

## 중국의 물-에너지-식량 종합 이용 효율성을 평가 연구

LU YULIN, HE YAN\*  
목원대학교 공공정책학과 학생

### Research on Water-Energy-Food Comprehensive Utilization Efficiency in China

LU YULIN, HE YAN\*  
Student, Department of Public Policy, Mokwon University

**요약** 2011년, 세계경제포럼(The World Economic Forum)은 물-에너지-식량을 세계 3대 위험군에 포함했다. 물-에너지-식량은 국가의 발전 전략과 국민의 삶과 관계된다. 본 연구에서는 SBM-Malmquist 지수를 기반으로 중국의 2011-2020년 물-에너지-식량 종합 이용 효율성을 계산한다. 측정 결과를 살펴보면, 중국 전체 물-에너지-식량의 종합 이용은 효율성이 낮으나 상승세를 보였다. 전국적으로 물-에너지-식량 종합 이용 효율성은 뚜렷한 차별성이 존재하며 전반적으로 동부 > 중부 > 서부의 지리적 분포 구도를 보인다. 전국에 Beijing과 Shanghai만 진정한 유효에 이르고 기타 각 성의 투입과 산출 사이에는 모두 비효율 상태가 존재한다. 물-에너지-식량 종합 이용 효율성의 Malmquist 지수는 1.136으로 상승세를 보이며 기술효율과 기술진보를 통해 중국의 물-에너지-식량 종합 이용 효율성의 향상을 이끌고 있다. 하루빨리 물-에너지-식량 문제에 있어 전략적 높이를 끌어올려 그 발전에 대한 정책적 지원을 해야 한다. 각 지역은 지역 간 조율기구를 설립해야 하며 각 성의 식량 생산량, 수자원 분포 등 문제에 따라 맞춤형 조치를 제정해 경제가 조방형 발전에서 녹색 발전으로 전환되도록 조속히 추진해야 한다.

**주제어** : 물-에너지-식량; SBM 모형; Malmquist 지수; 녹색 발전; 중국; 친환경

**Abstract** The World Economic Forum has included Water-Energy-Food among the three major risk groups in the world, and Water-Energy-Food is related to the development strategies of countries and the lives of their citizens. This study calculates the combined Water-Energy-Food use efficiency in China for 2011-2020 based on the SBM-Malmquist index. The results show that the overall combined Water-Energy-Food efficiency in China is low, but shows an upward trend. There is a clear variability in the combined Water-Energy-Food utilization efficiency in China, with an overall geographic distribution pattern of East > Middle > West. Only Beijing and Shanghai have reached the real above effective nationwide, and all other provinces have inefficiency between input and output. The Malmquist index of integrated Water-Energy-Food utilization efficiency is 1.136, with an up ward trend, and technical efficiency and technological progress lead the improvement of integrated Water-Energy-Food utilization efficiency in China at the sametime. The Water-Energy-Food issue should be raised to a strategic level as soon as possible, and policy support should be provided for its development. Each region should establish a cross-regional coordinating body to formulate targeted measures according to the province's food production and water distribution, so as to promote economic transformation from sloppy development to green development as soon as possible.

**Key Words** : Water-Energy-Food; SBM Model; Malmquist Index; Green Development.

\*Corresponding Author : HE YAN(940806heyan@naver.com)

## 1. 서론

2022년 유럽에서 러시아와 우크라이나의 전쟁이 벌어졌다. 러시아와 우크라이나는 모두 세계에서 에너지와 식량이 가장 큰 무역 수출국 중 하나로 수출량은 세계 선두에 있다. 전쟁으로 인해 세계적인 에너지와 식량 위기가 일어날 것으로 보인다. 2011년 세계경제포럼은 처음으로 '물, 에너지, 식량 연관' 위험군을 3대 위험군에 포함했고, 각 지역의 물-에너지-식량의 안전을 보장하기 위해 3자 간 연관 관계 및 생산과 소비를 전체적으로 파악해야 한다고 주장했다.[1] 물-에너지-식량 통합 이용 효율성을 연구함으로써 세 가지의 통합적 이용 효율성을 높이는 것이 필수적으로 보인다. 물, 에너지, 식량은 지속 가능한 발전 연구의 중요한 분야로서 학계의 많은 주목을 받았다. 그러나 그 관심의 초점은 단일 자원이나 두 자원 사이에 국한되는 경우가 많고, 세 가지 자원을 동일한 프레임워크에 통합하는 연구는 중요하게 여겨지지 않아 왔다. 동년 독일 정부는 본에서 물-에너지-식량 연관 안전에 관한 국제회의를 개최했다. 물-에너지-식량 사이에 복잡한 연관 관계가 있음을 다시 한번 강조한 것이다. 단일 리소스 전략으로 인해 운영, 소비 및 관리 과정에서 발생하는 저울질 및 잠재적 충돌을 해결할 수는 없다[2]. 이로써 물, 에너지, 식량 연계의 서막이 열리게 됐다. 본 연구는 편의를 위해 물-에너지-식량을 WEF(Water-Energy-Food)로 줄인다. Endo 등[3] 및 Li Guijun[4]의 연구를 살펴보면, 2011년 이후 WEF에 대한 검색량은 놀라운 성장세를 보인다. 정부, 학계, NGO, 지역개발기구 등 주체들이 WEF에도 비중을 둬 따라 국제급 WEF 회의, 항목, 연구 보고서도 늘어나고 있다.

