

기본연구보고서 2008-09



셀룰라 오토마타를 이용한 대전시 도시성장 예측에 관한 연구

A Study on Urban Growth Prediction for Daejeon
Metropolitan City Using Cellular Automata

김 흥 태

기본연구보고서 2008-09

셀룰라 오토마타를 이용한 대전시 도시성장 예측에 관한 연구

A Study on Urban Growth Prediction for Daejeon
Metropolitan City Using Cellular Automata

김 흥 태



연구책임

• 김흥태 / 도시·교통연구부 책임연구원

서 문

우리나라가 급속한 산업화와 도시화를 경험하면서 많은 도시문제를 안고 있는 것처럼, 대전광역시도 중부권의 대표도시로서 급속한 도시성장 과정에서 도심공동화 등의 다양한 도시문제를 안고 있습니다.

이러한 도시문제에 대한 접근 단순한 처방식 보다는 도시가 어떻게 성장하여 왔고, 그 과정에서 어떤 문제가 발생하였는지에 대한 종합적이고 중장기적인 접근이 필요하다고 생각합니다. 아울러 도시성장의 특성을 보다 과학적으로 분석하고, 향후 도시발전이 어떤 모습으로 바뀌어 갈 것인가를 예측하는 일은 도시문제를 해소시키는 한 방법으로 생각합니다.

이러한 관점에서 이번에 수행한 대전시가 어떻게 성장해왔는지를 분석 및 예측한 연구결과는 매우 의미있는 일이며, 최근 대두되고 있는 지속가능한 도시발전을 고려할 때에도 도시의 성장과정을 과학적으로 분석하고 예측하는 것은 매우 중요하다고 생각합니다.

아무쪼록 금번 수행한 연구결과 대전시의 도시성장과정을 보다 깊이 이해하는 데 도움이 되시길 바라고, 향후 대전광역시의 중장기적인 도시정책 수립을 위한 기초자료로 활용될 수 있기를 기대합니다.

본 연구를 수행한 김홍태 책임연구원과 연구자문 및 연심회에서 귀한 자문을 주신 한남대학교 김태명고수님, 건양대학교 임양빈 교수님, 그리고 중부대학교 강현수 교수님께 심심한 사의를 표합니다. 끝으로 본 보고서에 담겨진 내용은 연구진의 견해로 본 연구원의 공식입장과는 다를 수 있음을 밝혀드립니다.

2008. 11.

대전발전연구원장 **육 동 일**

요약 및 정책건의

■ 연구의 배경 및 목적

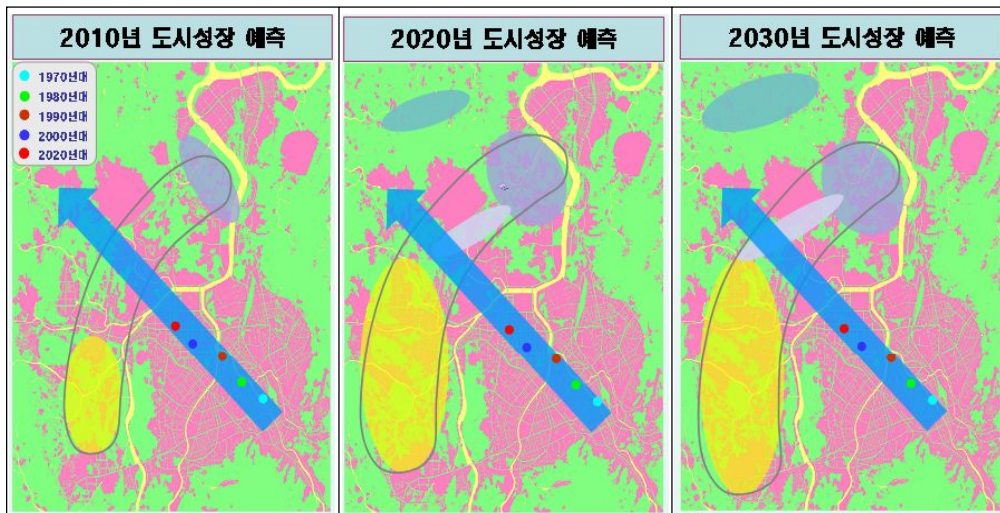
- 도시성장은 물리적 측면에서 도시지역의 외연적 확대 의미, 가용 토지가 제한적인 현실을 고려할 때, 효율적인 토지이용과 건전한 도시성장을 유도하기 위해서는 도시의 성장과정을 다양한 지표를 통하여 파악할 필요가 있음
- 최근 컴퓨터 기술의 발달과 인공지능 이론 및 GIS기술의 발전은 대량의 지리정보처리를 이용해 복잡 다양한 행태적 요인에 의한 대한 동적 모형(dynamical model)구축을 가능하게 하고 있으며, 이러한 고해상도 공간 모델구축에 가장 즐겨 사용되는 것이 셀룰라 오토메타(Cellular Automata)임
- 본 연구에서는 대전시의 도시성장 특성과 예측 및 성장패턴을 전망하여 향후 도시정책에 시사점을 주고자 함
- 셀룰라 오토메타에 관한 이론고찰과 대전시 도시성장 특성 및 공간적 확산을 검토한 후, 기존연구의 결과를 바탕으로 도시성장 예측과 성장패턴을 전망하고, 미래 대전시 도시성장 방향 및 도시공간구조 형성, 토지이용 정책 등의 정책적 시사점을 도출하는데 있음

■ 연구의 주요내용

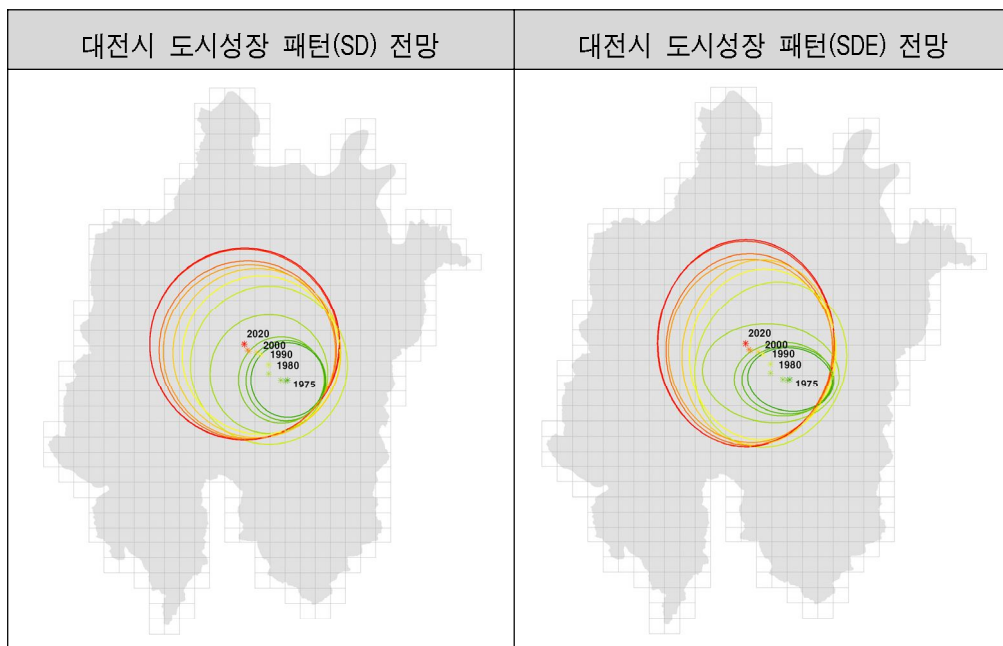
- 본 연구의 주요내용은 도시성장 모델에 대한 이론적 검토부문과 대전시 도시성장 특성부문, 그리고 도시성장 예측 및 패턴부문으로 구분할 수 있음
- 세부적으로는 도시성장 예측에 위한 셀룰라 오토마타와 도시성장 모델에 대한 이론적 검토와 대전시 도시성장을 인구 및 경제부문과 도시계획상의 장기 도시종합도면 분석과 도시공간구조 변화분석, 그리고 대전시 도시성장 예측 및 성장패턴을 분석하였음

■ 연구결과

- 대전시의 중장기적 도시성장 예측결과 도시기능 및 활동이 이루어질 가능성이 높고 토지이용상의 변화가 예상되는 지역은 2010년에는 서남부지역과 대덕테크노밸리 주변지역이 도시화 지역으로 변화될 것으로 예측되었음
- 2020년경에는 확장된 서남부지역과 대덕테크노밸리의 확장 및 대덕연구개발특구내 호남선을 주변의 개발제한구역의 조정가능지역과 신동·둔곡지역이 도시화 지역으로 변화될 것으로 전망됨
- 2030년경에는 고도의 도시성장이 이루어진 상태로 가용토지자원의 대부분이 도시화지역으로 변화가 예상되고, 서남부지역의 기능적 확대에 의하여 대덕연구개발특구지역의 호남선의 개발제한구역과 테크노밸리간의 공간적 연계가 강화되는 것으로 예측되었음
- 따라서 대전의 도시성장 및 외연적 확산은 전반적으로 서북부와 서남부지역으로 진행될 것으로 예측되었다. 향후 저성장시대의 도래로 등을 고려한다면, 신시가 지 중심의 외연적 확대는 한계가 있을 것으로 판단되며, 기존 시가지의 재정비 촉진 정책전환과 아울러 신규개발과 기존시가지 재정비 통합추진으로 지속가능한 도시성장 및 토지이용의 효율화를 도모해야 할 것임



- 한편, 표준편차거리 및 타원형표준편차거리에 의한 장래 도시성장 패턴을 예측한 결과 대전시의 도시성장 및 기능 확산은 1980년대 원도심권에서 1990년대, 2000년대에는 둔산권으로 이동하였고, 2020년대에는 서남부권의 개발로 인하여 도시공간구조가 둔산권을 중심으로 원도심권과 서남부권의 다핵화를 형성시킬 전망이다



■ 정책건의

1. 성장위주의 개발에서 지속가능한 성장관리로의 전환

- 지속가능한 도시발전과 저 성장시대에 부응한 도시성장관리를 위해서는 신규개발보다는 기존시가지의 정비를 통한 도시내부 및 중심부에 대한 충전(infill)정책 필요
- 효율적인 토지이용을 위해서는 통행유발을 최소화할 수 있는 직주근접과 단지차원의 주거, 상업, 위락시설 등을 수용하는 복합개발(Mixed Use Development)를 활성화시킬 필요가 있음

2. 도시기능분리에서 혼합적 토지이용으로 공간적, 기능적 네트워크 형성 추진

- 도시공간 및 중심지간의 연계는 합리적인 도시공간구조 형성을 위한 중심지간을 입지적, 기능적, 심리적으로 교류와 통합의 관계 형성 필요
- 광역차원의 주변 인접도시와 연계 및 상생발전을 고려하면서, 내부적으로 중심지간의 기능적 조화와 공간적 통합으로 동반발전 도모

3. 비효율의 평면적 토지이용에서 효율적인 입체적, 복합적 토지이용 전환

- 기존의 낙후된 도시기능을 부가가치가 높은 도심기능으로 대체하여 토지이용을 고도화하고 도시 또는 지구 중심지기능 강화 필요
- 도시기능의 고도화 및 도시공간의 합리화 측면에서 입체적 도시개발이 요구됨
- 지하철 등 교통환경 개선과 연계한 대중교통중심의 도시개발 및 정비 추진으로 주거, 판매, 업무, 오픈스페이스, 그리고 공공시설 등을 확보하여 도시기능 제고

4. 도시공간의 영역(자치구 등)의 독자적 계획에서 (광역)도시차원의 상호 의존적 계획

- 개발수요가 적은 기성시가지에 대해서는 저이용토지의 적극적 개발을 통한 문화 및 복지 등 삶의 질 제고를 위한 광역적 차원의 기초 생활서비스 공급필요
- 도시성장이 둔화되고 있는 원도심권과 신탄진권의 중심지 활성화 촉진으로 기존시가지의 쾌적하고 편리한 환경조성 추진

- 목 차 -

제1장 연구의 개요	3
제1절 연구의 배경 및 목적	3
제2절 연구의 범위 및 방법	4
제3절 연구의 수행과정	5
제2장 도시성장예측 이론 및 선행연구 고찰	9
제1절 셀룰라 오토마타에 관한 이론	9
제2절 기존연구 검토	15
제3장 대전 도시성장 특성	21
제1절 인구 및 경제 부문	21
제2절 도시개사업과 도시계획상의 도시의 외연적 확산	24
제3절 도시공간구조 특성 변화	31
제4장 대전시 도시성장 예측과 성장패턴 전망	39
제1절 기존 대전시 도시성장 예측 검토	39
제2절 대전시 도시성장예측 및 공간적 변화전망	42
제3절 대전시 공간확산 및 성장패턴 전망	45
제5장 결 론	53
제1절 연구의 요약	53
제2절 정책적 제언	54
참고문헌	56

- 표 목 차 -

<표 1> 대전광역시 인구 및 가구수의 성장변화(1965~2007)	22
<표 2> 대전광역시 산업구조의 성장변화(1970~2006)	23
<표 3> 대전시 시기별 토지구획정리사업 추진현황	25
<표 4> 도시재정비촉진사업지구 현황	27
<표 5> 입력데이터 처리방법	43
<표 6> 도시인구의 표준편차거리(SD) 분석결과	47
<표 7> 도시인구의 타원형 표준편차거리(SDE) 분석결과	49

- 그림목차 -

[그림 1] 연구의 공간적 범위	4
[그림 2] 연구의 수행과정도	5
[그림 3] 1, 2, 3차원 오토마타의 셀, 이웃, 셀공간	10
[그림 4] 대전광역시 인구 및 가구수 성장 변화도	22
[그림 5] 대전광역시 산업구조 성장 변화도	23
[그림 6] 대전시 도시개발 현황도	26
[그림 7] 주거환경정비사업 예정구역도	28
[그림 8] 도시재정비촉진지구 현황도	28
[그림 9] 대전시 도시계획총괄도(1966, 1974, 1980년)	29
[그림 10] 대전시 도시계획총괄도(1992, 1999, 2007년)	30
[그림 11] 인구의 SD/SDE 변화도	31
[그림 12] 인구밀도 윤곽도	32
[그림 13] 고용의 SD/SDE 변화도	33
[그림 14] 고용의 SD/SDE 변화도	33
[그림 15] 개발밀도의 SD/SDE 변화도	34
[그림 16] 개발밀도이 SD/SDE 변화도	35
[그림 17] 인구, 고용, 개발밀도의 Moran I 지수 변화도	36
[그림 18] SLEUTH 운영결과 예측도	40
[그림 19] 공간구문론에 의한 도시구조 변화도	41
[그림 20] 도시성장 예측에 사용된 입력데이터	43
[그림 21] 도시성장 예측도(2010, 2015, 2020)	44
[그림 22] 인구의 표준편차거리의 변화에 의한 도시성장 패턴 변화	48
[그림 23] 인구의 타원형 표준편차거리의 변화에 의한 도시성장 패턴 변화	50

제 1 장

연구의 개요

제1절 연구의 배경 및 목적

제2절 연구의 범위 및 방법

제3절 연구의 수행과정

제1장 연구의 개요

제1절 연구의 배경 및 목적

도시의 발달은 인간 생활에 대한 편의성 제공이라는 긍정적인 면과 함께 수많은 도시문제를 발생시켰는데, 그 중 도심부 인구유입에 따른 도시지역의 무분별한 팽창(Sprawl)은 전 세계적으로 연구대상이 되고 있다. 우리나라도 1960년대 이후 급격 한 도시의 성장으로 인한 수도권 확대와 일부 지방도시의 난개발이 중요한 문제로 대두되고 있으며, 이러한 도시 성장에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다.

도시성장은 물리적 측면에서 도시지역의 외연적 확대 의미, 가용 토지가 제한적인 현실을 고려할 때, 효율적인 토지이용과 건전한 도시성장을 유도하기 위해서는 도시의 성장과정을 다양한 지표를 통하여 파악할 필요가 있다.

이와 같이 도시성장에 대한 연구에는 하나의 모형이 아니라 성장에 관련된 여러 가지 요인들에 대한 하위 모형(sub-model)들을 하나의 주 모형(main-model)에 통합하여 요인의 변화에 따른 동적인 대응이 가능한 종합적 시스템 구성이 필요하다(Batty M. and Xie Y., 1994).

최근 컴퓨터 기술의 발달과 인공지능 이론 및 GIS기술의 발전은 대량의 지리정보처리를 이용해 복잡 다양한 행태적 요인에 의한 대한 동적 모형(dynamical model)구축을 가능하게 하고 있으며, 이러한 고해상도 공간 모델구축에 가장 즐겨 사용되는 것이 셀룰러 오토메타(Cellular Automata)이다.

따라서 본 연구에서는 대전시의 도시성장 특성과 예측 및 성장패턴을 전망하여 향후 도시정책에 시사점을 주고자 한다. 이를 위하여 셀룰러 오토메타에 관한 이론고찰과 대전시 도시성장 특성 및 공간적 확산을 검토한 후, 기존연구의 결과를 바탕으로 도시성장 예측과 성장패턴을 전망하고, 미래 대전시 도시성장 방향 및 도시공간구조 형성, 토지이용 정책 등의 정책적 시사점을 도출하는데 있다.

