

도시철도 예비타당성을 위한 운영비용함수 모형의 개발

Development of the Operation Cost Models for Preliminary Assessment of the Urban Railways

이재명[†] · 원재무^{*} · 노정현^{**}

Jae-Myung, Lee · Jai-Mu, Won · Jeong-Hyun, Rho

Abstract In this research, we were going to make the function which can forecast the operating cost of metropolitan railroad that is performing a role of assistant highway within the city. In order to do this, based on service records of subway line 1st to 8th in Seoul, we extracted 23 variables which can affect to the operating cost, and we selected the final variable for estimate the function of operating cost from correlation among variables and influence analysis. Then, we performed regression analysis by stages using final variable. 6 independent variables are chosen for presuming the operating cost, and we obtained the final 3 variables (quantity of holding motor cars, peak quantity of possessed motor cars, and quantity of stations) as a result of regression analysis. Through this research, function of operating cost of metropolitan railroad has better applicability than existing preliminary validity, and it is used by further preliminary validity investigation and master plan or validity investigation which is accompanied by operation designing, thus we expect that it could make a great contribution to the priority order of investment for metropolitan railroad or process of policy decision.

Keywords : Urban City, operation cost, regression analysis, model

요 지 본 연구에서는 도시내 보조간선도로의 역할을 하고 있는 도시철도의 운영비용을 추정할 수 있는 함수를 개발하고자 하였다. 이를 위하여 서울 지하철 1호선~8호선의 운행실적을 바탕으로 운영비용에 영향을 줄 수 있는 23개의 변수들을 추출하여 최종변수간의 인과관계 분석을 위한 회귀분석(Regression)을 활용하였다. 분석결과 총 6개의 최종변수가 선정되었으며 그 중 도시철도 운영비용함수를 설명하는 변수는 전동차보유량, 차량소유 침투 및 역수인 것으로 나타났다. 연구 결과 도시철도의 투자우선순위나 정책 결정과정에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

주 요 어 : 도시철도, 운영비용함수, 회귀분석, 모형의 적용성

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

자동차 대수 급증에 따른 교통혼잡 및 대기오염문제의 해결방안으로 대도시의 경우 철도시스템과 같은 대량운송시스템의 필요성이 증대되고 있는 실정이다. 하지만 도시철도 및 경량전철 건설을 계획하고 추진하려면 경제성분석을 포함한

타당성이 면밀하게 검토되어야한다.

현재 철도와 관련된 타당성분석 지침연구 및 선행연구들을 검토해 보면 교통수요예측 부문에 집중되어 있는 반면 철도의 운영비용예측에 활용할 수 있는 방법론에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 대도시내 보조간선과 같은 역할을 담당하는 철도시스템의 경우 지역간 철도시스템 평가 방법을 이용하여 운영비용을 산출하고 있어 도시철도 시스템의 운영비용산출시 비 현실적인 운영비용이 산출되는 문제점이 있다. 따라서 도시철도 사업의 특성을 반영할 수 있는 현실적인 운영비용함수 모형 개발이 시급하다.

본 연구에서는 서울시 도시철도를 연구의 대상으로 설정

† 책임저자 : 한양대학교 도시대학원, 박사과정
E-mail : jmyunge@empal.com
TEL : (02)2299-1470 FAX : (02)2220-1214

* 한양대학교, 도시대학원, 교수

** 교신저자 : 한양대학교, 도시대학원, 교수

하여, 운영비용에 많은 영향을 미치는 변수들을 종합적으로 검토하였으며, 도시철도의 특성을 고려한 운영비용 함수 모형을 개발하였다. 그리고 또한 도출되어진 운영비용 함수를 토대로 도시철도 운영비용과 관련되어진 영향 요인들간의 관계를 살펴보았다.

1.2 연구의 범위 및 진행방향

도시철도 운영비용이란 도시철도를 구성하고 있는 모든 구성요소들이 운영하는데 소요되는 비용의 총 합이라 정의할 수 있다.

