

## 소수의 특성을 활용한 도시성장 비주얼 콘텐츠 모델 연구

정 승 필

경상대학교 수학과 강사

# A study on urban growth visual content model using prime numbers

Seungpil Jeong

Lecturer, Department of Mathematics, Gyeongsang National University, Jinju, 52828, Korea

### [요 약]

20세기 들어 급속한 도시화와 대도시 분화가 일어남에 따라, 도시 내부 구조(urban structure)에 대한 연구가 활발하게 진행되었다. Burgess, Hoyt 등이 연구한 고전 도시 구조 모델은 도시 내부 공간 구조에 대한 설명을 효과적으로 제시하였다. 그러나 시대가 변함에 따라, 도시 구조 모델은 끊임없는 개선을 요구받아 오고 있다. 본 논문은 현대의 도시 공간 구조 성장에 대한 이해를 돕기 위한 새로운 비주얼 콘텐츠 모델을 소개한다. 소수가 가지는 이론적 특성을 토대로 도시 성장을 조명한 내부 구조 모델이다. Burgess, Hoyt 등의 고전 모델을 고찰하여 모델의 의미를 확인하고, 서울의 시가확산도와 소수기반 도시성장 모델을 비교 분석한다. 본 연구가 도시 모형을 해석하기 위한 콘텐츠의 관점에 주력했지만, 향후 소수의 등장에 대한 모습은 도시 성장을 다양한 구조로 설명할 수 있을 것으로 사료된다.

### [Abstract]

The rapid urbanization and the eruption of large cities has made study on the internal structure of cities actively. The classic urban structural model, introduced by Burgess, Hoyt, etc., effectively provided interpretation of the urban spatial structure. However, as the times change, the urban structural model requires constant change. This paper introduces new visual content to help understand the urban structure of the modern city. It is an visual structural model explaining urban growth based on the theoretical characteristics of prime numbers. This model confirms the meaning by classic models of Burgess and Hoyt, and the prime-based urban growth model is verified with the urbanized areas of Seoul. Although this study focused on visual aspects for interpreting urban models, it is expected that the characteristic of prime numbers in the future can explain urban growth in various structures.

색인어 : 도시 구조 모델, 동심원 모델, 다핵 모델, 섹터 모델, 소수 기반 도시구조 모델

**Key word** : Concentric Zone Model, Multi-nuclei Model, Prime-based Urban Structure Model, Sector Model, Urban Structure Model, Visual Contents

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2020.21.7.1383>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 08 July 2020; Revised 15 July 2020

Accepted 25 July 2020

\*Corresponding Author; Seungpil Jeong

Tel: + [REDACTED]

E-mail: seungpil720@gmail.com

## I. 서론

도시지리학에서 도시 내부 구조(urban structure)는 토지이용의 배열과 분포 형태에 대한 분석으로 도시 공간 구조를 이해하려는 연구 분야이다. 20세기 들어 도시가 성장(growth)하는 과정에서 발생한 대도시(metropolises)의 등장으로 인해 이 분야에 대한 관심은 더욱 증대되었다. 도시 구조 이론의 시작은 1920년대 미국 시카고 대학에서 이루어졌는데, 그들은 도시가 발생, 성장 및 팽창, 그리고 쇠퇴하는 일련의 과정에 생태학적 개념을 적용하여 도시 구조를 분석하는 연구를 진행하기 시작한다.

Burgess(1925)는 중심에서 교외로 뻗어가며 도시는 성장하고, 그 과정에서 업무의 특성에 따라 중심업무지구를 중심으로 동심원 형태를 보이며 기능에 따라 지대가 형성된다고 했다. Hoyt(1939)는 실제적으로 미국 도시들의 사례를 조사하여 이론을 확립하였다. 도시 내부의 고급주택지 분포와 교통 노선 형태가 중심업무 지구 CBD(Central Business District)를 중심으로 각 지대별로 방사형으로 뻗어 나가 부채꼴 모양의 도시 공간 구조를 형성한다. 특히, 공업지대가 철도 및 수로를 따라 좁고 길게 선형으로 나타나며 저급 주택지 또한 그 주변에 위치한다는 점이 이 연구의 특징이다. Harris와 Ullman(1945)은 도시 내의 토지이용은 집단적이며 분산적인 성격을 보이며, 도시가 성장하는 과정에서 이러한 특징이 반영되어 도심이 여러 곳에서 발생하는 다핵구조의 도시가 만들어 진다고 주장했다. Dickinson은 유럽의 역사도시의 공간구조를 설명하기 위해 3지대 이론을 주장했으며, Erickson(1954)은 동심원 이론과 선형이론을 조합하여 도시 공간 구조를 설명하는 복합이론을 만들었다[1]-[4].

도시 내부의 공간 조직은 공간 형태와 밀접한 연관성을 가진다. 도시 내부 구조의 공간 조직은 기능적 측면과 형태적 측면을 가지고 있다. 예를 들어, 버제스의 동심원 모델은 CBD를 중심으로 하는 일련의 동심원 구역들로 공간 형태가 구성된다. 더불어, 지대의 차이에 따른 토지이용의 공간 구조도 같은 형태를 보인다. 그러나 동심원 모델의 경우 생태적 접근에 따라 인구의 교외화에 따른 차별적인 공간 구조의 분화에 초점을 두지만, 지대이론은 CBD로부터의 지대 차이에 따른 서로 다른 토지이용의 공간 점유와 공간 조직에 초점을 둔다.

공간 구조의 현상을 효과적으로 이해하기 위해서는 구성 요소들의 유기적인 결합 및 상호작용 여부와 공간 집약도 등으로 결정되는 공간 조직에 대한 이해에 더불어, 이를 뒷받침하는 개념과 원리에 대한 이해도 필요하다. 따라서, 도시 공간의 형성을 개별적으로 보는 단편적인 시각에서 벗어나 변화가 일어난 일련의 과정을 종합적으로 바라볼 필요가 있다[5].

