



세계 저탄소 에너지 체제 달성 방안

노 동 운 에너지경제연구원 선임연구원 (dwroh@keei.re.kr)

1. 서론

인류가 화석에너지 사용을 통해 경제발전을 이룩하고 풍요로운 삶을 영위할 수 있었지만 화석에너지 연소로 인한 온난화는 기후변화를 발생시켜 인류를 위협하는 문제가 되었다. 이러한 위협에 대처하기 위해 유엔을 중심으로 기후변화 속도를 완화시키고 기후변화에 대한 적응능력을 강화하기 위한 노력이 지속되고 있다. 1992년에 체결된 유엔 기후변화협약(UNFCCC)은 인류의 기후변화 대응노력을 규정한 최초의 국제협약이 되었으며, 1997년에 체결된 교토의정서(Kyoto Protocol)는 제1차 공약기간(2008-2012년)에 선진국(부속서 I 국가)의 온실가스 감축목표를 설정하게 되었다. 제2차 공약기간(2013-2020년)에는 교토의정서에 참여하지 않았던 미국을 비롯해서 캐나다, 일본, 러시아가 감축목표를 제시하지 않음으로써 교토의정서 효력이 약화되었다. 선진국에게만 온실가스 감축 의무담을 부여한 교토의정서의 이러한 한계를 극복하기 위한 논의가 진행되어 2015년에는 파리협정(Paris Agreement)이 탄생하게 되었다. 파리협정은 2020년부터 모든 국가가 기후변화 대응노력에 동참하는 틀을 완성한 국제협약이다.

파리협정의 최종 목표는 지구온도 상승을 산업화 이전 대비 2도 보다 훨씬 낮은 수준으로 제한하는 것이다. 파리협정에 의해 모든 국가가 2030년 온실가스 감축목표를 포함한 자발적 기여(INDC)를 유엔에 제출했으나 2도 온도 상승에 필요한 배출 경로를 달성하기 어렵다는 분석이 제기되었다. 2도 목표를 달성하기 위해서는 파리협정에 의한 각국의 온실가스 감축목표를 강화시켜야 한다는 의견이 제시되고 있다. 각국은 파리협정의 감축목표를 달성하기 위해 에너지 효율 개선과 신재생에너지 사용 확대를 비롯한 다양한 저탄소 정책을 추진하고 있으며, 2도 상승 목표를 달성하기 위해서는 이러한 정책을 강화시킬 필요가 있다. 에너지 효율 개선과 신재생에너지 확대는 효과적인 온실가스 감축과 저탄소 에너지 체제 구축의 핵심적인 수단이 되었다.

본 원고는 에너지 효율 개선과 신재생에너지 확대가 세계 저탄소 에너지 체제 구축에 기여하는 잠재력을 분석했다. 즉, 에너지 효율 개선과 신재생에너지 확대와 같은 저탄소 수단이 파리협정의 온실가스 감축목표 달성과 궁극적으로는 저탄소 에너지 체제 구축에 어떻게 기여할 수 있는지를 분석했다. 에너지부문의 이산화탄소 배출량은 세계 온실가스 배출량의 60% 이상을



차지하고 있으며, 다양한 정책을 통해 에너지 공급 및 소비부문에서 이산화탄소 배출을 감소시킬 수 있다는 점에서 본 원고는 연료연소에 의한 이산화탄소 배출(산업공정, 농업, 토지이용(LULUCF), 폐기물부문의 배출량 제외)을 감축하는 방안에 초점을 맞추었다. 현 정책이 유지되는 경우, 파리협정에 의해 각국이 유엔에 제출한 온실가스 감축 목표(INDC)를 달성할 경우, 파리협정이 추구하고 있는 지구온도 2도 이내 상승 목표를 달성할 경우로 구분하여 이산화탄소 배출량을 전망했다. 각각의 경우에 에너지 효율 개선과 신재생 에너지와 같은 저탄소 수단이 온실가스 감축과 저탄소 에너지 체제 구축에 기여하는 정도와 구체적인 저탄소 조치를 분석했다.

2. 세계 온실가스 배출 전망

가. 세계 에너지 수요 전망

연료연소에 의한 이산화탄소 배출 전망은 기본적으로 에너지 수요 전망을 기반으로 이루어진다. 현 정책이 유지되는 경우, 파리협정에 의거하여 각국이 유엔에 제출한 자발적 기여(INDC)의 온실가스 감축 목표를 달성할 경우, 파리협정이 추구하고 있는 장기목표인 산업화 이전 대비 지구온도 2도 이내 상승 목표를 달성하는 경우로 구분하여 세계 1차 에너지 수요를 전망했다.¹⁾ 현 정책이 유지될 경우에는 21세기 말에 지구

온도가 산업화 이전 대비 4도 이상 상승하며, 파리협정의 의한 감축목표 달성 시에는 2.7도 상승할 것으로 예상된다.

