

## 추가안전대책비용, 사고위험대응비용의 외부비용을 반영한 원전비용 추정 연구

김윤경\*, 조성진\*\*

**요약** : 후쿠시마원자력발전소의 사고를 계기로 원전의 안전대책비용, 사고위험대응비용과 같은 외부비용들의 존재가 부각되고 있다. 이에 본 연구는 원전의 외부비용들 중에서 추가안전대책비용과 사고위험대응비용을 추정하고, 이를 발전원가 및 전기요금에 반영하여 변화정도를 살펴보았다. 원전의 추가안전대책비용은 70~90%의 이용률에서 0.53원/kWh~0.80원/kWh으로 원전의 발전원가에 큰 영향을 미치지 않는다. 사고위험대응비용은 원전사고피해규모별, 사고발생빈도별, 이용률별로 0.0025원/kWh~26.4188원/kWh로 추정되었다. 사고위험대응비용을 포함시키면 원전발전원가는 47.58원/kWh~85.92원/kWh가 된다. 2011년을 기준으로 사고위험대응비용을 내부화한 경우의 전기요금의 증가율은 70~90%의 이용률에서 0.001%~10.0563%로 추정되었다. 본 연구는 원전의 외부비용을 내부화하는 방법으로서 외부비용을 발전원가에 포함하여 전기요금에 반영하였다. 본 연구는 지금까지 우리나라에 논의되지 않았던 원전 외부비용을 내부화하는 방법의 하나가 될 것이다.

**주제어** : 외부비용, 내부화, 원자력발전, 민감도분석

**JEL 분류** : Q4, D6

접수일(2013년 4월 3일), 수정일(2013년 6월 7일), 게재확정일(2013년 6월 17일)

\* 이화여자대학교 사회과학대학 경제학전공 부교수, 교신저자(e-mail: yoonkkim@ewha.ac.kr)

\*\* 에너지경제연구원 원자력정책연구실, 부연구위원(e-mail: chosj0327@keei.re.kr)

# Analysis for External Cost of Nuclear Power Focusing on Additional Safety and Accident Risk Costs

Yoon Kyung Kim\* and Sung-Jin Cho\*\*

**ABSTRACT :** After the Fukushima nuclear accident, the external costs of generating electricity from nuclear power plants such as additional safety compliance costs and possible accident risk action costs have gained increasing attention from the public, policy-makers and politicians. Consequently, estimates of the external costs of nuclear power are very deliberate issue that is at the center of the controversy in Korea. In this paper, we try to calculate the external costs associated with the safety of the nuclear power plants, particularly focusing on additional safety compliance costs and possible accident risk action costs. To estimate the possible accident risk action costs, we adopt the damages expectation approach that is very similar way from the external cost calculation of Japanese government after the Fukushima accident. In addition, to estimate additional safety compliance costs, we apply the leveled cost of generation method. Furthermore, we perform the sensitivity analysis to examine how much these social costs increase the electricity price rate. Estimation results of the additional security measure cost is 0.53Won/kWh ~ 0.80Won/kWh depending on the capacity factor, giving little change on the nuclear power generation cost. The estimates of possible accident risk action costs could be in the wide range depending on the different damages of the nuclear power accident, probability of the severe nuclear power accident and the capacity factor. The preliminary results show that it is 0.0025Won/kWh ~ 26.4188Won/kWh. After including those two external costs on the generation cost of a nuclear power plant, increasing rate of electricity price is 0.001%~10.0563% under the capacity factor from 70% to 90%. This paper tries to examine the external costs of nuclear power plants, so as to include it into the generation cost and the electricity price. This paper suggests one of the methodologies that we might internalize the nuclear power generations' external cost, including it into the internal generation cost.

**Keywords :** external cost, internalizing, nuclear power, sensitivity analysis

---

Received: April 3, 2013, Revised: June 7, 2013, Accepted: June 17, 2013.

\* Associate Professor, Department of Economics, College of Social Science, Ewha Womans University (e-mail: yoonkkim@ewha.ac.kr)

\*\* Research Fellow, Nuclear Power Policy Research Division, Energy Policy Research Group, Korea Energy Economics Institute(e-mail: chosj0327@keei.re.kr)

## I. 서론

2011년 3월에 발생한 동일본대지진에 의한 후쿠시마원자력발전소의 사고는 원자력발전의 역사에서 TMI 사고, 체르노빌사고를 잇는 심각한 사건(severe accident)으로 자리를 잡고 있다. 국제원자력사고평가척도(The international nuclear and radiological event scale, INES)에 의한 영향도 지표(0등급~7등급, 숫자가 커질수록 심각한 사고)를 보면 TMI사고는 5등급, 체르노빌사고는 7등급, 후쿠시마사고는 7등급(예상)이다.

일본 정부와 도쿄전력은 사고가 발생한지 2년이 되어가는 지금도 정확한 사고비용의 규모를 확정하지 못하고 있으며, 관련피해자들에 대한 보상수준을 결정하는 것에 대해서도 지속적으로 논의만을 거듭하고 있다. 이처럼 사고비용이나 보상규모의 수준을 결정하는 것이 늦어지는 것은 원자력발전소의 사고가 즉각적으로 피해액을 산정할 수 없는 불확실성을 갖기 때문이다. 사고와 관련된 비용은 관련피해자들과 환경을 통하여 장기에 걸쳐서 발생하므로 각 피해자와 잠재적 피해자들의 일생, 나아가서는 세대를 걸쳐서 피해가 발생하기도 한다.

원전의 사고발생확률은 0이 아니므로 사고의 가능성은 항상 존재한다. 국민들은 해외의 원전 사고를 보면서 유사한 사고가 우리나라에서도 발생할 수 있다는 점에 대해서 걱정하고 우려한다. 경제주체들이 원전에 대해서 정확하게 인식을 하려면 원전을 이용하여 전력을 생산하여 소비하여 효용을 얻는 것과 원전이 갖는 사고가능성과 위험은 공존한다는 것을 구체화시켜야 한다. 이는 원전을 이용하여 전력을 생산할 때에 발생하는 사회적 비용을 추정하는 것으로 구체화된다. 지금까지는 이 피해액을 고려하지 않았고 마치 원전이 사회적 비용을 갖지 않는 것처럼 인식하였지만, 후쿠시마원전사고를 지켜보면서 사회적 비용을 보다 명확히 하고 이를 원전의 운영에 반영시켜야 한다는 의식이 강해지고 있다.

원전을 이용하여 전력을 생산하는 경우에 필요한 비용은 더 이상 발전비용만이 아니라, 원전의 사고와 관련된 각종의 비용들이 사회적 비용으로서 추가하여 도출된다. 이는 경제주체들의 전력량에 대한 의사결정에 변화를 줄 것이다. 이러한 변화를 전망하려면 원전의 사회적 비용이 추정되어 지금의 발전비용에 추가되어야 하고, 이는 원전에 관련 및 이용하는 모든 경제주체들이 부담해야 하는 것이므로 결국에

는 전기요금에 변화를 준다.

이에 본 연구에서는 원전의 외부비용 중에서 추가안전대책비용과 사고위험대응 비용을 추정하기 위하여 해외의 사회적 비용에 대한 정의를 살피고, 해외의 원전 사회적 비용에 대한 추정결과를 검토한다. 그리고 우리나라가 원전의 사고에 대비하여 계획한 추가안전대책비용을 적용한 원전발전원가를 추정한다. 더하여 해외의 원전 사고들 중에서 심각한 사고(severe accident)로 인정된 사고들의 피해액과 해외 주요기관의 원전사고확률을 적용하여 우리나라 원전에 대한 사고위험대응비용을 추정한다. 그리고 이 비용들을 반영하여 원전발전원가를 추정하고, 이를 전기요금에 반영하였을 때의 전기요금의 변화분을 분석한다.

