

주택시장의 네트워크 구조 분석: 수도권 아파트 매매시장의 사례

정준호*

An Analysis of Network Structure in Housing Markets: the Case of Apartment Sales Markets in the Capital Region

Jun Ho Jeong*

요약 : 본 연구는 최소결침나무(minimal spanning tree) 기법을 2003년 7월-2014년 3월 기간 동안의 수도권 아파트 매매시장에 적용하여 주택시장 네트워크의 위상학적인 구조를 분석한다. 이러한 기법의 적용을 통해 파악된 수도권 아파트 매매시장 네트워크의 위상학적인 구조의 특성들은 주식시장에서 발견되는 그것들과 정도의 차이는 있지만 어느 정도 공유하고 있다. 이는 네트워크의 계층구조, 네트워크 내 하위집단의 구분, 시간에 따른 결절 간 수익률의 전염 확산, 시간 종속적인 네트워크 구조에 따른 상관관계 붕괴 현상 등을 포함한다. 이는 분석 기간 동안에 아파트가 자산으로서 투기적 동기에 강렬하게 휩싸여 있었으며 유동성이 상대적으로 가장 뛰어난 주택 상품이라는 것에 어느 정도 기인하는 것으로 보인다.

주요어 : 네트워크, 최소결침나무, 아파트 매매시장, 수도권

Abstract : This paper analyzes the topological structure of housing market networks with an application of minimal spanning tree method into apartment sales markets in the Capital Region over the period 2003.7-2014.3. The characteristics of topological network structure gained from this application to some extent share with those found in equity markets, although there are some differences in their intensities and degrees, involving a hierarchical structure in networks, an existence of communities or modules in networks, a contagious diffusion of log-return rate across nodes over time, an existence of correlation breakdown due to the time-dependent structure of networks and so on. These findings could be partially attributed to the facts that apartments as a quasi-financial asset have been strongly overwhelmed by speculative motives over the period investigated and they can be regarded as a housing commodity with the highest level of liquidity in Korea.

Key Words : network, minimal spanning tree, apartment sales market, the capital region

2012년도 강원대학교 학술연구조성비로 연구하였음(This study is supported by Kangwon National University).

* 강원대학교 부동산학과 부교수(Associate Professor, Department of Real Estate, Kangwon National University, jhj33@kangwon.ac.kr.)

1. 서론

2000년대 글로벌 차원에서 부동산시장이 투기적 속성을 가지면서 주요 OECD 국가의 주택시장은 미증유의 가격 앙등기를 경험하였다(Bracke, 2011). 우리나라도 1998년 외환위기 이후 가계금융의 자유화가 확대되면서 여기서 예외가 아니었으며(정준호, 2013), 참여정부는 주택가격 안정화에 실패하여 정권의 명운을 감수해야 했다. 특히 미국에서는 2008년 서브프라임 위기가 발생하여 세계 전체를 금융위기의 영향권으로 끌어들었다. 이처럼 2000년대 주택시장은 금융시장과 급속히 통합되면서 그 움직임이 과거와는 사뭇 다른 패턴을 가지게 되었다.

부동산시장과 금융시장 간의 통합은 부동산자산을 실물자산보다는 준금융자산(quasi-financial assets)으로 인식하도록 부추기고 있다. 부동산은 기본적으로 실물자산으로서 인플레이 헤징 기능을 가지면서 금융자산에 대한 보완재로서 역할을 해왔지만, 최근에는 이들 간의 구분이 명확하게 되지 않고 있다. 이처럼 부동산이 시장에서 준금융자산으로 인식되고 작동하고 있다면 이것이 금융자산의 속성을 어느 정도 가지고 있는가를 실증적으로 분석하고 이를 직·간접적으로 비교하는 것은 유의미한 작업이라고 생각한다.

금융시장의 속성에 관한 연구들은 여러 가지 방면에서 진행되어 왔지만 네트워크 관점에서의 연구는 최근 경제물리학과 금융경제학 분야에서 활발히 진행되고 있다. Mantegna and Stanley(2000)는 네트워크 시각에서 금융시장의 수익률 분포가 정규분포를 따르지 않고 그러한 분포가 군집화되는 경향이 있다는 사실을 보여주고 있다. 또한 Mantegna(1999)는 금융시장의 네트워크는 위상학적(typological) 측면에서 계층구조를 가지고 있으며, 이는 경제적으로 유의미한 자산의 군집화와 연관되어 있다는 점을 밝혀내고 있다.

금융시장의 네트워크 구조에 관한 연구는 Mantegna(1999)가 자산 간의 상관관계를 거리계수로 전환하여 이를 토대로 네트워크 내 모든 결절을 최단거리로 연결하는 최소결집나무(minimal spanning tree, 이하 MST)를 생성하는 방법론을 도입함으로써 진일보하는 계기가 마련되었다고 볼 수 있다. MST 기법은 유클리드 거리로 측정된 자산 간의 복잡한 상호 관계망을 초거리 공간(ultrametric space) 내에서 자산 간의 상관구조 정보를 대폭적으로 축약함으로써 경제적으로 유의미하고 유용한 정보를 제공한다(Gower *et al.*, 1969; 고일용·이승국, 2007).

이에 기반하여 금융시장의 네트워크에 대한 연구는 주식시장을 중심으로 행해져 왔다(예: Mantegna, 1999; Anderson *et al.*, 2001; Onnela *et al.*, 2003, Coelho, *et al.*, 2007; Smith, 2009), 이들 연구는 개별 주식시장 네트워크 계층구조의 이해(Mantegna, 1999), 세계 주식시장의 통합에 따른 네트워크 구조의 해명(Coelho, *et al.*, 2007), 시간 종속적인 주식시장 네트워크 구조와 기존 포트폴리오 구조의 재평가(Onnela *et al.*, 2003), 그리고 2008년 서브프라임 글로벌 금융위기와 같이 경제적 충격에 따른 주식시장 수익률 하락의 자산 간 전염 확산과정(Smith, 2009) 등을 포함한다. 국내 연구로서 고일용·이승국(2007)은 MST 방법론을 소개하고 국내 주식시장과 부동산시장에 적용하여 네트워크 구조를 보여주고 있다.

최근에 들어와서 주택시장에 대한 정보가 금융시장의 그것처럼 잘 제공되고 있다. 주지하듯이, 주택시장, 특히 아파트 매매시장은 특정 입지에서 금융시장처럼 자산시장의 속성을 다분히 가지고 있다(이종아·정준호, 2010). 그렇다면 자산시장으로서 주택시장의 네트워크 형태는 금융시장의 그것과 유사한 형태가 도출될 수 있다는 가설이 제기될 수 있을 것이다. 전술한 바와 같이, 금융시장의 네트워크에 대한 연구는 주식시장에 대해 집중적으로 이루어져 왔으나 부동산시장의 경

우에는 전무하다. 이는 무엇보다 부동산시장의 실물 자산으로서의 부동산 자산에 대한 이해의 지속과 부동산 가격정보 구득의 시계열적 제약에 기반하고 있다.

하지만 우리나라에서 주택 상품의 표준화와 결부되어 아파트는 상대적으로 거래가 용이하고 다른 부동산자산에 비해 유동성이 뛰어나 중산층 자산축적의 열망을 대표하는 자산으로 각광을 받아 왔다. 특히 2000년대 이래 아파트는 가계금융의 자유화와 결부되어 사실상 준금융자산으로 널리 인식되었으며 주식처럼 가격이 요동치기도 하였다. 이러한 아파트 가격 앙등기를 거치면서 정부의 가격 안정화 정책의 효과적인 입안과 실행을 위해 우리나라는 부동산 가격정보에 대한 양호한 인프라를 갖추게 되었다. 다른 한편으로, 이는 거의 모든 국민들이 아파트에 대한 투기적인 열망을 고취하는 데 일조하기도 하였다.

