Journal of the Korean Society of Civil Engineers
Vol. 34, No. 5: 1559-1569/ October, 2014
DOI: http://dx.doi.org/10.12652/Ksce.2014.34.5.1559

ISSN 1015-6348 (Print)
ISSN 2287-934X (Online)
www.kscejournal.or.kr

Transportation Engineering **교통공학**

도시철도 노선의 비용구조 분석

김수현* · 정헌영**
Kim, Soo Hyun*, Jung, Hun Young**

The Cost Structure of the Lines of Urban Railway

ABSTRACT

The purpose of this study is to estimate the degree of cost inefficiency for the urban railway lines of a metropolitan city operated by public institutions in Korea and identify the causes of this inefficiency. To this end, we assume that the urban railway lines produce the output of train-km by putting three production factors of labor, electric power and maintenance and set the variable cost function model with the translog function to make a stochastic cost frontier analysis. Based on estimated result, we conclude that the cost savings for 6 years of all lines are about 6,672 hundred million won and top five lines with high inefficiency are Busan Line1, Daegu Line1, Daejeon Line1, Gwangju Line1, and Daegu Line2. The causes of inefficiency are attributable to labor and maintenance factors. The results of this study can be useful in case of finding the priorities of measures and specific plans for reducing labor and maintenance costs in the urban railway operation.

Key words : Lines of urban railway, Inefficiency, Cost structure, Translog variable cost function, Stochastic cost frontier analysis

초 록

본 연구는 우리나라 공공기관이 운영하는 대도시의 도시철도 노선에 대하여 비용 비효율성의 정도를 도출하고, 이러한 비효율성의 발생 원인을 파악하고자 하였다. 이를 위하여 도시철도 노선을 노동, 동력, 유지보수의 세 가지 생산요소를 투입하여 열차-km의 산출물을 생산하는 형태로 상정하고, 확률적 비용변경 접근법을 이용한 초월대수 함수형태의 가변비용함수모형을 설정하였다. 확률적 비용변경 접근법을 적용한 도시철도 노선의 운영비용 비효율성 분석 결과, 노선 전체의 6년간 절감가능 비용은 약 6,672억원으로 추정되었으며, 비효율성이 높은 상위 5개 노선은 부산1호선, 대구1호선, 대전1호선, 광주1호선, 대구2호선으로 파악되었다. 비효율의 발생원인은 노동과 유지보수 요소에 기인하며, 본 연구의 결과를 활용하면, 도시철도 운영에 있어서의 인력 및 유지보수 비용 절감을 위한 대책의 우선순위와 구체적인 방안 모색에 있어 참고가 가능할 것이라 사료된다.

검색어 : 도시철도 노선, 비효율성, 비용구조, 초월대수 가변비용함수, 확률적 비용변경 접근법

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

도시철도 수송을 담당하고 있는 공공기관들은 민간 기업에 비하여 효율성을 제고하고자 하는 동기가 미흡하다는 인식이 제기되면서 성과 즉, 효율성으로 요약되는 도시철도 운영정책의 변화는 이제 일반적인 추세가 되고 있다. 이러한 인식의 배경에는 만성적인 적자에 따른 도시철도 운영의 재정적 위기가 있다. 도시철도 운영의 재정적 위기의 원인으로는 공공서비스의무(Public Service Obligation:

* 정회원 · 부산발전연구원 연구원 (Busan Development Institute · hyunny0930@nate.com)
** 정회원 · 교신저자 · 부산대학교 도시공학과 교수 (**Corresponding Author** · Pusan national University · huyjung@pusan.ac.kr)

Received July 18, 2014/ **revised** July 26, 2014/ **accepted** August 18, 2014

Copyright ⓒ 2014 by the Korean Society of Civil Engineers
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

PSO)의 수행이라는 공적인 측면도 있지만, 이보다는 공기업이라는 운영형태로부터 야기되는 비효율성이 심각한 문제인 것으로 거론되고 있다.

이에 안전행정부에서는 매년 「지방공기업 경영평가」를 실시하여 도시철도 운영기관들에 대한 경영 상태를 평가하고 이를 공시하고 있지만, 효율성 향상에 대한 뚜렷한 성과는 없는 것이 현실이다. 이는 도시철도가 가지는 공공성 추구 외에 실질적인 수송을 담당하고 있는 노선에 대한 효율성 분석이 이루어지지 않고 있기 때문이다. 노선별 효율성 분석은 대부분의 노선이 적자를 보는 상황에서 노선별로 안고 있는 문제점 파악과 함께 운영 효율화의 근거가 될 수 있으므로 매우 중요하다.

최근 추진되고 있는 공공기관에서의 구분회계 도입은 상기 언급한 노선별 효율성 분석과 일맥상통한 조치로 볼 수 있다. 도시철도에서의 구분회계 도입은 각 도시철도 노선에 투입되는 인건비와 수입 · 지출 등을 구분하여 회계처리 하는 것으로 투입되는 비용구조의 왜곡을 감소시켜 장기적으로 운영효율화에 기여할 수 있다. 즉, 노선별 수송비용 투입에 대한 효율성 분석은 구분회계 도입의 적절성 여부를 판단하는데 도움이 될 것이라 생각된다.

따라서 본 연구에서는 노선별 효율성을 분석하는데 있어 비용최소화 관점에서 접근하며, 비용구조 분석을 통한 노선들의 비효율성 정도를 도출하고 그에 대한 원인을 파악하고자 한다.

단, 도시철도의 경우 초기 기반시설 비용이 많이 들어가기 때문에 비용 효율성을 달성하기란 긴 시간이 요구되므로, 본 연구에서는 단기적 관점에서 가변비용(Variable Cost: VC) 만을 한정하여 비용구조 분석을 하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 우리나라 공공기관이 운영하는 17개의 도시철도 노선을 대상으로 하며, 2007년~2012년까지 6개년의 모든 노선자료를 통합 · 활용하였다. 단, 2011년 말 시내버스와 도시철도운영사가 통합하여 두 수단 간의 세부 비용분리가 불가능하였기 때문에 인천1호선의 2012년 자료는 제외하였고, 2011년에 개통하여 2012년 자료부터 본 연구대상에 포함시켰기 때문에 부산4호선의 2012년 자료는 포함하여 1개년도 16개 노선씩 구축한 96개의 표본을 이용하였다.

본 연구에서는 노선별 비용구조 분석을 통한 비효율성을 도출하고, 비효율성의 발생 원인을 파악하기 위하여 확률적 비용변경 접근법을 이용한 비용함수를 추정하였다. 비용함수 추정에 있어서는 초월대수 함수형태의 가변비용함수를 설정하고 본 연구를 진행하였다.

그리고 철도산업의 효율성 및 비용구조 분석에 대한 선행연구를 고찰한 결과, 지역 간 철도에 대한 연구는 다수 수행되었고, 국 · 내외 지역 간 철도를 비교 분석한 연구도 일부 수행된 것으로 파악은 되었으나, 도시철도를 대상으로 한 연구는 거의 이루어지지 않은 것으로 나타났다. 이어서 비용함수 추정과 관련한 방법론들을 고찰한 결과, 본 연구에서는 초월대수 함수모형과 확률적 비용변경 접근법을 활용하고자 하여 이들에 대한 이론을 정립하였다. 데이터 분석을 위해서는 각 공사들의 내부자료 및 관련 통계자료들을 수집하여 2012년 불변가격으로 환산한 자료를 구축하여 본 연구에 적용하였다.

