

# DEA를 이용한 동절기 도로제설자재 운영 효율성 평가

## Evaluation of Efficiency of Snow Removal Operation Resources using Data Envelopment Analysis

김진국	Kim, Jin Guk	정회원 · 한국건설기술연구원 인프라안전연구본부 연구원 (E-mail : jingukkim@kict.re.kr)
양충헌	Yang, Choong Heon	정회원 · 한국건설기술연구원 인프라안전연구본부 연구위원 · 교신저자 (E-mail : chyang@kict.re.kr)
박근형	Park, Geun Hyoung	과학기술연합대학대학원 도시 및 교통시스템공학과 전공책임교수 한국건설기술연구원 인프라안전연구본부 전임연구원 (E-mail : godpark@kict.re.kr)

### ABSTRACT

**PURPOSES :** This study evaluates the efficiency of snow removal operation resources using data envelopment analysis (DEA). The results of this study can help decision-making strategies, especially for resource allocation for snow removal works on national highways.

**METHODS :** First, regional road management offices (DMUs) for efficiency evaluation were set up, and a database (for years 2012-2016) for analysis was formed. Second, DEA was carried out by selecting input and output variables based on the constructed database. Lastly, based on the results of the DEA, the efficiency of each regional road management office was evaluated. In addition, the potential for future improvement was determined.

**RESULTS :** The results showed that there was a large variation in efficiency of snow removal operation resources by regional offices.

**CONCLUSIONS :** The results of this study imply that the evaluation of efficiency for snow removal operation resources is important when decisions related to snow-removal strategies are made by road management offices.

### Keywords

DMU, DEA, snow-removal operation resources, efficiency, snow-removal works, decision-making

Corresponding Author : Choong Heon Yang, Research Fellow  
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, 283,  
Goyangdae-ro, Ilsanseo-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do, 10223, Korea  
Tel : +82.31.910.0184 Fax : +82.31.910.0746  
E-mail : chyang@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering

<http://www.ksre.or.kr/>

ISSN 1738-7159 (Print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Jan. 08, 2018 Revised Jan. 09, 2018 Accepted Mar. 13, 2018

## 1. 서론

최근 우리나라 동절기는 예년<sup>1)</sup> 평균 대비 기온이 매우 낮았으며, 지역에 따라 차이는 있으나 짧은 시간 동안 많은 눈이 내리는 특징을 보이고 있다. 국내 기상전문가들은 한파의 주요 원인 중 하나로 지구온난화를 지목하

고 있다. 지구온난화는 기후변화의 한 부분인 냉각화(glaciation)에 반대되는 개념으로, 엄밀히 말하면 빙하 기로부터 벗어나면서 온도가 상승하는 것도 온난화의 범주에 들어간다. 물론, 기후변화와 국지적인 기상변화를 구분해야 한다는 의견도 만만치 않게 대두되고 있다. 국내에서 유례없는 폭설과 지속적인 한파가 발생하고 있고, 특히 올해 세계적인 축제인 평창 동계올림픽을 앞

1) 지난 30년간의 기후의 평균적 상태를 이르는 말

두고 있는 만큼 현재 국내 도로제설 정책 측면에서 재정립할 부분이 필요한지 점검할 필요가 있다. 이를 위해서 우선 평창 동계올림픽 개최지 직·간접 영향권에 해당하는 도로제설담당 기관들의 현재 도로제설자재 운영 효율성에 대한 평가를 수행할 필요가 있다.

한국의 법정도로는 크게 고속국도, 일반국도, 지방도, 시·군도로 구분할 수 있으며, 국토교통부, 한국도로공사, 지자체 등 도로관리 기관에 의해 유지관리되고 있다.

이 중 가장 긴 도로연장을 가지고 있는 일반국도는 국토교통부가 담당하고 있다(2017년 기준, 100,000km). 일반국도의 도로제설작업은 전국 18개 국토관리사무소에서 수행하고 있고, 이들은 국토교통부 산하 기관이다. 또한, 지방도, 시·군도는 각 지역별 지자체가 수행하고 있으며, 고속국도는 한국도로공사 및 민자고속도로 관리기관에서 수행하고 있다.

평창 동계올림픽 기간 동안 하루 평균 5만 6천여 명이 경기관람을 위해 이동할 것으로 예측하고 있으며, 이에 따라 교통수요도 평시보다 약 20% 정도 증가할 것으로 예상된다(강원도 보도자료, 2017)

따라서 본 연구에서는 평창 동계올림픽을 대비하여 Fig. 1과 같이 올림픽 개최지의 직·간접 영향권(수도권, 강원권, 충청권)에 위치한 도로관리기관을 공간적 범위로 설정하였다.

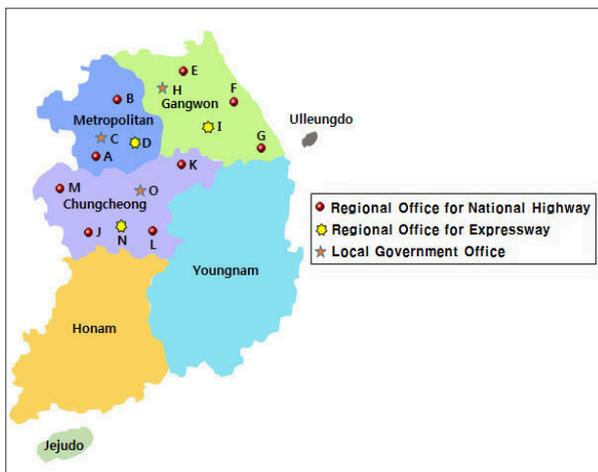


Fig. 1 Research Scope

현재 국내 도로관리기관의 도로제설작업 효율성에 대한 평가는 주로 정성적인 관점, 예를 들어 민원발생건수 등에 의존하고 있다. 그러나 이러한 평가 방법은 도로이용자에게는 도로 서비스에 대한 과도한 기대를 줄 수 있고, 도로관리자 입장에서는 민원발생 최소화를 위해 과도한 도로제설작업을 수행하게 하는 부정적인 측면도

존재한다. 과도한 도로제설작업이란 도로제설업무수행 요령 상에 제시된 기준 이상의 제설제 살포로 인한 부정적인 환경영향이나, 자원배분의 불균형에 따른 예산 낭비 등이 포함된다. 따라서 도로관리자 입장에서는 보다 과학적이고 체계적인 도로제설자재 운영의 효율성 평가를 통해 효율성이 다소 낮게 평가된 도로관리기관의 원인을 정확하게 진단할 필요가 있다.

