

수도권 지하철 네트워크 확장이 아파트 월세 가격에 미치는 영향 분석

- 수정반복매매모형을 중심으로 -

The Dynamic Effects of Subway Network Expansion on Housing Rental Prices Using a Modified Repeat Sales Model

김효정* · 이창무** · 이지수*** · 김민영**** · 류태현***** · 신혜영***** · 김지연*****
Kim, Hyojeong · Lee, Changmoo · Lee, Jisu · Kim, Minyoung · Ryu, Taeheyeon · Shin, Hyeyoung · Kim, Jiyeon

Abstract

Continuous subway line expansion over the years in Seoul metropolitan area has contributed to improved accessibility to public transport. Since public transport accessibility has a significant impact on housing decisions, quantitative analysis of correlation between housing prices and public transport accessibility is regarded as one of the most important factors for planning better housing policies. This study defines the reduction of traveling time resulted from the construction of new metro stations despite them not being the closest stations as 'Network Expansion Effect', and seeks to understand how the Network Expansion Effect impacts on housing prices. The study analyzes monthly rent data converted from upfront lump sum deposit, so called Jeonse in Korea, from 2012 to 2018, through 'A Modified Repeat Sales Model.' As a result, the effect of 'Network Expansion' on rental prices in Seoul has stronger during the period of 2017 to 2018 than the base period of 2012 to 2014, which suggests the 'Network Expansion' has a meaningful effect on rent. In addition, in comparison between the most and the least affected group of apartments by 'Network Expansion Effect', the most affected group has more price increase than the least affected group. These findings also indicate that different levels of 'Network Expansion Effect' have various influences on the value of residential real estate properties.

Keyword: Monthly rent, Modified repeat sales model, Network Expansion

- * 현대오토에버 책임연구원 Senior Researcher, Hyundai Autoever (first author: hjk8818@gmail.com)
** 한양대학교 도시공학과 교수 Dept. of Urban Planning and Engineering, Hanyang University (corresponding author: changmoo@hanyang.ac.kr)
*** 국토토지주택공사 대리 Korea Land&Housing Corporation (dlwltn602@naver.com)
**** 한양대학교 도시공학과 학사 Dept. of Urban Planning and Engineering, Hanyang University (alsdud4120@naver.com)
***** 한화건설 사원 Hanwha Engineering&Construction (timryu@hanwha.com)
***** 한양대학교 도시공학과 박사과정 Dept. of Urban Planning and Engineering, Hanyang University (azilail@naver.com)
***** 한양대학교 도시공학과 박사과정 Dept. of Urban Planning and Engineering, Hanyang University (kgy0510@hanmail.net)

1. 서론

정부는 지속적인 지하철 노선확장 사업을 통해 출퇴근 시간대의 교통난을 해소하기 위해 노력하고 있다. 이러한 지하철 노선확장으로 인한 대중교통 접근성의 향상은 이용자들에게 편의를 제공하며 사람들의 주거지 선택에 있어 중요한 요소로 작용하므로 지하철 노선확장에 따른 접근성 향상이 주택가격에 미치는 영향을 정량적으로 추정하는 것은 주택정책에 있어 중요하다.

또한, 지하철 노선확장에 따른 사회적 편익이 비용보다 큰 경우 확장사업의 타당성이 확보되며, 이러한 비용과 편익을 측정하는 것은 사회·정치적으로 중요한 사항이다. 주택의 어메니티 요소들이 주택의 가치에 미치는 영향력의 정도를 정량적으로 추정한다면, 이는 차후 주택 정책 대안 도출을 위한 기초자료로 사용될 수 있기 때문이다(김태호·이창무 2006).

이와 관련하여 주거입지의 선택요인에 관한 몇몇 연구에서는 교통 접근성과 같은 입지적 요인이 주거 이동 및 입지를 결정하는 가장 중요한 요인 중 하나이며(Montgomery & Curtis 2006), 수도권에 거주하는 가구는 대중교통 통근 시간이 짧은 지역을 선호한다는 것을 밝혔다(전명진·강도규 2016). 또한, 이창무·김흥순·김미경(2007)는 전철역으로의 접근성이 높은 지역의 용적률이 기존 주거지역 밀도에 비하여 높은 수준으로 결정되어야 공간구조 개편에서 효과를 기대할 수 있다는 관점을 제안하였다.

한편, 지금까지 지하철 노선확장이 주택가격에 미치는 영향에 관한 많은 연구가 있었다. Baum-Snow & Kahn(2000)은 철도 노선확장으로 인한 인근 거주자의 편익 증대가 주택가격과 임대료에 자본화된다는 것을 실증분석했고, 최성호·성현근(2011)은 지하철 개발사업이 개통 시점에서뿐만 아니라 개발사업 전반에 걸쳐 주택가격에 영향을 주고 있음을 밝혔다. 그러나 도시철도역까지의 거리가 오히려 상가 및 주택가

격과 부(-)의 상관관계가 있다는 결과를 보여주는 연구도 있다(천인호 2007; 박예나·이상경 2013).

하지만 지하철과 주택가격의 상관관계에 관한 기존 선행연구들은 대부분 지하철역과의 거리에 따른 접근성 측면에서 편익을 측정하여 지하철 노선확장으로 인해 통행 가능한 목적지의 범위가 넓어지거나 목적지까지의 통행 거리나 시간이 단축되는 등의 네트워크 측면에서 지하철 확장이 주택가격에 미치는 영향은 거의 논의되지 않았다.

또한, 대부분의 선행연구는 주로 매매가격이나 전세가격을 이용하여 주택가격과 지하철의 상관관계를 분석했으나 매매가격의 경우, 자산 가치 상승에 대한 기대심리가 가격 결정에 관여한다. 전세가격 또한 별도의 주택을 구매하여 시세차익을 얻는 레버리지 수단으로 사용되기 때문에 다주택자에 대한 규제와 같은 정부 정책에 따른 가격 변동이 나타날 우려가 있다.

따라서 본 논문에서는 지하철 노선확장의 결과로 최근접 지하철역까지의 거리는 변하지 않으면서 다른 지하철역까지의 통행시간이 단축되는 것을 네트워크 확장 효과로 정의하고 네트워크 확장 효과로 인한 편익이 주택가격에 미치는 영향력 변화를 측정하였다.

이를 위해 매매가격이나 전세가격에 비해 안정적인 경향을 나타내며, 지하철 접근성이라는 편익증가에 따른 주택의 이용가치를 추정하기에 적합한 월세가격을 주택가격으로 이용하여 개별 요소의 한계 영향력을 분석하고자 한다. 또한, 시간의 흐름에 따른 특정 주택변수의 영향력 변화를 보기 위해 수정반복매모형을 사용하였다.