입찰지대 이론(bid rent curve)의 경우 제3세계 대도시나 중산층의 교외화가 주로 나타나는 선진국의 대도시에서 주로 나타난다. 동심원 모델은 도심은 가난하지만 교외는 부유한 미국의 도시 모델로 적합하다. 섹터 모델은 유럽 도시들이 더 잘 어울리며, 특히 영국 도시들에 더 높은 효율성을 보인다. 외국의

경우와 다른 국내에 걸맞는 (well-matched) 도시 구조 모델에 대한 새로운 시도들이 필요한 시점이다.

본 연구는 현대 도시의 구조 현상을 효과적으로 설명하기 위해, 고전 도시 내부 구조의 핵심 개념과 이론을 바탕으로 새로운 모델을 도입한다. 수학 분야에서 가장 흥미로운 주제중의 하나가 소수이다. 소수는 지속적으로 끊임없이 등장한다. 자연수가 커짐에 따라 새로운 소수는 계속해서 필요하다. 소수로 자연수를 만들어내는 과정은 지극히 규칙적이고 공식적이다. 하지만, 소수의 등장 시점은 굉장히 불규칙적이고 임의적이다. 이러한 소수의 개념적 특성을 고전 도시 공간 구조 모델인 버제스의 동심원 모델, 호이트의 섹터 모델, 헤리스와 울만의 다핵심이론의 개념과 이론에 근거하여 소수의 특성으로 형성된 도시 성장 모델을 도입한다. 이를 통해, 현대 도시 내부 구조를 효과적으로 설명하기 위한 더 나은 방법론적 모색을 시도하다.

## II. 고전 도시구조이론의 재고찰

도시 구조는 외형적인 도시 공간 구조(urban spatial structure)를 언급하는데, 공간 구조는 도시 내에서 공적이거나 사적인 공간의 배치나 연결성, 접근성에 영향을 받는다. 도시가 발달함에 따라 도시 성장(urban growth)과 도시화(urbanization)가 동시에 나타나게 된다. 이 과정에서 도시의 공간적 범위뿐만 아니라 인구의 성장과 기능의 발달에 따라 대도시가 형성된다. 또한 도시의 기능들이 양적으로만 커지는데 그치지 않고 필요에 따라 분화가 일어나며 다시 유기적으로 결합하기도 한다.

일반적으로 도시화와 도시 성장의 과정이 진행되면서, 도시 기능과 이들 기능 요소들 간의 관계는 변하며, 그에 따라 도시 내부 공간 구조도 변화한다. 도시 내부 구조는 처음에는 중심업무 지구를 중심으로 한 중심 도시(central city)와 이를 둘러싼 교외 지역(suburban region)으로 구성된 단핵 도시 구조를 형성하지만, 시간이 지남에 따라, 단핵 구조는 점차적으로 다핵으로 바뀌었다가, 분산형 구조로 바뀌는 경향을 보인다. 이러한 도시 공간 구조의 개념들은 도시 공간을 설명하는데 매우 유용하게 사용되어져 오고 있다[6]-[8].

### 2-1 버제스(E. Burgess)의 동심원 모델(Concentric zone model)

1925년에 제안된 동심원이론은 도시 내부구조에 관한 최초의 체계적인 이론으로 생태학적 원리(Human ecology theory)를 도시에 적용하였다. 특히, 교통수단의 발달로 이동성이 빠르게 증가한 1920년대 시카고(Chicago)를 대상으로 만들어졌다. 이 모델은 1829년에 폰 튀넨(Von Thunen)에 의해 시장, 생산, 거리 사이의 관계를 해석한 지역 토지 사용 모델(Regional land use model)의 도시 버전이다. 동심원이론은 도시 지역안의 사회 그룹(social groups)의 분포에 대한 설명이 그 시초였는데, 이 연구는 도시 안의 토지 사용이 동심원의 크기에 따라 달라진다는 특

정을 발견하게 된다.

도시는 기본적으로 대중교통 및 교통시스템이 잘 발달되어 있어야 한다. 이로 인해, 주거 환경이 열악한 도심부에는 사무소, 쇼핑가, 금융기관, 호텔 등이 밀집하고, 2번째 동심원지대에는 주거지역으로 부유층들이 거주하고 있었으나, 자동차의 발달로 좀 더 나은 주거 환경을 갖춘 외곽지역으로 이동하게 된다. 그리고 이 지역에는 경공업이나 숙박업들이 주로 들어오고, 저소득층이 주거를 하여 부분적으로 주거지대가 형성된다. 3번째 동심원지대에는 도심부와 경공업 지역에 종사하는 근로자들이 주로 거주하여 주거지역을 형성한다. 4번째 동심원지대 역시 주거지역이다. 이 주거지역에는 근로자들보다 부유한 중산층이나 상류층이 사는 고급아파트가 형성되면서, 주거 편의를 도와주는 상가나 상점가들이 형성된다. 5번째 동심원지대는 도시의 가장 외곽에 형성되는 통근자들이 주로 사는 지역이 형성된다. 이들은 대부분 승용차로 출퇴근을 한다.

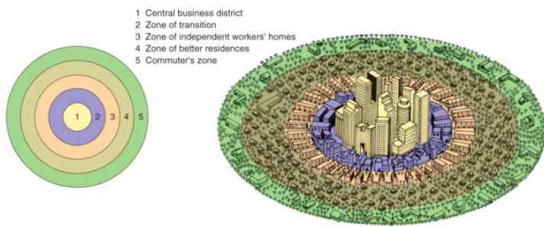


그림 1. 동심원 모델  
Fig. 1. Concentric Zone Model

버제스의 연구는 토지에 대해 지불해야하는 임대료에 따라 지대에 머무르는 업종이 달라진다는 입찰 임대료 이론(bid rent curve)을 야기 시킨다. 여기서 입찰 가격은 토지에서 사업 유지로부터 얻을 수 있는 이익에 근거한다. 도시의 중심은 가장 많은 수요의 소비자를 가질 것이므로, 소매 활동에 대한 수익성이 크지만, 상품의 이동보다는 단지 노동자들의 접근성에 관심이 있는 제조업은 지불 의지가 떨어진다. 상대적으로 지불 여력이 적은 개인들은 주변지역에 위치하므로 그곳에 주거지역이 형성된다.