따라서 본 연구의 공간적 범위는 현재 서울에서 운영 중인 도시철도 노선 전 구간(서울지하철공사: 1~4 호선, 서울도시철도공사: 5~8호선)을 대상으로 진행하며, 시간적 범위는 서울도시철도공사가 운영하는 2기 도시철도의 건설이 완료된 시점인 2001년을 기준으로 하며 통계자료 취득이 가능한 2006년까지를 대상으로 한다. 단 자료수집의 어려움으로 인하여 인건비 및 운영기관의 부채·수입 등은 연구의 변수에서 제외하였다.

연구의 주요 목적은 도시철도의 특성을 반영할 수 있는 운영비용 함수를 개발하는 것으로서 국내외 운영비용 관련 선행연구 및 분석방법 고찰을 통하여 기존연구의 한계점을 도출함과 동시에 영향변수들을 종합하여 정리하였다.

다음으로 선정된 최종 변수들을 이용하여 단계적 회귀분석(Stepwise Regression)을 실시하여 철도예비타당성 지침에서 제시하고 있는 모형과의 비교를 통해 본 연구의 도시철도 운영비용모형을 검증하였다.

2. 관련문헌 및 분석방법 고찰

기존의 운영비용 함수 모형과 관련한 문헌고찰을 통하여 도시철도 운영비용관련 주요 변수를 살펴봄과 동시에 운영비용 함수 모형의 접근방법에 대하여 살펴보았다.

2.1 국내외 선행연구

2.1.1 국내 연구

김종길(1997)의 연구에서는 서울 지하철 공사를 대상으로 초월대수 함수를 이용하여 비용함수를 추정하였다. 사용된 변수로는 노동, 동력, 유지관리가 사용되었으며, 그 결과 단기 비용함수의 경우 밀도의 경제성이 존재하는 것으로 나타났고 규모의 경제성은 미비하게 존재하는 것으로 나타났다.

권경숙(2001)의 연구에서는 지하철의 운행비용을 고정비용과 변동비용으로 분리하여 부분배정법을 사용하여 모형을 개발하였다. 연구의 주요 변수로는 열차-km, 침두차량대수,

노선-km, 전체수입이 사용되었으며 배분을 결정에는 단순회귀분석과 다중회귀분석이 사용되었다. 연구 결과 기존에 사용되던 완전 배정법보다 서비스의 변화나 대안 설정에 민감하게 반응할 수 있다는 점을 밝혔다.

2.1.2 국외 연구

McGeehan(1993)은 1973~1983년 아일랜드 철도산업에 대한 분기별 자료를 이용하여 초월대수 함수형태의 변동비용함수모형을 추정한 후 아일랜드 철도산업의 비용구조와 생산성을 분석하였다. 이때 준고정요소는 궤도연장을 이용하였고, 시간추세변수를 함께 고려하였다. 분석결과 승객과 화물운송부문에 밀도와 규모의 경제가 존재하는 것으로 나타났다.

Cantos and Maudos(2000)는 유럽 OECD 철도의 효율성과 생산성을 확률적 비용변경 접근법을 이용하여 추정하였으며, 분석결과 경영 자율성과 재정 독립성 정도, 그리고 궤도연장당 화물 열차-km가 증가하면 비용 효율성은 증가하고 보조금 수준과 열차당 승객수 및 화물톤수가 증가하면 비용 효율성은 감소하는 것으로 나타났다.

2.2 비용함수 분석방법

2.2.1 통계적 접근법

통계적 방법은 계량경제모형을 활용하여 운영비용과 운영비용 발생요인들과의 관계를 분석하는 방법이다. 통계적 방법을 적용하기 위해서는 우선 운영비용과 운영비용을 발생시키는 요인과의 관계를 나타내는 비용함수의 형태를 결정하여야 한다. 함수의 구체적인 형태는 일반적으로 Cobb-Douglas 함수, CES(constant elasticity of substitution)함수, 트랜스로그 함수(translog function) 등을 사용하고 있는데 이 중에서 트랜스로그 함수가 가장 많이 활용된다. 이는 Cobb-Douglas 함수나 CES함수와 달리 트랜스로그 함수는 비용구조에 대한 제약과 가정을 최소화할 수 있기 때문이다. 트랜스로그 함수는 Taylo 2차 전개에 의하여 표현되기 때문에 생산요소나 산출물의 종류가 많아질수록 추정해야 할 계수는 기하급수적으로 증가한다. 따라서 생산요소나 산출물의 종류가 많아질수록 많은 통계자료가 필요할 수밖에 없는데 이는 트랜스로그 함수의 사용을 제약하는 요인이 되고 있다.