2. 선행연구 검토

그동안 지하철 개통 효과를 주택가격, 이용자 수의 변화 등을 다룬 연구가 이뤄졌다. 먼저, 물리적인 접근성과 주택가격과의 연관성을 분석한 연구에서 Baum-Snow & Kahn(2000)은 철도역까지의 거리가 단축됨

에 따라 더 많은 이용객이 철도를 이용하고, 주택가격과 임대료가 상승하는 것을 보였다. Armstrong & Rodriguez(2006)는 통근 철도역이 없는 지역에 비해 통근 철도서비스를 이용할 수 있는 지역의 1인 가구 주택가격이 9.6%~10.1% 높다는 분석결과를 제시하였다. 최성호·성현곤(2011)은 지하철 9호선 건설단계별 지하철 접근성이 아파트 가격에 미치는 영향력 변화를 실증적으로 분석하여 지하철 사업이 가시화될수록, 지하철역까지의 거리가 멀어질수록 주택가격 하락의 정도가 커지는 것을 밝혔다.

한편, 이용자수의 변화에 집중한 연구에서 김찬성(2005)은 서울 2기 지하철이 신설되면서 총 지하철 통행자 수는 증가했지만, 기존 노선과 신설 노선이 경쟁하여 예상보다 적은 수요를 보여준다는 것을 밝혔다.

Kotavaara, Antikainen & Rusanen(2011)은 최근 접 철도역까지의 도달시간과 거리의 단축에 따른 도로 네트워크 향상이 지역의 인구변화에 큰 영향을 미친다는 것을 실증분석하였다. 김재익·강승규·서안나(2011)는 대구 지하철 2호선 신설이 기존 1호선에 16.2%의 승하차 수 증가를 초래하는 결과를 도출했다.

지금까지의 지하철 접근성 향상이 주택가격에 미치는 영향에 대한 연구는 주로 새로운 노선의 신설이후의 주택시장가격변화를 다룬 것이었고, 이러한 연구의 대상은 지하철역이 새로 신설됨에도 불구하고 최단거리 지하철역이 변하지 않으면서 다른지하철역까지 통행시간이 단축되는 네트워크 확장효과에 대한 논의는 거의 이루어지지 않았다.

최근 들어 지하철 노선 신설로 인한 네트워크 연결성 향상이 주택가격에 미치는 영향에 관한 연구가 이뤄지고 있다. Lee, Ryu, Choi, Kim(2018)은 지하철 노선 신설에 따라 최근접 지하철역의 변화 없이 다른 지하철역까지 거리가 단축되는 네트워크 확장 효과에 집중하였고, 시간의 흐름에 따라 역간거리 단축 비율이 증가함과 동시에 주택 전세가격에 미치는 영향력의 크기 또한 증가한다는 것을 수정반복매매모형을

활용하여 밝혔다.

본 논문에서도 Lee et al. (2018)과 마찬가지로 수정반복매매모형을 활용하여 네트워크 연결성 향상이 주택가격에 미치는 영향력 변화를 시계열적으로 분석하되 다음과 같은 차별성을 갖는다.

첫째, 거리가 아닌 통행시간의 단축 비율을 적용하여 지하철 이용자가 실제로 인식하는 네트워크 확장 효과의 편익을 측정하고, 일반 전철과 급행 전철의 속도 차이를 반영하였다. 기존의 연구는 네트워크 연결성 향상을 측정하는 과정에서 지하철역 간의 통행 거리가 단축되는 비율을 이용했기에 이용자가 이를 편익으로 인식하기 어려웠고, 급행 전철의 속도를 반영하지 못한다는 한계점이 있었다.

둘째, 네트워크 확장 효과에 의한 이용자의 편익을 주택의 사용가치로 측정하기 위해 주택가격 기준을 월세가격으로 설정하였다.

그동안 지하철의 개통 효과와 주택가격 결정구조에 관한 많은 연구에서 주택의 매매가격을 종속변수로 도입하였으나, 매매가의 경우 재건축 가능성 또는 잠재적 개발지역에서의 투기적 요소에 따른 가격상승분 등이 주택가격에 반영되기 때문에 특성변수의 왜곡된 영향력이 도출될 수 있다.

또한, Lee et al.(2018)에서는 수정반복매매모형의 종속변수로 전세가격을 사용하였는데 전세는 우리나라만의 독특한 임대유형이자, 임대유형 중 가장 높은 레버리지를 기반으로 한 투자방식으로, 기대수익률이 주택매매가격 기대 상승률에 의해 결정된다. 이에 더해 투자자가 위험 기피적이면 주택매매가격 상승률의 변동성 위험을 추가로 고려해야(정의철·이창무 2018) 하기 때문이다.

Table 1. Basic Statistics Analysis

Year	Obs	Variable	Price	Distance to CBD	Distance to GBD	Distance to YBD	Distance to Station
Total	48238	min	14185.38	615.49	261.37	248.26	15.69
		max	856452.25	18017.87	21341.44	23099.72	3541.19
		means	215152.39	9610.49	10637.75	10667.59	574.64
		Std.Dev.	75526.50	3523.83	5121.23	5698.75	358.85
2012-2014	18723	min	14757.54	771.3934	261.3667	248.2637	28.00
		max	731072.3	17991.72	21341.44	23060.07	3541.19
		means	212274.3	9640.46	10726.01	10786.56	573.64
		Std.Dev.	72311.63	3499.1	5139.43	5736.81	357.58
2015-2016	15351	min	14185.38	615.4941	261.37	248.2637	15.69
		max	836272.6	18001.85	21341.44	23068.96	3541.19
		means	214936.8	9606	10594.19	10594.6	575.36
		Std.Dev.	74638.66	3502.49	5117.03	5696.78	359.07
2017-2018	14164	min	20917.65	615.4941	261.37	248.2637	15.69
		max	856452.3	18017.87	21341.44	23099.72	3541.19
		means	219190.5	9575.75	10568.28	10589.45	575.22
		Std.Dev.	80315.11	3578.95	5100.32	5647.9	360.29

3. 연구방법

3.1. 자료의 구축

본 연구는 2012년부터 2018년까지의 서울시 행정 경계 내 아파트 전월세확정신고자료와 연도별 수도권 지하철 네트워크 공간자료를 활용하였다.

적용되는 추정모형인 수정반복매매모형의 종속변수로 월세가격을 사용하였다. 보증금과 월세가 공존하는 국내 월세시장의 특성상, 전월세전환율을 이용해 보증금분을 월세로 치환한 순수월세가격을 산정하였다. 먼저, 한국부동산원 부동산통계자료의 규모별 아파트 전환율을 활용하여 표본아파트의 가상전세가격을 산정하였다. 이후 보증금/가상전세 비율이 50% 이하인 보증부 월세자료를 선별하여 개별 전환율을주

1 도출하였다. 가상전세자료와 보증부 월세자료를 병합하여 최종 전월세전환율을 도출하되, 해당 월 포함 이전 6개월 자료를 기준으로 당월자료를 정제하여 임대료의 이상치 수준을 제거하였다.

