

## 도시철도 운영비용 추정함수개발에 관한 연구 (중간규모 도시철도를 중심으로)

### A study on the Estimation Function of the Operating Cost for an Urban Railway (with a focus on Medium-sized Rapid Transit)

정수영 · 이원영\*

Su Young Chung · Won Young Lee

**Abstract** It is necessary to estimate the operating cost for constructing an urban railway system. The present study was thus carried out to develop an estimation function of the operating cost for a MRT(Medium-sized Rapid Transit) system. We selected seven independent variables that could influence the operating cost: the rolling stocks, the number of trains in operation, the length of the lines, the number of stations, the number of passengers per day, the frequency of train operation, and the number of depots. We performed a multiple regression using Excel. Three types of regression functions were thereupon developed. All of them proved to be appropriate after comparing the results of the estimated cost. It will therefore be possible to use one of these three types, depending on the assumptions of the independent variables.

**Keywords** : Independent variables, multiple regression analysis, regression equations

**초 록** 도시철도를 건설하고 운영하기 위해서는 운영비용 예측이 필요하다. 본 연구에서는 중간규모(MRT)의 도시철도를 대상으로 하여 운영비용 추정함수모형을 개발하였다. 운영비용에 영향을 주는 변수들로서 전동차 보유량, 전동차 편성수, 정거장수, 영업구간(km), 열차운행횟수, 일일수송인원, 차량기지 등의 독립변수를 선정하였다. 이를 바탕으로 Excel 프로그램을 통해서 회귀분석을 수행하였고, 3가지 모형의 운영비용 추정함수모형을 개발하였으며, 모두 적합한 모형으로 나타났다. 이 모형함수들을 적용하여 각 운영사의 운영비를 실제운영비용과 예측비용을 비교하였다. 결과가 모두 비슷하여 유용한 식으로 판단된다. 따라서, 변수조건에 따른 추정함수를 선택사용이 가능하다.

**주요어** : 독립변수, 다중회귀분석, 회귀함수식

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 필요성

도시철도를 건설하기 위해서는 경제성분석을 포함한 타당성조사가 이루어진다. '도로·철도부문 사업의 예비타당성조사 표준지침'[1] 및 선행연구들은 교통수요예측과 건설부문의 공사비에 집중되어 있다. 특히 예비타당성조사 표준지침에서는 철도건설 후 장기적으로 운영에 필요한 운영비용에 대한 것은 일반철도, 광역철도에 대해서는 함수식은 제시되지 않고 운영조직이 검증된 국내운영기관의 운영실적을 기초로 운영비를 산정하도록 운영비추정과정을 제시하였다.

철도건설 사업비용은 건설비, 용지비, 차량구입비, 운영비 등으로 구성되어 있으며, 그 중에서도 운영비는 건설 후 운영자 입장에서는 아주 중요하다. 특히 도시철도의 경우 일반철도 및 광역철도와 운영체계가 달라서 '도로·철도부문

사업의 예비타당성조사 표준지침'에서 제시하고 있는 일반철도 및 광역철도의 운영비용 추정함수를 적용할 경우 비용이 과소 또는 과대 추정될 소지가 있다. 따라서 도시철도 시스템 특성을 반영할 수 있는 운영비용 추정함수 모형개발이 필요하다. 본 연구에서는 Table 1, 2에 나와 있는 바와 같이 중간규모(MRT; Medium-sized Rapid Transit)의 도시철도를 연구 대상으로 하여 도시철도건설 계획단계에서 운영비용예측이 가능한 운영비용 추정함수모형을 개발하였다. 이 모형은 도시철도건설 및 도시철도 운영계획의 경제성평가 기준으로 적용이 가능하다. 우리나라의 일반철도와 도시철도의 운영체계는 Table 1, 2와 같다.

### 1.2 연구의 범위 및 절차

도시철도에서 운영비용이란 도시철도를 구성하고 있는 모든 구성요소들을 운영하는데 소요되는 비용의 총합이라 정의할 수 있다. 연구의 공간적 범위는 현재 국내에서 운영 중인 MRT의 도시철도 노선을 기준으로 하였으며, 시간적 범위는 2000년부터 2011년의 운영비용 자료를 기준으로 하였다. 이 연구는 도시철도의 시스템특성을 반영할 수 있는 운

\*Corresponding author.

Tel.: +82-2-970-6478, E-mail: wonylee@seoultech.ac.kr

©The Korean Society for Railway 2013

<http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2013.16.4.318>

Table 1 Kinds of railways in Korea

	Urban railroad	Wide-area railroad	Conventional railroad	High speed railroad
Legal classification	Urban railroad act article 3-1	Special act on management of metropolitan city area's inter-city transport control article 2-2.	Railroad construction act article 2-4	Railroad construction act article 2-2
Definitions	Transportation systems using tracks, which are operated within urban traffic zones to facilitate traffic flow in urban areas (HRT, MRT, LRT).	Refers to a railroad as provided in article 2, subsection 2. B of the special act on management of metropolitan city area's inter-city transport control.	Refers to a railroad other than high-speed railroads and urban railroads under the 'Urban Railroad Act'.	Refers to a railway in which a train can run at a speed of more than 200km per hour in the main intervals, and whose route is designated and publicly announced by the Minister of Land, Transport Affairs
Use	Only Passengers	Only Passengers	Passengers and Freight	Only Passengers
Stations distance	1km	2~4km	4~8km (Single lines) 8~12km(Double lines)	Over 30~40km
Max speed	Below 90km/h	Over 130km/h	Below 200km/h	Over 200km/h
Power source	Electrical	Electrical	Diesel, Electrical	Electrical
Powering	Multiple power	Multiple power	Power car	Multiple power, Power car
Example	Seoul city(1~9lines), Busan, Daegu, Incheon, Gwangju Urban railroads	Kyung In line, Kyung UI line, GTX(Planning)	Kyung Won line, Jeon Ra line, Jung Ang line	KTX

A study on general guidelines for pre-feasibility study (5th edition), pp. 57-58

Table 2 Kinds of urban railways in Korea

	HRT	MRT	(LRT)	
			Rubber wheel	Iron wheel
Passengers/car	150~160	110~130	60~90	75~100
Car/train-set	6~10	6~10	2~6	2~4
pphpd (person per hour per direction)	Over 40,000	20,000~40,000	7,000~25,000	7,000~25,000
Wheel type	Iron wheel	Iron wheel, Rubber	Rubber	Iron wheel
Max speed (km/h)	80~130	80~130	60~80	70~80
Max Incline	2.5	3.5~4.5	5~7	5~7
Min Radius (m)	400	200	30~35	25~40
Car Weight (ton)	28~39	18~23	18~19	25~40
Scheduled speed	30~35km/h	32~28km/h	35~40km/h	
Operation Co	SM SMRT	Busan, Daegu, Daejeon, Gwangju Urban railway	Busan 4lines, U lines	BGL
				Daegu 3lines

Comprehension of Urban Railroad Technology, pp. 50, 2008

영비용 추정함수를 개발하는 것으로서 국내 외 운영비용 관련 선행연구 고찰을 통하여 기존연구의 결과와 비교하였고, 운영비에 영향을 주는 변수들을 정리하였다.

이 연구에서 선정된 운영비 최종 변수들을 Excel 프로그램을 이용한 회귀분석(Regression Analysis)[2]을 통하여 중간규모의 도시철도 운영비용 추정 함수(회귀식, 회귀함수식 동일의미)를 개발 하였다. 연구절차는 Fig. 1과 같다.

