pISSN : 1226-7147 eISSN : 2383-9171
https://doi.org/10.17208/jkpa.2018.02.53.1.63

Journal of Korea Planning Association Vol.53, No.1 (2018)
대한국토·도시계획학회지「국토계획」제53권 제1호 pp.63-84

노면전차의 장기적·종합적 효과분석을 위한 토지이용-교통 통합모델의 수원시 사례 적용*

Applying Land-use Transport Integrated Model for Analyzing Long-term and Comprehensive Effect of Tram in the City of Suwon, Korea

이승일** · 장성만***
Lee, Seungil · Jang, Seongman

Abstract

Introducing a tram in a city would affect not only its transport system but also land-use pattern. In this study, Seoul Metropolitan Area Model developed using DELTA (land-use model) and Omnitrans (transport model) was applied to simulate the comprehensive effect of the new tram for the City of Suwon. Before applying the model, the parameters of Omnitrans were calibrated and validated. Three scenarios were set up to analyze the long-term effects of mode choice and the subsequent changes in land use and population: a business-as-usual (BAU) scenario and two alternative scenarios with a tram and an increase of floor area ratio (FAR) in the adjacent area of the tram route. The model simulation showed that introducing a tram route would reduce transit use as a result of decreased accessability to the city rail station using bus and car, which is ascribed to the bypass of bus routes. The simulation also showed that the residential location of younger householder families might change from downtown to outskirts, because the tram would decrease the accessibility to the jobs outside the city. However, the elderly householders move to downtown due to the tram and reduced housing rent. This problem might be solved by introducing more tram routes throughout the city and modifying the bus routes appropriately. Its effects are to be explored using a model with actual tram traffic data in the future.

키 워 드 ■ 도시통합모델, 모델적합성, 입지변화, 노면전차, 대중교통전용지구
Keywords ■ Urban integrated model, Model fitting, Location change, Tram, Transit mall

Ⅰ. 서론

최근 대기오염, 소음, 에너지, 교통혼잡 및 사고, 보행단절 등 심각한 도시문제의 근본원인으로 자동차를 주목하면서 대체 통행수단으로 대중교통에 관심이 집중되고 있다. 대중교통수단 중에서도 수송용량이 크고 정시성이 뛰어난 철도에 대한 선호도가 높지만, 지하철이나 경전철의 경우 건설비용이 과다하여 경제성에 대한 우려가 크다. 반면, 노면전차는 건설비용이 상대적으로 적고, 친환경적이며, 교통약자에게 유리한 장점 때문에 재조명을 받고 있다. 1968년 우리나라에서 노면전차가 퇴출된 이유가 자동차 중심의 개발에서 비롯되었듯이 노면전차의 재도입에 있어서 가장 큰 장애요인은 교통혼잡 문제

* 이 논문은 2016년도 서울시립대학교 연구년교수 연구비에 의하여 연구되었음.
** University of Seoul (silee@uos.ac.kr)
*** University of Seoul

이다(박준환, 2015). 노면전차를 자동차 그리고 보행자와 공존하며 도로에서 운행하기 위해서는 「도로교통법」, 「도시철도법」, 「철도안전법」 등 관련법을 정비하는 것이 선결되어야 하는데 이미 법을 개정하는데 큰 진전이 이루어져서 조만간 여러 도시에서 노면전차의 운행이 가시화 될 전망이다. 그러나 노면전차는 도로 위에서 운행되는 속성 때문에 승용차뿐만 아니라 버스와도 대체 관계를 가지고 있다. 특히, 도시 활력과 상권 활성화에 크게 기여할 것으로 기대하는 노면전차의 도심 운행구간에서는 승용차 및 버스 간에 문제발생의 소지가 크므로 건설에 대한 논의가 오랫동안 계속되고 있다(박준환, 2015).

결과적으로 노면전차는 도시교통시스템 전반에 커다란 영향을 미치게 되므로, 노면전차의 운행과 관련하여 많은 선행연구가 이루어졌다. 관련 선행연구로서 지자체별로 교통 및 대중교통체계와 재정적 여건을 고려하여 노면전차의 도입가능성을 점검한 연구(엄진기 외, 2009a), 도시공간구조 및 간선가로망 형태 등을 고려하여 노면전차의 적합한 도입방안을 탐구한 연구(이준 외, 2009), 교통수요, 서비스 수준, 나아가 이용자 편의성 등의 지표를 이용하여 노면전차의 도입수준을 평가한 연구(최명훈 외, 2009), 도시규모에 따른 노면전차의 도입타당성을 분석한 연구(엄진기 외, 2009b), 노면전차 개발의 경제적 파급효과를 분석한 연구(남두희 외, 2010) 등을 찾아볼 수 있다. 대부분의 연구는 주어진 도시여건에 부합하게 노면전차를 도입하는 방안을 모색하는데 집중되어있다. 노면전차가 도시시스템에 미치는 영향이 매우 큼에도 불구하고 기존 연구에서는 노면전차의 도입으로 인하여 현재의 교통시스템에 미치는 영향을 예측하거나, 나아가 장기적으로 교통시스템의 변화에 따라 초래될 수 있는 토지이용 및 도시활동 분포의 변화를 분석하지는 못했다고 할 수 있다.

이와 같은 배경에 따라 이 연구에서는 2020년 운행을 목표로 수원시에서 추진하고 있는 노면전차를 대중교통전용지구 안에 설치하는 정책(박래헌, 2013; 2017년 수원시장 시정연설 mayor.suwon.go.kr)에 대하여 기존의 도입타당성 분석 수준을 넘어 노면전차 운행구간 인근뿐 아니라 수원시와 주변지역에 대하여 인구 및 토지이용 분포에 미치는 영향을 고려한 장기적, 종합적 효과를 분석하는 것을 목적으로 삼는다. 이를 위하여 북미와 유럽에서 도시개발 또는 교통시설 도입에 따른 장기적 영향을 분석하고자 개발된 토지이용과 교통의 연계기반 통합모델(이하 도시통합모델)을 적용하고자 한다(이승일·이창효, 2015). 도시통합모델로는 영국에서 개발된 DELTA(토지이용모델)와 네덜란드에서 개발된 Omnitrans(교통모델)을 결합하여, 2010년 입력데이터를 기반으로 수도권에 적용하였던 '수도권모델'(이승일·이창효, 2015)을 사용하였다.

수도권모델을 수원시에 적용하기에 앞서 이 연구에서는 선행연구(이승일·이창효, 2015)에서는 수행하지 못한 교통모델의 모델 적합성을 검증하였다. 분석은 기준년도 2010년을 시점으로 목표연도 2030년까지 수행하였다. 이 연구는 수원시 노면전차 시나리오를 포함하지 않은 현 추세(BAU: Business As Usual)시나리오와 수원역을 기점으로 장안구청까지 총 6km의 노면전차를 도입한 대안시나리오①, 노면전차 계획과 더불어 노면전차가 통과하거나 접하는 행정동 8곳의 토지이용 허용용적률을 상향한 대안시나리오②로 구분하여 분석을 수행하고, 수원시와 주변지역의 장기적 변화를 확인하였다. 토지이용의 변화로서 인구수, 유형별 가구 수, 임대료 등을 비교하였고, 교통의 변화는 수단별 통행량을 중심으로 비교하였다.

Ⅱ. 이론 및 선행연구 고찰

1. 노면전차의 도입과 도시발전

대중교통수단으로서 도시철도는 역까지 접근의 불편함, 속도경쟁력의 미비, 환승의 불편함, 승객서비스의 저하 등 다양한 이유로 그동안 도시교통체계에서 차지하는 비중이 높지 않은 것이 현실이다(엄진기 외, 2009b). 그러나 최근 환경과 경제 및 사회의 균형을 강조한 지속가능 도시패러다임이 정착되면서, 건강한 도시를 지향하는 보행도시(임금선, 2013), 고령자 및 약자를 위한 도시(김은홍, 2013) 등에 대한 논의가 활발해지고, 그 연장선에서 친환경적일뿐 아니라 교통약자에 적합한 노면전차에 대한 관심이 점차 커지고 있다(박준환, 2015).

노면전차는 도로 위에 설치한 레일을 따라 사람이나 화물을 운송하는 교통수단(「궤도운송법 시행규칙」 제2조제6호 참조)이므로, 노면전차는 다른 교통수단보다 도시의 공간구조와 밀접하게 연계되어야 하고, 도로 위에서 운행되는 자동차와 버스, 나아가 보행자와 주어진 교통체계 상에서 긴밀하게 조화를 이루어야 한다(이준 외, 2009; 박준환, 2015). 또한, 노면전차를 운행 중인 외국 도시(예, 암스테르담, 스트라스부르, 프라이부르크, 멜버른 등)에서는 노면전차가 보행자 친화적 교통수단으로 도심을 관통하거나 순환하면서 도시의 경제활력과 공동체 활성화에 기여하는 바가 크다. 이와 같은 이유로 국내에서도 수원시를 비롯한 여러 도시(서울, 부산, 대구, 성남 등)에서 다른 철도보다 건설비용[1]이 훨씬 저렴한 노면전차를 도입하여 도시발전을 도모하려는 기대가 크다(남두희 외, 2010; 박래헌, 2013).

그러나 노면전차는 다른 교통수단보다 교통시스템에 미치는 영향이 크고, 장기적으로는 토지이용에도 영향을 미칠 수 있으므로 단순한 도입타당성분석을 넘어 토지이용과 교통의 순환관계에 따른 도시시스템(Wegener, 1996; 2004)에 미치는 영향을 분석할 수 있어야 한다. 이를 통하여 노면전차의 운행에 따른 노선 인근지역에서의 토지이용의 변화로 인해 장기적으로 도시전체에서 발생하는 가구유형별 입지패턴의 변화(장성만, 2017)를 예측함으로써 비로소 도시발전에 미치는 실질적 효과를 파악하여 정책적으로 대비할 수 있을 것이다.

2. 도시통합모델의 적용

도시통합모델은 “도시시스템의 미래패턴을 예측하거나 토지이용 또는 교통의 정책 및 계획의 영향력을 평가하기 위한 시뮬레이션 모델”(Harris, 1985)이다. 도시통합모델은 도시시스템(Wegener1996; 2004)을 모델링한 것으로서 도시활동을 위한 도시의 물리적 구조와 건물, 활동자 등의 하위시스템으로 구성되어, 각 하위시스템의 자체 변화와 함께 하위시스템 간의 영향을 시뮬레이션 할 수 있도록 개발되었다(이승일 외, 2011). 하위시스템 사이에 있는 가장 중요한 관계는 토지이용과 교통의 순환관계인데 입지효용과 비용, 통행비용 등을 고려하여 활동자의 활동목적에 따른 입지선택의 과정을 정형화함으로써 장기적 도시발전을 시뮬레이션 하는 이론적 근거가 된다(Simmonds, 1999; Wegener, 1996; 2004).