본 연구는 2000년대 수도권 아파트 매매시장을 대상으로 경제물리학에서 확립된 네트워크 기반의 MST 기법을 적용하여 그 네트워크의 위상학적 구조를 밝히는 데 있다. 이를 통해 수도권 아파트 매매시장에서 금융시장 네트워크의 속성이 어느 정도 나타나고 있는지를 규명하고자 한다. 이는 금융시장과 아파트 매매시장 네트워크 간의 위상학적 구조의 유사성이라는 가설을 검증하는 것이기도 하다.

2절에서는 네트워크 기반의 MST 방법론에 대해 기술하고, 3절에서 수도권 아파트 매매시장을 대상으로 분석 결과를 제시한다. 이는 정태적인 분석 결과와 동태적인 분석 결과로 나누어 보고한다. 그리고 마지막 장에서 이제까지의 논의를 요약·정리하고 결론을 맺는다.

2. 분석 방법론: 네트워크 기반의 MST

본 연구에서 사용하는 분석 방법은 네트워크 기반의 MST이다. 이는 경제물리학에서 개발된 방법론으로 주식시장으로 대표되는 금융시장의 네트워크 분석에 적용되어 왔다(Mantegna, 1999; Onnela *et al.*, 2003; Coelho *et al.*, 2007; 고일용·이승국, 2007). 네트워크 기반의 MST 기법을 한마디로 정리하면, 이는 그래프상의 결절을 각 지역의 아파트 매매지수라고 할 경우 이들 결절 간의 상관계수 행렬과 거리계수 행렬을 계산하고 이 결절들을 최단 거리로 완전하게 연결한 그래프를 구축하는 것이다. MST는 가장 중요한 상관관계를 선별하고 이를 토대로 최단 거리 연결 그래프를 구축하여 결절들의 군집을 파악하는 데 사용된다. 물론 MST 이외에도 상관관계를 활용하여 이와 같은 작업을 수행할 수 있는 방법들은 여러 가지가 있으나 MST가 가지는 방법상의 단순성과 같은 장점이 부각되면서 경제물리학 또는 금융경제학 분야에서 자주 활용되고 있다. 따라서 MST는 정보의 바다에서 헤매지 않고 사태의 본질을 파악할 수 있도록 복잡성을 단순화하는 데 도움을 주며, 결절 간의 상관관계를 간결하게 나타낸 (pruned) 위상학적인 표현이라고 할 수 있다(Onnela *et al.*, 2003).

MST를 구축하기 위해서는 우선적으로 두 결절 간의 유사성, 즉 상관계수 행렬을 구축해야 한다. 상관계수 r_{ij}^t 는 등식 1과 같이 정의된다.

$$r_{ij}^t = \frac{\langle r_i^t r_j^t \rangle - \langle r_i^t \rangle \langle r_j^t \rangle}{\sqrt{[\langle r_i^t \rangle - \langle r_i^t \rangle^2][\langle r_j^t \rangle - \langle r_j^t \rangle^2]}} \quad \text{등식 1}$$

여기서 t 는 시간, $\langle \dots \rangle$ 는 시간 평균을 나타낸다. 또한 r_i 는 $\ln P_i(t) - \ln P_i(t-1)$ 로 정의되는 로그 수익률이다. 본 연구에서 사용되는 P_i 는 국민은행이 발표하는 수도권 시군구 아파트의 월별 매매가격지수이다. 상관계수 행렬 C^t 는 $N \times N$ 로 구성되

는 대칭행렬이고 정의에 따라 대각행렬 원소의 값은 1이다. 주지하는 바와 같이, 상관계수의 값은 -1에서 1 사이의 값을 갖는다.

하지만 결절 간의 상관계수는 이들 간의 거리 척도(metrics)로 사용할 수 없다. 왜냐하면 상관계수는 거리 척도를 규정하는 세 가지 공리들을 충족할 수 없기 때문이다(Mantegna, 1999). 거리 척도로 일반적으로 정의되는 유클리드 거리는 세 가지 공리, 즉 ① $d_{ij}=0 \Leftrightarrow i=j$, ② $d_{ij}=d_{ji}$, ③ $d_{ij} \leq d_{ik}+d_{kj}$ 를 충족한다. 첫 번째 공리의 경우 두 변수가 동일하면 상관계수가 1이고 $d_{ij}=0$ 이다. 두 번째 공리의 경우, 정의상 거리 행렬은 대칭행렬이기 때문이라는 문제가 되지 않는다. 마지막 공리는 유클리드 공간에서 일반적으로 성립하는 삼각 부등식을 일컫고 있다.

Mantegna(1999)가 제시하는 바와 같이, 상관계수를 활용하여 등식 2와 같은 유클리드 거리 척도를 만들어 낼 수 있다 이를 식으로 나타내면 다음과 같다

$$d_{ij} = \sqrt{2(1-p_{ij})} \quad \text{등식 2}$$

여기서 거리 계수의 값은 비선형이고 0과 2 사이의 값을 가진다. 거리 행렬 D' 는 상관계수 행렬과 마찬가지로 $N \times N$ 로 구성되는 대칭행렬이다. 이는 MST를 구축하는 데 사용된다.

그런데 상관계수의 함수로서 정의되는 유클리드 거리 척도를 가지고 시장의 네트워크를 파악하면 너무 복잡하고 결절 간의 상관계수에 대한 유용한 정보를 추출할 수가 없다. 네트워크의 위상학적인 구조와 연관된 유용하고 유의미한 정보를 추출하기 위해서는 새로운 거리 공간을 가정할 필요성이 있다(Mantegna, 1999). 이러한 이유로 인해 초거리 공간(ultrametric space) 개념이 도입되는데, 이 중에서도 단순성의 이유로 서브도미넌트(subdominant) 초공간이 적합한 것으로 널리 받아들여지고 있다(Onnela *et al.*, 2003). 이는 유클

리드 거리 공간에서 추출 가능한 정보 중에서 상관관계 분석에서 비유의한 정보를 인위적으로 추려내어 핵심적인 정보만을 얻기 위해 정의되는 공간이라고 할 수 있다(고일용·이승국, 2007). 초거리 공간에서 새로운 거리 \hat{d}_{ij} 는 ① $\hat{d}_{ij}=0 \Leftrightarrow i=j$, ② $\hat{d}_{ij}=\hat{d}_{ji}$, ③ $\hat{d}_{ij} \leq \max(\hat{d}_{ik}, \hat{d}_{kj})$ 등 세 가지 조건을 만족한다. 첫째와 둘째 조건은 전술한 유클리드 거리의 그것과 동일하다. 하지만 세 번째는 유클리드 공간에서 성립하는 삼각부등식의 그것보다 더 강한 조건이다.

이러한 새로운 거리 \hat{d}_{ij} 를 가지고 그래프를 연결하는데 그것이 바로 MST이다. 환언하면, MST는 D' 를 통해 T' 를 추출하여 꼭짓점(vertex)을 연결한 그래프이다. 이는 N 개의 꼭짓점이 연결되어 있는 구조에서 \hat{d}_{ij} 의 거리의 합, $\sum_{d_{ij} \in T'} d_{ij}$ 이 최소화되는 $N-1$ 개의 변(edge)을 가지는 그래프이다. Gower and Ross(1969: 56)는 MST를 ① 폐쇄된 루프가 없으며, ② 각 꼭짓점은 적어도 하나의 변과 연결되며, ③ 전체로 연결되는 그래프(나무)로 정의한다.