원전을 운영할 때에 항상적으로 사고가 발생하는 것은 아니며 확률적으로 발생하므로 피해액을 산정할 때의 불확실성은 지속적으로 존재한다. 본 연구에서 추정하는 사회적 비용 중에서 사고위험대응비용은 실제로 우리나라에서 원전사고가 발생한 실적에 근거한 피해액을 고려하는 것은 아니므로 피해액은 변동폭을 가지며, 일부 측면에서는 불확실성도 갖는다. 이러한 불확실성을 감안하면서 원전의 사회적 비용을 추정하는 것은 원전과 관련된 사회적 비용을 명시화하고, 앞으로 우리나라에서 원전이 운영될 때에 혹시 발생할 수 있는 사고에 대해서 사전에 대비하고 준비하여야 하는 최저수준을 예상하도록 할 것이다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II는 원전의 사회적 비용에 대한 정의를 정리한다. III은 국내외에서 원자력발전의 사회적 비용을 살핀 선행연구들을 정리한다. IV에서는 원전의 사회적 비용을 추정한다. 추가안전대책비용, 이를 반영한 발전원가, 사고위험대응비용, 이를 반영한 발전원가를 추정하고, 사고위험대응비용을 반영한 경우의 전기요금에 대한 민감도 분석을 실시한다. V는 결론이다.

## II. 원전의 사회적 비용에 대한 정의

전력산업의 사회적 비용은 전력을 생산하기 위해서 필요한 사적비용과 전력의 생산에 의해서 발생하는 외부비용을 합한 것이다. 한국전력공사(1997)는 전력산업의 사회적 비용을 두 가지 기준으로 나누었다. 하나는 경제주체의 범위 여하이며, 또

다른 하나는 경제적 비용의 범위 여하이다. 이 두 가지의 기준을 이용하면 사회적 비용의 개념은 <표 1>과 같이 구성할 수 있다.1)

<표 1> 사회적 비용의 개념

	협회의 경제적비용	광의의 경제적 비용
개체	정의 I	정의 II
전체	정의 III	정의 IV

자료: 한국전력공사(1997)

<표 2> 전력산업의 사회적 비용

정의 I	협회의 사회적 비용이며, 시장을 통하여 가격화되지 않는 외부비용의 합, 또는 생산활동의 결과로 제 3자가 부담해야 하는 손실 혹은 사회 전체로 전가되는 비용이다. 전력산업에서 환경비용, 위험부담비용, 기술파급효과 등처럼 사적비용으로 계산되지 않는 부분들이 해당된다.
정의 II	생산자가 발생시키는 외부피해에 한정되지만 소비자의 소비행태가 타소비자, 생산자, 사회 전체에 미치는 피해도 고려한다. 전력산업이 갖는 외부성을 내부화하기 위해서 제 3자가 지불하는 정부비용, 전력소비의 계측비용 등도 포함한다.
정의 III	사회적 기회비용으로 사회의 모든 자원을 효율적으로 사용하지 못하여 초래하게 되는 비효율들을 비용화한다. 공기업 형태로 운영되는 전력회사의 내부적 비효율에 기인한 비용, 해당 산업의 기업이 정부규제를 자사에 유리하게 하기 위하여 지불하는 비용 등이 포함된다.
정의 IV	시장의 실패에서 비롯되는 사회적 비효율, 고용 불안에서 비롯되는 소외와 갈등, 도덕성의 피폐, 사회적 관계의 파괴, 정신적 고통 등과 같이 국가 체제가 경제주체들에게 미치는 모든 부정적 측면들, 환경의 파괴, 발전소의 유치로 인한 지역간 및 주민들간의 사회적 갈등, 부유층의 과다 소비로 환경오염의 피해를 입는 비부유층 사이의 계층간 갈등 등을 포함한다.

자료: 한국전력공사(1997)

정의 I은 개체의 관점과 협회의 경제적 비용이 결합되는 경우이다. 경제주체를 개별로 한정하므로 생산자, 소비자, 정부의 관점에서 생산과정에서 발생하는 외부성까지 포함하는 비용을 파악한다. 정의 II는 개체의 관점에서 광의의 경제적 비용을 고려한다. 피해는 인간의 행복과 자유 가치에 미치는 영향까지이다. 정의 III은 국가사

1) 한국전력공사 전원계획처(1997)

회 또는 체제 전체의 관점을 적용하므로 사회를 하나의 단위로 고려하면서 협의의 경제적 비용을 살핀다. 정의 IV는 국가사회 또는 체제 전체의 관점에서 광의의 경제적 비용을 살핀다. 이와 같은 개념에 근거하여 전력산업의 사회적 비용을 <표 2>와 같이 정의할 수 있다.

Rowe et al.(1995)는 전력산업이 갖고 있는 외부성에 대한 비용으로서 환경비용, 환경규제에 따른 전력산업의 환경오염규제의 잠재비용, 국제에너지시장에서 발생하는 가격위험에 따른 위험부담비용, 전력기술의 공공재적인 성격으로 인해 발생하는 전력기술의 파급효과 등을 선정하였다. 외부비용의 항목에 대한 선정기준은 <표 3>과 같다.

<표 3> Rowe et al.(1995)의 외부비용항목들

선정기준	보 기
피해의 외부성 여부	산재비용: 생산단계에 일부 반영
외부성의 가변성 여부	송배전시설로 인한 피해: 전원 선택과는 무관
관련문헌의 충분 여부	알려지지 않은 신종 질병피해
외부성의 발생크기 여부	소규모 발전방식: 피해량 소규모
전원개발계획에 미치는 영향	해외자원개발과 지구온난화

자료: Rowe et al.(1995)

기존에 고려한 외부비용들은 환경문제, 기후변화, 산재, 지역주민에 대한 영향 등이었다. 그러나 전력산업 뿐만 아니라, 많은 산업들이 부정적 외부성으로 사고의 위험을 갖는다. 사고는 산업재해로 분류하기도 하지만, 체르노빌원전사고와 같은 경우는 산재라고 할 수 없다. 더하여 일본 원자력위원회는 2011년 3월의 후쿠시마사고 이후로 원자력발전의 사회적 비용으로 추후안전대책비용, 사고위험대응비용 등을 고려하고 있다.

### III. 선행연구

우리나라에서 사회적 비용을 추정한 기존연구들은 대기오염물질들의 피해를 대상으로 하고 원자력발전만을 대상으로 한 경우는 드물다.<sup>2)</sup> 본 연구는 분석대상을

원자력발전에 한정하고 있으므로 대기오염물질들을 대상으로 한 선행연구들은 제외하고, 국내의 선행연구들 중에서는 발전부문을 분석대상으로 하고 있는 한국전력공사(1997)와 정성호, 배득중, 정창훈(2011)의 결과를 살핀다.

한국전력공사(1997)는 전력산업을 대상으로 대기오염, 환경기준과의 관계를 살폈고, SOx, NOx, TSP의 사망위험, 질병위험, 먼지피해, 시정거리피해, 농업생산피해, 지구온난화비용을 도출하였다. 그리고 독일의 전원별 사회적 비용을 조사하여 제시하였다. 독일의 경우에 1982년 불변가격 기준으로 사회적 비용은 화석연료를 사용한 발전이 0.0284~0.0769 DM/kWh, 원자력발전(증식형 제외)이 0.1319~0.2399 DM/kWh이며, 전력생산이 갖는 사회적 비용의 평균값은 0.0513~0.1111 DM/kWh이다. 풍력의 사회적 비용은 0.085 DM/kWh, 태양에너지의 사회적 비용은 0.115 DM/kWh이다.

정성호, 배득중, 정창훈(2011)은 화력발전을 대상으로 CO<sub>2</sub> 배출에 따른 외부불경제를 내부화시키는 화력발전과세<sup>3)</sup>를 분석하였다. 개정 법률안에 따르면 우리나라는 2014년부터 화력발전에 대해 0.15원/kWh의 화력발전과세(목적세)를 도입할 예정이다. 이 연구는 사회적 한계비용을 고려하여 화력발전과세수준의 적정성을 살폈다.