본 연구에서는 지난 동절기 5시즌(2012년~2016년) 동안의 도로제설작업 관련 데이터를 근거로 도로관리기관별 도로제설자재 운영에 대한 효율성 평가를 수행하였다. 이를 위해서 의사결정단위(DMU: Decision Making Unit) 사이의 상대적 효율성을 비교하는 비모수적 기법인 Data Envelopment Analysis(DEA)를 활용하였다.

## 2. 문헌고찰

### 2.1. 국내 도로제설 정책

국내 모든 도로의 제설작업을 위해 소요되는 예산은 연 평균 약 800억 원 정도로 제설자재 및 장비 구매, 시설물 유지·관리, 제설업무 위탁 비용 등이 포함된다(국토교통부 내부자료, 2017). 도로제설작업은 도로제설업무수행요령이라는 국가 지침에 근거하여 제설작업 계획·수행·종료의 3단계로 진행된다. 그러나 본 지침에는 제설자원의 배분이나 예산 절감 방안 등에 대한 구체적인 내용은 포함되어 있지 않다.

현장에서 각 도로관리기관이 실질적으로 관리하는 연장은 도로신설, 차로확대, 지자체와의 제설작업 구간 신규 구분 등으로 매년 차이가 있을 수 있고, 이를 근거로 도로관리기관별 제설자원 배분의 근거로 활용되는 것이 현실이다. 그러나 단순히 관리연장을 기준으로 자원을 배분하는 것은 과학적이거나 체계적인 방법이 아니다. 이에 따른 부작용으로 최근 몇 년 사이 도로신설이 없는 지역의 사무소에는 매년 거의 동일한 예산이 배분되고 있다. 반면에, 동절기 기후와 별도로 도로신설 등이 증가한 도로관리기관은 증액된 예산이 배분되고 있어, 전체적인 도로제설 역량에 다소 부정적인 영향을 미치고 있다.

최근 들어, 효율적 자원배분과 환경 영향 최소화에 대한 관심이 대두되면서, 이를 뒷받침하기 위한 도로제설 정책 수립을 위한 노력이 진행 중에 있다.

### 2.2 기존 문헌검토

국내·외에서 DEA를 통해 효율성을 평가한 연구들은 많이 있다. DEA는 다수의 DMU로 다수 투입 및 산출

요소가 존재하는 상황을 매우 쉽게 묘사할 수 있으며, 주어진 산출투입물 자료만으로 투입산출 생산관계를 비모수적 접근으로 추정하여 함수 형태에 대한 가정이 필요하지 않은 장점이 있다. 또한, 관측 자료에 대한 가공이나 방법 검증과 관련한 가설도 필요하지 않다. 그러나 상대적 효율성만을 산출할 수 있고, 평가 결과가 DMU 및 변수의 수에 큰 영향을 받는 단점도 존재한다.

김수현(2014)의 연구에서는 도시철도의 각 노선별 수송효율성을 DEA를 활용하여 분석하고, 수익성 측면에 있어 효율적인 운영방안을 제시하였다. 분석의 DMU는 전국 17개 노선이며, 효율성 평가를 위한 투입물로는 차량 수 및 운행 횟수, 산출물로는 운수 수익을 이용하였다. 그 결과, 서울 2개 노선이 효율적 DMU로 나타났으며, 추가적으로 외부요인이 수송효율성에 주는 영향을 파악하기 위하여 운임제도 및 무임 손실 비용이 효율성에 미치는 영향을 고려하였다. 마지막으로 도시철도노선을 운영 효율성 기준으로 유사한 특성을 가진 그룹으로 분류하여 하위 그룹의 효율성 향상 방법으로 차량 수 확보 및 운영 시스템 변경을 제시하였다. 분석의 한계로는 투입물로 이용하는 변수가 운영 측면에 한정되어 있어 효율성 향상을 위해 제시하는 대안 역시 운영 차원에 대한 개선방안에 한정적이라는 점이 있다.

김대훈(2013)의 연구에서는 경기도내 택시서비스 효율성 실측 및 제고 방안 마련을 위하여 DEA를 활용, 경기도 내 31개 시·군의 개인택시 및 법인택시를 DMU로 선정하여 기술효율성 및 규모효율성을 분석하였다. 이때 투입변수는 택시 및 택시기사가 제공하는 서비스에 대한 기사친절도, 차량상태, 택시운행, 요금의 4가지 항목으로 하며, 산출변수는 승객의 만족도로 한다. 분석 결과 개인택시의 경우 5개 지자체, 법인 택시의 경우 4개 지자체만이 효율성이 있는 것으로 나타났으며, 개인택시와 법인택시 두 집단의 효율성에는 차이가 없는 것으로 검증되었다. 그러나 본 논문에서 진행한 효율성 실측은 단순한 현황분석에 그치며 실제 효율성을 제고시킬 수 있는 현실적인 방안을 도출하지 못하는 한계를 보여준다.

홍석진(2003)은 도로교통분야 전문가 설문을 통해 도출된 설문결과를 토대로 DEA의 선호 투표(Preference Voting) 기법을 적용하여 2020년까지의 교통정책 방향과 정책 우선순위를 분석하였다. 분석결과 2020년까지 추진되어야 할 교통정책 방향의 우선순위는 종합연계교통체계 구축, 대중교통 통합서비스 체계 구축, 재원 조달 및 투자 체계 합리화, 교통·물류산업의 국가경쟁

력 강화와 교통안전체계 선진화 등으로 나타났다. 특히, 교통 수단간 환승 및 환적 체계의 구축과 교통 결절점을 중심으로 한 연계교통체계의 구축, 공항과 지표 고속교통수단과의 연계교통체계의 구축이 시급하다는 결론을 도출하였다.