이러한 초공간은 군집의 계층성이 경제적 관점에서 의미가 있다는 발견에 의해 사후적으로 추가된 것으로(Onnela *et al.*, 2003), 소위 계층적 군집 분석에서 두 군집 간의 거리가 가장 가까운 순으로 연결하는 단일 연결법(single link method)이 사실상 MST와 동일한 거리 \hat{d}_{ij} 를 공유하고 있기 때문에(Gower and Ross, 1969)¹⁾, 이는 계층적 나무 구조로 나타낼 수 있다(Mantegna, 1999).

이처럼 초공간에 기반한 MST는 대칭행렬인 상관계수 행렬 C' 와 거리계수 행렬 D' 의 $N(N-1)/2$ 개의 정보를 $(N-1)$ 개의 정보로 압축할 수 있는 것이다. 하지만 MST에 포함된 거리계수의 분포는 상관계수 분포의 중요한 특성 대부분을 유지하고 있다. 따라서 MST는 상관계수에 대한 매우 유의하고 축약된 정보를 담고 있는, 전체 상관계수 행렬을 대표하는 것으로 이해할 수 있다(Onnela *et al.*, 2003).

3. 실증 분석

1) 분석 자료

본 연구는 자료가 가용한 59개 수도권 시군구 아파트 매매시장을 대상으로 하고, 분석 기간은 2003년 7월부터 2014년 3월까지이다. 따라서 관측치는 129개이다. 분석 대상을 수도권으로 한정된 것은 수도권 자체가 상대적으로 동질적인 지역으로 분석과 해석에 대한 편의를 도모하고 2000년대 자산으로서 아파트에 대한 자산축적 열망이 극적으로 표출된 지역이기 때문이다. 분석 기간을 2003년 이전으로 확장하기가 힘든 것은 그 이전에는 시군구별 자료가 가용하지 않기 때문이다. 2000년대 초·중반 부동산 가격 양등기를 거치면서 시군구별 자료가 월별로 집계되기 시작하였으며, 2008년 이후부터는 1주 간격으로 수도권의 주요 시군구별 아파트 매매가격지수 자료가 가용하다. 따라서 가용한 시·공간적 범위 내에서 분석을 수행하며, 아파트매매가격은 국민은행에서 발표하는 아파트매매가격지수 자료로 대용한다. 다른 한편으로, 분석 기간을 가능한 한 확대하고 공간적 차이로 발생하는 비동시적인 거래 편차에 따른 시장통합의 과소평가 문제를 우회하기 위해 월별 자료를 사용한다(Coelho *et al.*, 2007).

주택은 주식과 달리 거래비용이 상대적으로 크며 고가의 실물 자산이므로 유동성이 상대적으로 높지 않다. 하지만 아파트는 상대적으로 표준화되어 있으며 이에 대한 정보 비대칭성도 적어 거래가 활발하고 유동성이 높은 편이다. 또한 2000년대 이후 주택시장이 금융시장과 급속하고 긴밀하게 통합되어 주택을 자산으로 간주하는 경향이 증대되었다는 점을 감안하여(정준호, 2013) 주식시장 분석의 경우처럼(Mantegna, 1999; Onnela *et al.*, 2003; Coelho *et al.*, 2007), 본 연구에서 사용되는 수익률은 사용자 비용과 임대소득 등을 감안

하지 않은, 즉 자본이득에 한정된 로그 수익률이다.

시간에 따른 MST의 변화를 분석하기 위해 본 연구에서는 고정 이동창(rolling window) 분석을 수행한다. 이는 길이가 고정된 창의 시작 시점을 순차적으로 변경하여 각 고정창을 대상으로 구축한 MST가 시계열적으로 어떻게 변화하는지를 살펴보는 것이다. 본 연구에서 사용되는 고정창의 길이는 1년이고 이동창의 길이는 1개월이다.

2) 분석 결과

2003년 7월부터 2014년 3월까지의 전체 분석 기간에 대한 정태적인 MST 분석과 시간 변화에 따른 동태적인 MST 분석의 결과들을 나누어 제시한다.

(1) 정태적인 분석 결과

그림 1은 2003년 7월부터 2014년 3월까지 전체 기간을 대상으로 수도권 59개 아파트 매매시장을 연결한 MST를 보여주고 있다. 그래프의 형태는 주식시장의 사례(예: Mantegna, 1999)에서 흔히 나타나는 원형의 응집된 구조가 아니라 덜 집중된 Y자형을 보여주고 있다. 이는 결절 간의 상관성이 주식시장의 그것보다는 약하다는 것을 함의한다.

그래프를 분석하기 위해서는 그래프상의 중심 결절의 위상과 그 의미를 들여다 볼 필요가 있다. 중심 결절이란 최근된 결절과 가장 강하게 연결된 결절을 일컫는다. 이는 네트워크를 구성하는 하나의 결절과 이와 직접적으로 연결된 다른 결절들과의 연결 정도를 측정하는 연결 중심성(degree centrality) 지수를 통해 알 수가 있다. 다른 결절과의 연결된 수, 즉 연결 중심성의 정도는 해당 결절의 체계적 위험 정도를 나타낸다고 볼 수 있다(고일용·이승국, 2007: 79). 이 수가 클수록 해당 결절은 전체 시장과 긴밀하게 연결되어 체계적 위험성이 높다고 판단할 수 있다. 환언하면, MST 네

트위크에서 중심부가 아니라 가장자리에 위치할 수록 시장 전체와의 상관성, 즉 체계적 위험은 낮다고 볼 수 있는 것이다(Mantegna, 1999). 그리고 MST 연결구조에서 두 결절 간의 거리가 멀수록(\hat{d}_{ij} 값이 클수록) 이들 간의 상관성은 상대적으로 낮다고 판단할 수 있다. MST상의 체계적 위험과 CAPM의 그것은 다르다. MST에서 체계적 위험은 다수의 결절들과 상관성이 높은 경우를 말한다. 반면에, CAPM에서 체계적 위험은 시장수익률과의 상관성만을 고려한 β 를 일컫는다(고일용·이승국, 2007; 이종아·정준호, 2010).

그림 1은 결절의 크기로 연결 중심성의 정도를 보여주고 있는데, 고양이가 5이고, 남양주, 관악, 남동구, 마포, 계양구, 안양, 강남, 구리가 4이다. 그림에서 보듯이 이 중에서 네트워크 허브에 해당되는 지역은 서울 강남이 아니라 경기 구리 또는 남양주이다. 후자가 다수의 연결을 가지며 네트워크의 중심에 위치하고 있다는 것은 다른 지역과 함께 움직이는 정도, 즉 시장 변동성이 심하다는 것을 시사하고 따라서 이들 아파트 매매시장의 체계적 위험도는 상대적으로 높다고 생각할 수 있다(고일용·이승국, 2007).

