에너지[혁명]

– 한국의 지속가능에너지 전망 (한글 요약판)

EREC
EUROPEAN RENEWABLE ENERGY COUNCIL

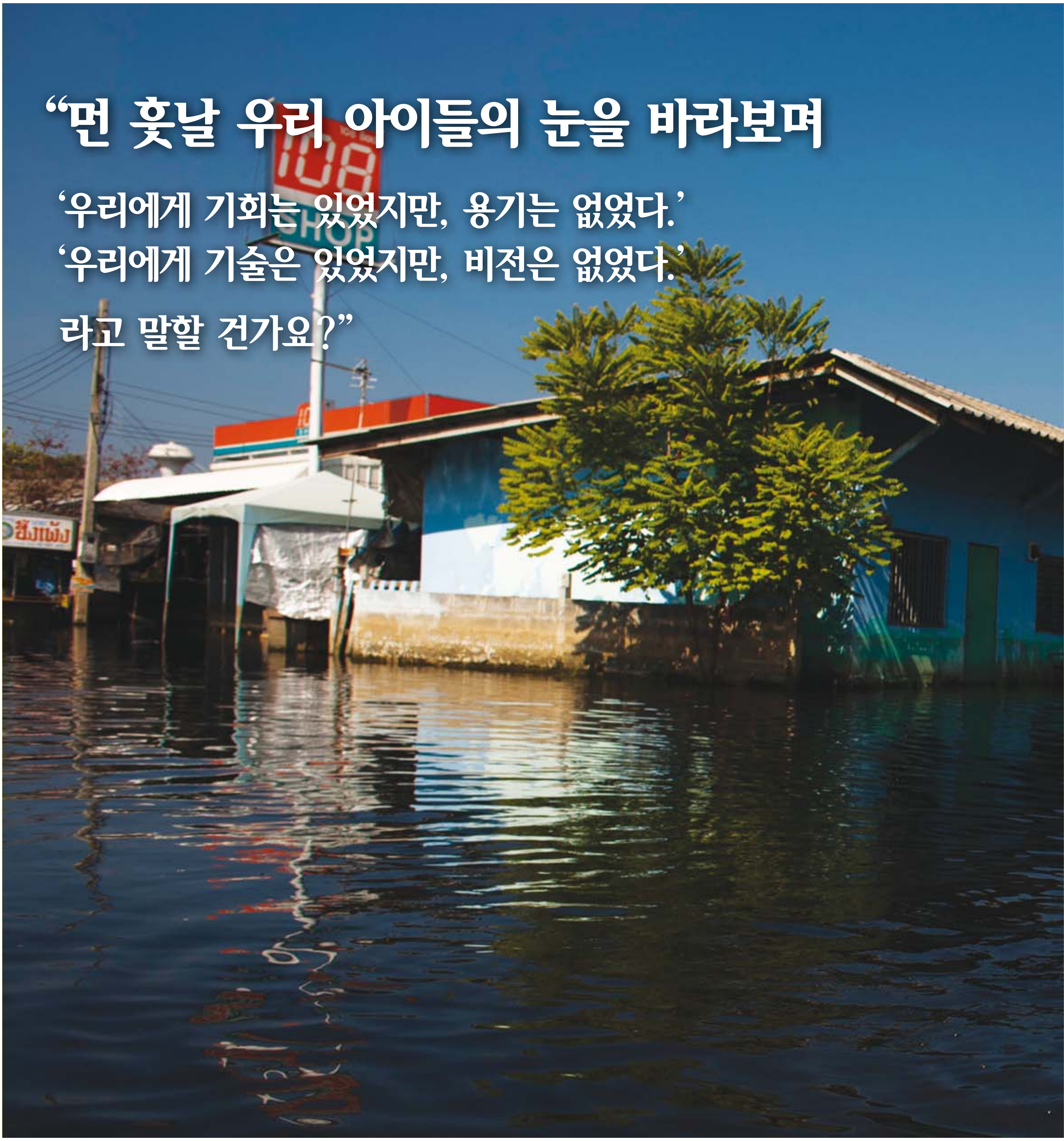
GREENPEACE

2012 한국 에너지시나리오 보고서

"먼 훗날 우리 아이들의 눈을 바라보며

'우리에게 기회는 있었지만, 용기는 없었다.'
'우리에게 기술은 있었지만, 비전은 없었다.'

라고 말할 건가요?"



그린피스 국제본부,
유럽재생가능에너지위원회

발행 2012년 4월

프로젝트 총괄 및 대표 저자
그린피스 국제본부 Sven Teske

EREC Arthouros Zervos,
Josche Muth

그린피스 국제본부 Sven Teske

그린피스 동아시아지부 (서울사무소)
이희송

지역 파트너
환경운동연합, 에너지대안포럼

협력기관

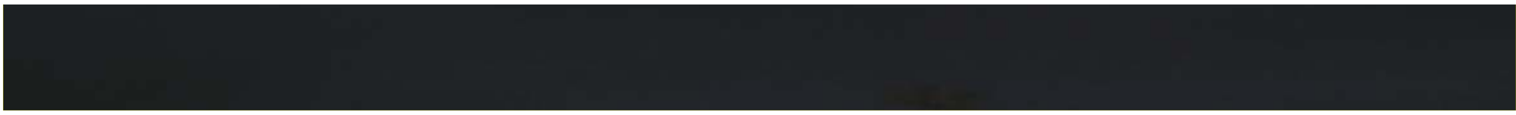


image A WOMAN CARRIES HER DAUGHTER AS SHE WALKS THROUGH A FLOODED STREET NEAR BANGPA-IN INDUSTRIAL PARK IN AYUTTHAYA, THAILAND. OVER SEVEN MAJOR INDUSTRIAL PARKS IN BANGKOK AND THOUSANDS OF FACTORIES HAVE BEEN CLOSED IN THE CENTRAL THAI PROVINCE OF AYUTTHAYA AND NONTHABURI WITH MILLIONS OF TONS OF RICE DAMAGED. THAILAND IS EXPERIENCING THE WORST FLOODING IN OVER 50 YEARS WHICH HAS AFFECTED MORE THAN NINE MILLION PEOPLE.

© ATHIT PERAWONGMETHA/GREENPEACE

연구 및 공동저자
독일우주항공연구센터
기술열역학연구소
시스템분석및기술평가국, 독일
슈투트가르트: Thomas Pregger 박사, Sonja Simon 박사, Tobias Naegler 박사

독일우주항공연구센터
자동차컨셉트연구소, 독일
슈투트가르트: Stephan Schmid 박사

Ecofys BV, 네덜란드 위트레흐트: Wina Graus, Eliane Blomen

고용수치계산: Jay Rutovitz and Steve Harris, 시드니공과대학 지속가능미래연구소

편집 Rebecca Short, Crispin Aubrey (기본문건)

디자인 onehemisphere, Sweden, www.onehemisphere.se

문의 sven.teske@greenpeace.org, erec@erec.org

for further information about the global, regional and national scenarios please visit the energy [r]evolution website: **www.energyblueprint.info/**
Published by Greenpeace International and EREC. (GPI reference number JN 330).

추천의 글

그린피스의
'에너지[혁명]
-한국의 지속가능에너지 전망'
보고서 발간을 축하드립니다.

2050년까지의 부문 별 에너지수요와 자원 별 에너지공급, 그리고 투자와 고용에 관한 시나리오는 한국의 에너지수급 전망과 정책수립에 신선한 충격과 새로운 각성을 제공하리라 확신합니다.

열악한 에너지 환경 여건에도 불구하고 지속적인 경제성장과 산업창출을 추구하는 한국의 입장에서는 에너지 수요관리의 획기적 강화와 재생에너지 공급비율의 점진적 확대가 반드시 실현되어야 합니다.

따라서 그린피스의 에너지 [혁명] 보고서는 한국의 새로운 국가에너지기본계획에서

목차

추천의 글	4	1 기후변화와 원자력의 위협	12	4 에너지[혁명] 실행	24
도입	6	2 기후와 에너지 정책	15	5 미래 에너지공급 시나리오	26
요약	8	3 에너지[혁명] 개념	20	6 한국 관련 주요 결과	34

image LA DEHESA 50 MW PARABOLIC SOLAR THERMAL POWER PLANT. A WATER RESERVOIR AT LA DEHESA SOLAR POWER PLANT. LA DEHESA, 50 MW PARABOLIC THROUGH SOLAR THERMAL POWER PLANT WITH MOLTEN SALTS STORAGE. COMPLETED IN FEBRUARY 2011, IT IS LOCATED IN LA GAROVILLA AND IT IS OWNED BY RENOVABLES SAMCA. WITH AN ANNUAL PRODUCTION OF 160 MILLION KWH, LA DEHESA WILL BE ABLE TO COVER THE ELECTRICITY NEEDS OF MORE THAN 45,000 HOMES, PREVENTING THE EMISSION OF 160,000 TONS OF CARBON. THE 220 H PLANT HAS 225,792 MIRRORS ARRANGED IN ROWS AND 672 SOLAR COLLECTORS WHICH OCCUPY A TOTAL LENGTH OF 100KM. BADAJOZ.

에너지믹스의 구성과 구체적 실천방안 및 기대효과 분석에도 참고할 수 있는 자료가 될 것입니다.

그린피스 에너지[혁명] 보고서와 맥락을 같이하여 에너지대안포럼은 '2030 에너지대안' 시나리오를 발표한 바 있습니다. 그리고 2011년 3월 후쿠시마 원전사고 이후 대안적 국가에너지 비전을 모색하기 위해 수 차례의 세미나와 전문가그룹 자문회의, 각계 각층의 의견수렴을 거쳐 지속가능한 전력시나리오와 정책을 제시하였습니다.

지속가능하고 평화로운 미래를 향한 그린피스의 비전과 활동은 에너지대안포럼이 지향하는 바와도 일치합니다. 앞으로 두 단체가 서로의 정보와 경험을 공유하여 지속가능하고 평화로운 에너지 미래를 향해 협력체계를 더욱 공고히 한다면 그린피스의 에너지[혁명]은 현실화될 것이며, 자연과 인류의 조화로운 공존도 효과적으로 달성할 수 있으리라 믿습니다.

송진수

에너지대안포럼 공동상임대표
한국신재생에너지학회 회장

2012년 4월

© MARKEL REDONDO/GREENPEACE

7 미래고용 43

8 고요한 혁명 - 과거와 현재의 시장변화 48

9 부록 55

도입

"한국은 재생가능에너지 자원이 풍부하고 세계 최고의 기술력을 보유하고 있다는 점에서 행운아다. 여기에 정책적 의지만 더해진다면 한국은 세계 재생가능에너지 시장을 선도할 것이다."

image GEMASOLAR, A 15 MWE SOLAR-ONLY POWER TOWER PLANT. IT S 16-HOUR MOLTEN SALT STORAGE SYSTEM CAN DELIVER POWER AROUND THE CLOCK. IT RUNS THE EQUIVALENT OF 6,570 FULL HOURS OUT OF A 8,769 TOTAL. GEMASOLAR IS OWNED BY TORRESOL ENERGY AND HAS BEEN COMPLETED IN MAY 2011.

2011년 3월 11일 대규모 지진과 쓰나미가 일본 열도를 덮쳤다. 이날은 상상조차 하기 힘든 비극적 참사가 있었던 날로, 그리고 체르노빌 원전사고 이후 다시는 일어나지 않을 거라 말해 왔던 대규모 원전사고가 발생한 날로 역사에 남을 것이다. 이러한 비극에도 불구하고 이날은 일본을 비롯한 전 세계 에너지 정책에 큰 전환점이 되었다.

후쿠시마 원전사고는 원자력에너지의 안전성에 대한 집중적 논의를 불러일으켰고, 그 첫 번째 결과물로 독일, 스위스, 이태리가 원자력 프로그램에 종지부를 찍고 가동 중인 원자로를 폐쇄하기로 결정하였다.

이웃나라인 일본에서 발생한 원전사고는 한국이 지속가능한 에너지 미래를 향해 한발 더 나아갈 수 있는 크나큰 기회를 제공하였다. 한국은 재생가능에너지 자원이 풍부하고 세계 최고의 기술을 보유하고 있기 때문에 위험하고 값비싼 원자력기술에 대한 의존을 종식시키고 재생가능에너지 산업을 선도하고 있는 나라들에 합류할 수 있다. 그뿐만 아니라 에너지효율성 향상에 대한 잠재력도 풍부하여 에너지비용과 이산화탄소 배출을 줄이고, 오늘날 인류 최대의 과제인 기후변화문제에도 대응할 수 있다.

그에 대한 해결책이 바로 에너지[혁명]이다. 원자력발전을 단계적으로 폐쇄하고 기후변화의 위험성을 최소화하려면 에너지의 생산과 소비 방식을 역동적으로 전환해야만 한다. 재생가능자원의 활용은 기후변화 방지뿐만 아니라 녹색일자리 창출에도 크나큰 공헌을 할 것이다.

한국의 심화 에너지[혁명] 시나리오는 재생가능에너지원에 대한 면밀한 검토에 근거하여 완성하였다. 2050년까지 이 시나리오를 실현하는 것은 현존하는 기술의 일부만으로도 가능하다.

image WIND TURBINES AT THE NAN WIND FARM IN NAN AO. GUANGDONG PROVINCE HAS ONE OF THE BEST WIND RESOURCES IN CHINA AND IS ALREADY HOME TO SEVERAL INDUSTRIAL SCALE WIND FARMS.

원전 재앙을 기회로

'에너지[혁명] – 한국의 지속가능에너지 전망' 보고서는 한국이 깨끗한 에너지 미래를 위해 나가야 할 방향을 제시하기 위해 만들었다. 참조 시나리오는 제1차 국가기본에너지계획(2008-2030)을 바탕으로 하였고, 기본 및 심화 에너지[혁명] 시나리오는 한국 에너지전문가의 도움을 받아 독일우주항공연구센터(German Aerospace Center, DLR)에서 계산하였다.

만약 한국이 에너지[혁명]이 제시하는 방향을 따른다면 다음과 같은 재생가능에너지 미래를 달성할 수 있다.

- 2030년까지 원자력발전 단계적 폐쇄
- 2020년 14%, 2030년 25% 이상의 전력을 재생가능에너지로부터 생산
- 2030년까지 30%의 이산화탄소 감축

현재 재생가능에너지시장은 세계적인 호황을 누리고 있다. 실제로 2005년-2010년 사이에 전 세계 풍력에너지 설비용량은 333%, 태양광은 700%이상 성장하였다. 이처럼 재생가능에너지 시장이 확대됨에 따라 이제 우리는 원자력과 화석연료를 단계적으로 축소하면서 위험하고 더러운 에너지에 대한 의존을 종식시킬 수 있는 시발점을 마련하였다. 또한 에너지효율성과 재생가능에너지 공급체계의 개선을 통해 한국의 에너지수요를 충족시킬 뿐만 아니라 기후변화의 영향을 최소화하고 녹색일자리와 깨끗한 에너지미래를 창출할 수도 있다.

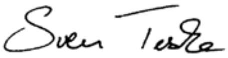
잊고 있었던 해결책: 에너지효율성

에너지[혁명] 시나리오는 한국이 에너지효율성을 향상할 수 있는 잠재력이 크다는 점을 최대한 활용하고 있다. 에너지효율성 향상은 에너지 수요, 온실가스배출, 최종소비자의 비용부담을 줄일 수 있는 가장 간단하고 빠른 방법이다. 한국은 에너지효율성을 최대화 할 수 있는 엄청난 잠재력을 지니고 있다. 정부는 올바른 정책을 도입하여 산업분야 전반에 걸쳐 전력소비를 줄이고 혁신적인 기술발전을 도모할 수도 있다. 한국의 엔지니어링산업이 에너지효율성 분야에서 세계 최고 수준으로 발돋움해 한국 경제의 크나큰 자산이 될 수 있다고 확신한다.

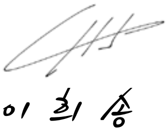
이제 시작이다

심화 에너지[혁명] 시나리오는 에너지 이용 방식의 변화가 가능하고 새로운 기회와 지속가능한 녹색일자리를 창출할 수 있음을 보여주고 있다. 이에 우리는 한국의 정치 지도자들에게 에너지[혁명] 시나리오의 제안을 실행하고, 원자력이 없는 안전한 환경과 기후변화의 위협이 줄어든 지속가능한 미래가 실현될 수 있도록 지금부터 원자력과 화석연료로부터 벗어나 재생가능에너지로의 전환을 시작할 것을 요구한다.

Arthouros Zervos
유럽재생가능에너지위원회 회장



Sven Teske
그린피스 국제본부 기후에너지국



그린피스 동아시아지부 (서울사무소)
기후에너지팀장

2012년 4월

요약

"바로 지금이 진정으로 안정적이고 지속가능한 에너지 미래를 약속할 때이다. 그 미래는 청정 기술과 경제 발전, 그리고 수백만 개의 새로운 일자리 창출로 건설된다."

© MICHAEL LOEWA/GP

image WITNESSES FROM FUKUSHIMA, JAPAN, KANAKO NISHIKATA AND HER TWO CHILDREN KAITO AND FUU, VISIT A WIND FARM IN KLENNOW, GERMANY.

지구온도상승으로 인한 기후변화의 위협은21세기에 인류가 직면하고 있는 가장 큰 환경문제이다. 기후변화는 세계의 사회적 경제적 안정과 지구의 자연자원, 특히 인류의 에너지 생산방식에 지대한 영향을 미친다. 구 소련 체르노빌 원전에서 끔찍한 폭발이 있은 지 25년이 지난 2011년 3월 일본 후쿠시마에서 발생한 대형 원전사고는 원자력에너지가 근본적으로 얼마나 위험한 에너지원인지를 보여주고 있다.

1992년 채택된 UN기후변화협약 (UNFCCC)의 가입국들은 기후변화가 세계에 미치는 위협을 공식적으로 인정하며 1997년 교토의정서 (Kyoto Protocol)에 합의하였다. 교토의정서는 2005년 초 발효되었고, 193개의 회원국은 지속적인 회의를 통해 의정서의 추가 개정 및 개선을 위해 협상을 이어가고 있다. 주요 선진국 중 유일하게 교통의정서를 비준하지 않은 국가는 미국뿐이었으나, 2011년 캐나다가 교토의정서 탈퇴 의사를 공식 선언하였다. 2009년, UN기후변화협약의 195개 회원국들은 코펜하겐에서 야심 차지만 적정한 온실가스배출량 감축을 목표로 한 새로운 기후변화 합의 내용을 이끌어 내려 했지만, 이 노력은 수포로 돌아갔다. 이후 2012년 더반에서 개최된 당사국총회에서 2015년까지 새로운 협정을 마련하는 것에 대한 합의가 이뤄졌고, 제2차 유효 기간은 2012년 말에 채택하기로 합의하였다. 그러나 유엔환경계획(UNEP)이 각국의 2020년 기후변화 계획을 검토한 결과, 기후변화를 늦추기 위해 과학적으로 요구되는 인류의 행동과 세계 각국의 계획 사이에는 여전히 큰 격차가 존재하고 있다. 각국 정부가 제시한 온실가스 저감 관련 공약대로라면 지구 온도가 산업화 이전 수준 대비 적어도 2.5~5℃까지 상승할 수 있다.[1]

기후변화가 초래할 대재앙을 피하려면 지구온도상승폭은 2℃ 이하로 유지되어야 한다. 아직은 늦지 않았지만 시간이 얼마 남지 않았다. 온도상승폭을 2℃ 이하로 제어하기 위해서는 2015년 기점으로 온실가스 배출량이 급격히 감소하여 21세기 중반에 이르러서는 배출되는 양이 거의 없어야 한다.

참고문헌
1 UNEP EMISSIONS GAP REPORT.
2 W. L. HARE. A SAFE LANDING FOR THE CLIMATE. STATE OF THE WORLD. WORLDWATCH INSTITUTE. 2009.
3 JOEL B. SMITH, STEPHEN H. SCHNEIDER, MICHAEL OPPENHEIMER, GARY W. YOHE, WILLIAM HARE, MICHAEL D. MASTRANDREA, ANAND PATWARDHAN, IAN BURTON, JAN CORFEE-MORLOT, CHRIS H. D. MAGADZA, HANS-MARTIN FЬSSEL, A. BARRIE PITTOCK, ATIQ RAHMAN, AVELINO SUAREZ, AND JEAN-PASCAL VAN YPERSELE: ASSESSING DANGEROUS CLIMATE CHANGE THROUGH AN UPDATE OF THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) REASONS FOR CONCERN . PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. PUBLISHED ONLINE BEFORE PRINT FEBRUARY 26, 2009, DOI: 10.1073/PNAS.0812355106. THE ARTICLE IS FREELY AVAILABLE AT: HTTP://WWW.PNAS.ORG/CONTENT/EARLY/2009/02/25/0812355106.FULL.PDF A COPY OF THE GRAPH CAN BE FOUND ON APPENDIX 1.

image WELDER WORKING AT VESTAS WIND TURBINE FACTORY, CAMPBELLTOWN, SCOTLAND.

지구온난화 안전수준은 존재하는가?

지구온도상승폭을 2℃ 유지하는 것이 지구온난화의 ‘안전수준’이라고 말하지만, 이는 최근의 과학적 연구에 밝혀진 사실을 반영하지는 않고 있다. 이 연구는 산업화 이전 수준 대비 지구온도가 2℃ 상승하게 되면 지구상의 주요 생태계와 인류가 감당할 수 없을 정도의 위험에 노출될 것임을 보여준다.[2] 심지어 지구온도가 1.5℃만 올라가도 가뭄, 폭염, 홍수 등의 기상이변 발생빈도가 높아지는 것은 물론, 17억 명에 달하는 사람들이 심각한 물 부족 문제에 직면하고, 산불 및 홍수의 위험도 증가할 것으로 예측된다. 물론 지구온도상승폭을 2℃ 이하로 유지한다고 해서 빙하가 녹는 걸 막을 수 있는 것도 아니다. 지구온도가 현재 수준보다 0.8~3.8℃ 상승한다면 그린란드의 빙하뿐 아니라 어쩌면 서남극 빙하까지도 부분적으로 녹을 수 있다.[3] 환경과 경제를 생각할 때 이제 우리는 온실가스, 특히 화석연료의 사용으로 발생하는 이산화탄소의 배출량을 대폭 줄여 지구온도상승폭을 감당할 수 있는 범위에서 유지해야만 한다.

기후변화 및 에너지 안보

최근 급격히 요동치고 있는 유가로 인해 에너지 안보의 문제, 즉 공급에 대한 접근성과 금융안정성 차원의 문제가 에너지정책의 주요 의제로 다루어지고 있다. 이처럼 유가가 요동치는 이유 중 하나는 석유, 가스, 석탄과 같은 화석연료 자원이 고갈되면서, 이들 자원을 생산하는 비용이 점점 더 높아지고 있기 때문이다. 셰일유(shale oil)와 같은 ‘비전통’ 자원이 경제적인 경우도 있지만 환경에는 치명적인 피해를 가하고 있다. 분명한 것은 ‘값싼 석유와 가스’의 시대가 끝나고 있다는 점이다. 원자력발전의 연료인 우라늄 또한 한정된 자원이다. 이와는 대조적으로 재생가능에너지의 기술적 잠재량은 현재 전 세계가 소비하는 에너지 양의 6배에 달하고도 남을 뿐만 아니라 그 에너지원이 무한하다.

현존하는 재생가능에너지 기술은 기술적 발전 정도와 경제성에 있어 그 편차가 상당히 크지만 점점 더 매력적인 대안을 제시하는 에너지원이 등장하고 있다. 이를테면 풍력, 바이오매스, 태양광, 태양열, 지열, 해양, 수력 발전 등이 그 예이다. 이들 에너지원은 온실가스 배출량이 미미하거나 아예 없고, ‘연료’로 사용하는 자원이 사실상 무한히 이용 가능하다. 이들 기술 중 일부는 이미 경쟁력을 갖추고 있다. 예를 들어, 풍력발전의 경우 전 세계적 경기불황 및 금융위기 속에서도 계속해서 폭발적 성장세를 보이며 재생가능에너지가 얼마나 매력적인지를 입증하고 있다.

이와 동시에 현재와 같은 수준의 에너지 서비스를 지속적으로 제공하면서도 에너지 소비를 줄일 수 있는 엄청나 잠재력이 있다. 본 연구에서는 산업, 가정, 기업, 서비스 분야에서 발생하는 에너지 수요를 현저히 줄일 수 있는 일련의 에너지 효율성 조치를 자세히 살펴본다.

에너지[혁명]

기후변화라는 시급한 과제는 에너지[혁명] 수준의 변화를 요한다. 그리고 이러한 변화는 재생가능에너지 시장이 지속적으로 성장하고 있는 지금 이미 시작되었다. 2007년 1월 처음 발간한 에너지[혁명] 국제판에서는 2010년까지 전 세계적 재생가능에너지 설비용량이 156GW에 달할 것이라 추정하였는데, 2009년 말미에 이미 설비용량은 158GW였다. 그러나 여전히 할 일은 많이 남아 있다. 이러한 혁명은 에너지의 생산, 유통, 소비 방식의 변화로부터 시작되는데, 이를 이끌어 낼 다섯 가지의 주요 원칙은 다음과 같다.

- 재생가능에너지 솔루션 이용, 주로 분산형에너지시스템 활용
- 환경의 태생적 한계 존중
- 깨끗하지도 지속가능하지도 않은 에너지원 이용의 단계적 축소
- 자원이용의 형평성 증대
- 화석연료 소비와 경제성장의 분리

분산형에너지시스템은 에너지가 최종적으로 소비되는 지점과 근접한 장소에서 전력 및 난방열을 생산하는 것을 골자로 하는데, 이를 통해 전환 및 유통과정에서 에너지가 유실되는 것을 방지할 수 있다. 이를 위해서는 쌍방향 스마트그리드 및 수퍼그리드와 같이 해상풍력 및 고집적 태양광을 대량으로 수송할 수 있는 ‘기후 기반시설 (climate infrastructure)’ 에 대한 투자가 필수적이다. 특히 외딴 지역 거주하는 사람들에게 재생가능에너지를 공급하는 마이크로그리드를 곳곳에 건설하면 현재 전기를 제대로 이용할 수 없는 전 세계의 약 20억 인구에게 지속가능한 전력을 제공할 수 있게 된다.

재생가능한 미래를 향해

현재 한국의 1차 에너지수요에서 재생가능에너지원이 차지하는 비중은 2.2%인데, 주로 난방부문에 사용되는 바이오매스가 가장 큰 비중을 차지한다. 재생가능에너지원이 전력 발전에서 차지하는 비중은 1.1%에 불과한 반면 난방공급에 기여하는 비중은 약 9%에 달하는데, 이는 전통적으로 난방에 장작을 이용하기 때문이다. 현재는 화석연료가 1차 에너지공급의 81%를, 원자력은 16%를 담당하고 있다. 두 개의 에너지[혁명] 시나리오는 현재의 에너지공급을 지속가능한 방향으로 발전시켜 나갈 방법을 제시한다. 그 중 심화 에너지[혁명] 시나리오는 시급히 달성해야 하는 이산화탄소 감축과 원자력 이용의 단계적 폐쇄 목표를 기본 에너지[혁명] 시나리오보다 10년 이상 앞당겨 설정한다.

심화 에너지[혁명] 시나리오에 따르면 아래에 제시된 방법을 통해 그러한 목표를 달성할 수 있다.

1. 에너지 효율성 향상이 지닌 막대한 잠재력이 발현된다면 1차 에너지수요는 2009년 9,614PJ/a에서 2050년에는 6,500PJ/a까지 감소할 것이다. 이는 참조 시나리오의 15,151PJ/a와 대조되는 것이다. 이처럼 큰 폭의 수요감소가 전제되어야만 전체 에너지 공급체계에서 재생가능에너지원이 차지하는 비중을 현저히 높일 수 있고, 이를 통해 원자력발전의 단계적 폐쇄는 물론 화석연료 소비의 저감도 가능해진다.

2. 수송 부문에서는 전기와 (잉여)재생전력을 전기분해하여 생산하는 수소가 기본 시나리오보다 심화 시나리오에서 더 큰 역할을 차지한다. 2020년 이후, 수송부문 최종에너지 수요에서 전기자동차의 비중은 10%까지 늘어나게 되고, 2050년에 이르면 65% 이상이 된다. 더 많은 대중교통 수단이 전기를 사용하게 되는 것은 물론, 육상보다는 철로를 통해 운송되는 화물의 비중이 더 많아질 것이라 본다.

3. 열병합발전의 사용이 늘어남에 따라 동시에 공급체계상 에너지전환효율성이 향상되며, 이를 통해 천연가스와 바이오매스의 사용도 증가한다. 장기적으로 난방에 대한 수요는 줄어들고 재생가능에너지원으로부터 직접 열을 생산하는 가능성이 커짐에 따라 열병합발전의 추가 확대는 제한된다.

4. 재생가능에너지 활용은 전력 부문이 이끌어 나갈 것이다. 2050년까지 전력의 90%가 재생가능에너지원으로부터 생산되는데, 2050년에는 대략 198,000MW의 용량으로부터 475TWh/a에 달하는 재생전력이 생산된다. 풍력이나 태양광과 같은 변동성 발전원으로 생산한 전력의 상당 부분은 자동차 배터리에 공급되거나, 수소 또는 수송 및 산업용 2차 연료인 '재생-메탄' 생산에 사용된다. 부하관리전략을 통해 잉여 전력생산은 줄어들고 균형 있는 전력공급이 가능해진다.

5. 난방공급 부문에서 재생가능에너지가 차지하는 비중은 2050년까지 88%로 증가한다. 화석연료와 비효율적 전기난방시스템은 갈수록 바이오매스, 태양열집열기, 지열 등 더 효율적인 현대 기술로 대체된다. 또한 지열히트펌프는 공업용난방생산에서도 점점 더 큰 역할을 담당한다.

6. 수송 부문에서는 도로수송에서 철로수송으로 전환과 경차 이용 증가를 통해 에너지 효율 향상의 막대한 잠재력이 발현된다. 바이오매스가 부동시설에 주로 사용되기 때문에 바이오연료 생산에 필요한 원료의 지속가능한 공급에 제한이 있다. 재생가능에너지원으로부터 생산된 전력으로 움직이는 전기자동차는 2020년 이후부터 점점 더 중요한 역할을 담당한다.

7. 2050년에는 재생가능에너지원이 1차 에너지 수요의 58%를 차지한다.

재생가능에너지원의 경제성을 확보하기 위해서는 모든 관련기술을 적시에 두루 사용하는 것이 중요하다. 이는 기술적 잠재성, 실제비용, 비용저감잠재성, 기술발달 수준에 달려 있다.

미래비용

재생가능에너지기술을 도입한 기본 에너지[혁명] 시나리오에서 전력발전비용은 참조 시나리오 대비 소폭 상승한다. 그러나 상승폭은 2020년까지 1센트/kWh 미만이 될 것으로 예측된다. 하지만 전력발전의 이산화탄소 집약도가 낮아지기 때문에 기본 및 심화 에너지[혁명] 시나리오 모두에서 전력생산비용은 경제적으로 알맞은 수준이 될 것이며, 2050년에 이르러서는 참조 시나리오 대비 각각 2센트/kWh 및 4.2센트/kWh 낮을 것으로 예상된다.

