

전력 계통한계가격 장기예측을 위한 오차수정모형

신석하¹, 유한욱^{2*}

¹숙명여자대학교 경제학부, ²한림대학교 경제학부

An Error Correction Model for Long Term Forecast of System Marginal Price

Sukha Shin¹, Hanwook Yoo^{2*}

¹Division of Economics, Sookmyung Women's University

²Department of Economics, Economic Research Institute, Hallym University

요약 계통한계가격은 발전회사들이 생산한 전력을 판매하고 받게 되는 가격으로서, 발전설비의 건설 및 보수에 대한 의사결정에서 중요한 역할을 한다. 본 논문에서는 천연가스 가격이나 원유 가격 등을 이용하여 계통한계가격을 장기 예측하는 모형을 제안한다. 분석대상 변수들이 비정상시계열적 특성을 지니므로 변수 간 장기관계인 공적분관계에 대한 검정을 시행하고, 공적분 관계와 단기적 동학에 대한 관계식을 추정하여 오차수정모형을 구성하였다. 분석대상 기간이 짧아 분석결과의 안정성이 낮은 문제를 고려하여, 다양한 검정 및 추정기법을 사용하여 분석의 강건성을 제고하고자 하였다. 기존 연구에 비해 다양한 연료가격을 검토하고, 시계열 분석의 엄밀성과 강건성을 제고했다는 점이 본 연구가 기여한 부분이다. 분석 결과 계통한계가격과 천연가스가격, 계통한계가격과 유가, 계통한계가격과 천연가스가격 및 유가 간에 공적분 관계가 존재하는 것으로 나타나, 각각의 공적분 관계를 기반으로 오차수정모형을 추정하고 예측력을 비교하였다. 단기식에서는 오차수정모형, 전력공급예비율, 시차항을 고려하였다. 각 오차수정모형의 표본외 예측력을 비교한 결과, 계통한계가격과 천연가스가격 간 공적분 관계를 이용하는 모형이 평균제곱근오차와 평균절대백분율오차 모두 가장 낮은 값을 보이는 등 예측력이 좋은 것으로 평가되었다.

Abstract The system marginal price of electricity is the amount paid to all the generating units, which is an important decision-making factor for the construction and maintenance of an electrical power unit. In this paper, we suggest a long-term forecasting model for calculating the system marginal price based on prices of natural gas and oil. As most variables used in the analysis are nonstationary time series, the long run relationship among the variables should be examined by cointegration tests. The forecasting model is similar to an error correction model which consists of a long run cointegrating equation and another equation for short run dynamics. To mitigate the robustness issue arising from the relatively small data sample, this study employs various testing and estimating methods. Compared to previous studies, this paper considers multiple fuel prices in the forecasting model of system marginal price, and provides greater emphasis on the robustness of analysis. As none of the cointegrating relations associated with system marginal price, natural gas price and oil price are excluded, three error correction models are estimated. Considering the root mean squared error and mean absolute error, the model based on the cointegrating relation between system marginal price and natural gas price performs best in the out-of-sample forecast.

Keywords : System Marginal Price, Long Term Forecast, Error Correction Model, LNG, Nonstationarity

*Corresponding Author : Hanwook Yoo(Hallym Univ.)

email: hanwook67@hallym.ac.kr

Received April 21, 2021

Revised May 21, 2021

Accepted June 4, 2021

Published June 30, 2021

1. 서론

현재 우리나라 발전시장은 다수의 발전회사들이 생산한 전력을 한국전력에 판매하는 구조로 되어 있는데, 이때 적용되는 가격이 계통한계가격(SMP: System Marginal Price, 이하 SMP)이다. 거래 전일에 시간대별 수요예측을 바탕으로 발전회사로부터 입찰을 받아 낮은 가격 순으로 발전기를 선정하는데, 마지막으로 투입되는 한계발전기의 공급가격이 계통한계가격으로서, 모든 발전기에 동일하게 적용된다.

따라서 계통한계가격은 전력시장 참여자들의 이윤과 직결되며, 이에 대한 예측이 의사결정에 중요한 영향을 미치게 된다. 단기 예측은 전력거래 입찰에 필요하고, 장기 예측은 발전설비의 건설 및 보수에 대한 의사결정에 필요하다.

