

CO₂ 산출변수를 활용한 국내 지역별 도로운송 산업 효율성 분석: undesirable SBM 및 SDM의 적용*

오진호

경북대학교 대학원
무역학과 박사후연구원

최정원

경북대학교 대학원
무역학과 박사과정

강태현

경북대학교 대학원
무역학과 석사과정

오진

호남대학교 경영학부
조교수

서영준

경북대학교 대학원
무역학과 부교수

Efficiency Measurement of Road Transport Industry using CO₂: Application of undesirable SBM and SDM

Jin-Ho Oh^a, Jeong-Won Choi^b, Tae-Hyun Kang^c, Zhen Wu^d, Young-Joon Seo^e

^aDepartment of International Trade, Kyungpook National University, South Korea

^bDepartment of International Trade, Kyungpook National University, South Korea

^cDepartment of International Trade, Kyungpook National University, South Korea

^dDepartment of business Administration, Honam University, South Korea

^eDepartment of International Trade, Kyungpook National University, South Korea

Received 11 August 2022, Revised 25 August 2022, Accepted 29 August 2022

Abstract

In Korea, the road transport industry is pointed out as a major cause of air pollutants, so management control is needed. Existing studies used only positive input and output variables to measure regional efficiency. However, it is necessary to consider the environmental pollution problem in efficiency analysis. In this study, an undesirable SBM analysis using CO₂ was conducted to measure efficiency of domestic regions. In addition, SDM was conducted to examine the ripple effect between domestic regions. As a result of the analysis, the efficiency of the capital area such as Seoul, Gyeonggi, and Incheon was high in the road transport industry. However, the efficiency of the road transportation industry in Daegu and Gangwon was low. In the SDM analysis, it was found that the regional equipment capabilities had a great influence on efficiency. In order to improve efficiency, it is necessary to increase and improve the equipment capacity of the road transport industry.

Keywords: Road Transportation, Undesirable SBM, SBM, CO₂, SDM

JEL Classifications: L90, N70, R40

* This research was supported by the BK21 project funded by the Ministry of Education and National Research Foundation of Korea (4299990214398)

^a First Author, E-mail: numpu@knu.ac.kr

^b Co-Author, E-mail: chlwjddnjs73@knu.ac.kr

^c Co-Author, E-mail: taehyun6859@knu.ac.kr

^d Co-Author, E-mail: 2022096@honam.ac.kr

^e Corresponding Author, E-mail: y.seo@knu.ac.kr

I. 서론

정부는 2050년까지 탄소제로를 목표로 산업별 탄소감축 노력을 하고 있다. 환경부 산하 국가온실가스종합정보센터에서 발표한 국가, 지역별 환경오염물질 배출 자료에 따르면 2019년 국내 기준 에너지 발전산업, 철강산업에 이어 도로운송 산업에서 3번째로 많은 대기오염물질을 배출하고 있다. 국내에서 제품 및 고객의 이동을 전담하는 도로운송산업 산업은 국민 편의성을 위한 중요 기간산업이다. 비용 효율, 신속성이 중요한 교통·물류산업으로 CO₂, SOx 등 대기오염물질이 많이 발생하는 디젤연료를 주로 사용하면서 도시 대기오염의 주원인으로 꼽히고 있다. 국내외 Choi Yong-Rok (2012), Park Chang-Suh and Seo Yun-Seok (2017), Seo Hyung-Jun and Lee Hyoung-Suk (2019), Chen, Zhu and Xu (2020), Bai et al. (2022)의 연구 등 CO₂ 및 SO₂, NOx 등 대기환경오염 변수를 고려한 효율성 분석이 발표되고 있다. 해당 연구들은 지역들의 환경오염물질들의 절감, 관리 노력에 대해 언급하고 중요 효율성 지표로 활용하고 있다. 국내에서도 교통, 항만, 항공 등 도로교통·물류 분야에서 환경오염물질 저감을 위한 여러 연구들이 실시되고 있지만, 지역들의 대기환경오염물질을 고려한 투입자원 대비 성과와 관련된 분석은 Choi Yong-Rok (2012)의 연구 외 이루어지지 않고 있다. 지역별 교통·물류산업 효율성에 관한 연구는 많이 이루어져 왔으며 최근 국가, 지역별 중점적인 관리를 요하는 대기환경오염원을 고려한 효율성 분석이 실시될 필요가 있다. 한국을 포함한 미국, 유럽, 중국 등 세계 여러 각 국가들은 탄소중립을 위한 다양한 탄소절감 정책을 수립 추진 중에 있다 (KEEI, 2021). 탄소배출을 포함한 환경오염물질 관리는 국가 차원에서 다루지는 중요 정책인 만큼 탄소배출 관련 연구의 다양성이 필요하다. 특히 도로운송산업은 많은 양의 대기오염물질을 배출하는 산업인 만큼 탄소의 과배출, 운영관리 효율성 등에서 다양한 접근방법과 연구의 필요성이 제기된다.

본 연구는 국내 지역별 도로운송산업 자원 대비 효율성을 측정하고자 한다. 투입자원은

기존 변수들을 활용하여 효율성 연구가 지닌 변수 선정의 모호성을 줄이고 기존 지역별 효율성 연구의 분석결과와 비교하고자 한다. 국내의 환경오염물질을 고려한 효율성 연구들은 비소망재를 고려한 효율성 분석 연구가 이루어진다. 기존 효율성 분석 연구에서의 산출변수들은 산출이 증가할수록 효율성이 높게 측정되는 변수인 소망재(desirable)가 활용되어왔으며, 최근에는 증가할수록 오히려 효율성이 저하되는 변수인 비소망재(undesirable)가 사용되고 있다. 비소망재 변수의 예로 범퇴율, 지연율 등이 있다. 비소망재는 소망재가 증가할수록 비례하여 증가하는 약 처분성(weak disposability) 성질을 지니고 있다(Lozano and Gutierrez, 2011). 비소망재 절감 기술의 급진적인 발전이 있지 않는 한 소망재와 비소망재는 같이 증가한다는 의미이다. 본 연구에서는 도로운송산업이 주요 대기환경오염물질 배출원으로 CO₂ 감축 노력의 필요성이 제기되는 만큼 CO₂를 비소망재 산출변수로 사용하여 효율성 분석을 실시하게 된다. 비소망재 산출변수 유무에 따른 결과의 변화를 살펴보기 위해 비소망재 유무를 고려한 모형을 2개로 나누어 분석을 실시하고 비교하게 된다. 이후 과거 국내 연구와 비교하여 기간별 효율성 분석의 비교 및 환경오염물질을 고려했을 때도 어떤 차이가 있는지에 대해 살펴보려고 한다. SBM(Slack Based Measure) 및 DEA(Data Envelopment Analysis) 분석과 같은 효율성 분석은 효율성 수준을 측정하고 과대과소를 알 수 있는 장점이 있지만 효율성에 영향을 미치는 원인이 무엇인지는 알기 어려운 단점이 있다. 이 같은 한계를 극복하기 위해 Chen, Zhu and Xu (2020), Zhao et al (2020), Bai et al. (2022) 연구 등에서는 효율성 점수를 활용하여 단계별 분석을 실시하였다. 효율성 점수를 활용하여 공간패널 회귀분석이 포함된 2-Stage 분석 및 비교 모델, 집단 간 차이 검정을 통해 효율성 분석의 확장성을 기하고 있다. 해당 연구들은 공간패널회귀분석을 사용하여 효율성 결과의 과급효과(ripple effect)에 대해 분석하였다. 특정 지역의 효율성 점수가 다른 지역에는 어떤 영향을 미치는지 직접효과 및 간접효과를 살펴 보면서

지역 불균형 및 자원활용의 상대적인 비효율성에 대해 알 수 있다. 본 연구에서도 1단계로 비소망재 변수를 활용한 SBM 분석을 통해 지역들의 효율성 점수를 측정하고, 2단계에서는 효율성 점수를 활용하여 공간패널회귀분석 기반의 SDM(Spatial Durbin Model) 분석을 실시한다. SBM 및 SDM 분석을 결합한 2단계 분석을 통해 도로운송 분야 효율성 분석에서 탄소배출을 고려한 연구결과를 제시하게 된다. 본 연구를 통해 도로운송산업 분야 지역들의 투입자원 대비 매출 효율성 및 CO₂를 고려한 매출 효율성과 지역 간 파급효과에 대해서도 알 수 있다.

II. 선행연구

1. 국내 지역별 물류산업 효율성 분석에 관한 연구

국내 지역별 물류산업 효율성 분석과 관련된 연구들은 전국 및 특정 지역을 대상으로 연구가 이루어져 왔다. 주로 광역시도 별 물류산업, 혹은 항만이나 산업단지, 특정 도시 군을 선정하여 물류산업 효율성을 측정하였다. 기존 연구들은 분석을 통해 물류산업 현황을 파악하고 분석 대상들의 상대적인 물류산업 효율성을 측정하고 투입된 변수들의 비효율성을 활용한 개선방안과 정책적 시사점을 제시하고자 하였다. 분석 대상의 물류산업 현황파악을 위해 Kim Joong-Shik and Park Hyoung-Chang (2007), Ha Yeong-Seok and Seo Jung-Soo (2011), Choi Bong-Ho and Lee Gi-Whan (2019)의 연구와 같이 동향 자료를 활용한 개선방안 도출이나 지표를 활용한 경제성장 에 미치는 요인을 파악하는 방법이 사용되기도 한다. 지역별 상대적 비교를 하기 위해서는 효율성, 성과 분석에 자주 사용되는 DEA가 많이 활용되고 있으며 다양한 분석대상 간 비교를 통해 비효율성을 측정하고 있다.

전국을 대상으로 도로물류산업 효율성을 측정하는 연구(Choi Yong-Rok, 2012; Park Hong-Gyun, 2012; Lee Kwang-Bae and Choi

Yong-Seok, 2013; Kwon Hyeok-Ku and Ha Hun-Koo, 2016; Oh Jin-Ho, 2018)에서는 광역 시도, 도로운송산업, 전국 물류창고를 대상으로 분석하였다. 위 연구들은 분석을 통해 물류산업 현황 파악과 효율성 분석을 위해 DEA, SFA, Malmquist 방법론을 사용하여 상대적인 비교 분석을 실시하였다. 대부분의 연구들은 투입된 물류 지표 대비 효율성, 성과 등의 산출수준에 대한 분석을 실시하였으며, 자본, 자산, 기업체 수, 매출액 등의 변수들을 활용하였다. 전국 단위의 물류 산업은 육상운송산업이 주 역할을 하며(Oh Jin-Ho, Ahn Jae-Sun and Wu Zhen, 2022) 이를 고려한 효율성 분석도 실시되었다. Park Hong-Gyun (2012), Kwon Hyeok-Ku and Ha Hun-Koo (2015)의 연구에서는 지역의 육상운송산업을 대상으로 분석을 실시하여 효율성을 측정하였다. 분석결과를 종합해보면 육상운송산업의 비효율성이 개선되고 있지만, 제주도, 경북권, 대구권의 비효율성이 높은 것으로 나타났다. 개선방안으로 지역 구분에 관계 없는 일률적인 정책을 적용하기 보다는, 지역별 특화된 정책을 적용하여 효율성을 향상시키기 위한 노력이 필요함을 언급하였다.