순수월세는(R)은 전월세전환율(r), 보증금(C), 전세금(D) 및 월세의 12개월치인 연세(Ry)을 활용한 계산식(1)으로 산정하였다.

$$r = \frac{R^y}{C - D} \quad \text{식 (1)}$$

$$R = D \times r + R^y$$

지하철 공간자료는 국토지리정보원의 연속수치지형도를 기반으로 구축하였다. 2012년부터 2018년까지 급행 노선을 포함한 연도별 지하철 노선 및 지하철

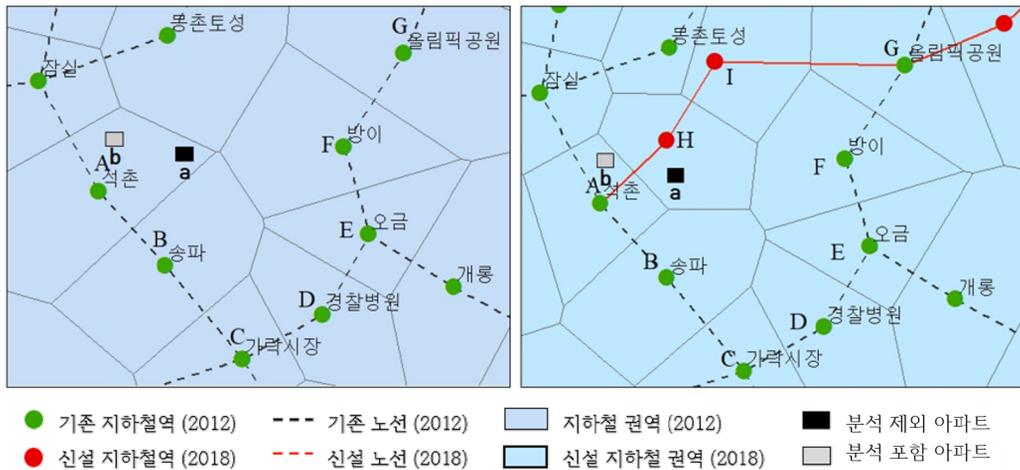


Figure 1. Impact of New-Line

역을 포함한 지하철 자료를 사용하여 2012년부터 존재하는 515개의 각 역에서 다른 모든 역까지의 최단 통행시간의 평균값을 ArcGIS OD cost matrix 기능을 통해 산출한다.

다음으로 연도별로 신설되는 지하철 노선을 적용하여 연도별 지하철역에 대한 최단 통행시간 평균값을 산출하였다. 지하철역 간 평균 통행시간 자료 및 급행 노선 등 기초자료에 포함되지 않는 자료는 ArcGIS를 활용하여 직접 구축하였다.

3.2. 네트워크 확장 효과측정

새로운 노선이 신설될 경우, 2가지 종류의 네트워크 확장 효과가 발생한다. 첫째는 전반적 네트워크 연결성의 향상이고(overall network connectivity), 다음은 지하철역으로의 국지적 접근성의 향상이다(local accessibility).

먼저, 하나의 노선이 신설되면 기존의 지하철 노선에서 우회하는 경로를 사용하던 이용자들이 새로운 노선을 통해 더 짧은 경로로 목적지에 도달할 수 있다. Figure 1의 경우, 2012년에 석촌역에서 올림픽공원역

으로 이동하는 가장 짧은 경로는 A-B-C-D-E-F-G 였지만, 2018년에는 우회하지 않는 A-H-I-G로 변경되었다. 이는 기존의 역 간 평균 통행시간의 단축을 발생시킨다.

두 번째는 전철역이 신설됨으로써 발생하는 국지적인 접근성 향상이다. 이는 신설된 지하철역 주변에 사는 일부 주민들만 경험할 수 있는 효과이다. 예를 들어, 2012년에 주택 a, b로부터 가장 근접한 지하철은 모두 석촌역이었지만, 2018년의 주택 a의 최근접 지하철역은 역 H로 변경되었다. 따라서 주택 a에 거주하는 시민만이 국지적인 지하철 접근성 향상을 누릴 수 있다.

본 연구에서는 노선 신설에도 불구하고 최근접 지하철역이 변경되지 않은 주택 b와 같은 아파트 표본만을 사용하였다. 즉, 2012년 이후 지하철 노선 확장에 따른 지하철역까지의 물리적 거리 단축 효과를 통제하고, 지하철 통행시간 단축으로 인한 네트워크 확장 효과만을 분석하고자 하기 위해 2012년 이전부터 존재한 515개 지하철역만을 대상으로 하였다.

Table 1은 2012년 이후 연도별 확장된 수도권 지하철 노선을 나타낸다. 서울 내의 주요 노선으로는 9호

Table 2. The Route Expanded since 2012

연도	노선명	구간
2013	경춘선	광운대 ~ 상봉
	에버라인	기흥 ~ 에버랜드
	분당선	수원 ~ 망포
2014	경춘선	용산 ~ 공덕
2015	9호선	신논현 ~ 종합운동장
2016	인천2호선	운연 ~ 검단오류
	경강선	판교 ~ 여주
	경춘선	청량리 ~ 상봉
	신분당선	정자 ~ 광고
	수인선	인천 ~ 송도
2017	우이신설선	신설동 ~ 북한산우이
	경의중앙선	용문 ~ 지평
2018	서해선	소사 ~ 원시
	공항철도	인천공항1터미널 ~ 2터미널
	9호선	종합운동장 ~ 중앙보훈병원

선, 신분당선 등이 신설됐으며, 경기권에서는 노선이 점차 외곽으로 확장된 결과 분석 기간 내 총 96개 역이 신설되었다.

또한, 현재 운영 중인 급행 노선은 Table 2과 같다. 급행 노선은 파주, 인천, 분당 등 수도권 외곽을 중심으로 도입되어 있으며, 서울 내에선 1호선, 경의중앙선 및 9호선 등이 운영 중이다.

확장된 노선 및 급행 노선에 따라 연도별 역간 평균 통행시간을 측정한 Table 3에서 볼 수 있듯이, 2012년에 515개의 각 역에서 다른 모든 역까지의 통행시간의 평균(51.30분)은 2018년에 48.62분으로 감소한 것을 알 수 있다.

지하철 네트워크 확장 효과 정도에 따른 상·하위 지하철역을 구분하기 위해 역마다 연도별 평균 통행시간의 변화율을 측정했다.

기준연도인 2012년 대비 t 연도 i 역에 대한 평균 통행시간의 변화율 R_i^t 는 다음과 같이 계산한다. 여기서 \overline{T}_i^t 는 t 연도 i 역의 평균 통행시간이다.

Table 3. Rapid Railway Board

노선명	구간
1호선	용산~동인천
	용산~신창
	서울역~신창
	소요산~인천
	용산~동인천
4호선	당고개~오이도
9호선	중앙보훈병원~김포공항
분당선	왕십리~수원
공항철도	서울역~인천공항2터미널
경의중앙선	문산~지평
	문산~서울역
경춘선	청량리~춘천
수인선	오이도~인천

Table 4. Average Travel Time

연도	2012	2015	2018
평균 시간(분)	51.30	50.73	48.62
역(개)	515	515	515

$$R_i^t = \frac{\overline{T}_i^t - \overline{T}_i^{2012}}{\overline{T}_i^{2012}}$$

Table 4는 2012년 대비 2018년 기준 역에 대한 통행시간 변화율의 분포를 보여준다. 평균 통행시간 변화율은 최소 -1.1%에서 최대 -26.2%까지의 분포를 보인다. 이를 그래프로 나타내면, Figure 2와 같다. 이러한 분포를 살펴봤을 때, 본 논문에서는 네트워크 확장 효과가 큰 집단을 분류하기 위해 평균 통행시간 변화율이 제3사분위수보 다 높은 지하철역 그룹을 상위 25% 지하철역, 나머지를 하위 75% 지하철역으로 분류했다.

