

한국과 일본의 장기 저탄소 에너지 시나리오에 대한 메타 리뷰*

박 년 배**

〈요 약〉

본 연구는 2000년부터 현재까지 한국과 일본의 에너지 수급 현황을 비교하는 한편, 2000년 이후 발표된 중장기 저탄소 에너지 계획 및 시나리오 관련 문헌들을 검토하였다. 에너지수급 측면에서 한국과 일본은 모두 에너지 수입의존도가 높고, OECD 국가들 중에서 제조업의 비중이 높으며, 전력 계통은 외부와 고립된 시스템이며, 발전량에서 원전이 차지하는 비중이 높고, 재생에너지 잠재량은 높지만 실제 생산량은 낮다는 점 등이 유사하다. 차이점은 에너지 소비량 추세가 일본은 감소하는 반면, 한국은 증가하고 있으며, 지역간 전력 교류가 한국은 가능한 반면, 일본은 그렇지 않으며, 향후 원자력 확대가 일본은 어려울 전망이다 반면, 한국의 현 정부는 원자력 확대 방침을 유지하고 있다는 점 등이다. 후쿠시마 원전 사고 전후로, 일본과 한국의 정부에서 수립한 에너지계획은 원자력을 약 2 배 수준으로 확대할 계획으로 하고 있었지만, 시민사회에서는 에너지 수요 저감, 원자력의 단계적 축소, 재생에너지 확대를 내용으로 하는 시나리오들을 발표하였다.

* 본 연구는 2012년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20100092). 2012년 한국환경경제학회 하계 정기학술대회에서 유익한 조언을 해주신 일본 메이조대학의 이수철 교수와 유익한 심사를 해주신 익명의 심사자께도 감사드립니다.

** 세종대학교 기후변화센터 연구교수(제1저자, 교신저자).

본 연구는 일본과 한국의 중장기 에너지 시나리오 및 계획 수립 연구에 활용될 수 있을 것이다.

주제어 : 에너지 시나리오, 메타 리뷰, 비교 분석, 한국, 일본

This paper compared historical energy use from 2000 between Japan and Korea and reviewed literature of mid-and long-term low carbon energy scenarios and plans in both countries released since 2000. In terms of energy use pattern, there are similarities between Korea and Japan; high dependence on energy imports, high proportion of manufacturing industry among OECD countries, closed electricity system disconnected with foreign countries, and high proportion of nuclear power generation with low proportion of renewable electricity despite of high potential of renewable energy. Differences are as follows; decreasing trend in Japan and increasing trend in Korea in terms of energy demand and supply, difficulty of exchanging electricity between regions in Japan unlike Korea, and prospect of nuclear power, that is, curtailing in Japan while expanding in Korea according to governmental plan.

Energy Basic Plan in both countries established before nuclear accident in Fukushima required expanding about two times of nuclear energy by 2030, while civil society's energy scenarios suggested reducing energy demand, phasing-out nuclear power, and expanding renewable energy. This paper will serve as a base for future studies about long-term energy scenarios and plan in Japan and Korea.

Keywords : Energy Scenarios, Meta-review, Comparative analysis, Korea, Japan

JEL 분류 : N50, O13, Q47, Q54

I. 서 론

현재 일본과 한국 양국 모두 장기 에너지 시나리오에 대한 논의가 이루어지고 있으며, 특히 전력의 중장기 믹스에 대한 논의가 주목을 받고 있다. 일본은 2011년 3월 11일에 발생한 후쿠시마 원전 사고 이후 원전의 위험성을 인식하면서, 원자력을 포함한 발전기술들의 경제성을 재검토하는 한편, 원전 확대에 기반한 에너지계획을 재검토하고 있다. 2012년 9월에 일본 정부는 “혁신적 에너지·환경전략”을 발표하였으며, 시민사회도 원전 축소와 재생에너지 확대를 내용으로 하는 다양한 시나리오들을 발표해 왔다. 한국도 2010년 말 원자력 확대를 내용으로 하는 제2차 에너지기본계획에 대한 공청회가 있었지만, 후쿠시마 원전 사고 이후 동 계획은 연기되었고, 2011년 9월 15일에 발생한 대규모 순환 정전 사고를 계기로 전력수급 불안 문제가 불거지면서, 전력 수급 안정과 적정 에너지 믹스에 대한 논의들이 진행되고 있다.

에너지 믹스는 기후변화 대응 측면에서도 중요하다. 전력 및 열 생산 부문 이산화탄소 배출량이 연료 연소 부문 이산화탄소 배출량에서 차지하는 비중은 2009년에 한국 48.7%, 일본 39.8%로 큰 비중을 차지하고 있다(IEA, 2011a). 일본은 모든 주요 경제국들이 참가하는 국제 협상을 전제로 2020년까지 1990년 온실가스 배출량 대비 25%를 감축하는 국내 목표를 설정하였다. 이를 달성하기 위해서는 발전 부문 온실가스 저감 노력이 중요한데, 특히 원자력의 기여도를 살펴보면 1차 에너지는 2007년 10%에서 2030년 24%로, 발전량은 2007년 26%에서 2030년 약 50%로 약 2배로 높이는 목표를 수립하였다(METI, 2010). 한국은 2020년까지 배출전망치(BAU) 대비 30% 감축(2005년 대비 -4% 수준)하는 목표를 발표하였으며, 에너지 전환 부문은 2020년까지 BAU 대비 26.7% 감축(2005년 대비 27.3% 증가)하는 부문별 목표를 설정하였다(환경부 외, 2011). 한국은 국가에너지기본계획을 통해 원자력의 비중을 1

차에너지 대비 2006년 16%에서 2030년 28%로, 발전량 대비 2006년 39%에서 2030년까지 59%로 높이는 목표를 수립하였다(국무총리실 외, 2008; 에너지경제연구원, 2011a).

일본의 후쿠시마 원전 사고와 국내 대규모 순환 정전 사고, 그리고 기후변화를 완화하기 위한 온실가스 감축 노력은 기존의 에너지 수급 전략을 재검토할 것을 요구하고 있다. 한국과 일본 양국은 상호 무역 비중이 높은 인접 국가로서, 상대 국가의 에너지 및 기후변화 정책의 내용과 그 영향을 예의주시해 왔다.

본 연구는 한국과 일본의 에너지 수급 시나리오들에 대한 문헌 분석을 하고, 양국의 에너지 시나리오들을 비교·분석함으로써 한국의 에너지 수급 전략에 대한 시사점을 도출하는 것을 목적으로 한다. 2011년 일본과 한국 양국에서 발생한 사건들이 에너지 수급 관련 계획 및 시나리오에 영향을 미쳤는지, 그리고 양국의 에너지 시나리오 연구의 변화는 어떠한지도 분석하고자 하였다. 이를 위해 2000년부터 현재까지 한국과 일본의 에너지와 전력 수급 관련 부처와 연구기관의 홈페이지와 문헌을 통해 발표된 에너지, 특히 전력 수급 관련 주요 계획 및 시나리오들을 검토하였다. 아울러, 한국과 일본의 에너지 수급 전략을 둘러싼 변화의 배경을 이해하기 위하여, 양국의 최근 동향을 분석한 논문들도 검토, 참고하였다. 이 연구는 한국과 일본의 에너지 안보 및 위험 문제를 해소하고, 기후변화 완화에 기여하는 에너지 믹스를 수립하기 위한 참고자료가 될 수 있을 것이다.

II. 일본과 한국의 에너지 수급 현황

일본과 한국의 최근 에너지 주요 지표들의 변화를 살펴보면, 2000~2009년 기간 연평균 경제성장률은 일본이 0.5%씩 증가한 반면, 한국은 3.9%로 빠른 성장을 하였다(〈표 1〉 참고). 동일 기간 에너지 부문 이산화탄소 배출량, 1차에

〈표 1〉 일본과 한국의 에너지 주요 지표 비교

	일본			한국		
	2000	2009	연평균 증가율	2000	2009	연평균 증가율
GDP (십억 US\$(2000), PPP)	3,250.3	3,392.9	0.5%	808.4	1,141.0	3.9%
인구 (백만명)	126.9	127.3	0.0%	47.0	48.8	0.4%
연료 연소 부문 CO ₂ (Mt CO ₂)	1,184.0	1,092.9	-0.9%	437.7	515.5	1.8%
1차 에너지 (Mtoe)	519.0	472.0	-1.0%	188.1	229.2	2.2%
전력 소비량 (TWh)	1,011.6	997.4	-0.2%	277.7	437.7	5.2%
1인당 GDP (US\$(2000), PPP)	25,607	26,647	0.4%	17,196	23,405	3.5%
1인당 배출량 (TCO ₂)	9.33	8.58	-0.9%	9.31	10.57	1.4%
1인당 1차 에너지 (toe)	4.089	3.707	-1.1%	4.001	4.701	1.8%
1인당 전력 소비 (kWh)	7,970	7,833	-0.2%	5,907	8,980	4.8%
CO ₂ eq./GDP PPP (kg CO ₂ / US\$(2000), PPP)	0.36	0.32	-1.3%	0.54	0.45	-2.0%
1차에너지 / GDP PPP (toe / 천US\$(2000), PPP)	0.160	0.139	-1.5%	0.233	0.201	-1.6%
전력 소비 / GDP PPP (kWh / US\$(2000), PPP)	0.311	0.294	-0.6%	0.344	0.384	1.2%

자료 : IEA(2011a,b) 자료 재구성.

