

KEEI ISSUE PAPER

이슈페이퍼



KOREA
ENERGY
ECONOMICS
INSTITUTE

정책 이슈페이퍼 17-14

중장기 연료가격 변동에 따른 발전원별 경제성 전망 및 민감도 분석

정연제, 조성진



정책 이슈페이퍼 17-14

**중장기 연료가격 변동에 따른 발전원별
경제성 전망 및 민감도 분석**

정연제, 조성진

목 차

- I. 배경 및 문제점 / 1
- II. 조사 및 분석 결과 / 1
- III. 결론 / 12
- <참고자료> / 14

I. 배경 및 문제점

- 2014년 6월 월간 평균 가격이 배럴당 \$100.26이던 국제원유가격은 불과 7개월 뒤인 2015년 1월에는 배럴당 \$44.74를 기록, 변동성이 크게 확대됨.
 - 국내 전력 설비에서 원유 발전이 차지하는 비중이 적어 단기적인 영향은 제한적일 수 있으나, 중장기적으로는 발전 연료 사이의 상대가격 변화를 유발하여 발전원의 구성에 상당한 영향을 미칠 수 있음.
- 이러한 중요성에도 불구하고 유가 변동에 따른 전력시장의 영향을 정량적으로 분석한 연구는 부족한 편임.
 - 기존 연구는 상대가격을 고려한 포괄적인 연구라기보다는 현안분석 중심이 대부분이며, 분석방법도 단순 산술분석이나 회계분석 위주였음.
- 본 연구에서는 중장기 유가 시나리오 설정과 인공신경망 모형을 활용한 유가정망을 수행함.
 - 주요 기관의 에너지 수요 모형을 기반으로 수행된 선행연구들과 달리, 최근 많은 주목을 받고 있는 인공신경망(artificial neural network, ANN) 모형을 사용하여 중장기 유가 전망을 수행하였음.

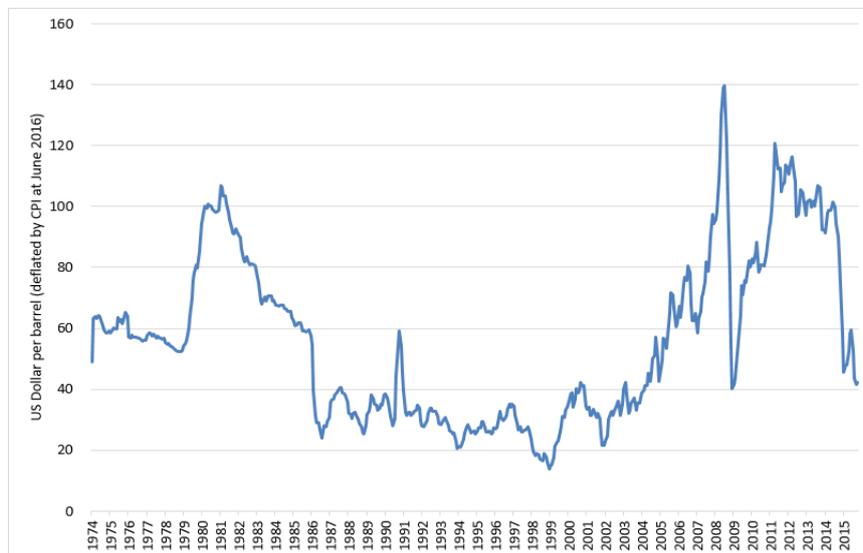
II. 조사 및 분석 결과

1. 국내외 연료가격 현황과 전망

- 국제 원유가격은 역사적으로 변동성이 매우 큰 편이며, 이러한 큰 변동성은 향후 에너지 관련 정책을 수립하는데 있어서 큰 불확실성을 제공하는 요인이 되고 있음.