이를 통해 2012년 대비 연도별 상·하위 지하철역 그룹과 전체 지하철역에 대한 평균 통행시간 변화율을 측정했다. Table 5에서 전체 지하철역의 네트워크

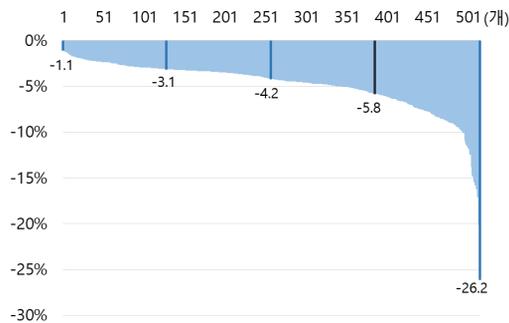


Figure 2. Distribution Chart of Change in Travel Time (2012 vs 2018).

Table 5. The Rate of Change in Travel Time (2012 vs 2018)

분포	최소	10%	25%	50%	75%	90%	최대
변화율 (%)	-1.1	-2.3	-3.1	-4.2	-5.8	-8.4	-26.2

확장 효과는 4.87%로 나타났으며, 상위 지하철역은 8.73%로 비교적 네트워크 확장 효과가 크게 나타났으나 하위 지하철역은 3.60%에 그쳤다.

한편, 전체적으로 2013년과 2014년에는 네트워크 확장 효과가 작고, 연도별 차이도 크지 않았다. 이를 나타낸 Figure 3에서 2016년 이후 모든 그룹의 네트워크 확장 효과가 확연히 커지는 것을 볼 수 있다.

이는 2017년 이후 이전과 비교하여 노선확장과 급행 노선의 도입이 활발하게 일어나 여간 통행시간이 많이 단축됐기 때문으로 보인다. 특히, 2017년 이후 확장된 9호선, 우이신설선, 서해선은 단순히 외곽으로의 확장이 아니라 기존 역의 연결을 통하여 단축된 경로를 제공했다.

Figure 4는 앞서 도출된 네트워크 확장 효과 상·하위 지하철 그룹과 각 그룹별 지하철역을 최근접역으로 하는 아파트를 2018년 수도권 지하철 노선도 상에 나타낸 것이다. 네트워크 확장 효과 상위 지하철역이 주로 수도권 외곽에 위치한 것은 광역 통근 시간을 단

Table 6. The Rate of Change in Travel Time by Group

연도	2013	2014	2015	2016	2017	2018
상위 지하철역	-2.73	-2.74	-2.98	-3.42	-6.24	-8.73
하위 지하철역	-0.20	-0.21	-0.28	-0.41	-1.90	-3.60
전체	-0.83	-0.84	-0.95	-1.16	-2.98	-4.87

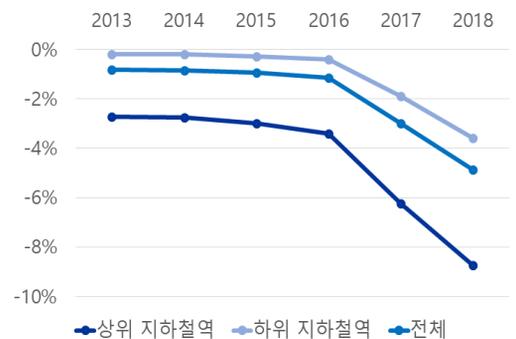


Figure 3. Distribution Chart of Change in Travel Time by Group

축하기 위한 급행 노선 도입의 영향으로 판단된다. 한편, 서울 내 상위 지하철역은 9호선이 확장된 지역인 송파구, 강동구에 위치한 것으로 나타났다.

3.3. 분석의 모형

수정반복매매모형은 시간이 지남에 따라 변하지 않는 특성들도 그 영향력이 변할 수 있을 것이라고 가정하여 그 영향력을 측정할 수 있는 모형이다. 기존의 반복매매모형에서는 시간이 지남에 따라 변하지 않는 변수의 경우 시점차이를 둔 헤도닉 식의 차감을 통해 그 변수가 사라졌으므로 그 영향력을 측정할 수 없었으나 수정반복매매모형에서는 시간이 지남에 따라 값이 변하지 않는 변수의 영향력 또한 측정할 수 있다.

이에, 본 연구에서 지하철역까지의 거리변수가 주

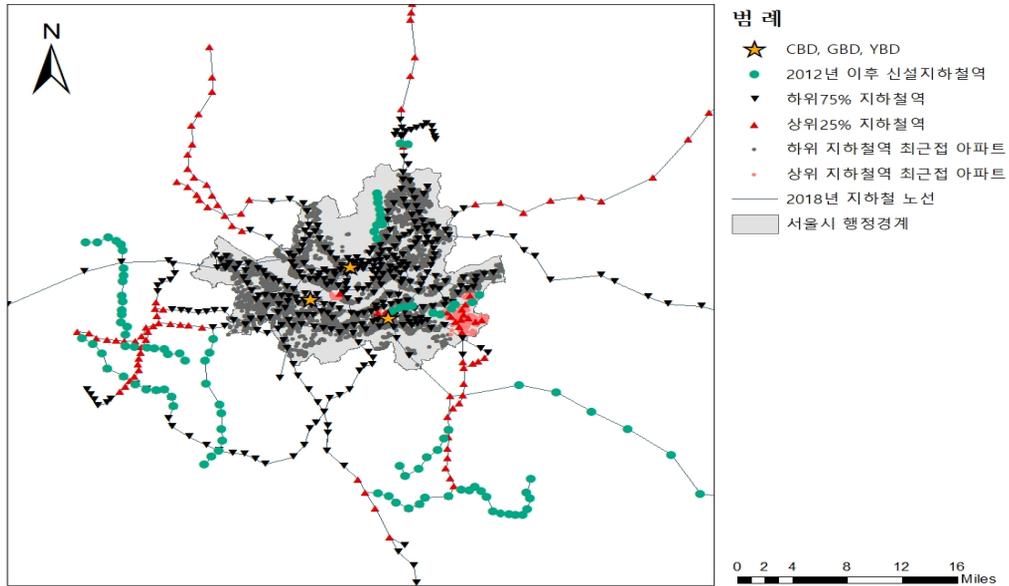


Figure 4. Metropolitan Subway Line Map

택(월세)가격에 주는 영향력을 측정하고자 지하철 노선신설 전후로 지하철역까지의 최단거리가 변함이 없는 주택만을 대상으로 수정반복매매모형을 사용함으로써 주택특성자료 구축의 한계를 극복하고, 모형의 간결성을 확보하였다. 반복매매모형의 가장 큰 단점인 낮은 관측빈도 문제는 국내 아파트의 표준화된 특성을 인정하고, 광범위한 동일주택 가정을 설정함으로써 극복할 수 있다(이창무 et al. 2007).

