

도시철도 교통량 추정의 오차발생 요인 연구

김강수 · 김기민*

한국개발연구원 공공투자관리센터

A Study on Inaccuracy in Urban Railway Ridership Estimation

KIM, Kang-Soo · KIM, Ki Min*

Public and Private Infrastructure Investment Management Center, Korea Development Institute,
Sejong-si 339-007, Korea

Abstract

This paper analyzes the forecasting errors of traffic volumes by comparing forecasted volumes for the opening year with the observed ones in the years after the urban railway construction in the metropolitan areas. The result shows that the average inaccuracy of traffic volumes for each station was estimated at around 7.27. Based on the confirmed factors of demand estimation errors, this study seeks for an alternative method to reduce estimation errors in feasibility studies. It is noted that there is a tendency that the inaccuracy varies by regions and the longer construction period or the shorter station spacing is, the overestimation increases. If urban railway projects are proceeded as planned, therefore, the level of the inaccuracy for traffic volume forecast will be decreased. In addition, thanks to the theoretical progress, recent estimation results show higher accuracy than before. In that sense, when we introduce the new railway line, it is necessary to make an accurate and realistic demand forecast based on actual outcomes and tendency of the previous estimation. The limitation of our study is that we only cover the errors of the initial period, the opening year and deal with the exogenous variables. Further research including other variables which might be considered to cause overestimation or errors would be needed for increasing the estimation accuracy of traffic volumes.

본 논문에서는 개통연도 예측 교통량과 개통 후의 실제 교통량의 비교를 통해 교통량 예측 오차를 분석하였다. 분석 결과, 역별 개통연도 교통량(승·하차 인원)의 평균오차(I)는 7.27수준인 것으로 분석되었다. 또한 지역별로 오차가 상이하고 공사기간이 장기기간이거나 역간거리가 짧아지면 교통량 과다 추정 오차가 증가하는 것으로 분석되었다. 따라서 도시철도사업이 정해진 계획대로 정해진 기간 안에서 진행될수록 교통예측 오차를 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 이외에도 수요예측연도가 최근일수록 오차가 줄어드는 것으로 나타났다. 향후 추진될 도시철도 신규 노선에 대해서는 지금까지의 도시철도 이용객 추정의 오차와 경향을 바탕으로 보다 정확하고 현실적인 이용객 추정이 필요하다. 본 논문의 한계점은 초기연도의 오차에 대해서만 분석하였고 오차발생 변수도 외생변수에 국한하여 분석한 점이다. 향후에는 오차발생에 대해서 다양한 변수를 대상으로 검토되어야 할 것이다.

Keywords

demand forecasting, inaccuracy, reduction, urban railway ridership, year of opening
교통수요예측, 오차, 감소방안, 도시철도 이용객, 개통연도

* : Corresponding Author
kkmkim@kdi.re.kr, Phone: +82-44-550-4767, Fax: +82-44-550-4692

Received 28 April 2014, Accepted 13 October 2014

서론

기존 연구 검토

1. 연구의 배경 및 목적

교통수요 추정방법론에 대한 지속적인 보완 및 개발에도 불구하고 인구 등의 사회경제지표의 변화, 해당사업의 건설 공사기간의 연장 및 장래 개발계획의 변경 등은 교통수요 추정 결과의 불확실성을 가중시킨다. 특히, 교통수요에 대한 낙관적인 예측은 교통사업 투자의 타당성을 평가하는데 있어 사회적 논란을 불러일으키기도 한다.

그동안 이러한 교통수요 추정의 불확실성과 과다 추정에 대한 고려의 미흡 문제가 지속적으로 제기되어왔다. 이에 Kim(2007)은 우리나라 최초로 고속도로 및 국도의 교통량 예측 결과의 불확실성과 과다 추정 경향을 실증적으로 분석한 후 이러한 "위험"을 관리하고 고려하는 타당성 평가 방안을 제시한 바 있었다. 그럼에도 불구하고 도로부문 이외에 녹색교통으로서 지속적으로 투자 비중이 증가하고 있는 (도시)철도부문에 대한 실증적인 교통수요 추정의 과다 추정 경향과 이를 설명하는 요인에 대한 연구는 미흡하여 대규모의 도시철도 사업에 대한 투자 위험을 효과적으로 평가하고 관리하는 데 있어 한계가 존재하고 있다.

본 논문에서는 우리나라 대도시 통행을 주로 담당하는 도시철도 승·하차인원 추정 오차의 정도를 실증자료를 활용하여 분석한다.¹⁾ 그리고 이러한 예측 오차가 불확실성에 따라 확률적으로 무작위하게 발생하는 경향이 존재하는지, 아니면 과다 추정의 경향이 존재하는지를 살펴보고자 한다. 과소 및 과다추정 중에서 어떠한 경향이 더 강하게 나타나고 있는지와 오차를 발생시킬 수 있는 변수를 선정하여서 통계적으로 검토하고자 한다. 결론적으로 이러한 교통수요 예측 오차에 영향을 미치는 변수에는 어떠한 유의한 변수가 존재하는지를 분석한다.

기존에 교통수요 추정모형을 통해 산출된 도시철도 교통량 예측 결과와 실제 교통량을 비교하는 연구가 다수 존재한다.

Talvitie et al.(1982)은 BART 교통사업의 시행 전(1972년) 예측 이용객 자료와 시행 후(1975년) 이용객 자료, 메릴랜드 주의 볼티모어의 1977년 자료 그리고 미네소타 주의 트윈시티의 1970년 자료를 이용하여 업무 통행에 대한 예측 오차를 분석하였는데, 예측 오차는 25-65% 정도의 범위에 존재한다고 제시하였다.

Fource et al.(1990)은 개발도상국의 8개 대도시²⁾ 도시철도 건설 시 예측했던 이용객과 실제 이용객을 비교하였는데, 2개의 도시철도는 예측치의 20% 미만, 2개의 도시철도는 20-50%, 4개의 도시철도는 50-70%, 그리고 한 개의 도시철도만이 70-90% 정도 수준임을 보여 주었다고 제시하였다.

Pickrell(1998)은 미국의 도시철도를 분석하였는데, 분석한 총 10개의 사업 중 9개 사업에서 수요가 과다 추정되었거나 비용이 과소 추정되었다고 주장하고, 7개의 도시철도는 시간이 경과해도 승객 수가 증가하지 않았다고 분석하였다. 더욱이 볼티모어, 버펄로 그리고 피츠버그 노선의 승객 수는 오히려 개통 후 시간이 경과함에 따라 감소하였다고 제시되어 있다. 이러한 원인에 대해 Pickrell(1998)은 이용객 예측에 이용되는 다양한 모형의 오차나 노선설계의 변경 등과 같은 명백한 원인으로 설명될 수 없는 오차의 원인이 존재하고 있다고 주장하였다.