해외에서는 대기오염물질에 대한 사회적 비용에 대한 연구 외에 전력산업과 관련하여 전원별로 사회적 비용을 추정한 연구들도 이루어졌다. EU European Commission (2003), Luc Gagnon(2003), CASES(2008b, 2008c), 일본 비용등검증위원회(コスト等検証委員会, 2011) 등은 전원별로 사회적 비용을 추정하였다. 이 중에서 EU European Commission(2003)은 ExternE 프로젝트로 EU 15개국을 대상으로 한 점, CASES(2008)는 EU 국가들의 에너지원별 사적 및 외부적 비용을 추정한 점, 비용등검증위원회(2011)는 후쿠시마원전사고를 계기로 전원별 비용을 최신 데이터를 이용하여 재추정한 점에 근거하여 자주 인용된다.

---

2) 우리나라는 1990년대 후반부터 기후변화협약에 대한 관심이 높아지고, 국내에서도 환경에 대한 인식이 강해지고, 산업부문에서 해외의 환경규제가 국내에 도입될 수 있다고 인식한 점에 근거하여 대기오염물질의 배출에 따른 피해를 추정한 연구들이 많이 이루어졌다. 전상일(1999), 한국전력공사(1997), 환경정책평가연구원(1997), 경기개발연구원(2000, 2003), 정성호, 배득중, 정창훈(2011) 등이 이에 해당한다.

3) 화력발전과세는 화력발전의 부정적 외부효과를 교정하기 위해서 생산자인 발전사업자에게 부과하는 조세이다.

EU European Commission(2003)은 ExternE 프로젝트를 수행하여 EU 15개국을 대상으로 에너지원별의 대기오염 및 온실효과의 사회적 비용을 추정하였다. 이 연구는 환경에 대한 영향을 치명적 인체 영향, 질병, 건물/자재, 농작물, 지구온난화, 쾌적성, 생태계 등 7개로 구분하고, 영향을 미치는 각종 오염물질과 발전원별 발생량을 추정하였다. 그리고 Impact Pathway Approach를 이용하여 사회적 피해비용<sup>4)</sup>을 추산하였다. EU EC(2003)는 대상국가를 EU 15개 국가로 한정하였고, 국가별로 사회적 비용을 추정하여 한 국가 내의 도시, 시골 등과 같이 지역별 사회적 비용은 추정하지 않았다는 한계점을 갖는다.

EU 15개국의 발전원별 사회적 피해비용을 추정한 결과에 따르면 원자력은 0.2~0.7 €-Cent/kWh, 천연가스는 1.0~4.0 €-Cent/kWh였다, 천연가스가 원자력보다 5배 이상의 사회적 피해비용을 가지며, 환경측면에서 원자력이 천연가스보다 우위를 갖는다. 온실가스배출에서 천연가스가 원자력보다 20배 이상 많은 양을 배출한다. 석탄의 사회적 비용은 2.0~15.0 €-Cent/kWh이며, 원자력보다 약 3~75배 높다.

Luc Gagnon(2003)에 따르면 외부비용은 풍력이 0.13 €-cents/kWh, 태양광이 0.28 €-cents/kWh, 원자력이 0.3 €-cents/kWh, 수력이 0.04~0.74 €-cents/kWh 이었다. 온실가스배출량은 수력발전은 태양광 또는 바이오매스보다 작고 풍력, 원자력 등과 비슷한 수준이다.

CASES(Cast Assessment of Sustainable Energy Systems, 2008b)는 EU 국가들의 에너지원별 총비용을 추정하였다. 보고서 1부는 각 국의 발전원별 사적비용과 외부비용을 추정하여 제시하였다.

독일의 경우에 발전원별 사회적 비용은 사적비용과 외부비용의 합으로 추정하였다. 발전원별 외부비용은 life cycle을 대상으로 ExternE 방법을 적용하였다. 가동중인 발전원들의 외부비용은 석탄이 3~6 €-Cent/kWh, 원자력이 0.2 €-Cent/kWh, 풍력이 0.05 €-Cent/kWh, 태양광이 0.6 €-Cent/kWh 이다. 석탄의 외부비용은 원자력의 외부비용보다 15~30배 높다. 신규 발전원들의 외부비용은 석탄이 2.2~2.8 €-Cent/kWh, 천연가스가 0.9 €-Cent/kWh으로 기존 발전원보다 낮다. 그러나 원자

4) 사회적 피해비용에서 지구온난화피해비용은 제외하였다.



력발전의 외부비용이 기존 원자력발전의 외부비용과 동일하다고 가정하면, 화석연료전원의 외부비용은 원자력의 외부비용보다 높다.

〈표 4〉 독일의 발전원별 외부비용 (단위: €-Cent/kWh)

	Coal and Lignite	Oil	Gas	Nuclear	Biomass	Hydro	PV	Wind
2003년 기준의 가동중 발전원	3~6	5~8	1~2	0.2	n.a	n.a	0.6	0.005
신규 발전원 (2003년 불변가격)	2.2~2.8	n.a	0.9	n.a	0.8~2.8	n.a	n.a	n.a

자료: CASES(2008b), EU EC(2003)

프랑스의 경우에 사적비용은 average lifetime levelised electricity generation cost(EGC)를 이용한 OECD IEA(2005)의 연구결과를 인용하였다. 발전원별 외부비용은 ExternE 방법을 이용하여 추정하였다. 신규 및 기존설비를 포함하는 경우에 외부비용은 석탄이 3.34~10.0 €-Cent/kWh, 천연가스가 0.83~4.0 €-Cent/kWh, 석유가 4.45~11.0 €-Cent/kWh, 원자력이 0.3 €-Cent/kWh, 바이오매스가 0.54~1.0 €-Cent/kWh, 수력이 1.0 €-Cent/kWh 으로 추정되었다. 추정결과에 따르면 원자력의 외부비용은 다른 발전원보다 낮으며, 석탄발전의 외부비용은 원자력발전의 외부비용보다 11~33배 높다.

영국의 경우는 발전원별 직접비용을 추정하지 않고 EUSUSTEL(2007)의 값을 적용하여 유럽 전체의 발전원별 직접비용을 기준(reference)으로 활용하였다. 발전원별 외부비용은 EC(2003)의 ExternE 결과를 적용하였다. 추정결과에 따르면 원별 외부비용은 원자력이 0.25 €-Cent/kWh, 석탄/갈탄이 4.0~7.0 €-Cent/kWh, 천연가스가 1.0~2.0 €-Cent/kWh, 바이오매스가 1.0 €-Cent/kWh, 풍력이 0.15 €-Cent/kWh 이다. 외부비용의 관점에서 풍력을 제외한 다른 전원보다 원자력의 경제성이 높다.

이탈리아의 경우에 발전원별 직접비용을 추정하기 위해서 OECD IEA(2005)의 추정자료와 OECD(2005)의 EGC를 사용하였다. 발전원별 외부비용은 ExternE 방법을 사용하였다. 신규와 기존설비를 포함한 외부비용은 천연가스가 0.67~3.0

€-Cent/kWh, 석유가 1.81~6.0 €-Cent/kWh, 수력이 0.3~0.4 €-Cent/kWh였다. 원자력발전 및 석탄발전에 대한 외부비용은 제시되지 않았다.

스페인의 경우에 발전원별 직접비용은 IEA, OECD, AEN의 Projected costs of generating electricity 1998에서, 외부비용은 ExternE(2003)의 결과를 인용하였다. 추정외부비용은 원자력이 0.0032 €/kWh, 석탄이 0.0622 €/kWh, 갈탄이 0.1383 €/kWh, 천연가스가 0.0243 €/kWh, 해상풍력이 0.0002 €/kWh, 바이오매스가 0.0402 €/kWh, 수력이 0.002 €/kWh이었다. 원자력의 외부비용은 석탄, 천연가스, 바이오매스의 외부비용보다 낮지만, 수력, 해상풍력의 외부비용보다 높다.

CASES(2008c)의 보고서 2부는 EU의 27개 국가들을 대상으로 발전부문의 균등화한 총비용을 추정하였다. 이 비용은 직접비용<sup>5)</sup>, 외부비용, 건강에 대한 영향, 환경영향, 농작물 피해, 건물 등의 피해, 기후변화영향 등을 포함하는 포괄적 개념의 사회적 비용이다. 추정결과는 현재(2005년~2010년)시점, 2020년, 2030년의 3개 시점을 다룬다.