김민정(2003)은 DEA와 토빗회귀분석기법(Tobit Regression Analysis)을 통해 도시철도 운영기관들의 효율성을 분석하였다. 투입변수로는 노동, 전력, 전동차, 궤도(또는 자본) 네 가지를 사용하였으며, 산출변수로는 공급관련 지표인 전동차-km를 사용하였다. 생산적 효율성, 배분적 효율성, 기술적 효율성에 따라 철도 운영기관들은 차이를 보였으며, 총 효율성에 있어서는 서울시지하철공사, 철도청 수도권 전철부문, 부산교통공단 순으로 높은 것으로 나타났다. 도시철도 운영 기관들의 경영 상태에 대한 공정한 평가를 위해 외부요인의 영향을 배제하는 방안의 시행과 기존 또는 신설예정인 도시철도 운영기관의 비용 효율성을 제고하기 위해 지방 공기업 또는 공단으로의 조직유형 개편이 필요하다는 시사점을 도출하였다.

Barnum, McNeil, and Hart(2007)의 연구에서는 Chicago Transit Authority의 교통 부차단위인 16개 주차장을 DMU로 하여 DEA 분석을 하였고, 효율성을 구한 뒤 환경적 요인에 의한 수치로 보정하였다. DEA를 위해 활용한 투입물은 주차 공간의 수 및 일평균 운영비용이며, 산출물은 주차장에 대하여 주차된 차량의 평균 대수 및 평균 일 수입이다. 16개의 DMU에 대하여 분석을 시행한 결과, 4개에 대하여 효율적이라는 결론을 얻었다. 또한, 각 환경의 영향을 고려해서 도출된 효율성 결과에 대하여 환경조건에 의한 보정을 위해 중앙 시내에서 주차장까지의 거리, 가장 가까운 고속도로에서의 거리를 이용하여 효율성 점수 결과를 보정하였다.

Sun et al(2010)의 연구에서는 중국 베이징 내 대중교통 중요성 증가에 따라 중요한 역할을 맡는 도시 공공교통 터미널의 이동 효율성(Transfer Efficiency) 비교를 위해 DEA를 이용하였다. DMU는 베이징 내 10개의 운송터미널이다. 투입 변수로는 환승 공간, 운영비용, 터미널 내 직원 수, 버스의 용량이 이용되었으며, 산출변수는 총 이용 승객 수 및 환승 안전성, 평균 환승시간이다. 이에 따라 4개의 터미널이 효율적인 반면, 이외의 터미널이 비효율적인 것으로 결론을 내렸다.

Georgiads et al(2014)의 연구에서는 DEA를 통해 대중교통 버스 라인의 생산성을 비교 및 파악하고, 공급 및 수요 간의 관계에 따른 효율성을 조사하였다. 각 로

컬 버스 라인이 DMU로 분류되며, PT 및 AVL 시스템에서 수집한 운행거리, 서비스 시간, 차량수, 운행거리당 이익, 좌석당 이익, 여객수를 변수로 도입하였다. R을 이용하여 투입 지향 모델(CRS-Input oriented model)과 산출 지향 모델(CRS-Output oriented model)에 대해 분석하였다. 결과적으로 각 변수는 효율성과 명백한 양, 혹은 음의 상관관계를 보이지는 못했다. 따라서 본 연구의 문제점으로 변수로 활용하지 않은 외부 요인에 대한 영향을 지적할 수 있으며, 이러한 기타 요인을 변수로 도입한다면 효율 향상을 위해 개선해야 할 사항에 대한 분석이 가능할 것으로 판단된다.

이와 같이, 일부 도로교통 분야의 서비스 또는 운영 효율성을 평가하기 위해 DEA를 이용하고 있다. 그러나 도로제설자재 운영의 효율성 평가에 DEA를 적용한 연구 사례는 아직 없다.

### 3. 연구 방법론

본 연구에서는 최근 5년간 도로관리기관별 도로제설자재 운영에 대한 효율성 평가를 위한 방법론을 다음 Fig. 2와 같이 설정하였다. 먼저 효율성 평가를 위한 DMU(도로관리기관)를 설정한 후 분석을 위한 자료를 구축하였다. 구축된 자료를 기반으로 투입변수와 산출변수를 선정하여 DEA 분석을 수행하였다. 마지막으로 분석결과에 따라 도로관리기관별로 효율성을 평가 후, 향후 잠재 향상도를 도출하였다.

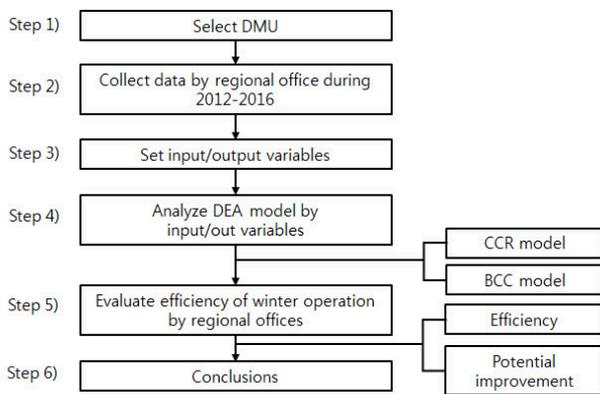


Fig. 2 Methodology

#### 3.1. DEA(Data Envelopment Analysis)

DEA는 Farrell(1957)의 상대적 효율성 개념을 기초로 개발된 비모수적(non-parametric) 효율성 측정방법으로, 가격에 대한 정보와 자료 집계를 필요로 하지 않고, 다

수의 투입 요소와 다수의 산출 요소를 통해 효율성을 측정하는 기법이다(김수현, 2014). 이 때문에 정부 및 공공기관, 은행, 병원, 일반기업 등 조직 및 기관 운영의 효율성 평가 등 다양한 분야에서 많이 사용되고 있다.

DEA 모형은 기본적으로 규모수익(Return to Scale)을 가정하고 있으며, 많은 모형들 중 CCR 모형과 BCC 모형이 가장 많이 활용되고 있다. 규모수익은 투입요소를 비례적으로 증가시킴에 따른 산출결과를 의미한다. Charnes, Cooper and Rhodes(1978)에 의해 개발된 CCR 모형은 투입과 산출의 관계가 일정하게 증가하는 불변 규모수익(CRS; Constant Return to Scale)을 가정한다. 반면, Banker, Charnes and Cooper(1984)에 의해 제시된 BCC 모형은 투입과 산출의 관계가 규모수익에 따라 변하는 가변 규모수익(VRS; Variable Return to Scale)을 가정하고 있다.

