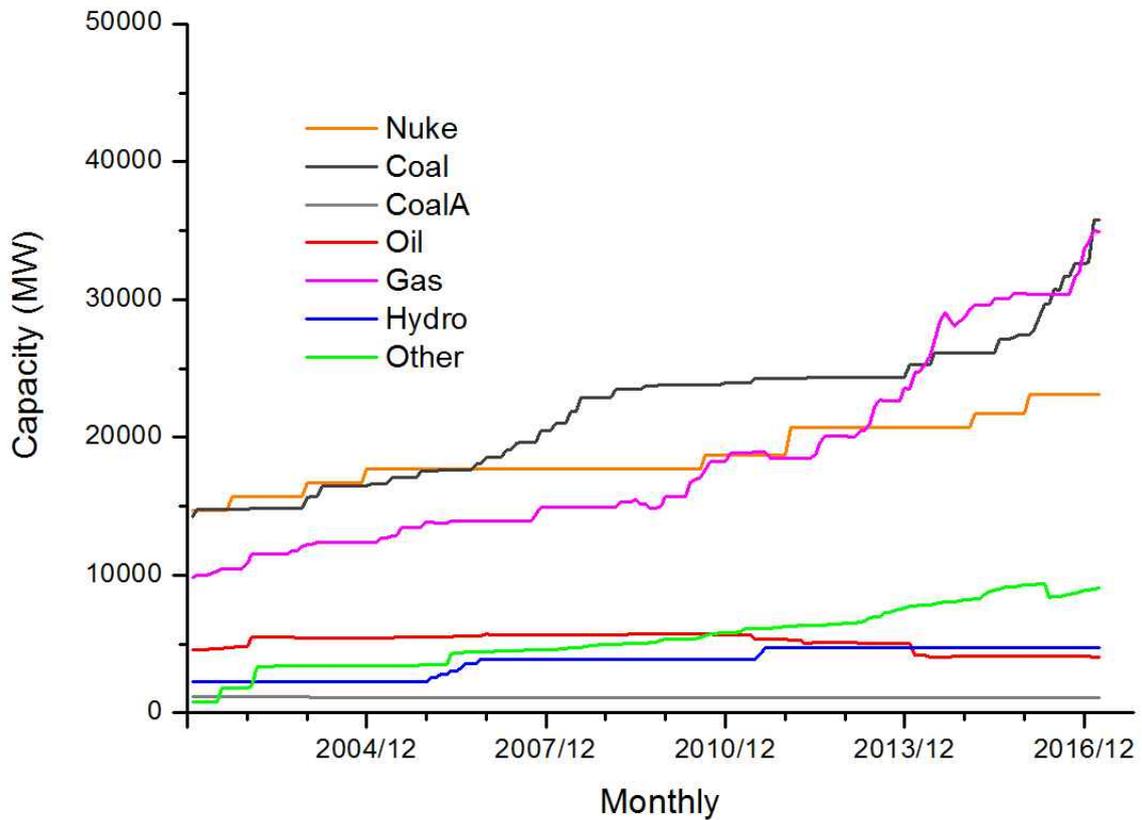


EPSIS 자료분석

EPSIS는 2002/1월부터 2017/03까지의 자료를 월별로 Excell 형자료로 제공.

설비용량, 거래액은 연료원별자료를 분석

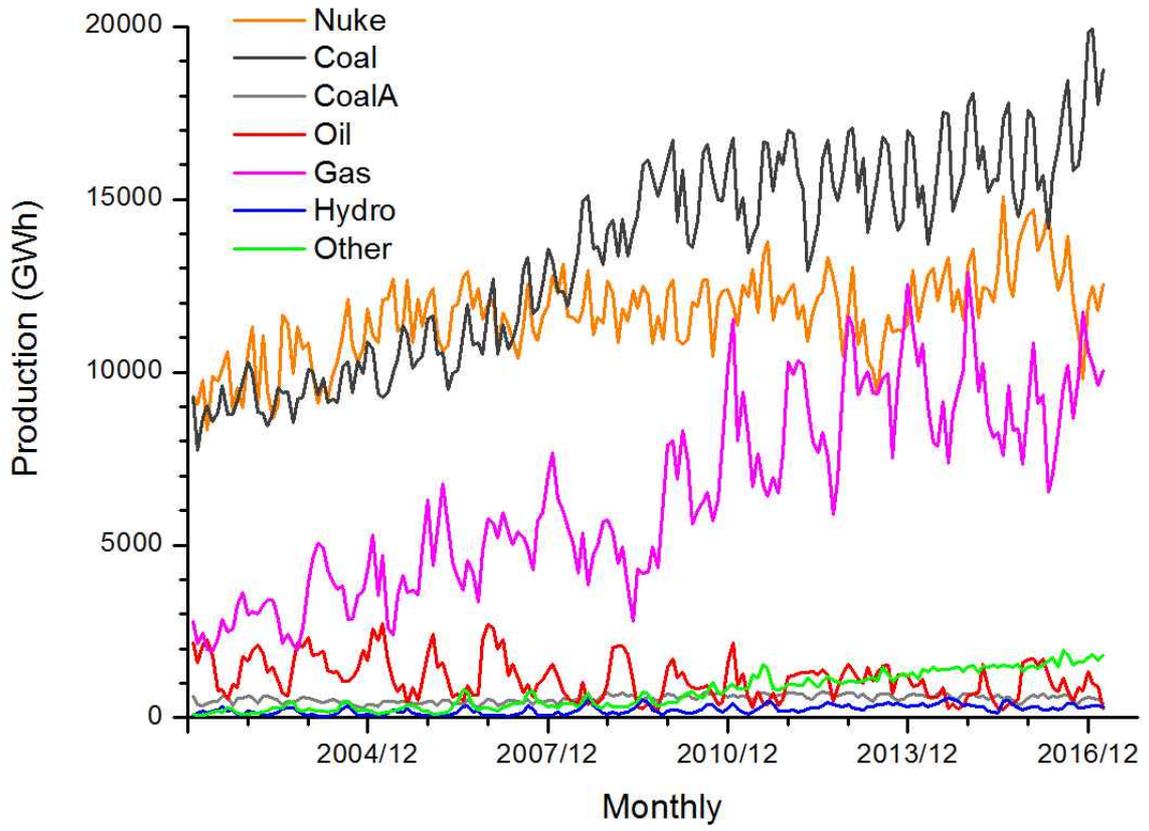
1. 시장참여설비용량 (연료원별)



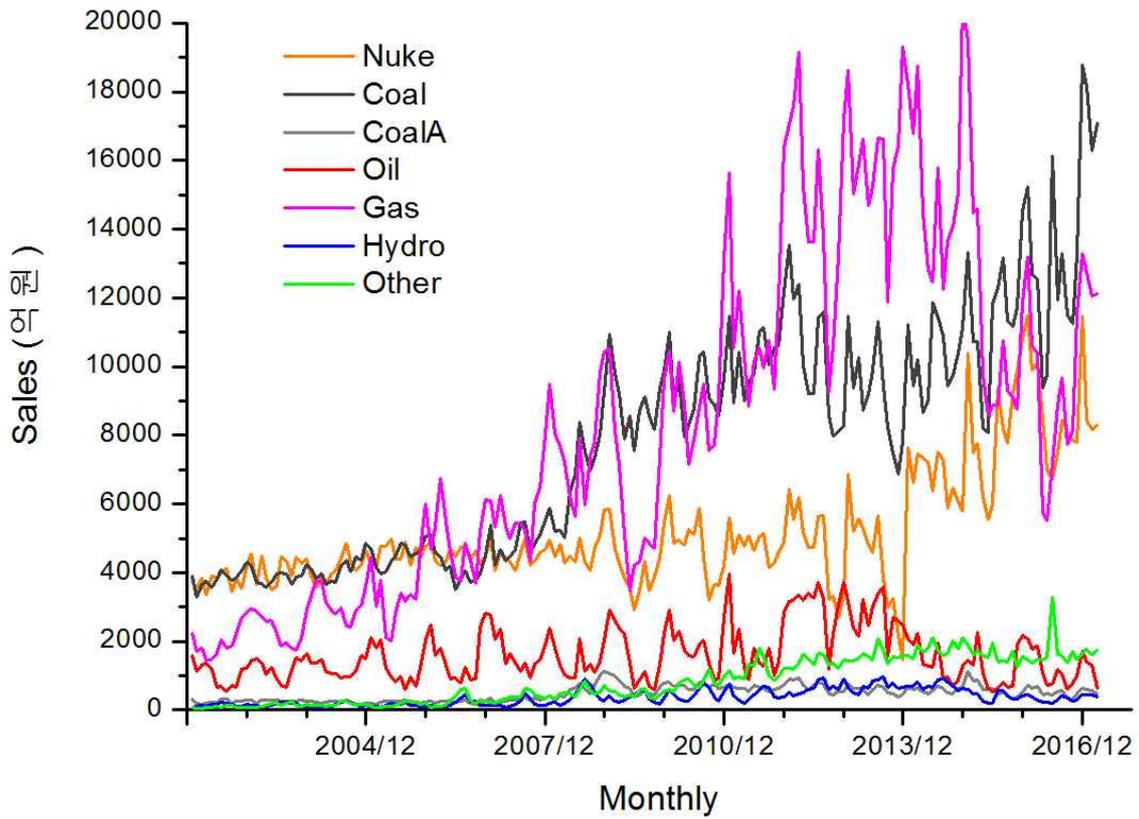
2013년 이후 석탄과 가스의 급격한 증가.