정리해 보면, 이 이론의 접근법은 도시를 하나의 유기체로 전제한다. 처음에는 사람들이 직장이 있는 도심 근처에 자리를 잡는다. 그러다가 인구의 유입이 늘어나게 되면서 도시는 성장의 시기를 맞이한다. 일정 수준 이상으로 도심에 몰리기 시작하면 도심 주변의 주거 여건은 열악해진다. 또한 중심지의 지가는 올라가고 그것을 감당할 수 없는 사람들은 외곽으로 밀려난다. 시간이 지나면서 자동차가 있는 부유층들은 주거 환경이 좋은 외곽으로 옮기게 된다. 여기서 전제 되는 것이 교통 시스템의 확보다. 교통 시스템이 도심 외곽까지 갖춰지면 여건이 되는 사람들은 주거 환경이 좋은 외곽으로 모여 살게 된다. 그리고 그들을 위한 편의시설이 들어서게 되면서 상권이 형성된다. 재정적 여건이 안 되는 노동자들은 주거여건이 열악한 도심 근처의

경공업지대에서 주거한다. 이는 일반적으로 도시 발달 과정에서 나타나는 현상으로 초기 대도시의 도시 공간 구조를 설명하는 데는 상당한 설득력을 가진다.

이 모델은 현대의 도시 지리학자들에 의해 비판을 많이 받았는데, 미국 외의 도시들에서는 이 이론이 잘 적용되기 힘들고, 문화권(historical contexts)이 다른 도시들에서는 전혀 다른 양상을 보인다. 이 모델은 도심은 가난하지만 교외는 부유한 미국 지리(American geography)적 특성을 반영한다. 하지만, 다른 나라들에서는 도심이 부유하고 교외가 가난한 것이 일반적이다. 미국에서조차, 교통 및 정보기술의 발전과 세계 경제의 변화로 인해, 더 이상 지역(zone)의 형태가 도시 내에서 명확하게 나누어지지 않으며, 지역의 정책이나 세계화의 영향력은 전혀 반영되지 않았다.

2-2 호이트(Homer Hoyt)의 섹터 모델(Sector model)

섹터 모델은 토지 경제학자인 호머 호이트에 의해 1939년에 제안된 도시 토지 사용에 대한 모델이다. 호이트는 142개 도시의 도시 공간 구조를 분석하였다. 분석 결과에 의하면, 도심은 교통로를 중심으로 형성되었으며, 주택군들 또한 교통로를 중심으로 서로 모였다. 그리고 추가 주택군들은 교통로를 따라 부채꼴 형태로 점차 외곽으로 형성되었다. 섹터 모델이 동심원 모델과 다른 점이 이처럼 도심이 교통로를 중심으로 형성되고 도시의 외적 성장이 허용된다는 점이다[2],[9].

도시중심에는 중심업무지구가 형성되고, 이를 중심으로 수로와 철길을 따라 경공업지대가 부채꼴 형태로 형성된다. 경공업지대에 인접하여 저소득층 주거지가 자리 잡게 되고, 도시 중심으로부터 거리가 멀어지면서 중류층 고소득층 주거지가 형성된다. 이때 주거지구의 형성 순서는 상류층 주거지구가 먼저 형성되고 중류층 주거지구는 상류층 주거지구의 양측에 위치하는 경향이 두드러지며, 저소득층 주거지구는 도시 중심부 바로 외곽에 많이 나타나게 된다.

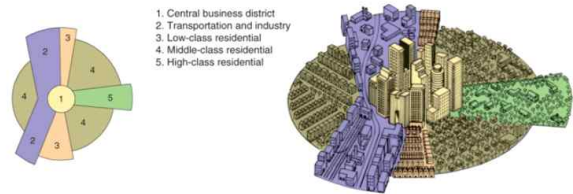


그림 2. 섹터 모델  
Fig. 2. Sector(wedge) Model

모델의 그림을 반시계방향으로 90도 정도 회전하면, 독일의 뮌헨글라트바흐(Mönchengladbach)시와 거의 일치하는 모습을 보이며, 다수의 영국 도시들에 적용 가능하다. 이러한 현상은 교통이 중요한 도시의 나이 때문일지도 모른다. 나이에 근거해



보자면, 오래된 도시들은 호이트 모델을 따르는 경향이 많고, 더 최근의 도시들은 베제스의 동심원 모델을 따르는 경향이 짙다.

섹터 모델은 두 개의 축을 가지고 설명을 시도한다. 하나는 도시의 도로 교통망에 근거하여 도시의 성장과 확대를 설명하고 있다. 또 다른 하나의 축은 도시 성장을 주택의 질과 관련하여 설명하고 있다. 많은 도시 성장의 모습이 선형성을 가지고 있으나 그 이유가 주택이나 교통망에 따른다고 보기에 다소 간 무리가 있어 보인다. 실제로는 상업지의 성장이나 확대로 인한 경우가 더 많다. 이론이 만들어진 후에, 많은 소매 및 사무실 건물들이 교외로 이동함으로써 인해 전통적인 중심업무지구의 중요성은 감소한다. 또한, 이 이론은 도시 외곽 지역의 산 토지로부터의 통근이 가능하게 한 자가용에 대한 반영은 되지 않았다. 섹터의 성장은 도약(leapfrog) 토지에 의해 제한될 수도, 특정 쐐기모양(wedges)들을 따라 직접적으로 성장할 수도 있다. 이처럼 섹터 모델은 전반적으로 토지 지형에 의한 부분에 소홀함이 존재한다.