도시통합모델을 적용한 사례(SPARTACUS, 1998; PROPOLIS, 2004)를 살펴보면, ① 도시개발에 따른 건물 연면적의 양적·질적 변화가 활동자의 이사와 입지선택, 통행의 선택에 미치는 영향을 추정하거나, ② 교통시설의 공급에 의한 통행패턴의 변화와 건물 연면적의 변화를 추산하거나, ③ 활동자의 경제·사회·인구학적 변화에 따른 활동의 입지

선택과 통행선택 패턴의 변화를 예측하고, ④ 토지이용과 교통에서의 규제 또는 법제도와 사회적 여건의 변화에 따른 건물 연면적의 개발패턴과 통행패턴에 있어서의 변화를 예측하는데 도시통합모델을 적용할 수 있다(이승일·이창효, 2015). 따라서 도시통합모델은 도로의 건설뿐 아니라 노면전차와 같은 새로운 교통수단의 도입에 따른 장기적 도시발전을 추정하는데 유용한 방법론이 될 수 있다(Wegener, 2004; Hunt et al., 2005).

도시통합모델을 적용하려면 우선 그 도시를 대상으로 모델 적합성을 검증하여 모델의 예측력을 제고시켜야 한다. 모델의 적합성 검증은 도시통합모델의 하위모델에 내재된 수식들의 모수를 산출하는 과정과 모델을 구동하면서 산출결과를 검증하는 과정으로 이루어진다(이승일·이창효, 2015). 수도권모델의 경우, 교통모델의 출력데이터를 입력한 후에 토지이용모델의 하위모델들을 차례로 거쳐서 도출된 토지이용모델 출력데이터와 관찰데이터 간의 차이를 줄이기 위해 반복과정을 거치며 개별 하위모델의 모수를 미세하게 조정하였다(이승일·이창효, 2015). 특히, 주거입지 하위모델의 결과가 전체 모델의 결과를 담고 있다는 판단(Revil & Simmonds, 2011; Pagliara & Wilson, 2010)에 따라 주거입지 하위모델의 모수의 산출에 초점을 맞추고 있다. 그러나 교통모델은 모델이론과 적용의 틀, 즉, 4단계 수요예측과정에 있어서 대체로 유사하므로 모델의 적합성 검증을 수행하지 않았다.

3. 소결

이상에서 살펴본 바와 같이, 이 연구에서는 대중교통전용지구 안에 노면전차를 설치함으로써 노선 인근 및 수원시의 장기적 입지변화, 특히, 주거입지와 가구유형의 변화를 종합적으로 예측하기 위하여 도시통합모델을 적용하고자 한다. 그전에 수도권모델의 토지이용모델에 대해서만 모델 적합성을 검증하였던 선행연구(이승일·이창효, 2015)에 추가하여 노면전차와 대중교통전용지구 도입의 장기적, 종합적 영향을 시뮬레이션 하는 연구의 특성에 따라 분석을 수행하기 전에 교통모델을 대상으로 모델 적합성을 검증하고자한다.

Ⅲ. 수원시 노면전차 운영계획

1. 연구대상지역

수원시는 수도권 남부에 위치한 인구 100만 규모의 도시로서 서울을 비롯한 수도권의 주변 도시와 긴밀한 연계관계를 지니고 있다. 2002년부터 2010년까지 수원시의 통행목적별 통행거리의 변화를 살펴보면(출처: 경기도교통정보센터), 평균 통근거리는 2002년 11.33km에서 2010년 12.91km, 여가통행 거리는 2002년 6.72km에서 2010년 7.55km로 꾸준히 증가하는 경향을 보인다. 쇼핑통행 거리는 2002년 4.14km에서 2010년 4.33km로 약간 증가하였다. 모든 통행목적에서 평균 통행거리가 증가하였다는 점은 수원시가 주변 도시 및 서울과의 관계에 있어서 더욱 긴밀해지고, 시 경계를 넘어 외부로 활동하는 사람들의 공간범위가 점차 더 확대되고 있음을 의미한다.

이와 같이 확대된 활동 공간범위를 통행수단별로 비교하기 위하여 2010년 수도권 가구통행실태조사 자료를 이용하여 통근목적에 한하여 수원시를 기점으로 수단별 통행거리의 분포를 비교하였다(그림 1 참조). 그 결과, 수단별 통근통행의 표준편차 타원체는 수원시를 중심으로 주변 도시에 이르는데, 지하철의 경우 서울의 상당 지역을 포함하고 있다. 이는 지하철을 이용하는 수원시 거주자의 직장 분포가 매우 넓음을 의미한다.

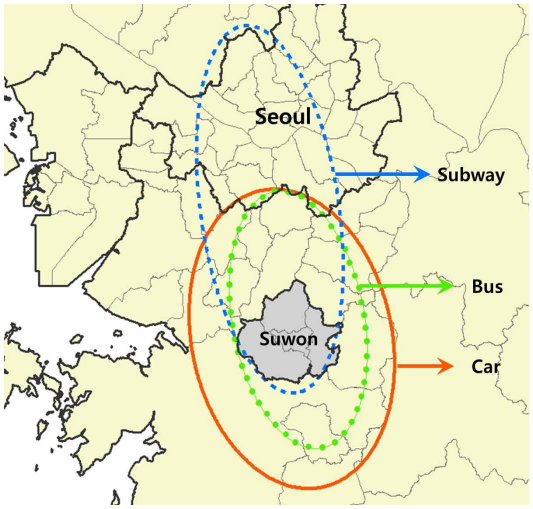

Fig 1. Standard deviation of commute distance
(Source: Gyeonggi-do traffic DB)

지난 10여 년간 수원시의 인구와 일자리 수의 변화를 살펴보면, 행정구역의 변경으로 인해 행정구별로 차이가 있지만 대체적으로 인구와 일자리가 증가하였다(그림 2 참조).

2. 노면전차와 대중교통전용지구

수원시는 그림 3과 같이 수원역을 기점으로 장안구청까지 총 6km 노선의 무가선 노면전차의 운행을 계획하고 있다. 이와 함께 해당 구간을 대중교통전용지구로 전환하고자 한다(그림 3 참조). 대중교통전용지구는 수원역에서 장안문까지의 구간(매산로-정종로)이 선정되었으며, 총 연장은 3.4km에 달한다(그림 4 참조). 대상 가로 주변은 상업지역이며, 수원화성, 팔달문, 장안문 등 역사문화시설도 위치하고 있어서 사람들을 유입시킬 수 있는 요소가 많다. 특히, 수원역, 수원천을 중심으로 상권이 형성되어 있다.

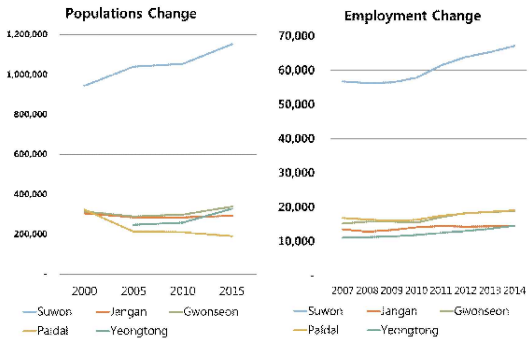

Fig 2. Change of population and employment
(Source: Gyeonggi-do traffic DB)

노면전차가 통과하거나 접하고 있는 행정동은 8개(정자2동, 영화동, 송죽동, 조원1동, 조원2동, 매교동, 매산동, 행궁동)이다(그림 3 참조). 현재 175개 버스 노선이 해당 행정동을 통과하고 있다(출처: 2013년도 대중교통 GIS DB 참조).

노면전차가 통과하거나 접하고 있는 8개 행정동의 평균 인구수는 19,329명이고, 일자리 수는 1,746개이다. 정자2동과 조원1동의 인구수는 각 3만 명 이상으로 다른 행정동에 비해 많은 인구를 차지하고 있으며, 매산동과 행궁동에는 다른 행정동에 비해 많은 2,500개 이상의 일자리가 위치해있다(그림 5 참조).

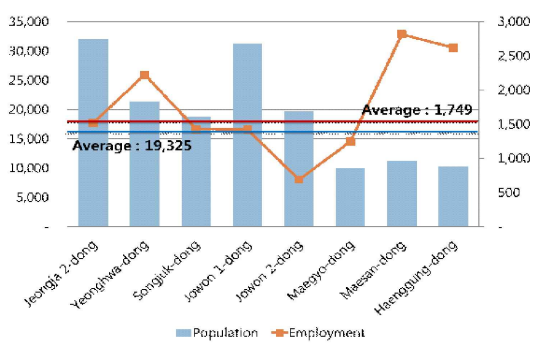

Fig 5. Population and employment in tram area

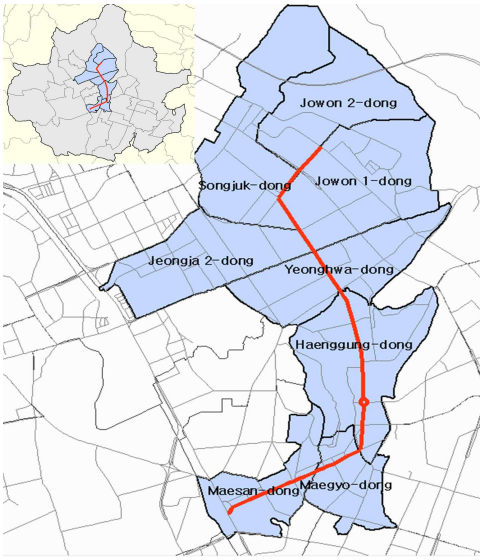

Fig 3. Tram route plan

(Source: Park, 2013)

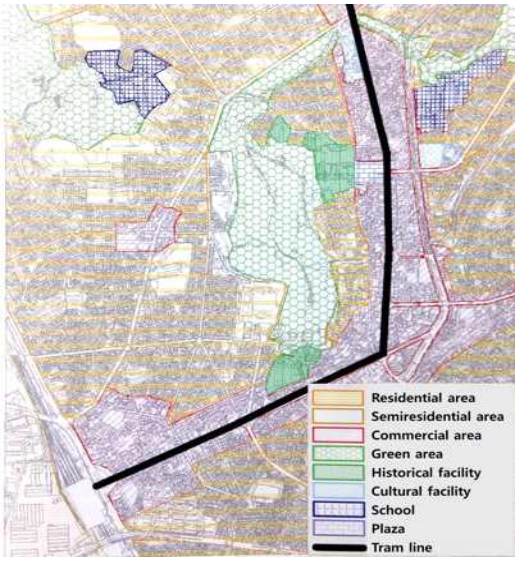

Fig 4. Transit mall plan

(Source: SRI, 2014)

IV. 정책시나리오와 수도권모델의 적용

1. 교통모델의 모델 적합성 검증

1) 교통모델 적합성 검증 개요

수도권모델 선행연구(이승일·이창효, 2015)에서는 토지이용모델에 대해서만 모델 적합성을 검증하였기 때문에 이 연구에서는 노면전차의 영향을 시뮬레이션하기 전에 교통모델을 포함한 수도권모델의 모델 적합성을 검증하였다.