지역 별 물류산업의 총 효율성 분석에 관한 Oh Jin-Ho (2018)의 연구에서는 2007년부터 2016년까지 10년간 지역별 물류 산업의 효율성에 대해 분석하였다. 분석결과 타 광역시도에 비해 상대적으로 대구, 광주 지역의 물류 산업 효율성이 낮게 나타났으며, 보유한 물류 자원 대비 활용도가 낮은 수준이었다. 수도권, 비수도권 간의 물류산업 효율성 비교에서도 수도권이 비수도권에 비해 계속해서 낮은 수준인 것으로 파악되었다. 각 광역시도 별로 경제규모가 다를 수는 있지만 투입된 자원 대비 효율성이 낮다는 점은 경제규모에 별다른 상관관계가 없으며 지역 자체가 지닌 비효율적 운영을 통한 문제라는 점을 지적하였다. 위 연구결과는 육상운송산업 효율성을 측정한 Park Hong-Gyun (2012), Kwon Hyeok-Ku and Ha Hun-Koo (2016)의 연구결과와 유사하다. 제주도를 제외한 비수도권 지역, 특히 대구광역시와 경상북도, 광주광역시의 비효율성이 제기되어 있어 육상운송산업을 대상으로 한 연구에서

공통된 결론으로 해당 지역의 효율성 개선을 요구하고 있다.

기존 연구들이 사용한 변수들과 다르게 부정적 산출 요소(undesirable output)를 활용한 연구도 수행되었다. Choi Yong-Rok (2012)의 연구에서는 환경오염변수를 고려한 국내 지역별 물류산업의 생산성을 측정하였다. 기존 연구들은 환경적 영향 및 부정적인 산출효과를 미반영하고 있다는 점을 지적하였으며, Global Malmquist-Luenberger를 활용하여 탄소배출량을 고려한 물류산업의 녹색생산성을 측정하였다. 하지만 지역, 연도별로 녹색생산성의 변화가 잘 나타나고 있지 않다는 것을 발견하였으며, 녹색생산성은 기술진보(Technical Change:TC)에 영향을 많이 받고 있음을 확인하였다. 특히, 경남지역은 타 지역에 비해 효율성의 개선이 부족하다는 점을 지적하면서 집중적인 개선 노력 필요성을 언급하였다.

물류효율성 측정을 위해 지역이 아닌 물류기업이나 인프라 대상으로 한 연구(Ha Hun-Koo and Choi Ah-Yeong, 2007; Choi Jong-Yeol and Park Je-Hun, 2011; Chang Myung-Hee, 2011; Kim Sang-Yeol et al., 2015)는 기업 및 물류창고, 항만 등의 운영 효율성에 대해 측정하였다. 기업들을 대상으로 한 Ha Hun-Koo and Choi Ah-Yeong (2007)의 연구에서는 육상, 해상, 항공 물류기업들의 효율성을 측정하였으며 해상운송업의 효율성이 가장 높은 것으로 나타났으며 전체 물류산업 효율성에도 가장 큰 영향을 끼치는 것으로 나타났다. Choi Jong-Yeol and Park Je-Hun (2011), Chang Myung-Hee (2011)의 연구에서는 지역별 육상운송산업을 연구하였던 Ha Hun-Koo and Choi Ah-Yeong (2007), Park Hong-Gyun (2012)과 달리 개별적인 육상운송기업의 효율성을 측정하였다. 위 연구들은 비효율적인 기업들이 개선시켜야 할 요인 및 증가, 감소분에 대해 언급하였으며 효율성 점수가 높은 벤치마킹 기업을 비효율 기업들에게 제시하여 효율성을 개선시키기 위한 자료로서 제시하였다.

산업단지 및 물류 인프라의 운영 효율성을 측정한 Park Hong-Gyun (2011), Kim Sang-

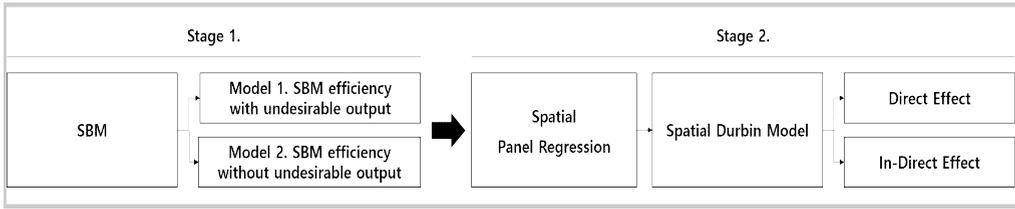
Yeol et al. (2015)의 연구에서는 항만산업 및 배후물류단지 운영 효율성에 대해 연구하였다. Park Hong-Gyun (2011)의 연구에서는 항만물류배후단지에서 활동하고 있는 물류기업들을 대상으로 운영 효율성을 측정하였으며, Choi Jong-Yeol and Park Je-Hun (2011), Chang Myung-Hee (2010)의 연구와 동일한 방법으로 효율성 개선이 필요한 요인들에 대한 결과를 제시하였다. 이외 물류산업이 Kim Sang-Yeol et al (2015), Choi Bong-Ho and Lee Gi-Whan (2019)의 연구는 물류자원을 경제적, 효율적으로 활용하기 위한 실증분석을 실시하여 제한된 자원의 활용도를 높이기 위한 결과를 제시하였다. 각각의 연구는 항만물류산업이 높은 부가가치 및 경제적 효과를 발생하고 있지만 전체 물류 산업 관점에서 물류산업이 국내 경제성장에는 직접적인 기여를 하지 않는다는 결론을 제시하고 있다. Choi Bong-Ho and Lee Gi-Whan (2019)의 연구에서는 기존 물류산업 연구들이 DEA에 치중되어 있음을 언급하면서 지역 물류산업과 경제성장의 관계와 관련된 연구를 실시하였다.

2. 선행연구 요약 및 기존 연구와의 차별성

1) 연구 요약

기존 도로운송·물류산업 효율성에 관한 연구들은 주로 투입 대비 산출의 상대적인 효율성에 대한 연구가 집중적으로 수행되었다. 물류산업에 많은 자본, 노동력 등이 투입되면서 경제적, 효과적인 운영 효율성이 필요하다. 도로운송·물류산업의 성과를 측정하는 중요 항목으로 최소한의 물류비용으로 최대한의 성과를 내는 것인 만큼 효율성 측정 연구들은 계속해서 실시되어 왔다. 해당 분야의 연구들은 2가지 형태로 분류할 수 있다. 전국 단위의 광역시도별 도로운송·물류산업 효율성 측정과 개별기업, 인프라를 대상으로 경영·운영효율성 분석으로 분류된다. 동일한 산업 내에서 활동하고 있는 분석 대상들의 상대적인 효율성을 측정하여 운영현황과 개선방안에 대해 도출하였

Fig. 1. 2-stage Model



다. 광역시도, 기업, 인프라 등의 운영효율성을 분석하여 투입, 산출자원의 증가, 감소량을 측정하거나 벤치마킹 대상을 통해 최소한의 자원으로 성과를 도출할 수 있는 자원배분 방안을 제시하는데 의의가 있다. DEA, SFA, Malmquist 등 효율성, 생산성 측정 방법론이 지닌 장점을 활용하여 다양한 분석대상, 산업에서 활용되고 있다.

2) 기존 연구와의 차별성

도로운송산업 및 물류분야에서 사용되고 있는 효율성 분석방법은 운영효율성을 상대적으로 평가하고 계량적인 방법으로 개선방안을 도출하는데 의의가 있다. 효율성 분석방법은 투입 대비 산출을 효율성 점수를 통해 직관적으로 이해할 수 있다는 장점이 있다. 효율성 분석의 편의성과 달리 투입 대비 산출변수에 따라 효율성 점수가 다르게 나타나며 상대적으로 효율적인 대상이 변수에 따라 민감하게 달라질 수 있다는 한계가 있다. 효율성 점수에 영향을 미치는 요인은 무엇인지 DEA나 Malmquist 분석만으로는 알기 어려운 점이 있다. 최근 도로운송, 물류분야에서 환경오염배출에 관한 문제가 계속해서 제기되고 있다. 국내 도로운송산업은 에너지 생산, 철강 제조 산업과 함께 가장 많은 환경오염물질을 배출하고 있는 산업이며, 화물차, 운송기지에서 많은 양의 오염물질이 배출되고 있다. 국내에서는 Choi Yong-Rok (2012)의 연구에서 CO₂를 활용하여 환경오염 변수를 고려한 효율성 분석을 실시하였다. 해당 연구에서는 지역별 녹색생산성에 관한 비교 연구를 통해 기술진보에 따라 생산성이 영향을 받는다는 연구결과를 제시하였다. 환경변수를

고려한 국외 물류산업 효율성 연구에서는 Song, Chen and An (2018), Hsieh et al. (2021), Bai et al. (2022)이 CO₂, SO₂, NOx 등 비소망재 산출(undesirable Output)을 활용하여 효율성을 측정하였다.

국내 물류산업의 환경오염배출 문제와 국내에서는 과거 Choi Yong-Rok (2012)의 연구 이후 물류산업의 환경오염 변수를 고려한 효율성 측정 연구가 수행되지 않고 있다. 최근 국외 연구에서 환경오염변수를 고려한 지역별 산업의 효율성 연구가 수행되고 있는 만큼 현재 국내외 도로운송 산업 및 연구 현황을 고려하였을 때 연구의 필요성이 제기된다. 기존 연구들은 투입 산출요인들을 자본, 종사자 수, 유형자산, 매출액, 순이익, 부가가치 등 복합적으로 구성하여 분석결과에 객관적인 해석이 어려움이 있었다. 본 연구에서는 매출액 등의 직접적인 요인들을 사용하여 결과 해석을 명료하게 하여 이해를 돕고자 한다. 이외 환경오염변수를 추가하여 소망재(desirable output)와 비소망재(undesirable output)모델로 구분하여 효율성 측정 변화에 대해서도 살펴보고자 한다.

Ⅲ. 분석절차 및 방법

1. 분석절차

1) 분석모형

본 연구의 분석모형은 <Fig. 1>과 같다. 2-stage로 구성되며 국내 지역별 도로운송산업 효율성과 공간패널회귀분석을 사용하여 비교 분석한다. <Stage 1>에서는 undesirable SBM

모형을 활용한 효율성 분석이 실시된다. 지역 도로운송산업 지표 중 소망재, 비소망재 산출요인을 활용한 SBM분석을 실시하며 비소망재 유무에 따른 Model 1, Model 2로 구분하여 비소망재 산출요인이 효율성에 어떤 변화를 일으키는지 확인하고자 한다. <Stage 2>에서는 효율성 점수에 어떤 외부요인들이 영향을 미치며 지역별로 어떤 파급효과가 있는지 SDM 분석을 실시한다. 직접효과와 간접효과를 통해 지역별 도로운송산업의 효율성 수준이 타 지역에 미치는 파급효과(ripple effect)에 대해 확인할 수 있다.

