

적하작업환경이 철도화물취급역의 효율성에 미치는 영향

김 성 호*

Effects of Loading-Unloading Environments on the Efficiency of Freight Railroad Stations : An Empirical Investigation

Seongho Kim*

■ Abstract ■

In this paper we analyze the effects of loading-unloading environments on the efficiency of freight railroad stations using a two-stage procedure for efficiency model estimation. And from the results we explore a way for efficiency improvement of freight railroad stations. Two-stage procedure is composed of data envelopment analysis and regression analysis. The results show that we could expect efficiency improvement through the government's effort to make railway stations to be strategic position. Furthermore, they advocate policy-makers that efficiency can be improved by simplifying the kinds of freight items and increasing the scale.

Keywords : Freight Railroad Station, Efficiency Measurement, Least Squares, Maximum Likelihood

1. 서 론

기후변화협약 및 고유가 등의 국제환경은 저탄소 에너지고효율의 운송수단을 요구하고 있다. 이에 따라 정부에서는 철도의 화물운송 분담률을 증대시키기 위한 다양한 경쟁력 강화방안을 검토하

거나 추진하고 있다. 최근 국토해양부와 철도공사는 철도화물영업의 경쟁력을 강화하기 위해 순차적으로 취급규모가 적은 역들을 정비하고 거점화하는 네트워크 거점화 정책의 추진을 발표한 바 있다(국토해양부[1]). 철도화물 네트워크의 거점화를 위해서는 철도화물취급역의 성과를 평가하는 작업

이 선행되어야 하며 또한 성과에 영향을 주는 요인을 분석해서 성과의 개선을 위한 방향을 설정해야 한다.

철도화물취급역의 성과를 평가하는 가장 간단한 방법은 취급역의 발착규모(단위 : 톤/년) 또는 화물수입 등 단일 기준을 사용하는 것이다. 그러나 단일 기준에 의한 평가는 성과의 다차원성 또는 각 역의 운영조건을 반영하기 어렵다는 한계를 갖고 있다. 화물취급역의 운영조건은 수송 서비스의 생산에 직접적으로 사용되는 투입요소와 간접적으로 작용하는 적하작업환경으로 구분할 수 있다. 최근 화물취급역의 다수성과 지표를 동시에 반영한 평가[2], 다수성과 지표와 더불어 생산에 직접적으로 사용되는 투입요소를 함께 반영한 효율성 평가[3] 등이 보고된 바 있다. 본 논문에서는 수송 서비스 생산에 간접적으로 작용하는 적하작업환경이 철도화물취급역의 효율성에 미치는 영향을 분석하고 이를 통해서 효율성 개선을 위한 방향을 찾아보고자 한다.

효율성에 영향을 미치는 요인에 관한 분석은 연구자들의 중요한 관심 대상이었다. Byrnes et al.[10]은 미국의 서부 및 내륙지역에 있는 노천광의 생산효율성에 영향을 미치는 요인을 분석하기 위해 첫 번째 단계에서는 자료포락분석(data envelopment analysis : DEA)으로 효율성을 추정하고 두 번째 단계에서는 환경변수가 독립변수이고 전단계에서 구한 효율성이 종속변수인 회귀모형(효율성 모형)을 추정하는 2단계 절차를 사용하였다. 이후 효율성분석을 위한 2단계 절차(two-stage procedure)는 요양소[26], 은행[5], 학교[28] 등의 효율성과 효율성 모형을 추정하는데 사용되었다.¹⁾ 최근 Banker and Natarajan[7]은 일반적인 조건하에서 효율성모형에 대한 보통최소제곱추정(ordinary least squares : OLS) 및 최대우도추정(maximum likelihood estimator : MLE)의 결과가 통계적 일치성(statistical consistency)을 가짐을 증명한 바 있다.

1) 2단계 절차는 최근까지 매우 다양한 분야에서 활용되어왔다. Simar and Wilson[30]에는 2단계 절차가 활용된 문헌 47편의 목록이 수록되어 있다.

본 논문에서는 효율성 및 효율성모형 추정을 위한 2단계 절차를 사용하여 생산에 간접적으로 작용하는 적하작업환경이 철도화물취급역의 효율성에 미치는 영향을 분석하고 이를 통해서 효율성 개선을 위한 방향을 찾아보고자 한다. 적하작업환경이 철도화물취급역의 효율성에 미치는 영향에 대한 분석결과는 다수성과 지표를 동시에 반영한 성과평가, 다수성과 지표와 투입요소를 함께 반영한 효율성 평가 등과 비교하여 다수성과 지표, 투입요소, 적하작업환경을 모두 반영한다는 관점에서 보다 현실적인 평가라 할 수 있다. 이러한 평가결과는 철도경영자 또는 철도정책담당자의 경영전략 또는 정책의사결정에 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서 효율성을 측정하기 위한 자료포락분석을 설명하고 기존 연구에서 효율성모형을 추정하기 위해 사용된 다양한 회귀분석 모형들을 살펴본다. 제 3장에서는 화물취급역의 투입요소, 산출물, 적하작업환경 등의 측정방법과 표본자료를 설명하고 분석결과를 제시한다. 마지막으로 제 4장에서 결론을 제시한다.

