

## 포트폴리오 이론을 활용한 제6차 전력수급기본계획의 신규전원구성 비교 연구

김주한\* · 김진수\*\*

**요약** : 우리나라는 2011년 발생한 순환정전사태를 비롯하여 지난 5년간 급격한 전력소비 증가, 수요 예측 실패에 따른 전력 수급난을 겪고 있다. 또한 일본의 후쿠시마 원전사태와 국제 연료 가격 상승, 기술 발전 및 적용 가능한 발전원 증가로 인해 발전 환경의 불확실성이 큰 폭으로 증가하였다. 이러한 대내외적 환경 변화로 인해 안정적 전력공급에 대한 정책적 검토가 필요하게 되었고 신규전원구성에 대한 다양한 논의가 이루어지게 되었다. 실제로 “민관 합동 워킹그룹”에서는 에너지 기본계획 및 원전 비중 변화, 전원구성에 대한 시나리오 검토를 수행한 바 있다. 이러한 국내외 여건에 따라 본 연구에서는 제6차 전력수급기본계획과 정책 제안 그리고 우리나라의 전력 설비를 고려하여 포트폴리오 이론을 적용, 신규 전원구성 연구를 수행하였다. 본 연구의 전원 구성 결과에 따르면 향후 신재생 발전원의 비용하락과 화석 연료 발전원의 비용이 증가할 경우 신재생 발전원의 비중이 큰 폭으로 증가하며 발전믹스 내 발전원의 다양성이 증가할 것이라는 결과가 도출되었다. 특히 위험수준(표준편차) 0.06~0.09 사이에서 가장 다양한 발전원을 보유한 효율적 전원구성이 나타남을 확인하였다. 이 밖에 기존 계획안은 효율적 곡선 상에 위치하지 않기 때문에 비용-위험 기준에서 보다 개선될 수 있음을 확인하였으며 기존 방법론과 상호 보완적으로 본 연구의 방법론이 활용될 수 있음을 확인하였다. 마지막으로 본 연구 결과를 바탕으로 안정적이고 효율적인 전원믹스 운영을 위해서는 신재생 발전원의 확충과 더불어 전력저장시스템, 에너지관리시스템과 같은 전력 기술 개발 및 인프라 구축이 수반되어야 함을 확인하였다.

**주제어** : 포트폴리오 분석, 전원 믹스, 제6차 전력수급기본계획, 신규전원구성

**JEL 분류** : Q4, C6

접수일(2014년 2월 28일), 수정일(2014년 6월 9일), 게재확정일(2014년 12월 4일)

\* 한양대학교 자원환경공학과 석·박사통합과정, 제1저자(e-mail: juhankim@hanyang.ac.kr)

\*\* 한양대학교 자원환경공학과 조교수, 교신저자(e-mail: jinsookim@hanyang.ac.kr)

# Portfolio Analysis on the New Power Generation Sources of the Sixth Basic Plan for Long Term Electricity Demand and Supply

Juhan Kim\* and Jinsoo Kim\*\*

**ABSTRACT** : Including the rolling black out in 2011, Korea has suffered from rapid increase of electricity consumption and demand forecasting failure for last five years. In addition, because of the Fukushima disaster, high fuel prices, and introduction of new generation sources such as renewables, the uncertainty on a power supply strategy increases. Consequently, a stable power supply becomes the new agenda and a revisino of strategy for new power generation sources is needed. In the light of this, we appraises the sixth basic plan for long term electricity demand and supply considering the changes of foreign and domestic conditions. We also simulate a strategy for the new power generation sources using a portfolio analysis method. As results, a diversity of power generation sources will increase and the share of renewable power generation will be surged on the assumptions of a cost reduction of renewable power sources and an increase of fuel costs. Particularly, on the range of a risk level(standard deviation) from 0.06 and 0.09, the efficient frontier has the most various power sources. Besides, the existing power plan is not efficient so that an improvement is needed. Lastly, the development of an electricity storage system and energy management system is necessary to make a stable and efficient power supply condition.

**Keywords** : Portfolio analysis, power mix, the sixth basic plan for long term electricity demand and supply, electricity supply strategy

---

Received: February 28, 2014. Revised: June 9, 2014. Accepted: December 4, 2014.

\* Dept. of Natural Resources and Environmental Eng., Hanyang University(e-mail: juhankim@hanyang.ac.kr)

\*\* Dept. of Natural Resources and Environmental Eng., Hanyang University(e-mail: jinsookim@hanyang.ac.kr)

## I. 서론

우리나라는 2011년 9월 발생한 순환정전 사태를 비롯하여 하절기와 동절기에 지속적인 전력 부족 문제에 노출되어 있다. 이와 더불어 일본의 후쿠시마 사태로 인해 원자력 발전 안전성에 대한 사회적 논의가 확대, 전원믹스(mix)에서 원자력 발전의 역할과 비중이 수정되어야 할 필요성이 대두되었다. 또한 국제 연료가격 상승과 기술 발전 및 발전원의 다양성 증가에 따른 발전 환경 내·외부 변화로 인하여 과거에 비해 불확실성이 큰 폭으로 증가하였다. 이에 따라 전원믹스 수립 시 발전환경의 불확실성을 보다 고려할 필요가 있으며 2013년 10월 발표된 민관합동그룹의 “에너지 기본계획에 대한 정책제안”에서도 이러한 상황에 대한 정책적 권고를 담고 있다.

이러한 국내외 여건을 고려하여 제6차 전력수급기본계획에서는 현재 직면한 전력 부족 문제를 해결하기 위해 전력공급의 안정성, 설비 부족 문제에 대한 고려 및 검토를 통해 발전원별 반영 계획을 수립하였다. 그러나 제6차 전력수급 계획 아래 이루어진 발전설비 반영계획 및 전원구성 계획은 기존의 Wien Automatic System Planning Package(WASP) 모형을 이용한 전체 전원 비용 최소화에 초점을 맞추어 미래에 발생 가능한 불확실성과 위험 요인들에 대해 상대적으로 취약할 수 있다. WASP 전산모형을 통한 전원구성계획에서는 에너지 가격 변동과 발전원 간 상호작용을 고려하기 어렵다. 그렇기 때문에 연료가격 상승과 적용 가능한 발전원 증가로 인하여 불확실성이 증대된 현 상황에서는 기존의 방법론만으로는 전력공급의 안정성이라는 정책적 목표를 달성하기 어려울 수 있다.

이러한 맥락에서 본 연구는 포트폴리오(portfolio) 이론을 활용하여 신규 전원구성 수립 계획에 대한 연구를 수행하였다. 포트폴리오 이론을 활용할 경우 기존 비용 최소화 개념에서 더 나아가 비용뿐만 아니라 불확실성을 함께 고려하여 비용-위험 수준에서 최적화가 가능하다. 또한 전원 간 상관관계에 따른 포트폴리오 분산 효과로 인해 적용 가능한 발전원이 증가한 현 상황에 맞추어 보다 효과적인 전원 구성 도출이 가능하다. 그렇기 때문에 이러한 요소들을 고려한 전원구성은 기존의 전원구성 계획과는 상이한 결과를 보일 것으로 예상된다.

본 논문에서는 신재생 에너지를 포함한 총 15개 발전원에 대해 기존 설비용량과

수명이 다하여 기능을 잃은 폐지 설비를 고려하여 2027년까지 신설되는 추가 전원에 대한 전원 구성 결과를 제시하였다. 본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제II장에서는 전원구성계획에 포트폴리오 이론을 적용한 선행연구들을 소개할 것이다. 제 III장에서는 본 연구의 분석 방법론인 포트폴리오 이론을 전원 믹스 계획에 어떻게 적용할지 소개할 것이며 제 IV장에서는 포트폴리오 실증분석을 위한 분석 자료에 대해 설명할 것이다. 이어 제V장과 제VI장에서는 포트폴리오 구성 결과와 시나리오 분석에 대한 결과 및 연구 결론에 대해 서술하였다.

## II. 선행 연구

최근 국제 연료가격 상승과 변동성 증대, 기술 발전 및 발전원의 다양성 증가에 따른 발전 환경 내 외부 변화로 인하여 발전 환경의 불확실성이 크게 증가하였다. 전원믹스 계획에 포트폴리오 이론을 적용할 경우 전원 간 상관관계를 이용하여 비용-위험 수준에서 가장 효율적인 발전원의 포트폴리오 구성이 가능하다. 이러한 맥락에서 포트폴리오 이론을 전원구성에 적용 분석한 다양한 논문이 발표되었다.

Awerbuch(2004)은 멕시코와 미국 그리고 유럽연합의 효율적인 발전믹스를 포트폴리오 이론을 통해 구성하였다. 이 연구에서는 신규 기술이 적용된 신형 발전소와 구형 발전소를 구분하여 포트폴리오를 구성하였으며 비용이 아닌 비용의 역수(kWh/Cent)를 기반으로 한 포트폴리오 분석을 수행하였다. 연구 결과에 따르면 미국과 멕시코 유럽연합 모두, 신기술이 도입된 발전원과 신재생 발전원의 비중을 증가 시킬 경우 기존 발전믹스보다 효율적인 전원믹스가 나타났다. 이는 신기술이 적용된 신규 발전원을 전원믹스에 도입할 경우 위험 감소 효과가 크게 나타남을 시사한다.

Gotham et al.(2009)은 미국 인디애나 주의 부하곡선(load curve)을 포트폴리오의 적용한 전원 믹스를 구성하였다. 본 논문은 기존의 공급 위주방식에서 더 나아가 부하곡선을 도입, 전력수요를 고려한 포트폴리오 구성 효과를 분석했다는 데 의의가 있다. 부하별 비중과 원자력 발전 비중 변화에 따른 포트폴리오를 도출하였으며 분석결과 원전이 포함된 발전믹스가 보다 효율적인 발전 믹스임을 입증하였다.

윤원철(2009)은 포트폴리오 이론을 활용하여 한국동서발전의 신규 발전원(신규석탄, 신규복합) 선택 대안을 실증 분석하였다. 연구결과에 따르면 전원구성에서 신규전원이 추가될 경우 위험 감소 효과가 발생함을 나타내었다. 결과적으로 신규석탄과 신규복합 전원이 도입될 경우 투자자의 비용-위험 가중치에 따라 전원별 비교우위가 결정됨을 보여준다.

