

# 현안과 과제

원전의 '드러나지 않는 비용'  
- 원전 안전성 제고와 추가적인 기금 적립이 필요하다

원자력 발전의 경제성 - 안전성 논란	
연구 배경	- 원자력은 '값싸고 깨끗한 에너지'라고 알려져 왔으나, 후쿠시마 사고 및 국내 원전의 잇단 고장으로 '비싸고 위험한 에너지'라는 문제의식 확산
연구 목적	- 사고 위험, 핵폐기물 처분 등 '드러나지 않는 비용 (hidden costs)'을 감안한 원자력 에너지의 경제성 재고찰 및 정책적 시사점 도출

원전의 '드러나지 않는 비용(hidden costs)'	
<p><b>첫째, 사고 발생 위험 비용</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 원자력 발전소의 100% 완벽한 안전 보장은 사실상 불가능 (스리마일 섬 ('79), 체르노빌 ('86), 후쿠시마('11))</li> <li>- 원전은 다른 발전소와 달리 사고 발생 시 천문학적 규모의 손실 발생 (고리 원전에서 후쿠시마 규모의 사고 발생 시 반경 30km 이내 320만명 직접 피해, 전 국토의 11.6% 오염)</li> <li>- 세계 3대 원전사고의 원전 1기당 피해 규모는 약 58조원에 달하는 반면, 한국은 원전 사고의 배상책임을 약 5,000억원의 유한책임으로 규정하고 있을 뿐 별도의 비용 적립 부재</li> </ul>	
<p><b>둘째, 원전 해체 및 환경 복구 비용</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 최근 안전 및 환경 기준 강화로 원전을 해체하고 주변 환경을 복구하는 비용 증가</li> <li>- 현재 가동중인 원전 23기 중 절반 이상인 12기의 설계수명 만료일이 2030년 이전에 집중되어 있어 노후 원전을 해체하기 위한 구체적 계획 수립 필요</li> <li>- 원전 23기를 모두 해체할 경우 유럽감사원(ECA) 기준 추정치(약 23.6조원)와 한국 정부의 추정치(약 9.2조원) 사이에 상당한 격차가 존재</li> </ul>	
<p><b>셋째, 사용후 핵연료 처분 비용</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 사용후 핵연료 등 핵폐기물은 인간의 생활권으로부터 완전히 격리시켜 수천, 수만년의 초장기간(超長期間) 동안 안전하게 보관할 필요</li> <li>- 한국은 2016년~2024년 사이에 임시 저장시설이 포화상태에 도달하여 중간저장 및 영구 처분 시설 확보가 시급한 상황이나 해결책을 찾지 못하고 있음</li> <li>- 일본 원자력위원회의 시산을 바탕으로 한국의 사용후 핵연료 처분 비용을 추정하면 약 72조원으로 예상 적립금 규모(약 16조원)와 큰 차이가 발생</li> </ul>	

시사점	
<p>첫째, 설계 수명이 만료된 노후 원전의 수명을 연장하고 원전 가동률을 높이는 것은 잠재적 위험 비용이 기대 편익을 상회할 수 있기 때문에 신중할 필요가 있다.</p>	
<p>둘째, 원전 해체 및 환경 복구, 사용후 핵연료 처분을 위한 구체적인 계획을 수립하고 충분한 재원을 마련하여야 한다.</p>	
<p>셋째, 안전하고 친환경적인 신재생에너지의 경제성을 확보하기 위한 연구개발 및 투자를 확대할 필요가 있다.</p>	
<p>넷째, 범국민적 생활에너지 절약운동을 적극적으로 펼쳐 전력 소비량을 획기적으로 줄여야 한다.</p>	
<p>다섯째, 낮은 전기요금에 기반한 에너지 다소비 산업구조에서 저(低)에너지 산업구조로의 전환을 이루어야 한다.</p>	