또한, DEA 모형은 투입지향(Input-oriented)과 산출지향(Output-oriented) 모형으로 구분된다. 투입지향 모형은 산출요소를 고정한 상태에서 투입요소를 최소화 하여 효율을 개선하는 것이고, 산출지향 모형은 반대로 투입요소를 고정한 상태에서 산출요소를 최대화 하여 효율을 개선하는 것이다(서경수, 2016). 투입지향 CCR 모형과 BCC 모형의 선형계획모형 식은 다음과 같다.

$$\theta^{k*} = \min_{\theta, \lambda, s^-, s^+} \left\{ \theta^k - \epsilon \left( \sum_{m=1}^M s_m^- + \sum_{n=1}^N s_n^+ \right) \right\} \quad (1)$$

$$\text{s.t. } \theta^k x_m^k \geq \sum_{j=1}^J x_m^j \lambda^j + s_m^- \quad (m=1, 2, \dots, M),$$

$$y_n^k \leq \sum_{j=1}^J y_n^j \lambda^j - s_n^+ \quad (n=1, 2, \dots, N),$$

$$\lambda^j \geq 0 \quad (j=1, 2, \dots, J), \quad s_m^- \quad (m=1, 2, \dots, M), \quad s_n^+ \quad (n=1, 2, \dots, N)$$

여기서,

$\theta$  : DMU의 효율 수준

$\lambda$  : 참조집합들의 가중치

$s_m^-$  : 초과투입량(투입요소의 여유변수)

$s_n^+$  : 초과투입량(산출요소의 여유변수)

$$\theta^{k*} = \min_{\theta, \lambda, s^-, s^+} \left\{ \theta^k - \epsilon \left( \sum_{m=1}^M s_m^- + \sum_{n=1}^N s_n^+ \right) \right\} \quad (2)$$

$$\text{s.t. } \theta^k x_m^k \geq \sum_{j=1}^J x_m^j \lambda^j + s_m^- \quad (m=1, 2, \dots, M)$$

$$y_n^k \leq \sum_{j=1}^J y_n^j \lambda^j \quad (n=1, 2, \dots, N)$$

$$\sum_{j=1}^J \lambda^j = 1, \quad \lambda^j \geq 0 (j=1,2,\dots,J), \quad s_m^-(m=1,2,\dots,M),$$

$$s_n^+(n=1,2,\dots,N)$$

여기서,

$\theta$  : DMU의 효율 수준

$\lambda$  : 참조집합들의 가중치

$s_m^-$  : 초과투입량(투입요소의 여유변수)

$s_m^+$  : 초과투입량(산출요소의 여유변수)

일반적으로 공공분야와 같은 비경쟁적 환경에서는 DMU의 운영 목적이 산출요소를 최대화하는 것이 아니며 공공기관은 주어진 예산을 효과적으로 사용하여 공공의 효익을 추구하기 때문에 일반적으로 투입기준 모형을 사용한다(Barros and Alves, 2003).

따라서 본 연구의 목적은 공공부문의 효율성을 평가하는 것이기 때문에 투입지향 모형을 기준으로 CCR 분석과 BCC 분석 모두 수행하였다.

### 3.2. 효율성 분석

효율성(Efficiency)이란 제한된 자원 내에서 최대의 산출물을 창출해내는 생산기술로, 일반적으로 투입량에 대한 산출량의 비율로 정의될 수 있다. 즉, 일정한 투입 수준에서 산출물을 최대화하는 능력 또는 일정한 산출 수준에서 투입물을 최소화하는 능력을 의미한다(김수현, 2014).

CCR모형의 효율성을 기술효율성(Technical Efficiency)이라고 하며, 이는 DMU와 동일한 산출량을 생산하기 위해 어느 정도의 투입량을 줄여야 하는지를 나타내는 정도이다. BCC 모형의 효율성을 순수 기술효율성(Pure Technical Efficiency)이라고 하며, 이는 모든 투입요소를 비례적으로 증가시켰을 때의 산출량을 의미한다. 또한 CCR 모형과 BCC 모형의 효율성 차이를 규모효율성(SE, Scale Efficiency)이라 한다. 규모효율성은 CCR 모형의 효율성과 BCC 모형의 효율성을 나눈 값으로 투입규모가 최적 규모 상태인지를 나타내는 값으로 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$SE = \frac{CCR}{BCC} \quad (3)$$

일반적으로 CCR 모형에 의한 결과만으로는 비효율

성의 원인을 찾기가 어려운 경우가 많다. 그러나 BCC 모형에서는 DMU가 순수 기술적 요인에 의한 것인지 아니면 규모의 요인에 의한 것인지를 판명해 준다(이은국 외, 2003).

따라서 본 연구에서는 DMU의 투입·산출 변수에 대한 기술효율성(CCR), 순수 기술효율성(BCC), 규모효율성(SE)에 대한 분석을 통해 효율성을 평가하였다. 이를 위한 분석 프로그램으로는 Frontier Analyst Professional Edition Version 3.2.2를 사용하였다.

### 3.3. 자료 구축

국토교통부 산하 도로관리기관, 한국도로공사 및 민자 고속도로 관리기관, 각 지자체에서는 2012년부터 제설자재, 인력, 장비에 대한 보유량과 사용실적에 대한 이력 데이터를 온라인 시스템을 통해 관리하고 있다. 이 시스템에는 연도별·관리기관별 제설작업연장, 제설작업일수, 제설자재(보유량, 사용량), 인력, 장비, 설해대책예산 등에 대한 데이터가 기록된다. 매년 도로제설작업은 제설자재, 인력, 장비를 통해 수행되며, 도로관리기관별 보유량, 활용실적, 그리고 유지·관리 등에 차이가 있을 수 있다.

본 연구에서는 DEA 분석을 위해 해당 도로운영기관에서 수집·관리하고 있는 동절기 도로제설자재 운영 데이터(2012~2016)를 구축하였다.

Regional office	Database
A	• Weather condition
B	• Snowfall days
C	• Snow operation staffs
D	• Snow operation equipments
E	• Snow operation materials
F	• Snow operation facilities
G	• Snow operation budget
.	• Traffic control management
.	.
.	.

Fig. 3 Snow Removal Operation Resources DB in RSMS (Example)

### 3.4 투입·산출 변수의 선정

DEA를 통해 타당한 효율성 분석이 이루어지기 위해서는 분석대상 DMU, 투입변수와 산출변수의 선정, 분석방법 등의 결정이 중요하다(서경수, 2016).