Richmond(2001)도 미국과 캐나다의 기존 대중교통 정책에 대한 타당성을 평가하기 위해 도시철도 건설 시 예측 이용객과 실제 이용객을 비교 분석하였다. 분석 결과, 도시철도 건설로 전체 대중교통수단의 이용객 증가는 매우 미미했고, 실제 이용객도 예측 이용객 보다 훨씬 못 미치는 것으로 분석하였다. 미국의 FTA(Federal

1) 도시철도의 개통연도 예측 이용객과 실제 개통연도 이용객을 비교하는 것은 다음과 같은 측면에서 의의가 있다. 먼저, 도시철도사업은 대규모의 재정투자가 요구되는 사업이다. 따라서 예측 오차 분석을 통한 계획 및 평가의 과정을 살펴봄으로써 향후 투자의 타당성을 판단하는 데 기초자료로 활용될 수 있다. 즉, 타당성의 중요한 내용 중의 하나는 실제 발생 편익과 예측한 편익을 비교하는 것이고, 이러한 측면에서 편익의 산정에 중요한 영향을 미치는 이용객에 대한 예측 결과와 실제 결과와의 차이를 분석하는 것은 의미 있는 분석이다. 또한, 예측 이용객을 이용하여 건설의 타당성을 확보한 도시철도 건설이 한정된 재정하에서 효율적인 재원 배분을 위한 적절한 선택이었는지에 대한 검토도 가능하다. 일반적으로 프로젝트를 선택할 때 이용객 추정 결과는 다양한 프로젝트 대안 중에서 한정된 예산하에서 선택하게 되는데, 이러한 선택이 적정했는지에 대해서 예측치와 실제치를 비교함으로써 살펴볼 수 있다. 물론 선택하지 않은 프로젝트 대안의 이용객 오차 범위는 추정할 수 없다 할지라도, 추정된 프로젝트 대안의 경우 운영상의 위험을 고려하였는지, 아니면 어떻게 고려할 수 있는지 검토될 수 있다.

2) 홍콩, 마닐라, 멕시코시티, 포르토 알레, 리우데자네이루, 산티아고, 상파울로, 서울(Hong Kong, Manila, Mexico City, Porto Alegre, Rio de Janeiro, Santiago, Sao Paulo and Seoul).

Transit Administration)도 21개의 도시철도사업에 대한 예측 이용객과 실제 이용객을 분석한 결과 예측 수요의 약 80% 수준에 미치는 것으로 분석하였다.

한편, Flyvbjerg(2007)는 도시철도를 포함한 각국의 철도사업 44개를 분석하였는데, 철도사업의 25%는 실제 통행량이 예측 통행량보다 68%보다 적은 수준으로 분석하였고, 예측치와 실적치의 차이가 20% 이상인 사례가 전체의 85%에 이른다고 주장하였다. 특히, 그는 이러한 수요 과다 추정 현상이 연대별, 국가별, 사업별로 큰 차이 없이 무작위로 나타난다고 주장하고, 과다 수요 추정현상이 개선되지 않고 있는 것은 추정기법의 불완전성이나 자료의 불충분성에서 오는 문제가 아닌 체계적인 요인에 따른 문제라고 주장하였다. 마지막으로 Pavithra Parthasarathi(2010)는 총 108개 Project의 2,984개 구간의 자료를 분석하였다. 분석결과, 56%는 과소 추정되어 있었고, 44%는 과대 추정되어 있었다고 제시하였고 1970-1980년대 사이에 1960-1970년대와 비교하여 과다추정하는 경향이 나타났다고 언급되어 있다.

이처럼 외국의 경우 매우 다양한 연구에서 도시철도 교통수요의 예측치와 실적치를 비교하였고, 대부분의 연구 결과 도시철도 예측 이용객은 실제 이용객보다 항상 과다 예측 되는 것으로 분석되었다.

도시철도 이용객 추정의 오차 분석

1. 이용객 추정 오차의 정의

도시철도 이용객 추정의 오차를 분석하기 위해서는 “오차”에 대한 정의가 필요하다. 사실 오차는 다양한 지표를 통하여 계량화할 수 있는데, 본 논문에서는 “개통연도” 실제 이용객과 도시철도 사업 계획당시의 예측 이용객의 차이를 실제 이용객으로 나눈값을 오차로 규정하였다.

$$I = \left(\frac{T_f - T_a}{T_a} \right) \tag{1}$$

여기서 I는 교통수요 추정 오차를 나타내고, Ta는 개통연도 실제 이용객 수, Tf는 개통연도 예측 이용객 수를 의미한다.

여기서 중요하게 언급할 점은 오차 지표의 분모가 실제 이용객이라는 점이다. 즉, 오차는 실제 이용객 대비

예측치와 실적치의 차이를 분석한다는 의미인데 이는 본 논문의 주된 관심이 실적치이며, 본 논문의 목적이 예측치에 대한 오차를 다루고자 하는 데 있기 때문이다.

본 논문에서는 오차를 산정함에 있어서 개통연도의 실제 이용객만을 대상으로 그 차이를 비교하였다. 이처럼 개통연도의 예측 이용객과 실제 이용객을 이용객 추정의 오차 판단의 기준으로 설정한 이유는 다음과 같다.

먼저, 의사결정자 및 분석가에게 있어서 사업의 착수 여부를 판단하기 위한 중요한 정보는 일반적으로 개통시기의 이용객이다. 개통연도의 이용객을 통해, 의사결정자는 개통연도에 대한 정보를 바탕으로 사업의 진행 여부에 대한 의사결정을 실시한다.

그리고 개통연도만을 분석함으로써 도시철도의 네트워킹 효과를 배제하여 이용객 예측 오차를 분석할 수 있는 장점도 존재한다. 또한 자료 입수 측면에서도 장기간의 예측 이용객이 존재하지 않는 경우가 많아 개통연도의 노선 및 역별 이용객을 사용하였다. 마지막으로 외국의 문헌에서도 교통수요 오차를 판단하는 데 있어 개통연도의 이용객을 주 대상으로 한다는 점에서 앞선 수식의 지표인 오차(I)를 활용하여 이용객 오차를 분석하였다.