이렇게 구축된 자료와 분석 방법들을 근거로, 비용구조 분석을 통한 도시철도 노선의 비효율성을 도출하고, 비효율성의 발생 원인을 파악하였다.

1.3 선행연구의 고찰

확률적 비용변경 접근법을 이용한 선행연구들은 주로 경영 주체의 효율성을 분석하는 데 초점을 맞추고 있기 때문에 비용구조를 함께 분석한 연구는 드물다. 특히 도시철도산업에서 이 두 가지를 분석한 연구는 국외에서는 Viton (1993)이 처음 시도하였으며, 국내에서는 Kim (2000) 등이 있다.

Viton (1993)은 가변비용함수를 설정함에 있어 노동, 동력, 차량/궤도연장비율 변수를 고려하였으며, 분석 결과, 북아메리가 도시철도 운송업(1960~1970년)에는 비효율이 거의 없다고 결론을 지은 바 있다. Kim (2000)은 서울지하철공사(현, 서울메트로)를 대상(1976~1998년)으로 가변비용함수를 설정함에 있어 가변비용에 차량의 기반시설 가치를 포함하였으며, 비용 비효율성값을 18.7%로 제시하고, 이로부터 적정운임 수준을 제시하였다.

하지만 이들 연구는 최적으로 조절 가능한 가변비용에 대한 정의가 다르고, 노선을 대상으로 하지 않아 실질적인 비용 효율성 향상을 위한 근거는 제시하지 못한다는 한계가 있다.

철도산업에서 노선을 대상으로 효율성 또는 비용구조를 분석한 연구로는 도시철도에의 경우 Yoo and Kim (2012), Kim et al. (2014)이 있으며, 지역 간 철도의 경우 Ha and Lee (2002), Kim (2010), Kim (2013)으로 극히 드물다. 이 중 Ha and Lee (2002)는 전통적 비용함수 접근법으로 비용구조를 분석하였기 때문에 비용비효율성값을 도출하지 못하였으며, 그 외 4개 연구에서는 자료포락분석기법으로 효율성을 분석하였기 때문에 본 연구와는 차이가 있다.

한편 확률적 비용변경 접근법으로 효율성을 분석한 연구로는 도시철도 운영기관을 대상으로 한 Kim and Kim (2005)과 지역 간 철도 운영기관을 대상으로 한 Park and Kim (2007) 등이 있으며, 비용구조를 분석한 연구로는 도시철도 운영기관을 대상으로 한 Kim (2004)과 지역 간 철도 운영기관을 대상으로 한 Suh and Lee (1996), Bae (1998), Park and Kim (2004), Mizutani

and Uranishi (2012), Kim (2013) 등이 있다.

2. 이론적 고찰 및 분석방법 모색

2.1 초월대수 가변비용모형의 고찰

철도의 운영비용 추정에 이용되는 함수형태는 콥-더글라스(Cobb-Douglas) 함수, CES (Constant Elasticity of Substitution) 함수, 초월대수(Transcendental Logarithmic: Translog) 함수가 있으며, 이 중 비용구조에 대한 제약과 가정을 최소화할 수 있는 초월대수함수가 주로 활용된다.[1] 각 변수에 대하여 자연로그를 취한 초월대수함수형태는 Christensen et al. (1973)에 의하여 제안되었으며, 사전적 제약을 최소화하기 때문에 추정된 함수형태의 적합성을 사후 검증할 수 있다는 장점이 있다.

본 연구는 산출량 값에 "0"인 변수가 포함되어 있지 않고, 자료 분포형태에 대한 사전검토를 행한 결과, 왜도값이 0.54~1.32로 평균점에서 근사하는 것으로 나타났다.[2] 따라서 비용함수 추정에 있어 초월대수함수 모형을 적용하는 것이 적합하여, 이를 위한 세부적인 설정방법을 제시하고, 도출되는 결과를 바탕으로 비용구조 분석을 실시하기로 하였다.

본 연구는 공공기관이 운영하는 우리나라 도시철도 노선에 대하여 노동, 동력, 유지보수의 세 가지 요소를 투입하여 열차-km를 산출하는 형태로 상정하고, 초월대수 가변비용함수모형을 설정하였다. 이 때 차량, 건물, 토지, 전로 및 선로설비, 기계 및 기타설비 등은 궤도연장이라는 대리변수를 사용하여 준고정 요소로 정의하였다.

또한 가변비용함수모형은 최초 개통년도에 따른 효과와 수송규모에 있어서 특정노선이 차지하는 압도적 우위에 따른 효과를 통제하기 위하여 3가지 더미변수(최초 개통년도, 지역, 다수노선)를 활용하였다. 초월대수 가변비용함수모형은 Eq. (1)과 같이 설정된다.

$$\begin{aligned}\ln VC = {} & \alpha_0 + \alpha_l \ln P_l + \alpha_e \ln P_e + \alpha_m \ln P_m + \alpha_y \ln Y \\ & + \alpha_t \ln T + \frac{1}{2}\gamma_{ll}(\ln P_l)^2 + \frac{1}{2}\gamma_{ee}(\ln P_e)^2 \\ & + \frac{1}{2}\gamma_{mm}(\ln P_m)^2 + \frac{1}{2}\gamma_{tt}(\ln T)^2 + \frac{1}{2}\gamma_{yy}(\ln Y)^2 \\ & + \gamma_{el}\ln P_e \ln P_l + \gamma_{lm}\ln P_l \ln P_m + \gamma_{em}\ln P_e \ln P_m \\ & + \gamma_{lt}\ln P_l \ln T + \gamma_{et}\ln P_e \ln T + \gamma_{mt}\ln P_m \ln T \\ & + \gamma_{ly}\ln P_l \ln Y + \gamma_{ey}\ln P_e \ln Y + \gamma_{my}\ln P_m \ln Y \\ & + \gamma_{ty}\ln T \ln Y + D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + \epsilon_i \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, VC : 가변비용
Y : 산출량(열차-km)
l, e, m : 노동(l), 동력(e), 유지보수(m)
P_l, P_e, P_m : 각 생산요소의 가격
T : 궤도연장
D_1 : 최초 개통년도(90년대~2000년대 초=1, 1980년대, 2000년대 중 이상=0)
D_2 : 최초 개통년도(2000년대 중 이상=1, 그 외=0)
D_3 : 지역(서울=0, 그 외=1)
D_4 : 다수노선(3개 이상=0, 그 외=1)
α, γ : 추정해야 할 모수
$\epsilon_i = u_i + v_i$
u_i : 비용 비효율성 오차항(cost inefficiency term)
v_i : 통계적 오차항(noise error term)

Eq. (1)은 2차항까지 전개한 테일러 시리즈(Taylor series)이므로 함수 $\ln VC$에 대해서는 헤시안 행렬(Hessian matrix)이 대칭이어야 함으로 이에 따라 Eq. (1)의 계수가 Eq. (2)의 조건을 만족해야 한다. 또한 비용함수의 정규성 조건 중 1차 동차성 조건은[3] Eq. (1)의 계수에 대한 Eq. (3)의 제약조건으로 미리 부과된다.

$$\gamma_{ij} = \gamma_{ji} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \alpha_l + \alpha_e + \alpha_m = 1,\ \gamma_{ll} + \gamma_{el} + \gamma_{lm} = 0 \\ & \gamma_{ee} + \gamma_{el} + \gamma_{em} = 0,\ \gamma_{mm} + \gamma_{ml} + \gamma_{me} = 0 \\ & \gamma_{ly} + \gamma_{ey} + \gamma_{my} = 0,\ \gamma_{lt} + \gamma_{et} + \gamma_{mt} = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

1) 교통시설 투자평가지침(5차 개정), 2013, 국토교통부, p.320

2) 일반초월대수 함수형태는 산출물에 대해 Box-Cox변환을 취하기 때문에 산출물 벡터에 "0"이 있는 경우 분석대상에 포함시킬 수 있다는 장점이 있고, 푸리에 함수(Fourier Flexible Function)형태는 전역적으로 근사가 가능하다는 장점이 있어 초월대수 함수형태에서의 단점이 보완가능하다.
Song (2014)은 시내버스 운송업의 비용구조 분석에서 자료 분포 형태에 대한 분석 결과, 산출물 중 하나인 좌석버스-km에서 왜도값이 4.15로 다른 변수값 대비 상당히 크게 나타나, 전역적으로 근사가 가능한 푸리에 함수를 적용한 바 있다.