그림 1과 같은 배치의 그래프는 당초 예상과는

다르다. 우리나라 중산층의 자산축적 열망을 대표하는 아파트 매매의 중심지는 주지하는 바와 같이 서울의 강남 3구이다. 이 지역이 네트워크의 중심부에 위치할 것으로 예상했지만 실제 MST에서는 경기 구리와 남양주가 중심에 위치하고 있다. 이를 어떻게 설명해야 되는 것일까? 전술한 바와 같이, 이는 무엇보다 MST에서 함의하는 체계적 위험도는 CAPM에서 일컫는 시장수익률과 얼마나 동행하는지를 나타내는 정도(β)와 다르기 때문이다. CAPM의 체계적 위험은 시장수익률과의 동행 정도를 측정하는 것인데 반해, MST에서 체계적 위험도가 높은 것으로 이해되는 네트워크의 중심은 다른 결절들과의 상관성이 높다는 것을 의미한다(고일용·이승국, 2007).

이종아·정준호(2010)와 이종아(2011)의 아파트의 CAPM에 관한 연구를 보면, 2000년대 서울 강남 3구 아파트 매매시장의 β 값이 가장 높다. 따라서 서울 강남 3구의 경우 CAPM으로 측정되는 체계적 위험은 높지만 MST에서 파악되는 체계적 위험은 낮다. 이는 서울 강남 3구와 그 인접지역이 국지적인 시장권역을 형성하고 있으며, 지역 특수적인 요인이 시장 자체의 변동성에 중요한 영향을 미치고 있다는 것을 시사한다. 이러한 경우는 주

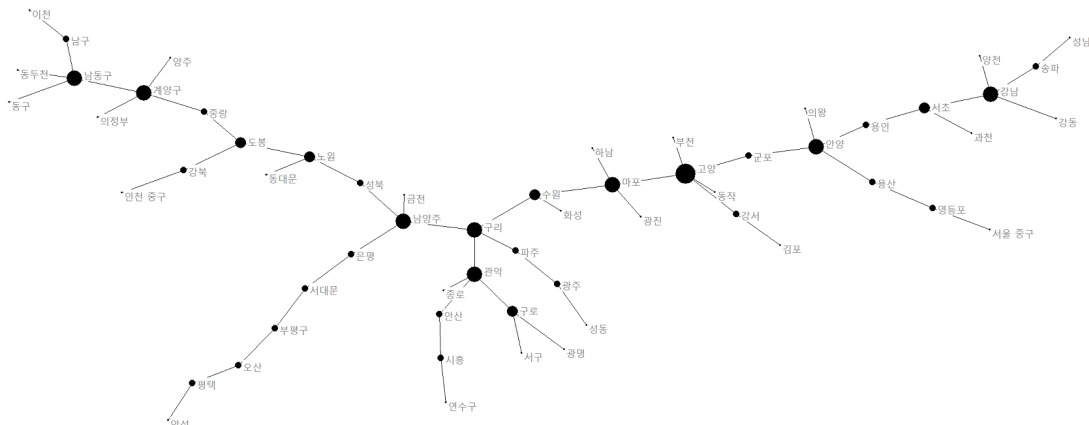


그림 1. 수도권 아파트 매매시장의 MST

- 주: 1) 전체 기간을 대상으로 한 것임.
- 2) 결절의 크기는 연결 중심성의 정도를 반영하고 있음.

식시장에서도 나타나는데, 세계 주식시장의 통합을 분석한 Coelho *et al.*(2007)에서 네트워크의 중심은 미국시장이 아니라 프랑스로 나타나고 있다. 고일용·이승국(2007)도 국내 주식시장을 분석했는데, 그 경우에도 삼성전자가 네트워크의 중심부에 위치하지 않고 있다.

그림 2는 MST에서 추출된 초거리를 가지고 수도권 아파트 매매시장의 계층구조를 보여주고 있다. 수도권 아파트 매매시장의 그룹화가 나타나고 있다. 이는 인접한 지리적 범위에 의해 규정되기도 하고 그렇지 않은 경우도 있지만 전반적으로 지리적 인접성이 아파트 매매시장의 그룹화에 영향을 미치고 있다. Mantegna(1999)의 주식시장에 관한 연구에서 확인되는 바와 같이, 수도권 아파트시장에서도 주식시장보다는 명확하게 드러나지는 않지만 계층적인 구조를 보여주고 있다. 예를 들면, 지리적 인접성에 따라 대략적으로 용산-영등포, 용인-강동-서초-강남-송파, 노원-도봉,

의왕-안양-군포, 안산-시흥, 동작-강서-고양, 남양주-구리-파주 등 아파트 하위 매매시장이 나타나고 있다.

이처럼 대부분의 네트워크는 균질적이지 않고 하위집단, 즉 모듈(modules)로 구성되어 있으며, 모듈 내에서는 상호 간 연결이 많지만 상이한 모듈 간에는 연결이 적다(Lambiotte and Delvenne, 2009). 네트워크는 모듈 내에 모듈을 가진 계층구조를 가지고 있으며, 특히 사회·경제적 현상의 경우에는 흔하다. 따라서 하위집단 또는 모듈을 확인하는 것은 네트워크의 구조를 파악하는 데에 중요하다. 네트워크에서 하위집단을 확인하는 작업은 여러 가지가 있는데, 앞서 분석한 네트워크 기반의 MST와 그와 연관된 계층구조의 시각화는 이러한 방법들 중의 하나이다.

그림 3은 Blondel *et al.*(2008)과 Lambiotte and Delvenne(2009)가 제안한 알고리즘에 따라 네트워크 내의 하위집단, 즉 모듈을 정치하게 구분하

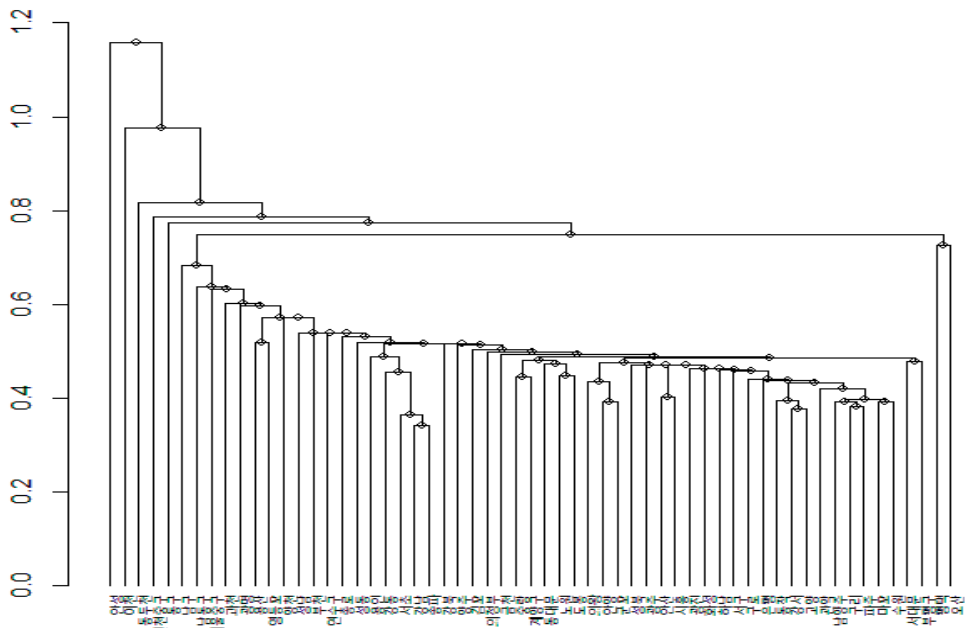


그림 2. 수도권 아파트 매매시장의 초공간 계층구조 나무

자료: 그림 1 참조

필요가 있다. 이를 위해 국민은행에서 발표하는 계절조정된 수도권 아파트 명목가격지수에 자연 로그를 취한 후에 HP(Hodrick-Prescott) 필터를 사용하여 수도권 아파트 매매시장의 경기순환주기를 도출한다. 이론적인 면에서 실질가격을 사용해야 하지만 명목가격과 실질가격 간의 변동패턴에 큰 차이가 없다는 지적(서승환, 2012: 51-52)을 수용하여 여기서는 명목가격지수를 그대로 사용하기로 한다.

