

Global Report

공간경제성 관점에서 기술발전 이 중국의 총 녹색운송의 생산 성에 미치는 영향

1. 개요
2. 제안한 프레임 워크
3. 결과 및 검토
4. 결론

1. 개요

운송 산업은 생산과 소비를 연결하는 매개체로서 사회 및 경제발전을 지원하는 중요한 기본전략 및 선구적인 서비스산업이다. 교통인프라 건설의 관점에서 볼 때, 2020년까지 중국의 철도건설 마일리지는 15,000km에 달하고, 고속도로는 300만km에 도달할 것이며, 내륙의 강 운송은 130,000km에 달할 것으로 예상된다. 세계최대의 교통망을 가지고 있는 중국은 이른바 ‘강력한 교통국가 구축을 위한 전망(Outline for Building a Powerful Transport Country)’ 정책을 통해 고품질의 교통산업 개발을 촉진할 필요성을 강조하고 있다. 중국의 운송부문의 개발품질을 향상시키기 위한 가장 중요한 사항은 이러한 발전으로 인한 변혁은 중국의 총 생산성 지수의 개발경로를 개선하기 위한 투자, 노동력, 토지 및 기타 물질적 요인에 의존하는 것이라는 사실을 인지하는 것에 달려 있다. 그러나 현재의 TFP(Total Factor Productivity : 총 생산성지수) 측정은 2009년 Zhou가 제시한 녹색개발의 개념(the idea of green development)을 뒷받침할 수 없기 때문에 녹색 총 계수 생산성지수를 이용하여 운송 산업의 발전품질을 측정하고 평가하는 것이 더 과학적인 방법이다[1]. 교통 GTFP(Green TFP : 녹색 TFP)의 개선은 경제수준, 에너지구조, 기술 발전과 같은 여러 요인의 영향을 받는다. 그러나 경제수준을 높이고 에너지구조를 단기간에 조정하는 것은 어려운 일이다. 기술발전은 교통의 GTFP를 촉진하는 데 있어 매우 중요한 수단으로 간주되어야 한다. 또한 기술적 진보는 여러 분야의 경제활동에 매우 다른 영향을 미칠 수 있다. 예를 들면, 자력에 의한 혁신을 통해 녹색경제 촉진효과를 나타내기 위해서는 오랜 기간이 소요되는 반면, 기술 확산은 짧은 기간에 구현할 수 있다[2]. 중국의 여러 지역들은 다양한 운송자원과 기술발전기금을 운영하고 있으나, 각 지역의 경제발전에 따른 환경오염 영향은 강한 공간 의존성을 나타내고 있다[3]. 따라서 지역적 규모의 교통산업 개발효과를 달성하기 위해서는 교통 GTFP의 공간적 변화 추세 및 다양한 기술진보 자원에 대한 분석을 통해 이러한 정보들이 교통 GTFP에 미치는 영향을 명확히 하는 것이 중요하다.

2. 문헌 검토

2.1. GTFP 측정

이전 연구에서 TFP는 전통적인 TFP와 GTFP로 분리되어 있었으며, 전통적인 TFP는 경제적 지속가능성의 척도로 사용되었다. 이러한 연구는 노동, 자본 및 상품 산출물만을 고려하였으며[4][5], 환경적 제약조건을 고려하지 않았다. TFP를 더욱 개선하기 위해 많은 연구자들은 결과가 좋지 않은 산출물을 포함한 GTFP를 이용하여 이 문제를 해결하려고 한다. 이를 개선하기 위해 Kumar(2006)와 Mahlberg(2011)는 이산화탄소 배출량을 TFP에 통합하고 다른 국가의 GTFP를 분석하였다. 또한 Zhang과 Liu(2011)는 TFP와 다양한 열악한 환경에서 출력된 산출물을 결합하여 중국 각 지역의 GTFP를 계산하였다. 측정방법의 관점에서 볼 때 GTFP를 계산하는 방법은 크게 2가지(파라메트릭 방법, 비 파라메트릭 방법)가 있다.