2. 분석 방법

1) undesirable SBM 분석

효율성 분석은 주어진 투입에 대해 산출을 얼마나 극대화하였는지로 이해된다(Ko Kil-Kon, 2016). 산출요인으로 환경오염, 범죄율, 불량률 등을 사용하여 산출을 극대화하는 것은 현 상황을 반대로 해석하는 문제를 지닐 수 있다. 환경오염, 범죄율, 불량률과 같은 부정적 산출요인을 비소망재(undesirable output)라 하며 일반적인 효율성 분석과 다르게 접근해야 한다. 비소망재와 달리 매출액, 화물량, 이익 등은 긍정적인 산출요인으로 소망재(desirable output)라 하며 투입 대비 산출을 최대한 많이 극대화시킬수록 효율성 점수를 높게 가진다.

비소망재 산출변수를 활용한 효율성 분석으로 비방사(Non-Radial) 모형인 여유분 기준 모형 SBM(Slack Based Measure)이 사용된다(Tone, 2003). Tone (2003)은 비방사적 SBM 모형을 통해 비소망재 산출요인을 통한 문제해결을 제시하였으며, 비소망재 산출요인을 활용한 효율성 분석을 실시하였다(Lozano and Gutierrez, 2011; Chen et al., 2020; Liu et al., 2020). Lozano and Gutierrez (2011)는 비소망재 산출변수를 활용하여 SBM 분석 및 공항들의 운영 효율성을 비교하였다. 소망재 투입, 산출요인으로 공항의 활주로 길이, 게이트 수 등 공항 인프라 및 화물량 등을 활용하였으며 비소망재 산출요인으로 공항 지연율을 활용하였다. 산출요인으로 소망재와 비소망재 유무에

따라 2개의 효율성분석 모델로 구분 및 비교를 통해 비소망재 산출요인의 민감도에 대해서 살펴보기도 하였다. Lozano and Gutierrez (2011)에서 사용된 비소망재 산출변수를 산식을 반영한 본 연구에서의 SBM 분석 모형은 다음과 같다.

Data

- g = number of good_desirable outputs
- b = number of bad_undesirable outputs
- $k = 1, 2, \dots, g$ index of desirable outputs
- $r = 1, 2, \dots, b$ index of undesirable outputs
- $j = 1, 2, \dots, N$ index of region
- 0 = index of specific region whose efficiency is being assessed
- X_{ij} = observed amount of input i of region j
- y_{kj} = observed amount of desirable output k of region j
- u_{rj} = observed amount of undesirable output r of region j

Variables

- $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ = non-negative multipliers used for computing a linear combination of the region in the data
- S_{k0}^+ = slack of desirable output k of region 0
- S_{r0}^- = slack of undesirable output r of region 0
- α = auxiliary variable due to joint weak disposability of desirable and undesirable outputs

$$\text{Min } P_0 = \frac{1 - (1/b) \sum_{r=1}^b (s_{r0}^- / u_{r0})}{1 + (1/g) \sum_{k=1}^g (s_{k0}^+ / y_{k0})} \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j x_{ij} \leq \alpha x_{i0} \quad \forall i$$

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j y_{kj} = y_{k0} + S_{k0}^+ \quad \forall k$$

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^N X'_j u_{kj} &= u_{k0} + S^+ r_0 \quad \forall r \\ \sum_{j=1}^N X'_j &= \alpha \\ 0 &\leq \alpha \leq 1 \\ X'_j &\geq 0 \quad \forall j \quad S^+_{k0} \geq 0 \quad \forall k \quad S^-_{r0} \geq 0 \quad \forall r \end{aligned}$$

다음으로 이 모델은 Charnes-Cooper가 사용한 선형계획법으로 변환하여 다음과 같이 효율성 점수를 구할 수 있다.

$$\text{Min } P_0 = t - \frac{1}{b} \sum_{r=1}^b \frac{\hat{S}^-_{r0}}{u_{r0}} \quad (2)$$

s.t.

$$\begin{aligned} t + \frac{1}{g} \sum_{k=1}^g \frac{\hat{S}^+_{k0}}{y_{k0}} &= 1 \\ \sum_{j=1}^N \hat{\lambda}_j X_{ij} &\leq \hat{\alpha} X_{i0} \quad \forall i \\ \sum_{j=1}^N \hat{\lambda}_j y_{kj} &= t \cdot y_{k0} + \hat{S}^+_{k0} \quad \forall k \\ \sum_{j=1}^N \hat{\lambda}_j u_{rj} &= t \cdot u_{r0} - \hat{S}^-_{r0} \quad \forall r \\ \sum_{j=1}^N \hat{\lambda}_j &= \hat{\alpha} \\ 0 &\leq \hat{\alpha} \leq t \\ \hat{\lambda}_j &\geq 0 \quad \forall j \quad \hat{S}^+_{k0} \geq 0 \quad \forall k \quad \hat{S}^-_{r0} \geq 0 \quad \forall r \end{aligned}$$

일반적으로 비소망재를 고려하는 효율성 모형은 결합성(null-jointed) 조건을 가정하며, 소망재 생산 시 반드시 비소망재가 만들어진다는 조건을 의미한다 (Fare et al., 2005). 소망재와 비소망재 간 약가처분성(weakly disposable)을 가정하며 소망재의 감소분에 비례하여 비소망재도 감소한다는 것을 전제로 한다(Fare et al., 2005; Lozano and Gutierrez, 2011). 예를 들어 비소망재 산출을 고려한 효율성 분석 모형에서 1을 가장 효율적인 수준이라 하였을 때 0.8은 최적 수준에 비해 80% 수준임을 나타내는 것이다. 이러한 가정을 기반으로 비소망재를 고려한 undesirable SBM 결과가 도출된다.

2) 공간패널회귀분석

특정 지역 내부 환경 및 의사결정에 따라 다른 지역에 영향을 받으면 공간적으로 상호 연

관되어 있다고 추정할 수 있다. 변수의 값이 공간적 의존성, 공간적 자기상관성이 있는 경우 잔차 간 상관성이 있을 수 있으며, 공간회귀모형을 사용할 수 있다(Anselin, 1998). 위 가정에 따른 공간 패널 모형은 다음과 같다(Cho Hyang-Suk, 2020).

$$\begin{aligned} y_{i,t} &= \rho \sum_{i=1}^N W_{i,j} y_{i,t} + \beta_0 + X_{i,t} \beta \\ &+ \sum_{j=1}^N W_{i,j} X_{i,t} \theta + \mu_i + \eta_t + \epsilon_{i,t} \end{aligned} \quad (3)$$

$y_{i,t}$ 는 t 시점에 i 지역의 종속변수, $X_{i,t}$ 는 설명변수의 벡터, β_0 와 β 는 각각 상수항과 회귀 계수, μ_i 와 η_t 는 각각 지역의 개별효과와 시간 효과를 나타내며, $\epsilon_{i,t}$ 는 잔차항이다. $W_{i,j}$ 는 공간가중행렬 W 의 원소를 나타낸다.

공간 패널회귀 분석 모형에서 공간더빈모형(Spatial Durbin Model: SDM)은 종속변수와 독립변수의 공간 시차(Spatial Lag)를 고려하는 모형이다. SDM 모형은 종속변수의 공간 시차만을 고려한 공간자기회귀모형(Spatial Autoregressive: SAR), 오차항의 공간 작용만 고려한 공간오차모형(Spatial Error Model: SEM)에 비해 일반화된 모형으로서 활용되고 있다. 본 연구에서는 도로운송산업 효율성이 지역 내부요인에 미치는 공간적 영향을 고려하기 위하여 SDM 모형을 적용하였다. SDM 모형을 활용하여 해당 지역의 종속변수에 미치는 직접효과 및 간접효과를 추정할 수 있으며 식은 다음과 같다(Cho Hyang-Suk, 2020).

$$\begin{aligned} y &= (I - \rho W)^{-1} X \beta + (I - \rho W)^{-1} W X \theta \\ &+ (I - \rho W)^{-1} \epsilon \end{aligned} \quad (4)$$

이를 본 연구에 사용된 변수를 적용시켜 변환된 모형은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} EFF_{i,t} &= \rho \sum_{i=1}^N W_{i,j} \ln GRDP_{i,t} + \beta_0 \\ &+ \beta_1 \ln POP + \beta_2 \ln ROAD + \beta_3 EQI \\ &+ \beta_4 EXP + \beta_5 ADD + \mu_i + \eta_t + \epsilon_{i,t} \end{aligned} \quad (5)$$

Table 1. Input and Output Variables for SBM

	Category	Variable	Reference
Input	Industry volume	Firms (X1)	Park(2012), Oh(2018)
	Labor force	Employees (X2)	Ha and Choi(2007), Choi(2012), Oh(2018), Bai et al(2022)
	Land and facility	Fixed assets (X3)	Ha and Choi(2007), Choi and Park(2011), Choi(2011), Oh(2018)
Output	Desirable output	Sales (Y1)	Ha and Choi(2007), Choi and Park(2011), Choi(2012), Oh(2018)
	Undesirable output	CO ₂ (UY1)	Choi(2012), Bai et al(2022)

$$\begin{aligned}
 EFF_{i,t} &= \beta_o + \beta_1 \ln GRDP + \beta_2 \ln POP \\
 &+ \beta_3 \ln ROAD + \beta_4 EQI + \beta_5 EXP \\
 &+ \beta_6 ADD + \mu_i + \eta_i + V_{i,t}, V_{i,t} \quad (6) \\
 &= \lambda \sum_{i=1}^N W_{i,j} V_{i,t} + \epsilon_t \\
 \left(\frac{\partial y_1}{\partial x_{1k}}, \dots, \frac{\partial y_1}{\partial x_{Nk}} \right) &= \begin{pmatrix} \frac{\partial y_1}{\partial x_{1k}} & \dots & \frac{\partial y_1}{\partial x_{Nk}} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial y_N}{\partial x_{1k}} & \dots & \frac{\partial y_N}{\partial x_{Nk}} \end{pmatrix} \quad (8) \\
 &= (I - \rho W)^{-1} \begin{pmatrix} \beta_k & \dots & W_{1N} \theta_k \\ \dots & \dots & \dots \\ W_{M1} \theta_k & \dots & \beta_k \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 EFF_{i,t} &= \rho \sum_{i=1}^N W_{i,j} \ln GRDP_{i,t} + \beta_o \\
 &+ \beta_1 \ln POP + \beta_2 \ln ROAD \\
 &+ \beta_3 EQI + \beta_4 EXP + \beta_5 ADD \\
 &+ \sum_{i=1}^N W_{i,j} Z_{i,t} \theta + \mu_i + \eta_i + \epsilon_{i,t} \quad (7)
 \end{aligned}$$

$EFF_{i,t}$ 는 t 기에 i 지역의 효율성 점수이며 $GRDP$ 는 지역 내 총생산, $ROAD$ 는 지역 내 도로길이, EQI 는 장비 및 시설, EXP 는 영업비용, ADD 는 부가가치를 의미한다. 공간가중치 행렬계수인 ρ 와 θ , λ 는 인접지역의 효율성 변화가 특정지역의 효율성에 미치는 효과, $V_{i,t}$ 는 공간적으로 자기상관된 잔차항을 의미한다. $W_{i,j}$ 는 공간적으로 인접한 지역에 높은 가중치를 부여하며, i 지역과 j 지역 간의 상관관계의 크기를 보여주는 공간가중치 행렬을 의미한다 (Cho Hyang-Suk, 2020; Oh Jin-Ho, Ahn Jae-Sun and Wu Zhen, 2022).