* 2015/03 자료는 오류, (원자료의 1/2이 맞음)

2. 발전량 (연료원별)



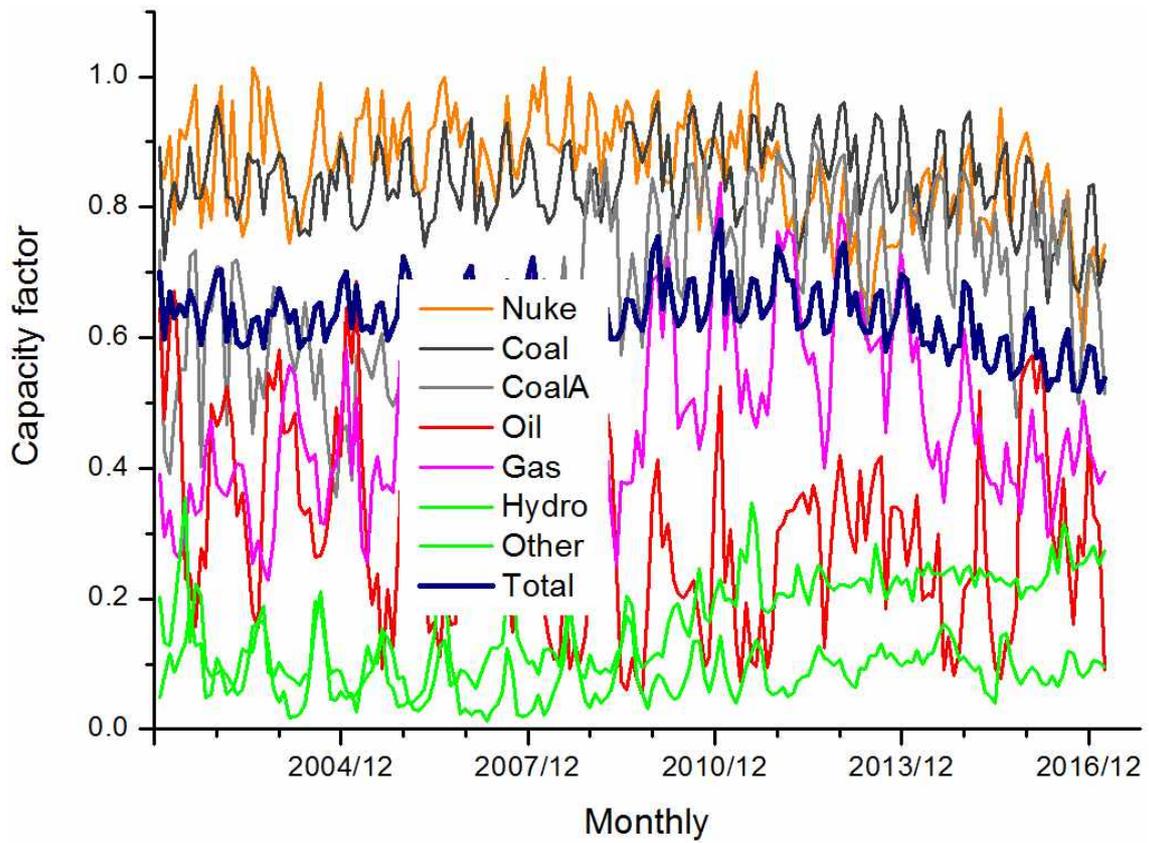
3. 거래액 (연료원별)



4. 설비이용율

설비이용율은 발전량/설비용량으로 구할 수 있다.

$$f_n = \frac{1000 \times \text{발전량}(GWh)}{\text{설비용량}(MW) \times 365.24 \times 24/12}$$

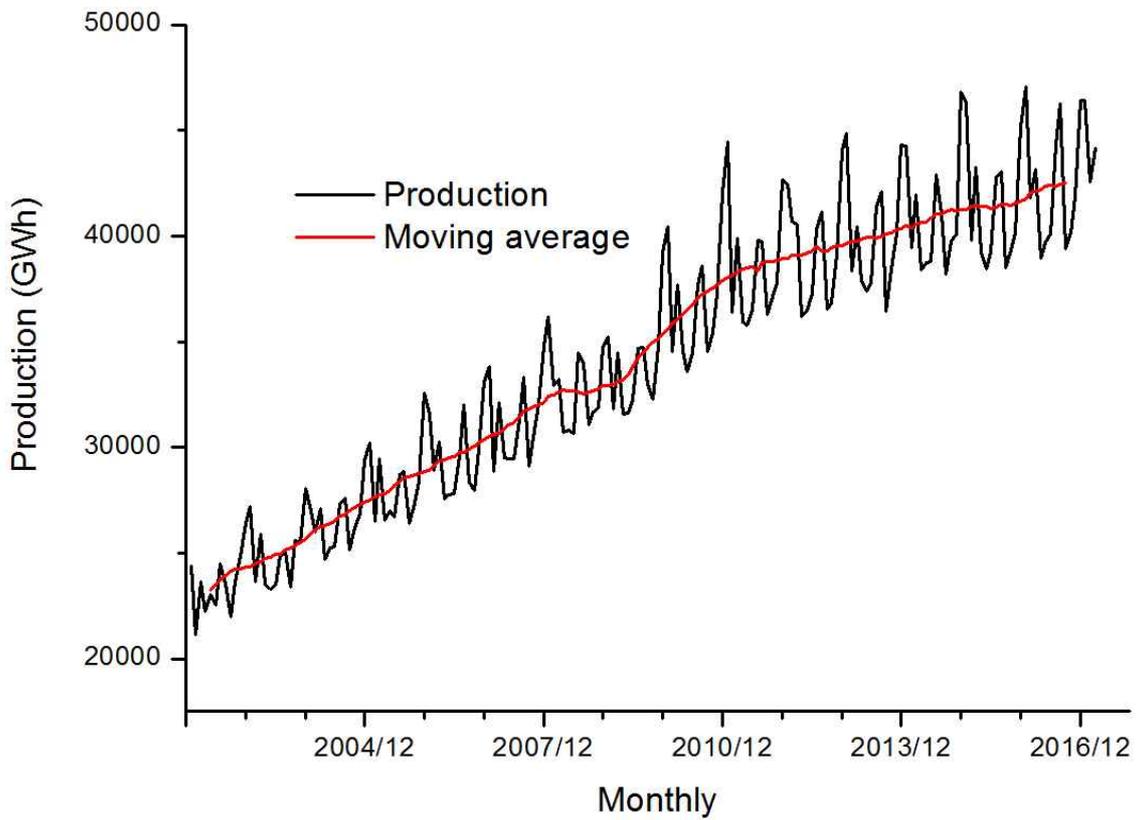


5. 발전량의 변동

발전량은 경제발전 에 따라 증가하며, 월별, 시간별 변동한다.

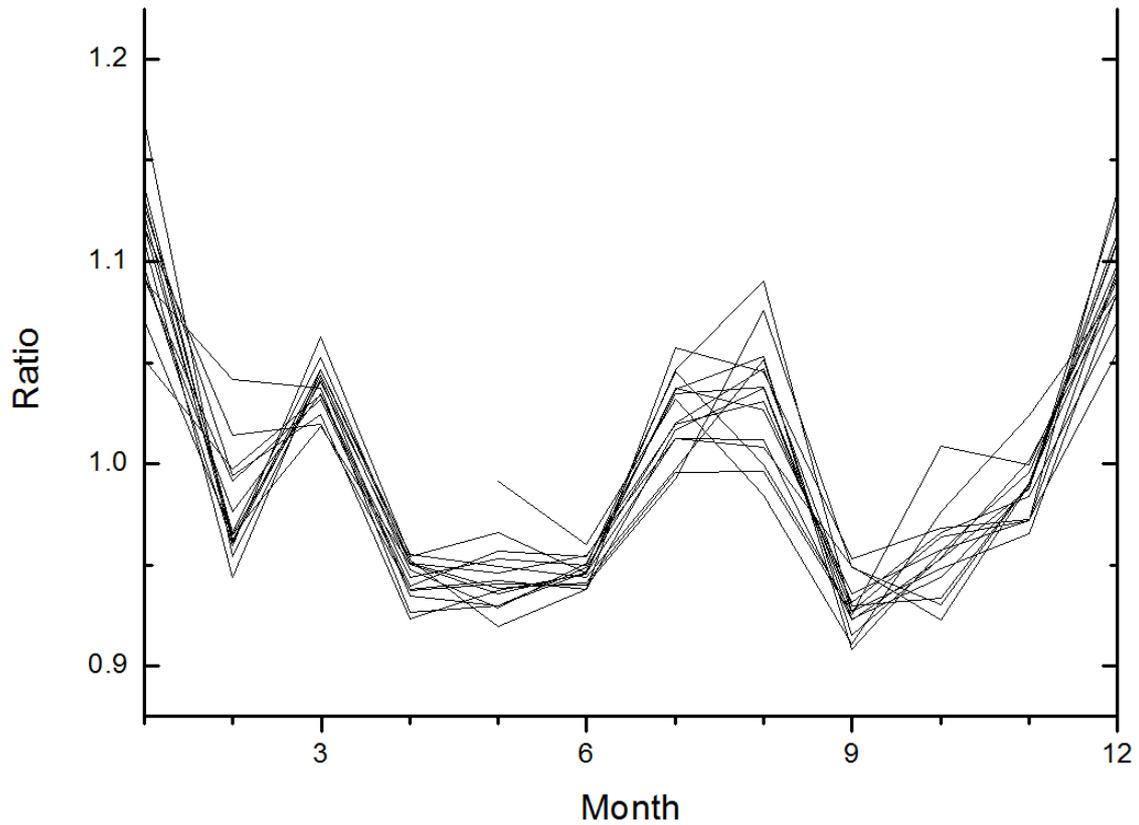
그림은 월간 전력소비와 12개월 이동평균을 보여준다.

2008년 외환위기를 제외하면 전력소비는 평탄하게 증가하고 있다.



6. 월별 전력소비

이동평균에 대한 변동은 최대 15%, 최소 -10%로 겨울철인 12월 또는 1월과 여름철인 8월에 첨두가 된다. 2월달의 전력소비가 줄어드는 것은 2월은 29일 또는 30일로 기간이 짧고 구정연휴가 속해있는 달이기 때문인 것으로 판단된다.