단기 예측방법으로는 일별 또는 시간별 자료를 이용한 자기회귀누적이동평균(ARIMA: Auto Regressive Integrated Moving Average) 모형[1]과 신경회로망(Neural Network) 모형[2]이 많이 사용되고 있다. 이들 방법은 연료가격, 기상조건, 온도, 요일, 시간대별 특성 등을 고려하여 계통한계가격의 단기적인 변동을 예측하는 데에는 유용하나, 예측 시계(horizon)가 길어질수록 예측의 정확도가 떨어진다.

한편 발전소 등 대규모 발전설비를 건설하거나 보수할 경우에는 짧게는 몇 달에서 길게는 수십년 동안의 계통한계가격의 예측이 필요하다. 예를 들어 발전소 건설에 대한 예비타당성조사에서는 경제성 분석을 위해 건설 및 운용에 소요되는 비용과 수입을 검토해야 하며, 이를 위해서는 분석시점으로부터 30년 이상의 장기간에 걸친 계통한계가격의 예측이 요구된다.

본 논문은 계통한계가격의 장기예측을 위한 오차수정모형을 제안하는 것을 목표로 한다. 기본적으로는 천연가스가격이나 원유가격을 기반으로 계통한계가격을 예측하며, 시계열의 장단기 특성을 엄밀히 고려하는 데 중점을 두었다. 통상적으로 원자력과 석탄의 발전비용이 낮기 때문에, 이들 연료가 계통한계가격을 결정하는 경우는 적고 주로 천연가스에 의한 발전비용이 계통한계가격을 결정하고 있다. 예를 들어 2019년의 경우 천연가스에 의한 발전이 계통한계가격을 결정할 경우가 89.3%에 이르고 있다. 다만 원유가격이 약 4개월 정도의 시차를 갖고 천연가스가격에 영향을 미치는 상황이다. 이를 감안하여 많은 선행연구들이 천연가스와 원유 등 연료가격이 계통한계가격에 미치는 영향을 분석하고 있다.[3-6]

이들 연료가격과 계통한계가격이 단위근을 갖는 비정상(nonstationary)시계열인지 확인하기 위한 단위근 검정과 비정상시계열 간 장기적 관계의 존재 여부에 대한 공적분(cointegration) 검정을 시행할 필요가 있다. 장기적 관계의 존재가 확인된 후에는 공적분 관계를 추정하고, 단기적 동학에 대한 관계식을 추정하여 오차수정모형을 구성하고, 이를 계통한계가격의 예측에 활용한다.

이와 같은 시계열적 특성을 고려한 기존연구들과 본 연구의 차별성은 다음과 같다. 첫째 본 연구에서는 장기 예측에 초점을 맞추고 있다. 기존 연구들은 계통한계가격에 대한 인과관계[3]나 역사적 요인분해[5]를 주로 분석한 반면, 본 연구에서는 장기예측에 중점을 두었다. 둘째 계통한계가격과 연료가격 간의 관계를 분석한 기존연구들이 대부분 하나의 연료원만 고려하였으나[3, 4], 본 연구에서는 천연가스와 원유 가격을 함께 사용하고 어떤 원료가격을 사용하는 경우에 예측력이 가장 높은지 검토하였다. 셋째 기존 연구들은 단위근 검정, 공적분 검정 및 추정에 한 두가지의 분석방법을 활용하였다. 비정상시계열의 특성상 분석대상 기간이 짧은 경우, 분석결과에 안정성이 낮다고 알려져 있다. 본 연구에서는 분석결과에 강건성(robustness)을 높이기 위해 다수의 검정 및 추정 기법을 적용하였다.

2. 분석방법과 자료

2.1 분석방법

오차수정모형은 장기식과 단기식으로 구성된다. 장기식은 변수 간의 장기적인 균형관계를, 단기식은 변수 간의 단기적인 동학을 나타내며, 오차수정항을 통해 장기식과 단기식이 연결되는 구조이다. 예를 들어 변수 y_t 가 장기적으로 변수 x_t 와 안정적인 관계를 갖고 단기적으로는 자체적인 변동과 변수 x_t, z_t 의 변동에 영향을 받는다면, 이에 대한 오차수정모형은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$y_t = \alpha + \beta_x x_t + \epsilon_t \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \Delta y_t^i = & \gamma + \sum_{j=1}^{m_1} \delta_1^j \Delta y_{t-j} + \sum_{j=0}^{m_2} \delta_2^j \Delta x_{t-j} \\ & + \sum_{j=0}^{m_3} \delta_3^j \Delta z_{t-j}^i + \phi \widehat{\epsilon}_{t-1} + \nu_t \end{aligned} \quad (2)$$

Eq. (1)과 (2)의 ϵ, ν 는 각각 오차항을 나타내며, Eq.