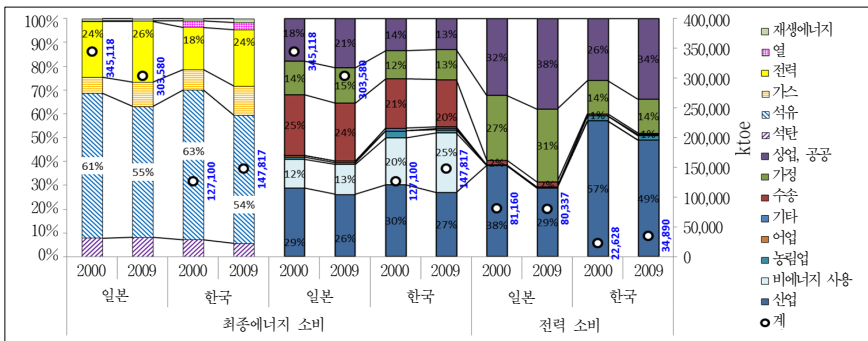
너지 공급, 전력 소비량 등 절대량 측면에서 일본은 감소 추세를 보이는 반면, 한국은 증가 추세를 보이고 있다. 특히 한국의 전력 소비량은 빠른 증가 추세를 나타냈다. 또한 1인당 지표(1인당 에너지 부문 배출량, 1차에너지 공급, 전력 소비량)에서도 일본은 감소세를, 한국은 증가세를 보이면서 대조적인 모습을 보여주고 있다. GDP 원단위 지표를 보면, GDP당 배출량과 GDP당 1차에너지 소비량은 일본과 한국이 모두 감소 추세를 보이고 있으며, 한국이 더 빠르게 감소하는 추세를 나타냈다. 하지만 GDP당 전력 소비량에 있어서는 한국은 일본과 달리 증가 추세를 보이고 있어, 전력 소비를 저감하기 위한 노력을 더 기울일 필요가 있음을 확인할 수 있다. 2009년 기준으로 한국이 일본에 비해, 1인당 GDP(PPP)는 적은 반면, 1인당과 GDP당 에너지·온실가스 지표에서 더

많이 소비 및 배출하고 있었다.

일본과 한국의 최종에너지 소비 추이를 보면, 2000~2009년 기간 일본은 연평균 1.4%씩 감소하는 반면, 한국은 1.7%씩 증가하여 대조적인 모습을 보였다. 에너지원별로는 양국 모두 석유의 비중이 감소한 대신, 가스의 비중은 증가하였다(〈그림 1〉 참고). 전력의 비중은 일본에서 2%p 증가한 반면, 한국은 6%p로 상대적으로 크게 증가하였다. 최종에너지 소비의 부문별 변화를 보면, 일본은 산업(산업, 농림·어업, 비에너지 사용) 부문의 비중은 감소하는 대신, 건물(가정, 상업·공공) 부문의 비중은 증가한 반면, 한국은 부문별 변화가 크지 않았다. 다만 한국은 비에너지 사용 부문이 비교적 크게 증가하였는데, 이는 크게 보면 산업 부문에 포함될 수 있다. 2000~2009년 기간 산업 부문 총 부가가치 변화를 보면, 일본은 제조업종의 부가가치 절대량이 감소하면서 비중도 21.3%에서 17.6%로 감소하고 있지만, 한국은 제조업종 부가가치 절대량이 증가하면서 비중은 28.6%에서 28.1%로 미미하게 감소하였다(OECD STAN Database). 이러한 산업 구조 변화가 양국의 산업 부문 최종에너지 소비 비중의 변화에 영향을 미친 것으로 보인다.

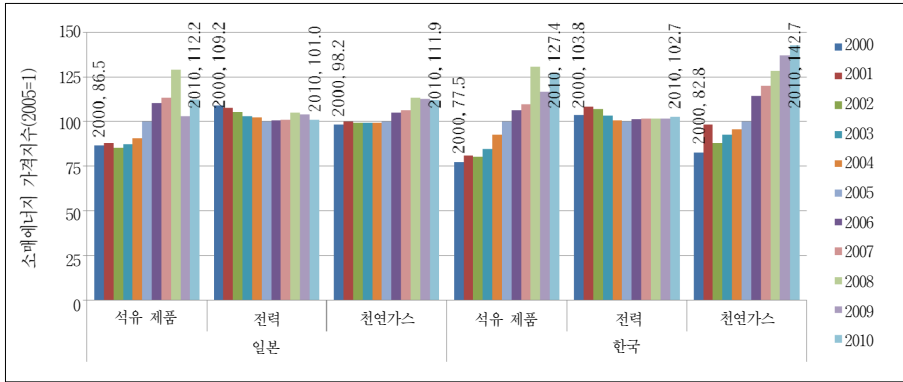
최종에너지원 중에서 고급에너지인 전력 소비량은 2000~2009년 기간 일본

〈그림 1〉 일본과 한국의 최종에너지 원별 구성 및 전력 소비 부문별 구성 비교



자료 : IEA(2011c) 자료 재구성.

〈그림 2〉 일본과 한국의 에너지원별 가격 지수 추이



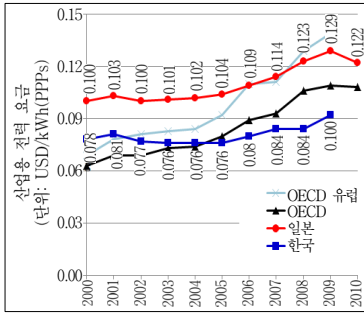
자료 : IEA(2011d) 자료 재구성.

이 연평균 0.2%씩 감소한 반면, 한국은 연평균 5.2%씩 증가하였다. 전력 소비의 부문별 비중을 보면, 양국 모두 가장 큰 비중을 차지하는 산업 부문은 감소 추세를 보이는 반면, 건물 부문(가정과 상업 부문)의 비중이 증가하였다. 일본과 한국 모두 건물 부문은 국가의 연평균 최종에너지 소비 증가율보다 빠르게 증가하고 있었다. 가정과 상업 부문 2000~2009년 기간 연평균 전력 소비 증가율은 일본은 각각 1.2%, 1.7%이었으며, 한국은 각각 5.0%, 8.1%이었다. 향후 전력 소비 저감을 유도하기 위해 가정과 상업 부문의 노력이 더욱 중요해질 것으로 보인다.

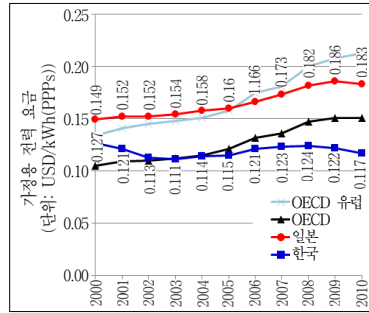
2000년 이후 양국의 에너지원별 소매가격 추이를 보면, 석유와 천연가스는 상승한 반면, 전기는 오히려 약간 하락하였다. 2000~2010년 기간 에너지원별 가격 추이를 비교하면, 한국의 경우 석유와 가스의 소매가격이 각각 64%, 72% 상승한 반면, 전기는 1% 하락하여, 일본과 비교해 볼 때 가격의 변화가 거의 이루어지지 않았음을 알 수 있다(〈그림 2〉 참고).

용도별 전기 요금을 비교하면, 양국 모두 산업용 전력 요금이 가정용 전력 요금 보다 저렴하다. 2009년도 한국의 산업용과 가정용 전력 요금 모두 일본보다 각각 29%, 34% 저렴하였으며, 2000년에 비해 최근으로 올수록 요금 격차는

<그림 3> 산업용 전력요금 비교



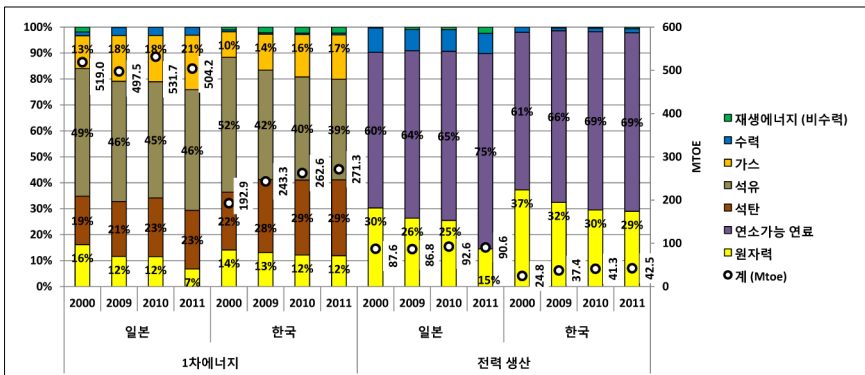
<그림 4> 가정용 전력요금 비교



자료 : IEA(2011d) 자료 재구성.

더 커지고 있음을 확인할 수 있다(<그림 3, 4> 참고). 이러한 에너지 가격 구조로 인해 한국의 전력 소비는 최종 에너지원 중에서 가장 빠르게 증가하고 있으며, 1인당 전력 소비량도 한국이 일본보다 더 높은 원인으로 지적되고 있다. 국내 전력 요금이 원가도 반영하지 못하면서, 한국전력의 적자가 커지고, 전기 소비를 저감해야 할 유인을 제공하지 못하고, 발전 설비의 공급에도 지장을 주고 있다는 지적이 제기되고 있다(지식경제부, 2011a,b).

<그림 5> 일본과 한국의 1차에너지 및 발전량 믹스 비교



자료 : 일본의 1차에너지 통계는 2000년은 IEA(2011b), 2009~2011년은 IEEJ(2012)를 이용하였으며, 한국의 1차에너지 통계는 에너지경제연구원의 국가에너지통계종합정보시스템(KESIS)을 이용. 전력 생산 통계는 IEA(2012)를 이용.