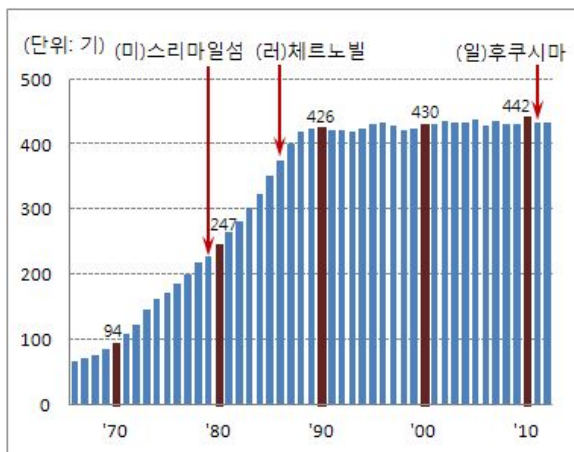
## 1. 원자력 발전의 경제성 - 안전성 논란

- (연구 배경) 원자력은 '값싸고 깨끗한 에너지'라고 알려져 왔으나 후쿠시마 사고 및 국내 원전의 잇단 고장으로 '비싸고 위험한 에너지'라는 문제의식 확산
  - 한국전력공사의 2011년 발전원별 전력 매입단가는 원자력 39.2원/kWh, 석탄 67.2원/kWh으로 원자력이 석탄에 비해 58% 수준으로 저렴한 것으로 나타남
  - 그런데 후쿠시마 사고 이후 일본의 '발전단가 검증위원회'는 원자력 발전단가가 과거 추정치보다 상승하여 화석연료와 비슷한 수준이라고 발표함<sup>1)</sup>
  - 한편, MIT 연구진은 2009년 원전의 실제 발전 단가가 화석연료에 비해 높다는 연구 결과를 발표한 바 있음<sup>2)</sup>
  - 전력 수요의 꾸준한 증가에도 불구하고 원전 수가 증가하지 않는 현실은 원전의 경제적 타당성이 부족하다는 주장에 설득력 부여
- (연구 목적) 사고 위험, 원전 해체, 사용후 핵연료 처분 등 '드러나지 않는 비용(hidden costs)'까지 감안하여 실제 원자력 에너지의 경제성을 재고찰하고, 향후 고려해야 할 정책적 시사점을 도출하고자 함

< 발전원별 발전단가 추정치 >

	(단위 원/kWh)		
	원자력(A)	석탄(B)	A/B
한국전력공사	39.2	67.2	58%
일본 발전단가 검증위원회	123.8	132.2	93%
MIT	114.8	84.7	136%

< 세계 원전 수 추이 >



자료: 각 기관 발표치 (환율과 물가상승률을 이 자료: KAIF, WNA 자료를 현대경제연구원 재구성  
 용하여 2011년 원화 기준으로 환산)

1) “コスト等検証委員会報告書”, エネルギー環境會議 (2011)  
 2) <http://web.mit.edu/nuclearpower>

## 2. 원전의 '드러나지 않는 비용(hidden costs)'

### (1) 사고 발생 위험 비용

- 원전 당국은 사고 방지를 위해 최선의 노력을 다하고 있으나 100% 완벽한 안전 보장은 사실상 불가능
  - 최악의 원전사고로 기록된 체르노빌 사고('79) 이후 다시는 사고가 발생하지 않도록 최선을 다해왔으나 예기치 못한 자연재해로 후쿠시마 사고('11) 발생
  - 1966년부터 2012년까지 47년 간 가동된 누적 원전 수 15,230기 중 5등급 이상의 대형사고 3건(6기)을 고려하면 원전 1기당 연간 사고발생 확률은 0.04%
  