- 국제 원유 가격의 변동 요인을 살펴보면 과거에는 석유 파동(oil shock)이나 걸프전, 아시아 금융 위기, 9-11 테러 등 외부 요인에 의한 공급 차질이 주요 원인이었음.
- 2005년 이후에는 중국, 인도와 같은 신흥국의 수요 급증, 2008년의 전 세계 금융위기와 같은 수요 변화, 최근에는 비전통자원개발로 인한 공급확대가 유가 급등락의 주요 원인으로 꼽히고 있음(김진수, 2015).

[그림 1] 미국 원유 수입 가격 변동 (실질가격)



자료 : EIA 홈페이지(<http://eia.doe.gov>)에서 수치자료 획득

- 지정학적·경제학적 사건이 원유 가격에 영향을 미치는 것은 자명하나, 이를 반영하여 중장기 원유 가격을 예측하는 것은 쉽지 않음.
- 계량경제학 모형을 설정하면서 더미 변수로 반영하는 방안은, 사건의 발생이 원유 가격에 미치는 영향이 고정되어 있는 식별 가능한 상수(constant)의 역할을 하는 것이기 때문에 사건이 모형에 구조적으로 반영되었다고 보기 어려움.

○ 본 연구에서는 ANN 모형의 장점을 활용하여 EIA에서 정리한 지정학적·경제적 사건을 유가 상승을 유발하는 사건과 하락을 유발하는 사건으로 구분하고, 다른 입력 변수와 상호작용할 수 있도록 구성하여 유가 전망을 시도함.

- EIA에서 유가 변동에 지대한 영향을 미친 것으로 분류한 지정학적 사건과 경제적 사건은 아래와 같음.

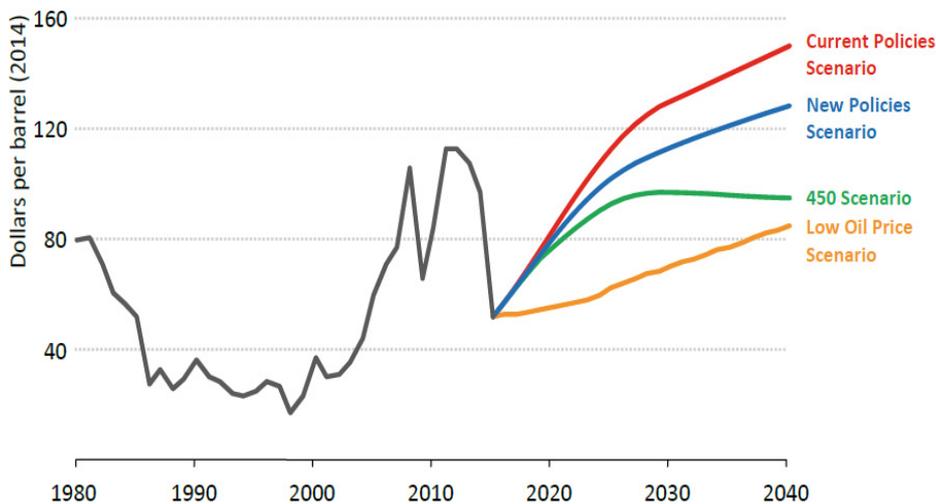
1. 미국 내 여유 용량(spare capacity) 고갈
2. 아랍 원유 금수조치
3. 이란 회교 혁명
4. 이란 이라크 전쟁
5. 사우디의 스윙(swing) 생산자 역할 포기
6. 이라크의 쿠웨이트 침공
7. 아시아 금융 위기
8. OPEC 감산 목표 설정(170만 배럴/일)
9. 9-11 테러
10. 낮은 증산 여유(spare capacity)
11. 전 세계 금융 위기
12. OPEC 감산 목표 설정(420만 배럴/일)

□ 2015년에 발표된 WEO(IEA, 2015)에서는 원유 가격이 더 이상 급격하게 하락하지는 않을 것으로 전망함.

○ WEO 2015에서는 인도에 대한 중점 분석 결과를 수록하였으며, “저유가” 시나리오를 새롭게 도입하여 저유가 상황이 향후 에너지 수급과 가격에 어떠한 영향을 미칠 것인지를 분석.