(2)에서 Δ 은 전기대비 차분을 나타낸다. Eq. (2)의 마지막 설명변수 $\widehat{\epsilon}_{t-1}$ 가 오차수정항이며 Eq. (1)의 잔차로 측정된다. 이 항은 장기적 관계인 Eq. (1)으로부터 전기 ($t-1$)에 이탈한 부분을 나타내며, 계수 ϕ 만큼 이번 기 (t)에 조정된다. 변수들 간의 장기적 관계가 안정적이어서 장기적 관계로 복귀하는 성향이 있다면, 오차수정계수 ϕ 가 음의 값을 지니게 된다.

본 논문에서는 피설명변수(y)로 계통한계가격(smp)을 사용하였으며, 장기적인 관계를 갖는 변수(x)로 천연가스가격(p_{lng})과 원유가격(p_{oil})을 고려하였다. 단기에만 계통한계가격에 영향을 주는 변수(z)로는 전력공급예비율(exs)을 사용하였다. 전력공급예비율은 전력공급능력이 최대전력소비에 비해 어느 정도 여유가 있는지를 나타내는 지표로서, 전력공급예비율이 낮다면 상대적으로 수요가 공급에 비해 많은 상황이므로 한계비용이 높은 발전기가 동원될 가능성이 높아진다.

2.2 자료

본 논문에서 사용한 계통한계가격과 전력공급예비율은 전력통계정보시스템(EPSS)의 자료를 이용하였으며, 천연가스가격은 한국가스공사의 발전용 천연가스요금 자료를, 유가는 한국석유공사 PETRONET의 두바이 원유가격을 사용하였다. 유가를 원화로 환산하기 위해 한국은행 ECOS의 원/달러 환율자료(기간평균)를 사용하였다.

한편 월별 자료로 인한 시계열의 계절성(seasonality)을 고려하여, X-12 ARIMA 방법으로 계절조정된 자료를 사용하였다. 계절성이 강한 비정상시계열의 경우 계절성을 분석에서 고려하지 않으면 분석결과가 계절성에 의해 크게 영향받기 때문이다. 분석에 사용한 계절조정 변수들의 기초통계량이 Table 1에 제시되어 있다.

Table 1. Basic Statistics

Vairables	Unit	Mean	S.D	Min	Max
smp	Won/kWh	83.1	12.7	49.8	104.95
p_{lng}	Won/Nm3	529.5	82.1	312.4	661.4
p_{oil}	Won/bbl	65189.4	13166.3	25374.2	88622.5
exs	%	18.1	5.2	10.6	42.1

분석에는 2008년 1월부터 2021년 3월까지의 월별 자료가 사용되었는데, 이 중에서 2008년 1월부터 2016년 12월까지의 자료는 모형의 추정에 사용하고, 2017년

1월부터 2021년 3월까지의 자료는 모형의 예측력을 검증하는데 사용되었다.

이하 분석에서 계통한계가격, 천연가스가격, 유가는 로그변환하여 사용하였으며, 전력공급예비율은 100으로 나누어 사용하였다.

3. 분석결과

3.1 단위근 및 공적분 검정

분석에 사용한 변수들이 단위근(unit root)을 갖는지 검정하기 위해 Table. 2와 같이 다양한 검정방법[7-10]이 사용되었다. 이 중에서 KPSS 검정은 단위근을 갖지 않는다는 귀무가설을 검정하고, 다른 검정들은 단위근을 갖는다는 귀무가설을 검정한다.

검정에 시차변수가 필요한 경우 최대 시차변수를 12로 설정하고 AIC(Akaike information Criteria)를 이용하여 시차길이를 선택하였다. 장기공분산 행렬 추정이 필요한 경우에는 Quadratic-Spectral Kernel에 Automatic Bandwidth 방법[11]을 적용하였다.