국토해양부에서 실거래가격지수 산정을 위해 사용하고 있는 반복매매모형은 다음 식과 같다.

$$\ln\left(\frac{p_i^s}{p_i^f}\right) = \sum_{t=1}^T \delta^t D_i^t + u_i \quad \text{식 (2)}$$

반복매매모형은 부동산 시장에서 두 번 이상 거래된 동일한 주택의 거래쌍을 종속변수로 취한다. 여기서 p_i^f 는 첫 번째 거래에서의 주택가격을, p_i^s 는 두 번째 거래에서의 주택가격을 의미한다. 한편, D_i^t 에는

두 번째 거래 시점($t = s$)일 경우, 1을 할당하고, 첫 번째 거래 시점($t = f$)일 경우에는 -1 을 할당한다. 그렇지 않으면 0을 대입한다. 이에 따라, δ^t 는 기준연도 대비 임대료 상승을 나타내며, u_i 는 오차값을 의미한다.

하지만 반복매매모형은 특성변수가 시불변하고, 각 시점에서 해당 특성변수가 갖는 영향력 또한 시불변하다는 가정을 포함한다. 그러나 앞서 언급한 네트워크 확장 효과의 영향력은 동일한 주택임에도 불구하고 '지하철역까지의 접근성'이라는 변수에서 시계열적으로 변화할 수 있다.

새로운 노선의 신설로 전반적 네트워크 연결성의 향상(overall network connectivity)과 지하철역으로의 국지적 접근성의 향상(local accessibility)이 발생되므로 본 연구에서는 다음 식(3)과 같이 반복매매모형에 주택특성변수를 도입한 수정반복매매모형을 사용함으로써 지하철 네트워크 확장 효과가 주택가격에 미치는 영향력을 시계열로 관찰하고자 한다.

$$\ln\left(\frac{P_i^s}{P_i^f}\right) = \sum_{t=1}^T \delta^t D_i^t + \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T \theta_k^t (X_{ik} D_i^t) + u_i \quad \text{식 (3)}$$

본 연구에서 종속변수는 주택 순수월세가격이고 독립변수로 지하철 접근성변수(S_i), 네트워크 확장효과 변수(M_i), 분기별시점(D_i^t)을 도입하였다.

먼저, 지하철 접근성변수(S_i)는 지하철 네트워크 확장에 따른 지하철역까지의 접근성에 대한 한계가치 변화를 포착하기 위한 주요변수로서, 최근접 지하철역에 대한 더미 변수 S_i (300m: 도시 내 역간 거리의 1/4)를 도입하였다.

기존 연구에서 지하철 접근성을 연속변수로 도입한 것과 달리 더미 변수를 사용함으로써, 다양한 교통수단이 혼재된 서울의 특성을 감안하고, 다른 교통수단의 선택 가능성을 배제하여 지하철 네트워크 확장에 따른 편익에 초점을 맞추었다.

분석 기간 내 최근접 지하철역이 변한 아파트를 표본에서 제외하였으므로 S_i 는 시불변 변수이므로 물리적 거리 등 기타 여건이 변하지 않았음에도 변수의 영향력이 커졌다면, 이를 네트워크 확장 효과로 볼 수 있다.

하지만 S_i 의 계수는 지하철 네트워크 확장에 의한 효과 외에 지하철에 대한 이용자의 선호도 변화에 따라 증가 혹은 감소할 수 있으므로 네트워크 확장효과 변수(M_i)를 최근접 지하철역의 네트워크 확장 효과가 더 크게 나타나는 아파트와 상대적으로 적게 나타나는 아파트를 구분하는 더미변수로 적용하여 M_i (이하 상위 아파트 더미)로 사용하였다.

상·하위 아파트를 구분하기 위한 기준으로는 지하철역의 통행시간 단축 비율을 사용하였다. 신설 노선 주변의 일부 지하철역의 통행시간 단축이 크게 일어난 것을 제외하고 대부분의 지하철이 비슷한 통행시간 단축률을 분포를 보였고 이러한 분포(Figure 2)를

반영하여, 네트워크 단축 비율의 중위값 대신 제 3사분위수(-5.8%)를 기준으로 지하철역을 두 그룹(상위 25%, 하위 75%)으로 구분하였다.

최근접 역이 통행시간 단축비율 상위25%인 아파트 그룹과 최근접 역이 단축비율 하위 75%인 아파트그룹을 각각 상위아파트 그룹, 하위 하파트 그룹으로 분류하였다.

상위 아파트 더미, 지하철역까지의 거리 더미의 교호작용을 나타내는 $M_i S_i$ 를 추가함으로써 S_i 에서 상대적으로 네트워크 확장 효과가 크게 일어난 지하철 군집의 영향력을 분리하고, 두 변수의 계수를 비교하여 네트워크 확장 효과가 월세가격에 미치는 영향을 측정할 수 있다.

또한, 분석의 공간적 범위가 서울 전역인 점을 고려하여, 고용중심지인 도심권, 강남권, 여의도권과의 접근성이 가격에 미치는 거시적인 영향을 통제하기 위해 거리에 대한 연속변수(단위: km) C_i , G_i , Y_i 를 도입하고 각각의 변수와 시간변수와의 교호작용 변수를 도입하였다.

한편, 충분한 표본 수 확보를 위해 D_i^t 는 분기별 시점더미를 사용하였다. 하지만 노선 신설이 분기마다 발생하지 않는다는 점과 앞서 그림 3에서 살펴봤듯이 연도별로도 노선 신설의 규모가 상이하다는 점을 고려했을 때, 네트워크 확장 효과가 월세가격에 미치는 영향을 분기별 또는 연도별 시점에서 관측하는 것은 적합하지 않다고 판단된다.

따라서 본 연구에서는 주요 분석 대상인 상위 아파트군에서 체감할 수 있는 네트워크 확장 효과의 크기에 따라 시점을 구분하고자 한다. 즉, 상위 아파트 그룹의 최근접 지하철역 통행시간 변화율을 산정하여 (Table 7), 급격한 변화가 관찰되는 연도를 기준으로 구분하였다. 표7을 그래프로 나타낸 Figure 5을 보면, 2014년에서 2015년으로 넘어가는 시점과 2016년도에서 2017년도로 넘어가는 시점에 상위 아파트의 네

Table 7. The Travel Time of Nearest Apt

연도	2013	2014	2015	2016	2017	2018
최대(%)	-2.0	-2.0	-4.7	-4.8	-7.1	-11.5
평균(%)	-1.2	-1.3	-2.2	-2.3	-4.1	-7.9
최소(%)	-0.1	-0.1	-1.5	-1.6	-3.3	-6.3

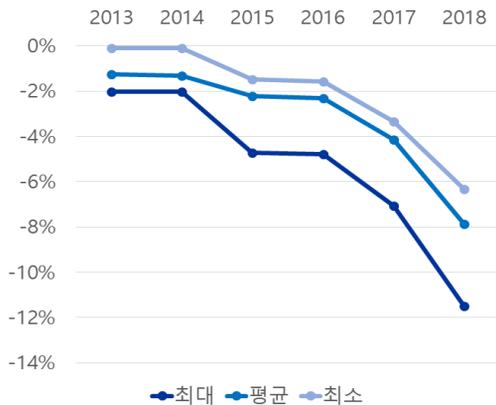


Figure 5. The Effects of Subway Network Expansion by Apt

트워킹 확장 효과가 급격하게 증가한 것을 알 수 있다.