2. 분석 자료

1) 노선비교 자료

노선별 이용객 오차 분석을 위해 현재 운영 중인 우리나라의 대부분 도시철도의 경우를 고려하였다. 노선별 이용객 예측에 대한 정보를 얻기 위해 도시철도가 완공된 후 이를 종합적으로 정리한 건설지를 주로 이용하였

Table 1. Line data(2007. 12)

| | line no. | distance (km) | year of opening |
|----------|----------|---------------|-----------------|
| Seoul | no. 1 | 7.8 | 1974. 8. 15 |
| | no. 2 | 60.2 | 1980. 10. 31 |
| | no. 5 | 52.3 | 1995. 11. 15 |
| | no. 6 | 35.1 | 2000. 8. 7 |
| | no. 7 | 46.9 | 1996. 10. 11 |
| | no. 8 | 17.7 | 1996. 11. 23 |
| Incheon | no. 1 | 29.4 | 1999. 10. 6 |
| Gyeonggi | lisan | 19.2 | 1996. 1. 30 |
| Busan | no. 2 | 45.2 | 1999. 6. 30 |
| | no. 3 | 18.1 | 2005. 11. 28 |
| Deagu | no. 1 | 25.9 | 1997. 11. 26 |
| | no. 2 | 28 | 2005. 10. 18 |
| Gwangju | no. 1 | 20.5 | 2004. 4. 28 |
| Deajeon | no. 1 | 20.5 | 2006. 3. 16 |

다. 건설지가 없는 경우, 각 도시철도의 기본계획 및 설계 보고서를 바탕으로 개통연도의 노선별 이용객에 대한 정보를 획득하였다. 이러한 노력에도 불구하고 서울 도시철도 3, 4호선, 부산 1호선의 경우 개통연도에 대한 노선별 예측 수요 정보가 없어 본 논문의 분석에는 포함하지 못하였다.

Table 1은 본 논문의 노선별 분석에 활용된 도시철도를 보여주고 있다. 최종적으로 본 논문에서 노선별 예측 이용객과 실제 이용객을 비교 분석하고자 하는 노선은 서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 경기 총 7개 지역의 14개 노선이며 각 노선별 현황은 Table 1과 같다.

2) 역별비교 자료

본 논문에서 역별 예측 이용객과 실제 이용객을 비교 분석한 역은 총 11개 노선의 282개역 중 229개역이다. 역별 예측 이용객과 실제 이용객 비교의 일관성을 위해 자료의 보완이 이루어졌다. 예를 들어 인천 1호선의 경우에는 기본계획 보고서에 역별 승·하차 인원 예측자료가 첨부되어 추정되어 있고, 일평균 이용객은 존재하지

않아 인천 메트로의 2003-2007년의 일평균 역별 시간대별 승·하차 이용객 자료를 참고³⁾하여 1일 자료로 변환하여 실제 1일 이용객과 비교하였다. 더불어 기본계획과 실제 건설된 역의 위치가 동일한 15개역만 비교대상에 포함하여 지리적 차이에 따른 편의를 제거하였다. 대구도시철도 1호선 사업의 경우에도 인천광역시 사업처럼 침두시도만 역별 승·하차 인원 예측자료가 존재하고 있어서, 대구도시철도공사의 평균 역별 시간대별 승·하차 인원 자료를 이용해 침두시 자료로 비교하였다. 광주광역시의 경우에는 승차인원밖에 실적자료를 제공하고 있지 않아, 승차인원만으로 비교하였다. 또한 예측한 개통연도와 실제 개통연도가 상이할 경우, 연도 보정 없이 개통연도 기준으로 역별 비교 분석을 실시하였다. 예를 들어 대전도시철도의 경우 역별 이용객 추정연도는 2003년 기준이나, 실제 개통되어 전구간이 운영된 것은 2007년부터 이어서 불가피하게 2007년 개통연도의 실제 역별 이용객과 2003년의 예측 역별 이용객을 비교 분석하였다.

본 논문에서 분석한 역별 자료는 Table 2와 같다.

3) 교통수요 추정방법

도시철도 사업별로 교통수요 추정자료 및 방법에 대해서 제시된 내용을 정리하였다. 다만, 분석대상 사업 중에서 가장 최근에 수행된 것으로 예상되는 대전광역시와 부산 및 광주광역시에 대한 내용을 확보하지 못하여서 비교하는데 한계가 존재한다. 도시철도 사업별로 추정방법을 살펴보면, 1980년대 이전에 추정된 서울지역의 도시철도 1, 2호선은 도심지내와 이외를 구분하여 인구부터 직접 추정하여 해당사업을 위한 모형을 구축한 것으로 간략히 제시되어 있었다. 서울지역의 5, 6, 7, 8호선과 경기지역의 일산선은 4단계 모형을 사용하였고, 통행발생은 회귀분석, 통행분포는 중력모형, 수단선택은 Logit 모형, 통행배정(도시철도)은 All or Nothing을 적용한 것으로 제시되어 있다. 특이한 점은 서울지역의 도시철도 7, 8호선의 경우, 이전에 사용된 자료를 보완하여 적용한 것으로 제시되어 있다. 이외의 인천, 부산, 대구, 대전지역은 일부 사업에서 사회경제지표를 추정한 것은 언급되어 있으나 교통수요 추정모형에 대한 내용은 확인할 수 없었다. 사업별 세부내용은 Table 3과 같다.

Table 2. Station data(2007. 12)

| | line no. | Sta. no. of comparison | Sta. no. of operation | year of comparison | year of opening |
|--------------|----------|------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------|
| Seoul (3) | no. 6 | 37 | 38 | 2001/1997* | 2000 |
| | no. 7 | 18 | 42 | 1997 | 1996 |
| | no. 8 | 13 | 17 | 2001 | 1996 |
| Incheon (1) | no. 1 | 15 | 23 | 1999/1998* | 1999 |
| Gyeonggi (1) | lisan | 10 | 10 | 1996 | 1996 |
| Busan (2) | no. 2 | 33 | 39 | 2002/2001* | 1999 |
| | no. 3 | 13 | 16 | 2006 | 2005 |
| Deagu (2) | no. 1 | 29 | 30 | 2001 | 1997 |
| | no. 2 | 26 | 26 | 2006 | 2005 |
| Gwangju (1) | no. 1 | 13 | 19 | 2004/2001* | 2004 |
| Deajeon (1) | no. 1 | 22 | 22 | 2007/2003* | 2006/2007 |
| Sum | 11 | 229 | 282 | - | - |

*. actual/forecast

3) 역별 평균 승차인원의 침두 집중률은 8.5%였고, 하차인원의 집중률은 8.9%였다.