제2절 연구의 범위 및 방법

1. 연구의 범위

1) 시간적 범위

본 연구의 시간적 범위는 분석내용의 특성상 시간적 범위가 일치되지는 못하였다. 도시성장 특성분석은 1965년에서 2007년, 도시계획상의 외연적 확산은 1966년에서 2007년, 도시공간구조 특성변화는 1990년에서 2005년, 셀룰라 오토마타를 이용한 도시성장 예측은 2010년, 2020년, 그리고 2030년을 예측하였고, 아울러 도시성장 예측결과에 대한 도시성장 방향을 검증하기 위하여 도시성장 패턴은 2010년, 2015년, 2020년까지를 분석하였다.

2) 공간적 범위

본 연구의 기본적인 공간적 범위는 대전광역시 행정구역 전역을 대상으로 하고 있으며, 면적과 규모는 행정구역의 확대로 시기별로 다소 차이가 있으나 공간적 범위는 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 제 19조 3항 및 도시기본계획수립지침 제2장 제3절에 따라 대전의 관할구역인 539.79km²를 대상으로 하였다.



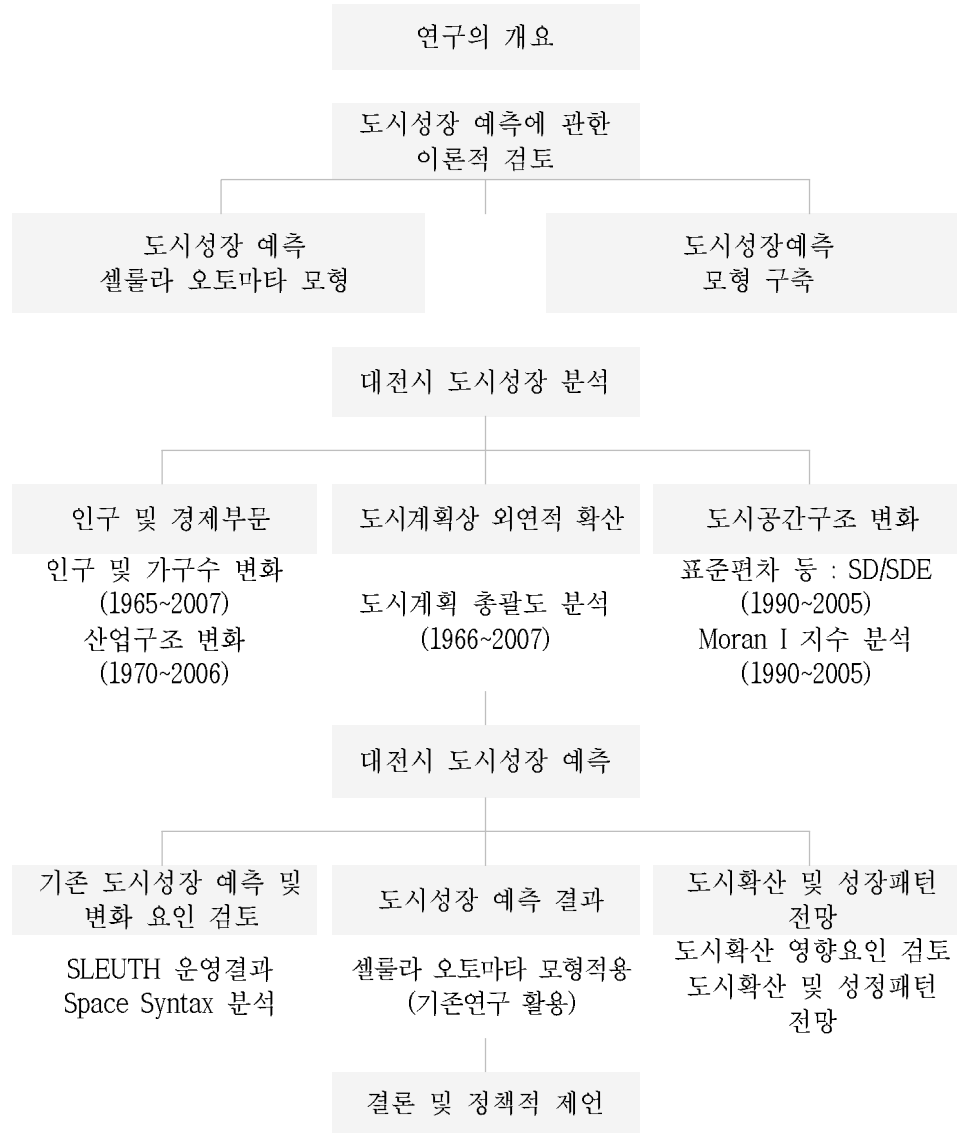
<그림 1> 연구의 공간적 범위

3) 내용적 범위

본 연구의 내용적 범위는 도시성장 모델에 대한 이론적 검토부문과 대전시 도시성장 특성부문, 그리고 도시성장 예측 및 패턴부문에 구분할 수 있다. 이를 좀더 세부적으로 말하며, 도시성장 예측에 위한 셀룰라 오토마타와 도시성장 모델에 대한 이론적 검토와 대전시 도시성장을 인구 및 경제부문과 도시계획상의 장기 도시종합도면 분석과 도시공간구조 변화분석, 그리고 대전시 도시성장 예측 및 성장 패턴을 분석하는 부문으로 구분할 수 있다.

제3절 연구의 수행과정

본 연구의 주요 내용 및 수행과정은 [그림 2]에서 보는 바와 같이 크게 5단계 과정을 거치면서 수행하였다.



<그림 2> 연구의 수행과정도

제 2 장

도시성장예측 이론 및 선행연구 고찰

제1절 셀룰라 오토마타에 관한 이론

제2절 기존연구 검토

제2장 도시성장예측 이론 및 선행연구 고찰

제1절 셀룰러 오토마타에 관한 이론

1. 셀룰러 오토마타의 개념

셀룰러 오토마타(Cellular Automata;CA)는 세포가 시간에 따라 생성과 성장 그리고 소멸을 거듭하는 자기진화 과정을 이용하여 복잡하게 일어나는 제 현상들을 가장 간단히 시뮬레이션하는 방법이다. 또한 셀룰러 오토마타는 대규모의 변수들을 다룰 수 있는 동적인 모델이다. 각 변수들은 셀 상태(state)로서 표현되고 그 값은 이산(離散)적인 시간단계 별로 다른 셀들과의 국지적인 상호작용에 따라 결정되어진다(최창영, 2001).

예를 들면, 2차원 정방형의 셀들의 값을 0, 1로 두고 “0” 값이 소멸되면 주변셀들 3개가 “1” 값을 가지는 등의 규칙을 정한 후 일정한 시간 간격에 따라 셀공간의 변화를 시뮬레이션 하는 것이다.

이와 같이 셀룰러 오토마타는 이산적(discrete) 시간과 공간에 기초를 둔 비선형(non-linear)수학적 동적 시스템이며, 임의의 시점(time)에서 임의 셀(cell)의 상태(state)가 이웃하는 네이버후드(neighborhood) 상태에 따라서 그 셀의 상태가 변화하며, 정해진 전이규칙(transition rule)에 따라 새로운 시점의 상태로 변하게 되는 연산을 반복적으로 실행하는 원리를 통해 현상을 모델링 하는 것이다(정재준, 2001).

따라서 셀룰러 오토마타는 본질적으로 공간을 다룬다는 것과 간단한 규칙으로 복잡한(complex) 형태를 만들어 낼 수 있어 동적이고 복잡한 도시 현상들을 시뮬레이션 하는데 유용한 도구라고 볼 수 있다.

2. 셀룰라 오토마타의 구성요소

셀룰라 오토마타는 임의의 시점에서 임의의 개체가 셀 공간에서 주변의 상태 그리고 정해진 규칙에 따라 다음 시점의 상태로 변화하는 연산을 반복적으로 수행하는 원리를 통해 현상을 모델링 한다(정재준, 2001)

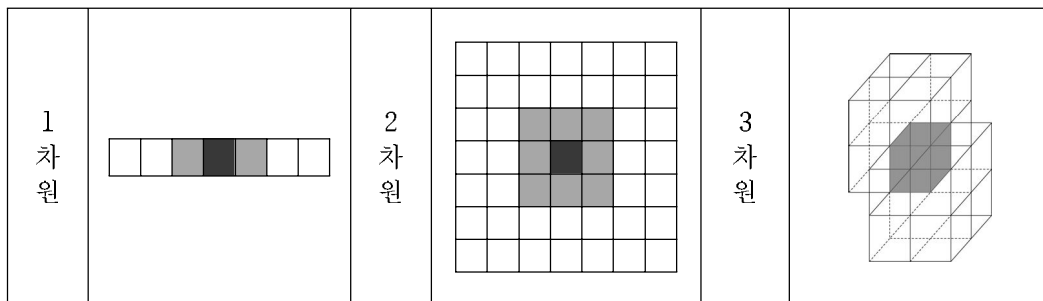
이러한 모델링이 이루어지기 위해서는 셀을 구성하는 기본적인 요소가 필요하게 된다. 셀룰라 오토마타의 구성요소는 다음과 같이 정리할 수 있다.

1) 격자 공간(Cell space)

셀룰라 오토마타에서 셀은 n차원으로 정의된다. 1차원 셀은 공간현상을 다루기 에 부적절하며, 일반적으로 2차원 셀이 가장 널리 사용되고 있다. 따라서 격자로 이루어진 공간은 시뮬레이션이 일어나는 기본적인 공간으로서 전통적으로 2차원적이며 직선으로 이루어진 동질적(homogeneous) 특징을 지닌 공간으로 정의된다.

정방형의 셀로 이루어진 공간은 위성데이터, 사진 등의 래스터(Raster) 데이터를 사용하여 데이터베이스를 구축하는데 편리하고 균등한 크기를 가지므로 각기 다른 조건의 데이터를 통합하고 전산화하는데 장점을 지니고 있으므로 셀룰라 오토마타시뮬레이션에 가장 널리 사용된다.

3차원 셀을 이용한 셀룰라 오토마타는 데이터 처리 및 구현에 어려움이 있지만, 최근 3차원 객체(object)를 표현하는 방법인 VRML(Virtual Reality Modeling Language)과 3차원 공간 데이터 처리방법에 관한 연구가 진행되고 있다.



<그림 3> 1, 2, 3차원 오토마타의 셀, 이웃, 셀공간

2) 상태(State)

상태는 셀의 특성을 표현하는 것으로 모든 셀에 부여된 값이라고 할 수 있다. 연구의 목적에 따라 다양한 상태의 정의가 가능하지만 도시모형에 있어서는 일반적으로 토지의 이용 및 용도로 표현되는 경우가 많다. 시뮬레이션의 가장 초기에 정의되어야 하는 값이며 프로그래밍의 편의를 위해 간단한 숫자로 표현된다.

이와 같이 임의의 셀이 가지고 있는 셀의 상태, 즉 셀이 가지는 값으로 셀의 변화를 설명하는 속성이다. 각 셀은 동시에 하나 이상의 상태를 가지지 못하고 변화규칙을 적용한 이후에 상태가 변화되어질 수 있다.

3) 인접(Neighborhood)

인접이란 해당 셀의 차기 상태변화에 영향을 주는 일정 범위의 주변 셀들의 집합을 의미한다. 가장 널리 쓰이는 것으로는 상하·좌우의 인접 4개 셀로 구성된 von Newman의 인접과, 3×3 사이즈 내에 8개의 셀로 구성된 Moore의 인접이 있다. 물리적인 시스템에 있어서 인접은 좁은 범위의 명백한 정의를 가지고 있다. 왜냐하면 그 시스템은 전형적으로 오직 국지적인 원인만을 가지고 있기 때문이다.. 그러나 인간을 대상으로 하는 시스템에 있어서는 인간과 사회가 매우 넓은 범위에 둘러싸여 있으므로 넓은 범위의 인접의 책정이 요구 된다.

도시의 성장이나 토지의 이용의 변화에 적용할 때는 일반적으로 인접의 범위가 확장되며, 사각형의 인접이 아닌 거리에 따른 원형의 인접이 설정되기도 한다. Engelen and White(1997)의 경우에는 근방을 반경 8개 셀로 총 196개의 셀을 정의하여 분석을 시도한다.

또한 반경 6셀 이내를 이웃으로 보는 연구와 인접($\Omega 1$), 영역($\Omega 2$), 적용대상 전체지역($\Omega 3$)을 이웃으로 정의하는 모델 등, 다양한 시도들이 진행되고 있다.

4) 변화규칙(Transition rule)

근방의 셀 형상에 따라서 당해 셀이 어떻게 변할 것인지를 정의한 일련의 룰로서 CA의 중심요소이다. 규칙들은 연구의 목적에 따라 게임이론이나 공간선택모형처럼

간단할 수도 있고 아주 복잡할 수도 있다. 주로 순환(loop)형태의 조건식으로 구성되어 있고 가중치를 부여하는 방법을 사용한다.

개개의 모든 셀룰라 공간에 동일하게 적용되어지는 규칙으로 이 전이규칙에 의해 각 셀을 새로운 상태로 변화하게 되고, 이 상태는 다음단계의 초기상태로 입력되어 반복적으로 연산이 진행된다.

5) 시간(Temporal space)

셀룰라 오토마타 모델에 있어서 시간은 룰이 현재의 셀들에 적용되어 셀 상태를 변화시킬 때마다 동시에 수정될 수 있도록 정규적으로 이산되어야 한다. 연구의 목적과 데이터의 한계에 따라 임의적으로 시간간격을 사용하고 있다.

즉, 시작 t 에서 셀의 상태, 이웃의 상태, 변화규칙을 적용하여 시간 $t+1$ 에서의 셀의 상태를 만들어 낸다.

이상의 5가지 요소가 셀룰라 오토마타를 구동하는 원리로서 요약하면 한 셀의 상태가 정의된 인접 셀들에 전이 룰과 시간변화에 따라 영향을 미치고 변화된 인접 셀은 새로운 인접 셀들 중 가장 전이 룰에 부합하는 셀을 찾아서 다시 변화시키는 과정을 일정한 시간간격에 따라 끊임없이 반복하는 것이 셀룰라 오토마타의 기본원리라 할 수 있다.

3. 셀룰라 오토마타의 기본구조

일반적으로 셀룰라 오토마타의 기본구조는 다음 식(2-1)의 집합 기호로 나타낼 수 있다(윤정미, 2002).

$$(X, S, N, f) \quad (2-1)$$

X : 셀룰라 오토마타가 구현되는 N차원의 공간(cellular space)

S : 각 셀이 가지고 있는 상태(state)

N : 임의의 셀을 둘러싸고 있는 주변 셀의 집합(neighborhood)

f : 각 셀을 상태를 결정하는 전이규칙(transition rule)

또한 시간 t에서의 셀의 상태와 네이버후드의 상태 함수, 그리고 전이규칙에 따라서 t+1의 셀 상태로 되어지는 셀룰라 오토마타 기본구조는 다음 식(2-2)와 같은 함수 형태로 표현할 수 있다.

$$S_{ij}^{t+1} = f(S_{ij}^t, \Omega_{ij}^t, T^t) \quad (2-2)$$

S_{ij}^{t+1} : 시간 t+1에 대한 ij의 상태

S_{ij}^t : 시간 t에 대한 ij의 상태

Ω_{ij}^t : ij의 네이버후드에 대한 상태

T^t : 전이규칙을 정의한 함수

다음과 같으며, IF, THEN, ELSE와 같은 논리적 상태(statement)와 AND, OR 등의 논리적 연산(logical operation)등을 이용해 이루어짐을 알 수 있다.

IF any cell $\{x \pm 1, y \pm 1\}$ is already developed

THEN $P_d\{x, t\} = \sum_{i, j \in \Omega} P_d\{i, j\} / 8$

&

IF $P_d\{x, y\} >$ some threshold value

THEN cell $\{x, y\}$ is developed with some other probability $\rho\{x, y\}$

$P_d\{x, y\}$: 셀 $\{x, y\}$ 에 대한 개발 가능성

$\{i, j\}$: 자신을 포함한 무어의 네이버후드(Moore Neighborhood)내의 모든 셀

4. 공간분석에서 셀룰라 오토마타의 의의

셀룰라 오토마타를 공간분석에 적용할 수 있는 것은 복잡성(complex)을 띠고 있는 공간적 성격을 초기 상태와 파라메타 설정 및 전이규칙의 설정에 따라서 다른 결과를 유도해 낼 수 있기 때문이다. 또한 이를 이용한 공간 분석은 보다 많은 가능성에 대한 시뮬레이션이 가능하다. 즉, 도시라는 공간 자체가 다양한 변수를 가지고 있기 때문에 그 다양성을 최대한 반영할 수 있고 그 결과를 보여줄 수 있는 모델의 구현이

가능하다는 것이다. 또한 상호작용의 결과를 시각적으로 확인할 수 있기 때문에 공간 분석에서의 유용성이 매우 높다(윤정미, 2002).

공간분석에 셀룰라 오토마타를 적용함으로써 얻는 장점은 첫째, 시간(spatial-temporal) 분석이 가능하다는 점이다. 셀룰라 오토마타는 시간에 따른 반복적 연산을 하는 특징이 있어 여러 시기의 변화를 분석 할 수 있는 시계열적 프로세싱이 가능하며, 공간을 단순화 하지 않고 모델링함으로써 공간성(spatiality)을 유지할 수 있다.

둘째, 셀룰라 오토마타는 네이버후드 즉, 이웃 셀을 이용하기 때문에 보다 현실적인 모델링이 가능하며, 이러한 특성과 공간상의 변화를 시각적으로 표현하는 것이 가능하다.