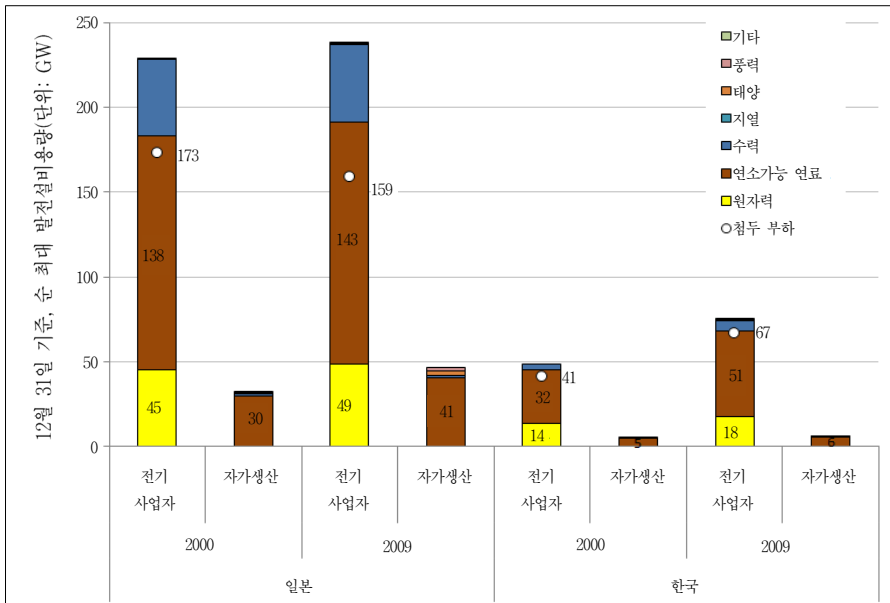
2000~2011년 기간 일본과 한국의 1차 에너지 및 발전량 추이를 비교해 보면, 일본은 1차 에너지는 감소, 발전량은 미미한 증가를 보였다(〈그림 5〉 참고). 특히 2011년 후쿠시마 원전 사고 이후, 원전 가동율이 줄면서 일본의 원자력 비중은 감소한 대신 석탄과 가스의 비중이 증가하였다. 반면에, 한국은 1차 에너지와 발전량 모두 증가하였다. 한국도 1차에너지 총량의 증가로 인해 원자력의 비중은 다소 감소하였으며, 석탄과 가스의 비중이 증가하였다. 일차에너지에서 재생에너지(수력 포함)가 차지하는 비중은 일본과 한국이 2011년에 모두 약 3%를 차지하였는데, 일본은 수력이 대부분을 차지한 반면, 한국은 폐기물, 바이오매스 등 비수력 재생에너지가 대부분을 차지하였다. 양국간 재생에너지 구성의 차이는 전력 생산량에서 더욱 두드러졌다. 2011년 일본은 발전량의 약 10%를 재생에너지로 생산하였으며, 수력이 7.8%, 비수력 재생에너지(특히 지열) 2.4%를 차지한 반면, 한국은 재생에너지가 발전량의 약 2%를 생산하였으며, 수력 1.6%, 비수력 0.6%를 차지하였다. 기후변화협약 부속서 I 국가인 일본(2008~2012년 기간 1990년 배출량 대비 6% 감축 목표)은 2011년에 1차 에너지 공급이 전년 대비 약 5% 감소한 가운데, 에너지 부문 이산화탄소 배출량은 전년 대비 0.6% 증가하였다. 그러나 이는 2006~2010년 평균 배출량보다 약 2% 감소한 수준이다(IEEJ, 2012). 반면에 한국은 교토의정서상에 감축 목표가 없는 비부속서 I 국가(2020년까지 배출량 전망치 대비 30% 감축 목표)로서, 1차에너지는 전년 대비 3% 증가하였으며, 에너지 부문 이산화탄소 배출량은 전년 대비 3% 증가하였으며, 2006~2010년 평균 배출량보다 약 13% 증가하였다(BP, 2012).

일본은 후쿠시마 원전 사고 이후, 안전 점검을 이유로 원전을 하나씩 정지하고 있는데 2012년 5월 6일에 50기(2011년 말 54기에서 후쿠시마 원전 4기를 폐기하여 총 50기)의 원전을 모두 정지하였다(JAIF, 2012).¹⁾ 2012년 6월 들어 원전의 안전대책에 대한 일본 국민들의 우려에도 불구하고 일본 정부는 여름

1) 2011년 9월 초, 일본은 원전 54기 중에서 11기만 가동하였으며, 12월 말에는 6기로 줄었고 2012년 5월 6일에는 원전을 모두 정지하였다.

철 전력부족을 이유로 원전 2기를 가동하였다. 한국은 2011년 9월 15일, 원전 21기 중에서 정비를 위해 3기(영광 2호, 울진 2, 4호)가 정지되어 있던 시점에서 추석연휴 이후 늦더위로 인한 전력 수요 증가로 공급예비율이 5%로 떨어지면서 대규모 순환정전이 발생하였다(전력거래소, 한국수력원자력 홈페이지). 2012년 6월 18일 기준, 일본이 가동중인 원전이 50기 중 0기인 반면, 한국은 23기(2012년에 2기 추가됨)중 20기를 가동함에도 불구하고 공급예비율이 6%까지 떨어지면서 정전 직전까지 가는 사태가 발생하였다. 일본과 한국 모두 외국과 전력 연계가 안 되는 전력 고립계라는 공통점이 있지만, 원전 정지 개수의 차이가 큰 기술적 이유는 일본이 원자력 발전량을 대체할 수 있을 정도로 예비 발전 설비가 충분한 반면, 한국은 예비 발전설비가 적어서 여름과 겨울철 첨두부하시 원자력 발전소 몇 기를 대체하기 어려울 정도이다(〈그림 6〉 참고). 한편, 일본

〈그림 6〉 일본과 한국의 발전 설비 용량 비교



자료 : IEA(2011e) 재구성.

에서 원전의 예방정비후 재가동이 어려웠던 이유로는, 일본 국민들의 전력 수요 저감 노력에 대한 동참과 예비 발전설비 가동, 그리고 원전이 입지한 지자체장이 주민의견을 바탕으로 원전 재가동 등에 대해 동의 여부를 제출하는 제도 등을 거론할 수 있다.²⁾ 한국의 지방자치단체장은 원전 재가동에 대한 동의 여부를

〈표 2〉 일본과 한국의 주요 재생에너지별 전력생산의 잠재량

(단위 : GWh)

	일본			한국		
	도입가능 잠재량 ¹⁾	생산량		기술적 잠재량 ²⁾	생산량	
		2000	2009		2000	2009
태양광 PV	93,000	347	2,758	2,341,260	5	566
육상 풍력	270,000	109	2,949	32,388	17	685
해상 풍력	-	-	-	89,056	-	-
지열 발전	26,000	3,348	2,889	-	-	-
총 발전량 (양수발전 제외)	-	1,048,984	1,040,983	-	288,526	451,676
원자력 발전	-	322,049	279,750	-	108,964	147,771

자료 : 주요 재생에너지 잠재량은 지식경제부·신재생에너지센터(2010), コスト等検証委員会 (2011), 環境省(2011) 이용. 재생에너지 보급 통계는 IEA(2011b,f) 이용. 총 발전량 및 원자력 발전량 통계는 IEA(2011e) 자료 이용

- 1) 일본은 재생에너지의 도입가능 잠재량(introduction potential)을 기재함. 도입가능 잠재량은 부존 잠재량 중에서 자연 요인(고도, 경사 등), 규제(자연 공원(특별 보호 구역, 제1종 특별 지역 등), 보안림 등) 등의 개발 불가 지역을 제외하고 산출한 에너지량으로 경제성을 고려하기 이전의 잠재량.
- 2) 한국은 재생에너지의 기술적 잠재량(technological potential)을 기재함. 기술적 잠재량은 부존 잠재량 중에서 설비가 입지할 수 있는 지리적 여건(임야, 하천 등 제외)을 고려한 다음, 현재의 기술 수준으로 산출될 수 있는 에너지량으로 경제성을 고려하기 이전의 잠재량.

2) 일본과 한국 양국의 지방자치단체장은 원전 재가동 여부를 결정하는 권한이 없지만, 한국과 달리 일본의 지방자치단체장은 입지자체와 원자력 회사가 체결하는 원자력안전협정에 따라 원전 입지, 재가동, 새로운 발전방식 등에 대해 동의 여부를 제출한다(프레시안, 2012. 3.14).

를 판단하는 역할이 없으며, 원자력안전위원회와 지식경제부, 한국수력원자력이 결정하는 구조이다(국제신문, 2012.6.13). 하지만 후쿠시마 원전 사고 1년이 경과한 시점에서 일본과 한국 모두 원전 확대에 반대하는 의견이 증가하였다.³⁾

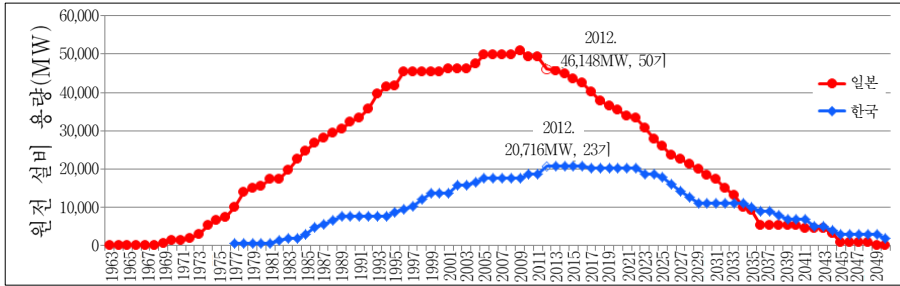
일본과 한국에서 주요 재생에너지를 이용하여 전력 생산할 수 있는 도입가능 또는 기술적 잠재량은 현재 원자력 발전량보다 많지만, 실제 보급량은 크지 않은 실정이다(〈표 2〉 참고). 재생에너지를 확대하기 위하여 한국과 일본은 재생에너지 보급의 대표적인 정책인 공급의무화제도(Renewable Portfolio Standard)와 발전차액 지원제도(Feed-In Tariff)에 대해 상반된 정책 입장을 취하였다. 일본은 2003년부터 시행하던 재생에너지 공급의무화제도 대신에 2012년 7월부터 발전차액 지원제도를 도입한 반면, 한국은 2012년부터 신규 재생에너지 발전 사업에 대해 2003년부터 시행하던 발전차액 지원제도 대신에 재생에너지 공급의무화제도를 도입하고 있다.⁴⁾

일본은 원자력 설비의 운전기간을 40년으로 제한하고, 예외적으로 연장할 수 있도록 한 법을 2012년 6월 통과시켰다. 일본은 후쿠시마 사고 이후 원전 추가 건설이 어려운 분위기이며, 설비수명 40년이 적용된다면 2049년이면 원전에서 벗어나게 된다(〈그림 7〉 참고). 한국은 원전 운전기간을 명시하고 있지 않은데, 만약 설계수명(중수로 30년, 경수로 40년)만 적용하고, 2013년 이후에 원전을 추가하지 않는다면, 2051년에 원전이 0이 되지만, 현재 정부 계획은 2024년까지

3) 2012년 3월 10일자 아사히 신문에 따르면, 원전 점검후 재가동에 동의하는지 여부를 묻는 설문조사에 반대 57%, 찬성 27%로 나타났다(주센 이수카, 2012 재인용). 현대경제연구원(2012)의 설문조사에서는 원전 필요성에 찬성하는 비율이 약 90%이었지만, 원전 건설 확대 여부와 관련해서는 확대 30%, 현 수준 53%, 축소 17%였다. 서울환경연합이 2012년 2월 실시한 설문조사에서는 원자력 발전 비중 확대에 대해 찬성 35%, 반대 65%이었다(동아일보, 2012.3.6).