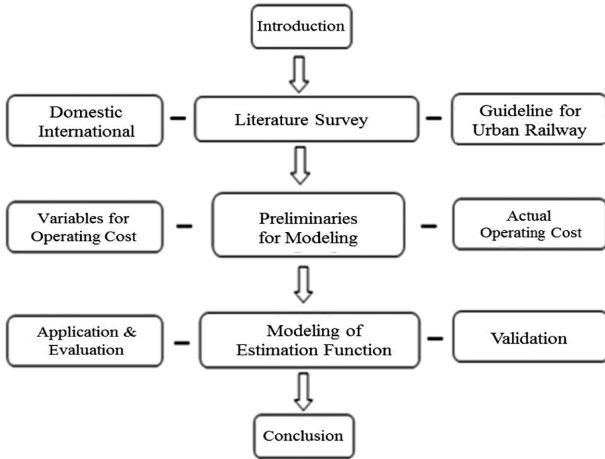


Fig 1. Process of study

## 2. 선행연구 고찰

기존의 운영비용 추정함수모형과 관련한 국내·외 선행연구 고찰을 통하여 도시철도 운영비용관련 주요 변수를 살펴봄과 동시에 선행연구 운영비용 추정함수모형의 특징에 대하여 살펴보았다.

### 2.1 국내 연구

권경숙(2001)[3]의 연구에서는 지하철의 운행비용을 고정비용과 변동비용으로 분리하여 부분 배정법을 사용하여 모형을 개발하였다. 연구의 주요 변수로는 열차\_km, 침두차량대수, 노선\_km, 전차수입이 사용 되었으며 배분율 결정에는 단순회귀분석과 다중 회귀분석이 사용되었다. 연구결과 기존에 사용되던 완전 배정법보다 서비스의 변화나 대안 설정에 민감하게 반응할 수 있다는 점을 밝혔다.

박정수(2007)[4]의 연구에서는 지하철의 운영비용을 서울메트로, 서울도시철도 등 대형 도시철도운영회사 운행실적 분석을 회귀분석과 군집분석, 판별분석 등을 수행하였으며, 최종적으로 제시한 운영비 추정모형의 독립변수는 선형회귀모형의 경우 역수, 전동차 보유량과 차량소요 침두로 도출되었으며, 비선형회귀모형의 독립변수의 경우는 앞의 3가지 변수 외에 운행횟수\_평일이 추가되었다. 이 논문에서는 선형·비선형의 전체 회귀모형과 더미회귀모형 중에서 적합한 운영비 모델로서 비선형 더미회귀모형의 운영비용 함수를 제시하였다.

이영근(2011)[5]의 연구에서는 도시철도의 운영 비용을 일

본의 모노레일 및 신교통 시스템의 운행 실적 자료를 바탕으로 모노레일 6개 노선과 AGT 시스템의 3개 노선에 대한 운영현황 분석을 통해 경량전철의 운영비에 영향을 줄 수 있는 변수들을 조사하였다. 변수들은 노선길이, 역 수, 전동차보유량, 1일 평균승차인원, 운행횟수, 표정속도 등이고, 운영비는 시스템의 종류에 따라 AGT형, 모노레일 좌좌형, 모노레일 현수형으로 구분하여 회귀분석을 통하여 추정하였다.

### 2.2 국외 연구

Fumitoshi Mizutani(2004)[6]는 일본철도의 소유권에 따른 운영비의 비교를 위해서 공영(Public)철도와 민영(Private)철도의 운영비를 트랜스로그함수를 이용 하여 분석하였으며, 연구의 주요변수로는 인건비, 전력비, 재료비, 정거장수 등이 사용되었으며, 공영 철도의 운영비가 민영철도의 운영비보다 10~20% 높은 것으로 나타났다.

### 2.3 철도부문 예비타당성조사 표준지침

‘도로·철도부문 사업의 예비타당성조사 표준 지침’에서는 운영비용 함수를 추정하기 위해서 한국 철도공사가 집계한 운송원가자료를 사용하여 고속 철도, 일반철도여객, 일반철도화물, 광역철도로 구분 하여 개발하였다. 이 추정함수에는 도시철도 분야는 포함되지 않았고, 도시철도와 유사한 광역철도의 추정모형은 다음과 같다.

$$\text{비용(원)} = 107,765 \text{천원} \times \text{궤도연장(km)} + 262 \text{천원} \times \text{여객 운송수입(만원)} + 462 \times \text{차량\_km} + 404,43 \text{천원} \times \text{역수(개소)}$$

[도로·철도부문 사업의 예비타당성조사 표준지침. pp 140]

## 3. 추정함수 모형개발 기본사항

운영비용 추정모형을 개발하기 위해서는 명확한 운영비 실적데이터와 독립변수 선정이 필요하고, 규모와 운영형태 등의 비교기준이 일정해야 한다. 특히 다년간의 비용을 비교하므로 화폐가치도 비교 기준이 일정해야 한다. 이를 위해서 국내의 5개(부산 대구 인천 대전 광주)[7-12]의 중간규모 도시철도 운영비를 조사하였다. 운영비 관련데이터는 영업 개시 후 1~2 년이 지나야 운영인력과 조직이 완성되어 정상적인 운영형태를 이루게 되고, 도시철도 시스템에 대한 자보증기간도 만료되어 유지보수비용도 정상적으로 계산된다. 따라서 운영비 관련데이터는 정상 운영단계 자료부터 인용하였다. 부산교통공사는 2002년부터, 대구도시철도는 '97년 11월 1단계 개통 후 약 2년 후인 2000년부터, 인천·광주·대전은 개통 후 약 1년 이후의 운영비를 조사하였고, 각 사 운영비는 해당년도 비용과 '11년 불변가로 환산하여 Table 3에 나타내었다.

### 3.1 도시철도 운영비구성

국내 도시철도 운영사의 예산편성은 행정안전부의 ‘지방공기업 예산편성기준’[13]에 의거하여 수입과 세출(운영비)