분석 기간을 2015년과 2017년 기준 총 3개의 시점 ($p=0, 1, 2$)으로 나누고, 네트워크 확장 효과 관측을 위한 교호작용 시점더미(D_i^p)를 추가한다. 이를 $S_i, M_i, M_i S_i$ 변수와 곱하여 구간별 네트워크 확장에 따른 영향력 변화를 관측하고자 하였다. 한편, 고용중심지까지의 거리변수인 C_i, G_i, Y_i 에서 원래의 분기더미(D_i^t)를 교호작용 시점더미로 사용하였다. 최종적으로 도출된 모형은 다음과 같다.

$$\ln\left(\frac{P_i^s}{P_i^t}\right) = \sum_{t=1}^T \delta^t D_i^t + \sum_{t=1}^T \theta_c^t (C_i D_i^t) + \sum_{t=1}^T \theta_G^t (G_i D_i^t) + \sum_{t=1}^T \theta_Y^t (Y_i D_i^t) + \sum_{t=1}^T \delta_M^t (M_i D_i^p) + \sum_{t=1}^T \mu_S^t (S_i D_i^p) + \sum_{t=1}^T \mu_{MS}^t (M_i S_i D_i^p) + u_i \quad \text{식 (4)}$$

δ^t 는 2012년 1분기 대비 시간에 따른 월세가격 상승률을 나타낸다. 그리고 $\theta_C^t, \theta_G^t, \theta_Y^t$ 는 각각 서울의 고용중심지까지 거리의 기준시점 대비 한계까지 변화를 나타낸다. δ_M^t 는 상위 아파트 그룹의 네트워크효과가 아닌 요인에 의해 발생하는 월세변동, μ_{MS}^t 는 네트워크 확장 효과가 큰 지하철역 접근성의 영향력 변화, μ_S^t 는 상대적으로 네트워크 확장 효과가 작은 지하철역 접근성의 네트워크 확장과 상관없는 일반적인 선호도 변화와 같은 지하철 접근성의 가치 변화를 나타낸다.

4. 실증분석 결과

네트워크 확장 효과의 정도에 따른 임대료 변화를 확인하기 위해 식 (4)를 이용한 회귀분석 결과, 그림 5의 결과를 얻을 수 있었다.

먼저, 분기별 시점더미를 적용한 첫 번째 항을 통해 표본 아파트들의 임대료 수준이 시점에 따라 증감을 반복하는 것을 알 수 있었다. 2013년 1분기부터 2014년 2분기까지는 임대료가 꾸준히 상승하여 기준시점 (2012년 1분기)대비 임대료 수준이 103%로 증가하였다. 반면, 일부 분기를 제외하고 2014년 4분기부터 임대료가 지속적으로 감소하여 2017년 4분기에는 기준시점 대비 90% 임대료 수준을 보였다.

다음으로 도시 규모 차원에서 고용 중심에 대한 접근성이 월세가격에 미치는 영향을 통제한 결과이다. 3개 기간에 걸쳐 각 고용 중심까지 거리와의 교호작용에서 관측된 상대적인 임대료 변화율은 미비하게 음의 값을 가졌고, 이는 각 고용중심지의 영향력이 있음을 의미한다.

또한, CBD, GBD, YBD의 순서로 영향력이 더 크게 증가하였으나, 추정계수의 절댓값이 매우 작다는 것을 고려했을 때, 전반적으로 유사한 수준을 유지했다고 할 수 있다.

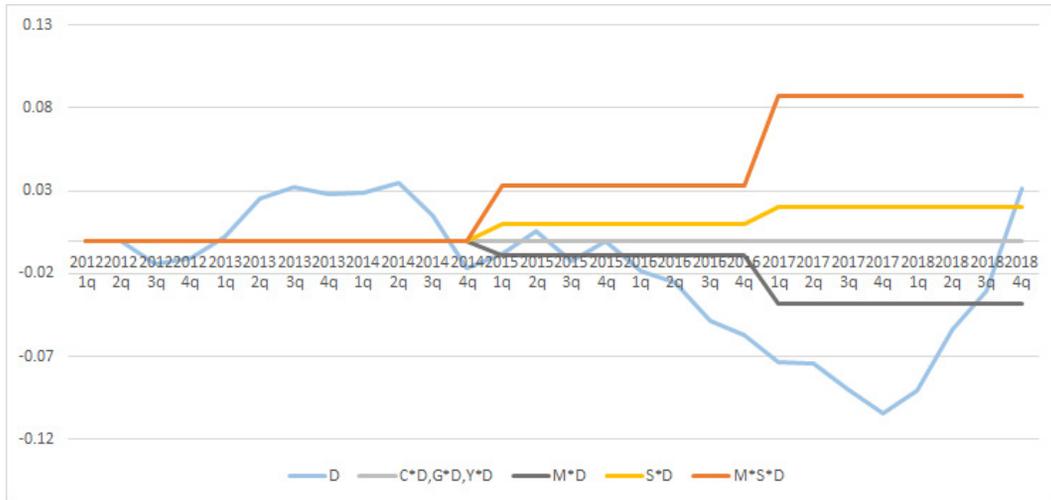


Figure 6. The Graph of Coefficient Estimation Result

최근접 지하철역까지의 지역적 접근성으로 인한 임대료 변화는 3개 기간 동안 꾸준히 증가했음을 관찰할 수 있다. 3기(2017~2018) 기간에서 최근접 지하철역까지 거리가 300m 이하임이 갖는 임대료에 대한 한계 가치가 2.0%로 증가하였고, 이는 기존 연구(Lee et al. 2018)에서 2000년부터 2012년까지의 증가율로 추정된 0.6%와 비교하였을 때, 매우 인상적인 수치이다.

네트워크 확장 효과가 큰 지역의 임대료 프리미엄을 통제하기 위해 도입된 네트워크 확장 효과 상위 25% 아파트 터미의 계수(δ_{1M})는 전반적으로 음의 결과를 보였다. 이는 네트워크 확장 효과 상위 지역의 경우 다른 지역에 비해 더 많은 상업 및 주거 개발이 동반되기 때문에, 이에 따른 임대료 프리미엄을 가진다는 Lee et al.(2018)의 연구와 상반되는 결과이다.

지하철 네트워크 확장효과가 큰 상위 25% 아파트에 거주하는 사람들은 인근의 토지이용에서 발생하는 편익을 누리는 대신, 지하철을 이용하여 도달할 수 있는 타 중심지역의 우수한 시설을 이용하는 것에 대한 선호가 존재하여 임대료 프리미엄이 작용하지 않은 것으로 해석할 수 있다.

최근접 지하철역 접근성 터미의 교호작용이라고 볼 수 있는 $S_i D_i^t$ 의 추정계수는 시간이 경과할수록 계수 값이 증가하여 접근성의 영향성이 지속적으로 증가하고 있음을 보여준다.