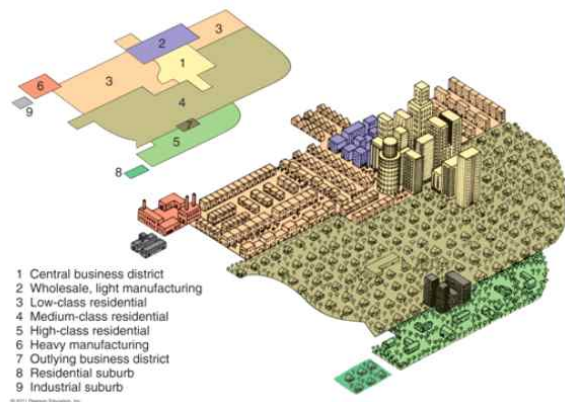
**2-3 올만(Edward L.Ullman)과 해리스(Clauncy D.Harris)의 다핵 도시 모델(Multiple nuclei model)**

1945년에 고안된 이 모델은 시카고를 기반으로 한 도시 전반의 레이아웃(layout)을 묘사한다. 도시는 중심 업무 지역인 CBD를 가지고 시작되지만, 도시 외곽으로부터 더 짧은 통근을 가능하게 하기 위해 주거지역 가까이에서 새로운 중심업무지역을 발달시킨다. 이러한 특징은 도시 내부에 중심업무지구라는 핵 외에 다른 핵들을 만들어 낸다고 하여, 다중 핵 모델이라는 이름으로 불린다[10].

모델은 자가용이 증가함으로 말미암아 사람들은 더 폭넓은 움직임을 가진다는 아이디어에 근거한다. 움직임을 증가는 각 지역들에 중공업 지대, 비즈니스 파크 지대, 소매점 지대 같은 지역 센터에 전문화를 허용한다. 도시가 확장되는 핵의 수는 업종들 간의 유기적인 결합 여부와 상호작용 등의 기능적 측면과 업종 특성으로 인한 도시 환경에 의한 입지 요인에도 영향을 받는다.

대학이나 서점, 커피숍 등은 서로간의 이익을 증대시키기 위해 함께한다. 반대로, 공항과 주거지역, 공장이나 공원 같은 공간들은 분리된다. 업종별로 보면, 소매업지구와 금융지구는 같은 곳에 모이고, 주택지구와 공업지구는 분리하여 입지한다. 특히, 공업지구의 경우 도심의 높은 지대를 감당할 지불능력이 부족하여 교외에 주로 자리하게 된다.

몇몇 시설들은 도시의 특정 지역에 위치시킬 필요가 있다. 중심 상업 지구는 편리한 교통 시스템을 필요로 하고, 다수의 공장들은 풍부한 자원을 필요로 한다. 항구나 기차역 같은 특정 산업은 수송비용을 낮추기 위해 운송 시설이 필요하다. 마찬가지로, 도매업지구는 교통이 편리한 외곽에 주로 존재하고, 공업지구는 지역과 지역 간에 교통과 수자원 확보가 용이한 곳에 집중하여 발생한다.



**그림 3. 다핵 모델**  
**Fig. 3. Multiple Nuclei Model**

정리하면, 해리스와 올만의 다핵심 모델은 6개 지구로 이루어져 있는데, 교통망의 중심이 되는 지역에 중심업무지구가 있고, 도심 주변의 작은 핵들인 문화중심, 공원, 주변업무, 소공업센터, 대학등의 소핵심지구가 있다. 그리고 외곽에는 산발적으로 공업지역이나 주거지역이 발달하는데, 이를 묶어 교외와 위성도시 지구이다. 그리고 마지막으로 주차장이나 벨트라인 확보가 용이한 도시 주변지역에 중공업지구가 형성된다. 중심업무지구와 도매 및 경공업지구는 근거리 존재하여 지역 간 간선도로의 교차점이나 철도를 따라 집중한다. 다핵 이론은 현대 도시들에 더 적합한 모델로, 도시지역의 지역적 성장을 고려한 것이 특징이다.

앞의 두 이론이 단핵 구조의 도시 성장 이론이었다면, 이 이론은 핵이 여러 개 존재하는 다핵 구조의 도시 성장 이론이다. 해리스와 올만은 도시는 하나의 핵(single nucleus) 주위에서만 자라지 않고 여러 개의 분화된 핵(separate nuclei)들이 존재한다고 주장한다. 도시 내의 토지 이용은 하나의 중심부에 의해 형성되는 것이 아니라 여러 개의 핵심 공간을 중심으로 결정된다. 그들의 목적은 동심 영역 모델에서 멀리 벗어나 큰 규모의 도시가 가지는 복잡한 특성을 잘 반영하는 것에 있었기 때문에, 더 실질적이고 더 복잡한 모델을 만드는 데 주력했다. 이 이론 또한 주요 업무의 특징에 따라 지구를 나누고 위치시킨다. 여기에 토지 이용이나 지리적 요인 외에 문화나 정치적 요인 같은 다른 요인들은 배제되어 있다는 점이 아쉬움으로 남는다.

**III. 소수 기반 도시성장구조 모델**

도시 내부 구조는 도시 지역에서 주어진 지리적 입지에서 토지의 이용이 어떻게 설정되었는지를 연구한 것이다. 도시 계획가, 경제학자, 지리학자 등 다양한 분야의 연구자들이 모델들을 발전시켜오고 있다. 도시 내부 구조는 다양한 사람들과 다른 형

태나 성향을 가진 사업들이 도시 내에서 어떠한 방식으로 존재하는지를 알게 해준다. 더 나아가, 시대의 흐름이나 경향을 이해하는데 도움을 준다.

도시 내부의 공간에 대한 조직은 형태와 밀접한 관계가 있다. 도시 내부 구조의 공간 조직은 기능적 측면과 형태적 측면을 가지고 있다. 공간 구조의 현상을 효과적으로 이해하기 위해서는 구성 요소들의 유기적인 결합 및 상호작용 여부와 공간 집약도 등으로 결정되는 공간 조직과 이를 뒷받침하는 개념과 원리에 대한 이해가 동시에 필요하다[5].

고전 도시 성장 모델들은 기능적 관점에서 도시 성장을 바라본 측면이 있다. 더불어, 기존 도시들을 관찰한 데이터를 토대로 도시의 성장을 설명하고 있다. 도시의 성장을 지구(district)의 특성에 맞춰 설명하는 것은 다소간 부분만을 보는 경향이 있다. 본 연구는 부분보다는 전체를 보는 견지를 가지고 접근하려 한다. 소수의 특징과 도시 구조의 내면적 특징을 분석하고, 그들의 유사성으로 인해 두 대상의 분포나 형태는 상당히 유사한 모습과 추세를 보일 수 있음을 확인한다.