Delarue et al.(2011)은 발전설비, 발전량, 전원공급을 구분하여 포트폴리오 분석을 시행하였으며 4개의 전통 발전원과 신재생 발전원 중 풍력 발전원을 선택하여 조건별 시나리오에 따른 전원믹스의 위험 감소 효과를 실증 분석하였다. 또한 발전원별 출력변화율(ramp rate)을 도입하여 포트폴리오 구성 시 발전원의 부하율(load factor)과 부하곡선(load curve)을 고려하였다. 연구 결과 연료비 변동이 없는 풍력 발전원을 확대할 경우 전체 발전믹스의 위험을 감소시킬 수 있다는 결과를 도출하였으며 풍력 발전원의 추가 도입을 위해서 출력 변화율이 적은 안정적인 발전기술에 대한 지속적인 투자가 수반되어야 함을 역설하였다.

이유수(2012)는 신재생 에너지원을 제외한 전원믹스와 신재생 에너지원을 무위험 자산으로 설정한 전원믹스를 포트폴리오 이론을 적용하여 분석 하였으며 원전비용에 대한 민감도 분석을 수행하였다. 분석 결과 비용이 저렴한 원자력과 비용 변동이 없는 무위험 자산인 신재생 발전원의 비중을 확대할 경우 기존의 발전믹스보다 효율적인 전원믹스 비중을 달성할 수 있으며 발전원별 사회적 비용과 공급비용에 대한 정확한 산출이 이루어질 경우 보다 정확한 전원 구성 결과가 가능함을 시사하고 있다.

전원구성의 포트폴리오 이론을 적용한 다양한 논문이 존재하지만 우리나라의 연도별 설비계획과 다양한 신재생 발전원의 실질 착공 계획을 반영한 논문은 찾아보기가 어렵다. 본 논문은 제6차 전력수급 기본 계획을 바탕으로 기존 우리나라가 보유한 발전원의 설비용량과 폐지 설비를 연도별로 고려하여 2027년까지 신설되는 추가 전원에 대한 신규 발전원 구성을 검토하였다. 이를 위하여 원자력, 유·무연탄, 석유, LNG와 같은 전통적 발전원과 풍력, 수력, 태양광, 바이오 가스와 같은 신재생 에너지원의 정산단가와 기준가격 데이터를 이용, 포트폴리오 이론을 적용한 신규 발전믹스를 구성하였다. 또한 발전원별 확정설비와 정책설비 용량 그리고 전원별

특성에 따른 증가율과 감소율을 적용한 시나리오 분석을 통해 기존 전원구성 모형과 포트폴리오 이론을 활용한 전원 구성 모형의 구성결과를 비교 분석하였다.

### III. 포트폴리오 이론

포트폴리오 이론은 불확실한 미래 상황아래 투자자산간 분산과 상관관계를 이용하여 기대수익률의 감소 없이 위험을 감소시키는 데 사용되는 방법론이다. 포트폴리오의 분산 투자 효과는 개별 자산 간 수익률이 완전하게 동일한 방향과 폭으로 변동되지 않는 경우 나타나며 포트폴리오를 구성하는 자산의 수가 많을수록 더욱더 잘 나타난다. 이러한 포트폴리오의 기댓값과 위험은 분포의 평균과 분산으로 나타내며 이를 평균-분산 모형이라 한다.

다수의 위험 자산의 분산 투자 하는 것을 가정할 경우 포트폴리오의 수익률과 위험(분산)은 다음과 같다.

$$E(r_p) = \sum_{i=1}^n \omega_i E(r_i) \tag{1}$$

$$Var(r_p) = \sigma_p^2 = E[r_p - E(r_p)]^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \omega_i \omega_j Cov(r_i, r_j) \tag{2}$$

식 (1)과 (2)에서 가중치  $\omega_i$ 는 각 발전원의 비중을 나타내며  $E(r_i)$ 는 발전원  $i$ 의 비용에 대한 기댓값이다. 식 (2)의  $Cov(r_i, r_j)$ 는 발전원 비용  $r_i, r_j$  간 공분산을 나타내며 이는 상관계수( $\rho$ )와 발전원 비용흐름의 표준편차 곱인  $\rho\sigma_i\sigma_j$ 로도 나타낼 수 있다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \omega_i \omega_j Cov(r_i, r_j) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \omega_i \omega_j \rho \sigma_i \sigma_j \tag{3}$$

포트폴리오 이론의 분산투자 효과는 자산간 상관계수( $\rho$ )에 따라 변화하며 상관계수는  $-1 < \rho < 1$  사이에서 움직인다. 발전원간 상관계수가 작아질수록 위험감소 효과가 커지며 발전원간 상관계수가 증가할수록 위험 감소효과는 작아진다. Markowitz (1952)는 포트폴리오를 선택과 구성하는 과정이 지배원리(dominance principle)에 따라 이루어짐을 증명하였다. 지배원리는 투자가능한 모든 포트폴리오 중 상대적으로 최소의 위험과 최대의 수익률을 갖는 효율적 포트폴리오(efficient portfolio)를 선택하는 것을 뜻한다. 이와 같은 지배원리에 의해 선택되는 포트폴리오의 집합을 효율곡선(efficient frontier)이라 하며 효율적 곡선은 최적화 과정을 통해 도출 가능하다. Merton(1972)에 따르면 N개의 위험자산이 존재하는 경우의 효율적 곡선은 다음의 최적화 문제를 충족시키는 포트폴리오의 집합이다. 다음은 전원구성 최적화를 위한 목적식과 제약조건의 기본적인 형태이다.

$$\text{목적식} \quad \min \sigma_p^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j \sigma_{i,j} \quad (4)$$

여기서  $\sigma_{i,j} = Cov(r_i, r_j) = \frac{\sum_t (r_{i,t} - \bar{r}_i)(r_{j,t} - \bar{r}_j)}{n_t - 1}$ ,  $r_{i,t}$ 는  $t$ 기 발전원  $i$ 의 비용,

$n_t$ 는 발전 비용 시계열의 개수

$$\text{제약조건} \quad \sum_{i=1}^n w_i E(r_i) = E(r_p) \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (6)$$

위 제약조건하의 최적화 문제는 포트폴리오의 기대비용( $E(r_p)$ )은 일정하며, 비중의 합이 1이라는 제약조건하에서 포트폴리오 수익률의 분산을 최소화하는 것이다. 투자자는 목적식 (4)와 제약조건 (5), (6)를 이용하여 각각의 비용 기댓값에 대해 최소의 분산을 갖는 포트폴리오를 도출할 수 있다.<sup>1)</sup>

결국 본 연구에서는 비용-위험 곡선을 도출하여 곡선상에 위치한 전원별 비중을 도출하였다. 여기서 선택변수는 개별 전원의 설비비중인  $w_i$ 이며 비용과 분산은 전원별 정산단가와 정산단가의 흐름을 이용하여 도출한다. 실증분석에서는 정책설비와 확정설비 그리고 에너지원별 가용 잠재용량을 고려하여 발전원별 비중에 대한 제약조건을 설정하였다. 가용 잠재용량을 통해 발전원별 최대 설비가능 용량을 계산하였고 정책설비와 확정설비를 통해 전원별 최소용량을 설정하였다.<sup>2)</sup>

#### IV. 분석 자료

본 연구에서는 전력통계정보시스템(<http://www.kpx.or.kr/epsis>)의 발전원별 월간 정산단가를 활용하였다. 개별 발전원의 발전 원가는 건설비용, 연료비용, 변동운영비용, 고정운영비용등으로 구분할 수 있다(윤원철, 2009). 발전원별 정산단가는 각 발전원의 건설비용, 연료비용, 변동운영비용, 고정운영비용을 반영하여 보상하기 때문에 전체 발전비용을 대체 가능하다(이유수, 2012). 15개 발전원에 대해 2007년부터 2013년까지의 월간 정산단가 자료를 사용하였으며 2014년도부터 2027년까지는 발전원의 특성에 따른 증가율과 감소율을 적용한 데이터를 사용한다.<sup>3)</sup> 유연탄, 석유, LNG 발전원의 경우 EIA의 “Annual Energy Outlook 2013 with Projections to 2040” 보고서에서 제시한 2030년까지의 평균 가격 증가율을 적용하였으며 신재생 에너지의 경우 산업자원부의 발전차액지원 연도별 감소율을 적용하였다.

비용-위험을 기준으로 한 위험 비중을 도출하기 위한 발전원별 위험자료는 발전원별 정산단가 흐름의 분산을 사용하였다.<sup>4)</sup> 이를 위해 2007년 1월부터 2013년 8월까지의 정산단가 자료를 사용하여 월간 비용증감률을 계산하고, 비용증감률의 분산

- 
- 1) 위 제약조건인  $0 \leq w_i \leq 1$ 를 추가하면 공매도(short sale)를 배제할 수 있다.
  - 2) 가용 잠재용량은 에너지관리공단의 2012년 신재생 에너지 백서를 참조하였으며 정책설비와 확정설비는 제6차 전력수급기본계획을 참조하였다. 설비가능 용량은 가용잠재량(TOE)을 전원의 정격용량(MW)으로 환산하여 도출하였다.
  - 3) 신재생 발전원의 기대 발전비용으로는 산업자원부의 신·재생에너지 발전차액지원제도 개선 및 RPS(renewable portfolio standard, RPS) 제도와 연계방안과 지식경제부의 신재생에너지 연도별 발전 기준단가와 전력통계시스템의 SMP(system marginal price, SMP)에 기반을 둔 변동요금을 복합 적용하였다.
  - 4) 윤원철(2009), 이유수(2012)에서도 동일한 비용흐름의 분산 계산방법이 활용되었다.