- 파라메트릭 방법(parametric method) : C-D함수 방법(C-D function method), 대수적 지수 방법(algebraic exponential method), 트랜스 로그 생산기능 방법(trans-logarithmic production function method) 이 있다[6]. 파라메트릭 방법은 모델은 간단하지만 함수의 형태를 미리 결정해야 한다. 입출력변수의 가격정보는 모델사용 조건이 너무 복잡하기 때문에 정확하게 제어하고 가정해야 한다.
- 비 파라메트릭 방법 : DEA(Data Envelopment Analysis : 데이터 포위 분석) 분석방법(Chen 등, 2014), Malmquist index method(Greer, 2008), DDF(Directional Distance Function)(1996년 Chambers 등, 1997년 Chung 등), ML(Malmquist-Luenberger) index, SBM(Slack Based Measure) function(2013년 Li 등, 2011년 Li 및 Tao)

특히 비 파라메트릭 방법은 명확한 기능 형태를 필요로 하지 않으며, 의사결정 단위는 결과를 측정하기 위해 최적의 확률론적 프론티어 결합 인덱스 방법(stochastic frontier combined index method)과 비교된다. 메타 프론티어(meta-frontier) 기능은 TFP 또는 GTFP를 계산하는 데도 사용된다. 2010년 Oh는 ML index(ML(Malmquist-Luenberger) 지수)의 비선형 문제를 해결하기 위해 GML(Global ML) 지수를 제안하였다. Ren(2019)과 Chen(2018)도 기대치를 충족하지 못하는 출력값을 포함한 GML지수를 제안하였다. 2016년 Wang과 Shen은 메타 프론티어 GML지수를 사용하여 녹색 지속가능성을 계산하였다. 각각의 방법은 고유한 장점이 있지만, 특히 GML 인덱스는 선형 프로그래밍의 오류가능성에 대한 잠재적 문제를 피할 수 있는 것으로 나타났다.

2.2. 기술발전의 영향

기술발전은 다른 모든 지역의 GTFP에 많은 영향을 미친다. 2018년 Feng와 Huang은 기술발전과 기술적 격차가 GTFP에 영향을 미치는 주요인임을 제시하였다. GTFP에 대한 기술발전과 기술격차의 영향은 3가지 영역에서 분명히 다르다고 할 수 있다. 2018년 Wang과 Sun은 노동 편향된 기술발전이 GTFP를 효과적으로 개선할 수 있다고 지적하였다. 2019년 Ren은 기술 저하가 중국 서부의 TFP 개선에 영향을 미쳤다고 결론내린바 있다. 특히 기술발전이 중국 동부와 서부지역 제조업분야에서는 GTFP를 촉진하는 중요한 역할을 하였다. 2017년 Miao는 기술혁신이 에너지효율과 오염배출에 미치는 영향이 지역마다 다르다는 것을 발견하였다. 이러한 분석을 통해 GTFP에 대한 기술발전의 영향은 지역적으로 차이가 있다는 것을 입증하였다.

3. 방법론 및 데이터소스

3.1. 녹색 총 계수 생산성 측정

운송 산업에서 GTFP를 평가할 때 바람직하지 않은 출력값에 대한 분리성가정은 효율성과 결과에도 영향을 미친다[7]. Dakpo 및 Ang의 모델은 N개의 입력지표(x, M), 예상출력지표(y, K), 비예상출력지표(b)가 있다고 가정한다. 여기서 $x=(x_1, x_2, \dots, x_N) \in R_N$; $y=(y_1, y_2, \dots, y_M) \in R_M$; $b=(b_1, b_2, \dots, b_K) \in R_K$ (x, y, b)로 나타낼 수 있다. 이는 각각 t년 동안 i_{th} 영역의 입력 및 출력 벡터를 나타낸다. (g_x, g_y, g_b)는 각각 입력압축 및 예상 출력을 나타내는 방향벡터이다. (S_n^x, g_m^y, g_k^b)는 입력 및 출력값에 대한 이완벡터를 나타낸다. 생산성 관련 기술은 (x, y, b)로 정의되며, 바람직하지 않은 출력값(ψ_{bad})을 포함하여 x, y, b 를 생성할 수 있도록 한다. 결과적으로 X값에 따라 입출력값의 신뢰도를 확인할 수 있는 것으로 가정한다. 1988~2021년 사인 여러 연구자들<Chambers 1988, Färe and Primont 1995, Kuosmanen 2005, Yang and Pollitt 2010, Zhou 등 2012, Liang and Li 2021>이 제시한 일반적인 생산이론에서의 가정공리들이 (식 1)과 같은 방사형 분리가능성이 있는 조건이 충족되면 바람직하지 않은 출력값(ψ_{bad})으로 정의된다.