학계에서 WEF의 연구 성과에 대한 지속 가능한 발전 분야의 학술지 발표가 잇따르고 있다. 현재 연구는 주로 질적 연구를 위주로 하고, 정량 연구는 상대적으로 적다. 질적 연구는 WEF 간 관계 측면에 초점이 맞춰져 있다. 예를 들어 Chang 등[5]은 WEF에서 세 가지 자원의 각각 둘 사이의 관계 특징을 상세히 밝히고 있다. Rasul과 Sharma[6] 파노라마와 핵심도를 유기적으로 결합하는 방식으로 WEF 관계를 살펴했다. Conway 등[7]의 경우 지역별 특징을 담은 일반화된 WEF-Nexus 개념 프레임워크 맵을 구축해 WEF 관계에 관해 설명했다. 정량 연구의 범위는 비교적 광범위하다. 예를 들어 Halbe 등[8] 시스템 동역학 모델을 이용하여 WEF와 사

회시스템 간의 상호관계를 연구했다. Vora 등[9] 미국 WEF에서 발생하는 오염이 환경에 미치는 영향 정도를 네트워크 모델을 통해 연구했다. Sherwood 등[10] 미국 경제 부문 WEF 강도를 가늠할 수 있는 생애주기 평가 모델을 도입했다. Martinez 등[11]은 WEF-Nexus 동적 시뮬레이션 모델링(Simulation and Modeling)을 진행하고 그 개념을 적용 가능한 의사결정 도구로 전환했다. Schlör 등[12] 도시변영 지수를 활용하여 WEF의 도시회복능력을 고려한 척도이다. 중국의 WEF에 관한 연구의 경우, 상대적으로 지연되고 있으며, 대부분의 연구는 여전히 단일 자원을 검토하는 것을 위주이며 삼자 간의 같은 틀에 관한 연구는 아직 거의 없다. 다만 문헌만을 보면 Zhan[13], Li[4], Chang[14], Zheng[15] 시스템은 WEF의 발전 과정, 관련 개념, 상호관계, 분석 도구 및 당면 과제를 정리했다. Li[16], Liu[17]은 리스크 관제 분야와 도시 분야에서의 WEF의 연구 진행에 관한 연구를 각각 수행했다. Mi 등[18], Li 등[19]은 SD모형을 이용해 관련 지역 내 WEF 변화 추이를 시뮬레이션해 예측했다. Peng[20], Zheng[21], Bi[22], Li[23]는 각각 지역 내 WEF 시스템의 커플링(Coupling) 조정 수준 및 진화 특징을 연구했다. Li 등[24]은 BCC 모델을 활용해 중국 성간 WEF가 투입과 산출 효율성을 분석했다. Sun[25], Bai[26]의 경우 ESDA 모델과 GWR 모델을 각각 사용해 WEF의 공간 특성에 관한 연구를 전개했다.

상술한 분석을 통해 알 수 있듯이 WEF 측의 연구는 여전히 탐색 단계에 있으며, 선행 연구는 주로 질적 연구를 위주로 하고 있다. 또한 정량 연구가 적고 WEF 커플링 조정 분야에 대부분 집중되어 있으며, WEF의 종합 이용 효율성 측면에 관한 연구는 누락되어 있다. 이를 바탕으로 본 연구의 연구 목표는 첫째, 중국의 2011~2020년의 WEF 종합이용 효율성을 산정하는 것이다. 둘째, Malmquist 지수법을 이용한 중국 WEF 종합 변화 추세를 보인다. 셋째, 데이터의 분석 결과를 토대로 WEF의 종합적 이용 효율성을 제고하기 위한 행정 관리 정책을 제안한다.