Table 3 Operating cost and independent variables of each company

Operation Co	Dependent (Y)		Independent variables (X)							
	Operating cost (million W)		Number of rolling stocks ( $X_1$ )	Number of train-set ( $X_2$ )	Number of stations ( $X_3$ )	Length of lines(km) ( $X_4$ )	Frequency of trains operation(day) ( $X_5$ )	Ridership (day) ( $X_6$ )	Number of car depot ( $X_7$ )	
	Current cost	Constant cost ('11 year)								
Bu San metro	'02	245,766	<b>326,317</b>	696	101	73	70.5	765	747,466	3
	'03	288,191	<b>370,781</b>	696	101	73	70.5	765	722,073	3
	'04	269,841	<b>370,068</b>	696	101	73	70.5	765	689,108	3
	'05	343,307	<b>414,725</b>	776	121	89	88.8	1,010	670,985	4
	'06	390,629	<b>457,260</b>	776	121	89	88.8	1,009	666,754	4
	'07	400,013	<b>453,725</b>	776	121	89	88.8	1,000	697,122	4
	'08	408,249	<b>448,708</b>	776	121	97	95.8	1,000	702,000	4
	'09	418,911	<b>446,150</b>	776	121	97	95.8	993	722,000	4
	'10	433,269	<b>447,133</b>	776	121	97	95.8	1,004	753,000	4
	'11	478,518	<b>478,518</b>	878	138	108	107.8	1,330	829,000	5
Dae Gu metro	'00	114,446	<b>161,837</b>	204	34	29	24.9	312	135,240	2
	'01	119,706	<b>164,026</b>	204	34	29	24.9	312	137,705	2
	'02	112,390	<b>149,226</b>	204	34	29	25.9	312	145,444	2
	'04	110,248	<b>137,445</b>	204	34	30	25.9	312	139,040	2
	'05	145,459	<b>175,719</b>	384	64	56	57.3	624	247,327	3
	'06	239,050	<b>279,825</b>	384	64	56	57.3	624	296,799	3
	'07	248,288	<b>281,627</b>	384	64	56	57.3	624	294,249	3
	'08	252,498	<b>277,522</b>	384	64	56	57.3	624	301,731	3
	'09	253,315	<b>269,787</b>	384	64	56	57.3	624	306,246	3
	'10	240,627	<b>248,327</b>	384	64	56	57.3	624	315,536	3
	'11	248,375	<b>248,375</b>	384	64	56	57.3	624	322,000	3
In Cheon metro	'01	95,249	<b>130,514</b>	200	25	22	21.9	304	189,000	1
	'02	99,400	<b>131,979</b>	20tr0	25	22	21.9	304	208,000	1
	'03	105,838	<b>136,169</b>	200	25	22	21.9	304	204,000	1
	'04	117,416	<b>146,381</b>	200	25	22	21.9	304	195,000	1
	'05	113,066	<b>136,587</b>	200	25	22	21.9	304	191,000	1
	'06	114,000	<b>133,445</b>	200	25	22	21.9	304	196,000	1
	'07	120,976	<b>137,220</b>	200	25	23	22.9	304	200,000	1
	'08	129,428	<b>142,255</b>	272	34	23	22.4	304	200,000	1
	'09	129,209	<b>137,611</b>	272	34	29	29.4	312	206,000	1
	'10	135,144	<b>139,469</b>	272	34	29	29.4	312	220,000	1
	'11	158,284	<b>158,284</b>	272	34	29	29.4	312	235,000	1
Dae Jeon metro	'06	30,392	<b>35,576</b>	84	21	22	22.6	248	35,147	2
	'07	42,955	<b>48,723</b>	84	21	22	22.6	248	63,962	2
	'08	77,386	<b>85,055</b>	84	21	22	22.6	242	80,094	2
	'09	76,751	<b>81,742</b>	84	21	22	22.6	242	93,483	2
	'10	77,636	<b>80,120</b>	84	21	22	22.6	242	96,545	2
	'11	80,963	<b>80,963</b>	84	21	22	22.6	242	103,249	2
Gwang Ju metro	'05	49,797	<b>60,156</b>	52	13	13	12.1	282	30,981	1
	'06	57,969	<b>67,857</b>	52	13	13	12.1	282	30,112	1
	'07	60,027	<b>68,087</b>	52	13	13	12.1	282	38,143	1
	'08	65,940	<b>72,475</b>	92	23	20	20.5	256	43,142	1
	'09	76,289	<b>81,250</b>	92	23	20	20.5	256	47,133	1
	'10	79,418	<b>81,959</b>	92	23	20	20.5	240	47,766	1
	'11	83,953	<b>83,953</b>	92	23	20	20.5	240	48,515	1

**Table 4** Items of urban railway operating cost

		Cost characteristic
Labor cost module	Pay, salary	Costs, as a wage, regularly paid to employees such as salary, etirement allowance and employee benefits.
	Extra pay	
	Sundry pay	
	Retirement pay	
	Welfare costs	
Energy cost module	Energy Cost (electrical)	Power costs including electricity and fuel for operating cars and facilities.
Maintenance cost module	Maintenance	Costs (excluding labor costs) for materials, outsourcing, car cleaning, building maintenance, environmental management and others to maintain facilities and cars.
	Payment commission	
	material	
	Car cleaning	
	Other fee	
	Facilities management cost	
	water	
General management module	Utilities, taxes	Costs for headquarters operation, training, consumables, miscellany -eous items and taxes excluding cost of sales(labor cost + maintenance cost)
	consumable	
	Education	
	Petty expense	
	Depreciation cost	An asset-related non-cash operating cost to be converted to alternative investment cost.

Fiscal guidance of local public company & A study on general guidelines for pre-feasibility study, 2012

로 나누어진다. 예산에는 세입과 세출로 구분되는데, 전자는 사업수익과 자본적 수입으로 후자는 운영비의 세출항목으로 영업비용과 영업 외 비용, 특별손실 및 법인세 등으로 분류된다. 영업 비용은 매출원가·판매비와 일반관리비·성과급·대행사업비로, 영업 외 비용은 지급이자 및 기업 채 취급제비·자산감모 손실비용 등으로 세분된다.

국내 철도운영기관의 검토결과 운영비용은 크게 인건비, 동력비, 유지관리비, 일반관리비 등의 네 부분의 비용모듈로 구분되어 있으나, 본 논문의 목적은 현재 운영 중인 국내도시철도의 노선길이, 전동차수량, 전동차편성수 등의 변수에 따른 총운영 비를 회귀분석하여 그 결과를 도시철도 건설계획 시 건설완료 후 운영기간 동안의 총운영비를 추정하기 위한 것이므로 항목별 비용모듈로 구분하지 않고 총운영비를 추정하였다. Table 4는 도시철도 운영 회사의 운영비용구성을 나타내고 있다.

**3.2 운영비 독립변수 선정**

개통 후 무한 반복적으로 소요되는 운영비는 도시철도 계획부터 충분하게 확보되어야 하고, 이 단계에서 명확한 추정이 가능해야 한다. 운영비 추정을 위한 논문 중에서 박정수(2007)논문에서는 Table 5에서 보는 것처럼 독립변수를 노선길이 등 7개, 이영근(2011)논문에서는 노선길이, 예비율 등 7가지의 변수를 선정하였다.

**Table 5** Independent variables of the operating cost

	This paper	Park.J.S	Lee.Y.K
Variables	- Rolling stocks	- Lines length	- Lines length
	- Train-sets	- Frequency(D)	- Frequency(D)
	- Stations	- Rolling stocks	- Stations
	- Lines length	- Stations	- Ridership(D)
	- Ridership(D)	- Preliminary	- Rolling stocks
	- Frequency(D)	- Train-sets	- Train speed
	- Depots	-Train types	- Preliminary

본 연구에서는 독립변수의 선정을 다음과 같은 기준에 의해서 선정하였다. 첫 번째로, 선행 연구들에서 선정했던 변수들을 고려하였고, 두 번째로, 도시철도건설 계획단계에서 수립되는 항목 중 전동 차편성수 등 운영비와 관련이 있는 간접적인 변수들을 선정하였다. 선정된 7개의 독립변수들과 관련된 주요 비용모듈은 Table 6과 같다.

박정수(2007)의 독립변수 중에서 예비율은 본 논문의 차량편성수와 중복되고, 이영근(2011)의 표정속도는 열차운행횟수와 중복되어 본 논문에서는 독립변수로 선정하지 않았고, 선정된 독립변수들은 운영비용(종속 변수:Y)과 이에 영향을 주는 인자(독립변수:X) 간의 관련성의 대·소를 파악하기 상관분석을 실시하였다.

**Table 6** Independent variables and operating cost modules

Independent	Cost items
Rolling stocks	General, labor, Maintenance
Train-sets	General, labor t
Stations	General, labor, station facilities
Lines length (km)	General, labor, facilities Maintenance
Frequency (D)	General, labor, energy cost
Ridership (D)	General, labor, energy cost
Car depot	General, Maintenance

### 3.3 운영비의 동일가치 계산

다년간의 비용을 비교하기 위해서는 기준점이 같아야 한다. 화폐는 시간이 지나면 그 가치도 변화하는 특성을 가지고 있다. 따라서 발생시점이 다른 화폐의 객관적 비교를 위해서는 특정 시점으로 화폐의 시간가치를 환산해야 하며 이때 환산을 하기 위해서는 할인율(Discount rates)이 이용된다. 적용될 할인율은 한국은행의 정기예금 금리 및 소비자물가지수를 바탕으로 한 실질할인율(Real discount rates)[14] 3.20%로 하였다. 이 값은 2000년부터 2011년까지의 실질할인율을 구한 평균값으로 식 (1)에 의하여 Table 7과 같이 구해진다.

$$Ir = \frac{(1+In)}{(1+f)} - 1 \quad (1)$$

( $I$ =실질할인율,  $In$  =공칭할인율(은행금리),  $f$ =인플레이션율)

