

## 서울시 도시철도 운영비용 함수모형 개발

박 정 수\*

### A Development of the Operating Cost Function for Urban Railways in Seoul Metropolitan

Jung-Soo Park\*

**요약 :** 본 연구에서는 도시철도와 관련된 타당성조사의 정확성을 높이고 투자효율성을 향상시키기 위하여 도시철도의 운영비용을 추정할 수 있는 함수를 개발하고자 한다. 이를 위해 서울메트로와 서울도시철도공사의 운영실적을 바탕으로 서울지하철 1호선~8호선에 대한 사례분석을 통해 도시철도의 운영비용에 영향을 줄 수 있는 23개의 변수들을 추출하였으며 전문가 설문에 의한 선호도 누적빈도 분석 및 상관 분석, 공분산분석 등 통계적 방법을 활용하여 운영비용 함수 추정에 활용할 최종 독립변수를 선정하였다. 선정된 독립변수는 노선길이, 역수, 전동차보유량, 차량소요대수, 예비율 및 운행횟수 등이며 이러한 변수들이 도시철도운영비용에 어느 정도 영향을 미치는지에 대한 분석을 위하여 다변량통계분석 방법인 회귀 분석과 군집분석 등을 수행하였다. 검증결과 전체회귀모형이 예비타당성 표준지침에 의한 운영비용 추정값보다 더욱 정확한 도시철도 운영비용을 추정하는 것으로 나타났으며 특히 도시철도 특성을 그룹화하여 함수에 반영할 수 있도록 한 더미변수를 포함한 회귀모형이 가장 우수한 추정값을 보이는 것으로 나타났다. 이와 같이 개발된 도시철도 운영비용 함수는 향후 예비타당성 조사 및 기본계획이나 실시 설계시 수행되는 타당성조사에 활용됨으로써 도시철도의 투자우선순위나 정책결정과정에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

**주제어 :** 도시철도, 운영비용함수, 회귀분석, 군집분석, 타당성조사.

**ABSTRACT :** This study focused on a definition of the function, which can estimate the operating cost for urban railways, to improve the correct feasibility study and the investment efficiency related to urban railways. Based on the service results of Seoul Metro and SMRT(Seoul Metropolitan Rapid Transit Corp), the case study of Seoul Subway Line 1 to Line 8 was used to abstract the 23 variables which can affect the operating costs for urban railways, and to screen the last variable which can be used in the operating cost function estimation. Selected independence variables are line length, number of stations, number of rolling stocks, reserve rate, operating frequency. this study performed regression analysis, cluster analysis, for knowing how much these make an effect on urban railway operating cost. As a result of evaluation, the whole regression model is more effective than the model suggested by pre-feasibility guideline(KDI). Especially the regression model with dummy variable reflected urban railway character is most effective. This railway operating cost function for urban railways can be used to execute a future preliminary feasibility study, or a feasibility study for primary plan or actual designs. It is highly expected that it contributes to the decision stage for an urban railways investment priority and a policy.

**Key Words :** urban railway, operating cost, regression model, cluster analysis, feasibility study

\* 동양대학교 철도경영학과 교수(Professor, Department of Railroad Management, Dong-Yang University), E-mail: pajs65@empal.com, Tel: 054-630-1098.

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

최근 대도시에서는 자동차 대수 급증에 따른 교통 혼잡 및 대기오염문제 해결방안으로 도시철도 중요성이 증대되고 있는 실정이며, 현재 많은 대도시들에서 도시철도(Urban Railway) 및 경량전철(LRT)에 대한 건설을 계획 추진 중에 있다.<sup>1)</sup> 하지만, 대규모 투자비용이 투입되는 도시철도 및 경량전철 건설을 추진하기 위해서는 경제적 타당성 검증이 선행되어야 한다.

도시철도를 포함한 경량전철 건설시 투입되는 비용의 구성은 건설비, 용지비, 차량구입비, 운영비 등으로 이루어져 있으며, 운영비가 차지하는 비중이 지역간 및 광역철도에 비하여 상대적으로 높다.<sup>2)</sup> 현재 철도와 관련된 타당성 분석시 적용되고 있는 지침을 검토해 보면 교통수요예측에 대한 지침에 비해, 운영비용 함수 연구가 미흡한 실정이다. 따라서 철도투자 편람에서 제시하고 있는 지역간 및 광역철도의 운영비용 함수를 적용할 경우 비용이 과소 또는 과대 추정될 수 있어 도시철도 및 경량전철의 시스템 특성을 반영할 수 있는 운영비용 함수 개발이 필요하다.