셋째, 위성영상과의 호환성(compatibility)을 들 수 있다. 위성 데이터의 영상처리를 통하여 셀룰라 오토마타의 기본 구성요소인 그리드 셀 공간을 형성할 수 있다.

넷째, 셀룰라 오토마타는 2차원 그리드 공간에서 구현되기에 래스터 GIS의 연산 응용으로 구현이 가능하다는 것이다. 즉, 셀룰라 오토마타는 위치와 시간에 따른 함수에 의해 정의되기 때문에 지리학적 공간에서 구현되는 모델과 유사한 수학적 표현이 가능하다. 그리고 셀룰라 오토마타의 변화규칙은 GIS에서 지원하는 함수 및 모듈과 구조적으로 거의 동일하기 때문에 GIS내에서 더욱 효과적으로 구현이 가능하다.

다섯째, what-if 기능을 이용하여 미래 계획 등을 입력요소로 시뮬레이션을 구현할 수 있다. 이러한 셀룰라 오토마타를 도입함으로써 보다 강력하고 유연성 있는 공간모델링이 가능하다.

제2절 기존연구 검토

1. 국외연구

1) Clark와 Gaydos의 셀룰라 오토마타 시뮬레이션

Clark과 Gaydos는 인위적 토지이용에 기인하는 환경영향의 예측을 실행하는 모델로 시가지 확산을 시뮬레이션하는 모델을 개발하였다(Clark and Gaydos, 1997). 모델의 가장 큰 특징은 도시성장의 형상에 따라 억제 파라메타를 변경하는 자기 수정형 모델이라는 것이다. 셀의 상태(state)는 도시와 비도시로 단순히 나누고 인접은 Moore의 인접, 셀 크기는 300m×300m으로 정의하고 모델링 하였다. 전이규칙은 전체적으로 도시지역 셀들의 분포가 바깥으로 확산되는 것을 결정하는 확산계수(Diffusion factor), 새로이 발생된 독립된 취락이 그 자체의 성장 사이클을 갖게 될 가능성을 나타내는 번식계수(Breed factor), 기존 도시지역으로부터 얼마나 유기적 확산이 일어날 것인가를 통제하는 확대계수(Spread factor), 취락이 가파른 경사지역으로 확대될 가능성에 영향을 미치는 경사인자(Slope resistance factor), 새로운 도시지역이 도로를 따라 성장하려는 성향을 통제하는 도로영향인자(Road Gravity factor)등의 5가지 조정계수로 설정하고 각 계수들의 조정을 통하여 전체 모델을 제어하였다(최창영, 2001).

2) Batty와 Xie의 셀룰라 오토마타 모형

Batty와 Xie는 셀룰라 오토마타의 기본적 개념을 기반으로 하여 CA를 도시모델에 일반화하고 그 응용 모델을 개발하였다(Batty and Xie, 1994, 1999). 셀의 상태를 도시 셀과 비도시 셀로 나누고, 인접을 밀접된 지역은 근린($\Omega 1$), 새로운 활성셀이 생성되는 영역($\Omega 2$), 적용지역 전체를 지역($\Omega 3$)로 나눠서 모델을 개발하였다. 전이규칙은 탄생 규칙, 생존 규칙으로 구분하였고 셀 크기는 50m×50m으로 정의하였다.

여기서 정의된 변이 규칙인 생존 규칙과 탄생 규칙에 착안해서 본다면, 모델의 구동원리는 다음의 수식으로 간단하게 나타낼 수 있다(최창영, 2001).

$$\text{If } n_{ij}(t) = 1 \text{ and if } \text{ran}(1) < \beta, \text{ then } b_{ij}(t+1) = 1 \quad (2-3)$$

$$\text{If } n_{ij}(t) = 1 \text{ and if } \text{ran}(1) < \sigma, \text{ then } n_{ij}(t+1) = 1 \quad (2-4)$$

여기서,

식(2-3)은 탄생률 식, 식(2-4)는 생존률식

n_{ij} : 당해 셀 (i,j)의 state

1 : n_{ij} 가 도시 셀인 상태

0 : n_{ij} 가 비도시 셀인 상태

b_{ij} : 새롭게 탄생할 가능성을 가진 셀 (i,j)

$\text{ran}(1)$: 0에서 1까지의 난수

β : 외생적으로 주어지는 탄생률

σ : 외생적으로 주어지는 생존률

t : 시간

새롭게 탄생할 가능성을 가진 셀이 $n_{ij}(t+1) = 1$ 로 되었을 때, 그 셀의 활성화 여부는 결국 그 셀의 위치에 달려있다.

먼저, 어떤 활성화 셀 ij의 영역(Ω_2)의 내부에서 새롭게 탄생할 가능성이 있는 셀 k가 탄생 셀로 선택될 확률은 다음의 식(2.5)와 같다. 이것이 영역(Ω_1)에 설정되어 있는 밀집의 조건과 영역(Ω_3)에 설정된 개발에 영향을 미치는 지리적 제약을 만족시키면 비로소 하나의 새로운 활성 셀로 탄생되는 것이다.

$$P_{ijkl} = \frac{\theta_{ijkl} d_{ijkl}^{-\alpha}}{\sum_{mn \in \Omega_2} \theta_{ijkl} d_{ijkl}^{-\alpha}} \quad (2-5)$$

여기서,

P_{ijkl} : 친 셀 ij에서 子 셀 kl을 선택할 확률

kl : 子 셀

d_{ijkl} : 셀 kl의 셀 ij로 부터의 거리

α : 거리감소 파라메타

θ_{ijkl} : 방향에 따른 변화량

Ω_2 : 근방의 영역

2. 국내연구

국내에서의 셀룰라 오토마타를 이용한 도시연구는 그 역사가 짧다고 할 수 있다. 국내에 셀룰라 오토마타를 이용한 도시성장이 본격적으로 소개된 것은 강영욱·박수홍(2000)의 연구와 정재준·김용일(2000)의 연구에서부터이다. 도시성장에 관한 연구 방법은 다양한 분야의 기초데이터를 필요로 할뿐만 아니라 학문의 성격 또한 학제간 학문의 성격이 다분하다. 또한 도시성장이라는 용어자체가 도시의 물리적·형태적 성장 또는 확산 등 형태론적 시각의 성장뿐만 아니라, 도시의 인구증가, 토지이용의 변화, 도시경계의 성장 등 사회경제적 측면의 도시성장을 의미하기도 한다.

강영욱·박수홍(2000)은 서울대도시지역을 대상으로 1957년부터 1997년까지의 도시 성장에 관한 자료를 구축하고, 셀룰라 오토마타 개념에 기초하고 있는 도시성장모델(UGM)을 이용하여 1998년부터 2050년까지의 서울대도시지역의 도시성장을 예측하였다. 정재준 외(2001)도 Clark의 도시성장모델(UGM)을 이용하여 수도권 지역의 도시성장을 예측하였다. 그러나 UGM모델은 우리나라와 같이 단기간에 도시성장을 이룬 곳에서는 그 적용이 적합하지 않았다. 즉, 그간의 도시성장추세를 반영하여 미래의 도시성장을 예측하기 때문에 도시면적을 과도하게 확장시키는 경향이 있다. 인구의 수도권집중을 방지하려는 다양한 노력과 함께 2030년 이전에 절대인구가 감소한다는 우리나라의 현실을 감안할 때, 지금까지의 추세로 도시가 성장할 수 없을 것이다. 이에 정재준(2001)은 추계인구로부터 도시로 성장할 지역의 총량을 예측한 뒤, 총량의 공간적 분포에 관한 측면에 중점을 둔 도시성장분석 및 예측을 위한 셀룰라 오토마타모델을 개발하였다.

최창영(2001)은 진주시를 대상으로 배티의 모델을 변형하여 실제 도시성장과 시뮬레이션된 도시성장과의 관계를 분석하였으며, 윤정미(2002)는 퍼지와 AHP를 이용하여 부산시를 대상으로 도시성장을 시뮬레이션 하였다. 최대식(2003)은 토지이용정책이 실제 토지이용에 미치는 영향을 평가하기 위한 공간모델로서의 셀룰라 오토마타 모형을 정립하고, 이를 위한 주된 방법론으로서 밀도결합형 셀룰라 오토마타 모형을 정립하고, 이를 위한 주된 방법론으로서 밀도결합형 셀룰라 오토마타 모형을 개발하였으며, 개발제한구역 제도의 시가지확산 억제효과를 평가하였다.

정재준(2004)은 기존의 도시성장과정에서 산출된 도시성장유형을 토대로 도시성장 예측시기별 인구(도시면적)를 입력요소로 하여 셀룰라 오토마타 기반의 도시성장 예

측모델을 개발하였으며, 이를 이용하여 대전광역시를 사례지역으로 하여 도시성장분석과 도시성장을 예측하였다. 이성호 외(2004)는 1987년~2001년을 중심으로 셀룰라 오토마타를 이용한 김해시의 도시성장모형에 관한연구를 하였다. 이 연구에서는 과거 김해시의 도시성장과정을 분석함으로써 김해지역에 적합한 셀룰라 오토마타의 네이비후드 및 전이규칙을 결정하였다.

윤정미·이성호(2006)는 셀룰라 오토마타를 이용하여 부산시와 김해시 그리고 진해시의 도시성장과정을 분석하고 분석을 통하여 도시성장 패턴을 정립하였다. 연구결과로 부산지역과 부산시 주변도시인 김해시와 진해시의 도시성장패턴은 서로 다른 것으로 분석되어 각 지역적 조건에 따라 도시성장 패턴이 다른 것으로 도출하였다.

안정욱(2007)은 수도권을 사례로 CA-Markov 모형구축 적용을 통하여 도시성장을 예측하였다. 세부적으로 모형의 구축과정을 4단계로 구분하고, 1단계는 도시의 사회·경제적 지표라고 할 수 있는 인구·주택·고용을 2025년까지 예측하였고, 2단계는 모형에 적용될 도로, 경사, 표고, 개발제한구역, 보호구역 등에 대한 공간데이터베이스를 구축하고, 3단계는 CA-Markov 모형을 적용하여 2025년 수도권의 변화를 예측하였다. 마지막으로 4단계에서는 수도권이 성장함에 있어서 중요한 변수로 작용하고 있는 개발제한구역제도 등을 시나리오로 설정하여 모형에 적용하였다.

제 3 장

대전 도시성장 특성

제1절 인구 및 경제부문

제2절 도시개발사업과 도시계획상 외연적 확산

제3절 도시공간구조 특성 변화

제3장 대전 도시성장 특성

제1절 인구 및 경제 부문

1. 인구 및 세대수 성장변화

대전시의 도시성장은 내부적인 요인뿐 아니라 외부적인 요인 즉 제도적인 요인으로 성장을 거듭해오고 있다. 실제로 대전시 1949년 시 승격이후 여러 차례의 행정구역 확대개편이 이루어졌다. 그중 도시의 면적확대가 크게 이루어진 시기는 1963년, 1983년, 그리고 광역시(직할시) 승격이 이루어진 1989년이다.

대전시의 도시성장을 인구와 가구수의 변화를 중심으로 살펴보면, 전반적으로 대전시는 도시성장 단계에서 3단계를 지나 4단계로 진입하고 있음을 알 수 있으며, 아울러 저성장 시대에 도래하고 있음을 시사하고 있다.

도시인구수에서는 1965년 307.4천명에서 1990년 1,062천명, 그리고 2007년 현재 1,475.6천명으로 과거 40여년동안 연평균 9.05%로 매우 높은 성장률을 보이고 있다. 시기별로는 1970년대 4.9~5.7%, 1980년대 6.6~4.5%, 1990년대 3.9~1.9%, 2000년대 0.87%대로 1980년 후반 이후 증가률이 낮아지는 경향을 보이고 있다.

한편, 세대수에서는 1965년 51,866가구에서 1990년 262,224가수, 그리고 2007년 현재 525,880가구로 과거 40여년동안 연평균 21.76%로 매우 높은 성장률을 보이고 있다. 시기별로는 1970년대 5.67~7.08%, 1980년대 9.86~7.56%, 1990년대 8.92~3.18%, 2000년대 2.82%대로 200년 이후 증가률이 낮아지는 경향을 보이고 있다.

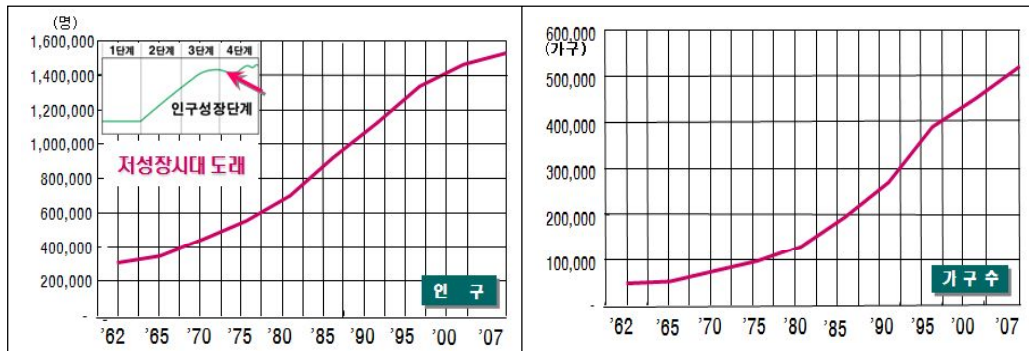
이와 같이 대전시는 과거 40여년동안 행정구역의 확대개편에 따른 지역의 확장과 더불어 급속한 인구증가와 세대수가 증가하였다. 최근 고도 지식기반사회에 접어들면서 저출산 고령화 사회라는 사회적 변화의 영향으로 인구성장의 둔화 추세를 보이고 있을 뿐만 아니라, 도시경제의 침체 및 미약한 생산기능으로 인한 도시의 저성장을 경험하고 있다.

<표 1> 대전광역시 인구 및 가구수의 성장변화(1965~2007)

(단위 : 천명, 가구, %)

구분	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2007	
인구수	307.4	406.4	506.7	651.6	866.6	1,062.0	1,268.4	1,390.5	1,475.6	
세대수	51,866	73,315	94,107	127,431	190,270	262,224	379,121	439,312	525,880	
시기별	'65-' 70	'70-' 75	'75-' 80	'80-' 85	'85-' 90	'90-' 95	'95-' 00	'00-' 07	'65-' 07	
연평균 증가율	인구	6.40	4.90	5.70	6.60	4.50	3.90	1.90	0.87	9.05
	세대	8.27	5.67	7.08	9.86	7.56	8.92	3.18	2.82	21.76

자료 : 대전광역시, 대전통계연보, 해당년도.



<그림 4> 대전광역시 인구 및 가구수 성장 변화도

2. 산업구조의 성장변화

대전시의 산업구조는 3차 산업 비중이 높은 전형적인 대도시형으로 볼 수 있다. 하지만 2차 산업인 제조업의 비중이 상대적으로 낮고, 3차 산업인 서비스업 비중이 절대적으로 높아 지역경제력이 다소 낮은 특성을 보이고 있다.

대전시의 총 취업자는 1970년 118천명에서 1990년 400천명, 2000년 579명, 그리고 2006년 현재 646명으로 1970년 이후 약 5.5배가 증가하였다. 산업별로는 우선 1차 산업은 1970년 1.7%에서 1990년 7.0%로 급격히 상승하였고, 2000년 2.6%, 그리고 2006년 현재 1.6%로 낮아졌다. 2차 산업은 1970년 28.0%에서 1990년 23.1%, 2000년 13.7%,

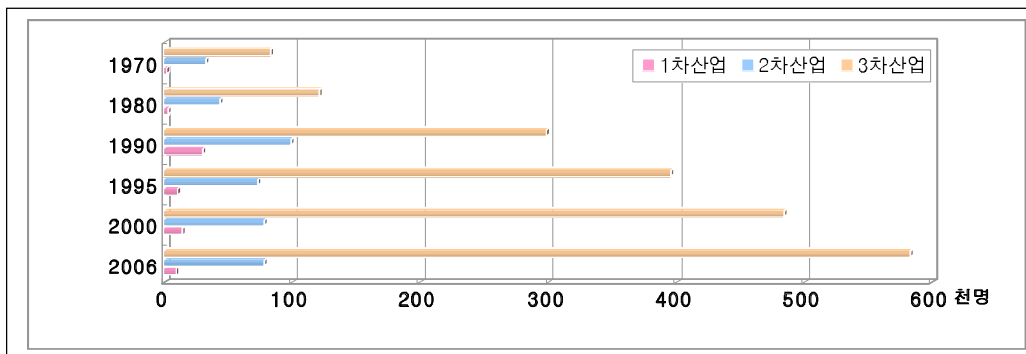
그리고 2006년 현재 11.6%로 낮아졌다. 그리고 3차 산업은 1970년 70.3%에서 1990년 69.9%, 2000년 83.7%, 그리고 2006년 현재 86.8%로 높아졌다.

<표 2> 대전광역시 산업구조의 성장변화(1970~2006)

(단위 : 천명, %)

연도별	총 취업자	연평균 증감율	1차 산업		2차 산업		3차 산업	
			취업자수	구성비	취업자수	구성비	취업자수	구성비
1970	118	-	2	1.7	33	28.0	83	70.3
1980	168	3.6	3	1.8	44	26.2	121	72.0
1990	428	9.8	30	7.0	99	23.1	299	69.9
1995	481	2.4	11	2.3	74	15.4	396	82.3
2000	578	3.7	15	2.6	79	13.7	484	83.7
2006	671	2.5	10	1.5	78	11.6	583	86.9

자료 : 대전광역시, 대전통계연보, 해당년도.