신재생 전력

우리나라에서는 연료전지, 석탄가스화(IGCC), 태양전지, 풍력, 수력, 해양, 바이오, 폐기물발전을 신재생에너지로 분류한다.

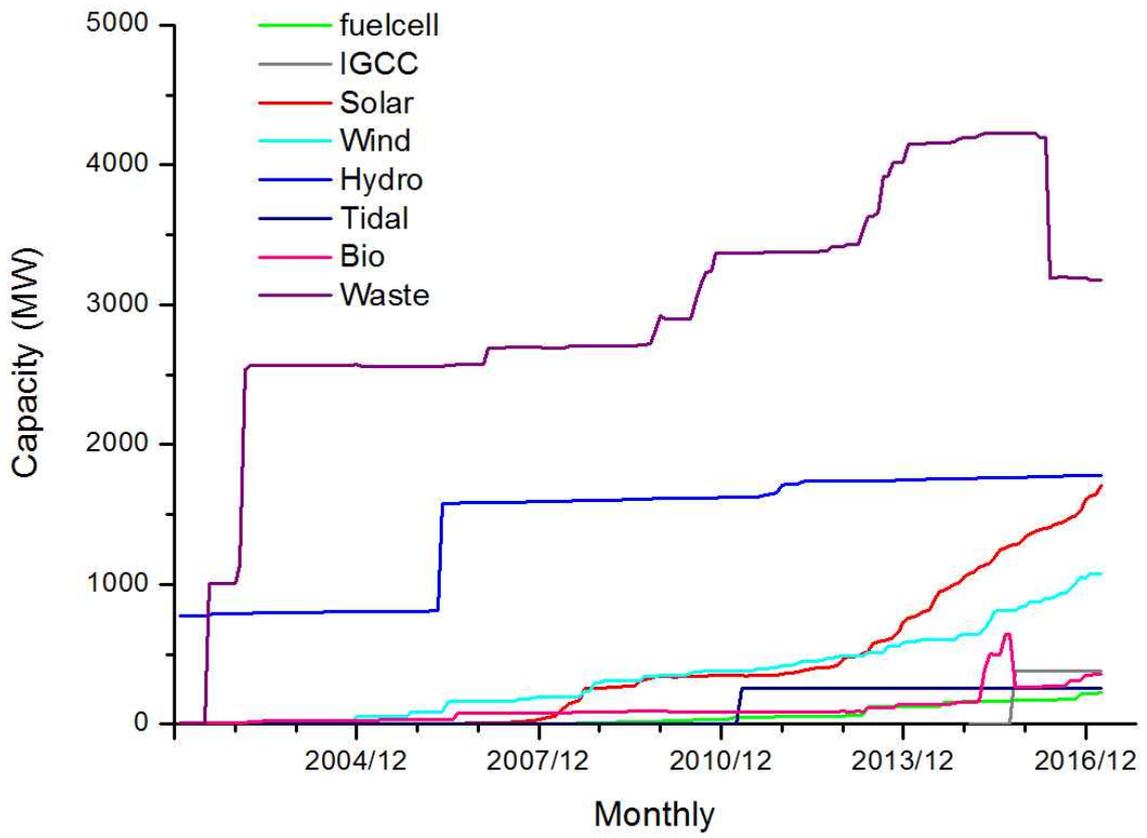
발전형식에 따른 시설용량은 폐기물소각발전이 대부분이다.

태양 풍력은 2007 년이후 꾸준히 증가하고 있으나 타분야는 정체 또는 미미한 것으로 판단된다.

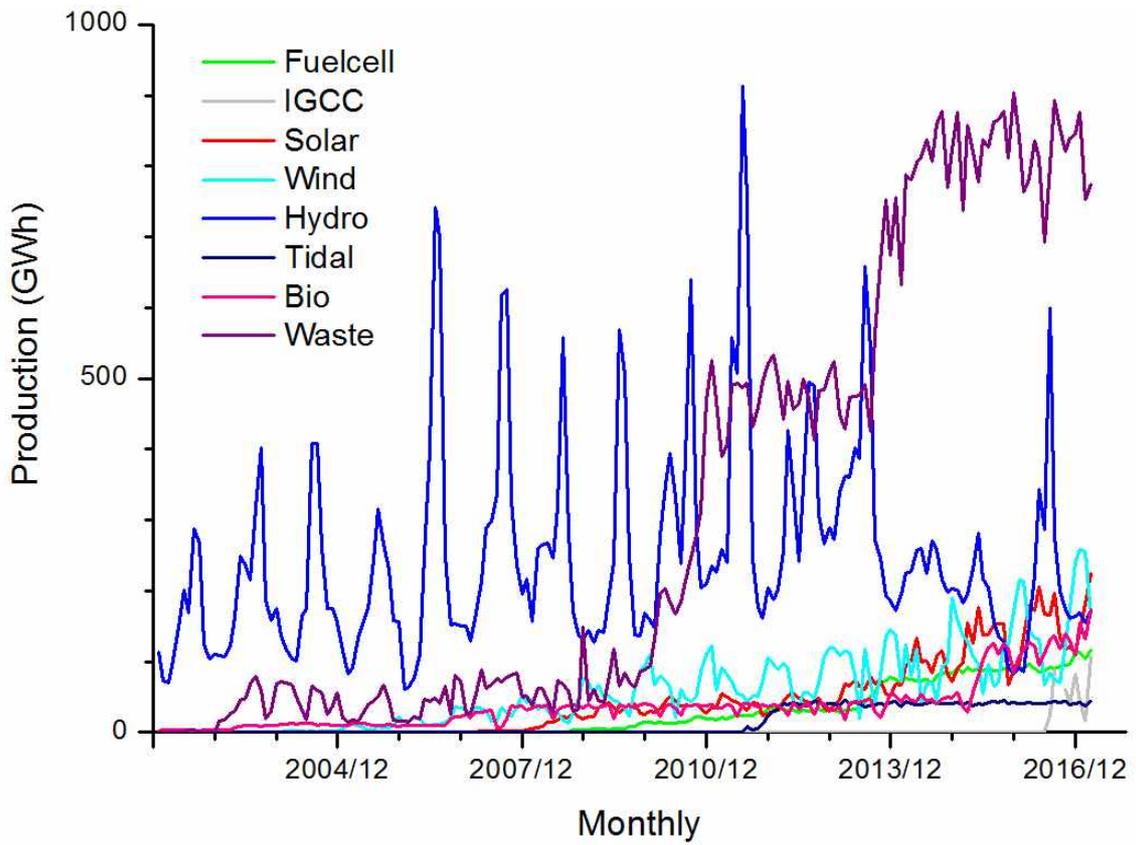
폐기물 소각은 2010년이후 정체 상태이며,

수력은 2006년 이후정체 상태이다.

IGCC 발전은 2015년 10월 381MW가 계통병입된 후 정체 상태이다.

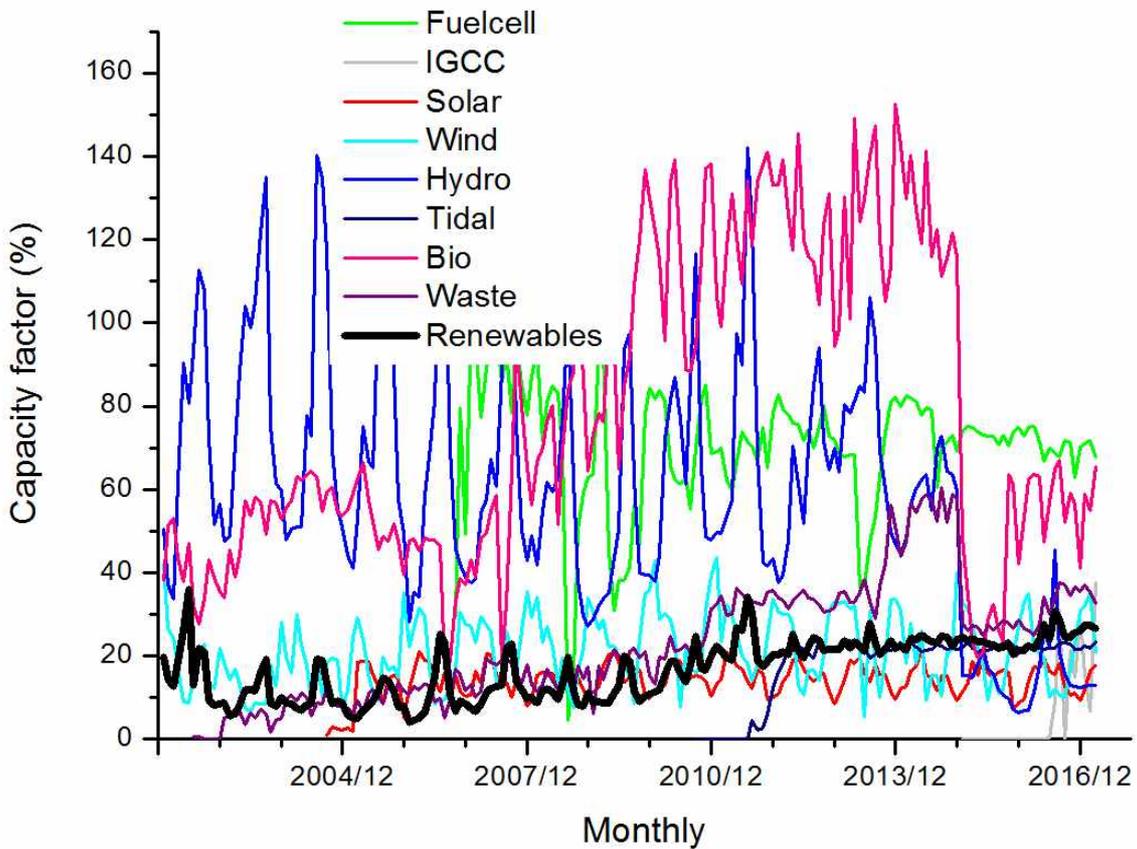


발전량



이용율

EPSIS에서 제공하는 이용율 자료는 100%이상의 이용율이 발생하는 등 문제점이 있는 것으로 여겨진다.