그림 4에서 보듯이, 아파트 매매가격의 변동 추세는 크게 두 국면으로 구분이 가능하다. 2009년 10월을 기점으로 그 이전에는 상승 국면이고 그 이후에는 하강 국면으로 나뉘고 있다. 이러한 구분은 2008년 미국 서브프라임 사태에 따른 글로벌 금융위기의 효과를 반영하고 있는 것으로 보인다. 그런데 국민은행의 자료는 호가에 기반하고 있기 때문에 2008년 글로벌 금융위기의 여파가 실제보다는 늦게 시차를 두고 반영이 된 것으로 보인다. 한편, 경기순환 변동치를 보면 2006-2007년 사이에 아파트 가격 변동이 가장 심했다는 것을 알 수가 있다.

그림 5와 6은 2009년 10월 전후로 전자의 시기

를 대세 상승기, 후자의 시기를 대세 하강기로 생각하여 각각 구축한 MST의 변화를 보여주고 있다. 대세 상승기의 MST는 전체 기간의 MST와 그렇게 큰 차이를 보여주고 있지는 않다. 네트워크의 중심에 구리와 남양주가 위치하고 있으며, 외곽에 버블 세븐 지역이 위치하여 있다. 하지만 대세 하강기의 MST는 이전과는 다른 모습을 보여주고 있다. 예를 들면, 버블 세븐 지역 중의 하나인 서울 양천구는 영등포를 위시한 수도권 서부권역에, 즉 지리적 인접권역에 묶여 있다. 그런데 특이적인 것은 네트워크 중심부에 서울 성북구가 위치하여 주요 서울 강·남북 아파트 매매시장을 아우르고 있다는 점이다. 성북구는 인접 지역인 도봉·강북구, 강남권 주요 버블세븐 지역, 그리고 네트워크 중심부 가까이에 있는 다른 시장권역인 고양 등과 연결되어 있다(그림 6 참조).

여기서 특이할 만 점은, 2006년 판교 신도시와 2008년 은평 뉴타운 개발로 아파트 가격의 상승세를 거듭하던 각각 서울 강남·북 아파트 매매시장이 외부 충격인 2008년 금융위기의 여파에 의해 급격한 가격 하락세를 거치면서 동일한 하위시장으로 엮여져 있다는 것이다. 이 과정에서 소위 버

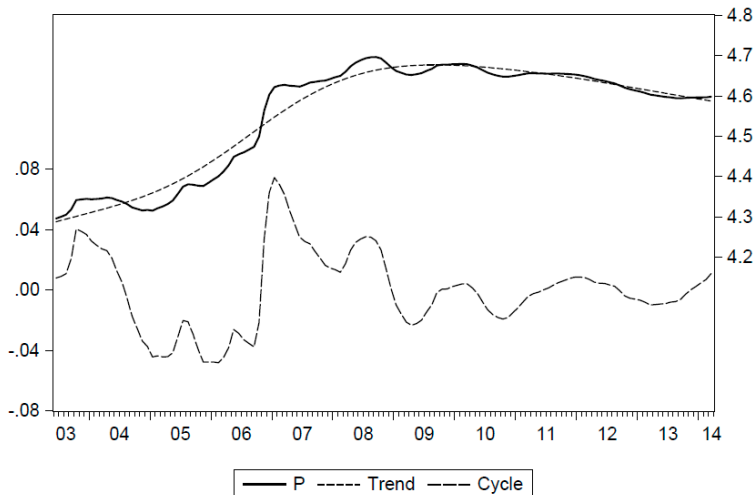
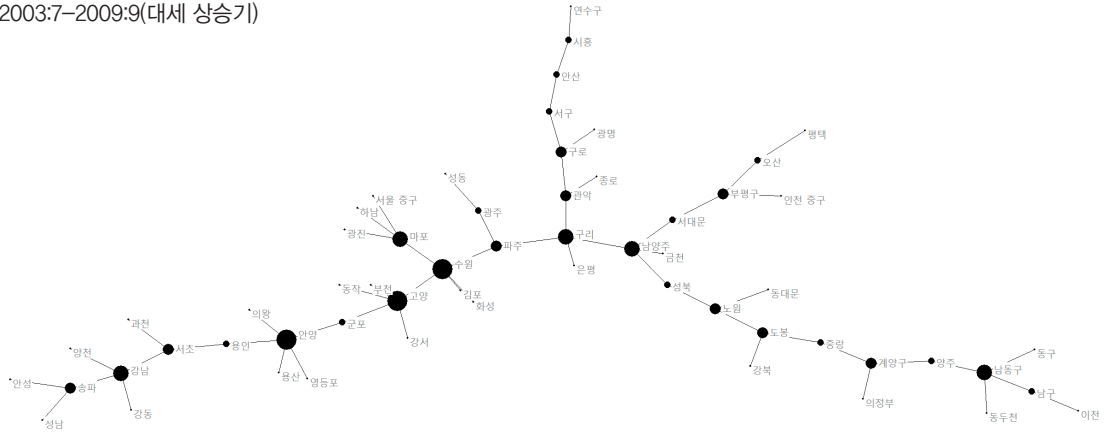


그림 4. HP(Hodrick - Prescott) 필터에 의한 수도권 아파트 매매시장의 경기변동

2003:7-2009:9(대세 상승기)



2009:10-2014:3(대세 하강기)