3) 생산요소가격에 대한 1차 동차성 조건은 비용함수에서 $VC(tw,y) = tVC(w,y)$이다. 단, t>0의 관계가 성립하는 것을 의미하며, 이러한 1차 동차성으로 인하여 추정해야 할 계수의 수가 제약식의 수만큼 감소하는 효과가 발생한다.

Eq. (1)의 초월대수 가변비용함수모형을 단일식으로 추정하는 것은 다중공선성 문제가 발생하여 추정된 모수 추정치의 효율성을 떨어뜨릴 수 있다. 따라서 Eq. (1)의 초월대수 가변비용함수와 연립방정식체계를 구축할 노동, 동력, 유지보수의 요소비용 비중식을 제시하면 Eq. (4)와 같다.

$$S_l = \alpha_l + \gamma_{ll}\ln P_l + \gamma_{el}\ln P_e + \gamma_{lm}\ln P_m + \gamma_{lt}\ln T + \gamma_{ly}\ln Y + \epsilon_l \quad (4)$$

$$S_e = \alpha_e + \gamma_{el}\ln P_l + \gamma_{ee}\ln P_e + \gamma_{em}\ln P_m + \gamma_{et}\ln T + \gamma_{ey}\ln Y + \epsilon_e$$

$$S_m = \alpha_m + \gamma_{ml}\ln P_l + \gamma_{me}\ln P_e + \gamma_{mm}\ln P_m + \gamma_{mt}\ln T + \gamma_{my}\ln Y + \epsilon_m$$

2.2 비효율성 도출을 위한 확률적 비용변경 접근법

Schmidt and Lovell (1979)에 의하여 응용된 확률적 비용변경 접근법(Stochastic Cost Frontier Analysis: SCFA)은 경제적 주체가 비용 비효율적일 수도 있음을 가정하고 산출량과 가장 효율적인 비용과의 관계를 추정하는 분석방법으로, 경제적 주체가 비용 효율적임을 가정하는 전통적 비용함수 접근법과는 구분된다.

본 연구에서는 도시철도 노선들이 비용 비효율적일 수 도 있음을 가정하기 때문에 확률적 비용변경 접근법을 이용하여 분석을 실시하기로 하고, 이후 도출된 잔차의 적률로부터 비효율성 여부를 판단하기로 하였다.

여기서 도시철도 노선들의 상대적인 효율성은 Eq. (1)에서 초월대수 가변비용함수모형과 오차항의 확률분포를 설정하여 이를 추정한 다음, 도출되는 오차항으로부터 비용변경을 계산하여 추정할 수 있다. 이 때 비용변경은 오차항(ϵ_i)에 대한 가정을 필요로 한다. u_i는 도시철도 노선이 비효율적이기 때문에 발생하며, 이러한 비효율성은 항상 비용을 증가시키므로 (+)의 반정규분포를 따른다고 가정하였다.[4] v_i는 설정 · 측정오차, 누락변수의 영향 및 예측 불가능한 오차를 모두 포함하며, 이러한 요인들은 비용을 증가 또는 감소시킬 수 있으므로, 양방향의 정규분포를 따른다고 가정하였다. $\epsilon_i = u_i + v_i$이므로 실제 가변비용(VC)은 Eq. (5)와 같다.

$$VC = \exp(\ln VC^* + u_i + v_i) \quad (5)$$

$$= VC^* \exp(u_i + v_i)$$

한편, 비용함수를 통하여 비효율성을 도출하는 방법에는 최우추정법(Maximum likelihood estimation: MLE)과 수정최소자승법(Corrected ordinary least squares: COLS)이 있으며, 본 연구에서는 수정최소자승법을 적용하도록 한다.[5]

수정최소자승법은 잔차들의 적률(moment)을 이용하여 계수를 추정하는 방법으로, Olson et al. (1980)에 따라 비용함수 추정결과로부터 얻어지는 잔차를 이용하여 Eq. (6)에 제시된 잔차의 2차 적률($\widehat{m_2}$)과 3차 적률($\widehat{m_3}$)의 일치추정치($\widehat{m_r}$)를 산정한다.

$$\widehat{m_r} = \frac{1}{n}\sum_i^n \hat{\epsilon_i^r} \quad (6)$$

$\hat{\epsilon_i}$는 통상적인 회귀분석으로부터 얻어지는 오차항으로, ϵ_i의 일치추정치가 되며, Eq. (7)로부터 μ, σ_u^2, σ_v^2의 일치추정치 $\hat{\mu}$, $\hat{\sigma_u^2}$, $\hat{\sigma_v^2}$ 값도 산정이 가능하다.

$$\mu = E(u) = \sqrt{\frac{2}{\pi}}\,\sigma_u$$

$$\sigma_u^2 = \left[\sqrt{\frac{\pi}{2}}\left(\frac{\pi}{4-\pi}\right)m_3\right]^{2/3}, \quad \sigma_v^2 = m_2 - \left(\frac{\pi-2}{\pi}\right)\sigma_u^2 \quad (7)$$

표본별 비효율성 추정치 $\widehat{u_i}$는 Jondrow et al. (1982)에 따라 Eq. (8)의 조건부확률분포의 기댓값 $E(u_i|\epsilon_i)$을 이용해 나타낼 수 있으며, $\phi(\epsilon_i\lambda/\sigma)$, $\Phi(\epsilon_i\lambda/\sigma)$는 각각 표준정규분포의 확률밀도함수 및 확률누적함수를 의미한다.

$$E(u_i|\epsilon_i) = \frac{\sigma_u\sigma_v}{\sigma}\left[\frac{\phi(\epsilon_i\lambda/\sigma)}{1-\Phi(\epsilon_i\lambda/\sigma)} - \left(\frac{\epsilon_i\lambda}{\sigma}\right)\right] \quad (8)$$

여기서, $\epsilon_i = u_i + v_i$, $\sigma = \sqrt{\sigma_u^2 + \sigma_v^2}$, $\lambda = \sigma_u/\sigma_v$

2.3 비효율성 발생원인 분석방법의 고찰

비용 최소화를 가져올 수 있는 요소의 결합비율과 산출량 수준에서 요구되는 비용의 크기는 효율화의 출발점이 될 수 있으며,[6] 이는 요소수요의 가격 탄력성과 절감 가능비용을 도출하는 것으로 파악가능하다.

상기의 Eq. (8)로부터 노선별 절감 가능비용은 산출 가능하므로, 여기서는 요소수요의 가격 탄력성에 대하여 설명하기로 한다.