계통한계가격, 천연가스가격, 유가는 모든 검정에서 단위근을 갖는 것으로 나타났다. 전력공급예비율은 KPSS 검정에서 단위근을 갖는 것으로 나타난 반면, 다른 검정들은 단위근 가설을 기각하였다. 대부분의 검정에서 단위근을 갖지 않는 것으로 나타났으므로, 공적분 관계에서는 전력공급예비율을 고려하지 않고 단기 관계식에서만 고려한다.

Table 2. Unit Root Test Results

Tests	H_0	smp	p_{lng}	p_{oil}	exs
PP[7]	UR	-1.52	-3.06	-1.92	-8.67***
ADF-GLS[8]	UR	-1.25	-1.53	-1.82	-2.83*
MZ_{α}^{GLS} [9]	UR	-4.06	-10.75	-6.00	-72.97***
KPSS[10]	No UR	0.51***	0.18**	0.47***	0.36***

UR: Unit Root, *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.10$

계통한계가격, 천연가스가격, 유가 간에 장기적인 관계가 존재하는지에 대해 공적분 검정을 시행하였다. 공적분 검정 역시 소규모 샘플에서 단일 검정방법에 문제가 있을 수 있음을 고려하여 다양한 검정방법을 사용하였다.[12-16]

Table 3. Cointegration Test Results

Tests	H_0	Model		
		A	B	C
		smp, p_{lng}	smp, p_{oil}	smp, p_{lng}, p_{oil}
EG[12]	No Coint.	-6.25***	-5.16***	-6.30***
PO[13]	No Coint.	-6.31***	-5.11***	-6.43***
Hansen[14]	Coint.	0.08*	0.19	0.06*
Park[15]	Coint.	0.07*	0.40	0.17
λ_{trace} [16]	# of Coint.	1	1	2
λ_{max} [16]	# of Coint.	1	2	2

Coint.: Cointegration, *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.10$

EG 검정과 PO 검정은 변수들 간에 공적분 관계가 존재하지 않는다는 귀무가설을 검정하며, Hansen 검정과 Park 검정은 공적분 관계가 존재한다는 가설을 검정한다. Johansen[16]의 λ_{trace} 검정과 λ_{max} 검정은 몇 개의 공적분 관계가 존재하는지 검정한다.

검정 결과, 계통한계가격과 천연가스가격로 구성된 모형 A는 6개의 검정 중 Hansen 검정과 Park 검정에서 공적분 관계가 기각되었다. 계통한계가격과 유가로 구성된 모형 B는 λ_{max} 검정에서만 공적분 관계가 명확하지 않게 나타났다. λ_{max} 검정에서 공적분 관계가 2개로 나타났다. n 개의 단위근 변수 간에는 공적분 관계가 최대 $n-1$ 개만 존재할 수 있다는 이론상 추론에 위배된다. 계통한계가격, 천연가스가격, 유가 세 변수로 구성된 모형 C는 Hansen 검정에서만 공적분 관계가 기각되었다.

변수들 간의 공적분 관계가 완전히 배제되지 않으므로, 모형 A, B, C 모두에 대해 오차수정모형을 추정하고 예측력을 비교해보았다.

3.2 오차수정모형 추정

각 모형에 대해 계통한계가격을 피설명변수로 하는 공적분 관계식 (1)을 추정한 결과가 Table 4에 보고되어 있다. 추정방법에 따라 공적분 계수가 달라질 수 있음을 고려하여 세 가지 추정방법을 사용하였다.[16-18]

모형 A와 모형 B의 공적분 계수 추정치는 추정방법에 따라 크게 변화하지 않는 반면, 모형 C의 경우는 상당한 변화를 보이는 것으로 나타났다.

각 모형에 대해 추정된 공적분 관계의 전기($t-1$) 잔차항을 오차수정항으로 사용하여, 계통한계가격의 전기 대비차분 변수를 피설명변수로 하는 단기식 (2)를 추정한 결과가 Table 5에 제시되어 있다. 추정방법에 따라 공적

Table 4. Cointegration Estimation Results

Model	coeff.	Method		
		FM-OLS [17]	DOLS [18]	Johansen [16]
A	β_{lng}	1.19*** (0.09)	1.27*** (0.06)	1.28* (0.08)
B	β_{oil}	0.71*** (0.08)	0.74*** (0.05)	0.82* (0.06)
C	β_{lng}	0.91*** (0.09)	1.29*** (0.30)	0.37 (0.11)
	β_{oil}	0.21*** (0.06)	0.05 (0.16)	0.55* (0.07)

*** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.10$. standard error in parenthesis

부 계수의 추정치가 다르므로, 추정계수의 통계적 유의성(t -값)을 기반으로 추정치를 선정하였다. 즉 모형A와 B의 경우 DOLS 방법에 의한 공적분 계수 추정치를 적용하고, 모형C의 경우 FM-OLS 추정치를 적용하였다. 차분변수의 시차는 최대 12개월 이전까지 고려하였으나, 최종적으로 통계적으로 유의하게 나타난 시차항은 모형 B에서 원유가격은 6개월 시차항이 유일하였다.

Table 5. Short Run Equation Estimation Results

variables	Model		
	A	B	C
constant	0.08***	0.04*	0.07***
$\Delta p_{lng t}$	0.32***		
$\Delta p_{oil t-6}$		0.15*	
Δsmp_{t-1}	-0.15**		
exs	-0.68***	-0.29*	-0.59***
$\hat{\epsilon}_{t-1}$	-0.45***	-0.16***	-0.54***
No. of Obs.	107	107	107
$adj-R^2$	0.46	0.26	0.52

*** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.10$

모든 모형에서 전력공급비율은 계통한계가격에 통계적으로 유의한 음(-)의 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 전력공급이 전력수요에 비해 여유가 있을수록 계통한계가격이 낮아짐을 의미한다.

한편 오차수정항도 모든 모형에서 통계적으로 유의한 음의 값을 가져, 공적분 관계식으로 표현되는 장기균형관계로 복귀하는 성향이 존재함을 시사하였다. 균형으로의 복귀 속도는 모형 A와 C가 각각 0.45, 0.54로 0.16인 모형 B에 비해 빠른 것으로 보인다. 모형 A와 C의 경우 계통한계가격인 연료가격과의 균형관계에서 전기에 이탈하는 부분의 약 50%가 이번 기에 조정되는 것으로 나타났다.

3.3 예측력 비교

추정된 오차수정모형을 이용하여 계통한계가격에 대한 표본외(out of sample) 예측력을 비교하였다. 예측력을 비교하는 지표로는 평균 제곱근 오차(RMSE: Root Mean Squared Error, 이하 RMSE)와 평균 절대 백분율오차(MAPE: Mean Absolute Percentage Error, 이하 MAPE)를 사용하였다.

Table 6. Comparison of Forecast Accuracy

	Model		
	A	B	C
RMSE	5.61	7.70	6.11
MAPE	5.11	7.21	6.02

천연가스가격을 이용하는 모형 A가 RMSE와 MAPE 모두에서 다른 모형에 비해 작은 예측오차를 나타냈으며, 유가를 이용하는 모형 B가 가장 큰 예측오차를 보였다. 유가와 천연가스가격 둘 다 이용하는 모형 C가 모형 A보다 예측오차가 크게 나온 것은 유가변동에 포함된 정보가 이미 천연가스가격에 반영되어 있기 때문에 유가를 모형에 추가한다고 하더라도 예측력이 크게 개선되지 않는 반면, 추정 상의 효율성은 오히려 낮아지는 데 기인하는 것으로 보인다.

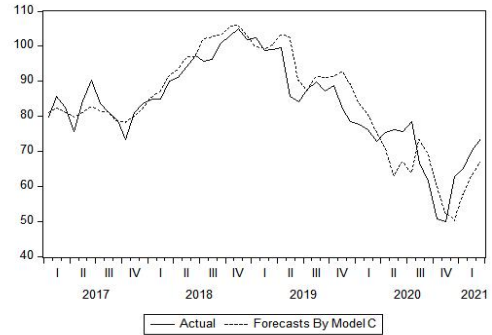
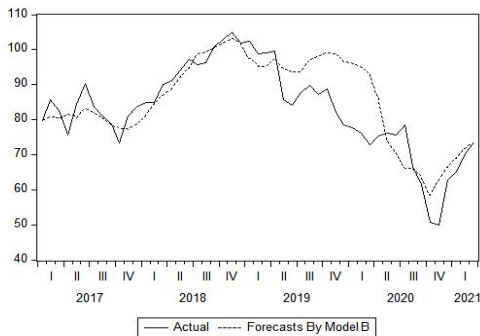
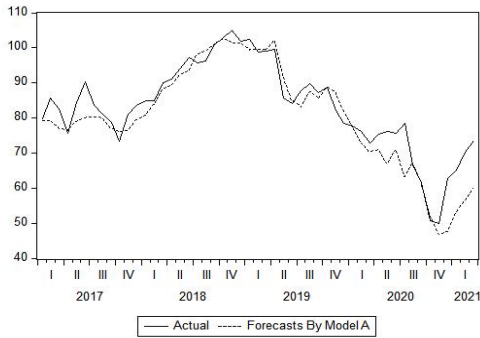