- 원전은 다른 에너지원과 달리 사고 발생 시 천문학적 규모의 손실이 발생
  - 특히 한국은 국토 면적이 좁고 인구 밀도가 높아서 막대한 인명 피해와 국토 오염이 발생할 수 있음
  - 고리 원전에서 후쿠시마 규모의 사고가 발생 시 반경 30km 이내에 거주하는 주민 320만명이 직접 피해, 전체 국토 면적의 11.6%가 제염 대상지역에 해당
  
- 세계 3대 원전사고의 원전 1기당 평균 피해 규모는 약 58조원 수준<sup>3)</sup>
  - 원전사고 피해 복구 비용은 스리마일 섬 2조원, 체르노빌 265조원으로 추산
  - 일본은 후쿠시마 사고 피해복구 비용을 최소 81조원 이상으로 추정하고 있으나 실제 피해 규모는 시간이 지난 후에 추산 가능

< 세계 3대 원전 사고의 피해 현황 >

	스리마일 섬(미)	체르노빌(러)	후쿠시마(일)
발생 시점	1979년	1986년	2011년
사고 원전 수	1기	1기	4기
당시 원전 수명	4개월	8년	30~40년
사고 등급	5등급	7등급(최고등급)	7등급(최고등급)
피해 복구 비용	10억달러 <sup>4)</sup>	2,350억달러 <sup>5)</sup>	최소 5.8조엔 <sup>6)</sup>
2011년 기준 <sup>7)</sup>	약 2조원	약 265조원	최소 81조원

자료: 미국 정부, IAEA, 일본 에너지환경회의 (현대경제연구원 재구성)

3) 미국 정부, IAEA, 일본 에너지환경회의에서 발표한 피해 복구 비용 추정치와 발표 당시의 연평균 환율, 해당 기간의 물가상승률을 이용하여 2011년 원화 기준으로 환산

- 한국은 원전 사업자의 배상책임을 약 5,000억원의 유한책임으로 규정하고 500억원의 손해배상조치(민간책임보험 및 정부보상계약)를 의무화하고 있을 뿐 추가적인 비용 적립 부재<sup>8)</sup>
  - 이는 대형 원전 사고의 피해 규모에 비해 현저히 낮은 금액으로 이를 초과하는 규모의 사고 발생 시 국가 재정 투입이 불가피함

## (2) 원전 해체 및 환경 복구 비용

- 최근 세계적인 안전 및 환경 기준의 강화에 따라 노후 원전을 해체하고 주변 환경을 복구하는 비용은 증가하는 추세
  - 원전 해체(decommissioning)는 원자력 발전 시설 및 부지를 원전 건설 이전 상태로 되돌리는 것을 의미
  - 미국(Haddam Neck 원전), 동유럽 3개국(불가리아, 리투아니아, 슬로바키아) 등에서 원전 해체에 투입된 실제 비용은 사전 추정치보다 증가
  - 2003년 OECD NEA에서 발표한 14개국 79개 원전의 해체 비용은 국가·용량·노형 등에 따라 약 10배에 이르는 편차 발생
- 현재 가동중인 원전 23기 중 절반 이상인 12기의 설계수명 만료일이 2030년 이전에 집중되어 있어 해체 계획 수립 및 적정 규모의 재원 확보가 필요
  - 원전 해체비용은 사업자가 장부상 충당부채로 적립하도록 규정되어 있어<sup>9)</sup> 실제 지출시점에 재정압박이 발생할 수 있다는 우려가 제기됨
- 원전 23기를 모두 해체할 경우 유럽감사원(ECA) 기준 추정치(약 23.6조원)와 한국의 추정치(약 9.2조원) 사이에 상당한 격차가 존재