수도권모델에서는 Omnitrans[2]를 교통모델로 사용하고 있는데, 이 모델의 모수는 멜버른의 통행특성을 기준으로 산정되었다. 따라서 모수를 국내의 통행특성에 맞추기 위해 2010년 가구통행실태조사 자료를 기준으로 교통수요 4단계 하위모델의 모수를 산정하였다. 모수 산출 과정은 4단계 과정 중

Table 1. Classification of trip purposes and travel types

Travel type		Trip Purpose		Travel type		Trip Purpose	
Passenger	Home based trip	**HBW**	**Home Based Work**	Passenger	Non home based trip	**WBT**	**Work Based Trip**
		HWW	Home based Work – White collar			WBW	Work Based Work
		HWB	Home based Work – Blue collar			WBS	Work Based Shopping
		HBE	**Home Based Education**			WBO	Work Based Other
		HPR	Home based education – PRimary			SBS	Shopping Based Shopping
		HSE	Home based education – SEcondary			SBO	Shopping Based Other
		HTE	Home based education – TErtiary			ONHB	Other Non-Home Based
		HBS	Home Based Shopping				
		HBR	Home Based Recreation	Freight		LTTRK	LighT TRucK
		HBO	Home Based Other			HVTRK	HeaVy TRucK

세 번째 단계(수단선택)까지 수행하였고, 네 번째 통행배정 과정에서는 수도권 내 실측지점의 데이터를 이용하여 모델 예측량과 실제 교통량을 비교하며 수행하였다.

Omnitrans는 교통수요예측 과정을 수행할 때, 모든 통행을 통행목적별로 분류하고, 통행목적은 다시 여객통행(가정기반과 비가정기반), 여행자통행, 인구유입시설통행, 화물통행으로 구분한다. 수도권 모델에서는 통행량 중 가장 많은 비중을 차지하고 있는 여객통행량과 화물통행량(트레일러 제외)을 대상으로 모수산출 과정을 수행하였다(표 1 참조).

2) 통행발생모델의 검증(1단계)

목적별 통행발생은 유출(Production)과 유입(Attraction)으로 구분하여 각 목적별 유출(P)·유입(A)과 관련된 함수의 모수를 산출하였다. 통행목적별 유출량과 유입량을 산출하는 모델은 교통모델에서 보편적으로 사용하고 있는 다항회귀분석을 적용하였다. 회귀분석에서 사용한 독립변수는 통행목적에 따라 상이한데 이 연구에서 사용한 독립변수는 표 2와 같다.

가정기반 통행발생모델은 가구통행실태조사의 비가공데이터를 이용하였다. 각 가구 특성자료를 이용하여 가구의 속성데이터를 구축하였고, 통행데이터를 이용하여 가구별 목적통행 횟수를 추출하였다. 가정기반 통행발생모델은 가구통행실태조사의 PA 기반 통행데이터를 이용하여 교통 존 별 유출·유입 목적통행량을 구축하였고, 인구센서스 자료를 활용하여 사회경제적 특성자료를 추출하였다. 이와 같이 추출한 데이터를 이용하여 가정기반 통행발생모델의 모수를 산정하였다.

가정기반 통행유출과 유입모델을 산출하는데 사용한 기초데이터가 서로 다르기 때문에 총 통행유출량과 유입량은 그만큼 차이가 발생하였다. 따라서 통행목적별로 가정기반 통행유출량과 유입량을 비교하고, 이를 동일하게 만드는 변수조정 작업을 수

Table 2. Production and attraction factors for trip purposes

<table>
<tr><th colspan="3">Trip Purposes</th><th>Production Factors</th><th>Attraction Factors</th></tr>
<tr><td rowspan="15">Passenger</td><td rowspan="8">Home based</td><td>HWW</td><td rowspan="8">Household characteristics
· household of white color worker
· household of blue color worker
· household dependents (0-17 old)
· household dependents (18-64 old)
· household dependents (65- old)
· number of vehicle for household</td><td rowspan="8">Zonal characteristics
· number of household
· number of student accepted (primary/secondary/tertiary)
· number of employee accepted (white/blue) or (office/retail/service/research/health/manufacturing/other)</td></tr>
<tr><td>HWB</td></tr>
<tr><td>HPR</td></tr>
<tr><td>HSE</td></tr>
<tr><td>HTE</td></tr>
<tr><td>HBS</td></tr>
<tr><td>HBR</td></tr>
<tr><td>HBO</td></tr>
<tr><td rowspan="7">Non home based</td><td>WBW</td><td colspan="2" rowspan="7">Zonal characteristics
· number of household
· number of student accepted (primary/secondary/tertiary) except work based trip
· number of employee accepted (office/retail/service/research/health/manufacturing/other)</td></tr>
<tr><td>WBS</td></tr>
<tr><td>WBO</td></tr>
<tr><td>SBS</td></tr>
<tr><td>SBO</td></tr>
<tr><td>ONHB</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Freight</td><td>LTTRK</td><td colspan="2" rowspan="2">Zone characteristics
· number of household
· number of accepted employee (office/retail/service/research/health/manufacturing/other)</td></tr>
<tr><td>HVTRK</td></tr>
</table>

Table 3. Parameters for home-based-trip generation model

Classification			Home based trip							
			HWW	HWB	HPR	HSE	HTE	HBS	HBR	HBO
Production	R^2		0.870	0.733	0.506	0.410	0.307	0.125	0.139	0.266
	Household of white collar worker	1	1.622	-0.074	-	-	-	-	-	-
		2	3.160	-0.079	-	-	-	-	-	-
		3+	4.904	-0.048	-	-	-	-	-	-
	Household of blue collar worker	1	-0.043	1.377	-	-	-	-	-	-
		2	-0.050	2.627	-	-	-	-	-	-
		3+	-0.051	3.858	-	-	-	-	-	-
	Household dependents (0-17 old)	1	0.033	0.082	0.657	1.341	-0.084	0.028	-0.037	0.028
		2	0.051	0.105	2.358	1.459	-0.123	0.074	0.041	0.186
		3+	0.023	0.107	3.396	1.847	-0.128	0.075	-	0.350
	Household dependents (18-64 old)	1	-	0.015	-0.013	0.087	0.137	0.235	0.260	0.438
		2	-0.019	0.041	-0.149	1.025	0.652	0.256	0.372	0.645
		3+	-	0.044	-0.034	1.148	1.411	0.319	0.417	0.811
	Household dependents (65- old)	1	-0.030	-0.076	-	0.030	-0.011	0.171	0.310	0.565
		2+	-	-	-	0.057	-	0.334	0.705	1.039
	Number of vehicle	1	0.045	0.032	0.046	-0.025	0.028	0.070	0.106	0.159
		2	0.057	0.015	0.054	0.105	0.042	0.059	0.176	0.307
		3+	0.039	-0.025	-	-	0.049	0.078	0.185	0.380
Attraction	R^2		0.989	0.974	0.970	0.979	0.966	0.916	0.992	0.992
	Households		0.836	0.374	0.387	0.320	0.157	0.285	0.247	0.458
	Stu_pri (primary student)		-	-	1.200	-	-	-	-	-
	Stu_sec (secondary student)		-	-	-	1.645	-	-	-	-
	Stu_col (college student)		-	-	-	-	0.021	-	-	-
	Emp_white (employee white collar)		1.363	-	-	-	-	-	-	-
	Emp_blue (employee blue collar)		-	1.064	-	-	-	-	-	-
	Emp_office (office worker)		-	-	-	-	-	-	0.057	0.106
	Emp_retail (retail worker)		-	-	-	-	-	0.378	-	-
	Emp_service (service sector worker)		-	-	-	-	-	-	1.967	3.654
	Emp_research (research sector worker)		-	-	-	-	-	-	-	-
	Emp_health (health sector worker)		-	-	-	-	-	-	1.734	3.219
	Emp_manufacturing (manufacturing worker)		-	-	-	-	-	-0.106	-0.051	-0.095
	Emp_others (employee others)		-	-	-	-	-	-	-	-

Table 4. Parameters for non-home-based-trip generation model

DIVISION		Non Home Based Trip						Truck Trip	
		WBW	WBS	WBO	SBS	SBO	ONHB	LTTRK	HVTRK
Product	R^2	0.989	0.954	0.989	0.925	0.989	0.986	0.934	0.656
	Households	-0.109	-	0.013	-	0.008	0.058	0.029	-
	Stu_pri	-	-	-	-	-	-	-	-
	Stu_sec	-	-	-	-	-	-	-	-
	Stu_col	0.101	-	0.019	-	0.011	0.122	-	-
	Emp_white	-0.320	-	-	-0.027	-	-	-	-
	Emp_blue	-	-	-	-	-	-	-	-
	Emp_office	-	-	-	-	-	-	-	-
	Emp_retail	2.601	0.042	0.103	0.077	0.062	0.445	0.154	-
	Emp_service	-	-	0.647	-	0.388	5.279	-	0.730
	Emp_research	-	0.195	0.222	0.129	0.133	0.942	-	-
	Emp_health	-	0.162	-	-	-	-	-	-
	Emp_manufacturing	0.373	-0.013	-	-	-	-	0.267	0.092
	Emp_others	-	-	-	-	-	-	-	-
Attract	R^2	0.989	0.877	0.979	0.925	0.979	0.986	0.934	0.656
	Households	-0.109	-	-	-	-	0.058	0.029	-
	Stu_pri	-	-	-	-	-	-	-	-
	Stu_sec	-	-	0.082	-	0.049	-	-	-
	Stu_col	0.101	-	0.034	-	0.020	0.122	-	-
	Emp_white	-0.320	-	-	-0.027	-	-	-	-
	Emp_blue	-	-	-	-	-	-	-	-
	Emp_office	-	-0.044	-	-	-	-	-	-
	Emp_retail	2.601	0.180	0.077	0.077	0.045	0.445	0.154	-
	Emp_service	-	-	1.523	-	0.914	5.279	-	0.730
	Emp_research	-	-	-	0.129	-	0.942	-	-
	Emp_health	-	-	-	-	-	-	-	-
	Emp_manufacturing	0.373	-0.025	-	-	-	-	0.267	0.092
	Emp_others	-	-	-	-	-	-	-	-

행하였다. 가정기반 통행유출과 유입모델 변수의 모수는 표 3과 같이 산출되었다.