2. 효율성결정요인 분석을 위한 2단계 절차

효율성결정요인 분석을 위한 2단계 절차의 첫 번째 단계는 자료포락분석으로 효율성을 추정하는 것이고 두 번째 단계는 환경변수가 독립변수이고 전단계에서 구한 효율성이 종속변수인 회귀모형(효율성모형)을 추정하는 것이다. 본 절에서는 먼저 효율성 추정을 위한 자료포락분석에 대해서 설명하고 이어서 효율성모형의 추정방법을 살펴본다.

2.1 DEA

DEA는 다수투입·다수산출 기업의 효율성을 평가할 수 있는 비모수적 방법으로 Charnes et al.[12]가 처음 소개한 이후 지속적으로 이론이 발전해 왔으며 다양한 분야에서 효율성 평가방법으로 사용되

어 왔다.²⁾ Charnes, Cooper, and Rhodes[12]의 DEA 모형(CCR 모형)은 모든 기업이 최적의 생산규모에서 운영되고 있을 때 적합한 불변규모수익(constant returns to scale)을 가정하고 있다. CCR 모형이 소개된 이후 다양한 일반화 모형들이 제시되었다. 본 논문에서는 표본에 최적이지 아닌 생산규모의 기업도 포함되어 있을 때 적합한 변동규모수익(variable returns to scale)을 나타낼 수 있도록 일반화한 Banker, Charnes, and Cooper[6]의 DEA 모형(BCC 모형)을 사용한다.

n 개의 기업으로 구성된 표본에서 k 번째 기업의 효율성을 구하기 위한 투입방향의 BCC 모형은 다음과 같은 선형계획법모형으로 나타낼 수 있다.³⁾

$$\hat{\theta}_k = \min \{ \theta \mid \theta \mathbf{x}_k \geq \mathbf{X}\lambda, \mathbf{y}_k \leq \mathbf{Y}\lambda, \mathbf{1}\lambda = 1, \lambda \in \mathbb{R}_+^n \} \quad (1)$$

여기서 $\mathbf{X} = [x_1, \dots, x_n]$

$\mathbf{Y} = [y_1, \dots, y_n]$

x_k 와 y_k 는 각각 k 번째 기업의 투입벡터와 산출벡터

λ 는 크기 $(n \times 1)$ 의 중요도 변수벡터

$\mathbf{1}$ 은 요소가 모두 1인 크기 $(1 \times n)$ 의 행벡터

표본으로부터 구한 k 번째 기업의 효율성 점수 $\hat{\theta}_k$ 는 현재의 산출 수준을 유지하면서 비례적으로 줄일 수 있는 투입 수준을 나타내며 $0 < \hat{\theta}_k \leq 1$ 을 만족한다. $\hat{\theta}_k = 1$ 은 현재의 투입 수준을 100% 모두 사용해야 산출 수준이 유지됨을 나타내며 k 번째 기업이 효율적임을 의미한다. $\hat{\theta}_k = 1$ 으로 평가된 효

율적 기업들은 다른 비효율적 기업들의 효율성 점수를 계산할 때 비교대상의 역할을 하며 그런 의미에서 참조기업(reference firm)으로 부른다. $0 < \hat{\theta}_k < 1$ 은 현재의 투입수준보다 적은 양을 사용해도 산출수준이 유지됨을 나타내며 k 번째 기업이 비효율적임을 의미한다. $\hat{\theta}_k$ 의 값이 0에 접근할 수록 비효율성의 수준이 커짐을 나타낸다.

2.2 효율성모형의 추정

첫 번째 단계에서 DEA 모형으로 구한 효율성 점수를 환경변수로 설명하는 효율성모형은

$$\hat{\theta}_k = \alpha + \mathbf{z}_k \beta + \epsilon_k, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

여기서 $\hat{\theta}_k$ 는 DEA 모형으로 구한 k 번째 기업의 효율성 점수

\mathbf{z}_k 는 k 번째 기업의 환경변수 벡터

α, β 는 추정하고자 하는 상수항 및 계수 벡터

로 나타낼 수 있다. Nyman and Bricker[26], Aly et al.[5], Sexton et al.[29], Gillespie et al.[19], Darnar [15] 등은 OLS로 식 (2)를 추정하였다. 한편 0과 1 사이의 범위에서 값을 갖는 DEA 점수 처럼 상한 또는 하한으로 범위가 제한된 종속변수의 경우 OLS로 추정한 결과에 편의(bias)가 포함된다는 문제점은 널리 알려져 있다. Bjurek et al.[9], Chavas and Aliber[13], Dusansky and Wilson[16], Kooreman [22], Chilingirian[14], Luoma et al.[24], Carrington et al.[11], Hauner[21] 등은 제한종속변수(limited dependent variable)에서 편의발생문제를 가지고 있는 OLS의 대안으로 토빗회귀분석(Tobit regression)을 사용하였다.