3. 변수 선정 및 자료 수집

지역물류산업 성과, 효율성 분석을 실시한 Choi Yong-Rok (2012), Oh Jin-Ho (2018), Bai et al. (2022) 등에서 사용된 투입산출 변수를 고려하여 본 연구에서도 해당 변수들을 활용한다. 효율성 분석 시 산출변수의 복잡성은 분석 결과 해석의 타당성에 어려움이 있을 수 있다. 효율성 연구에서 성과산출로 사용되는 매출액을 사용하여 투입 대비 성과를 직관적으로 살펴보고자 한다. 교통물류 분야 및 지역별 환경 효율성을 측정할 때 CO₂가 대표적으로 비소망재 산출변수로 활용된다. 국내 교통물류분야 연구에서는 Choi Yong Rok (2012)의 연구에서 산출변수로 사용되었으며, 국외 연구에서는 Bai et al. (2022) 외 많은 연구자들이 지역별 CO₂를 사용하여 분석을 실시하였다. 투입변수들은 지역 기업들의 사업 규모를 알 수 있는 변수들이며, 유형자산은 당시 건설 중인 자산은 제외하였으며 금액자료를 활용하였다. 산출변

Table 2. Descriptive Statistics for Inputs and Outputs

Variable	obs	Mean	SD	Min	Max	Unit	
Input	X1	102	20,961	23,936	561	88,569	one firm
	X2	102	50,911	64,258	1,311	265,146	one person
	X3	102	529,213	1,068,954	2,469	5,608,298	one million won
Output	Y1	102	3,153,852	4,655,675	61,261	20,500,000	one million won
	UY1	102	5,416	5,235	292	26,190	Gg CO ₂ eq

수는 소망재 변수 매출액, 비소망재 변수 CO₂로 Model 1, Model 2로 구분하여 효율성 분석을 실시하였다.

자료수집으로 투입변수인 기업체수, 종업원, 유형자산, 매출액은 국가통계포털(KOSIS), 지역별 CO₂는 환경부 산하 국가온실가스종합정보센터에서 제공하는 지역별 온실가스 정보를 사용하였다. 최근 발표 자료에서 2019년까지 지역별 온실가스 자료를 제공하고 있으며, 2012년 출범한 세종시를 포함시킬 경우 2014년부터 2019년까지의 온실가스 데이터가 사용가능하다. 지역별 객관적인 비교측정을 위해 세종시를 포함시켜 분석이 실시될 필요가 있으며, 2014년부터 2019년까지의 데이터를 수집하여 효율성을 측정하였다.

근성이 떨어지는 것으로 이해할 수 있다. 산출변수인 Y1(sales), UY1(CO₂)는 소망재, 비소망재로 구분되며, Y1(sales)의 표준편차는 X3(fixed assets) 보다 높은 것으로 나타났다. Y1(sales)의 높은 표준편차를 통해 투입변수들과 비교하여 매출액에서 불균형이 있다는 것을 유추할 수 있다. 똑같은 자원을 투입하더라도 산출해내는 양에서 차이가 있음을 의미한다. UY1(CO₂)는 지역별 이산화탄소 수치로 지역별 표준편차는 다른 변수들에 비해 상대적으로 크지 않은 것으로 나타났다. Gg CO₂eq란 다양한 온실가스 배출량을 각 물질의 이산화탄소의 온난화 지수 대비 각 물질의 온난화 지수를 가중하여 이산화탄소 배출량으로 환산한 것으로 1,000톤을 의미한다(URI, 2021).

IV. 분석결과

1. 기초 통계

지역별 도로운송산업 효율성 분석에 사용될 투입, 산출변수들의 기초통계량은 <Table 2>와 같다. 지역들의 경제규모, 인구밀도에 따라 통계량에 차이가 있었다. 투입변수 X1(Firms), X2(employees) X3(fixed asset) 중 X3(fixed asset)에서 각 지역별 표준편차가 높은 편임을 알 수 있다. X3(fixed assets)은 도로운송산업에 활용되는 유형자산으로 규모 및 입지에 따라 차이가 클 수 있다. 입지의 차이는 주요 수요 지역의 접근성을 의미하므로 차이가 클수록 접

2. SBM 분석

1) 비소망재를 고려한 SBM-Model 1

비소망재 산출변수인 CO₂를 고려하여 지역별 SBM 분석을 실시하였다. 분석결과 서울, 대전, 세종, 경기도가 CO₂를 고려했을 때 효율적인 지역으로 나타났다. 서울, 경기도의 경우 가장 많은 CO₂를 발생시키고 있지만 투입자원 대비 산출 규모에서 다른 지역보다 더 효과적으로 도로운송산업을 운영시키고 있다는 것을 의미한다. 단, 양적으로 CO₂를 가장 많이 발생시키고 있다는 점에서 서울의 환경오염관리 수준이 적절하게 이루어지고 있다고 보기에는 어려운 점이 있다. 서울, 경기도가 수도권 지역인

Table 3. Undesirable SBM-Model 1

DMU	2014	2015	2016	2017	2018	2019	mean
Seoul	1	1	1	1	1	1	1
Busan	1	1	0.677	1	0.863	1	0.923
Daegu	0.610	0.681	0.570	0.674	0.722	1	0.710
Incheon	0.643	1	1	1	0.873	0.792	0.885
Gwangju	0.795	1	1	1	1	1	0.966
Daejeon	1	1	1	1	1	1	1
Ulsan	0.628	1	1	1	1	1	0.938
Sejong	1	1	1	1	1	1	1
Gyeonggi	1	1	1	1	1	1	1
Kangwon	0.422	0.476	0.552	0.535	0.534	0.464	0.497
Chungbuk	0.640	0.667	0.466	0.648	0.570	0.568	0.593
Chungnam	0.469	0.694	0.669	0.654	0.635	0.639	0.627
Jeonbuk	1	0.823	1	1	0.698	1	0.920
Jeonnam	0.762	0.644	0.733	1	1	1	0.856
Gyeongbuk	0.567	0.624	0.538	0.555	0.566	0.512	0.561
Gyeongnam	1	0.781	0.633	1	0.478	0.630	0.753
Jeju	0.664	0.643	1	1	1	0.573	0.813

만큼 높은 인구밀도와 경제 및 산업이 집적되어 있어 상대적으로 다른 지역에 비해 투입 자원 대비 높은 효율성을 보일 수밖에 없는 유리한 점을 고려할 필요가 있다. 대전, 세종시에서도 비소망재 산출변수를 고려했을 때 효율적인 것으로 나타났으며 지리적으로 가까운 지역인 만큼 유사한 도로운송사업 운영 구조를 띄기 때문인 것으로 해석할 수 있다. 투입자원 대비 높은 매출액 및 낮은 CO₂ 배출로 인해 지역 내 도로운송산업 규모에 비해 대기환경오염이 큰 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다. CO₂ 배출량이 상대적으로 낮은 만큼 투입 기업이나 자산·장비들의 대기환경오염물질 과배출 억제와 지역 내부의 도로운송산업 운영에서 높은 효율성을 띄는 것으로 해석할 수 있다. 해당 지역의 도로운송업체들이 지역 외에서 주로 활동하고 있으며 지역 내 도로운송산업 성과에서는 기여를 하고 있는 것으로 나타났다. 부산, 광주, 울산, 전북도 효율성 점수가 0.9 이상으로 효율적 운영에 근접한 지역으로 볼 수 있다.

이외 상대적으로 효율성이 낮게 측정된 지역으로 대구, 인천, 강원, 경북인 것으로 나타났다. 대구는 시간이 지날수록 효율성이 개선되고 있지만 일관되지 않는 도로운송 효율성을 보이는 등 투입자원 관리 및 안정성은 떨어지는 편이다. 대구 인접지역인 경북, 경남지역까지 고려하였을 때 영남지역의 도로운송산업 효율성은 타 지역에 비해 떨어지는 편으로 나타났다. 경북, 경남은 시간이 지날수록 효율성의 개선이 나타나고 있지 않으며 정체 혹은 감소하는 양상을 띠고 있다. 같은 권역인 부산, 울산과 비교했을 때 대구, 경북, 경남의 낮은 효율성 수준은 도로 및 물류사업 등에서 지역 불균형을 야기시키는 원인이 될 수 있다. 대구, 경북지역에 적지 않은 인구가 거주하고 있고 여객, 물류 등 도로운송산업의 규모, 효과 면에서 주민들의 정주여건에 밀접하게 영향을 끼치는 만큼 해당 지역의 도로운송산업 운영 효율성 개선과 더불어 도로운송산업에서 배출되는 대기오염물질의 관리감독이 필요하다. 이외 강

Table 4. Efficiency Scores in Capital and Non-capital Areas

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	mean
C.A	0.881	1	1	1	0.958	0.931	0.962
Non-C.A	0.754	0.788	0.774	0.862	0.790	0.813	0.797

원, 충북, 충남 지역에서도 낮은 효율성을 나타냈다. 강원은 타 지역과 상대적으로 도로망, 물류산업의 열악한 환경으로 산출면에서 불리한 환경에 위치해있다. 이를 고려하더라도 투입 자원 대비 산출의 비효율성이 가장 낮은 수준인 것은 비효율적 낭비가 이루어지고 있다는 것을 방증한다. 지역 환경을 고려하더라도 효율성 점수가 0.4-0.5 수준에 머무르는 것은 이해하기 어려운 면이 있다. 충남, 충북도 우리나라의 중앙에 위치해있고 도로운송산업의 핵심적인 가교역할을 하는 곳이지만 효율성 점수가 낮게 나타난 것은 자원 낭비 등의 비효율성이 존재하고 있다는 점을 확인할 수 있다. 대구, 경북, 경남, 강원 등 효율성이 낮게 나타난 지역들의 우선적인 개선이 필요한 것으로 나타났다.

효율성 점수를 수도권, 비수도권과 비교해 봤을 때 수도권에서의 효율성이 20% 수준에서 높은 것으로 비교된다. CO₂를 가장 많이 배출하는 서울, 경기도가 오히려 효율성이 높다는 점은 서울, 경기도와 같이 수도권에 밀집된 환경으로 규모의 양면에서 투입대비 자원의 활용 효율성이 높다는 것을 의미한다. 이 결과는 같은 자원을 투입하였을 때 산출되는 양에서 차이가 나는 것을 의미하는 만큼 비수도권의 기술, 생산성을 높일 필요가 있다.

2) 비소망재를 제외한 SBM-Model 2

Model 2에서는 비소망재 산출변수 CO₂ (UY1)를 제외한 매출액(Y1)만으로 SBM 분석을 실시하였다. 비소망재 산출변수가 효율성 점수에 미치는 영향과 소망재 산출변수 모형(Model 2)의 분석결과를 비교할 수 있다.