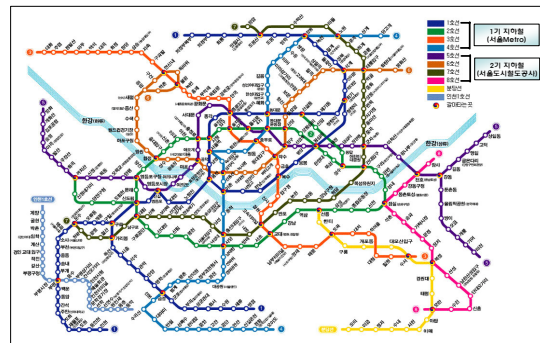
본 연구에서는 철도가 가지는 다양한 시스템 중 상대적으로 비용함수 연구가 상대적으로 미흡한 도시철도를 연구의 대상범위로 선정하였으며, 운영비용에 많은 영향을 미치는 변수들을 종합적으로 검토하여 운영비용 함수를 개발하였다.

도시철도 비용특성을 반영할 수 있는 변수들을

토대로 운영비용 함수를 개발한다면, 향후 도시철도 및 경량전철 사업의 타당성 평가에 많은 기여를 할 것으로 판단된다.

### 2. 연구의 범위

본 연구의 공간적 범위는 현재 서울을 중심으로 운영 중인 도시철도 1~8호선을 대상으로 진행한다.



〈그림 1〉 연구의 공간적 범위

본 연구의 시간적 범위는 도시철도의 건설이 완료된 시점인 2001년을 기준으로 하여 통계자료 취득이 가능한 2006년까지를 대상으로 한다.

### 3. 연구의 방법 및 절차

본 연구는 기존 운영비용 함수 산정방법의 한계점을 보완하기 위하여 다음과 같은 사항들을 연구의 주요내용으로 선정하였다.

- 국내외 운영비용 관련 선행연구 고찰을 통하

1) 1980년대 초 철도연장은 3,135km이며, 도시철도 연장은 40.7km였음. 하지만, 2000년대 접어들면서 도시철도는 411.5km로 10배이상 증가하였음(건설교통부, 각년도).

2) 서선덕(1995)을 포함한 다양한 운행비용함수의 연구에서 초기투자비용과 운행비용의 평균구성비를 각각 20~30%, 70~80%를 차지하고 있다고 언급하고 있음.

여 한계점을 도출하고, 착안점을 제시하였다.

- 선행연구고찰을 통해 선정된 변수들을 종합하고, 전문가설문(Expert Survey)조사를 실시하여 1차 변수를 선정한다. 최종변수 선정을 위해서 상관분석(Correlation Analysis), 다중공선성(Co-lineality) 검토를 수행하였다.
- 운영비용의 특성반영을 위하여 군집분석(Cluster Analysis)을 수행하고, 운영비용의 유형을 규명하여 모형 개발시 기초자료로 활용하였다.
- 운영비용에 영향을 미치는 변수들과의 인과관계 분석을 위해 단계별 다중회귀분석(Stepwise Multi-Regression)을 이용하여 운영비용 함수 모형을 개발하였다.
- 본 연구에서 개발되어진 운영비용 함수모형을 현재 운영 중인 노선(1~8호선)에 적용하여 모형의 적용성을 평가 및 검토하였다.

## II. 선행연구 고찰 및 착안점 도출

### 1. 국내연구 철도운영비용 연구 고찰

국내 및 국외의 도시 철도 비용 관련 연구를 고찰하여 도시철도 운영비용 관련 연구의 주요변수 및 접근방법에 대해 살펴보았다. 하지만, 현재 국내의 도시철도와 관련된 비용함수 개발은 미흡한 상태이다.

김종길(1997)의 연구에서는 서울 지하철공사(1~4호선: 1976년~1995년 자료)를 대상으로 초월대수함수를 이용하여 비용함수를 추정하였다.

운영비용함수 개발시 사용된 변수는 노동, 동력, 유지관리가 사용되었으며, 그 결과 단기비용함수의 경우 밀도의 경제성이 존재하는 것으로 나

타났고 규모의 경제성은 미비하게 존재하는 것으로 나타났다.

권경숙(2001)의 연구에서는 서울 지하철(1~4호선: 1989년~1999년 자료)의 운행비용을 고정비용과 변동비용으로 분리하여 부분 배정법을 사용하여 모형을 개발하였다. 운영함수 개발시 사용된 변수는 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 내용을 밝혔다.

### 2. 국외연구 철도운영비용 연구 고찰

국외의 도시철도 관련 연구는 국내에 비해 더욱 미흡한 것으로 나타나, 가장 대표적인 철도의 비용함수 모형개발 연구위주로 정리하였다.

McGeehan(1993)은 1973년~1983년 아일랜드 철도산업에 대한 분기별 자료를 이용하여 초월대수 함수형태의 변동비용함수 모형을 추정하였으며, 추정한 모형을 바탕으로 철도산업의 비용구조와 생산성을 분석하였다.