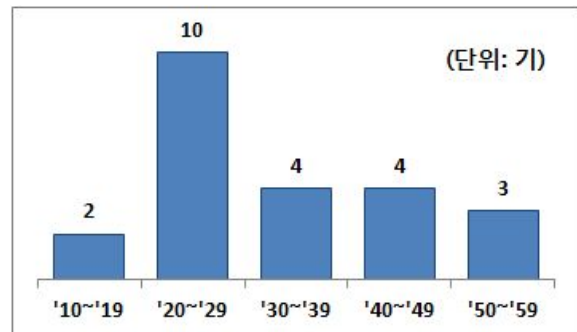
4) "14-Year Cleanup at Three Mile Island Concludes", New York Times (1993. 8. 15)  
 5) "Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socia-Economic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, Russian Federation and Ukraine", IAEA (2006)  
 6) "コスト等検証委員会報告書", エネルギー環境會議 (2011)  
 7) 추정 당시의 환율 및 해당 기간의 물가상승률을 이용하여 2011년 원화 기준으로 환산  
 8) 원자력손해배상법은 원전 사고의 배상책임 한도를 3억 SDR로 규정. SDR(Special Drawing Rights)은 국제통화기금(IMF)의 특별인출권으로 2012년 10월 기준 1 SDR = 1706.15원  
 9) 방사성폐기물 관리법 시행령

- 2012년 유럽감사원(ECA)은 불가리아, 리투아니아, 슬로바키아에서 현재 진행 중인 원전 8기의 해체 비용을 최초 추정치보다 30% 증가한 53억유로로 산정<sup>10)</sup>
- 국가 간 구매력 차이와 노형, 용량 및 해체 방법의 차이를 무시하고 단순 환율을 적용하여 계산할 경우 원전 1기당 평균 해체비용은 약 1조 200억원 수준
- 한국은 원전 1기당 해체 비용을 약 4,000억원(2003년말 기준 3,251억원)으로 추정하고 충당부채를 적립하고 있음

< 원전 1기당 해체 비용 추정치 >

발표기관	추정시점	2012년 환산 비용
한국정부	2003년	4,000억원 <sup>11)</sup>
IEA	2001년	9,861억원 <sup>12)</sup>
유럽감사원	2012년	1조 212억원 <sup>13)</sup>

< 한국 원전의 설계수명 만료일 분포 >



자료: 각 기관 발표치 (환율과 물가상승률을 이용하여 2012년 원화 기준으로 환산)

자료: 한국수력원자력 (현대경제연구원 재구성)  
주: 해당 기간내 설계수명이 만료되는 원전 수

### (3) 사용후 핵연료 처분 비용

- 사용후 핵연료 등 핵폐기물은 인간의 생활권으로부터 격리시켜 초장기간(超長期間) 동안 안전하게 보관할 필요가 있음
  - 핵폐기물의 처분은 반감기가 수천~수만년에 이르는 장수명 핵종을 인간의 생활권으로 영구 격리시키는 것을 의미
  - 1만년이라는 시간은 신석기시대로부터 현재까지의 시간으로 인류의 생존 방식 변화나 지진, 해일, 화산 등 지구의 지각활동은 예측 불가

10) 'EU Financial Assistance for the Decommissioning of Nuclear Plants', European Court of Auditors (2011).

11) 한국정부는 원전 1기당 해체 비용을 3,251억원(2003년 기준)으로 추정하고 물가상승률 2.3%, 할인율(이자율) 4.36% 적용하여 비용을 충당하도록 규정

12) 국제에너지기구(IEA)는 2001년 고리 1호기의 폐로비용을 약 5.9억 달러(1999년 기준)로 추정

13) 유럽감사원(ECA)은 2012년 원전 8기의 해체 비용을 53억유로로 산정

- **한국은 2016년~2024년 사이에 임시 저장시설이 포화상태에 도달하여 중간저장 및 영구처분 시설 확보가 시급한 상황**
  - 세계적으로 사용후 핵연료 영구처분 시설은 아직 건설된 경험이 없어 비용 추산에 참고할 만한 근거 부족
  - 미국은 네바다주 유카(Yucca)산 지하에 영구처분 시설을 건설하려고 했으나 안전성에 대한 우려 제기로 2009년 무산된 바 있음
  