4) 유럽의 경우 재생에너지 보급에 발전차액 지원제도가 재생에너지 공급의무화제도보다 효과적이었으며, 전 세계적으로 발전차액 지원제도를 채택하는 국가들이 더 많다(Kleßmann, 2012; REN21, 2012). 한국에서 재생에너지 보급이 일본에 비해 빠르게 증가할 수 있었던 이유로는 발전차액 지원제도의 역할도 컸다고 할 수 있다. 2012년 재생에너지 보급 통계가 확보된 이후에 한국과 일본의 재생에너지 보급 정책의 변화에 따른 효과를 정량적으로 비교분석할 수 있을 것이다.

<그림 7> 원전 수명 40년 적용시 한국과 일본의 원자력 설비용량 비교



자료 : 원전 과거 통계는 IAEA PRIS 홈페이지 자료 재구성.

주 : 2012년 현재 완공되어 가동되는 원전 설비를 대상으로 일본은 원전 수명 40년 적용하였으며, 한국은 설계수명을 적용(중수로 30년, 경수로 40년 적용)하였음. 단 현재 수명연장 확정된 내용은 반영하였음(일본 쓰루가 1호, 미하마 1, 2호기, 한국 고리 1호기 10년 연장).

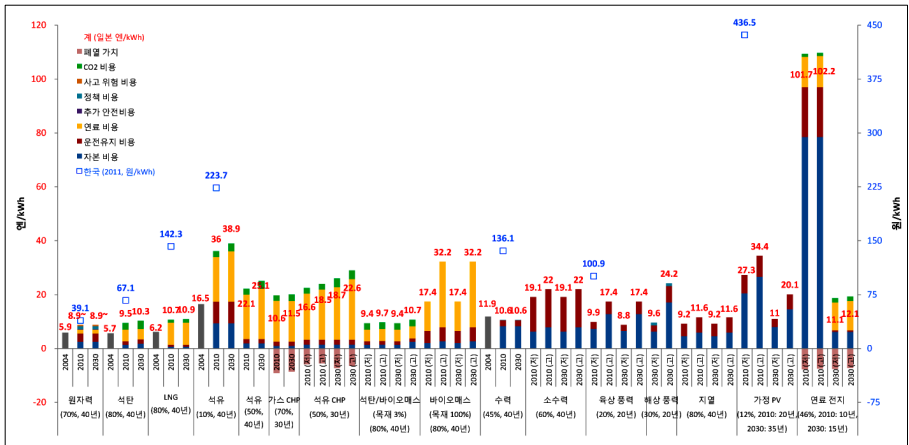
지 34기, 2030년까지 40여기로 확대할 계획이다.

일본은 후쿠시마 원전 사고 이후, 정부 차원에서 원자력 확대와 재생에너지 보급 장애의 주요 근거로 거론되는 경제성에 대해 재검토하였다(コスト等検証委員會, 2011). 2011년 말에 발표된 원자력의 발전 비용은 2004년 경제산업성의 계산 결과(5.9엔/kWh)와 비교하여, 자본 비용 0.2엔 증가, 운전유지비 1.0엔 증가, 핵연료사이클 비용 0.1엔 감소, 추가 안전대책 비용 0.2엔 증가, 정책 비용 1.1엔 증가, 사고대책 비용 0.5엔 이상 증가하여 원자력의 발전 비용은 최저 8.9엔/kWh로 추정되었다.⁵⁾ 일본 원자력위원회는 원전 사고 비용을 10만

5) 발전 비용 항목의 세부 사항은 다음과 같다. 자본 비용은 감가상각비(건설비에 감가상각률을 곱한 값), 고정자산세, 수리(水利) 사용료, 설비 폐기비용을 의미한다. 운전 유지비는 인건비, 수선비, 일반관리비, 제반 경비로 구성된다. 연료비는 필요한 연료량에 연료 가격을 곱한 값이다. 원자력은 우라늄연료 취득과 사용후핵연료처리비용을 포함한 핵연료주기 비용으로 계산되었다. 추가 안전대책비용은 후쿠시마 원전사고 이후 강구된 추가적인 안전 대책 비용을 의미한다. CO₂ 대책 비용은 화력발전에서 화석연료 사용으로 배출되는 CO₂ 대책에 필요한 비용이다. 사고 위험 대책 비용은 미래에 발생할지 모르는 원자력 사고에 대응하기 위한 비용이다. 정책 비용은 원자력, 수력발전의 경우 필요한 사회적 비용(임피보조금과 연구개발비 등)으로서, 세금으로 조달된다. 폐열 가치는 열병합발전에서 생산된 열의 가치를 의미한다. 비용 산정시 계통안정화비용, 전선 비용, 광고홍보비 및 기부금, 전원 계획에서 실행까지 소요 기간, 경제과급효과 등은 제외하였다(コスト等検証委員會, 2011).

년에 한 번 사고 발생할 경우(IAEA 안전목표) 0.0046~0.0062엔/kWh, 500년에 한 번(후쿠시마 사고 감안한 일본 현 상황) 사고 발생할 경우 0.92~1.2 엔/kWh로 추산하였다(에너지경제연구원 2011b). 따라서 이번에 발표된 발전 비용 결과에 따르면, 원자력 발전은 석탄, LNG와 비슷한 수준(CO₂ 대책 비용과 장래 연료비 상승 반영)이며, 2030년에는 수력, 풍력, 태양광, 지열 등 재생에너지와 가스 열병합발전, 연료전지와 비슷한 것으로 나타났다(〈그림 8〉참고). 2011년 현재, 한국의 발전 원가는 원자력이 39.1원/kWh로 가장 저렴하고, 석탄(67.1원/kWh), 풍력(100.9원/kWh), 수력(136.1원/kWh), 가스복합(142.3원/kWh), 석유(223.7원/kWh), 태양광(436.5원/kWh) 순이다(한국일보, 2012.4.7). 한국은 2011년도 원자력 대비 태양광의 발전비용 비율이 약 11배 수준인 반면, 일본은 2010년도 원자력 대비 태양광(고비용) 발전비용 비율은 약 4배 수준이다. 한국에서도 최근 태양광 기술의 빠른 비용 인하와 원자력 안전 비용, 사고 비용 등을 감안한 발전 기술별 비용에 대한 재검토가 요구된다.

〈그림 8〉 일본과 한국의 발전 원가 비교



자료 : 일본의 발전원가는 コスト等検証委員会(2011), 한국의 발전원가는 지식경제부가 2011년 발전원가로 한국일보(2012.4.7.)에 알려준 자료를 이용하여 작성하였음

III. 일본과 한국의 중·장기 에너지 수급 시나리오 비교

1. 일본의 에너지 수급 계획 및 시나리오

일본은 에너지수급 안정 및 온실가스 감축을 주요 기본방침으로 하여 매3년마다 에너지기본계획을 수립하고 있다. 2007년, 2010년에 에너지기본계획이 수립되었으며, 2012년 후반에 새로운 에너지기본계획이 수립될 예정이다.⁶⁾ 일본의 에너지기본계획은 한국과 달리, 에너지 수요 전망 및 정책목표 수치를 제시하지는 않는 대신, 별도로 '신국가에너지전략(METI, 2006)'을 작성하여 구체적인 정책 목표 수치를 밝히고 있다(에너지경제연구원, 2010a). 신국가에너지전략에서는 원자력 발전량 비율을 2030년까지 30~40%로 제고하는 내용을 담고 있다. 경제산업성(METI)의 자문기관인 종합자원에너지조사회는 2030년까지 에너지수급 및 이산화탄소 저감 전망을 시나리오 분석하였는데, 신기술 최대 도입 시나리오의 경우 2030년에 2005년 대비 1차에너지는 12% 저감, 에너지 부문 CO₂ 배출량은 25% 저감되며, 2030년에 1차에너지에서 원자력과 재생에너지는 각각 19%(2005년 12%), 11%(2005년 6%)로 확대, 발전량에서 원자력과 재생에너지는 각각 49%(2005년 31%), 13%(2005년 8%)로 확대되는 것으로 전망하였다.

일본은 교토의정서에 의한 온실가스 감축목표가 설정된 기후변화협약 부속서 I 국가로서, 2012년 이후 일본의 온실가스 감축 목표 관련하여 2007년에 아베

6) 에너지·환경회의(エネルギー・環境會議, 2012b)는 2012년 9월 14일에 “혁신적 에너지·환경전략”을 발표하였다. 주요 내용은 2030년대까지 원전의존도를 0으로 하도록 하며, 이를 위해 원전 운전 기간은 40년으로 엄격하게 적용하며, 원자력규제위원회가 안전성을 확인한 원전만 재가동하며, 원전의 신설과 증설을 하지 않는 것을 원칙으로 하였다. 이러한 내용은 경제산업성에서 준비중인 새로운 에너지기본계획에도 반영될 것으로 보인다.