EU 국가들의 발전원별 총비용은 현재시점(2005~2010)에서 태양광발전(36.80~45.63 €-Cent/kWh)이 가장 높고, 바이오매스를 이용한 열병합발전(CHP, 1.79 €-Cent/kWh)이 가장 낮다. 원자력발전의 총비용은 3.32 €-Cent/kWh이며, 바이오매스를 활용한 열병합발전 다음으로 비용이 낮다. 원자력발전의 외부비용에서 사고위험비용, 안전대책비용, 정책경비 등은 제외하였으므로 총비용은 과소평가되었을 것이다. 다른 전원의 총비용은 석탄화력이 4.07 €-Cent/kWh, 천연가스 CHP가 5.39 €-Cent/kWh, 천연가스 복합화력이 6.2 €-Cent/kWh, 육상풍력이 6.21~6.46 €-Cent/kWh, 수력이 7.9~7.98 €-Cent/kWh, 태양광이 36.8~45.63 €-Cent/kWh이다. 전통적인 발전원들에 비해서 재생에너지원의 경제성이 낮다.

일본 비용등검증위원회(2011)는 후쿠시마원전사고를 계기로 전원별 발전비용을 검증하고, 이를 통하여 거대한 규모의 사고피해 가능성을 갖는 원자력발전의 가격에 대한 상대적 우위 여부를 살피는 것을 목적으로 하였다. 비용은 직접비용과 사회적 비용이며, 사회적 비용은 CO<sub>2</sub> 대책비용, 사고위험대응비용, 정책비용<sup>6)</sup> 등이다.

5) 발전부문의 사적비용(Private costs)은 Average Lifetime Levelized Generating Cost를 이용하여 추정하였다. 균등화법을 적용하기 위하여 전원별 설비 특성 및 수명기간을 가정하였다.

6) 정책경비는 발전사업자가 생산활동인 발전을 하기 위해서 부담하는 비용은 아니지만, 정부가 세금을 이용하여 전원별로, 또는 발전소 입지지역에 대해서 실시하는 정책에 소요되는 비용이다.

많은 선행연구들이 CO<sub>2</sub> 관련비용을 다루었지만, 사고위험대응비용과 정책비용을 고려한 경우는 없었다. 사고위험대응비용은 주로 원자력발전소를 대상으로 한 비용으로 장래에 발생할 수 있는 사고에 대한 대응비용이다. 정책비용은 발전사업자가 발전을 하기 위해서 부담하는 비용은 아니지만, 정부가 세금을 이용하여 전원별로, 또는 발전소 입지지역에 대해서 실시하는 정책에 소요되는 비용이다.

전원별 비용 추정 결과에 따르면 원자력발전의 발전비용은 할인율 3%, 설비이용률 70%, 가동년수 40년의 가정 하에서 8.9 ¥/kWh이다. 이 중에서 사회적 비용 등이 3 ¥/kWh 이상이며, 사회적 비용의 추가로 발전비용은 50% 이상 상승한다. 사회적 비용을 세분하면 추가안전대책비용은 0.2 ¥/kWh, 정책경비는 1.1 ¥/kWh, 사고위험비용은 0.5 ¥/kWh이다. 사고위험비용이 ¥1조씩 증가할 때마다 원자력발전의 비용은 ¥0.1씩 상승한다.

〈표 5〉 일본의 원전발전비용 추정 결과

비용 항목	비용(¥/kWh)		증감(¥/kWh)
	2004년 추정	2011년 추정	
자본비	2.3	2.5	+0.2
운전유지비	2.1	3.1	+1.0
핵연료사이클비용	1.5	1.4	-0.1
추가안전대책비용	불포함	0.2	+0.2
정책경비	불포함	1.1	+1.1
사고위험대응비용	불포함	0.5 이상	+0.5 이상

주: 2004년 추정결과는 변동비를 제외한 값이다.

자료: 일본비용등검증위원회(コスト等検証委員会 2011)

화력발전에서는 석탄, LNG, 석유의 발전비용은 각각 9.5~9.7 ¥/kWh, 10.7~11.1 ¥/kWh, 36.0~37.6 ¥/kWh이다. 발전원의 비용은 2004년의 추정결과보다 상승하였고, 이 원인은 연료비 인상과 CO<sub>2</sub> 대책비용의 추가이다. CO<sub>2</sub> 대책비용은 전체비용의 20~30%를 차지한다. 2010년 LNG 모델플랜트의 발전비용은 10.7~11.1 ¥/kWh이며, 이는 CO<sub>2</sub> 대책비용을 포함한다.

비용등검증위원회는 석탄, LNG에 대해서 연료비의 상승과 CO<sub>2</sub> 대책비용을 고려

해야 하므로 비용이 높아지고, 원자력발전에 대해서 사고위험을 고려해야 하므로 상당한 사회적 비용이 존재한다고 평가하였다. 더하여 석탄, LNG에 대해서 사회적 비용을 고려한 원자력발전과 비교하면 기저전원으로서의 경쟁적 지위를 유지할 것이라고 평가하였다.

## IV. 사회적 비용 추정

### 1. 원전 추가안전대책비용을 반영한 발전원가

후쿠시마원전사고를 계기로 하여 한국수력원자력은 가동중인 원전들의 안전보강을 위하여 1조 440억 원을 투자하기로 계획하였다. 항목별 예상 투자비는 <표 6>과 같다. 이 금액은 일본 비용등검증위원회(2011)<sup>7)</sup>가 추정한 추가안전대책비용 ¥197억(약 2,000억 원)<sup>8)</sup>의 5배이다.

<표 6> 가동 중 원전의 안정성 증진 항목별 예상투자비

항목	예상투자비
지진에 의한 구조물 및 기기 안정성 보강	943억 원
해일에 의한 구조물 안정성 보강	2,920억 원
침수 발생 시 전력·냉각 계통 보강	2,325억 원
중대사고 대응 설비 보강	2,878억 원
비상대응 및 비상진료 체계 개선	887억 원
예상 총투자비	1조 440억 원

자료: 한국수력원자력(2011, 2012)

원전 추가안전대책비용이 투입되면 원전의 발전비용은 상승한다. 추가안전대책비

7) 일본 비용등검증위원회(2011)가 후쿠시마원전사고를 계기로 추정한 추가안전대책비용은 ¥197억이다. 추가안전대책은 Tsunami 로 3가지 기능(전교류전원, 해수냉각기능, 사용후연료저장 풀의 냉각기능)을 모두 상실하여도 로심 손상, 사용후연료 손상을 방지하고 방사성물질방출을 억제하면서 냉각기능을 회복하는 것, 원자로 정지도 포함하여 항시 비상용 발전설비 2대를 확보하는 것, 원자력발전소 및 재처리시설 외부 전원의 신뢰성을 확보하는 것, 다른 발전소의 심각한 사고에 대한 대응 조치 등을 내용으로 한다.

8) ‘추가적 안전대책비용에 관하여(追加的安全對策費用について, 資料2-1)’의 항목별 비용을 보면 긴급안전대책 118억, 비상용 발전설비 ¥17억, 외부전원의 신뢰성 확보 ¥26억, 심각한 사고에 대한 대응 ¥13억, 기타(각 전력회사가 개별적으로 하는 안전대책) ¥50억이다. 각 항목의 비용은 샘플 플랜트의 추가적 안전대책 비용(견적금액)의 평균값이다.

용이 사용될 원전의 대부분은 OPR1000이므로 발전원가의 기준은 설비용량 1,000 MW(OPR1000)으로 한다.<sup>9)</sup> 우리나라의 원전이용률은 2011년 말 기준으로 약 90%(IAEA, 전세계원전의 평균이용률 80%)이지만,<sup>10)</sup> 예방정비기간의 확대 등과 같은 안전대책이 강화되면 원전의 가동정지기간이 늘어나게 되므로 이용률은 낮아질 것이다. 이를 고려하여 분석에서는 90, 80, 70%의 3가지 이용률을 전제로 균등화발전원가(levelized generation cost, LGC)<sup>11)</sup>를 이용하여 kWh당의 추가안전대책비용을 도출한다. 그리고 추가안전대책에 의한 발전비용 상승 정도를 살피기 위하여 <표 7>의 「제 6차 전력수급계획」 1,000 MW 원전의 이용률별 발전원가와 비교한다.