이와는 대조적으로 참조 시나리오에서는 지속적인 전력수요 증가, 화석연료가격 상승, 이산화탄소 배출 유발 비용 때문에 전력공급 총비용은 현재 매년 340억 달러가 소요되던 것이 2050년에는 1,170억 달러 이상으로 증가한다. 기본 에너지[혁명] 시나리오대로라면 한국이 세워 놓은 이산화탄소 감축목표를 달성할 수 있을 뿐만 아니라 에너지비용을 안정화하는 데에도 도움이 된다. 에너지효율성을 향상시키고 재생가능에너지 공급원을 증가시켜 나간다면 장기적으로 전력공급비용은 참조 시나리오 대비 약 50% 낮아진다.

미래투자

심화 에너지[혁명] 시나리오를 실현하려면 경제적 운전수명을 다한 발전소를 대체하는 비용을 포함하여 4,570억 달러의 투자가 필요한데, 이는 참조 시나리오(6,170억 달러) 대비 약 1,600억 달러 또는 연간 40억 달러 낮은 수치이다. 참조 시나리오에서는 2050년까지 원자력발전소에 투자하는 금액의 비중이 대략 74%에 달하는 반면 재생가능에너지 및 열병합발전에의 비중은 약 20% 정도이다. 그러나 심화 에너지[혁명] 시나리오에서는 전체 투자금액의 90%를 재생가능에너지 및 열병합발전 부문에 투자한다. 2030년까지는 전력부문에서 화석연료에 투자된 금액의 대부분이 열병합발전소로 집중된다. 심화 에너지[혁명] 시나리오에서 전력부문 연평균 투자규모는 지금부터 2050년까지 약 114억 달러가 될 것으로 예측된다.

재생가능에너지의 경우는 연료비용이 없기 때문에 기본 에너지[혁명] 시나리오에서는 절약 가능한 연료비용은 총 1,470억 달러, 연간 37억 달러가 되고, 심화 시나리오에서는 이보다 많은 총 1,910억 달러, 연간 48억 달러이다.

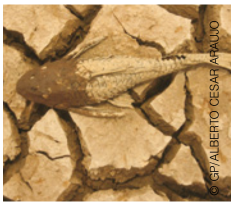
게다가 2050년 이후부터는 재생가능에너지원을 이용한 전력 생산은 추가연료비용이 들지 않는다. 하지만 석탄 및 가스의 연료비용은 국가 경제에 지속적인 부담으로 작용할 것이다.

미래고용

모든 시나리오에서 연구대상 에너지부문 일자리 수는 2015년까지 증가하는 것으로 나타난다. 2010년 전력부문 일자리 수는 59,000개였는데, 2015년까지 참조 시나리오에서는78,000개, 기본 에너지[혁명] 시나리오에서는 74,000개, 심화 에너지[혁명] 시나리오에서는 104,000개로 늘어난다. 그림 7.1을 보면 2030년까지 모든 시나리오에서 일자리 수가 상승하는데, 자세한 수치는 표7.1에 있다.

- 참조 시나리오에서는 2015년까지 일자리 수가 32% 성장하고, 2020년에는 27% 추가 성장하여 94,000개를 기록한다. 2020년-2030년 사이에 감소세를 보이기는 하지만, 2030년 일자리 수는 여전히 67,000개를 기록하여 2010년 대비 14% 높은 수치이다.
- 기본 에너지[혁명] 시나리오에서는 2015년까지 일자리 수가 25% 성장하여 74,000개를 기록하고, 2020년에 이르러 2010년 수치 대비 두 배가 증가한 116,000개에 달한다. 2020년-2030년 사이에 소폭의 감소세를 보이기는 하지만, 일자리 수는 2010년 대비 여전히 89% 높은 112,000개를 기록한다. 이는 2010년 대비 두 배 이상 높은 수치이다.
- 심화 시나리오에서는 에너지부문 일자리 수가 2010년-2015년 사이 75% 증가하여 104,000개에 도달하고, 2020년에는 2010년 수준 대비

image FIRST GEOTHERMAL POWER STATION IN GERMANY PRODUCING ELECTRICITY. WORKER IN THE FILTRATION ROOM.



대략 2.5배가 증가한 141,000개가 된다. 2020년–2030년 사이 감소세를 보이기는 하지만, 2030년 일자리 수는 여전히 101,000개를 기록하여 2010년 대비 71% 높게 나타난다.

- 태양광 및 풍력은 특히나 두드러진 성장세를 보여, 2030년까지 모든 시나리오에서 전체에너지부문 고용의 51%–77%까지를 담당하게 된다.

여기에는 원전 폐쇄와 에너지효율성 부문 일자리는 포함되어 있지 않다. 그러나 이런 일자리야말로 기본 및 심화 에너지[혁명] 시나리오에서 큰 비중을 차지하여, 원전 폐쇄 부문 일자리를 통해 기존의 원전운영 및 관리 종사자들의 수를 적어도 2020년까지는 현재의 수준(약 6,000개)으로 유지할 수 있다.

기본 및 심화 시나리오에서는 2020년까지 6 GW에 달하는 원자력 사용이 단계적으로 감소하며, 2030년까지는 각각 2 GW, 11 GW가 추가적으로 감소할 것이다.

참조 시나리오 대비 두 에너지[혁명] 시나리오에서는 2030년까지 전력발전이 30% 이상 줄어들어 에너지효율 부문에서 상당한 수의 일자리가 창출되나, 어느 정도인지를 예측하는 것은 본 연구의 범위에서 벗어난다.

이산화탄소 배출량 변화

한국의 이산화탄소 배출량은 참조 시나리오대로라면 2030년까지 20% 증가하고 2050년에 이르러 현재의 수준으로 떨어진다. 심화 에너지[혁명] 시나리오의 경우 2009년 기준 5억 1백만 톤에서 2050년 기준 약 4천 5백만 톤으로 감소하는데, 이는 1990년 수준 대비 81%에 상응하는 배출량이 저감되는 것이다. 1인당 연간 배출량은 10.5톤에서 1.0톤으로 줄어든다. 원자력에너지 사용이 단계적으로 폐쇄되고 에너지수요가 증가함에도 불구하고, 전력부문이 발생시키는 이산화탄소 배출량은 감소할 것이다. 향후 에너지효율성이 향상되고 재생가능에너지원을 이용하는 전기자동차의 수가 늘어나면, 장기적으로는 수송부문에서도 이산화탄소 배출량을 줄일 수 있다.

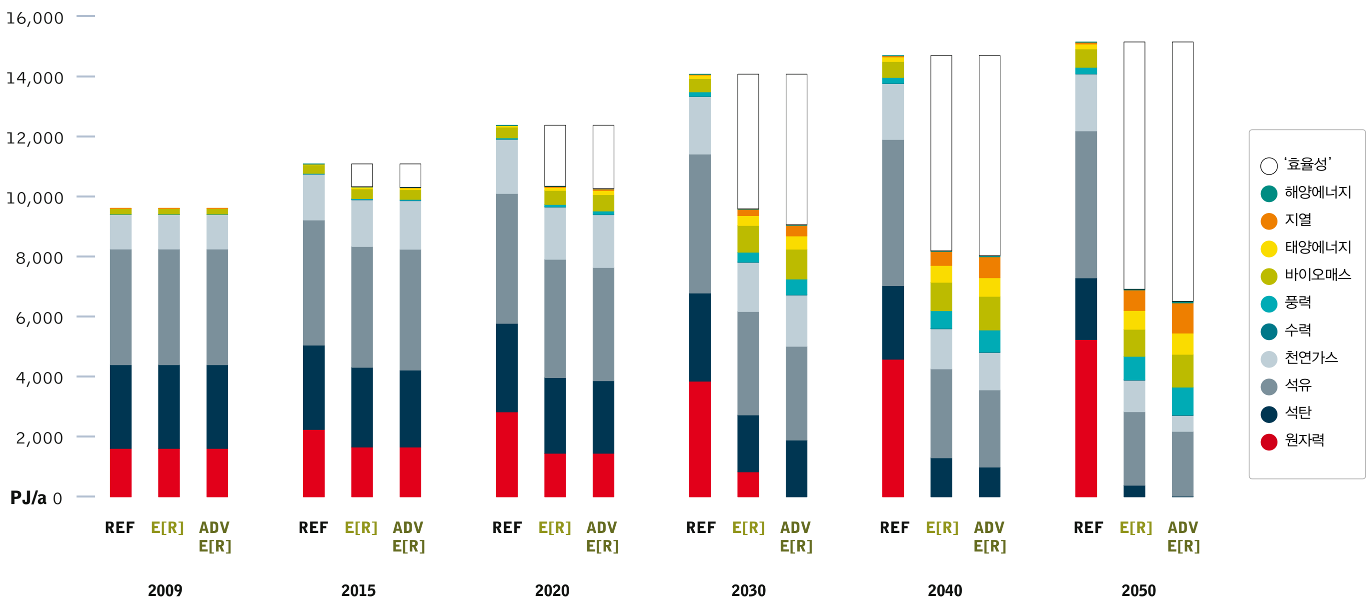
정책의 변화

그린피스와 유럽재생가능에너지위원회(EREC)는 에너지[혁명]을 실현하고 기후변화의 위험을 줄이기 위해 에너지 부문에서 다음의 정책과 조치를 수립하고 이행할 것을 요구한다.

1. 화석연료 및 원자력에너지에 대한 보조금의 단계적 축소
2. 총량배출권거래제(cap–and–trade)'를 활용한 에너지생산의 사회적, 환경적 외부 비용 흡수
3. 에너지를 소비하는 모든 설비, 건물, 자동차에 엄격한 효율성 기준 의무 적용
4. 법적 구속력 있는 재생가능에너지 및 열병합발전 목표 설정
5. 재생가능에너지 발전업체에게 배전망 우선 사용권을 보장함으로써 전력시장 개혁
6. 발전차액제도(feed–in tariff)와 같이 투자자들에게 명확하고 안정적 수익률 제시
7. 친환경제품에 대한 더 많은 정보를 제공하기 위해 라벨링 및 공시체계 개선
8. 재생가능에너지 및 에너지 효율성 관련 R&D 예산 확대편성

그림 0.1: 시나리오 별 1차에너지 소비 변화

('효율성' =참조 시나리오 대비 감축분)



기후변화와 원자력의 위협

▪ 기후변화와 원자력의 위협

1

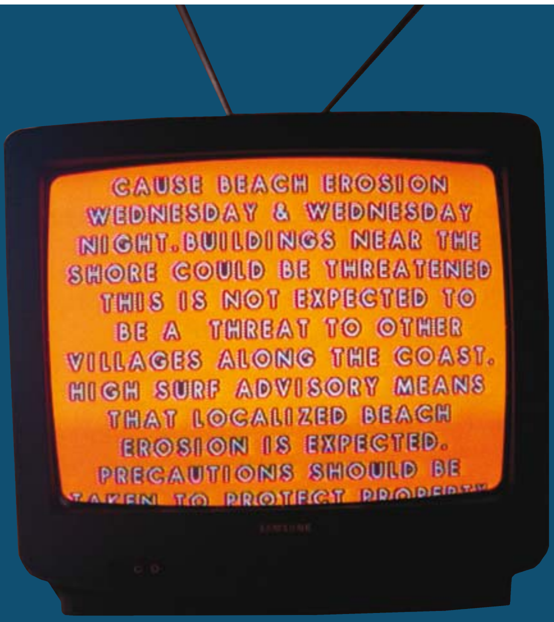


image THE LOCAL ALASKAN TELEVISION STATION BROADCASTS A WARNING FOR HIGH TIDES AND EROSION ALONG THE SEASIDE DURING A 2006 OCTOBER STORM WHICH IMPACTS ON THE VILLAGE OF SHISHMAREF. © GP/ROBERT KNOTH

“인류가 이렇게 엄청난 환경재앙과 맞서 싸우며 그토록 고민하였던 적이 있었던가.”

Greenpeace International
Climate Campaign

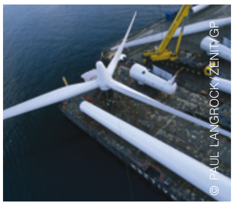


image CONSTRUCTION OF THE OFFSHORE WINDFARM AT MIDDELGRUNDEN NEAR COPENHAGEN, DENMARK.

1.기후변화와 원자력의 위협

전력의 공급으로 인류는 막대한 혜택을 입었으나 이 혜택을 위해 비싼 대가를 치러야 했다. 세계에서 가장 권위 있는 과학단체들은 인간의 활동으로 대기 중 이산화탄소가 증가하고 그로 인해 기후변화가 일어나고 있음에 의견을 같이하고 있다.

세계적으로 화석연료 사용에서 가장 큰 비중을 차지하는 것은 에너지 발전과 수송 부문이다. 이처럼 화석연료를 기반으로 한 성장이 지속된다면 인류가 감당할 수 없는 결과가 초래될 것이라는 증거들이 이미 드러나고 있다. 기후변화는 전 세계 인간사회, 해안 도시, 식량 체계, 자연생태계를 위협한다. 간단히 말해 산불과 홍수와 같은 자연 재해가 늘어나고 식량 생산에 교란이 오며 해수면 상승으로 토지를 잃게 될 것이다.

계속해서 화석연료에 의존하여 안정된 전력 공급을 추구하는 것은 온실가스 증가와 기후변화라는 대재앙을 부추길 뿐이다. 연료 수요가 높아지면서 산업은 생태계를 파괴하고 물 부족을 야기하는 세일유나 슈퍼 석탄(super coal)과 같은 비전통적 자원에도 눈을 돌리게 되었다. 가격변동이 심한 연료에 의존하는 것은 세계 경제에도 악영향을 미친다.

그렇다고 기후변화에 대한 해법으로 원자력에너지 이용을 도모하는 것은 해결책이 아니다. 원자력에너지는 너무나 위험하고 발전설비 건설에 오랜 시간이 걸린다는 사실을 차치하더라도, 엄청난 비용이 들어가는 값비싼 에너지다.

images 1. AN AERIAL VIEW OF PERMAFROST TUNDRA IN THE YAMAL PENINSULA. THE ENTIRE REGION IS UNDER HEAVY THREAT FROM GLOBAL WARMING AS TEMPERATURES INCREASE AND RUSSIA S ANCIENT PERMAFROST MELTS. **2.** SOVARANI KOYAL LIVES IN SATJELLIA ISLAND AND IS ONE OF THE MANY PEOPLE AFFECTED BY SEA LEVEL RISE: NOWADAYS, HEAVY FLOODS ARE GOING ON HERE. THE WATER LEVEL IS INCREASING AND THE TEMPERATURE TOO. WE CANNOT LIVE HERE, THE HEAT IS BECOMING UNBEARABLE. WE HAVE RECEIVED A PLASTIC SHEET AND HAVE COVERED OUR HOME WITH IT. DURING THE COMING MONSOON WE SHALL WRAP OUR BODIES IN THE PLASTIC TO STAY DRY. WE HAVE ONLY A FEW GOATS BUT WE DO NOT KNOW WHERE THEY ARE. WE ALSO HAVE TWO CHILDREN AND WE CANNOT MANAGE TO FEED THEM. **3.** WANG WAN YI, AGE 76, SITS INSIDE HIS HOME WHERE HE LIVES WITH HIS WIFE IN ONE ROOM CARVED OUT OF THE SANDSTONE, A TYPICAL DWELLING FOR LOCAL PEOPLE IN THE REGION. DROUGHT IS ONE OF THE MOST HARMFUL NATURAL HAZARDS IN NORTHWEST CHINA. CLIMATE CHANGE HAS A SIGNIFICANT IMPACT ON CHINA S ENVIRONMENT AND ECONOMY. **4.** INDIGENOUS NENETS PEOPLE WITH THEIR REINDEER. THE NENETS PEOPLE MOVE EVERY 3 OR 4 DAYS SO THAT THEIR HERDS DO NOT OVER GRAZE THE GROUND. THE ENTIRE REGION AND ITS INHABITANTS ARE UNDER HEAVY THREAT FROM GLOBAL WARMING AS TEMPERATURES INCREASE AND RUSSIA S ANCIENT PERMAFROST MELTS. **5.** A BOY HOLDS HIS MOTHER S HANDS WHILST IN A QUEUE FOR EMERGENCY RELIEF SUPPLY. SCIENTISTS ESTIMATE THAT OVER 70,000 PEOPLE, LIVING EFFECTIVELY ON THE FRONT LINE OF CLIMATE CHANGE, WILL BE DISPLACED FROM THE SUNDARBANS DUE TO SEA LEVEL RISE BY THE YEAR 2030.

1.1 원자력의 위협

원자력 산업은 상대적으로 규모는 작으나 크나큰 문제를 안고 있다. 현재 세계 1차 에너지 소비에서 원자력에너지가 차지하는 비중은 1/16정도에 불과한데 이마저도 향후 몇 십 년 안에 줄어들 것이다.

지난 5년간 추가된 원자력 발전용량 (6,600 MW)은 같은 기간 신규 건설된 풍력과 태양 에너지 발전용량(230,000 MW)의 1/35에 불과하다.[4] 2011년 한 해 건설된 재생가능에너지 발전용량만 해도 16개의 대형 원자로가 생산할 수 있는 전력과 맞먹는다.

'원자력 르네상스'라는 미사여구에도 불구하고 원자력 산업은 막대한 비용증가, 공사 지연, 안전성 및 안보 문제로 어려움을 겪고 있다. 구 소련 체르노빌 원전에서 있었던 처참한 폭발사고 이후 25년 만에 쓰나미의 여파로 발생한 일본 후쿠시마 원전사고는 원자력이 본질적으로 안전하지 않은 에너지원임을 보여준다.

후쿠시마 사고 이후, 독일 의회는 거의 절반에 가까운 원자력 발전소를 즉각적으로 폐쇄하고 2022년까지 모든 원자력 발전소를 폐쇄하기로 결정했다.[5] 그리고 같은 날 독일은 재생가능에너지와 에너지 효율성 향상 기술을 더욱 장려하는 법률들을 통과시켰다. 그리고 이탈리아에서는 국민의 95%가 국민투표를 통해 원자력에너지에 반대하는 결정을 내렸다. 2012년 초 현재 일본 원전의 90% 이상이 정지되어 54개 원자로 중 단 3개만 가동 중이지만 전력 공급에는 큰 문제가 없다.

1.1.1 원자력은 기후보호의 해결책이 아니다

원자력산업계는 원자력에너지가 기후보호와 에너지안보 모두에 기여할 수 있다고 주장하지만 이것이 가능한지는 확인해 봐야 한다.

국제에너지기구(International Energy Agency, IEA)가[6] 최근에 출간한 에너지기술전망 보고서 (Energy Technology Perspective)에서 제시하는 블루맵 시나리오는 금세기 중반까지 세계 탄소 배출량을 반으로 줄이기 위해서는 원자력의 대규모 확대가 필요하다고 말한다. 이러한 전망은 연간 원자력발전 용량이 2010년 2,629 TWh에서 2050년에는 9,857 TWh로 4배 증가한다는 가정에 근거를 두는데, 이를 달성하기 위해서는 지금부터 2050년까지 매년 평균 32개의 대규모 원자로(각각 1,000 MWe)가 건설되어야 한다고 말하고 있다. 이는 현실적으로 가능하지 않고 비용이 많이 들며 위험한 시나리오로, 기후보호에 필요한 온실가스 저감에도 도움이 되지 않는다. IEA의 자체 시나리오에서도 이러한 대규모 원자력 확대의 결과로 얻을 수 있는 탄소 배출 감소폭은 5% 미만이라고 말하고 있다.

1.1.2 원자력은 기후보호를 가로막는다

원자력 확대 시나리오가 실행된다 하더라도 IEA는 원자력이 에너지 부문에서는 4.6%의 온실가스 저감 효과만을 가져오며 이는 전 세계적으로 요구되는 총 감축량의 3%에도 미치지 못한다고 결론짓고 있다.

IEA에 따르면 에너지효율 향상과 재생가능에너지를 통한 2050년까지 배출량 감축 잠재력이 원자력을 통한 감축량의 10배가 넘는다고 한다.[7] 에너지 부문과 온실가스 배출을 변화시키기 위한 시간, 재원, 산업역량이 제한되어 있으므로, 거의 10조 달러에 이르는 재원을 원자력 발전에 사용하는 것은 치명적인 실수이다. 이러한 이유로 에너지[혁명] 시나리오는 기존 원자로의 평균 운전수명인 35년이 지나면 폐쇄하는 것을 통해 원자력의 단계적 폐지가 가능하다고 보고 있다. 이는 신규원전을 건설하지 않고 현재 건설 중인 원자로의 단 2/3만이 운전에 들어가며 원자력 확대 계획을 취소한다고 가정한다.

1.1.3 원자력의 위협

원자력발전은 화석연료 발전보다 이산화탄소 배출량이 적다. 하지만 원자력에너지는 인류와 환경에 여러 위험을 가져온다. 주요한 위험요소로는 안전성, 핵폐기물 처리, 핵무기 확산이 있다. 그 내용을 살펴보면 다음과 같다.

안전성: 원자력발전이 도입된 이후 지금까지 윈즈케일 (1957), 스리마일 섬 (1979), 체르노빌 (1986), 도카이무라 (1999), 후쿠시마 (2011)를 포함해 수백 건의 사고가 있었다. 체르노빌과 같은 대규모 원자력사고는 다시 일어나지 않을 거라는 원자력 업계의 확언에도 불구하고 일본 후쿠시마 원전에서는 네 기의 원자로에서 누출과 폭발이 있었다. 그 결과 원전 주변의 많은 지역이 방사능 누출로 심각하게 오염되었다. 원전에서 최대 50km내 지역의 주민들이 대피해야 했고, 100km 이상 떨어진 지역에는 음식과 물 이용에 제한이 있었다. 이 사고로 인한 영향은 수십만 명의 사람들의 삶과 일본 경제에 향후 몇 십 년간 지속될 것이다. 후쿠시마 재앙은 원자력에너지가 근본적으로 안전하지 않음을 증명했다.

핵 폐기물: 50년 동안 방사성 폐기물이 배출되어 왔음에도, 이 위험한 물질을 장기적으로 저장하고 보호할 방법을 찾지 못했다. 방사성 폐기물은 수십만 년 동안 안전하게 격리 저장되어야 함에도 불구하고 저준위 방사성 폐기물 처리장의 경우 불과 수십 년 만에 이 이미 누출이 발생했다. 원자력 업계는 핵 폐기물을 지표면 아래로 깊이 묻어서 '처리' 할 수 있다고 주장하지만 이 방식으로는 방사성 물질을 환경으로부터 영원히 격리할 수 없다.

핵무기 확산: 핵무기 제조에는 우라늄-235 또는 플루토늄-239와 같은 핵분열성 물질이 필요하다. 대부분의 원자로는 우라늄을 원료로 사용하며 가동 중에 플루토늄을 생성한다. 현실적으로 플루토늄의 핵무기 전용을 막기란 불가능하다. 소규모의 플루토늄 분리 공장을 건설하는 데 4-6개월이 소요되므로 원자로를 보유한 나라라면 비교적 빠른 기간 내에 핵무기를 생산해 낼 수 있다.

참고문헌

4 PLATTS, DATABASE, JULY 2011.
5 NAME OF LAW - 30 JUNE 2011.
6 'ENERGY TECHNOLOGY PERSPECTIVES 2008 - SCENARIOS & STRATEGIES TO 2050', IEA.
7 CALCULATION BASED ON INFORMATIONS OF THE "IEA WORLD ENERGY OUTLOOK 2011".

기후와 에너지 정책

- 세계 에너지 정책
- 재생가능에너지 목표
- 에너지부문에서의 정책변화
- 한국의 에너지 및 기후정책

2

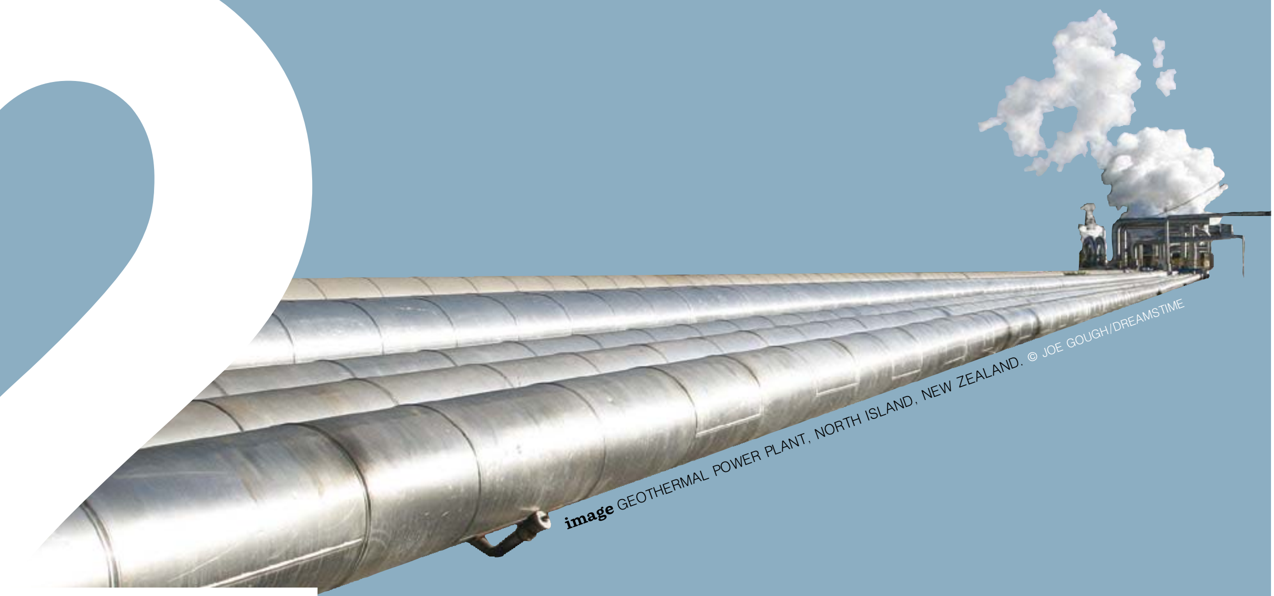


image GEOTHERMAL POWER PLANT, NORTH ISLAND, NEW ZEALAND. © JOE GOUGH/DREAMSTIME

"차이를 좁혀야 할 때이다."

Greenpeace International
Climate Campaign

지금 당장 기후를 보호하기 위한 확실한 조치를 취하지 않는다면 앞에서 설명한 기후 변화의 위협을 피할 수 없다.

기후변화가 초래할 대재앙을 피하려면 지구온도상승폭은 2℃ 이하로 유지되어야 한다. 아직은 늦지 않았지만 시간이 얼마 남지 않았다. 온도상승폭을 2℃ 이하로 제어하기 위해서는 2015년 기점으로 온실가스 배출량이 급격히 감소하여 21세기 중반에 이르러서는 배출되는 양이 거의 없어야 한다.

2.1 세계 에너지 정책

세계 각국 정부가 전력시장을 개방하고 있는 가운데, 재생가능에너지 경쟁력이 증가하여 보다 큰 수요로 이어져야 한다. 이를 위해서는 재생가능에너지에 대한 정치적 지원이 필수 적이다. 하지만 지난 수십 년 동안 막대한 재정적, 정치적, 구조적 지원은 전통적인 에너지 기술에만 집중되었다. 그러므로 재생가능에너지의 성장을 위해서는 최대 20년의 기간 동안 안정적인 가격을 보장하는 법 제도와 같은 강력한 정치적, 경제적인 노력이 필요하다. 재생가능에너지는 지속가능한 경제 성장, 고용, 기술 발전, 경쟁력 향상, 산업 및 연구 리더십에도 기여할 수 있다.

2.2 재생가능 에너지 목표

온실가스 감축과 에너지 안보 증진을 위해 점점 더 많은 국가들이 재생가능에너지 목표를 설정하고 있다. 하지만 전력부문에서의 투자는 최대 40년이 소요될 수 있다. 그러므로 재생가능에너지 목표는 단기, 중기, 장기적으로 나누어 설정해야 하며 효과를 높이기 위해서는 반드시 법적 구속력을 가져야 한다. 또한 재생가능에너지 발전에는 발전차액제도와 같은 인센티브 메커니즘이 필요하다. 재생가능에너지 비중을 큰 폭으로 늘리기 위해서 반드시 각 기술 별 (풍력, 태양력, 바이오매스 등) 잠재력을 고려하여 목표를 설정해야 하며 기술과 제조 기반을 개발하는 정책이 뒷받침 되어야 한다.

2.3 에너지 부문에서의 정책변화

그린피스와 재생가능에너지 업계는 재생가능에너지원으로의 전환하기 위해 에너지 부문에서 다음의 정책과 조치를 수립하고 이행할 것을 요구한다.

1. 화석연료 및 원자력에너지에 대한 보조금의 단계적 축소
2. ‘총량배출권거래제(cap-and-trade)’ 를 활용한 에너지생산의 사회적, 환경적 외부비용 흡수
3. 에너지를 소비하는 모든 설비, 건물, 자동차에 엄격한 효율성 기준 의무적용
4. 법적 구속력 있는 재생가능에너지 및 열병합발전 목표 설정
5. 재생가능에너지발전업체에게 배전망 우선 사용권을 보장함으로써 전력시장 개혁
6. 발전차액제도(feed-in tariff)와 같이 투자자들에게 명확하고 안정적 수익률 제시
7. 친환경제품에 대한 더 많은 정보를 제공하기 위해 라벨링 및 공시체계 개선
8. 재생가능에너지 및 에너지효율성 관련 R&D 예산 확대편성

2.3.1 에너지 혁명을 시행하기 위한 가장 효과적인 방법: 발전차액제도 (Feed-in tariff)

에너지 인프라를 계획하고 이에 투자하기 위해서는 장기적인 정책 체계가 필요하다. 이를 살펴보면 다음과 같다.

1) 투자에 대한 장기적인 보장 투자자들은 투자기간 동안 안정적인 에너지 정책이 지속될 것인지를 알 필요가 있다.

2) 시장 상황에 대한 장기적인 보장 투자자들은 생산한 전력이나 열을 “만족할만한” 투자수익률 (ROI)을 보장받고 시장에 판매할 수 있는지 알 필요가 있다. 만일 투자수익률이 높으면 금융권에서 투자를 할 것이고 다른 투자 대비 수익률이 낮다면 투자하지 않을 것이다.

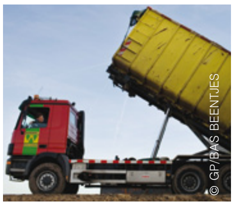
3) 투명한 계획수립 과정 투명한 계획수립 과정은 프로젝트 개발자들에게 핵심이다. 인허가 전체 과정은 반드시 명백하고 투명해야 한다.