**3-1 소수의 특징과 도시 구조의 특징**

자연수는 자연을 본 떠서 만들어진 수이자, 자연을 표현하는 수이다. 자연수를 구성하고 있는 수들 중에서 중심(core) 역할을 하는 수를 소수(prime number)라고 한다. 소수는 몇 가지 특징이 있는데, 이 특징들은 모든 수학자들이 흥미를 갖고 연구를 하게 만드는 요인들이다.

첫째, 소수들로 세상을 설명할 수 있는 자연수를 만들어 낼 수 있다. 이는 연산을 통해 가능하며 자연수의 중심을 이루고 있는 수로 여겨지는 근거이기도 하다. 소수는 수가 커질수록 느리고 간헐적으로 등장한다. 그렇다고, 소수의 등장이 끝나는 것은 아니다. 느리긴 하지만 지속적으로 끊임없이 등장한다. 소수는 끝없이 존재한다.

둘째, 기존의 소수들로 자연수를 만들어 내지만 계속되는 자연수를 만들어내는 데는 한계가 존재한다. 그래서 새로운 소수가 필요하다. 그리고 자연수가 커짐에 따라 새로운 소수는 계속해서 필요하다.

마지막으로, 소수로 자연수를 만들어내는 과정은 지금껏 규칙적이고 공식적이다. 소수의 등장은 기존의 소수들로 자연수를 만들어 낼 수 없을 때 등장한다. 하지만, 새로운 소수가 만들어지는 시점은 규칙성과는 거리가 멀고 복잡하다. 소수의 등장 시점은 굉장히 불규칙적이고 임의적이다. 이러한 특징들을 토대로, 소수의 등장을 살펴보자[11],[12].

**3-2 소수 특징에 기반 한 소수 등장의 형태**

소수의 등장을 연구하는 이론 중에 소수 경주(Prime Number Race)라는 것이 있다. 소수 경주는 소수들의 등장을 일정한 격자(lattice)를 이용하여 몇 개의 그룹으로 팀을 나누어 소수 등장의 특성을 관찰한다. 쉽게 말해, 소수를 특정한 수로 나누었을

때의 나머지의 모임을 그룹으로 만든다. 새로운 소수가 등장할 때마다 어떤 그룹의 소수가 등장하는지를 관찰한다. 소수 경주의 관찰 결과는 소수는 임의적(randomwalk)으로 등장하고, 그 분포는 균등하다는 사실이다[13],[14].

도시 성장과 관련하여, 소수 등장의 특성을 더 자세히 들여다보기 위해, 소수 그룹을 평면위로 옮겨 보았다. 격자에 의해 재배열된 소수들에 일정한 위치를 부여하여 소수의 등장에 따른 누적 그래프를 그려보면 그림 4와 같은 그림이 나온다. 소수의 개수가 5000개에서 10000개, 15000개, 20000개, 25000개, 30000개로 늘어나면서 이동한 소수 그룹들 간의 움직임의 추이를 살펴보자.

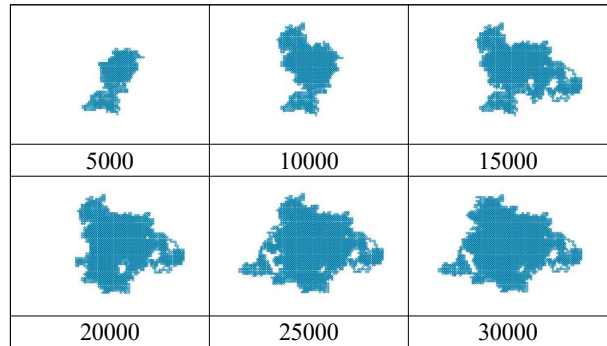


그림 4. 5 간격 소수 경주 경로  
Fig. 4. Prime number race trails by step 5

그림 4에서 보여 지는 것처럼 소수는 좌표평면의 원점을 중심으로 주변을 배회한다. 나선 모양으로 돌아 나가거나 방사형으로 뻗어가지 않는다. 소수의 등장의 모습은 균등하거나 공평하지 않다. 지극히 개별적이며 임의적이다. 오른쪽으로 쏠리는 듯 보이다가도 다시 왼쪽으로 갔다가 아래 방향으로 간다. 부분적으로 치우침이 심해 보이지만 전반적인 흐름을 보면 원점을 중심으로 동심원을 키워 나가며 등장한다. 소수 등장의 흐름을 면밀히 분석하기 위해, 등장한 소수들에 대한 중심의 움직임을 관찰한다.

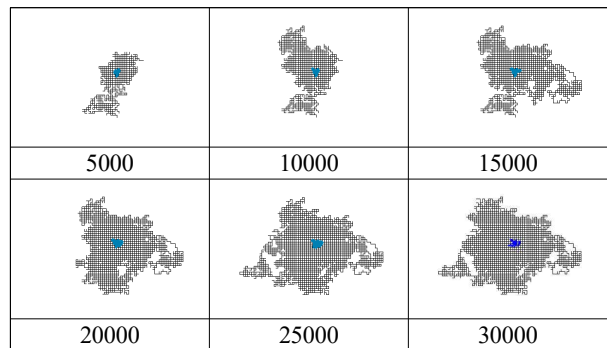


그림 5. 5 간격 소수 경주 경로와 중심의 움직임  
Fig. 5. Prime number race trails and Center Movement Paths by step 5

그림 5에서 보듯이, 새로운 소수가 등장함에 따라 등장한 소수들의 평균위치에 의해 얻어진 소수 중심의 움직임은 원점을 중심으로 이리저리 왔다 갔다 하지만 원점을 맴돈다. 이 모습은 도시의 성장하는 과정에서 도시를 구성하는 사람들이나 업종들이 도심 주변에서 벗어나지 않고 주변에 머무르려하는 모습과 유사하다. 특히, 원점을 중심으로 동심원 형태를 보이며 성장하는 대도시의 모습과 상당히 흡사하다. 동일한 반경을 가진 동심원 형태가 아니라, 부분적으로 어느 한쪽이 일찍 성장하기도 하지만 시간이 지나면서 전반적으로 고른 성장을 보이며 중심 반경을 키워가면서 성장한다. 이러한 모습은 단핵 도시 구조에서 일반적으로 보이는 모습이다.