- **2012년 일본 원자력위원회는 사용후 핵연료를 지하에 영구격리 처분하는 비용을 최소 185조원(원전 1기당 평균 3조 1,400억원)으로 시산**
  - 기존 원전 59기의 수명을 40년으로 보고 신규 원전 건설 없이 원전 비율이 2020년까지 35%, 2030년까지 15%로 점진적으로 낮아지는 경우를 상정
  - 사용후 핵연료를 재처리하는 비용(250조원)보다 지하에 영구격리 처분하는 비용(185조원~195조원)이 더 저렴한 것으로 판단<sup>14)</sup>
  
- **일본의 시산을 바탕으로 한국의 사용후 핵연료 처분 비용을 추정하면 약 72조원으로 예상 적립금 규모(약 16조원)와 큰 차이가 발생**
  - 계산상 복잡성을 감안하여 일본의 원전 1기당 평균 사용후 핵연료 처분 비용과 운영 기간이 동일하게 적용된다고 가정하면, 한국 원전 23기의 사용후 핵연료 처분 비용은 약 72조원으로 추정됨<sup>15)</sup>
  - 한국은 연간 약 3,000억원을 사용후 핵연료 처분 비용으로 적립하고 있으며 2010년말 기준 누적 적립금은 약 4조원 수준<sup>16)</sup>
  - 원전 23기에서 향후 40년 동안 현재 수준과 동일한 사용후 핵연료 처분 비용을 적립한다고 가정하면 예상 적립금 규모는 약 16조원으로 추정됨
  - 국가별 상황의 차이, 처분 시점 및 방식의 차이, 기술적 불확실성 등으로 인하여 사용후 핵연료 처분 비용 추정치는 실제 발생 비용과 차이가 발생할 수 있음

14) 사용후 핵연료를 재처리하는 비용을 18조엔, 영구격리 처분하는 비용을 13.3조엔~14.1조엔으로 추정

15) 원전의 노형, 가동률 등에 따라 사용후 핵연료의 종류 및 발생량에 차이가 존재하나 개략적 추정을 위해 원전 수와 사용후 핵연료 발생량이 비례한다고 단순 가정

16) 한국은 사용후 핵연료 1다발 당 처분 비용을 2003년말 불변가격으로 경수로 4억 1,065만원, 중수로 579만5천원으로 추정하고 비용을 적립 중. 연간 적립금은 최근 3년 평균치, 누적 적립금은 방사성폐기물관리기금의 순자산과 한수원의 사용후핵연료 처리복구 총당부채의 합



### 3. 시사점

**첫째, 설계 수명이 만료된 노후 원전의 수명을 연장하고 원전 가동률을 높이는 것은 잠재적 위험 비용이 기대 편익을 상회할 수 있기 때문에 신중할 필요가 있다.**

- 노후 원전의 수명을 연장하여 얻을 수 있는 편익은 일정한 데 비해 잠재적 위험 비용은 기하급수적으로 증가하여 경제적 타당성이 상실될 수 있음
- 또한, 한국의 원전 가동률은 세계 최고 수준으로 안전 점검을 위해 더 많은 시간을 할애해야 한다는 지적이 꾸준히 제기되고 있음
- 현재 운영중인 원전은 안전성 확보를 최우선에 놓고 엄격한 관리감독 및 적절한 비용 투입을 보장할 필요가 있음

**둘째, 원전 해체 및 환경 복구, 사용후 핵연료 처분을 위한 구체적인 계획을 수립하고 충분한 재원을 마련하여야 한다.**

- 설계수명 만료에 직면한 고리 1호기(2007. 6. 18)<sup>17)</sup>, 월성 1호기(2012. 11. 20) 해체를 위한 구체적 계획을 수립하고 충당부채를 적립금으로 전환할 필요가 있음
- 또한, 임시 저장시설이 포화상태에 도달하는 2016년~2024년 이전에 중간저장 및 영구처분 시설을 확보하기 위한 해결책을 시급히 모색할 필요가 있음
- IAEA는 원전 건설 시점에 해체 계획을 수립하도록 권고하고 있으며, 미국은 원전 운영 승인 시점에 사용후 핵연료 처분계획을 제시할 것을 의무화