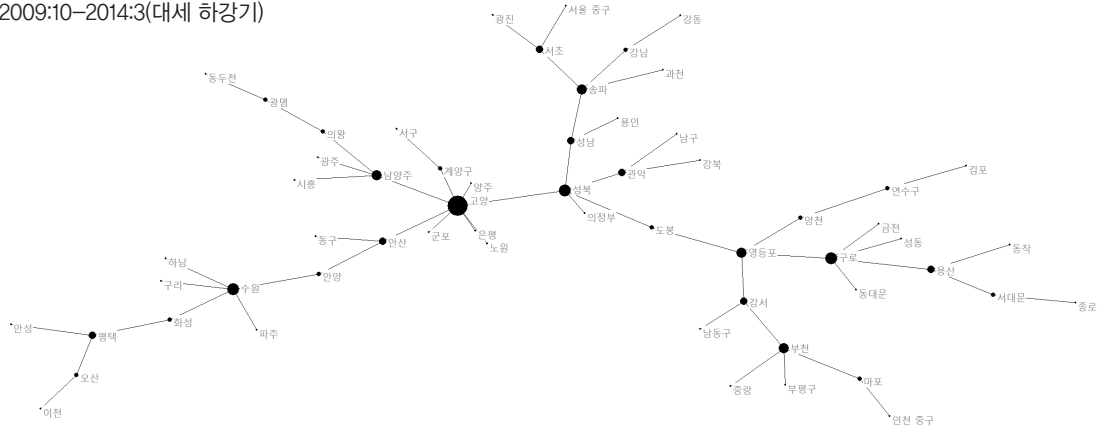


그림 5. 경기변동에 따른 수도권 아파트 매매시장 MST의 변화: 동태적인 자산 나무

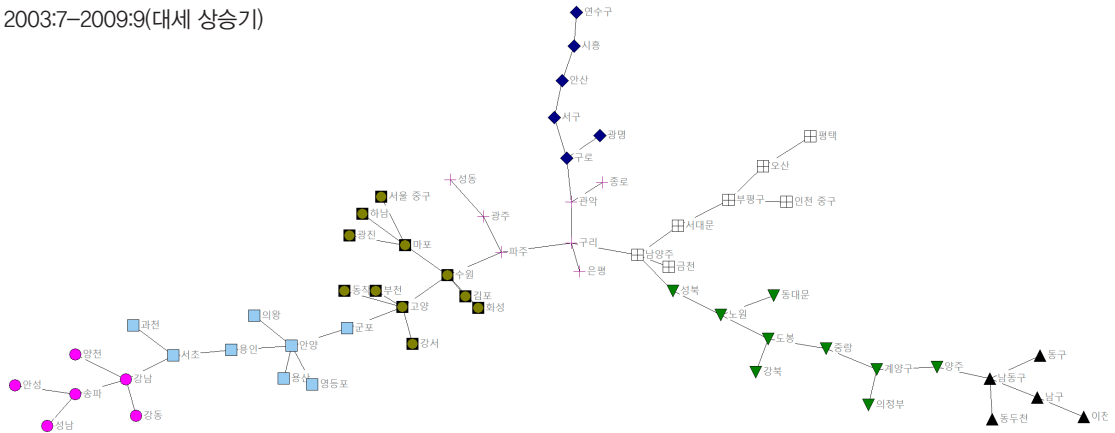
주: 결절의 크기는 연결 중심성의 정도를 반영하고 있음.

블 세븐 지역은 네트워크의 가장자리에서 상대적으로 네트워크의 중심부로 이동한 것으로 나타나고 있다. 그리고 2008년 글로벌 금융위기 이후 유일하게 아파트 가격 상승세를 경험한 평택, 안성, 오산, 화성 등은 동일한 하위시장으로 묶여져 있으며 가장자리에 위치해 있다.

이러한 MST 분석은 시간에 따라 상이한 그래프의 유형을 보여주고 있으며, 상관계수의 안정이라는 가정 하에서 성립하는 기존 CAPM 모형은 시장의 체계적 위험 분석에 매우 적합한 수단이 될

수 없다는 것을 시사한다(고일용·이승국, 2007). 전술한 바와 같이, 체계적 위험이 덜할수록 그 시장은 자산 나무의 가장자리에 자리를 잡는다(Onnela *et al.*, 2003). 따라서 시간에 따른 자산 나무에서의 위상학적 구조 변화는 체계적 위험의 정도의 변동을 보여주고 있다. 서울 강·남북 아파트 매매시장이 2008년 글로벌 금융위기 이후 급격한 가격 하락세를 경험하고 두 지역이 동일한 하위시장으로 분류되어 상대적으로 그래프의 중심부로 이동한 위상학적 구조 변화는 주식시장의 약

2003:7-2009:9(대세 상승기)



2009:10-2014:3(대세 하강기)

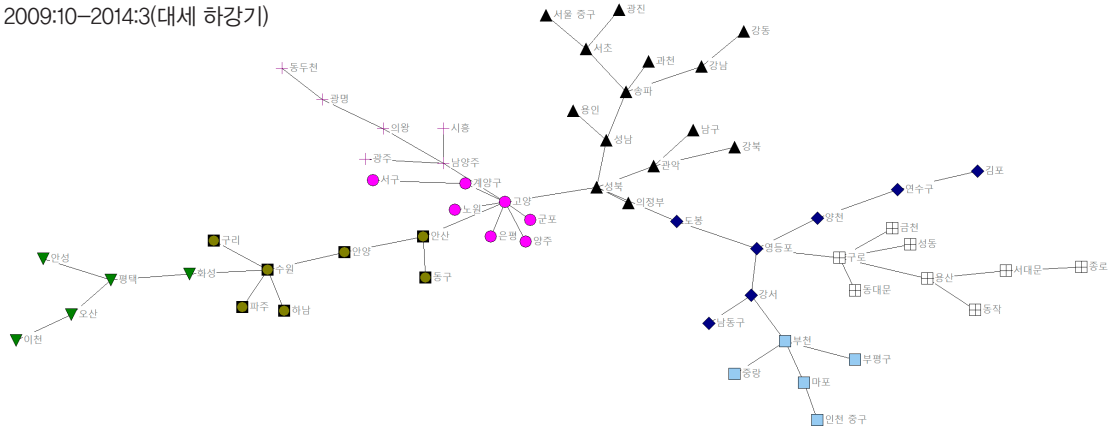


그림 6. 경기변동에 따른 수도권 아파트 하위 매매시장의 변화

주: 결절의 상이한 기호는 상이한 아파트 하위 매매시장을 나타내고 있음.

세장에서 나타나는 소위 ‘상관성 붕괴’(correlation breakdown)의 증거를 미약하나마 반영하고 있는 것으로 보인다. 이는 주식시장에서 변동성이 높은 기간 동안에 상관성이 높아지는, 즉 고(高)변동성-고(高)상관성의 관계가 약세장에서 나타난다는 것을 일컫는다(Longin and Solnik, 2001).

그림 4에서 보는 바와 같이, 2006-7년 사이에 수도권 아파트 매매시장은 최고의 가격 상승기를 경험하였다. 2008년 서브프라임 모기지 사태 후 미국의 주식시장에서 나타난 변동성의 주식 간

확산과정을 보여준 Smith(2009)의 연구처럼, 본 고에서도 분석 기간 동안에 가장 변동성이 컸던 2006년 2월과 2007년 1월 사이의 기간을 대상으로 아파트 매매가격 상승의 확산과정을 보여주려고 한다.

Smith(2009)에서 나타난 2008년 글로벌 금융위기 이후 나타난 미국 주식가격 변동은 원형의 그래프 중심부에서 외곽으로 점차적으로 퍼져나가는 전염 확산을 보여주고 있다. 그림 7은 전체 기간을 대상으로 구축된 MST 위에 가격 변동성을