또 다른 격자로 바라 볼 수도 있다. 다른 격자로 바라본 소수의 등장은 사뭇 다르다.

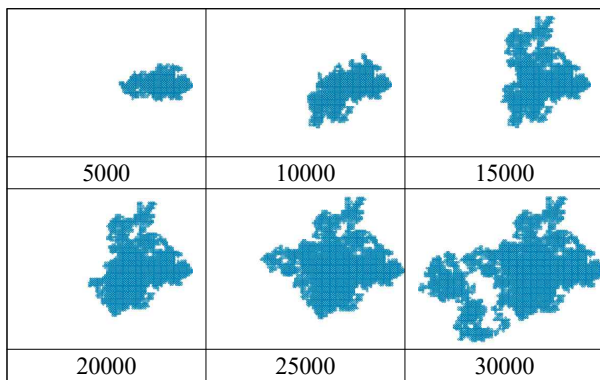


그림 6. 8 간격 소수 경주 경로  
Fig. 6. Prime number race trails by step 8

격자 8로 생성된 소수 그룹들의 모습은 그림 6에서 보이는 것처럼 좌표평면의 중심으로부터 시작하지만, 중심부를 키우지 않고 왼쪽으로 흘러가면서 소수는 등장한다. 어느 정도 오른쪽으로 가로영역을 확장한 뒤에는 아래 영역을 채우고 위쪽 영역으로 확장해 간다. 등장한 자취들을 보면 방사원의 형태는 보이지는 않는다. 정사각형이나 직사각형의 형태에 더 가까워 보인다.

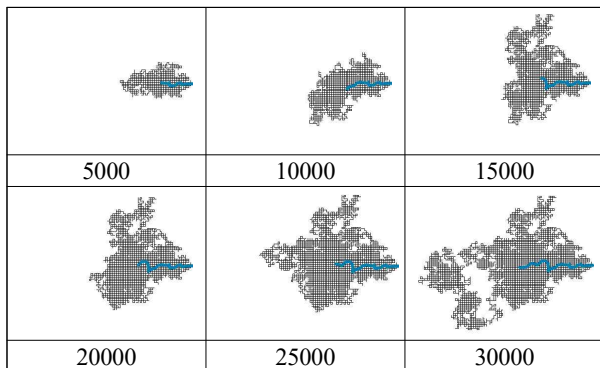


그림 7. 8 간격 소수 경주 경로와 중심의 움직임  
Fig. 7. Prime number race trails and Center Movement Paths by step 8

그림 7을 통해 격자 8일 때 소수가 등장하는 중심의 움직임을 보면, 원점으로부터 시작한다. 초기 소수들은 중심 주위를 채워나가기보다는 오른쪽으로 옮겨가려는 흐름이 보인다. 등장의 중심은 서서히 가로축의 왼쪽으로 흐르면서 등장하며 가로 영역들을 채워나가는데 집중하다가 특정 시점부터는 중심은 거의 움직이지 않으며 세로 영역들을 채워 나간다. 아래영역을 먼저 채우고 위쪽 영역을 채워나간다.

특징적인 부분은 그림 5에서 보여 지듯이 원점을 중심으로 빈틈이 어느 정도 채워지면 동심원을 확장시키는 격자 5에 의해 본 소수 등장의 모습과 달리 그림 7에서 보여 지는 격자 8에 의한 소수 등장은 중심이 움직임에 따라 중심반경 안의 빈틈이 어느 정도 채워지지 않아도 중심반경을 넓혀 나간다. 또한, 소수가 움직이는 활동반경이 격자 5보다 훨씬 크고 광범위하다.

격자 8에 의해 본 소수 등장의 움직임은 다핵 패턴의 도시 성장을 보여주는 듯하다. 도시의 성장이 도심을 중심으로 점차적으로 커지는 것이 아니라, 소핵심 지역들이 만들어지고 도심지역과 소핵심 지역들 사이를 매꿔 나가는 방식으로 진행되는 듯하다. 또한, 그 사이의 빈틈이 다 메워지지 않아도, 일정 시간이 지나면, 다른 핵들이 만들어지듯이 새로운 영역으로 진출한다. 그렇기에 처음 도심의 밀도는 일정 수준의 높이를 유지하면서 다른 도심들로 전이해 나가는 도시 구조의 형태를 보인다. 그 과정에서 도심과 다른 핵심지구들 사이에 빈 지역들이 생성되기도 한다.

#### IV. 서울시를 통해 본 소수기반 도시성장 모델

도시 내부 공간 구조의 개념적 분류에 따라 소수기반 도시 성장 모델을 실제 서울시의 도시 성장과 비교하여 도시 성장 비유얼 컨텍스트로서의 특성을 확인하고자 한다.

##### 4-1 서울 도시 형태의 변화

서울은 1394년 조선의 수도로 결정된 이후 동서축의 도시구조를 유지하여 왔으나, 일제 강점기에 남북으로 시가지가 확산되어 남북축의 도시구조로 바뀌기 시작하였다. 광복 이후에는 도시인구의 급격한 증가와 함께 시가지가 한강 이남으로 확산되어 1970년대 중반 현재의 시가지가 형성되었다.

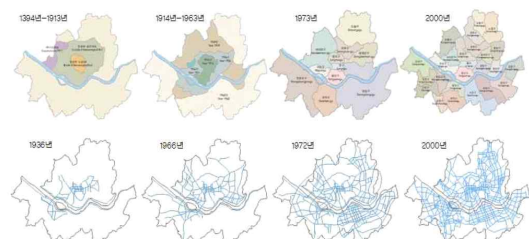


그림 8. 행정구역 변화(위), 도로망 변화(아래)  
Fig. 8. Administrative District Change, Road network change



서울의 인구가 증가하고 도시 영역이 확장함에 따라, 도시인구와 물자의 원활한 이동을 지원하기 위한 도로망도 발달되어, 방사형 가로망과 순환가로망체계가 형성되었다. 더불어, 광역적으로는 서울과 주변 수도권이 하나로 연계되는 광역 대도시권이 형성되었다[15],[16].