비 가정기반 여객통행과 화물통행의 유출과 유입모델은 각각 가구통행실태조사의 PA기반 통행데이터와 톤급별 화물차 통행량 데이터를 활용하여 교통 존 별 유출·유입목적통행량을 구축하였고, 인구센서스 자료를 이용하여 사회경제적 특성자료를 도출하였다. 이와 같이 추출한 데이터를 이용하여 비가정기반 여객통행과 화물차의 통행유출과 유입모델의 모수를 산출하였다(표 4 참조).

3) 통행분포모델의 검증(2단계)

Omnitrans의 통행분포모델은 통행발생모델과 같이 모든 통행을 목적별로 구분하여 추정한다. 통행분포모델은 통행목적을 13개(HBW, HBE, HBS, HBR, HBO, WBW, WBS, WBO, SBS, SBO, ONHB,

LTTRK, HVTRK; 표 1과 5 참조)로 구분하여 여객통행과 화물통행을 분석하였다. 통행분포모델은 통행발생모델과 달리 통행유출과 유입의 구분 없이 분석하였다.

Omnitrans의 통행분포모델은 중력모델을 따르며, 다음 식으로 나타낼 수 있다. 중력모델에서 목적지의 통행을 유입하는 활동의 기회(A_d)는 가구의 수, 전일제 고용자 수(화이트칼라, 블루칼라)[3], 직군별 일자리 수, 수용 학생 수(초/중고/대학교) 자료를 활용하였다. 기종착지 간의 통행비용은 통행목적, 가구별 자동차 보유대수, 자동차 통행비용 등을 고려하여 산정하였다. 통행분포모델의 정산은 모수(α, β)의 반복적인 수정과 통행분포패턴의 결과를 확인하며 수행하였다.

$$P_d = \frac{F_d}{\sum_k F_k} \quad \text{------(1)}$$

where P_d : the probability of choosing destination d

F_d : the "force of attraction" to destination d

$$F_d = \frac{A_d}{C_{od}^{\alpha} \times e^{\beta C_{od} + U_d}} \quad \text{------(2)}$$

where A_d : the attractiveness of destination d in terms of the opportunities

C_{od} : the cost of travel from origin o to destination d including travel time and other costs

U_d : destination specific constant which increases or decreases the likelihood of travel to that destination

α and β : calibration parameters, which control the rate at which attraction decreases as the cost of travel C_{od} increases

통행분포는 통행기점을 기준으로 2,000m 단위로 통행량을 누적하여 비교하였다. 통행분포모델의 정산 이전과 이후를 비교한 결과는 그림 6에서 확인할 수 있다. 정산 후에는 통행목적별 거리에 따른 통행량 데이터를 이용하여 Paired t-test를 수행하여 모델의 정합성을 검증하였다(표 5 참조).

4) 수단선택모델의 검증(3단계)

Omnitrans의 수단선택모델은 앞에서와 같이 모든 통행을 목적별로 구분하여 모수를 추정한다. 수단선택모델은 화물차로 운송하는 화물통행을 제외한 여객통행 7개(HBW, HBE, HBS, HBR, HBO, WBT, ONHB; 표 1과 6 참조)로 구분하여 분석하였다. Omnitrans의 수단선택모델은 네스티드 로짓모델을 기반으로 삼고 있는데, 선택가능한 수단으로 국내에서 가용한 자료를 고려하여 5개(보행, 자전거, 자가운전, 차량동승, 대중교통)로 구성하였다.

수단선택 로짓모델은 수단별 효용값에 의하여 수단선택이 결정되며, 수단별로 효용요인이 상이하다. 보행과 자전거의 효용요인은 통행시간이고, 자가운

Table 5. Paired t-test of trip distribution for each trip purpose

Purposes	HBW	HBE	HBS	HBR	HBO	WBW	WBS	WBO	SBS	SBO	ONHB	LTTRK	HVTRK
t-test	0.985	0.996	0.99	0.995	0.987	0.976	0.984	0.988	0.989	0.993	0.992	0.922	0.917
Sig	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

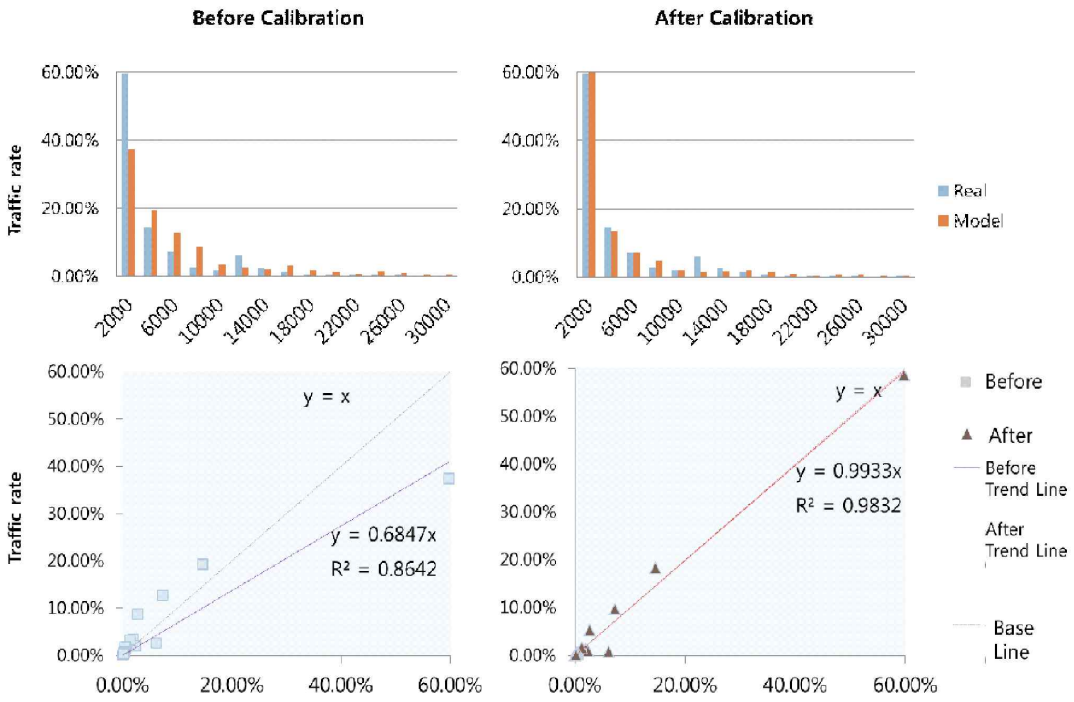

Fig 6. Comparison of trip distribution model before and after calibration

전의 경우 운행시간, 연료비, 통행료 등이 포함되며, 대중교통의 경우 접근시간, 대기시간, 운행시간, 요금 등을 포함한다. 수단선택모델의 정산은 수단별 효용요인의 모수를 반복적으로 수정하는 것과 수단선택 비율결과를 확인하는 과정으로 수행되었다.

앞서 제시한 5개의 수단에 대해 수단선택의 기준이 마련되었다. 수단선택모델을 정산하기 전과 후를 비교하면 그림 7과 같다. 정산 후에는 통행목적별 수단선택 통행량 데이터를 이용하여 paired t-test를 수행하여 모델의 정합성을 검증하였다(표 6 참조).

5) 통행배정모델의 검증(4단계)

통행배정모델의 정산과정은 지금까지의 3단계의 하위형의 변수를 산정한 후 도출되는 모델의 결과물과 실제 측정한 통행량을 비교하면서 수행된다. 통행배정모델의 정산과정은 앞의 3단계의 모델의 변수를 산정한 후에 산출되는 통행량과 실제 측정된 통행량을 비교하여 수행된다.

Table 6. Paired t-test of modal split for each trip purpose

purpose	HBW	HBE	HBS	HBR	HBO	WBT	ONHB
t-test	0.999	0.998	0.998	0.993	0.988	0,999	0.993
Sig	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

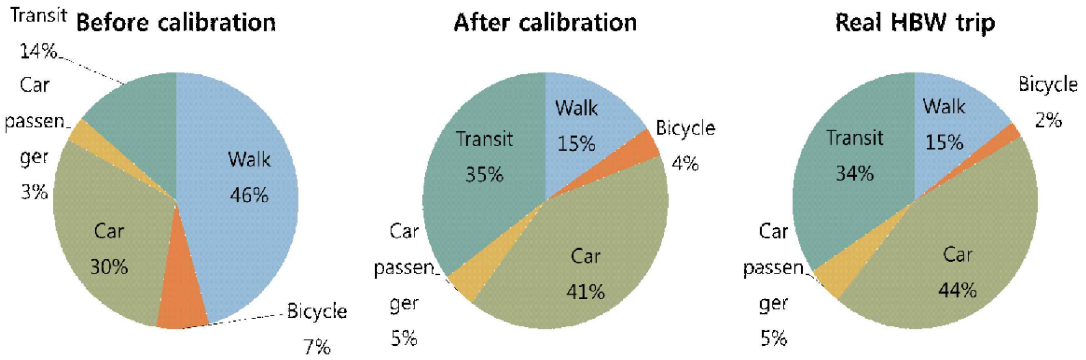

Fig 7. Comparison of modal split model before and after calibration

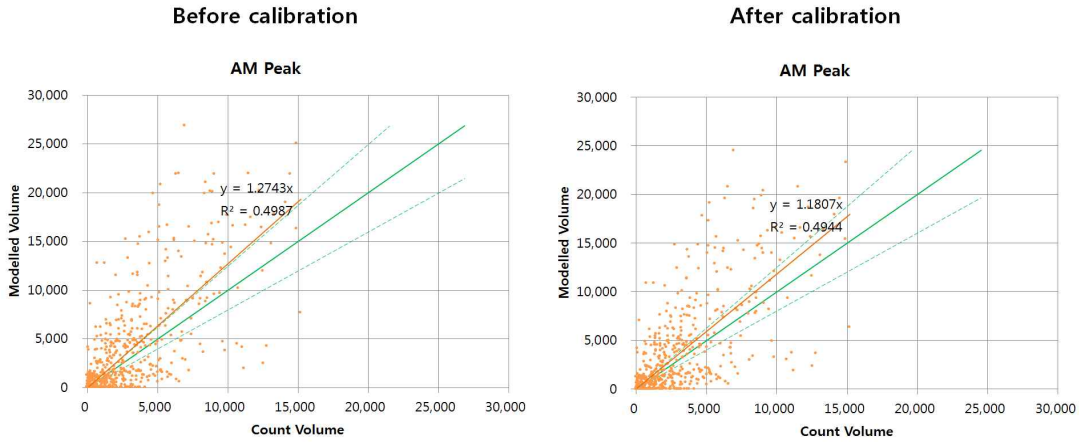

Fig 8. Comparison of assignment model before and after calibration

통행배정모델의 변수 산정과정은 통행목적별로 발생되는 시간대를 설정하는 시간배정 모수를 변경하여 수행하였다. 시간배정 모수의 변경은 오전, 오후 첨두시간과 비첨두시간대의 통행배정 비율을 반복적인 수정을 통해 시간대별로 통행량 추세선이 실제 통행량[4] 대비 ±20% 이내의 범위에 들도록 조정하였다(그림 8 참조).