을 계산한다. 월간 비용 증감률은 해당 월과 직전 월간의 차이를 직전 월 정산단가로 나눈 값이며 다음 <표 1>는 전원별 기대 발전비용과 표준편차를 나타낸다. 이어 전원믹스의 효율적 곡선을 도출하기 위해서는 전원믹스 포트폴리오의 비용과 분산 외 전원간 상관계수를 도출해야 한다. 이때의 상관계수는 발전원별 분산과 마찬가지로 월간 발전원별 비용흐름의 상관계수를 사용한다.

이러한 과정을 통해 산출된 상관계수는 다음 <표 2>와 같으며 전원별 상관관계에 따라서 전체 전원구성의 위험감소 효과를 예측할 수 있다. 상관계수의 값이 작은 경우 위험감소 효과가 크며 상관계수의 값이 큰 경우 위험감소 효과는 크지 않다. 따라서 상관계수가 작은 침투부하 발전원과 신재생에너지원 간의 위험 감소 효과가 있을 것으로 예상할 수 있다.

<표 1> 발전원별 비용-표준편차

발전원	비용 (원/kWh)	표준편차
원자력	39.63	0.1563
유연탄	58.25	0.0828
무연탄	99.76	0.1276
수력	141.28	0.0991
양수	193.51	0.1775
석유	204.65	0.1645
LNG	139.10	0.0771
바이오가스	140.18	0.1023
부생가스	99.52	0.0745
소수력	130.02	0.0994
매립가스	127.21	0.1031
태양광	628.90	0.1065
폐기물	129.57	0.1009
풍력	134.55	0.0961
연료전지	235.84	0.1053

〈표 2〉 발전원별 상관계수

발전원	원자력	유연탄	무연탄	수력	양수	석유	LNG	바이오가스	부생가스	소수력	매립가스	태양광	폐기물	풍력	연료전지
원자력	1.00	0.83	0.64	0.35	0.33	-0.13	0.54	0.33	-0.05	0.35	0.35	0.30	0.35	0.34	0.34
유연탄	0.83	1.00	0.73	0.28	0.28	-0.14	0.53	0.26	-0.04	0.28	0.28	0.24	0.27	0.26	0.26
무연탄	0.64	0.73	1.00	0.25	0.18	-0.01	0.40	0.20	-0.05	0.22	0.20	0.18	0.20	0.20	0.20
수력	0.35	0.28	0.25	1.00	0.65	-0.37	0.59	0.88	-0.05	0.93	0.91	0.89	0.90	0.81	0.85
양수	0.33	0.28	0.18	0.65	1.00	-0.24	0.38	0.65	-0.05	0.66	0.70	0.66	0.65	0.57	0.64
석유	-0.13	-0.14	-0.01	-0.37	-0.24	1.00	-0.02	-0.45	0.02	-0.46	-0.47	-0.35	-0.48	-0.43	-0.46
LNG	0.54	0.53	0.40	0.59	0.38	-0.02	1.00	0.52	-0.06	0.53	0.51	0.60	0.50	0.47	0.50
바이오가스	0.33	0.26	0.20	0.88	0.65	-0.45	0.52	1.00	-0.10	0.95	0.94	0.87	0.96	0.90	0.96
부생가스	-0.05	-0.04	-0.05	-0.05	-0.05	0.02	-0.06	-0.10	1.00	-0.04	-0.04	-0.04	-0.05	-0.04	-0.04
소수력	0.35	0.28	0.22	0.93	0.66	-0.46	0.53	0.95	-0.04	1.00	0.98	0.92	0.99	0.90	0.95
매립가스	0.35	0.28	0.20	0.91	0.70	-0.47	0.51	0.94	-0.04	0.98	1.00	0.92	0.98	0.89	0.94
태양광	0.30	0.24	0.18	0.89	0.66	-0.35	0.60	0.87	-0.04	0.92	0.92	1.00	0.90	0.82	0.88
폐기물	0.35	0.27	0.20	0.90	0.65	-0.48	0.50	0.96	-0.05	0.99	0.98	0.90	1.00	0.92	0.98
풍력	0.34	0.26	0.20	0.81	0.57	-0.43	0.47	0.90	-0.04	0.90	0.89	0.82	0.92	1.00	0.93
연료전지	0.34	0.26	0.20	0.85	0.64	-0.46	0.50	0.96	-0.04	0.95	0.94	0.88	0.98	0.93	1.00

신재생 발전원 중 설비에 있어 환경적 제약이 큰 일부 전원의 경우 부존 잠재량과 가용잠재량을 고려하여 발전원의 최대 설비용량을 산출하였다. 전원별 잠재량에 따른 설비가능용량은 다음 <표 3>과 같다.

〈표 3〉 신재생에너지 잠재량에 따른 설비가능용량

구분		부존 잠재량 (천TOE)	가용 잠재량 (천TOE)	설비가능용량 (MW)
태양열 에너지		11,159,495	3,483,910	12,542,076
태양광 에너지				
풍력 에너지	육상	121,433	24,293	87,454
	해상	172,781	60,813	218,926
수력 에너지		126,273	65,210	234,756
바이오 에너지	매립가스	8,630	2,081	7,491
	바이오가스	3,980	2,192	7,891
폐기물 에너지		8,630	3,694	13,298

자료: 에너지관리공단, 2012 신재생에너지 백서 재구성

확정 설비를 고려하기 위해 제6차 전력수급기본계획의 “건설의향 및 계획반영 발전설비”와 “연차별 건설의향 및 계획반영 내역”을 참조하여 연도별 기 착공 용량과 착공예정 용량 그리고 폐지 설비 용량을 산출하였다. 또한 시나리오 분석을 위해 정책설비를 고려하였다. 확정설비와 정책설비의 관한 분류는 다음 <표 4>와 같다.

〈표 4〉 확정설비 및 정책설비 분류기준

구분	내용
확정 설비	※ 5차 계획 반영설비 - 건설 중인 설비(기 착공설비) - 건설 준비단계의 설비로서 주기기 계약 또는 시공 계약을 완료한 설비 ※ 적정 설비 도출시 확정 반영된 정책성 전원 - 원전, 신재생에너지 설비등 ※ 폐지 설비
정책 설비	RPS 의무량을 충족시키기 위한 정책적 설비를 의미

자료: 지식경제부, 2012 제6차 전력수급기본계획 재구성

정책별 설비용량과 폐지 용량을 고려한 전원별 확정설비와 정책설비의 용량은 다음 <표 5>와 같다.

<표 5> 전원별 설비용량 (단위 : MW)

발전원	원자력	유연탄	LNG	소수력	태양광
확정설비용량	15200	12520	11223	43.8	670.7
정책설비용량	-	-	-	75	4053.05
발전원	풍력	바이오	폐기물	부생	연료전지
확정설비용량	6970.7	566.8	69.7	300	334.2
정책설비용량	9708	545	544	0	1359

제6차 전력수급기본계획의 전력수요 전망에서는 2013년부터 2027년까지 연평균 3.4%의 전력소비가 증가할 것으로 예상하였다. 이러한 상황을 고려하여 최대전력을 예측한 결과, 2027년 기준 연간 전력소비량 771,007GWh, 최대전력 126,740MW에 설비용량 전망치가 예측되었다. 예비율과 건설 불확실성을 고려하여 적정 설비규모를 산출한 결과, 목표 예비율은 원전 안전성 강화, 수요예측 불확실성, 공급 불확실성을 고려하여 22%로 결정되었다. 이에 따른 정격용량 기준 발전설비 규모는 2012년 말 총 81,806MW에서 2027년에는 158,502MW에 달하는 발전설비 용량을 갖출 것으로 예상된다. 이 예측에 따르면 2027년까지 필요한 신규 설비용량은 76,696MW에 이른다. 6차 전력수급기본계획에서 제시한 정격용량기준 전원구성은 다음 <표 6>과 같다.

〈표 6〉 정격용량 기준 전원구성 전망

연도		원자력	유연탄	무연탄	LNG	석유	양수	신재생	계
2012	용량 (MW)	20,716	23,409	1,125	20,116	4,888	4,700	4,084	79,038
	비중 (%)	26.21	29.62	1.42	25.45	6.18	5.95	5.17	100
2015	용량 (MW)	24,516	27,169	1,125	31,372	3,901	4,700	9,277	102,060
	비중 (%)	24.02	26.62	1.10	30.74	3.82	4.61	9.09	100
2017	용량 (MW)	25,916	35,929	725	34,074	3,904	4,700	11,644	116,892
	비중 (%)	22.17	30.74	0.62	29.15	3.34	4.02	9.96	100
2022	용량 (MW)	32,916	44,669	725	33,594	2,649	4,700	25,211	144,464
	비중 (%)	22.78	30.92	0.50	23.25	1.83	3.25	17.45	100
2027	용량 (MW)	35,916	44,669	725	31,794	1,249	4,700	32,014	151,067
	비중 (%)	23.77	29.57	0.48	21.05	0.83	3.11	21.19	100

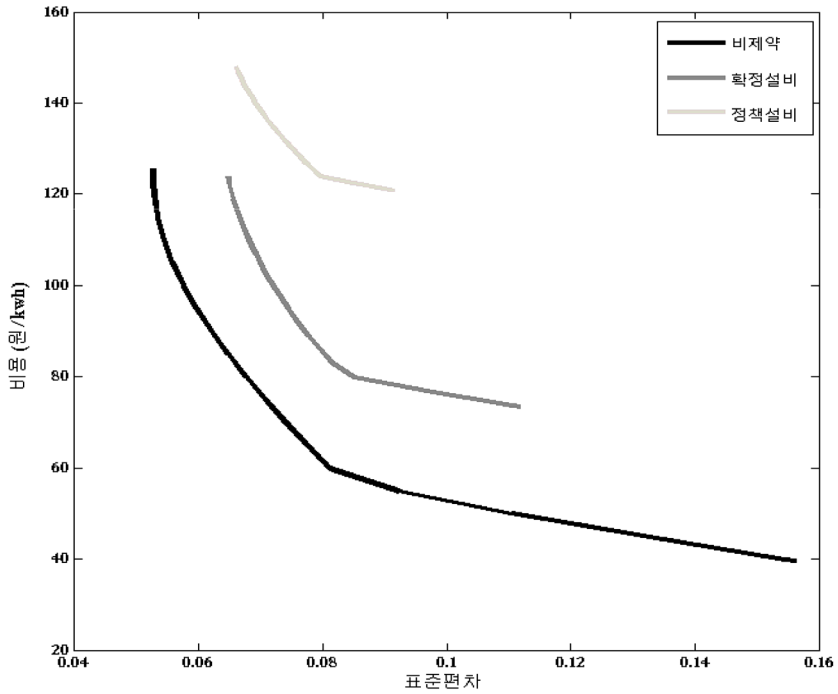
자료: 지식경제부, 2012 제 6차 전력수급기본계획 전원구성 전망 재구성

## V. 실증분석 결과

### 1. 전원 구성의 비용-위험 최적화

앞서 제시한 주요 투입자료와 15개 발전원의 비용 및 분산, 발전원 간 상관계수를 이용하여 비용-위험 기준에 근거한 발전원별 최적비중을 도출할 수 있다. 최적화 과정을 통해 도출된 전원구성 포트폴리오의 효율 곡선은 다음 <그림 1>과 같다.