전 총리는 2050년까지 전 세계 온실가스 배출량을 절반으로 저감하는 Cool Earth 50을 발표하였다. 2009년 아소 전 총리는 일본이 2020년까지 2005년 대비 온실가스 15% 감축(1990년 대비 8% 감축)하는 목표를 발표하였으나, 같은 해에 민주당 출신의 하토야마 전 총리에 의해 2020년까지 1990년 대비 온실가스를 25% 감축하는 것으로 목표가 상향조정되었다. 이런 흐름에서 일본 NIES et al.(2008)은 2050년까지 이산화탄소 배출을 1990년 대비 70% 저감하는 내용의 저탄소 사회 시나리오를 발표하였다. 2050년 저탄소 사회를 실현하기 위해서는 일본의 최종에너지 소비를 2000년 대비 40% 저감하고, 1차 에너지는 원자력과 탄소포집및저장 등 대규모 중앙집중형 에너지시스템으로 공급하는 시나리오와 태양, 풍력, 바이오매스 등 소규모 분산형 에너지시스템으로 공급하는 시나리오를 제시하였다.

한편, 민간에서 일본 전체를 대상으로 수행한 에너지 대안 시나리오 연구들은 Lehmann(2003), Greenpeace & EREC(2008, 2011), CASA(2011)이 대표적이다. Lehmann(2003)은 최적기술(Best available technology, BAT)을 이용하여 최종에너지 수요를 절반으로 저감할 수 있으며, 국내 재생에너지와 일부 수입 재생에너지(바이오매스, 수소)로 에너지(전력, 열, 연료)를 모두 공급할 수 있음을 보여주었다. Greenpeace & EREC는 2008년과 2011년 두 차례에 걸쳐 일본의 에너지혁명 시나리오를 발간하였다. 후쿠시마 원전 사고 이전에 발표된 2008년 보고서에서는 2050년까지 원자력을 폐기하면서 일본의 CO₂ 배출량을 2000년 대비 77% 감축하고, 1차 에너지의 42%, 발전량의 60%를 재생에너지로 공급가능하다는 내용을 담고 있다. 후쿠시마 사고 이후에 발표된 일본의 에너지혁명 보고서에서는 2012년에 원전을 모두 폐기하고, 2050년까지 CO₂를 1990년 대비 87% 감축, 재생에너지를 1차에너지의 64%, 발전량의 85%를 공급하는 시나리오와 2040년까지 원전을 모두 폐기하고, 2050년까지 CO₂를 1990년 대비 74% 감축, 재생에너지를 1차에너지의 45%, 발전량의 66%를 공급하는 시나리오를 제시하였다. 일본의 환경단체인 CASA(Citizen's Alliance for Saving the Atmosphere and the Earth, 2011)는 2030

〈표 3〉 일본의 2000년 이후 주요 중·장기 에너지 시나리오 연구 및 계획

저자	개요	분석기간	시나리오 유형	모형
METI (2005)	2100년까지 석유 정점과 온실가스 배출제한을 극복할 수 있는 기술 포트폴리오 (원자력, CCS, 재생에너지) 개발	~2100	규범적 백캐스팅 정량적	
METI (2006)	2030년까지 GDP당 최종에너지 소비를 2003년 대비 30% 저감, 원자력 발전량 비율을 30~40%(2004년 29%)로 제고하는 국가 장기 에너지 전략	~2030	계획 백캐스팅 정량적	
METI (2007; IEA, 2008 재인용)	2030년까지 신기술 최대도입 시나리오에서 2005년 대비 최종에너지 12% 저감, 1차에너지 12% 저감, 발전량 10% 저감, 에너지 부문 CO ₂ 배출량 25% 저감 잠재량을 분석. 이 시나리오에서 2030년 1차 에너지에서 원자력과 재생에너지는 각각 19%(2005년 12%), 11%(2005년 6%)로 확대, 발전량에서 원자력과 재생에너지는 각각 49%(2005년 31%), 13%(2005년 8%)로 확대 전망.	~2030	포캐스팅 정량적	
NIES et al. (2008)	2050년까지 일본의 CO ₂ 배출량을 1990년 대비 70% 감축하기 위해, 최종에너지는 2000년 대비 40% 저감하고, 1차에너지는 대규모 집중형 에너지시스템(A)과 소규모 분산형 에너지시스템(B)으로 공급하는 시나리오 분석	~2050	규범적 백캐스팅 정량적	CGE, 동태최적화 모형
METI (2010)	2030년까지 에너지부문 CO ₂ 배출량을 30% 저감, 1차에너지에서 원자력과 재생에너지 비율을 각각 24%(2007년 10%), 13%(2007년 6%)로 확대, 발전량에서 원자력과 재생에너지 비중을 각각 50%(2007년 35%), 20%(2007년 8%)로 확대하는 내용의 에너지계획	~2030	계획, 전략 정성적 정량적	
Lehmann (2003)	최적기술(BAT)을 이용하여 최종에너지 수요 50% 저감, 1차에너지를 일본내 RE와 수입 RE(바이오매스, 수소)로 100% 공급하는 시나리오 분석	-	규범적 정량적	SimRen
Greenpeace & EREC (2008, 2011)	2008년 보고서는 2050년까지 일본의 CO ₂ 배출량을 2000년 대비 77% 감축, 원자력 폐기, 재생에너지를 1차 에너지의 42%, 발전량의 60%를 공급하는 시나리오를 제시. 후쿠시마 원전 사고 이후 발간된 2011년 보고서에서는 2012년에 원전 모두 폐기하고, 2050년까지 CO ₂ 를 1990년 대비 87% 감축, 재생에너지를 1차에너지의 64%, 발전량의 85%를 공급하는 시나리오와 2040년까지 원전을 모두 폐기하고, 2050년까지 CO ₂ 를 1990년 대비 74% 감축, 재생에너지를 1차에너지의 45%, 발전량의 66%를 공급하는 시나리오 제시	~2050	규범적 백캐스팅 정량적	MESAP/PL ANET
CASA (2011)	2030년까지 일본의 원전을 모두 폐기하고, 2020년까지 CO ₂ 를 1990년 대비 25% 감축하고, 2020년에 발전량의 21%를 산·재생에너지로 공급하는 시나리오 분석	~2020	규범적 백캐스팅 정량적	CASA 2020
エネルギー・環境會議 (2012a)	2010년도 에너지기본계획의 원자력 비중 재검토. 일본의 2030년 발전량에서 원자력과 재생에너지의 비중을 각각 0~25%, 25~35% 수준을 제시	~2030	탐색적 포캐스팅 정량적	

년까지 원전을 모두 폐기하면서도, 2020년까지 CO₂를 1990년 대비 25% 감축할 수 있으며, 2020년에 발전량의 21%를 신·재생에너지로 공급하는 시나리오 분석 결과를 발표하였다. 후쿠시마 원전 사고 이후, 일본 내에서 2020년까지 1990년 대비 온실가스 25% 감축목표를 재검토해야 한다는 의견이 있는데, 이러한 의견에 반대 메시지를 던지고 있다.

후쿠시마 원전 사고 이후 에너지 시스템의 취약점을 시정하고 기후변화대책을 수립하기 위해, 범정부 차원에서 에너지·환경회의를 개최하여, 에너지계획을 원점에서 재검토하고 2030년 에너지믹스 선택안을 작성하고 있다. 에너지·환경회의는 2030년 발전량에서 원자력(2010년 26%)의 비중을 0~25%로 감소

〈표 4〉 일본 에너지·환경회의(2012a)의 2030년 전원 구성 선택안 개요

	2010	2030			
		기존 계획 (2010년 발표)	1안 (추가 정책)	2안	3안
원자력	26%	45%	0%	15%	20~25%
화석 연료	63%	35%	65%	55%	50%
- 석탄	24%	11%	21%	20%	18%
- 석유	10%	4%	6%	5%	5%
- LNG	29%	20%	38%	29%	27%
재생에너지	10%	20%	35%	30%	30~25%
- 풍력	0.4%	2%	12%	7%	7~3%
- 태양광	0.3%	5%	6%	6%	6%
- 지열	0.2%	1%	4%	3%	3%
- 수력	8.0%	10%	11%	11%	11%
- 바이오매스 및 폐기물	1.0%	3%	3%	3%	3%
발전량	-	-	2010년 대비 -10%, 기존 계획 대비 -20%		
에너지 부문 온실가스 (1990년 대비)	+6%	-31% (CO ₂)	-23%	-23%	-25%
2010년 대비 전력 요금 (2011~2030)			+44~102%	+44~89%	+44~89%

자료 : エネルギー・環境會議 제11회 회의자료(2012.6.29)의 내용을 재구성하였으며, 화석 에너지와 재생에너지 원별 구성은 基本問題委員會(2012.6.8)를 참고하여 작성.

하고, 재생에너지(2010년 10%)는 25~35%로 확대하는 내용의 3가지 선택안을 논의 중이다.

일본의 2000년 이후 주요 중·장기 에너지 관련 계획 및 시나리오들을 정리하면 <표 3>과 같다.

2012년 6월 29일 개최된 제11회 에너지·환경회의 회의자료에 따르면, 전력을 효율적으로 이용함으로써 전력 생산량을 2030년까지 2010년 대비 10% 저감하고 발전량 중에서 원자력, 재생에너지, 화력의 구성을 2010년 각각 26%, 10%, 63%에서 2030년에는 1안) 0%, 35%, 65%, 2안) 15%, 30%, 55%, 3안) 20~25%, 30~25%, 50%로 제시하였다. 2030년 에너지 부문 온실가스 배출량은 1990년 대비 23~25% 감축 가능한 것으로 제시하고 있다.⁷⁾ 전력 요금은 2010년보다 2011~2030년 기간 월평균 44~102% 더 부담하게 될 것으로 제시하였다(<표 4> 참고).⁸⁾

2. 한국의 에너지 수급 계획 및 시나리오

한국은 최상위 에너지계획으로 에너지기본계획을 매5년마다 수립하고 있다. 1997년, 2002년, 2008년에 에너지기본계획이 발표되었다. 에너지기본계획은 향후 20년간 에너지정책의 기본 철학, 전체 목표를 담고 있으며, 핵심이 되는 에너지수요전망 및 목표는 지식경제부와 에너지경제연구원 등을 중심으로 수립된다. 에너지기본계획 아래 전력, 가스, 석탄, 집단에너지, 신재생에너지 등 에너지원별 계획을 주기적(보통 2년 또는 5년)으로 수립하고 있다. 2008년 발표된 국가에너지기본계획은 저탄소 녹색성장의 구현과 에너지 안보, 에너지 효율, 친환경 에너지 정책 추진을 기본 방향으로 하고 있다(국무총리실 외, 2008).