## 2. 연구변수 및 연구 방법

### 2.1 비기대 산출을 고려한 SBM 모델

Tone[27]이 제안하는 비방사형, 비각도 SBM 모형은 여유 변수(Slack Variable)를 대상 함수에 직접 포함

한다. 투입과 산출에 여유 문제를 효과적으로 해결할 수 있을 뿐만 아니라 비기대 산출을 고려한 후의 산정 결과의 정확도도 보장할 수 있다. 현재 효율성 산정에 널리 적용되고 있으며 양호한 신빙성을 보인다. 따라서 본 연구에서는 비기대 산출 SBM 모델을 사용하여 중국의 환경 복지 성과를 측정한다. SBM 모형 공식은 다음과 같다.

$$\rho^* = \min \frac{1 - \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I \frac{s_i^x}{x_{ki}^t}}{1 + \frac{1}{M+N} \left( \sum_{m=1}^M \frac{s_m^y}{y_{km}^t} + \sum_{n=1}^N \frac{s_n^z}{z_{kn}^t} \right)}$$

$$s. t. \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K u_k^t x_{km}^t + s_m^y = y_{ki}^t \quad (i=1, \dots, I)$$

$$\sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K u_k^t x_{km}^t - s_m^y = y_{km}^t \quad (m=1, \dots, M)$$

$$\sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K u_k^t x_{kn}^t + s_n^z = y_{kn}^t \quad (n=1, \dots, N)$$

$$u_k^t \geq 0, s_i^x \geq 0, s_m^y \geq 0, s_n^z \geq 0 \quad (k=1, \dots, K)$$

식(1)에서  $\rho^*$ 는 목표함수 값을 나타내고  $u_k^t$ 는 가중치 벡터를 나타낸다. I, M, N은 각각 투입, 기대 산출, 비기대 산출 개수,  $s_i^x, s_m^y, s_n^z$ 는 각각 투입, 기대 산출, 비기대 산출의 여유 변수를 나타낸다.  $x_{ki}^t, y_{km}^t, z_{kn}^t$ 는 각각 K' 번째 생산단위인 t' 시기의 투입, 기대 산출, 비기대 산출치를 나타낸다.  $\rho^*$ 는  $s_i^x, s_m^y, s_n^z$ 에 대해 강저함수 (strongly decreasing function)이며  $0 < \rho^* \leq 1$ 이다.  $\rho^* = 1$ 이면  $s_i^x, s_m^y, s_n^z$  모두 0이고 의사 결정 단위는 유효하다.  $\rho^* < 1$ 이면 의사 결정 단위가 유효하지 않으며 투입산출에 필요한 개선이 필요한 것이다.

### 2.2 Malmquist 지수법

Malmquist 지수는 Malmquist에 의해 제안되었으며, Caves 등이 1982년에 이 지수를 생산성 변화 산정에 처음 적용해 이를 Malmquist 생산성 지수로 명명했다[28]. 1994년 Fare 등은 Malmquist 지수와 DEA 이론을 결합하여 t와 t+1기를 참조로 하는 Malmquist 생산성 지수를 구축하여 Malmquist 지수가 널리 활용되게 하였다[29]. 구체적인 공식은 다음과 같다.

$$m(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = \left[ \frac{Dc^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{Dc^t(x^t, y^t)} \times \frac{Dc^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{Dc^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{1/2}$$

$M(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) > 1$ 일 때 t에서 t+1기까지 총 요소생 산성 수준이 향상되고, 반대로  $M(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) < 1$ 가 되면 t에서 t+1기까지 총 요소생산성 수준이 하락하고 구체적인 Malmquist 생산성 지수는 다음과 같이 분해된다고 설명한다.

$$M = EFFCH \times TECHCH$$

$$M(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = \frac{Dc^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{Dc^t(x^t, y^t)} \times \left[ \frac{Dc^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{Dc^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \frac{Dc^t(x^t, y^t)}{Dc^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{1/2}$$

그 중 *EFFCH*는 기술 효율성 변화 지수로, *EFFCH* > 1이 의사 결정 유닛이 생산 프린터에 가까울수록 기술 효율성이 모두 개선되고, 반대로 *EFFCH* < 1의 경우 의사 결정 유닛이 기존 기술 활용에 그다지 좋지 않다는 것을 나타낸다. *TECHCH*는 기술진보 변화지수이며, *TECHCH* > 1인 경우 기술진보나 기술 혁신이 나타나고 생산 프린터는 전면 이동을 지향한다는 것을 보인다.