<그림 5> 대전광역시 산업구조 성장 변화도

제2절 도시개발사업과 도시계획상의 외연적 확산

1. 도시개발사업에 따른 도시의 확장

대전은 1904년 경부철도가 개통을 계기로 신도시가 형성된 후 급속하게 확장을 거듭하여 왔으며 행정구역의 확장뿐만 아니라 각종 도시개발사업의 추진을 통하여 도시 기반시설의 확충 등으로 도시성장이 지속적으로 이루어져 왔다.

대전시의 성장발전은 토지구획정리사업, 택지개발사업, 주거환경개선사업 및 산업단지개발사업 등이 주류를 이루고 있으며, 최근에는 기존시가지에 대한 주거 및 도시환경의 재정비사업 등이 추진되고 있어 도시구조의 변화 예상된다.

1) 토지구획정리 사업

토지구획정리사업은 시가지 구역 안에서 미개발된 시가지의 일정구역내의 토지 소유자로부터, 일정율의 토지를 공평하게 무상 제공받아 이를 재원으로 하여 당해 사업시행지 내에 필요로 하는 도로나 공원 등의 공공시설을 설치·변경하고 이와 병행하여 잔여 토지의 전부는 권리관계의 변동 없이 공공시설에 맞추어 구획, 지목 또는 형질을 변경하여 각기 종전 토지의 위치나 면적 등을 기준으로 환지하는 것이다(대전광역시, 2004).

1960년대에 경제개발계획에 따라 산업화 및 도시화로 인한 급격한 도시인구의 증가는 주택 등 제반 도시개발시설의 부족현상을 초래하였으며 이를 해소하기 위한 도시개발사업으로 1960년대부터 택지개발사업이 시행되기 전인 1980년대 이전까지 토지구획정리사업이 활발하게 이루어 졌다.

1980년대까지 토지구획정리사업으로 조성 완료된 시가화 면적은 25.62km²에 달하고 있으며, 1990년 이후로는 대규모 도시개발 사업이 공영개발 방식에 의한 택지개발사업으로 대부분 추진됨에 따라 환지방식에 의한 구획정리사업으로 추진하는 것이 상대적으로 적합한 지구에서 시행하였다.

1990년대부터 2003년까지 사업이 완료된 지구는 정림2, 신탄2, 봉명, 장대, 안양, 등 5개 지구로 면적은 2.74km²에 그쳤으며, 2007년 현재 추진 중에 있는 지구는 낭월, 대

성, 사정, 복수, 흑석, 교촌지구 등 6개 지구 1.96km²가 있으며 계획지구로는 학하, 덕명, 관저4, 용운 지구 등 4개 지구에 2.53km²의 면적으로 이들 지구는 자연적으로 형성된 외곽지역의 기존 주택지역을 대상으로 하고 있으며 이들 사업이 모두 완료될 경우, 총 면적은 32.85km² 규모가 될 것이다.

<표 3> 대전시 시기별 토지구획정리사업 추진현황

(단위 : 개소, km²)

연 대	60년대	70년대	80년대	90년대	2000년대	추진 및 계획지구
지구수	3	13	9	2	3	10
지구명	대흥제1, 중동, 선화	용두, 삼성문화, 문창대동, 유천도마1, 도마2,3, 신탄1, 용진유성1, 태평	동부, 자양오정, 갈마진잠대동유성2, 용정흥도, 산성	정림2, 신탄2	봉명, 장대, 안영	낭월, 대성사정, 복수, 흑석, 교촌, 학하, 덕명, 관저4, 용운
규 모	2.34	15.28	7.98	1.4	1.34	4.91

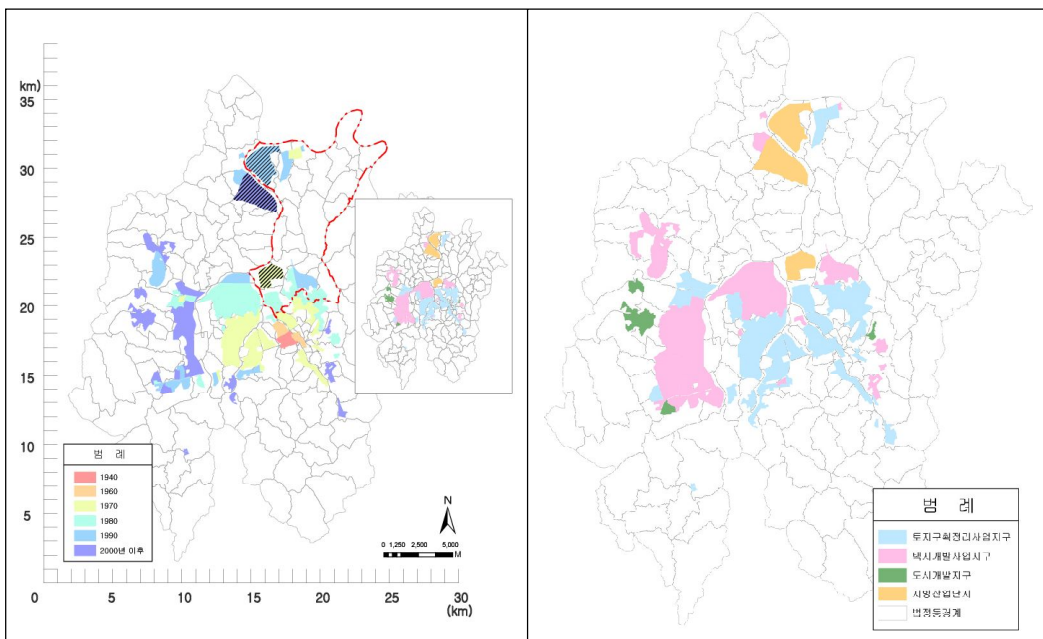
2) 택지개발사업

70년대 이후 산업발전에 따른 인구의 도시집중 가속화로 주택난 해소를 위해서는 한정된 토지를 고밀도로 이용할 수밖에 없었다. 따라서 대규모 공동 주택 단지를 조성하여 소득향상에 따른 도시민의 주택소유 욕구 충족과 사업지구와 연계된 도로, 공원 등의 도시기반시설을 확충하기 위한 목적으로 1980년 택지개발촉진법이 제정되었다.

대전시에서도 1980년대부터 현재까지 완료된 택지개발사업지구는 총 20개 지구에 17.06km²로 나타났다. 이중 1980년대에는 중리, 용운지구 등 6개 지구, 2.01km² 이었으며 1990년대 이후에는 둔산, 노은지구 등 14개 지구 15.05km²이고 2005년 현재 사업추진 중에 있는 지구는 가오, 노은2지구 등 2개 지구 2.19km²가 있으며 계획 중인 서남부1단계 6.05km²와 서남부1단계사업완료(2011년)이전에 착수가 예상되는 서남부2, 3단계 지역의 9.31km²를 모두 포함하면 34.61km² 규모이다.

3) 기타 주거환경개선 사업

도시 저소득층의 생활개선을 위해 토지구획정리사업 부적합 지역에서 실시하는 주거환경개선사업은 도시내부정비 차원에서 병행하여 시행되고 있다. 1990년대 시작하여 현재까지 총 24개 지구 2.0km²의 사업을 시행 완료 또는 진행 중에 있으며 또 향후 추진계획지구가 15개, 1.64km²에 이르고 있다.



<그림 6> 대전시 도시개발 현황도

2. 기존시가지 재정비 사업계획

1) 도시 및 주거환경정비예정구역

대전시는 기존시가지에 대한 정비를 위하여 2006년 “대전광역시 도시 및 주거환경정비 기본계획”을 수립하고, 도시정비에 대한 미래상 제시뿐만 아니라, 무질서한 정비사업 방지와 주변과 조화되는 개발을 유도하고 있다.

이와 같이 기존시가지의 재정비는 토지이용 상황의 변화와 고도화가 수반됨에 따라 신규토지자원의 이용에 대하여 영향을 미치게 되므로, 향후 도시성장 및 도시의 공간적 확산 예측시 고려되어야 할 것이다.

대전시가 계획하고 있는 기존시가지에 대하여 도시 및 주거환경정비예정구역으로 선정된 구역과 면적은 202개 11.72km² 규모이다. 이는 시가지 면적의 약 12.6% 수준으로 비교적 높은 수준이다.

2) 도시재정비촉진사업

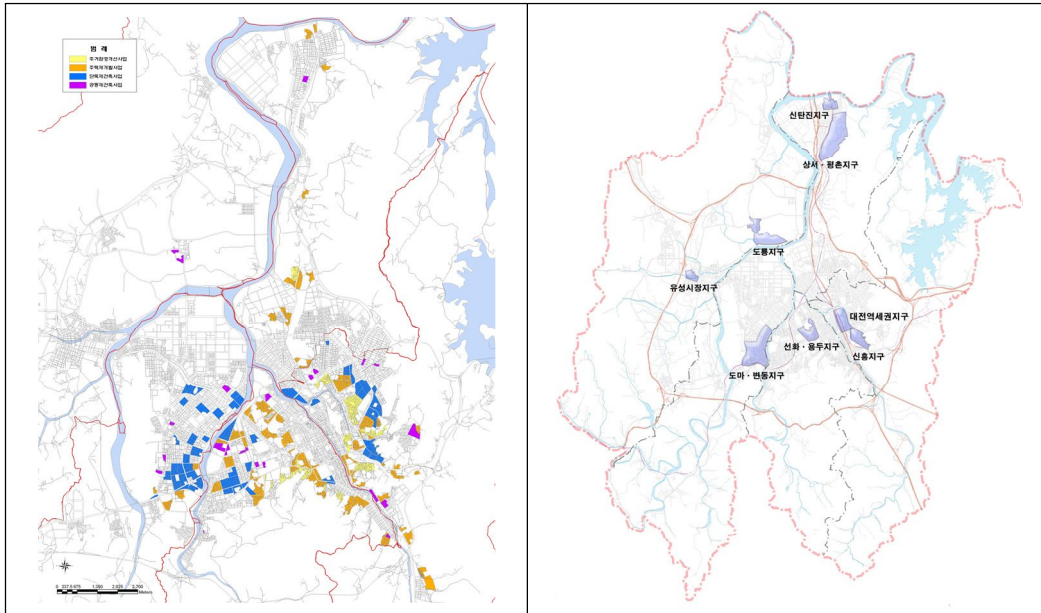
대전광역시시는 도시균형발전 실현을 위해 대전역세권 재정비촉진지구를 비롯하여 7개 지구에 대한 재정비촉진계획을 수립 중에 있고, 엑스포재창조를 위한 도룡 중심권 도시재정비촉진지구가 지정되어 촉진계획이 수립될 예정이다.

도시재생사업은 단순한 환경정비 차원을 넘어 도시에 대한 새로운 활력을 불어넣는 접근방법으로 합리적인 도시공간구조 형성 및 균형발전을 유도하는 하는 중추적인 역할을 하게 될 것이다.

<표 4> 도시재정비촉진사업지구 현황

지구명	위치	규모 (기간)	유형	사업기간	주기능	비고
대전역세권 재정비촉진지구	동구 소재동, 신안동 일원	887천㎡ '08~'15	중심지형	2008~ 2015	상업, 업무 주거 복합	촉진계획 수립 중
상서·평촌 도시재정비촉진지구	대덕구 평촌동 일원	2,680천㎡ '07~'20	중심지형	2008~ 2020	산업, 주거 문화복합	촉진계획 수립 중
신흥 도시재정비촉진지구	동구 신흥동 일원	682천㎡ '07~'20	주거형	2008~ 2020	주거, 문화 복합	촉진계획 수립 중
선화·용두구역 도시재정비촉진지구	중구 선화동 용두동 일원	739천㎡ '07~'20	주거형	2008~ 2020	주거, 상업 업무 복합	촉진계획 수립 중
도마변동 도시재정비촉진지구	서구 도마동 변동 일원	2,213천㎡ '07~'20	주거형	2008~ 2020	주거, 상업 복합	촉진계획 수립 중
유성시장지구 도시재정비촉진지구	유성구 장대동 일원	338천㎡ '07~'20	중심지형	2008~ 2020	상업, 주거 복합	촉진계획 수립 중
신탄진지구 도시재정비촉진사업	대덕구 신탄진동 일원	413천㎡ '07~'20	중심지형	2008~ 2020	상업, 주거 복합	촉진계획 수립 중
도룡 중심권 도시재정비촉진지구	유성구 도룡동 일원	1,446천㎡ '08~'20	중심지형	2008~ 2020	업무·상업 산업 복합	지구지정

자료 : 대전광역시, 도시주택국 내부자료.



<그림 7> 주거환경정비사업 예정구역도 <그림 8> 도시재정비촉진지구 현황도

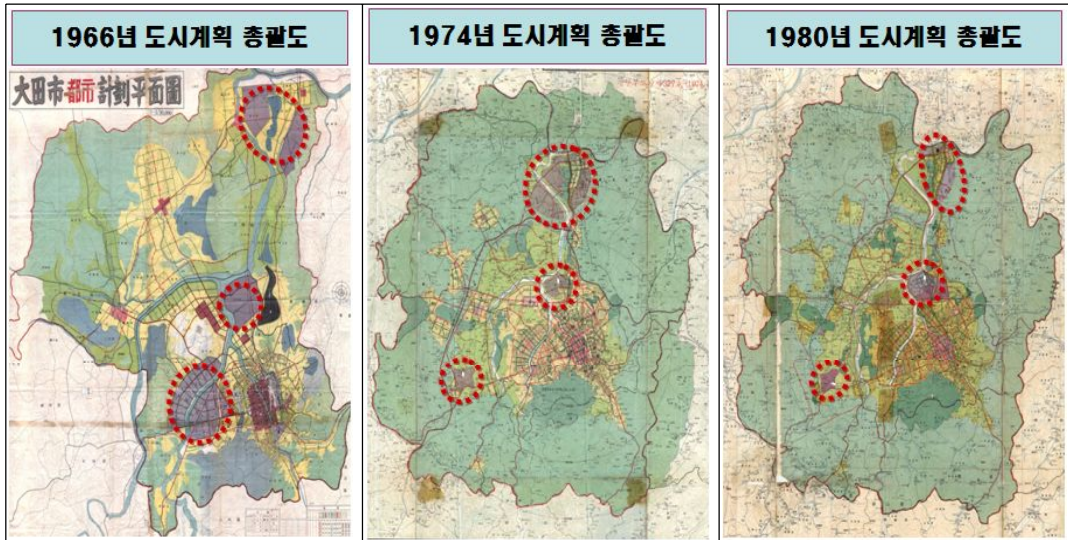
3. 도시계획상의 도시의 외연적 확산

도시성장 예측을 위해서는 과거 대전시가 장기적인 도시발전을 구상을 제시한 도시계획총괄도 분석을 통하여 도시발전 및 외연적 확산 방향과 도시계획적으로 접근한 도시성장 패턴을 이해할 필요가 있다. 이는 향후 토지이용 등의 변화 특성을 예측하는 데 시사점을 주게 될 것으로 판단된다.

대전시가 수립한 1960년대 도시계획 총괄도상에서 나타난 공간적 확산 특성은 중심부의 상업지역과 주변부의 공업지역이 남북으로 배치되고 있으며, 자연적 요소인 하천을 따라 공업지역이 계획되고 있다. 이러한 토지이용상의 기조는 현재까지도 유지되고 있는 것이 특성이다.

전반적으로 도시계획 총괄도상에서 나타난 도시성장 방향은 도심의 상업지역을 중심으로 도시주변 점이지대(공장지대)가 형성하고 있음을 알 수 있으며, 1970년부터 1980년대 접어들면서 계획적인 도시의 외연적 확대에 의하여 공업용도 지역에 주거침입의 변화로 대도시로의 모습을 갖추고 있음을 알 수 있다.

특히, 1973년 도시계획적으로 도시의 외연적 확산을 방지하기 위해서 도입된 개발 제한구역 설정으로 인하여 토지이용의 제약이 불가피하게 되어 도시의 성장 축과 방향에도 상당한 영향이 있었음을 알 수 있다.



〈그림 9〉 대전시 도시계획총괄도(1966, 1974, 1980년)

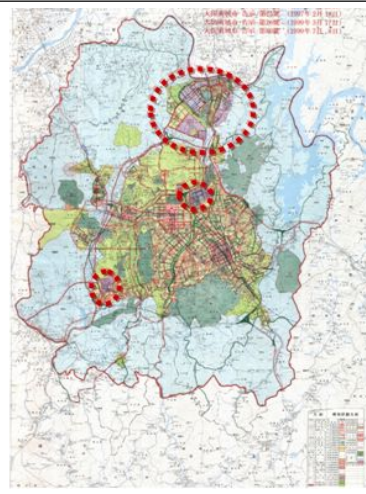
1990년대 들어 대전시는 도시의 공간적, 기능적 확대를 대비한 대도시형 도시공간 구조를 재편하는 도시계획을 수립하였고, 특히 1993년 대전엑스포 이후 토지이용 등의 변화를 계획적으로 수용할 뿐만 아니라, 도시의 물리적 확대를 바탕으로 한 도시 기능의 질적 변화를 모색하기도 하였다.

2000년대 개발제한구역 조정 등 도시의 외연적 확대의 가능성을 한층 높아졌을 뿐만 아니라, 산업구조 고도화의 영향으로 대규모 제조업 공장이 이전함에 기존의 공업 지역이 주거지역으로 변경됨에 따라 도시내 토지이용의 변화를 경험하였으며, 도시 기능 측면에서도 제조업 중심의 지역이 제조업과 주거지역의 혼재되는 결과를 가져와 전반적으로 직주분리에서 직주근접이라는 토지이용으로 복합용도개발을 지향하고 있음을 알 수 있다.