이때 준고정요소는 궤도연장, 시간추세변수를 고려하였다. 분석결과 여객과 화물수송부문별로 밀도와 규모의 경제가 존재하는 것으로 나타났다.

Cantos and Maudos(2001)는 유럽 경제개발협력기구(OECD) 철도의 효율성과 생산성을 확률적 비용변경 접근법을 이용하여 추정하였다. 분석결과, 경영 자율성과 재정 독립성 정도, 궤도연장당 화물 열차-Km가 증가하면 비용 효율성은 증가하고 보조금 수준과 열차당 승객수 및 화물톤수가 증가하면 비용효율성은 감소하는 것으로 나타났다.

### 3. 연구의 착안점

국내 및 국외의 운영비용 함수 관련 연구와 문헌을 토대로 다음과 같은 연구의 착안점을 도출하였다.

첫째, 기존의 운영비용 산정방법은 도시철도 및 경량전철의 다양한 특성을 반영할 수 있는 현실적인 함수 형태를 가지고 있지 못하여, 도시철도 시스템 특성을 반영할 수 있는 운영비용 함수를 개발하였다. 이는 향후 추가적으로 건설될 도시철도나 경량전철의 운영비용 산정에 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

둘째, 도시철도의 특성을 잘 반영할 수 있는 운영비용 함수의 개발을 위해서는 도시철도의 환경변화를 고려하는 비용항목의 추가 고려가 필요하다.

본 연구에서는 기존 문헌 고찰과 도시철도의 환경 변화 및 사회적인 이슈에 대한 연구를 통하여 운영비용에 영향을 줄 수 있는 다양한 항목을 선정하고 이를 운영비용 산정에 포함시킬 수 있는 함수를 개발하였다.

## III. 자료 수집 및 특성 분석

### 1. 분석자료 개요

#### 1) 1기 지하철 자료 개요

1기 지하철은 1호선~4호선까지 총 4개 노선(총연장 134.9km, 역이 117개)으로 구성되어 있다. 운영주체는 서울메트로이며, 자세한 내용은 <표 1>과 같다.

#### 2) 2기 지하철 자료 개요

2기 지하철은 5호선~8호선까지 총 4개 노선(총연장 152.0km, 역이 147개)으로 구성되어 있다.

<표 1> 1기 지하철 운행현황

구분		계	1호선	2호선	3호선	4호선
구간		-	서울~ 청량리	시청~ 시청	지축~ 수서	당고개~ 남태령
영업거리(km)		134.9	7.8	60.2	35.2	31.7
역수(개)		117	10	50	31	26
소요시간(분)		16~87	16	107	62	53
보유차량수(량)		1,944	160	834	480	470
열차편성수 (1편성당 량수)		199 (4~10)	16 (10)	88 (4~10)	48 (10)	47 (10)
열차주행키로 (천km)		22,245	2,133	9,604	5,304	5,204
운 행 횟 수	평 일	2,605	604	1,031	440	530
	토요일	2,430	580	919	421	510
	일요일(휴)	2,173	554	842	355	422

자료: 서울메트로, 2007, 내부자료.

다. 운영주체는 서울도시철도공사이며, 자세한 내용은 <표 2>와 같다.

<표 2> 2기 지하철 운행현황

구분	계	5호선	6호선	7호선	8호선	
구간	-	방화~ 상일동 / 마천	응암~ 봉화산	장암~ 온수	암사~ 모란	
영업거리(km)	152.0	52.3	35.1	46.9	17.7	
역수(개)	148	51	38	42	17	
소요시간(분)	31~87	83/87	70	87	31	
보유차량수(량)	1,561	608	328	499	126	
열차편성수 (1편성당 량수)	200 (6~8)	76 (8)	41 (8)	62 (8)	21 (6)	
열차주행키로 (천km)	21,535	7,962	4,189	7,108	2,276	
운 행 횟 수	평일	1,511	458	336	405	312
	토요일	1,269	370	279	350	270
	일요일(휴)	1,269	370	279	350	270

자료: 서울도시철도공사, 2007, 내부자료.