7) 2012년 6월 일본 환경성내 자문기관인 중앙환경심의회는 원전 비율에 따라 2020년까지 1990년 대비 온실가스를 5~15% 감축하는 선택안을 제출하였다(교도통신, 2012. 6. 8.).

8) 2012년 9월 14일, 에너지·환경회의(2012b)는 2030년대에 원전 의존을 0으로 하는 '혁신적 에너지·환경전략'을 발표하였다.

2030년 1차에너지 수요 목표를 보면, 석탄, 석유, LNG 등 화석에너지의 비중은 감소하고, 원자력(2006년 16% → 2030년 28%)⁹⁾, 수력 및 신·재생(2006년 2% → 2030년 11%) 등 저탄소 에너지원의 비중을 확대할 계획이다. 정부는 2008년 저탄소 녹색성장 비전을 발표하면서, 2009년에 2050년까지 녹색성장 국가 전략을 발표하였다. 같은 해에 국가 중기 온실가스 감축목표가 발표되었는데, 2020년까지 기준전망(BAU, Business-as-usual) 대비 30%를 감축하기로 하였다. 2010년 말에는 중기 온실가스 감축목표를 고려하여 수정된 에너지기본계획(안)에 대한 공청회가 개최되었다. 2008년에 발표된 국가에너지 기본계획과 달라진 내용은 2030년도 1차에너지 목표 수요 전망이 2% 증가하였으며¹⁰⁾, 원자력과 수력 및 신·재생에너지의 비중이 각각 30%와 12%로 상향되었다. 2010년 말에 발표된 제5차 전력수급기본계획에 따르면, 2024년까지 발전량에서 석탄, 유류, LNG가 차지하는 비중은 감소하고, 원자력(2010년 31% → 2024년 49%), 신재생(2010년 1% → 2024년 9%)의 비중이 증가하고 있다. 2011년에는 온실가스·에너지목표관리제 대상 부문별 및 연도별 온실가스 감축목표가 발표되었다. 2013-2014년경에 온실가스 총배출량이 정점에 도달하고 이후 감소하면서 2020년 감축목표를 달성하도록 기술발전을 고려한 시간 안배가 되었으며, 발전부문은 2020년까지 BAU 대비 26.7% 감축하도록 하였다.

한편, 에너지 수요를 저감하고, 원자력 대신에 재생에너지와 열병합발전 등 분산형 에너지 시스템의 확대를 내용으로 하는 대안 연구들이 진행되어 왔다. 존 번 외(2004)는 에너지 수요 저감을 위해 에너지효율기술들을 100% 시행할 경우, 2020년 BAU 대비 1차에너지를 약 29% 저감할 수 있으며, 향후 추가

9) 원자력의 발전량 비중은 2006년 39%에서 2030년에 59%로 끌어올리는 것을 목표로 하고 있다.

10) 1997, 2002, 2008년에 발표된 국가에너지기본계획의 향후 에너지 수요량 전망(기준안 및 목표안)은 이전에 발표된 계획에 비해 낮아지는 추세였다. 그러나 2010년에 발표된 국가에너지기본계획에서는 에너지 수요 전망이 이전 계획보다 증가하였다. 반면에 전력수급계획이 갱신될 때마다 전력 수요 전망은 높아지는 추세를 보였다(박년배, 2011).

<표 5> 한국의 2000년 이후 주요 중·장기 에너지 시나리오 연구 및 계획

저자	개요	분석기간	시나리오 유형	모형
국무총리실 외(2008)	매5년마다 향후 20년 이후까지 에너지기본계획 수립. 2030년 1차에너지에서 원자력 28%(2006년 16%), 재생에너지 11%(2006년 2%) 공급 목표. 2030년 발전량의 59%를 원자력으로 공급 목표.	~2030	계획 포캐스팅 정량적	
녹색성장위원회 (2009a)	2050년 온실가스 감축목표는 국제비전을 공유하고, 신재생에너지는 30%, 에너지 자립도 100% (신재생+원자력+화석에너지비중*자주개발율)를 목표로 설정	~2050	목표/전략 정량적	
녹색성장위원회 (2009b)	2020년 중기 온실가스 감축목표로 세 개의 시나리오 제시. BAU 대비 -21%, -27%, -30%. '05년 대비 +8%, 동결, -4% 수준임. 정부 목표는 2020년까지 BAU 대비 30% 감축하는 것으로 발표됨	~2020	탐색적 포캐스팅 정량적	MARKAL, CGE
에너지경제연구원 (2010b)	온실가스 감축목표 반영하여 국가에너지기본계획 수정을 위한 공청회 안. 2030년까지 1차에너지에서 원자력 30%, 재생에너지 12% 공급 목표.	~2030	계획 정량적	
지식경제부 (2010)	매2년마다 향후 15년 이후까지 전력수급계획 수립. 2024년 발전량에서 원자력 48.5%, 석탄 31.0%, LNG 9.7%, 석유 0.5%, 양수 1.3%, 신재생 8.9% 차지.	~2024	계획 포캐스팅 정량적	WASP
환경부 외 (2011)	2020년 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 부문별 온실가스 감축목표 발표. 발전 부문은 2020년까지 BAU 대비 26.7% 감축 목표.	~2020	목표 백캐스팅 정량적	MESSAGE, MARKAL, LEAP
존 번 외 (2004)	에너지 효율 기술의 실현을 통한 에너지 절감량을 분석하고, 신규 원전의 발전량 만큼을 에너지 효율 기술과 LNG복합화력으로 대체가능함을 분석	~2020	규범적 포캐스팅 정량적	
박년배 (2011)	건설중인 원자력만 반영하고, 2050년까지 발전 부문 온실가스 배출량을 2008년 대비 80% 이상 감축하고, 발전량의 82%를 재생에너지로 공급하는 시나리오 분석	~2050	규범적 백캐스팅 정량적	LEAP
에너지대안포럼 (2012)	2030년까지 원자력 추가 계획 없이 수요저감 노력하는 한편, 재생에너지를 발전량의 11~31%로 확대하는 시나리오 분석	~2030	규범적 백캐스팅 정량적	LEAP
한재각 외(2012)	2030년까지 원자력 모두 폐기하는 것을 전제로, 2050년까지 온실가스를 1990년 대비 75% 감축하고 재생에너지를 1차에너지의 100%, 발전량의 100%를 공급하는 시나리오(A)와 2050년까지 온실가스를 1990년 대비 50% 감축하고 재생에너지를 1차에너지의 90%, 발전량의 100%를 공급하는 시나리오(B) 분석	~2050	규범적 백캐스팅 정량적	
Greenpeace & EREC (2012)	2040년까지 원자력을 폐기하고, 2050년까지 CO ₂ 배출량을 1990년 대비 50% 감축, 재생에너지를 1차에너지의 44%, 발전량의 77%를 공급하는 시나리오와 2030년까지 원자력을 폐기, 2050년까지 CO ₂ 를 1990년 대비 81% 감축, 재생에너지를 1차에너지의 58%, 발전량의 90%를 공급하는 시나리오 분석	~2050	규범적 백캐스팅 정량적	MESAP/P LANET

건설될 원전의 발전량 이상을 저감할 수 있는 것으로 분석하였다. 효율기술이 65% 이행될 경우 LNG 복합화력을 추가로 도입하면, 계획된 원전을 모두 대체 가능하다고 분석하였다. 2020년까지 2000년 수준으로 이산화탄소를 저감하기 위해서는 에너지효율 개선 뿐만 아니라 재생에너지 활성화를 제안하였다. 박년배(2011)는 발전 부문을 대상으로 2050년까지 발전 부문 온실가스 배출량을 2008년 대비 80% 이상 감축하고, 건설중인 원자력만 반영하고 이후 더 추가하지 않으며, 재생에너지로 발전량의 82%를 공급하는 전원 구성을 제시하였다. 에너지대안포럼(2012)은 후쿠시마 원전 사고 이후에 수행된 연구로써, 2012년 국회의원과 대통령 선거를 앞두고, 의회와 정부에 지속가능한 에너지 믹스와 정책 방향에 대해 제안하기 위한 목적으로 수행되었다. 2030년까지를 분석 기간으로 하여 전력요금 현실화에 따른 전력 수요 저감과 원전 설비의 단계적 폐기, 재생에너지 확대(2030년 발전량 비중 11~31%)를 내용으로 하는 5가지의 대안 시나리오를 도출하였다. 한재각 외(2012)는 2030년까지 원자력 모두 폐기, 2050년까지 온실가스 총배출량을 1990년 대비 50~75% 감축하고, 재생에너지를 1차에너지의 90~100%를 공급하는 시나리오를 제시하였다. Greenpeace & EREC(2012)는 2050년까지 에너지 부문 온실가스 배출량을 1990년 대비 50~81%를 저감하고, 원자력을 2030~2040년 기간에 폐기하면서, 재생에너지로 1차에너지의 44~58%를 공급하는 에너지 혁명 시나리오를 제시하였다(〈표 5〉 참고).

본 논문에서는 일본의 에너지·환경회의(2012a)와 비슷한 시기에 동일 기간, 전력 부문을 대상으로 시나리오 분석을 한 에너지대안포럼(2012)의 세부 내용을 소개하고자 한다.