2. 수원시 노면전차 정책시나리오

1) 정책시나리오의 설정

수원시에 노면전차를 대중교통전용지구와 함께 도입하면서 2030년까지 토지이용에 미치는 장기적 영향을 분석하기 위하여 이 연구에서는 세 가지의 정책시나리오 즉, 노면전차 시나리오를 도입하지 않는 현 추세 시나리오(이하 BAU시나리오), 수원역을 기점으로 장안구청까지 총 6km의 노면전차를 도입하는 대안시나리오①, 노면전차 계획과 더불어 노면전차가 통과하거나 접하는 행정동 8곳의 토지이용

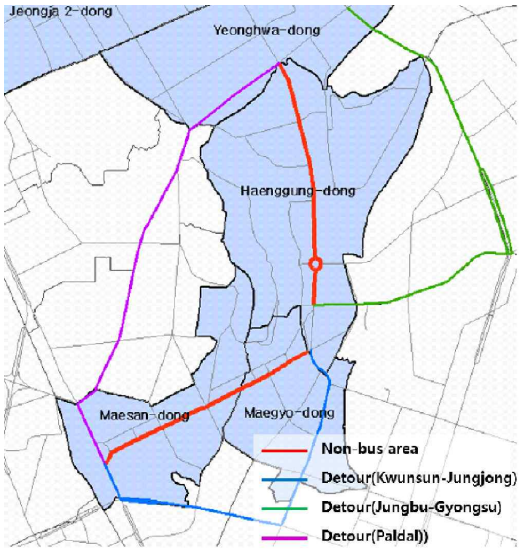

Fig 9. Bus non-permissive and bypass routes
(Source: SRI, 2014)

허용용적률을 상향한 대안시나리오②를 설정하였다.

BAU시나리오에서는 2030년까지 시행 확정된 각종 장래 사업[5]을 포함시켜 현실성을 제고하였고, 대안시나리오[6]에서는 노면전차뿐 아니라 이와 직·간접적으로 연관된 정책사업을 포함시킴으로써 노면전차의 도입으로 인한 실제적 영향을 분석할 수 있도록 하였다.

2) 대안시나리오①

수원시 노면전차는 수원역을 기점으로 장안구청까지 연결하는 총 6km의 무가선 트램으로 2017년 개통[7]을 목표로 삼고 있다(박래헌, 2013). 노면전차 운영과 관련하여 요금은 마을버스 요금과 동일한 1,100원으로 책정하였으며, 배차간격은 첨두시간 5분, 비첨두시간 15분으로 설정하였다.

또한, 수원시는 노면전차와 함께 대중교통전용지구를 계획하고 있다. 대중교통전용지구로 지정되는 구간은 수원역에서 장안문(매산로-정종로)까지 총 연장 3.4km에 달한다. 수원시에서 논의하였던 대중교통전용지구에서 버스운행과 관련한 많은 방안 중에서 이 연구는 수원시 교동사거리와 중동사거리 간의 버스운행을 허용하는 대안을 채택하였고, 이에 따라 총 39개 버스노선의 운행노선을 변경 또는 단축하였다.

3) 대안시나리오②

대안시나리오②는 대안시나리오①의 내용을 포함하여 노면전차가 통과하거나 연접하는 행정동에 대하여 허용용적률을 상향하는 토지이용정책을 추가로 포함시켰다. 노면전차에 직접 영향을 받는 행정동은 8개이다(그림 3 참조).

허용용적률 상향에 대한 일반적인 원칙은 없으나 기준년도의 각 행정동의 주거용도, 상업 및 업무용도의 현행 용적률을 기준으로, 주거용도에서는 20%, 상업 및 업무용도에서는 10%를 상향하는 것으로 정하였다. 나머지 31개 행정동의 용적률은 BAU시나리오와 동일하다.

3. 수도권모델의 적용

1) 교통모델의 적용방법

수도권을 대상으로 교통모델을 구동하려면 교통존 중심점, 도로, 수도권전철 등 형상정보와 수도권전철, 버스 운행정보 등 속성정보가 필요하다[8]. 기준년도의 도로 네트워크는 한국교통연구원에서 제공하는 2010년 교통주제도를 사용하였고, 장래 네트워크는 기준년도의 것에 2015년과 2020년 네트워크 속성자료를 형상화하여 구축하였다. 대중교통 운행 네트워크는 노선별로 통과 수도권전철역과 버스정류장을 순서대로 작성하고, 첫차와 막차시간, 시간대별 배차간격 정보를 추가하여 구축되었다.

대안시나리오①의 경우 2017년 이후 도로 네트워크에 노면전차 노선을 운행정보와 함께 입력하였

다. 또한, 대중교통전용지구 내 도로에서의 승용차 통행을 금지시켰다. 또한, 대중교통전용지구를 통과하는 버스노선의 운행정보를 수정하여 운행노선의 변경을 반영시켰다.

2) 토지이용모델의 적용방법

토지이용모델(DELTA)을 적용하기 위하여 모든 시나리오에 대해 연도별로 행정동의 장래 개발연면적을 용도별로 분류하여 입력하였다. 개발 자료에는 요구 공실량 확보 기준일(기존 거주자 이전), 연면적 소실 기준일(기존 건축물 소멸), 개발 완료일을 구분하여 입력하였다.

대안시나리오②에만 적용하는 허용용적률 상향정책을 반영시키기 위하여 토지이용모델의 '개발' 하위모델에서 상한용적률을 사전에 수정하였다. 개발 하위모델에서는 토지이용 시나리오에 허용용적률을 연도별로 토지이용용도를 구분하여 입력하도록 하고 있는데, 대안시나리오②에 대해, 2017년 기준으로 노면전차의 직접 영향권 8개 동의 주거용도에는 허용용적률을 2010년 기준 20%, 상업 및 업무용도에는 10%를 각각 상향하여 입력하였다.

V. 수도권모델의 적용 결과

1. 시나리오별 모델적용 결과

1) 교통 관련 모델적용 결과[9)]

노면전차의 설치와 대중교통전용지구의 지정으로 수원시와 노면전차의 직접 영향권에서의 승용차와 화물 통행량은 줄어드는 것으로 나타났다. 대안시나리오①에서는 수원시 전역의 승용차와 화물 통행량이 BAU시나리오 대비 약 3% 줄고, 이 효과는 장기적으로 이어짐을 확인할 수 있다(그림 10 참조). 노면전차 직접 영향권에서는 승용차와 화물 통행량이 약 19% 감소하는 것으로 나타나면서 감소효과가 더 극명하게 나타난다(그림 11 참조). 대안시나리오②의 경우, 수원시 전역과 노면전차 직접영향권에서의 승용차와 화물 통행량이 BAU시나리오에 비해 약3%와 약17% 감소한다(그림 10과 11 참조). 즉, 대안시나리오①의 승용차와 화물통행량의 감소효과가 더 큰 것으로 나타났다. 두 시나리오의 차이점이 허용용적률의 상향에 있기 때문에 노면전차의 설치와 대중교통전용지구의 지정은 승용차 통행량을 감소시키지만 허용용적률의 상향은 승용차 통행량을 증가시킴을 알 수 있다.

수원시와 노면전차 직접 영향권의 대중교통 통행량에 관한 모델적용 결과, BAU시나리오에서는 대중교통 통행량이 지속적으로 증가하는 반면, 두 대안시나리오에서는 노면전차의 설치와 대중교통전용지구가 지정되는 시점부터 약 4% 감소하는 것으로 나타났다(그림 12와 13 참조). 노면전차 설치와 대중교통전용지구 지정으로 인해 감소한 대중교통의 수단을 확인하기 위하여 버스와 노면전차 통행량과 수도권전철 통행량을 구분하여 분석하였다. 수단별로 구분하여 분석한 결과, 버스와 노면전차의 총 통행량은 더 증가하였으나(그림 14와 15 참조), 수도권전철의 통행량은 감소[10)]하는 것으로 나타났다(그림 16과 17 참조). 특히, 수도권전철 통행량의 감소가 버스와 노면전차의 증가된 통행량에 비해 더 커서 결과적으로 전체 대중교통 통행량의 감소로 이어졌다. 노면전차 직접 영향권의 허용용적률의 상향은 수원시 전체 대중교통 통행량에는 큰 영향을 미치지 않으나, 버스와 노면전차 총 통행량을 5% 정도 증가시키는 효과가 있다. 결과적으로 노면전차의 설치와 대중교통전용지구 지정으로 지하철 통행량이 감소하여 전체 대중교통 통행량은 다소 감소하나, 버스와 노면전차의 통행량은 BAU시나리오 대비 증가하는 것으로 이해할 수 있다.