$$(x, y, b) \in \Psi_{bad}, 0 \leq \theta \leq 1 \Rightarrow (x, \theta y, \theta b) \in \Psi_{bad} \dots\dots\dots (식 1)$$

WDA는 일반적으로 예상 혹은 비 예상출력의 제로 시너지 조건을 동반한다는 점에 유의해야 하며, (식 2)와 같이 나타낼 수 있다:

$$(x, y, b) \in \Psi_{bad}, 0 \leq \theta \leq 1; \text{ and, } b = 0; \text{ then, } y = 0 \\ \sum_{i=1}^N b_i > 0, \sum_{i=1}^R b_r > 0 \dots\dots\dots (식 2)$$

여기서, 첫 번째 부등식은 적어도 하나의 DMU(I)가 바람직하지 않은 출력을 생성한다는 것을 나타내며, 두 번째 부등식은 최소한 하나의 바람직하지 않은 출력(R)이 일부 DMU에 의해 생성된다는 것을 나타낸다. 이 경우 출력값(Ψ_{bad})은 (식 3)과 같이 나타낼 수 있다:

$$\Psi_{weak} = \left[\begin{array}{l} (x, y, b) \in R^{N+M+K} \mid y \leq \theta \sum_{i=1}^N \gamma_i Y_i; \\ b = \theta \sum_{i=1}^N \gamma_i B_i; x \geq \sum_{i=1}^N \gamma_i X_i; \\ \sum_{i=1}^N \gamma_i = 1; \gamma_i \geq 0; 0 \leq \theta \leq 1; i = 1 \cdots N \end{array} \right] \dots\dots\dots (식 3)$$

이하(x,y,b)는 DMU에 대한 입력값, 바람직한 출력값 및 바람직하지 않은 벡터를 나타낸다. (X,Y,B)는 입력벡터, 바람직한 출력값 등을 구성하는 데 사용되는 모든 DMU를 나타낸다. γ_i 는 강도변수라고 하며 벤치마크(또는 참조)로 사용되는 모든 DMU와 관련이 있다. 바람직하지 않은 출력값에 대한 SBM-DDF의 사용은 1999년 Chung 등이 제시하였다.

3.2. 데이터소스 및 요약 통계

데이터의 가용성을 고려하여 연구기간은 2005년, 2009년, 2013년 및 2017년으로 설정하였다. 연구 샘플은 데이터부족으로 홍콩, 마카오, 티베트 및 대만의 데이터를 제외하였다. 이 외의 모든 데이터는 중국통계연감에서 발표한 자료를 활용한 것이다.

- 각 지역의 연간 운송산업비용/고정자산/투자총액/투자가격지수
- 도시단위 수에 대한 데이터
- 모든 중국지방의 운송 산업에서 다양한 유형의 에너지소비에 대한 데이터
- 운송 산업의 부가가치 데이터와 모든 지방의 산업적 부가가치지수
- 화물 및 여객 회전율 등

GTFP 및 FDIS 데이터는 (식 1)~(식 3)을 기반으로 계산되었으며, 중국통계연감에서 발표한 자료를 활용한 것이다. R&D 지출, 경제수준(1인당 GDP) 및 산업구조(고용지표 등) 관련 데이터는 중국과학기술통계연감에서 발표한 자료를 활용한 것이다. 중국 내 각 지역 간 기술유출은 (식 4)를 기준으로 계산된다:

$$\begin{aligned} GMI_t^{t+1} &= \left[\frac{1 + \bar{S}_V^G(x^t, y^t, b^t; g^x, g^y, g^b)}{1 + \bar{S}_V^G(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; g^x, g^y, g^b)} \right] = GEC_t^{t+1} * GTC_t^{t+1} \\ GEC_t^{t+1} &= \frac{1 + \bar{S}_V^t(x^t, y^t, b^t; g^x, g^y, g^b)}{1 + \bar{S}_V^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; g^x, g^y, g^b)} \\ GTC_t^{t+1} &= \frac{1 + \bar{S}_V^G(x^t, y^t, b^t; g^x, g^y, g^b)/1 + \bar{S}_V^t(x^t, y^t, b^t; g^x, g^y, g^b)}{1 + \bar{S}_V^G(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; g^x, g^y, g^b)/1 + \bar{S}_V^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; g^x, g^y, g^b)} \dots\dots\dots (식 4) \end{aligned}$$

4. 결과검토_녹색교통에 대한 TFP의 시계열적 발전과정

2005~2017년 사이 중국 녹색교통산업에서 TFP는 0.689에서 0.744로, GTFP는 0.592에서 0.702로 소폭 증가하여 각각 0.055%, 0.6%의 상승률을 기록하였다. (표 1 참조)

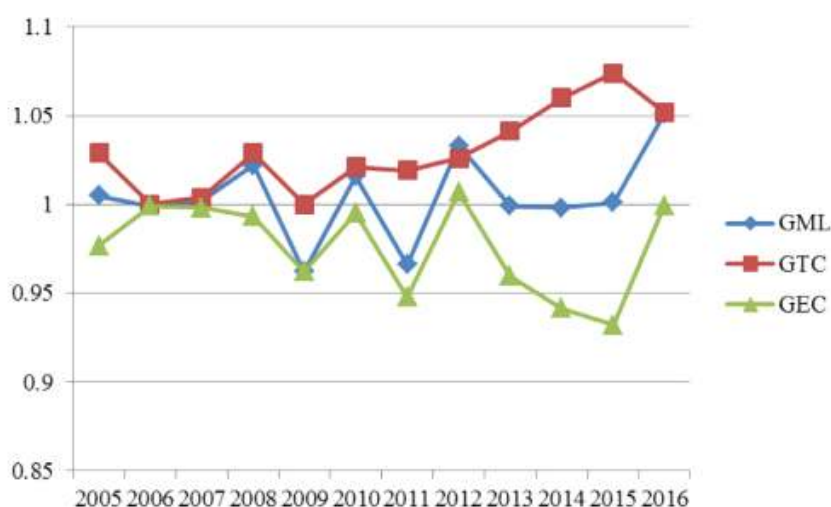
<표 1> Comparison of total factor productivity and green total factor productivity

총 계수생산성(TFP) 대비 녹색 총 계수생산성(GTFP) 비교

구분	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
TFP	0.689	0.702	0.718	0.705	0.714	0.728	0.730	0.734	0.742	0.748	0.736	0.739	0.744
GTFP	0.592	0.606	0.631	0.649	0.636	0.652	0.634	0.666	0.662	0.672	0.675	0.683	0.702

* 자료 : Xiaohui Yang et al, “How does technological progress impact transportation green total factor productivity: A spatial econometric perspective”, Energy Reports 7 (2021) 3935–3950, p.3941.

이는 중국은 운송산업 운영에 대한 효율성을 높이기 위해 여러 운송정책을 시행한 결과, 환경적 제약이 없는 상태에서 TFP에 비해 자원과 환경적 제약이 있는 GTFP는 크게 감소하였다. 그 결과 중국 운송산업의 자원소비와 환경오염으로 인해 산업발전에 상당한 손실이 발생한 것을 알 수 있다. 중국 교통산업에서 GTFP의 GML지수를 적용함으로써 GML은 연평균 3.2%, GTC는 연평균 4.2% 상승하였으며 GEC는 연평균 0.9%로 하락한 것으로 나타났다. (그림 1 참조)



* 자료 : Xiaohui Yang et al, “How does technological progress impact transportation green total factor productivity: A spatial econometric perspective”, Energy Reports 7 (2021) 3935–3950, p.3940.