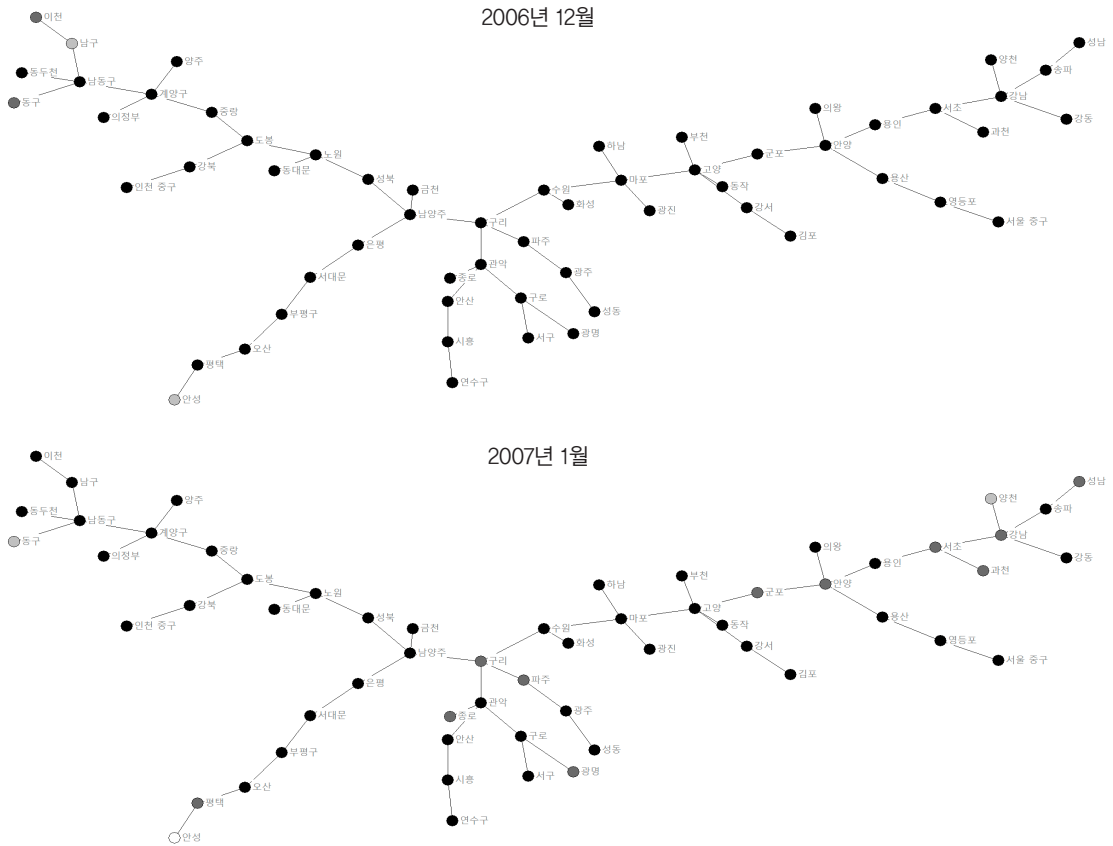


그림 7 계속.

네 구간을 설정하여 이를 시기별로 그 확산과정을 보여주고 있다. 이는 그래프의 오른쪽 가장자리에 위치한 버블 세븐지역에서 가격 상승세가 출발하여 중심부를 거쳐 왼쪽 가장자리로 가격 상승세가 이어지는 선형적인 전염 확산 과정을 나타내고 있다.

수도권 아파트 매매가격 상승의 전염 확산과정을 좀 더 부연하면, 2006년 2월 무렵 판교 신도시 분양에서 시작된 서울 강남권과 인접 지역의 아파트 가격 상승세가 2006년 5월 무렵에 이르러 서울 강남권에서 절정에 가까워져 정부 문건에서 소위 ‘버블 세븐’ 지역이 처음 등장하였다. 2006년 10월 전후로 은평 뉴타운 계획이 발표되자 아파트 분양

을 기다리던 무주택자들이 대거 아파트 매매시장에 참여하면서 아파트 거래량은 최고조에 이르렀다. 2006년 12월경에는 은평 뉴타운 고양분가 논란이 벌어지기도 했지만 무주택자들은 이것이 마지막 기회라고 생각하고 투기적 심리에 휩싸이게 되었다. 2007년 1월 무렵 수도권 아파트 가격 상승세는 전체적으로 최고조에 이르렀지만, 1년 전 가격 상승세를 주도했던 서울 강남권과 네트워크의 중심부에 위치한 지역의 경우 그 추세는 떨어지는 대신에 그 반대쪽에 있는 네트워크 가장자리로 그 상승세는 이어졌던 것이다.

고정 이동창 분석을 통해 횡단면의 MST를 시계열로 전환할 수가 있다. 이는 고정창에 대해 시점

을 이동해 가면서 일정한 주기에 따라 MST를 구축하는 것이다. 이러한 과정을 통해 자산시장 상관구조의 시간에 따르는 변화, 그리고 시간에 따른 체계적 위험의 변화를 네트워크의 연결구조, 즉 MST의 변화를 통해 파악할 수 있다. MST의 시간 종속적인 위상학적인 특성을 파악하기 위해 고정 이동창에 따른 평균 상관계수와 정규화된 나무길이(normalized tree length) 지표를 산정할 수 있다(Onnela *et al.*, 2003). 전자와 후자는 각각 등식 3과 등식 4와 같이 정의된다.

$$\bar{p}(t) = \frac{1}{N(N-1)/2} \sum_{p_{ij} \in C} p_{ij}^t \quad \text{등식 3}$$

$$L(t) = \frac{1}{N-1} \sum_{d_{ij} \in T} d_{ij}^t \quad \text{등식 4}$$

등식 3에서 상관계수 행렬 C^t 은 $N \times N$ 대칭행렬이므로 $N(N-1)/2$ 개의 원소를 갖는다. 그리고 등식 4에서 $N-1$ 은 MST에 존재하는 변의 숫자이다. 따라서 등식 4는 MST로 정의되는 초거리의 평균이다.

고정 이동창을 통해 구축된 자산 나무는 서로에 대해 독립적이지 않으며, 시간에 따라 일련의 흐름을 형성한다. 이것이 바로 Onnela *et al.*(2003)이 일컫는 ‘동태적인 자산 나무’이다. 그림 8은 동태적인 자산 나무의 위상학적인 특성의 일면, 즉 시간에 따른 고정 이동창의 평균 상관계수와 정규화된 나무길이를 보여주고 있다. Onnela *et al.*(2003)과 마찬가지로, 평균 상관계수와 정규화된 나무길이 사이에는 강한 부(-)의 상관관계가 나타나고 있다. 피어슨 상관계수가 -0.95 에 이른다.

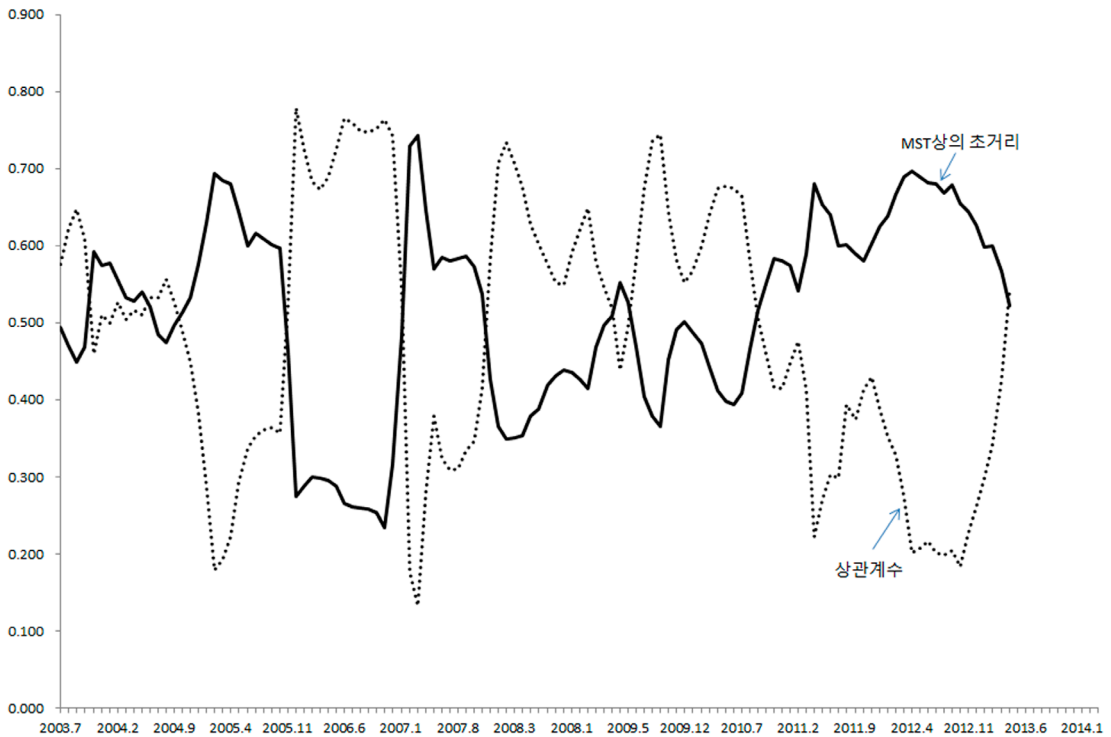


그림 8. 시간에 따른 고정 이동창의 평균 상관계수와 정규화된 나무길이

주: 고정창(T)은 1년, 고정창의 이동 간격($T\delta$)은 1개월임.