〈그림 1〉 포트폴리오 효율 곡선



주: 비제약 분석은 전원별 설비가능용량만을 고려

전원구성 포트폴리오의 기대비용과 표준편차의 범위는 다음 <표 7>과 같다.

〈표 7〉 효율적 곡선의 비용과 표준편차 범위

구분	비제약	확정설비	정책설비
비용 (원/KWh)	39.63~125.46	72.87~123.40	120.85~147.97
표준편차	0.1563~0.0526	0.1123~0.0649	0.0915~0.0661

본 연구에서 도출한 모든 효율적 곡선의 비용과 표준편차에 따른 발전원별 전원 구성 결과는 부록에 정리하였다. 분석 결과, 비용-위험 수준에 따라 전원믹스 내 발전원별 비중이 크게 변화함을 확인할 수 있었다.

세 가지 효율적 곡선 중 비계약 곡선은 가장 넓은 범위의 비용과 위험 수준을 나타낸다. 비계약 곡선의 최소비용 포트폴리오는 원자력 발전 100%로 최소 위험 포트폴리오는 화석연료를 이용한 발전원 중 침두 부하발전과 신재생 발전원으로만 구성되어 발전원의 쓸림 현상이 관찰되었다. 이는 다른 발전원에 비해 침두부하 발전원과 신재생 발전원 간 상관계수 수준이 낮아 위험 감소 효과, 즉 발전원의 분산효과가 크게 나타나기 때문이다.

비계약과 확정설비의 효율적 곡선 비교 시 동일한 위험 수준에서 비용이 증가하였지만 발전원의 쓸림 현상이 완화됨을 볼 수 있었다. 확정설비와 정책설비의 곡선 비교 또한 동일한 위험 수준에서 비용이 증가함을 확인할 수 있었다. 이러한 분석 결과는 신재생 발전원과 여러 발전원의 비중이 큰 폭으로 증가하여 다양한 전원이 선택됨에 기인한다. 즉, 전원의 다양성이 증가할수록 위험수준은 감소하지만 비용이 증가함을 확인할 수 있다. 또한 표준편차 약 0.06~0.09 수준에서 비계약 분석을 제외하고 단일전원의 비중이 50%를 넘지 않아 전원의 다양성이 가장 크게 확보되며 현재 논의되고 있는 전원구성 방향과 우리나라가 보유한 기 발전원 설비를 고려한 정책적 방향과 가장 잘 부합하고 있음을 확인하였다.<sup>5)</sup>

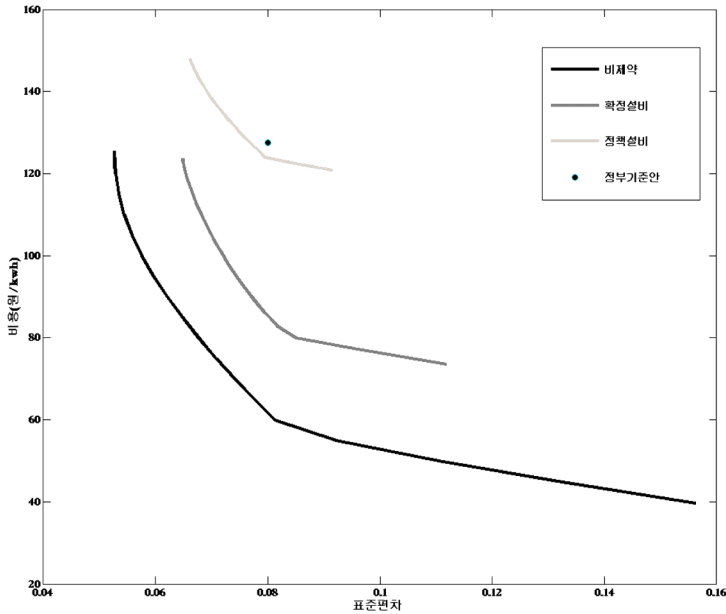
## 2. 기존 전원믹스 계획과 비교

포트폴리오 이론을 적용, 제6차 전력수급 기본계획의 마지막 예측치인 2027년 정부 발전 비중안의 비용과 표준편차를 계산하면 각각 127.56원/kWh와 0.08이 산출된다. 이를 비용-위험 기준에 적용하면 다음 <그림 2>와 같다.

---

5) 민관 합동 워킹그룹 에너지기본계획 정책제안(2013.10)에서는 2035년 원전 비중을 22%~29%의 범위에서 결정하자는 권고안을 마련하였다. 또한 친환경 발전원인 LNG 발전원의 비중과 분산형 발전원의 비중을 크게 확대하기로 합의하고 있다.

〈그림 2〉 효율적 전원구성 곡선과 기존 전원믹스 계획 비교



포트폴리오 이론을 통해 도출된 효율적 곡선과 정부의 기존 전원구성안을 비교할 경우, 정부의 기존 전원구성안은 효율적 곡선을 따르지 않기 때문에 동일한 위험 수준에서 보다 낮은 비용은 갖는 전원구성과 동일한 비용수준에서 보다 낮은 위험을 지닌 전원구성이 가능함을 알 수 있다. 이는 현재 정부의 전원구성안이 비용 위험 기준에서 개선될 여지가 있음을 의미한다.

### 3. 민감도 분석

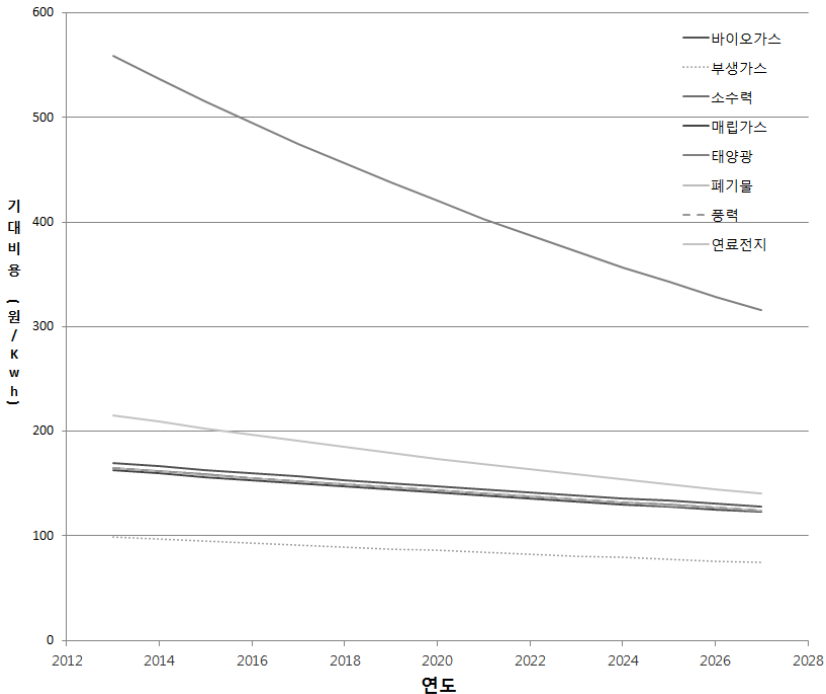
포트폴리오 이론을 활용, 비용-위험을 고려한 신규 전원 구성 시 현재 전원구성 보다 동일한 위험에서 더 낮은 비용을 가진 전원구성과 동일한 비용 수준에서 더 낮은 위험을 가진 전원 구성이 가능함을 확인할 수 있었다. 이러한 분석 결과를 바탕으로 화석연료 가격 증가와 신재생 발전원 비용이 감소하는 시나리오를 가정하여 전원 구성 계획을 분석해보면 정책적 함의를 도출하기 위한 보다 풍부한 정보를 얻을 수 있을 것이다. 이러한 측면에서 본 연구는 신재생 발전원의 비용하락과 화석연료의 비용증가에 따른 시나리오 분석을 실시하였다.