Simar and Wilson[30]은 DEA 점수가 1.0인 경우는 실제로 존재하는 값에 대한 추정치라기 보다는 유한표본 및 DEA 모형의 구조에 의해 만들어진 결과물이며 따라서 DEA 점수가 1.0인 참조기업들을

2) DEA의 이론 및 활용문헌 목록은 Gattoufi et al.[18], Emrouznejad et al.[17] 등을 참조할 수 있다. Gattoufi et al.[18]에는 1,800편의 문헌목록이 제시되어 있고, Emrouznejad et al.[17]에는 4,000편 이상의 문헌목록이 제시되어 있다.

3) 본 논문에서는 철도운영기관의 경영자가 화물취급역의 수송물량(산출)을 증가시키기 위한 노력보다는 화물취급역의 투입요소 사용량을 절약하기 위한 노력에 더 관심을 가지고 있는 것으로 가정하여 투입방향모형을 선택하였다.

효율성모형의 추정에서 제외하는 절단회귀분석(truncated regression)이 타당한 방법을 주장하였다⁴⁾. 이러한 주장의 배경은 Nyman and Bricker [26]에서 DEA 점수가 1.0인 경우를 이상점(outliers)으로 보고 표본에서 제외한 후 수행한 OLS추정을 추가로 검토한 이유, 그리고 Alexander et al.[4]에서 DEA 점수가 0.9보다 작은 경우만을 OLS 추정에 포함시킨 표본선택모형(sample selection model)을 효율성모형의 추정방법으로 선택한 이유 등과 같다고 할 수 있다.

최근 Banker and Natarajan[7]은 DEA 점수의 로그변환을 환경변수로 설명하는 효율성모형을 다음의 식 (3)으로 나타내고 계수벡터 β 에 대한 OLS와 MLE가 일치추정량(consistent estimator)임을 증명하였다⁵⁾.

$$\begin{aligned} \ln \hat{\theta}_k &= \alpha + \mathbf{z}_k \beta + v_k - u_k \\ &= \alpha + \mathbf{z}_k \beta + \epsilon_k, \quad k=1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (3)$$

- 4) Simar and Wilson[30]은 식 (2)의 효율성모형을 추정하기 위한 방법으로 절단회귀분석이 타당함을 주장함과 더불어 오차항 ϵ_k 간의 상관관계(즉 계열상관), \mathbf{z}_k 와 ϵ_k 의 상관관계, $\hat{\theta}_k$ 의 편 등의 등으로 인한 문제점을 극복할 수 있는 이중붓스트랩 절차(double bootstrap procedure)를 제안하였다. 절단회귀분석을 사용할 때 절단점(truncation point)에서 멀리 떨어진 위치에 자료가 모여있는 경우 우도함수 최대화 모수를 찾는 데 실패할 가능성이 있는 것으로 알려져 있다(Greene [20], pp.E27-75). 본 논문에서는 절단회귀분석의 우도함수최대화의 실패로 Simar and Wilson[30]이 제안한 이중붓스트랩 절차를 사용할 수 없었다.
- 5) Simar and Wilson[30]과 Banker and Natarajan[7]은 각각 자료생성과정(data generating process)에 대한 서로 다른 가정을 전제로 효율성 및 효율성 모형의 추정을 위한 2단계 절차에 접근하였지만 효율성 모형에 대한 최우추정량이 일치추정량이라는 점에서는 같은 생각을 가지고 있다. 그러나 Simar and Wilson[30]은 식 (2)에서 ϵ_k 의 계열상관, \mathbf{z}_k 와 ϵ_k 의 상관관계, $\hat{\theta}_k$ 의 편 등이 점근적(asymptotically)으로는 사라지지만 유한표본에서는 문제를 야기키신다고 보아 이를 극복하기 위한 방안을 제시한 것이고, Banker and Natarajan[7]은 효율성모형에 대한 추정량이 일치추정량임을 증명하는데 집중하여 결국 유한표본에서 $\hat{\theta}_k$ 의 편이 존재하는 문제를 표본크기에 따라 연구자가 판단해야 할 사항으로 남겨두었다.

여기서 v_k 는 $E(v_k)=0$ 이고 유한분산인 양방향분포의 확률오차

u_k 는 일방향분포의 비효율성

$\epsilon_k (=v_k - u_k)$ 는 복합오차

$\hat{\theta}_k, \mathbf{z}_k, \alpha, \beta$ 는 식 (2)에서와 같음

이들은 식 (3)에서 환경변수벡터 \mathbf{z}_k , 확률오차 v_k , 비효율성 u_k 그리고 투입벡터 \mathbf{x}_k 등이 서로독립(환경변수 간의 상관관계와 투입변수간의 상관관계는 허용)임을 가정하고 식 (3)의 계수벡터 β 에 대한 OLS와 MLE가 일치추정량(consistent estimator)임을 증명하였다. Byrnes et al.[10]는 미국의 서부 및 내륙지역에 있는 노천광의 생산효율성에 영향을 미치는 요인을 분석하기 위해 식 (3)을 OLS로 추정한다. Bhattacharyya et al.[8]은 식 (3)의 확률오차는 정규분포로 가정하고 비효율성은 반정규분포(half-normal distribution)로 가정하여 인도에 있는 70개 은행의 효율성모형에 대한 최우추정치를 구하였다. 결과적으로 Banker and Natarajan[7]은 Byrnes et al.[10], Bhattacharyya et al.[8] 등이 통계적으로 바람직한 특성을 가진 효율성모형 추정방법을 선택하였음을 증명해준 연구라 할 수 있다.