각 사 해당년도 운영비는 Table 3에서 보여 지는 것처럼 부산교통공사 2002년 245,766백만 원, 대구도시철도 2000년 114,446백만 원, 인천교통공사 2001년 95,249백만 원, 대전

**Table 7** Real discount rates

Year	Bank interest (%)	Inflation f (%)	Real discount (%)
2000	8.55	2.26	6.15
2001	7.70	4.07	3.49
2002	6.70	2.76	3.83
2003	6.24	3.51	2.64
2004	5.90	3.59	2.23
2005	5.59	2.75	2.76
2006	5.99	2.20	3.71
2007	6.55	2.50	3.95
2009	5.65	2.80	2.77
2009	5.65	2.8	2.77
2010	5.51	2.0	2.44
2011	5.76	4.0	1.69
Average	<b>6.32</b>	<b>2.94</b>	<b>3.20</b>

Korea bank, 2012

도시철도 2006년 30,392백만 원, 광주도시철도 2005년 49,797백만 원이다. 비용은 동일 조건의 불변비용으로 계산되어 분석 되어야 하므로 식 (2)와 같이 연금미래 가치(Future Value)[15]계산에 주로 쓰이는 공식을 사용하여 12년간 평균 실질할인율 3.20%를 적용해서 각 해당 년도의 운영비용을 2011년 동일가치(불변가) 비용인 실질현금흐름(Real cash flow)으로 계산했다.

$$FV = C_1(1+r)^{n-1} + C_2(1+r)^{n-2} + \dots + C_{n-1}(1+r) + C_n \quad (2)$$

( $C$ = 현금흐름,  $r$ =실질할인율,  $n$ = 기준년까지 기간  $n=12-1$ ) (2000년~2011년)

부산교통공사 2002년의 2011년 현재가치  
=245,766(1+0.032)<sup>12-3</sup>=326,317백만원

대구도시철도 2000년의 2011년 현재가치  
=114,446(1+0.032)<sup>12-1</sup>=161,837백만원

인천교통공사 2001년의 2011년 현재가치  
=95,249(1+0.032)<sup>12-2</sup>=130,514백만원

대전도시철도 2006년의 2011년 현재가치  
=30,392(1+0.032)<sup>12-7</sup>=35,576백만원

광주도시철도 2005년의 2011년 현재가치  
=49,797(1+0.032)<sup>12-6</sup>=60,156백만원

이와 같은 방법으로 식 (2)를 이용해서 나머지도 해당년도 비용을 '11년 불변가 비용으로 계산하여 Table 3에 나타내었고, 여기에 각 운영사의 운영비와 더불어 독립변수(X)를 나타내었다. 관련 자료는 지방 공기업 경영정보 공개시스템의 각 사 자료를 활용 하였다(부산교통공사는 자료 확보의 한계로 '02년 부터의 데이터를 활용하였고, 대구도시철도공사의 '03년은 대형 사고로 비정상적인 운영상태였으므로 제외하였다).

### 4. 운영비용 추정함수 모형개발

철도부문 운영비용 추정은 다른 분야와는 달리 철도종류, 건설방법, 규모, 운영형태 등에 따른 차이로 접근방법이 복잡하고 고려해야 할 요소가 많아서 Table 8과 같은 가정 하에 운영비 추정모형을 개발 하였다. 또한 종속변수와 독립변수 간 밀접한 관계가 있어야 하므로 excel프로그램을 이용해서 상관분석(Correlation Analysis)을 수행하여 그 결과로 얻은 독립변수를 활용하여 운영비용 추정함수모형을 개발 하였다.

**Table 8** Assumptions for estimating the operating cost

Law	Construction	Capacity	Driving
Urban rail	Subway	MRT	Driver
Management sys	Train type	Budget	AFC/PSD
Direct manage	Iron wheel	Balanced	Operating

### 4.1 운영 및 용량·형식에 대한 가정

서울메트로를 비롯한 우리나라의 각 도시철도는 대부분 지하로 건설되어 운영되고 있고, 서울에서 운행 되는 도시철도는 대형도시철도(HRT Heavy Rapid Transit)로 구분이 되고, 부산·대구·인천·대전·광주 도시 철도는 중량도시철도(MRT Medium\_sized Rapid Transit)로 구분된다. 향후 국내에서는 중량(MRT)·경량(LRT) 규모의 전철건설이 전망되는 바, 본 논문에서는 지하로 건설된 중량(MRT)철제차륜 도시철도를 대상으로 한다. 운전방식 및 정거장 시스템은 1인 유인 운전방식과 역무자동화(AFC)와 PSD가 설치되어 운영 되는 것을 가정한다. 한편 국내 운영사의 일부를 제외한 대부분은 지방자치단체의 공기업으로서 매출액 대비 운영비가 더 많은 적자구조로 운영되고 있다. 따라서 운영비의 일부는 채권 등을 발행하여 부족분을 충당하여 운영하여야 이에 따른 이자비용을 운영비에 포함 하고 있다. 그러나 본 논문에서는 균형예산(수입과 지출균형)에 의한 자립운영을 가정하므로 채무액 및 채무액 관련 이자지출은 없는 것을 가정한다. 이 가정들이 Table 8에서 보여지고 있다.

### 4.2 종속변수와 독립변수의 상관분석

유효한 독립변수 선정을 위하여 Excel 프로그램을 이용한 상관분석(Correlation Analysis)을 실시하여 운영비와 변수들 간의 선형관계를 살펴보았다. 그 상관분석 결과와 산점도를 Table 9와 Fig. 2에 나타내었다. 독립변수들의 운영비(Y)와 의 상관관계는 Table 9에서 보여지는 것처럼 전동차량수(X<sub>1</sub>)과, 전동차편성수(X<sub>2</sub>), 정거장수(X<sub>3</sub>)가 가장 관계가 높은 것으로 나타났고, 차량기지(X<sub>7</sub>)이 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

### 4.3 운영비용 추정함수 모형개발

운영비용 추정함수모형 개발의 목적은 도시철도 건설기본 계획 수립 시 운영기간 중의 예상 운영 비용을 추정하기 위한 것이다. 도시철도 건설기본 계획 내용에 전동차량수, 전동차편성수, 정거장수, 영업구간, 운행횟수, 일일승차인원, 차

량 기지수 등의 계획이 포함되는데 사업에 따라서 계획 내용이 달라 지는 경우도 있다. 따라서 추정모형 개발은 두 가지 이유로 세 가지 방법으로 하였다, 첫 번째는 사업 계획 내용에 따라 추정모형을 선택하기 위한 것이고, 두 번째는 독립변수들 간의 조합을 통해서 가장 유의한 모형을 유도하기 위한 것이다. 유의한 독립 변수를 선정하기 위해서 7개의 독립변수 중에서 단계별회귀분석(Stepwise regression)[16]을 수행 하였다. 각 방법 모두 종속변수(Y)로서는 운영비로 하고, 제1방법은 독립변수(X)로서 Table 3의 7개(X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub>, X<sub>4</sub>, X<sub>5</sub>, X<sub>6</sub>, X<sub>7</sub>)모두 선정했고, 제2방법은 6개(X<sub>1</sub>, X<sub>3</sub>, X<sub>4</sub>, X<sub>5</sub>, X<sub>6</sub>, X<sub>7</sub>)로 하여 각각 다중회귀분석을 하였다. 제3방법은 독립변수가 많을 경우의 다중공선성(Multi-collinearity)문제를 고려해서 단계별회귀분석(Stepwise regression)을 하여 7개의 독립변수 중에서 가장 유의계수가 높은 독립변수 4개(X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub>, X<sub>4</sub>)를 선정하였다. 추정모형 개발은 접근하기 쉬운 범용 Excel 통계프로그램을 활용 하였고, 관련 데이터는 Table 3의 각 운영사의 관련 자료를 활용하였다. 제1방법에 대한 회귀식 요약 및 분산분석결과 결과는 다음과 같다. 같은 방법으로 제2방법과 제3방법에 대한 회귀결과에 대한 요약은 Table 10에 나타내었고, 각 방법에 대한 독립변수와 회귀분석 결과인 통계량과 분석분석 결과를 요약 하여 나타내었다.