#### 4-2 서울 시가지 확산

조선시대의 시가지는 4대문 성곽 내부로 국한되어 있다가, 19세기 후반 근대적인 교통수단인 철도가 건설되고 전차가 운행되기 시작하면서 평면적으로 확산하기 시작하였다. 본격적으로 시가지가 확산된 것은 1963년 행정구역이 확장되면서부터이며, 급속한 산업화와 대규모 토지구획정리사업으로 시가지의 확산이 가속화 되었다. 서울시의 시가지가 1979년 이후 전차가 운행되면서 크게 확산된 모습을 보이고 있으며 2010년에 들어서 대중교통망의 광역화로 서울시 통근권이 더욱 확대된 모습을 보여준다.

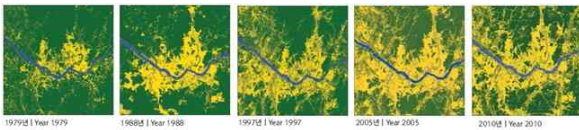


그림 9. 위성 사진을 이용한 시가지 확산

Fig. 9. Analysis of urbanized areas using satellite images

그림 9의 서울의 위성 영상을 보면, 서울의 모습은 1979년 이후로 1997년까지 초기 도심지역을 중심으로 도시가 성장하였다기보다는 도심지역이 흐르면서 이동을 하면서 성장을 형태를 보인다. 그림 10에서 보이는 형태나 흐름의 추세가 상당히 닮아 있다.

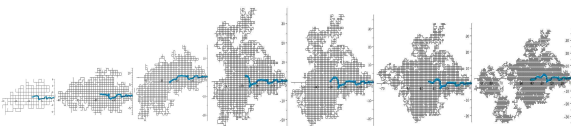


그림 10. 소수 경주를 이용한 소수 확산

Fig. 10. Analysis of prime areas using prime number races

1960년대~1970년대는 대규모 시가지 개발로 도시팽창과 교통문제가 악화되던 시기라 할 수 있으며, 1980년대 들어 서울은 도심위주의 단핵도시에서 강남, 여의도 및 영등포 등을 축으로 하는 다핵도시구조로 바뀌었으며, 시가지 확산은 서울의 시경계를 넘어 수도권으로 광역화하고, 서울내부에서는 빌딩들이 고층화되면서 밀도가 높아지게 되었다. 1990년대에 제1기 신도시(분당, 일산, 평촌, 산본, 중동)와 2000년대의 제2기 신도시(성남 판교, 화성, 김포, 파주 등)가 개발되고 대중교통망이 광역화되면서 서울시의 통근권이 더욱 확대되었고 시가지가 확산되었다.

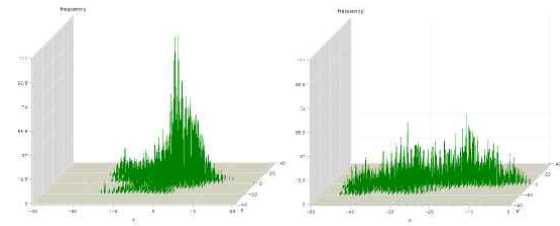


그림 11. 격자 5와 격자 8에 따른 3차원 소수 성장 형태

Fig. 11. Three-dimensional shape of downtown growth as the center moves

더 나아가, 그림 11의 소수 분포도를 보면 그 특징은 더 확실한 듯하다. 지금 서울 도심의 모습은 왼쪽보다는 오른쪽의 모형에 더 가깝다.

## V. 결 론

도시 내부의 공간 조직은 공간 형태와 밀접한 관련성을 가진다. 도시 내부 구조의 공간 조직은 기능적 측면과 형태적 측면을 가지고 있다. 공간 구조의 현상을 효과적으로 이해하기 위해서는 구성 요소들의 유기적인 결합 및 상호작용 여부 등으로 결정되는 공간 조직과 이를 뒷받침하는 개념과 원리에 대한 이해가 동시에 필요하다.

지금까지 살펴본, 도시 구조의 기본 전제와 한계는 다음과 같다: 첫째, 도시는 중심업무지구, 도매 및 경공업지구, 중공업지구, 주거지구, 소핵심지구 같은 업종 중심으로만 형성되지 않는다. 교통 및 정보기술의 발전과 세계 경제의 변화로 인해, 도시는 더 이상 지역(zone)의 형태가 명확하게 나누어지지 않는다.

둘째, 머디의 사회지역구조 이론(1969)에 나타나는 미국 도시들의 3가지 규칙성인, 사회 경제적 지위는 호이트의 섹터 이론과 유사한 공간이용형태를 지닌다. 가족 구성이나 세대유형은 베체스의 동심원 이론 형태를 지닌다. 인종그룹은 서로 다른 인종끼리 분리되어 독자적인 지역사회를 형성하여 다핵 패턴을 이룬다. 다시 말하자면, 도시 공간의 구조는 사람의 특성이 반영된다. 사람은 단순하거나 단편적이지 않고, 복잡다단한 존재이다. 그러므로 인간들이 만들어내는 도시의 성장 또한 획일적이지 않고 임의적이다.

셋째, 도시 구조에서 지리적 요인은 절대적이다. 그러나 대부분의 연구에서 지리적 요인을 배제한다. 예를 들어, 도심 한 가운데 강이 흐르고 있는 경우에는 도시 구조는 강의 흐름을 따라 발달할 수밖에 없다. 더불어, 교통 시스템의 영향력도 관가할 수 없는 요인이다. 사회적 공간과 달리 자연적 공간은 절대적이지는 않지만 일반화하기는 쉽지 않다.

소수의 등장이란 그림 5에서 보여 지듯이 단핵 도시의 동심원 모델처럼 한 지역을 중심으로 확장하면서 등장하기도 하지만, 그림 7에서 볼 수 있듯이, 단핵 도시에서 다핵 도시 구조로 변

화하듯이 중심이 이동하면서 소수가 등장하기도 한다. 이처럼 소수가 성장하는 모습이 도시가 성장하는 모습과 유사한 부분이 많다. 그 이유는 소수가 가지는 특성에 있다. 소수의 특성은 규칙적이지만 소수의 등장은 임의적(randomwalk)이며 규칙적이지 않다. 이는 사람의 특성과 같다. 사람의 행동은 국지적으로 보면 규칙적으로 보이지만 전체적으로 보면 임의대로 행동하고 활동하는 것처럼 보인다. 도시의 성장도 이와 일맥상통하다.