### 1) 신재생 발전원의 비용하락 시나리오

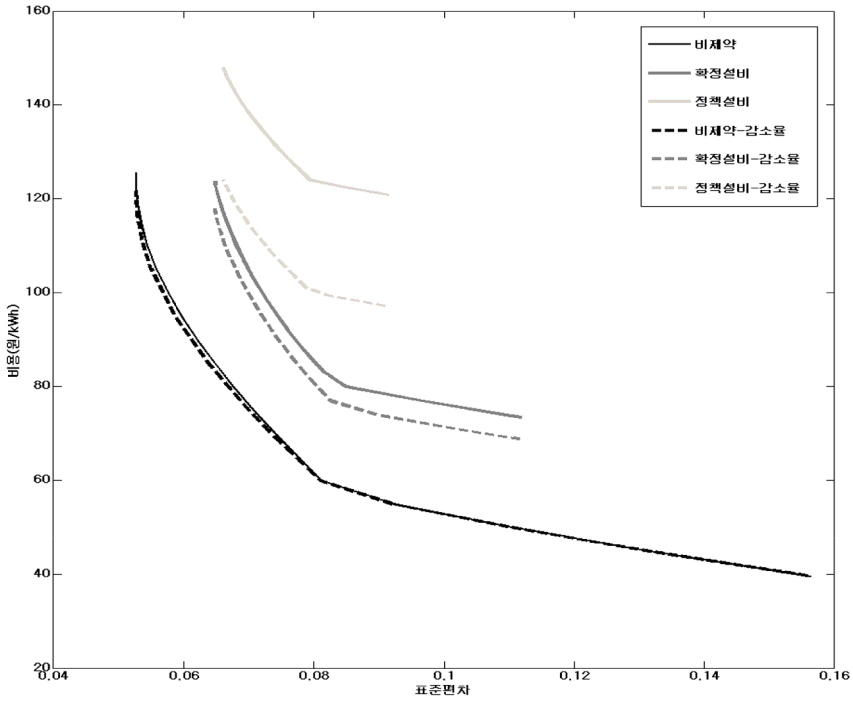
신재생 발전원은 기술 발전과 설비용량 증가로 인해 향후 지속적인 발전 비용 감소가 예상된다. 신재생 에너지원의 평균 발전 비용은 태양광 기준 2006년 694.3kWh/원 수준에서 2012년 589.7kWh/원 수준으로 큰 폭으로 하락하여 연료가격 증가로 인해 비용이 증가한 전통 발전원(석유 발전 기준, 비용이 2006년 116.7kWh/원에서 2012년 252.96kWh/원) 비용과 격차를 줄이고 있다. 이러한 상황을 분석에 반영하기 위해 본 논문에서는 태양광에는 연간 4%, 연료전지에는 연간 3%, 풍력과 나머지 신재생 발전원에는 연간 2%의 감소율을 적용하여 연도별 기준가격을 산정, 포트폴리오 분석을 수행하였다.<sup>6)</sup> 발전원별 감소율을 적용한 연도별 가격과 이를 적용한 포트폴리오 전원구성은 다음 <그림 3>, <그림 4>와 같다.

<그림 3> 감소율을 적용한 연도별 기준가격



6) 전원별 감소율은 산업자원부의 “신재생에너지 발전차액지원제도 개선 및 RPS 제도와 연계방안” 보고서에서 제시한 연간 감소율에 따른다.

<그림 4> 감소율을 적용한 전원믹스의 효율적 곡선 비교



<그림 4>을 구성하는 각 시나리오에 대한 전원구성 포트폴리오의 기대비용과 표준편차의 범위는 다음 <표 8>과 같다.

<표 8> 감소율을 적용한 효율적 곡선의 비용과 표준편차 범위

구분	비제약	확정설비	정책설비
비용 (원/kWh)	39.63~121.68	68.67~117.82	97.08~124.02
표준편차	0.1563~0.0527	0.1123~0.0648	0.0915~0.0661

신재생 발전원의 감소율을 적용한 포트폴리오 분석 결과, 동일 위험수준에서 기대 비용이 감소하였음을 확인하였다. 시나리오별 분석 결과에 따르면 비제약 곡선의 경우, 상대적으로 낮은 위험 수준을 갖는 포트폴리오의 비용만 소폭 감소하여 큰 변화가 없음을 확인할 수 있다. 그러나 확정설비와 정책설비의 곡선에서는 동일 위

협 수준에 대해 약 10%의 비용 하락이 이루어져 신재생 발전원의 비용하락이 전체 전원 구성의 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 특히 신재생 발전원의 비중이 가장 큰 정책설비 곡선의 경우, 가장 큰 비용감소가 나타나 향후 전원구성에 있어 신재생 발전원의 비용 하락이 전원 믹스 내 전원 다양성의 큰 차이를 발생시킴을 알 수 있었다. 즉, 신재생 발전원의 비용 하락이 신재생 발전원 비중의 증가뿐만 아니라 다른 발전원과 전원 구성에 있어 발전원의 다양성을 증가시키는 결과를 가져 온다는 것을 확인할 수 있다.

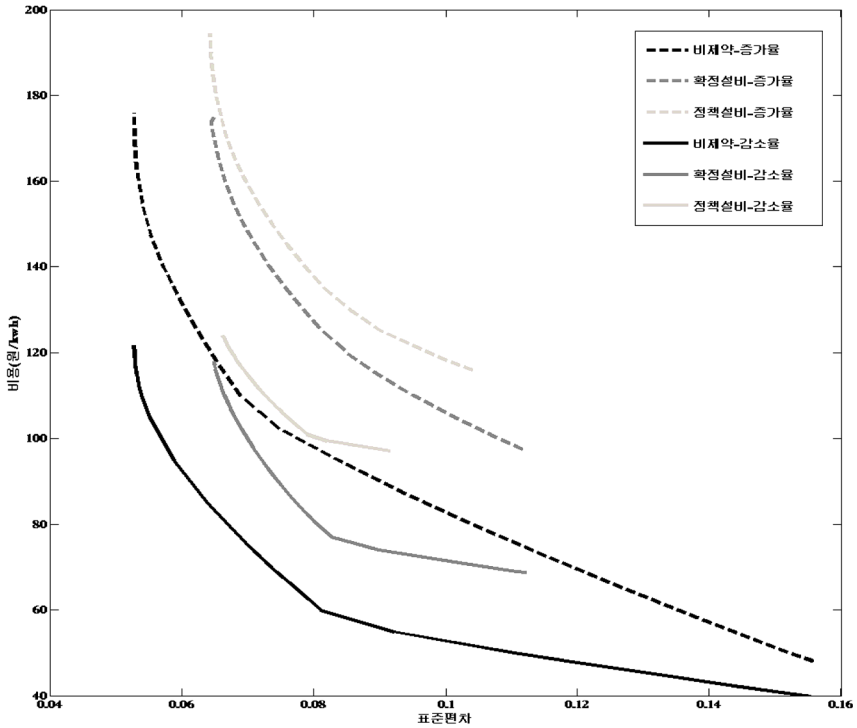
## 2) 화석연료 발전원의 비용증가와 신재생 발전원의 비용하락 시나리오

신재생 발전원에 대한 비용하락과 더불어 국제 연료가격 상승이 전원구성에 어떠한 변화를 야기하는지도 살펴보자. 현재 석유, 석탄, LNG(유가 연동)를 비롯한 화석연료는 높은 가격 수준을 유지하고 있다. 금융위기와 경기침체에서 완전히 회복하지 못한 경제 상황을 고려할 때 향후 경기가 회복되기 시작한다면 수요증가로 인해 국제 에너지 가격은 현재보다 높은 가격 수준을 유지 할 것으로 예상된다. 따라서 국제 연료가격 증가에 따른 추가 시나리오를 가정하여 전원믹스 분석을 수행하였다. 화석연료 발전원에 대한 비용 증가율은 EIA에서 2013년 발간한 “Annual Energy Outlook 2013 with Projections to 2040”에서 제시한 연평균 가스 가격 증가율인 3.256%을 가정하였다. 이어 앞서 감소율을 적용한 신재생 발전원 자료와 연 평균 가격 증가율(3.256%)을 적용한 화석연료 발전원 자료를 적용, 포트폴리오 분석을 수행하였으며 그 결과는 다음 <그림 5>와 같다. <그림 5>을 구성하는 각 조건들에 대한 전원구성 포트폴리오의 기대비용과 표준편차의 범위는 다음 <표 9>와 같다.

<표 9> 증가율, 감소율을 적용한 효율적 곡선의 비용과 표준편차 범위

구분	비제약	확정설비	정책설비
비용 (원/kWh)	47.84~175.38	97.11~174.85	115.45~194.38
표준편차	0.1563~0.0527	0.1123~0.0649	0.1046~0.0643

<그림 5> 증가율, 감소율을 적용한 전원믹스의 효율적 프런티어 비교



화석연료 발전원의 증가율을 적용하여 포트폴리오 분석을 수행한 결과, 기존의 분석결과와는 상당한 차이를 보이는 효율적 곡선이 도출되었다. <그림 5>에서 볼 수 있듯 감소율만 적용한 전원구성 결과에 비해 선택 가능한 효율적 곡선의 범위가 증가하였으며 특히 정책설비에서 선택 가능한 전원구성의 범위가 크게 증가하였다.

그러나 전원구성 범위는 증가하였지만 비제약, 확장설비, 정책설비 모두 기존 분석결과에 비해 동일 위험수준에서 20~40% 정도의 비용 증가를 보였다. 이러한 비용증가로 인해 전원구성에 있어 화석연료를 사용하는 발전원 중 특히 기저부하 발전원의 비중이 감소하였고 신재생 발전원의 비중이 증가하였다. 특히 주목할 만한 차이는 유연탄과 풍력 발전원에서 나타났다. 전원구성에서 유연탄 발전원은 큰 폭으로 감소하였으며 감소한 유연탄의 설비용량의 대부분을 신재생 발전원 중 풍력 발전원과 침두부하 발전원이 대체하였다. 이러한 결과가 도출된 이유는 전원 간 상

관관계와 함께 간헐성을 가진 신재생 발전원의 특성에 기인한다. 불안정한 출력을 가진 신재생 발전원을 효율적으로 운영하려면 전력저장시스템(Electricity Storage System, ESS)과 같은 기반 인프라 설비가 필요하다. 그러나 현재 이러한 인프라가 충분히 구축되지 못했기 때문에 본 연구의 분석결과에서는 침두부하 발전원의 비중이 증가하였다. 결국 화석 연료가격 증가에 따른 민감도 분석결과, 화석연료의 가격 증가는 전원구성에 있어 연료가격 증가보다 높은 수준으로 전원믹스 전체 비용을 상승시킴을 알 수 있다.

## VI. 결론

지난 5년간 급격한 전력소비증가와 수요 예측 실패에 따른 전력 수급난 그리고 일본의 후쿠시마 사태와 같은 대내외적 환경 변화로 인해 안정적 전력공급을 위한 전원구성계획의 필요성이 증대되었다. 이러한 여건을 고려하기 위해 본 연구에서는 포트폴리오 이론의 비용-위험 기준을 적용한 신규전원구성에 대한 연구를 수행하였다. 포트폴리오를 적용한 전원구성계획은 WASP 모형의 비용 최소화 개념에서 더 나아가 불확실성을 고려, 비용-위험 기준에서 가장 효율적인 전원을 구성하는 데 있다.