#### 제1방법 회귀분석

Table 10에서 보는 것처럼 다중회귀모형의 상관계수가 각 방법에 대하여 0.9894, 0.9888, 0.9886 으로 종속변수 변동의 많은 부분이 표본회귀공간에 의해 설명되고 있어 강한 상관 관계가 있음을 알 수 있다. 그리고 모든 독립변수의 종속변수에 대한 설명력을 나타내는 결정계수(R<sup>2</sup>)[17]는 0.978과 0.977, 0.977이므로 종속변수에 대해서 독립변수들이 97 퍼센트 이상을 설명할 수 있어서 회귀모형이 적합하다는 것을 의미한다. 독립변수의 수를 고려한 조정된 계수결정 계수는 각각 0.974와 0.974, 0.975로 결정계수(R<sup>2</sup>) 보다 조금 낮게 나타났지만 종속변수 변동에 대한 표본회귀공간의 설명력이 높음을 알 수 있다. 3가지 방법 모두 다중상관계수, 결정계수, 조정된 상관계수 등이 높아서 회귀식으로 운영비용추정이 가능한 모형임을 알 수 있다.

Table 9 Result of the correlation analysis between dependent and independent variables

	Operation cost (Y)	Number of rolling stocks (X <sub>1</sub> )	Number of train-set (X <sub>2</sub> )	Number of stations (X <sub>3</sub> )	Length of lines (km) (X <sub>4</sub> )	Frequency of trains operation (day) (X <sub>5</sub> )	Ridership (day) (X <sub>6</sub> )	Number of car depot (X <sub>7</sub> )
(Y)	1							
(X <sub>1</sub> )	0.9829	1						
(X <sub>2</sub> )	0.9824	0.9893	1					
(X <sub>3</sub> )	0.9807	0.9763	0.9932	1				
(X <sub>4</sub> )	0.9768	0.9727	0.9900	0.9979	1			
(X <sub>5</sub> )	0.9708	0.9665	0.9843	0.9869	0.9868	1		
(X <sub>6</sub> )	0.9638	0.9884	0.9697	0.9521	0.9460	0.9417	1	
(X <sub>7</sub> )	0.8851	0.8625	0.9154	0.9344	0.9319	0.9249	0.8255	1

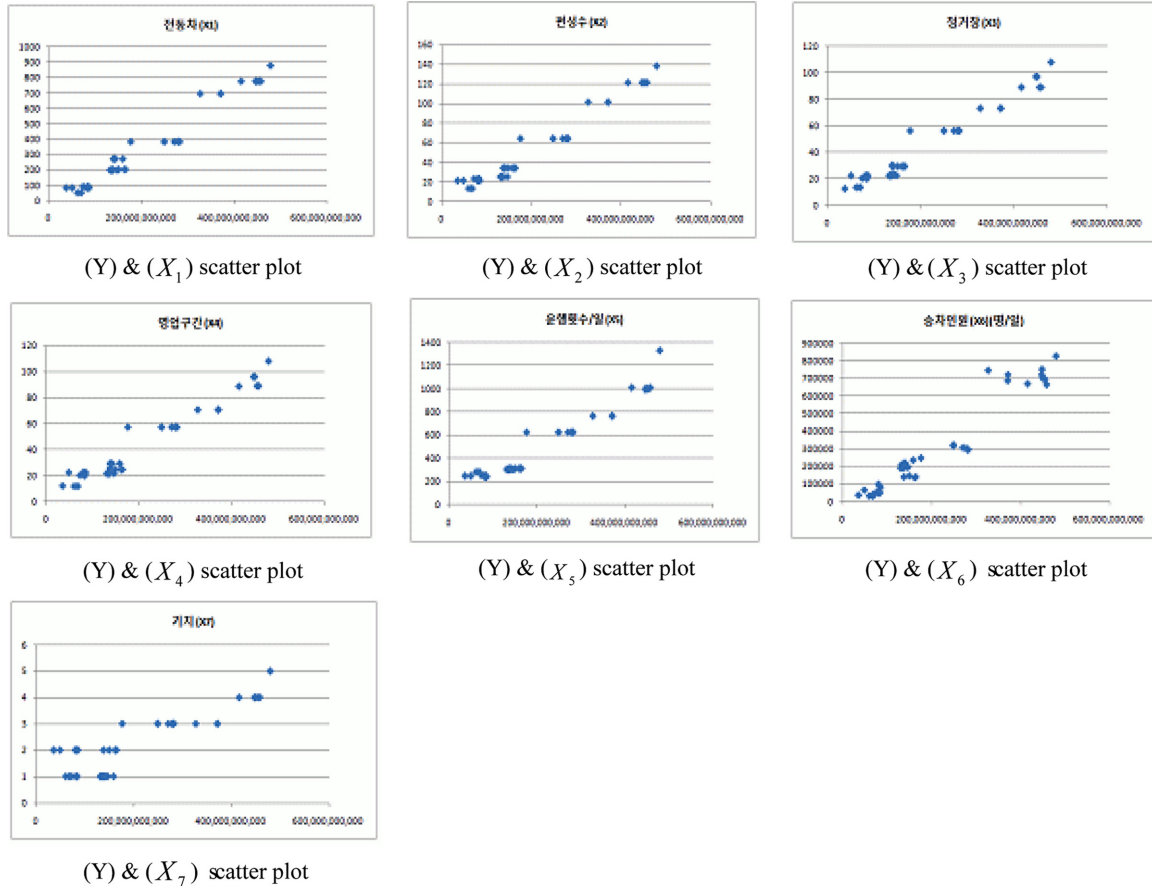


Fig. 2 Graph of dependent and independent variables (scatter plot)

Regression statistics	
Multiple R	0.9894
R square	0.9789
Adjusted R square	0.9749
Standard error	21468
Observation	45

	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	7	7.92E+11	1.13E+11	245.594	5.12E-29
Residual	37	1.71E+10	4.61E+08		
Total	44	8.09E+11			

	Coefficients	Standard error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Y (Intercept)	10612.3485	9531.485	1.1133	0.2727	-8700.27	29924.97
Number of Rolling stocks (X <sub>1</sub> )	518.4663	170.7471	3.0364	0.0043	172.4999	864.4328
Train-set (X <sub>2</sub> )	-1633.6152	1305.877	-1.2509	0.2187	-4279.57	1012.342
Stations (X <sub>3</sub> )	4782.8122	1632.778	2.9292	0.0057	1474.49	8091.134
Length of lines (X <sub>4</sub> )	-2461.5351	1490.731	-1.6512	0.1071	-5482.04	558.9729
Frequency of Trains (X <sub>5</sub> )	72.5332	72.5126	1.0002	0.3236	-74.3913	219.4578
Ridership (X <sub>6</sub> )	-0.1094	0.0889	-1.2307	0.2261	-0.2896	0.0707
Number of car depot (X <sub>7</sub> )	1909.0921	11420.11	0.1671	0.8681	-21230.3	25048.44