2.2.2 회계적 접근법

회계적 접근법은 철도의 운영비용을 설명할 수 있는 적합한 실적변수를 선정하여 각각의 실적변수별 가중치를 활용하여 실적변수에 운영비용을 배분하는 방법이다. 따라서 각 비용항목에서 발생한 운영비용을 실적변수에 얼마만큼 배분하

느냐를 결정하는 배분기준이 매우 중요하다. 따라서 자료는 운영기관의 내부 실적자료 등을 활용하는 것이 바람직하며 대부분의 연구에서 많이 사용하고 있는 방식이기도 하다.

회계적 접근법은 비용항목의 설정방식에 따라 다시 두 가지 방법으로 나누어진다.

- 완전배정모형: 전체 운영비용을 노선, 차량운행, 역사 등과 같이 비용을 발생시키는 요인항목을 설정하여 각각의 단위 비용을 이용하는 방식이다.
- 부분배정모형: 완전배정모형에서 선정한 비용항목을 고정비용과 변동비용으로 구분하여 분석하며, 전체비용에 대한 잠재적인 서비스 변화 등을 판단하고자 할 때 사용한다. 모형의 구조를 살펴보면 고정비용은 잠재적 서비스에는 민감하게 변화를 보이지 않으므로 제외하고 변동비용에 대해서 배분하는 형태이다.

2.2.3 공학적 접근법

공학적 접근법은 운영에 필요한 세부항목을 정의하고 그 항목에 대한 비용을 합산하여 전체 운영비용을 도출하는 방식이다. 이 방법은 주로 새로운 시스템이나 완전히 새로운 서비스의 도입 등의 경우에 활용되는 경우가 많다.

일반적으로 철도의 운영비용합수를 분석하는데 가장 바람직하다고 여겨지고 있는 공학적 방법은 공학 및 기술적인 자료나 또는 생산합수에 의한 추정치로부터 생산과 비용관계를 합성하는 방법이다. 공학적 방법의 가장 큰 장점은 투입 및 산출관계에 기초하므로 비용특성을 보다 명확하게 파악할 수 있고, 시계열자료를 이용할 수 없는 경우에도 비용을 추정할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 공학적 방법은 비용이 많이 소요되고, 또한 필요한 자료를 수집하는데 전문적인 지식이 필요하기 때문에 이용이 제한적인 단점을 가지고 있다.

Table 1. The collection data from the line 1st~8st

구 분	Operation time(min)	Headway(min)	Quantity of operation	Quantity of possessed motor car	Route length(km)	Quantity of station
1st	15	3	602	120	7.8	9
2st	87	3	577	640	48.8	43
3st	62	3	440	380	35.2	31
4st	53	3	530	380	31.7	26
5st	83	3	489	117	52.3	51
6st	70	4	365	55	35.1	38
7st	87	3	430	96	46.9	42
8st	31	5	348	30	17.7	17

자료 : 지하철공사, 도시철도공사 내부자료, 연도별(2001년~2005년)

3. 비용합수 분석방법 설정

3.1 투입변수 선정

모형개발 시 다중공선성이 있는 변수들이 다수 존재하므로 이에 대한 사전 검증을 실시하였으며, 최종변수 선정시 4가지의 선정근거를 설정하여 모형 도출의 투입변수를 선정하였다.

첫 번째 도시철도 운영비용의 설명력이 우수해야 한다. 두 번째 변수들 간의 독립성이 확보되어야 한다. 세 번째 통계적 모형의 투입변수로 적합하여야 한다. 넷 번째 도시철도 사업시 고려변수이어야 한다.