본 연구에서는 이러한 발전환경 변화를 신규전원구성 계획에 현실적으로 반영하기 위해 여러 가지 제약조건들과 시나리오를 설정하였다. 적용 가능한 발전원이 증가한 상황을 고려, 총 15개 발전원에 대해 기존 설비용량과 연도별 폐지 설비용량을 고려하였으며 월간 정산단가의 흐름을 이용하여 발전원별 비용과 위험(표준편차)을 산출하였다. 또한 발전원별 확정설비와 정책설비용량을 분석을 위한 제약조건으로 설정, 전원구성에 있어 전원별 다양성을 고려하였다. 이외에 신재생 발전원별 특성에 따른 연도별 감소율을 적용하여 신재생 에너지 확대에 따른 단가하락을 고려하였고 향후 경기회복에 따른 국제연료가격 상승을 가정하여 시나리오 분석을 수행하였다.

분석 결과, 비용-위험 기준에서 다양한 전원구성 결과를 도출 할 수 있었다. 특히 원전 비중이 증가할수록 비용에 우위를 둔 전원구성이, 신재생 비중이 증가할수록 위험에 우위를 둔 전원구성 결과가 도출 되었으며 위험수준 약 0.06~0.09와 원전

비중 19%~36% 범위 내에서 기 설비 용량과 기존 정책 방향에 가장 적합한 전원 구성이 도출되었다. 또한 연구 결과와 기존 신규전원구성안을 비교한 결과, 기존 신규전원구성계획은 효율적 곡선 상에 위치하지 않기 때문에 비용-위험 기준에서 개선할 여지가 있음을 확인하였다.

추가적으로 전원별 특성에 따른 감소율, 증가율을 적용한 시나리오 분석에서도 유용한 결과가 도출되었다. 감소율을 적용한 시나리오 분석 결과에서는 신재생 발전원의 비용감소가 전체 전원 구성의 비용 감소 효과 이상의 영향을 미치는 것을 확인 하였다. 신재생 발전원의 비용감소는 전체 전원믹스 내 발전원의 다양성 증가로 이어졌고 전원 다양성 증가에 따른 비용 상승 증가율이 상당히 감소함을 확인하였다. 증가율을 적용한 시나리오 분석 결과, 선택 가능한 효율적 곡선의 범위는 넓어졌지만 동일 위험 수준에서 20~40%에 달하는 큰 폭의 비용 증가와 연료가격 증가보다 높은 수준으로 전원믹스 전체 비용이 상승함을 확인하였다.

또 한가지 주목할 만한 점은 유연탄 발전과 풍력 발전원의 비중 변화였다. 화석 연료의 비용 증가에 따라 화석 연료를 이용한 발전원의 비중이 감소했는데 그 중 기저 발전원인 유연탄 발전의 비중이 큰 폭으로 감소하였다. 이는 전원 간 상관관계에 따른 결과로 신재생 비중이 증가하면 신재생 발전원과 낮은 상관관계를 보이는 첨두부하 발전원(석유, LNG)의 비중이 증가하기 때문이다. 이러한 결과는 현재 신재생 발전원이 안고 있는 문제에도 기인한다. 신재생 발전원은 전통적 발전원에 비해 간헐적인, 상대적으로 불안정한 발전량을 보이기 때문에 효과적인 운영을 위해서는 ESS와 같은 기반 인프라 설비 확대가 필요하다. 그러나 아직은 이러한 인프라가 부족하고 분석에 적용 가능한 자료 부족으로 본 연구의 전원구성 결과에서는 첨두부하 발전원이 증가하는 결과가 나타났다. 이러한 점은 향후 ESS와 같은 기반 인프라가 확충된다면 비용-위험 수준에서 보다 효율적이고 경제적인 전원구성이 가능함을 시사한다.

이상의 분석결과와 같이 본 연구는 현재 발전환경을 비용-위험 수준에서 고려하여 신규 전원 구성 계획을 수행하였다. 포트폴리오 이론을 적용한 전원구성 계획은 기존의 WASP 모형에서 고려하지 않고 있는 부분을 고려하여 전원구성의 최적화를 추구한다는 측면에서 의미가 있다. 그러나 전력부하패턴과 발전원의 상대적 설비

크기를 고려하지 못하는 한계 또한 지니고 있다. 따라서 기존의 방법론과 상호 비교를 통해 전원구성 계획을 보완할 필요가 있으며 분석의 정확도를 높이기 위해 향후 보다 정확한 비용흐름에 대한 자료 구성이 필요하다. 향후 연구에서는 전원구성에 있어 공급 측면뿐 아니라 수요 측면을 보다 고려하기 위해 포트폴리오 전원구성 계획의 전력부하곡선을 적용할 필요가 있어 보인다. 전력부하곡선을 본 논문 모형에 추가 적용한다면 비용-위험 측면에서 보다 효율적인 전원믹스가 도출될 것으로 기대된다.

## [References]

1. 문영석·노동석·조상민, “에너지믹스 변화의 비용 추정: 신재생확대 시나리오,” 「에너지경제연구」, 제10권, 제2호, 2011, pp. 169~186.
2. 산업자원부, 『신·재생에너지 발전차액지원제도 개선 및 RPS제도와 연계방안』, 2006.
3. 윤원철, “포트폴리오 기법을 활용한 신규 전원 선택,” 「에너지경제연구」, 제8권, 제1호, 2009, pp. 59~90.
4. 에너지관리공단, 『2012 신재생에너지 백서』, 2012.
5. 이유수, “포트폴리오 이론을 활용한 전원믹스 계획의 분석,” 「에너지경제연구, 기본연구보고서」, 12-07, 2012.
6. 전력통계시스템, <http://www.kpx.or.kr/epsis>, 전력거래소.
7. 정정현, 『현대투자론』, 법문사, 2011.
8. 지식경제부, 『제 6차 전력수급기본계획』, 2012.
9. 지식경제부, 『신·재생에너지 발전전력의 기준가격 지침』, 2012.
10. Awerburch, S., “Portfolio-Based Electricity Generation Planning: Implications for Renewables and Energy Security,” REEEP, 2004.
11. Beltran, H., “Modern Portfolio Theory applied to Electricity Generation Planning,” Ingeniero, National Autonomous University of Mexico, 2005.
12. Delarue, E., C. De Jonghen, R. Belmans, and W. D’haeseleer, “Applying Portfolio Theory to the Electricity Sector: Energy versus power,” Energy Economics, Vol. 33, 2011, pp. 12~13.

13. Gotham, D., K. Muthuramanm, R. Rardin, and S. Ruangpattana, “A Load Factor based Mean-Variance Analysis for Fuel Diversification,” *Energy Economics*, Vol. 31, 2009, pp. 249~256.
14. Markowitz, H., “Portfolio Selection,” *Journal of Finance*, Vol. 7, 1952, pp. 77~91.
15. Robert C. Merton, “An Analytic Derivation of the Efficient Portfolio Frontier,” *The Journal of Financial and Quantitative Analysis*, Vol. 7, No. 4, 1972, pp. 1851~1872.
16. EIA, *Annual Energy Outlook 2013 with Projections to 2040*, U.S. Energy Information Administration, 2013.



[Appendice]

〈부록 표 1〉 비제약 비용-표준편차에 따른 전원구성 결과

비용 (원/kWh)	표준 편차	원자력	유연탄	수력	석유	LNG	바이오	부생 가스	태양광	폐기물	풍력	연료 전지
39.63	0.1563	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.39%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
40	0.1545	97.99%	2.01%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.39%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
45	0.1317	71.15%	28.85%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.39%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
50	0.0111	44.30%	55.70%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.39%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
55	0.0921	17.46%	82.54%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.39%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
60	0.0813	0.00%	97.31%	0.00%	0.00%	0.00%	2.30%	0.39%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
65	0.0776	0.00%	92.31%	0.02%	2.00%	0.00%	5.28%	0.39%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
70	0.0742	0.00%	87.40%	0.00%	3.87%	0.00%	5.21%	0.39%	0.00%	1.17%	1.96%	0.00%
75	0.0709	0.00%	82.50%	0.02%	5.74%	0.00%	4.81%	0.39%	0.00%	2.74%	3.80%	0.00%
80	0.0677	0.00%	77.59%	0.00%	7.60%	0.00%	4.41%	0.39%	0.00%	4.36%	5.65%	0.00%
85	0.0648	0.00%	72.67%	0.02%	9.46%	0.00%	5.56%	0.39%	0.00%	3.79%	8.12%	0.00%
90	0.0621	0.00%	67.82%	0.02%	11.38%	0.00%	5.04%	0.39%	0.00%	5.47%	9.88%	0.00%
95	0.0597	0.00%	62.86%	0.02%	13.17%	0.00%	5.95%	0.39%	0.00%	4.97%	12.64%	0.00%
100	0.0576	0.00%	57.98%	0.02%	15.07%	0.00%	2.80%	0.39%	0.00%	10.73%	13.02%	0.00%
105	0.0559	0.00%	53.06%	0.02%	16.93%	0.00%	2.85%	0.39%	0.00%	11.79%	14.96%	0.00%
110	0.0545	0.00%	48.15%	0.02%	18.80%	0.00%	2.86%	0.39%	0.00%	13.05%	16.74%	0.00%
115	0.0535	0.00%	43.26%	0.02%	20.66%	0.00%	1.60%	0.39%	0.00%	15.52%	18.54%	0.00%
120	0.0529	0.00%	38.07%	0.02%	22.03%	1.97%	1.59%	0.39%	0.00%	15.74%	20.20%	0.00%
122.5	0.0528	0.00%	35.40%	1.32%	22.51%	3.64%	0.01%	0.39%	0.00%	15.95%	20.79%	0.00%
1253.46	0.0527	0.00%	32.25%	4.27%	23.06%	5.45%	0.53%	0.39%	0.00%	11.91%	22.14%	0.00%