Allen의 요소수요의 가격 탄력성[7] 분석은 요소 투입의 왜곡

4) Schmidt and Lovell (1979)은 확률오차 u_i가 평균값이 0이고, 분산이 σ_u^2인 정규분포를 따르는 확률변수의 절대값 즉, 반정규분포 $|N(0, \sigma_u^2)|$를 따른다고 가정하였다. 비효율성 측정 시 우선적으로 비효율성의 분포형태를 가정하게 되는데, 본 연구에서 분석하고자 하는 비효율성은 "0"보다 큰 값을 갖게 됨으로, 평균값인 0을 중심으로 음수와 양수가 공존하는 정규분포를 가정하기 보다는 이러한 정규분포를 따르는 확률변수의 절대값인 반정규분포를 가정하는 것이 보다 더 타당할 것이다.

5) Olson et al. (1980)은 실험을 통해 표본수 < 400일 경우 수정최소자승법이 최우추정법보다 더 효율적인 추정치를 제공한다 하였다.

6) 미시경제학, 이준구, 법문사, 2002, p.220

7) 요소수요의 가격 탄력성이란 요소가격의 변화에 따른 요수수요의 변화

및 요소 간 관계를 파악함으로써 Eqs. (7) and (8)에 의하여 도출된 비용 비효율성값에 대한 원인 분석을 가능하게 한다.

Eqs. (1) and (4)에서 도출된 추정치를 이용하여 요소수요의 자기 및 교차 가격 탄력성을 도출하는 방법은 다음 Eq. (9)와 같다.

$$\text{자기 가격 탄력성: } \varepsilon_{ii} = \frac{\gamma_{ii} + S_i^2 - S_i}{S_i} \quad (9)$$

$$\text{교차 가격 탄력성: } \varepsilon_{ij} = \frac{\gamma_{ij} + S_i S_j}{S_i}$$

여기서, γ_{ij} = 요소가격 2차항의 추정계수

S_i, S_j = 투입요소 i, j의 조정된 비용 점유율

자기 가격 탄력성의 부호와 절대값을 통하여 요소투입의 왜곡 여부를 판단할 수 있으며, 교차 가격 탄력성을 통하여 단기적으로 요소 간에 존재하는 대체 및 보완관계를 파악할 수 있다.

3. 자료수집 및 노선별 변수값

본 연구에서는 대전도시철도공사의 1호선이 개통(2006년 개통)된 이후부터 공공기관이 운영하는 2007년부터 2012년까지의 6개년의 노선별 자료를 통합 · 활용하고자 한다. 6개년간의 모든 노선 자료 중 시내버스와 도시철도를 통합 · 운영하는 인천교통공사의 2012년 자료를 제외하고, 부산4호선 자료를 추가하여 1개년도 16개 노선씩 구축한 96개의 표본을 이용하였다.

비용함수 추정을 위하여 공사의 「수송 계획서」, 「업무통계편람」, 「경영 실적 보고서」 자료를 이용하여 수송특성을 파악하였으며, 각 년도 결산서에 있는 「운영사업 원가 명세서」 자료를 기초로 요소별 비용자료를 구축하였다. 그러나 결산서 상의 공시된 자료는 노선별로 정리되어 있지 않기 때문에 추가적으로 각 공사에서 제공하는 호선별 비용자료를 활용하여 분리 · 재구축하였다.[8] 또한 본 연구에서는 노선을 대상으로 하기 때문에 수송과 직접 관련이 없는 비용인 판매 및 일반관리비를 제외하기 위하여 「교통시설 투자평가지침_제5차 개정(2013,국토교통부)」의 철도 운영비용 산정 방향에 따라 운영사업 원가 명세서 자료를 이용하였다.[9]

상기 언급된 자료로부터 분석한 결과치와 각각의 자료값의 추출 과정을 제시하면 다음과 같다.

요소비용 비중 중 노동비용은 인건비와 경비 중 복리 후생비를 더하여 산정하였고, 동력비용은 전력사용 요금을, 유지보수비용은 운영사업 원가 명세서 상의 인건비, 복리 후생비, 수도 광열비(전력 수도료)의 전력 사용 요금을 제외한 모든 비용을 포함하였으며, 감가상각비는 제외하였다. 분류한 경상가격 기준의 요소별 비용은 모두 2012년 말 불변가격으로 환산하여 사용하였으며, 이 때 노동비용은 소비자 물가지수로, 동력비용과 유지보수비용은 생산자 물가지수로 환산하여 적용하였다.

가변비용은 노동비용과 동력비용, 유지보수비용의 합계로 정의되며, 96개 표본의 평균값은 1,282억원/년이다.

요소가격 중 노동은 1년 평균 인당 66백만원으로, 운영기관별 현업 인원수에 대해 노선별 1년 평균 역수로 나누어 노선별 1년 평균 현업종사 현원수를 산출하였고, 이를 노동비에 대해 나누어 노동의 단위가격을 산출하였다. 그리고 동력은 1년 평균 kwh 당 81원으로, 각 공사 전기처에서 제공하는 산업용 전력 사용량으로 나누어 산출하였으며, 유지보수는 1년 평균 1량 당 91백만원으로, 1년 평균 차량수로 나누어 단위 가격을 산출하였다.

산출량 자료는 1년 평균 3,999천-km로, 비용함수를 추정하여 비용구조를 분석한다는 점에서 생산측면과 밀접한 관련이 있는 열차-km를 채택하였으며, 준고정 요소로써 궤도연장은 1년 평균 31km로 분석되었다.

Table 1. Technical Statistics for All Lines

Variable		Mean	Std. Deviation	Min.	Max.	Skewness
Variable cost (hundred million won/year)		1,282	854	294	3,798	1.265
Cost share of factor	Labor	0.71	0.05	0.59	0.79	-0.82
	Electric power	0.08	0.01	0.05	0.11	-0.39
	Maintenance	0.21	0.04	0.15	0.33	1.01
Unit price for factor	Labor (million won /person-year)	66.3	11.2	46.4	97.9	0.951
	Electric power (won/kwh-year)	80.9	7.1	69.6	99.4	1.324
	Maintenance (million won /car-year)	90.8	29.0	53.8	174.6	0.940
Output	Train-km (thousand km /year)	3,999	2,203	1,189	9,718	0.541
Trackage (km)		31.4	13.8	7.8	60.2	0.420

Note) 2012 Constant Prices standards

율로 정의된다.

8) 서울메트로와 서울도시철도공사의 노선별 요소비용 자료는 Park (2007)에서 제시한 운영비 비율을 반영하여 분리하였다.

9) 영업비용 중 운영사업 원가는 실질적으로 노선운행과 관련된 비용으로 현업에서 지출된 비용이며, 판매비 및 일반관리비는 본사에서 지출되는 비용이다. 2007~2012년 평균, 운영사업 원가는 92.5%, 판매비 및 일반관리비는 7.6%를 차지하고 있다(인천교통공사의 경우 2007~2011년 기준임).