소망재 산출변수만을 사용한 Model 2에서는 서울, 경기, 세종이 가장 효율적인 지역으로 분석되었다. 대전의 효율성은 다소 일관되지 않

는 면이 있지만 효율성에 근접한 점수를 띄고 있다. 서울, 경기, 대전, 세종은 산출변수로 매출액(Y1)만을 고려하더라도 매우 효율적인 지역으로 해석할 수 있다. 이 같은 결과는 긍정적인 산출변수와 비례하여 부정적 산출도 늘어난다는 약가처분성(weak disposability)에 위배되는 것으로 이해할 수 있지만, 비소망재가 효율성에 미치는 부정적 요인을 뛰어넘는 수준에서 투입자원 대비 높은 매출액을 기록한 것으로 나타났다. 부산, 인천, 광주, 울산, 전북, 전남에서 0.9 이상의 효율성 점수를 나타내며 비소망재를 고려했을 때 보다 효율성 점수가 상승한 것으로 분석되었다.

이외 대구, 강원, 경북, 경남 등에서 상대적으로 효율성이 낮게 나타났지만 대부분의 지역에서 비소망재를 고려했을 때 보다 효율성 점수는 상승한 것으로 나타났다. 비소망재 CO₂가 매출액에 비해 과하게 발생되거나 해당 지역의 도로운송산업에서 불필요한 자원 낭비 등 문제가 있는 것을 의미한다. 기업체의 규모가 작거나 장비 및 시설의 노후로 생산성이 떨어지는 등 투입자원의 비효율적 운영 및 타 지역과 비례하여 매출액을 더 많이 산출해내지 못한 것을 의미한다. 도로운송산업에서의 CO₂의 상승은 시간, 거리 및 사용 연료 등에서의 문제가 있을 수 있으며 주요 인구, 산업 거점 지역에서 떨어진 곳 일수록 이 같은 결과가 나타난 것이라 유추할 수 있다. 한편, 강원 지역의 효율성 점수는 Model 2에서도 0.5 수준에 머물러 있어 강원 지역의 도로운송산업 비효율성이 높은 수준인 것을 확인할 수 있다. Model 1과 Model 2를 종합해 봤을 때 상대적으로 강원 지역의 효율성 개선 효과 수준은 높은 편이 아니었으며 효율성을 높일 수 있는 근본적인 방안을 강구할 필요가 있다.

Model 1과 비교하여 비수도권의 효율성 점수가 상승한 것으로 나타나 일부 비수도권 지

Table 5. Desirable SBM-Model 2

DMU	2014	2015	2016	2017	2018	2019	mean
Seoul	1	1	1	1	1	1	1
Busan	1	1	0.772	1	0.913	1	0.947
Daegu	0.720	0.722	0.638	0.736	0.749	0.801	0.728
Incheon	0.784	1	1	1	0.872	0.838	0.916
Gwangju	0.896	1	1	1	1.000	0.941	0.973
Daejeon	1	1	0.926	1	0.864	1	0.965
Ulsan	0.777	1	1	1	1	1	0.963
Sejong	1	1	1	1	1	1	1
Gyeonggi	1	1	1	1	1	1	1
Kangwon	0.556	0.584	0.650	0.584	0.580	0.580	0.589
Chungbuk	0.839	0.828	0.579	0.781	0.697	0.716	0.740
Chungnam	0.629	0.864	0.843	0.827	0.825	0.818	0.801
Jeonbuk	1	0.977	1	1	0.853	1	0.972
Jeonnam	0.926	0.778	0.880	1	1	1	0.931
Gyeongbuk	0.753	0.805	0.706	0.726	0.752	0.672	0.736
Gyeongnam	1	0.952	0.805	1	0.637	0.804	0.866
Jeju	0.754	0.697	1	1	1	0.608	0.843

Table 6. Efficiency Scores in Capital and Non-capital Areas

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	mean
C.A	0.928	1	1	1	0.957	0.946	0.972
Non-C.A	0.846	0.872	0.843	0.904	0.848	0.853	0.861

역을 제외한 대부분의 비수도권 지역들은 CO₂ 배출에서 수도권에 비해 과배출 되고 있는 것으로 나타났다. 비수도권일수록 투입자원의 양에 비해 규모는 작고 성과도 낮은 수준이다. 도로운송산업에서 물류가 차지하는 영향력이 크고 노동집약적 산업에 가까운 만큼 수요가 많은 수도권 지역만큼 성과를 발생시키기는 어려운 면이 있으며 규모의 경제를 일으키기도 어려운 환경에 있다. CO₂ 배출을 제외했을 때 비수도권 지역이 상승한다는 점은 매출에서도 수도권에 비해 비효율적인 운영이 이루어진다는 점을 의미하므로 도로운송산업에서 구조적인 개선이 필요하다.

3) Model 1, Model 2 결과 비교

Model 1과 Model 2의 효율성 결과를 요약 비교하면 <Table 7>과 같다. 2014년부터 2019년 까지 효율성 점수의 일관성을 살펴볼 수 있다. Model 1에서는 효율성 점수 최댓값 1을 띄는 경우가 상대적으로 많았다. 단, 표준편차 (Standard Deviation: SD)는 상대적으로 Model 1이 Model 2보다 커 Model 1의 일관성은 떨어지는 것으로 나타났다. CO₂ 여부와 배출량에 따라 각 지역들이 민감하게 반응한다는 것을 확인할 수 있다. Model 1에서 제주, 경남, 대구 효율성 점수의 비일관성이 높은 수준이었다. 도로운송산업 특성 상 투입자원의 큰 변화는 일어나기 어렵다. 즉, 매출액 등의 산출자원의

Table 7. Summary of Model 1 and Model 2 Efficiency Scores

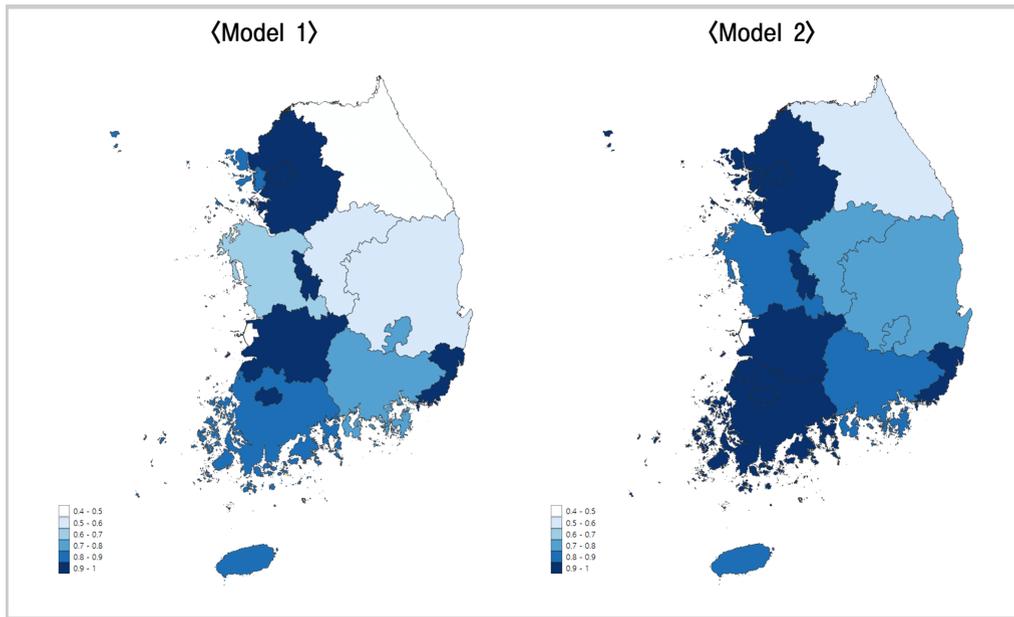
DMU	Model 1				Model 2			
	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD
Seoul	1	1	1	0.000	1	1	1	0.000
Busan	0.677	1	0.923	0.133	0.772	1	0.948	0.093
Daegu	0.570	1	0.710	0.152	0.638	0.801	0.728	0.053
Incheon	0.643	1	0.885	0.146	0.784	1	0.916	0.097
Gwangju	0.795	1	0.966	0.084	0.896	1	0.973	0.044
Daejeon	1	1	1	0.000	0.864	1	0.965	0.058
Ulsan	0.628	1	0.938	0.152	0.777	1	0.963	0.091
Sejong	1	1	1	0.000	1	1	1	0.000
Gyeonggi	1	1	1	0.000	1	1	1	0.000
Kangwon	0.422	0.552	0.497	0.051	0.556	0.650	0.589	0.032
Chungbuk	0.466	0.667	0.593	0.075	0.579	0.839	0.740	0.098
Chungnam	0.469	0.694	0.627	0.080	0.629	0.864	0.801	0.086
Jeonbuk	0.698	1	0.920	0.130	0.853	1	0.972	0.059
Jeonnam	0.644	1	0.857	0.162	0.778	1	0.931	0.090
Gyeongbuk	0.512	0.624	0.560	0.037	0.672	0.805	0.736	0.046
Gyeongnam	0.478	1	0.754	0.214	0.637	1	0.866	0.144
Jeju	0.573	1	0.813	0.207	0.608	1	0.843	0.178

변화에 기인하며 대내외 환경에 민감하게 반응하거나 산출의 급작스런 변화에 기인한 것으로 추측할 수 있다. Model 2에서도 유사한 지역들의 표준편차가 커 모델 간의 안정성은 매출액이 주요 원인인 것으로 파악된다. Model 1의 최댓값 1은 Model 2의 경우 보다 많이 발생하였지만 평균값, 표준편차에서도 Model 2가 높거나 낮은 수준이므로 산출변수로 매출액만을 고려한 Model 2의 안정성은 높은 것으로 나타났다.

비소망재 산출변수 CO₂를 고려한 Model 1과 소망재 산출변수인 매출액만을 사용한 Model 2와 효율성을 비교하였다. 2014년부터 2019년 동안의 Model 효율성 값의 평균을 토대로 비교하였다. Model 1과 Model 2를 비교해보면 서울, 경기, 전북, 광주, 대전, 세종, 부산은 비소망재 산출 유무에 민감하게 반응하지 않는 효

율적이거나 이와 가까운 지역인 것을 알 수 있다. 대부분의 지역이 Model 2에서 효율성 점수가 높게 나타나 CO₂가 효율성 점수에 영향을 미치는 것으로 나타났다. Model 1에서 낮게 나타난 강원도, 경북, 충청북도, 충청남도도 Model 2에서는 효율성 점수가 증가하였다. 해당지역에서는 투입자원 및 매출액 산출 대비 CO₂ 배출량이 과하게 발생되고 있다는 점을 의미한다. 산출 생산성보다 과하게 CO₂ 발생량이 많다는 점은 기술의 노후화나 지역 산업의 개선사항이 요구될 수 있다. 서울, 경기 등 Model 1과 Model 2에서도 효율적인 지역과 유사하게 부산, 광주, 울산, 전북에서도 높은 효율성을 나타나 해당 지역에서는 비소망재 영향을 뛰어넘는 수준의 성과를 보인 것으로 나타났다. 종합해보면 모델 간의 일관성은 매출액, 효율성 점수 수준은 CO₂가 영향을 끼치는 것으로 나타났다.