본 논문에서는 적하작업환경이 화물취급역의 효율성에 미치는 영향을 살펴보기 위해 식 (3)의 효율성모형을 OLS, MLE 등의 방법으로 추정하고 그 결과를 분석한다. 또한 이 결과를 토빗회귀분석, 절단회귀분석 등의 추정결과와 비교하여 제한종속변수로 인한 편의의 영향 등을 살펴본다.

3. 자료 및 분석결과

3.1 투입, 산출 및 적하작업환경

화물취급역이 생산하는 화물수송 서비스는 발송과 도착으로 구분할 수 있으며 역에 따라 발송이 중요한 역, 도착이 중요한 역, 발송 및 도착이 모두 중요한 역으로 구분할 수 있다. 이러한 특성을 반영하여 각 역에서 1년 간 생산된 발송규모(단위 :

톤/년)와 도착규모(단위 : 톤/년)를 산출지표로 사용한다.

화물취급역의 운영조건은 화물수송 서비스의 생산에 직접적으로 사용되는 투입요소와 간접적으로 작용하는 적하작업환경으로 구분할 수 있다. 화물취급역이 화물수송 서비스를 생산하는데 직접적으로 사용하는 투입요소로는 인력(labor), 장비(equipments), 시설(facilities) 등을 들 수 있다. 화물취급역의 인력은 물류영업, 영업관리, 열차통제·조성 등을 위한 인력(영업·열차인력)과 화물의 적하작업을 수행하는 인력(적하작업인력)으로 구분할 수 있다. 취급품목에 따라 적하작업인력만 사용되는 경우, 포크레인, 지게차, 컨베이어 등의 장비가 사용되는 경우, 그리고 장비와 인력이 함께 사용되는 경우 등으로 구분된다. 본 논문에서는 확보가능한 자료의 형태 등을 고려하여 역에서 1년 간 사용된 영업·열차인력(단위 : 명/년)⁶⁾, 적하작업인력과 장비 등을 고려하여 해당역에서 판단한 1일 최대작업능력(단위 : 량/일), 역구내에 화차(freight car)⁷⁾를 유치할 수 있는 선로의 길이를 화차단위로 측정된 구내유치가능량(단위 : 량) 등을 투입지표로 사용한다.

화물취급역의 주요 적하작업환경으로는 적하방법, 거점여부, 그리고 각 역이 서비스를 제공해야 하는 수송수요의 특성 등을 들 수 있다. 적하방법은 인력에 의해 적하작업이 이루어지는지 아니면 장비에 의해 적하작업이 이루어지는가를 나타낸다. 거점여부는 해당 역이 거점역으로서의 역할을 하고 있는가의 여부를 나타낸다. 수송수요의 특성은 해당 역이 얼마나 다양한 종류의 품목을 취급하는가를 나타내는 취급품목다양성, 역이 취급하는 품

목의 물량을 나타내는 취급규모, 역이 취급하는 품목의 어느 정도가 발송품목인가를 나타내는 적재비율 등으로 구분하고 이들 특성과 적하방법, 거점여부 등이 화물취급역의 효율성에 어떤 영향을 미치고 있는가를 분석하고자 한다.

본 논문에서는 확보가능한 자료의 형태를 고려해서 수송수요의 특성을 다음과 같은 지표로 측정한다. 해당 역의 취급품목다양성은 품목수(단위 : 개)로 측정한다. 취급규모는 철도로 수송되는 전체물량 중에서 해당 역이 취급하는 물량의 비율 즉 점유율(단위 : %)⁸⁾로 측정한다. 적재비율은 취급물량에서 발송물량이 차지하는 비율(단위 : %)로 측정한다. 적하방법은 역이 취급하는 물량에서 포대양회, 비료, 자동차 등의 품목이 차지하는 비율(단위 : %)⁹⁾을 대용치(proxy)로 사용하여 측정한다. 거점역으로서의 역할을 하고 있는가의 여부는 품목점유율¹⁰⁾이 10%를 초과하는 품목이 있는가를 기준으로 더미변수의 형태로 나타낸다.