세계 1차 에너지 수요 전망은 2016년 현재 각국에서 적용되고 있는 정책이 유지될 경우, 2040년 수요는 2014년 대비 43%(연평균 1.4%) 증가하며, 신재생에너지와 같은 청정에너지 소비는 빠르게 증가하지만 화석연료 소비는 비교적 느리게 증가할 전망이다. 신재생에너지(수력, 바이오, 기타 신재생)는 최근의 비용 급락에 힘입어 태양광과 풍력을 중심으로 발전과 열생산 및 수송부문에서, 천연가스는 미국의 셰일가스 소비 확대 등에 힘입어 신재생에너지와 함께 2040년까지 연평균 1.9%의 속도로 빠르게 증가할 전망이다. 원자력은 중국, 인도, 러시아 등을 중심으로 증가하며(연평균 1.7%), 석탄도 인도와 동남아시아를 중심으로 증가(연평균 1.2%)하는 반면 석유소비는 느리게(연 0.9%) 증가할 전망이다. 화석연료의 소비 비중은 현재(2014년)의 81%에서 2040년에는 79%로 소폭 하락할 전망이다. 경제권역별로는 OECD의 에너지 수요가 2040년까지 연평균 0.2%의 증가에 그치지만, non-OECD의 수요는 연평균 2.0%의 속도로 증가할 전망이다.

파리협정의 의해 유엔에 제출한 자발적 기여(INDC)의 온실가스 감축 목표를 달성할 경우, 2040년의 세계 1차 에너지 수요는 현재(2014년) 대비 31% 증가(연평균 1.0%)할 전망이다. 현 정책 유지 경우에 비해 원자력과 신재생에너지 소비는 증가하지만 화석연료(석탄, 석유, 가스) 소비는 감소하며, 특히 석탄소비가 가

1) 본 원고에서는 IEA(World Energy Outlook 2016)의 에너지 수요 및 이산화탄소 배출전망을 주로 인용했다. 1차 에너지 수요전망은 현 정책이 유지될 경우, 파리협정에 의해 유엔에 제출한 각국의 감축목표(INDC)를 달성할 경우, 산업화 이전 대비 지구온도 2도 상승 목표를 달성할 경우 등 3가지로 구분하여 수요전망을 실시했다. 수요전망의 전제조건은 에너지정책, 경제성장, 인구성장이다. 에너지정책(탄소가격, 보조금 등)의 탄소가격은 현 정책 유지가 가장 낮고 2도 목표가 가장 높게 적용되었으며, 경제성장율과 인구증가율은 3가지 경우에 동일하게 적용되었으나 선진국에서는 증가율이 낮고 개도국에서는 증가율이 높게 적용되었다.



장 크게 감소할 전망이다. 신재생에너지(수력, 바이오, 기타 신재생)는 태양광과 풍력을 중심으로 2040년까지 연평균 2.3%의 빠른 속도로 증가하고, 석유소비는 선진국에서 감소하는데 반해 개도국에서 화물트럭과 항공 및 석유화학산업의 소비 대체가 쉽지 않아 0.4% 속도로 증가할 전망이다.²⁾ 석탄 소비는 연평균 0.2%의 가장 낮은 속도로 증가하고, 천연가스 소비는 발전 부문을 중심으로 비교적 빠르게 증가(연평균 1.5%)할 전망이다. 신재생에너지는 온실가스 감축강화와 비용 하락으로 인해 태양광과 풍력을 중심으로 발전과 열 생산 및 수송부문(도로, 해상, 항공용 연료)에서 소비가 빠르게 증가하여, 2040년에는 발전부문의 37%, 열 생산의 15%, 수송부문 에너지소비의 7%를 차지할 전망이다. 전력생산은 2040년까지 현재 대비 60% 증가하지만 온실가스 배출량은 현재 수준에서 정체됨에 따라 전력의 배출계수는 현재의 0.515CO₂톤/MWh에서 2040년에는 0.335CO₂톤/MWh로 하락할 전망이다. 2015년에 130만대에 이르는 전기자동차는 2040년에 1억 5,000만대로 증가하여 석유소비를 1.3백만b/d를 대체하지만, 배터리 가격이 충분히 하락하지 못해(2015년 \$210/KWh에서 2040년 \$100/KWh로 하락) 화석연료 자동차와 경쟁하기 어려울 전망이다. 현재 81%에 이르는 화석연료의 소비 비중은 2040년에 74%에 이르고, 선진국(OECD)의 에너지 수요는 2040년까지 감소세(-0.1%)로 전환되지만, 개도국(non-OECD)에서는 도시화와 산업화 진전으로 에너지 소비