마지막으로, 임대료 변화에 있어 네트워크 확장 효과로 인한 상승분만을 감지해 내기 위해 도입된 기간 터미, 최근접 지하철역 접근성 터미, 상위 25% 그룹 터미의 교호작용 항을 통해서, 분석기간 동안 해당 교호작용이($MS_i D_i^t$) 지닌 영향력이 8.7% 증가했음을 확인할 수 있었다. 이는 지하철 네트워크 확장 효과가 임대료 형성에 있어 유의미한 영향을 미친다는 것을 뜻한다고 볼 수 있다.

특히, 기간터미와 상위 아파트 그룹의 영향력이 분리된 최근접 지하철역 접근성 터미의 교호작용이라고 볼 수 있는 $S_i D_i^t$ 의 추정계수와 비교했을 때, 두 계수 사이의 간격($MS_i D_i^t - S_i D_i^t$)이 D_1 시점에는 0.02341 였으나 D_2 시점에는 0.06734로 증가하는 것을 통해 네트워크 확장으로 인한 간접효과가 임대료에 미치는 영향이 존재함을 다시 한 번 확인할 수 있다.

Table 8. The Coefficient Estimation Result Table

Analysis Source					Variable	Parameter Estimate	Standard Error	t Value	Pr> t
					기간더미와 네트워크 확장 효과 상위 25% 더미와의 교호작용				
	DF	Mean Square	F Value	Pr > F	$M * D'_1$	-0.0088	0.01428	-0.62	0.5378
Model	114	0.28761	9.14	<.0001	$M * D'_2$	-0.03843	0.01452	-2.65	0.0081
Error	48124	0.03147			기간더미와 최근접 지하철역 접근성 더미와의 교호작용				
Uncorrected Total	48238				$S * D'_1$	0.00964	0.00608	1.58	0.113
					$S * D'_2$	0.02024	0.00618	3.27	0.0011
Root MSE	0.1774	R-Square	0.0212		기간더미, 네트워크 확장 효과 상위 25% 더미, 최근접 지하철역 접근성 더미 사이의 교호작용				
Dependent Mean	-8.9E-06	Adj R-Sq	0.0189		$M * S * D'_1$	0.03305	0.0255	1.3	0.1949
Coeff Var	-1995520				$M * S * D'_2$	0.08758	0.02705	3.24	0.0012

이와 같은 결과는 전반적인 지하철 네트워크 연결성 개선을 통한 수도권 지하철 네트워크의 지속적 확장이 아파트 월세가격에 상당한 양의 영향을 미친다는 것을 보여준다.

5. 결론

본 연구에서는 지하철 노선확장의 결과로 최근접 지하철역까지의 거리는 변하지 않으면서 다른 지하철역까지의 통행시간이 단축되는 것을 네트워크 확장 효과로 정의하고 네트워크 확장 효과로 인한 편익이 주택가격에 미치는 영향력 변화를 측정하였다.

2012년부터 2018년까지의 서울시 지하철 확장 정책에 의한 통행시간 단축 효과를 상대적으로 크게 수혜한 지역을 도출하고, 이 지역의 임대료 상승을 규명했다는 점에서 다음 두 가지 의의를 가진다.

첫째, 차후 지하철 노선 확장 정책을 위한 비용-편익 분석에 새로운 기준을 제시할 수 있다. 본 연구는

신설노선의 이용객 수 등 국지적인 편익 분석이 아닌 전체적인 네트워크 효율성의 증가로 인한 도시권의 사회적비용(통행비용)의 감소를 측정하였으며, 이러한 편익이 주택입지특성 중 '지하철 접근성'에 대한 주택수요자들의 선호도 향상을 측정하였다.

둘째, 물리적인 인프라 공급이 아닌, 운행방식 변경으로 인해 발생할 수 있는 네트워크 확장 효과를 분석에 포함하였다. 실제로, 네트워크 확장 상위 25% 그룹으로 도출된 대부분의 지하철역이 급행 노선이 추가된 수도권 외곽 또는 9호선에 위치한 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해, 노선 확장 외에 급행 노선 추가라는 운행방식의 도입이 지하철 이용의 편익의 증대시킬 수 있으며, 이러한 편익이 임대료에 자본화되는 것을 확인하였다.

선행연구와의 차별점은 시간이 지남에 따라 값이 변하지 않는 변수의 영향력을 측정할 수 있는 수정반복매모형을 적용하여 시불변인 최근접역의 영향성을 측정했고 이용자의 사용가치를 반영하는 월세가격

을 종속변수로 사용해 네트워크 확장 효과를 살펴보고자 했다는 점이다.

또한, 주요 변수인 지하철 접근성 변수에 거리에 대한 연속변수가 아닌 더미변수를 적용했다. 거주지와 지하철역과의 거리가 멀어질수록 다른 교통수단을 이용할 가능성이 증가하는 것을 고려하여, 지하철역 반경 300m(도시 내 역간 거리의 1/4)이내 구역을 지하철 접근성 영향권역 더미로 설정하였다. 이를 통해 다른 교통수단의 선택 가능성을 완화하고 순수한 지하철 이용에 의한 편익을 분석하고자 하였다. 더해서, 실제 지하철 노선 확장 사업의 결과가 월세 가격에 충분히 반영될 수 있도록, 연구기간을 네트워크의 확장 수준에 따라 총 3개의 기간으로 분류하여 분석하였다.

결론으로 지하철역에서 300m 이내에 있는 아파트들은 그렇지 않은 지역에 비해 시간이 지남에 따라 상대적으로 임대료가 상승했으며, 네트워크 확장 효과 상위 25% 권역에서 그 효과는 더욱 크게 나타났다. 다시 말해, 네트워크 확장 효과가 월세에 자본화되는 것을 관측했으며, 네트워크 확장 효과의 정도에 따라 자본화되는 수준도 다르다는 것을 실증분석을 통해 확인했다.

해당연구는 지하철의 노선신설이 주택가격에 주는 영향력에 대한 기존의 분석이 최단거리 단축에 주로 초점을 맞추었던 것과는 차별적으로 노선신설 이후 최단거리가 단축되지 않은 주택에도 지하철 노선신설이 주택가격상승이라는 영향력을 주었다는 점과, 특히 이전까지 연구되지 않았던 월세가격의 측면에서도 이러한 네트워크 확장효과가 있음을 확인했다는 점에서 의미가 있다.

다만, 최근의 지하철 노선 확장 사업이 수도권 외곽에 집중되어 있어 실제 도심지에서의 네트워크 확장 효과와 상이할 수 있다는 점, 대중교통수단 상호 간의 연결성과 환승을 고려하지 않는다는 점, 네트워크 확장 효과 상위 군집이 일부 지역에 한정적으로 분포하고 있어 네트워크 확장 효과 변수가 갖는 영향력이 지

역적 특성에 의해 간섭받을 수 있다는 점의 한계를 갖고 있다.

본 연구는 자료의 제약과 더불어 교통수단 분담이 네트워크 확장 효과에 미치는 영향에 관한 연구가 부족한 상황에서 진행되었기에 위와 같은 한계점을 지니고 있으며, 향후 연구에서는 더욱 정교한 분석범위의 설정과 대중교통 네트워크 연결성에 대한 고려가 필요할 것으로 보인다.