Table 3. Travel demand model

| | line No. | Data, Travel demand Model |
|---------|----------|--|
| Seoul | no. 1 | Direct forecasting(population, ect.) |
| | no. 2 | Direct forecasting(population, ect.) |
| | no. 5 | Model: The four-step model Trip generation: multiple regression analysis Trip distribution: Gravity model Mode choice: Logit model Traffic assignment(Urban Railway) : All or Nothing |
| | no. 6 | Data: 수도권상주인구센서스의 교통조사(교통개발연구원, 1988) 및 서울특별시 교통종합현황조사(서울특별시, 1990) Model: The four-step model Trip generation: multiple regression analysis Trip distribution: Gravity model Mode choice: Logit model Traffic assignment(Urban Railway) : All or Nothing |
| | no. 7 | Data: 서울특별시 교통종합현황조사(서울특별시, 1990) 보완 Model: The four-step model Trip generation: multiple regression analysis Trip distribution: Gravity model Mode choice: Logit model Traffic assignment(Urban Railway) : All or Nothing |
| | no. 8 | Data: 서울시 지하철 노선확정조사, 성남-서울간 도시철도의 노선 등 기본계획 수립에 관한 연구 Model: The four-step model Trip generation: multiple regression analysis Trip distribution: Gravity model Mode choice: Logit model Traffic assignment(Urban Railway) : All or Nothing |
| | Incheon | no. 1 - (Estimating Socioeconomic data) |
| | Gyeonggi | lisan Model: The four-step model Trip generation: multiple regression analysis Trip distribution: Gravity model Mode choice: Logit model Traffic assignment(Urban Railway) : All or Nothing |
| Busan | no. 2 | - (Estimating Socioeconomic data) |
| | no. 3 | - |
| Deagu | no. 1 | - |
| | no. 2 | - (Estimating Socioeconomic data) |
| Gwangju | no. 1 | - |
| Deajeon | no. 1 | - (Estimating Socioeconomic data) |

3. 분석결과

1) 노선별 분석결과

(1) 개통연도 오차

노선별 이용객 오차 분석에 활용된 자료는 수도권, 부산, 대구, 광주, 대전 등 총 5개 광역권 지역의 14개 노선의 이용객수이다. 먼저, 개통연도를 대상으로 이용객 오차를 살펴보았다. 이때 전 구간 개통시점 이후를 기준으로 실제 이용객과 비교하였다. 분석 결과, 전체적으로 실제 이용객과 비교 시 예측 이용객이 과다 추정된 것으로 분석되었다. 실제 이용객과 비교해볼 때 오차(I)는 평균 4.05이다.

수도권(서울, 경기, 인천)의 경우 오차(I)가 2.55, 광주지역의 경우 오차(I)가 7.41로 모두 이용객이 과다 예측되었다. 가장 오차(I)가 큰 지역(광주)과 가장 작은 지역(수도권)의 오차(I)에 대한 차이가 4.86에 이르러, 노선별 이용객 추정에 대한 정확성이 지역마다 상이함을 보여주고 있다.

Table 4. Ridership inaccuracy of year of opening(line)

| | I: (forecast-actual/actual) |
|--------------------------|-----------------------------|
| Seoul, Gyeonggi, Incheon | 2.55 |
| Busan | 5.96 |
| Deagu | 6.76 |
| Gwangju | 7.41 |
| Deajeon | 3.49 |
| maximum | 7.41 |
| minium | 2.55 |
| standard deviation | 2.32 |
| average | 4.05 |

(2) 이용객 증가율

노선별로 예측한 이용객의 증가율과 실제 이용객의 증가율을 비교 분석하였다. 세부내용은 Table 5와 같다.

분석 결과, 실제 이용객 증가율이 예측 증가율보다 큰 노선은 서울지하철 1, 2호선, 서울도시철도 6호선, 일산선, 대구도시철도 1호선으로 분석되었다.

이는 추가적인 도시철도 건설로 인한 네트워크 효과 뿐만 아니라 장래 도시철도의 이용객을 예측하는 데 활용되는 인구, 소득, 자동차 등록대수 등 기타 사회경제지표가 예측치보다 급격하게 변화되었음을 의미하는 것이나, 초기 개통연도의 이용객 추정치가 상당 부분 과대 추정되었음도 의미한다. 예를 들어 서울 1호선의 경우, 초기 개통연도의 이용객 추정치가 과다 추정된 경우로 생

Table 5. Comparing the actual and forecasted growth rate
(unit: %)

| | line no. | growth rate | | duration | |
|----------|----------|-------------|--------|----------|---------|
| | | forecast | actual | forecast | actual |
| Seoul | no. 1 | 1.72 | 31.15 | '74-'81 | '74-'81 |
| | no. 2 | 2.93 | 17.88 | '84-'91 | '84-'91 |
| | no. 5 | 0.30 | -0.04 | '01-'10 | '01-'10 |
| | no. 6 | 2.41 | 3.89 | '01-'10 | '02-'10 |
| | no. 7 | 8.52 | 5.72 | '97-'10 | '00-'10 |
| | no. 8 | 2.38 | 0.69 | '01-'10 | '01-'10 |
| Gyeonggi | lisan | 5.36 | 11.49 | '96-'01 | '96-'01 |
| Busan | no. 2 | 4.50 | 0.18 | '01-'06 | '02-'07 |
| Deagu | no. 1 | 3.48 | 4.57 | '01-'06 | '01-'06 |

각할 수 있는데, 1974년 개통 초기연도의 예측치는 395,255명으로 실제 시현된 87,060명과 비교 시 4배 이상 과대 예측되었으나, 개통 후 7년 후인 1981년 기준으로 볼 때 예측치는 445,510명, 실측치는 581,106명으로 오히려 실측치가 예측치를 넘어서고 있어 동 기간 동안(1974-1981년) 예측치 증가율은 1.72%, 실측치 증가율은 31.15%로 나타나고 있다.

서울지하철 2호선의 경우에는 수도권 유입인구의 급격한 증가가 실제이용객 증가율의 원인으로 파악된다. 1980년대와 1990년대는 급격한 인구증가를 보이고 있던 시기였고, 서울도시철도(5-8호선)가 개통되기 이전이므로 실제 이용객 증가율이 예측 이용객 증가율보다 큰 것으로 판단된다.

일산선의 경우에는 1996-2001년 실제 이용객이 11.49% 증가하였는데, 이는 1997-2009년 동안 인구 증가율이 2.54%에 이르렀기 때문인 것으로 파악된다.

서울도시철도 5, 7, 8호선, 부산지하철 2호선의 경우 본 논문의 분석기간 동안 실제 이용객증가율이 예측 증가율에 미치지 못하는 것으로 분석되었다.