<표 7> 「제 6차 전력수급계획」의 1,000 MW 원전 이용률별 발전원가

이용률(%)	70	80	90
고정비(원/kWh)	55.90	48.91	43.47
변동비(원/kWh)	3.60	3.60	3.60
발전원가(원/kWh)	125.90	128.91	133.47

주 1: 지식경제부(2012)의 원전사후처리비용 추가인상분 4.13원/kWh는 포함하지 않는다.

2: 6%의 할인율을 가정한다.

자료: 지식경제부(2013), 에너지경제연구원 추정치(노동석, 2012)

2011년 말 기준으로 우리나라에서 운영중인 원전 21기의 설비용량은 18,716MW이다. 균등화발전원가 방식을 이용하여, <표 6>에서 제시한 한국수력원자력의 원전 추가안전보강비용을 포함한 건설비를 재산정하면 기존의 건설비보다 약 55.78천원/kW만큼 상승한다.<sup>12)</sup> 재산정한 건설비를 반영한 원전의 발전원가는 이용률 70%에서 60.18원/kWh, 80%에서 53.11원/kWh, 90%에서 47.60원/kWh이다. 이 값들은 「제6차 전력수급계획」의 발전원가와 비교하면 이용률별로 0.53원/kWh~0.68원

9) 「제 6차 전력수급기본계획」에서 반영한 OPR1000 기준의 원자력발전 경제성 자료에 따르면 건설비는 2,590천원/kW, 수명기간은 40년, 할인율은 6.0%, 운전유지비율은 5.51%, 운전유지비는 11.89천원/kW-월, 열소비율은 2,306 kcal/kWh, 발전효율은 37.3% 등이다.

10) 전세계의 원전이용률은 가중평균값이다.

11) 균등화발전원가는 연도별로 불규칙하게 발생하는 비용과 발전량을 화폐의 시간적 가치를 고려하여 연도별로 균등하게 하고, 여기에서 산출된 비용과 발전량을 이용하여 도출한다. 상세한 내용은 에너지경제연구원(2012)을 참조한다.

12) 본 연구에서 사용하는 추가안전대책은 <표 6>에서 제시한 내용만을 대상으로 하고 있다. 안전대책비용은 고려하는 대책들의 범위, 내용 등에 따라서 상이할 수 있다.

/kWh만큼 높다(<표 8> 참조). 원전추가안전보강비용을 반영하여도 원전의 발전원가는 크게 변화하지 않는다.

〈표 8〉 2011년 말 기준 추가안전대책비용 반영 시의 원전발전원가

이용률(%)	70	80	90
고정비(원/kWh)	56.58	49.51	44.00
변동비(원/kWh)	3.60	3.60	3.60
발전원가(원/kWh)	60.18	53.11	47.60
제 6차 전력수급계획 발전비용과의 차이	0.68	0.60	0.53

주: 지식경제부(2012)의 원전사후처리비용 추가인상분 4.13원/kWh는 포함하지 않는다.

## 2. 원전사고위험대응비용 추정

### 가. 사고위험대응비용 추정식

일본 비용등검증위원회(2011)는 원자력발전의 사고위험대응비용을 도출하기 위하여 모델 플랜트를 가정하는 손해기대치접근법과 상호부조를 고려한 손해배상제도의 사고위험비용법을 고려하였다. 비용등검증위원회(2011)는 후쿠시마원전사고를 대상으로 원자력사고의 피해규모를 개략적으로 파악할 수 있었으므로 손해배상제도를 고려한 사고위험비용법을 사용할 수 있었다. 도쿄전력에 따르면 후쿠시마원전 사고의 피해비용은 약 ¥5.8조이지만, 이는 확정된 것이 아니며 지속적으로 증가할 전망이다. 식 (1)에 따라서 후쿠시마원전사고의 추정피해규모를 적용하고 40년간 원전사업자가 지불해야하는 비용(¥/kWh)을 추정하여 이를 사고위험대응비용으로 하였다.

$$[\text{피해비용(¥)} / \text{지불기간(40년)}] / \text{총발전량(kWh)} \quad (1)$$

이에 비해서 우리나라의 경우는 원전의 심각한 사고가 발생한 적이 없으므로 기준으로 사용할 수 있는 원전사고 피해비용 추정액이 없다. 따라서 비용등검증위원회(2011)의 상호부조를 고려한 손해배상제도의 사고위험비용법보다 손해기대치접

근법을 이용한다. 손해기대치접근법은 사고발생빈도를 고려하므로 우리나라와 같이 원전의 심각한 사고가 발생한 적이 없는 경우에 보다 적합하다.

$$[\text{피해비용} \times \text{연간사고발생빈도}] / \text{총발전량(kWh)} \quad (2)$$

손해기대치접근법을 이용하여 사고위험비용을 추정하는 식 (2)는 손해비용, 연간 사고발생빈도, 총발전량의 3가지 요소로 구성된다. 이 중에서 총발전량은 실적치이지만, 손해비용과 사고발생빈도는 추정값이다.

원전사고손해비용은 현대경제연구원(2012)의 원자력발전소의 심각한 사고별 피해비용 현황을 이용한다(<표 9> 참조). 현대경제연구원은 세계 3대 원전사고의 피해복구비용을 2조 원~81조 원으로, 원전 1기당 평균피해비용을 최소 58조 원으로 추정하였다.

<표 9> 원자력발전소의 심각한 사고별 피해비용

구분	TMI(미국)	체르노빌(러시아)	후쿠시마(일본)
사고발생년도	1979년	1986년	2011년
사고원전수	1기	1기	4기
로형	PWR	RBMK	BWR
순설비용량 (총설비용량)	880 MW (959 MW)	925 MW (1,000 MW)	1호기: 439(460 MW) 2호기: 760(784 MW) 3호기: 760(784 MW) 4호기: 760(784 MW)
사고 당시 원전수명	4개월	8년	30~40년
사고등급	5등급	7등급	7등급
피해복구비용 (2011년 기준)	USD 10억 (약 2조 원)	USD 2,350억 (약 265조 원)	최소 ¥ 5.8조 (최소 81조 원)

주 1: 미국 정부, IAEA, 일본 에너지환경회의에서 발표한 피해복구비용 추정치, 발표시점의 연평균환율, 해당기간의 물가상승률을 적용하여 2011년 원화 기준으로 환산한다.

2: PWR Pressurized Water Reactor, RBMK High Power Channel-type Reactor, BWR Boiling water reactors

자료: 현대경제연구원(2012. 11)

원전사고가 항상 발생하지는 않으므로 원전사고의 발생빈도에 대해서는 우리나라

라에서 가동중인 원전들의 사고발생실적을 고려하지 않고, 일본 비용등검증위원회(2011)가 적용한 기준들과 미국 NRC(Nuclear Regulatory Commission, 2010)가 적용한 기준들을 적용한다. 다음의 사고확률들 중에서 ①~③은 일본 비용등검증위원회(일본 국내 50기, 세계 430기 가정)가, ④는 미국 NRC(2010)가 고려한 것이다.