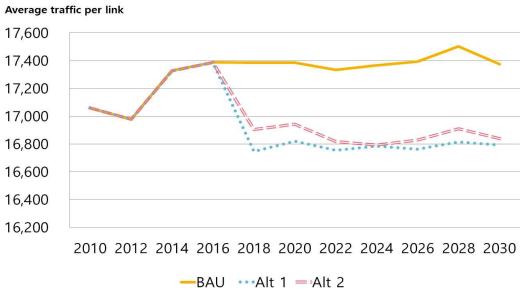

Fig 10. Comparison of car/truck traffic in Suwon

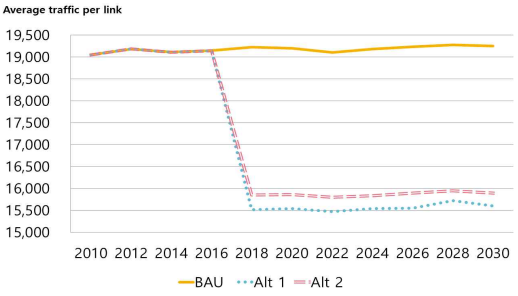

Fig 11. Comparison of car/truck traffic in tram area

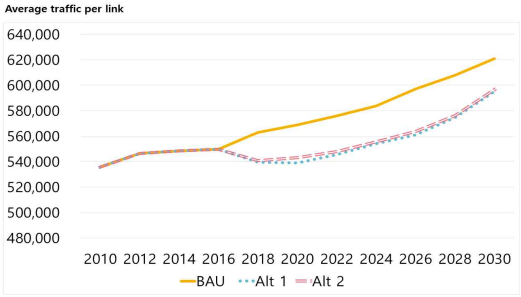

Fig 12. Comparison of transit traffic in Suwon

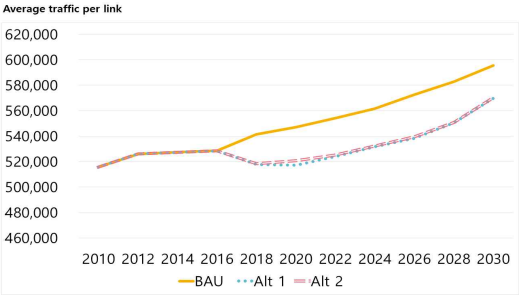

Fig 13. Comparison of transit traffic in tram area

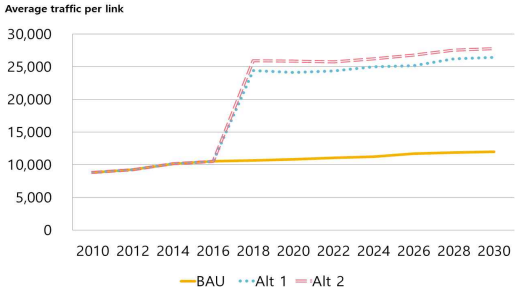

Fig 14. Comparison of bus/tram traffic in Suwon

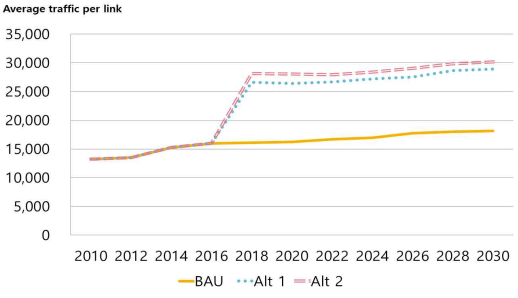

Fig 15. Comparison of bus/tram traffic in tram area

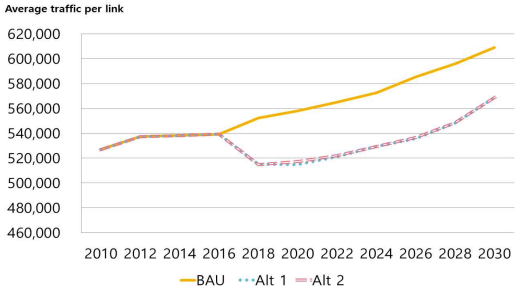

Fig 16. Comparison of subway traffic in Suwon

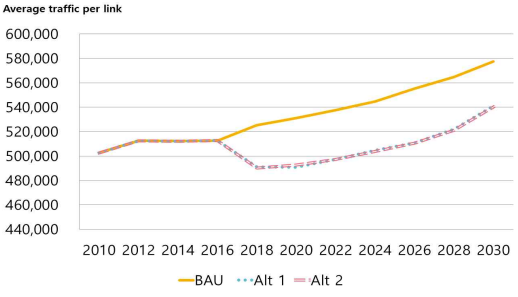

Fig 17. Comparison of subway traffic in tram area

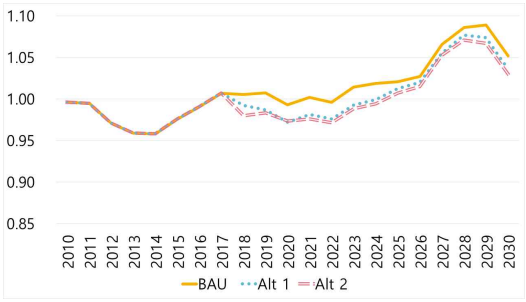

Fig 18. Comparison of housing rent in Suwon

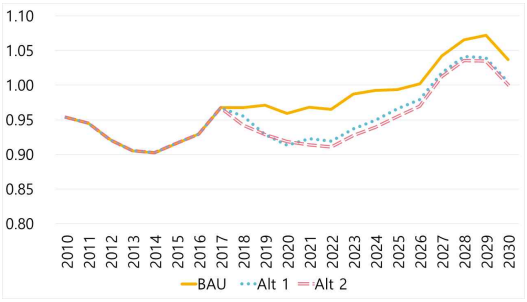

Fig 19. Comparison of housing rent in tram area

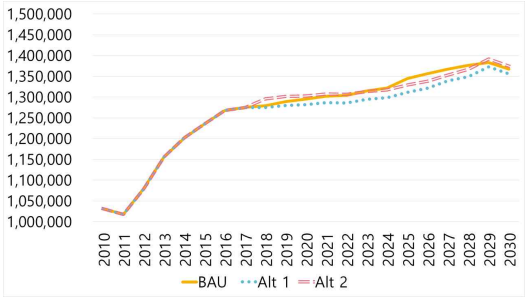

Fig 20. Comparison of population in Suwon

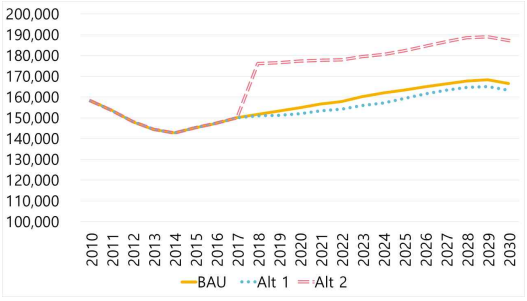

Fig 21. Comparison of population in tram area

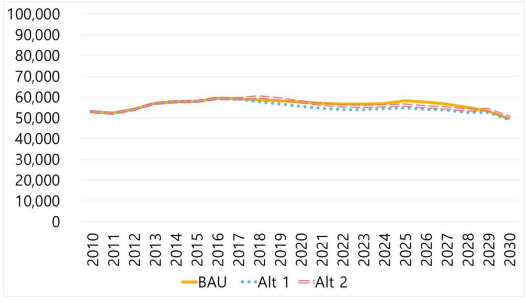

Fig 22. Comparison of HH under 35 in Suwon

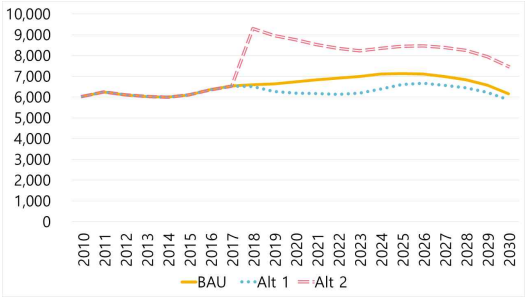

Fig 23. Comparison of HH under 35 in tram area

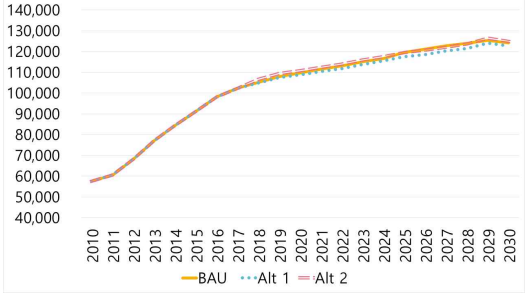

Fig 24. Comparison of HH (35-64) in Suwon

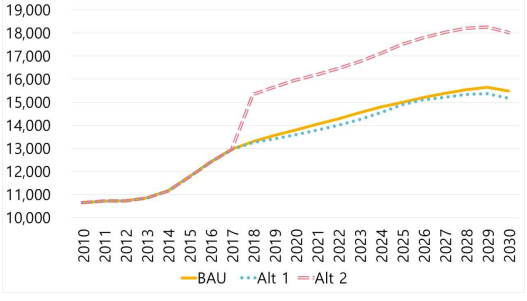

Fig 25. Comparison of HH (35-64) in tram area

2) 토지이용 관련 모델적용 결과

BAU시나리오에 있어서 주거임대료[11]는 기 확정된 개발사업(세류동 재개발 사업 등 수원 내 5개 개발사업)과 인근 지역의 개발사업 등으로 인하여 증감을 반복한다. 대안시나리오①의 분석결과에 따르면, 노면전차 설치와 대중교통전용지구의 지정은 수원시와 노면전차 직접 영향권의 주거임대료와 인구의 감소를 야기할 수 있다. 대안시나리오②의 분석결과, 노면전차 직접 영향권의 허용용적률의 증가는 대안시나리오①에 비해 주거임대료의 경우 더 큰 하락을 초래하고, 인구의 경우 수원시 전역에서는 BAU시나리오 대비 소폭 증가, 노면전차 직접 영향권에서는 급격한 인구증가를 초래한다.

대안시나리오의 적용으로 인해 발생한 BAU시나리오와의 인구수 차이를 가구주의 나이로 가구를 구분하여 분석하였다.[12] 수원시 전역의 분석결과에서는 시나리오별로 가구 주 연령대에 따른 차이를 확인하기 어려우나(그림 22, 24, 26 참조), 노면전차 직접 영향권에서는 시나리오별로 차이가 분명하다(그림 23, 25, 27 참조). 대안시나리오①에서는 35세미만과 35세이상 64세미만 가구주 가구의 감소가 발생하지만, 65세이상 가구주 가구는 정책시행 초기에는 감소하나, 2021년부터는 BAU시나리오 대비 가구 수가 증가하는 것으로 나타났다. 대안시나리오②에서는 허용용적률의 상향으로 모든 가구에서 가구 수가 증가하지만 가구주 연령대에 따라 장기적 변화양상은 다르게 나타났다. 35세미만의 가구 수의 경우 목표연도로 갈수록 BAU시나리오와 대안시나리오 간의 가구 수 차이가 점차 감소하고, 35세이상 64세미만의 가구 수는 BAU시나리오와 대안시나리오 간의 차이가 유지되는 반면, 65세이상의 가구 수는 그 차이가 점차 증가하는 것으로 나타났다.

2. 시나리오의 해석과 시사점

시나리오별 모델적용의 결과는 교통과 토지이용 요인이 서로 복합적으로 영향을 주고받음으로써 산출된 장기간의 반복적 결과이다[13]. 노면전차의 건설과 대중교통전용지구의 지정은 대중교통과 보행자 통행조건을 개선하지만 동시에 승용차의 통행을 억제하는 효과가 있다. 이로 인해 수원시와 노면전차 직접 영향권 내 승용차 통행량이 큰 폭으로 감소하고, 버스와 노면전차 통행량은 증가한다. 그러나 대중교통전용지구의 지정에 따른 버스노선의 우회로 인하여 수원시 전역에서 수원역까지의 접근성은 감소하여 수도권전철의 통행량을 줄이는 결과를 초래한다. 특히, 수도권전철의 통행량은 버스와 노면전

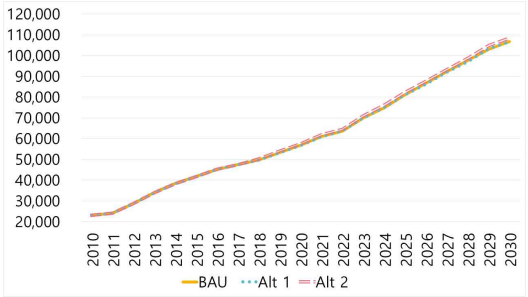

Fig 26. Comparison of HH over 64 in Suwon

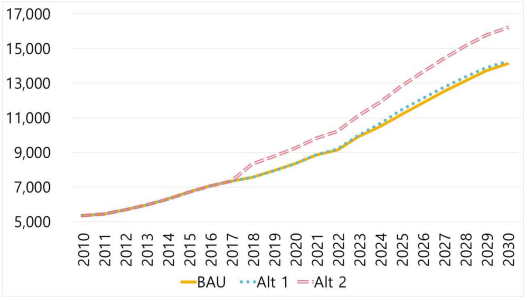

Fig 27. Comparison of HH over 64 in tram area

차에서 증가한 통행량보다 더 큰 폭으로 감소하므로 수원시 전체 대중교통 통행량의 감소를 초래한다.