## 2. 운영비용함수의 특성 분석

### 1) 계층군집분석을 이용한 운영비용 특성분석

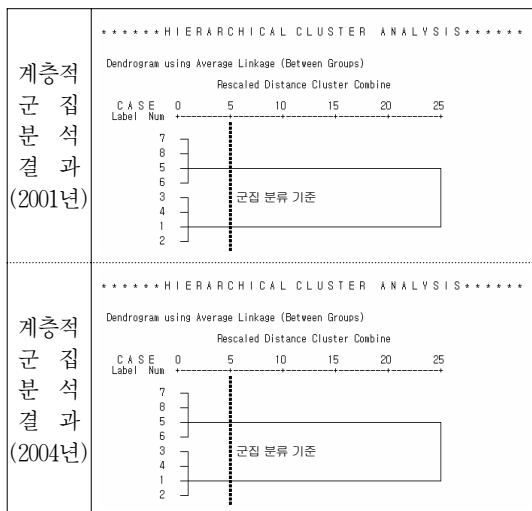
2001년~2005년 전 노선에 대한 운영비용을 군집화한 결과를 살펴보면 모두 2개의 군집으로 구분된다. 군집화된 형태를 살펴보면 Group1의 경우 1, 2, 3, 4 호선으로 나타났으며, Group2의 경우 5, 6, 7, 8호선으로 나타났다.

군집화된 형태는 현재 서울시의 1기 지하철과 2기 지하철로 구분되어지며, 이는 두 운영회사의 운영상의 차이 및 기타 여러 영향요인 때문인 것으로 판단되었다.

자세한 계층적 군집분석결과는 <표 3>, <그림 2>와 같다. 운영비용 함수 모형 개발시 운영주체의 특성을 고려한 모형개발이 필요한 것으로 나타났다.

<표 3> 2001년~2005년 서울시 지하철 운영비용 군집분류결과

구분	Group1	Group2
호선	1,2,3,4 호선	5,6,7,8 호선



<그림 2> 2001년, 2004년 서울시 지하철 운영비용 군집분석 결과

### 2) 지하철 운영비용 자료의 분포검증

모형의 도출과정에서 사용할 통계분석 기법은 다변량분석기법으로 자료의 분포검증(K-S Test)이 필요하다. 따라서 지하철 운영비용의 분포특성을 파악하기 위하여 Kolmogorov-Smirnov 검증을 이용하였으며, 유의수준 값이 0.588로 나타나 신뢰수준 95%이내에서 귀무가설을 채택함으로써 “지하철 운영비용 자료는 정규분포를 따른다.”라고 판단할 수 있다.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		운영비용(Y)
N		40
Normal Parameters <sup>a,b</sup>	Mean	189040.80
	Std. Deviation	83285.791
Most Extreme Differences	Absolute	.122
	Positive	.122
	Negative	-.102
Kolmogorov-Smirnov Z		.773
Asymp. Sig. (2-tailed)		.588

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

## 3. 모형 개발을 위한 최종변수 선정

### 1) 전문가 설문을 통한 1차 변수 선정

기존 연구 및 문헌들을 토대로 다음과 같은 26개의 변수들을 도출하였으며, 자세한 내용은 <표 4>와 같다.

### 2) 전문가 설문을 조사

#### (1) 전문가 설문조사 개요

운영비용에 관한 객관적인 변수 선정을 위하여 철도관련 전문가를 대상으로 설문조사를 실시하였다.

설문의 회수 및 신뢰성을 최대한 확보하기 위

〈표 4〉 선행연구 고찰을 통한 변수종합

종속변수(Y) (Dependent Variable)	독립변수(X) (Independent Variable)
도시철도 운영비용	- 노선길이 - 역수
	- 동력 - 장비 및 자재
	- 배차간격 - 운행횟수
	- 열차-Km - 수송효율
	- 예비율 - 전동차보유량
	- 수송수요 - 운수수입
	- 시간추세 - 노동
	- 운행시간 - 자본
	- 수송밀도 - 평균역간거리
	- 유지보수 - 연료
	- 차량소요대수 - 지역터미
	- 인-Km - 스크린도어 설치개수
	- 연도터미 - 기술변수

하여 2007년 5월 2일 대학원 석사과정 10명, 박사과정 5명을 대상으로 예비설문조사(Pilot Survey)를 실시 후, 이 과정에서 나타난 설문조사의 문제점을 보완 및 수정을 하여 최종설문지를 작성하였다.

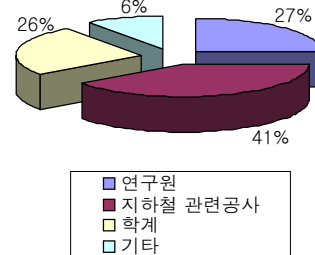
이렇게 작성된 최종설문지를 토대로 2007년 5월 3일~7일까지 설문조사를 실시하였다. 설문조사는 학계(석사이상), 전문연구기관(한국교통연구원, 철도기술연구원등), 지하철 관련공사, 기타 Engineering 회사에 종사하는 전문가를 대상으로 하였다.<sup>3)</sup>

#### (2) 조사 자료의 분석

전문가 조사 설문의 배포수 및 회수율은 다음의 〈표 5〉와 같다.