- ①  $1.0 \times 10^{-5}$  : IAEA의 기준으로 기설치된 원자로의 대규모 방출사고에 대한 안전목표이다. 10만·년에 1번의 사고가 발생할 확률이다. 세계에서 2300년에 한 번의 빈도로 심각한 사고가 발생한다.
- ②  $3.5 \times 10^{-4}$  : 세계 원자력발전의 운전실적(14353로년에 5번의 사고 발생)에 기초한다. 세계에서 10년에 1번의 빈도로 심각한 사고가 발생한다.
- ③  $2.0 \times 10^{-3}$  : 일본 원자력발전의 운전실적(1494로년에 3번의 사고 발생)에 기초한다. 일본에서 10년에 1번, 세계에서 1년에 1번의 빈도로 심각한 사고가 발생한다.
- ④  $1.0 \times 10^{-4}$  : NRC의 확률론적 안전성평가(Probabilistic Safety Assessment, PSA)의 노심손상빈도(Core Damage Frequency, CDF) 기준에 의거한다.<sup>13)</sup>

손해기대치접근법은 모델 플랜트를 가정한다. 이에 2011년 말 기준으로 우리나라에서 운영중인 OPR 1000(설비용량 1,000 MW)을 모델플랜트로 설정한다. 2011년 실적 기준으로 OPR 1000의 연간 발전량은 영광 6호기가 8.57 TWh, 울진 6호기가 8.53 TWh 등이며, 이용률은 90% 이상이다. 모델플랜트의 이용률 변화(70, 80, 90%)에 따른 연간 발전량은 각각 61.32억 kWh, 70.08억 kWh, 78.84억 kWh이다.

#### 나. 사고위험대응비용 추정 결과<sup>14)</sup>

원전사고손해비용, 사고발생빈도, 모델 플랜트(OPR 1000)의 이용률에 따른 발전량을 적용하여 사고위험대응비용(원/kWh)을 도출한다. 사고위험대응을 위한 외부

13) NRC는  $1.0 \times 10^{-5}$ /년도 제시하였다. 이 값은 확률론적 안전성평가(PSA)의 대량조기방출빈도(Large Early Release Frequency, LERF)의 기준이다.

14) 원자력발전소와 관련한 사고는 원자로의 로형, 사고발생지점 등에 따라서 피해규모가 상이하다. 본 연구에서 제시하는 연구결과는 분석에서 고려한 조건 하에서만 성립한다.



비용은 원전사고피해규모에 따라서 달라지므로 ① TMI 원전사고 복구비용, ② 후쿠시마원전사고 피해비용, ③ 심각한 원전사고 평균피해비용의 세 가지를 대상으로 한다. 원전사고발생빈도는 위에서 제시한 4가지의 원전사고 발생빈도들(①  $1.0 \times 10^{-5}$ , ②  $3.5 \times 10^{-4}$ , ③  $2.0 \times 10^{-3}$ , ④  $1.0 \times 10^{-4}$ )을 고려한다.

모델 플랜트가 이용률 90%로 운영될 때에 연간 발전량은 78.84억kWh이다. 먼저 TMI 원전사고피해비용(약 2조 원)을 대상으로 4가지의 사고발생빈도를 적용하여 추정한 사고위험대응비용은 0.0025원/kWh~0.5074원/kWh이다. 후쿠시마원전사고 피해비용(약 81조 원)을 대상으로 동일한 방식으로 추정한 사고위험대응비용은 0.1027원/kWh~20.5479원/kWh이다. 심각한 원전사고 평균피해비용(약 58조 원)을 대상으로 추정한 사고위험대응비용은 0.0736원/kWh~14.7133원/kWh 이다.

모델 플랜트에 대해서 이용률 80%를 적용한 경우(연간 발전량 70.08억kWh)의 TMI 원전사고 피해비용을 기준으로 추정한 사고위험대응비용은 사고발생빈도에 따라 0.0029원/kWh~0.5708원/kWh이다. 후쿠시마원전사고 피해비용을 기준으로 하면 사고위험대응비용은 0.1156원/kWh~23.1164원/kWh으로 추정된다. 심각한 원전사고 평균피해비용을 기준으로 하면 사고위험대응비용은 0.0828원/kWh~16.5525원/kWh이 된다.

TMI 원전사고 피해비용을 기준으로 추정한 사고위험대응비용은 0.0033원/kWh~0.6523원/kWh이다. 후쿠시마원전사고 피해비용을 기준으로 하면 사고위험대응비용은 0.1321원/kWh~26.4188원/kWh으로 추정된다. 심각한 원전사고 평균피해비용을 기준으로 하면 사고위험대응비용은 0.0946원/kWh~18.9172원/kWh이 된다.

이상의 결과에 따르면 후쿠시마원전사고의 피해비용(약 81조 원)을 적용한 경우의 사고위험대응비용이 가장 높다. 그리고 원전의 이용률이 감소할수록 발전량당 사고위험대응비용은 증가한다.

〈표 10〉 사고발생빈도별 이용률별 원전사고피해비용별 사고위험대응비용

구분			TMI 원전사고 피해비용	후쿠시마 원전사고 피해비용	심각한 원전사고 평균피해비용
사고빈도 기준	사고발생 빈도	이용률 (%)	사고위험비용 (원/kWh)	사고위험비용 (원/kWh)	사고위험비용 (원/kWh)
IAEA	0.00001	90	0.0025	0.1027	0.0736
		80	0.0029	0.1156	0.0828
		70	0.0033	0.1321	0.0946
세계원전 운영	0.00035	90	0.0888	3.5959	2.5748
		80	0.0999	4.0454	2.8967
		70	0.1142	4.6233	3.3105
일본원전 운영	0.00200	90	0.5074	20.5479	14.7133
		80	0.5708	23.1164	16.5525
		70	0.6523	26.4188	18.9172
NRC	0.00010	90	0.0254	1.0274	0.7357
		80	0.0285	1.1558	0.8276
		70	0.0326	1.3209	0.9459

### 3. 원전사고위험대응비용 반영 시의 원전 발전원가

「제6차 전력수급계획」의 원전 발전원가는 설비용량 1,000MW, 할인율 6%, 이용률 90%에서 47.07원/kWh 이다.(〈표 8〉 참조) 〈표 10〉에 따르면 이용률 90% 하에서 후쿠시마원전사고 피해비용 및 일본 원전 운영기준의 사고발생빈도를 적용한 경우의 사고위험대응비용은 20.5479원/kWh이다. 이 사고위험대응비용을 적용하면 원전 발전원가는 67.62원/kWh (43.65% 상승)이 된다. 심각한 원전사고 평균피해비용 및 일본원전 운영기준 사고발생빈도를 적용하면 사고위험대응비용은 14.7133원/kWh이며, 원전 발전원가는 61.78원/kWh(31.26% 상승)이 된다. TMI 원전사고 피해비용 및 일본원전 운영기준 사고발생빈도를 적용하면 사고위험대응비용은 0.5074원/kWh이며, 원전 발전원가는 47.58원/kWh(1.08% 상승)가 된다.

80%의 이용률에서 「제6차 전력수급계획」의 원전 발전원가는 52.51원/kWh 이다. 후쿠시마원전사고 피해비용 및 일본원전 운영기준 사고발생빈도를 적용한 경우의 사고위험대응비용은 23.1164원/kWh이고, 원전 발전원가는 75.63원/kWh(44.02% 상

승)이 된다. 심각한 원전사고 평균피해비용 및 일본원전 운영기준 사고발생빈도를 적용한 경우의 사고위험대응비용은 16.5525원/kWh이고, 원전 발전원가는 69.06원/kWh(31.52% 상승)이 된다. TMI 원전사고 피해비용 및 일본원전 운영기준 사고발생빈도를 적용한 경우의 사고위험대응비용은 0.5708원/kWh이며, 원전 발전원가는 53.08원/kWh(1.09% 상승)이 된다.

70%의 이용률에서 「제6차 전력수급계획」의 원전 발전원가는 59.50원/kWh 이다. 후쿠시마원전사고 피해비용 및 일본원전 운영기준 사고발생빈도를 적용한 경우의 사고위험대응비용은 26.4188원/kWh이고, 원전 발전원가는 85.92원/kWh(44.40% 상승)이 된다. 심각한 원전사고 평균피해비용 및 일본원전 운영기준 사고발생빈도를 적용한 경우의 사고위험대응비용은 18.9172원/kWh이고, 원전 발전원가는 78.42원/kWh(31.80% 상승)이 된다. TMI 원전사고 피해비용 및 일본원전 운영기준 사고발생빈도를 적용한 경우의 사고위험대응비용은 0.6523원/kWh이며, 원전 발전원가는 60.15원/kWh(1.10% 상승)이 된다.