주 1. 개별 전환을 산정을 위해 관측된 보증부 월세(m^2 당)를 동일주택 중위 전세가(m^2 당)와 병합하였다. 단지내 면적, 층이 같은 아파트를 동일주택으로 가정하였다.

참고문헌

References

- 전명진·강도규, 2016, 수도권 주거 이동 가구의 주거 입지 선택 요인 분석, *지역연구*, 32(1): 83-103.
- Jun MJ, Kang DG. 2016, Analysis on Determinants of Residential Location Choice for the Intra-Urban Migrants in the Seoul Metropolitan Area, *Journal of the Korean Regional Science Association* 32(1):83-103.
- 최성호·성현근, 2011, 지하철9호선 건설이 아파트 가격에 미치는 영향에 관한 연구, *국토계획*, 46(3): 169-177.
- Choi SH, Sung HG, 2011, Identifying the Change of Influencing Power of the Subway Line 9 Construction Project over Housing Prices, *Journal of Korea Planning Association* 46(3): 169-177.
- 천인호, 2007, 아파트 단지내 상가의 가격결정요인, *한국지역개발 학회지*, 19(3):161-178.
- Cheon IH, 2007, Factors Determining the Prices of the Stores Located within the Apartment

- Complexes, *Journal of The Korean Regional Development Association* 19(3):161-178.
- 박예나·이상경, 2013, 지역 및 근린생활환경이 주상복합아파트 가격에 미치는 영향 연구, *부동산연구*, 23(2):153-170.
- Park YN, Lee SK, 2013, Effects of Regional and Neighborhood Living Environment on Mixed Use Apartment Prices, *Korea Real Estate Review* 23(2):153-170.
- 정의철·이창무, 2018, 주택임대시장 균형조건을 이용한 주택매매가격 대비 전세가격 비율 결정요인 분석: 주택매매가격 변동성을 중심으로, *부동산학연구*, 24(4): 5-20.
- Chung EC, Lee CM, 2018, Determinants of Chonsei Deposit to Housing Sales Price Ratio Based on Rental Housing Market Equilibrium Condition: Focused on Housing Price Volatility, *Journal of the Korea Real Estate Analysts Association* 24(4): 5-20.
- 이창무·김용경·배익민, 2007, 반복매매모형을 이용한 아파트 실거래지수 운영특성 분석, *부동산학연구*, 13(2):21-40.
- Lee CM, Kim YK, 2007, Determinants of Chonsei Deposit to Housing Sales Price Ratio Based on Rental Housing Market Equilibrium Condition: Focused on Housing Price Volatility, *Journal of the Korea Real Estate Analysts Association* 13(2):21-40.
- 김찬성, 2005, 수도권 2기 지하철 개통에 따른 지하철 통행패턴 변화, *한국철도학회 학술발표대회 논문집*, 51-61.
- Kim CS, 2005, An Analysis of Subway Ridership Variations in Seoul metropolitan area, *The Korean Society For Railway* 51-61.
- 김재익·강승규·서안나, 2011, 지하철 노선확장과 무료환승제도 도입이 기존 지하철의 승차수요에 미치는 영향 - 대구광역시 사례연구 -, *한국지역개발학회지*, 23(5):171-186.
- Kim JI, Kang SK, Seo Anna, 2011, The Effects of An Additional Subway Line and Free Inter-modal Transfer System on Number of Subway Riders of Existing Line, *Journal of The Korean Regional Development Association* 23(5):171-186.
- 이창무·김흥순·김미경, 2007, 역세권개발과 수도권 공간구조 재편, *국토계획*, 42(6):67-88.
- Lee CM, Kim HS, Kim MK, 2007, Transit Oriented Development and Spatial Restructuring of the Seoul Metropolitan Area, *Journal of Korea Planning Association* 42(6):67-88.
- 김태호·이창무, 2006, 그린벨트 및 주택의 어머니티 요소가 주택전세가격에 미치는 영향력의 시계열적 변화, *국토계획*, 41(5):61-79.
- Kim TH, Lee CM, 2006, Dynamics of Greenbelt and Amenity Effects on Housing Rent, *Journal of Korea Planning Association* 41(5):61-79.
- Montgomery, M., and C. Curtis, 2006. Housing mobility and location choice: a review of the literature. Impacts of Transit Led Development in a New Rail Corridor.
- Baum-Snow, N., and M. Kahn, 2000. The effects of new public projects to expand urban rail transit. *Journal of Public Economics*, 77: 241-263.
- Armstrong, R. J., and D. A. Rodriguez, 2006. An evaluation of the accessibility benefits of commuter rail in eastern Massachusetts using spatial hedonic price functions. *Transportation*, 33(1):21-43.
- Kotavaara, O., A. Antikainen, and J. Rusanen, 2011,

Population change and accessibility by road and rail networks : GIS and statistical approach to Finland 1970-2007, *Journal of Transport Geography*, 19:926-935.

tional Journal of Urban Sciences, 22:4, 529-545.

Lee, Chang-Moo, Kang-Min Ryu, Keechoo Choi, Jin-Yoo Kim, 2018, The dynamic effects of subway network expansion on housing rental prices using a repeat sales model, Interna-

2021년 10월 01일 원고접수(Received)
2021년 10월 28일 1차심사(1st Reviewed)
2021년 11월 25일 게재확정(Accepted)

초 록

수도권 지하철 노선확장 사업을 통해 수도권 거주민의 대중교통 접근성은 지속적으로 향상되고 있다. 이러한 대중교통 접근성은 주거지 선택 시 가장 중요한 요소 중 하나로 지하철 노선확장에 따른 접근성 향상이 주택가격에 미치는 영향을 정량적으로 추정하는 것은 주택정책에 있어 중요하다. 이 연구는 노선신설에 따라 최근접 지하철역의 변화없이 발생하는 다른 지하철역까지의 통행시간 단축을 네트워크 확장효과로 정의하고, 이것이 주택가격에 미치는 영향력을 확인하고자 한다. 이를 위해 2012년부터 2018년까지 서울시 아파트 전월세확정신고자료를 이용하여 월세로 전환 후, 수정반복매매모형을 통해 시계열적으로 분석하였다. 그 결과, 기준이 되는 기간(2012~2014년)에 비해 비교기간(2017~2018년)에 네트워크 확장효과가 서울시 아파트 월세가격에 미치는 영향력이 상대적으로 더 증가했으며, 이는 지하철 네트워크 확장효과가 주택의 임대료 형성에 유의미한 영향을 미친다는 것을 시사한다. 또한, 분석과정에서 네트워크 확장효과의 상하위 아파트 그룹을 비교한 결과, 네트워크 확장 효과 하위그룹보다 상위그룹에서 영향력의 상승폭이 상대적으로 컸으며, 이를 통해 네트워크 확장효과의 정도에 따라 주택의 가치에 자본화되는 수준도 다르다는 것을 확인할 수 있었다.

주제어 : 네트워크 확장, 수정반복매매모형, 월세