〈표 5〉 전문가 설문조사 배포수 및 회수율

구분	배포 설문지 수	회수 설문지수	회수율(%)
연구원	25	22	88
지하철공사	40	34	85
학계	25	21	84
기타	10	5	50
합계	100	82	82

구성비(%)  
Pie graph

#### 3) 누적빈도분석을 이용한 1차 변수의 선정

조사한 설문은 다중빈도분석을 실시하였으며, 85% 누적<sup>4)</sup> 변수를 고려하여 지하철 운영비용에 영향을 미치는 요인을 선정하였으며 다음의 〈표 6〉과 같다.

#### 4) 상관 및 다중공선성 분석을 통한 변수의 선정

본 연구에서는 운영비용에 영향을 미치는 변수를 선정하기 위하여 상관분석을 사용하였으며, 상관분석 수행결과 0.6이상의 상관관계<sup>5)</sup>를 가지는 변수를 도시철도 비용함수 개발시 적용하였다.

상관분석 결과 운영비용에 전반적으로 양(+)의 관계를 가지는 것으로 나타났다. 운영비용에 가장 많은 영향을 미치는 변수로는 열차-km(0.923)이며, 가장 낮은 영향을 미치는 변수는 운행횟수

3) 변수 선정이 중요하게 다루어진 최근 연구들을 토대로 살펴보면 30명 이상을 대상으로 시행한 경우 신뢰성이 확보된다고 언급하고 있음(김태호 외, 2007; 윤상훈 외, 2007).

4) 김태호 외(2007)의 연구에서 설정한 변수추출 방법을 준용하여 적용함.

5) 김은정 외(2001)의 상관계수를 해석할 경우 작성된 분류기준표를 참고하였으며, 상관계수의 값이 0.6 이상의 경우 상관관계가 높다고 판단할 수 있음.

〈표 6〉 영향변수 누적빈도분석 결과 종합표

영향 변수	빈도수	구성비 (%)	누적구성비 (%)
운행시간	64	9.76	9.76
운행횟수	56	8.54	18.30
배차간격	48	7.32	25.62
전동차보유량	48	7.32	32.94
열차-Km	42	6.40	39.34
역수	40	6.10	45.44
예비율	40	6.10	51.54
수송수요	40	6.10	57.64
차량소요대수	38	5.79	63.43
노선길이	34	5.18	68.61
평균역간거리	32	4.88	73.49
시간추세	32	4.88	78.37
운수수입	24	3.66	82.03
스크린도어설치개수	22	3.35	85.38
인-km	12	1.83	87.21
유지보수	11	1.68	88.89
지역터미	10	1.52	90.41
장비 및 자재	9	1.37	91.78
수송효율	9	1.37	93.15
기술변수	8	1.22	94.37
노동	8	1.22	95.59
동력	8	1.22	96.81
연료	7	1.07	97.88
자본	5	0.76	98.64
수송밀도	5	0.76	99.4
연도터미	4	0.60	100
합계	656	100	-

주) 음영부분은 누적 85%까지 고려하여 선정된 변수들임.

일요일(-0.068)로 나타났다.

상관분석을 통한 변수의 선정 결과는 총 23개의 변수 중 8가지 변수(운행횟수, 배차간격\_비첨두, 평일운행횟수)를 제외한 16가지 변수가 운영비용에 영향을 미치는 변수로 선정되었다. 변수 선정 결과는 〈표 8〉과 같다.

〈표 7〉 상관관계 분석 결과

종속변수 독립변수		운영비용	상관관계 판단
노선길이*		0.801	○
역수*		0.719	○
운행시간	첨두	0.782	○
	비첨두	0.765	○
평균역간거리*		0.572	○
배차간격	첨두	0.678	○
	비첨두	0.132	×
운행횟수	평일	0.382	×
	토요일	0.274	×
	일요일	-0.068	×
평일 운행횟수	오전 첨두	0.505	○
	오후 첨두	0.492	×
	비첨두	0.264	×
열차-Km*	평일	0.923	○
	토요일	0.898	○
	일요일	0.838	○
차량소요 대수*	첨두	0.798	○
	비첨두	0.706	○
예비율		0.613	○
전동차보유량		0.965	○
수송수요*		0.908	○
운수수입*		0.662	○
스크린도어 설치개수		0.360	×

주) ○: 상관관계 다소 높음, △: 상관관계 다소 있음.  
×: 상관관계 거의 없음, \*: 다중공선성이 있는 변수임.