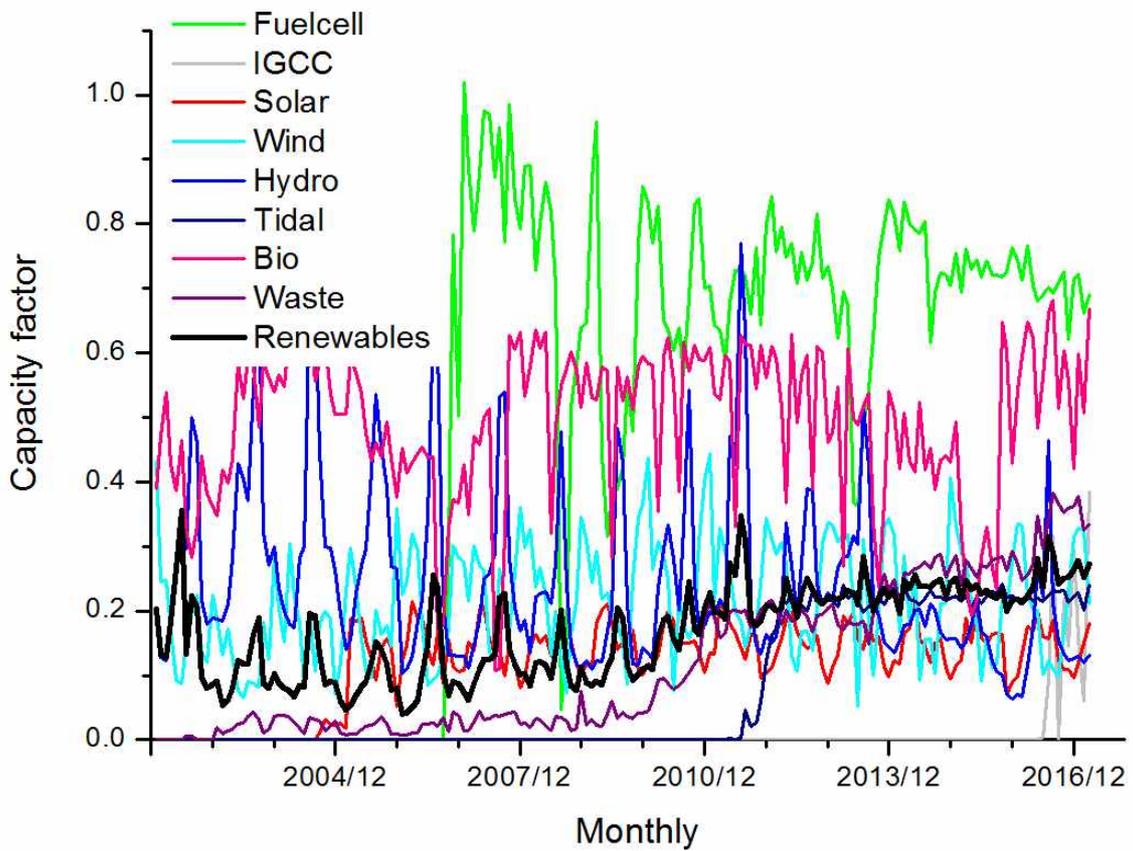


설비용량과 발전량으로 부터 도출한 이용율은 다음과 같다.

연료전지, IGCC, 바이오, 폐기물 등은 계절적요인 등과 무관하게 발전할 수 있으나, 자연에너지인 태양, 풍력, 수력 등은 계절 변동에 따라 발전량이 달라진다.

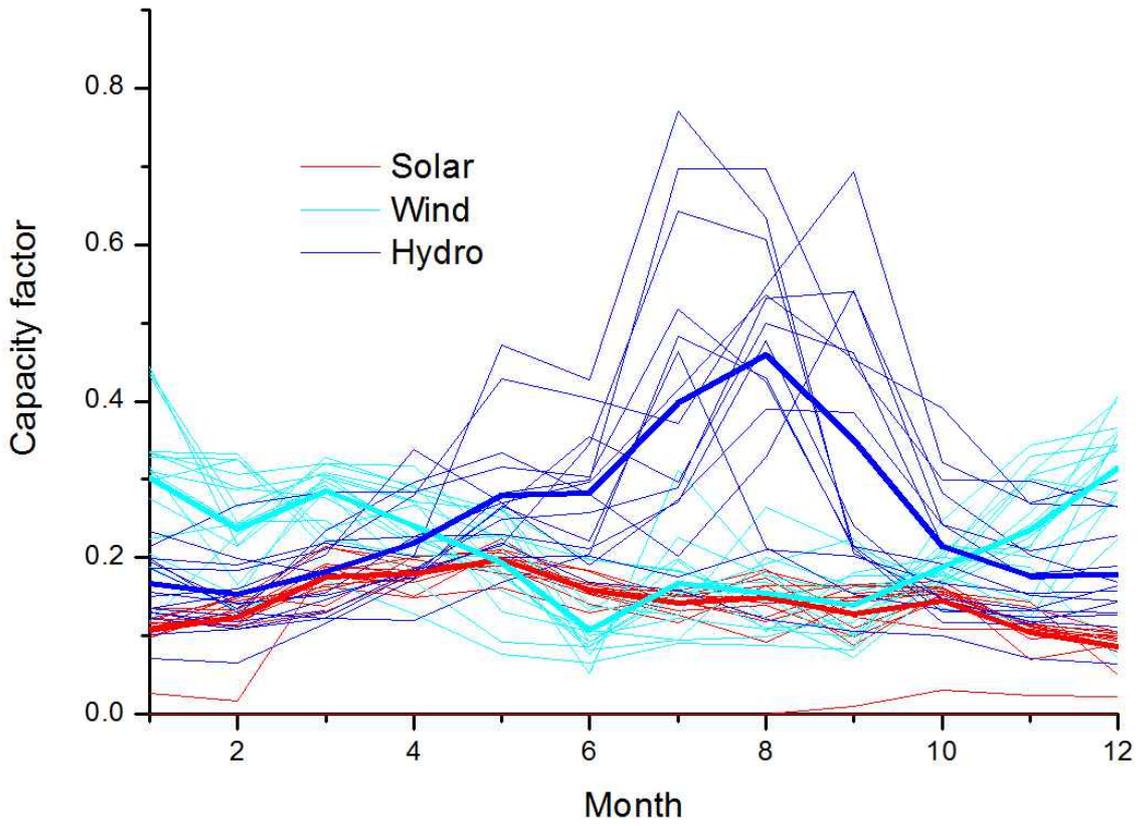
신재생에너지는 보조금에 의해 운용되므로 SMP 가격이 높은 때 발전하는 것이 유리하므로 이용율의 변동이 생기게 된다.

한편, 자연에너지는 발전능력에 따라 발전을 하게 된다.

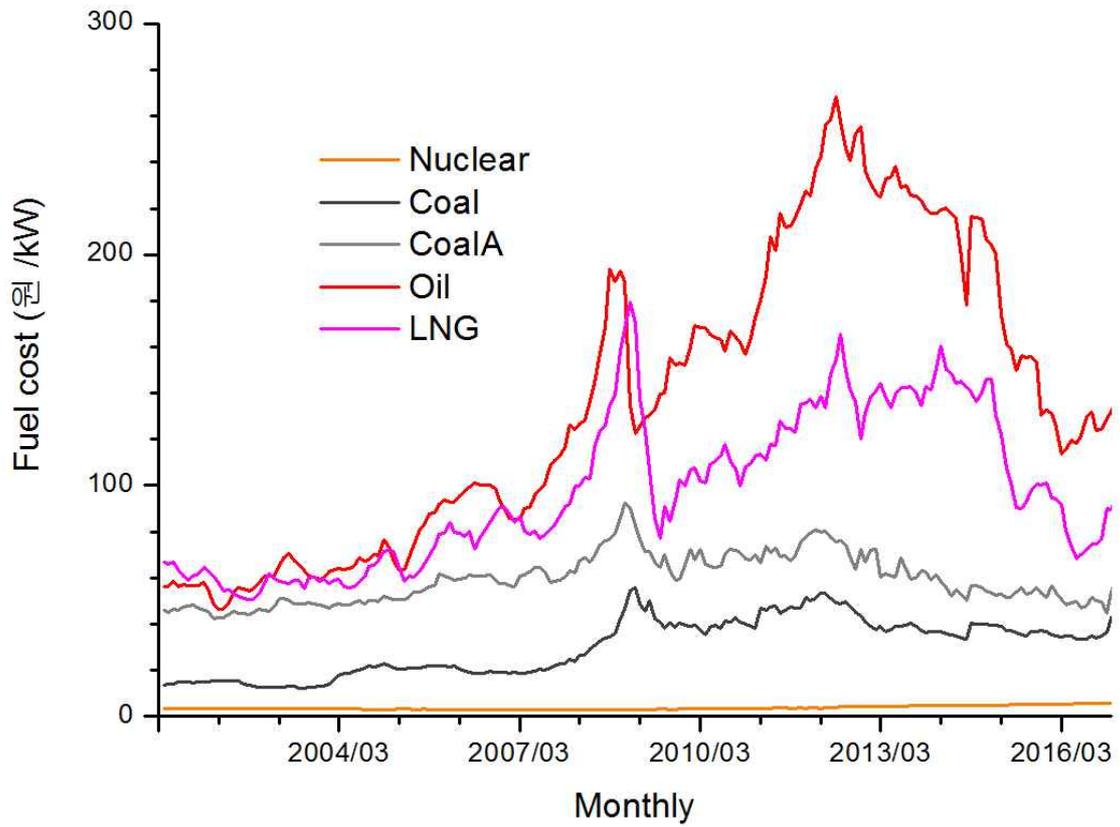


다음 그래프는 자연에너지의 월별 생산 능력 변화를 보여 준다.
 원자료의 2005년 3월 이전의 태양효율은 지나치게 낮은 값으로 outlier로 취급하여
 평균치 분석에서는 제외하였다.
 평균 이용율의 연간변화는 굵은 선으로 표시하였다.