3.2 표본

본 논문에서 사용되는 자료는 KROIS(Korea Railroad Operating Information System)에서 수집한 2007년 '화물운송실적자료'와 '역별업무별 인원현황', 그리고 2007년 각 역에 요청하여 파악된 내부자료

- 6) '영업관리'인력은 물류영업을 관리하는 인력과 여객영업을 관리하는 인력이 구분되어 있지 않다. 본 논문에서는 화물수송 서비스 생산에 사용되는 '영업관리'인력을 '영업관리'×'물류영업'÷('물류영업'+ '일반여객 영업'+ '광역여객 영업')으로 구하여 사용하였다.
- 7) 철도차량은 견인력을 제공하는 동력차(locomotive), 여객에게 좌석을 제공하는 객차(passenger car), 그리고 화물적재공간을 제공하는 화차(freight car)로 구분된다.

- 8) 예를 들어 2007년 한 해 동안 '인천'역에서 취급한 물량은 927,657톤이며 철도로 수송된 전체물량은 87,791,526톤으로 '인천'역의 '점유율'은 1.06% (= 927,657 ÷ 87,791,526 × 100)이다.
- 9) 컨테이너, 벌크양회, 무연탄 등을 포함한 대부분의 품목은 리치스테이커, 포크레인, 굴삭기, 페이지 로더 등의 장비로 적하작업이 수행되는 반면 포대양회, 비료 등은 인력과 지게차로, 자동차는 주로 인력에 의해 적하작업이 수행된다.
- 10) '품목점유율'은 해당 품목이 철도로 수송되는 전체물량 중에서 해당 역이 취급하는 물량의 비율을 의미한다. 예를 들어 2007년 한 해 동안 철도로 발송된 '유연탄'은 2,770,780톤이며 '인천'역에서 발송된 '유연탄'은 689,925톤이다. 이 경우 '인천'역의 '유연탄' '품목점유율'은 24.9% (= 689,925 ÷ 2,770,780 × 100)이다.

〈표 1〉 표본요약통계(n=189)

구 분	변수	단위	평균	표준 편차	최소값	최대값
산출	발송규모	만톤/년	23.0	75.7	0.0	754.3
	도착규모	만톤/년	22.9	65.8	0.0	721.2
투입	영업·열차인력	명/년	10.8	12.1	0.0	85.6
	1일 최대작업능력	량/일	71.7	132.0	0.5	1042.0
	구내유치가능량	량	96.0	125.7	4.0	794.0
적하	품목수	개	3.3	2.4	1.0	13.0
작업	점유율	%	0.5	1.4	0.0	11.5
환경	적재비율	%	29.6	37.8	0.0	100.0
	거점여부		0.3	0.5	0.0	1.0
	적재방법	%	25.7	40.9	0.0	100.0

‘화물취급역 적하작업 환경 및 처리 능력 현황’에서 수집하였다. 2007년 한 해 동안 화물운송실적이 있는 353개 역 중에서 투입·산출지표 및 적하작업환경지표의 자료를 모두 확보할 수 있는 189개 역이 표본에 포함되었다. <표 1>은 표본자료에서 구한 투입, 산출, 적하작업환경 지표의 요약통계량을 나타낸 것이다.

3.3 분석결과

식 (1)의 DEA 모형으로 구한 189개 화물취급역의 효율성점수의 평균은 0.519로 나타났다.¹¹⁾ 이는 표본에 포함된 화물취급역이 평균적으로 투입수준의 48.1%를 줄여도 산출수준을 유지할 수 있음을 의미한다. DEA 점수의 표준편차는 0.279, 최소값은 0.068, 최대값은 1.0으로 나타났다. <표 2>는 DEA 점수의 분포를 나타낸 것이다. 상대적으로 효율적인 상태에서 운영되고 있는 화물취급역 즉 참조기업은 25개로 표본의 13.23%인 것으로 나타났다. 비효율적인 화물취급역은 효율성 점수가 0과 1사이의 전체 범위에서 나타나고 있으나 낮은 효율성 점수에 더 많이 분포되어 있는 것으로 나타났다. 효율성이

0.8이상 1.0미만인 화물취급역은 표본의 5.82%로 나타났고 0.2이하인 화물취급역은 25.93%로 나타났다.

〈표 2〉 DEA 점수의 분포

범위	도수	백분율	누적 백분율	역누적 백분율
$\hat{\theta} = 1$	25	13.23	13.23	100.00
$0.9 \leq \hat{\theta} < 1.0$	4	2.12	15.34	86.77
$0.8 \leq \hat{\theta} < 0.9$	7	3.70	19.05	84.66
$0.7 \leq \hat{\theta} < 0.8$	13	6.88	25.93	80.95
$0.6 \leq \hat{\theta} < 0.7$	21	11.11	37.04	74.07
$0.5 \leq \hat{\theta} < 0.6$	16	8.47	45.50	62.96
$0.4 \leq \hat{\theta} < 0.5$	24	12.70	58.20	54.50
$0.3 \leq \hat{\theta} < 0.4$	30	15.87	74.07	41.80
$0.2 \leq \hat{\theta} < 0.3$	29	15.34	89.42	25.93
$\hat{\theta} < 0.2$	20	10.58	100.00	10.58
합계	189			

<표 3>은 DEA 점수의 로그변환을 종속변수로 하고 품목수, 점유율, 적재비율, 거점여부, 적재방법 등의 적하작업환경 변수들을 독립변수로 설정한 식 (3)의 효율성모형을 추정한 결과이다. <표 3>에서 첫 번째 열은 회귀계수를 OLS로 추정한 결과이다. 괄호안에 나타낸 숫자는 표준화자료로부터 추

11) DEA 점수의 계산은 GLPK Package(Makhorin[25])와 R(Venables et al.[31])로 작성된 프로그램으로 수행하였다.