- 또한 파리기후협정 체결 이전 시점까지 제출된 150여 개국의 INDC (Intended National Determined Contributions)를 검토하여 새로운 기후협정에 따른 변화를 최대한 반영함.
- 최대 쟁점은 원유 수급에 대한 새로운 균형이 형성되는 새로운 시대가 시작될 것인지를 점검하는 것이었음.
- 상류 개발 비용은 비전통원유 생산 단가의 하락으로 지속적으로 낮아지는 상황에서 수요 또한 파리협정 이후의 기후변화 대응 차원에서 하락하여 유가가 상승할 요인이 없다고 봄.
- 하지만, WEO 2015에 따르면 기존 유전 생산 감퇴를 보전하기 위해 향후 막대한 투자비가 필요할 것으로 보았기 때문에 원유 가격이 더 이상 급격하게 하락하지 않을 것으로 전망함.

[그림 2] WEO 2015의 국제 원유 가격 전망



자료: IEA(2015), p. 49.

2. 발전원별 열량단가 미래전망

□ 7차 전력수급기본계획에서 사용된 발전원별 미래전망가격을 활용하여 추정
한 발전원별 열량단가의 미래전망은 <표 1>과 같음.

<표 1> 발전원별 열량단가 미래전망

(단위 : 원/Gcal)

구 분	경수로	유연탄	LNG	중유 2.5%
2014	1,942	16,360	78,662	83,828
2015	1,787	16,409	54,749	77,876
2016	1,833	16,475	55,299	72,930
2017	1,876	16,524	56,243	68,320
2018	1,965	16,589	56,794	68,068
2019	2,057	16,638	57,738	67,985
2020	2,117	16,687	58,289	68,152
2021	2,171	16,491	59,232	68,487
2022	2,226	16,311	59,704	68,823
2023	2,272	16,115	60,727	69,074
2024	2,321	15,918	61,199	69,410
2025	2,363	15,738	62,222	69,661

- 해외 전문기관에서 발표한 자료를 사용하여 연료별 미래가격을 전망하였으며, 보고서 작성 당시 활용 가능한 2014년의 실적자료를 활용하여 발전원별 열량단가를 추정하였음
- 원자력의 경우 2025년까지 열량단가가 지속적으로 상승하는 추세일 것으로 전망되었으나, 유연탄은 지속적인 하락세를 보일 것으로 예측됨
- LNG의 경우 2021년까지 열량단가가 하락할 것으로 예상되지만, 상승세를 회복하여 2025년에는 62,222원/Gcal로 추정됨

3. 인공신경망을 활용한 연료가격 전망

□ 인공신경망 모형에 불확실성 변수를 투입 변수로 설정하여 중장기 유가 전망을 실시함.

○ 주요 기관의 전망 검토 결과를 바탕으로 “전 세계 GDP 성장률”과 “중국, 인도의 GDP 성장률”, “매장량/생산량(Reserve/Production, R/P) 비율”, “유가에 영향을 미치는 사건”을 외생변수(불확실성 변수)로 학습시킨 후 중장기 유가 분석을 함.

- 선행 연구 분석에 의하면 전 세계 경기는 원유의 수요에 직접적으로 영향을 미치는 요인임.

- 원유 비축량이나 재고가 국제 유가에 영향을 미치듯이 R/P 비율도 유가 전망의 외생변수로 활용할 수 있음.

- 역사적으로 유가에 영향을 미치는 사건의 경우 연구자의 주관이 많이 반영될 수 밖에 없지만 더미 변수 형태로 포함하여 그 결과를 분석해 봄.

○ 기본 시나리오 구성을 위해, 전 세계 GDP 성장률만을 외생 변수로 투입하는 모형을 구성함.

- 전망 기간 동안 성장률을 1%p 상향시킨 자료를 투입했을 경우를 고수요로, 성장률을 1%p 하향시킨 자료를 투입했을 경우를 저수요로 설정.