는 연평균 1.6%로 증가할 전망이다. 2025년까지는 중국이 에너지 소비 증가를 주도하지만 이후에는 인도가 주도하며, 인도와 중국에서는 태양광에너지가 가장 빠르게 증가할 전망이다.³⁾

산업화 이전 대비 지구온도 2도 상승을 달성할 경우, 세계 1차에너지 수요는 2040년에 2014년 대비 9% 증가(연평균 0.3%)에 머물 전망이다. 현 정책 유지의 에너지 수요에 비해 화석연료 소비는 감소하는 반면 원자력과 신재생에너지는 대폭 증가될 전망이다. 신재생에너지(수력, 바이오, 기타 신재생)는 2040년까지 연평균 3.4%의 빠른 속도로 증가하고, 석탄 소비는 감소(연평균 -2.6%)하며 전기자동차와 같은 청정자동차 도입 증가로 인해 석유소비도 감소(연평균 -1.0%)할 것이다. 천연가스 소비는 2030년까지는 증가한 이후에는 정체되어 2040년까지 연평균 0.5% 증가에 머무를 전망이다. 화석연료에 대한 보조금 폐지로 신재생에너지는 화석연료와의 가격 경쟁력을 확보하고⁴⁾, 온실가스 감축 목표가 추가적으로 강화됨에 따라 신재생에너지의 비용이 더욱 빠른 속도로 하락하여, 2040년에는 발전부문의 58%, 열 생산의 22%, 수송부문 에너지소비(도로, 해상, 항공용 연료)의 20%를 차지할 전망이다. 높은 탄소가격과 CCS 도입(주로 중국을 중심으로 430GW의 화석연료 발전설비에 CCS 도입) 및 원자력 확대로 전력의 배출계수는 2014년의 0.515CO₂톤/MWh에서 2040년에는 0.08CO₂톤/MWh까지 하락할 전망이다. 전기자동차는 연비와 배

2) 석유소비는 아시아지역에서 빠르게 증가할 전망이며, 미국의 셰일석유(tight oil) 생산은 2020년대에 말에 정점(6백만b/d)에 이르지만 연비개선과 연료전환으로 미국의 석유 수입은 2040년까지 감소할 전망이다.

3) 현재 약 12억의 인구가 전기를 사용하지 못하고 있으며, 2040년에는 아프리카지역에서 5억명 이상의 인구가 전기에너지를 사용하지 못할 전망이다. 현재 약 27억명에 있고 있는 인구가 요리용 에너지로 바이오매스를 사용하고 있는데 2040년에는 약 18억명으로 감소할 전망이다.

4) 신재생에너지에 대한 보조금은 2015년에 \$150십억(대부분 발전부문에 적용), 화석연료에 대한 보조금은 2015년에 \$325십억에 이르렀는데, 화석연료 보조금은 감소하는 추이다.



〈표 1〉 시나리오별 세계 1차 에너지 수요 전망

(단위: 백만 TOE)

구분	2014	현 정책 유지		파리협정 감축목표		2도 상승	
		2040	증가율 (2014-2040)	2040	증가율 (2014-2040)	2040	증가율 (2014-2040)
- 석탄	3,926	5,327	1.2%	4,140	0.2%	2,000	-2.6%
- 석유	4,266	5,402	0.9%	4,775	0.4%	3,326	-1.0%
- 가스	2,893	4,718	1.9%	4,313	1.5%	3,301	0.5%
- 원자력	662	1,032	1.7%	1,181	2.3%	1,590	3.4%
- 수력	335	515	1.7%	536	1.8%	593	2.2%
- 바이오	1,421	1,834	1.0%	1,883	1.1%	2,310	1.9%
- 기타 신재생	181	809	5.9%	1,037	6.9%	1,759	9.1%
합계	13,684	19,636	1.4%	17,866	1.0%	14,878	0.3%
(화석연료 비중)	81%	79%	-	74%	-	58%	-
(OECD)	5,276	5,583	0.2%	5,077	-0.1%	4,331	-0.8%
(non-OECD)	8,046	13,388	2.0%	12,178	1.6%	10,083	0.9%

자료 : IEA, World Energy Outlook, 2016 및 저자가 일부 작성

출규제 강화로 인해 2040년에 7억대로 증가하여 석유 소비를 6백만b/d 대체할 전망이다. 산업부문의 전동기 효율 개선과 수송부문의 저탄소화가 빠르게 진행되지만 수송부문의 화물트럭과 항공 및 해운용 석유소비 대체에는 한계가 있을 전망이다. 현재 81%에 이르는 화석연료의 소비 비중은 2040년에 58%에 이르고, 선진국의 에너지 수요는 2040년까지 감소세가 확대(-0.8%)되며, 개도국의 수요 증가율은 0.9%까지 하락할 전망이다.