4) 배전망 접근성 배전망에 대한 원활한 접근은 재생가능에너지 발전에 필수적이다. 배전망 연결이 가능하지 않거나 배전망에 접근하는 데 드는 비용이 너무 높다면 프로젝트를 실행할 수 없다.

box 2.1: 지속가능한 발전차액제도의 예

독일의 발전차액법 (‘Erneuerbare Energien Gesetz’ = EEG)은 재생가능에너지 기술을 단계적으로 도입하기 가장 효과적인 법 제도 중 하나이다. 그린피스는 본 법 제도를 지지하며 다른 국가들도 이러한 효과적인 재생가능에너지 법을 시행하도록 장려한다.

image THE TRUCK DROPS ANOTHER LOAD OF WOOD CHIPS AT THE BIOMASS POWER PLANT IN LELYSTAD, THE NETHERLANDS.



2.3.2 수익성 있는 재생가능에너지 지원 계획

재생가능에너지가 개발되던 초기부터 가장 효과적인 유형의 지원 계획이 무엇인가에 대한 논의가 지속적으로 이루어져 왔다. 2005년 12월 유럽집행위원회 (European Commission)에서 발표한 설문조사는 발전차액제도가 현재까지 가장 효율적이며 성공적인 메커니즘이라고 결론 내리고 있다. 2010년 3월 개최된 IEA 재생가능에너지 워크샵에서 프라운호퍼 연구소 (Fraunhofer Institute)가26 발표한 이 보고서의 최신버전 역시 같은 결론을 내리고 있다. 기후변화의 경제학에 관한 스턴보고서 (Stern Review) 또한 발전차액제도가 "비용대비 효과가 크다"고 결론 내렸다. 전 세계적으로 40개국 이상이 이 시스템과 유사한 제도를 채택하고 있다.

성공적인 재생가능에너지 지원 계획을 위한 네 가지 주요 요소는 다음과 같다:

- 투명하고 수익성 있는 가격 체계
- 배전망 우선 접근 권한 부여
- 투명하고 단순한 허가 절차
- 일반 대중의 지지

첫 번째 요소가 가장 중요하기는 하지만 다른 세 요소가 충족되지 않는다면 소용이 없다.

2.4 한국의 에너지 및 기후 정책

2.4.1 기후변화와 이산화탄소 배출

한국의 이산화탄소 배출량은 급증해왔으며OECD 평균보다 훨씬 빨리 증가할 것으로 예상된다. 미국이산화탄소정보분석센터(Carbon Dioxide Information Analysis Centre, CDIAC)에 따르면 한국은 세계 10대 이산화탄소 배출국으로 온실가스 배출량은 2008년 전 세계 총 배출량의 1.7%를 차지한다.

OECD에 의하면 한국의 인구 1인당 이산화탄소 배출량은 1990년–2005년의 사이에 71.6% 상승하여 OECD 평균인 2.1%를 훨씬 상회하고 있다. 이러한 상승의 일차적 원인은 급속한 경제성장이다.

저탄소 녹색성장: 한국정부는 녹색경제 강대국으로의 도약을 위해 제도적인 틀을 만들었다. 2009년 한국은 세계 최초로 저탄소녹색성장기본법을 제정했으며 녹색성장을 위한 국가전략 및 5개년 계획을 발표했다.

한국정부는 저탄소 녹색성장이라는 미명 아래 기후변화 완화의 해법으로 원자력 확대정책을 정당화하면서 국민들로 하여금 원자력 발전이 에너지 안보와 지구 온난화를 해결할 대안이라고 믿도록 오도해 왔다. 한국은 후쿠시마 재앙 이후에도 원자력 확대정책을 발표한 몇 안 되는 나라 중 하나이다. 한국은 전체 에너지에서 재생가능에너지가 차지하는 비중에 있어 OECD 회원국 중 최하위에 속한다. 반면 원자력발전은 현재 한국의 총 전력수급의 40%를 담당하고 있다.

제1차 국가에너지기본계획 (2008–2030): 한국정부는 에너지 분야의 '저탄소 녹색성장' 정책을 지원하기 위해 최초의 20년 장기 에너지 계획을 2008년 발표했다. 이는 전력수급기본계획과 같은 여타의 에너지 관련 정부 계획의 지침이 되고 있다. 이 계획에 따르면, 에너지 원단위는 2030년까지 0.341에서 0.185로 감소하고 신재생에너지가 전체 에너지 공급에서 차지하는 비중을 현재의 2.4%에서 2030년까지 11%로 확대할 것이며 석유를 포함한 화석연료 기반 에너지의 비율을 2030년까지 현재의 83%에서 61%로 감소시킬 것이다.

정부는 2030년까지 원자력 발전이 전체 에너지 생산에서 차지하는 비율을 최대 41%까지, 전체 전력 생산량에서 차지하는 비율을 최대 59%까지 늘리려고 계획하고 있다.

2.4.2 재생가능에너지

2010년 한국정부가 발표한 제5차 전력수급기본계획(2010 ~ 2024)에 따르면, 2009년 12월 현재 신재생에너지의 총 설비용량은 2,750.9 MW인데 이를 2010-2024년 사이에 19,157.4 MW까지 늘릴 계획이다. 여기에는 사업자 건설의향 8,346.1 MW에 신재생에너지 의무할당제도(RPS)에 따른 의무적 건설 10,811.3 MW를 포함하여 2024년에는 신재생에너지로 생산되는 전력이 54,467 GWh에 달해 전체 에너지발전의 8.9%를 차지하게 된다.

한국은 2002년 발전차액제도를 도입하여 이를 통해 2009년 12월 현재 총 345 MW에 대해 보조금을 지급했다. 하지만 2009년 4월 한국정부는 급작스럽게 2012년 까지 발전차액제도를 단계적으로 철폐하고 주요 전력업체들이 일정 양의 전력을 신재생에너지로 발전하도록 의무화한 신재생에너지 의무할당제 (RPS)를 시행하기로 결정했다. 이 새로운 시스템 하에서 복합발전용량이 500 MW 이상인 전력업체들은 (14개 기업이 해당) 2015년 까지 4%의 에너지를 재생가능에너지원을 사용하여 생산해야 하며 2022년 까지는 이를 10%로 늘려야 한다. 정부에 따르면

표 2.1: 한국: 에너지 소비와 관련된 주요 지표

에너지 수요	2006	2020	2030	연 증가율(%) 2006 – 2020	2020 – 2030	2006 – 2030
총 에너지수요 (백만 TOE)	233.4	288.0	300.4	1.5	0.4	1.1
1인당 에너지수요 (TOE)	4.83	5.84	6.18	1.4	0.6	1.0
에너지 원단위(TOE/천$)	0.347	0.233	0.185	-2.8	-2.3	-2.6
1차 에너지원 별 수요전망 (천 TOE)						
석탄	56,687 (24.3)	66,836 (23.2)	47,237 (15.7)	1.2	-6.4	-0.8
석유	101,831(43.6)	104,313 (36.2)	99,138 (33.0)	0.2	-0.5	-0.1
LNG	32,004 (13.7)	34,275 (11.9)	36,169 (12.0)	0.5	0.5	0.5
수력	1,306 (0.6)	2,387 (0.8)	2,392 (0.8)	4.4	0.0	2.6
원자력	37,187 (15.9)	63,582 (22.1)	83,420 (27.8)	3.9	2.8	3.4
신재생	4,358 (1.9)	16,583 (5.8)	32,062 (10.7)	10.0	6.8	8.7
계	**233,372 (100)**	**287,976 (100)**	**300,417 (100)**	**1.5**	**0.4**	**1.1**
최종 에너지원 별 수요전망(천 TOE)						
석탄	22,660 (13.1)	20,753 (10.1)	8,193 (3.9)	-0.6	-6.9	-4.2
석유	97,037 (55.9)	102,876 (50.0)	98,650 (47.6)	0.4	-0.4	0.1
도시가스	18,379 (10.6)	27,001 (13.1)	29,720 (14.30)	2.8	1.0	2.0
전력	29,990 (17.3)	40,567 (19.7)	44,119 (21.3)	2.2	0.8	1.6
열에너지	1,425 (0.8)	2,673 (1.3)	3,397 (1.6)	4.6	2.4	3.7
신재생	4,092 (2.4)	12,014 (5.8)	23,379 (11.3)	8.0	6.9	7.5
계	**173,584 (100)**	**205,883 (100)**	**207,459 (100)**	**1.2**	**0.1**	**0.7**

image THE WIND TURBINES ARE GOING TO BE USED FOR THE CONSTRUCTION OF AN OFFSHORE WINDFARM AT MIDDELGRUNDEN WHICH IS CLOSE TO COPENHAGEN, DENMARK.

신재생에너지 의무할당제에 부합하는 에너지원과 기술은 태양광, 풍력, 수소, 연료전지, 해양에너지, 지열, 폐기물을 포함하며 총 의무 공급비율은 아래의 표에 나타나 있다.

표 2.2: 신재생에너지 의무할당제 공급비율

RPS (%)	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0

출처
신.재생에너지 백서2010

참고문헌

– 제1차국가에너지기본계획 (2008–2030), 2008, 지식경제부
– 제 5차전력수급기본계획 (2010 ~ 2024), 2010, 지식경제부
– 신.재생에너지 백서 2010, 2010, 에너지관리공단
– Korea: New and Renewable Energy (NRE) Industry, 2010, US Embassy to Korea
– Overview of the Republic of Korea's National Strategy for Green Growth, 2010, UNEP
– Korea's Green Growth Strategy: Mitigating Climate Change and Developing New Growth Engines, 2011, OECD
– 신에너지 및 재생에너지 개발.이용.보급 촉진법

에너지[혁명] 개념

- 주요 원칙
- 새로운 배전망 설계

DECOUPLE GROWTH FROM FOSSIL FUEL USE. © G. POROPAT/DREAMSTIME

"현명한 소비, 전력생산, 송전 시스템이 에너지[혁명]의 중심이다."

Greenpeace International
Climate Campaign

image THE MARANCHON WIND TURBINE FARM IN GUADALAJARA, SPAIN IS THE LARGEST IN EUROPE WITH 104 GENERATORS, WHICH COLLECTIVELY PRODUCE 208 MEGAWATTS OF ELECTRICITY, ENOUGH POWER FOR 590,000 PEOPLE, ANUALLY.

기후변화로 인한 최악의 피해를 막기 위해서는 인류의 에너지 소비 및 생산방식이 즉각적으로 변해야 하며, 향후 십 년 동안 이러한 변화를 본격적으로 추진해야 한다는 것이 전문가들의 의견이다.[8] 이와 동시에 경제적 성장도 유지해야 한다는 숙제도 있다. 이처럼 혁명 수준의 변화를 통해 지구온도 상승폭을 2℃ 이하로 통제하여 지구온난화를 제어할 수 있다. 지구온도가 이 이상으로 상승하면 재앙적 결과가 초래될 것이다. 이 장에서는 에너지[혁명]의 개념과 기본적 원칙, 전략적 접근방식에 관해 설명한다.

3.1 주요 원칙

에너지[혁명]은 아래의 다섯 가지 주요 원칙을 통해 이룰 수 있다.

1. **자연의 한계 존중 – 금세기 말까지 화석연료 사용 단계적 축소** 대기가 흡수할 수 있는 탄소의 양은 정해져 있다. 하지만 인간은 매년 300억 톤에 달하는 탄소를 대기로 뿜어내고 있는데 지금처럼 계속해서 화석연료를 쓰다 보면 자연이 수용할 수 있는 한계선을 벗어나게 될 것이다. 석유와 석탄과 같은 화석연료의 개발은 이제 멈춰야 한다.

   에너지[혁명] 시나리오에서는 이산화탄소를 배출하는 에너지의 사용을2050년까지 최대 3.5 기가 톤으로 감축하고, 화석연료 이용의 80% 이상을 단계적으로 축소한다.

2. **에너지 이용의 형평성 및 공정** 자연의 한계가 존재하는 한 국가 간, 세대 간에 에너지 이용의 혜택은 물론 비용도 공평하게 부담해야 한다. 그러나 세계 인구의 1/3은 전기를 이용하지 못하고 있는 반면에 대부분의 선진국은 필요 이상의 전력을 소비하고 있다. 이처럼 에너지 형평성이 무너지면서 가난한 이들은 기후변화로 인한 피해를 더 크게 보고 있다.

   에너지[혁명] 시나리오는 기술적으로 가능하기만 하다면 지체 없이 에너지 형평성을 달성한다는 목표를 가지고 있다.

3. **깨끗하고 재생가능한 솔루션의 실행과 에너지시스템의 분산화** 에너지가 부족한 것은 아니지만 기존의 기술을 활용하여 에너지를 효과적이고 효율적으로 사용해야 할 필요가 있다. 재생가능에너지 및 에너지 효율성 향상 조치는 이미 존재하고 있으며 경쟁력도 점점 더 높아지고 있다.

   지속가능한 분산형에너지 시스템은 탄소배출량도 적고 비용도 더 적게 들며, 연료 수입 의존도도 낮다. 그뿐만 아니라 더 많은 일자리를 창출하며, 지역사회에도 도움이 된다. 에너지[혁명]은 이처럼 더욱 안정적이고 효율적인 분산형시스템 구축을 목표로 한다.

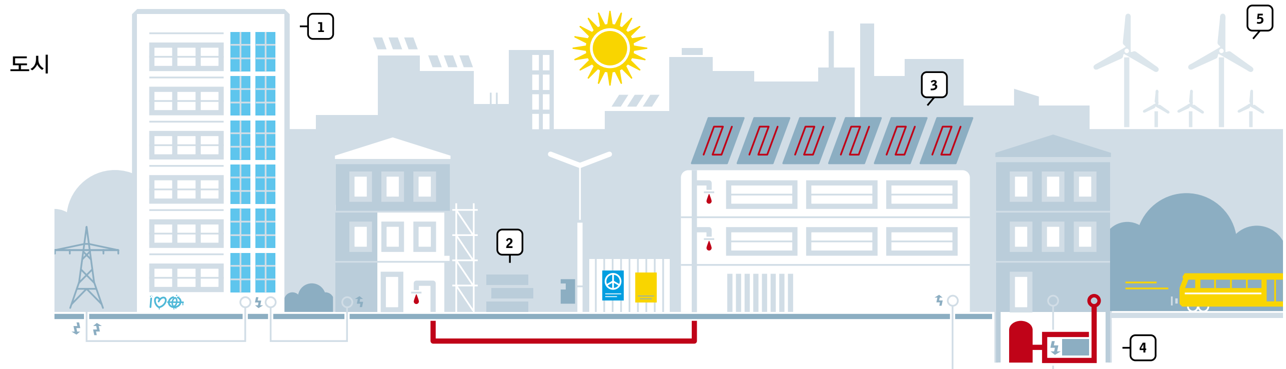
4. **화석연료소비와 성장의 분리** 경제성장은 화석연료의 사용을 통해서만 가능하다는 생각은 잘못된 것이다. 따라서 선진국을 필두로 경제성장과 화석연료소비의 연결고리를 반드시 끊어야 한다.

   인류는 에너지를 좀 더 효율적으로 사용할 필요가 있고, 깨끗하고 지속가능한 성장을 이루기 위해서는 하루 빨리 화석연료에서 벗어나 재생가능에너지로 전환해야 한다.

5. **더럽고 지속가능하지 않은 에너지 이용의 단계적 축소** 석탄 및 원자력에너지 이용을 단계적으로 축소해야 한다. 온실가스 배출이 생태계 및 인류에 실질적 위협으로 존재하는 현 상황에서 계속해서 화석연료 발전소를 지을 수는 없다. 그리고 원자력에너지가 기후변화를 막을 수 있다고 속이며 원자력의 위협을 지속적으로 조장해서는 안 된다. 에너지[혁명]이 진행되면 원자력은 설 곳을 잃을 것이다.

그림 3.1: 분산형에너지의 미래

기존의 기술에 분산형방식, 효율성 조치, 탄소배출을 하지 않는 개선사항을 적용하면, 아래 그림과 같은 저탄소지역사회 구현이 가능해진다. 난방(때로는 냉방도)과 전기를 동시에 생산하는 효율적 열병합발전기술을 통해 전력이 생산되고, 지역배전망을 통해 유통된다. 이는 종합전력발전을 통해 생산된 에너지를 보완하는 것이다. 소규모 지역사회에서 스스로 에너지에 대한 해결책을 찾게 된다. 그림의 마을은 여러 재생가능에너지원을 사용하고 있다.



1. 건물통합형태양광 시스템: 사무실, 아파트의 장식요소가 될 수 있다. 태양광 시스템은 더 향상된 경쟁력과 디자인으로 건축가들이 더 선호하게 될 것이다.
2. 오래된 건물의 리모델링: 향상된 단열재, 단열창, 현대화된 환기장치 사용으로 오래된 건물의 에너지 소비를 80%까지 줄이게 된다.
3. 태양열 집열판: 이를 통해 생산된 온수를 건물과 이웃건물에게도 공급할 수 있다.
4. 효율적 지열 열병합 발전기: 단독주택, 주택단지, 아파트단지 등 여러 건물 지하에 적당한 다양한 크기의 발전시설을 통해 중간 손실이 없이 전력과 난방을 공급한다.
5. 깨끗한 전력: 멀리 떨어진 곳에 있는 해상풍력이나 태양열전단지에서도 도시에 전기를 공급할 수 있다.

참고문헌
8 IPCC – SPECIAL REPORT RENEWABLES, CHAPTER 1, MAY 2011.

3.2 새로운 배전망 설계

선진국에서 배전망은 대형화석연료발전소를 중심으로 최종전력소비지까지 고압전선이 뻗어나가는 형태를 띠고 있다. 미래의 전력발전 시설은 규모도 작아지고 더 분산된 배전망을 사용하여 전력유실도 줄어들고 더 효과적으로 송전할 것이다. 또한 대형 재생가능에너지 발전소로부터 전력이 집중 공급되는 경우도 발생할 것이다. 미래의 대형발전소는 유럽 북해지역에 이미 건설된 대형풍력발전단지나 남유럽과 북아프리카 지역에 건설 계획중인 대규모 고집광 설비와 같은 모습을 띨 것이다.

앞으로의 과제는 에너지 수요공급의 균형을 최적화하기 위해 새로운 기술과 네트워크 관리 방안 등을 활용하는 혁신적 전력 시스템 구조를 짜는 것이다. 이러한 시스템은 크게 마이크로그리드, 스마트그리드, 슈퍼그리드로 나뉘나, 상호보완하며 연동될 것이다.

3.2.1 하이브리드 시스템

여러 에너지원의 조합을 활용한 재생가능에너지 시스템으로 전기를 공급하는 것은 가장 비용이 적게 들고 동시에 오염도 줄이는 대안으로 여겨진다. 이러한 하이브리드 시스템을 이용하면 풍력이나 태양력과 같은 재생가능에너지원이 충전제어기를 통해 배터리에 연결되는데, 여기에 전력이 저장되어 주요 전력공급원의 역할을 한다. 보조전력은 통상적으로 화석연료를 사용하는데 풍력–배터리–디젤 시스템이나 태양광–배터리–디젤 시스템과 같은 예가 이에 해당한다. 이와 같은 분산형하이브리드시스템은 더 안정적이므로 이용자들이 혁신기술을 활용하여 직접 운영하는 것이 가능하며 현지의 자원을 최대한 활용할 수 있다. 또한 대형설비를 필요로 하지 않아 특히 시골지역에 적합하다.

3.2.2 스마트그리드

스마트그리드를 활용하여 재생가능에너지를 통합하면 기저부하전력 개념에서 탈피하여 탄력적이고 신속한 전력공급이 가능해진다. 스마트그리드가 구축되면 탄력적 에너지 공급원이 정전사태 없이 낮과 밤 동안의 부하를 관리할 수 있게 된다.

그림 3.2: **에너지[혁명]이 그리는 스마트그리드**

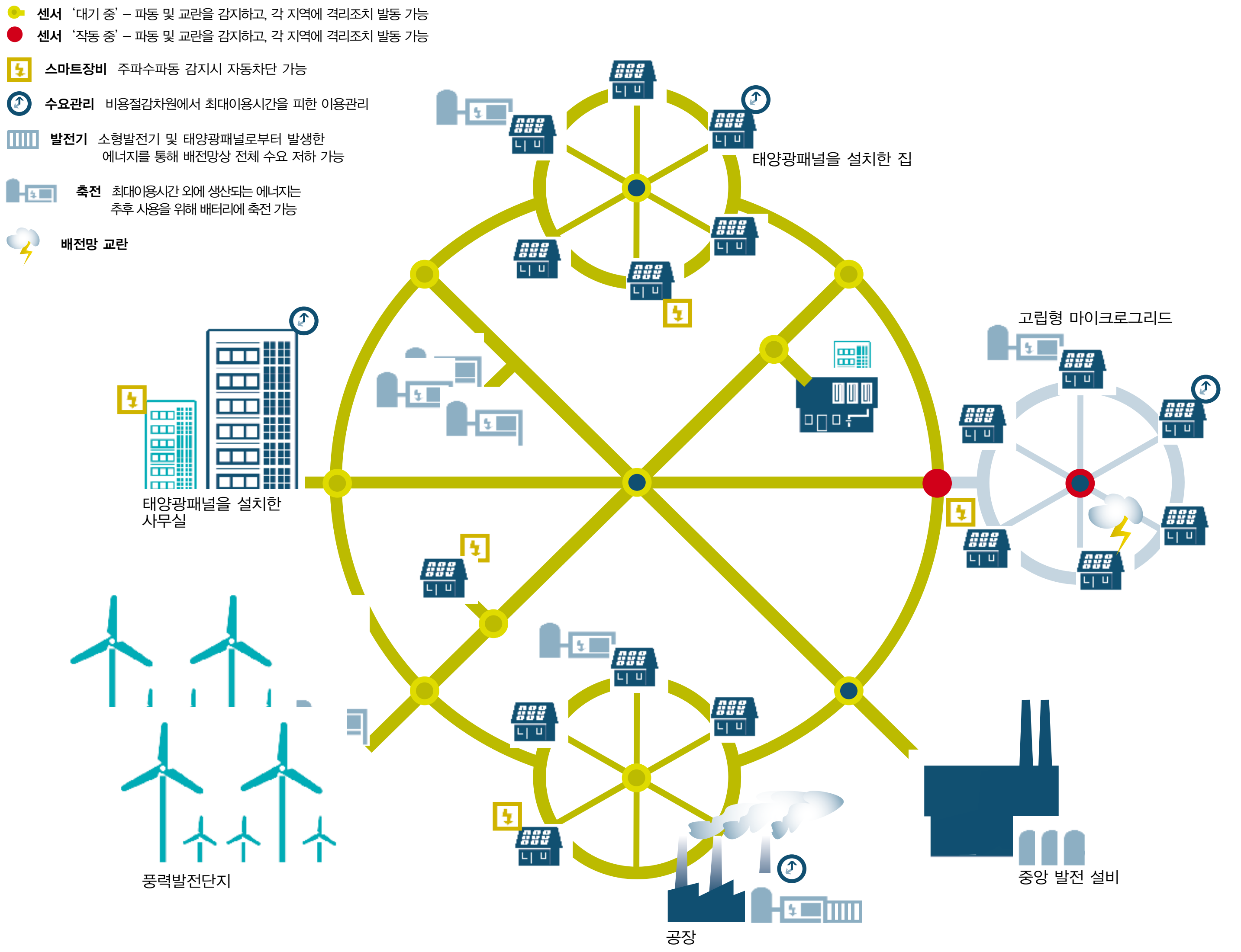


image A MAINTENANCE WORKER MARKS A BLADE OF A WINDMILL AT GUAZHOU WIND FARM NEAR YUMEN IN GANSU PROVINCE, CHINA.

3.2.3 슈퍼그리드

그린피스의 시뮬레이션 연구인 Renewables 24/7 (2010)과 Battle of the Grids (2011)을 살펴보면, 유럽의 많은 지역에서 태양복사량이 낮고 바람이 거의 불지 않는 극단적 상황이 발생한 경우는 흔치는 않으나 여전히 가능한 것으로 나타난다. 대형 재생가능에너지 전력시스템이라 할지라도 이러한 돌발 상황에 충분히 대처할 수 있도록 설계단계부터 주의해야 한다. 이를 위해서는 해상 및 육상 슈퍼그리드 건설이 꼭 필요하다.

3.2.4 진보의 장애물 기저부하

일반적으로 석탄 및 원자력발전소는 전력 수요와는 관계없이 최대용량을 가동하여 전력을 생산한다는 의미에서 기저부하발전이라 한다. 즉 수요가 낮으면 전력이 낭비되고 반대로 수요가 높으면 별도의 보조전력이 필요하다.

석탄 및 원자력 발전소는 가동을 중단할 수 없기 때문에, 바람이 세게 부는 날에도 시스템 과부하를 방지하기 위해 풍력 터빈을 꺼야 한다. 최근 세계경제위기로 에너지 수요가 급감하면서 원자력발전소와 같이 탄력적으로 운영할 수 없는 기저부하발전과 풍력 등의 변동성 재생가능에너지 발전 사이의 충돌이 다시금 수면위로 부각되었다.

그린피스가 도출한 주요 결론은 수십 년 내로 기저부하 방식 전통발전소의 입지가 점점 더 좁아진다는 것이다. 점점 더 많은 양의 변동성 재생가능에너지가 배전망에 편입되면서, 원자력 및 석탄을 이용하는 기저부하발전 기반 경제모델 자체가 근본적으로 바뀌게 된다는 의미이다.

box 3.1: 기저부하발전 과연 필요한가?[9]

풍력 및 태양에너지에 기반한 일부 재생가능에너지발전소의 경우 생산하는 전력량이 일정하지 않다. 이제까지 석탄 또는 원자력에 의존하여 항시 일정량의 전력을 공급해 왔기 때문에 이처럼 일정치 않은 전력 생산을 문제라고 생각하는 사람들이 있다. 현재 정책입안 과정에서 겪는 어려움 중의 하나는 오염을 유발하고 탄소집약적인 에너지시스템을 벗어나 어떤 종류의 인프라나 관리방법을 선택할 것인지, 어떤 에너지 믹스를 꾸려갈 것인지를 결정해야 한다는 것이다. 이때 고려해야 할 점은 다음과 같다.

- 전력수요는 예측 가능한 범위 내에서 움직인다.
- 스마트관리를 통해 전기 대량소비자들의 피크 수요를 다른 시간대로 이동하여 전체 시스템 상의 부하를 고르게 유지할 수 있다.
- 최신 배전망기술을 사용하면 재생가능에너지원으로부터 발생한 전력의 저장 및 '신속한 공급'이 가능해진다.

유럽부국들은 이미 재생가능에너지 기반 전력과 전통방식으로 생산한 전력 사이의 충돌을 경험하고 있다. 풍력 및 태양에너지로 이미 상당량의 전력을 배전망에 공급하고 있는 스페인에서는 공급과 수요 간 격차를 줄이기 위해 가스를 사용하기 시작했다. 가스를 사용하는 이유는 전력수요가 낮거나 풍력발전량이 많을 경우 가동을 중단하거나 생산량을 줄이는 것이 가능하기 때문이다. 재생가능에너지원을 이용하여 대부분의 전력을 생산하기 시작하면, 수요가 급증하거나 재생가능에너지 기반 발전량이 부족한 경우 백업역할을 맡아줄 가스기반발전이 필요하게 될 것이다.

참고문헌

9 BATTLE OF THE GRIDS, GREENPEACE INTERNATIONAL, FEBRUARY 2011.

4

"재생가능에너지에 대한 투자는 우리의 미래에 대한 투자이다."

Greenpeace International
Climate Campaign

image BIOGAS FACILITY SCHRADEN BIOGAS IN GROEDEN NEAR DRESDEN, GERMANY.
© LANGROCK/ZENIT/GP

image GEOTHERMAL ACTIVITY NEAR HOLSSELSNALAR CLOSE TO REYKJAVIK, ICELAND.

4.1 재생가능에너지 파이낸싱 기본사항

스위스 재생가능에너지 사모투자파트너 (Swiss RE Private Equity Partners)는 2011년 9월 재생가능에너지 인프라 투자에 관해 소개하였는데, 투자 측면에서 재생가능에너지 프로젝트가 화석연료 에너지와 어떤 차이를 가지고 있는지를 아래와 같이 설명하고 있다.

- 재생가능에너지 프로젝트는 건설기간이 기존 에너지발전 및 기타 인프라 자산보다 짧다.
- 일부 국가에서는 재생가능에너지 업자에게 수요발생시 전력을 공급할 수 있는 우선권을 부여하고 있다.
- 재생가능에너지 프로젝트는 기타 에너지발전이나 인프라 자산 대비 상대적으로 덜 복잡한 운영구조를 보유하고 있다.
- 재생가능에너지 프로젝트는 주로 자산과 부채의 혼합을 통한 비소구 금융(non-recourse financing) 방식을 취한다.
- 재생가능에너지는 일반적으로 현금흐름이 예측 가능하며, 1차 에너지원이 거의 무료로 제공되기 때문에 연료가격 변동성에도 영향을 받지 않는다.
- 재생가능에너지를 이용하여 생산한 전기의 요금체계는 많은 경우 인플레이션에 연동된다.
- 재생가능에너지 발전시설은 운전수명이 20년 이상으로 길고, 송전선은 경제적 수명이 통상 40년 이상이다. 공익설비회사와 장기계약을 맺음으로써 재생가능에너지자산이 보강되는 한편, 정부지원 및 제조업체 보증 등의 혜택도 수반된다.
- 재생가능에너지 프로젝트는 매력적이고 안정적 수입원이 되어 주며 경제 상황에 큰 영향을 받지 않는다.
- 광범위한 지역에서의 재생가능에너지 개발은 전력망에 대한 막대한 투자를 필요로 한다.

리스크 평가 및 분산은 프로젝트 파이낸싱의 핵심이다. 그러므로 프로젝트 구조화 및 기대수익률은 프로젝트에 수반된 리스크와 직접적 관계가 있다. 재생가능에너지 자산에 투자할 때 고려해야 하는 네 가지 주요 리스크는 다음과 같다.

- **규제관련 리스크:** 법과 규제 상의 부정적 변화, 불리한 가격 체계, 계약 위반 등을 의미한다. 재생가능에너지가 정부정책에 따라 결정되는 가격체계에 의존하는 한 규제변화에 항상 취약하다. 그러나 규제관할, 지역, 기술을 아우르는 다각적 투자를 통해 이러한 리스크는 감소된다.
- **건설 리스크:** 건설의 지연, 과다비용, 계약당사자의 부도, 기술상/설계상 실수 등을 의미한다. 재생가능에너지 프로젝트는 상대적으로 간단한 디자인에 기반하기 때문에 건설 리스크가 그리 크지는 않지만, 검증된 기술의 사용과 장비의 안정적 공급을 책임지는 업체와의 협업 그리고 완성인도방식 부분에서의 경험 있는 파트너 선별을 통해 이러한 리스크를 완화할 수 있다.
- **파이낸싱 리스크:** 자산의 금융구조상 차입금이 부적절하게 사용되는 경우를 의미한다. 즉, 차입금의 남용, 금리변동성에의 과도한 노출, 불합리한 재금융 조건 등이 해당된다.
- **운영 리스크:** 장비고장, 거래처 부도, 이용 가능한 1차 에너지원의 감소 등을 의미한다. 재생가능에너지 자산의 경우 예측보다 이용가능 자원이 감소하게 되면 수입 및 수익률이 감소하고, 이 때문에 사업은 타격을 받을 수 있다.