노면전차의 신설과 대중교통전용지구의 지정은 단순히 수원시 승용차와 대중교통 통행량뿐 아니라 수원시 주거임대료와 인구 더 나아가 가구유형별 입지에도 영향을 미친다. 대안시나리오의 분석결과, 노면전차 건설과 대중교통전용지구의 지정은 수원시 주거임대료를 감소시키는 요인으로 작용한다. 이는 노면전차와 대중교통전용지구로 인해 발생하는 승용차 통행서비스의 저하로 인한 결과이다.

수원역에서부터 장안문까지 승용차와 버스의 통행을 전면 또는 일부 통제함으로써 해당 지역과 인근 도로에서의 통행에도 부정적인 영향을 미친다. 이는 결과적으로 입지매력도의 저하로 나타나서, 결국 주거임대료의 감소로 귀결될 것임을 모델을 통해 예측하였다. 노면전차의 직접 영향권에서 허용용적률의 상향은 주거임대료를 더 크게 하락시키는 것으로 나타났다. 허용용적률의 증가는 보다 많은 공급을 야기하여 결국 임대료의 하락으로 이어지기 때문이다.

대안시나리오의 정책은 인구수에도 영향을 미치는 것으로 나타났다. 임대료의 분석결과에서 살펴본 바와 같이 노면전차의 설치와 대중교통전용지구의 지정으로 수원시 일대의 승용차 통행에 부정적인 영향을 미쳐서 수원시 행정구역 외부에 위치한 주거지역으로 인구를 유출시킨다. 반면, 허용용적률의 상향은 주택공급을 늘리고, 주거 임대료를 하락시킴으로써 시기별로 차이가 있으나, 목표연도에 이르러서는 BAU시나리오에서보다 더 많은 인구가 수원시로 유입된 것으로 해석할 수 있다. 노면전차 직접 영향권의 경우 허용용적률의 상향으로 초기에 인구가 빠르게 늘어난 것으로 보인다.

노면전차 건설과 대중교통전용지구 도입으로 인해 초래된 승용차 통행의 불편으로 인하여 수원시 뿐 아니라 수도권에 위치한 직장으로 통근을 해야 하는 가구주 연령 35세미만 가구와 35세이상 64세 미만의 가구(그림 1 참조)의 유출을 초래하였고, 이는 주거임대료의 하락으로 이어졌다. 그러나 65세 이상 가구주 가구의 경우 BAU시나리오에 비하여 오히려 증가하였는데, 이는 수도권에서 경제사회의 활동이 왕성한 가구주의 가구는 유출하는 반면, 상대적으로 활동이 적은 고령 가구주의 가구는 유입한 것으로 해석할 수 있다. 이러한 현상은 노면전차 직접 영향권에서 더욱 확연하게 나타난다. 따라서 노면전차가 건설되고 대중교통전용지구가 지정되면 청년과 장년층의 가구는 유출하고 노년층 가구는 유입할 것으로 예상된다.

허용용적률의 영향 역시 가구주의 연령에 따른 가구유형별로 차이가 있을 것으로 보인다. 허용용적률이 증가하면 정책초기에는 청년과 장년층 가구는 노면전차 직접 영향권 안으로 급격하게 유입하지만, 승용차 통행의 불편에 따라 직장으로의 접근성이 낮아지면서 승용차를 이용하는 청장년층 가구 수는 BAU시나리오와 비슷하게 줄어들 것으로 보인다. 반면, 노령층 가구는 정책 초기에서부터 목표연도까지 BAU시나리오 대비 가구 수의 차이가 점차 커지는데, 노령층 가구는 수원시 경계를 넘는 경제사회 활동이 많지 않기 때문으로 여겨진다.

VI. 결론

지속가능한 교통수단으로서 노면전차에 대한 관심이 높아지면서, 수원시에서는 노면전차와 대중교통전용지구를 도입하려는 정책을 시행할 예정이다. 그러나 노면전차는 도로 위에서 운행되는 속성 때문에 승용차뿐만 아니라 버스와도 대체 관계를 가지기 때문에 도시교통시스템에 커다란 영향을 미칠 것으로 예상된다. 이를 통해 장기적으로는 토지이용

에도 큰 변화를 초래할 것으로 예상된다. 이에 이 연구에서는 기 개발된 수도권모델을 이용하여 교통모델의 모델 적합성을 검증한 후에 노면전차가 다른 통행수단에 미치는 영향을 시뮬레이션 하였고, 이를 이용하여 노면전차를 도입하지 않은 BAU시나리오와 도입한 대안시나리오를 설정하여 2030년까지의 변화를 시뮬레이션 하여 주거와 인구이동에 미치는 효과를 장기적으로 분석하였다.

분석결과에 따르면 노면전차의 건설과 대중교통 전용지구의 지정은 대중교통과 보행자 통행조건을 개선하지만 승용차 통행을 억제하게 된다. 그러나 수원역으로 향하는 버스노선을 우회시킴으로써 수원역으로의 접근성을 감소시켜서 수도권전철의 통행량을 줄이는 결과를 초래할 것으로 본다. 이를 통해 수원시 전체 대중교통 통행량을 감소시킨다. 또한, 이 정책은 승용차와 대중교통 통행량뿐 아니라 주거임대료와 인구 나아가 가구유형별 입지에도 영향을 미치는데, 대안시나리오의 분석결과, 승용차와 버스의 통행을 통제함으로써 해당 지역과 인근 도로에서의 통행에 부정적 영향 미쳐 입지매력도를 저하시키고, 결국 주거임대료도 감소시킴을 예측하였다. 특히, 수원시 및 수도권에 위치한 직장으로 통근하는 가구주 연령대의 가구를 중심으로 유출을 초래하였고, 65세이상 가구주 가구의 경우는 오히려 증가하는 결과를 보였다. 허용용적률을 상향시킨 경우에도 수원시 경계를 넘는 경제사회활동이 많지 않은 노령층 가구의 증가 추세를 확인하였다.

이와 같은 시뮬레이션 결과를 바탕으로 수원시는 노면전차의 효과를 제고하기 위하여 기존 버스노선을 합리적으로 개편하고, 일부 구간에만 노면전차를 도입하는데 그치지 말고 수원시 전역뿐 아니라 수도권 주변지역과의 접근성을 제고할 수 있게 하는 것이 효과적일 것으로 보인다. 주거입지와 관련해서는 활동자의 광역적 활동분포를 고려하여 새로운 교통여건에 부합하는 주택정책을 마련해야 할 것으로 보인다.

이 연구에서는 제한된 시나리오에 대해 수도권모델을 적용하였으나 향후 지속적인 연구를 통하여 다양한 상황을 설정하여 정책효과를 면밀하게 살펴야 할 것이다. 나아가 이 연구에서는 노면전차의 운행에 따른 실제 자료가 없어서 교통모델의 통행배정모델에만 모델 예측량과 실제 교통량을 비교하여 모델 적합성을 검증하였다. 이로 인해 '도로의 혼잡으로 인해 노면전차로 전환하는 수단선택의 효과'를 제대로 반영하지 못하였다. 이와 같은 문제는 앞으로 노면전차가 운행되면서 지속적인 정책모니터링과 효과의 파악을 통해 개선될 것이다.

주1. 도시철도의 건설비용은 도시 여건에 따라 다르나 일반적으로 1km당 건설비용의 차이는 노면전차를 1(약 200억원)로 보면 경전철은 3(500~600억 원), 지하철은 6(약 1300억 원)으로 추산된다.

주2. Omnitrans는 네델란드 Omnitrans-international B.V.이 개발한 다중교통수단에 대한 모델링이 가능한 교통프로그램패키지인데 DELTA와 연계경험 때문에 이 연구에서 사용되었다.

주3. 전일제 고용자를 화이트칼라와 블루칼라로 구분하는 것은 한국표준직업분류(통계청) 상 대분류를 기준으로 삼았다.

주4. 실제 통행량 데이터는 한국교통연구원에서 제공하는 2010년 screen line과 cordon line의 실측 데이터를 활용하였다. 이 데이터는 총 536개 지점에서 구축한 자료로서, 이 연구에서는 수도권 27개 시경계를 기준으로 54개의 실측 데이터로 종합하여 모델의 산출물과 실제 관측통행량을 비교하였다. 그러나 관측된 실제 통행량은 해당 지점의 미시적 교통여건을 반영한 것이므로 거시적 추정 통행량과는 차이가 있을 수 있어서 20%의 범위를 넘는 지점이 다수 발생하였다. 이는 향후 미시적 정산방법론의 개발을 통해 개선되어야 할 것이다.

주5. BAU시나리오는 수도권 대상 2010년에서 2030년까지 수도권에서 시행이 확정된 택지개발, 도시개발, 도시환경정비, 재개발, 재건축 등의 사업계획에 관한 자료(주11 참조)를 수집하여 구축하였다. 이에 따르면 서울시에는 17건의 택지개발사업과 92건의 도시환경정비사업, 250건의 재개발사업, 111건의 재건축사업이 예정되어있고, 경기도에는 총 54건의 택지개발사업과 9건의 도시환경정비사업, 51건의 뉴타운사업, 171건의 재개발사업, 49건의 재건축사

업이 예정되었으며, 인천시에서는 총 6건의 택지개발사업과 16건의 도시환경정비사업, 4건의 주거환경정비사업, 77건의 재개발사업과 16건의 재건축사업이 예정되었다. BAU시나리오에는 지금까지 확정된 장래의 사업계획을 반영하여 구축하였다. 이를 위한 자료의 출처는 다음과 같다: 경기도교통정보센터, 경기도청, 국가대중교통정보센터, 국토교통부 부동산공시가격알리미, 다움부동산, 대한민국전자관보, 서울도시철도, 서울시설공단, 서울열린데이터광장, 인천광역시의회, 재개발·재건축 클린업 시스템, 코레일, 통계청, 한국교통연구원 국가교통DB, 한국노동연구원.