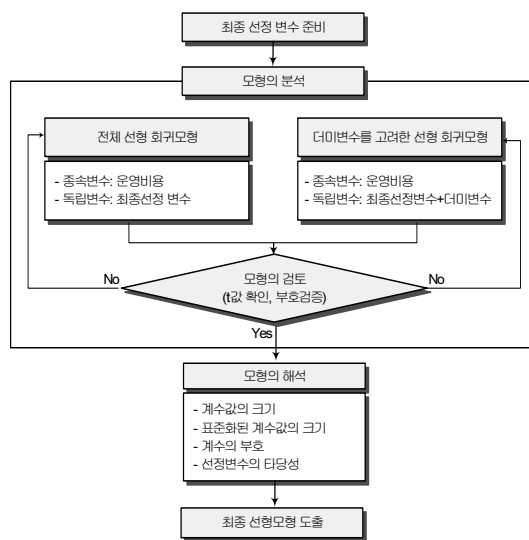
〈표 8〉 전문가 설문 및 상관분석을 통한 변수선정 결과

종속변수(Y) (Dependent Variable)	독립변수(X) (Independent Variable)
도시철도 운영비용	- 노선길이 - 열차-Km_평일
	- 역 수 - 열차-Km_토요일
	- 운행시간_첨두 - 열차-Km_일요일
	- 운행시간_비첨두 - 차량소요대수_첨두
	- 평균역간거리 - 차량소요대수_비첨두
	- 배차간격_첨두 - 예비율
	- 전동차보유량 - 수송수요
	- 운수수입 - 운행횟수

주) 노선길이, 역수 ⇔ 평균역간거리 다중공선성이 있음.  
수송수요 ⇔ 운수수입 ⇔ 열차-km 다중공선성이 있음.

#### IV. 운영비용 함수의 모형개발 및 검증

본 단락에서는 선형분석을 이용하여 도시철도 운영비용을 도출하고자 하였다. 모형의 단계별 입력방식을 이용한 다중회귀모형과, 더미변수를 이용회귀모형을 도출하였으며, 모형개발의 전반적인 흐름은 <그림 3>과 같다.



<그림 3> 운영비용 함수 모형개발 흐름도

##### 1. 모형의 개발방법

도시철도 운영비용 함수 모형은 장래 도시철도 구간의 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.

이러한 사항을 고려하여 도시철도 운영비용 함수 도출시 다중회귀모형과 더미변수를 고려한 회귀모형으로 구분하여 모형을 도출하였다.

그리고 변수의 설정시 독립변수의 경우 앞서

변수의 선정에서 도출되어진 종속변수와 높은 연관성을 가지고 있는 변수로 설정하였다. 더미변수의 경우 앞서 군집분석을 통하여 도출되어진 도시철도 유형을 더미변수로 설정하여 분석하였다.

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

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

$$y_d = f[\text{노선길이, 역수, 운행횟수 평일, 차량소요점두, 예비율, 전동차보유량, dummy(유형)}]$$

$y_t$  : 전체회귀모형의 운영비용

$y_d$  : 더미변수를 이용한 회귀모형의 운영비용

##### 2. 전체회귀모형

앞서 설정되어진 독립변수들을 모두 고려하여 전체회귀모형을 도출하였으며 모형의 도출결과는 다음과 같다.

전체회귀모형을 요약해 보면 단계별 분석방법으로 3개의 모형이 도출되었으며 그 중 3번 모형이 가장 설명력 있는 모형으로 도출되었다.

모형의 설명력을 나타내는  $R^2$ 의 경우 0.89로 나타나 모형의 설명력은 다소 높은 것으로 분석되었다. 분산분석에서 제곱합(Sum of Squares)은 종속변수의 자승합을 모형이 설명해주는 부분과 설명해주지 않는 부분으로 나눈 값으로서 모형의 설명력이 통계적으로 유의한가를 판단하는 결과로 전체회귀모형의 경우 유의수준 5%내에서 매우 유의한 것으로 나타났다.

회귀모형의 계수는 총 6개의 독립변수가 투입



〈표 9〉 모형의 요약

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

a. Predictors: (Constant), 전동차보유량, 차량소요\_\_첨두, 역수

되어 진입과 진출을 반복하여 총 3개의 유의한 변수가 도출되었다. 유의한 변수를 살펴보면 전동차보유량과 차량소요\_\_첨두 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\_\_첨두는 43.74 그리고 역수는 808.21로 도출되었으며, 계수값의 상대적인 크기를 비교하여 보았을 때 차량소요\_\_첨두의 추정오차가 가장 작은 것으로 나타났다. 회귀계수를 이용하여 회귀방정식을 도출하면 다음과 같은데 계수 아래 괄호안의 숫자는 계수 t통계량 값이다.

$$Y = 19,076.634 + 169.530X_1 + 178.416X_2 + 1,752.15X_3, \quad R^2 = 0.89$$

(2.343)      (4.078)      (2.168)

$Y$ : 도시철도 운영비용

$X_1$ : 전동차보유량

$X_2$ : 차량소요\_\_첨두

$X_3$ : 역수

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

〈표 10〉 개발된 모형의 결과 비교 및 요약표

항목	계수값	표준화된 계수값	부호
(Constant)	19,076.634		+
전동차보유량	169.530	0.424	+
차량소요__첨두	178.416	0.438	+
역수	1,752.157	0.283	+

### 3. 운영주체 더미변수를 고려한 회귀모형

더미변수를 고려한 회귀모형은 전체회귀모형에서 최종적으로 선정되어진 변수와 유형을 고려한 변수를 이용하여 도출하였다.