- 중국과 인도의 GDP 또한 각각 1%p 상향시키거나 하향시켜 고수요와 저수요 시나리오를 설정함.

- R/P 비율에 대해서는 2015년의 R/P 비율이 2029년까지 유지되는 경우를 기준 시나리오로 설정.

□ NARX 신경망 모형에 시나리오를 대입하여 학습을 진행하였으며, 그 중 가장 우수한 예측력을 보인 시나리오는 R/P 비율을 사용한 시나리오임.

<표 2> 중·장기 유가 전망 (명목가격, 단위: \$/bbl.)

연도	R/P 비율			기본 시나리오 + 외부 사건		
	저비율	기준비율	고비율	고수요	기준수요	저수요
2016	75.82	75.82	75.82	55.58	55.58	55.58
2017	88.33	91.58	92.25	87.27	68.24	35.72
2018	79.69	88.09	89.86	121.74	81.64	16.66
2019	70.72	81.94	84.38	134.93	95.71	19.66
2020	68.75	83.14	86.25	118.75	104.89	18.37
2021	66.99	85.43	89.39	111.22	107.45	18.06
2022	63.69	85.11	89.75	112.04	106.39	17.58
2023	60.21	84.25	89.52	113.17	105.06	17.16
2024	56.96	84.33	90.38	113.08	104.40	16.76
2025	53.72	84.66	91.48	112.56	104.07	16.39
2026	50.37	84.64	92.14	112.12	103.75	16.05
2027	46.84	84.52	92.70	111.82	103.41	15.74
2028	43.00	84.52	93.43	111.57	103.08	15.46
2029	38.70	84.56	94.20	111.32	102.78	15.20

- R/P 비율의 경우 저수요의 의미로 설정한 고비율일 경우 오히려 유가가 상승하는 것으로 나타남.
- 이는 R/P 비율 확대에 따라 유가가 영향을 받는 것보다는 유가 상승에 따른 매장량 확대의 영향이 R/P 비율에 훨씬 큰 영향을 주기 때문임.
- 시나리오 별 분석 결과를 종합해 봤을 때, 기본 시나리오에 외부 사건과 R/P 비율을 모두 투입변수로 설정한 모형을 기준 시나리오로 사용하기로 함.

- 해당 시나리오에 의하면, 2029년 유가는 기준수요일 경우 \$114.56, 고수요일 경우 \$139.25, 저수요일 경우 \$67.05에 도달할 것으로 분석됨.
- 각 연도별 유가 변동을 평균한 평균 변화율은 기준수요 6.88%, 고수요 9.86%, 저수요 3.19%로 추정됨.

4. 발전원별 경제성 분석

□ 발전원별 경제성 분석을 실시하기 위해 본 연구에서는 **균등화비용법(LCOE: Levelized Cost of Energy)**을 사용함.

- 균등화비용법은 서로 다른 발전원 및 발전기술 간의 발전비용을 비교하기 위해 사용되는 정형화된 방법론임.
 - 균등화비용법에 의해 산출된 발전원가는 생산 비용이 확실하고 전기 가격이 일정하다고 가정했을 때 투자자가 지불해야 하는 비용을 의미함.
- 발전원가는 매 년도의 수익의 합을 현재가치로 환산한 값과 비용을 현재가치로 환산한 값의 증가로부터 계산됨.
- 본 연구에서는 7차 전력수급기본계획에서 사용된 자료를 이용하여 LCOE 분석을 실시한 바 있는 조성진·박찬국(2015)의 연구결과를 활용하여 전원별 연료비 단가를 계산하기로 함.
 - 동 분석에서 사용된 입력 전제는 아래 표와 같음.