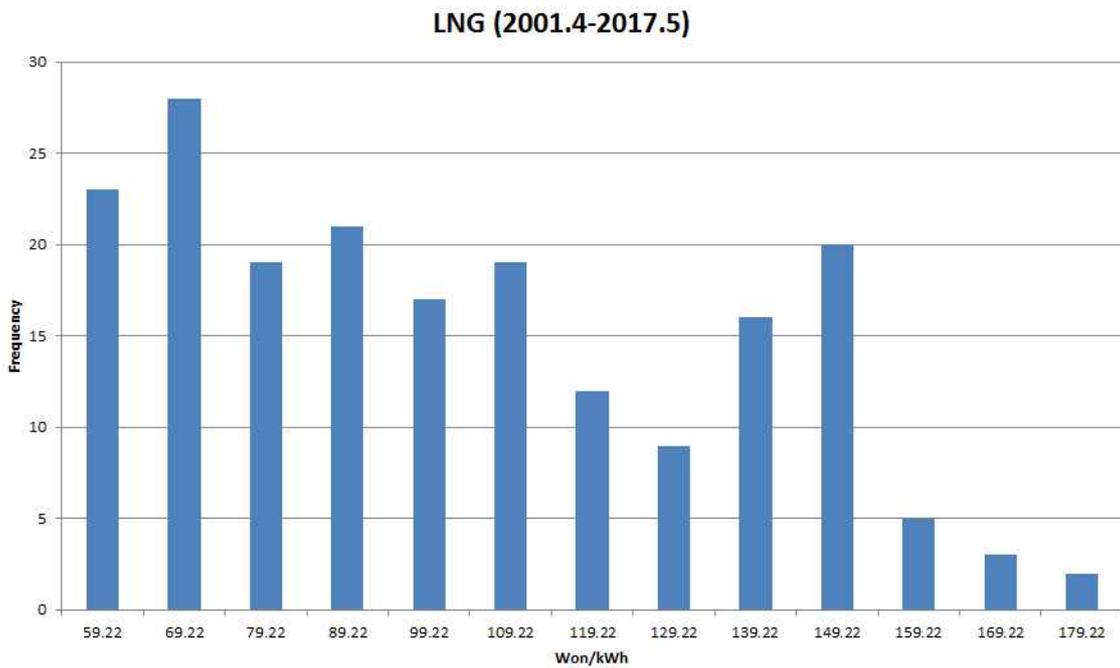
수력은 장마철인 7-8월에 이용율이 높고,
 풍력은 겨울철에는 높으나 여름철에는 낮다.
 태양광은 3-5월에 효율이 높다.



	태양		풍력		수력	
월	평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차
1	0.115	0.011	0.302	0.096	0.168	0.040
2	0.133	0.014	0.237	0.058	0.154	0.044
3	0.176	0.025	0.286	0.042	0.183	0.048
4	0.180	0.017	0.241	0.054	0.218	0.060
5	0.197	0.016	0.193	0.062	0.280	0.085
6	0.159	0.015	0.108	0.044	0.282	0.081
7	0.142	0.012	0.167	0.059	0.397	0.198
8	0.149	0.028	0.155	0.048	0.459	0.159
9	0.138	0.027	0.139	0.049	0.351	0.174
10	0.154	0.015	0.188	0.027	0.214	0.087
11	0.112	0.019	0.235	0.076	0.177	0.066
12	0.096	0.008	0.314	0.086	0.179	0.065
연평균	0.147	0.033	0.214	0.087	0.255	0.140



연료비 단가

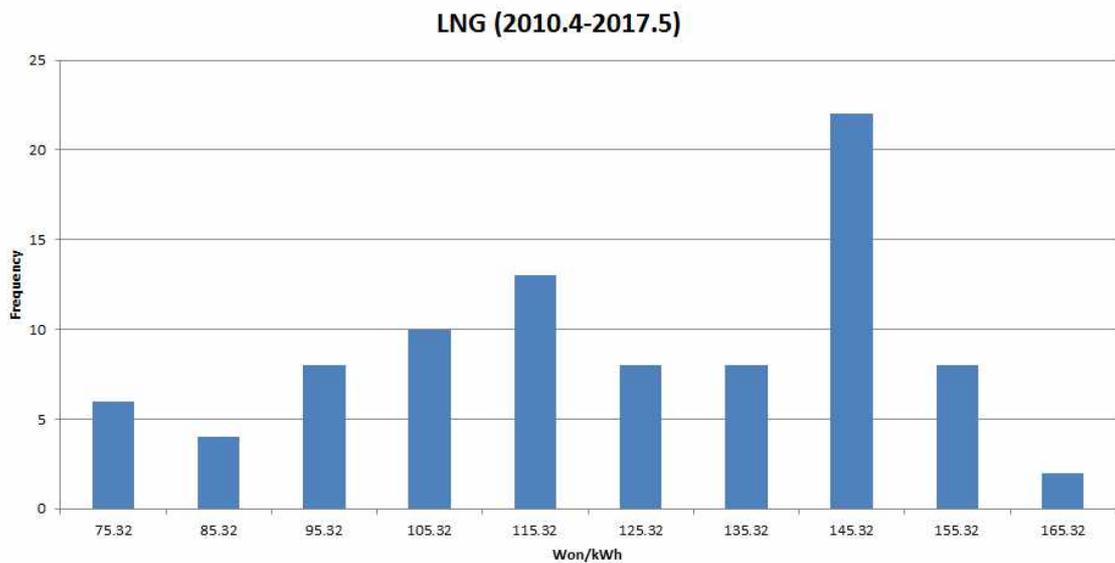


LNG 단가의 빈도분포는 정규분포라고 보기 어렵다.

원자력 연료비를 제외한 석탄, 오일, LNG는 뚜렷한 동조 현상을 보인다.
 자료구간인 2001.4부터 2017.5의 상관도분석은 다음과 같다.

	원자력	유연탄	무연탄	유류	LNG
평균	3.84	30.72	59.32	135.61	97.09
표준편차	0.82	12.30	10.55	62.62	32.53
상관계수					
원자력	1.00	0.43	-0.19	0.41	0.28
유연탄	0.43	1.00	0.72	0.86	0.81
무연탄	-0.19	0.72	1.00	0.66	0.72
유류	0.41	0.86	0.66	1.00	0.91
LNG	0.28	0.81	0.72	0.91	1.00

그러나, 세계 경제위기인 2008년이후인 2010년부터는 새로운 변동 양상을 보이므로
 본 분석에서는 2010년 이후의 상관분석이 타당할 것이다.



2010년 이후의 변동은 비교적 정규분포에 가까와 진다.

(2010.1 이후)

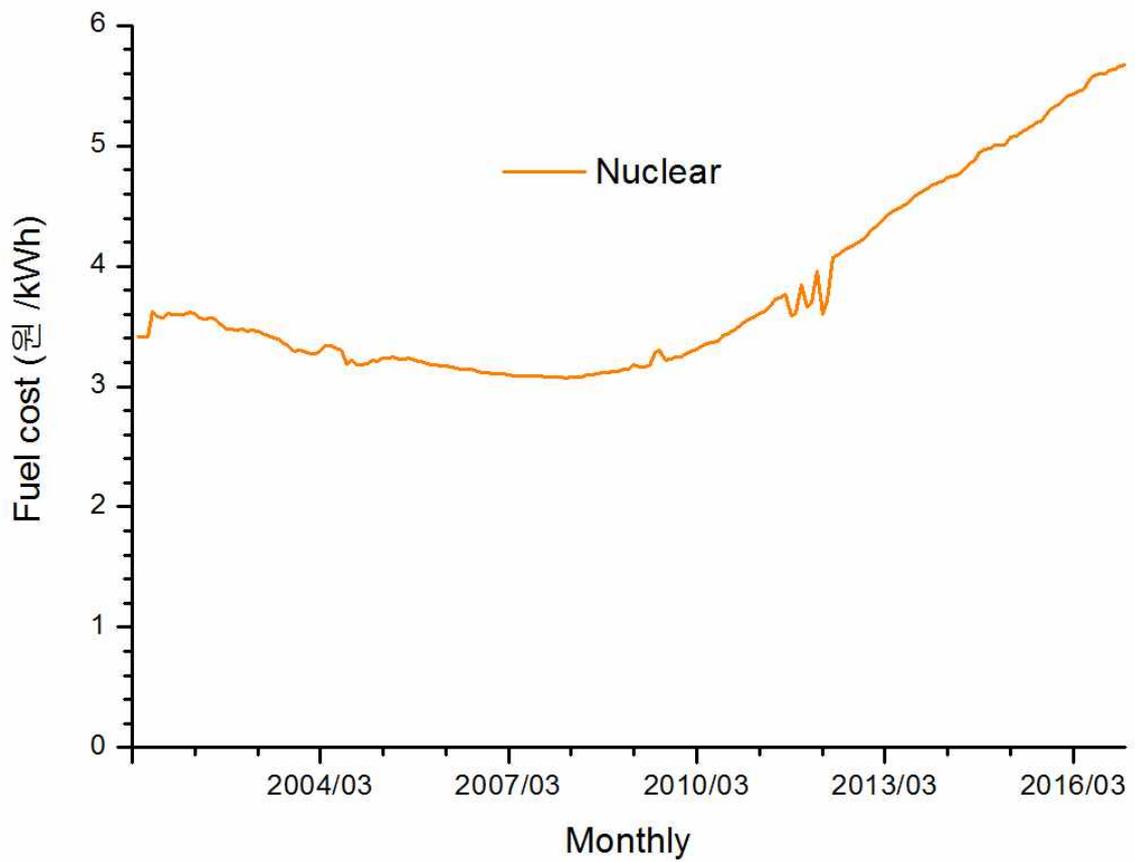
	원자력	유연탄	무연탄	유류	LNG
평균	4.51	40.57	62.38	188.42	118.58
표준편차	0.78	5.38	9.37	42.77	24.49
상관계수					
원자력	1.00	-0.45	-0.80	-0.46	-0.39
유연탄	-0.45	1.00	0.77	0.51	0.32
무연탄	-0.80	0.77	1.00	0.58	0.42
유류	-0.46	0.51	0.58	1.00	0.90
LNG	-0.39	0.32	0.42	0.90	1.00

자료의 표준편차는 줄어들었다.