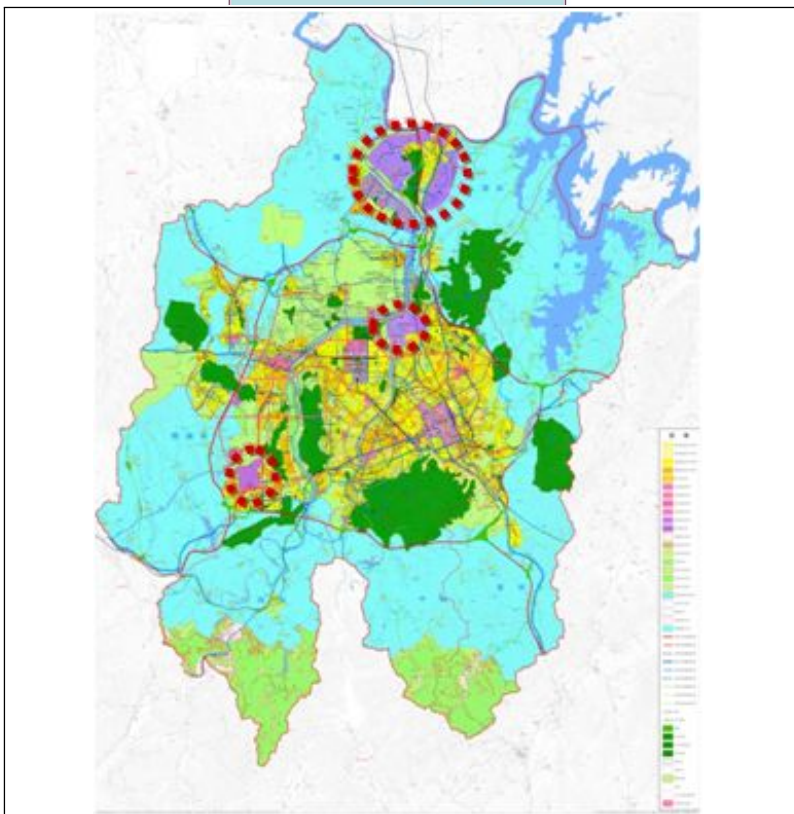
1992년 도시계획 총괄도



1999년 도시계획 총괄도



2007년 도시계획 총괄도



<그림 10> 대전시 도시계획총괄도(1992, 1999, 2007년)

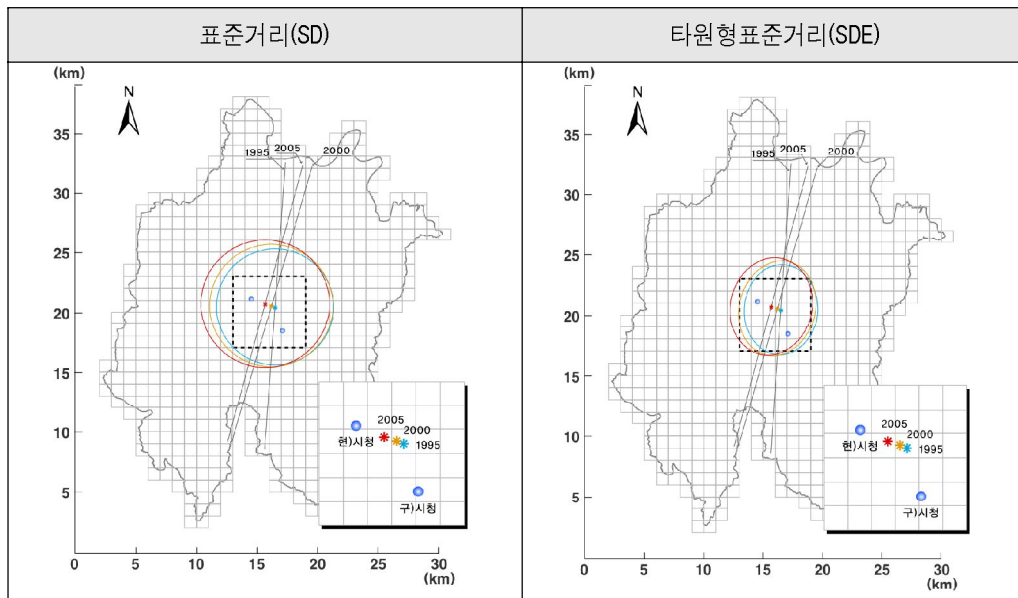
제3절 도시공간구조 특성 변화

1. SD/SDE로 본 도시공간구조 변화

1) 인구의 SD/SDE 변화

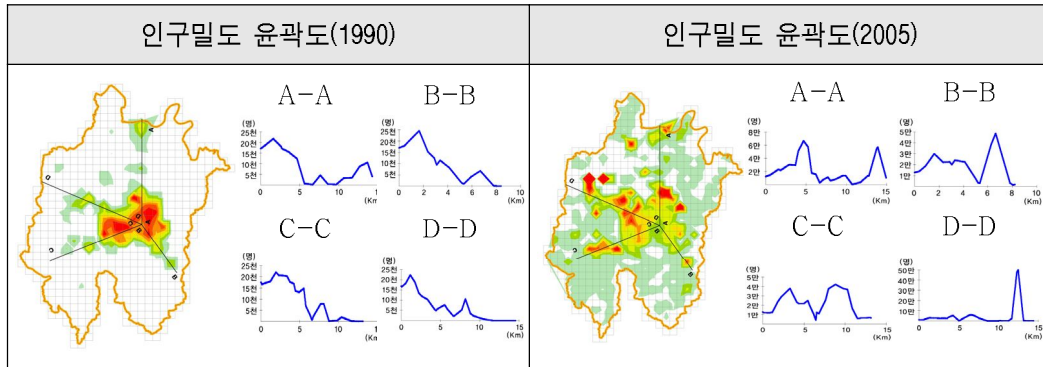
도시공간구조는 도시의 성장특성을 이해하는데 많은 도움을 줄 뿐만 아니라, 도시 성장 예측에 있어서도 시사점을 주고 있다. 특히 도시성장의 중심지로부터 중심점의 이동은 향후 도시성장 패턴 및 방향성을 알 수 있다.

인구의 중심점 이동을 보면, 도시공간구조 상에서 동남부에서 서북부로의 이동패턴을 보이고 이는 것으로 분석되었다. 이는 도시발전 방향이 중앙로와 기존도심지와 유성지역을 잇는 계룡로를 따라 중심지가 이동·확산되고 있음을 알 수 있다. 표준편차거리는 1995년 4.84km에서 2005년 5.31km로 10년 동안 약 0.5km 정도의 인구분포가 확산된 것을 알 수 있다. 이를 타원형(ellipse) 개념을 적용하여 분석한 결과 1995년 장축(남북)이 3.72km, 단축(동서)이 3.09km에서 2005년 장축(남북)이 4.05km, 단축(동서)이 3.42km에서 타원형을 유지하고 있는 것으로 분석되었다.



<그림 11> 인구의 SD/SDE 변화도

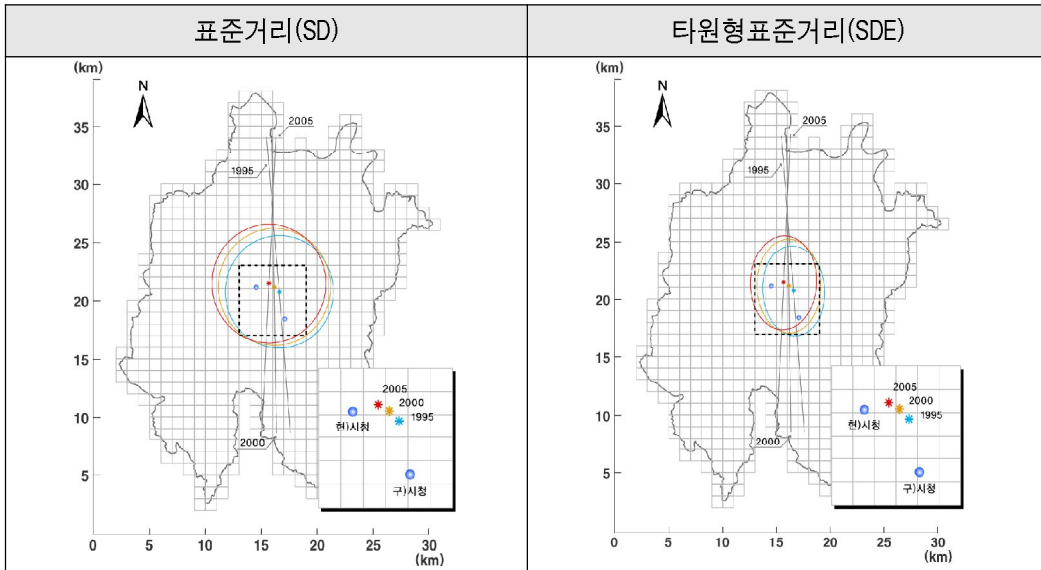
한편, 도심으로부터 거리 증가에 따른 인구밀도의 율곽도를 시계열적으로 분석한 결과, 1990년은 대체적으로 중심부에 인접한 지역에 인구밀도가 높은 형태로 전형적인 단핵구조를 보였고, 다만 도심지의 공간적 특성으로 인하여 방향별로 편차가 나타나고 있음을 알 수 있다. 2005년의 경우, 중심부는 인구밀도가 급격히 낮아진 반면, 외곽지역은 매우 높게 나타나 도시성장에 따른 주거공간의 외연적 확산이 이루어졌음을 알 수 있다. 이는 1990년 중반 이후 둔산 신시가지 개발과 2000년대 초반 이루어진 노은 택지개발사업 등의 영향이 큰 것으로 나타나 대전의 도시공간구조 형성은 동남에서 동북-서북-서남 방향으로 상당히 높은 인구밀도를 보이고 있음을 엿볼 수 있다.



<그림 12> 인구밀도 율곽도

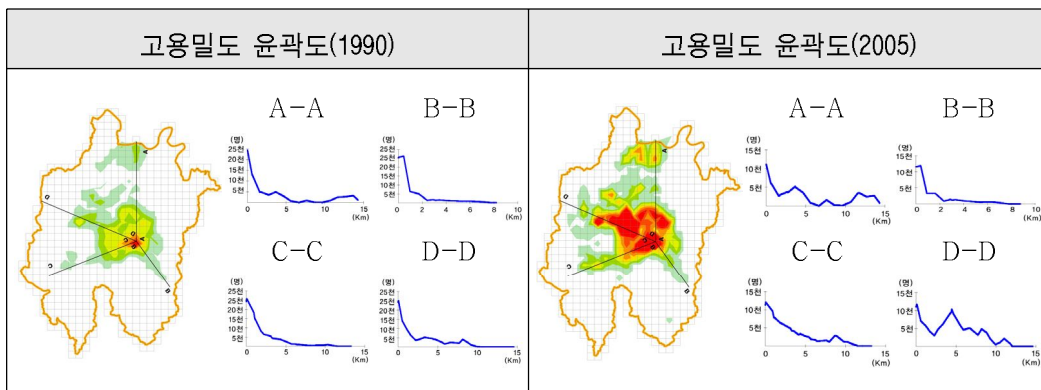
2) 고용의 SD/SDE 변화

고용 중심점 이동을 보면, 전반적으로 동북쪽에서의 이동·확산되고 있으며, 표준편차거리는 1995년 4.83km에서 2000년 5.02km, 2005년 5.33km로 10년 동안 거의 움직이지 않았음을 알 수 있다. 반면에 고용확산의 방향성을 시사하고 있는 X축에 대한 주축선 각도는 1995년 274.79°에서 2005년 357.15°로 정북방향에 근접하고 있는 것으로 분석되었다. 이는 대전 1·2산업단지의 공간적 중심지에 입지한 것과 북쪽에 대전 3·4산업단지가 입지한 것의 영향으로 볼 수 있다. 또한 고용의 공간적 확산의 정도는 1995년 장축(남북)이 3.88km, 단축(동서)이 2.87km에서 2005년 장축(남북)이 4.05km, 단축(동서)이 3.07km에서 타원형을 유지하고 있는 것으로 분석되었다.



<그림 13> 고용의 SD/SDE 변화도

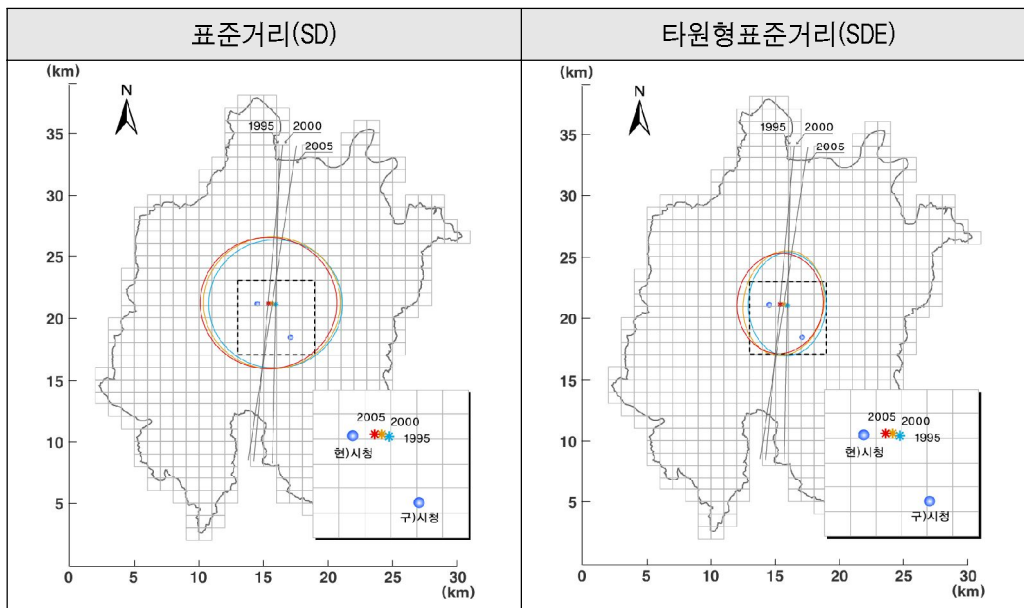
한편, 고용밀도의 경우, 1995년은 대체적으로 중심부에서 높은 밀도를 보이고 있어 단핵구조형태로 중부에 약 2km권의 중심권을 가지고 있는 것으로 분석되었다. 2005년의 경우, 중심부는 고용밀도가 낮아진 반면, 중심부 서측으로 약 5km권에 새로운 중심부가 형성된 것을 알 수 있다. 이는 둔산 신시가지개발의 영향으로 풀이할 수 있으며, 전체적으로 대전의 고용밀도로 본 도시공간구조는 기존도심권, 둔산 도심권, 그리고 대전 1.2산업단지 중심으로 형성된 트라이앵글을 그리고 있으나, 중심지간에 상호 연계축 발달은 다소 약함을 알 수 있다.



<그림 14> 고용의 SD/SDE 변화도

3) 개발밀도의 SD/SDE 변화

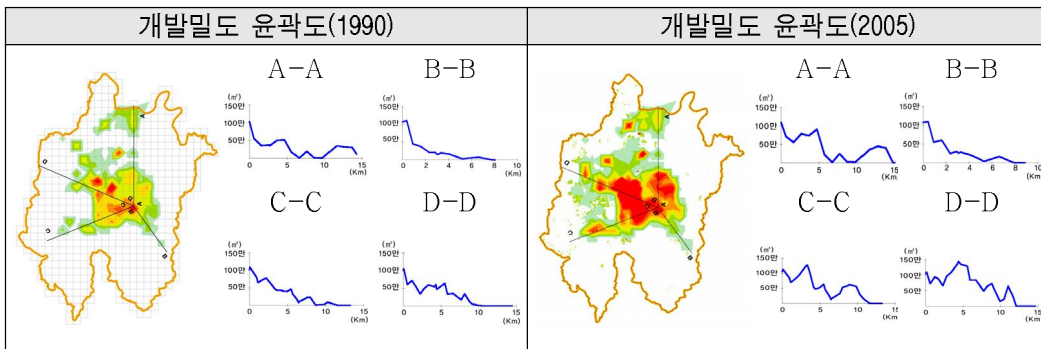
개발연면적 중심점 이동을 보면, 전반적으로 현재 시청으로 중심으로 이동·확산되고 있으며, 표준편차거리는 1995년 5.12km에서 2000년 5.27km, 2005년 5.26km로 10년 동안 약간의 변화를 보이고 있다. 한편 도시개발 확산의 방향성을 시사하고 있는 X축에 대한 주축선 각도는 1995년 356.52°에서 2005년 353.15°로 정북방향에 근접하고 있는 것으로 분석되었다. 이는 대전의 도시개발이 1995년 이후 외연적 확산보다는 기존의 시가지에서의 개발행위가 이루어졌음을 시사한다. 개발연면적의 공간적 확산의 정도는 1995년 장축(남북)이 4.16km, 단축(동서)이 2.99km에서 2005년 장축(남북)이 4.06km, 단축(동서)이 3.34km에서 타원형을 유지하고 있는 것으로 분석되었고, 남북축보다는 동서축의 변화가 크게 나타나 대전의 도시개발이 서측으로 이동하고 있음을 알 수 있다.