도시철도 운영특성별 유형을 고려한 더미변수를 사용하여 회귀모형을 도출하였다. 모형의 요약 을 살펴보면 모형의 설명력( $R^2$ )은 0.90으로 매우 높게 나타났으며 앞서 도출되어진 전체회귀모형의 설명력과는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

분산분석결과 또한 모형이 설명할 수 있는 분산의 크기와 설명할 수 없는 분산의 크기를 나눈 값은 신뢰수준 5%내에서 유의한 것으로 나타나 모형의 설명력에 대한 통계적 검증은 타당한 것으로 판단되어진다.

〈표 11〉 모형의 요약

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
3	0.91	0.90	0.88	16,676.30225

전체회귀모형에서 검증되어진 전동차보유량과 차량소요\_\_첨두 그리고 역수와 도시철도 유형을 구분할 수 있는 유형 더미변수를 이용하여 회귀분석을 실시한 모형의 계수값은 5%의 신뢰수준내에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

도출되어진 계수 추정치의 오차(Std. Error)를

살펴보면 역수는 1,061.93, 차량소요\_\_첨두는 45.68 그리고 전동차 보유량은 79.83으로 도출되었으며, 계수값의 상대적인 크기를 비교하여 보았을 때 전체회귀모형과 동일하게 차량소요\_\_첨두의 추정오차가 가장 작은 것으로 나타났다.

도출되어진 계수를 이용하여 회귀모형을 도출하면 아래 식과 같다.

$$Y = 23,044.33 + 2,543.26X_1 + 162.71X_2 \\ (2.395) \quad (3.562) \quad (1.632) \\ + 130.29X_3 - 17,776.83X_4, \quad R^2 = 0.90 \\ (1.632) \quad (-1.142)$$

$Y$ : 도시철도 운영비용

$X_1$ : 역수

$X_2$ : 차량소요\_\_첨두

$X_3$ : 전동차보유량

$X_4$ : 철도유형(0: 서울메트로, 1: 도시철도공사)

더미변수를 이용한 회귀모형의 최종계수값을 살펴보면, 독립변수들로 설명할 수 없는 운행비용의 크기를 나타내는 상수항은 23,044.36으로 나타났으며, 이는 전체회귀모형보다 다소 높은 것으로 나타났다.

역수가 운영비용을 설명하는 크기는 2,543.26으로 나타났으며 차량소요\_\_첨두, 전동차보유량 및 더미변수의 계수값은 각각 162.71, 130.29, -17,776.83로 도출되었다.

도출되어진 운영비용에 가장 많은 영향을 미치는 변수를 알아보기 위하여 표준화된 계수값을 살펴본 결과 역수가 가장 높은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 다음으로 차량소요\_\_첨두와 전동차보유량 및 더미변수 순으로 모형에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

도시철도운영비용과 독립변수들 간의 관계를 나타내는 계수값의 부호를 살펴보면 모두 도시철도운영비용 모형과 양의 관계를 가지는 것으로 나타났

으며 더미변수의 경우 도시철도 유형이 1인 경우 전체 도시철도 운영비용보다 작은 것으로 나타났다. 이러한 계수값의 타당성을 살펴본 결과 더미변수를 이용한 회귀모형 결과는 타당한 모형으로 나타났다.

〈표 12〉 개발된 모형의 결과 비교 및 요약표

항목	계수값	표준화된 계수값	부호
(Constant)	23,044.336		+
역수	2,543.264	0.410	+
차량소요__첨두	162.716	0.400	+
전동차보유량	130.294	0.326	+
더미변수	-17,776.831	-0.108	-

#### 4. 사례를 통한 모형의 검증결과

본 연구에서 검증에 사용한 데이터는 모형의 도출시 검증하기 위해 사용하지 않은 2006년 자료를 사용하였으며, 비교 검증을 통하여 도시철도 운영비용모형의 적합성을 평가하였다. 검증 방법은 검증모형에 검증데이터를 입력하여 실측치와 예측치와의 차이를 살펴보는 Theil부등계수 값을 이용하였으며, 예측결과의 특성을 알아보기 위한 MPB, MAD를 이용하였다. 모형의 설명력을 나타내는 Theil 부등계수는 더미 회귀모형이 0.23으로

〈표 13〉 모형의 검증결과 종합

구분	본 연구의 제안모형		예비타당성 지침 회계적 방법
	전체 회귀모형	더미 회귀모형	
Theil 부등계수	0.37	0.23	0.41
MPB	1,015,590	52,212	1,114,519
MAD	39,230	6,681	41,224

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

2) 본 연구에서 개발한 모형은 운영주체를 고려한 선형모형을 제시함.