주6. 대안시나리오는 시나리오 적용 대상이 되는 지역을 선정하고, 해당지역의 주요 정책사항을 시나리오에 반영함으로써, 정책효과를 해당 지역뿐 아니라 주변 지역에 미치는 영향까지 장기적으로 분석할 수 있다는데 의의가 있다. 대안시나리오는 토지이용과 교통정책의 조합을 통해 적용방안을 결정한다. 이 연구에서 설정한 대안시나리오①에서는 노면전차와 대중교통전용지구의 지정을 반영하였고, 대안시나리오②에서는 노면전차 노선 주변의 토지이용의 변화를 수용하기 위해 허용용적률을 상향하는 정책을 추가하였는데, 이를 통해 수도권모델로 하여금 노선 주변 및 광역적 토지이용 변화를 시뮬레이션 할 것으로 기대하였다. 시나리오의 설정을 위하여 이 연구에서는 2014년 1월부터 2015년 9월까지 수원시정연구원(SRI)과 수차례 대면 및 온라인 협의를 수행하였다. 그럼에도 불구하고 향후 정책변경의 여지가 있으므로 반드시 이 연구에서 설정한 대안시나리오대로 정책이 시행된다고 볼 수는 없다.

주7. 수원시 노면전차는 이 연구를 완료하였을 때까지도 당초 계획한 바대로 2017년 개통을 목표로 삼았으나 여러 사정으로 2020년에 운행 예정이다. 따라서 2017년을 기점으로 삼은 시뮬레이션을 수정해야 하지만 이는 많은 시간과 노력이 필요하여 이 연구에 반영하지 못하였다.

주8. 수도권전철 노선과 운행 관련 자료는 코레일과 서울도시철도의 홈페이지에서 제공하는 노선별 운행자료를 이용하여 구축하였다. 버스노선과 운행 관련 자료는 국가대중교통정보센터의 홈페이지에서 제공하는 수도권 버스노선자료를 이용하였다.

주9. 이 연구에서 교통모델의 모델 적합성 검증 시와는 달리 시나리오별 교통모델적용 시에는 16개 통행목적(표 2 참조)을 모두 대상으로 삼았다.

주10. 대안시나리오의 시뮬레이션 결과 노면전차가 설치되고 대중교통전용지구가 지정되면 버스와 노면전차의 총 통행량은 BAU시나리오보다 더 증가하지만 수도권전철의 통행량은 감소하는 결과에 대하여, 저자는 일차적으로 서비스 공간범위가 넓은 버스를 이용하여 전철을 이용하는 경우 노면전차신설에 인한 버스노선의 우회 때문에 통행시간의 증가가 발생하여 서울 등으로의 장거리 통근자가 전철대신 자동차와 광역버스를 이용한데서 원인을 찾았다. 이와 함께 노면전차의 도입으로 인한 주거입지의 변화(주12 참조)를 고려하여 자동차 소유가구 중 버스-전철 이용 통근자가 노면전차로 인해 자동차 이용여건이 악화됨에 따라 도시외곽으로 이사하면서 전철대신 자동차 등 다른 교통수단을 이용하는 가구가 상당히 늘어난 것으로 나타나는데 이를 확인하려면 시뮬레이션 결과를 해당 가구를 중심으로 심층적으로 분석해야 한다. 그러나 이 논문에서는 장기적·종합적 효과분석을 제시하고자 하므로 생략하였다.

주11. 주거임대료는 공시지가 기반의 임대료 추정식을 따랐는데, 이는 한국노동패널의 전세가격에 전세가율 반영한 단위면적당 월 임대료 환산가를 종속변수(y_i)로 설정하였고, 읍면동별 지목 상 '대'인 토지의 공시지가 평균값(x_{1i})과 인구총조사 자료의 관리자, 전문가 및 관련 종사자 비율(x_{2i})을 독립변수로 하는 다음 다중회귀식과 같다: $y_i = -2.919 + 0.240x_{1i} + 2.527x_{2i}$
(자료: 한국노동연구원 한국노동패널 2010년 자료; 국토교통부 부동산공시가격알리미 표준지 공시지가 2010년 자료)

주12. 수도권모델의 토지이용모델인 DELTA에 속한 '주거입지' 하위모델에는 가구주의 소득과 나이, 직업유형 등을 고려한 주거입지선택을 시뮬레이션하는 기능이 포함되어있다(이승일·이창효, 2015). 이를 통해 가구주 연령대에 따른 장기적 주거입지 변화를 분석하였다.

주13. 2030년 장래를 예측하는 이 연구에서는 미래의 가구유형별 가구 수는 통계청에서 제공하는 장래가구추계 자료(출처: 통계청 장래가구추계 2010-2030)를 근거로 삼았고, 장래 산업유형별 일자리 수는 산업유형별 연평균 일자리 수 성장률(출처: 통계청 전국사업체총조사 1993-2010)에 근거하여 장래 연도별 산업유형별 일자리 수를 추정하였다.

인용문헌
References

1. 김은홍, 2013. 고령도시, 「서울연구원 미래서울 연구총서 11」, 서울: 한울아카데미.
Kim, E., 2013. Aged City, SDI Future Seoul Series 11, Seoul: Hanul books.

2. 남두희·임관수·이진선, 2010. "경량전철 개발에 따른 경제적 파급효과 분석 연구", 「한국철도학회논문집」, 13(1): 119-124.
Nam, D., Lim, K. and Lee, J., 2010. "The feasibility study of light rail transit

development", *Journal of The Korean Society for Rail Way*, 13(1): 119-124.

3. 박래헌, 2013. "수원시 교통정책 패러다임 변화와 노면전차 도입현황", 「철도저널」, 16(5): 16-19.
   Park, R.H., 2013. "Changes in paradigm of traffic policy in Suwon and introduction of tram", *Railway Journal*, 16(5): 16-19.
4. 박봉희, 2013.「건강도시, 서울연구원 미래서울연구총서 10」, 서울: 한울아카데미.
   Park, B., 2013. *Health City, SDI Future Seoul Series 11*, Seoul: Hanul books.
5. 박준환, 2015. "노면전차(트램)의 성공적 도입을 위한 입법·정책 과제", 「이슈와 논점」 제985호, 국회입법조사처.
   Park, J. H., 2015. "Legislation and policy tasks for successful introduction of tram", *Issues and Viewpoints*, No. 985, National Assembly Research Service.
6. 수원시정연구원, 2014.「대중교통전용지구 타당성 및 기본계획」, 경기.
   SRI, 2014. Transit mall validity and basic plan & Final report, Gyeonggi.
7. 엄진기·성명준·김현웅·이준, 2009a. "신교통 바이모달트램 개발에 따른 도입전략 연구", 한국철도학회 2009년 추계학술발표대회논문집, 제주도: 제주 해비치호텔.
   Eom, J.K., Sung, M.J., Kim, H. and Lee, J., 2009. "The strategies for introducing bimodal tram system", Paper presented at KSR 2009 Fall Symposium, Jeju-do: Haevichi hotel & resort Jeju.
8. 엄진기·성명준·김현웅·이준, 2009b. "신교통 바이모달트램의 도시규모별 도입타당성 분석",「한국철도학회논문집」,12(6): 1067-1075.
   Eom, J.K., Sung, M.J., Kim, H. and Lee, J., 2009. "The feasibility studies for introducing bimodal tram system based on urban scale", Journal of The Korean Society for Rail Way, 12(6): 1067-1075.
9. 이승일·이창효, 2015. "토지이용-교통 통합모델의 수도권 적용을 위한 모델 적합성 연구-DELTA의 입지 하위모델의 모수산출을 대상으로", 「국토계획」, 50(3): 39-54.
   Lee, S. and Yi, C., 2015. "Fitting a land use - transport model for its application to the Seoul Metropolitan Area-Calibrating the location sub-model of DELTA", J*ournal of Korea Planners Association*, 50(3): 39-54.
10. 이승일·이주일·고주연·이창효, 2011. "토지이용-교통 통합모델의 개발과 운영",「도시정보」356: 3-17.
    Lee, S., Lee, J.I., Go, J.Y. and Yi, C. 2011. "Development and Management of Land-use Transport Model," *Urban Information Service*, 356: 3-17.
11. 이준·박진경·엄진기·김현웅, 2009. "도시계획을 고려한 바이모달트램의 위상정립에 관한 연구", 한국철도학회 2009년 추계학술발표대회논문집, 제주도: 제주 해비치호텔.
    Lee, J., Park, J.K., Eom, J.K. and Kim, H., 2009. "The study on regarding the bimodal tram positioning considering urban planning", Paper presented at KSR 2009 Fall Symposium, Jeju-do: Haevichi hotel & resort Jeju.
12. 임금선, 2013.「보행도시, 서울연구원 미래서울 연구총서 7」, 서울: 한울아카데미.
    Yim, K., 2013. *Walking City, SDI Future Seoul Series 7*, Seoul: Hanul books.
13. 장성만, 2017.「수요자 중심의 도시계획을 위한 소득계층별 통행특성분석과 지역 접근도 산출」, 파주: 한국학술정보(KSI).
    Jang, S.M., 2017. Analysis of income-group travel pattern and calculation of regional accessibility for demand oriented urban planning, Paju: KSI.
14. Harris, B., 1994. "The Real Issues Concerning Lee's Requiem", *Journal of the American Planning Association*, 60(1): 31-34.
15. Hunt, J.D., Kriger, D.S. and Miller, J., 2005. "Current Operational Urban Land-use-Transport Modelling Frameworks: A Review," *Transport Reviews,* 25(3):

329-376.

16. Pagliara, F. and Wilson, C., 2010. The State-of- the-Art in Building Residential Location Models, in F. Pagliara, J. Preston and D. Simmonds (eds.) *Residential Location Choice: Models and Applications*, Heidelberg: Springer.
17. PROPOLIS, 2004. *PROPOLIS: Planning and Research of Policies for Land Use and Transport for Increasing Urban Sustainability*, Final Report, DG Research.
18. Revil, E. and Simmonds, D., 2011. "Calibrating a Household Relocation Model for Leicestershire," Paper presented to the European Transport Conference, Glasgow: Crowne Plaza Hotel.
19. Simmonds, D. C., 1999. "The design of the DELTA land-use modelling package," *Environment and Planning B*, 26: 665-684.
20. SPARTACUS, 1998. *SPARTACUS: System for Planning and Research in Towns and Cities for Urban Sustainability*, Final Report, CEC DG XII.
21. Wegener, M., 1996. Reduction of CO2 Emissions of Transport by Reorganisation of Urban Activities, in Y. Hayashi and J. Roy (eds.) *Transport, Land-use and the Environment*, London: Kluwer.
22. Wegener, M., 2004. Overview of Land-use Transport Models, in D.A. Hensher and K. Button(eds.) *Transport Geography and Spatial Systems*, Kidlington: Pergamon/Elsevier.

Date Received 2017-11-15
Date Reviewed 2017-12-11
Date Accepted 2017-12-11
Date Revised 2018-01-18
Final Received 2018-01-18