일본이 정부 차원에서 위원회를 구성하고, 발전 비용 등 세부 데이터를 활용하여 발전 믹스 재검토를 진행하고 있는 반면, 한국은 기존에 발표된 전력수급 기본계획의 연장선상에서 지식경제부와 전력거래소를 중심으로 제6차 전력수급 기본계획을 준비하고 있다. 에너지대안포럼은 일본 에너지·환경회의와 마찬가지로, 원전의 필요성을 원점에서 재검토하고 원자력 발전량을 재생에너지로 대

<표 6> 에너지대안포럼(2012)의 2030년 전원 구성 시나리오 개요

	2009	2030					
		정부 기준안	A1	A2	B1	B2	C
원자력	34%	59%	24%	15%	33%	21%	27%
화석 연료	64%	31%	49%	48%	52%	52%	53%
- 석탄	45%	22%	24%	17%	30%	22%	25%
- 석유	3%	0%	1%	1%	1%	1%	1%
- LNG	16%	9%	24%	31%	21%	29%	27%
양수 발전	1%	1%	1%	1%	1%	1%	2%
신에너지 (연료전지, IGCC 등)	0%	2%	4%	5%	3%	5%	4%
재생에너지	1%	8%	22%	31%	11%	21%	14%
- 풍력	0.2%	3.4%	9.8%	12.8%	4.4%	8.5%	5.8%
- 태양광 PV	0.1%	1.0%	5.5%	10.4%	2.3%	5.9%	3.0%
- 지열	0.0%	0.1%	0.3%	0.5%	0.2%	0.3%	0.2%
- 수력	0.7%	0.6%	1.0%	1.1%	1.2%	1.3%	1.6%
- 바이오매스 및 폐기물	0.1%	0.8%	4.5%	5.9%	2.0%	4.1%	2.6%
해양	0.0%	1.8%	0.4%	0.4%	0.5%	0.6%	0.7%
발전량 (2009년 대비)	-	+83%	+44%	+42%	+7%	+4%	-19%
발전 부문 CO ₂ (2009년 대비) ¹⁾	-	-10%	+1%	-11%	-16%	-24%	-38%
2010~2030년 발전 부문 누적 비용(비할인, 2005) ²⁾	-	100%	104%	114%	80%	88%	76%
발전부문 직·간접 고용	100%	217%	274%	320%	244%	271%	256%

자료 : 에너지대안포럼(2012) 재구성.

- 1) 2010~2030년 누적 온실가스 배출량은 대안 시나리오들이 참고 시나리오보다 더 적은 것으로 분석되었다.
- 2) 발전 부문 총 누적비용은 자본비용, 운전유지비용, 연료비용, 온실가스 배출비용(32,000원/tCO₂)으로 구성됨.

체하는 시나리오를 여러 개 작성하였는데, 그 내용은 <표 6>과 같다. 참고 시나리오의 단순히 현재 추세가 지속되는 시나리오가 아니라, 2030년까지 발전량의 59%를 원자력으로 공급하겠다는 2008년 에너지기본계획과 2010년 제5차 전력수급기본계획의 전원 구성을 반영한 정부 기준 시나리오이다. 참고 시나리오

와 5가지 대안 시나리오들의 발전 믹스, 재생에너지 전력 믹스, 발전량, 온실가스 배출량, 비용, 고용 등을 종합적으로 비교하였다. 한국은 일본과 달리, 앞으로 전력 소비가 증가하면서 발전량도 증가하는 것으로 정부 계획은 수립하고 있다. C 시나리오만 2030년까지 전력 수요를 OECD 유럽 수준으로 수렴하는 것으로 가정하였기 때문에 감소하고 있다. A1, A2 시나리오는 전력요금 정상화를 통해 참고 시나리오보다 발전량이 감소한 반면, B1, B2 시나리오는 2030년까지 OECD의 1인당 전력 수요 수준으로 수렴하는 시나리오이다. 대안 시나리오들에서는 원자력 발전소를 2012년 현재 23기에서 건설중인 원전 5기만 허용(A1, B1)하거나 이마저도 허용하지 않는 시나리오(A2, B2, C)로도 구분된다. 전력 수요를 도출하고, 원자력 발전량의 목표비중을 설정하거나 발전 설비 보급 순서를 설정한 다음, 전력 수요와 발전량의 차이를 가스복합화력과 재생에너지로 채워나가는 방식으로 모형 작업이 이루어졌다. 재생에너지의 비중은 2009년 1%에서 2030년에 참고 시나리오는 8%, 대안 시나리오는 11~31%로 확대되었다. 재생에너지 중에서는 풍력(해상, 육상), 태양광, 바이오매스 순이었다. 2030년 발전 부문 온실가스 배출량은 A1 시나리오를 제외한 모든 대안 시나리오들이 참고 시나리오보다 더 적었다. 반면에 2010~2030년 기간 누적 온실가스 배출량은 모든 대안 시나리오들이 참고 시나리오보다 적었다. 비용은 특정년도의 전력요금을 추정하는 것이 아니라, 2010~2030년 동안 발전 부문에 들어가는 총 비용(자본비용, 운전유지비용, 연료비용, 온실가스 배출비용)을 분석하였다. 비용은 대안 시나리오들이 참고 시나리오와 비교하여 최대 +14%, 최소 -24%인 것으로 분석되었다.¹¹⁾ 2030년 발전 부문 직·간접 고용은 전력 수요가 적고 재생에너지 비중이 높은 대안 시나리오들에서 더 높은 것으로 분석되었다.

에너지대안포럼(2012)와 일본 에너지·환경회의(2012a)의 2030년 전원 구

11) 참고로, 문영석 외(2011)는 2030년까지 풍력과 태양광으로 원전 10GW를 대체하는 수준으로 기존 신재생계획에 추가 확대할 경우, 기존 정책에 따른 2030년 전력 요금보다 17%p(2010년 대비 +39%) 인상할 것으로 분석하였다. 2012년 이명박 대통령은 취임4주년 기자회견에서 원전을 폐기할 경우, 전기요금이 40% 인상될 것이라고 말한 바 있다.

성 시나리오를 비교하면, 공통적으로 전력 수요를 우선적으로 저감하고, 원자력을 단계적으로 축소하면서 재생에너지를 확대하고, 과도기적으로 가스 복합화력(또는 열병합)을 제안하고 있다(〈표 4〉, 〈표 6〉 참고).

V. 요약 및 결론

본 연구는 후쿠시마 사고를 전후로 한국과 일본의 에너지수급 계획 및 시나리오의 변화를 살펴보고자 하였다. 2000년 이후 한, 일 양국의 정부와 민간에서 발표된 주요 에너지·기후변화 관련 계획 및 시나리오들을 검토하였다. 또한 한국과 일본의 과거 에너지 관련 통계들을 비교함으로써, 에너지 미래에 영향을 미칠 수 있는 인자들을 파악하고자 하였다.

한국과 일본은 인접 국가로서, 에너지 통계 및 계획에서 많은 유사점이 있는 동시에, 차이점도 있다. 한국과 일본은 에너지의 수입의존도가 높으며, OECD 국가들 중에서는 제조업이 부가가치생산의 상당 부분을 차지하고 있다. 전력 계통이 고립되어서 인접국가와 전력 수출입을 할 수 없다는 점도 마찬가지이다. 한국과 일본은 재생에너지의 잠재량이 높지만, 기존 에너지원에 대한 보조금과 외부비용 미반영, 재생에너지에 대한 정보 및 인식 부족 등으로 인해 재생에너지 보급량은 화력, 원자력에 비해 미미한 수준이다. 후쿠시마 원전 사고 이전에는 한국과 일본 모두, 에너지 수급 안정 및 온실가스 저감 차원에서 2030년까지 원자력을 현재 대비 약 2배 수준으로 높이는 계획을 수립하였으며, 원자력이 다른 발전 기술보다 저렴하다는 인식이 전제되어 있었다. 일본과 한국 모두, 에너지대안 연구들이 있었지만 정부 계획에 상응하는 정밀성을 갖추기에는 인원, 예산, 데이터 등에서 한계가 있었다. 그럼에도 불구하고, 국내 연구진들 자체적으로 또는 해외 기관의 도움을 받아서 자국의 정량화된 에너지 대안 시나리오들이 발표되었다.

한편, 일본과 한국의 차이점이라고 하면, 일본은 전력을 포함하여 최종에너지

소비량이 감소하는 반면, 한국은 최종에너지와 전력의 소비량이 계속 증가하고 있다. 2030년까지 일본은 1차에너지와 전력 공급량을 줄이면서, 저탄소 에너지원의 비중을 확대할 계획이다. 한국은 2030년까지 정책목표 전망에서조차 1차 에너지와 전력 공급량이 증가하고 있어서, 향후 1인당 1차에너지 및 전력 소비량은 일본을 더욱 앞지를 전망이다. 과거 일본의 에너지기본계획(METI, 2006; METI, 2010)은 한국의 에너지기본계획과 마찬가지로 향후 원자력이 가장 큰 비중을 차지하는 것으로 되어 있었지만, 최근에는 원자력 비중을 현재 수준보다 줄여서 0이 되는 안까지 고려하고 있다. 재생에너지가 1차에너지에서 차지하는 비율은 일본의 에너지기본계획(METI, 2010)에서 2030년에 13%로서, 한국의 2030년 목표치인 11%와 유사한 수준이다(국무총리실 외, 2008). 하지만, 일본은 원전 비중을 줄이기로 하면서, 재생에너지의 발전량 비중을 25~30%까지 확대하는 안을 논의 중이다(エネルギー・環境議, 2012a). 이와 관련하여 일본의 전력시스템개혁전문위원회는 2012년 7월 14일, 전력 공급의 비용 효율성, 공급 안정성, 위험 관리 차원에서 현행 전력회사의 지역 독점 체제를 폐지하여 전력회사의 신규 참여를 촉진하고, 발전과 송전 사업을 분리함으로써 송·배전 체계의 중립성을 강화하고, 전력소매의 전면 자유화를 통해 소비자가 거주지 외 또는 신규 전력회사로부터 전력을 구입할 수 있도록 하는 내용의 전력제도 개혁 기본방침을 최종 확정하였다(전력거래소, 2012). 일본은 후쿠시마 사고 이후, 재생에너지 발전차액지원제도를 도입하여 재생에너지 보급을 장려하고 있다. 반면, 한국은 2012년부터 재생에너지 공급의무화제도를 적용하고 있다. 일본과 한국은 상대방 국가의 재생에너지 보급 정책의 경험을 검토하여 자국에 적용할 필요가 있다. 일본이 후쿠시마 원전 사고라는 심각한 사고를 계기로 원전의 경제성을 재검토하고, 원전의 비중을 낮추는 방향으로 에너지계획의 대전환이 진행 중이다. 그리고 원전 안전 검사를 통해 원전을 0기까지 멈추면서, 일본내 기존 설비로 전력 수급 가능성을 확인하였다. 한국도 후쿠시마 원전 사고를 계기로, 숨겨진 비용(hidden cost)까지 반영한 발전원별 사회적 비용(사적 비용과 외부비용의 합)을 재검토할 필요가 있다. 한국은 현재 발전 예비설비가 부족한