Table 2. Mean Value by Line

Variable		Seoul line1	Seoul line2	Seoul line3	Seoul line4	Seoul line5	Seoul line6	Seoul line7	Seoul line8	Incheon line1	Busan line1	Busan line2	Busan line3	Busan line4	Daegu line1	Daegu line2	Gwa-ngju line1	Dae-jeon line1
Variable cost (hundred million won /year)		880	3,611	2,386	2,052	1,906	1,205	1,714	538	832	1,280	1,316	533	294	821	692	410	432
Cost share of factor	Labor	0.76	0.72	0.76	0.74	0.73	0.77	0.73	0.75	0.66	0.71	0.72	0.74	0.68	0.72	0.65	0.63	0.61
	Electric power	0.07	0.08	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07	0.06	0.09	0.08	0.07	0.05	0.07	0.09	0.09	0.08	0.08
	Maintenance	0.17	0.20	0.17	0.19	0.19	0.16	0.20	0.19	0.25	0.21	0.21	0.21	0.25	0.19	0.25	0.29	0.31
Unit price for factor	Labor (million won /person-year)	88.72	69.25	74.74	77.79	66.52	59.78	72.53	57.89	58.72	78.23	67.08	67.81	48.00	61.66	54.60	52.64	55.35
	Electric power (won /kwh-year)	80.31	81.75	82.14	81.31	81.83	80.91	82.05	78.41	78.54	76.91	76.08	75.65	96.19	82.13	81.80	87.89	83.08
	Maintenance (million won /car-year)	94.25	85.64	82.00	81.44	60.19	58.01	67.08	82.77	87.6	72.99	82.42	137.8	71.15	78.02	97.12	130.0	158.9
Output	Train-km (thousand km /year)	1,999	9,539	5,318	5,106	6,898	3,563	6,380	1,892	2,795	4,208	5,082	2,055	1,339	2,903	3,165	1,626	1,701
Trackage (km)		7.80	60.20	36.66	31.7	52.3	35.1	47.18	17.70	26.26	32.50	44.00	18.10	12.00	25.9	28.19	20.50	20.50

Note) 2012 Constant Prices standards

한편 초월대수 가변비용함수 추정 시 각 생산요소의 단위가격 및 산출량과 궤도연장의 변수에 대하여 표본 평균값으로 나누어 정규화한 자료를 적용하였으며, 변수 전체의 기술통계량은 Table 1에, 노선별 평균값은 Table 2에 제시하였다.

Table 2에서 볼 수 있듯이, 노선별 가변비용 중 노동비용이 차지하는 비중이 61~77%로 가장 크며, 노선별 차이가 다른 요소점유율에 비하여 큰 편이다. 또한 서울1,3,4호선과 부산1호선의 노동요소 가격이 1년 평균 인당 75~89백만원으로 타 노선 대비 높게 나타난 것은 이른 개통년도(1980년대 개통)로 인하여 노동비용 상승이 이루어진 것으로 판단할 수 있다.

4. 초월대수 가변비용함수모형의 추정 결과

4.1 모형의 추정 결과 고찰

확률적 비용변경 접근법을 이용한 초월대수 가변비용함수의 추정 결과는 Tables 3~5와 같다.

먼저 Table 3에서 볼 수 있는 것처럼, 모형의 적합도(goodness of fit)는 97%의 설명력을 가졌고, F-검정 결과 1% 수준에서 유의한 것으로 나타나, 모형이 추정 대상을 잘 반영하고 있음을 알 수 있다.

Table 4의 1차항 추정계수는 대체적으로 1% 이내의 유의수준을 보였고, 이는 요소가격과 산출물이 증가할수록 총비용이 증가한다라는 일반적인 비용함수의 형태를 지니고 있음을 증명하였다. 여기서 더미변수 계수 추정치로부터 최초 개통년도가 빠를수록, 수요가 많이 분포할수록 비용투입이 크다는 것은 일반적인 이론과 부합된다고 볼 수 있다. 하지만 3개 이상의 다수노선이 위치한 지역보다 그 이하 지역에서의 비용 투입이 크다는 것은 소수노선이 위치한 지역에서의 비용 투입이 과다 또는 요소 간의 왜곡된 결합 비율로 이루어지고 있음을 예상할 수 있다.

2차항 추정계수 중 산출량과 요소가격으로 구성된 2차 계수 추정치(γ_{ly}, γ_{ey}, γ_{my})로부터 함수 선정의 적합도 여부를 판별할 수 있다. 추정 결과, 대체적으로 10% 이내의 유의수준을 보이고

Table 3. The Result of Goodness of Fit Test

Classification	$R^2(Adjusted\ R^2)$	F-test
Variable cost function	0.978 (0.970)	130.7***
Cost share function of labor	0.626 (0.605)	30.1***
Cost share function of electric power	0.287 (0.248)	7.3***

Note) ***: Significance at 1% level

Table 4. The Estimate Result of Variable Cost Function Model

Coefficient	Estimate value	Std. error	T-Value
α_0	25.8165	0.0246	1049.00***
α_l	0.7085	0.1107	6.40***
α_e	0.0817	0.1137	0.72
α_m	0.2099	0.0540	3.89***
α_y	0.5584	0.1155	4.83***
α_t	0.4853	0.1253	3.87***
γ_{ll}	-0.0819	0.8193	-0.10
γ_{ee}	1.9486	0.7090	2.75***
γ_{mm}	0.5243	0.1973	2.66***
γ_{yy}	0.2375	0.5587	1.43*
γ_{tt}	0.8638	0.4723	1.83*
γ_{el}	-0.6712	0.7245	-0.93
γ_{lm}	0.7532	0.2616	2.88***
γ_{em}	-1.2774	0.2324	-5.50***
γ_{ly}	0.2483	0.6075	1.41*
γ_{ey}	-0.4082	0.5560	-0.73
γ_{my}	0.1600	0.1979	1.81*
γ_{lt}	0.0188	0.6043	0.03
γ_{et}	0.1045	0.5244	0.20
γ_{mt}	-0.1233	0.2165	-0.57
γ_{ty}	-0.6046	0.5322	-1.14
dum1	-0.3529	0.0286	-12.36***
dum2	-0.5917	0.0319	-18.56***
dum3	-0.1609	0.0229	-7.01***
dum4	0.2517	0.0246	10.25***

Note) ***: Significance at 1% level, *: Significance at 10% level

있는 것으로 나타났으며, γ_{ey}의 경우 α_e가 유의한 결과가 아니었으며, 가변비용에서 차지하는 비중이 작아 추정 결과에 미치는 영향이 크지 않을 것으로 보인다. 따라서 본 연구에서의 초월대수함수모형의 선정은 추정 결과에 대한 신뢰성을 높여주는 것으로 판단하였다.

마지막으로 비용함수가 갖추어야 할 경제적 조건에 대한 검정결과, Table 5에서와 같이 요소가격에 대한 단조성 84%, 산출량에 대한 단조성 100%, 오목성 49%로, 오목성 조건의 만족도가 크게 낮은 것으로 나타났다.[10] 하지만 이는 비용함수 추정이 잘못되었다

Table 5. The Test Result of Normality of Variable Cost Function Model in A Form of Translog Function

Condition of normality			Satisfaction number of cases(%)
monotonicity	unit price for factor	labor	96 / 96 (100)
		electric power	67 / 96 (70)
		maintenance	79 / 96 (82)
		total	242 / 288 (84)
	output	train-km	96 / 96 (100)
concacvity	unit price for factor	labor	96 / 96 (100)
		electric power	29 / 96 (30)
		maintenance	17 / 96 (18)
		total	142 / 288 (49)

고 해석하기보다는 규제가 수반되는 공공재적 특성상 동력과 유지보수 요소의 투입에 있어서 비용 최소화가 이루어지지 않았다고 해석하는 것이 타당할 것이다.

따라서 이 두 요소의 오목성 조건을 제외한 다른 조건들의 만족도와 모형의 추정 결과에 대한 통계적 적합도 등을 고려할 때, 이를 이용하여 도시철도 노선들의 비용구조를 파악하는 것은 합리적이라 판단된다.