그림 4.1: 재생가능에너지 수익창출 특징

출처
SWISS RE PRIVATE EQUITY PARTNERS.

미래 에너지공급 시나리오

- 시나리오 배경
- 이산화탄소 배출비용
- 재생가능에너지기술 관련비용 추산

5

5

image WIND TURBINE IN SAMUT SAKHON, THAILAND. © GP/VINAI DITHAJOHN

"지속가능한 에너지공급 시스템을 향하여."

Greenpeace International
Climate Campaign

image MAINTENANCE WORKERS FIX THE BLADES OF A WINDMILL AT GUAZHOU WIND FARM NEAR YUMEN IN GANSU PROVINCE, CHINA.

에너지공급 및 기후변화저감과 관련한 원칙을 실행으로 옮기기 위해서는 장기적 관점으로 접근해야 한다. 에너지 인프라 건설과 신기술을 개발에는 오랜 시간이 소요된다. 게다가 정책 변화가 효과를 발휘하기 위해서도 수 년이라는 시간이 필요하다. 그러므로 에너지 및 환경관련 문제 해결을 위한 분석은 적어도 반 세기를 내다보고 진행해야 한다.

에너지[혁명] 시나리오는 앞으로의 발전경로를 묘사한다는 점에서 중요하며, 특히 의사결정자들에게 미래에 대한 전망을 제시하고 미래 에너지 시스템을 어느 정도까지 구현할 수 있는지 알려준다는 점에서 더 큰 의미를 갖는다. 미래 에너지공급 시스템의 다양한 발전경로를 묘사하기 위해 본 보고서에서는 두 종류의 시나리오를 사용하고 있다. 현재의 추세와 정책이 지속됨을 가정하는 참조 시나리오와 일련의 환경정책 목표 달성을 가정하는 에너지[혁명] 시나리오이다.

참조 시나리오: 제1차 국가기본에너지계획(2008년–2030년)을 기초로 하고 있다. 한국정부는 원자력의 비중을 2030년까지 전체발전설비의 41%, 전체발전량의 59%까지 확대할 계획을 가지고 있다. 이것이 에너지[혁명] 시나리와의 비교에 있어 기준선이 될 것이다.

기본 에너지[혁명] 시나리오: 지구온도상승폭을 2℃ 미만으로 유지하기 위해 2050년까지 전 세계 이산화탄소 배출량을 연간 10 기가 톤 이내로 유지하고, 원자력 이용을 단계적으로 축소하는 목표를 가지고 있다. 이러한 목표를 달성하기 위해 이 시나리오는 현재 이용 가능한 기술을 통한 에너지효율성 향상을 십분 활용한다고 가정하고 있다. 동시에 비용효율적인 재생가능에너지원을 난방, 전기, 바이오 연료 생산에 사용한다고 가정한다. 인구 및 GDP성장률과 같은 일반 변수는 참조 시나리오와 동일하게 설정하고 있다.

심화 에너지[혁명] 시나리오: 기본 에너지[혁명] 시나리오보다 더 야심 찬 이산화탄소 감축을 목표로 한다. 인구 및 경제성장률과 같은 일반 변수와 산업 및 ‘기타부문’의 효율성의 전개경로는 기본 시나리오와 동일하다. 그렇지만 심화 시나리오에서는 이산화탄소를 감축하기 위해 더 나은 기술을 개발을 해야 한다는 점에서 차이가 있다.

국가 및 지역 에너지[혁명] 시나리오: 에너지[혁명] 시나리오의 국제판을 바탕으로 각국 및 각 지역의 가용한 기술과 인프라, 재생가능에너지원을 고려하여 사회경제적 상황에 맞게 변경하였다.

5.1 시나리오 배경

이 보고서에서 제시된 시나리오는 그린피스와 유럽재생가능에너지협의회(EREC)가 독일우주항공연구센터(DLR) 소속 기술열역학연구소(Institute of Technical Thermodynamics)에 공동 의뢰하였다. 공급 시나리오는 이전 에너지[혁명] 연구에서도 채택한 MESAP/PlaNet 시뮬레이션 모델을 이용하여 계산하였다. 2008년도 에너지[혁명] 연구 과정에서 시행한 세부분석 결과도 이용하였다. 에너지수요 예측은 2008년 연구를 위해 네덜란드 소재 Ecofys가 에너지효율성조치의 미래 잠재성을 분석한 내용을 기반으로 한다. 바이오매스 잠재성 자료는 그린피스의 지속가능성 기준에 의거하여 독일바이오매스연구센터 (German Biomass Research Centre)에서 이번 시나리오를 위해 특별히 개발되었다. 자동차 기술의 미래발전경로는 2008년 그린피스를 위해 독일우주항공연구센터의 자동차콘셉트연구소(Institute of Vehicle Concepts)가 작성한 특별보고서를 바탕으로 한다.

최근 세계 유가가 크게 요동치고 있기 때문에 화석연료의 미래가격도 훨씬 높은 수준으로 예측한다. 이 보고서는 계속 증가하는 전 세계 석유수요를 고려하여 화석연료의 미래 가격변화경로를 설정하였는데 이는 IEA의 2009년 세계경제전망보고서 (WEO)에서 제시한 가격민감도의 상단영역을 기반으로 하여 2050년까지의 예측치를 삽외추정한 것이다. (표 5.1 참조)

천연가스의 공급은 수송관과 같은 인프라의 확보에 따라 제한되기 때문에 천연가스의 국제시장가격은 존재하지 않는다. 대부분 지역에서 가스의 가격은 유가의 가격에 직결되어 있다. 이에 따라 가스 가격은 2050년까지 기가줄(GJ)당 24달러에서 29달러까지 상승한다고 가정하였다.

표 5.1: 2008년 달러화 기준 화석연료 가격변화 예상 (단위: 달러, 2008년)

화석연료	단위	2000	2005	2007	2008	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2050
원유수입													
IEA WEO 2011	barrel					78.10	106.30	118.10	127.30	134.50	140.00		
IEA WEO 2009 "Reference"	barrel	34.30	50.00	75.00	97.19		86.67	100.00	107.50	115.00			
IEA WEO 2007 / ETP 2008	barrel												
USA EIA 2008 "Reference"	barrel					86.64		69.96		82.53			
USA EIA 2008 "High Price"	barrel					92.56		119.75		138.96			
Energy [R]evolution 2008	barrel												
Energy [R]evolution 2010	barrel						110.56	130.00	140.00	150.00		150.00	150.00
천연가스수입													
IEA WEO 2011													
미국	GJ					4.40	6.10	7.00	7.70	8.40	9.00		
유럽	GJ					7.50	9.80	11.00	11.90	12.60	13.00		
일본	GJ					11.00	12.70	13.50	14.20	14.80	15.20		
IEA WEO 2009 "Reference"													
미국	GJ	5.00	2.32	3.24	8.25		7.29	8.87	10.04	11.36			
유럽	GJ	3.70	4.49	6.29	10.32		10.46	12.10	13.09	14.02			
일본	GJ	6.10	4.52	6.33	12.64		11.91	13.75	14.83	15.87			
Energy [R]evolution 2010													
미국	GJ			3.24		8.70		10.70	12.40	14.38		18.10	23.73
유럽	GJ			6.29		10.89		16.56	17.99	19.29		22.00	26.03
일본	GJ			6.33		13.34		18.84	20.37	21.84		24.80	29.30
무연탄수입													
OECD 보일러용석탄수입													
Energy [R]evolution 2010	tonne			69.45		120.59	116.15	135.41	139.50	142.70		160.00	172.30
IEA WEO 2011	tonne					99.20	104.60	109.00	112.80	115.90	118.40		
IEA WEO 2009 "Reference"	tonne	41.22	49.61	69.45		120.59	91.05	104.16	107.12	109.40			
바이오매스(고형)													
Energy [R]evolution 2010													
OECD 유럽	GJ			7.40		7.70	8.20	9.20		10.00		10.30	10.50
OCED 태평양 및 북미	GJ			3.30		3.40	3.50	3.80		4.30		4.70	5.20
기타지역	GJ			2.70		2.80	3.20	3.50		4.00		4.60	4.90

출처
2000-2030, IEA WEO 2009 higher prices sensitivity case for crude oil, gas and steam coal; 2040-2050 and other fuels, own assumptions.

5.2 이산화탄소배출 비용

장기적으로 전 세계에 이산화탄소배출거래제가 도입된다는 가정 하에 탄소배출권 관련 비용도 전력발전비용을 산정할 때 포함시켜야 한다. 그러나 배출권 가격의 추정치는 에너지가격의 추정치보다 불확실하고 기존 연구를 살펴보면 추정치의 범위도 넓다. 이전의 에너지[혁명] 연구에서는 탄소비용이 2010년에는 $10/tCO2에서 2050년 $50/tCO2 로 상승할 거라 가정하였다. 교토의정서 비부속서 B국가군(개발도상국)에는 2020년 이후에 이산화탄소 추가비용이 적용된다.

표 5.2: 이산화탄소 배출량 비용변화 예측

(단위: $/tCO2)

국가	2015	2020	2030	2040	2050
교토의정서 부속서 B 국가군	10	20	30	40	50
교토의정서 비부속서 B 국가군		20	30	40	50

image FIRST GEOTHERMAL POWER STATION IN GERMANY PRODUCING ELECTRICITY. WORKER IN THE FILTRATION ROOM.

5.3 재생가능에너지기술 관련비용 추산

5.3.1 태양광

전 세계 태양광시장은 최근 들어 연간 35%를 상회하는 성장세를 보이고 있으며 전력발전에 대한 기여도 또한 눈에 띄게 커지기 시작했다. 태양광이 중요한 것은 분산화/집중화라는 본연의 특성, 도시환경에서 이용하기에 적합한 탄력성, 막대한 비용절감의 가능성 등에서 이유를 찾을 수 있다.

기본 에너지[혁명] 시나리오처럼 2030년–2040년 사이 전 세계 설비용량은 1,600GW, 전기생산량은 2,600 TWh이 될 것이라 가정한다면, 발전비용은 대략 5–10 센트/kWh 수준을 달성할 수 있을 것이다. 이후 5년–10년 사이 태양광은 전 세계 많은 지역에서 소매전력가격 대비, 2030년에 이르러서는 화석연료비용 대비 각각 경쟁력을 갖추게 될 것이다.

5.3.2 고집광태양열 발전

고집광태양열 발전(CSP)은 직사광선만 사용하므로 일조량이 많은 지역에 집중된다. 예를 들어, 북아프리카는 현지 수요를 충족시키고도 남을 정도의 기술적 잠재량을 지니고 있다.

일조량 및 운전방식에 따라 다르겠지만 장기적으로 에너지전력발전 미래비용은 6–10 센트/kWh에 도달한다.

표 5.3: 태양광 비용 추정

시나리오	2010	2015	2020	2030	2040	2050
E[R] / ADV E[R]						
투자비용 ($/kWp)	3,013	1,937	1,506	1,219	903	846
운영유지비용 ($/kW/a)	43	31	19	14	13	13

표 5.4: 고집광태양열 비용 추정

시나리오	2010	2015	2020	2030	2040	2050
E[R] / ADV E[R]						
투자비용 ($/kWp)	9,038	6,620	5,738	5,273	4,949	4,806
운영유지비용 ($/kW/a)	290	265	240	202	199	198

5.3.3 풍력

풍력에너지는 짧은 기간 안에 역동적으로 발전하였고 그 결과 세계풍력시장도 번성하게 되었다. 유럽은 풍력발전에 유리한 정책적 인센티브를 도입하여 세계풍력시장을 이끌었으나 2009년 기준 풍력설비용량의 3/4 이상은 유럽 외 지역에서 추가되었는데 이러한 추세는 앞으로 계속 이어질 것이다. 그렇지만 수요가 급증하면서 풍력기술에 대한 공급이 제한되었고 그 결과 신규 시스템 구축 비용이 증가하였다. 하지만 생산능력이 지속적으로 확충되고 있기 때문에 이러한 공급 병목현상은 이미 해소되고 있다. 시장발달 예측, 학습곡선 분석, 업계 기대치를 고려할 때 풍력발전에 대한 투자비용은 2050년까지 육상풍력설비의 경우 30%, 해상풍력설비의 경우 50%가 감소할 것으로 추정한다.

5.3.4 바이오매스

바이오매스 이용의 경제성을 결정짓는 주요 인자는 공급원료의 비용이다. 이러한 비용의 범위는 폐기된 나무를 공급원료로 사용하여 (폐기물처리 비용이 절약된다는 점에서) 오히려 돈을 버는 경우에서부터, 남는 재료를 저렴하게 사용하는 경우, 그리고 값비싼 에너지 작물을 사용하는 경우 등으로 넓다. 이에 따라 에너지발전비용의 범위도 상당히 커진다.

표 5.5: 풍력 비용 추정

시나리오	2010	2015	2020	2030	2040	2050
E[R] / ADV E[R]						
육상풍력						
투자비용 ($/kWp)	1,793	1,490	1,291	1,219	1,119	1,076
운영유지비용 ($/kW/a)	60	57	53	53	56	57
해상풍력						
투자비용 ($/kWp)	5,523	3,228	2,582	2,224	2,008	1,872
운영유지비용 ($/kW/a)	199	165	170	131	115	166

표 5.6: 바이오매스 비용 추정

시나리오	2010	2015	2020	2030	2040	2050
E[R] / ADV E[R]						
바이오매스 전기만 해당						
투자비용 ($/kWp)	3,345	3,084	2,912	2,812	2,697	2,640
운영유지비용 ($/kW/a)	189	181	174	169	168	166
바이오매스 열병합발전						
투자비용 ($/kWp)	5,684	5,051	4,419	3,859	3,556	3,379
운영유지비용 ($/kW/a)	397	354	310	270	250	237

image FIRE BOAT RESPONSE CREWS BATTLE THE BLAZING REMNANTS OF THE OFFSHORE OIL RIG DEEPWATER HORIZON APRIL 21, 2010. MULTIPLE COAST GUARD HELICOPTERS, PLANES AND CUTTERS RESPONDED TO RESCUE THE DEEPWATER HORIZON S 126 PERSON CREW.

5.3.5 지열

지열에너지는 공급원의 변동성이 없고 배전망 부하가 항시 가동된다는 점에서 재생가능에너지에 기반한 미래공급체계를 구축하는 데 주요한 요소로 간주된다. 지금까지 지열이 보여준 가능성은 빙산의 일각에 불과하다. 천부지열천공을 활용하면 시간과 장소에 구애 받지 않고 냉난방 에너지를 공급할 수 있으며 축열에도 사용할 수 있다.

5.3.6 해양에너지

해양에너지, 특히 연안파력은 중요한 자원이며 세계 전력공급의 상당 부분을 충족시킬 잠재력을 가지고 있다. 전 세계적으로 해양에너지의 잠재성은 90,000 TWh/년 규모가 될 것으로 추정한다. 해양에너지는 양이 풍부하고 자원 및 기술에 대한 예측이 용이하며 눈에 띄는 여파도 적은 편이라는 장점이 있다. 그리고 무엇보다 이산화탄소를 배출하지 않는다.

아직 발달 초기단계이기 때문에, 해양에너지 관련 미래비용 추산치는 변동 가능성이 높다. 현재 제시된 비용 추산치는 유럽 NEEDS 프로젝트 분석결과에 기반한 것이다.[10]

표 5.7: 지열에너지 비용 추정

시나리오	2010	2015	2020	2030	2040	2050
E[R] / ADV E[R]						
지열 발전						
투자비용 ($/kWp)	14,777	12,338	9,325	6,384	5,306	4,563
운영유지비용 ($/kW/a)	637	563	489	429	402	380

표 5.8: 해양에너지 비용 추정

시나리오	2010	2015	2020	2030	2040	2050
E[R] / ADV E[R]						
투자비용 ($/kWp)	5,909	4,620	3,300	2,295	1,906	1,697
운영유지비용 ($/kW/a)	237	185	133	102	86	76

참고문헌
10 WWW.NEEDS-PROJECT.ORG.

5.3.7 수력

수력발전은 해당자원의 상당 부분이 이미 활용되고 있는 기술이다. 그러나 새로운 방식의 프로젝트를 개발하고 기존 설비의 현대화를 진행할 가능성은 여전히 존재한다. 또한 홍수조절의 필요성이 증대하고 가뭄 동안 수자원 공급을 조절하는 것이 중요해지고 있는 오늘날, 수력발전의 중요성이 더 커지고 있다.

표 5.9: 수력발전 비용 추정

시나리오	2010	2015	2020	2030	2040	2050
E[R] / ADV E[R]						
투자비용 ($/kWp)	3,295	3,400	3,505	3,663	3,795	3,911
운영유지비용 ($/kW/a)	132	136	141	146	152	156

5.3.8 재생가능에너지 비용변화 요약

그림 5.1은 각각의 학습곡선으로부터 도출한 재생가능에너지기술의 비용변화를 요약하고 있다. 여기에서 주목할 점은 기대비용감소가 단순히 시간과의 상관관계가 아닌 누적용량과의 상관관계라는 점이며, 이에 따라 시장의 역동적 발전이 요구된다. 대부분의 기술에 소요되는 투자비는 2020년까지 현재 수준 대비 30%–70%대로 하락할 것이며, 2040년 이후 기술의 완전한 발달이 이뤄지면 현재 수준 대비 20%–60%대로 감소할 것이다.

그림 5.2에서 볼 수 있듯 재생가능에너지기술의 투자비용이 감소하면 난방 및 전력발전 비용도 동반 감소한다. 오늘날 대부분의 주요 기술을 이용하면 대략 10–26 $센트/kWh의 전력발전 비용이 소요된다. 장기적으로는 5–12 $센트/kWh 범위에서 수렴될 것으로 예상된다. 상기 추산치는 현지의 바람 형태, 일조량, 합리적 가격의 바이오매스 유무, 열병합발전소의 난방공급에 대한 크레디트(배출권) 제공 등의 특수한 현지 상황에 따라 달라진다.

그림 5.1: 재생가능에너지기술의 미래 투자비용 변화
(현재 비용 수준으로 정규화된)

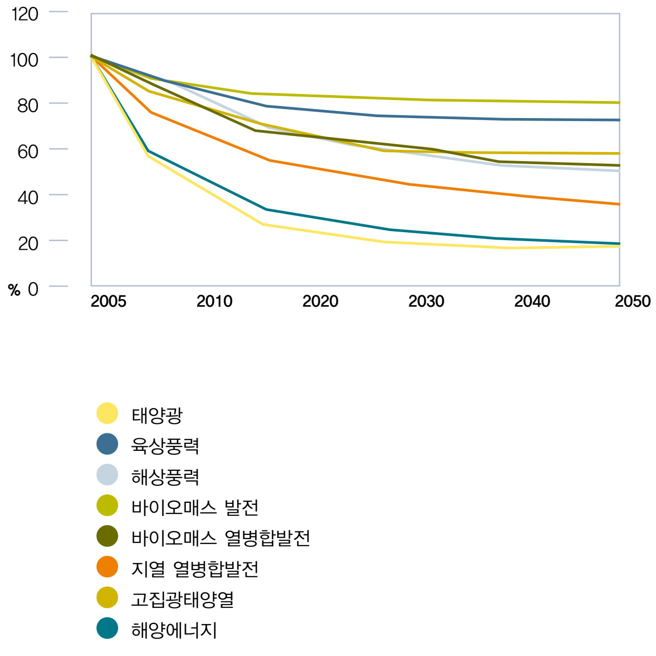


그림 5.2: 화석연료와 재생가능에너지 기반 전력발전비용 예상 변화
(OECD 북미의 예)

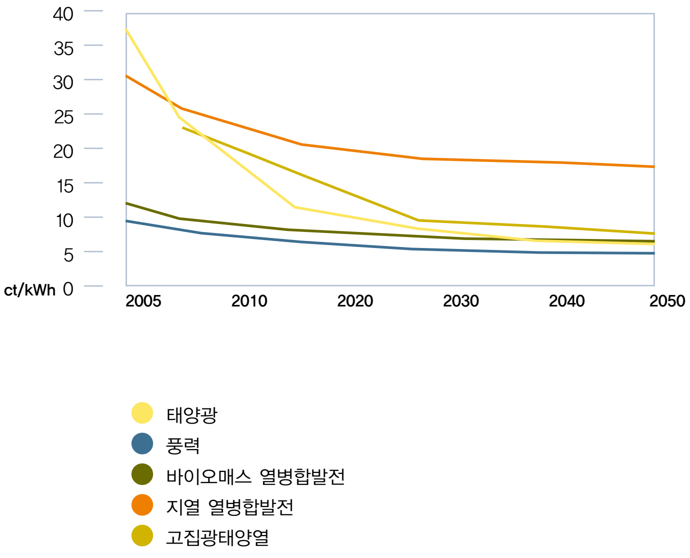


image A WOMAN STUDIES SOLAR POWER SYSTEMS AT THE BAREFOOT COLLEGE. THE COLLEGE SPECIALISES IN SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND PROVIDES A SPACE WHERE STUDENTS FROM ALL OVER THE WORLD CAN LEARN TO UTILISE RENEWABLE ENERGY. THE STUDENTS TAKE THEIR NEW SKILLS HOME AND GIVE THEIR VILLAGES CLEAN ENERGY.

5.4 시나리오 별 추정성장률

과학문헌[11] 에서 사용하는 정량적 시나리오 모델링 접근방식은 크게 'top-down' 방식과 'bottom-up' 방식으로 나뉜다. 그런데 이런 분류는 오늘날에는 항상 맞아 떨어지는 것은 아니다. 왜냐하면 상기 두 가지 방식 사이에서 변화가 지속적으로 발생하고 있고, 거시경제공학과 에너지공학이라는 두 전통학파 중 하나에 뿌리를 두고 있는 많은 모델이 상대방의 접근방식 개념을 도입하고 있어 사실상 하이브리드 (혼합) 모델로 분류되기 때문이다.[12] 에너지경제성 모델을 연구하는 학자들에게 거시경제공학은 흔히 top-down 모델로, 에너지공학은 bottom-up모델로 구분된다. 에너지[혁명] 시나리오는 기술이 주도하는 bottom-up 방식의 시나리오이며, 재생가능에너지기술 추정성장률은 중요한 인자이다.

그렇지만 전 세계적으로 에너지 모델링을 위한 시나리오 방법론은 지속적으로 개발되고 있으며, 미래에는 두 가지 접근방식이 하나로 합쳐질 가능성이 존재한다. 그렇게 되면 세세한 기술적 내용과 경제적 최적화를 모두 활용하는 방법론이 나올 것이다. 에너지[혁명] 시나리오는 계속해서 발전하고 있는 전형적인 bottom-up 모델을 사용하고 있으며, 투자경로는 물론 고용효과(제7장 참조)까지 고려한 추정치를 포함한다.

표 5.10: 재생가능에너지 세계 평균 연간 추정성장률
(ENERGY PARAMETER GENERATION)

재생가능에너지	REF (TWh/a)	E[R] (TWh/a)	ADV E[R] (TWh/a)	REF %	E[R] %	ADV E[R] %
2020	27,248	25,851	25,919			
2030	34,307	30,133	30,901			
2050	46,542	37,993	43,922			
태양						
태양광 2020	108	437	594	17%	37%	42%
태양광 2030	281	1,481	1,953	11%	15%	14%
태양광 2050	640	4,597	6,846	10%	13%	15%
고집광태양열 2020	38	321	689	17%	49%	62%
고집광태양열 2030	121	1,447	2,734	14%	18%	17%
고집광태양열 2050	254	5,917	9,012	9%	17%	14%
풍력						
육상+해상 2020	1,009	2,168	2,849	12%	22%	26%
육상+해상 2030	1,536	4,539	5,872	5%	9%	8%
육상+해상 2050	2,516	8,474	10,841	6%	7%	7%
지열						
2020 (전력발전)	117	235	367	6%	14%	20%
2030 (전력발전)	168	502	1,275	4%	9%	15%
2050 (전력발전)	265	1,009	2,968	5%	8%	10%
2020 (난방&전력)	6	65	66	13%	47%	47%
2030 (난방&전력)	9	192	251	5%	13%	16%
2050 (난방&전력)	19	719	1,263	9%	16%	20%
바이오에너지						
2020 (전력발전)	337	373	392	8%	9%	10%
2030 (전력발전)	552	456	481	6%	2%	2%
2050 (전력발전)	994	717	580	7%	5%	2%
2020 (난방&전력)	186	739	742	2%	19%	19%
2030 (난방&전력)	287	1,402	1,424	5%	7%	8%
2050 (난방&전력)	483	3,013	2,991	6%	9%	9%
해양						
2020	3	53	119	15%	55%	70%
2030	11	128	420	13%	10%	15%
2050	25	678	1,943	10%	20%	19%
해양						
2020	4,027	4,029	4,059	2%	2%	2%
2030	4,679	4,370	4,416	2%	1%	1%
2050	5,963	5,056	5,108	3%	2%	2%

참고문헌
11 HERZOG ET AL., 2005; BARKER ET AL., 2007.
12 VAN VUUREN ET AL.; HOURCADE ET AL., 2006.

한국 관련 주요 결과

- 2050년까지의 에너지수요 변화
- 전력발전
- 미래 전력발전 비용
- 미래투자
- 난방 및 냉방 공급
- 수송
- 이산화탄소 배출량 변화
- 1차 에너지 소비

6

image SOLAR PANEL. © BERND JUERGENS/DREAMSTIME

"기술은 이미 준비되어 있다. 이제 우리에게 필요한 것은 정치적 의지다."

Chris Jones
Supporter Australia

6.1 2050년까지의 에너지수요 변화

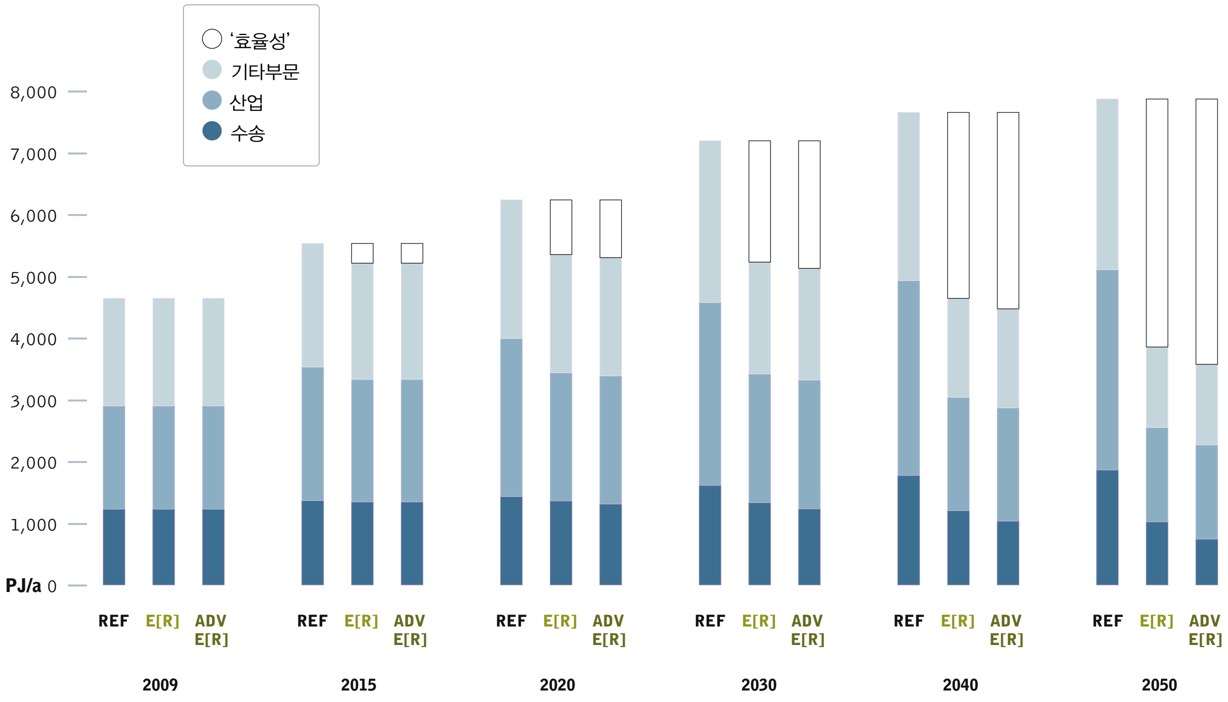
한국의 미래 에너지수요 변화 추세는 그림 6.1에 참조 시나리오(REF), 기본 에너지[혁명] 시나리오(E[R]), 심화 에너지[혁명] 시나리오(ADV E[R]) 별로 제시되어 있다. 참조 시나리오에 의하면 한국의 1차 에너지 총 수요는 현재 9,614 PJ/a에서 2050년에는 15,151 PJ/a로 58% 증가한다. 반면 기본 및 심화 에너지[혁명] 시나리오에서는 현재 소비량 대비 각각 28%, 32%가 감소하여, 2050년에는 각각 6,917 PJ/a, 6,513 PJ/a가 된다.

기본 에너지[혁명] 시나리오를 살펴보면 공업용, 주거용, 서비스용 전력수요는 현 수준에서 소폭 감소한다 (그림6.2 참고). 그러나 전기자동차 증가로 전력수요는 상승하여 2050년에는 477 TWh/a 수준에 도달한다. 그럼에도 참조 시나리오보다는 여전히 396 TWh/a 낮은 수준이다.

심화 에너지[혁명] 시나리오에서는 전기자동차 도입시기가 더 이른 시점으로 설정되어 있으며, 대부분의 화물이나 개인의 운송이 전기 기차와 대중교통으로 대체된다. 이외에도 산업공정용 열발전에 이용되는 화석연료의 사용이 빠른 속도로 축소되어 전기지열히트펌프 및 수소로 대체된다. 이렇게 되면 전력수요가 더 높아져 2050년에는 486 TWh/a에 이르지만, 이는 여전히 참조 시나리오보다 37% 낮은 수준이다.

효율성은 전력부문보다 열공급부문에서 더 크게 향상된다. 기본 및 심화 에너지[혁명] 시나리오 모두 난방공급에 대한 최종수요를 상당 수준 감소시키는 것이 가능하다 (그림 6.3 참고). 효율성 향상 조치를 취해 2050년까지 참조 시나리오 대비 1,370 PJ/a에 상응하는 소비량을 절약할 수 있는 것이다.

그림 6.1: 한국: 부문별 최종에너지 총수요 예측치
(‘효율성’ = 참조 시나리오 대비 감소분)



수송부문의 경우 기본 에너지[혁명] 시나리오에서는 에너지수요가 2050년까지 20% 감소하여 1,021 PJ/a가 되는데 이는 참조 시나리오 대비 45% 낮은 수치다. 심화 에너지[혁명] 시나리오에서는 수송부문의 최종에너지 수요가 더 빠른 속도로 감소한다. 이는 대중교통이용 증가, 개인이동거리의 감소, 효율성이 향상된 엔진, 전기자동차의 이용 증가 등을 통해 가능하다. 비록 전력수요는 증가하나 최종에너지 총 사용량은 741 PJ/a로 떨어져 참조 시나리오보다 40% 낮은 수치다.