상관계수는 유류-LNG의 상관계수는 0.9로 매우 높으나, 유연탄-무연탄의 상관계수는 약 0.8, LNG-석탄의 상관계수는 0.5 정도이다.

그러나, 원자력과의 상관계수는 무연탄을 제외하면 -0.5이하의 값이다,

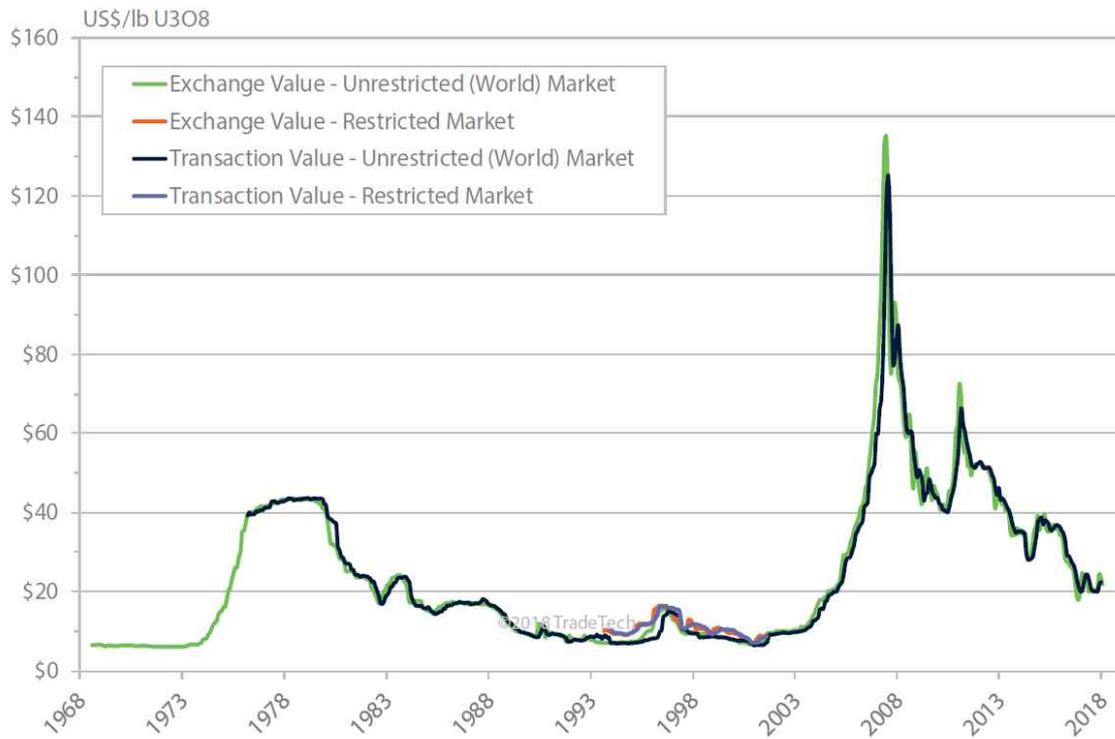
본 연구에서는 원자력연료와 타연료는 상관관계가 없는 것으로 간주한다.



원자력연료비는 2008년 이후 증가세를 보인다.
 그러나 세계시장의 원광가격이 2008년이후 안정세를 보이는 것과는¹⁾ 상반된다.

1) The Nuclear Review (594) Tradetech, 2018.2.

Exchange Value & Transaction Value 1968-2018



2016년도 원자력발전원가에 의하면 연료원가를 7.16원/kWh로 산정하였으며²⁾ 본 연구에서도 그 값을 인용한다.

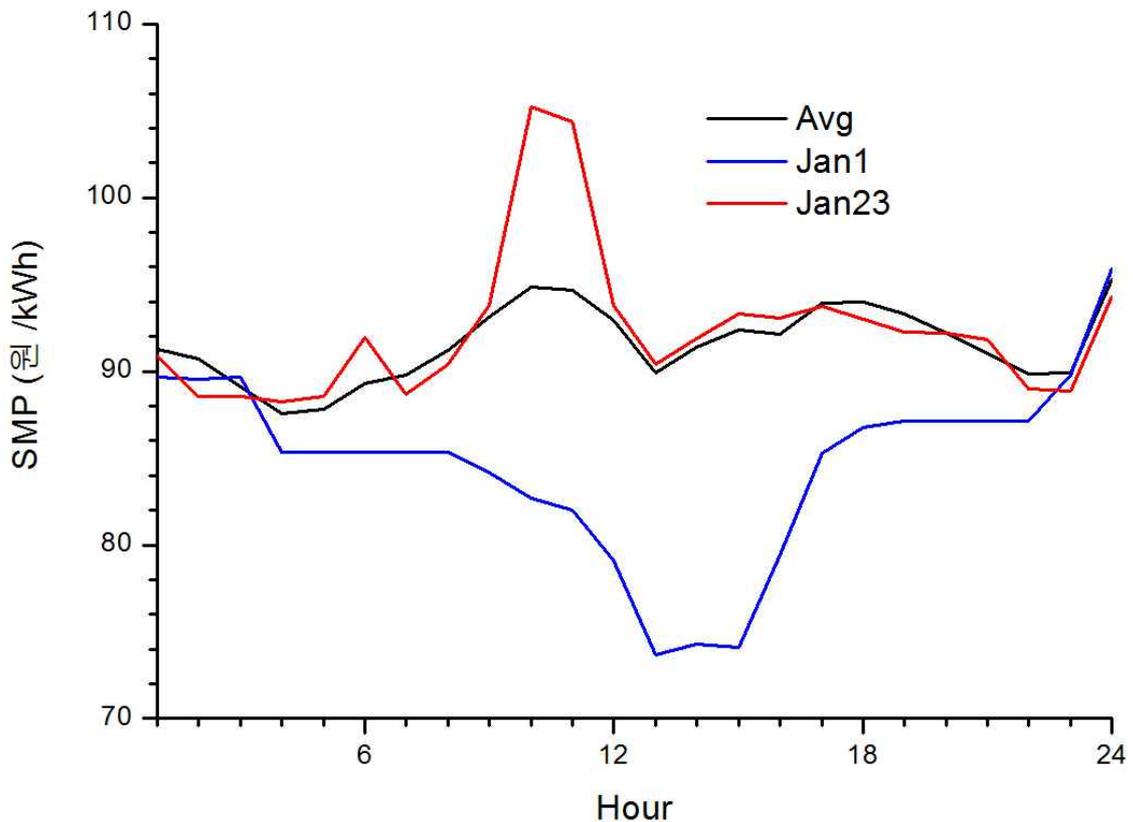
2) “국감 도마 위에 오른 ‘원전’ 발전원가. : 연합뉴스, 2017/10/1.

RPS 제도

2001년 부터 2011까지는 발전차액지원제도(FIT)를 시행하였으나, 2012년 부터 신재생에너지 공급의무화(RPS) 제도를 시행하고 발전사업자에게 MWh 생산당 1REC(Renewable Energy Credit)를 구매하도록 하였다.

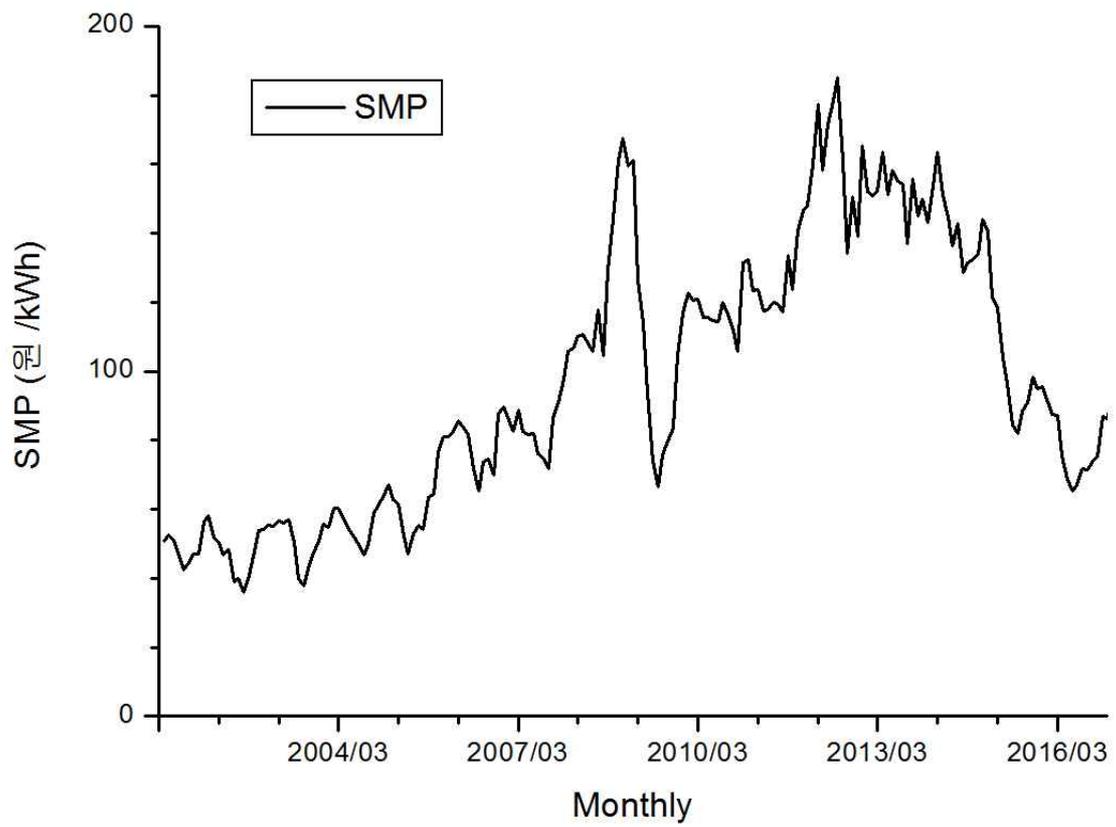
REC의 가격은 시장에 의해 결정된다.