**Table 10** Method of regression analysis

		1 <sup>st</sup> type	2 <sup>nd</sup> type	3 <sup>rd</sup> type		
Independent variables		Number of rollins stocks ( $X_1$ ) Number of train-set ( $X_2$ ) Number of stations ( $X_3$ ) Length of lines (km) ( $X_4$ ) Frequency of trains (day) ( $X_5$ ) Ridership (day) ( $X_6$ ) Number of car depot ( $X_7$ )	Number of rollins stocks ( $X_1$ ) Number of stations ( $X_3$ ) Length of lines (km) ( $X_4$ ) Frequency of trains (day) ( $X_5$ ) Ridership (day) ( $X_6$ ) Number of car depot ( $X_7$ )	Number of rollins stocks ( $X_1$ ) Number of train-set ( $X_2$ ) Number of stations ( $X_3$ ) Length of lines (km) ( $X_4$ )		
R e g r e s s i o n M o d e l	Multiple R		0.9894	0.9888	0.9886	
	Statistics	R Square	0.978	0.977	0.977	
		Adjusted R Square	0.974	0.974	0.975	
	<b>F</b>		245.594	279.2242	433.4967	
	Significance F		5.12E-29	7.53E-30	2.37E-32	
	Coeffi- cients	Y (Intercept)		10612.3485	16774.7934	16719.1070
		Number of rollins stocks ( $X_1$ )		518.4663	370.8865	361.1728
		Number of train-set ( $X_2$ )		-1633.6152	-	-1256.4267
		Number of stations ( $X_3$ )		4782.8122	4174.2069	4782.8325
		Length of lines (km) ( $X_4$ )		-2461.5351	-2530.3098	-1657.3299
		Frequency of Trains (day) ( $X_5$ )		72.5332	57.9125	-
		Ridership (day) ( $X_6$ )		-0.1094	-0.0918	-
		Number of car depot ( $X_7$ )		1909.0921	-3430.21	-
	t Stat	Y		1.1133	2.0474	2.4055
		Number of rollins stocks ( $X_1$ )		3.0364	2.6594	3.8357
		Number of train-set ( $X_2$ )		-1.2509	-	-1.0662
		Number of stations ( $X_3$ )		2.9292	2.6300	3.0212
		Length of lines (km) ( $X_4$ )		-1.6512	-1.6769	-1.2001
		Frequency of Trains (day) ( $X_5$ )		1.0002	0.8023	-
		Ridership (day) ( $X_6$ )		-1.2307	-0.9762	-
Number of car depot ( $X_7$ )		0.16716	-0.3205	-		
P-Value	Y		0.2727	0.0475	0.0208	
	Number of rollins stocks ( $X_1$ )		0.0043	0.0113	0.0004	
	Number of train-set ( $X_2$ )		0.2187	-	0.2927	
	Number of stations ( $X_3$ )		0.0057	0.0122	0.0043	
	Length of lines (km) ( $X_4$ )		0.1071	0.1017	0.2371	
	Frequency of Trains (day) ( $X_5$ )		0.3236	0.4273	-	
	Ridership (day) ( $X_6$ )		0.2261	0.3351	-	
	Number of car depot ( $X_7$ )		0.8681	0.7503	-	

회귀분석에 의한 추정식 모형은 다음과 같은 모형식으로 표시된다.

$$Y = B_0 + X_1B_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_4X_4 + B_5X_5 + B_6X_6 + B_7X_7$$

여기서

$Y$  = 운영비

$B$  =  $Y$ 절편

$X_1$  = 전동차수량 계수

$X_2$  = 전동차편성수 계수

$X_3$  = 정거장 계수

$X_4$  = 영업구간 계수

$X_5$  = 운행횟수 계수

$X_6$  = 승차인원 계수

$X_7$  = 기지 계수

제1방법 회귀식

$$Y = 10612.3485 + 518.4663X_1 + (-1633.6152)X_2 + 4782.8122X_3 + (-2461.5351)X_4 + 72.5332X_5 + (-0.1094)X_6 + 1909.0921X_7 \quad (3)$$

제2방법 회귀식

$$Y = 16774.7934 + 3370.8865X_1 + 4174.2069X_3 + (-2530.3098)X_4 + 57.9125X_5 + (-0.0918)X_6 + (-3430.21)X_7 \quad (4)$$

제3방법 회귀식

$$Y = 16719.1070 + 361.1728X_1 + (-1256.4267)X_2 + 3.0212X_3 + (-1657.3299)X_4 \quad (5)$$

도출되어진 추정회귀식은 식 (3), (4), (5)로 표시되며, 운영비용 추정함수 모형개발(4.3)에서 나타난 것처럼 도시철도 건설 기본계획 수립조건에 따라서 제1~3방법에서 중에서 선별하여 운영비를 예측할 수 있다. 이 논문은 도시철도 계획 중에 운영비를 예측할 수 있는 모형이지만, 기존 운영회사의 노선을 연장 하거나 전동차편성수를 증편 또는 정거장수를 증가 하는 경우에도 적절한 방법은 선정하여 운영비 추정이 가능하다.

#### 4.4 운영비용 추정함수모형의 적합도 검증

개발된 회귀식의 적합도를 검증하기 위해서 첫 번째로 추정함수 모형의 적합도검정은 개발된 회귀식모형과 회귀계수로 검증했고, 두 번째로 개발된 3개 방법의 회귀식모형을 표본 운영사의 실제 운영비와 개발된 3개 방법 회귀식으로 예측한 값을 비교해서 회귀식의 적정성을 살펴보았다.

##### 4.4.1 회귀식모형 및 회귀계수의 검증

도출된 회귀식모형 검증은 Table 10에 표시된 분산분석(Anova Analysis)을 통하여 회귀모형의 독립변수가 종속변수의 변동을 잘 설명해 줄 수 있는지 여부를 검증하는 것으로  $F$  비와 유의한  $F$  값에 의해 검증하였다. 도출된 회귀식을  $F$ -검정에 의하면 유의한  $F$  값이 제1방법의 5.1445E-29, 제2방법의 7.58E-30, 제3방법의 1.21E-29로 유의수준 0.05보다 작은 계수로서 도출된 회귀식은 의미가 있음을 알 수 있다. 따라서 선정된 독립변수의 모임이 종속변수의 변동을 잘 설명하고 있는 모형식이다.

그리고 각 회귀변수( $X_1 \sim X_7$ )들의 유의성검정은 회귀식의 각 변수의  $t$  통계량과  $P$ -값을 통해서 검증 했다. 개별 독립변수들의  $t$  통계량 값이나  $P$ -값을 보면  $\alpha=0.05$ 에서 제1방법에서는 7개의 변수 중에서 전동차량수( $X_1$ ), 정거장수( $X_3$ )가, 제2방법에서 6개의 변수 중에서 전동차량수( $X_1$ ), 정거장수( $X_3$ ), 제3방법에서는 4개의 변수 중에서 전동차량수( $X_1$ ), 정거장수( $X_3$ )가 각각 유의성이 높은 것으로 나타났다. 이 세 가지 분석 방법 중에서 다중공선성(Multi-collinearity)문제를 고려해서 단계별회귀분석(Stepwise regression)을 수행한 제3방법이

회귀식 분산분석의 유의한  $F$ 계수와 독립변수들의  $P$ -값 계수 들을 제1,2방법과 비교할 때 가장 유의한 식으로 나타났다.

##### 4.4.2 운영사의 운영비 예측 값 검증

4.4.1의 회귀식모형 및 회귀계수의 검증에서는 제3방법이 가장 유의한 모형으로 나타났으며, 이 세 가지의 모형을 이용하여 표본 운영사의 2000년부터 2011년도까지의 운영비를 계산해서 실제운영비와의 비율로 비교하였다. 세 가지 방법 모두 실제운영비와 예측비용의 평균비율이 1.02~1.03으로 실제비용에 근접하게 계산되어 이 세 가지의 회귀식의 정확성은 대동소이하다. 따라서 이 세 가지 회귀식을 적용하면 계획단계에서의 운영비 추정이 가능한 것으로 판단된다. Table 11에는 회귀식모형별 예측운영비와 실제비용과의 비율을 나타냈다.

