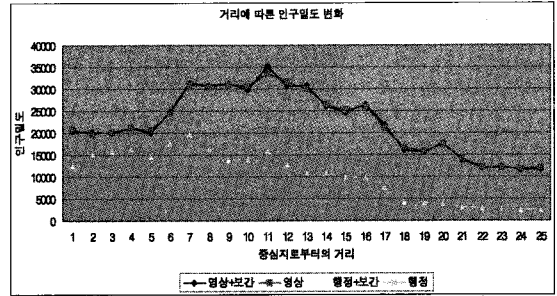


그림 9. 중심지로부터의 인구밀도 변화 (2000년)

다. 첫째로, 녹지나 산림지역이 제외된 상태에서의 인구밀도의 계산이 좀 더 현실을 잘 반영한다. 엄밀히 말하면, 주거가능지역만을 고려한 인구밀도가 도시행정이나 발전에 자세하고 정확한 정보가 된다는 점이다. 둘째로, 서울 및 수도권외의 경우 도시 외곽으로 나갈수록 인구밀도의 증가가 정체되었다. 즉, 서울 인구증가 억제 정책이 서울도심에서는 비교적 성공하고 있다는 점이다. 셋째로, 도심외곽지역, 즉 90년대에 개발된 신도시의 영향으로 중심으로부터 10km 이상의 지역의 인구밀도가 과다하게 증가하고 있다는 점이다. 이는 행정구역상의 인구밀도에서는 찾아볼 수 없으며, 인공위성영상으로부터 추출된 자료로부터 확인되었다. 큰 이유로는 신도시의 경우 협소한 면적에 대단위 주거시설을 건설하였고, 또한 주위의 녹지가 넓은 관계로 행정구역상의 인구밀도는 낮게 나타나지만, 주거가능지역만을 고려하면 오히려 서울 중심지보다 과다한 인구밀집지역이 발생하게 되는 것이다.

이와 같은 cross-sectional 분석은 인구밀도가 중심지로부터 변화추이를 쉽게 볼 수 있으며, 대규모 주거단지 건설계획이나 신도시 계획에도 기초자료로도 활용될 수 있다.

## 5. 결 론

도시성장형태의 분석은 도시행정 및 개발과 관련된 여러 분야에 필수적으로 요구되는 자료이다. 미래의 토지 활용 계획수립, 도로망 설계, 각종 도시기반시설의 설계, 공공시설의 설계 등등 도시의 효율적인 관리와 보수를 위한 모든 분야에 활용될 수 있다. 서울은 인구 1000만의 세계적인 대도시로 한국의 급속한 경제발전과 발맞추어 상당히 짧은 기간에 걸쳐 성장한 도시이다. 사람들은 보다 나은 삶의 조건, 교육적 환경, 좋은 편의시설 등을 위해 대도시로 몰려든다. 개발도상국의 다른 대도시의 경우와 마찬가지로 서울은 이러한 인구집중으로 인해 도시가 확장되기 시작하였고, 다른 나라에서는 볼 수 없었

던 신도시라고 불리는 대단위 주거 단지의 개발로 이러한 인구집중이 조금 완화된 것 같았다. 그러나 주변 신도시와 서울의 연결은 또다시 거대한 도시화를 초래하였으며 매년 서울과 경기도 지역의 신도시들로 이주하는 인구는 늘고 있다. 이러한 인구집중과 도시화의 불균형적인 순환관계로 인해 서울과 경기도의 도시들은 매년 점점 더 성장해 가고 있다.

본 연구에서는 1985년부터 2000년까지의 인구데이터와 행정구역도 그리고 위성영상을 이용해 분류한 도시데이터를 사용하여 5년마다의 서울과 그 주변 도시의 성장형태를 인구밀도를 통해 분석하였다. 기존의 분석방법이 행정구역과 인구데이터만을 활용하여 분석한 것과 비교하여 본 연구에서 채택한 새로운 방법은 실제 대다수의 인구가 거주하는 곳이 도시지역이라는 가정 하에 위성영상의 분광특성을 이용하여 도시지역을 추출함으로써 보다 실질적인 도시성장분석에 적합한 자료를 생성하였다. 분석결과에서 보듯이 도시지역의 인구밀도에 의한 분석방법이 도시성장형태를 나타내는데 더 적합하다고 확인할 수 있었으며 이를 통해 서울의 도시성장형태를 알 수 있었다. 또한 인구데이터를 표현하는데 있어 가장 문제가 되었던 인구경계 현상을 pycnophylactic 보간법에 의해 제거함으로써 GIS를 이용한 여러 분석에 있어 보다 실질적인 자료로 활용 가능하다는 사실이 증명되었다. 마지막으로 본 연구에서는 4장의 1985년부터 2000년까지의 인구밀도 변화도를 제작함으로써 인구밀도와 도시성장형태의 밀접한 상관관계를 확인하였다. 또한, 인구밀도를 cross-sectional 분석으로 중심지로부터의 인구밀도 변화를 확인하였다. 그로인하여 신도시나 대규모 주거단지가 밀집되어 있는 지역의 분석을 위해서는 인공위성영상으로부터의 도시주거지역 추출이 절대적임을 확인하였다.