Fig. 1. Long Term Forecasts of SMP

천연가스가격을 이용한 오차수정모형 A는 MAPE가 5% 내외로, Fig. 1와 같이 전반적으로 실제치와 유사한 예측치를 제공하고 있다. 모형 B와 C는 실제치와의 차이가 각각 7%, 6% 수준으로 측정되었다.

4. 결론

본 논문에서 계통한계가격의 장기예측을 위해 천연가스가격, 유가, 전력공급예비율을 이용하는 오차수정모형을 검토하였다. 계통한계가격, 천연가스가격, 유가 모두 단위근을 포함하는 비정상시계열로 나타났으며, 계통한계가격과 천연가스가격, 유가 간에는 장기적인 관계인 공적분 관계가 존재하는 것으로 검정되었다. 이러한 장기적인 관계에 더해 변수들의 단기적인 변동과 전력공급예비율까지 고려하는 단기식을 추정하여 오차수정모형을 구성하였다. 모형들 중에서 천연가스가격을 이용하는 모형의 예측력이 가장 좋게 나타났다.

본 논문에서 제안한 오차수정모형을 실제 장기예측에 사용하려면, 설명변수의 예측치가 필요하다. 천연가스가격의 경우, 국제에너지기구(International Energy Agency) 등에서 제공하는 에너지가격의 장기 전망치를 이용하여, 예측치를 확보할 수 있을 것으로 생각된다. 전력공급예비율은 에너지기본계획이나 전력수급기본계획의 계획치를 사용할 수 있을 것이다.

물론 이러한 설명변수의 예측치에 오차가 존재하고 장기예측에 따른 오차수정모형의 한계도 분명하지만, 전력설비의 건설이나 보수에 대한 의사결정에서 계통한계가격의 장기예측이 필요한 실정이므로 본 논문에서 제안한 오차수정모형과 같은 장기예측 방법이 계속 모색되어야 할 것으로 생각된다. 특히 익명의 논평자가 제기한 바와

같이, 유가와 천연가스를 모두 포함하는 모형이 천연가스 가격만 포함하는 모형에 비해 예측력이 낮게 나타난 점을 고려할 때, 유가와 달리 천연가스가격과 독립적이면서 계통한계가격에 장기적인 영향을 미칠 수 있는 변수를 발굴한다면, 모형의 예측력에 도움이 될 것으로 생각된다.