그림 6.2: 한국: 부문별 전력수요 변화

(‘효율성’ = 참조 시나리오 대비 감소분)

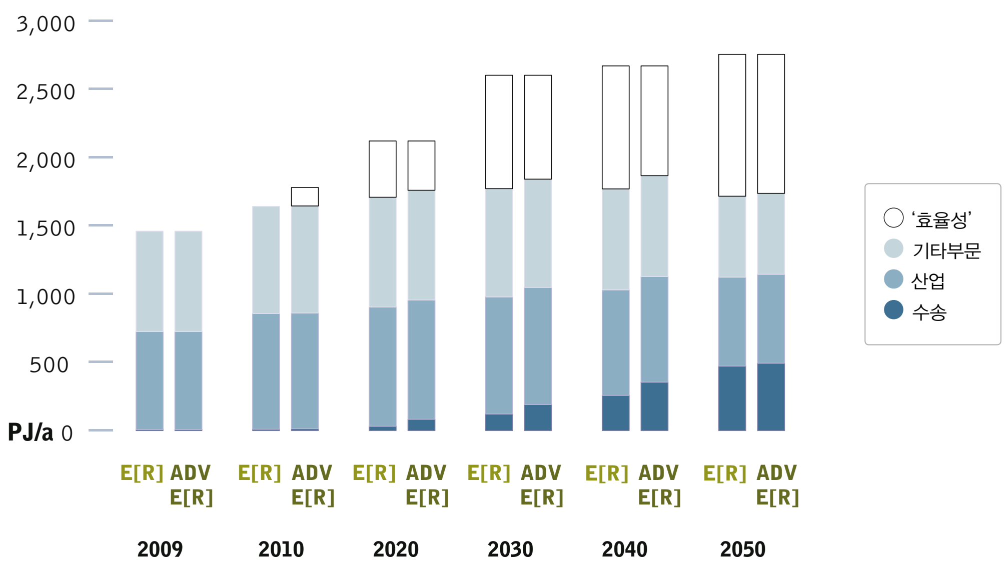


그림 6.3: 한국: 부문별 난방수요변화

(‘효율성’ = 참조 시나리오 대비 감소분)

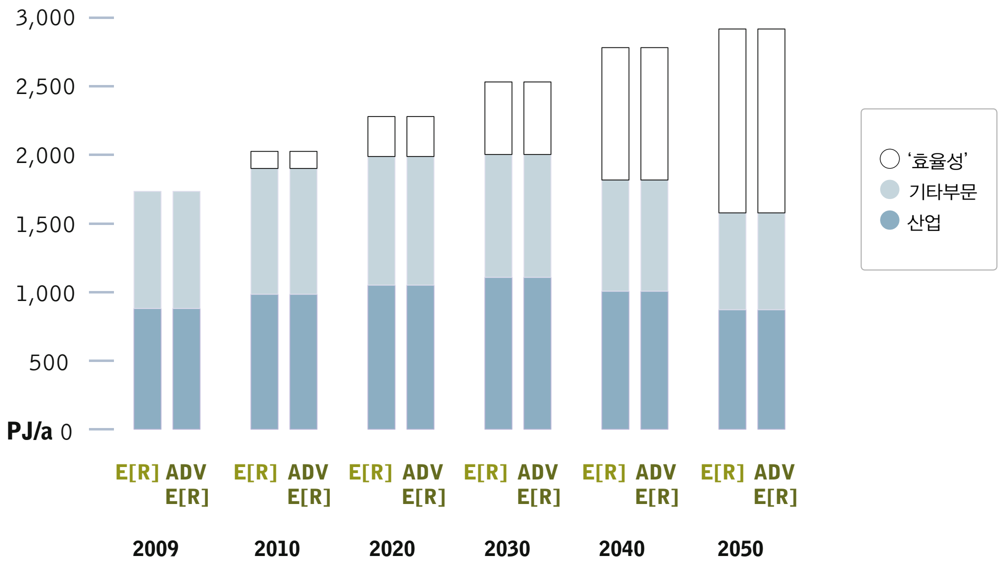


image SOLAR PANELS ON JEJU ISLAND.

6.2 전력발전

원자력발전의 단계적 폐쇄와 화석연료발전의 감소를 감안해도 역동적 성장을 보여주고 있는 재생가능에너지시장이 배전망의 안정화를 달성할 수 있다. 2050년경에는 한국에서 생산되는 전력의 77%가 재생가능에너지원으로부터 나오는데 주로 풍력, 태양열, 태양광 에너지를 총칭하는 '새로운' 재생가능에너지가 전력생산의 56%를 담당하게 되는 것이다. 재생가능에너지의 설비용량은 현재의 3GW에서 2050년에는 164GW로 55배 증가한다.

심화 에너지[혁명] 시나리오에서는 재생가능에너지 시장이 더 빠르게 성장하여 그 비중이 2030년에는 49%, 2050년에는 90%를 차지한다. 이 시나리오에서 재생가능에너지의 설비용량은 2030년에 129GW, 2050년에 198GW를 각각 기록하여 기본 시나리오에서보다 21% 높다.

재생가능에너지원의 경제성을 확보하기 위해서는 모든 관련 기술을 적시에 두루 사용하는 것이 중요하다. 그림6.4에서는 다양한 재생가능에너지 관련 기술을 시기별로 비교하여 보여주고 있다. 2020년까지는 수력 및 풍력 관련 기술이 재생가능에너지 시장 성장의 원동력이 되지만 2020년 이후에는 풍력기술의 지속적 성장과 함께 바이오매스, 태양광, 태양열(CSP)발전도 두드러질 것이다. 심화 에너지[혁명] 시나리오에서는 변동성 발전원(태양광, 풍력, 해양)의 비중이 계속 증가하여 2030년에는 전체의 41%를 차지하고 전기자동차의 이용 증가로 스마트그리드의 확대, 전력수요관리 강화, 배터리저장용량의 확장 등은 개선된 배전망 통합 및 전력발전관리 시스템의 도입을 유도할 것이다.

표 6.1: 한국: 에너지[혁명] 시나리오 별 재생가능에너지 발전용량 추정

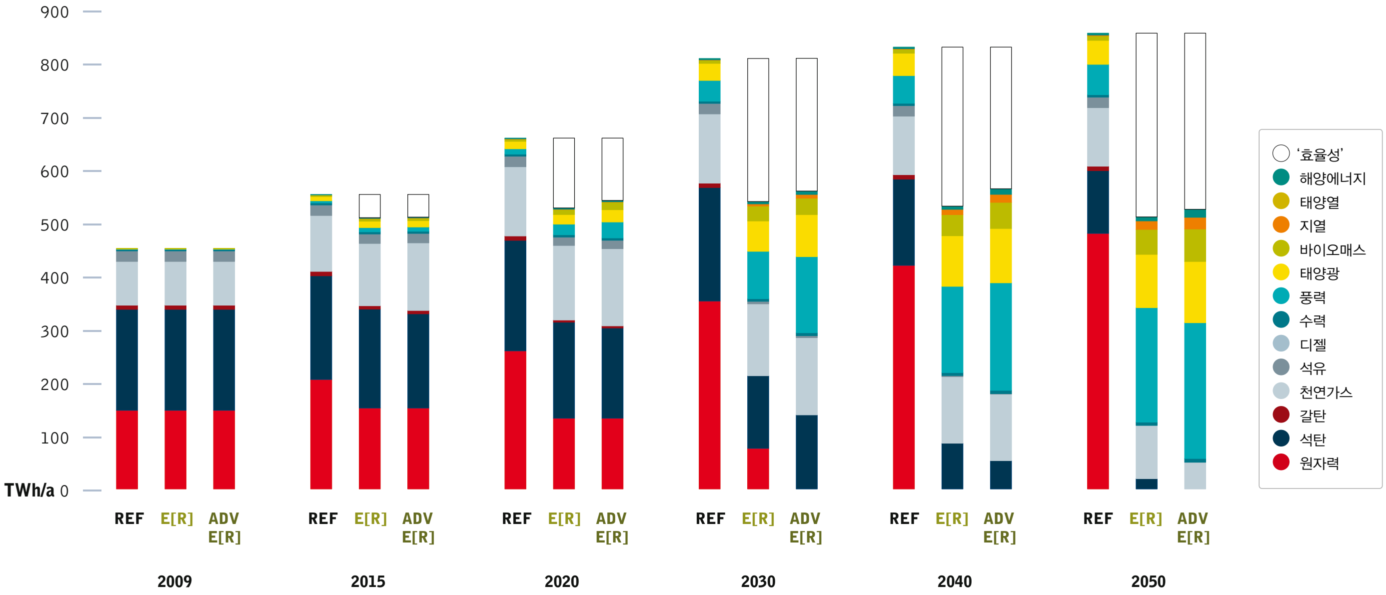
(단위 GW)

		2009	2020	2030	2040	2050
수력	E[R]	2	2	2	2	3
	ADV E[R]	2	2	2	3	3
바이오매스	E[R]	0	2	5	7	8
	ADV E[R]	0	2	5	8	10
풍력	E[R]	0	7	31	56	72
	ADV E[R]	0	10	54	73	89
지열	E[R]	0	0	1	2	3
	ADV E[R]	0	0	1	2	3
태양광	E[R]	1	16	47	73	77
	ADV E[R]	1	20	65	78	88
고집광태양열	E[R]	0	0	0	0	0
	ADV E[R]	0	0	0	0	0
해양에너지	E[R]	0	1	1	2	2
	ADV E[R]	0	1	2	3	4
총계	E[R]	**3**	**28**	**86**	**141**	**164**
	ADV E[R]	**3**	**36**	**129**	**167**	**198**

위의 표에서는 심지어 심화 에너지[혁명] 시나리오 항목에서도 현재까지 알려진 재생가능에너지원의 기술적 잠재량의 최대 수치는 반영하지 않고 있다. 비록 풍력발전의 경우 추정 기술적 잠재량 대비 보급률이 (환경운동연합 추정치) 심화 시나리오에서 72%로 설정되어 상대적으로 높은 편이나, 지열은 1%, 태양광은 2%, 수력은 3% 미만이다.

그림 6.4: 한국: 시나리오 별 전력발전구조 변화

('효율성' = 참조 시나리오 대비 감소분)



6.3 미래 전력발전 비용

그림 6.5에서 볼 수 있듯이 재생가능에너지기술을 도입한 기본 에너지[혁명] 시나리오에서 전력발전비용은 참조 시나리오 대비 소폭 상승한다. 그러나 상승폭은 2020년까지 1센트/kWh 미만이 될 것으로 예측된다. 하지만 전력발전의 이산화탄소 집약도가 낮아지기 때문에 기본 및 심화 에너지[혁명] 시나리오 모두에서 전력생산비용은 경제적으로 알맞은 수준이 될 것이며, 2050년에 이르러서는 참조 시나리오 대비 각각 2센트/kWh 및 4.2센트/kWh 낮을 것이다.

이와는 대조적으로 참조 시나리오에서는 지속적인 전력수요 증가, 화석연료가격 상승, 이산화탄소 배출 유발 비용 때문에 전력공급 총비용은 현재 매년 340억 달러가 소요되던 것이 2050년에는 1,170억 달러 이상으로 증가한다.

그림 6.5를 보면, 기본 에너지[혁명] 시나리오대로라면 한국이 세워놓은 이산화탄소 감축목표를 달성할 수 있을 뿐만 아니라 에너지비용을 안정화하는 데에도 도움이 된다. 에너지효율성을 향상시키고 재생가능에너지 공급원을 증가시켜 나간다면 장기적으로 전력공급비용은 참조 시나리오 대비 1/3정도 낮아진다. 심화 에너지[혁명] 시나리오에서는 변동성 발전원(태양광, 풍력, 해양)의 비중이 점점 더 커져, 2030년에는 41%, 2050년에는 73%를 차지한다.

전기자동차의 이용 증가로 스마트그리드의 확대, 전력수요관리 강화, 배터리저장용량의 확장 등은 개선된 배전망 통합 및 전력발전관리 시스템의 도입을 유도할 것이다.

기본 및 심화 에너지[혁명] 시나리오에서는 개별 발전비용은 2030년까지 거의 같은 수준을 보이고 있으나, 2050년에는 재생가능에너지 관련 장비 규모의 경제성이 커지면서 심화 에너지[혁명] 시나리오에서의 발전비용이 2.2센트/kWh 낮아진다. 재생가능에너지 기술이 보다 더 빠르게, 더 이른 시기에 확산되면서 2030년 기준 총 전력공급비용은 심화 시나리오의 경우가 기본 시나리오 대비 70억 달러 더 높지만, 2050년에는 수송부문에서 전력수요가 늘어남에도 불구하고 총 전력공급비용이 기본 시나리오보다 90억 달러 낮은 것으로 나타난다.

그림 6.5: 한국: 시나리오 별 전력공급 총비용과 개별 전력발전 비용 변화

(‘효율성’ = 참조 시나리오 대비 감소분)

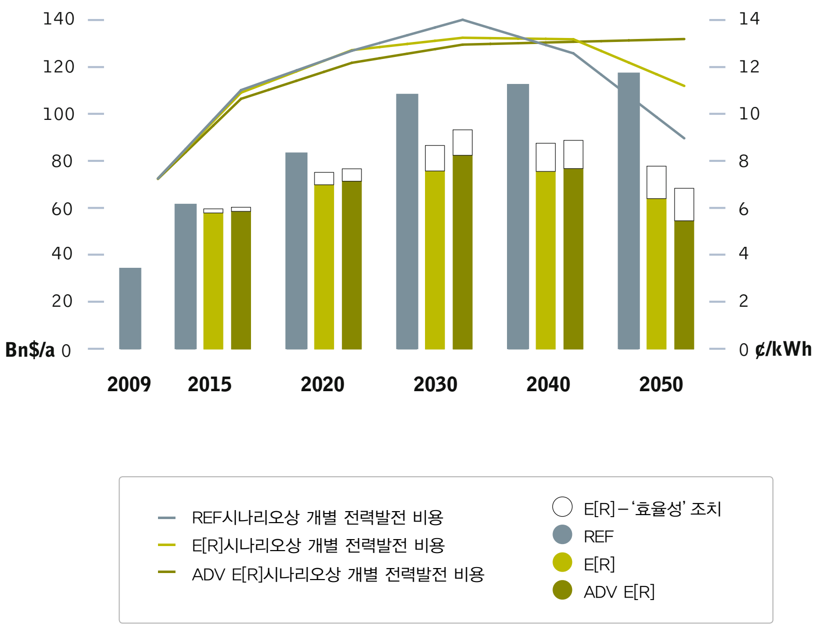


image SOLAR PANELS ON JEJU ISLAND.

6.4 미래투자

심화 에너지[혁명] 시나리오를 실현하려면 경제적 운전수명을 다한 발전소를 대체하는 비용을 포함하여 4,570억 달러의 투자가 필요한데, 이는 참조 시나리오(6,170억 달러) 대비 약 1,600억 또는 연간 40억 달러 낮은 수치이다. 참조 시나리오에서는 2050년까지 원자력발전소에 투자하는 금액의 비중이 대략 74%에 달하는 반면 재생가능에너지 및 열병합발전에의 비중은 약 20% 정도이다. 그러나 심화 에너지[혁명] 시나리오에서는 전체 투자금액의 90%를 재생가능에너지 및 열병합발전 부문에 투자한다. 2030년까지는 전력부문에서 화석연료에 투자된 금액의 대부분이 열병합발전소로 집중된다. 심화 에너지[혁명] 시나리오에서 전력부문 연평균 투자규모는 지금부터 2050년까지 약 114억 달러가 될 것으로 예측된다.

재생가능에너지의 경우는 연료비용이 없기 때문에 기본 에너지[혁명] 시나리오에서는 절약 가능한 연료비용은 총 1,470억 달러, 연간 37억 달러가 되고, 심화 시나리오에서는 이보다 많은 총 1,910억 달러, 연간 48억 달러이다.

게다가 2050년 이후부터는 재생가능에너지원을 이용한 전력 생산은 추가연료비용이 들지 않는다. 하지만 석탄 및 가스의 연료비용은 국가 경제에 지속적인 부담으로 작용할 것이다.

그림 6.6: 한국: 시나리오 별 에너지원 투자

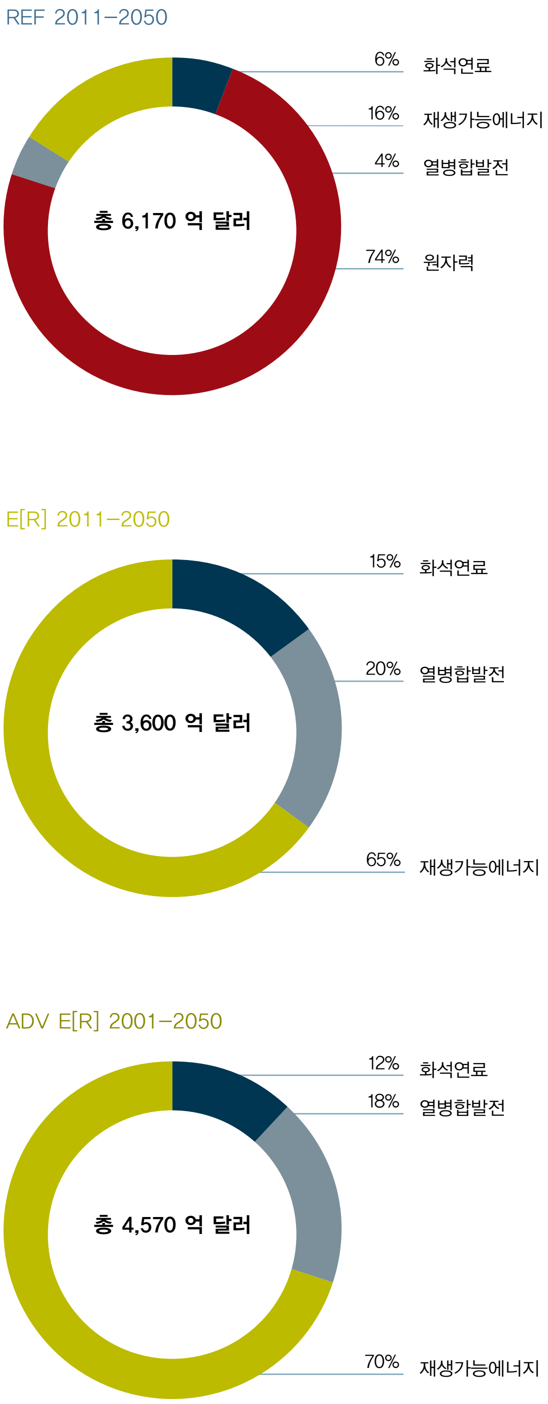


그림 6.7: 한국: 기본 및 심화 에너지[혁명] 시나리오 상 발전소 누적투자금액 변화

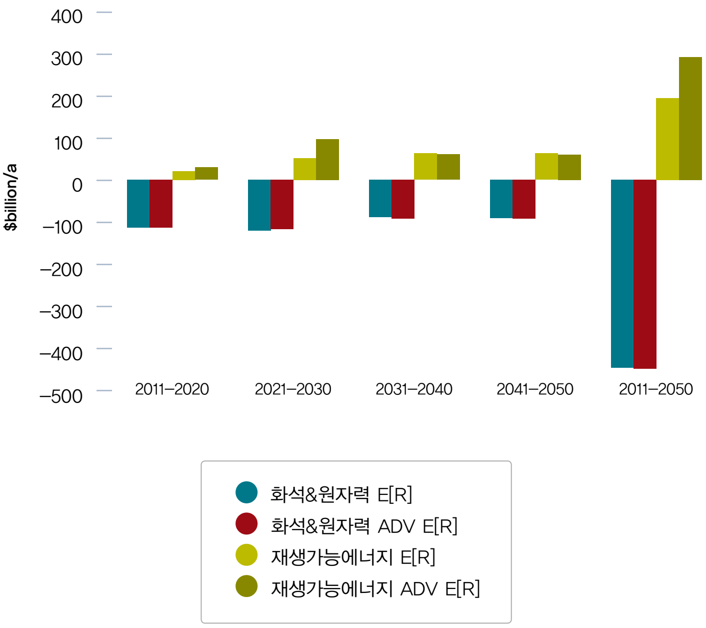


표 6.2: 한국: 시나리오 별 연료비용 절감액 및 투자금액

투자금액	단위: 달러	2011 – 2020	2021 – 2030	2031 – 2040	2041 – 2050	2011 – 2050	2011 – 2050 연평균
E[R] 과 REF간 차액							
전통(화석&원자력)	billion $	–113	–120	–92	–92	–445	–11.1
재생가능에너지(열병합포함)	billion $	18	49	60	60	188	4.7
총계	billion $	**–94**	**–71**	**–32**	**–32**	**–257**	**–6.4**
ADV E[R]과 REF간 차액							
전통(화석&원자력)	billion $	–113	–118	–94	–94	–447	–11.2
재생가능에너지(열병합포함)	billion $	28	96	58	58	286	7.2
총계	billion $	**–86**	**–23**	**–36**	**–36**	**–161**	**–4.0**
누적 연료비용 절감액							
E[R]상 누적 절감액							
석유	billion $/a	3.1	15.3	27.6	31.1	77	1.9
가스	billion $/a	–8.1	–12.2	–12.0	–0.4	–33	–0.8
무연탄	billion $/a	4.8	20.4	34.9	39.0	99	2.5
갈탄	billion $/a	0.2	0.8	1.0	1.1	3	0.1
총계		**0.1**	**24.3**	**51.5**	**70.7**	**147**	**3.7**
ADV E[R]상 누적 절감액							
석유	billion $/a	3.1	16.6	29.2	31.4	80	2.0
가스	billion $/a	–13.7	–16.7	–13.5	30.1	–14	–0.3
무연탄	billion $/a	7.7	22	41.1	50.5	121	3.0
갈탄	billion $/a	0.2	0.9	1.0	1.0	3	0.1
총계		**–2.6**	**22.8**	**57.8**	**112.9**	**191**	**4.8**

image SUN SETTING OVER SEOUL, SOUTH KOREA. AS SEEN FROM THE NORTH SIDE OF THE HAN RIVER.

© L. WALLER/ISTOCK

6.5 난방 및 냉방 공급

한국의 난방공급용 에너지에 대한 수요 전체에서 재생가능에너지원이 차지하는 비중은 9%이며, 이 중 대부분은 바이오매스가 차지한다. 향후 재생가능에너지원의 비중을 확대하기 위해서는 특별 지원제도가 필요하다. 기본 에너지[혁명] 시나리오에서는 2050년 기준 한국의 냉난방 총수요의 71%를 재생가능에너지원이 담당한다.

- 에너지효율성 향상 조치를 통해 생활수준은 개선시키면서도 현재의 난방공급수요를 8% 감소시킬 수 있다.
- 직접난방의 경우 화석연료를 에너지원으로 하는 시스템을 태양열집열기, 바이오매스/바이오가스, 지열 에너지가 더욱 더 대체해 나간다.
- 이 외의 시스템은 석탄 및 석유에서 천연가스로 대체한다면 이산화탄소 배출량의 추가감축이 가능하다.

심화 에너지[혁명] 시나리오에서는 기본 시나리오에서보다 재생가능에너지원을 사용한 냉난방시스템의 도입시기를 5년 더 빨리 설정하고 있다. 태양열집열기 및 지열난방시스템의 경우 적극적인 지원제도를 통해 규모의 경제성을 5-10년 더 빨리 달성하여, 재생가능에너지원이 차지하는 비중은 2030년에는 41%, 2050년에는 88%로 높아진다.

6.6 수송

수송부문의 경우 기본 에너지[혁명] 시나리오에서는 2050년 에너지 수요가 참조 시나리오 대비 45% 절감된 840 PJ/a가 감축된다. 이러한 감축은 고효율 자동차를 도입하고 물품운송수단을 자동차에서 기차로 전환하며 이동 관련 행동패턴의 변화를 통해 가능하다. 그뿐만 아니라 자가용을 대체하는 매력적 대안들이 도입되면서 참조 시나리오 대비 자동차보급 증가율도 둔화된다.

이처럼 경제적 인센티브 제공에 힘입은 소형차로의 전환, 전동차 맞춤형 추진기술 개발, 자동차 이동거리 연간 0.25% 감소 등을 통해 최종에너지가 상당 부분 절감된다. 기본 에너지[혁명] 시나리오에서는 2030년 수송부문의 전체 에너지수요 중 전기가 차지하는 비중을 9%로 내다보며, 심화 시나리오는 2030년 16%, 2050년 67%가 될 것으로 추정한다.

그림 6.8: 한국: 시나리오 별 난방공급구조 변화

('효율성' = 참조 시나리오 대비 감소분)

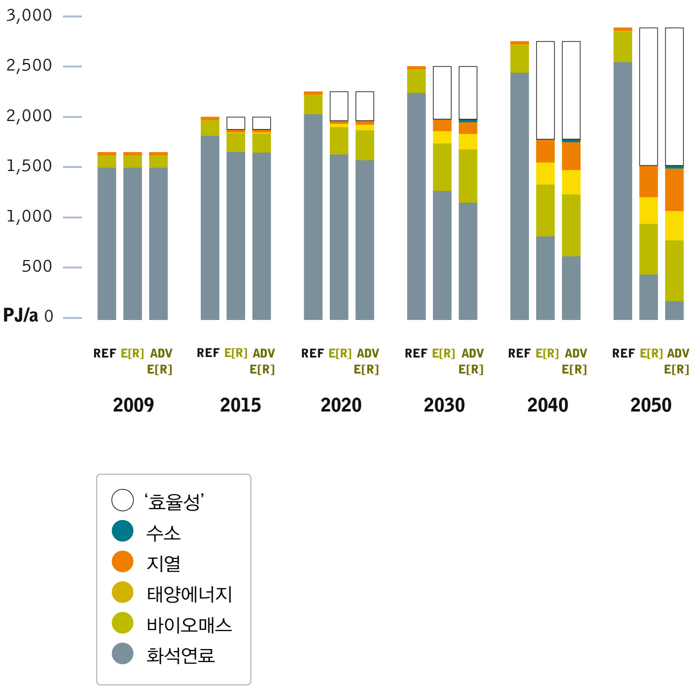
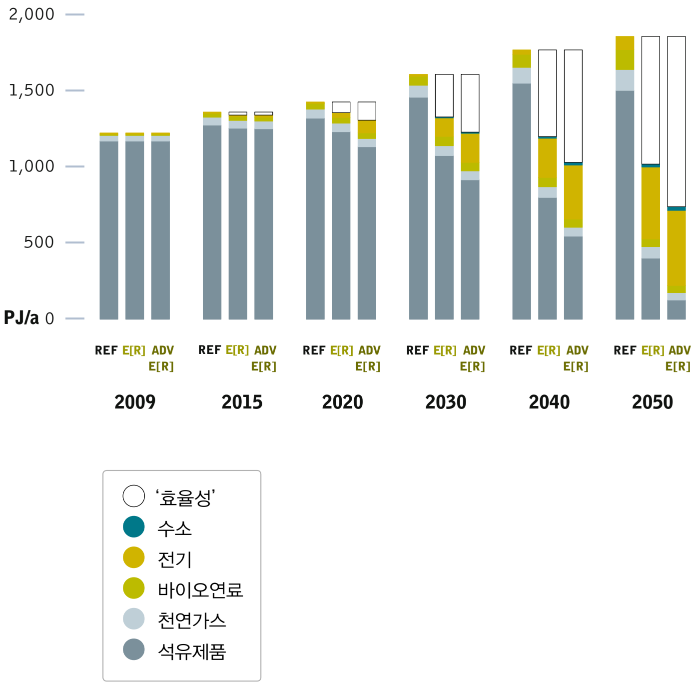


그림 6.9: 한국: 시나리오 별 수송

('효율성' = 참조 시나리오 대비 감소분)



6.7 이산화탄소 배출량 변화

한국의 이산화탄소 배출량은 참조 시나리오에서는 5% 정도 감축될 것으로 보나, 기본 에너지[혁명] 시나리오는 2009년 5억 1백만 톤에서 2050년에는 1억 2천만 톤으로 감축될 것으로 예측한다. 1인당 연간 배출량은 10.5톤에서 2.6톤으로 줄어든다. 장기적으로는 효율성 향상과 재생가능에너지원으로 움직이는 전기자동차 수의 증가로 수송부문에서도 배출량을 줄일 수 있게 된다. 발전부문은 2050년에도 총 배출량의 36%로 여전히 가장 큰 이산화탄소 배출원의 자리를 지킬 것이다.

심화 에너지[혁명] 시나리오의 경우 기본 시나리오보다 에너지 부문의 이산화탄소 배출량의 감축이 10-15년 더 빨라져 1인당 배출량이 2030년 7.1톤, 2050년 0.9톤이 된다. 2050년에 이르러 한국의 이산화탄소 배출량은 1990년 배출량의 19%가 되는 것이다.

6.8 1차 에너지 소비

위의 가정을 전제로 하여 산출된 기본 에너지[혁명] 시나리오에서의 1차 에너지 소비량은 그림 6.11에 나와 있다. 참조 시나리오와 비교하여 총 에너지수요는 2050년까지 54%가 감소하고 나머지 44% 정도의 에너지수요는 재생가능에너지원으로 충당한다.

심화 에너지[혁명] 시나리오에서는 기본 시나리오에서보다 석탄 및 석유 이용의 단계적 축소가 10-15년 더 빨리 이뤄진다. 이는 재생가능에너지로 대체될 화력발전소의 운전수명을 40년이 아닌 20년으로 설정하고, 수송부문에서 휘발유 연소엔진을 전기자동차로 빨리 대체하기에 가능하다. 이렇게 하면 1차 에너지에서 재생가능에너지의 비중이 2030년에는 26%, 2050년에는 58%까지 가능하게 된다. 원자력발전의 경우 기본 시나리오에서는 2035년 이후, 심화 시나리오에서는 2025년 이후 폐쇄된다.