3.2 모형 도출방법 설정

앞서 살펴본 통계학적 방법, 회계학적 방법, 그리고 공학적 방법의 장단점을 고려하여 본 연구의 목적과 조화를 이루는 운영비용 모형 개발방법을 적용하였다.

도시철도 운영에 관련된 비용합수는 도시철도의 기본 및 실시시설에서 비용측면에서 고려도 가능하나, 본 연구에서 도출된 모형은 도시철도의 운영특성을 바탕으로 향후 도시철도 운영계획 수립을 위한 기초자료로 활용이 가능하다. 따라서, 본 연구에서는 회계학적인 방법보다는 도시철도 운영비용(종속변수 : Y)과 이에 영향을 주는 운영특성변수(독립변수 : X) 간의 인과관계 파악이 용이한 통계분석을 적용하였다.

3.2.1 수집변수들의 기초 분석

운영요인에 따른 각 호선별 운영비용은 운행시간(침두), 배차간격(침두), 운행횟수(평일), 차량소요수 등 운영비용의 변화를 살펴보았다.

수집자료의 기초통계 분석 결과인 <표 1>을 살펴보면 2호선의 운행시간이 가장 높은 것으로 분석되었다. 시설물에 따른 각 호선별 운영비용을 나타내는 <표 2>를 살펴보면 2호선과 5호선이 높은 운영비용을 보이는 것으로 나타났으며, 1호선의 경우 배차간격 및 운행횟수 대비 운영비용이 다른 호선에 비하여 월등히 높은 것으로 나타났다.

Table 2. The operation cost of facility

구분	Operation cost/ Route length	Operation cost/ Quantity of station	Operation cost/ Distance between station	Operation cost/ Operation time	Operation cost/ Headway	Operation cost/ Quantity of operation	Operation cost/ Quantity of holding motor car
1st	910	0.08	0.09	0.01	117	101	1,011
2st	3,430	0.49	0.43	0.01	70	80	3,118
3st	2,268	0.35	0.31	0.01	64	73	2,062
4st	2,022	0.32	0.26	0.01	64	78	1,685
5st	2,290	0.52	0.51	0.01	44	45	2,290
6st	1,543	0.35	0.38	0.01	44	41	1,714
7st	1,977	0.47	0.42	0.01	42	47	1,797
8st	683	0.18	0.17	0.01	39	40	683

자료 : 지하철공사, 도시철도공사 내부자료, 연도별(2001년~2005년)바탕으로 산출

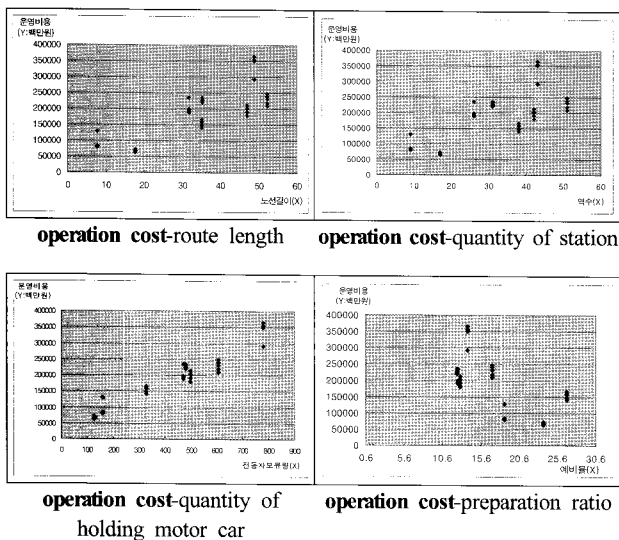


Figure 1. Result of scarrer plot

3.2.2 변수 선정 결과

변수들간의 삼점도 분석을 실시하여 운영비용과 선형성을 나타내는 변수를 선정하였다. 다음으로 선정되어진 변수들을 토대로 상관 분석을 실시하여 6개의 변수(노선길이, 역수, 전동차 보유량, 차량소요대수_침두, 예비율)를 최종 분석 변수로 선정하였다.