#### 4.5 운영비용 추정함수모형의 사례적용 및 평가

한편 도출된 추정모형을 적용해서 추정치의 정확성을 판단할 필요가 있다. 적용대상으로는 표본으로 선정된 국내 5개 운영회사의 '12년의 운영비를 추정하였다. 추정모형은 Table 12에서 보여 지는 바와 같이 본 논문의 제1방법, 제2방법, 제3방법의 모형식과 이영근(2011)추정 모형식을 활용하였다. '도로-철도부문 예비타당성 조사 지침'의 추정모형의 용도는 광역철도 운영비 추정모형으로 해당되지 않는다.

##### 4.5.1 표본 국내운영사 운영비 예측

운영비용 추정모형의 평가를 위해서 5개 표본 운영사의 '12년도의 운영비를 각 3가지 추정모형을 이용하여 예측하였다.

'12년도의 운영회사의 독립변수들은 '11년 조건과 동일하고, 승차인원의 독립변수만 '12년 승차인원 실적을 적용하였다. 제1방법, 제2방법, 제3방법을 적용한 추정운영비를 Table 13에 나타내었다. 제1,2,3방법에 따른 예측결과를 비교할 때 부산 교통공사는 연간 예상 운영비가 최대 505,226백만 원, 최소 498,327백만 원으로 최대 최소 간의 비율이 1:1.01로 나타났고, 대구도시철도의 경우 연간 예상 운영비가 최대 247,871백만 원, 최소 242,058백만 원으로 1:1.02비율로 나타났고, 인천교통공사의 경우 최대 162,216백만 원, 최소 156,389백만 원으로 1:1.03비율로 나타났다. 같은 방법으로 대전은 1:1.11의 결과로 나왔다. 이 결과를 볼 때 각 방법에 대한 운영비 추정모형은 타당성이 있는 것으로 판단 된다.

더불어 '11년 운영비와 '12년 예측운영비를 비교할 때 제3방법으로 비교할 경우 '11년의 실제운영비와 '12년 예측운영비가 부산교통공사는 478,518백만 원/498,327백만 원, 대구도시철도는 248,375 백만 원/247,871백만 원, 인천교통공사의 경우 158,285/162,216백만 원, 광주도시철도의 83,954 백만 원/83,0629백만 원의 운영비로 산출되어 과거실적과의 비교를 통하여 간접 비교해도 유용한 추정모형식으로 판단 된다.

한편 일본에서 운영되고 있는 도시철도의 표정속도와 승차인원을 변수로 한 이영근(2011) 추정 모형은 일본의 운행 실적 자료를 바탕으로 산정한 것으로 국내운영사와 독립변수

Table 11 Comparison of operating cost with each regression function types

Co	Year	Operating cost (constant cost '11year) [million won]						
		Real cost (A)	Estimating cost			Ratio(Estimating cost /Real cost)		
			1 <sup>st</sup> type (B)	2 <sup>nd</sup> type (C)	3 <sup>rd</sup> type (D)	(B/A)	(C/A)	(D/A)
Bu San metro	02	<b>326,317</b>	361,491	366,573	373,501	1.11	1.12	1.14
	03	<b>370,781</b>	363,173	368,906	373,501	0.98	0.99	1.01
	04	<b>370,068</b>	368,084	371,935	373,501	0.99	1.01	1.01
	05	<b>414,725</b>	430,563	435,271	423,960	1.04	1.05	1.02
	06	<b>457,260</b>	430,215	434,843	423,463	0.94	0.95	0.93
	07	<b>453,725</b>	431,312	431,532	423,463	0.95	0.95	0.93
	08	<b>448,708</b>	447,271	446,765	450,124	1.00	1.00	1.00
	09	<b>446,150</b>	444,016	444,522	450,124	1.00	1.00	1.01
	10	<b>447,133</b>	441,446	442,310	450,124	0.99	0.99	1.01
	11	<b>478,518</b>	506,868	504,159	498,328	1.06	1.05	1.04
	Dae Gu metro	00	<b>161,837</b>	149,894	149,265	145,114	0.93	0.92
01		<b>164,027</b>	149,515	148,946	145,114	0.91	0.91	0.88
02		<b>149,226</b>	148,777	148,327	145,114	1.00	0.99	0.97
04		<b>137,445</b>	151,800	150,559	148,240	1.10	1.10	1.08
05		<b>175,720</b>	255,865	251,085	247,872	1.46	1.43	1.41
06		<b>279,826</b>	250,451	246,539	247,872	0.90	0.88	0.89
07		<b>281,627</b>	250,730	246,773	247,872	0.89	0.88	0.88
08		<b>277,523</b>	249,911	246,086	247,872	0.90	0.89	0.89
09		<b>269,787</b>	249,416	245,671	247,872	0.92	0.91	0.92
10		<b>248,327</b>	248,400	244,818	247,872	1.00	0.99	1.00
11		<b>248,375</b>	247,693	244,224	247,872	1.00	0.98	1.00
In Cheon metro	01	<b>130,514</b>	128,055	124,180	126,470	0.98	0.95	0.97
	02	<b>131,979</b>	125,976	122,434	126,470	0.95	0.93	0.96
	03	<b>136,170</b>	126,413	122,801	126,470	0.93	0.90	0.93
	04	<b>146,382</b>	127,398	123,628	126,470	0.87	0.84	0.86
	05	<b>136,588</b>	127,836	123,996	126,470	0.94	0.91	0.93
	06	<b>133,445</b>	127,289	123,536	126,470	0.95	0.93	0.95
	07	<b>137,220</b>	129,172	124,813	129,595	0.94	0.91	0.94
	08	<b>142,256</b>	135,800	135,070	133,519	0.95	0.95	0.94
	09	<b>137,611</b>	164,420	160,027	162,216	1.19	1.16	1.18
	10	<b>139,470</b>	162,888	158,740	162,216	1.17	1.14	1.16
	11	<b>158,285</b>	161,246	157,362	162,216	1.02	0.99	1.02
Dae Jeon metro	06	<b>35,576</b>	39,581	45,107	40,611	1.11	1.27	1.14
	07	<b>48,723</b>	84,255	84,201	88,439	1.73	1.73	1.82
	08	<b>85,056</b>	82,055	82,372	88,439	0.96	0.97	1.04
	09	<b>81,742</b>	80,589	81,141	88,439	0.99	0.99	1.08
	10	<b>80,121</b>	80,254	80,860	88,439	1.00	1.01	1.10
	11	<b>80,963</b>	79,521	80,244	88,439	0.98	0.99	1.09
Gwang Ju metro	05	<b>60,157</b>	67,701	69,763	61,290	1.13	1.16	1.02
	06	<b>67,858</b>	67,796	69,843	61,290	1.00	1.03	0.90
	07	<b>68,088</b>	66,917	69,105	61,290	0.98	1.01	0.90
	08	<b>72,475</b>	81,689	89,940	82,731	1.13	1.24	1.14
	09	<b>81,250</b>	81,252	89,574	82,731	1.00	1.10	1.02
	10	<b>81,960</b>	80,023	88,589	82,731	0.98	1.08	1.01
11	<b>83,954</b>	79,941	88,520	82,731	0.95	1.05	0.99	
Average ratio			-			1.02	1.03	1.02