그림 6.10: 한국: 에너지[혁명] 시나리오 상 부문별 이산화탄소 배출량 변화

('효율성' = 참조 시나리오 대비 감소분)

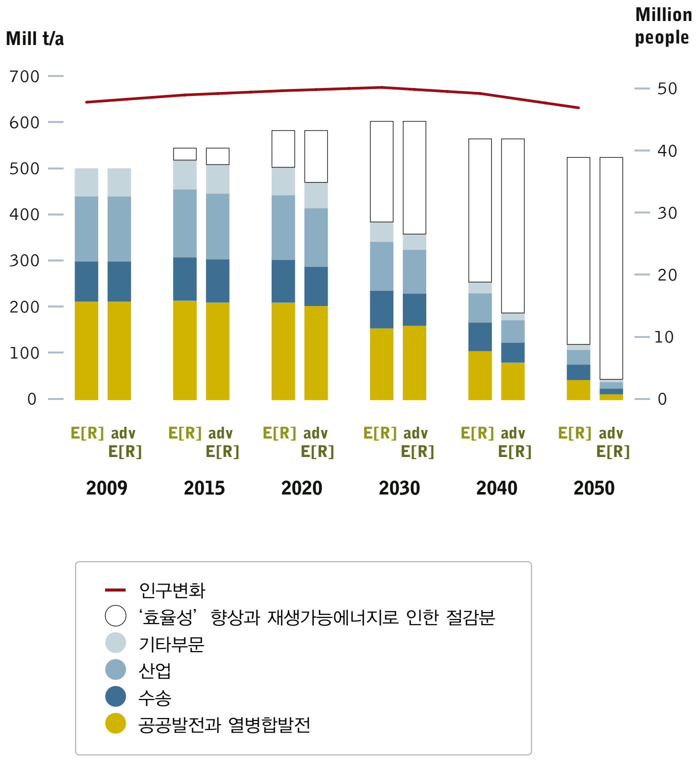
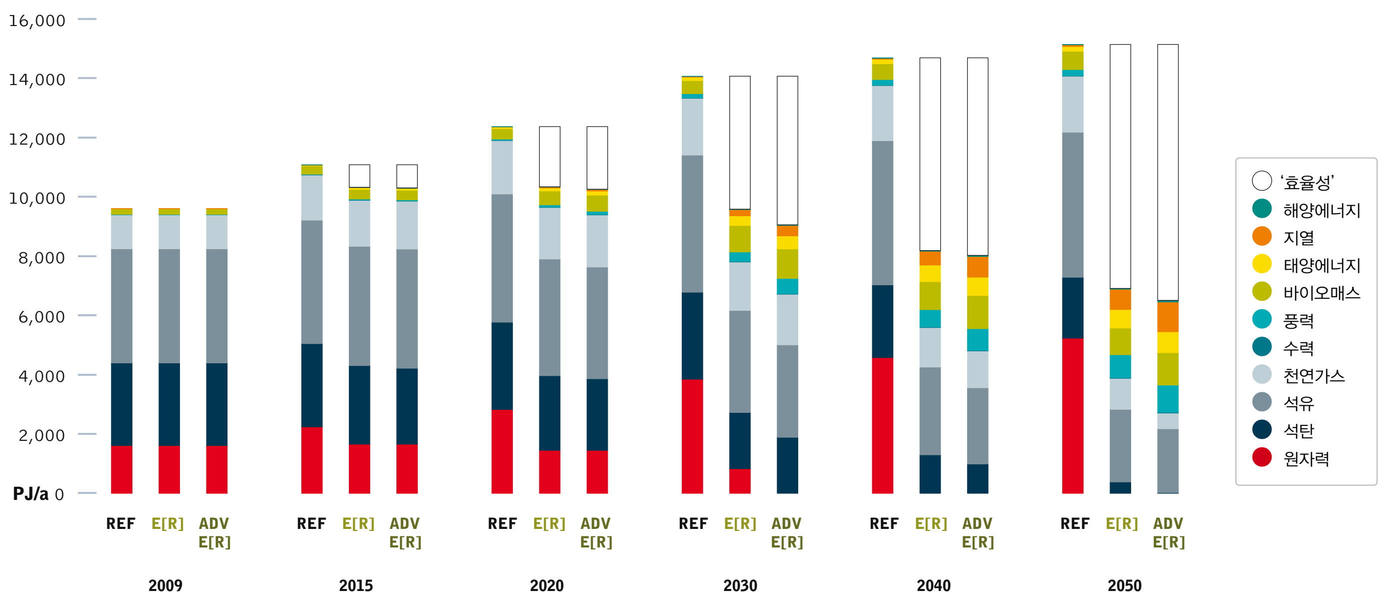


그림 6.11: 한국: 시나리오 별 1차 에너지수요 변화

('효율성' = 참조 시나리오 대비 감소분)



미래고용

- 미래고용
- 방법론

7

image PRODUCING WIND ROTORS FOR OFFSHORE WIND ENERGY IN RINGKOBING, DENMARK.
© PAUL LANGROCK/ZENIT/GP

“경제와 자연이 함께 새로운 일자리를 만들어 갑니다.”

Greenpeace International
Climate Campaign

7.1 미래고용

모든 시나리오에서 연구대상 에너지부문 일자리 수는 2015년까지 증가하는 것으로 나타난다. 2010년 전력부문 일자리 수는 59,000개였는데, 2015년까지 참조 시나리오에서는78,000개, 기본 에너지[혁명] 시나리오에서는 74,000개, 심화 에너지[혁명] 시나리오에서는 104,000개로 늘어난다. 그림 7.1을 보면 2030년까지 모든 시나리오에서 일자리 수가 상승하는데, 자세한 수치는 표7.1에 있다.

- 참조 시나리오에서는 2015년까지 일자리 수가 32% 성장하고, 2020년에는 27% 추가 성장하여 94,000개를 기록한다. 2020년–2030년 사이에 감소세를 보이기는 하지만, 2030년 일자리 수는 여전히 67,000개를 기록하여 2010년 대비 14% 높은 수치이다.
- 기본 에너지[혁명] 시나리오에서는 2015년까지 일자리 수가 25% 성장하여 74,000개를 기록하고, 2020년에 이르러 2010년 수치 대비 두 배가 증가한 116,000개에 달한다. 2020년–2030년 사이에 소폭의 감소세를 보이기는 하지만, 일자리 수는 2010년 대비 여전히 89% 높은 112,000개를 기록한다. 이는 2010년 대비 두 배 이상 높은 수치이다.
- 심화 시나리오에서는 에너지부문 일자리 수가 2010년–2015년 사이 75% 증가하여 104,000개에 도달하고, 2020년에는 2010년 수준 대비 대략 2.5배가 증가한 141,000개가 된다. 2020년–2030년 사이 감소세를 보이기는 하지만, 2030년 일자리 수는 여전히 101,000개를 기록하여 2010년 대비 71% 높게 나타난다.
- 태양광 및 풍력은 특히나 두드러진 성장세를 보여, 2030년까지 모든 시나리오에서 전체에너지부문 고용의 51%–77%까지를 담당하게 된다.

여기에는 원전 폐쇄와 에너지효율성 부문 일자리는 포함되어 있지 않다. 그러나 이런 일자리야말로 기본 및 심화 에너지[혁명] 시나리오에서 큰 비중을 차지하여, 원전 폐쇄 부문 일자리를 통해 기존의 원전운영 및 관리 종사자들의 수를 적어도 2020년까지는 현재의 수준(대략 6,000개)으로 유지할 수 있다. 기본 및 심화 시나리오에서는 2020년까지 6GW에 달하는 원자력 사용이 단계적으로 감소하며, 2030년까지는 각각 2GW, 11GW가 추가적으로 감소할 것이다. 참조 시나리오 대비 두 에너지[혁명] 시나리오에서는 2030년까지 전력발전이 30% 이상 줄어들어 에너지효율 부문에서 상당한 수의 일자리가 창출되나, 어느 정도인지를 예측하는 것은 본 연구의 범위에서 벗어난다.

시나리오에서 일자리의 대부분은 원자력, 태양광, 풍력 산업에서 발생한다. 원자력산업은 2010년 기준 전체 전력부문 고용의 약 50%를 차지하였는데 이는 주로 신규 원전 건설에 관련된 일자리이다. 이 수치는2030년까지 일정한 수준을 유지하여 대략 29,000개가 된다. 태양광 부문 일자리는 2020년까지 견고한 성장세를 보여 29,000개에 도달한 후, 2030년에 이르러서는 11,000개로 떨어진다. 석탄, 석유, 가스 부문의 고용은 2010년 12,000개에서 2030년 9,000개로 소폭 하락한다.

기본 에너지[혁명] 시나리오에서는 재생가능에너지 부문의 일자리가 상당한 성장세를 보이는데, 2020년까지 82,000 개의 새로운 일자리가 창출되어 2030년까지 유지된다. 2020년 기준 태양광 부문에서는 45,000개, 풍력 부문에서는 44,000 개의 일자리가 창출된다. 2030년에는 풍력발전이 48,000개로 최다 일자리 창출 산업 부문이 되고, 태양광 및 바이오 에너지 부문이 그 뒤를 따른다. 원자력산업 일자리 수는 현저히 감소하나, 재생가능에너지 부문에서 새로 창출되는 일자리 수가 그 감소분을 충족시키고도 남는다. 2030년 기준 전력부문의 일자리는 112,000 개가 되어 2010년 수준 대비 89% 높다.

심화 에너지[혁명] 시나리오에서는 2015년과 2020년에 기본 시나리오에서 보다 더 견고한 일자리 성장세를 보이는데, 주로 태양광 및 풍력에너지 부문에 일자리가 집중된다. 2015년 전체 전력부문 고용에서 태양광과 풍력이 차지하는 비중은 각각 43%(45,000개), 33%(34,000개)이고, 두 산업 모두 2020년까지 견고한 성장세를 이어나간다. 이후 2030년에 이르러 풍력 부문 일자리는 소폭 하락한 44,000개가 되고, 태양광 부문 일자리도 20,000로 하락한다. 그러나 바이오 에너지 부문 일자리 수의 증가로 그 감소분이 상쇄된다. 그 결과 2030년 기준 에너지부문의 일자리는 101,000개로 2010년 대비 71% 높다.

그림 7.1: 한국: 시나리오 별 전력부문 고용

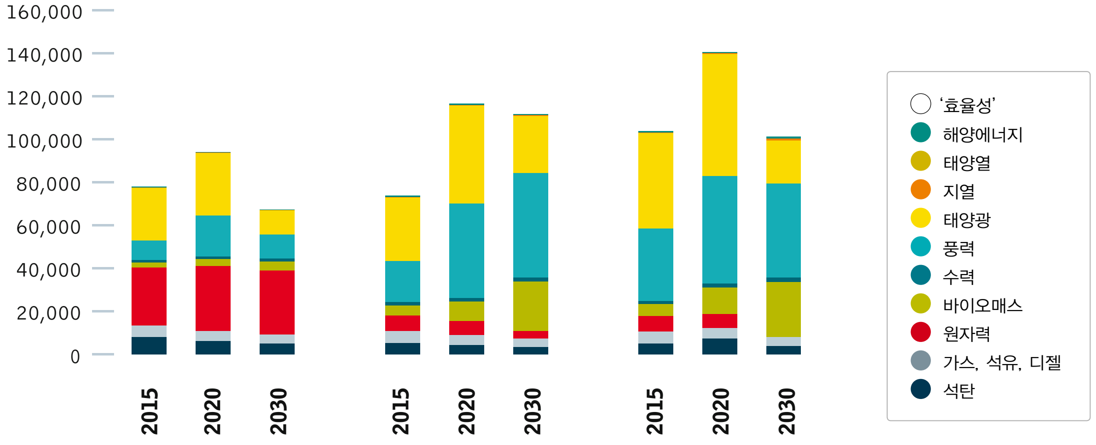


image WORKERS AT GANSU JINFENG WIND POWER EQUIPMENT CO. LTD. IN JIUQUAN, GANSU PROVINCE, CHINA.

표 7.1: 한국: 시나리오 별 에너지부문 고용

(단위: 천)

기술	2010	REF 2015	REF 2020	REF 2030	E[R] 2015	E[R] 2020	E[R] 2030	ADV E[R] 2015	ADV E[R] 2020	ADV E[R] 2030
석탄	7.0	8.1	6.1	5.0	5.4	4.3	3.4	5.2	7.3	4.0
가스, 오일, 디젤	5.2	5.3	4.9	4.3	5.4	4.8	3.9	5.6	5.0	4.0
원자력	28	27	30	30	7.3	6.3	3.6	7.3	6.3	–
재생가능에너지	19	37	53	28	55	101	101	86	122	93
전체 고용	**59**	**78**	**94**	**67**	**74**	**116**	**112**	**104**	**141**	**101**

7.2 방법론

그린피스는 호주에 있는 지속가능미래연구소(ISF)와 함께 2009년과 2010년 세계 에너지 시나리오의 고용효과 모델 개발에 참여하여 "Working for the Climate – Renewable Energy & The Green Job [R]evolution"라는 보고서를 발표하였다.[13] 모델 개발에 사용된 방법론의 개정판은 2010년에 발표되었다.[14]

이산화탄소 배출량을 현저히 감소시키기 위한 에너지 공급구조의 재편이 고용에 미치는 영향을 분석하려는 목적으로, 기본 및 심화 에너지[혁명] 시나리오에서 새롭게 창출되거나 없어지는 일자리의 잠정치를 추산하는 데 이 모델을 사용하였다. 참조 시나리오와 두 개의 에너지[혁명] 시나리오는 그린피스와 유럽재생가능에너지위원회(EREC)의 의뢰로 독일우주항공연구센터(DLR)가 개발하였다.

시나리오 별로 얼마나 많은 수의 일자리가 창출되거나 없어지는지를 추산하기 위해서는 아래와 같은 가정 및 계산이 필요하다.

- DLR이 개발한 세 가지 시나리오에서의 연간 기술 별 전력설비 및 발전용량
- 전력용량 단위 당 일자리 수를 나타내는 기술 별 '고용계수 (employment factors)'. 이는 분석을 위해 꼭 필요한 데이터이다. 현지 고용계수 자료 부재 시에는 OECD 데이터를 참고하였다.
- 매년 특정 비율의 고용계수가 감소하기 위해 사용하는 하락계수 (decline factors) 또는 학습조정률 (learning adjustment rates). 용량 단위당 고용은 기술이 발달할수록 감소한다.
- 한국 내 기술 별 생산 비중과 세계시장으로의 기술 수출 여부.
- 한국 내 생산 석탄 및 가스 비중

주로 건설, 제조, 운영유지, 전력발전에 관계된 연료공급과 같은 직접 고용만 포함하였다. 여기서 추산한 고용수치는 많은 수의 가정을 기반으로 계산한 것이기 때문에 잠정치에 불과하지만, 데이터가 존재하는 범위 내에서는 각 시나리오 별로 고용수치를 보여준다.

- 에너지공급 부문 일자리 계산법은 아래에 요약되어 있다:

표 7.2: 고용 계산 방법론

고용 = 제조부문 +건설부문 +운영유지부문(O&M) + 연료공급부문. 각각은 다음과 같이 계산된다:

제조부문 고용	=	설비MW 및 연간 수출량	×	제조고용계수	×	현지제조 비중(%)
건설부문 고용	=	연간 설비MW	×	건설고용계수		
운영유지부문 고용	=	누적용량	×	운영유지고용계수		
연료공급부문 고용	=	전력발전	×	연료공급고용계수	×	현지조달연료 비중(%)
2010년 기준 지역 내 고용	=	**고용 (상동)**				
2020년 기준 지역 내 고용	=	**고용 (상동)**	×	기술하락계수$^{(시작\ 후\ 수년)}$		
2030년 기준 지역 내 고용	=	**고용 (상동)**	×	기술하락계수$^{(시작\ 후\ 수년)}$		

참고문헌

13 GREENPEACE INTERNATIONAL AND EUROPEAN RENEWABLE ENERGY COUNCIL WORKING FOR THE CLIMATE. (2009).

14 RUTOVITZ, J. & USHER, J. METHODOLOGY FOR CALCULATING ENERGY SECTOR JOBS. PREPARED FOR GREENPEACE INTERNATIONAL BY THE INSTITUTE FOR SUSTAINABLE FUTURES, UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, SYDNEY. (2010).

7.2.1 고용계수

전력부문 고용은 용량 단위(MW) 당 또는 발전 단위(GWh) 당 창출된 일자리 수를 제시하는 고용계수를 이용해 계산한다. 현지 계수 (local factors)는 석탄, 가스, 수력 에너지의 운영유지, 태양광의 제조, 석탄 채광과 관련된 수치산정에 사용되었다. 한국에서 현재 운영 중인 발전소의 고용인 수 데이터는 해당되는 경우 운영유지 계수 (O&M factors) 도출을 위해 사용하였다. 그 데이터는 부록 7.1에 있고, 도출된 현지계수와 OECD 계수의 비교는 표 7.3에 있다.

이 외의 경우에는 국제적인 분석자료를 통해 도출한 OECD 고용계수를 사용하였다 (자세한 설명은 Rutovitz and Usher, 2010 참고[15]). 태양광 관련 OECD계수는 유럽태양광산업협회 및 그린피스가 제공한 최신 데이터를 기반으로 업데이트 되었다.[16]

7.2.2 제조와 기술 수출

에너지 기술의 국내 보급에 필요한 모든 구성부품은 한국에서 제조하고, 세계 태양광 시장규모에 비례하여 한국 태양광 기술을 수출한다는 가정하였다. 한국정부는 2015년까지 태양광 및 풍력에너지 세계시장에서 15%의 점유율을 확보한다는 목표도 세워 놓았다.[17] 2010년 한국의 태양광 생산량은 세계 총 생산량의 12%에 상응하는 규모였다.[18] 한국의 태양광 산업의 매출은 2004년 0.6%에서 2010년 10%로, 풍력산업의 매출은 1.6%에서 2.3%로 증가하였다.[19,20] 이 경우 한국의 태양광 에너지 생산량이 세계 생산량의 10%를 차지할 것이라 가정한 반면, 풍력에너지의 경우 순 수출량에 대한 가정을 세우지 않았다.

세계 태양광생산은 참조 시나리오에서는 유럽태양광산업협회(EPIA)[21]의 추정치를 근거로 한 보수적 시나리오를 취하고 있으며, 두 에너지[혁명] 시나리오에서는 유럽태양광산업협회의 정책중심 시나리오를 따르고 있다. 추정치는 2015년까지만 나와 있고 이후의 생산량은 일정할 것이라 가정한다. 그리하여 한국의 태양광 모듈 총 생산량은 2015년 이후 참조 시나리오에서는 2.4 MW, 두 에너지[혁명] 시나리오에서는 4.4 MW가 된다. 총 수출량은 총 생산에서 국내설비를 뺀 수치이다.

7.2.3 석탄 및 가스

2010년 한국의 석탄생산량은 소비량의 1.4%에 상응하는 규모였고 1990년 이후 매년 평균 9%가 하락하고 있다.[22] 고용수치를 산정하기 위해 2020년경에는 석탄 전량이 수입된다고 가정하였다. 한국의 가스 생산량은 소비량의 1.4%였고,[23] 고용수치 산정에는 이 수준이 유지될 것이라 가정하였다.

표 7.3: 한국 고용계수와 OECD계수 비교

기술	부문	단위	OECD 고용계수	한국 고용계수
원자력	운영유지	일자리 수/MW	0.32[(1)]	0.40[(2)]
석탄	운영유지	일자리 수/MW	0.10[(1)]	0.19[(2)]
수력	운영유지	일자리 수/MW	0.22[(1)]	0.62[(2)]
가스 및 오일	운영유지	일자리 수/MW	0.05[(1)]	0.17[(2)]
태양광	제조	일자리 연수/MW	7.0[(4)]	3.1[(5)]
석탄	채광	일자리 수/GWh	0.5[(1)]	0.73[(3)]

주석
(1) 지속가능미래연구소(ISF) 분석 계수 (Rutovitz and Usher, 2010).
(2) 자료의 존재 여부에 따라 2009년 또는 2010년 한국의 발전소 고용 수치로부터 기술 별 가중평균계산법을 사용하여 도출하였다. 개별 발전소 자료는 회사연례보고서 또는 지속가능보고서를 참고하였다. 자세한 사항은 부록 7.1 참고.
(3) 석탄채광에 관한 현지계수는 2009년 3,630개의 석탄채광 고용 수, 1.7 MTCE에 달하는 생산, 71.1 MTCE에 달하는 전력발전의 이용, 208,864 GWh에 달하는 석탄 발전 등을 기반으로 계산하였다.
(4) OECD 제조 계수는 2011년에 유럽태양광산업협회 (EPIA)와 그린피스가 제공한 최신 데이터를 기반으로 개정하였다.
유럽태양광산업협회 (EPIA)와 그린피스의 계산법(2008년)에 따라 제조 및 건설 부문에는 MW당 33개의 일자리가 적용되었다.
(5) 태양광제조 부문의 MW당 고용은 2010년의 태양광제조 부분의 고용(8,906명)을 태양광 모듈 생산량 (2,908 MW)으로 나누어 계산하였다.

참고문헌
15 RUTOVITZ, J. & USHER, J. METHODOLOGY FOR CALCULATING ENERGY SECTOR JOBS. PREPARED FOR GREENPEACE INTERNATIONAL BY THE INSTITUTE FOR SUSTAINABLE FUTURES, UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, SYDNEY. (2010).
16 EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION AND GREENPEACE SOLAR GENERATION 6. (2011).
17 YU, S.K. KOREA'S NRE STATUS, PRIORITY AND FUTURE STRATEGY. (2011).
18 KOREA ENERGY MANAGEMENT CORPORATION (KEMCO) & NEW AND RENEWABLE ENERGY CENTER (NREC) OVERVIEW OF NEW AND RENEWABLE ENERGY IN KOREA 2012. (2012).
19 IBID.
20 IBID.
21 EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION GLOBAL MARKET OUTLOOK FOR PHOTOVOLTAICS UNTIL 2015. (2011).
22 INTERNATIONAL ENERGY AGENCY COAL INFORMATION 2011. (IEA: 2011).
23 INTERNATIONAL ENERGY AGENCY NATURAL GAS IN KOREA, REPUBLIC OF IN 2009. (2012).

image CONTROL ROOM OF LUZ SOLAR POWER PLANT, CALIFORNIA, USA.

부록 7.1 발전소 고용 및 현지계수계산

표 7.4: 한국: 원자력, 석탄, 가스, 오일, 디젤, 수력 운영유지 계수

기술과 발전소	기업	고용인원	(MW)	현지계수 (일자리 수/ MW)
원자력				
고리	한국수력원자력	1,971[1]	3,137[2]	0.63
영광	한국수력원자력	1,308[1]	5,900[2]	0.22
월성	한국수력원자력	1,568[1]	2,779[2]	0.56
울진	한국수력원자력	1,443[1]	5,900[2]	0.24
가중계수				0.36
석탄				
당진	한국동서발전	652[3]	4,000[4]	0.16
하동	한국남부발전	703[5]	3,000[6]	0.23
가중계수				0.19
가스, 석유, 디젤				
영남	한국남부발전	165[7]	400[8]	0.41
신인천	한국남부발전	237[7]	1,800[8]	0.13
부산	한국남부발전	209[7]	1,800[8]	0.12
일산	한국동서발전	206[9]	900[10]	0.23
울산	한국동서발전	514[9]	3,000[10]	0.17
계수				0.17
수력				
한국수력원자력 수력 전체	한국수력원자력	331[1]	537[2]	0.62

정보출처

[1] 한국수력원자력 (KHNP), 2011년 지속가능성보고서, P.13 – 14
[2] 한국전력공사(KEPCO), 2011년 연례보고서, P. 111
[3] 한국동서발전(EWP), 2010년 지속가능성보고서, P.46
[4] 한국동서발전(EWP), 2010년 지속가능성보고서, P.46
[5] 한국남부발전(KOSPO), 2008년 지속가능성보고서, P.63
[6] 한국남부발전(KOSPO), 2008년 지속가능성보고서,P.8
[7] 한국남부발전(KOSPO), 2008년 지속가능성보고서, P.63
[8] 한국남부발전(KOSPO), 2008년 지속가능성보고서, P.8
[9] 한국동서발전(EWP), 2010년 지속가능성보고서, P.46
[10] 한국동서발전(EWP), 2010년 지속가능성보고서, P.11

고요한 혁명 – 과거와 현재의 시장변화

- 세계 및 한국 시나리오
- 미국, 유럽, 중국의 전력발전 시장
- 세계전력발전 시장 점유현황: 재생가능에너지 확대

8

8

IN NORTH AMERICA ALONE WE COULD SHUT DOWN 16 DIRTY POWERPLANTS BY CHANGING TO CFLS AND LEDS. IN EUROPE WE COULD SHUT DOWN 11.

© DZAREK/DREAMSTIME

"재생가능에너지의 밝은 미래는 이미 시작되었다."

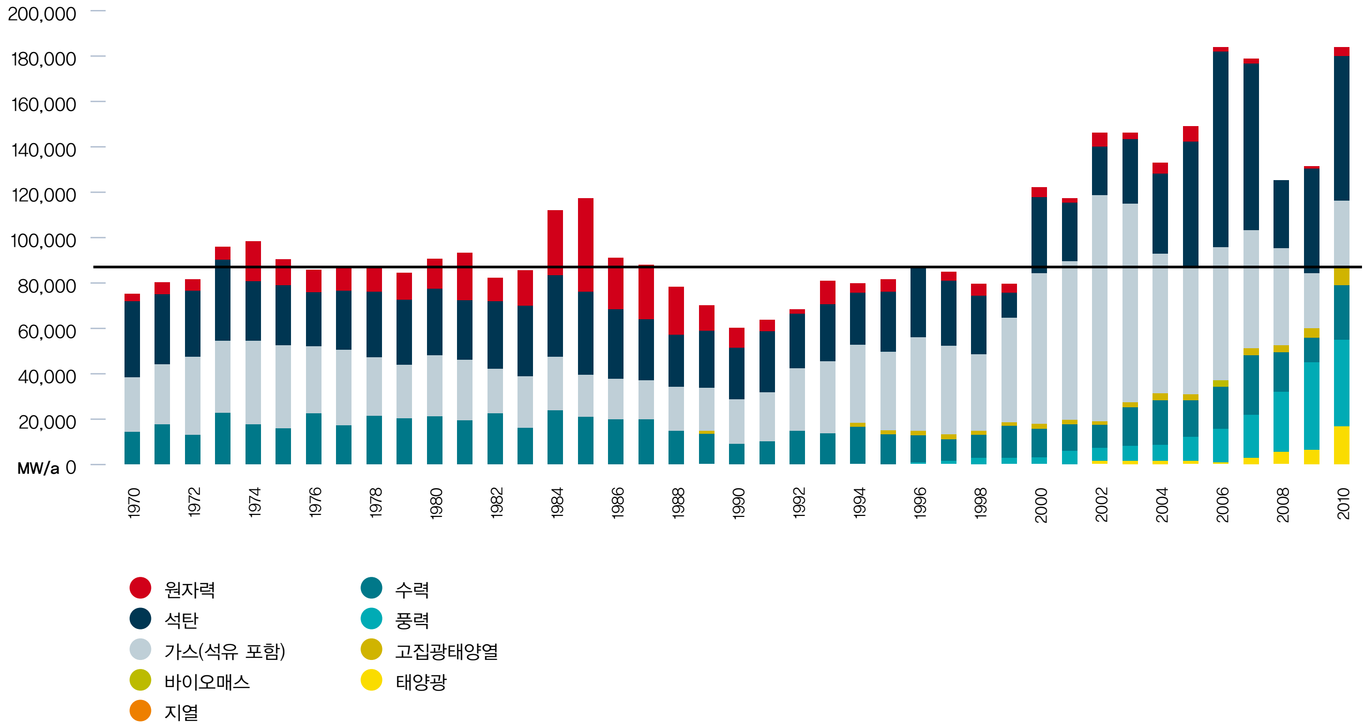
Greenpeace International
Climate Campaign

image 100 KW PV GENERATING PLANT NEAR BELLINZONA-LOCARNO RAILWAY LINE. GORDOLA, SWITZERLAND.

재생가능에너지의 밝은 미래는 이미 시작되었다. 이 장에서는 세계전력발전시장에 대한 분석을 통해 1990년대 말 이후 풍력과 태양에너지 관련 설비용량이 2000년-2010년 사이에 약 430,000MW로, 다른 전력 발전 기술보다 빠르게 성장했음을 보여준다. 그렇다고 화석연료 발전의 시대가 끝났다고 단정하기에는 너무 이른 감이 있다. 기술적 운전수명기간 동안 총 550 억 톤에 달하는 이산화탄소를 배출하는 약 475,000 MW 규모의 화력발전소가 새로이 지어졌기 때문이다.

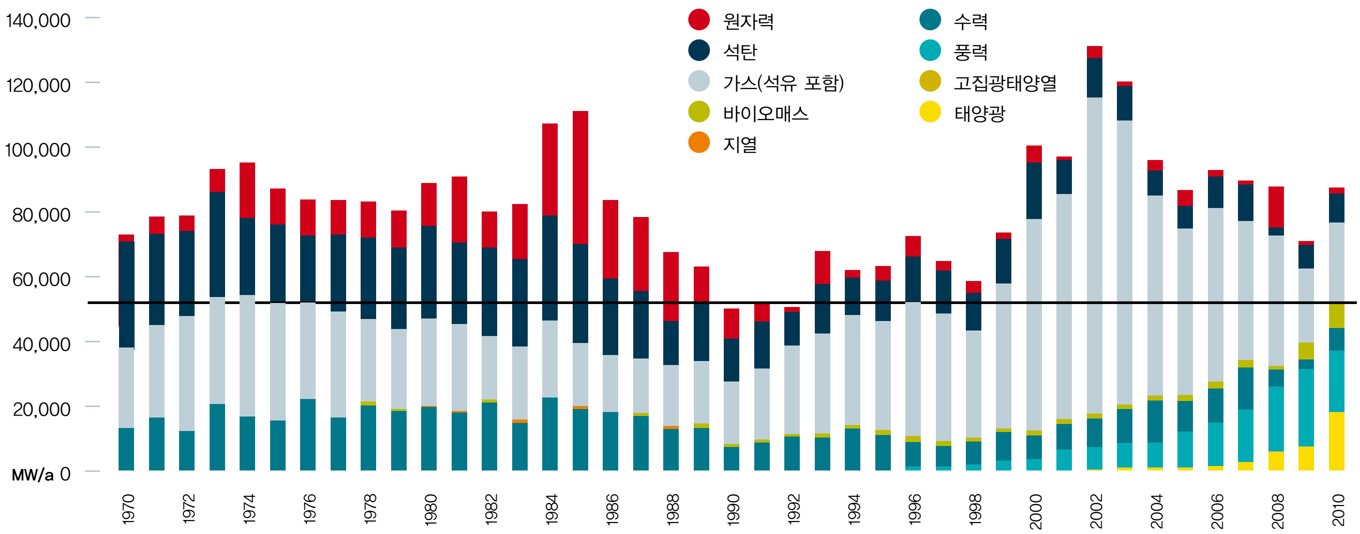
2010년 재생가능에너지 세계시장 규모는 1970년-2000년 사이의 전체에너지시장의 규모의 평균에 상응한다. OECD국가들의 노후 발전소와 개도국에서 현재 진행중인 전력공급계획(electrification)에 따른 수요를 전면적으로 재생가능에너지로 대체할 수 있는 기회가 몇 년 남지 않았다. 따라서 최상의 재생가능에너지 정책을 수립하고, 법적 구속력 있는 이산화탄소 감축목표를 설정하는 것이 시급하다.

그림 8.1: 세계전력발전시장 1970-2010



출처
Platts, IEA, Breyer, Teske.