현재 실제 노선별 이용객이 개통연도의 노선별 예측 이용객을 어느 정도 시현하고 있는지를 살펴보기 위해 2009년 노선별 실제 이용객과 개통연도 노선별 예측 이용객을 비교 분석하였다. 각 노선별 2009년 이용객과 개통 초기연도에 예측한 이용객을 비교한 표는 Table 5와 같은데, 서울 지하철 2호선을 제외하고는 모든 노선에서 2009년에 시현된 이용객이 개통연도의 예측 이용객에 미치지 못하고 있어 초기 개통연도의 이용객수의 과대 추정이 심각한 것으로 판단된다. 특히, 서울과 경기 도지역을 제외한 지역은 2009년 실제 이용객이 예측치의 20%수준으로 시간이 경과하여도 이용객의 격차가 개선되지 않는 것을 알 수 있다.

Table 6. Comparing year of opening's forecasting ridership and 2009 actual passengers
(unit: ridership/day)

| | line no. | forecast (A) | actual (2009) (B) | rate (B/A) | year of forecasting |
|----------|----------|--------------|-------------------|------------|---------------------|
| | | | | | |
| | no. 2 | 156,499 | 1,528,825 | 9.77 | 1981 |
| | no. 5 | 1,725,000 | 577,079 | 0.33 | 1994 |
| | no. 6 | 1,319,276 | 309,171 | 0.23 | 2001 |
| | no. 7 | 897,220 | 597,680 | 0.67 | 1997 |
| | no. 8 | 241,229 | 154,913 | 0.64 | 1997 |
| Incheon | no. 1 | 711,369 | 154,215 | 0.22 | 1998 |
| Gyeonggi | lisan | 110,266 | 84,458 | 0.77 | 1996 |
| Busan | no. 2 | 1,462,448 | 249,620 | 0.17 | 2001 |
| | no. 3 | 395,014 | 71,210 | 0.18 | 2006 |
| Deagu | no. 1 | 1,128,055 | 166,756 | 0.15 | 2001 |
| | no. 2 | 912,468 | 139,490 | 0.15 | 2006 |
| Gwangju | no. 1 | 257,100 | 47,133 | 0.18 | 2001 |
| Deajeon | no. 1 | 420,096 | 93,483 | 0.22 | 2009 |

Table 7. Inaccuracy(region)

| | I: (forecast-actual/actual) | |
|--------------------------|-----------------------------|--------------------|
| | average | standard deviation |
| Seoul, Gyeonggi, Incheon | 6.44 | 8.78 |
| Busan | 8.67 | 9.48 |
| Deagu | 9.66 | 9.64 |
| Gwangju | 6.20 | 4.28 |
| Deajeon | 2.41 | 2.47 |
| average | 7.27 | - |

2) 역별 분석결과

역별 분석은 지역별, 도시철도의 개통연도별 그리고 해당사업의 교통수요 예측연도별로 구분하여 분석하였다. 다만 교통수요 예측연도는 확인이 되지 않아서 건설지 혹은 기본계획보고서의 발간연도로 가정하여 분석하였다.

(1) 지역별 오차

역별 개통연도 이용객의 경우에도 개통연도 예측 이용객이 체계적으로 과다 추정된 것으로 분석되었다. 전체적으로 역별 개통연도 이용객(승·하차 인원)의 평균 오차(I)는 7.27로 이용객이 과다 추정되었다. 그 중에서 대구광역시가 9.66로 가장 과다 추정된 지역으로 분석되었다. 또한 대전광역시가 2.41로 가장 낮은 오차(I)를 보이고 있다. 이는 대전광역시의 예측 개통연도는 2003년인데 반해서 실제 개통연도는 2007년으로 비교하였기 때문이다. 도시철도 지역별 오차(I)는 Table 7과 같다.

(2) 개통연도별 오차

개통연도가 최근일수록 이용객 예측 오차가 유의하게 변하는지를 분석하기 위해 역별 이용객 오차를 개통연도별로 구분해서 비교하였다. 분석 결과, Table 7에서 볼 수 있듯이 가장 큰 오차(I)는 2002년의 26.64이고, 가장 작은 오차(I)는 2006년의 2.16이다. 대전광역시 도시철도가 2006년에 개통되었기 때문에 2006년에 적은 오차를 나타내는 것으로 판단할 수 있으나, 여전히 과다 예측된 것을 알 수 있다. 개통연도와 오차의 상관관계는 -0.21로 연관성이 적은 것으로 나타났다.

(3) 예측연도별 오차

본 논문에서는 이용객 예측을 수행한 연도가 최근일수록 오차가 작아질 것이라는 가정을 세우고, 교통수요 예측이 수행된 연도별로 오차를 비교하여 보았다. 다만, 교통수요예측 결과가 수록된 보고서의 발간연도를 수요 예측 수행연도로 가정하고 비교하였다. 비교 결과,

Table 8에서 볼 수 있듯이 최근일수록 교통수요예측 결과의 정확성이 다소 증가하는 경향을 보여주고 있다. 오차를 살펴보면, 최대 오차(I)는 1990년 10.45이고, 최소 오차(I)는 2007년 2.41이다. 교통수요예측연도와 오차의 상관관계는 -0.68로서 음의 상관관계를 보여주고 있어서 연관이 있음을 알 수 있다.

앞서 제시된 Table 3의 내용을 참고하여 본다면, 서울지역의 경우에 이전 사업에서 사용된 자료를 지속적으로 보완하면서 이후 사업을 추정할 점을 들 수 있을 것이다. 이외에도 1999년 이후에 배포된 국가교통DB(Data Base)와 교통수요예측 지침에 의한 영향이 있을 것으로 추측된다. 하지만 2000년 이후에 수행된 것으로 가정하고 분석한 대전, 부산, 광주지역에 대한 자료를 확보하지 못하여 이러한 점을 확인할 수는 없었다.