그림 8에서 보는 바와 같이, 아파트 가격 하강기에 평균 상관계수의 값이 상대적으로 크고 반대로 정규화된 나무길이의 값은 작다. 예를 들면, 2006-2007년 최고 가격 상승기 이후 2007-2008년 가격 하락기에 평균 상관계수의 값은 크지만 정규화된 나무길이의 값은 상대적으로 작다. 이는 Longin and Solnik(2001)이 발견한 금융시장의 약세장에서 평균 상관계수의 값이 높아진다는 ‘상관성 붕괴’ 현상과 전적으로는 아니지만 일부 부합되고 있는 것이다. 이처럼 수도권 아파트 매매시장에서도 주식시장처럼 시장의 불확실성이 높아 위험이 고조되는 시기에 상관계수 행렬의 평균값이 증가하고 정규화된 거리길이는 감소하고 있다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 경제물리학과 금융경제학에서 주식 시장에 적용하던 MST 기법을 2003년 7월-2014년 3월 기간 동안 59개 시군구 수도권 아파트 매매시장에 적용하여 주택시장 네트워크의 위상학적인 구조를 분석하였다. 이러한 기법의 적용으로 파악된 수도권 아파트 매매시장 네트워크의 위상학적인 구조의 특성들은 주식시장에서 발견되는 그것들과 정도의 차이는 있지만 어느 정도 공유하고 있다. 이는 분석 기간 동안에 아파트가 자산으로서 투기적 동기에 강렬하게 휩싸여 있었으며 유동성이 가장 뛰어난 주택 상품이라는 것에 어느 정도 기인하고 있다고 볼 수 있다.

첫째, 아파트 매매시장의 네트워크는 계층구조를 가지고 있으며, 이러한 계층구조는 여러 개의 모듈로 구성된 네트워크이어서 경제적으로 유의미한 하위시장의 구분과 자산의 그룹화가 가능하고 그것이 존재한다.

둘째, 고정 이동창을 통해 횡단면의 MST를 시계열로 구성하여 네트워크의 시간 종속적인 특성

을 살펴보면, 절절 간 상관구조가 시간에 따라 안정적이지 않으며 주식시장의 약세장에 평균 상관계수의 값이 증가하는 ‘상관성 붕괴’ 현상이 수도권 아파트 매매시장에서도 일부 관찰되고 있다. 그리고 경기주기에 따라 가격 변동의 전염효과 현상이 나타나고 있다.

MST가 그래프에서 상호 간 연결이 가장 강한 절절들의 배열을 제공할 수 있다는 점에서 시장분석에 적실성 있는 것으로 판단된다. 따라서 MST로 구축된 네트워크의 형태, 연결의 수, 연결의 길이 등은 수도권 아파트 매매시장의 분석에서도 적실성이 있는 정보를 제공하고 있는 것으로 보인다.

주

1) MST를 구축하는 데 활용되는 Kruskal 알고리즘은 계층적 군집분석의 단일연결법의 그것과 사실상 동일하다.

2) $Q = \frac{1}{2m} \sum_{ij} [A_{ij} - \frac{k_i k_j}{2m}] \delta(c_i, c_j)$ 여기서 A_{ij} 는 i 와 j 사이의 변의 가중치, $k_i = \sum_j A_{ij}$, $m = \frac{1}{2} \sum_{ij} A_{ij}$.

참고 문헌

- 고일용·이승국, 2007, “포트폴리오의 편중리스크 분석을 위한 새로운 접근법에 관한 연구: 네트워크 기반의 MST기법을 중심으로”, 금융리스크리뷰 봄호, pp.70-95.
- 서승환, 2012, “글로벌 금융위기와 부동산과 거시경제 연계성의 변화”, 조만·차문중 편, 글로벌 금융위기 이후 주택정책의 새로운 패러다임 모색(상), 서울: KDI, pp.35-88.
- 이종아, 2011, 주택투자의 위험과 수익 간 관계 분석: CAPM 활용을 중심으로, 강원대학교 대학원, 박사학위 논문.
- 이종아·정준호, 2010, “주택 자본자산가격결정모형

- (Capital Asset Pricing Model)을 활용한 위험과 수익 분석: 서울 강남 3개구 아파트시장의 경우”, *한국경제지리학회지* 13(2), pp.234-252.
- 정준호, 2013, “은행대출과 주택가격 간의 상호작용”, *한국경제지리학회지* 16(4), pp.631-646.
- Andersen, T. G., Bollerslev, T. Diebold, F. X. and Ebens, H., 2001, “The distribution of realized stock return volatility”, *Journal of Financial Economics* 61(1), pp.43-76.
- Blondel, V. D., Guillaume, J.-D., Lambiotte, R. and Lefebvre, E., 2008, “Fast unfolding of communities in large networks”, *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, P10008(arXiv:0803.0476 [physics.soc-ph]).
- Bracke, P., 2011, “How Long Do Housing Cycles Last?: A Duration Analysis for 19 OECD Countries”, IMF Working Paper No.231, Washington: IMF.
- Coelho, R., Gilmore, C. G., Lucey, B., Richmond, P. and Hutzler, S., 2007, “The evolution of interdependence in world equity markets: Evidence from minimum spanning trees”, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 376, pp.455-466.
- Gower, J. C. and Ross, G. J. S., 1969, “Minimum spanning trees and single linkage cluster analysis”, *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)* 18(1), pp.54-64.
- Lambiotte, R., Delvenne, J.-C. and Barahona, M., 2009, “Laplacian Dynamics and Multiscale Modular Structure in Networks”, arXiv.org(arXiv:0812.1770 [physics.soc-ph]).
- Longin, F. and Solnik, B., 2001, “Extreme correlation of international equity markets”, *The Journal of Finance* 56, pp.649-667.
- Mantegna, R. N., 1999, “Hierarchical structure in Financial markets”, *The European Physics Journal B* 11, pp.193-197.
- Mantegna, R. N. and Stanley, H. E., 2000, *An Introduction to Econo-physics: Correlations and Complexity in Finance*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Onnela, J.-P., Chakraborti, A., and Kaski, K., Kertész, Kanto, A., 2003, “Dynamics of market correlations: taxonomy and portfolio analysis”, *Physical Review E* 68 (056110), pp.1-12.
- Smith, R. D., 2009, “The spread of the credit crisis: view from a stock correlation network”, *Journal of the Korean Physical Society* 54(6), pp.2460-2463.
- 교신: 정준호, 200-701, 강원도 춘천시 강원대학길 1, 강원대학교 사회과학대학 부동산학과, 전화: 033-250-6838, 이메일: jhj33@kangwon.ac.kr
- Correspondence: Jun Ho Jeong, Department of Real Estate, Kangwon National University, 1 Kangwon-daehak-gil, Chuncheon-si, Gangwon-do, 200-701, Korea, Tel: 82-33-250-6838, E-mail: jhj33@kangwon.ac.kr

최초투고일 2014년 5월 7일

수정일 2014년 5월 25일

최종접수일 2014년 5월 27일