**Table 12** Comparison of estimation function types

	Estimation function	Remark
This paper	1 <sup>st</sup> type function $Y = 10612.3485 + 518.4663X_1 + (-1633.6152)X_2 + 4782.8122X_3 + (-2461.5351)X_4 + 72.5332X_5 + (-0.1094)X_6 + 1909.0921X_7$	(X <sub>1</sub> ) Number of rollins stocks (X <sub>2</sub> ) Number of train-set (X <sub>3</sub> ) Number of stations (X <sub>4</sub> ) Length of lines (km) (X <sub>5</sub> ) Frequency of trains (day) (X <sub>6</sub> ) Ridership (day) (X <sub>7</sub> ) Number of car depot
	2 <sup>nd</sup> type function $Y = 16774.7934 + 3370.8865X_1 + 4174.2069X_3 + (-2530.3098)X_4 + 57.9125X_5 + (-0.0918)X_6 + (-3430.21)X_7$	
	3 <sup>rd</sup> type function $Y = 16719.1070 + 361.1728X_1 + (-1256.4267)X_2 + 3.0212X_3 + (-1657.3299)X_4$	
Park.J.S	$Y = -1,483,8078 + 301,475.36ln(X_1) + 261,442.36ln(X_2) + 97,343.189ln(X_3) + 234,044.521ln(X_4) - 17,450.90X_5$	(X <sub>1</sub> ) Number of stations (X <sub>2</sub> ) Frequency of trains (day) (X <sub>3</sub> ) Number of train-set rush (X <sub>4</sub> ) Number of rollins stocks (X <sub>5</sub> ) Ridership (day)
Lee.Y.K	$Y = -2622.583 + (-785.066)D1 + 374.313D2 + 21.286X_1 + 90.065X_2 + 44.511X_3$	(X <sub>1</sub> ) Number of rollins stocks (X <sub>2</sub> ) Trainspeed (X <sub>3</sub> ) Ridership (day) AGT D1=1, D2=0 Monorail D1=0, D2=1
A study on general guidelines for prefeasibility 5th	$Y = 107,765,000 \times \text{Length of lines (km)} + 262,000 \times \text{Passenger fare revenue(million won)} + 462 \times \text{Train\_km} + 404,439,000 \times \text{Number of stations}$	Wide - area rail road

**Table 13** Comparison of estimation function types

Co	Dependant (Y)					Independent (X)						
	Estimating cost (million won)					Rolling stocks	Train-set	Station	Lines (km)	Train frequency (day)	Ridership (day)	Depot
	'11 year real cost	'12yesr Estimating cost										
	1 <sup>st</sup> type	2 <sup>nd</sup> type	3 <sup>rd</sup> type	Lee.Y.K								
Busan	478,518	505,226	502,780	498,327	443,550	878	138	108	107.8	1,330	844,000	5
Daegu	248,375	245,114	242,058	247,871	176,411	384	64	56	57.3	624	345,561	3
Incheon	158,285	160,088	156,389	162,216	66,299	272	34	29	29.4	312	245,582	1
Daejeon	80,963	79,314	80,070	88,439	36,873	84	21	22	22.6	242	105,137	2
Kwangju	83,954	80,154	88,699	82,730	29,397	92	23	20	20.5	240	46,559	1

차이와 운영방법 등의 차이로 우리나라 운영사에 적용하는 모델로는 적당하지 않은 것으로 나타났다.

### 5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 국내 5개 도시의 중간규모 도시철도 운영사의 운영비를 개통 후부터의 데이터를 기본으로 종속변수(Y)인 운영비와 독립변수(X)들 간의 상관관계를 살펴보았으며, 이를 바탕으로 중간규모의 도시철도의 운영비용 추정함수를 개발 하였다. 연구의 결과는 다음과 같다.

첫째, 도시철도 운영비에 영향을 줄 수 있는 요소 들을 총 7개의 주요변수 전동차량수, 전동차 편성수, 정거장수, 영업구간(km), 열차운행횟수(일), 승차인원(일), 차량기지가 선택 되었다.

둘째, 이를 바탕으로 3가지 방법으로 회귀분석을 하였으며, 3가지 모두 적합한 운영비용 추정모형으로 나타났으며, 회귀모형식의 계수나 독립변수들의 P-값으로 고려하건대 제 3방법이 가장 유의한 모형으로 생각된다. 따라서 중간규모의 도시철도의 건설계획 시 운영기본계획에 포함된 전동차량수, 편성수, 정거장수, 노선길이, 운행횟수 등의 주요변수

들로 향후 운영 시에 적용될 수 있는 운영비 추정은 세 가지 방법이 모두 가능하다. 특히 건설계획단계 중의 열차운영계획의 승차인원은 수요예측으로서 실현되지 않는 변수로서, 이 단계에서의 운영비 추정 모형은 제3방법이 더 유용한 방법으로 생각된다.

도시철도의 운영비 추정과 관련해서는 예타지침(p136)에서는 철도공사가 운영하는 노선의 운송 원가를 기초로 광역철도운영비를 추정했으나, 본 논문은 국내 중간규모의 도시철도 운영사의 자료를 활용하였다 따라서 중간규모의 도시철도 운영비 추정에는 본 논문의 활용도가 높을 것으로 판단된다. 따라서 본 연구의 결과는 향후 예비타당성조사 및 기본계획에 활용됨으로써 도시철도의 투자 우선 순위나 정책 결정과정에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

운영비 직접적인 변수(운영조직·종업원수·train-km)에 대한 자료의 취득 어려움으로 이 논문에 한계가 있다. 향후 연구과제로서 운영비의 직접적 변수에 대한 자료분석을 통한 운영비 모형 개발이 필요하다. 한편 앞으로는 경량전철 건설이 활발할 것으로 예상 되어 현재 국내에서 운영되고 있는 경량전철 운영 데이터를 토대로 이 규모에 맞는 경량전철에 맞는 운영비용 추정모형개발도 필요하다.

## 후 기

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비(일부)지원으로 수행되었습니다.

## References

- [1] PIMAC (2011) *A study on general guidelines for pre-feasibility study*(5th edition), Korea Development Institute, Seoul, pp. 197.
- [2] B.J. Park (2007) *Modern Statistics for Business and Economics Using Excel*, Sigmappress, Seoul, pp. 363-402.
- [3] K.S. Kwon (2001) Development and Application of Operating Cost Function of Seoul Subway with Partial-Allocation Method, *Master's thesis*. Hanyang University.
- [4] J.S. Park (2007) A Development of the operating cost models for urban railways, *Ph.D thesis*. Hanyang University.
- [5] Y.-K. Lee (2011) A study on the development of the operating cost model for the light rail transit. *Master's thesis*, Korea University.
- [6] Fumitoshi Mizutani (2004) Privately Owned Railway's Cost Function Organization Sized Size and Ownership, *Journal of Regulatory Economics*, 25(3), pp. 297-322.
- [7] Local public enterprise clean-eye, www.cleaneye.go.kr
- [8] Daegu Metropolitan Transit Corporation, www.dtro.or.kr
- [9] Incheon Transit Corporation, www.incheonmetro.co.kr
- [10] Daejeon Metropolitan Express Transit Corporation, www.djet.co.kr
- [11] Kwangju Metropolitan Rapid Transit Corporation, www.gwangj subway.co.kr
- [12] Busan transportation company, www.humetro.kr
- [13] MOSPA (2012) *A standard of budget planning for local public enterprises*, The ministry of security & public administration, Seoul, pp. 71-72.
- [14] H.N. Jo, J.K. Lim, Y.M. Choe, K.H. Paek (2009) *Life-Cycle Cost Analysis for Infrastructure Systems*, Goomibook, Seoul, pp. 60-61.
- [15] Y.W. Lee (2009) *Financial Management*, WoonJin Pass One, Seoul, pp. 44-45.
- [16] S.Y. Ahn (2008) *Statistics for Business and Economics*, Paky-oungsa, Seoul, pp. 464-476.
- [17] B.J. Park (2007) *Modern Statistics for Business and Economics Using Excel*, Sigmappress, Seoul, pp. 371.

접수일(2013년 3월 5일), 수정일(2013년 5월 31일),  
게재확정일(2013년 7월 3일)

**Su Young Chung** : syc8102@naver.com

New business Division, Seoul Metro. 432 Hyoryung-ro, Seocho-Gu, Seoul, 137-712, Korea

**Won Young Lee** : wonylee@seoultech.ac.kr

Dept of Industrial & Information Systems Engineering, Seoul National University of Science & Technology, 232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul, 139-743, Korea