신재생에너지 업자의 수익은 시간별로 변동하는 계통한계가격(SMP) 가격과 REC에 의해 결정된다.

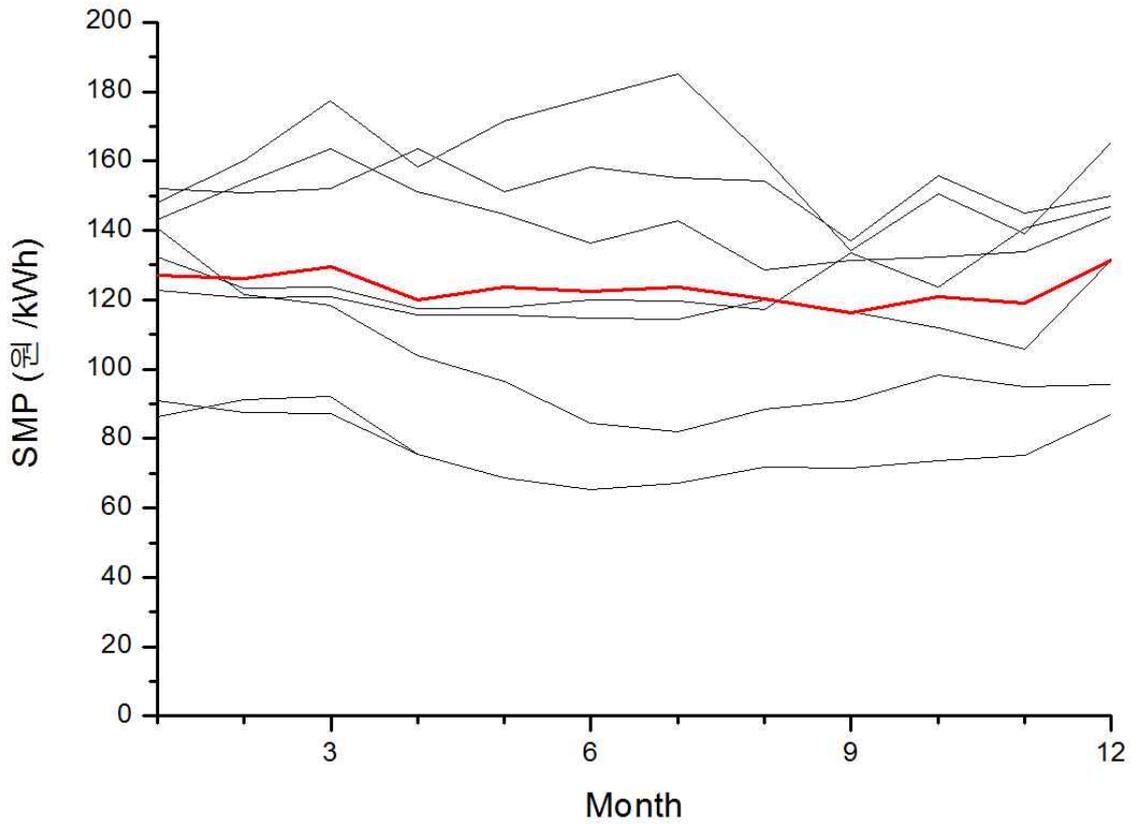


위 그림은 시간별 SMP 의 변동을 보여준다. 자료가 입수된 2018년 1월 1일 부터 2018년 2월 6일 까지의 평균과 연휴인 1월 1일, 가장 전력소비가 많았던 1월 23일의 자료이다. SMP는 주간인 11시 경이 가장 높다.

심야 시간인 24시에 급격한 증가가 눈에 띄나 설명하기 어렵다.



월간 SMP변동은 연중 월에 따라 변동이 심하다. 월간 효과를 반영하기 위해 2010년 이후 월간 변동을 그려 본다.



SMP의 월간 변화는 뚜렷한 변동양상을 찾기 어렵다.

그러나, SMP 가격을 LNG 가격과 비교하면 0.94의 높은 상관관계를 보인다.

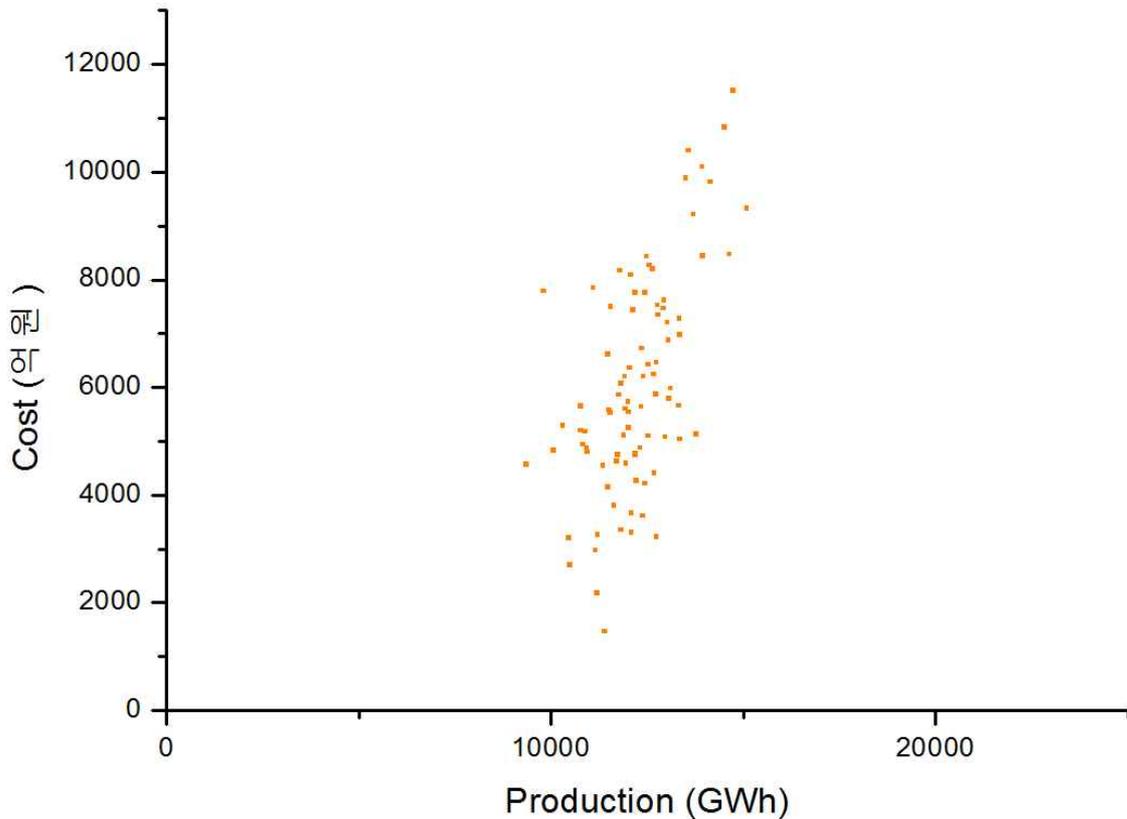
2010.1-2017.4

	SMP	LNG
평균	123.46	118.99
표준편차	29.97	24.34
상관계수		
SMP	1	0.938
LNG	0.938	1

정산단가 산정방법³⁾

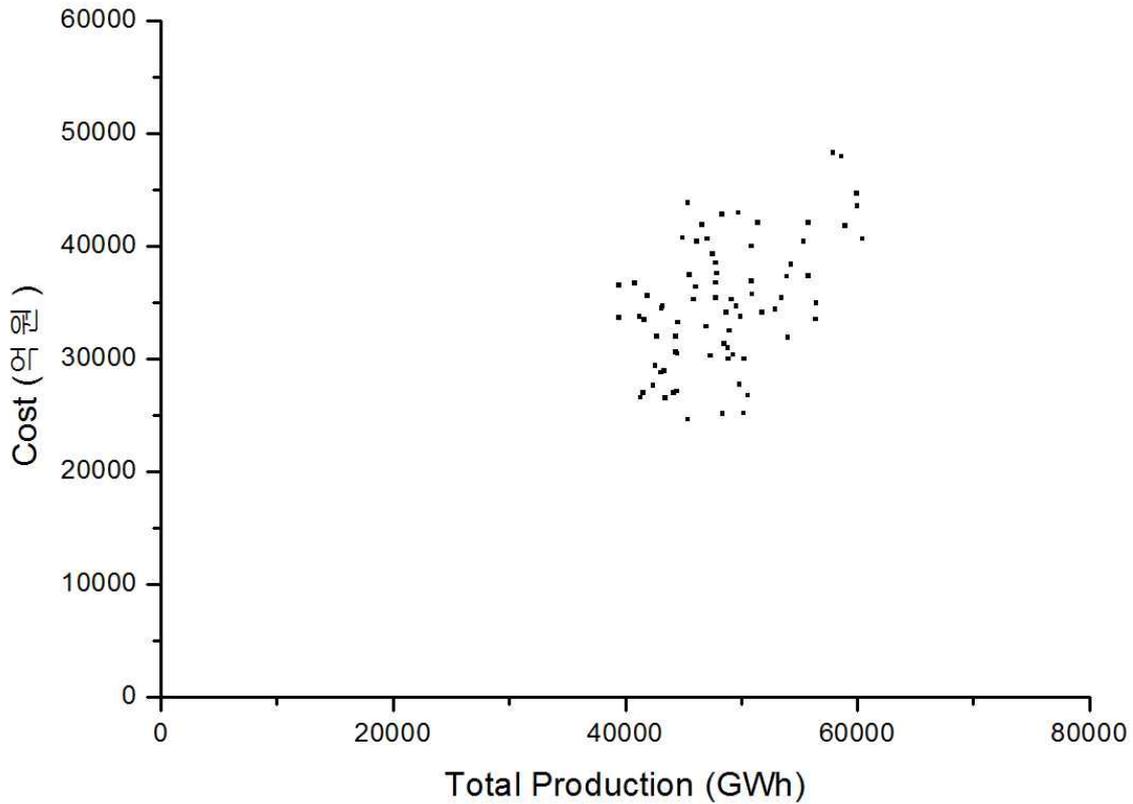
정산가격은 전력생산량에 대한 보상(Marginal price)와 공급가능용량에 대한 보상(Capacity payment)으로 이루어진다.