본 연구는 인공위성영상으로부터의 도시주거지역을 추출하고 인구자료와의 통합을 통하여 서울 수도권지역의 발전 형태를 고찰하였다. 본 연구의 결과물은 차후에 계속 연구될 도시발전형태 예측이나 도시형태분류에 자료가 될 것이다. 하지만, 본 연구에서 사용된 인공위성자료의 해상도의 한계로 인하여 분류정확도를 극복하기는 어려움이 따랐다. 또한, 역사적인 자료를 바탕으로 하여 연구를 수행하는 과정에서 자료수집이나 정리에 난점이 있었다. 본 연구의 보다 나은 완성도를 위해서는 분류정확도의 극복과 도시발전예측모델 개발도 진행되어야 할 숙제로 남아있다고 사료된다.

## 참고문헌

1. 서울시정개발연구원, 1997. *2011 서울도시계획*. 서울시정개발연구원.
2. Chen, Keping, 1998. Correlations Between Census Dwelling Data and Remotely Sensed Data, The 10th Annual Colloquium of the Spatial Information Research Centre, Dunedin, New Zealand.
3. Deichmann, Uwe, 1996. *A Review of Spatial Population Database Design and Modeling*, NCGIA Technical Report 96-3, NCGIA, Santa Barbara.
4. Donnay, Jean-Paul and David Unwin, 2001. Modelling Geographical Distributions in Urban Areas. In: Jean-Paul Donnay, Michael J. Barnsley, and Paul A. Longley (Editors), *Remote Sensing and Urban Analysis*. Taylor & Francis, London, pp. 1-23.
5. Frank, Andrea, 1999. Tracing Socioeconomic Pattern of Urban Development: Issues, Problems, and Methods of Spatio-Temporal Urban Analysis. In: Li, B. et al. (Editors), *Geoinformatics and Socioinformatics, The proceedings of Geoinformatics 99 Conference*, Ann Arbor, MI, June 1999, pp. 1-12.
6. Lo, C. P. and B. J. Faber, 1997. Integration of Landsat TM Data and Census Data for Quality of Life Assessment, *Remote Sensing of Environment*, 62: 1-15.
7. Martin, D., 1991. *Geographical Information Systems and the Socioeconomic Applications*. Routledge, London.
8. Masek, J. G., F. E. Lindsay, and S. N. Goward, 2000. Dynamics of Urban Growth in the Washington DC Metropolitan Area, 1973-1996, from Landsat Observations, *International Journal of Remote Sensing*, 21: 3473-3486.
9. Paulsson, B., 1992. *Urban Applications of Satellite Remote Sensing and GIS Analysis*, World Bank, Washington, D.C.
10. Rase, Wolf-Dieter, 2001. Volume-preserving Interpolation of a Smooth Surface from Polygon-related Data, *Journal of Geographical Systems*, 3: 199-213.
11. Ryznar, Rhonda M. and Thomas W. Wagner, 2001. Using Remotely Sensed Imagery to Detect Urban Change: Viewing Detroit from Space, *Journal of the American Planning Association*, 67 (3): 327-336.
12. Stetzer, F. C., 1990. Applications of Spatial Autocorrelation Analysis to Colonial African Census Data. In B. Fetter (Editors), *Demography from Scanty Evidence, Central Africa in the Colonial Era*. Lynne Rienner Publisher, Boulder and London.
13. Tobler W. R., 1979. Smooth Pycnophylactic Interpolation for Geographical Regions, *Journal of the American Statistical Association*, 74: 519-535.

14. Tobler, W. R. and S. Kennedy, 1985. Smooth Multidimensional Interpolation, *Geographical Analysis*, 17: 251-257.
15. Tobler, W. R., U. Deichmann, J. Gottsegen and K. Maloy, 1995. *The Global Demography Project*, Technical Report TR-95-6, National Center for Geographic Information and Analysis, Orono, Maine.
16. Weber, C. and J. Hirsch, 1992. Some Urban Measurements from SPOT Data: Urban Life Quality Indices, *International Journal of Remote Sensing*, 13(17): 3251-3261.

(접수일 2003. 3. 21, 심사 완료일 2003. 6. 1)