그림 8.2: 세계전력발전시장 1970-2010, 중국 제외

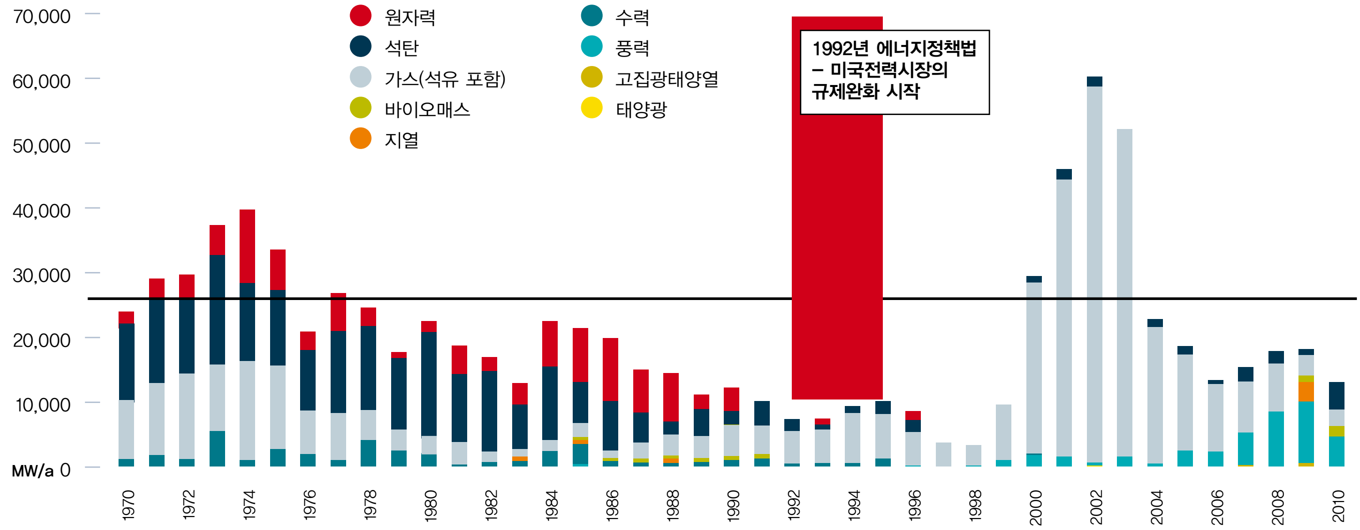


출처:
Platts, IEA, Breyer, Teske.

8.1 미국, 유럽, 중국의 전력발전 시장

전력시장 개방은 기존 발전 기술에 지대한 영향을 미친다. 미국과 유럽에서는 가스발전소를 선호하는 방향으로 시장의 규제완화가 이뤄지고 있고, 중국은 2009년까지는 상당한 양의 화력발전소를 추가 건설하였으나, 2009년과 2010년에는 재생가능에너지를 선호하는 방향으로 변화하는 조짐이 나타나기 시작했다.

그림 8.3: 미국: 전력발전시장 1970-2010



출처
Platts, IEA, Breyer, Teske.

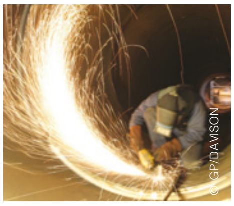


image MAN USING METAL GRINDER ON PART OF A WIND TURBINE MAST IN THE VESTAS FACTORY, CAMBELTOWN, SCOTLAND, GREAT BRITAIN.

그림 8.4: 유럽 (EU27개국): 전력발전시장 1970-2010

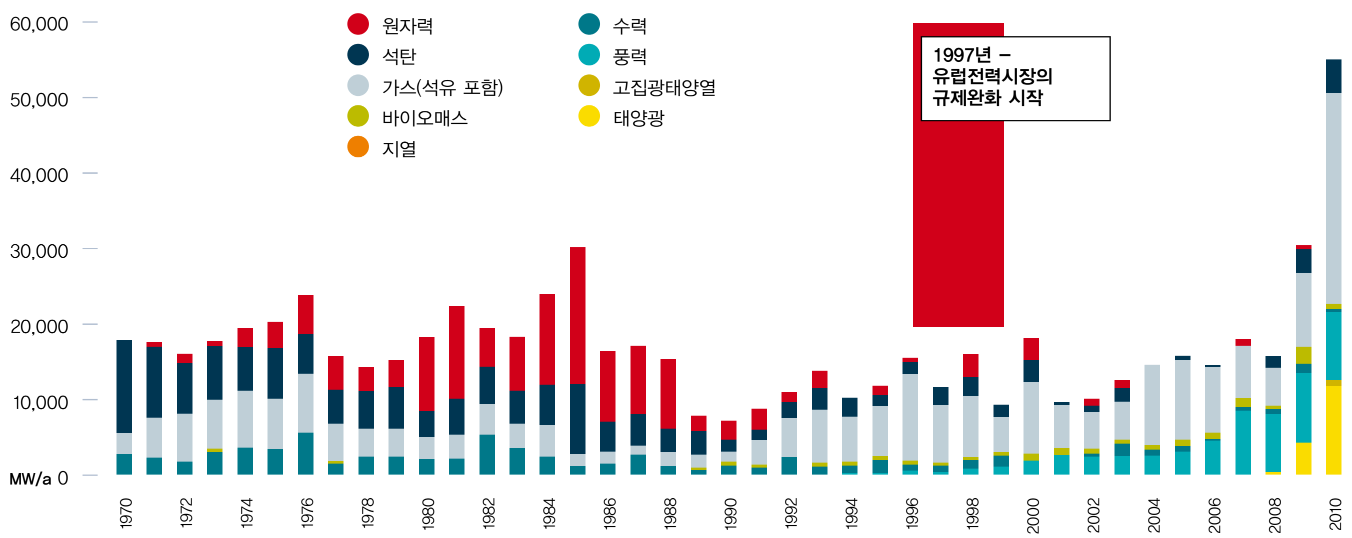
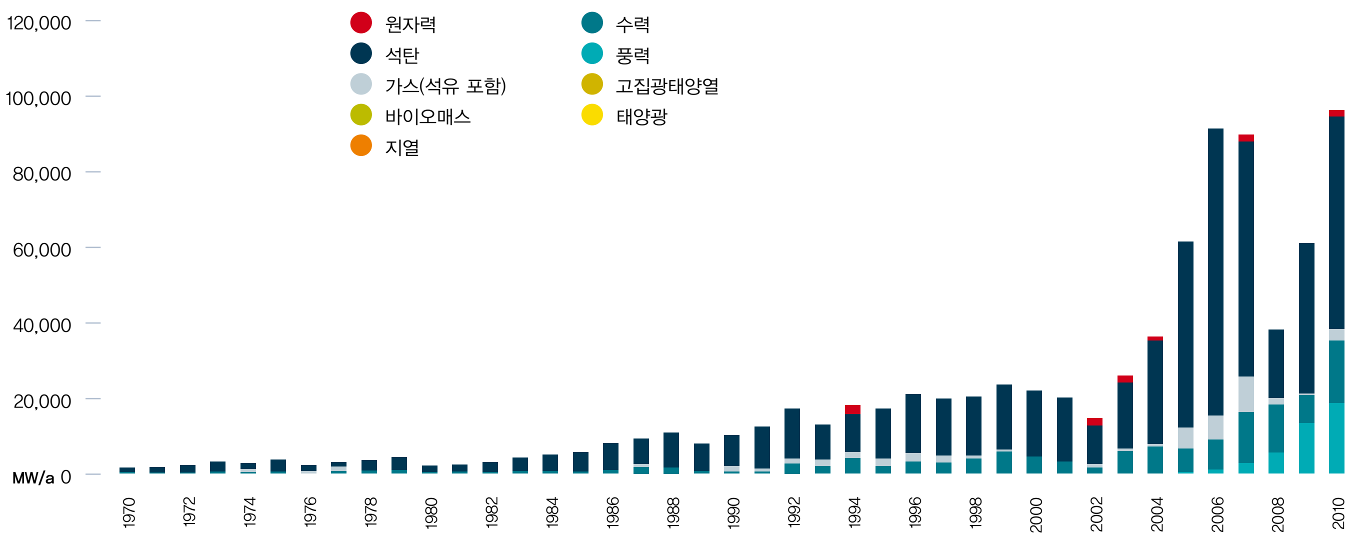


그림 8.5: 중국: 전력발전시장 1970-2010



출처
Platts, IEA, Breyer, Teske.

8.2 세계전력발전 시장점유현황: 재생가능에너지 확대

2000년 이후 풍력시장이 세계전력발전시장에서 차지하는 비중은 점점 더 커져가고 있다. 초기에만 해도 독일, 덴마크, 스페인과 같은 소수의 국가들이 풍력시장을 장악했으나, 현재는 70개 이상의 국가에서 풍력시장에 진출했다. 풍력산업의 뒤를 이어 태양광산업 또한 2005년 이후부터 비슷한 수준의 성장세를 보여주고 있다. 2000년–2010년 사이 새로 건설된 발전소의 26%가 풍력발전 위주의 재생가능에너지 발전소였으며, 42%는 가스발전소였다. 즉, 전 세계에서 새로 건설된 발전소의 2/3가 가스나 재생가능에너지 발전소였고, 약 1/3 정도가 화력발전소였다. 원자력발전의 경우 차지하는 비중이 단지 2%여서 세계시장에서의 존재감은 미미하다. 지난 십 년 동안 새롭게 추가된 재생가능에너지 설비용량은 430,000 MW였다. 한편, 기술운전수명 동안 550억 톤 이상의 이산화탄소를 배출하는 화력발전 용량은 475,000 MW 이었으며, 그중 중국이 차지하는 비중은 78%로 375,000 MW였다.

화력 및 원자력 발전에서 재생가능에너지 및 가스 발전으로 전환하고자 하는 에너지[혁명]은 세계적으로 이미 시작되었다. 화력발전의 비중이 증가하고 있는 유일한 국가인 중국을 제외한 세계시장 현황을 보면 이러한 사실이 더욱 명확해진다. 전체 신규 발전소에서 재생가능에너지 발전은 약 28%, 가스발전은 60%로 이 두 개의 발전이 전체의 88%를 차지한다. 중국을 제외한 세계시장에서의 화력발전의 시장점유율은 10% 정도이다. 2000년–2010년 사이 중국은 350,000 MW이상의 화력발전 용량을 추가하였는데, 이는 EU의 전체 화력발전용량의 두 배에 달하는 규모이다. 그러나 중국은 최근 풍력시장 발전에 박차를 가하고 있으며, 태양광도 수 년 내도 그 뒤를 밟을 것으로 기대된다.

image PLANT NEAR REYKJAVIK WHERE ENERGY IS PRODUCED FROM THE GEOTHERMAL ACTIVITY.

그림 8.6: 한국: 전력발전시장 1970-2010

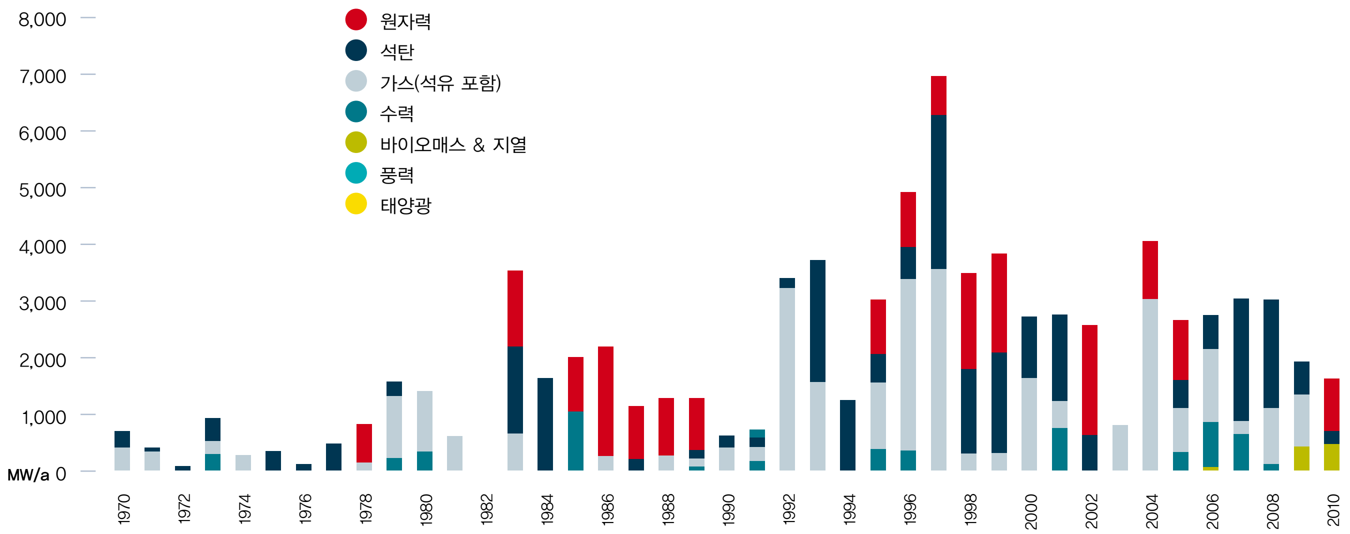


그림 8.7: 한국: 신규전력발전 시장점유현황 2000-2010

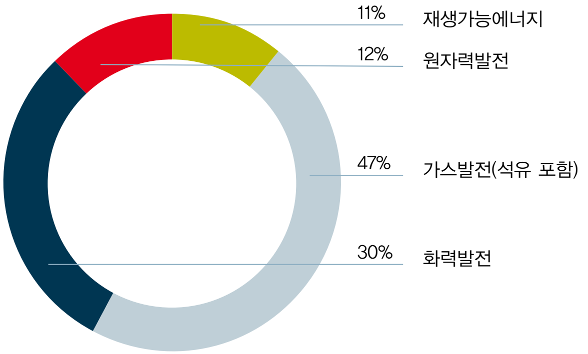
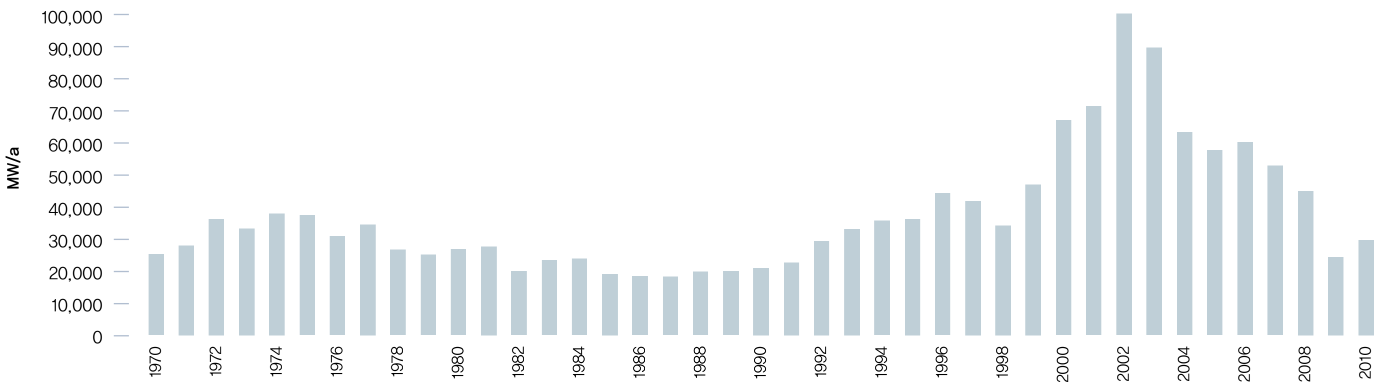
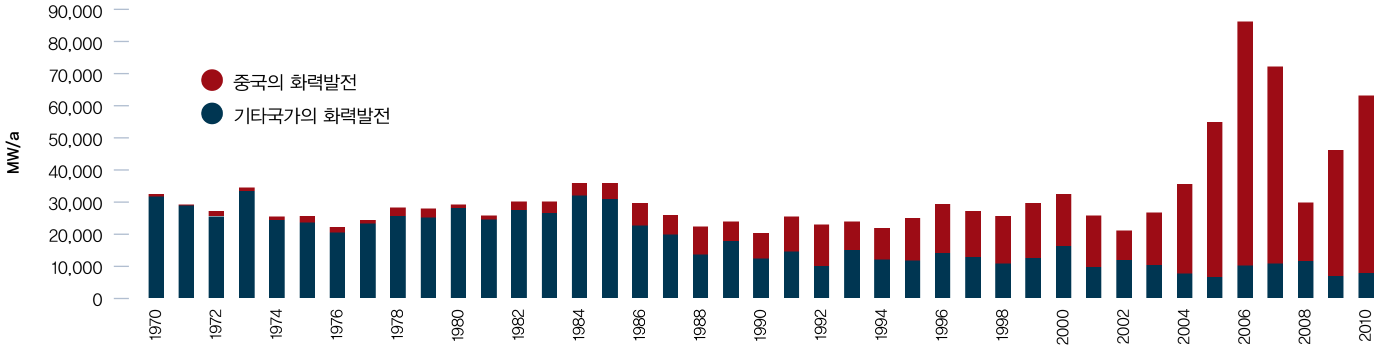


그림 8.8: 기술 별 세계전력발전시장의 변천사

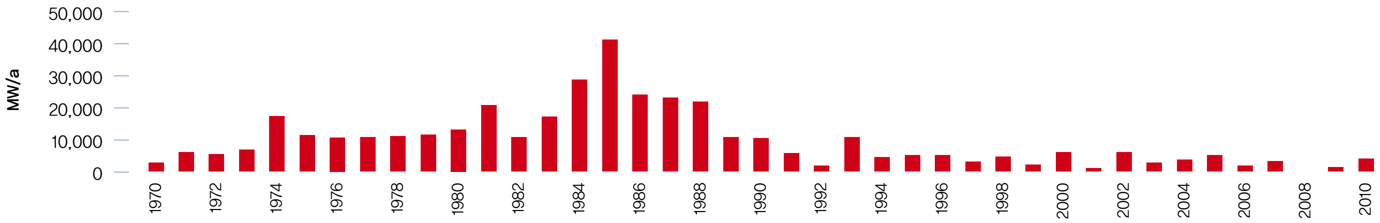
연도별 세계 가스발전시장(석유 포함) 1970–2010



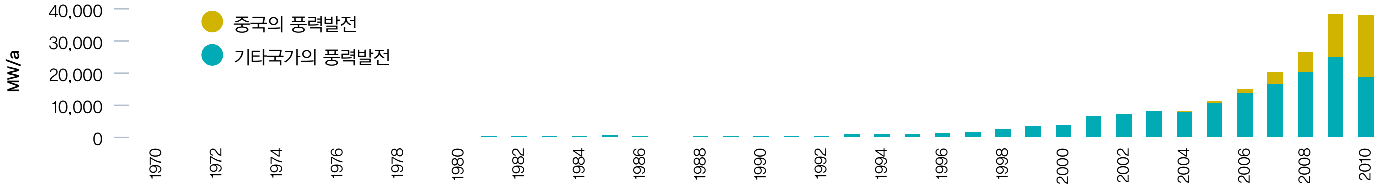
연도별 세계 화력발전시장 1970–2010



연도별 세계 원자력발전시장 1970–2010



연도별 세계 풍력발전시장 1970–2010



연도별 세계 태양광발전시장 1970–2010

9

"비효율적인 조명에 허비되는 에너지를 생산하기 위해 80개의 화력발전소를 밤낮으로 가동하고 있다."

Greenpeace International
Climate Campaign

image COAL FIRED POWER PLANT.
© F. FUXA/DREAMSTIME

한국: 참조 시나리오

표 9.1: 한국: 전력생산

TWh/a	2009	2015	2020	2030	2040	2050
Power plants	**417**	**509**	**611**	**754**	**770**	**790**
Coal	187	192	205	210	159	115
Lignite	7.2	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
Gas	55	70	92	87	62	58
Oil	15	14	14	14	14	14
Diesel	0	0	0	0	0	0
Nuclear	148	206	259	353	420	480
Biomass	0.5	2.4	3.6	4.4	4.6	4.1
Hydro	2.8	3.8	3.9	4.1	4.3	4.5
Wind	0.7	4.0	10	39	52	57
PV	0.6	8.0	14	32	42	45
Geothermal	0	0	0.2	0.6	1.0	1.5
Solar thermal power plants	0	0	0	0	0	0
Ocean energy	0	0.9	1.4	2.4	3.0	3.5
Combined heat & power production	**35**	**44**	**48**	**54**	**60**	**66**
Coal	2.8	2.9	2.9	2.9	2.8	2.5
Lignite	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Gas	27	35	38	43	48	52
Oil	4.7	5.5	5.7	5.9	6.0	6.0
Biomass	0.2	0.6	0.9	1.8	2.9	4.4
Geothermal	0	0	0	0	0	0
Hydrogen	0	0	0	0	0	0
CHP by producer						
Main activity producers	14	20	23	29	33	38
Autoproducers	21	24	24	26	27	28
Total generation	**452**	**553**	**659**	**808**	**830**	**856**
Fossil	299	328	366	371	300	256
Coal	190	195	208	213	162	118
Lignite	7.8	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3
Gas	82	105	130	130	110	110
Oil	20	20	20	20	20	20
Diesel	0	0	0	0	0	0
Nuclear	148	206	259	353	420	480
Hydrogen	0	0	0	0	0	0
Renewables	**4.8**	**20**	**34**	**84**	**110**	**120**
Hydro	2.8	3.8	3.9	4.1	4.3	4.5
Wind	0.7	4.0	10	39	52	57
PV	0.6	8.0	14	32	42	45
Biomass	0.7	3.0	4.5	6.2	7.5	8.5
Geothermal	0	0	0.2	0.6	1.0	1.5
Solar thermal	0	0	0	0	0	0
Ocean energy	0	0.9	1.4	2.4	3.0	3.5
Distribution losses	17	21	25	31	32	33
Own consumption electricity	29	37	44	54	56	58
Electricity for hydrogen production	0	0	0	0	0	0
Final energy consumption (electricity)	**406**	**495**	**589**	**723**	**742**	**766**
Fluctuating RES (PV, Wind, Ocean)	1	13	25	73	97	106
Share of fluctuating RES	0.3%	2.3%	3.9%	9.1%	11.7%	12.3%
RES share	**1.1%**	**3.6%**	**5.2%**	**10.4%**	**13.2%**	**14.0%**

표 9.2: 한국: 열 공급

PJ/a	2009	2015	2020	2030	2040	2050
District heating plants	**121**	**120**	**135**	**148**	**165**	**166**
Fossil fuels	46	46	52	57	63	64
Biomass	75	74	84	92	102	103
Solar collectors	0	0	0	0	0	0
Geothermal	0	0	0	0	0	0
Heat from CHP	**172**	**187**	**207**	**220**	**221**	**225**
Fossil fuels	168	181	199	209	209	210
Biomass	4	6	8	11	12	15
Geothermal	0	0	0	0	0	0
Fuel cell (hydrogen)	0	0	0	0	0	0
Direct heating[1]	**1,371**	**1,708**	**1,926**	**2,151**	**2,383**	**2,513**
Fossil fuels	1,301	1,606	1,797	1,994	2,188	2,293
Biomass	67	100	126	153	190	214
Solar collectors	1	1	1	1	2	2
Geothermal[2]	1	1	2	2	3	4
Total heat supply[1]	**1,664**	**2,016**	**2,269**	**2,520**	**2,769**	**2,904**
Fossil fuels	1,515	1,833	2,048	2,260	2,460	2,567
Biomass	146	181	218	257	304	332
Solar collectors	1	1	1	1	2	2
Geothermal[2]	1	1	2	2	3	4
Fuel cell ((hydrogen)	0	0	0	0	0	0
RES share (including RES electricity)	**9.0%**	**9.1%**	**9.7%**	**10.3%**	**11.1%**	**11.6%**

1) including cooling. 2) including heat pumps

표 9.3: 한국: 이산화탄소 배출량

MILL t/a	2009	2015	2020	2030	2040	2050
Condensation power plants	**210**	**213**	**228**	**222**	**164**	**124**
Coal	171	169	176	172	124	86
Lignite	7	8	8	8	7	7
Gas	21	27	35	33	24	22
Oil	10	10	10	9	9	9
Diesel	0	0	0	0	0	0
Combined heat & power production	**22**	**28**	**28**	**28**	**28**	**27**
Coal	6	5	4	3	2	2
Lignite	2	1	1	1	1	1
Gas	10	17	19	21	22	22
Oil	4	5	4	4	4	3
CO_2 emissions power generation (incl. CHP public)	**231**	**241**	**256**	**250**	**192**	**152**
Coal	178	174	180	175	126	87
Lignite	9	9	9	8	8	8
Gas	31	44	54	54	45	44
Oil & diesel	14	15	14	13	13	13
CO_2 emissions by sector	**501**	**546**	**584**	**604**	**566**	**526**
% of 1990 emissions	210%	228%	244%	253%	237%	220%
Industry	66	87	98	110	119	123
Other sectors	60	67	72	75	78	78
Transport	86	95	99	110	118	116
Power generation (incl. CHP public)	214	223	239	235	179	139
Other conversion	75	74	77	75	73	69
Population (Mill.)	48.0	49.1	49.8	50.3	49.4	47.1
CO_2 emissions per capita (t/capita)	**10.5**	**11.1**	**11.7**	**12.0**	**11.5**	**11.2**

표 9.4: 한국: 설비용량

GW	2009	2015	2020	2030	2040	2050
Power plants	**65**	**82**	**100**	**133**	**141**	**145**
Coal	23	23	25	26	20	15
Lignite	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Gas	15	15	18	17	12	11
Oil	5.6	5.9	5.8	5.7	5.6	5.7
Diesel	0	0	0	0	0	0
Nuclear	18	25	31	42	50	57
Biomass	0.1	0.3	0.5	0.6	0.6	0.6
Hydro	1.6	1.7	1.7	1.8	1.9	2.0
Wind	0.4	2.0	3.8	12	16	17
PV	0.5	7.2	12	26	32	35
Geothermal	0	0	0.03	0.1	0.1	0.2
Solar thermal power plants	0	0	0	0	0	0
Ocean energy	0	0.3	0.4	0.7	0.9	1.0
Combined heat & power production	**8.1**	**9.7**	**10.6**	**12.3**	**13.7**	**14.7**
Coal	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6
Lignite	0.14	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07
Gas	5.8	7.3	8.0	9.8	11	12
Oil	1.4	1.6	1.6	1.4	1.4	1.3
Biomass	0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8
Geothermal	0	0	0	0	0	0
Hydrogen	0	0	0	0	0	0
CHP by producer						
Main activity producers	4.1	5.4	6.2	7.3	8.3	9.1
Autoproducers	4.0	4.3	4.4	5.0	5.4	5.6
Total generation	**73**	**91**	**110**	**146**	**154**	**160**
Fossil	53	55	61	61	52	46
Coal	24	24	26	27	21	15
Lignite	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Gas	21	23	26	26	23	23
Oil	7.0	7.4	7.3	7.1	7.0	7.0
Diesel	0	0	0	0	0	0
Nuclear	18	25	31	42	50	57
Hydrogen	0	0	0	0	0	0
Renewables	**2.6**	**12**	19	42	52	56
Hydro	1.6	1.7	1.7	1.8	1.9	2.0
Wind	0.4	2.0	3.8	12	16	17
PV	0.5	7.2	12	26	32	35
Biomass	0.1	0.4	0.7	0.9	1.2	1.3
Geothermal	0	0	0.03	0.1	0.1	0.2
Solar thermal	0	0	0	0	0	0
Ocean energy	0	0.3	0.4	0.7	0.9	1.0
Fluctuating RES (PV, Wind, Ocean)	0.9	9.4	16.4	39	49	53
Share of fluctuating RES	1.3%	10.4%	14.9%	27.0%	31.9%	33.0%
RES share	**3.6%**	**12.7%**	**17.1%**	**28.9%**	**34.0%**	**35.2%**

표 9.5: 한국: 1차에너지 수요

PJ/a	2009	2015	2020	2030	2040	2050
Total	**9,614**	**11,090**	**12,378**	**14,078**	**14,700**	**15,151**
Fossil	**7,792**	**8,500**	**9,075**	**9,481**	**9,181**	**8,844**
Hard coal	2,708	2,731	2,868	2,860	2,379	1,984
Lignite	80	78	78	77	74	71
Natural gas	1,151	1,523	1,803	1,917	1,862	1,893
Crude oil	3,853	4,168	4,326	4,628	4,866	4,896
Nuclear	**1,612**	**2,244**	**2,830**	**3,852**	**4,583**	**5,237**
Renewables	**210**	**346**	**472**	**746**	**936**	**1,070**
Hydro	10	14	14	15	15	16
Wind	2	14	36	140	187	205
Solar	3	30	52	117	153	164
Biomass	193	284	357	442	532	615
Geothermal	1	1	8	23	38	57
Ocean Energy	0	3	5	9	11	13
RES share	**2.2%**	**3.1%**	**3.8%**	**5.3%**	**6.4%**	**7.1%**

표 9.6: 한국: 최종 에너지 수요

PJ/a	2009	2015	2020	2030	2040	2050
Total (incl. non-energy use)	**6,189**	**7,172**	**7,926**	**8,986**	**9,555**	**9,887**
Total (energy use)	**4,639**	**5,528**	**6,232**	**7,189**	**7,649**	**7,866**
Transport	**1,226**	**1,363**	**1,430**	**1,611**	**1,772**	**1,861**
Oil products	1,172	1,277	1,323	1,460	1,553	1,505
Natural gas	37	52	59	79	104	138
Biofuels	9	25	38	59	86	131
Electricity	8	9	10	12	29	87
RES electricity	0	0	0	1	4	12
Hydrogen	0	0	0	0	0	0
RES share Transport	**0.7%**	**1.9%**	**2.7%**	**3.8%**	**5.1%**	**7.7%**
Industry	**1,673**	**2,164**	**2,560**	**2,961**	**3,154**	**3,242**
Electricity	718	918	1,099	1,278	**1,303**	1,316
RES electricity	8	33	57	133	**172**	185
District heat	211	215	243	263	**274**	277
RES district heat	29	58	67	75	**82**	85
Coal	203	293	347	405	**457**	484
Oil products	211	309	361	421	**463**	479
Gas	266	341	404	476	**520**	540
Solar	0	0	0	0	**0**	0
Biomass and waste	64	88	107	119	**138**	145
Geothermal	0	0	0	0	**0**	0
Hydrogen	0	0	0	0	**0**	0
RES share Industry	**6.0%**	**8.3%**	**9.0%**	**11.0%**	**12.5%**	**12.8%**
Other Sectors	**1,741**	**2,000**	**2,243**	**2,618**	**2,722**	**2,763**
Electricity	735	854	1,014	1,313	1,339	1,353
RES electricity	8	30	52	137	177	190
District heat	78	88	95	100	106	108
RES district heat	16	33	35	37	40	40
Coal	37	26	23	21	21	23
Oil products	365	446	477	502	525	524
Gas	503	549	586	612	639	645
Solar	1	1	1	1	2	2
Biomass and waste	20	35	46	66	88	107
Geothermal	1	1	1	2	2	3
RES share Other Sectors	**2.7%**	**5.0%**	**6.1%**	**9.3%**	**11.4%**	**12.3%**
Total RES	**156**	**305**	**405**	**631**	**792**	**898**
RES share	**3.4%**	**5.5%**	**6.5%**	**8.8%**	**10.4%**	**11.4%**
Non energy use	**1,549**	**1,644**	**1,693**	**1,796**	**1,906**	**2,022**
Oil	1,534	1,626	1,674	1,776	1,885	1,999
Gas	0	0	0	0	0	0
Coal	16	18	19	20	21	22