〈그림 15〉 개발밀도의 SD/SDE 변화도

한편, 개발밀도의 경우, 1995년은 대체적으로 중심부와 서북측에서 다소 높게 나타나, 중심성이 낮아지고 있음을 알 수 있다. 그러나 동남측은 여전히 중심부는 높은

개발발도를 보이고 있다. 2005년의 경우, 전체적으로 대전의 개발밀도로 본 도시공간 구조는 기존도심권의 약화, 둔산 도심권 강화, 그리고 용전·송촌권의 등장의 특성을 보이고 있고, 특히 기존도심권과 둔산도심권이 계룡로를 따라 기능적 연계축이 발달되고 있음을 알 수 있다. 이는 대전시 도시공간구조가 도시성장과 더불어 다핵화되고 있음을 시사하고 있다.



〈그림 16〉 개발밀도가 SD/SDE 변화도

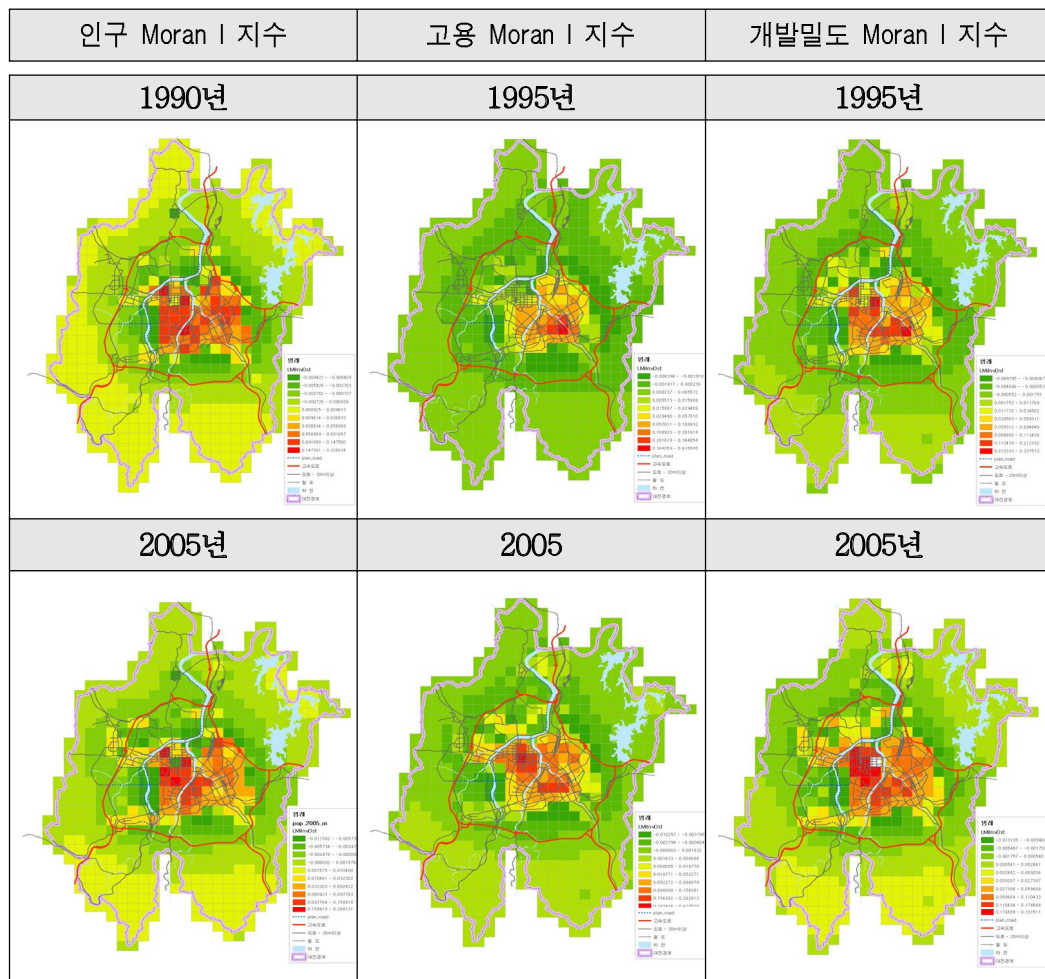
2. Moran I 지수로 본 도시공간구조 변화

모란 지수는 도시 성장에 따른 도시구조가 단핵구조인지 아니며 다핵구조인지, 또는 분산된 확산형, 집중된 분산형 인지 또는 비지적 형태인가에 대해서도 어느 정도 식별이 가능하다. 모란 지수의 값은 -1~1 사이의 값을 갖게 되는데, 1의 값에 가까울수록 고밀도 분석단위들이 서로 군집되어 있음을 나타내며, 0값에 가까울수록 고밀도 분석단위 들이 임의적으로 분포하고 있음을 말해준다.

도시 전체를 대상으로 모란지수 분석결과 전반적으로 다소 미약하지만, 점차적으로 군집된 모습을 보이고 있었다.

Moran's I 값을 보면, 1995년 개발연면적이 0.120854로 가장 높았고, 다음으로 인공로 0.117239를 보였고, 2005년의 경우 역시 개발연면적이 0.139372, 다음으로 고용자수가 0.133223으로 나타나, 도시활동의 주요소인 서비스업과 제조업 등이 상대적으로 밀집된 형태로 나타나 대도시형 도시구조를 보이고 있다고 볼 수 있다. 실제로 대전의 산업구조는 3차 산업 비중이 80%가 넘는 도시이다.

한편 모란지수를 시가지권(약 210km²)을 중심으로 분석한 결과, 대체적으로 군집의 수준이 다소 낮은 것으로 나타나고 군집의 정도를 나타내는 Z-Score 값의 경우도 낮게 나타났다. 이는 대전의 토지이용상황이 중심부와 외곽부의 차이가 차별적으로 이루어지고 있음을 알 수 있다. 실제로 대전의 도시형태가 분지형일 뿐만 아니라 도시면적의 절반이 상이 개발제한 구역으로 설정되어, 도시의 외연적 확산이 제도적으로 어려운 지역으로 도시전체적으로는 도시구조가 군집(Clustered)된 형태를 보이고 있지만, 시가지권에서는 군집의 정도가 전체도시 차원보다 낮음을 알 수 있다.



〈그림 17〉 인구, 고용, 개발밀도의 Moran | 지수 변화도

제 4 장

대전시 도시성장 예측과 성장패턴 전망

제1절 기존 대전시 도시성장 예측 검토

제2절 대전시 도시성장예측 및 공간적 변화전망

제3절 대전시 공간확산 및 성장패턴 전망

제4장 대전시 도시성장 예측과 성장패턴 전망

제1절 기존 대전시 도시성장 예측 검토

1. 도시확산 모형적용(SLEUTH 적용)

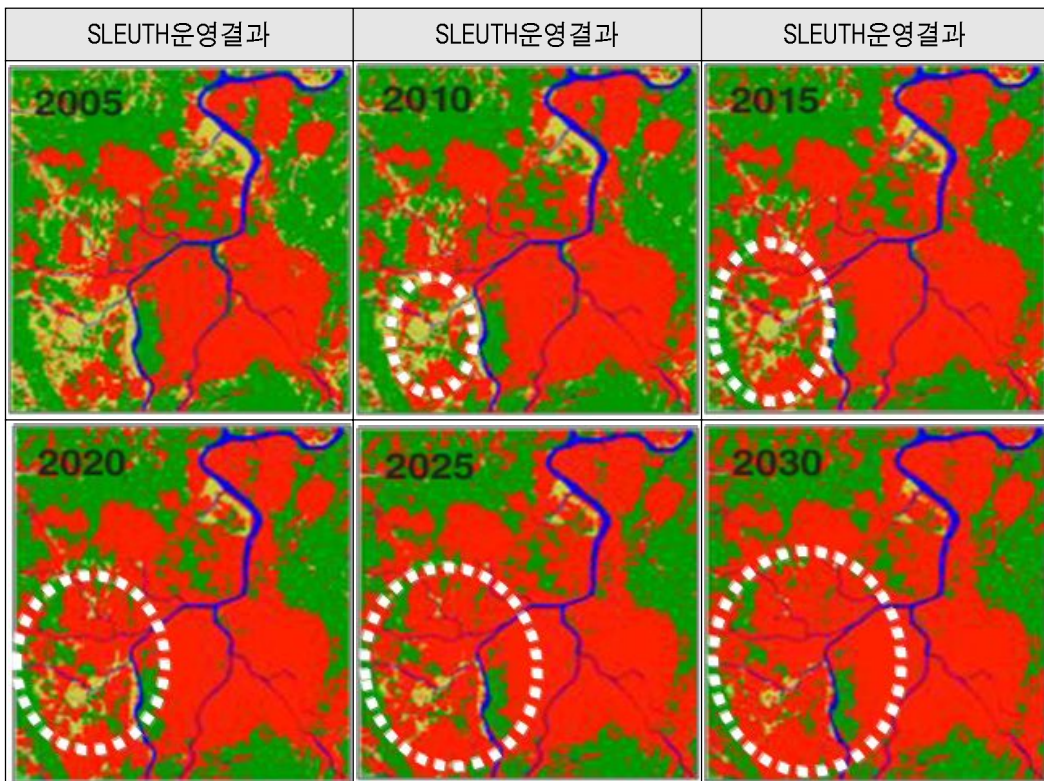
김윤수(2003)는 “도시분석을 위한 원격탐사자료 활용방안 연구”에서 대전시를 사례로 1960년대부터 2003년까지 다중시기, 다중 해상도, 그리고 다중 센서 원격탐사 자료를 이용하여 토지피복/이용 시계열 데이터베이스를 구축하고, 이를 기반으로 도시 확산의 특성과 패턴을 파악하였다. 그리고 구축된 기초자료를 활용하여 기존 도시 확산 모형의 적용을 통해 다양한 시나리오에 따른 2030년 미래 대전시의 도시형태를 예측하였다.

연구결과에 의하면, 대전시의 확산은 자연적인 도시의 확산보다 택지개발, 토지구획정리사업, 산업단지, 연구단지, 군사 시설물 등의 개발에 의해 주도되었으며, 일부 군사 시설을 제외한 대부분의 도시화 지역이 개발사업의 결과로 형성되었다고 하였다. 이러한 결과는 타 대도시보다 대전시에서의 도시계획이 더욱 중요한 의미를 지닌다는 것을 의미하며, 특히 향후 예정된 서남부권 개발에 있어 둔산 신도시 개발이 도시의 균형발전에 부정적인 영향을 미치고 고층 주거지만 나열한 것에 불과하다는 혹평을 받은 전례를 거울삼아, 충분히 준비와 계획을 통해 도시 전체의 균형 성장과 주거민 삶의 질 향상에 기여 할 수 있는 지속가능한 개발이 이루어 질 수 있도록 하여야 한다는 것을 시사하고 있다.

또한, 대전시의 확산은 대부분이 농지의 잠식을 통해 이루어졌음을 알 수 있다.정량적으로는 1960년과 2000년 사이에 잠식된 농지는 69km²로 전체 도시화 지역 확산 면적 82.7km² 84%를 차지하고 있다는 것을 밝히고 있다. 이는 현재 대전시의 대규모 농지는 서남부권의 농지가 유일하며, 이마저 서남부권의 개발이 예정되어 있어 대전시의 확산이 지금과 같은 규모로 지속될 경우 조만간 산지의 잠식이 불가피할 전망이다. 따라서 이제부터 도시의 확산을 체계적으로 관리하여 환경을 보존하는 개발의 방향을 정립해야 할 것이다.

원격탐사자료를 바탕으로 구축된 토지피복/이용 시계열데이터베이스의 활용을 위해 적용을 시도해 본 도시 확산모형 SLEUTH는 대전시와 같은 개별 도시에서, 세밀한 토지이용을 활용할 수 있는 확산 모형으로는 적합하지 않다고 하였다. 특히 자연적인 도시의 확산이 거의 이루어지지 않은 대전의 경우, 도시 주변의 유기적 확산을 기본으로 하는 SLEUTH 모형은 그 효용성을 지니지 못한다고 할 수 있다.

지금까지의 SLEUTH 모형이 적용된 지역의 광역 도시권이고, 사용되는 화소의 크기가 50m 이상으로 개별 도시 내부의 세밀한 토지이용의 변화보다는 광역도시권 주변의 도시화 지역과 산지, 녹지 등의 변화를 시뮬레이션하기 위한 모형으로, 도시 내부 토지이용 변화를 관찰하기 위해서는 토지피복/이용 시계열 데이터베이스의 면밀한 분석을 통해 토지피복/이용 항목간의 변화와 요인, 토지피복/이용 항목의 공간적 분포 경향과 요인, 인구와 도시 확산의 상관관계 등과 기타 사회과학적인 요인을 도출하여 이를 반영할 수 있는 새로운 모형의 개발이 요구됨을 지적하고 있다.



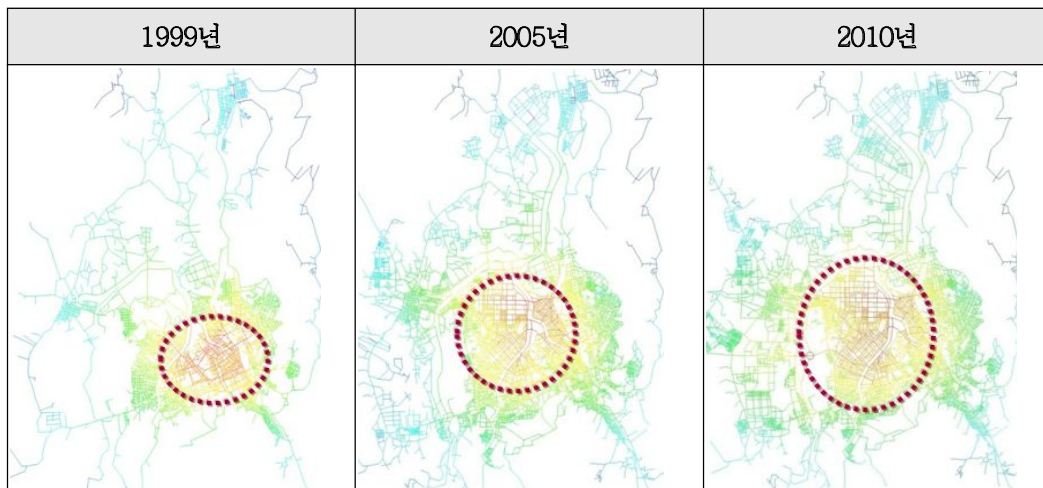
<그림 18> SLEUTH 운영결과 예측도

2. 공간구문론(Space Syntax)

정영환(2007)은 “대규모 개발에 따른 도시공간의 구조적 특성변화에 관한 연구에서 대전시 도시공간구조의 시계열별 변화특성 및 예측하였다.

공간구문론은 공간구조를 공간의 연결 관계를 통하여 분석하는 것을 말하며, 공간구조에 의해 내재되어 있는 사회적 특성을 객관적이고 정량적인 방법으로 보여주는 연구 방법으로 공간의 관계 그리고 이들을 연결하는 동선들과의 연결 관계를 파악하여, 도시 또는 건물에서 일어날 수 있는 사회적 교류의 관계를 설명하는 것이다.

연구결과에 따르면, 1999년은 둔산지역이 개발됨에 따라 전체통합도 위계 상위공간이 둔산신도심지역으로 확연하게 이동한 모습을 보여주고 있다. 2005년 노은, 관저지구 등의 개발이 추가됨에 따라 전체통합도는 1999년 보다 둔산지역으로 더 이동하였다고 분석하였고, 서남부권 등의 미개발 지역이 개발되고 주요 도시계획 도로가 개설이 된 후를 가정하여 2010년대의 가로망을 예측·분석한 결과, 전체통합도는 2005년도와 비교할 때 최고값을 보이는 상위 공간의 위치는 한밭대교 근접 삼천동 지역으로 큰 변화는 없으나 용문동과 중촌동을 연결하는 용문교가 포함된 것으로 분석하였으나, 공간구문론의 경우 공간의 연결 관계를 통하여 도시공간구조의 변화 및 도시성장 패턴을 예측하기 때문에 토지이용 및 도시기능에 확산에 따른 도시성장을 예측하는 데는 한계가 있다고 수 있다.



〈그림 19〉 공간구문론에 의한 도시구조 변화도

제2절 대전시 도시성장예측 및 공간적 변화전망

대전시 도시성장예측 및 공간적 변화 전망을 위하여 일차적으로 도시성장 예측은 자료구득 및 처리(프로그램)의 한계로 정재준이 수행한 기존의 연구결과인 “상대생장과 셀룰라 오토마타를 이용한 도시성장예측 모델링” 과 “상대생장과 래스터 GIS를 이용한 도시성장모델” 활용하였고, 다음으로 공간적 변화전망은 셀룰라 오토마타를 이용한 도시성장예측 결과를 바탕으로 과거 도시성장에 따른 인구, 고용, 개발밀도 등의 중심점의 이동과 연계하여 공간적 변화를 전망하였다.

1. 도시성장 유형 및 데이터 처리 특성

도시는 하나의 유기체이면서 시스템이다. 따라서 도시는 지속적으로 성장·발전을 추구하게 된다. 이러한 도시성장은 기본적으로 먼저 성장 가능성이 있는 지역을 선택하고, 선택된 지역 중에서 난수를 발생하여 비도시를 도시로 변하게 하는 방법을 사용하였다. 난수발생에 의하여 도시성장을 시뮬레이션 하면 그 결과가 실험 때마다 다르게 나올 수 있으나, 난수가 일정조건을 만족하는 성장 가능한 지역에서 발생되므로 이런 과정이 무수히 반복되는 실제 적용에서는 도시성장이 일정한 패턴을 지니게 된다.