가장 높은 적용성을 보이는 것으로 나타났다.

## V. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 도시철도와 관련된 타당성조사의 정확성을 높이고 투자효율성을 향상시키기 위하여 도시철도의 운영비용을 추정할 수 있는 함수를 개발하고자 하였다.

이를 위해 서울메트로와 서울도시철도공사의 운행실적자료(2001년~2005년)를 바탕으로 서울 지하철 1호선~8호선에 대한 분석을 통해 도시철도의 운영비용에 영향을 줄 수 있는 23개의 변수들을 추출하였으며 전문가 설문에 의한 선호도 누적빈도 분석 및 상관분석, 공분산분석 등 다양한 통계분석방법으로 운영비용함수 추정에 활용할 최종 변수를 6가지로 선정하였다.

첫째, 도시철도의 운영비용에 대한 군집분석결과 운영주체별로 운영비용의 차이가 있는 것으로 나타나 향후 도시철도 운영비용함수 관련 연구시 운영주체의 특성을 고려하여야 한다는 것을 알 수 있었다.

둘째, 도시철도 운영비용 함수에 많은 영향을 주는 변수는 노선길이, 역수, 전동차 보유량, 차량 소요대수, 예비율 및 운행횟수로 나타났다.

셋째, 모형간의 적용성 평가를 위한 사례연구를 실시하였으며, 운영주체의 특성을 고려하여 제안한 본 연구의 모형이 가장 적합한 것으로 나타났다.

본 연구의 한계 및 향후 연구 과제를 제시하면 다음과 같다.

첫째, 본 연구에 활용된 자료의 한계를 들 수 있으며, 향후 타 지자체에서 운영중인 다양한 시스템의 운영비를 이용한 모형개발 및 비교연구가 필요하다.

둘째, 운영비용은 연차별로 차이가 높게 나타나

므로 이를 반영할 수 있는 운영비용 함수가 개발되어야 한다. 즉, 도시철도 개통초기와 10년, 20년, 30년 이후 운영비용은 분명한 차이를 보일 것으로 판단되는 바 이러한 시간적인 유지관리비용의 변화를 반영할 수 있는 변수에 대한 연구가 진행되어야 한다.

셋째, 변수의 설정에 있어 보다 합리적인 운행모형식이 도출될 수 있는 새로운 대체 변수 도입을 통한 연구가 필요하다.

## 참고문헌

- 건설교통부, 2004, “공공교통시설 개발 사업에 관한 투자 평가지침”.
- 건설교통부, 각년도, 「건설교통통계연보」.
- 김은정·박양규·박중재, 2001, 「윈도우용 SPSS 통계분석 10」, 21세기사, p.304.
- 김종길, 1997, “서울시 지하철의 비용 함수 추정”, 서울대학교 석사학위논문.
- 김태호·배기목·김태호·김경도, 2007, “구조방정식을 이용한 버스유형별 서비스 평가 모형개발연구”, 「국토계획」, 제41권 6호, 213~223.
- 권경수, 2001, “부분배정방법을 이용한 서울시 지하철 운행비용모형 정립과 적용”, 한양대학교 석사학위논문.
- 대한교통학회, 2006, 「철도투자평가편람」.
- 박정수, 2007, “도시철도 운영비용모형 개발에 관한 연구”, 한양대학교 박사학위논문.
- 서선덕, 1995, 「지역간 철도운행비용함수 모형정립에 관한 연구」, 교통개발연구원.
- 윤상훈·김태호·노정현·원제무, 2007, “지하철 서비스 질 평가 모형개발 및 적용: 서울시 지하철 1~8호선을 중심으로”, 「국토계획」, 제42권 6호, 181~193.
- 한국철도시설관리공단, 2006, 「철도투자분석 및 평가편람 (개정판)」.
- Cantos, P., Pastor, J. M., and Serrano, L., 1999, “Productivity, efficiency and technical change in the European railways: A non-parametric approach”, *Transportation*.

- Cantos, Pedro and Joaquin Maudos, 2001, "Regulation and efficiency: the case of European railways", *Transportation Research Part A* 35.
- McGeehan, H., 1993, "Railway Costs and Productivity Growth", *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol.27.

원 고 접 수 일 : 2007년 11월 26일  
1차심사완료일 : 2007년 12월 20일  
최종원고채택일 : 2008년 4월 23일