〈부록 표 2〉 확정설비 비용-표준편차에 따른 전원구성 결과

비용 (원/kWh)	표준 편차	원자력	유연탄	수력	석유	LNG	바이오	부생 가스	태양광	폐기물	풍력	연료 전지
73.48252	0.1119	57.06%	16.32%	0.06%	0.00%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	9.09%	0.75%
74	0.1096	54.28%	19.10%	0.06%	0.00%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	9.09%	0.75%
77	0.0968	38.17%	35.21%	0.06%	0.00%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	9.09%	0.75%
80	0.0850	22.07%	51.31%	0.06%	0.00%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	9.09%	0.75%
83	0.0817	19.82%	51.80%	0.06%	1.76%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	9.09%	0.75%
86	0.0796	19.82%	49.75%	0.06%	3.81%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	9.09%	0.75%
89	0.0777	19.82%	47.70%	0.06%	5.86%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	9.09%	0.75%
92	0.0760	19.82%	45.65%	0.06%	7.91%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	9.09%	0.75%
95	0.0745	19.82%	43.27%	0.06%	9.66%	14.63%	1.37%	0.39%	0.87%	0.10%	9.09%	0.75%
98	0.0730	19.82%	40.28%	0.06%	10.88%	14.63%	3.12%	0.39%	0.87%	0.11%	9.09%	0.75%
101	0.0717	19.82%	37.33%	0.06%	12.00%	14.63%	3.61%	0.39%	0.87%	0.11%	10.43%	0.75%
104	0.0704	19.82%	34.38%	0.06%	13.12%	14.63%	4.06%	0.39%	0.87%	0.11%	11.81%	0.75%
107	0.0692	19.82%	31.45%	0.06%	14.22%	14.63%	4.24%	0.39%	0.87%	0.11%	13.46%	0.75%
110	0.0681	19.82%	28.48%	0.06%	15.35%	14.63%	4.96%	0.39%	0.87%	0.11%	14.57%	0.75%
113	0.0672	19.82%	25.53%	0.06%	16.46%	14.63%	5.42%	0.39%	0.87%	0.11%	15.95%	0.75%
116	0.0664	19.82%	22.58%	0.06%	17.58%	14.63%	5.87%	0.39%	0.87%	0.11%	17.34%	0.75%
119	0.0657	19.82%	19.63%	0.06%	18.70%	14.63%	6.32%	0.39%	0.87%	0.11%	18.72%	0.75%
122	0.0651	19.82%	16.68%	0.06%	19.81%	14.63%	6.77%	0.39%	0.87%	0.11%	20.10%	0.75%
123	0.0649	19.82%	16.32%	0.06%	20.76%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	7.74%	17.92%	0.75%
123.7111	0.0648	19.82%	16.32%	0.06%	21.54%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	6.39%	18.49%	0.75%

〈부록 표 3〉 정책설비 비용-표준편차에 따른 전원구성 결과

비용 (원/kWh)	표준 편차	원자력	유연탄	수력	석유	LNG	바이오	부생 가스	태양광	폐기물	풍력	연료 전지
120.8531	0.091506	36.13%	16.32%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	14.63%	0.00%	0.39%	0.15%	1.45%
121	0.0909	35.35%	17.11%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	14.63%	0.00%	0.39%	0.15%	1.45%
122.5	0.084884	27.29%	25.17%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	14.63%	0.00%	0.39%	0.15%	1.45%
124	0.079528	19.82%	32.57%	0.00%	0.00%	0.00%	0.07%	14.63%	0.00%	0.39%	0.15%	1.45%
125.5	0.078376	19.82%	31.54%	0.00%	0.00%	0.00%	1.10%	14.63%	0.00%	0.39%	0.15%	1.45%
127	0.077259	19.82%	30.52%	0.00%	0.00%	0.00%	2.12%	14.63%	0.00%	0.39%	0.15%	1.45%
128.5	0.076177	19.82%	29.49%	0.00%	0.00%	0.00%	3.15%	14.63%	0.00%	0.39%	0.15%	1.45%
130	0.075132	19.82%	28.47%	0.00%	0.00%	0.00%	4.17%	14.63%	0.00%	0.39%	0.15%	1.45%
131.5	0.074127	19.82%	27.44%	0.00%	0.00%	0.00%	5.20%	14.63%	0.00%	0.39%	0.15%	1.45%
133	0.073161	19.82%	26.42%	0.00%	0.00%	0.00%	6.22%	14.63%	0.00%	0.39%	0.15%	1.45%
134.5	0.072238	19.82%	25.39%	0.00%	0.00%	0.00%	7.25%	14.63%	0.00%	0.39%	0.15%	1.45%
136	0.071358	19.82%	24.37%	0.00%	0.00%	0.00%	8.27%	14.63%	0.00%	0.39%	0.15%	1.45%
137.5	0.070523	19.82%	23.35%	0.00%	0.00%	0.00%	9.29%	14.63%	0.00%	0.39%	0.15%	1.45%
139	0.069735	19.82%	22.32%	0.00%	0.00%	0.00%	10.32%	14.63%	0.00%	0.39%	0.15%	1.45%
140.5	0.068996	19.82%	21.30%	0.00%	0.00%	0.00%	11.34%	14.63%	0.00%	0.39%	0.15%	1.45%
143	0.067876	19.82%	19.59%	0.00%	0.00%	0.00%	13.05%	14.63%	0.00%	0.39%	0.15%	1.45%
144.5	0.067273	19.82%	18.56%	0.00%	0.00%	0.00%	14.08%	14.63%	0.00%	0.39%	0.15%	1.45%
146	0.066724	19.82%	17.54%	0.00%	0.00%	0.00%	15.10%	14.63%	0.00%	0.39%	0.15%	1.45%
147	0.066389	19.82%	16.86%	0.00%	0.00%	0.00%	15.78%	14.63%	0.00%	0.39%	0.15%	1.45%
147.9676	0.066131	19.82%	16.32%	0.00%	0.00%	0.00%	16.32%	14.63%	1.45%	0.39%	0.15%	0.00%

〈부록 표 4〉 감소율 비제약 비용-표준편차에 따른 전원구성 결과

비용 (원/kWh)	표준 편차	원자력	유연탄	수력	석유	LNG	바이오	부생 가스	태양광	폐기물	풍력	연료 전지
39.62537	0.156296	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
40	0.154554	98.33%	1.28%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.39%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
42.5	0.142936	84.91%	14.70%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.39%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
45	0.131644	71.49%	28.12%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.39%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
47.5	0.120768	58.07%	41.54%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.39%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
50	0.110431	44.65%	54.96%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.39%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
55	0.092093	17.81%	81.80%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.39%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
60	0.081031	0.00%	97.07%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.39%	0.00%	0.00%	2.54%	0.00%
65	0.077269	0.00%	91.21%	0.00%	1.41%	0.00%	0.00%	0.39%	0.00%	4.42%	2.57%	0.00%
70	0.073514	0.00%	85.99%	0.00%	3.32%	0.00%	0.51%	0.39%	0.00%	0.00%	9.78%	0.00%
75	0.070044	0.00%	80.51%	0.00%	5.01%	0.00%	0.00%	0.39%	0.00%	0.00%	14.09%	0.00%
85	0.063835	0.00%	70.43%	0.00%	9.16%	0.00%	0.35%	0.39%	0.00%	0.00%	19.67%	0.00%
95	0.058754	0.00%	60.35%	0.07%	13.32%	0.00%	0.35%	0.39%	0.00%	4.84%	20.68%	0.00%
105	0.055071	0.00%	50.27%	0.07%	17.49%	0.00%	0.38%	0.39%	0.00%	10.29%	21.10%	0.00%
110	0.05385	0.00%	45.25%	0.08%	19.55%	0.03%	1.01%	0.39%	0.00%	12.42%	21.27%	0.00%
112.5	0.053406	0.00%	42.73%	0.08%	20.59%	0.03%	1.02%	0.39%	0.00%	13.79%	21.37%	0.00%
115	0.05308	0.00%	40.27%	0.08%	21.68%	0.03%	1.02%	0.39%	0.00%	14.20%	22.33%	0.00%
117.5	0.052869	0.00%	37.69%	0.08%	22.67%	0.03%	1.03%	0.39%	0.00%	15.97%	22.15%	0.00%
120	0.052774	0.00%	35.35%	1.71%	23.51%	0.03%	1.03%	0.39%	0.00%	15.92%	22.07%	0.00%
121.6802	0.052686	0.00%	32.89%	0.86%	22.97%	5.17%	0.54%	0.39%	0.00%	15.58%	21.60%	0.00%

〈부록 표 5〉 감소율 확정설비 비용-표준편차에 따른 전원구성 결과

비용 (원/kWh)	표준 편차	원자력	유연탄	수력	석유	LNG	바이오	부생 가스	태양광	폐기물	풍력	연료 전지
68.67433	0.112201	57.37%	16.32%	0.06%	0.00%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	9.09%	0.44%
69	0.110755	55.62%	18.07%	0.06%	0.00%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	9.09%	0.44%
71	0.102075	44.88%	28.81%	0.06%	0.00%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	9.09%	0.44%
74	0.089858	28.78%	44.91%	0.06%	0.00%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	9.09%	0.44%
77	0.082644	19.82%	52.96%	0.06%	0.91%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	9.09%	0.44%
80	0.080553	19.82%	50.91%	0.06%	2.96%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	9.09%	0.44%
83	0.078608	19.82%	48.86%	0.06%	5.01%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	9.09%	0.44%
86	0.076821	19.82%	46.80%	0.06%	7.05%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	9.11%	0.44%
89	0.075159	19.82%	43.78%	0.06%	8.29%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	10.89%	0.44%
92	0.07359	19.82%	40.76%	0.06%	9.53%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	12.67%	0.44%
95	0.072119	19.82%	37.74%	0.06%	10.78%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	14.45%	0.44%
98	0.070753	19.82%	34.72%	0.06%	12.02%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	16.22%	0.44%
101	0.069498	19.82%	31.69%	0.06%	13.26%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	18.00%	0.44%
104	0.06836	19.82%	28.67%	0.06%	14.51%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	19.78%	0.44%
107	0.067345	19.82%	25.65%	0.06%	15.75%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	21.56%	0.44%
110	0.066459	19.82%	22.63%	0.06%	17.00%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.10%	23.33%	0.44%
113	0.06569	19.82%	19.60%	0.06%	18.25%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	3.93%	21.27%	0.44%
116	0.065062	19.82%	16.62%	0.06%	19.49%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	5.70%	21.24%	0.44%
117	0.064907	19.82%	16.32%	0.06%	20.54%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	6.10%	20.09%	0.44%
117.8202	0.064866	19.82%	16.32%	0.06%	21.52%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	6.65%	18.56%	0.44%