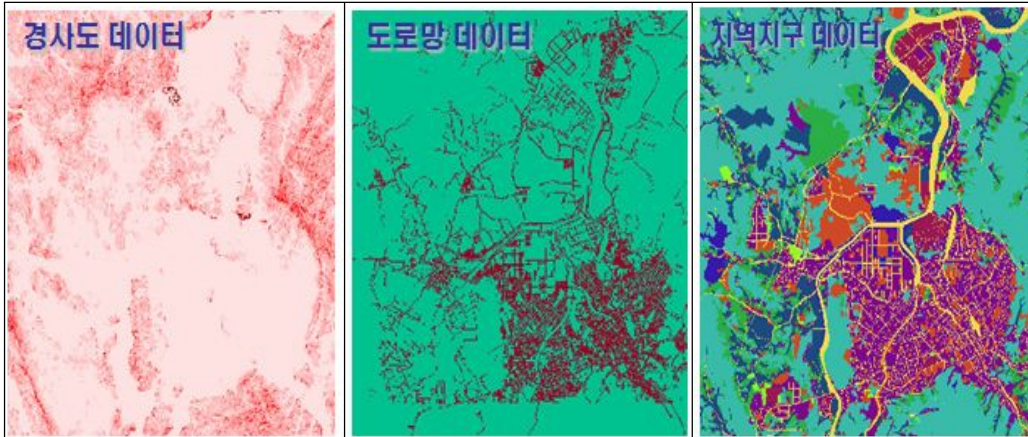
일반적으로 도시의 성장은 세 가지 유형으로 구분된다. 먼저 외연적 성장(spread growth)으로 비도시가 주변 도시영역의 개발압력에 의해 도시로 성장하는 것으로 도시성장 요인 중 가장 주요한 요인이다. 두 번째는 비지적 성장(leapfrogging growth)으로 주변에 도시가 없는 지역에 도시가 생성되는 것으로 향후 이곳으로부터 외연적 성장이 일어나면 기존의 도시과 새롭게 생성된 도시지역내의 비도시가 받는 개발압력은 더욱 커진다. 세 번째는 도류유발 성장(road-influenced growth)으로 국도나 지방도 등 주요한 교통로를 중심으로 도시가 성장하는 것이다. 실제로는 도시의 규모나 성격이 다양할 지라도 위의 세 가지 성장유형이 복합적으로 작용하여 도시가 성장하게 된다.

정재준(2004)이 도시성장모델에 사용한 시기별 도시영역영상은 위성영상과 항공사진을 취득할 수 있었던 1970년, 1980년, 1990년, 2000년 영상이다. 모델에 입력요소로는 도시영역영상 외에도 경사도데이터, 도로망데이터, 지역지구데이터이다. 이에 필

요한 원천데이터 및 원천데이터별 처리방법은 <표 5>와 같으며 처리결과 영상은 <그림 7>과 같다.

<표 5> 입력데이터 처리방법

입력데이터	사용목적	7월천데이터	처리방법
시기별 도시영역 영상	· Seed 데이터 · 정확도 평가	· 위성영상/항공사진	· 디지털라이징 및 최대우도법에 의한 토지피복분류 후 재분류 (도시와 비도시)
경사도	· 도시성장가능 후보지 선택	· 수치표고모형	· 각 셀의 경사도 계산
도로망	· 도로유발 성장	· 항법용 수치지도	· 간선도로의 격자화 · 도로망버퍼 제작
지역지구 데이터	· 지역/지구별로 난수발생 확률 제거 (난수발생 가중치)	· 토지이용현황도	· 지역지구별 도시지역 비율 계산
예측시기별 예상 도시 셀 수	· 도시성장 예측 시 외부변수로 작용	· 통계청인구조사데이터 · 시기별 도시영역 면적	· 인구와 면적사이의 상대성장 이론에 근거 · 인구데이터를 회귀식에 대입 하여 계산



<그림 20> 도시성장 예측에 사용된 입력데이터

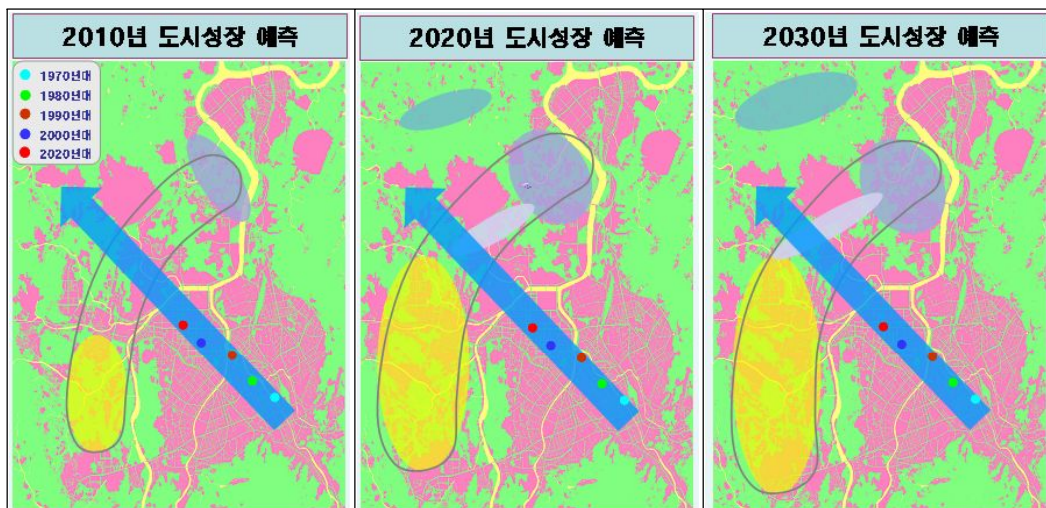
2. 대전시 도시성장 예측 및 공간적 변화 특성

대전시의 중장기적 도시성장 예측결과 도시기능 및 활동이 이루어질 가능성이 높고 토지이용상의 변화가 예상되는 지역은 2010년에는 서남부지역과 대덕테크노밸리 주변지역이 도시화 지역으로 변화될 것으로 예측하였다.

2020년경에는 확장된 서남부지역과 대덕테크노밸리의 확장 및 대덕연구개발특구내 호남선을 주변의 개발제한구역의 조정가능지역과 신동·둔곡지역이 도시화 지역으로 변화될 것으로 전망하였다.

2030년경에는 고도의 도시성장이 이루어진 상태로 가용토지자원의 대부분이 도시화지역으로 변화가 예상되고, 서남부지역의 기능적 확대에 인하여 대덕연구개발특구 지역의 호남선의 개발제한구역과 대덕테크노밸리간의 공간적 연계가 강화되는 것으로 예측하였다.

따라서 대전의 도시성장 및 외연적 확산은 전반적으로 서북부와 서남부지역으로 진행될 것으로 예측되고 있으므로, 향후 저성장시대의 도래로 등을 고려한다면 신시가지 중심의 외연적 확대는 한계가 있을 것으로 판단되며, 기존 시가지의 재정비 촉진 정책전환과 아울러 신규개발과 기존시가지 재정비 통합추진으로 지속가능한 도시성장 및 토지이용의 효율화를 도모해야 할 것이다.



<그림 21> 도시성장 예측도(2010, 2015, 2020)

제3절 대전시 공간확산 및 성장패턴 전망

1. 기본전제 및 성장패턴 분석

셀룰라 오토마타를 이용한 대전시 도시성장은 서북부와 서남부지역으로 진행될 것으로 예측하고 있으나, 도시공간구조가 어떻게 형성되고 아울러 공간확산 및 성장패턴이 어떤 모습으로 변화하게 될 것인가는 설명하는 데는 한계가 있다.

따라서 도시성장 예측결과가 도시공간구조상의 어떤 영향을 갖는지를 대전시가 제시하고 있는 2020년 대전도시기본계획상의 도시인구를 사용하여 도시인구의 중심점과 표준편차거리의 변화를 적용하여 도시의 성장패턴을 전망하였다.

성장패턴 분석은 도시인구의 중심점 및 표준편차거리 변화를 통한 도시공간구조패턴이 집중 또는 분산의 척도를 알 수 있는 표준편차거리(standard distance;SD)¹⁾와 타원형 표준편차거리(standard deviation;SDE)를 적용하였다.

표준편차거리(standard distance;SD) 산출은 도시가 성장함에 따라 도시의 인구 및 기타 변수들의 변화가 어디에서 어떤 특성을 가지고 일어나는지를 파악할 수 있으며, 또한 각 점들의 패턴이 집중 또는 분산되어 있는지를 보여주는 척도로서 표준편차거리가 클수록 점들이 분산되어 있음을 알 수 있다.

만일 시계열적으로 표준편차거리가 증가하였다면 도시는 성장과정에서 분산화된 공간구조로 변화되어 가고 있다고 설명할 수 있고, 반면에 표준편차거리가 점차 감소되고 있다면 도시는 성장과정에서 보다 집중화 또는 압축된 공간구조로 변화되어 간다고 볼 수 있다.

하지만, 단순한 표준편차거리는 방향에 따라 달리 나타나는 집중, 분산의 정도를 반영하지 못하는 약점을 내재하고 있음. 이러한 문제를 극복하기 위해서는 일반적인 표준편차거리 분석 보다는 타원형표준편차거리를 사용하여 도시성장에 따른 공간구조의 변화뿐만 아니라 도시성장 방향의 특성을 파악할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 도시의 성장에 따른 공간구조의 변화와 그 방향성의 특성을

1) 표준편차거리(standard distance:SD)는 비공간적 자료 분석에서 표준편차(standard deviation)에 해당하는 것으로서 각 지점들이 중심점으로부터 얼마만큼 떨어져 분포되어 있는지를 보여주는 지수임.

파악하기 위해서 표준편차거리(SD)와 타원형표준편차거리(SDE) 변화측정을 시도하였음. 이는 도시기능의 공간적 분포와 중심지들의 특성을 설명하는데도 의미가 있다.

표준편차거리(SD)와 타원형표준편차거리(SDE), X축에 대한 주축선의 각도, X 좌표 $\sigma(x)$, 그리고 Y 좌표 $\sigma(y)$ 의 구하는 식은 다음과 같다(국토연구원, 2004).

i 지점으로부터 중심점까지의 거리를 d_{im} 이라고 할 때,

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_{im}^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2]}{n}}$$

각 지점에 인구수(밀도)나 고용자수 등과 같은 가중치(f_i)가 있다고 할 때 일반적으로는

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_i [(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2]}{\sum_{i=1}^n f_i}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_i (x_i - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n f_i} + \frac{\sum_{i=1}^n f_i (y_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n f_i}}$$

$$= \sqrt{Var(x) + Var(y)}$$

여기서 $Var(x)$ 는 x 의 분산, $Var(y)$ 는 y 의 분산이다.

$$Var(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_i x_i^2}{\sum_{i=1}^n f_i} - \left(\frac{\sum_{i=1}^n f_i x_i}{\sum_{i=1}^n f_i} \right)^2}, \quad Var(y) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_i y_i^2}{\sum_{i=1}^n f_i} - \left(\frac{\sum_{i=1}^n f_i y_i}{\sum_{i=1}^n f_i} \right)^2}$$

타원형 표준편차(standard deviation ellipse)를 구하기 위해서는 세 가지 정보가 필요하다.

먼저, 타원의 기울어진 방향 R

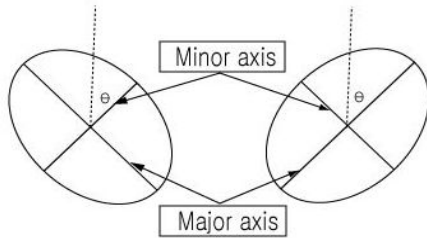
$$R = \arctan \left(\frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i'^2 - \sum_{i=1}^n y_i'^2 \right) + \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n x_i'^2 - \sum_{i=1}^n y_i'^2 \right)^2 + 4 \left(\sum_{i=1}^n x_i' \sum_{i=1}^n y_i' \right)^2}}{2 \sum_{i=1}^n x_i' \sum_{i=1}^n y_i'} \right)$$

$$x_i' = x_i - \bar{x}$$

$$y_i' = y_i - \bar{y}$$

중심점을 중심으로 해서 최대한으로 분산되어 있는 방향의 긴지름 $\sigma(x)$

최소한으로 분산되어 있는 방향의 짧은 지름 $\sigma(y)$



타원형 표준편차의 모식도

$$\sigma(x) = \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=1}^n x' \cos R - y' \sin R\right)^2}{n}}$$

$$\sigma(y) = \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=1}^n x' \sin R - y' \cos R\right)^2}{n}}$$

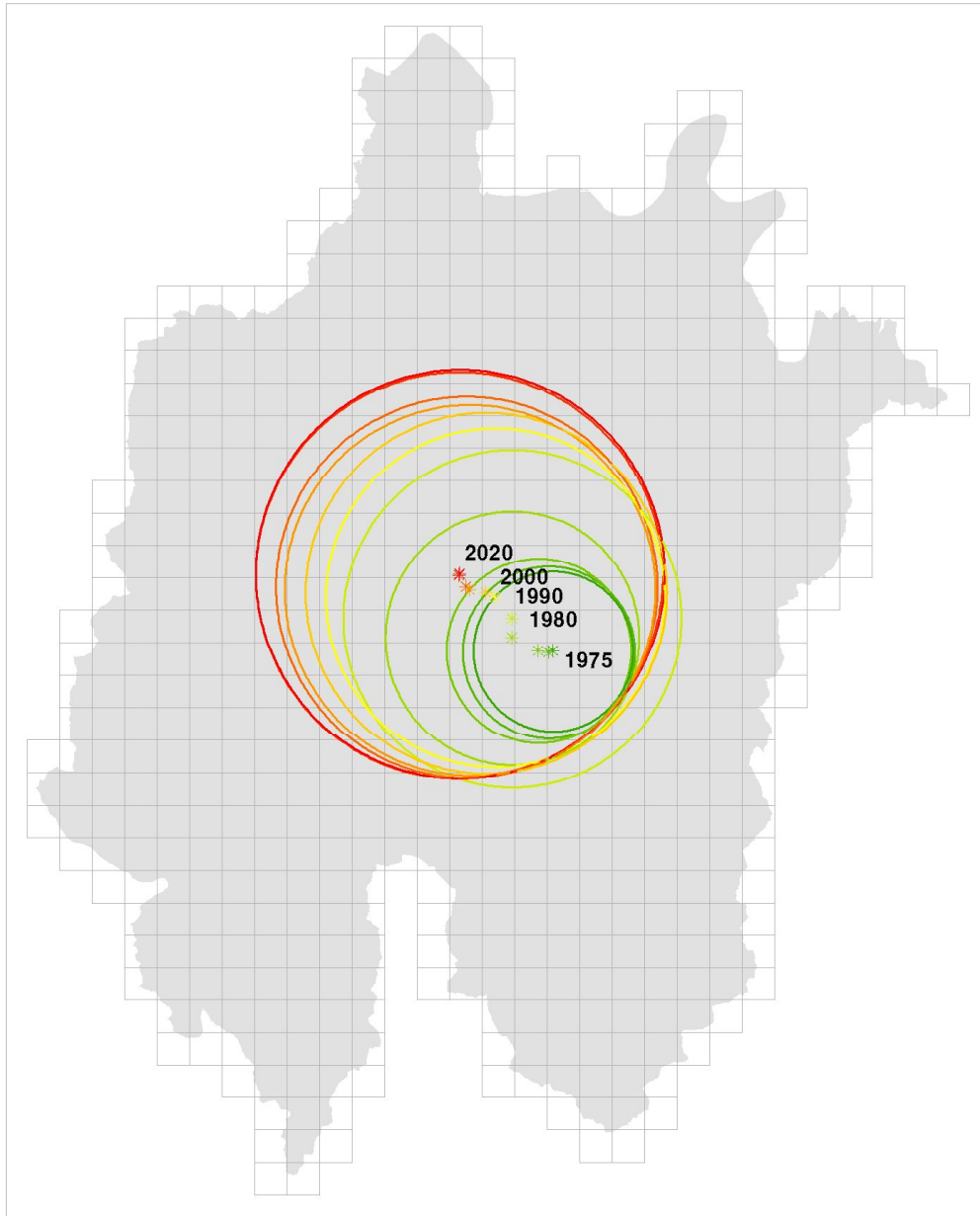
2. 표준편차거리의 변화에 의한 도시성장 패턴 전망

인구를 가중치로 한 인구중심점을 산출한 결과 인구의 중심점은 도시공간의 동남부에서 서북부로의 이동패턴을 보이고 있음. 이는 도시발전 방향이 중앙로(대전역~충남도청)와 계룡로를 중심으로 확산이동하고 있음을 할 수 있다.

인구중심점으로 부터의 표준편차거리는 1970년 2.46km, 1980년 2.65km, 1990년 5.20km, 2000년 5.56km, 2010년 5.87km, 2015년 6.26km 그리고 2020년에는 6.29km로 도시가 성장하면서 표준편차거리가 길어져 인구의 공간적 분포가 외곽으로 확산되고 있음을 시사한다.