최종 도출되어진 변수들을 살펴보면 노선 길이와 운행횟수는 열차_km항목변수를 설명할 수 있으며 차량소요대수는 도시철도의 수송수요를 간접적으로 설명할 수 있는 변수이다. 그리고 역수와 차량소요대수_침두 변수를 이용하여 배차간격을 설명할 수 있으며 또한 운수수입의 간접설명이 가능한 것으로 판단된다. 그 외 전동차 보유량과 예비율의 경우 선정되지 않은 다른 변수들을 설명할 수 있는 독립적인 변수로서 도시철도 운영비용을 설명할 수 있는 변수로 포함되었다. 이러한 변수들간의 상관관계 및 산점도 분석결과는 <표 3>과 같다.

Table 3. Selected the final variable

The final variable	Relationship Item	Result of scarrer plot
Route length(km)	Motor car_km, Operation time, Distance between station, Operation cost	○
Quantity of station	Operation revenue, Carriage demand, Distance between station, Operation cost	○
Quantity of holding motor car	Average headway, Operation cost	○
Quantity of possessed motor car	Motor car_km, Distance between station, Operation cost	○
Preparation ratio	Operation cost	△
Quantity of Operation	Carriage demand, Headway, Operation cost	○

4. 비용함수 모형의 개발 및 실증분석

4.1 모형의 구성

도시철도 운영비용 함수 모형은 장래 도시철도구간의 확장 및 건설시 예상되는 운영비용을 산출하기 위한 모형을 구축하는 것이 주요 목적이다. 따라서 도시철도 운영비용 함수 모형에 설명변수들은 운영비용과 밀접한 관계를 가지고 있어야 하며 설명력이 있어야 한다. 따라서 독립변수의 경우 앞서 변수의 선정에서 도출되어진 종속변수와 높은 연관성을 가지고 있는 변수로 설정하였다.

회귀분석의 방법은 독립변수들의 진입과 진출을 반복하여 최적의 독립변수로 구성되어진 모형을 도출하는 단계별 입력 방식인 Stepwise 방식을 이용하였으며, 최종 도출되어진 모형의 설명력과 각각의 독립변수가 의미하는 계수의 부호와 값의 의미를 살펴보았다.

$$y_i = f[\text{노선길이, 역수, 운행횟수 평일, 차량소요침투, 예비율, 전동차보유량}]$$

y_i : 전체 회귀모형의 운영비용

4.2 비용함수 모형의 도출 결과

전체회귀모형은 앞서 설정되어진 독립변수들을 모두 고려하여 모형을 도출하였으며 3개의 모형이 도출되었다. 그 중 3번 모형이 가장설명력 있는 모형으로 도출되었으며, 분석되어진 모형의 결과인 <표 4>를 살펴보면 다음과 같다.

모형의 설명력을 나타내는 R^2 의 경우 0.89로 나타나 모형의 설명력은 다소 높은 것으로 분석되었다. 분산분석에서 제곱합(Sum of Squares)은 종속변수의 지승합을 모형이 설명해주는 부분과 설명해주지 않는 부분으로 나눈 값으로서 모형의 설명력이 통계적으로 유의한가를 판단하는 결과로 전체 회귀모형의 경우 유의수준 5%내에서 매우 유의한 것으로 나타났다. 회귀모형의 계수는 총 6개의 독립변수가 투입되어진 입과 진출을 반복하여 3개의 유의한 변수가 도출되었다.