〈부록 표 6〉 감소율 정책설비 비용-표준편차에 따른 전원구성 결과

비용 (원/kWh)	표준 편차	원자력	유연탄	수력	석유	LNG	바이오	부생 가스	태양광	폐기물	풍력	연료 전지
97.08383	0.091506	36.13%	16.32%	0.15%	0.00%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	21.75%	2.21%
98	0.087775	31.22%	21.24%	0.15%	0.00%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	21.75%	2.21%
99.5	0.08193	23.16%	29.30%	0.15%	0.00%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	21.75%	2.21%
101	0.078933	19.82%	32.04%	0.15%	0.60%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	21.75%	2.21%
102.5	0.077799	19.82%	31.02%	0.15%	1.62%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	21.75%	2.21%
104	0.076699	19.82%	29.99%	0.15%	2.65%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	21.75%	2.21%
105.5	0.075637	19.82%	28.97%	0.15%	3.67%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	21.75%	2.21%
107	0.074612	19.82%	27.94%	0.15%	4.70%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	21.75%	2.21%
108.5	0.073626	19.82%	26.92%	0.15%	5.72%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	21.75%	2.21%
110	0.072682	19.82%	25.89%	0.15%	6.75%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	21.75%	2.21%
111.5	0.071781	19.82%	24.87%	0.15%	7.77%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	21.75%	2.21%
113	0.070924	19.82%	23.84%	0.15%	8.80%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	21.75%	2.21%
114.5	0.070113	19.82%	22.82%	0.15%	9.82%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	21.75%	2.21%
116	0.06935	19.82%	21.80%	0.15%	10.84%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	21.75%	2.21%
117.5	0.068636	19.82%	20.77%	0.15%	11.87%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	21.75%	2.21%
119	0.067973	19.82%	19.75%	0.15%	12.89%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	21.75%	2.21%
120.5	0.067362	19.82%	18.72%	0.15%	13.92%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	21.75%	2.21%
122	0.066805	19.82%	17.70%	0.15%	14.94%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	21.75%	2.21%
123.5	0.066303	19.82%	16.67%	0.15%	15.97%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	21.75%	2.21%
124.0153	0.066144	19.82%	16.32%	0.15%	16.32%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	21.75%	2.21%

〈부록 표 7〉 증가율, 감소율 비제약 비용-표준편차에 따른 전원구성 결과

비용 (원/kWh)	표준 편차	원자력	유연탄	수력	석유	LNG	바이오	부생 가스	태양광	폐기물	풍력	연료 전지
47.84375	0.156296	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
50	0.152133	95.56%	4.05%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.39%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
57.5	0.139409	80.76%	18.85%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.39%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
65	0.127112	65.99%	33.57%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.39%	0.00%	0.00%	0.05%	0.00%
72.5	0.115295	52.91%	43.08%	0.00%	0.00%	0.00%	3.58%	0.39%	0.00%	0.00%	0.05%	0.00%
80	0.103975	39.85%	52.49%	0.00%	0.00%	0.00%	7.14%	0.39%	0.00%	0.07%	0.05%	0.00%
87.5	0.093336	27.17%	60.86%	1.68%	0.00%	0.00%	9.77%	0.39%	0.00%	0.07%	0.05%	0.00%
95	0.083634	14.03%	70.81%	4.73%	0.00%	0.00%	9.90%	0.39%	0.00%	0.08%	0.06%	0.00%
102.5	0.074516	2.81%	75.10%	0.00%	0.00%	0.00%	9.15%	0.39%	0.00%	0.00%	12.56%	0.00%
110	0.06888	0.00%	65.37%	0.19%	1.16%	0.00%	0.00%	0.39%	0.00%	0.00%	32.89%	0.00%
117.5	0.065445	0.00%	61.70%	0.19%	4.05%	0.00%	1.26%	0.39%	0.00%	0.00%	32.42%	0.00%
125	0.062326	0.00%	57.81%	0.19%	6.90%	0.00%	1.26%	0.39%	0.00%	0.91%	32.54%	0.00%
132.5	0.059558	0.00%	53.89%	0.29%	9.76%	0.00%	3.64%	0.39%	0.00%	1.38%	30.65%	0.00%
140	0.057177	0.00%	49.93%	4.59%	12.59%	0.00%	1.86%	0.39%	0.00%	1.90%	28.74%	0.00%
147.5	0.055261	0.00%	45.89%	10.99%	15.41%	0.00%	0.07%	0.39%	0.00%	0.25%	27.00%	0.00%
155	0.053877	0.00%	41.98%	12.76%	18.26%	0.00%	0.07%	0.39%	0.00%	0.25%	26.29%	0.00%
162.5	0.053047	0.00%	38.03%	14.96%	21.10%	0.00%	0.07%	0.39%	0.00%	0.25%	25.19%	0.00%
170	0.052764	0.00%	34.37%	14.87%	22.85%	1.96%	0.34%	0.39%	0.00%	0.25%	24.97%	0.00%
172.5	0.052733	0.00%	33.38%	14.65%	22.90%	3.56%	0.34%	0.39%	0.00%	0.26%	24.52%	0.00%
175.9047	0.05269	0.00%	32.07%	8.03%	23.21%	5.38%	0.23%	0.39%	0.00%	10.49%	20.21%	0.00%

〈부록 표 8〉 증가율, 감소율 확정설비 비용-표준편차에 따른 전원구성 결과

비용 (원/kWh)	표준 편차	원자력	유연탄	수력	석유	LNG	바이오	부생 가스	태양광	폐기물	풍력	연료 전지
97.10609	0.112201	57.37%	16.32%	0.06%	0.00%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	9.09%	0.44%
98	0.11091	56.20%	16.32%	0.06%	0.00%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	10.25%	0.44%
100	0.108073	53.60%	16.32%	0.06%	0.00%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	12.86%	0.44%
105	0.101321	47.08%	16.32%	0.06%	0.00%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	19.38%	0.44%
110	0.095139	40.56%	16.32%	0.06%	0.00%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	25.89%	0.44%
115	0.089645	34.05%	16.32%	0.06%	0.00%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	32.41%	0.44%
120	0.084972	27.53%	16.32%	0.06%	0.00%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	38.93%	0.44%
125	0.081256	21.01%	16.32%	2.51%	0.00%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	42.99%	0.44%
130	0.07837	19.82%	16.32%	3.17%	1.79%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	41.73%	0.44%
135	0.075725	19.82%	16.32%	3.23%	3.99%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	39.47%	0.44%
140	0.073315	19.82%	16.32%	3.29%	6.19%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	37.21%	0.44%
145	0.071162	19.82%	16.32%	3.35%	8.38%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	34.96%	0.44%
150	0.069292	19.82%	16.32%	3.41%	10.58%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	32.70%	0.44%
155	0.067727	19.82%	16.32%	3.48%	12.78%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	30.44%	0.44%
160	0.066488	19.82%	16.32%	3.54%	14.97%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	28.19%	0.44%
165	0.065562	19.82%	14.62%	4.40%	16.97%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	27.03%	0.44%
170	0.064846	19.82%	12.00%	5.69%	18.87%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	26.45%	0.44%
172	0.064617	19.82%	10.95%	6.21%	19.63%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.09%	26.22%	0.44%
174	0.064422	19.82%	9.91%	6.73%	20.39%	14.63%	0.74%	0.39%	0.87%	0.10%	25.99%	0.44%
174.8519	0.064893	19.82%	16.32%	0.06%	21.49%	14.63%	5.55%	0.39%	0.87%	0.13%	20.29%	0.44%



〈부록 표 9〉 증가율, 감소율 정책설비 비용-표준편차에 따른 전원구성 결과

비용 (원/kWh)	표준 편차	원자력	유연탄	수력	석유	LNG	바이오	부생 가스	태양광	폐기물	풍력	연료 전지
115.4968	0.104571	52.46%	0.00%	0.15%	0.00%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	21.75%	2.21%
116	0.103751	51.47%	0.99%	0.15%	0.00%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	21.75%	2.21%
118	0.100522	47.52%	4.94%	0.15%	0.00%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	21.75%	2.21%
120	0.097343	43.57%	8.88%	0.15%	0.00%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	21.75%	2.21%
125	0.090203	34.53%	16.32%	0.15%	0.00%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	23.35%	2.21%
130	0.085428	28.02%	16.32%	0.15%	0.00%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	29.87%	2.21%
135	0.0816	21.50%	16.32%	0.15%	0.00%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	36.38%	2.21%
140	0.078685	19.82%	16.32%	0.15%	1.63%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	36.43%	2.21%
145	0.076043	19.82%	16.32%	0.15%	3.83%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	34.24%	2.21%
150	0.073634	19.82%	16.32%	0.15%	6.02%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	32.04%	2.21%
155	0.071482	19.82%	16.32%	0.15%	8.22%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	29.84%	2.21%
160	0.069611	19.82%	16.32%	0.15%	10.41%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	27.65%	2.21%
165	0.068043	19.82%	16.32%	0.15%	12.61%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	25.45%	2.21%
170	0.066801	19.82%	16.32%	0.15%	14.80%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	23.26%	2.21%
175	0.065868	19.82%	14.66%	0.15%	16.80%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	22.93%	2.21%
180	0.065149	19.82%	12.12%	0.15%	18.70%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	23.56%	2.21%
185	0.064641	19.82%	9.58%	0.15%	20.61%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.80%	24.20%	2.21%
190	0.064345	19.82%	7.00%	0.15%	22.50%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	2.67%	23.01%	2.21%
192	0.064286	19.82%	5.96%	0.15%	23.26%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	3.42%	22.55%	2.21%
194.501	0.06426	19.82%	4.84%	0.80%	24.12%	14.63%	1.45%	0.39%	6.16%	0.81%	24.78%	2.21%