한국: 기본 에너지[혁명] 시나리오

표 9.7: 한국: 전력생산

TWh/a	2009	2015	2020	2030	2040	2050
Power plants	**417**	**465**	**477**	**473**	**451**	**421**
Coal	187	183	178	136	86	19
Lignite	7.2	6.0	4.0	0	0	0
Gas	55	82	101	98	87	63
Oil	15	13	11	1.0	0	0
Diesel	0	0	0	0	0	0
Nuclear	148	152	133	76	0	0
Biomass	0.5	3.7	4.6	4.9	5.0	5.0
Hydro	2.8	4.0	4.3	4.9	5.5	6.1
Wind	0.7	8.0	20	89	162	215
PV	0.6	12	18	57	95	100
Geothermal	0	0.1	0.3	1.7	3.9	5.2
Solar thermal power plants	0	0	0	0	0	0
Ocean energy	0	1.4	2.4	4.4	6.0	7.5
Combined heat & power production	**35**	**45**	**51**	**67**	**80**	**90**
Coal	2.8	2.8	2.6	0	0	0
Lignite	0.6	0.3	0	0	0	0
Gas	27	35	39	37	38	37
Oil	4.7	5.2	4.8	3.7	2.0	0
Biomass	0.2	1.3	4.9	23	35	42
Geothermal	0	0.1	0.2	2.3	6.1	11
Hydrogen	0	0	0	0	0	0
CHP by producer						
Main activity producers	14	20	23	29	33	38
Autoproducers	21	25	28	38	47	52
Total generation	**452**	**510**	**528**	**540**	**531**	**511**
Fossil	299	327	340	276	213	119
Coal	190	186	180	136	86	19
Lignite	7.8	6.3	4.0	0	0	0
Gas	82	117	140	135	125	100
Oil	20	18	16	4.7	2.0	0
Diesel	0	0	0	0	0	0
Nuclear	148	152	133	76	0	0
Hydrogen	0	0	0	0	0	0
Renewables	**4.8**	**31**	**55**	**187**	**318**	**392**
Hydro	2.8	4.0	4.3	4.9	5.5	6.1
Wind	0.7	8.0	20	89	162	215
PV	0.6	12	18	57	95	100
Biomass	0.7	5.0	10	28	40	47
Geothermal	0	0.2	0.5	4.0	10	16
Solar thermal	0	0	0	0	0	0
Ocean energy	0	1.4	2.4	4.4	6.0	7.5
Distribution losses	17	20	21	23	21	20
Own consumption electricity	29	33	32	23	14	6.8
Electricity for hydrogen production	0	0	0	2	4	7
Final energy consumption (electricity)	**406**	**456**	**475**	**492**	**492**	**477**
Fluctuating RES (PV, Wind, Ocean)	1	21	40	150	263	323
Share of fluctuating RES	0.3%	4.2%	7.7%	27.9%	49.5%	63.1%
RES share	**1.1%**	**6.0%**	**10.4%**	**34.7%**	**59.9%**	**76.6%**
'Efficiency' savings (compared to Ref.)	**0**	**39**	**121**	**261**	**314**	**396**

표 9.8: 한국: 열 공급

PJ/a	2009	2015	2020	2030	2040	2050
District heating plants	**121**	**131**	**139**	**158**	**188**	**173**
Fossil fuels	46	47	43	27	15	3
Biomass	75	82	90	106	124	109
Solar collectors	0	1	5	19	34	43
Geothermal	0	0	1	6	15	17
Heat from CHP	**172**	**192**	**233**	**352**	**372**	**396**
Fossil fuels	168	179	192	156	143	120
Biomass	4	12	39	175	175	179
Geothermal	0	1	2	21	55	97
Fuel cell (hydrogen)	0	0	0	0	0	0
Direct heating1)	**1,371**	**1,570**	**1,608**	**1,486**	**1,236**	**965**
Fossil fuels	1,301	1,447	1,412	1,102	674	328
Biomass	67	106	143	191	218	217
Solar collectors	1	12	32	105	186	223
Geothermal2)	1	5	21	89	159	197
Total heat supply1)	**1,664**	**1,893**	**1,980**	**1,995**	**1,796**	**1,534**
Fossil fuels	1,515	1,673	1,647	1,285	832	452
Biomass	146	200	272	471	516	504
Solar collectors	1	14	37	124	220	266
Geothermal2)	1	6	24	115	228	311
Fuel cell (hydrogen)	0	0	0	0	0	0
RES share (including RES electricity)	**9.0%**	**11.6%**	**16.8%**	**35.6%**	**53.7%**	**70.5%**
'Efficiency' savings (compared to Ref.)	**0**	**123**	**289**	**525**	**973**	**1,370**

1) including cooling. 2) including heat pumps

표 9.9: 한국: 이산화탄소 배출량

MILL t/a	2009	2015	2020	2030	2040	2050
Condensation power plants	**210**	**207**	**203**	**149**	**100**	**38**
Coal	171	161	153	111	67	14
Lignite	7	6	4	0	0	0
Gas	21	31	39	37	33	24
Oil	10	8	7	1	0	0
Diesel	0	0	0	0	0	0
Combined heat & power production	**22**	**28**	**27**	**21**	**19**	**15**
Coal	6	5	4	0	0	0
Lignite	2	1	0	0	0	0
Gas	10	18	20	19	17	15
Oil	4	5	3	2	1	0
CO_2 emissions power generation (incl. CHP public)	**231**	**234**	**229**	**170**	**119**	**53**
Coal	178	166	156	111	67	14
Lignite	9	7	4	0	0	0
Gas	31	49	59	56	51	39
Oil & diesel	14	13	11	3	1	0
CO_2 emissions by sector	**501**	**520**	**504**	**386**	**255**	**120**
% of 1990 emissions	210%	218%	211%	161%	107%	50%
Industry	66	77	74	59	38	21
Other sectors	60	63	60	42	24	11
Transport	86	93	92	81	62	33
Power generation (incl. CHP public)	214	216	212	156	106	44
Other conversion	75	71	66	47	25	11
Population (Mill.)	48.0	49	50	50	49	47
CO_2 emissions per capita (t/capita)	**10.5**	**10.6**	**10.1**	**7.7**	**5.2**	**2.6**

표 9.10: 한국: 설비용량

GW	2009	2015	2020	2030	2040	2050
Power plants	**65**	**82**	**90**	**131**	**170**	**181**
Coal	23	22	22	19	14	5.5
Lignite	0.9	0.7	0.5	0	0	0
Gas	15	18	20	21	21	20
Oil	5.6	5.3	4.8	0.5	0	0
Diesel	0	0	0	0	0	0
Nuclear	18	18	16	9.1	0	0
Biomass	0.1	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8
Hydro	1.6	1.8	1.9	2.2	2.4	2.7
Wind	0.4	3.9	7.4	31	56	72
PV	0.5	11	16	47	73	77
Geothermal	0	0	0.04	0.2	0.5	0.7
Solar thermal power plants	0	0	0	0	0	0
Ocean energy	0	0.4	0.7	1.3	1.7	2.1
Combined heat & power production	**8.1**	**9.8**	**11**	**13**	**15**	**17**
Coal	0.7	0.7	0.6	0.03	0	0
Lignite	0.14	0	0	0	0	0
Gas	5.8	7.3	8.1	8.0	8.2	7.9
Oil	1.4	1.4	1.2	0.8	0.4	0
Biomass	0.0	0.3	1.2	4.1	5.8	7.0
Geothermal	0	0	0.03	0.4	1.0	1.8
Hydrogen	0	0	0	0	0	0
CHP by producer						
Main activity producers	4.1	5.3	6.1	6.4	6.9	7.4
Autoproducers	4.0	4.5	5.0	6.9	8.5	9.3
Total generation	**73**	**92**	**101**	**144**	**185**	**197**
Fossil	53	56	58	49	44	33
Coal	24	23	23	19	14	5.5
Lignite	1.0	0.8	0.5	0	0	0
Gas	21	25	28	29	30	28
Oil	7.0	6.7	5.9	1.3	0.4	0
Diesel	0	0	0	0	0	0
Nuclear	18	18	16	9.1	0	0
Hydrogen	0	0	0	0	0	0
Renewables	**2.6**	**18**	**28**	**86**	**141**	**164**
Hydro	1.6	1.8	1.9	2.2	2.4	2.7
Wind	0.4	3.9	7.4	31	56	72
PV	0.5	11	16	47	73	77
Biomass	0.1	0.8	1.8	4.8	6.5	7.8
Geothermal	0	0	0.07	0.6	1.6	2.5
Solar thermal	0	0	0	0	0	0
Ocean energy	0	0.4	0.7	1.3	1.7	2.1
Fluctuating RES (PV, Wind, Ocean)	0.9	15	24	79	130	151
Share of fluctuating RES	1.3%	16.6%	23.5%	54.7%	70.4%	76.6%
RES share	**3.6%**	**19.4%**	**27.2%**	**59.9%**	**76.1%**	**83.2%**

표 9.11: 한국: 1차에너지 수요

PJ/a	2009	2015	2020	2030	2040	2050
Total	**9,614**	**10,330**	**10,347**	**9,592**	**8,195**	**6,917**
Fossil	**7,792**	**8,231**	**8,198**	**6,975**	**5,596**	**3,882**
Hard coal	2,708	2,593	2,484	1,895	1,300	386
Lignite	80	60	36	0	0	0
Natural gas	1,151	1,553	1,740	1,636	1,334	1,047
Crude oil	3,853	4,025	3,938	3,444	2,962	2,450
Nuclear	**1,612**	**1,659**	**1,451**	**833**	**0**	**0**
Renewables	**210**	**440**	**698**	**1,784**	**2,599**	**3,035**
Hydro	10	14	15	18	20	22
Wind	2	29	72	320	583	774
Solar	3	57	102	329	562	626
Biomass	193	324	466	891	945	901
Geothermal	1	11	33	210	468	684
Ocean Energy	0	5	9	16	22	27
RES share	**2.2%**	**4.3%**	**6.7%**	**18.6%**	**31.7%**	**43.9%**
'Efficiency' savings (compared to Ref.)	**0**	**760**	**2,031**	**4,486**	**6,505**	**8,234**

표 9.12: 한국: 최종 에너지 수요

PJ/a	2009	2015	2020	2030	2040	2050
Total (incl. non-energy use)	**6,189**	**6,852**	**7,041**	**7,021**	**6,545**	**5,872**
Total (energy use)	**4,639**	**5,208**	**5,347**	**5,224**	**4,639**	**3,851**
Transport	**1,226**	**1,343**	**1,360**	**1,331**	**1,202**	**1,021**
Oil products	1,172	1,257	1,234	1,077	801	402
Natural gas	37	51	57	65	71	75
Biofuels	9	26	37	61	61	51
Electricity	8	10	32	122	258	473
RES electricity	0	1	3	42	155	362
Hydrogen	0	0	0	6	11	19
RES share Transport	**0.7%**	**1.9%**	**3.0%**	**7.9%**	**18.5%**	**41.9%**
Industry	**1,673**	**1,984**	**2,075**	**2,086**	**1,834**	**1,527**
Electricity	718	848	874	858	773	651
RES electricity	8	51	91	298	463	499
District heat	211	225	250	331	352	353
RES district heat	29	69	93	215	257	282
Coal	203	252	239	142	35	0
Oil products	211	247	237	164	73	5
Gas	266	310	334	396	349	228
Solar	0	10	23	45	71	85
Biomass and waste	64	92	112	127	132	131
Geothermal	0	1	5	23	50	72
Hydrogen	0	0	0	0	0	0
RES share Industry	**6.0%**	**11.2%**	**15.6%**	**33.9%**	**53.0%**	**70.1%**
Other Sectors	**1,741**	**1,880**	**1,913**	**1,808**	**1,602**	**1,303**
Electricity	735	784	804	793	739	593
RES electricity	8	47	83	275	443	454
District heat	78	93	117	172	201	209
RES district heat	16	39	55	120	158	178
Coal	37	14	0	0	0	0
Oil products	365	419	390	236	112	16
Gas	503	526	522	402	235	141
Solar	1	3	9	60	115	138
Biomass and waste	20	39	61	103	127	123
Geothermal	1	3	10	43	73	84
RES share Other Sectors	**2.7%**	**6.9%**	**11.4%**	**33.2%**	**57.1%**	**75.0%**
Total RES	**156**	**378**	**583**	**1,413**	**2,111**	**2,475**
RES share	**3.4%**	**7.3%**	**10.9%**	**27.1%**	**45.5%**	**64.3%**
Non energy use	**1,549**	**1,644**	**1,693**	**1,796**	**1,906**	**2,022**
Oil	1,534	1,626	1,674	1,776	1,885	1,999
Gas	0	0	0	0	0	0
Coal	16	18	19	20	21	22

한국: 심화 에너지[혁명] 시나리오

표 9.13: 한국: 전력생산

	2009	2015	2020	2030	2040	2050
Power plants	**417**	**466**	**490**	**491**	**481**	**433**
Coal	187	174	167	139	53	0
Lignite	7.2	6.0	4.0	0	0	0
Gas	55	92	106	107	93	25
Oil	15	13	11	0	0	0
Diesel	0	0	0	0	0	0
Nuclear	148	152	133	0	0	0
Biomass	0.5	3.7	9.2	6.0	6.0	6.0
Hydro	2.8	4.0	4.3	5.5	6.1	7.0
Wind	0.7	8.0	30	143	202	255
PV	0.6	12	23	79	102	115
Geothermal	0	0.1	0.3	4.6	7.4	9.9
Solar thermal power plants	0	0	0	0	0	0
Ocean energy	0	1.4	2.4	6.4	11	15
Combined heat & power production	**35**	**45**	**52**	**69**	**84**	**95**
Coal	2.8	2.8	2.6	0	0	0
Lignite	0.6	0.3	0	0	0	0
Gas	27	35	39	38	32	25
Oil	4.7	5.2	4.8	3.7	0.8	0
Biomass	0.2	1.3	5.3	25	43	55
Geothermal	0	0.1	0.2	2.4	7.6	12
Hydrogen	0	0	0	0.3	1.2	2.1
CHP by producer						
Main activity producers	14	20	23	29	33	38
Autoproducers	21	25	29	40	51	57
Total generation	**452**	**511**	**542**	**560**	**565**	**527**
Fossil	299	328	334	288	179	50
Coal	190	177	169	139	53	0
Lignite	7.8	6.3	4.0	0	0	0
Gas	82	127	145	145	125	50
Oil	20	18	16	3.7	0.8	0
Diesel	0	0	0	0	0	0
Nuclear	148	152	133	0	0	0
Hydrogen	0	0	0	0.3	1.2	2.1
Renewables	**4.8**	**31**	**75**	**272**	**385**	**475**
Hydro	2.8	4.0	4.3	5.5	6.1	7.0
Wind	0.7	8.0	30	143	202	255
PV	0.6	12	23	79	102	115
Biomass	0.7	5.0	15	31	49	61
Geothermal	0	0.2	0.5	7.0	15	22
Solar thermal	0	0	0	0	0	0
Ocean energy	0	1.4	2.4	6.4	11	15
Distribution losses	17	20	21	23	21	20
Own consumption electricity	29	33	32	21	12	3.8
Electricity for hydrogen production	0	0	0	4	11	17
Final energy consumption (electricity)	**406**	**457**	**489**	**512**	**521**	**486**
Fluctuating RES (PV, Wind, Ocean)	1	21	55	228	315	385
Share of fluctuating RES	0.3%	4.2%	10.2%	40.8%	55.7%	73.0%
RES share	**1.1%**	**6.0%**	**13.8%**	**48.5%**	**68.1%**	**90.1%**
'Efficiency' savings (compared to Ref.)	**0**	**39**	**121**	**261**	**314**	**396**

표 9.14: 한국: 열 공급

PJ/a	2009	2015	2020	2030	2040	2050
District heating plants	**121**	**131**	**140**	**150**	**188**	**166**
Fossil fuels	46	47	44	28	15	3
Biomass	75	82	91	99	123	104
Solar collectors	0	1	5	18	34	41
Geothermal	0	0	1	6	15	17
Heat from CHP	**172**	**192**	**241**	**373**	**414**	**432**
Fossil fuels	168	179	193	156	117	82
Biomass	4	12	45	194	225	243
Geothermal	0	1	2	22	69	99
Fuel cell (hydrogen)	0	0	0	1	4	6
Direct heating[1)]	**1,371**	**1,571**	**1,599**	**1,472**	**1,194**	**937**
Fossil fuels	1,301	1,440	1,353	984	501	100
Biomass	67	105	162	237	268	257
Solar collectors	1	16	51	137	209	252
Geothermal[2)]	1	10	34	114	210	315
Hydrogen	0	0	0	0	6	12
Total heat supply[1)]	**1,664**	**1,893**	**1,980**	**1,995**	**1,796**	**1,534**
Fossil fuels	1,515	1,666	1,590	1,167	634	186
Biomass	146	199	298	531	616	605
Solar collectors	1	17	56	154	243	294
Geothermal[2)]	1	11	37	142	294	431
Fuel cell (hydrogen)	0	0	0	1	10	19
RES share (including RES electricity)	**9.0%**	**12.0%**	**19.7%**	**41.5%**	**64.6%**	**87.8%**
'Efficiency' savings (compared to Ref.)	**0**	**123**	**288**	**525**	**972**	**1,370**

1) including cooling. 2) including heat pumps

표 9.15: 한국: 이산화탄소 배출량

MILL t/a	2009	2015	2020	2030	2040	2050
Condensation power plants	**210**	**203**	**195**	**155**	**77**	**9**
Coal	171	153	143	114	41	0
Lignite	7	6	4	0	0	0
Gas	21	35	40	41	36	9
Oil	10	8	7	0	0	0
Diesel	0	0	0	0	0	0
Combined heat & power production	**22**	**28**	**27**	**21**	**15**	**10**
Coal	6	5	3	0	0	0
Lignite	2	1	0	0	0	0
Gas	10	18	20	19	15	10
Oil	4	5	3	2	0	0
CO_2 emissions power generation (incl. CHP public)	**231**	**230**	**222**	**175**	**92**	**20**
Coal	178	158	147	114	41	0
Lignite	9	7	4	0	0	0
Gas	31	53	61	60	50	20
Oil & diesel	14	13	11	2	0	0
CO_2 emissions by sector	**501**	**510**	**472**	**359**	**188**	**44**
% of 1990 emissions	210%	213%	197%	150%	79%	19%
Industry	66	77	74	57	31	10
Other sectors	60	63	55	33	15	6
Transport	86	93	85	69	43	12
Power generation (incl. CHP public)	214	212	204	161	82	13
Other conversion	75	66	53	39	18	4
Population (Mill.)	48.0	49	50	50	49	47
CO_2 emissions per capita (t/capita)	**10.5**	**10.4**	**9.5**	**7.1**	**3.8**	**0.9**

표 9.16: 한국: 설비용량

GW	2009	2015	2020	2030	2040	2050
Power plants	**65**	**83**	**98**	**169**	**195**	**207**
Coal	23	21	21	22	13	0
Lignite	0.9	0.7	0.5	0	0	0
Gas	15	20	21	23	23	21
Oil	5.6	5.7	5.5	0	0	0
Diesel	0	0	0	0	0	0
Nuclear	18	18	16	0	0	0
Biomass	0.1	0.5	1.2	0.8	0.9	1.0
Hydro	1.6	1.8	1.9	2.4	2.7	3.1
Wind	0.4	3.9	10	54	73	89
PV	0.5	11	20	65	78	88
Geothermal	0	0.02	0.04	0.6	1.0	1.3
Solar thermal power plants	0	0	0	0	0	0
Ocean energy	0	0.4	0.7	1.8	3.0	4.3
Combined heat & power production	**8.1**	**9.8**	**11**	**14**	**16**	**17**
Coal	0.7	0.7	0.6	0	0	0
Lignite	0.14	0	0	0	0	0
Gas	5.8	7.4	8.3	8.2	7.1	5.7
Oil	1.4	1.4	1.2	0.8	0.2	0
Biomass	0.0	0.3	1.2	4.4	7.3	9.3
Geothermal	0	0.01	0.03	0.4	1.3	2.1
Hydrogen	0	0	0	0.1	0.2	0.4
CHP by producer						
Main activity producers	4.1	5.4	6.2	6.6	6.9	7.4
Autoproducers	4.0	4.5	5.2	7.3	9.2	10
Total generation	**73**	**93**	**110**	**183**	**211**	**225**
Fossil	53	57	58	54	43	26
Coal	24	22	21	22	13	0
Lignite	1.0	0.8	0.5	0	0	0
Gas	21	27	29	31	30	26
Oil	7.0	7.1	6.6	0.8	0.2	0
Diesel	0	0	0	0	0	0
Nuclear	18	18	16	0	0	0
Hydrogen	0	0	0	0.1	0.2	0.4
Renewables	**2.6**	**18**	**36**	**129**	**167**	**198**
Hydro	1.6	1.8	1.9	2.4	2.7	3.1
Wind	0.4	3.9	10	54	73	89
PV	0.5	11	20	65	78	88
Biomass	0.1	0.8	2.5	5.2	8.1	10
Geothermal	0	0.03	0.07	1.0	2.3	3.4
Solar thermal	0	0	0	0	0	0
Ocean energy	0	0.4	0.7	1.8	3.0	4.3
Fluctuating RES (PV, Wind, Ocean)	0.9	15	31	120	154	181
Share of fluctuating RES	1.3%	16.3%	28.4%	65.8%	73.1%	80.7%
RES share	**3.6%**	**19.1%**	**32.5%**	**70.5%**	**79.3%**	**88.1%**

표 9.17: 한국: 1차에너지 수요

PJ/a	2009	2015	2020	2030	2040	2050
Total	**9,614**	**10,310**	**10,265**	**9,064**	**8,033**	**6,513**
Fossil	**7,792**	**8,202**	**7,946**	**6,720**	**4,808**	**2,711**
Hard coal	2,708	2,503	2,381	1,892	992	22
Lignite	80	60	36	0	0	0
Natural gas	1,151	1,617	1,759	1,708	1,246	532
Crude oil	3,853	4,022	3,770	3,121	2,570	2,157
Nuclear	**1,612**	**1,659**	**1,451**	**0**	**0**	**0**
Renewables	**210**	**448**	**869**	**2,344**	**3,224**	**3,803**
Hydro	10	14	15	20	22	25
Wind	2	29	108	515	727	918
Solar	3	61	139	441	621	708
Biomass	193	324	544	993	1,119	1,092
Geothermal	1	14	54	352	698	1,006
Ocean Energy	0	5	9	23	38	54
RES share	**2.2%**	**4.3%**	**8.5%**	**25.9%**	**40.1%**	**58.4%**
'Efficiency' savings (compared to Ref.)	**0**	**780**	**2,113**	**5,015**	**6,667**	**8,637**

표 9.18: 한국: 최종 에너지 수요

PJ/a	2009	2015	2020	2030	2040	2050
Total (incl. non-energy use)	**6,189**	**6,852**	**6,991**	**6,921**	**6,375**	**5,592**
Total (energy use)	**4,639**	**5,208**	**5,297**	**5,124**	**4,469**	**3,571**
Transport	**1,226**	**1,343**	**1,310**	**1,231**	**1,032**	**741**
Oil products	1,172	1,253	1,135	917	547	127
Natural gas	37	51	54	59	58	48
Biofuels	9	25	37	56	55	47
Electricity	8	14	83	191	355	494
RES electricity	0	1	11	93	242	445
Hydrogen	0	0	0	8	17	25
RES share Transport	**0.7%**	**2.0%**	**3.7%**	**12.4%**	**29.9%**	**69.4%**
Industry	**1,673**	**1,984**	**2,075**	**2,086**	**1,834**	**1,527**
Electricity	718	848	874	858	773	651
RES electricity	8	51	120	416	527	587
District heat	211	225	250	337	370	374
RES district heat	29	69	93	222	290	322
Coal	203	252	237	113	0	0
Oil products	211	247	237	157	57	5
Gas	266	310	335	407	325	78
Solar	0	10	23	51	83	102
Biomass and waste	64	92	113	130	139	141
Geothermal	0	1	6	32	81	162
Hydrogen	0	0	0	0	7	13
RES share Industry	**6.0%**	**11.2%**	**17.1%**	**40.8%**	**61.3%**	**86.9%**
Other Sectors	**1,741**	**1,880**	**1,913**	**1,808**	**1,602**	**1,303**
Electricity	735	784	804	793	739	593
RES electricity	8	47	111	385	503	534
District heat	78	93	126	192	229	227
RES district heat	16	39	60	134	189	203
Coal	37	8	0	0	0	0
Oil products	365	420	336	114	28	16
Gas	503	522	507	400	191	49
Solar	1	7	28	86	136	150
Biomass and waste	20	39	85	156	180	162
Geothermal	1	6	29	68	100	108
RES share Other Sectors	**2.7%**	**7.4%**	**16.3%**	**45.8%**	**69.1%**	**88.7%**
Total RES	**156**	**386**	**716**	**1,831**	**2,540**	**2,997**
RES share	**3.4%**	**7.4%**	**13.5%**	**35.7%**	**56.8%**	**83.9%**
Non energy use	**1,549**	**1,644**	**1,693**	**1,796**	**1,906**	**2,022**
Oil	1,534	1,626	1,674	1,776	1,885	1,999
Gas	0	0	0	0	0	0
Coal	16	18	19	20	21	22

한국: 기술별 전체신규투자

표 9.19: 한국: 전체투자

MILLION $	2005-2010	2011-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2011-2050	2011-2050 AVERAGE PER YEAR
Reference scenario							
Conventional (fossil & nuclear)	**31,879**	**153,655**	**134,903**	**101,892**	**122,556**	**513,007**	**12,825**
Renewables	**8,164**	**28,793**	**27,712**	**25,912**	**21,874**	**104,291**	**2,607**
Biomass	524	2,068	1,213	2,488	1,522	7,290	182
Hydro	435	1,529	1,610	1,675	957	5,770	144
Wind	932	2,067	2,218	2,352	2,405	9,043	226
PV	6,272	20,890	21,270	18,004	15,231	75,394	1,885
Geothermal	0	341	542	420	808	2,111	53
Solar thermal power plants							
Ocean energy		1,898	859	974	952	4,683	117
Energy [R]evolution							
Conventional (fossil & nuclear)	**31,879**	**40,904**	**14,574**	**10,107**	**2,508**	**68,093**	**1,702**
Renewables	**8,164**	**47,090**	**76,908**	**86,041**	**81,781**	**291,821**	**7,296**
Biomass	524	7,060	12,355	11,901	14,651	45,967	1,149
Hydro	435	2,142	2,256	2,346	1,485	8,229	206
Wind	932	4,504	11,684	17,989	21,318	55,495	1,387
PV	6,272	29,255	43,641	43,639	32,489	149,025	3,726
Geothermal	0	923	5,266	8,189	9,714	24,091	602
Solar thermal power plants							
Ocean energy		3,207	1,706	1,977	2,124	9,013	225
Advanced Energy [R]evolution							
Conventional (fossil & nuclear)	**31,879**	**40,555**	**16,480**	**8,195**	**643**	**65,873**	**1,647**
Renewables	**8,164**	**56,327**	**123,445**	**83,524**	**127,421**	**390,717**	**9,768**
Biomass	524	9,143	13,226	17,777	17,785	57,932	1,448
Hydro	435	2,142	3,143	2,429	1,799	9,513	238
Wind	932	4,504	32,920	14,605	42,140	94,168	2,354
PV	6,272	36,408	61,634	34,426	50,931	183,399	4,585
Geothermal	0	923	9,234	10,629	10,885	31,670	792
Solar thermal power plants							
Ocean energy		3,207	3,289	3,658	3,881	14,034	351

에너지 [혁명]

– 한국의 지속가능에너지 전망 (한글 요약판)

GREENPEACE

그린피스는 전 지구적인 환경문제와 그 원인들을 밝혀내기 위해 비폭력적이고 창의적으로 대응하는 국제환경단체이다. 전 세계 41개국에 사무소를 두고 있는 비영리단체 그린피스는 약 300만 회원들의 목소리를 대변하고 수백만의 사람들에게 행동을 취할 것을 격려한다. 독립성을 유지하기 위해 그린피스는 정부나 기업으로부터 후원을 받지 않으며, 개인후원자와 독립재단의 기부에만 의존한다.

그린피스는 1971년 미국정부의 핵실험을 반대하기 위해 자원봉사자들이 기자들과 함께 작은 배를 타고 알래스카 서부 암치카로 향하던 그날부터 오늘날까지 환경파괴에 대항하는 캠페인을 벌여왔다. 비폭력적인 방식으로 '현장에서 직접보고 세상에 알린다' 는 그린피스의 전통은 오늘날까지 이어져 그린피스 캠페인의 축이 되고 있다.

그린피스 동아시아지부 (서울사무소)
서울시 마포구 합정동 426-7, 오벨리움빌딩 4층
전화: 02-3144-1994
팩스: 02-6455-1995
이메일: greenpeace.kr@greenpeace.org
www.greenpeace.org/korea/

EREC

2000년에 설립된 유럽재생가능에너지위원회 (EREC)는 바이오에너지, 지열, 해양에너지, 소수력, 태양에너지, 태양열, 풍력 등의 분야에서 활동 중인 유럽 재생가능에너지 산업계와 연구기관의 통괄 조직이다. EREC은 연간 700억 유로의 수입과 550,000 만명을 고용하고 있는 유럽 재생가능에너지 산업계를 대표하고 있다.

EREC은 다음과 같은 비영리 단체들로 구성된 연합체이다. 유럽바이오매스협회 (AEBIOM), 유럽지열에너지위원회 (EGEC), 유럽태양광산업협회 (EPIA), 유럽소수력협회 (ESHA), 유럽태양열산업협회 (ESTIF), 유럽바이오매스산업협회 (EUBIA), 유럽풍력협회 (EWEA), 유럽재생가능에너지연구소협의회 (EUREC Agency), 유럽재생가능에너지연합 (EREF), 유럽해양에너지협회 (EU-OEA), 유럽태양열전기협회 (ESTELA).

EREC European Renewable Energy Council
Renewable Energy House, 63-67 rue d'Arlon
B-1040 Brussels, Belgium
T +32 2 546 1933 F +32 2 546 1934
erec@erec.org www.erec.org

© GREENPEACE/NICK COBBING

image ICE MELTING ON AN ICEBERG ON THE GREENLANDIC COAST. GREENPEACE AND AN INDEPENDENT NASA-FUNDED SCIENTIST COMPLETED MEASUREMENTS OF MELT LAKES ON THE GREENLAND ICE SHEET THAT SHOW ITS VULNERABILITY TO WARMING TEMPERATURES. **front cover images** WIND TURBINES ON JEJU ISLAND © M. TUPIKOV/DREAMSTIME, © M. TUPIKOV/DREAMSTIME, © L. WALLER/ISTOCK.