Fig. 1. Green total factor productivity deconstruction

[그림 1] 녹색 총 계수생산성지수를 적용한 결과

기술발전은 여전히 중국 운송산업의 TFP 성장을 이끄는 주요 요인이 되고 있다. 아울러 GML지수와 녹색 개선 효율지수의 진화추세는 매우 일관되게 나타났다. 기술효율성을 개선하여 중국 운송산업의 TFP를 개선하는 것은 이 산업발전의 핵심 측면이라고 할 수 있다.

5. 결론 및 정책적 영향

이 연구에서는 GWR(지리가중회귀분석)모델을 사용하여 교통산업에서 녹색 총 계수생산성에 대한 채널을 통해 R&D활동, DS 및 FDI 기술유출((R&D activity, DS, and FDI technology spillover) 효과를 입증

하였다. 이러한 효과는 공간적 차이를 나타낸다. 이 연구는 교통산업에서 녹색 총 요인생산성에 다른 기술적 채널의 공간적 영향을 탐구하는 것을 목표로 하였다. 이전의 많은 연구는 주로 단일 기술진행채널을 분석하는 데 초점을 맞추고 있어 공간적 영향에 대한 비교분석이 부족하였다. 따라서 이 연구는 GWR 접근 방식을 사용하고 기술진행채널의 이질성을 고려하여 이 격차를 해소하였다. 주요결론은 다음과 같다.

- 에너지와 환경적 요인을 포함한 교통GTFP는 환경과 에너지를 고려하지 않은 것보다 훨씬 낮게 나타났다. 이는 교통의 GTFP를 보다 객관적으로 반영할 수 있음을 인정한 것이다.
- 베이징, 텐진, 상하이, 광둥, 윈난 등은 환경보호와 환경적 품질을 보장하기 위해 시행한 상당한 에너지 및 산업구조조정 규정과 정책을 감안할 때 교통 GTFP가 지속적으로 개선되었음을 확인하였다.
- R&D투자가 교통산업의 GTFP에 미치는 영향은 대략 U자형으로 감소하거나 증가할 수도 있는 것으로 나타났다. GTFP에 대한 DS의 영향요인은 연구기간동안 항상 부정적으로 나타났으며, 영향계수는 반전된 U자형상을 나타냈음을 확인하였다.

중국의 녹색교통 관련 총 생산성(GTFP : Green Total Factor Productivity)을 개선하는 것은 중국 경제 발전에 매우 중요하다. 이 연구에서는 교통TFP와 교통GTFP의 역동적이고 교차 지역적인 비교를 통해 교통산업의 원동력을 분석하였다. 이 연구결과는 국내 저탄소 녹색교통 정책에 벤치마킹 자료로 활용할 수 있을 것이다.

[참고문헌]

- [1] Song, M., Tao, J., Wang, S., 2015. FDI, technology spillovers and green innovation in China: analysis based on data envelopment analysis. *Ann. Oper. Res.* 228, 47-64.
- [2] Zhao, X., Sun, B., 2016. The influence of Chinese environmental regulation on corporation innovation and competitiveness. *J. Clean. Prod.* 112, 1528-1536.
- [3] Wang, X.L., Sun, C.Z., 2018. Going green or going away? A spatial empirical examination of the relationship between environmental regulations, biased technological progress, and green total factor productivity. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 15, 1-23.
- [4] Chen, S., 2011. The abatement of carbon dioxide intensity in China: factors decomposition and policy implications. *World Econ.* 34, 1148-1167.
- [5] Wu, S., Li, B., Nie, Q., Chen, C., 2017. Government expenditure, corruption and total factor productivity. *J. Cleaner Prod.* 168, 279-289.
- [6] Li, L., Liu, B., Liu, W., Chiu, Y., 2017. Efficiency evaluation of the regional high-tech industry in China: A new framework based on meta-frontier dynamic DEA analysis. *Socio-Econ. Plan. Sci.* 60, 24-33.
- [7] Dakpo, K.H., Ang, F., 2019. Modelling environmental adjustments of production technologies: A literature review – externalities and environmental studies. In: ten Raa, T., Greene, W.H. (Eds.), *The Palgrave HandBook of Economic Performance Analysis*. Cham, Palgrave Macmillan, pp. 601-657.

<원문제목> How does technological progress impact transportation green total factor productivity: A spatial econometric perspective

<원문출처> Energy Reports 7 (2021) 3935-3950