### 2.3 변수의 선정

WEF 종합 이용 효율성의 본질은 최대한 적은 자원 투입과 최소한의 환경적 대가를 통해 최대의 경제적 이익 및 최적의 생태환경을 확보하는 것이다. Li Chengyu[23]는 중국에 대한 WEF의 커플링성에 관한 연구이다. 물 사용량, 에너지 소비량과 식량 생산량을 변수로 사용해 연구했다. Li Guijun[24]는 중국의 다양한 구역에 대한 WEF 투입 산출 효율에 대한 연구이다. 사용 용수 총량, 에너지소비총량, 식량소비지출, 상주인구, 1인당 GDP, 산업고형폐기물 생산량, 이산화황 배출량, 매연 배출량, 폐수 배출량이 변수로 연구되고 있다. Sun Zhicai[25]는 중국 WEF 커플링 시스템의 안전성에 대한 연구이다. 수자원안전지수, 에너지안전지수, 그리고 식량 안전지수를 적용해 연구를 진행했다. 본 연구에서는 선행 연구[23, 24, 25]를 참조하고 지표의 과학성, 접근성을 보장하는 전제하에 변수를 선택한다. 에너지 소비량, 총 용수, 식량 생산량 및 노동력 수를 투입 지표로 선택한다. 국내총생산(GDP)을 기대산출지표로 선정하고, 이산화황 배출량, 암모니아성 질소 배출량, 매연 먼지 배출량, 폐수 배출량, 고형 폐기물 발생량을 비기대산출 지표로 선정해 WEF 종합 이용 효율성 지표체계를 구축한다.

Table 1. Table of input and output variables

Index	Classification	Content
Input index	Energy consumption	Electricity consumption
	Water consumption	Total water consumption
	Grain production	Food production
	Number of labor force	Number of countable employed persons
Output index	Expected output	Gross national product (GDP)
	Non-expected output	Sulfur dioxide emissions
		Ammonia nitrogen emissions
		Fume and dust emissions
		Wastewater discharge
Solid waste generation		

The data for this study were obtained from the China Statistical Yearbook (2012–2021), China Energy Yearbook (2012–2021), China Environmental Statistics Yearbook (2012–2021), and China Labor Statistics Yearbook (2012–2021). Hong Kong, Macau, Taiwan and Tibet are not included in this study because of the volatility of the data due to the data collection and statistical methods in these regions.

### 3 결과 분석

#### 3.1 정태 결과 분석

Matlab 소프트웨어를 활용해 중국 30성시 2011~2020 WEF 종합 이용 효율성 산정, 구체적인 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. 2011–2020 China WEF Comprehensive Utilization Efficiency Average

Name	Average	Order	Name	Average	Order
Beijing	1.000	1	Henan	0.276	16
Shanghai	1.000	2	Anhui	0.272	17
Tianjin	0.961	3	Hebei	0.268	18
Zhejiang	0.524	4	Liaoning	0.265	19
Jiangsu	0.482	5	Jiangxi	0.247	20
Fujian	0.476	6	Guangxi	0.235	21
Chongqing	0.462	7	Heilongjiang	0.222	22
Hunan	0.459	8	Yunnan	0.220	23
Shandong	0.444	9	Neimenggu	0.215	24
Guangdong	0.442	10	Guizhou	0.202	25
Hubei	0.409	11	Shanxi	0.195	26
Shannxi	0.296	12	Qinghai	0.171	27
Sichuan	0.295	13	Ningxia	0.142	28
Hainan	0.292	14	Gansu	0.139	29

Jilin	0.287	15	Xinjiang	0.133	30
The East	0.574		The West	0.228	
The Middle	0.296		Average	0.373	

#### 3.2 동태 결과 분석

중국의 WEF 종합 이용 효율성의 변동 추이를 연구하기 위해 Malmquist 지수를 채택해 중국의 2011년에서 2020년까지 WEF 종합 이용 효율성의 Malmquist 지수를 산정한다. 그 중에 EC는 기술 효율성이며, TC는 기술진보를 나타낸다. 구체적인 산정 결과는 Table 3에 나와 있다.