Fig. 2. Maps of Model 1 and Model 2



Notes 1. Model 1 – Undesirable SBM, Model 2 – Desirable SBM
 2. Average efficiency score from 2014 to 2019

Table 8. Variables for SDM

Category	Variable		Unit
Model 1's efficiency score	Efficiency	EFF	-
Regional volume	GRDP	GRDP	one million won
	Population	POP	one person
	Road length	ROAD	m
Transport industry size	Equipment & Facility	EQI	one million won
	Operating expense	EXP	one million won
	Added value	ADD	one million won

3. SDM 분석

1) 2단계 변수 선정

2단계 분석을 위해 사용될 변수는 <Table 8>과 같다. 비소망재를 고려한 효율성 모델 (Mode 1)의 결과값(EFF)을 종속변수로 사용하며 효율성에 영향을 미치는 지역 규모 영향 및 Ha Hun-Gu and Choi Ah-Yeong (2007), Jang

Dong-Sik and Park Hong Gyun (2013), Oh Jin-Ho (2018) 등 기존 지역별 도로·물류산업 효율성 연구에서 사용되었던 도로길이, 장비 및 시설 수, 영업비용, 부가가치를 사용하여 공간적 영향 관계를 분석하였다. 이를 통해 지역별 CO₂를 고려한 효율성이 지역 경제, 인구 및 운송산업 규모에는 미치는 영향을 확인하고자 한다.

Table 9. Descriptive Statistics for SDM

Variable	Obs	Mean	SD	Min	Max
EFF	102	0.826	0.199	0.422	1
GRDP	102	102,000,000	114,000,000	8,635,120	462,000,000
POP	102	3,039,293	3,205,194	156,125	13,200,000
ROAD	102	5,930,382	3,813,155	325,206	12,900,000
EQI	102	43,208	52,273	1,104	216,432
EXP	102	2,729,878	4,103,777	50,004	18,400,000
ADD	102	1,672,189	2,391,994	30,899	11,100,000

Table 10. Model Fit Verification

Model	Methods	Equation 4 with W
SAR and SEM	LM-lag test	12.226***
	Robust-LM-lag test	10.526***
	LM-err test	1.850
	Robust-LM-err test	0.149
Simplified test of SDM	LR-lag test	17.34***
	LR-err test	17.15***
Fixed effect and Random effect	Hausman test	26.57**
	Spatial	5.24
LR test	Temporal	55.18***

2) 기술통계

2단계 분석에 사용될 변수들의 기술통계는 (Table 9)와 같다. 효율성 점수(EFF)는 Model 1의 결과값이다. 이외 독립변수들은 지역 총 생산(GRDP), 지역 인구수(POP), 지역 내 도로길이(ROAD), 지역 내 도로운송산업 장비 및 시설 개수(EQI), 영업비용(EXP), 부가가치(ADD)를 사용하였다. 각각의 독립변수들의 편차가 큰 것으로 나타났으며, 분석 시 원 데이터(raw data)에 자연로그(log)를 씌워 정규성을 확보한 후 분석에 사용하였다.

3) 모형 적합 검증

효율성 결과의 공간성 유무를 판단하기 위하여 Moran's I 분석을 실시하였다. Moran's I의 유의확률이 0.05 이하이면 공간상관성(Spatial correlation)을 띤다고 할 수 있다. 분석결과 공

간가중행렬 W_1 의 값이 0.320, 유의확률은 0.000으로 공간적 상관성을 띠는 것으로 나타났다. Moran's I 값이 양수로 나온 것은 도로운송 효율성이 높은 지역이 모여 있는 지리적인 형태를 보여준다. Moran's I 값이 통계적으로 유의하게 나타나기 때문에 지역별 효율성에 따른 공간상관성을 입증하고 공간 패널 모형의 사용가능성 및 필요성을 제시할 수 있다.

그 다음 단계는 LM 및 Robust LM 검증을 통해 공간 패널 모형의 형태를 판정하고 공간 패널 모형의 적합성을 검증한다(Anselin, 2008). LM 및 Robust LM 검증 결과에 따라 공간오차 모형(Spatial Error Model: SEM)의 LM과 Robust LM 검증을 통과하지 못한 것으로 나타났으며, 공간자기회귀모형(Spatial Autoregressive: SAR)의 LM 및 Robust LM 통계는 모두 유의성 검정을 통과하였다. 이는 SAR 모형 사용 시 효과성 및 공간성을 띠는 것으로 확인되었다. 이

외 공간더빈모형(Spatial Durbin Model: SDM) 적용가능성에 대해서도 검증할 필요가 있다 (LeSage and Pace, 2009). LR(Likelihood Ratio) 검정을 통해서 적합한 모형을 선택할 수 있다. 모든 유의수준에서 SDM의 LR 통계정보가 유의한 것으로 나타났으며, SAR 및 SEM 외에 SDM을 채택하여 분석에 활용하였다.

패널데이터 분석 시 하우스만 검정(Hausman test)을 통해 고정효과(Fixed effect) 및 확률효과(Random effect) 중 적절한 모형 선택이 필요하다. 하우스만 검정의 기본 가정은 귀무가설이 기각되면 고정효과를 선택하며, 귀무가설을 채택하면 확률효과 모형을 선택한다. 하우스만 검정결과 유의확률이 0.0142로 귀무가설을 기각하여 본 분석에서는 고정효과 모형을 선택하였다. 또한, LR 검정을 통해 모형에서 개체 고정효과(Individual-Fixed Effects)만 포함해야 하는 것으로 나타났다(Elhorst, 2014).

4) SDM 분석결과

비소망재를 고려한 SBM 효율성 점수와 지역 경제, 지역 인프라 관련 변수를 활용하여 2단계 SDM 분석을 실시하였다. 공간가중행렬에 의한 공간자기회귀계수 값을 의미하는 ρ 값이 유의한 수준에서 음수로 나타났다. ρ 값이 음수인 경우 경쟁관계가 있는 것으로 해석할 수 있으며, 각 지역 간 경쟁효과가 있는 것으로 나타났다. 특정 지역의 효율성 점수 증가는 다른 지역의 효율성에는 부정적인 영향을 끼칠 수 있음을 의미하며 지역 간의 경쟁 관계가 있음을 보여준다.

공간 자기 회귀계수 ρ 값이 유의수준에서 0이 아닌 경우 모형 추정치를 직접 사용하여 종속변수 및 독립변수들 간의 영향을 판단하는 것은 적절하지 않다(Oh Jin-Ho, Ahn Jae-Seon and Wu Zhen, 2022). 그러므로 각각의 독립변수가 종속변수에 미치는 영향을 직접 효과(direct effect), 간접 효과(indirect effect), 총 효과(total effect)로 구분하였다. 분석결과를 종합해보면 다음과 같다.

효율성 점수에 GRDP(lnGRDP)가 끼치는 직접효과 및 총 효과는 유의하지 않은 것으로 나

타났다. 간접효과는 유의한 수준에서 -1.466로 나타났다. 특정 지역의 효율성 점수가 상승할수록 타 지역의 GRDP에 간접적으로 감소시킨다는 것을 의미한다. 도로운송산업이 해당 지역의 경제산업 규모와 밀접하게 관련이 있으므로 제한된 경제규모에서 특정지역의 생산성 증가는 타 지역 경제발전에는 부정적 영향을 끼친다는 것으로 해석할 수 있다. 낙후된 지역들의 도로운송산업 인프라 및 관련 산업을 지원하여 지역의 경제총생산량을 끌어올릴 필요가 있다.

인구수(lnPOP)는 모든 직접 효과, 간접 효과, 총 효과에서 유의하지 않은 것으로 나타났다. 인구 수 규모에 따라 도로운송산업의 효율성과 다른 지역에 미치는 영향력은 크지 않은 것으로 분석되었다. 비수도권 타 지역과 비교했을 때 상대적으로 인구수가 많은 대구, 경북의 경우를 보더라도 투입자원 및 비소망재의 낭비는 인구수와 크게 영향이 없음을 의미한다. 지역 내 인구가 많을수록 수요는 많을 수 있지만 자원의 효과적인 사용이나 생산성과는 별개의 문제라는 것으로 이해할 수 있다. 상대적으로 인구수가 적은 광주, 전남, 전북에서 효율성 점수가 높은 것을 통해 인구수와의 영향관계는 직접적인 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다.

도로연장 길이(lnROAD)는 직접효과에서 효율성 점수에 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 도로연장 길이가 높을수록 지역 내 효율성 점수에 긍정적인 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 국내 도로 인프라가 잘 갖춰진 수도권의 경우 효율적 운영에 있어서 유리한 점이 있다. 시간 대비 생산성을 높일 수 있으며 상대적으로 규모 있는 기업들이 위치해 있어 산출에서도 타 지역에 비해 유리한 점이 크다. 서울, 경기의 경우에도 지역 내 수요가 많고 도로도 소규모 지역까지 잘 갖춰져 있어 효율성 면에서 직접적인 영향이 있는 것으로 나타났다. 이외 간접효과 및 총 효과는 유의하지 않은 것으로 나타났다.

도로운송산업 장비 및 시설(lnEQI)은 직접효과가 유의한 수준에서 0.099로 나타나 지역 효율성에 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 해당

Table 11. SDM Result

Variable	Coefficient	Direct effect	In-direct effect	Total effect
lnGRDP	0.747	0.791	-1.466*	-0.675
	0.433	0.448	0.608	0.623
lnPOP	-0.155	-0.171	0.180	0.009
	0.225	0.222	0.400	0.534
lnROAD	1.055***	1.109***	-0.640	0.468
	0.354	0.345	0.561	0.595
lnEQI	0.103*	0.099*	0.287***	0.386***
	0.051	0.048	0.086	0.110
lnEXP	0.451***	0.452***	0.148	0.600
	0.161	0.161	0.301	0.352
lnADD	-0.004	0.001	-0.086	-0.085
	0.136	0.136	0.214	0.261
W*lnGRDP	-1.455*	-	-	-
	0.620	-	-	-
W*lnPOP	0.187	-	-	-
	0.459	-	-	-
w*lnROAD	-0.642	-	-	-
	0.567	-	-	-
W*lnEQI	0.309***	-	-	-
	0.095	-	-	-
W*lnEXP	0.208	-	-	-
	0.314	-	-	-
W*lnADD	-0.102	-	-	-
	0.222	-	-	-
rho	-0.070	-	-	-
R-square	0.251	-	-	-
log-likelihood	96.837	-	-	-

Note 1. dependent variable is efficiency score of model 1

2. p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

지역의 효율성에 장비 및 시설의 수용 능력 및 수가 많은 경우 해당 지역으로 자원이 유입되고 생산성을 높이는데 유리한 면이 있다. 간접 효과도 0.287로 유의한 것으로 나타나 타 지역 효율성에도 긍정적인 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 도로운송산업의 장비 및 시설을 타 지역에서도 이용가능하고 수용능력이 높은 시설의 경우 주변 지역에 미치는 파급효과가 클 수 있다. 도로운송산업이 집적된 지역일수록 특정 지역 및 주변 지역으로 미치는 간접적인 영향력이 있는 것으로 나타났다. 총 효과에서도 유의한 수준에서 0.386로 나타나 전체 효율성에 장비 및 시설은 긍정적인 영향을 끼치는 것을

알 수 있다.