정한 계수이다. 두 번째 열은 식 (3)의 효율성모형에서 확률오차의 분포를 정규분포로 가정하고 비효율성의 분포를 반정규분포로 가정하여 MLE로 추정된 결과이다. 세 번째 열은 식 (3)의 효율성모형을 토빗회귀분석(Tobit)으로 추정된 결과이다¹²⁾.

<표 3> 효율성모형의 추정결과

	OLS (1)	MLE (2)	Tobit (3)
상수	-0.69*** (-0.83)**	-0.07*** (-0.15)**	-0.67*** (-0.77)**
품목수	-0.10*** (-0.24)**	-0.07*** (-0.18)**	-0.11*** (-0.26)**
점유율	0.18*** (0.26)**	0.17*** (0.25)**	0.35*** (0.49)**
적재비율	-0.002* (-0.07)*	-0.001* (-0.04)*	-0.002* (-0.08)*
거점여부	0.45*** (0.20)**	0.30*** (0.13)**	0.37*** (0.17)**
적재방법	0.001** (0.04)**	0.001** (0.04)**	0.001** (0.06)**
λ		3.02***	
σ		0.89***	0.63***

주) n = 189.

** p값이 0.05보다 작음을 나타냄.

*** p값이 0.01보다 작음을 나타냄.

()안의 수는 표준화자료로부터 추정된 계수임.

<표 3>의 첫 번째 열에 나타낸 OLS 추정의 결정 계수(coefficient of determination)는 0.21로 적하작업환경변수들이 DEA 점수로그변환의 변동의 21% 정도만을 설명하고 있으나 $\alpha = 0.01$ 에서 F검정의 임계값은 $F_c(5, 183) = 3.12$ 이고 관측값은 $F_o(5, 183) = 9.55$ 이어서 유의수준 1%에서 효율성모형에 대한

OLS 추정결과가 유의한 것으로 나타났다. <표 3>의 두 번째 열에서 λ 는 u_k (비효율성)의 표준편차에 대한 v_k (확률오차)의 표준편차의 비율을 의미하며 σ 는 v_k 의 분산과 u_k 의 분산의 합의 제곱근을 의미한다. <표 3>의 두 번째 열에 나타낸 MLE 추정결과에서 모수 λ 가 유의수준 1%에서 유의적이며 이는 효율성모형에 대한 MLE 추정의 설계오류(misspecification)가 없음을 보여주는 통계적 증거라 할 수 있다. <표 3>의 세 번째 열에 나타낸 Tobit추정의 설계오류검정을 위해 자유도 6의 카이제곱분포를 갖는 Lin and Schmidt[23]의 통계량과 자유도 2의 카이제곱분포를 갖는 Pagan and Vella[27]의 통계량을 구하였다.¹³⁾ Lin and Schmidt의 통계량은 유의수준 1%에서의 임계값 16.81보다 매우 큰 76.65로 나타나 Tobit 모형이 옳다는 귀무가설이 기각되었다. 또한 Pagan and Vella의 통계량은 유의수준 1%에서의 임계값 9.21보다 매우 큰 150.77로 나타나 정규성이 충족되지 못함을 보여주었다.

<표 3>의 첫 번째 열에 나타낸 OLS 추정결과를 살펴보면 품목수, 점유율, 거점여부 등은 효율성에 유의적인 영향을 주는 것으로 나타났고 적재비율과 적재방법의 영향은 유의적이지 않은 것으로 나타났다. 품목수의 계수는 -0.10으로 음수로 나타났고 점유율의 계수는 0.18로 양수로 나타났는데 이는 취급 품목이 다양할수록 효율성은 낮아짐을 의미하고 취급 규모가 커질수록 효율성이 높아짐을 의미한다. 이러한 결과는 화물취급역에서 다루는 품목을 단순화하면서 규모를 늘리는 정책이 효율성의 개선을 가져올 수 있음을 보여주는 것이라 할 수 있다. 거점여부의 계수는 0.45로 양수로 나타났는데 이는 거점역으로서의 역할을 하는 역이 그렇지 않은 역보다 효율성이 56%($= (e^{0.45} - e^0) \times 100$) 높음을 의미한다. 이러한 결과는 최근 국토해양부와 철도공사가 추진하고 있는 네트워크 거점화 정책의 추진을 통해서 효율성의 개선을 기대할 수 있음을 보여주는

12) OLS, MLE, Tobit 등의 추정결과는 모두 LIMDEP 9.0[20]으로 구하였다. 절단회귀분석은 LIMDEP9.0에서 기본으로 설정된 BHHH 알고리즘과 BFGS 알고리즘을 모두 시도하였으나 우도함수최대화 모수를 찾는데 실패하였다.