<표 6> 도시인구의 표준편차거리(SD) 분석결과

연 도	X 축	Y 축	표준편차거리(m)
1970	238,000.97	314,249.71	2,454.59
1975	237,865.59	314,213.71	2,646.21
1980	237,558.11	314,264.94	2,838.78
1985	236,742.89	314,659.68	3,899.81
1990	236,738.60	315,259.04	1,197.27
1995	236,220.42	315,911.79	5,212.98
2000	235,937.17	316,048.15	5,556.10
2005	235,441.61	316,138.84	5,701.63
2010	235,338.21	316,229.19	5,866.10
2015	234,110.30	316,588.80	6,259.66
2020	235,138.60	316,633.92	6,287.55



〈그림 22〉 인구의 표준편차거리의 변화에 의한 도시성장 패턴 변화

3. 타원형 표준편차거리의 변화에 의한 도시성장 패턴 전망

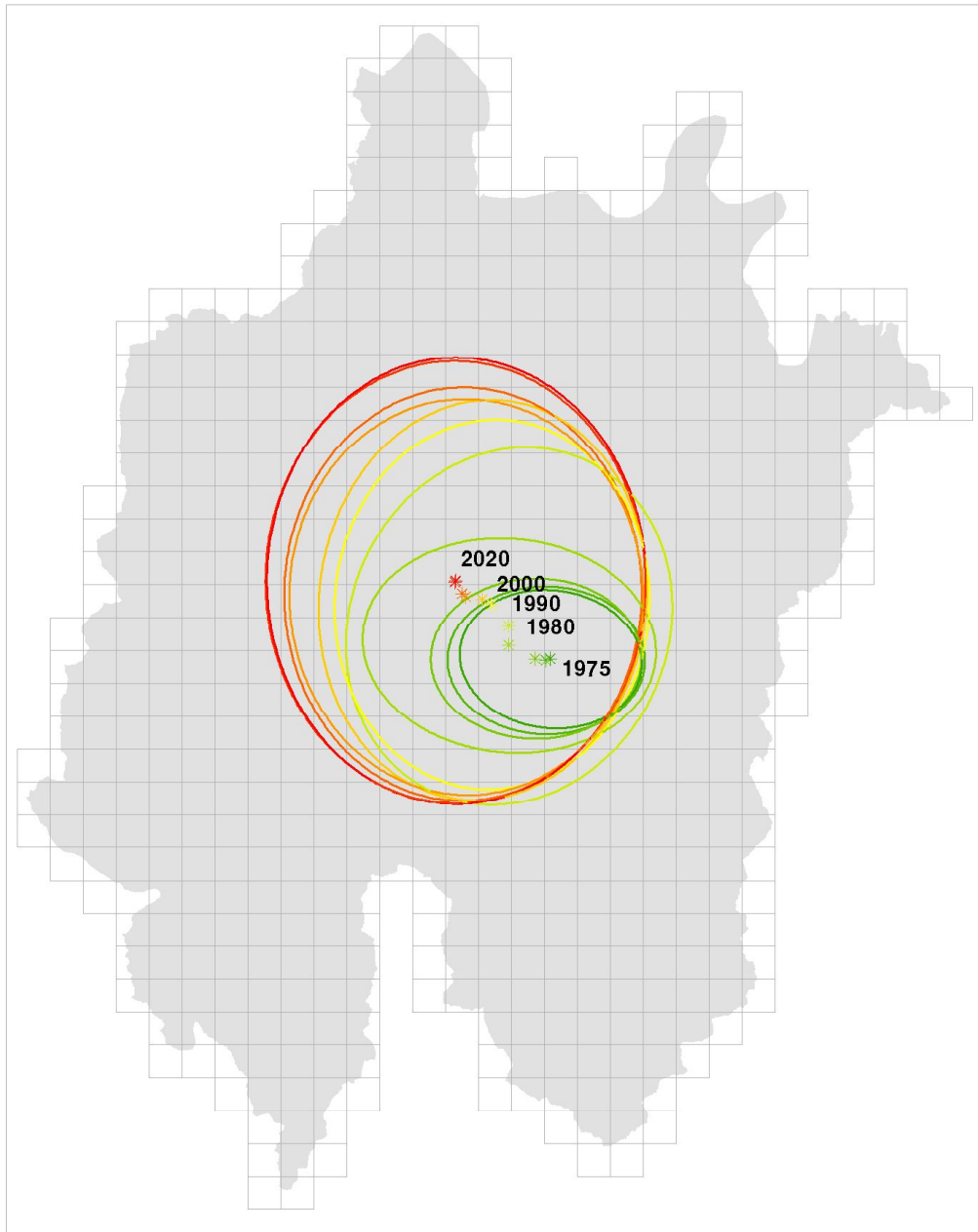
도시성장의 패턴은 중심점으로부터 원형보다는 타원형으로 발전하는 경향을 보이는 것이 대부분이다. 즉, 도시의 인구 및 기능의 공간적 분포는 균형적이라기보다는 일정 수준의 편차를 보인다는 것이다. 이러한 편차의 크기가 도시공간구조의 특성과 패턴을 설명한다고 볼 수 있다.

도시인구를 중심으로 한 타원형 표준편차거리를 분석한 결과 1970년 표준편차거리는 X 2.77km, Y 2.10km를 남북방향의 성장패턴을 보이고 있고, 1980년 동서방향, 1985년 다시 남북방향, 둔산지구 개발이 본격적으로 추진된 시기인 1990년에서 2000년에는 다시 동서방향의 패턴을 보이다가 2005년 남북방향, 2010년 다시 동서방향에서 2015년 이후에서는 남북방향의 성장패턴을 보이고 있다. 이와 같이 대전시의 도시성장 패턴은 원형이라기보다는 타원형으로 발전한 것으로 볼 수 있다.

1970년대 이후 도시인구 분포를 중심으로 본 대전시 도시성장 패턴은 1990년대 까지 동서방향으로 발전 축을 형성, 2000년을 기준으로 남북방향으로 전환되는 경향을 보이고 있다. 장래 대전시의 도시성장 및 기능 확산은 원도심권('80년대)에서 둔산권('90~'10년대), 서남부권('00년대~'20년대)으로 발전하면서, 향후 '20~'30년대는 둔산권을 중심으로 원도심권과 서남부권간의 도시공간구조의 다핵화 형성이 전망된다.

〈표 7〉 도시인구의 타원형 표준편차거리(SDE) 분석결과

연 도	X 축	Y 축	X 표준거리(m)	Y 표준거리(m)	X축에 대한 주축선 각도
1970	238,000.97	314,249.71	2,769.60	2,092.70	96.66
1975	237,865.59	314,213.71	2,995.99	2,242.52	90.70
1980	237,558.11	314,264.94	2,431.07	3,194.88	89.59
1985	236,742.89	314,659.68	4,460.37	3,243.77	95.36
1990	236,738.60	315,259.04	4,823.72	5,545.72	24.27
1995	236,220.42	315,911.79	4,772.30	5,619.20	4.35
2000	235,937.17	316,048.15	4,963.47	6,091.35	7.19
2005	235,441.61	316,138.84	6,014.94	5,370.07	178.35
2010	235,338.21	316,229.19	5,422.91	6,278.09	0.96
2015	234,110.30	316,588.80	6,718.35	5,764.58	179.20
2020	235,138.60	316,633.92	6,781.44	5,751.41	179.76



<그림 23> 인구의 타원형 표준편차거리의 변화에 의한 도시성장 패턴 변화

제 5 장

결 론

제1절 결 론

제2절 정책적 제언

제5장 결 론

제1절 연구의 요약

본 연구는 도시의 성장과정을 다양한 지표로 분석하고, 효율적인 토지이용과 건전한 도시성장을 유도하여 지속가능한 도시발전을 위한 탐색적인 접근을 시도하였다. 이를 위하여 우선 대전시 도시성장 특성 및 공간적 확산 특성을 검토하였고, 자료구득 및 처리의 한계로 기존연구의 결과를 바탕으로 도시성장 예측과 성장패턴을 전망하고, 미래 대전시 도시성장 방향 및 도시공간구조 형성, 토지이용 정책 등의 정책적 시사점을 도출하고자 하였다.

우선, 도시성장단계를 인구와 가구수의 변화를 중심으로 살펴보면, 전반적으로 대전시는 도시성장 단계에서 3단계를 지나 4단계로 진입하고 있음을 알 수 있으며, 아울러 저성장 시대에 도래하였음을 알 수 있다.

기존의 연구결과에서 나타난 도시성장예측은 도시성장 및 외연적 확산은 전반적으로 서북부와 서남부지역으로 진행될 것으로 예측되어, 향후 지속적인 도시발전을 위해서는 신시가지 중심의 외연적 확대는 한계가 있을 것으로 판단되며, 기존 시가지의 재정비촉진과 아울러 신규개발을 통합추진으로 지속가능한 도시성장 및 토지이용의 효율화를 도모해야 할 것이다.

한편, 장래 대전시의 도시성장 및 기능 확산은 1980년대는 원도심권에서 1990년 이후반과 2000년대 초반에는 둔산권, 그리고 2020년 경에는 서남부권)으로 발전하면서, 향후 2020~30년대는 둔산권을 중심으로 원도심권과 서남부권간의 도시공간구조의 다핵화 형성이 이루어 질 것으로 판단되므로 이에 대한 정책적 대비가 필요할 것이다.

끝으로 본 연구가 도시영역의 영상자료, 경사도, 도로망 등 도시의 현상적인 측면을 고려하였기 때문에 도시공간의 기능적 전문화 등을 파악하는 데는 한계성을 갖고 있다. 향후 연구에서는 도시기능을 설명하는 건축물 용도, 토지이용 상황, 지가 등의 지표가 반영된 후속적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

제2절 정책적 제언

본 연구는 대전시의 도시성장과정을 분석을 통하여 향후 도시성장 예측과 성장 패턴을 전망하였다. 연구결과 대전시의 도시성장 단계는 도시인구의 성장이 둔화되는 경향인 성숙단계로 볼 수 있다.

도시성장의 성숙단계에서의 도시정책은 성장위주 보다는 도시성장관리를 통한 지속가능한 도시발전을 실현시키는 것으로 대전시가 앞으로 정책적으로 접근해야할 방향은 다음과 같이 정리할 수 있다.

첫째, 성장위주의 개발에서 지속가능한 성장관리로의 전환이 요구된다.

지속가능한 도시발전과 저 성장시대에 부응한 도시성장관리를 위해서는 신규개발 보다는 기존시가지의 정비를 통한 도시내부 및 중심부에 대한 고도의 토지이용을 위한 충전(infill)정책이 필요하다. 또한, 효율적인 토지이용을 위해서는 통행유발을 최소화할 수 있는 직주근접과 단지차원의 주거, 상업, 위락시설 등을 수용하는 복합개발(Mixed Use Development)를 활성화시킬 필요가 있다.

둘째, 도시기능분리에서 혼합적 토지이용으로 공간적, 기능적 네트워크의 형성 추진이다.

도시공간 및 중심지간의 연계는 합리적인 도시공간구조 형성을 위한 중심지간을 입지적, 기능적, 심리적으로 교류와 통합의 관계를 형성시킬 필요가 있다. 아울러 광역차원의 주변 인접도시와 연계 및 상생발전을 고려하면서, 내부적으로 중심지간의 기능적 조화와 공간적 통합으로 동반발전을 도모할 필요가 있다.

셋째, 기존시가지의 비효율 평면적 토지이용에서 효율적인 입체적, 복합적 토지이용의 전환요구 된다.

기존의 낙후된 도시기능을 부가가치가 높은 도심기능으로 대체하여 토지이용을 고도화하고 도시 또는 지구중심지의 기능을 강화시킬 필요가 있다. 또한 도시기능의 고도화 및 도시공간의 합리화 측면에서 입체적 도시개발이 요구되며, 특히 지하철 등 교통환경 개선과 연계한 대중교통중심의 도시개발 및 정비추진으로 주거, 판매, 업무, 오픈스페이스, 그리고 공공시설 등을 확보하여 도시기능을 제고시킬 필요가 있다.

넷째, 도시공간의 영역(자치구 등)의 독자적 계획에서 (광역)도시차원의 상호의존적 계획이 요구된다.

개발수요가 적은 기성시가지에 대해서는 저이용 토지의 적극적 개발을 통한 문화 및 복지 등 삶의 질 제고를 위한 광역적 차원의 기초생활서비스를 공급할 필요가 있다. 특히 도시성장이 둔화되고 있는 원도심권과 신탄진권의 중심지 활성화 촉진으로 기존 시가지를 쾌적하고 편리한 환경조성으로 지속적인 도시발전을 도모할 필요가 있다.

끝으로 지하철역을 중심으로 한 대중교통중심개발(TOD)을 시범적으로 추진하여 토지이용의 혼합개발 모델을 창출할 필요가 있다. 토지이용의 혼합은 주거, 판매, 업무, 오픈스페이스, 그리고 공공시설들을 보행환경 속에서 혼합시킬 필요가 있다.

참고문헌

- 강영옥박수홍(2000), “서울대도시지역 도시성장 예측에 관한 연구“, 대한지리학회지, 35(4), 621-639.
- 국토연구원(2004), 공간분석기법, 국토연구원.
- 김윤수(2003), “도시분석을 위한 원격탐사자료를 활용방안 연구”, 계명대학교대학원 박사학위논문.
- 김홍태(2004), “대전시 중심지체계 변화분석에 관한 연구”, 대전발전연구원.
- 김홍태(2006), “대전시 도시기능 분석 및 부도심활성화 전략연구”, 대전발전연구원
- 대전광역시(1994), 대전토지구획정리백서, 대전광역시.
- 손정목, “다핵도시 구상의 파급효과 : 강남개발이 마무리되는 과정4“, 월간국토, 10월호, PP.112-125.
- 송미령(1997), “서울 공간구조의 변화와 특징 : 1980-1990 고용과 사무실공간의 분포를 중심으로“, 국토계획, 제32권 4호, PP.209-228.
- 안종욱(2007), “도시성장예측을 위한 CA-Markov 모형구축 및 적용에 관한 연구 - 도심현을 중심으로“, 안양대학교대학원 박사학위논문.
- 윤전미(2002), “퍼지-AHP와 셀룰라 오토마타를 이용한 도시성장에 관한 연구”, 부산대학교대학원 박사학위논문.
- 윤정미(2006), “지역적 특성을 고려한 도시 성장 패턴에 관한 연구”, 한국지리정보지, 9권 1호.
- 이성호 외 4명(2004), “셀룰라 오토마타를 이용한 김해시의 도시성장모형에 관한 연구”, 한국지리정보학회지, 7권 3호.
- 이주희(1985), “서울 중심기능의 공간분석에 관한 연구“, 국토계획, 제20권 2호, 12월호.
- 정영환(2007), “대규모 개발에 따른 도시공간의 구조적 특성 변화에 관한 연구 - 대전광역시를 대상으로 -”, 한남대학교 대학원 박사학위논문.

정재준(2001), “수도권의 도시성장 분석 및 예측을 위한 셀룰라 오토마타 모델링”, 서울대학교대학원 박사학위논문.

정재준(2003), “상대생장과 래스터 GIS를 이용한 도시성장모델”, 한국콘텐츠학회 2003년 추계학술대회.

정재준(2004), “상대생장과 셀룰라 오토마타를 이용한 도시성장예측 모델링-대전광역시를 사례로-”, 한국지역개발학회지, 제16권 제2호.

정재준·김용일(2000), “셀룰라 오토마타를 적용한 도시성장 모델링“, 2000년 토목학회 추계학술발표회 논문집(4).

최창영(2001), “셀룰러 오토메타를 이용한 도시 성장 모델링”, 경상대학교대학원 석사학위논문.

Batty, M., Longley, P. and Fotheringham, S. (1989), “Urban growth and form: scale, fractal geometry, and diffusion-limited aggregation“, EPA, 21, 1447-1472.

Batty, M. and Longley, P.(1994), Fractal Cities, Academic Press, London.

Benati, S.(1997),“ A cellular automaton for the simulation of competitive location“, EPB, 24, 205-218.

Candau, J., Rasmussen, S. and Clarke, K.C.(2000), “A Coupled cellular automaton model for land use/land cover change“, 4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modelling.

Cecchini, A.(1996), “Urban modelling by means of cellular automata: generalised urban automata with the help on-line(AUGH) model“, EPB, 23, 721-732.

Couclelis, H.(1997), “From cellular automata to urban models: new principles for model development and implementation“, EPB, 24, 165-174.

Liu, X.(2000), “Change Detection for Urban Growth Modelling“, 4th International Conference on Integration GIS and Environmental Modelling.

- Phipps, S. and Langlois, A.(1997), "Spatial dynamics, cellular automata, and parallel processing computers", EPB, 24, 193-204.
- Wagner, D.F.(1997), "Cellular automata and geographical information systems, EPB, 24, 219-234
- White, R. and Engelen, G.(1997), "Cellular automata as the basis of integrated dynamics regional modelling", EPB, 24, 235-246.

기본연구보고서 2008-09

셀룰라 오토마타를 이용한
대전시 도시성장 예측에 관한 연구

발행인 육 동 일
발행일 2008년 11월
발행처 대전발전연구원
 302-846 대전광역시 서구 월평본1길 39(월평동160-20)
 전화 : 042-530-3500 팩스 : 042-530-3528
 홈페이지 : <http://www.djdi.re.kr>

인쇄 : 제일문화사 TEL 042-672-5193 FAX 042-632-0606

이 보고서의 내용은 연구책임자의 견해로서 대전광역시의 정책적 입장과는 다를 수 있습니다.
출처를 밝히는 한 자유로이 인용할 수 있으나 무단 전재나 복제는 금합니다.



<http://www.djdi.re.kr>



대전발전연구원