따라서 평창 동계올림픽 개최지의 직·간접 영향권에 있는 도로관리기관들의 동절기 도로제설자재 운영에 대

한 효율성 평가를 위해 투입변수와 산출변수를 Table 1 과 같이 선정하였다.

Table 1. Input and Output Variables

Input variables	<ul style="list-style-type: none"> <li>Planned budget (Million won)</li> <li>Highway length (km)</li> <li>Number of snow removal operation workers/day</li> <li>Number of used equipments/day</li> </ul>
Output variables	<ul style="list-style-type: none"> <li>Used budget (Million won)</li> <li>Used CaCl<sub>2</sub>/day (ton)</li> <li>Used NaCl/day (ton)</li> </ul>

앞서 언급하였듯이, 동절기 도로제설작업은 계획·수행·종료와 같이 단계별로 구분할 수 있다. 계획단계에서는 도로제설작업을 위한 예산 확보가 이루어져야 하고, 수행단계에서는 도로제설작업을 위한 도로관리기관별로 제설인력, 제설장비 등이 투입되어야 한다. 이들 투입 요소들은 제설자재 구입 및 사용으로 인한 비용과 사용실적 등을 산출한다.

따라서 효율성 평가를 위한 투입변수(Input variable)로 동절기 도로운영 관련 확보예산(백만원), 도로운영기관별 관할 도로연장(km), 도로제설작업 투입인력(명), 도로제설작업 투입장비(대)를 투입변수로 선정하였다. 확보예산은 동절기 도로제설작업을 위해 확보된 예산을 금액(백만원)으로 나타낸 것이다. 투입인력과 투입장비의 경우 지역별로 강설량 및 강설일수에 따른 제설작업일수가 다르기 때문에 일(Daily) 평균으로 환산하여 적용하였다.

효율성 평가를 위한 산출변수(Output variable)로는 도로제설작업을 위한 집행금액, 도로관리기관별 제설자재(염화칼슘 및 소금) 사용량으로 설정하였다. 이 또한 마찬가지로 지역별로 강설량 및 강설일수에 따른 제설작업일수가 다르기 때문에 일(Daily) 평균으로 환산하여 적용하였다.

본 연구에서는 15개의 DMU를 고려하여 투입·산출변수의 수를 설정하였다. Boussofiane et al(1991)은 DMU의 수는 투입변수의 수와 산출변수의 수를 곱한 수보다 커야 한다는 것을 제안하였고, 이정동 외(2012)는 DMU 개수는 투입과 산출 요소를 곱한 수의 2 또는 3을 곱한 수가 넘어야 타당하다고 하였다.

## 4. 분석결과

### 4.1. 효율성 분석 결과

본 연구에서는 DEA를 이용하여 평창 동계올림픽 개최지의 직·간접 영향권에 해당하는 도로관리기관의 최근 5년간(2012~2016) 도로제설자재에 대한 운영 효율성을 평가하였으며, 분석결과는 Table 2와 같다.

Table 2. DEA Efficiency (2012~2016)

Region	DMU	Year	CRS TE	VRS TE	SE	RTS
Metro politan	A NHRO	2012	1.00	1.00	1.00	constant
		2013	0.93	1.00	0.93	constant
		2014	0.96	1.00	0.96	constant
		2015	1.00	1.00	1.00	constant
		2016	1.00	1.00	1.00	constant
	B NHRO	2012	0.69	0.87	0.79	decreasing
		2013	1.00	1.00	1.00	constant
		2014	0.95	0.96	0.99	decreasing
		2015	0.64	0.78	0.82	decreasing
	C LGO	2016	0.95	0.98	0.96	decreasing
		2012	1.00	1.00	1.00	constant
		2013	1.00	1.00	1.00	constant
		2014	1.00	1.00	1.00	constant
		2015	1.00	1.00	1.00	constant
	D ERO	2016	1.00	1.00	1.00	constant
		2012	1.00	1.00	1.00	constant
2013		1.00	1.00	1.00	constant	
2014		1.00	1.00	1.00	constant	
2015		1.00	1.00	1.00	constant	
Gang won	E NHRO	2016	1.00	1.00	1.00	constant
		2012	0.90	0.91	0.99	decreasing
		2013	0.88	0.90	0.98	Increasing
		2014	1.00	0.90	0.98	constant
		2015	0.84	0.89	0.94	decreasing
	F NHRO	2016	0.95	0.95	1.00	decreasing
		2012	0.74	0.80	0.93	decreasing
		2013	1.00	1.00	1.00	constant
		2014	1.00	1.00	1.00	constant
		2015	0.67	0.79	0.85	decreasing
	G NHRO	2016	0.90	0.94	0.96	decreasing
		2012	0.69	0.95	0.73	decreasing
		2013	0.84	1.00	0.84	constant
		2014	0.95	1.00	0.95	constant
		2015	0.72	0.92	0.78	decreasing
H LGO	2016	0.80	1.00	0.80	constant	
	2012	0.64	0.81	0.79	decreasing	
	2013	0.72	0.78	0.92	decreasing	
	2014	0.77	0.79	0.98	decreasing	
	2015	0.72	0.82	0.88	decreasing	
		2016	1.00	1.00	1.00	constant

Region	DMU	Year	CRS TE	VRS TE	SE	RTS
Gangwon	I ERO	2012	1.00	1.00	1.00	constant
		2013	1.00	1.00	1.00	constant
		2014	1.00	1.00	1.00	constant
		2015	1.00	1.00	1.00	constant
		2016	1.00	1.00	1.00	constant
Chungcheong	J NHRO	2012	0.91	1.00	0.91	constant
		2013	1.00	1.00	1.00	constant
		2014	1.00	1.00	1.00	constant
		2015	1.00	1.00	1.00	constant
		2016	1.00	1.00	1.00	constant
	K NHRO	2012	1.00	1.00	1.00	constant
		2013	1.00	1.00	1.00	constant
		2014	1.00	1.00	1.00	constant
		2015	1.00	1.00	1.00	constant
		2016	1.00	1.00	1.00	constant
	L NHRO	2012	0.90	1.00	0.90	constant
		2013	0.78	1.00	0.78	constant
		2014	1.00	1.00	1.00	constant
		2015	0.84	1.00	0.84	constant
		2016	1.00	1.00	1.00	constant
	M NHRO	2012	1.00	1.00	1.00	constant
		2013	0.98	1.00	0.98	constant
		2014	1.00	1.00	1.00	constant
		2015	1.00	1.00	1.00	constant
		2016	1.00	1.00	1.00	constant
N LGO	2012	0.85	1.00	0.85	constant	
	2013	0.71	1.00	0.71	constant	
	2014	0.76	1.00	0.76	constant	
	2015	0.55	1.00	0.55	constant	
	2016	0.75	1.00	0.75	constant	
O ERO	2012	1.00	1.00	1.00	constant	
	2013	1.00	1.00	1.00	constant	
	2014	1.00	1.00	1.00	constant	
	2015	1.00	1.00	1.00	constant	
	2016	1.00	1.00	1.00	constant	