영업비용(lnEXP)의 직접효과는 유의한 수준에서 0.452로 나타났다. 영업비용이 많을수록 도로운송산업의 규모 및 활성화 수준을 가늠할 수 있다. 영업비용이 높은 특정 지역의 경우 효율성에도 긍정적인 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 이외 간접효과, 총 효과에는 영업비용이 유의한 영향은 없는 것으로 나타났다.

부가가치(lnADD)는 직접 효과, 간접 효과, 총 효과에서 유의한 영향은 없는 것으로 나타났다. 국내 지역별 효율성 결과에서 부가가치의 공간적인 영향 관계는 없는 것을 확인할 수 있다.

4. 분석결과 요약 및 비교

비·소망재 산출변수인 매출액, CO₂를 고려한 undesirable SBM 분석 모델 Model 1과 소망재 산출변수 매출액만을 고려한 Model 2로 구분하여 모델 간 비교를 실시하였다. Model 1에서는 CO₂를 고려했을 때 서울, 경기, 대전, 세종이 가장 효율적인 지역인 것으로 나타났다. 부산, 광주, 전북, 울산 등도 효율성에 가까운 지역으로 확인되었다. 이외 대구, 경북, 경남과 같은 영남지역과 충북, 충남, 강원 지역의 효율성은 타 지역과 비교했을 때 효율성이 낮은 것으로 나타나 투입자원의 효율적 운영 및 기술개발, 생산성 확대가 필요한 것으로 나타났다. 수도권, 비수도권과의 효율성 점수를 비교했을 때도 수도권이 계속해서 효율성 점수에서 높은 것으로 나타나 비수도권 지역의 도로 운송산업 지원이 필요한 것으로 나타났다.

Model 2에서는 대부분의 지역들의 효율성이 상승하였다. 산출변수 CO₂를 고려하지 않은 경우 Model 1의 대전을 제외한 서울, 경기, 세종이 가장 효율적인 지역으로 나타났지만 대부분의 많은 지역들이 0.9이상의 높은 효율성 점수로 나타났다. Model 1에서 효율성 점수가 낮은 대구, 충북, 충남, 강원 지역의 경우 효율성 점수가 상승하긴 하였지만 여전히 상대적으로 낮은 효율성을 나타냈다.

기존 도로운송산업 및 물류산업에서도 지역별 효율성을 측정하기 위한 관련 연구가 수행되어 왔다. 기존 연구들의 분석결과와 본 연구 분석결과를 비교하여 분석결과 유사성 혹은 차이점에 대해 살펴볼 필요가 있다.

물류산업에서 녹색생산성 변화를 연구한 Choi Yong-Rok (2012)의 연구에서는 CO₂를 고려하여 지역별 비교를 실시하였다. 기존 연구들은 대부분 소망재 투입·산출변수를 활용한 지역별 효율성을 측정한 연구였다면 해당 연구는 2001년부터 2010년 까지 CO₂를 고려한 생산성 변화를 측정하였다. 연구에서 제시된 총 녹색생산성 변화 결과를 살펴보면 서울, 경기, 경북, 전남, 전북, 강원 등에서 지역 물류산업의 녹색생산성이 증가한 것으로 나타났다. 서울, 경기도는 도로운송산업의 높은 효율성에

이어 생산성의 변화에서도 증가하였으며 지속적인 개선이 이뤄진 것으로 나타났다. 생산성 평균값을 기준으로 대구의 생산성은 감소하였으며 계속해서 낮은 효율성 및 생산성의 감소가 이루어진 것으로 나타났다. 이와 유사하게 본 연구의 Model 1, Model 2에서도 대구는 계속해서 낮은 효율성을 기록하였으며 과거에서부터 최근까지도 효율성의 개선은 이루어지지 않은 것으로 확인되었다.

Park Hong-Gyun (2012)의 연구에서는 2005년-2009년까지의 국내 지역별 육상운송 효율성 분석을 실시하였다. 해당 연구에서 효율적이거나 평균 이상의 지역으로 서울, 부산, 인천, 대전, 전남, 전북이 해당되며, 본 연구결과에서도 해당 지역들의 효율성은 높은 것으로 나타나 결과 간 유사성을 띄는 것으로 나타났다. 비효율적인 지역으로는 대구, 강원, 경남 지역의 효율성 점수가 낮은 것으로 나타났다. Choi Yong-Rok (2012)의 연구 등 과거에도 해당 지역들은 비효율적인 지역들로 분석되었다. 물류산업이 포괄되어 있는 육상운송 및 분석기간의 구분과 상관없이 해당 지역들의 효율성 개선은 이루어지지 않는 것으로 파악된다. 해당 연구에서는 경기도의 효율성이 비교적 낮게 나타났지만, 이후에는 효율성의 개선이 이루어져 상대적으로 효율적인 지역으로 변화한 것을 알 수 있다.

Oh Jin-Ho (2018)의 연구에서는 2007년부터 2016년까지 국내 지역별 물류산업 효율성 변화를 측정하였다. 분석결과 서울, 울산, 경기, 경남, 제주 등이 효율적이거나 근접한 지역으로 분석되었다. 대부분의 지역들의 평균 효율성은 0.8 이상으로 높은 효율성을 기록하였다. 대구, 광주, 강원은 해당연구에서 가장 낮은 효율성을 기록하였다. 대구, 강원은 Park Hong-Gyun (2012)의 연구에서도 낮은 효율성으로 나타나 효율성의 개선이 필요함을 언급한 지역이다. 분석기간의 차이가 있지만 도로운송산업, 물류산업의 경제, 인프라 지표를 활용한 효율성 분석에서 여전히 효율성의 개선이 이루어지지 않은 점은 문제의 여지가 있을 수 있다. Oh Jin-Ho (2018)의 연구에서는 지역들의 효율성 점수와 GRDP 간의 상관관계는 크게 없는 것으로

Table 12. Result Review

Category	Choi(2012)	Park(2012)	Oh(2018)	Model 1	Model 2
Industry	Road transport	Logistics	Logistics	Road transport	
Methodology	GML	DEA-Window & Malmquist	DEA-Window & Malmquist	undesirable & desirable SBM	
Period	2001-2010	2005-2009	2007-2016	2014-2019	
Input	Capital stock, Employees, TOE	Firms, Employees	Firms, Employees, Fixed Assets	Firms, Employees, Fixed Assets	
Output	Sales, CO ₂	Sales	Sales, Add value	Sales, CO ₂	
summary (efficiency level)	High: Seoul, Gyeonggi, Gyeongbuk Low: Daegu, Kangwon	High: Seoul, Busan, Low: Daegu, Kangwon	High: Seoul, Gyeonggi Low: Daegu, Gwangju	High: Seoul, Gyeonggi Low: Daegu, Kangwon	High. Seoul, Gyeonggi Low: Daegu, Kangwon

나타났다. 본 연구에서는 효율성 점수가 높을수록 타 지역 GRDP를 감소시키는 영향이 있는 것으로 나타났지만 직접, 총 효과에는 영향이 없는 것으로 나타나 Oh Jin-Ho (2018)의 연구 결과와는 크게 다르지 않은 것으로 나타났다.

기존 연구들과 비교했을 때 효율적인 지역은 공통적으로 서울, 경기, 인천과 같은 수도권 지역이 해당된다. 해당 지역들은 물동량이 많고 물류거점 지역으로 도로운송, 물류산업의 생산성이 높은 유리한 이점을 지닌 지역이다. 해당 지역의 매출액, CO₂를 고려하더라도 높은 생산성을 오랜 기간 유지하면서 효율적 운영을 하는 지역으로 유지되고 있는 것으로 파악된다. 이와 반대로 대구, 강원은 과거에서부터 최근의 연구에서까지 낮은 효율성을 기록하고 있다. 인구가 많은 대구의 경우 도로운송산업에서 물류산업까지 모든 효율성 분석에서 낮은 점수를 기록하고 있는 것은 문제가 있을 수 있다. 단순히 통계 지표를 활용한 투입 대비 산출 효율성 분석을 통해 제시된 결과일 수 있겠지만, 국가통계포털(KOSIS)에 따르면 대구, 강원 지역의 GRDP는 전국 대비 가장 낮은 수준에 머물러 있다. 특정 지역의 효율성 상승은 타 지역의 GRDP를 감소시키는 간접영향이 있는 것으로 나타난 만큼, 도로운송산업 개발, 운영관리 역

량에서의 지역 간 편중에 대해서도 살펴볼 필요가 있다. 과거 지역별 효율성 분석 연구를 진행한 연구에서부터 본 연구 분석결과까지 유사한 지역의 비효율성이 지적된 만큼 지역 내외 부에서 근본적인 원인을 파악하고 변화의 필요성이 제기된다.

V. 결론

도로운송산업의 온실가스 배출문제는 계속해서 제기되어 왔다. 영업용 차량의 경우 많은 대기오염 물질을 배출하는 등 도심 대기 환경오염의 주원인으로 지목되어왔으며 운송산업의 환경오염물질 배출 저감을 위한 노력이 필요하다. 미국, EU, 중국 등에서도 대기오염원 감축을 위한 노력 중에 있으며 우리나라도 이러한 국가들과 기초를 맞추고 있다. 국가별 CO₂ 배출 총량의 관리가 필요한 현재, 지역별 CO₂ 감축을 위한 노력을 실시 중에 있다. 이에 따라 지난 기간 지역별 CO₂ 관리 능력 및 효율적 운영 수준 측정과 대기오염원 주요 배출원인 도로운송산업을 대상으로 분석을 실시할 필요가 있다. 기존 연구들은 도로운송산업 및 물류산업의 매출액, 영업이익 등 긍정적인 산출액만

을 활용하여 효율성 분석에 활용되어 왔다. 최근의 대기오염물질원 관리의 중요성과 국외 연구에서 오염원이 포함된 다양한 효율성 분석 연구가 실시되고 있다. 본 연구는 CO₂와 같은 부정적 산출요인 고려하여 효율성을 측정하고 변화를 살펴봤다는데 의의가 있다. 기존 연구들은 지역별 도로운송, 물류산업의 효율성 수준을 파악하여 지역별 상대적인 비교 결과를 제시하였다. 해당 연구들은 지역별 상대적인 비교를 통해 현재 해당 지역의 관리운영 역량 및 비효율적인 지역을 파악할 수 있다는데 의의가 있다. 그러나 해당 효율성이 미치는 영향 관계에 대해 알기 어려운 면이 있다. 본 연구에서는 효율성 분석 결과를 활용한 2단계 분석을 통해 이와 같은 영향관계를 파악하고자 하였다.