#### 4. 사고위험대응비용 반영 시의 전기요금에 대한 민감도 분석

우리나라의 전기요금은 원전 및 화력발전의 외부비용을 제외하고 있지만, 사고위험대응비용과 같은 외부비용이 발전원가에 포함되면 이는 전기요금을 상승시키게 된다. 이에 원전사고피해비용별, 사고빈도별로 도출한 사고위험대응비용을 전기요금에 반영하였을 때의 요금의 변화 정도를 추정한다.

기준시점은 2011년이며, 관련통계로서는 2011년 기준의 원전 발전량, 2011년 전력판매액, 사고위험대응비용(kWh/원)을 적용한 원전 발전원가의 추정값(원/kWh)을 이용한다. 「한국전력통계」에 따르면 2011년의 전력판매액은 40조 6,471억 원, 2011년 원전발전량(실적)은 154,723GWh이다.

「제 6차 전력수급계획」의 원전발전원가(원/kWh)에 원전사고위험대응비용을 적용하면 발전원가는 상승한다. 한국전력의 구입비용은 이 상승분만큼 증가할 것이며, 따라서 전력판매금액도 상승할 것이다. 전기요금의 변화율은 식 (3)과 같이 원전사고위험대응비용을 반영하기 전과 후의 전력판매금액의 차이를 반영 전의 전력판매금액으로 나눈 값에 100을 곱하여 추정한다.

$$[\text{사고위험대응비용 반영 전후의 전력판매액 차이} / \text{반영 전의 전력판매액}] \times 100 \quad (3)$$

전기요금 변화율에 대한 추정 결과는 <표 11>과 같다. 90%의 이용률에서 2011년 기준으로 TMI 원전사고 피해비용과 4가지의 원전사고발생빈도를 적용한 경우에 사고위험대응비용을 추가하면 전기요금은 0.0010%~0.1931%만큼 상승한다. 후쿠시마 원전사고 피해비용을 적용하면 전기요금은 0.0391%~7.8216%만큼 상승한다. 심각한 원전사고 평균피해비용을 적용하면 전기요금은 0.0280%~5.6006%만큼 상승한다.

80%의 이용률에서 4가지의 원전사고발생빈도를 적용하면 전기요금은 TMI 원전사고 피해비용의 경우에 0.0011%~0.2173%만큼 상승한다. 후쿠시마원전사고 피해비용의 경우에 전기요금은 0.0440%~8.7993%만큼 상승한다. 심각한 원전사고 평균피해비용의 경우에 전기요금은 0.0315%~6.3007%만큼 상승한다.

70%의 이용률에서 4가지의 원전사고발생빈도를 적용하면 전기요금은 TMI 원전사고 피해비용의 경우에 0.0013%~0.2483%만큼 상승한다. 후쿠시마원전사고 피해비용의 경우에 전기요금은 0.0503%~10.0563%만큼 상승한다. 심각한 원전사고 평균피해비용의 경우에 전기요금은 0.0360%~7.2008%만큼 상승한다.

<표 11> 이용률별 피해비용별 사고위험대응비용 적용 시의 전기요금변화에 대한 민감도 분석

구분		전기요금 변화 정도(%)		
사고빈도 기준	이용률 (%)	TMI 원전사고 피해비용의 경우	후쿠시마 원전사고 피해비용의 경우	심각한 원전사고 평균피해비용의 경우
IAEA 기준 (0.00001)	90	0.0010	0.0391	0.0280
	80	0.0011	0.0440	0.0315
	70	0.0013	0.0503	0.0360
세계원전 운영기준 (0.00035)	90	0.0338	1.3688	0.9801
	80	0.0380	1.5399	1.1026
	70	0.0435	1.7599	1.2601
일본원전 운영기준 (0.002)	90	0.1931	7.8216	5.6006
	80	0.2173	8.7993	6.3007
	70	0.2483	10.0563	7.2008
NRC 기준 (0.0001)	90	0.0097	0.3911	0.2800
	80	0.0108	0.4400	0.3150
	70	0.0124	0.5028	0.3601

## V. 결론

후쿠시마원자력발전소의 사고를 계기로 원전에 대한 국민수용성은 이전보다 낮아졌고, 사고피해비용, 사고위험대응비용과 같은 외부비용들의 중요성이 부각되고 있다. 원전을 포함하는 많은 산업부문들이 0보다 큰 부정적 외부비용을 갖고 있지만, 이 외부비용들은 명시적으로 고려되지 않았다. 원전의 외부비용은 경제체제 내에 존재하는 모든 경제주체들이 부담하고 있었지만, 그 크기 또는 부담의 정도가 명시적으로 드러나지 않았다.

본 연구는 원전의 외부비용을 추정하여 정량적으로 제시하기 위해서 원전에 대한 추가안전대책비용과 사고위험대응비용을 대상으로 균등화발전원가방식과 손해기대치접근법을 이용하였다. 그리고 외부비용들이 추가된 발전원가를 추정하고, 경제주체들의 외부비용에 대한 수용정도를 감안하기 위하여 외부비용이 반영된 후의 전기요금을 추정하여 반영 전의 전기요금과 비교하였다.

원전추가안전대책비용을 반영한 발전원가는 이용률 70%에서 60.18원/kWh, 80%에서 53.11원/kWh, 90%에서 47.60원/kWh로 추정되었다. 사고위험대응비용은 TMI 원전사고, 후쿠시마원전사고, 심각한 원전사고 평균피해비용의 경우들을 대상으로 4가지의 원전사고발생빈도를 가정하여 도출하였다. 추정 결과에 따르면 후쿠시마 원전사고의 피해비용 및 일본원전 운영기준 사고발생빈도 기준을 적용했을 경우의 사고위험대응비용이 가장 높았다. 원전 이용률이 낮아질수록 발전량이 작아지고 사고피해비용은 불변이므로 사고위험대응비용은 높아진다. 2011년 기준으로 사고위험대응비용은 사고피해비용의 규모와 사고발생빈도에 따라 상이하지만, 이용률 90%에서 0.0025원/kWh~20.5479원/kWh, 이용률 80%에서 0.0029원/kWh~23.1164원/kWh, 이용률 70%에서 0.0033원/kWh~26.4188원/kWh으로 추정되었다.

사고위험대응비용을 적용한 후의 발전원가는 이용률 90%에서 47.58원/kWh~67.62원/kWh, 이용률 80%에서 53.08원/kWh~75.63원/kWh, 이용률 70%에서 60.15원/kWh~85.92원/kWh으로 추정되었다. 「제6차 전력수급계획」의 원전발전원가와 비교하면 증가율은 1%~45%로 나타났다. 발전원가에 사고위험대응비용을 추가하여 내부화한 경우에 전기요금의 증가율은 90%의 이용률에서 0.001%~7.8216%, 80%

의 이용률에서 0.0011%~8.7993%, 70%의 이용률에서 0.0013%~10.0563%로 추정되었다.

본 연구는 심각한 원전 사고가 발생할 것을 고려할 때의 외부비용에 대한 추정방법론을 제시하고, 이를 적용하여 외부비용의 항목들 중에서 추가안전대책비용과 사고위험대응비용을 추정하였다. 이와 같은 추정결과는 우리나라에서 원전의 외부비용을 내부화하는 방법에 대한 선행연구들이 이루어지지 않았다는 점을 고려할 때에 외부비용의 내부화방법을 제시하는 것이 된다. 우리나라에서는 원자력발전과 관련한 심각한 사고가 발생한 적이 없으므로 본 연구에서 추정한 사회적 비용들 중에서 사고위험대응비용은 해외에서 발생한 원전사고들의 피해금액을 기초로 하고 있으므로 불확실성과 변동성을 갖는다. 이러한 불확실성 때문에 사고위험대응비용은 고려하는 가정에 따라서 큰 범위를 갖게 되며, 추정치는 몇 십 배 이상으로 변화한다. 분석이 갖고 있는 불확실성과 변동성을 고려할 때에 이 결과들 중에서 특정한 추정값만이 유의성을 갖는 것은 아니므로 본 연구의 추정결과가 일반적으로 인용되는 것은 지양해야 할 것이다.