<표 3> 전원별 균등화비용 입력 전제 : 7차 수급계획

구분	원자력 1000	원자력 1400	원자력 1500	석탄 1000	LNG 900	유류 100
건설비(천 원/kW)	2587	2378	2367	1449	904	2,269
수명 기간(년)	40	40	40	30	30	30
할인율(%)	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
재산정된 운전 유지비(천 원/kW.월)	13.31	11.37	11.01	3.23	2.78	10.88
연료비(원/백만kcal): (7차 수급 계획 기준)	1,933	1,933	1,933	18,780	56,870	70,477
실적 연료비(원/백만kcal) (2015년 실적 기준)	2,150	2,150	2,150	15,790	53,310	47,180
열 소비율(kcal/kWh)	2,314	2,365	2,375	1,978	1,540	2,195
소내 소비율(%)	4.8	4.8	4.8	4.9	2.6	7.5

자료 : 전력거래소(2015), 조성진·박찬국(2015, pp. 73~77 재인용)

- LCOE 분석 결과에 의하면 유연탄의 연료비는 2024년까지 kWh당 30원대 초반을 유지할 것으로 전망되며 LNG의 경우 kWh당 80원 후반 ~ 90원 후반 사이에 분포할 것으로 전망됨.
- 현재의 전망 자료만을 이용해 예측해 볼 경우 유연탄이 비용 측면에서 LNG 발전에 비해 상당히 효율적인 상태가 지속될 것으로 보이며, 이는 전원믹스 구축 시 LNG 발전이 유연탄 발전을 대체하는 것을 어렵게 함.
- 분석에 의하면, LNG 열량단가가 유연탄의 열량단가에 비해 31.55% 이상 비싸다면 연료비 단가의 순위가 바뀌지 않는 것으로 나타남.
- 즉, LNG 가격이 유연탄 가격보다 비싼 수준이 30%에 미치지 못한다면 연료비 단가 순위가 역전되는 현상이 발생함.

<표 4> 연료비 단가 전망

(단위 : 원/kWh)

연도	유연탄	LNG
2017	34.37	88.93
2018	34.50	89.80
2019	34.61	91.29
2020	34.71	92.16
2021	34.30	93.65
2022	33.93	94.40
2023	33.52	96.02
2024	33.11	96.76

□ 균등화비용법을 이용하여 추정한 각 전원별 발전단가는 <표 3>과 같음.

<표 5> 전원별 발전 비용 추정 결과

(단위 : 원/kWh)

이용률 (%)	원자력 1500	석탄 1000	LNG 800	유류 100
10	318.94	195.68	200.20	479.56
20	161.88	117.37	145.06	323.40
30	109.53	91.27	126.68	271.35
40	83.55	78.22	117.49	245.32
50	67.65	70.38	119.97	229.70
60	57.18	65.16	108.30	219.29
70	49.70	61.43	105.67	211.86

○ 40%대의 이용률까지는 석탄 발전의 경제성이 뛰어나지만 50%대로 이용률이 증가할 경우 원자력의 발전 비용이 훨씬 저렴함.

- LNG의 경우 이용률이 증가함에 따라 발전비용이 감소하는 추세를 보이고 있기는 하지만 원자력이나 석탄에 비해 여전히 발전 비용이 높아 경제성 면에서 우위를 점하지 못하고 있는 양상임.
- 연료비 변동에 따른 발전 비용 변화를 살펴보기 위해, 본 연구에서는 열량 단가 변화에 따른 발전비용 변화를 시나리오 분석 기법을 이용해 살펴봄.
 - 유연탄 발전으로 인해 발생하는 각종 사회적 비용으로 인해 석탄 화력 발전소의 비중을 단계적으로 축소해야 한다는 주장이 제기되고 있는 점을 고려하여, 유연탄과 LNG 발전 간의 발전 비용 순위가 역전되기 위해서는 두 발전연료간의 열량단가가 얼마나 변화해야 되는지를 분석해 봄.
 - 구체적으로 아래 <표>와 같은 시나리오를 구성 후 각 시나리오 하에서 연료별 발전비용을 추정함.