4.2 비효율성에 대한 추정값 및 원인 분석

본 연구에서는 우리나라 도시철도 노선의 비효율성 여부를 판단하기 위하여 Eq. (1)로부터 도출된 잔차를 이용하여 Eq. (6)으로부터 잔차의 2차 적률($\widehat{m_2}$)과 3차 적률($\widehat{m_3}$)을 계산하였다. 그 결과, $\widehat{m_2}$=0.0099, $\widehat{m_3}$=0.0001로 나타나, $\widehat{m_3}$>0 이므로 1종 실패(type Ⅰ failure)가 발생하지 않았다.[11] 이는 비효율성이 존재하는 것으로, 확률적 비용변경 접근법을 이용한 비용함수추정을 통하여 비효율성을 도출하고, 비용구조를 분석하는 것이 적합했음을 의미한다.

Eqs. (6) and (7)로부터 비용 비효율성과 관련된 여러 가지 값을 도출할 수 있으며, 고정요소가 존재할 때 6년간 도시철도 96개 표본의 평균적인 비효율성 및 오차항과 관련된 값들을 제시하면 Table 6과 같다.

10) 요소가격(산출량)에 대한 단조성 조건은 요소가격(산출량)이 증가할 때 가변비용이 감소하지 않아야 함을 의미하므로, $\frac{\partial \ln VC}{\partial \ln P_i} > 0$ $\left(\frac{\partial \ln VC}{\partial \ln Y} > 0\right)$ 면 만족한다. 오목성 조건은 특정 요소가격의 변화율에 대하여 비용 변화율이 그에 미치지 못함을 의미하며, 투입요소 간에 대체성이 어느 정도 있음을 뜻한다. 이는 $\frac{\gamma_{ii} + S_i^2 - S_i}{S_i} < 0$ 면 만족된다. 일반적으로 초월대수 함수형태에서는 이러한 조건을 완벽하게 만족시키지 못하는 것으로 알려져 있다.

11) Kim (2000)에 의하면, $\widehat{m_3} < 0$ 임에 따라 $\widehat{\sigma_u^2}$ 이 정의되지 않는 경우를 1종 실패(type Ⅰ failure)라 하였다. 이는 귀무가설이 참일 경우임에도 귀무가설을 기각함으로써 범하는 오류, 즉 1종 오류(type Ⅰ error)와 구별된다. $\widehat{m_3}$<0로 1종 실패(type Ⅰ failure)가 발생했다면, 이는 비효율성이 거의 없음을 뜻하는 것으로 전통적 비용함수 접근법을 통하여 비용구조를 파악해도 무리가 없다.

6년간 도시철도 노선들은 표본평균에서 비용 비효율성 추정치가 0.0542로 나타났으며, 노동, 동력, 유지보수 요소를 과다 투입하거나 잘못된 비율로 투입함으로서 비용 극소화에 실패하여 실제 비용을 5.42%를 줄여야 효율적(비용 변경에 도달할 수 있는 것) 상태가 되는 것으로 분석되었다. 즉, 6년간 비효율성의 개선을 통하여 절감 가능한 비용은 실제 사용한 가변비용, 약 12조 3천억원의 5.42%인 약 6,672억원 전후라고 추정할 수 있다.

Eq. (8)로부터 6년간 노선별 비효율성값과 절감 가능 비용 추정치를 제시하면 다음 Table 7과 같다.

Table 6. Index for Inefficiency

Classification	Estimate value
μ	0.0542
σ_u^2	0.0046
σ_v^2	0.0082
$\sigma = \sqrt{\sigma_u^2 + \sigma_v^2}$	0.1132
$\lambda = \sigma_u / \sigma_v$	0.7503

Table 7. The Estimate Result of Inefficiency

Classification		Cost saving (hundred million won /year)	Inefficiency(%)		
			Line (A)	Corp. (B)	Gap (A-B)
Seoul Metro	line1	50.8	5.77	4.96	0.81
	line2	169.1	4.68		-0.28
	line3	97.6	4.09		-0.87
	line4	108.9	5.31		0.35
Seoul Metropolitan Rapid Transit Corp.	line5	94.1	4.94	4.77	0.17
	line6	47.1	3.91		-0.86
	line7	104.4	6.09		1.32
	line8	22.3	4.14		-0.63
Incheon Transit Corp.	line1	48.5	5.83	5.83	-
Busan Transportation Corp.	line1	115.0	8.99	5.34	3.65
	line2	67.0	5.09		-0.25
	line3	17.9	3.35		-1.99
	line4	11.6	3.94		-1.4
Daegu Metropolitan Transit Corp.	line1	57.4	6.99	6.57	0.42
	line2	42.5	6.15		-0.42
Gwangju Metropolitan Transit Corp.	line1	25.4	6.21	6.21	-
Daejeon Express Transit Corp.	line1	28.8	6.66	6.66	-

평균적인 비효율성 5.42% 보다 높은 비효율성을 가진 노선 중 상위 5개 노선은 부산1호선, 대구1호선, 대전1호선, 광주1호선, 대구2호선이며, 이는 단일 또는 2개 노선이 위치한 지역에서의 비효율 정도가 높은 것으로 앞선 더미변수 계수 추정 결과와 유사함을 보여준다. 1980, 90년대에 개통한 수도권 도시철도가 지역의 도시철도보다 상대적으로 비용 효율적인 것도 다수노선이 분포하여 도시철도의 수단분담율이 높아, 투입되는 비용 대비 수요가 뒷받침되었기 때문으로 분석될 수 있다. 실질적으로 수도권은 다수의 노선 보유로 인한 광역기능의 수행이 가능하나, 지역 노선들은 그 지역 내의 수송기능만 담당하는 경우가 많다. 한편, 부산1호선의 비효율성 값이 특히 높은 것은 1980년대에 개통하여 인건비, 유지보수비의 투입 비율이 높고, 지역노선으로써 투입되는 비용 대비 수요가 뒤따르기 못했기 때문으로 분석될 수 있다.

다음으로 운영기관별 평균적인 비효율성과 노선별 비효율성값을 상호 비교한 결과, -1.99~3.65%의 차이를 보였다. 이는 노선별 효율성 분석을 기반으로 할 때 실질적인 운영 효율화 정책이 실효성을 거둘 수 있음을 의미한다.

4.3 자기 및 교차 가격 탄력성

비효율성은 앞서 제시했듯이 노동, 동력, 유지보수 비용의 과다 투입과 비효율적인 투입 비율이 그 원인이 될 수 있다. 본 연구에서는 평균적으로 5.42%의 비효율성이 존재하는 것으로 나타났는데, 이러한 비효율성과 관련된 요소투입을 분석하기 위해서는 요소수요의 자기 및 교차 가격 탄력성을 도출하여 부호와 수치를 확인할 필요가 있다. Eq. (9)로부터 도출된 자기 및 교차 가격 탄력성은 Tables 8~10과 같다.

Table 8에서 볼 수 있듯이, 노동과 동력의 자기 가격 탄력성은 부호가 (-)으로, 요소가격이 상승할 때 투입량이 감소함으로, 요소가 효율적으로 투입되고 있음을 의미한다. 반면, 유지보수의 자기 가격 탄력성은 (+)로 요소가격이 상승할 때 투입량이 증가하였음을 의미하는 것으로 이는 비효율성과 관련이 있다.