소수기반 도시 성장 모델의 가치는 긍정적이다. 이 모델은 앞에서 재고찰 했던 고전 도시 구조 모델 중의 어느 하나만을 대변하지 않는다. 소수의 등장에 대한 모습은 다양한 방식의 도시 성장 구조를 설명할 수 있다. 이러한 특징은 도시의 성장 모델로 소수 성장 모델이 적합함을 확인해 준다. 또한, 도시가 성장하는 과정을 그래프로 보여줄 수 있다면 상당히 흥미롭고 직관적일 것이다. 도시 성장 모델을 시각적으로 보여주는 콘텐츠(visual contents)로서도 소수 기반 도시 성장 모델은 매력적이다. 더 나아가, 본 논문에서 언급된 5나 8 이외의 다른 격자들을 적용하면 지금과 다른 다양한 모습들을 얻을 수 있다. 이는 소수 기반 도시 성장 모델의 향후 발전 가능성을 보여준다.

후속 연구로 소수기반 도시성장 모델에 시계열 패치 매핑을 이용하여 도시공간구조 변화를 심도있게 분석해 볼 필요가 있다[17]. 또한, 고전적 도시공간 연구 방법론에 근거하여 진행된 본 연구는 Batten(1995)에 의해 1990년대 중반에 시작된 네트워크 도시이론과 비교 분석해 볼 필요가 있다. 이 이론은 20세기 중반 이후 경제의 세계화라는 특징을 반영하여 21세기의 도시 현상을 설명하는 유용한 개념으로 널리 수용되고 있는 이론이다. 소수 모델 연구가 세계도시체계의 변화방식의 핵심을 설명해 주고 있는 네트워크 도시 이론을 통해 더 완전해 질 수 있을 것으로 판단된다[18],[19].

물론, 소수기반 도시 구조 모델이 가지는 한계는 있다. 결과적으로, 서울 도심의 형태적 변화가 소수 등장의 모습과 상당히 유사하다는 사실은 분명하다. 하지만, 그러한 형태적 특징을 보이는 근거를 본질적인 속성에 의존하고 있을 뿐, 기능적인 특징들에 대한 합리적인 설명을 제시하지는 못했다. 이 부분은 향후 연구 과제로 남겨져 있다.

**참고문헌**

[1] Burgess E.W., "The growth of the city: an introduction to a research project", *Publications of the American Sociological Society*, Vol. 18, pp. 85-97, 1924.  
 [2] Hoyt, H., "The Structure and Growth of Residential Neighborhoods in American Cities Washington", Federal Housing Administration, 1939.  
 [3] Harris C. D., Ullman E. L., "The nature of cities", *Annals of the American Academy of Political and Social Science*, Vol. 242, pp. 7-17, 1945.

[4] Youngwoo N., Urban spatial structure theory, *Bubmoon*, 2007.  
 [5] Jungyeop, S., "Theoretical reconsideration of urban internal structure model based on the concepts and processes", *Journal of the Korean Geographical Society*, Vol. 1, No. 2, pp. 177-191, 2012.  
 [6] Hartshorn, T., *Interpreting the City*, 2nd edition, *New York: Wiley*, 1991.  
 [7] Pacione, M., *Urban Geography: A Global Perspective*, 3rd edition, *London: Routledge*, 2009.  
 [8] Anas, A., Arnott, R. and Small, K., "Urban spatial structure", *Journal of Economic Literature*, Vol. 36, pp. 1426-1464, 1998.  
 [9] Rodwin, L., "The Theory of Residential Growth and Structure", *Appraisal Journal*, Vol. 18, pp. 295-317, 1950.  
 [10] Harris, Chauncy D. and Ullman, Edward L., "The Nature of Cities". *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*, Vol. 242, pp. 7-17, 1945.  
 [11] G. H. Hardy and E. M. Wright, *An Introduction to the Theory of Numbers*, 5rd ed., *Oxford: Clarendon Press*, 1979.  
 [12] S. Jeong, G. Lee and G. Kim, "Statistical and structural analysis of the appearance of prime numbers", *Journal of Applied Mathematics and Computing*, Vol. 41, pp. 283-299, 2013.  
 [13] J. Kaczorowski, "On the Shanks-Rényi Race Problem mod 5", *Journal of Number Theory*, Vol. 50, pp. 106-118, 1995.  
 [14] A. Granville and G. Martin, "Prime number races", *The American Mathematical Monthly*, Vol. 113, No. 1, pp. 1-33, 2006.  
 [15] The Seoul Research of Data Service, City Planning Division [Internet]. Available: <http://urban.seoul.go.kr/view/html/PMNU1050100000>  
 [16] The seoul institute, *WORLD&CITIES*, Seoul Special City, Vol. 8, 2015.  
 [17] Y. Lee, K. Lee and J. Chon, "Urban spatial structure change detection in land cover map using time-series patch mapping", *Journal of Digital Contents Society*, Vol. 19 No. 9, pp. 1727-1737, 2018.  
 [18] Batten, D. F., *Network cities: creative urban agglomerations for the 21st-century*, *Urban Studies*, Vol. 32, No. 2, pp. 313-327, 1995.  
 [19] Jungyeop, S., "Network City as a New Urban Growth Model: A Review on Its Formation, Spatial Structure, Management, and Growth Potential", *Journal of the Korean Geographical Society*, Vol. 46, No. 2, pp. 181-196, 2011.





**정승필(Seungpil Jeong)**

2001년 : 경상대학교 수학과 (학사)  
2008년 : 경상대학교 수학과 (이학석사)  
2017년 : 경상대학교 수학과 (이학박사)

2012년~현재 : 경상대학교 수학과 강사

2016년~현재 : 경남과학기술대학교 전자공학과 강사

※ 관심분야 : 도시구조(urban structure), 정보보호(Personal Information), 경제정책(Economy politics), 디지털저작권(DRM) 등