<표 6> 전원별 발전 비용 추정 시나리오 분류 및 내용

시나리오	시나리오 설명
시나리오 1	· 석탄 및 LNG 열량단가 10% 감소
시나리오 2	· 석탄 열량단가 10% 감소, LNG 열량단가 20% 감소
시나리오 3	· 석탄 열량단가 10% 증가, LNG 열량단가 20% 감소
시나리오 4	· 석탄 열량단가 20% 증가, LNG 열량단가 20% 감소
시나리오 5	· 석탄 열량단가 20% 증가, LNG 열량단가 30% 감소
시나리오 6	· 석탄 열량단가 30% 증가, LNG 열량단가 30% 감소

- 본 연구의 경제성 분석 결과에 의하면, 향후 석탄의 열량단가는 30% 증가하고 LNG의 열량단가는 30% 감소하는 경우 (시나리오 6) 석탄 발전에 비해 LNG 발전이 더 경제성이 있는 것으로 추정됨.

- 이용률 30%를 가정하는 경우 LNG의 발전 비용은 99.70원/kWh이며, 석탄의 발전 비용은 102.98원/kWh로 나타남.
- 향후 유연탄 가격이 하락할 것으로 전망되는 점을 고려하면, 이러한 시나리오에서 가정하는 것과 같은 연료가격 변동이 현실적이라고 평가하기는 어려움.
- 하지만 온실가스 감축비용, 미세먼지 대책 등으로 인한 에너지 세제 개편 등의 조치를 통해 유연탄 열량단가가 LNG 열량단가에 비해 급격히 증가한다면 급전순위에 변화가 올 수도 있음을 시사함.

<표 7> 전원별 발전 비용 추정 결과 : 시나리오 6

(단위 : 원/kWh)

이용률 (%)	원자력 1500	석탄 1000	LNG 800	유류 100
10	318.94	207.40	173.22	479.56
20	161.88	129.09	118.08	323.40
30	109.53	102.98	99.70	271.35
40	83.55	89.93	90.51	245.32
50	67.65	82.10	85.00	229.70
60	57.18	76.88	81.32	219.29
70	49.70	73.15	78.70	211.86

Ⅲ. 결론

- 본 연구는 인공지능망이라는 기계학습 방법론을 활용하여 에너지 가격 장기 전망을 수행한 선도적인 연구임.
- 기계학습 방법론을 활용한 경제 분석 결과를 이용하여 전원별 발전 비용의 변화를 전망하였으며 향후 전력시장에 미칠 영향에 대해 연구했음.

- 현재 전망되고 있는 연료가격 범위 내에서는 유연탄과 LNG간의 급전 순위 변화가 쉽지 않을 것으로 예상되나, 향후 연료가격 변동이 급격하게 일어난다면 LNG 발전이 더욱 경제적인 것으로 예상됨.
- 연료비용에 의존하는 방법만으로는 한계가 있을 것으로 보이며, 유연탄에 대한 세제 부과 등을 통한 정책적 지원이 수반되어야 할 것으로 분석됨.

< 참고자료 >

김진수, 「저유가와 우리나라의 자원개발 전략」, 『석유』, 31: pp. 180-201, 2015.

전력거래소, 7차 수급 계획 내부 자료, 2015.

조성진·박찬국, 『원자력 발전의 경제적·사회적 비용을 고려한 적정 전원믹스 연구(3차년도)』, 에너지경제연구원 기본연구보고서 15-24, 에너지경제연구원, 2015.

IEA, 『World Energy Outlook』, IEA, 2015.

IEA, 『Renewables Information』, IEA, 2014b

정책 이슈페이퍼 17-14

중저기 연료가격 변동에 따른 발전원별 경제성 전망 및 민감도 분석

2017년 6월 30일 인쇄

2017년 6월 30일 발행

저 자 정 연 제, 조 성 진

발행인 박 주 현

발행처 **에너지경제연구원**

44543 울산광역시 중가로 405-11

전화: (052)714-2114(대) 팩시밀리: (052)714-2028

등 록 1992년 12월 7일 제7호

인 쇄 (사)한국척수장애인협회 인쇄사업소 (031)424-9347