유의한 변수를 살펴보면 전동차보유량과 차량소요_침투

Table 4. result of analysis

■ Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
3	0.91	0.89	0.85	16,746.55

■ ANOVA

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
3	Regression	260E+9	3	86E+9	309.53	0.00
	Residual	10E+9	36	280E+6		
	Total	270E+9	39			

- a. Predictors: (Constant), Quantity of holding motor car, Quantity of possessed motor car_peak, Quantity of station
- b. Dependent Variable: Operation cost

■ Coefficients

Model	Unstd. Coeffi.		Std. Coeffi.	t	Sig.	
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	19,076	7,891		2.41	0.02	
3	Quantity of holding motor car	169	72.37	0.42	2.34	0.02
	Quantity of possessed motor car_peak	178	43.74	0.43	4.07	0.00
	Quantity of station	1,752	808.21	0.28	2.16	0.03

- a. Dependent Variable: Operation cost(Y)

그리고 역수로 나타났으며, 변수의 계수 값은 모두 5%의 신뢰수준내에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

계수 추정치의 오차(Std. Error)를 살펴보면 전동차보유량은 72.37, 차량소요_침투는 43.74 그리고 역수는 808.21로 도출되었으며, 계수값의 상대적인 크기를 비교하여 보았을 때 차량소요_침투의 추정오차가 가장 작은 것으로 나타났다.

4.3 운영비용 모형실증 분석

도출되어진 최종계수값을 정리한 <표 5>를 살펴보면, 독립변수들로 설명할 수 없는 운영비용의 크기는 19,076.63으로 나타났으며, 전동차보유량이 운영비용을 설명하는 크기는 169.53으로 분석되었다. 이와 같은 방식으로 차량소요_침투와 역수의 설명력은 각각 178.41와 1,752.15로 나타났다.

표준화된 계수값을 이용하여 도출되어진 운영비용 모형에서 가장 높은 설명력을 가지고 있는 항목을 살펴보면 차량소요_침투가 0.43로 가장 높은 것으로 나타났으며, 다음으로 전동차보유량과 역수 순으로 나타났다.

계수값의 부호를 살펴보면 모두 도시철도운영비용 모형과의 관계를 가지는 것으로 나타났다. 이는 전동차 보유량 1단위 증가시 전체 운영비용은 169.53만큼이 증가한다는 것을 의미한다.

이러한 계수값의 타당성을 살펴본 결과 전체 회귀모형의 도출결과는 타당한 모형인 것으로 판단되며, 최종 선정되어진 독립변수의 종류 또한 운영비용을 설명하기에 가장 적합한 조합인 것으로 판단된다.

4.4 모형의 적용성 평가

4.4.1 모형의 적용

모든 모형은 주어진 데이터의 추세 및 현상을 설명하는 것으로서 그 모형이 어느 정도의 정확성을 지니고 있는지에 대한 검증이 필요하다. 검증방법을 살펴보면 다음과 같다. 첫째 모형의 적합성 검증은 Theil¹⁾ 부등계수, MPB²⁾, MAD³⁾를 이용하였으며, 둘째, 검증용 자료는 2006년 서울시 도시철도운영비용을 이용하였다. 마지막으로 검증대상 모형은 기존의

Table 5. Model's Coefficients

Variable	Coefficients	Standard Coefficients	Sign
(Constant)	19,076.634		+
Quantity of holding motor car	169.530	0.424	+
Quantity of possessed motor car_peak	178.416	0.438	+
Quantity of station	1,752.157	0.283	+

철도투자편람에서 제시한 모형과, 본 연구에서 제시한 선형 회귀모형을 검증하였다.

4.4.2 모형의 검증 결과

모형의 검증결과를 나타내는 <표 6>을 살펴보면 다음과 같다. 모형의 설명력을 나타내는 Theil의 부등계수 경우 0.23으로 나타난 반면 예비타당성 지침의 회계적 방법의 경우 Theil의 부등계수가 0.25로 나타났다. 이는 선형 회귀모형보다는 낮은 적용성을 가지는 것을 의미한다. 또한 결과값의 치우침 정도를 나타내는 MPB와 예측값이 평균적으로 얼마만큼 잘못되었는지를 나타내는 MAD에서도 본 연구의 운영비용함수가 다소 우수한 것으로 나타났다.

이는 예비타당성지침에서 제시된 함수는 각각의 도시철도 자료를 바탕으로 산출되어야 하지만 자료수집의 한계로 인하여 실제 운용비용 값과 예측되어진 운용비용 값에서 다소 차이를 보이는 것으로 판단된다.