References

- [1] D. Kim, C. Lee, Y. Jeong, J. Park, J. Shin, "Development of System Marginal Price Forecasting Method Using ARIMA Model", *The Transaction of the Korean Institute of Electrical Engineers A*, Vol.55A, No.2, pp.85-93, Feb. 2006.
- [2] J. Lee, C. J. Park, J. Shin, "A System Marginal Price Forecasting Method Based on an Artificial Neural Network Using Time and Day Information", *The Transaction of the Korean Institute of Electrical Engineers A*, Vol.54A, No.3, pp.144-151, Mar. 2005.
- [3] M. H. Park, Y. T. Moon, J. G. Park, "An Analysis on the Causal Relation Among SMP, Base-Load Share, LNG Import Price, and Exchange Rate", *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, Vol.28, No.7, pp.97-105, Jul. 2014.
- [4] S. Jung, D. H. Won, "Relation between Oil Prices and Electricity", *Korean Energy Economic Review*, Vol.19, No.1, pp.153-176, Mar. 2020.
DOI: <http://dx.doi.org/10.22794/keer.2020.19.1.006>
- [5] W. Yun, "The Historical Decomposition of South Korea's Market Prices", *Korean Energy Economic Review*, Vol.16, No.1, pp.35-55, Mar. 2017.
DOI: <http://dx.doi.org/10.22794/keer.2017.16.1.002>
- [6] D. Shin, J. Kim, "The Identification of Structural Shocks and Analysis of System Marginal Price Volatility in Korean Electricity Power Market", *Korea Review of Applied Economics*, Vol.17, No.2, pp.121-166, Sep. 2015.
- [7] P. Phillips, P. Perron, "Testing for a Unit Root in Time Series Regression," *Biometrika*, Vol.75, No.2, pp.335-346, Jun. 1988.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/biomet/75.2.335>
- [8] G. Elliot, T. Rothenberg, J. Stock, "Efficient Tests for an Autoregressive Unit Root," *Econometrica*, Vol.64, No.4, pp.813-836, Jul. 1996.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3386/t0130>
- [9] S. Ng, P. Perron, "Lag Length Selection and the Construction of Unit Root Tests with Good Size and Power," *Econometrica*, Vol.69, No.6, pp.1519-1554, Nov. 2001.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/1468-0262.00256>
- [10] D. Kwiatkowski, P. Phillips, P. Schmidt, Y. Shin, "Testing the Null Hypothesis of Stationarity against the Alternative of a Unit Root: How Sure are We that Economic Time Series Have a Unit Root?" *Journal of Econometrics*, Vol.54, No.1-3, pp.159-178, Oct.-Dec. 1992.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(92\)90104-Y](https://doi.org/10.1016/0304-4076(92)90104-Y)
- [11] W. Newey, K. West, "Automatic Lag Selection in Covariance Matrix Estimation," *Review of Economic Studies*, Vol.61, No.4, pp.631-653, Oct. 1994.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2307/2297912>
- [12] R. Engle, C. Granger, "Co-integration and Error Correction: Representation, Estimation and Testing," *Econometrica*, Vol.55, No.2 pp.251-276, Mar. 1987.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2307/1913236>
- [13] P. Phillips, S. Ouliaris, "Asymptotic Properties of Residual Based Tests for Cointegration," *Econometrica*, Vol.58, No.1 pp.165-193, Jan. 1990.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2307/2938339>
- [14] B. Hansen, "Efficient Estimation and Testing of Cointegrating Vectors in the Presence of Deterministic Trends," *Journal of Econometrics*, Vol.53, No.1-3 pp.87-121, Jul.-Sep. 1992.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0304-4076\(92\)90081-2](http://dx.doi.org/10.1016/0304-4076(92)90081-2)
- [15] J. Park, "Testing for Unit Roots and Cointegration by Variable Addition," *Advances in Econometrics*, ed. by Fomby and Rhodes, pp.107-133, JAI Press, 1990.
- [16] S. Johansen, "Estimation and Hypothesis Testing of Cointegration Vectors in Gaussian Vector Autoregressive Models," *Econometrica*, Vol.59, No.6 pp.1551-1580, Nov. 1991.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2307/2938278>
- [17] P. Phillips, B. Hansen, "Statistical Inference in Instrumental Variables Regression with I(1) Processes," *Review of Economic Studies*, Vol.57, No.1 pp.99-125, Jan. 1990.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2307/2297545>
- [18] J. Stock, M. Watson, "A Simple Estimator of Cointegrating Vectors in Higher Order Integrated Systems," *Econometrica*, Vol.64, No.4 pp.783-820, Jul. 1993.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2307/2951763>

신 석 하(Sukha Shin)

[정회원]



- 1990년 2월 : 서울대학교 대학원
경제학과(경제학석사)
- 2002년 5월 : 미국 Ohio state 대
학교 경제학과(경제학 Ph.D.)
- 2002년 9월 ~ 2013년 2월 : 한국
개발연구원(KDI) 연구위원
- 2013년 3월 ~ 현재 : 숙명여자대
학교 경제학부 교수

<관심분야>

거시경제, 계량분석

유 한 옥(Hanwook Yoo)

[정회원]



- 1990년 2월 : 서울대학교 대학원
경제학과(경제학석사)
- 2005년 5월 : 미국 Duke 대학교
경제학과(경제학 Ph.D.)
- 2005년 5월 ~ 2013년 2월 : 한국
개발연구원(KDI) 연구위원
- 2013년 3월 ~ 현재 : 한림대학교
경제학과 교수

<관심분야>

미시경제, 재정, 조세