각발전원별로 상이한 정산조정계수를 도입하여 실제 생산원가와는 차이가 발생하나 장기적으로는 각 발전원이 적정하게 운용되도록 하고 있다.



그러나, 연료비 비중이 거의 없는 원자력발전의 경우에 정산대금은 발전량에 거의 비례하며, 오히려 고정비가 음으로 평가되는 기현상이 발생하고 있다.

3) 정산규칙 해설서, 전력거래소, 2013.



이와 같은 현상은 월간발전 비용에서도 유사하게 나타나며, 단순히 고정비에 대한 보상은 없이 발전량에 비례하는 것처럼 보인다.

발전단가 모델

발전단가는 연료비와 고정비로 구성된다.

$$\text{정산금액} = \text{고정비용} + \text{발전량} \times \text{연료단가}$$

연료원별 정산금액, 발전량, 연료단가를 알고 있으므로 고정비용을 계산할 수 있다.

고정비는 kWh 당으로 계산할 수도 있으나, 용량에 따라 소요되는 비용이므로 설비용량(MW) 당으로 산정하는 것이 타당할 것이다.

2002.1~2017.3월 자료분석결과는 다음과 같다.

	원자력	유연탄	무연탄	유류	LNG
연료비(₩/kWh)	3.9	33.5	60.7	127.4	107.8
고정비(₩/kWh)	40.5	24.8	25.3	13.3	20.6
고정비 비율	0.91±0.03	0.45±0.14	0.22±0.19	0.13±0.17	0.18±0.07
용량비(백만원/MW)	24.9±6.3	14.9±5.2	12.4±12.5	2.7±3.8	7.2±3.4

알려진대로 원자력은 고정비 비율이 90%가 넘고, 유류는 고정비 비율이 가장 낮다. 무연탄과 유류의 표준분산은 상당히 크나, 설비 노후화에 따른 것으로 판단된다. 발전 점유율이 높은 원자력과 LNG에 대한 분산은 충분히 작은 것으로 판단된다. 고정비의 상관계수는 다음과 같다.

	원자력	유연탄	무연탄	유류	LNG
원자력	1.00	0.77	0.46	-0.19	0.07
유연탄	0.77	1.00	0.27	-0.13	0.13
무연탄	0.46	0.27	1.00	-0.35	0.25
유류	-0.19	-0.13	-0.35	1.00	0.15
LNG	0.07	0.13	0.25	0.15	1.00

상기 상관계수는 원자력과 석탄은 유사한 기기를 사용하고 있으나, LNG 복합발전은 상당히 다른 기기를 사용하기 때문인 것으로 판단된다.

윗식을 이용하기 위해서는 설비용량과 이용율을 변화시키면서 최적해를 구해야한다.

$$\text{총전력량: } W = \sum_n \eta_n P_n^c$$

$$\text{총비용 : } C = \sum_n (\eta_n P_n^c c_n^f + P_n^c f_n^c) = \sum_n (\eta_n c_n^f + f_n^c) P_n^c$$

여기서 W는 발생전력, P^c 는 용량, η 는 이용시간이다. c^f 는 단위 연료비용, f^c 는 용량 단가이다.

총 설비용량은 첨두전력소비량에 의해 결정된다.

$$\sum_n P_n^c > f_{safe} P_{peak}$$

여기서 P_{peak} 는 첨두 전력, f_{safe} 는 안전예비율계수이다.

Risk (분산)

Risk는 총비용식에서 계산할 수 있다.

고정비와 연료비는 상관 관계가 없다고 가정한다.

$$R = \sum_{i,j} (\eta_i \eta_j R_{ij}^{fuel} + f_i^c f_j^c R_{ij}^{fix}) P_i^c P_j^c$$

최적화문제:

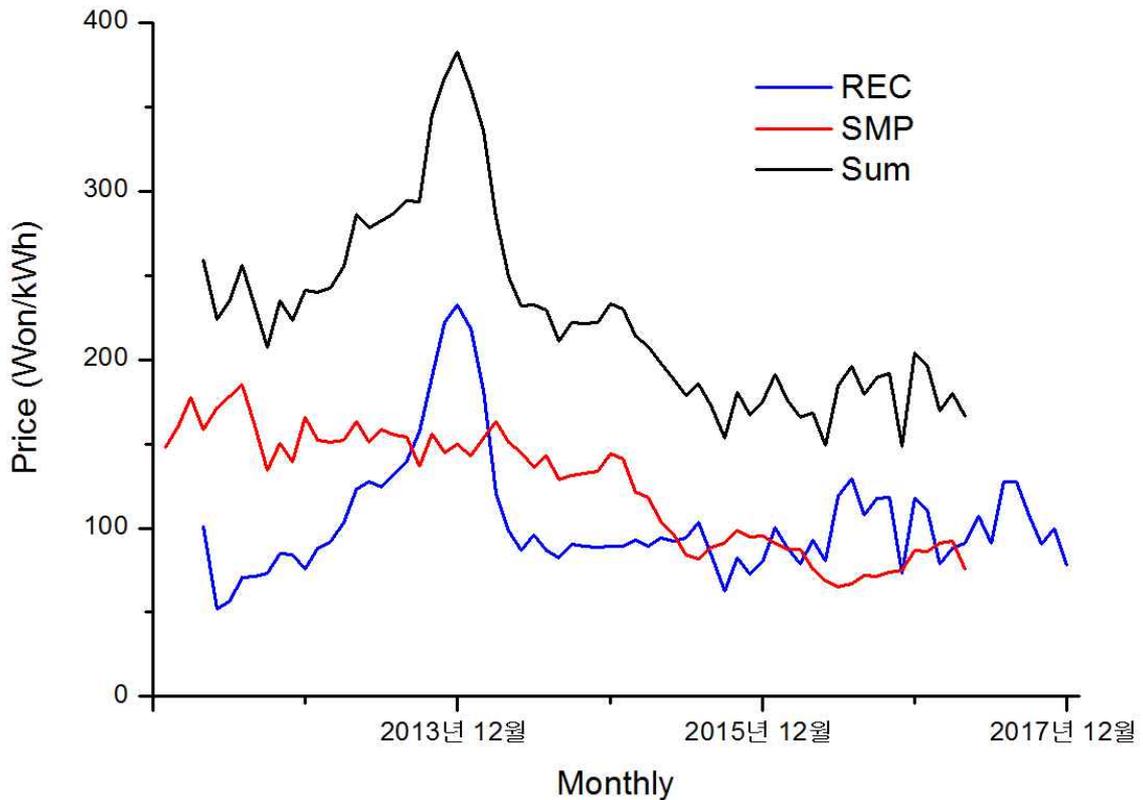
주어진 C에 대해 R이 최소화되는 P_i^c 와 η_i 를 결정하는 문제가 된다.

위 문제는 총용량 $P = \sum_i P_i^c$ 로 나누면 전원 포트폴리오를 결정하는 문제이다.

재생에너지 부분 추가.

SMP와 REC로 결정되는 재생에너지의 용량 단가를 결정해야 함. (자연에너지는 연료비가 없음).

재생에너지 전력 생산은 주어진 η 로 반영.



REC와 SMP의 월간 변화 추이는 위 그림과 같다. SMP 가격은 LNG 도입가격에 따라 변동한다.

REC 가격은 2013년 12월 부근에서 특이한 현상을 보이나, 2014년 4월 이후에는 안정세를 나타낸다. 2014년 4월 이후의 평균가격은 94.7 ± 15.3 원이다, 재생에너지의 공급가격은 $SMP+REC$ 이므로 합산한 가격을 생산원가로 볼 수 있다. 2014년 4월 이후의 평균가격은 193.5 ± 25.9 원이다. SMP 가격이 2016년 이후 안정세를 보이므로 이를 기준으로 생산원가를 산정하면, 178.5 ± 16.0 원이다.

REC 가격은 타발전사업자가 재생에너지를 의무적으로 구입함으로써 발생하는 비용이며 REC 구매 비용만큼 타발전원의 발전원가에서 차감해야하나, 아직까지는 태양, 풍력발전량이 거래액 기준으로 1% 미만이므로 본 연구에서는 무시한다.

요약

MVP 최적화에 사용할 단가는 다음과 같다.

	원자력	유연탄	무연탄	유류	LNG
연료비(원/kWh)	3.9	33.5	60.7	127.4	107.8
고정비(원/kWh)	40.5	24.8	25.3	13.3	20.6
고정비 비율	0.91±0.03	0.45±0.14	0.22±0.19	0.13±0.17	0.18±0.07
용량비(백만원/MW)	24.9±6.3	14.9±5.2	12.4±12.5	2.7±3.8	7.2±3.4

	원자력	유연탄	무연탄	유류	LNG
원자력	1.00	0.77	0.46	-0.19	0.07
유연탄	0.77	1.00	0.27	-0.13	0.13
무연탄	0.46	0.27	1.00	-0.35	0.25
유류	-0.19	-0.13	-0.35	1.00	0.15
LNG	0.07	0.13	0.25	0.15	1.00

재생에너지는 고정비만 산정 : 178.5±16.0원/kWh