이러한 결과에도 불구하고 가장 적은 오차(I)가 2.41인 점은 주목할 필요가 있다. 초기연도에 오차(I)가 10배가 넘고 있기 때문에 2007년에 2.41배가 적게 보일

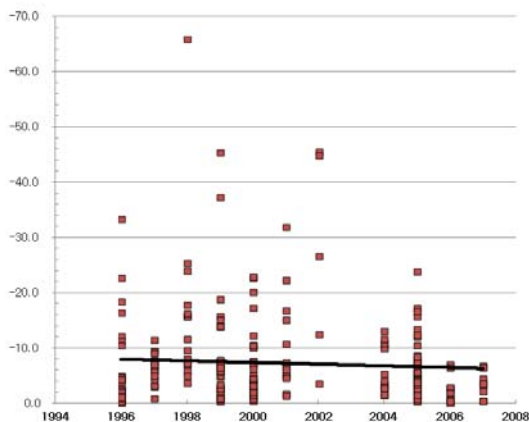


Figure 1. Ridership inaccuracy(year of opening)

Table 8. Inaccuracy(year of opening)

| year | I: (forecast-actual/actual) |
|-------------|-----------------------------|
| 1996 | 4.61 |
| 1997 | 6.26 |
| 1998 | 15.93 |
| 1999 | 8.18 |
| 2000 | 6.33 |
| 2001 | 10.37 |
| 2002 | 26.64 |
| 2004 | 6.20 |
| 2005 | 6.62 |
| 2006 | 2.16 |
| 2007 | 2.71 |
| maximum | 26.64 |
| minimum | 2.16 |
| correlation | -0.21 |

Table 9. Inaccuracy(year of forecasting)

| year of forecasting | I: (forecast-actual/actual) |
|---------------------|-----------------------------|
| 1990 | 10.45 |
| 1991 | 9.37 |
| 1992 | 9.34 |
| 1993 | 7.30 |
| 1995 | 4.14 |
| 1996 | 5.35 |
| 2001 | 2.52 |
| 2005 | 7.87 |
| 2007 | 2.41 |
| maximum | 10.45 |
| minimum | 2.41 |
| correlation | -0.68 |

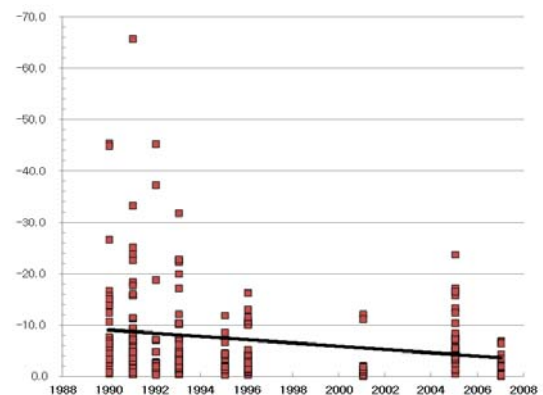


Figure 2. Inaccuracy(year of forecasting)

뿐이다. 즉, 최근에도 여전히 과대추정을 하는 경향이 강한 것을 알 수 있다.

도시철도 이용객 추정 오차 모형

1. 개요

본 논문에서는 도시철도 이용객 추정 오차에 대한 분석을 지역노선별, 개통연도 및 이용객 예측연도별로 분석함으로써 이러한 변수가 도시철도 이용객 추정 오차 크기에 대한 영향을 분석하였으나, 다른 변수를 제외한 특정 변수만이 이용객 추정 오차에 미치는 영향은 분석하지 못하였다.

Kim(2010)에 의하면 도시철도 교통량의 일반적인 오차 원인은 입력자료의 측정 문제에서 오는 오차, 교통량 추정을 위한 교통수요 추정모형의 정립이 잘못됨으로 인해서 발생하는 오차 그리고 도시철도 교통량 추정을 위한 외생적 변수의 불확실성 및 오류에 의해서 발생하는 오차로 구분하고 있다. 마지막으로 교통량 과대 및 과소 추정의 인센티브를 유발하는 제도적인 측면과 교통량 추정 전문가의 심리적인 측면도 제시하고 있다.

이러한 다양한 변수에 대한 영향을 고려해야 하나 본 논문의 대상 사업은 주로 1990년대 초반에 이루어져서 교통수요예측에 대한 정확한 자료나 모형에 대한 사항은 구득하는데 어려움이 존재하였으며, 심리적인 측면은 정량적인 측정이 어려운 부분이 존재하여 고려하지 못한 한계가 있다.

즉, 도시철도 영향권 지역의 인구, 승용차 등록대수, 학생 수, 종사자 수와 같은 사회경제지표 뿐만 아니라 시간 경과에 따른 자료 및 도시철도 교통 모형의 발전 등이 도시철도의 이용객 오차에 영향을 미칠 수 있으나 이에 대한 영향은 고려하지 못하였다.

2. 모형

본 논문에서는 회귀분석을 통해 다른 변수에 대한 영향을 통제했을 때 각 변수의 도시철도 이용객 예측 오차에 대한 영향 분석을 실시하도록 한다. 예를 들어서 도시철도 이용객 예측 오차는 시간 경과에 따라 감소하고 있

는지, 수도권과 지방별로 유의한 차이가 존재하는지, 실제로 인구 혹은 승용차 보유대수가 많은 곳이 도시철도 이용객 예측 오차크기와 관계가 있는지에 대한 분석을 실시한다.

본 논문에서 추정하고자 하는 회귀식의 일반적인 형태는 식(2)와 같다.

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + \sum_k \beta_k X_k + \epsilon \quad (2)$$

여기서 i, j 는 변수 A, B 의 레벨(혹은 수준)을 나타낸다. Y_{ijk} 는 종속변수를, A_i 와 B_j 는 범주형 변수로서 각 수준에서의 효과를 나타낸다. X_k 는 연속형 설명변수를 의미한다.

도시철도 이용객 예측 오차지표인 I^* 를 종속변수로 상정하여 회귀모형을 구축하였다. 구축된 회귀모형은 식(3)과 같다.

$$I = \mu + \sum_{k=1}^7 \beta_k X_k + \epsilon \quad (3)$$

β_k : 독립변수에 대한 회귀계수

X_1 : region(지역구분 더미변수(수도권=1))

X_2 : year of opening(개통연도)

X_3 : year of forecasting(이용객 예측연도)

X_4 : distance(역 간 거리)

X_5 : duration(공사기간)

X_6 : log(population(인구수))

X_7 : log(car(승용차 등록대수))

도시철도 이용객 예측 오차를 설명하는 최적의 모형을 선택하기 위하여 모든 변수를 포함하는 Full 모형을 상정하고 모형 선택 프로세스를 진행하였다. 모형 선택의 기준은 AIC를 이용하였으며, 선택의 방법으로는 stepwise procedure를 사용하였다. Full 모형에 사용된 변수 중에서 덜 유의한 변수, 즉 제거하였을 때 AIC값을 가장 작게 하는 변수를 제외시켰으나, 분석이 필요한 주요 변수인 경우 포함시켜 분석하였다. 추정된 모형은 잔차 분석과 적합도 검증을 거쳤다. 또한 몇 개의 이상점⁴⁾(정상

4) 어떤 자료점을 제외하였을 때 회귀직선의 추정치가 크게 바뀌는 자료점이 있을 경우, 이 자료점을 영향점(Influential Point)이라고 부르며, 이러한 영향점이 존재할 경우에는 이 영향점을 포함하여 분석(모형)할지 아니면 제외하고 분석할지를 결정해야 한다. 통상적으로 이 영향점이 이상점일 경우에는 이 자료점들을 제외하여 모형을 새로 만든다.