CO₂를 고려하지 않은 경우 대부분의 지역들의 효율성이 증가하는 것으로 나타나 CO₂의 관리 역량을 개선시킬 필요성이 있다. 이 결과는 투입자원 및 산출에 비해 과한 CO₂를 배출한 것으로 해석할 수 있다. 낙후된 인프라 및 비생산적인 장비 활용으로 투입 대비 낮은 산출과 비효율적 운영이 이루어짐에 따라 기대 이하의 낮은 효율성 수준을 기록하는 것으로 파악된다. 특히 CO₂ 배출량의 관리 역량에 따라 지역별 경제, 산업 개발 및 경쟁력에 미치는 영향력도 있을 수 있으므로 관심과 지원이 필요하다. 지역별 효율성 점수를 활용하여 2단계 회귀 분석을 실시한 결과 장비 및 시설 역량에 따라 효율성 점수 및 타 지역에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다. 효율성이 낮게 나타난 지역들은 도로운송산업의 장비 및 시설 등 유형자산을 개선시켜 생산성을 증대시키고 효율성을 개선시킬 필요가 있다.

지역 별로 서울, 경기, 인천 등에서 높은 효율성을 나타냈다. CO₂ 및 매출액만을 고려한 효율성 분석에서도 이러한 차이는 변하지 않았다. 대구, 강원도의 경우에도 타 지역과 비교하여 상대적으로 낮은 효율성을 기록하였다. 특히, 대구는 기존 선행연구 및 본 연구 분석결과에서도 낮은 효율성을 기록하였다. CO₂ 관리 및 매출액 산출 모델에서도 비효율적 운영이 지속되어 왔음을 의미한다. 낙후된 인프라 및 낮은

생산성이 오랜 기간 개선이 되지 않았으며 이런 이유로 향후의 전망도 기대하기 어려운 점이 있다. 기업체들의 역량을 키워내기 위한 지원방안 마련과 기존 인프라들을 점검하고 낙후된 장비, 시설 등은 개선, 개발을 통해 생산성과 환경친화적인 관리 역량을 갖출 필요가 있다. 향후의 도로운송산업은 전기, 수소에너지 등 친환경 에너지를 적극적으로 적용시키거나 요구될 수 있다. CO₂나 NO_x 등 환경오염물질 배출량 및 관리 역량에 따라 향후 정부의 지원정책이나 생산성에도 변화가 있을 수 있으므로 효율성 개선을 위한 노력 시 이를 고려할 필요가 있다.

본 연구에서는 비소망재인 CO₂를 산출변수로 활용한 undesirable SBM 분석을 실시한 후 공간패널회귀분석을 통한 2단계 분석을 실시하였다. 해외 국가 및 지역 연구에서 활발하게 이용되고 있는 분석방법을 국내 연구에도 적용시켜 분석결과와 결론을 제시하였다. 분석을 수행하면서 다음과 같은 한계점이 있었으며 향후 연구에서는 이를 개선 보완시킨 후속 연구가 필요할 것이다. 첫 번째 효율성 분석의 특성상 투입, 산출변수에 따라 효율성 결과가 다를 수 있다는 한계가 있다. 물론, 투입산출 변수가 다르더라도 변수들의 규모는 지역별 경제, 산업 규모와 유사하여 결과의 큰 변화는 없지만 실제 현장에 적용시키기에는 신뢰성에 의문이 제기될 수 있다. 본 연구에서도 기존 연구에서 일반적으로 사용된 변수들을 사용하였으며 CO₂ 변수를 추가 적용시켜 분석에 활용하였지만 향후 연구들은 전문가 인터뷰 및 설문 등을 통해 투입, 산출변수 도출 및 수집하여 보다 신뢰성 있는 결과를 제시할 필요가 있다. 둘째, 도로운송산업에서 환경오염물질 배출원으로 CO₂를 포함한 NO_x, SO₂ 등이 있다. 효율성 분석에 사용되는 변수들이 많을수록 많은 수의 분석 대상을 필요로 하며 현재 광역시도 범위가 아닌 시군구 단위 등의 방대한 데이터 확보를 통해 한계를 극복하고 세부적인 연구가 이루어질 필요가 있다. 해당 한계들을 고려하여 향후 연구에서는 이를 개선시키고 의미 있는 연구가 나오길 기대하는 바이다.

References

- Anselin, L. (1998), "GIS research infrastructure for spatial analysis of real estate markets", *Journal of Housing Research*, 9(1), 113-133.
- Anselin, L., Gallo, J. L., and Jayet, H. (2008), *Spatial panel econometrics*, Berlin, Springer, 625-660.
- Bai, D., Dong, Q., Khan, S. A. R., Chen, Y., Wang, D., and Yang, L. (2022), "Spatial analysis of logistics ecological efficiency and its influencing factors in China: based on super-SBM-undesirable and spatial Dubin models", *Environmental Science and Pollution Research*, 29(7), 10138-10156.
- Chang, Myung-Hee (2010), "Relative Efficiency of Korea Trucking Transport Business Using DEA Model", *Journal of the Korea Contents Association*, 10(12), 328-341.
- Chen, Y., Zhu, B., Sun, X., and Xu, G. (2020), "Industrial environmental efficiency and its influencing factors in China: analysis based on the Super-SBM model and spatial panel data", *Environmental science and pollution research*, 27(35), 44267-44278.
- Cho, Hyang-Suk (2020), "Analysis of Decoupling between Atmospheric Pollutants and Regional Income: A Spatial Panel Approach", *Journal of Environmental Policy and Administration*, 28(4), 1-32.
- Choi, Bong-Ho and Gi-Whan Lee (2019), "Panel Analysis of Relationship Between Regional Logistics Industry and Economic Growth in Korea", *Korea trade review*, 44(2), 173-188.
- Choi, Jong-Yeol and Je-Hun Park (2011), "Efficiency Analysis for Korean Trucking Companies based on the Data Envelopment Analysis(DEA)", *Journal of the Korea Contents Association*, 11(1), 317-328.
- Choi, Yong-Rok (2012), "Green Productivity Analysis of the Logistics Industry for the Global Competitiveness", *International Commerce and Information Review*, 14(4), 89-107.
- Elhorst, J. P. (2014), *Spatial econometrics: from cross-sectional data to spatial panels*(Vol. 479), Heidelberg, Germany, Springer, 480.
- Färe, R., S. Grosskopf, D. W. Noh and W. Weber (2005), "Characteristics of a polluting technology: theory and practice", *Journal of Econometrics*, 126(2), 469-492.
- Ha, Yeong-Seok and Jung-Soo Seo (2011), "Logistics Peculiarities for the Firms in the Daegu-Gyeongbuk Area", *Journal of Korea Port Economic Association*, 27(2), 241-260.
- Han, Hun-Koo and Ah-Yeong Choi (2007), "Analysis of the Efficiency of Korea's Logistics Industry 'Application of Data Envelopment Analysis-Analytic Network Process (DEA-ANP)", *Journal of Korean Society of Transportation*, 25(3), 55-63.
- Hsieh, H. P., Kuo, K. C., Le, M. H., and Lu, W. M. (2021), "Exploring the cargo and eco-efficiencies of international container shipping companies: A network-based ranking approach", *Managerial and Decision Economics*, 42(1), 45-60.
- Jang, Dong-Sik and Hong-Gyun Park (2013), "Measurement of Efficiency in Regional Logistics Service", *Journal of Industrial Economics and Business*, 26(1), 363-375
- Kim, Joong-Shik and Hyoung-Chang Park. (2007), "An Empirical Study for the Growth of the Logistics Industry of Jeon-buk Area", *Journal of Korea Port Economic Association*, 23(1), 163-193.
- Kim, Min-Ju, Su-Lin Kim and Chang-Hun Kim (2021), *Global Carbon Neutrality Declaration Trends and Assessments*, Ulsan, Korea, Korea Energy Economics Institute, 1-13.
- Kim, Sang-Yeol, Ho Park, Han-Mo Gu and Dong-Keun Ryoo (2015), "The Effects of the Port Logistics Industry on Port City's Economy", *Journal of Navigation and Port Research*, 39(3), 267-275.
- Ko, Kil-Kon (2017), *Theory of Efficiency Analysis*, Seoul, Moonwoo, 12-13.

- Kwon, Hyeok-Ku and Hun-Koo Ha (2016), "A Study on the Cost Structure and Efficiency Analysis of the Logistics and Trucking Industries in Korea", *Journal of Transport Research*, 23(1), 17-36.
- Lee, Kwang-Bae and Yong-Seok Choi (2013), "A Study on the Analysis of Relative Efficiency of Logistics Facilities in Korea", *Journal of Korea Port Economic Association*, 29(2), 159-171.
- LeSage, J., and P. K. Pace (2009), *Introduction to spatial econometrics*, New York, NY: Chapman and Hall/CRC, 340.
- Liu, Z., N. Wu, Y. Qiao and Z. Li (2020), "Performance Evaluation of Public Bus Transportation by Using DEA Models and Shannon's Entropy: An Example From a Company in a Large City of China", *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 8(4), 779-795.
- Lozano, S., and E. Gutiérrez (2011), "Slacks-based measure of efficiency of airports with airplanes delays as undesirable outputs", *Computers & Operations Research*, 38(1), 131-139.
- Ma, Young-Il (2021), *Ulsan needs to strengthen 'non-industrial greenhouse gas emission management' to cope with climate crisis* (UUEB, No. 95), Ulsan, Korea, Ulsan Research Institute, 1-3.
- Oh, Jin-ho (2018), "A Study on the Improvement of Logistics Performance in Korea - Application of DEA-Window and Malmquist", *Korea Logistics Review*, 28(6), 111-125.
- Oh, Jin-Ho, Jae-Seon Ahn and Zhen Wu (2022), "A Study on Road Transport Network And Economy effect in Korea: Application of SNA and Spatial Panel Regression", *Korea Trade Review*, 47(2), 175-193.
- Park, Chang-Suh and Yun-Seok Seo (2017), "Regional Total Factor Energy Efficiency and its Determinants of the Korean Manufacturing Sector", *Journal of the Korean Regional Science Association*, 33(1), 3-16.
- Park, Hong-Gyun (2011), "The Efficiency of the Port Hinterlands of Gwangyang and Busan", *Journal of Korea Port Economic Association*, 27(1), 13-30.
- Park, Hong-Gyun (2012), "The Changes of Technical Efficiency and Malmquist Productivity of Land Transportation by Region", *Journal of Korea Port Economic Association*, 28(4), 59-77.
- Seo, Hyung-Jun and Hyoung-Seok Lee (2019), "A Global Malmquist Analysis on Efficiency of Greenhouse Gas Emission for 16 Local Governments - Focusing on Green productivity", *Seoul Institute*, 20(1), 19-32.
- Song, M., Chen, Y., and An, Q. (2018), "Spatial econometric analysis of factors influencing regional energy efficiency in China", *Environmental Science and Pollution Research*, 25(14), 13745-13759.
- Tone, K. (2003), "Dealing with undesirable outputs in DEA: A slacks-based measure (SBM) approach", *Presentation At NAPW III*, Toronto, Canada, 44-45.
- Zhao, P. J., Zeng, L. E., Lu, H. Y., Zhou, Y., Hu, H. Y., and Wei, X. Y. (2020). "Green economic efficiency and its influencing factors in China from 2008 to 2017: Based on the super-SBM model with undesirable outputs and spatial Dubin model", *Science of the Total Environment*, 741, 1-17.