13) LIMDEP9.0의 Tobit 추정결과에 Lin and Schmidt [23]의 통계량과 Pagan and Vella[27]의 통계량이 함께 제시된다.

것이라 할 수 있다. 적재비율의 영향이 유의적이지 않게 나타난 것은 발송서비스를 주로 취급하는 역과 도착 서비스를 주로 취급하는 역간에 효율성 수준의 차이가 없음을 의미한다. 한편 적재방법의 영향이 유의적이지 않게 나타난 것은 장비의 활용비율이 높아질수록 효율성이 높아질 것이라는 상식적 기대에 부합되지 않는 결과이다. 이는 자료의 확보 가능성으로 인한 대응치의 사용에 기인한 것으로 판단된다. <표 3>의 두 번째 열에 나타난 MLE 추정결과는 회귀계수의 값, 유의성, 부호 등이 OLS 추정결과와 매우 유사하여 OLS 추정결과로부터의 것과 같은 분석내용을 얻을 수 있다.

<표 3>에서 괄호안에 나타난 표준화자료로부터 추정된 계수(이하 표준화계수)는 적하작업환경변수가 효율성에 미치는 영향의 상대적 중요도로 해석할 수 있다. <표 3>의 첫 번째 열에 나타난 OLS 추정결과에서 유의적인 표준화계수를 살펴보면 점유율 0.26, 품목수 -0.24, 거점여부 0.20으로 나타났으며 이는 효율성에 대한 영향의 상대적 중요도 순서가 취급품목다양성, 취급규모, 거점여부의 순서임을 의미한다. 이러한 순서는 MLE 추정결과에서도 같게 나타났다. 한편 <표 3>의 세 번째 열에 나타난 Tobit 추정은 설계오류검정에서 기각되어 제한속속변수로 인한 OLS 추정결과의 편의에 대한 유의한 해석이 어렵게 되었다.

4. 결 론

본 논문에서는 효율성 및 효율성모형의 추정을 위한 2단계 절차를 사용하여 우리나라 철도화물취급역의 적하작업환경이 철도화물취급역의 효율성에 미치는 영향을 분석하고 이를 통해서 효율성 개선을 위한 방향을 찾아보았다. 2단계 절차의 첫 번째 단계는 Banker et al.[6]의 DEA 모형을 사용하였고 두 번째 단계는 DEA 점수의 로그변환을 적하작업환경변수로 설명하는 회귀모형을 일반최소제곱법, 최우추정법, 그리고 토빗회귀분석 등의 방법으로 추정하였다. 2단계 절차로 분석한 결과에 의하

면 최근 국토해양부와 철도공사가 추진하고 있는 네트워크 거점화 정책의 추진을 통해서 효율성의 개선을 기대할 수 있으며 특히 화물취급역에서 다루는 품목을 단순화하면서 규모를 늘리는 정책이 효율성의 개선을 가져올 수 있을 것으로 분석되었다.

참 고 문 헌

- [1] 국토해양부, 보도자료 : 2010년까지 수요가 적은 철도화물역 198개 정비 추진, 2008.
- [2] 김성호, 오석문, "자료포락분석을 활용한 철도 화물취급역의 성과평가", 「한국철도학회논문집」, 제12권, 제2호(2009), pp.315-320.
- [3] 안치원, 하헌구, "DEA-AR을 활용한 한국철도화물역 효율성 분석", 「대한교통학회지」, 제27권, 제3호(2009), pp.7-16.
- [4] Alexander, J., J. Wheeler, T. Nahra, and C. Lemak, "Managed Care and Technical Efficiency in Outpatient Substance Abuse Treatment Units," *The Journal of Behavioral Health Services and Research*, Vol.25, No.4(1998), pp.377-396.
- [5] Aly, H.Y., R. Grabowski, C. Pasurka, and N. Rangan, "Technical, Scale, and Allocative Efficiencies in U.S. Banking : An Empirical Investigation," *The Review of Economics and Statistics*, Vol.72, No.2(1990), pp.211-218.
- [6] Banker, R.D., A. Charnes, and W.W. Cooper, "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis," *Management Science*, Vol.30, No.9 (1984), pp.1078-1092.
- [7] Banker, R.D. and R. Natarajan, "Evaluating Contextual Variables Affecting Productivity Using Data Envelopment Analysis," *Operations Research*, Vol.56, No.1(2008), pp.48-58.
- [8] Bhattacharyya, A., C.A.K. Lovell, and P. Sahay, "The Impact of Liberalization on the