Table 3. 2011–2020 Malmquist Index of Annual Ties in 30 Chinese Provinces

Name	Mi	EC	TC	Order	Name	MI	EC	TC	Order
Jiangsu	1.355	1.196	1.152	1	Sichuan	1.116	1.021	1.117	16
Fujian	1.317	1.203	1.182	2	Henan	1.116	1.029	1.102	17
Shanghai	1.264	0.999	1.268	3	Hainan	1.112	0.985	1.124	18
Beijing	1.203	1.004	1.199	4	Jiangxi	1.103	1.005	1.103	19
Zhejiang	1.195	1.140	1.079	5	Guangxi	1.099	0.988	1.112	20
Chongqing	1.183	1.214	1.042	6	Shandong	1.096	1.134	1.139	21
Yunnan	1.165	1.120	1.076	7	Shannxi	1.091	0.998	1.096	22
Tianjin	1.156	0.920	1.237	8	Gansu	1.086	0.993	1.094	23
Hunan	1.153	1.217	1.062	9	Hebei	1.085	1.016	1.078	24
Hubei	1.147	1.196	1.095	10	Xinjiang	1.070	0.983	1.093	25
Anhui	1.140	1.077	1.084	11	Jilin	1.068	0.965	1.102	26
Ningxia	1.137	1.043	1.083	12	Neimenggu	1.064	0.991	1.075	27
Guizhou	1.135	1.046	1.092	13	Liaoning	1.064	0.977	1.102	28
Qinghai	1.121	1.004	1.113	14	Shanxi	1.063	0.975	1.093	29
Guangdong	1.120	0.913	1.288	15	Heilongjiang	1.057	0.965	1.097	30
The East	1.179	1.044	1.168		The West	1.116	1.038	1.089	
The Middle	1.105	1.051	1.093		Average	1.136	1.044	1.119	

Table 3에 따르면, 중국 30개 성의 2011년에서 2020년까지 WEF 종합 이용 효율성의 Malmquist 지수의 평균치는 1.136이다. 전국의 WEF 종합 이용 효율성이 꾸준히 상승하고 있다는 설명이다. 전국 30개 성 Malmquist 지수가 모두 1보다 크니 중국 WEF 종합 이용 효율성 상승이 뚜렷한 것으로 보인다. 전국 12개 성의 Malmquist 지수는 평균치보다 크고 40%로 상승 잠재력이 크다. 연평균 Malmquist 성장률은 13.6%, 기술 효율 EC의 연평균 성장률은 4.4%, 기술진보의 연평균 성장률은 11.9%이다. 중국의 WEF 종합 이용 효율성은 낮은 상태지만 정부는 이를 정책의 안내와 규제, 눈에 보이는 손의 정책적 임무를 수행해 WEF의 종합 이용 효율성 상승을 이끌기 위해 노력해왔고, 기술효율성과 기술진보가 동시에 WEF 종합 이용 효율성 발전을 이끌도록 노력해왔다는 설명이다. 지역에서 보면 중국 동부의 Malmquist 지수는 1.179로 전국 평균 수준을 초과하고 중부와 서부 지역은 전국 평균 수준을 밑돈다. 중국의 WEF 종합 이용 효율성의 제고는 주로 동부지역의 발전에 의존하고 있으며 동부지역의 선도역할을 발휘해 입지 우위를 발휘해 방사선유발능력을 높여야 한다는 설명이다. 중서부지역은 여전히 동부 경험을 학습하고 산업 구조를 조정하며 자원 구성을 최적화하고 잠재력을 발휘해 WEF 종합 이용 효율성을 높이기 위해 노력해야 한다. 성의 차원에서 볼 때 Jiangsu는 연간 35.5%의 속도로 빠른 속도로 발전해 전국 평균 성장 속도의 2.6배에 달한다. Heilongjiang은 중국 WEF의 종합 이용 효율성 발전이 가장 느린 성으로 5.7%로 전국 평균 발전 속도의 41%에 불과해 끊임없이 자원 구성을 최적화하고 혁신기술이 발전을 가속해야 한다.