17) 2008년 수명연장 허가를 받고 10년 동안 추가 운전 중



**셋째, 범국민적 생활에너지 절약운동을 적극적으로 펼쳐 전력 소비량을 획기적으로 줄여야 한다.**

- 에너지 소비자가 스스로 생산자가 되고 그 과정에서 자발적으로 에너지 절약에 나서게 되는 분산 발전 시스템 확대 필요
- 원전 관련 정보의 투명한 공개로 국민의 불안감을 해소하고 국민적 동의에 기초한 에너지 정책 수립을 위해 노력

**넷째, 낮은 전기요금에 기반한 에너지 다소비 산업구조에서 저(低)에너지 산업 구조로의 전환을 이루어야 한다.**

- '낮은 전기요금 - 에너지 다소비 - 원전 확대'로 이어지는 산업구조를 저에너지 · 친환경 산업구조로 전환하여 지속가능한 성장잠재력을 확보
- 국가적 차원에서 저에너지 산업구조로의 개편을 유도하여 에너지 수요 증가를 억제하는 한편 신재생에너지 공급이 확대되도록 정책의 패러다임을 전환

**다섯째, 안전하고 친환경적인 신재생에너지의 경제성을 확보하기 위한 연구개발 및 투자를 확대할 필요가 있다.**

- 지속가능한 신재생에너지 개발 경쟁이 가속화되는 시대적 흐름에서 유리를 고지를 차지하기 위한 기술력 확보가 중요
- 장기적으로 원전 확대 정책보다 신재생에너지 개발 촉진에 무게를 두고 점진적인 국가 에너지 수급구조 변화를 도모하는 것이 바람직 **HRI**

장우석 연구위원 (jangws@hri.co.kr, 2072-6237)

## 【별 첨】 국내 원자력 발전소의 설계수명 현황 (2012. 10. 31 기준)

	최초 임계일	설계수명 만료일	설계수명	잔여수명
고리1호기 <sup>18)</sup>	1977-06-19	2007-06-18	30년	-
월성1호기	1982-11-21	2012-11-20	30년	-
고리2호기	1983-04-09	2023-04-08	40년	10년
고리3호기	1984-09-29	2024-09-28	40년	12년
고리4호기	1985-08-07	2025-08-06	40년	13년
영광1호기	1985-12-23	2025-12-22	40년	13년
영광2호기	1986-09-12	2026-09-11	40년	14년
월성2호기	1996-11-02	2026-11-01	30년	14년
울진1호기	1987-12-23	2027-12-22	40년	15년
월성3호기	1997-12-30	2027-12-29	30년	15년
울진2호기	1988-12-29	2028-12-28	40년	16년
월성4호기	1999-02-08	2029-02-07	30년	16년
영광3호기	1994-09-09	2034-09-08	40년	22년
영광4호기	1995-06-02	2035-06-01	40년	23년
울진3호기	1997-11-08	2037-11-07	40년	25년
울진4호기	1998-10-29	2038-10-28	40년	26년
영광5호기	2001-10-24	2041-10-23	40년	29년
영광6호기	2002-07-31	2042-07-30	40년	30년
울진5호기	2003-10-20	2043-10-19	40년	31년
울진6호기	2004-10-12	2044-10-11	40년	32년
신고리1호기	2010-07-15	2050-07-14	40년	38년
신고리2호기	2011-12-27	2051-12-26	40년	39년
신월성1호기	2012-01-07	2052-01-06	40년	39년

18) 2008년 수명연장 허가를 받고 10년 동안 추가 운전 중