\* NHRO : National Highway Regional Office  
 \*\* LGRO : Local Government Office  
 \*\*\* ERO : Expressway Regional Office  
 \*\*\*\* CRS TE : Constant Return to Scale Technical Efficiency (CCR)  
 \*\*\*\*\* VRS TE : Variable Return to Scale Technical Efficiency (BCC)  
 \*\*\*\*\* SE : Scale Efficiency, CRS TE (CCR)/VRS TE(BCC)  
 \*\*\*\*\* RTS : Return to Scale

Table 2에서 나타난 분석결과의 경우 연도별로 효율성에 차이가 있어 명확하게 분석결과를 해석하기가 어렵다. 이는 이상기후와 더불어 지역적 기후특성이 반영되었기 때문인 것으로 판단된다.

따라서 이를 위해 Table 3과 같이 최근 5년간 도로관

리기관별 도로제설자재 운영 효율성에 대한 분석결과를 평균값으로 제시하였다.

Table 3. Summary of DEA Efficiency (2012~2016)

Region	DMU	CRS TE	VRS TE	SE	The cause of inefficiency	
					VRS TE	SE
Metro politan	A NHRO	0.98	1.00	0.98		*
	B NHRO	0.85	0.92	0.91		*
	C LGO	1.00	1.00	1.00	-	-
	D ERO	1.00	1.00	1.00	-	-
Gang won	E NHRO	0.91	0.93	0.98	*	
	F NHRO	0.86	0.91	0.95	*	
	G NHRO	0.80	0.97	0.82	*	
	H LGO	0.77	0.84	0.91	*	
Chung cheong	I ERO	1.00	1.00	1.00	-	-
	J NHRO	1.00	1.00	1.00	-	-
	K NHRO	1.00	1.00	1.00	-	-
	L NHRO	0.90	1.00	0.90		*
	M NHRO	0.996	1.00	0.996		*
	N LGO	0.72	1.00	0.72		*
	O ERO	1.00	1.00	1.00	-	-

\* NHRO : National Highway Regional Office  
 \*\* LGRO : Local Government Office  
 \*\*\* ERO : Expressway Regional Office  
 \*\*\*\* CRS TE : Constant Return to Scale Technical Efficiency (CCR)  
 \*\*\*\*\* VRS TE : Variable Return to Scale Technical Efficiency (BCC)  
 \*\*\*\*\* SE : Scale Efficiency, CRS TE (CCR)/VRS TE(BCC)

먼저 도로등급별로 도로제설자재의 운영 효율성을 살펴보면, 고속국도를 담당하고 있는 도로관리기관이 가장 효율적으로 도로제설자재를 운영하고 있는 것으로 나타났다. 이는 고속국도의 경우 도로제설작업체계가 시스템화되어 있어 빠른 대응이 가능하기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 일반국도, 지방도, 시·군도에 비해 짧은 도로연장과 더불어 모든 도로가 연속류 형태로 이루어져 있어 효율적인 운영이 가능하다. 반면, 일반국도, 지방도, 시·군도의 경우 도로연장이 상대적으로 매우 길 뿐만 아니라, 많은 부분의 도로가 고가도로, 교차로 등 단속류 형태와 혼재되어 있어 도로제설자재의 효율적인 운영이 상대적으로 어렵다. 또한, 방대한 도로연장을 관리하다 보니 고속국도처럼 도로제설자재 운영에 있어 체계적으로 시스템화시키는 것에 한계가 있다.

지역별 도로제설자재의 운영 효율성을 살펴보면, 수도권 지역의 C(지방도, 시·군도), D(고속국도), 강원권 지역의 I(고속국도), 충청권 지역의 J, K(일반국도),

O(고속국도) 도로관리기관은 도로제설자재 운영에 있어서 매우 효율적인 것으로 분석되었다. 반면, 수도권 지역의 A, B(일반국도), 강원권 지역의 E, F, G(일반국도), H(지방도, 시·군도), 충청권 지역의 L, M(일반국도), N(지방도, 시·군도), 도로관리기관은 도로제설자재 운영이 타 기관에 비해 상대적으로 비효율적인 것으로 분석되어 개선이 필요한 것으로 나타났다.

강원권 지역의 A(일반국도), 충청권 지역의 L, M(일반국도), N(지방도, 시·군도) 도로관리기관의 경우 CCR 모형에서는 비효율적으로 분석되었으나, BCC 모형에서는 효율적인 것으로 분석되었다. 이것은 비효율성의 원인이 기술적인 투입-산출요소가 아니라 규모의 비효율성으로 인해 발생했다는 사실을 추론할 수 있다. 여기서 규모는 도로제설작업을 의미하는데 도로제설작업은 기후에 따른 강설량에 기인한다. 따라서 만일 효율

성의 개선이 필요하다면, 규모의 조정보다는 효율성이 높은 기관들을 준거모델로 삼아 벤치마킹하여 개선의 노력을 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

또한, 강원권 지역의 도로관리기관(E, F, G, H(일반국도))의 비효율성의 원인이 순수 기술적 요인에 의해 나타난 것으로 분석되었다. 이는 예산, 인적, 물적 요인에 대한 적절한 투입 조절을 통해 비효율성을 개선해야 한다는 의미이다. 강원권 지역의 경우 지역적 특성으로 인해 전통적으로 강설량이 많이 발생한다. 이로 인해, 항상 많은 양의 투입요소(예산, 인력, 장비 등)를 확보하게 되는데 강설량이 적은 연도의 경우 분석결과와 같이 효율성 저하의 주요 원인이 될 수 있다고 판단된다. 일반적으로 공공부문의 비효율성은 인적, 기술적, 조직적 측면의 다양한 요인에 의해 복합적으로 발생하여 나타나는 경우가 많다(조영석, 2005).