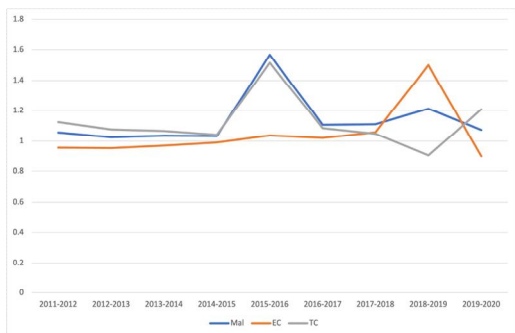


Fig. 1 Average and decomposition of annual average Malmquist index in 30 provinces of China from 2011 to 2020

Fig. 1을 보면 중국의 10년간 WEF 종합 이용 효율의 Malmqvist 지수가 모두 1 이상이라는 것을 알 수 있다. 전반적인 발전 수준은 낮지만, 상승세에 있다. 그 중 기술효율은 2011년에서 2015년까지 그동안 1 이하며, WEF의 종합 이용 효율성 발전을 제한하는 중요한 요소이다. 기술진보는 10년간 1보다 커왔으며 중국 WEF의 종합 이용 효율성 발전을 선도하는 주요 원동력으로 기술혁신을 장려하고 중국 WEF 종합 이용 효율성 발전을 계속 추진해야 한다.

#### 4. 결론

본 연구는 중국 30개 성시의 2011년에서 2020년까지 물-에너지-식량 종합 이용 효율성의 평가에 관한 연구. SBM 모형과 Malmquist 지수 방법을 활용한 중국 30개 성 분석이다. 나아가 중국의 물-에너지-식량의 지속 가능한 녹색 발전을 위한 조언을 제공하고자 하며, 결론은 다음과 같다.

국가 차원에서 볼 때, 조속히 물-에너지-식량 문제를 전략적 높이로 상승시키고 그 발전에 대한 제도적 설계를 진행하여 물-에너지-식량에 관한 지속 가능한 발전 목표를 조속히 제정하여 후에 물-에너지-식량의 발전에 관한 지도를 제공해야 한다. 지역 차원에서 보면 각 지역은 지역 간 물-에너지-식량 간 협업을 강화해야 한다. 여러 지역에 걸친 조정 조직을 구축하여 여러 지역의 여러 부서를 통한 조정을 강화한다. 각 지역 자원의 우세를 발휘함으로써 지역 전체 물-에너지-식량 종합 이용 효율성의 제고를 실현할 수 있다. 성간 차원에서 볼 때, 각 성시는 자체 실정과 결합해 자체의 자원 열세에 대비하여 맞춤형 조치를 제정하고 단판을 보완하며 물-에너지-식량 종합 이용 효율성의 제고를 촉진해야 한다. 종합 이용 효율성이 높은 성시의 경우, 자체 자원의 특성과 함께 그 산업 배치를 최적화하고, 에너지 소모, 고소비 산업에 관한 기술 개조와 업그레이드를 통해 에너지 소비가 적고, 친환경적인 산업을 대대적으로 발전시켜야 한다. 종합 이용 효율성이 낮은 성시의 경우, 농업 절수 기술에 대한 연구개발을 강화하고 가뭄에 강한 식량을 도입하여 효율적인 절수관개를 보급해야 한다. 다른 한편으로는 고소비수의 제한과 감소를 위한 에너지 프로젝트와 기술혁신을 통해 단위에너지 생산 용수를 절감하고 재생에너지의 이용효율을 높이며 폐수를 이용한 에너지 생산 및 수량 소모량이 적은 신에너지 프로젝트를

발전을 장려해야 한다. 동시에 농업의 녹색화, 집약화 방향으로 발전하도록 지속적으로 추진해야 한다.

종합하면, 경제를 조방식 발전에서 녹색 발전으로 조속히 전환하고, '고투입, 고소비, 고오염' 산업 발전을 제한하고, 낙후된 생산 방식을 도태시켜야 한다. 첨단 산업을 적극적으로 발전시키고, 자원을 절약하여, 자원 활용의 효율성을 높인다. 경제발전에서의 생태환경 비용 및 자원 재생 불능 비용을 증시하고 생태환경 및 사회적 효익을 높여야 한다. 녹색기술혁신 추진에 박차를 가하고 기술혁명을 적극적으로 추진하며 물-에너지-식량 기술 연구개발에 대한 지원 강도를 확대하여 자체 경쟁 실력을 향상시켜야 한다. 자원에 대한 주민의 생활 소비 관념을 전환하고 수자원-에너지자원-식량자원에 대한 주민의 절약 의식을 높인다. 물-에너지-식량의 종합 이용 효율성을 높여 녹색 발전을 실현해야 한다.