Table 10. Model 1(multiple R-squared: 0.8543, adjusted R-squared: 0.8458)

| | Coefficient | Estimate Std. Error | t-value | Pr(> t) |
|---------------------|-------------|---------------------|---------|-----------|
| region | 0.05884 | 0.39027 | 0.151 | 0.88037 |
| year of forecasting | -0.09588 | 0.04106 | -2.335 | 0.02097* |
| distance | -0.67081 | 0.25181 | -2.664 | 0.00864** |
| year of opening | -0.16726 | 0.21689 | -0.771 | 0.44193 |
| duration | 0.09666 | 0.04015 | 2.408 | 0.01737* |
| log(population) | 0.19609 | 0.19183 | 1.022 | 0.30849 |
| log(car) | -0.61701 | 0.42455 | -1.453 | 0.14841 |

*: t value is significant at the 0.10 level.
 **: t value is significant at the 0.05 level.

적인 패턴에서 이탈하였다고 판단되는 점)도 제외하고 모형을 추정하였다.

1차적으로 추정된 모형 추정 결과는 다음과 같다. 여기서 region(지역)변수는 수도권과 지방을 구분하는 변수이며, year of forecasting(이용객 예측연도)변수는 도시철도 이용객 예측연도를, distance(역 간 거리)는 도시철도 기점 역을 기준으로 전 역과의 실제 거리(km)를 의미한다. year of opening(개통연도)는 도시철도 노선 완공연도 다음 연도를 나타내는 것으로, 운영 1년 차 연도를 의미한다. duration(공사기간)은 해당 도시철도의 실제 공사기간을 의미하며, 공사기간이 길수록 이용객 추정에 대한 불확실성이 증가하여 오차가 증가할 수 있다. 그리고 population(인구)와 car(승용차 등록대수)는 해당 역이 존재하는 지역(구 단위)의 개통연도의 실제 인구수와 승용차 등록대수를 의미한다.

Table 10의 Mode 1(1 차 추정모형)을 바탕으로 살펴보면, 타 변수들의 영향을 통제했을 때 첫번째 항목인 지역 구분에 따른 교통수요 예측 오차의 영향은 별다른 유의성이 없는 것으로 분석된다. 수도권보다는 지방의 경우가 이용객 과다 추정의 위험이 클 것으로 예상되었으나 지역 구분에 따른 도시철도 오차 영향은 유의하지 않은 것으로 분석된다. 한편, 도시철도 역이 위치하는 지역의 실제 인구수와 승용차 등록대수는 t-value가 1.96 미만으로 도시철도 이용객 추정 결과와는 통계적으로 유의한 관계가 존재하지 않았다.

Table 11의 Mode 2(최종모형)을 바탕으로 살펴보면 다음과 같다. 교통수요 예측연도의 경우, 최근일수록 오차가 감소하는 것으로 분석되었다. 해당 결과는 앞서 언급한 것처럼 이전 사업에서 사용한 자료를 보완하면서 교통수요 추정모형이 정교화 된 점에서 기인한 것으로

Table 11. Model 2(multiple R-squared: 0.8479, adjusted R-squared: 0.8451)

| | Coefficient | Estimate Std. Error | t-value | Pr(> t) |
|------------------|-------------|---------------------|---------|---------------|
| forecasting year | -0.0582 | 0.01261 | -4.615 | 0.00000663*** |
| distance | -0.33833 | 0.12028 | -2.813 | 0.00535000** |
| duration | 0.05877 | 0.01254 | 4.686 | 0.00000484*** |

*: t value is significant at the 0.10 level.
 **: t value is significant at the 0.05 level.
 ***: t value is significant at the 0.01 level.

간주할 수 있다. 이에 따라 교통수요 예측연도가 최근일수록 오차는 유의성 있게 감소하고 있다. 다만, 이러한 결과는 대상사업에 국한한 결과이며 교통수요 예측연도를 해당사업의 보고서 발간연도로 가정한 한계점을 감안하여 해석해야 할 것이다.

이외에도 타 변수들의 영향을 통제했을 때, 역과 역 사이의 거리가 증가할수록 도시철도 교통량 과다 추정 오차는 작아지는 것으로 분석되었다. 즉, 교통수요의 추정기법에 대한 적용이 보다 용이하고 교통수요를 추정하기 위한 자료의 가용성이 늘어나면서 과다 추정 오차가 작아지는 것으로 분석된다.

또한 공사기간이 긴 사업일수록 이용객 추정의 과다 추정 측면이 존재하는 것으로 분석되었다. 공사기간이 긴 도시철도사업의 경우 사업규모가 크고 타당성에 대해 상대적으로 비교적 논란의 여지가 큰 사업일 가능성이 있으므로 이에 대한 방편으로 교통수요를 과다 추정할 개연성이 높아질 수 있는 것으로 해석된다.

결론

교통수요 추정방법론에 대한 지속적인 보완 및 개발에도 불구하고 교통수요 추정 결과의 불확실성이 가중되고 있는 실정이다. 교통수요에 대한 낙관적인 예측은 교통수요 추정 결과의 불확실성 증가와 교통수요를 과다 추정케 하는 주요 원인으로 작용하고 있다.

본 논문에서는 우리나라 대도시의 통행을 주로 담당하는 도시철도에 이용객 추정 오차의 정도를 실증자료를 활용하여 분석하고자 하였다. 그리고 예측 오차가 불확실성에 따라 확률적으로 무작위하게 발생하는 경향이 존재하는지, 아니면 과다 추정의 문제점처럼 체계적인 경향이 존재하는지를 살펴보았다.

분석 결과, 전체적으로 오차 지표가 '0'을 기준으로 양의 값에 치우치는 분포를 보여주고 있어 개통연도 실측

이용객과 비교 시 과다 추정된 것으로 분석되었다. 노선별 평균오차(I)는 4.05이며, 역별 개통연도 이용객(승·하차 인원)의 평균오차(I)는 7.27 수준인 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 외국사례처럼 과다추정 하는 경향이 있는 것을 입증하고 있다.

도시철도 이용객 추정 오차 모형에 있어서는 회귀식으로 개별변수와 오차 크기와의 관계를 분석하였다. 그 결과 교통수요 예측연도가 증가할수록 오차는 유의성 있게 감소하고 있다. 이는 교통수요 모형의 지속적인 보완과 모형의 정교화로 인한 것이라고 판단하였다. 다만, 이러한 결과는 분석대상사업과 가정에 의한 결과이며 초기 사업의 오차(I)가 10 이상으로 상당히 큰 점과 최근 오차(I)가 2.41로 여전히 큰 점을 감안해서 해석해야 할 것이다. 더불어서 Pickrell(1998)이 언급한 버펄로, 피츠버그 노선의 사례처럼 개통이후에 오히려 수요가 감소하는 사례도 존재하고 있어서 시간이 경과함에 따라서 저절로 오차가 줄어드는 것은 아니므로 결과해석에 주의해야 할 것이다.