Table 4. Potential Improvement for CCR

Region	DMU	Input variable				Output variable		
		Planned budget (Million won)	Highway length (km)	Number of snow removal operation workers/day	Number of used equipments/day	Used budget (Million won)	Used CaCl <sub>2</sub> /day (ton)	Used NaCl/day (ton)
Metro politan	A NHRO	-5.1 %	-2.3 %	-2.3 %	-19.2 %	2.1 %	0.0 %	14.2 %
	B NHRO	-15.5 %	-15.5 %	-24.3 %	-34.8 %	0.0 %	74.5 %	13.6 %
Gangwon	E NHRO	-8.4 %	-12.0 %	-41.5 %	-8.4 %	0.0 %	108.1 %	8.9 %
	F NHRO	-13.6 %	-13.6 %	-33.7 %	-27.5 %	1.2 %	62.7 %	14.8 %
	G NHRO	-19.8 %	-19.8 %	-46.8 %	-34.5 %	0.0 %	268.9 %	58.5 %
	H LGO	-22.9 %	-76.2 %	-46.9 %	-31.1 %	0.0 %	61.7 %	33.7 %
Ghung cheong	NHRO	-9.6 %	-9.6 %	-17.2 %	-12.5 %	0.0 %	1.5 %	15.8 %
	M NHRO	-0.4 %	-0.4 %	-10.3 %	-1.3 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
	N LGO	-27.7 %	-74.9 %	-59.4 %	-48.7 %	5.1 %	101.4 %	3.8 %

Table 5. Potential Improvement for BCC

Region	DMU	Input variable				Output variable		
		Planned budget (Million won)	Highway length (km)	Number of snow removal operation workers/day	Number of used equipments/day	Used budget (Million won)	Used CaCl <sub>2</sub> /day (ton)	Used NaCl/day (ton)
Metro politan	A NHRO	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
	B NHRO	-8.1 %	-8.1 %	-16.1 %	-28.3 %	5.6 %	96.7 %	13.8 %
Gangwon	E NHRO	-6.9 %	-8.6 %	-38.9 %	-11.1 %	0.0 %	106.3 %	12.4 %
	F NHRO	-9.3 %	-9.3 %	-26.5 %	-26.6 %	1.9 %	84.4 %	11.3 %
	G NHRO	-3.8 %	-2.7 %	-21.2 %	-11.6 %	4.3 %	220.5 %	31.2 %
	H LGO	-16.0 %	-46.6 %	-35.0 %	-23.7 %	0.0 %	92.3 %	36.9 %
Ghung cheong	NHRO	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
	M NHRO	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
	N LGO	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %

또한, 수도권과 충청권의 경우 일부 지역을 제외하고 이상기후로 인해 강설 및 폭설 횟수가 점차 증가하고 있는 것도 비효율성의 원인으로 추정될 수 있다.

## 4.2. 잠재적 향상도 분석결과

DEA는 비효율적인 DMU의 투입변수와 산출변수에 대한 실제값(Actual values)과 목표값(Target values)을 기반으로 비효율적인 DMU에 대한 잠재적 향상도(Potential Improvement)의 도출이 가능하다. 잠재적 향상도는 비효율적인 DMU에 대한 향후 개선 가능성을 나타낸다.

CCR 모형과 BCC 모형으로부터 도출된 비효율적인 DMU에 대한 잠재적 향상도는 Table 4와 Table 5와 같다. 우선, Table 4의 CCR 모형에 의해 도출된 잠재적 향상도를 보면, 가장 잠재적 향상도가 높은 충청권 지역의 M(일반국도) 도로관리기관의 경우 비효율성 개선을 위해 확보예산, 도로연장, 투입인력, 투입장비를 0.4%~10.3% 정도 줄여야 하는 것으로 분석되었다. 반면, 가장 잠재적 향상도가 낮은 충청권 지역의 N(지방도, 시·군도) 도로관리기관의 경우 비효율성 개선을 위해 확보예산, 도로연장, 투입인력, 투입장비를 27.7%~74.9% 정도 줄여야 하는 것으로 분석되었다. 다만 집행예산은 5.1% 정도 늘려야 하는 것으로 분석되었다.

Table 5의 BCC 모형에 의해 도출된 잠재적 향상도를 보면, CCR 모형에 비해 잠재적 향상도가 더 좋은 것으로 분석되었다. 다만 강원권 지역의 H(지방도, 시·군도) 도로관리기관의 경우 비효율성 개선을 위해 확보예산, 도로연장, 투입인력, 투입장비를 16.0%~35.0% 정도 늘려야 하는 것으로 분석되었다. 특히 도로연장의 경우 타 도로관리기관 보다 높은 비율인 46.6% 정도 개선이 필요한 것으로 나타났는데 이는 타 지역 대비 짧은 도로연장과 더불어 전통적으로 강설량이 많은 기후특성 때문인 것으로 판단된다.

## 5. 결론

지구온난화로 인해 전 세계적으로 한파 및 폭설 등 이상기후가 지속적으로 속출하고 있는 추세이다. 동절기 도로관리 중 가장 중요한 요소는 도로제설자재를 효율적으로 운영하는 것인데, 이를 매년 적정 수준에 맞추어 운영하는 것은 매우 어렵다. 이는 모든 도로제설자재의 운영이 도로관리자의 경험에 근거하여 이루어지고 있기 때문이다(김진국, 2017). 이러한 이유로 도로관리기관

의 도로제설자재 운영 효율성 및 경제성 등에 관한 분석 자료나 연구는 매우 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 평창 동계올림픽 개최지의 직·간접 영향권역인 강원권, 수도권, 충청권 지역 도로관리기관을 대상으로 도로제설자재 운영에 대한 효율성 평가를 수행하였다. 도로제설자재에 대한 효율성 평가의 어려움을 고려하여 일원화된 자료 구축이 동반되지 않고 다수의 투입 요소와 산출 요소를 통해 효율성을 측정하는 기법인 DEA를 이용하였다. 이를 통해 효율성이 다소 낮게 평가된 도로관리기관의 주요 원인을 진단하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

총 15개 기관 중 수도권 2개 기관(C LGO, D ERO), 강원권 1개 기관(I ERO), 충청권 3개 기관(J, K NHRO, O ERO) 총 6개 기관만이 도로제설자재를 효율적으로 운영하고 있는 것으로 나타났다. 비효율적으로 운영하고 있는 기관은 수도권 2개 기관(A, B NHRO), 강원권 4개 기관(E, F, G NHRO, H LGO), 충청권 3개 기관(L, M NHRO, N LGO)으로 총 9개 기관이 전체 기관 대비 약 60%의 비효율성을 나타냈다. 이는 CCR 모형과 BCC 모형에 의한 분석결과에서 동일하게 나타났으며, 다만, BCC 모형의 분석결과가 CCR 모형보다 더 효율적으로 나타났다.