5. 결론 및 향후 연구과제

5.1 연구의 결론

본 연구에서는 서울지하철 1~8호선 운영관련 자료들의 특성 및 운영에 영향을 미치는 요소들 간의 상호관계를 살펴보고, 이를 바탕으로 도시철도의 유형별 운영비용 함수를 개발하였다. 본 연구의 결과는 다음과 같다.

첫 째, 서울지하철의 운영사례에서 나타난 도시철도 운영비에 영향을 줄 수 있는 요소들을 모두 추출한 결과 총 6개의 주요변수(노선길이 역수, 잔동차 보유량, 차량소요대수, 예비율 및 운행횟수)가 선택되었다. 둘째, 이를 바탕으로 선형회귀모형을 도출하였으며 이렇게 도출되어진 모형 검증결과 예

비타당성지침에서 제시한 철도운영비용 추정함수보다는 다소 높은 추정력을 가지는 것으로 나타났다.

본 연구에서 제시한 운영비용함수를 구성하는 독립변수들은 도시철도 사업 수행시 쉽게 수집할 수 있는 변수들로 구성되어 있어 기존의 예비타당성 지침의 회계적 분석방법보다 우수한 모형의 전이성을 보이는 것으로 판단된다.

본 연구의 결과는 향후 예비타당성 조사 및 기본계획이나 실시 설계시 수행되는 타당성 조사에 활용됨으로써 도시철도의 투자우선순위나 정책 결정과정에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

5.2 향후연구과제

본 연구의 향후 연구과제는 크게 두 가지로 구분되어 진다. 첫 번째는 연구의 자료 수집 및 데이터의 한계성이다. 본 연구는 서울시 지하철의 상대적 특성을 반영한 운영비용을 제시하고 있어, 타 지자체에서 운영 중인 다양한 시스템 및 상하 분리 운영과 같은 방식의 운영비와 비교 검토를 통한 도시철도 운영비용 함수의 효용성을 검증할 필요가 있다.

두 번째로 운영비용 자체의 특성을 반영하지 못하였다. 이는 자료 수집의 한계로 인하여 운행 및 유지관리비로 대표되는 인건비 및 운영기관의 부채와 수입등을 본 연구에서는 고려를 하지 못했다. 따라서 향후 이러한 비용항목에 대한 자료 수집을 통하여 상세한 분석이 이루어져 보다 정확한 운영비용을 추정할 수 있는 운영비용 함수에 대한 연구가 필요가 있다.

참고문헌

1. McGeehan, H, "Railway Costs and Productivity Growth", journal of Transport economics and Policy, Vol.27, 1993.
2. Cantos, P, Pastor, J.m, Serrano, L, "Productivity, efficiency and technical change in the european railways: A non-parametric approach. Transportation.
3. 하현구, 이경미(2002), "우리나라 철도산업의 비용특성에 관한 연구", 교통개발연구원.
4. 조성현(2004), "도시철도 운행비용모형의 개발 및 적용", 대전대학교.
5. 박정수(2007), "도시철도 운영비용모형 개발에 관한 연구", 한양대학교 도시대학원.

(2007년 10월 30일 논문접수, 2007년 11월 30일 심사완료)

표 6. Verification of the operation cost Models

	Our forecasting model	Preliminary Assessment's forecasting model
Theil	0.23	0.25
MPB	52,212	285,866
MAD	6,681	285,866

주 1) : 기존 연구의 예비타당성 표준지침의 운영 비용함수모형을 토대로 작성한 값임.

주 2) : 본 연구에서 개발한 모형은 선형모형과 비선형 모형을 제시함

- 1) 실측치와 관측치와의 차이를 비교하여 관측치가 실측치를 얼마나 잘 표현하고 있는가를 판단
- 2) 종속변수로 사용된 자료에 대해서 모형의 예측결과값이 어느 정도 어떻게 치우쳐 있는지를 판단
- 3) 모형의 예측값이 평균적으로 얼마나 잘못되었는지를 판단