먼저 동력의 경우 절대값이 6.66 > 1로 요소가격 상승분 이상으로 투입량이 감소하였음을 의미하는 것으로, 에너지 절감정책을 잘 반영하고 있음을 나타내고 있다. 하지만 노동의 경우 절대값이 0.5 < 1로 요소가격이 상승하여도 요소의 투입량이 가격 상승분만

Table 8. Price Elasticity for All Lines

Classification	Labor	Electric power	Maintenance
Labor	-0.50	-0.97	1.47
Electric power	2.65	-6.66	4.00
Maintenance	4.86	-6.96	2.11

Table 9. Own Price Elasticity by Line

Line	labor	electric power	maintenance
Seoul line1	-0.64	5.84	0.56
Seoul line2	-0.21	27.90	1.45
Seoul line3	-0.44	-203.90	1.53
Seoul line4	-0.45	-12.24	1.12
Seoul line5	-0.62	3.88	3.27
Seoul line6	-0.88	2.30	-5.98
Seoul line7	-0.55	6.16	3.68
Seoul line8	-0.70	3.72	11.01
Incheon line1	-0.52	11.82	2.53
Busan line1	-0.57	-4.97	1.30
Busan line2	-0.37	25.62	1.48
Busan line3	-0.21	-7.15	0.58
Busan line4	-1.42	1.80	-2.63
Daegu line1	-0.66	4.12	6.60
Daegu line2	-0.41	39.14	-1.01
Gwangju line1	-0.43	0.91	3.79
Daejeon line1	-0.19	-7.97	2.63

Table 10. Cross Price Elasticity by Line

Line	le	el	lm	ml	em	me
Seoul line1	-1.37	-1.85	2.01	2.02	-3.99	-2.58
Seoul line2	-0.90	-9.12	1.12	4.03	-18.78	-5.47
Seoul line3	-0.93	70.59	1.36	3.96	133.30	-5.49
Seoul line4	-0.99	4.55	1.44	3.28	7.69	-4.40
Seoul line5	-0.80	-0.99	1.42	6.66	-2.89	-9.94
Seoul line6	-1.12	-0.51	2.00	-6.61	-1.79	12.59
Seoul line7	-0.85	-1.78	1.41	7.13	-4.38	-10.81
Seoul line8	-0.94	-0.99	1.64	17.66	-2.73	-28.68
Incheon line1	-0.81	-3.70	1.33	5.55	-8.12	-8.08
Busan line1	-1.05	1.99	1.62	3.47	2.98	-4.76
Busan line2	-0.89	-8.42	1.26	3.95	-17.20	-5.43
Busan line3	-1.14	2.87	1.34	2.45	4.27	-3.02
Busan line4	-3.34	-0.37	4.77	-1.57	-1.43	4.20
Daegu line1	-0.88	-1.10	1.54	11.38	-3.02	-17.98
Daegu line2	-0.73	-13.04	1.14	0.61	-26.10	0.39
Gwangju line1	-0.74	0.14	1.17	7.55	-1.05	-11.35
Daejeon line1	-0.90	3.26	1.08	5.77	4.72	-8.40

Note) ij = Growth rate of j factor demand when i factor price increases by 1%

큼 감소하지 않았음을 의미하며 따라서 비효율성과도 관련이 있다. 이처럼 노동의 요소투입이 가격 변화에 비탄력적인 것은 도시철도 노선에의 인원수 투입이 산출량이나 노동요소 가격수준과 관계없이 이루어지고 있다는 근거로 설명될 수 있다. 또한 이는 수송량과 무관하게 역 단위 또는 노선연장 단위로 인건비가 투입되고 있다는 경향을 반영한다고도 볼 수 있다.

결국 5.42%로 나타난 비효율성을 개선하여 효율적으로 운영한다는 것은 가변비용에서 동력비가 차지하는 비중이 낮은 점을 감안하면 노동과 유지보수의 투입량을 줄이고 요소 간에 효율적인 비율로 투입하는 것을 의미한다.

다음으로 교차 가격 탄력성 분석결과, 노동과 유지보수의 경우, 노동가격이 1% 상승하면 유지보수 수요가 1.47% 증가하고, 유지보수가격이 1% 상승하면, 노동수요가 4.86% 증가하여, 두 요소 간 대체관계가 있음이 성립된다. 즉, 유지보수 가격 상승으로 정비를 소홀하게 하면 운행 중 고장 등이 발생할 수 있어 인력의 효율적인 투입이 어려워진다. 이는 더 많은 인력이 요구되어 비효율성의 원인이 될 수 있다. 마찬가지로 노동가격 상승으로 인력을 줄이게 되면, 안전사고 발생에 대한 대비책으로 유지보수비용이 증가하게 되어 이 역시 비효율성의 원인이 될 수 있음을 의미한다.

이는 현실의 일반적인 대립양상과 유사하며, 본 결과는 타당하다고 판단된다. 한쪽은 인력 절감을 통한 인건비 절감을 요구하고 있고, 다른 한쪽은 안전사고 발생 등을 이유로 인력 증감을 요구한다. 본 연구의 탄력성값과 가변비용 중 인건비가 차지하는 비중이 가장 큼(Table 2 참조: 노동요소 비중 61~77%)을 반영할 때, 인력절감을 통한 인건비를 줄이는 것이 단기적으로 효율성을 높일 수 있는 방안이라 생각된다. 단, 안전사고 발생을 최소화 할 수 있도록 유지보수 비용 증가는 감안해야 할 부분으로 보인다.

한편 Table 9의 노선별 자기 가격 탄력성 분석결과, 여타 노선에 비하여 부산4호선의 노동 및 유지보수의 자기 가격 탄력성은 각각 절대값 1.42 > 1, 2.63 > 1로 탄력적인 것으로 나타났으며, 이는 무인운전으로 인한 인력 절감과 경전철 시스템으로 인한 효과에 근거한 것으로 판단된다. Table 10의 노선별 교차 가격 탄력성 분석결과, 노동과 동력은 대부분의 노선에서 보완관계가, 노동과 유지보수는 대부분의 노선에서 대체관계가 있는 것으로 분석되었다.

5. 결론

본 연구는 우리나라 공공기관이 운영하는 도시철도 노선에 대하여 비용 비효율성을 도출하고, 비효율의 발생 원인을 파악하고자 하였다.

본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 도시철도 노선의 비효율성 도출을 위하여 확률적 비용변경

접근법을 이용한 초월대수 함수형태의 가변비용함수모형을 구축하였다.

(2) 도시철도 각 노선에 투입되는 노동, 동력, 유지보수 요소의 비용 비중과 요소가격, 그리고 산출량에 대한 평균값을 파악하였다.

(3) 각 노선에 대한 세 가지 요소를 분석한 결과, 도시철도 노선들은 초월대수 함수형태가 적합하였으며, 최초 개통년도, 지역, 다수 노선 위치 여부에 따른 비용의 차이(Gap)가 존재하였다.

(4) 도시철도 노선은 비용 비효율성이 존재하여 전통적 비용함수 접근법이 아니라 확률적 비용변경 접근법을 적용하는 것이 본 연구에 타당하였으며, 이후 연구에서 활용할 수 있는 근거를 마련하였다.