본 연구는 선행연구를 기초로 중국의 물-에너지-식량 종합이용효율을 측정하고 정태적·동태적인 시각에서 중국 WEF 종합이용효율의 공간과 사가변화 추이를 분석해 일부의 성과를 거두었지만 본 연구는 이 문제에 해당하는 초보적인 연구로 저자의 연구시간과 연구능력의 한계로 부족한 점이 많다. 첫째는 연구 차원에서 중국 지역에 대한 연구일 뿐 업종, 부서 등에 대한 보다 세밀한 연구는 없었다. 둘째는 연구의 범위에서 통계 데이터의 획득 가능성 때문에 중국 각 성의 상황만을 연구한 것은 시와 현에 대해 심도 있는 연구를 진행해야 한다. 셋째는 정책제안에서 본 연구는 정태 및 동태적인 문제에 대해 제시된 정책제안이 비교적 거시적이며, 서로 다른 발전단계와 발전특성에 따라 맞춤형 정책제안을 제시해야 한다.

## REFERENCES

- [1] N. Davis. (2011). *Global Risks 2011 Report*. In World Economic Forum: Cologne, Germany.
- [2] H. Hoff. (2011). *Background paper for the Bonn2011 Conference: the Water, Energy and Food Security Nexus*.
- [3] A. Endo, I. Tsurita, K. Burnett & P. M. Orenco. (2017). A review of the current state of research on the water, energy, and food nexus. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 11, 20-30. DOI : 10.1016/j.ejrh.2015.11.010
- [4] Li, Guijun, Huang, Daohan, Li, Yulong. (2016). Water-energy-food nexus: a new perspective for regional sustainable development research. *Journal of Central University of Finance and Economics* (12), 15. CNKI:SUN:ZYCY.0.2016-12-008
- [5] Y. Chang, G. Li, Y. Yao, L. Zhang & C. Yu. (2016). Quantifying the water-energy-food nexus: Current status and trends. *Energies*, 9(2), 65. <https://doi.org/10.3390/en9020065>
- [6] Rasul, G., & Sharma, B. (2016). The nexus approach to water-energy-food security: an option for adaptation to climate change. *Climate Policy*, 16(6), 682-702. DOI : 10.1080/14693062.2015.1029865
- [7] D. Conway et al. (2015). Climate and southern Africa's water-energy-food nexus. *Nature Climate Change*, 5(9), 837-846. DOI : 10.1038/NCLIMATE2735
- [8] J. Halbe et al. (2015). Governance of transitions towards sustainable development-the water-energy-food nexus in Cyprus. *Water International*, 40(5-6), 877-894. DOI : 10.1080/02508060.2015.1070328
- [9] N. Vora, A. Shah, M. M. Bilec & V. Khanna. (2017). Food-energy-water nexus: Quantifying embodied energy and GHG emissions from irrigation through virtual water transfers in food trade. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 5(3), 2119-2128. DOI : 10.1021/acssuschemeng.6b02122
- [10] J. Sherwood, R. Clabeaux & M. Carbajales-Dale. (2017). An extended environmental input-output lifecycle assessment model to study the urban food-energy-water nexus. *Environmental Research Letters*, 12(10), 105003. DOI : 10.1088/1748-9326/aa83f0
- [11] E. Martinez-Hernandez, M. Leach & A. Yang. (2017). Understanding water-energy-food and ecosystem interactions using the nexus simulation tool NexSym. *Applied Energy*, 206, 1009-1021. DOI : 10.1016/j.apenergy.2017.09.022
- [12] H. Schlör, S. Venghaus & J. F. Hake. (2018). The FEW-Nexus city index-Measuring urban resilience. *Applied energy*, 210, 382-392. DOI : 10.1016/j.apenergy.2017.02.026
- [13] Y. Zhan & L. Wu. (2014). Water, energy, and food conflicts in China and the United States. [J]. *China Economic Report*, 2014(1), 109-111.
- [14] Y. Chang et al. (2016). Overview of the water-energy-food nexus and implications for China. *Water Development Research*, 16(5), 4. CNKI:SUN:SLFZ.0.2016-05-019
- [15] R. Zheng, J. Tang & X. Jin. (2018). Water-energy-food