## [참고문헌]

1. 경기개발연구원, 2000, “21C 경기대기보전 실천계획”, 보고서 [www.golibrary.go.kr/elec/original/original\\_detail\\_view.jsp?isbn=DC00100321](http://www.golibrary.go.kr/elec/original/original_detail_view.jsp?isbn=DC00100321).
2. 경기개발연구원, 2003, “경기도지역 대기오염의 사회적 비용 추정 및 적정 수준 달성 방안”, 보고서.
3. 김형준, 2006, “지속가능한 에너지 체제 관점에서의 천연가스와 원자력 발전의 비교”, 원자력산업 6월호, p.66-76.
4. 에너지경제연구원, 2012, “다목적댐 수력발전 가치평가”, 용역보고서.
5. 전력거래소, 2012, 「한국전력통계」 제 81호(2012. 6).
6. 전상일, 1999, “서울시 대기오염이 건강에 미치는 영향과 질병비용에 관한 연구”, 서울대학교 보건대학교 보건학박사학위논문.

7. 정성호, 배득중, 정창훈, 2011, “사회적 한계비용을 고려한 화력발전과세 확대에 관한 연구”, 지방행정연구, 제25권 제4호(통권 87호), pp. 259-284.
8. 조준모, 유완식, 1996, “대기오염으로 인한 경제적 비용-편익 분석에 관한 연구”, 송실경영경제연구, Vol. 26, pp. 463-490.
9. 지식경제부, 2012, ‘원전사후처리 비용 대폭 현실화’, 보도자료 2012년 12월 28일자.
10. 지식경제부, 2013, 「제 6차 전력수급계획」, 보도자료, 2013년 2월 22일자 [www.mke.go.kr/mke/brd2\\_view.jsp?seq=77757&pageNo=1&srchType=1&srchWord=&pCtx=1](http://www.mke.go.kr/mke/brd2_view.jsp?seq=77757&pageNo=1&srchType=1&srchWord=&pCtx=1).
11. 한국수력원자력, 2011, 2012, 뉴스레터 제 154호(2011. 6. 3), 제 170호(2012. 2. 2).
12. 한국전력공사, 1997, “전력산업의 사회적 비용에 관한 연구”, 최종보고서, 한국전력공사 전원계획처.
13. 한국환경정책평가연구원, 2000, “환경문제를 고려한 천연가스의 경제성 평가 및 보급 활성화 방안연구”, 최종보고서, [webbook.me.go.kr/DLi-File/023/35945.pdf](http://webbook.me.go.kr/DLi-File/023/35945.pdf).
14. 현대경제연구원, 2012, “원전 드러나지 않은 비용”, 보고서, 2012년 11월 1일자.
15. エネルギー環境會議, 2010, “事故リスクへの対応コストについて”, 平成22年度実績・エネルギー環境會議資料 資料4.
16. 經濟産業省, 2011, “東京電力株式会社福島第一, 第二原子力発電所事故による原子力損害の範囲の判定等に関する中間指針”, 2011년 8월 5일.
17. 原子力委員会, 2011, “原子力発電の全諸元および諸元データの参考情報”, 資料2.
18. 原子力委員会, 2011, “追加的安全対策費用について”, 資料2-1.
19. 原子力委員会 コスト等検証委員会, 2011, “コスト等検証委員会報告書”, 2011년 12월 13일.
20. 原子力損害賠償紛争解決センター, 2012, “活動状況報告書— 初期段階 (9-12月) における状況について— (概況報告と総括)”, 2012년 1월 30일, p. 2, [www.mext.go.jp/component/a\\_menu/science/anzenkakuho/micro\\_detail/\\_icsFiles/afieldfile/2012/02/16/1316600\\_1\\_1\\_1.pdf](http://www.mext.go.jp/component/a_menu/science/anzenkakuho/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2012/02/16/1316600_1_1_1.pdf).
21. 東京電力株式会社, 2011, “東京電力に関する経営・財務調査委員会報告書”, 2011년 10월 3일.
22. 内閣府 原子力政策担当室, 2011, “原子力発電所の事故リスクコスト試算の考え方”, 平成23年 10月 13日, 技術等検討小委員会第2回 資料 第1号.
23. CASES(Cost Assessment of Sustainable Energy Systems), 2008a, “Review of literature on national estimates of private and external costs of electricity generation in

- European countries,” Report, Project No. 518294 SES6, [www.feem-project.net/cases/documents/deliverables/D\\_06\\_1%20part2%2008\\_09.pdf](http://www.feem-project.net/cases/documents/deliverables/D_06_1%20part2%2008_09.pdf).
24. CASES, 2008b, “Development of a set of full cost estimates of the use of different energy sources and its comparative assessment in EU countries: Part I. Review of Literature on National Estimates of Private And External Costs of Electricity Generation in European Countries,” Report, Project No. 518294 SES6, [www.feem-project.net/cases/documents/deliverables/D\\_06\\_1%20part1%20final.pdf](http://www.feem-project.net/cases/documents/deliverables/D_06_1%20part1%20final.pdf).
  25. CASES, 2008c, “Development of a set of full cost estimates of the use of different energy sources and its comparative assessment in EU countries: Part II. Full cost: Levelised European estimates results and assesment,” Report, Project No. 518294 SES6, [www.feem-project.net/cases/documents/deliverables/D\\_06\\_1%20part2%2008\\_09.pdf](http://www.feem-project.net/cases/documents/deliverables/D_06_1%20part2%2008_09.pdf).
  26. EU European Commission, 2003, “External Costs: Research results on socio-environmental damages due to electricity and transport(EXTERN E project),” Community research, final report.
  27. EUSUSTEL, 2006, “European Sustainable Electricity; Comprehensive Analysis of Future European Demand and Generation of European Electricity and its Security of Supply,” no.006602, Final Technical Report, [www.eusustel.be/public/documents\\_public/Final%20Technical%20Report.pdf](http://www.eusustel.be/public/documents_public/Final%20Technical%20Report.pdf).
  28. EUSUSTEL, 2007, “The European Union, 25 different countries, 25 different energy policies: An overview,” Report, European Sustainable Electricity; Comprehensive Analysis of Future European Demand and Generation of European Electricity and its Security of Supply, eurelectric and VGB PowerTech [www.eusustel.be/results.php](http://www.eusustel.be/results.php).
  29. Gagnon, L., 2003, “The cost range chosen for hydraulics measures inclusion or not of a vast reservoir,” *Revue de l’Energie*, no.546.
  30. Holland, M. R., P. Watkiss., 2002, “Benefits Table database: Estimates of the marginal external costs of air pollution in Europe BeTa version E1.02a,” Report, Created for European Commission DG Environment, [europa.eu.int/comm/environment/enveco/air/betaec02aforprinting.pdf](http://europa.eu.int/comm/environment/enveco/air/betaec02aforprinting.pdf).
  31. Krupnick., A. J. D. Burtraw, 1996, “The Social Costs of Electricity: Do the Numbers Add Up?,” *Resources for the Future*, Discussion Paper 96-30, [www.rff.org/Documents/RFF-DP-96-30.pdf](http://www.rff.org/Documents/RFF-DP-96-30.pdf).



32. OECD IEA, 2010, “Projected costs of generating Electricity”2010 Update, OECD REN 21, 2012, “The True Cost of Electric Power,” Report, Summary for Policymakers, [new.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/RFF-Rpt-BurtrawKrupnick.TrueCosts\\_Summary\\_web.pdf](http://new.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/RFF-Rpt-BurtrawKrupnick.TrueCosts_Summary_web.pdf).
33. Rowe, R. D., C. M. Lang, L. G. Chestnut, D. A. Latlmer, D. A. Rae, S. M. Bernow, D. E. White, 1995, “New York State Environmental Externalities Cost Study,” Empire State Electric Energy Research Corporation.