(5) 확률적 비용변경 접근법을 적용한 도시철도 노선의 운영비용 비효율성 분석결과, 노선 전체의 6년간 절감 가능 비용은 약 6,672억원으로 추정되었으며, 비효율성이 높은 상위 5개 노선은 부산1호선, 대구1호선, 대전1호선, 광주1호선, 대구2호선으로 파악되었다. 운영기관별 평균적인 비효율성과 노선별 비효율성값을 상호 비교한 결과, -1.99 ~ 3.65%의 차이를 보였고, 이는 노선별 효율성 분석이 운영 효율화 정책에 있어 우선시 되어야 함을 보여주는 결과라 볼 수 있다.

(6) Allen의 가격 탄력성을 활용한 비효율의 발생 원인은, 노동과 유지보수비용의 비효율적인 투입 비율이며, 노동 투입량은 요소가격 상승분만큼 감소하지 않았고, 유지보수는 요소가격 증가에 오히려 투입이 증가하는 것으로 분석되었다. 또한 유지보수 가격 증가에 대한 노동 투입의 탄력성이 크게 나타난 것은 도시철도 운영 효율화 정책에 있어 인력 투입에 대한 신중함을 기해야 할 필요가 있는 것으로 사료되었다.

본 연구에서는 구분회계 도입에 앞서 노선별 비효율성을 도출하고 비효율의 발생 원인을 파악하였다. 이제껏 운영기관 전체에 대한 효율성을 평가했다면, 노선별 비용구조 분석 시 각 노선이 안고 있는 문제점에 대한 세부적인 파악이 가능하였다. 이는 운영기관 전체의 효율성을 향상시킬 수 있는 근거로 작용할 수 있으며, 최근 공공기관 선진화 방안으로 제시한 구분회계 도입이 적절했음을 의미한다고 볼 수 있다.

그러나 본 연구는 다음의 두 가지 한계점을 갖는다. 첫째, 본 연구 자료는 각 공사 내부의 노선별 데이터를 활용하였으나, 엄밀한 회계구분 시 신뢰성이 다소 떨어질 수 있다. 둘째, 본 연구는 운영상의 가변비용에 대한 비효율성 분석 연구로, 비효율성을 야기하는 또 다른 측면에 대한 연구도 이루어질 필요가 있다고 생각된다.

References

Bae, Y. S. (1998). *Analyzing the economies of scale and scope in Korean Railways Industry*, Master's Thesis, Seoul National University (in Korean).

Busan Transportation Corp. (2007~2012), *Annual accounts* (in Korean).

Busan Transportation Corp. (2007~2012), *Business report* (in Korean).

Christensen, L. R., Jorgensen, D. W. and Lau, L. J. (1973). "Transcendental logarithmic production frontiers." *Review of Economics and Statistics*, Vol. 55, No. 1, pp. 28-45.

Daegu Metropolitan Transit Corp. (2007~2012), *Annual accounts* (in Korean).

Daegu Metropolitan Transit Corp. (2007~2012), *Business report* (in Korean).

Daejeon Express Transit Corp. (2007~2012), *Annual accounts* (in Korean).

Daejeon Express Transit Corp. (2007~2012), *Business report* (in Korean).

Gwangju Metropolitan Transit Corp. (2007~2012), *Annual accounts* (in Korean).

Gwangju Metropolitan Transit Corp. (2007~2012), *Business report* (in Korean).

Ha, H. K. and Lee, K. M. (2002). *A study on cost characteristics in Korean Railroad Industry*, The Korea Transport Institute (in Korean).

Incheon Transit Corp. (2007~2012), *Annual accounts* (in Korean).

Incheon Transit Corp. (2007~2012), *Business report* (in Korean).

Jondrow, J., Lovell, C. A. K., Materov, I. S. and Schmidt, P. (1982). "On the estimation of technical inefficiency in the stochastic frontier production function model." *Journal of econometrics*, Vol. 19, No. 2-3, pp. 233-238.

Kim, H. W. (2010). *A study on the efficiency of korean railway transport service using data envelopment analysis*, A Doctor's Thesis, Seoul National University of Technology (in Korean).

Kim, J. K. (2013). *An empirical study on efficient structure by cost characteristics analysis of railway industry : by using Data of Seven Countries Owning High-Speed Rail*, Master's Thesis, Seoul National University (in Korean).

Kim, M. J. (2000). *A stochastic frontier cost approach to the analysis of cost structure of the seoul's rail transit industry: Deriving Optimal Fare Levels and the Efficient Number of Firms*, Master's Thesis, Seoul National University (in Korean).

Kim, M. J. and Kim, S. S. (2005). "An analysis on the efficiency and productivity of Korean rail transit authorities using a stochastic cost frontier approach (A comparison with the estimation results by DEA)." *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 23, No. 5, pp. 15-25 (in Korean).

Kim, S. H., Joung, H. Y. and LEE, W. G. (2014). "Transport efficiency analysis of the lines of urban railway using data envelopment analysis." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 34, No. 1, pp. 605-616 (in Korean).

Kim, S. Y. (2013). *A study on efficiency and productivity of Korea railroad lines: Focused on marketing, Operation of KORAIL*, A Doctor's Thesis, Sunchon National University (in Korean).

Kim, Y. H. (2004). *The estimate of cost function of busan urban transit authority and seoul metropolitan subway corporation: Focused on Economies of Scale and Density*, Master's Thesis, Seoul National University (in Korean).

Lee, J. K. (2002). *MICROECONOMICS*, Bobmunsa (in Korean).

Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2013). *Appraisal guidelines of transportation investments (5th revision)*, (in Korean).

Mizutani, F. and Uranishi, S. (2012). "Does vertical separation reduce cost? An empirical analysis of the rail industry in European and East Asian OECD Countries." *Journal of Regulatory Economics*, Vol. 43, No. 1, pp. 31-59.

Olson, J. A., Schmidt, P. and Waldman, D. M. (1980). "A monte carlo study of estimators of stochastic frontier production functions." *Journal of economics*, Vol. 13, No. 1, pp. 67-82.

Park, J. K. and Kim, S. S. (2004). "Economies of scale and scope in the Korean Railway Industry: A Generalized Translog Cost Function Approach." *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 22, No. 6, pp. 159-173 (in Korean).

Park, J. K. and Kim, S. S. (2007). "The analysis of efficiency and productivity in the Korean and Japanese Railways: A Stochastic Cost Frontier Approach." *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 25, No. 6, pp. 141-157 (in Korean).

Park, J. S. (2007). *A development of the operating cost models for urban railways*, A Doctor's Thesis, Hanyang University (in Korean).

Schmidt, P. and Lovell, C. A. K. (1979). "Estimating technical and allocative efficiency relative to stochastic production and cost frontiers." *Journal of Econometrics*, Vol. 9, No. 3, pp. 343-366.

Seoul Metro (2007~2012), *Annual accounts* (in Korean).

Seoul Metropolitan Rapid Transit Corp. (2007~2012), *Annual accounts* (in Korean).

Seoul Metropolitan Rapid Transit Corp. (2007~2012), *Business report* (in Korean).

Song, J. Y. (2014). *Cost structure of the korean urban bus transit industry: An Application of the Fourier Flexible Functional Form*, A Doctor's Thesis, Seoul National University (in Korean).

Suh, S. D. and Lee, J. H. (1996). "The estimation of the operating cost function for korea regional railroad." The Korea Transport Institute (in Korean).

Viton, P. A. (1993). "Once again, The costs of urban rapid transit." *Transportation research Part B*, Methodological, Vol. 27, No. 5, pp. 401-412.

Yoo, G. S. and Kim, S. J. (2012). "Study on the operational efficiency of urban railway system based on data envelopment analysis." *The Seoul Institute*, Vol. 13, No. 4, pp. 237-246 (in Korean).