실정인데, 전력 수요를 저감하는 한편(부하 이동 등), 가스복합화력 및 재생에너지 등 분산형 전원을 확대하면서, 중장기적으로 원자력의 비중을 낮추는 방안을 적극적으로 검토할 필요할 필요가 있다. IPCC(2011)는 재생에너지가 온실가스 감축에 크게 기여하며, 원자력과 비교해서도 적게 배출하고, 2050년까지 전 세계 1차에너지의 77%, 발전량의 95%까지 공급가능하다는 내용을 발표한 바 있다. 에너지대안포럼(2012)은 2030년까지 원자력 발전량을 15~33%로 단계적으로 축소하고, 재생에너지 발전량을 11~31%로 확대하는 안을 발표하였는데, 별개의 연구임에도 불구하고 최근 일본 에너지·환경회의(2012a)의 발전믹스 재검토안(2030년까지 원자력 발전량을 0~25%로 축소하고, 재생에너지 발전량을 25~30%로 확대)과 유사한 내용이 많다.

일본과 한국이 에너지 수급 안정과 온실가스 감축이라는 동일한 목표를 어떤 내용으로 실현(에너지원 구성, 수요관리 정책, 재생에너지 보급 정책, 에너지원별 기술 R&D 등)할지, 계속 살펴볼 필요가 있다. 에너지 수요와 공급에 있어서 양국의 유사점과 차이점을 고려하여, 자국의 지속가능한 에너지 수급계획을 수립해야 할 것이다.

본 연구는 일본과 한국의 에너지 믹스에 초점을 맞추어 에너지 수급 및 시나리오 변화 추이를 분석하였으며, 에너지·전력 수급계획시 참고자료로 활용될 수 있을 것이다. 향후 정부측 연구와 시민사회측 연구의 차이가 발생하는 원인(모형의 차이, 비용 등 에너지 기술 자료의 차이, 경제성장률 등 전제의 차이 등)을 분석하거나, 정부측 연구와 시민사회측 연구간에 서로 미친 영향을 분석해볼 필요가 있다. 한편, 일본과 한국 같은 고립된 전력계통에서 대규모로 재생에너지가 보급되는 경우 계통에 미치는 영향을 분석하는 한편, 동북아 지역의 전력 수급 안정을 위해 유럽처럼 전력계통을 연계하거나, 몽골 고비사막에 태양광, 풍력을 대규모로 설치하여 한국, 일본까지 공급하는 아시아 슈퍼 그리드 제안 등을 포함하여 동북아시아의 지속가능한 에너지·전력 수급 시나리오에 대한 연구가 요구된다.

◎ 참 고 문 헌 ◎

1. 교도통신, 일 “2020년 온실가스, 최대 15% 삭감”, 2012.6.8.
2. 국무총리실·기획재정부·교육과학기술부·외교통상부·지식경제부·환경부·국토해양부, “제1차 국가에너지기본계획 (2008~2030)”, 2008.
3. 국제신문, “고리 1호기 안전성 판단, IAEA 의견 신경 안 써”, 2012.6.13.
4. 녹색성장위원회, 『녹색성장 국가전략』, 2009a.
5. 녹색성장위원회, “국가 온실가스 중기(2020년) 감축목표 설정을 위한 3가지 시나리오 제시(보도자료)”, 2009b.
6. 동아일보, “한국인 10명중 6명 원자력 비중 축소해야”, 2012.3.6.
7. 문영석·노동석·조상민, “에너지믹스 변화의 비용 추정 : 신재생확대 시나리오”, 『에너지경제연구』, 제10권 제2호, 에너지경제연구원, 2011.
8. 박년배, “발전 부문 재생가능 에너지 전환을 위한 장기 시나리오 분석”, 서울대학교 환경대학원 박사학위논문, 2011.
9. 에너지경제연구원, 국가에너지통계종합정보시스템(KESIS), <http://www.kesis.net>.
10. 에너지경제연구원, “국가에너지기본계획 수립체계 연구”, 2010a.
11. 에너지경제연구원, “에너지 수요전망 및 목표안”, 국가에너지기본계획 수립을 위한 공청회 자료집, 2010b.
12. 에너지경제연구원, 『에너지통계연보』, 2011a.
13. 에너지경제연구원, “일본 원자력위원회, 원전 사고비용 추산”, 「주간 세계에너지시장 인사이트」, 제11권 제33호, 2011b.
14. 에너지대안포럼, “2030 에너지대안 시나리오”, 2012.
15. 전력거래소, 전력통계정보시스템(EPSIS), <http://epsis.kpx.or.kr>.
16. 전력거래소, “일본 전력산업 구조개편 현황 및 동향”, 2012.
17. 존 번·왕영두·김중달·이희성·김정욱, 『에너지 혁명』, 매일경제신문사, 2004.
18. 쥘센 아수카, “일본 에너지정책의 변화와 절전 대책”, 에너지대안포럼 한일 에너지 정책 세미나 발표자료, 에너지대안포럼, 2012.

19. 지식경제부, 『제5차 전력수급기본계획』, 2010.
20. 지식경제부, “주택용 2% 인상 (보도자료)”, 2011a.
21. 지식경제부, “올 겨울 전력수급 안정을 위해 12월 5일 전기요금 4.5% 인상(보도자료)”, 2011b.
22. 지식경제부·신재생에너지센터, 『2010 신·재생에너지 백서』, 2010.
23. 프레시안, “일본 원전 54기, 모두 멈추게 할 수 있을까”, 2012.3.14.
24. 한국수력원자력, 원전운영소식, <http://www.khnp.co.kr/nuclear/020104/custom/energyhappen/list>.
25. 한국일보, “원전 당장 폐기할 수는 없지만... 수명연장·추가건설 멈춰야”, 2012.4.7.
26. 한재각·이진우·이정필, “탈핵 에너지 전환 : 대안 시나리오를 구상한다”, 『이슈페이퍼』, 제1호, 에너지기후정책연구소, 2012.
27. 현대경제연구원, “원자력에너지 안정성에 대한 대국민 조사”, 『지속가능 성장을 위한 VIP Reprt』, 2012.
28. 환경부·지식경제부·국토해양부·농림수산식품부·기획재정부·녹색성장위원회, “2020년 저탄소 녹색사회 구현을 위한 로드맵, 부문별·업종별·연도별 온실가스 감축목표 확정 (정부부처 보도자료)”, 2011.
29. 基本問題委員會, “エネルギーミックスの選択肢の原案について～國民に提示するエネルギーミックスの選択肢の策定に向けて”, 第26回総合資源エネルギー調査會資料(エネルギー・環境會議 第9回合同會議), <http://www.enecho.meti.go.jp/info/committee/kihonmondai/index.htm>, 2012.
30. エネルギー・環境會議, “エネルギー・環境に關する選擇肢(案)”, エネルギー・環境會議 第11回合同會議, <http://www.npu.go.jp/policy/policy09/archive01.html>, 2012a.
31. エネルギー・環境會議, “革新的エネルギー・環境戰略”, 2012b.
32. コスト等檢証委員會, コスト等檢証委員會報告書, <http://www.npu.go.jp/policy/policy09/archive02.html>, 2011.
33. 環境省, 再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査, 2011.
34. BP, Statistical Review of World Energy, 2012.
35. Citizens' Alliance for Saving the Atmosphere and the Earth (CASA), No Need to Rely on Nuclear to Achieve Japan's -25% GHG Reduction Target Domestically~Results of CASA 2020 Model (Ver.3) Simulation, 2011.

36. Greenpeace and EREC, Energy [r]evolution : a sustainable Japan energy outlook, 2008.
37. Greenpeace and EREC, the advanced energy [r]evolution : a sustainable energy outlook for Japan, 2011.
38. Greenpeace and EREC, energy [r]evolution : a sustainable energy outlook for South Korea, 2012.
39. IAEA PRIS, <http://www.iaea.org/PRIS>.
40. IEA, Energy Policies of IEA Countries-Japan 2008 Review, 2008.
41. IEA, CO₂ Emissions from Fuel Combustion 2011, 2011a.
42. IEA, Energy Balances of OECD Countries 2011. 2011b.
43. IEA, World Energy Statistics 2011 (CD-ROM), 2011c.
44. IEA, Energy Prices and Taxes (Quarterly Statistics), 2011d.
45. IEA, Electricity Information 2011, 2011e.
46. IEA, Energy Statistics of OECD Countries 2011. 2011f.
47. IEA, Monthly Electricity Statistics, 2012.
48. IEEJ, Energy Indicators of Japan (Updated on April 2012), 2012.
49. IPCC, Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, 2011.
50. JAIF, Current Status of the Nuclear Power Plants in Japan (as of May 28, 2012), 2012.
51. Kleßmann, C., Increasing the effectiveness and efficiency of renewable energy support policies in the European Union, 2012.
52. Lehmann, H., Energy Rich Japan, 2003.
53. METI, Strategic Technology Roadmap (Energy Sector) : Energy Technology Vision 2100, 2005.
54. METI, New National Energy Strategy (Digest), 2006.
55. METI, Japan, The Strategic Energy Plan of Japan (Summary), 2010.
56. NIES, Kyoto University, Ritsumeikan University and Mizuho Information and Research Institute, Japan Scenarios and Actions towards Low-Carbon Societies, 2008.
57. OECD STAN Database, <http://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=STAN08BIS#>.
58. REN21, Renewables 2012 Global Status Report, 2012.

접수일(2012년 7월 16일), 수정일(2012년 9월 3일), 게재확정일(2012년 9월 6일)