- nexus: perceptions and solutions in geoscience. *China Mining*, 27(10), 6. CNKI:SUN:ZGKA.0.2018-10-007
- [16] L. Li, J. Bi, Y. C. Zhou & M. M. Liu. (2018). Research progress on risk management based on food-energy-water nexus. *China Population - Resources and Environment*, 28(7), 8. DOI : 10.12062/cpre.20180203
- [17] Liu Qian, Zhang Yuan, Wang Y. S., Huang Dao Han, & Li Gui Jun. (2018). Advances in urban water-energy-food nexus (wef-nexus) research - A review based on bibliometrics. *Urban Development Research*, 25(10), 15. CNKI:SUN:CSFY.0.2018-10-002
- [18] H. Mi & W. Zhou. (2010). (2010). Systematic simulation of China's food, freshwater, and energy demand in the next 30 years. *Population and Economy*, (1), 7. CNKI:SUN:RKJJ.0.2010-01-001
- [19] Li Guijun, Li Yulong, Jia Xiaojing, Du Lei, & Huang Daohan. (2016). Construction and simulation of dynamics model for water-energy-grain sustainable development system in Beijing. *Management Review*, 28(10), 16. CNKI:SUN:ZWGD.0.2016-10-002
- [20] Peng, Shao-Ming, Zheng, Xiao-Kang, Wang, Yu, & Jiang, Gui-Qin. (2017). Synergistic optimization of water-energy-food in the Yellow River Basin Jane. *Advances in Water Science*, 28(5), 10. DOI : 10.14042/j.cnki.32.1309.2017.05.005
- [21] P. Deng et al. (2017). Study on the evolutionary characteristics of regional water-energy-food coupling coordination--Jiangsu Province as an example. *Journal of Water Resources and Water Engineering*, 28(6), 7. CNKI:SUN:XBSZ.0.2017-06-041
- [22] B. Bo et al. (2018). Study on the evolutionary characteristics of coupled and coordinated regional water-energy-food systems. *China Rural Water Conservancy and Hydropower*, (2), 6. DOI : 10.3969/j.issn.1007-2284.2018.02.017
- [23] Li, Cheng-Yu, & Zhang, Shi-Qiang. (2020). Study on the inter-provincial water-energy-grain coupling coordination and influencing factors in China. *China Population - Resources and Environment*, 30(1), 9. CNKI:SUN:ZGRZ.0.2020-01-014
- [24] Li, Guijun, Huang, Daohan, & Li, Yulong. (2017). Study on the evaluation of water-energy-grain input-output efficiency in different regions of China. *Comparative Economic and Social Systems* (3), 11. CNKI:SUN:JJSH.0.2017-03-014
- [25] C. Z. Sun & X. D. Yan. (2018). Security evaluation and spatial correlation analysis of the coupled water resources-energy-grain system in China. *Water Resources Conservation*, 034(005), 1-8.
- [26] J. F. Bai & N. H. Zhang. (2018). Analysis of spatial and temporal variability and drivers of water-energy-grain stress in China. *Geoscience*, 38(10), 1653-1660. DOI : 10.13249/j.cnki.sgs.2018.10.009
- [27] K. Tone. (2001). A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European journal of operational research*, 130(3), 498-509. DOI : 10.1016/S0377-2217(99)00407-5
- [28] D. W. Caves, L. R. Christensen & W. E. Diewert. (1982). The economic theory of index numbers and the measurement of input, output, and productivity. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1393-1414. doi.org/10.2307/1913388
- [29] R. Färe, S. Grosskopf, M. Norris & Z. Zhang. (1994). Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries. *The American economic review*, 66-83. jstor.org/stable/2117971

록 어 린(LU YULIN)

[정회원]

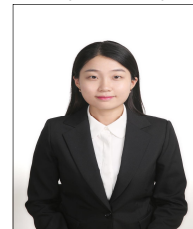


- 2013년 6월 : 산동과학기술대학교 관리학(관리학사)
- 2016년 6월 : 산동과학기술대학교 환경 및 자원보호 법학 (법석사)
- 2019년 9월 : 목원대학교 공공정책 학과 박사과정(재학중)

- 관심분야 : 환경보호, 환경정책
- E-Mail : luyulin@naver.com

하 염(HE YAN)

[정회원]



- 2016년 6월: 흑룡강대학교 한국어 학(문학학사)
- 2019년 2월: 충남대학교 한중어 통번역학 (문학석사)
- 2020년 3월: 목원대학교 공공정책 학과 박사과정(재학중)

- 관심분야 : 환경정책, 유학생 행정관리
- E-Mail : 940806heyan@naver.com