역간거리가 증가할수록 오차가 작아진 것으로 분석되었는데, 이는 교통수요 추정시 좀 더 용이하기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 공사기간이 장기간일수록 이용객 과다 추정 오차가 증가했다. 따라서 도시철도사업이 정해진 계획대로 정해진 기간 안에서 진행될수록 교통예측 오차를 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

우리나라의 경우 도시철도 이용객 추정의 불확실성 또는 과다 추정의 문제가 도시철도사업을 수립하고 건설하는 데 큰 애로점으로 작용하고 있다. 실제 시현되는 도시철도 이용객의 부족으로 운영적자가 심화되고 있으며, 이에 따라 도시철도의 부채 문제가 심각한 상황이다. 따라서 향후 추진될 도시철도 신규 노선에 대해서는 지금까지의 도시철도 이용객 추정의 오차와 경향을 바탕으로 보다 정확하고 현 실적인 이용객 추정이 필요하다. 수요가 확보되지 않은 사업의 시행을 억제하거나 착수시기를 조정하는 노력이 필요하며, 기존 노선의 승객 수송수요 등 운영실적을 보다 충분히 검증한 뒤 신규 사업을 추진하는 것이 바람직할 것이다.

본 논문의 한계 및 결과 해석에 유의할 점은 다음과 같다. 먼저 본 논문에서 이용객 추정 오차는 개통연도의 추정 수요와 실제 수요와의 차이로 정의되었고 오차발생 변수도 외생변수에 국한하여 분석하였다. 본 논문에서 제시하는 이용객 오차를 어떤 특정 노선 및 구간의 전체 이용객 추정 오차 개념으로 확대 해석하는 데 있어서 유

의할 필요가 있다.

향후에는 오차발생 변수에 대해서 다양한 변수를 대상으로 검토되어야 할 것이다.

REFERENCES

- Busan Metropolitan City (1990), Busan East-West Urban Rail Basic Plan (부산직할시 동서간 도시철도 기본 계획 수립).
- Daegu Metropolitan Urban Railroad Construction Headquarters (1991), Daegu Urban Rail line 1 Basic Plan General Summary(대구도시철도 1호선 기본계획 종합 요약).
- Daegu Metropolitan Urban Railroad Construction Headquarters (2005), Daegu Urban Rail line 2 Construction Project Traffic Impact Assessment (대구도시철도 2호선 건설사업 교통영향평가).
- Daegu Metropolitan Urban Railroad Construction Headquarters (2006), Daegu Urban Rail line 2 Construction (대구도시철도 2호선 건설지).
- Daejeon Metropolitan Urban Railroad Construction Headquarters (2007), Daejeon Urban Rail line 1 Construction(Part I) (대전도시철도 1호선 건설지(상권)).
- Daly A. J., Ortuzar J. D. (1990), Forecasting and Data Aggregation: Theory and Practice, Traffic Engineering & Control, 31, 632-643.
- Flyvbjerg B. (2007), Cost Overruns and Demand Shortfalls in Urban Rail and Other Infrastructure, Transportation Planning and Technology, 30(1), 9-30.
- Fouracre P. R., Allport R. J., Thompson J. M. (1990), The Performance and Impact of Rail Mass Transit in Developing Countries, Research Report, 278, Crowthorne: Transportation and Road Research Laboratory.
- Gwangju Metropolitan City (1996), Gwangju Urban Rail line no. 1 Basic Plan and Basic Design General Summary (광주도시철도 1호선 기본계획 및 기본설계 종합요약).
- Johnston R. A., Ceerla R. (1996), Travel Modeling with and without Feedback to Trip Distribution, Journal of Transportation Engineering 122, 83-86.
- Kim K. S. (2007), Rationalization for Decision-making on SOC Investment, Korea Development Institute.

Kim K. S. (2010), Rationalization for Decision-making on SOC Investment(Ⅱ): Risk Analysis of Estimated Subway Ridership.

Korea Railroad (1996), Iisan Rail Construction(Jichuk-Daehwa) (일산선 복선전철 건설지(지축-대화)).

Parthasarathi P., Levinson D. (2010), Post-construction Evaluation of Traffic Forecast Accuracy, Transport Policy, 17, 428-443.

Pickrell D. H. (1998), A Desire Named Streetcar: Fantasy and Fact in Rail Transit Planning, Journal of the American Planning Association 58(2), 158-176.

Richmond J. (2001), A Whole-system Approach to Evaluating Urban Transit Investments, Transport Reviews, 21, 141-179.

Seoul Metropolitan Urban Railroad Construction Headquarters (1991), Seoul Urban Rail line 7 Basic Design General Summary (서울도시철도 7호선 기본설계종합 요약).

Seoul Metropolitan Urban Railroad Construction Headquarters (1993), Seoul Urban Rail line 6 Basic Design Summary (서울도시철도 6호선 기본설계요약).

Seoul Metropolitan Urban Railroad Construction Headquarters (2001), Seoul Urban Rail line 8 Construction (서울도시철도 8호선 건설지).

Standard & Poor's (2004), Traffic Forecasting Risk: Study Update: 2004.

Talvitie A., Dehgani Y., Anderson M. (1982), An Investigation of Prediction Errors in Work Trip Mode Choice Models, Transportation Research A, 16, 395-402.

The Korea Transport Institute (1992), Incheon Metropolitan City Urban Rail Basic Plan (인천직할시 도시철도 기본계획).

The Korea Transport Institute (1995), Busan Urban Rail line 3, Yangsan Rail Basic Plan (부산도시철도 3호선 및 양산선 기본계획).

알림 : 본 논문은 한국개발연구원의 정책연구시리즈 2010-13, "SOC 투자의사결정 합리화 방안(Ⅱ)"의 내용을 수정 · 보완하여 작성한 것입니다.

✉ 주 작 성 자 : 김강수

✉ 교 신 저 자 : 김기민

✉ 논문투고일 : 2014. 4. 28

✉ 논문심사일 : 2014. 6. 12 (1차)

2014. 8. 14 (2차)

2014. 10. 13 (3차)

✉ 심사판정일 : 2014. 10. 13

✉ 반론접수기한 : 2015. 4. 30

✉ 3인 익명 심사필

✉ 1인 abstract 교정필