분석결과에서 알 수 있듯이, 지역별로 도로제설자재 운영의 비효율성에 대한 편차가 심한 것으로 나타났다. 이러한 차이는 도로관리기관의 사회적·지리적·기후적 특성에 영향을 받는 것으로 보인다. 전통적으로 수도권은 사회적 특성(인구, 교통량 등)이 높은 지역이며, 강원권은 지리적·기후적 특성으로 인해 강설빈도가 높은 지역, 충청권은 최근 잦은 강설의 횟수가 점점 늘어나고 있는 특성을 가진다.

비효율성을 나타낸 도로관리기관의 경우 먼저 사회적·지리적·기후적 이외에 비효율성을 발생시킨 주요 원인을 세부적으로 검토할 필요가 있다. 이를 통해 향후 점차적으로 효율성(100%)을 가진 도로관리기관을 벤치마킹하여 도로제설자재 운영을 효율적으로 할 수 있도록 개선이 필요하다.

마지막으로 평창 동계올림픽 개최지의 직접 영향권인 강원권 지역의 경우 비효율성을 개선하기 위한 방안을 마련할 필요가 있다. 이를 위해 간접 영향권인 수도권과 충청권 지역과의 도로제설자재 공유 및 연계 방안도 검토되어야 할 것이다. 본 연구는 이를 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

본 연구에서는 평창 동계올림픽 개최지역의 직·간접

영향권인 지역만을 대상으로 효율성 분석을 수행하였다. 향후 효율적인 동절기 도로 정책 수립을 위해 전체 도로관리기관을 대상으로 한 효율성 평가 연구가 추가적으로 필요할 것이다.

## REFERENCES

- Banker, R. D., Charnes, A., and Cooper, W. W. (1984). "Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis." *Management Science*, Vol.30, No.9, pp.1078-1092.
- Barnum, D. T., McNeil, S., and Hart, J. (2007). "Comparing the Efficiency of Public Transportation Subunits Using Data Envelopment Analysis." *Journal of Public Transportation*, Vol.10, No.2.
- Barros, C. P. and Alves, C. A. (2003). "Hypermarket retail store efficiency in Portugal." *International Journal of Retail and Distribution Management*, Vol.31, No.11, pp.549-560.
- Boussofiane, A., Dyson, R. C., and Thanassoulis, E. (1991). "Applied Data Envelopment Analysis." *European Journal of Operational Research*, Vol.32, pp.1-15.
- Charnes, A., Cooper, W. W., and Rhodes, E. (1978). "Measuring the efficiency of decision making units." *European Journal of Operational Research*, Vol.2, No.6, pp.429-444.
- Farrell, M. J. (1957). "The Measurement of Productivity Efficiency." *Journal of the Royal Statistical Society, Series A(General)*, Vol.120, No.3, pp.253-290.
- Georgiadis, G., Politis, I., and Papaioannou, P. (2014). "Measuring and improving the efficiency and effectiveness of bus public transport systems." *Research in Transportation Economics*, Vol.48, pp.84-91.
- Go, D. K., Woo, S. H., and Kang, H. W. (2014). "A Study on the Business Performance of Shipping and Logistics Companies using Data Environment Analysis." *Journal of Korea Port Economic Association*, Vol.30, No.02, pp.93-112 (in Korean).
- Hong, S. J., Oh, J. H., and Ha, H. G. (2003). "Determining Priority of Transport Policies with a Focus on Data Envelopment Analysis with Ranked Voting Data." *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol.21, No.5, pp.49-58 (in Korean).
- Jang, C. Y., Sung, D. K., and Choi, I. K. (2007). "Evaluation of Efficiency for Post-DEA-based Local Medical Center Organization." *Korean Association of Governmental Studies*, Vol.19, No.4, pp.1119-1146 (in Korean).
- Jo, Y. S. (2005). "A Study on Measuring the efficiency of Management Service in Industrial Complex by Using DEA." *The Korea Spatial Planning Review*, vol.46, pp. 41-56 (in Korean).
- Kim, D. H., Jang, T. Y., and Song, J. R. (2013). "Relative Efficiency of Taxi Services by Data Envelopment Analysis among Cities and Counties in Gyeonggi Province." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.33, No.4, pp. 1571-1580 (in Korean).
- Kim, M. J., and Kim, S. S. (2003). "Analyzing the efficiency of Korean Rail Transit Properties using Data Envelopment Analysis." *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol.21, No.4, pp.113-132 (in Korean).
- Kim, J. G., and Yang, C. H. (2017). "Evaluation of Reasonableness for the Recommended Spraying Amount Equation of De-icing Chemicals." *International Journal of Highway Engineering*, Vol.19, No.4, pp.9-18 (in Korean).
- Kim, S. H., Jung, 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.2, pp.605-616 (in Korean).
- Korea Road Management Division, Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT) (2016), *Guide for Snow and Ice Control in Korea* (in Korean).
- Korea Road Management Division, Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT) (2012-2016). *Road Snow-removal Management System Database* (in Korean).
- Lee, J. D., and Oh, D. H. (2012). *Theory of efficiency analysis*, Jiphil Media (in Korean).
- Lee, S. C., Sung, D. K., Jang, C. Y., Heo, M. Y., and Ha, S. G. (2006). "Identification of paradox of local government shadow organization." *Korean Association of Governmental Studies*, Vol.40, No.3, pp.77-104 (in Korean).
- Seo, K. S., and Ahn, H. M. (2016). "Urban railway train operation efficiency studies using DEA." *The Korean Society for Railway Conference 2016* (in Korean).
- Sun, L., Rong, J., and Yao, L. (2010). "Measuring transfer efficiency of urban public transportation terminals by data envelopment analysis." *Journal of urban planning and development*, Vol.136, No.4, pp.314-319.