- Productive Efficiency of Indian Commercial Banks," *European Journal of Operational Research*, Vol.98, No.2(1997), pp.332-345.
- [9] Bjurek, H., U. Kjulin, B. Gustafsson, and D.L. Bosworth, "Efficiency, Productivity and Determinants of Inefficiency at Public Day Care Centers in Sweden; Comment," *Scandinavian Journal of Economics*, Vol.94(1992), Supplement, pp.S173-S191.
- [10] Byrnes, P., R. Fare, S. Grosskopf, and C.A.K. Lovell, "The Effect of Unions on Productivity : U.S. Surface Mining of Coal," *Management Science*, Vol.34, No.9(1988), pp.1037-1053.
- [11] Carrington, R., N. Puthuchery, D. Rose, and S. Yaisawarng, "Performance Measurement in Government Service Provision : The Case of Police Services in New South Wales," *Journal of Productivity Analysis*, Vol.8, No.4(1997), pp.415-430.
- [12] Charnes, A., W.W. Cooper, and E.L. Rhodes, "Measuring the Efficiency of Decision Making Units," *European Journal of Operational Research*, Vol.2, No.6(1978), pp.429-444.
- [13] Chavas, J.-P. and M. Aliber, "An Analysis of Economic Efficiency in Agriculture : A Non-parametric Approach," *Journal of Agricultural and Resource Economics*, Vol.18, No.1 (1993), pp.1-16.
- [14] Chilingirian, J.A., "Evaluating Physician Efficiency in Hospitals : A Multivariate Analysis of Best Practices," *European Journal of Operational Research*, Vol.80, No.3(1995), pp. 548-574.
- [15] Damar, H.E., "The Effects of Shared ATM Networks on the Efficiency of Turkish Banks," *Applied Economics*, Vol.38, No.6(2006), pp. 683-697.
- [16] Dusansky, R. and P.W. Wilson, "Technical Efficiency in the Decentralized Care of the Developmentally Disabled," *The Review of Economics and Statistics*, Vol.76, No.2(1994), pp.340-345.
- [17] Emrouznejad, A., B.R. Parker, and G. Tavares, "Evaluation of Research in Efficiency and Productivity : A Survey and Analysis of the First 30 Years of Scholarly Literature in DEA," *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol.42, No.3(2008), pp.151-157.
- [18] Gattoufi, S., M. Oral, and A. Reisman, "Data Envelopment Analysis Literature : A Bibliography Update(1951~2001)," *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol.38, No.2-3(2004), pp.159-229.
- [19] Gillespie, J., A. Schupp, and G. Taylor, "Factors Affecting Production Efficiency in a New Alternative Enterprise : The Case of the Ratite Industry," *Journal of Agricultural and Applied Economics*, Vol.29, No.2(1997), pp. 409-418.
- [20] Greene, W.H., LIMDEP Version 9.0 : Econometric Modeling Guide Volume 2, New York : Econometric Software, Inc, 2007.
- [21] Hauner, D., "Explaining efficiency differences among large German and Austrian banks," *Applied Economics*, Vol.37, No.9(2005), pp. 969-980.
- [22] Kooreman, P., "Nursing Home Care in The Netherlands : A Nonparametric Efficiency Analysis," *Journal of Health Economics*, Vol.13, No.3(1994), pp.301-316.
- [23] Lin, T-F. and P. Schmidt, "A Test of the Tobit Specification Against an Alternative Suggested by Cragg," *Review of Economics and Statistics*, Vol.66, No.1(1984), pp.174-177.
- [24] Luoma, K., M.-L. Jarvio, I. Suoniemi, and R. T. Hjerpe, "Financial Incentives and Pro-

- ductive Efficiency in Finnish Health Centres," *Health Economics*, Vol.5, No.5(1996), pp. 435-445.
- [25] Makhorin, A., GNU Linear Programming Kit : Reference Manual (Version 4.39), Boston : Free Software Foundation, Inc, 2009.
- [26] Nyman, J.A. and D.L. Bricker, "Profit Incentives and Technical Efficiency in the Production of Nursing Home Care," *Review of Economics and Statistics*, Vol.71, No.4(1989), pp. 586-594.
- [27] Pagan, A. and F. Vella, "Diagnostic Tests for Models Based on Individual Data : A Survey," *Journal of Applied Econometrics*, Vol.4(1989), Supplement, pp.S29-S59.
- [28] Ray, S.C., "Resource-Use Efficiency in Public Schools : A Study of Connecticut Data," *Management Science*, Vol.37, No.12(1991), pp.1620-1628.
- [29] Sexton, T.R., S. Sleeper, and R.E. Taggart, Jr.(1994), "Improving Pupil Transportation in North Carolina," *Interfaces*, Vol.24, No.1(1991), pp.87-103.
- [30] Simar, L. and P.W. Wilson, "Estimation and Inference in Two-Stage, Semi-Parametric Models of Production Processes," *Journal of Econometrics*, Vol.136, No.1(2007), pp.31-64.
- [31] Venables, W.N., D.M. Smith and the R Development Core Team, An Introduction to R-Notes on R : A Programming Environment for Data Analysis and Graphics (Version 2.9.0), <http://cran.r-project.org/>, 2009.