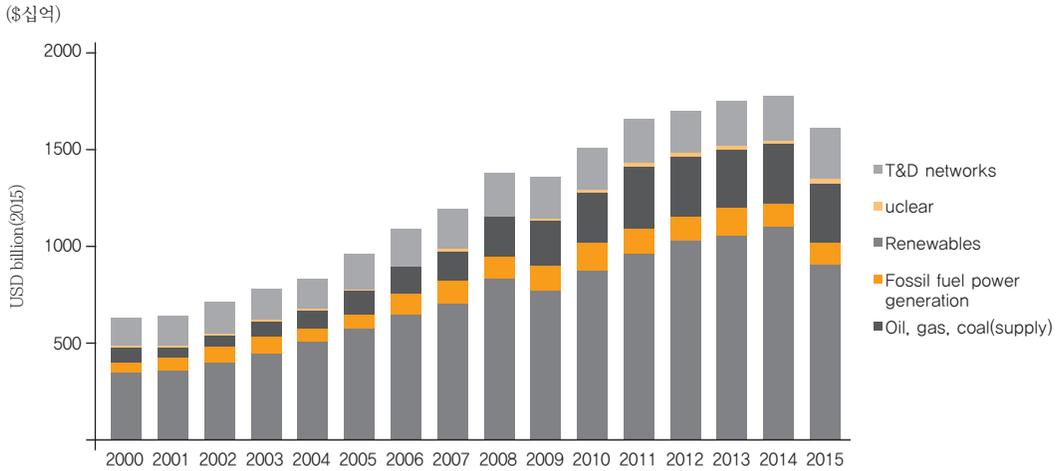
에너지 공급부문에 대한 세계의 투자규모는 2000년 이후 빠르게 증가하고 있는데, 2000년에는 \$600십억을 상회한 수준이었지만 2014년에는 약 \$1,700십억 규모로 증가했다. 화석연료(석유, 가스, 석탄)에 대한 투자와 신재생에너지에 대한 투자가 가장 빠른 속도로 증가했으며, 화석연료에 대한 투자는 2009년과 2015

년에 일시적인 감소세를 겪었으나 신재생에너지에 대한 투자는 지속적으로 증가하고 있다. 최근 원유가격이 낮은 수준을 유지하고 있음에도 불구하고 2015년에는 신재생에너지에 대한 투자가 사상 최대인 \$329십억에 이르렀다. 2010년 이후에는 투자증가세가 이전에 비해 약해졌으나 여전히 화석연료에 대한 투자가 가장 많은 규모를 나타내고 있다. 2010~2015년 기간에 에너지부문에 대한 투자는 연평균 \$1,858십억에 이르렀으며 화석연료에는 \$1,112십억, 신재생에너지에는 \$283십억, 전력망에는 \$229십억, 기타 저탄소에는 \$13십억이 투자되었으며, 에너지 효율개선에는 \$221십억이 투자되었다.

향후 에너지부문에 대한 투자는 기존의 화석연료 위주에서 신재생에너지와 에너지 효율개선 위주로 투자가 빠르게 증가할 것으로 전망된다. 현 정책이 유지



[그림 1] 세계의 에너지 공급부문에 대한 투자 추이



자료 : IRENA, Perspectives for the Energy Transition, 2017

되는 경우에는 2015-2040년 기간의 평균 투자규모는 현재 대비 39% 증가하며, 에너지 공급부문에서는 20% 증가에 그치지만 에너지효율에 대한 투자는 무려 179% 증가할 전망이다. 에너지 공급에서는 전력시스템에 대한 투자뿐만 아니라 화석연료에 대한 투자도 증가하는데 이는 현재 화석연료에 대한 투자가 너무 낮기 때문에 특히 석유의 상류부문에 대한 낮은 투자 추이가 반영된 것이다. 파리협정의 온실가스 감축 목표를 달성하는 경우 화석연료에 대한 투자는 감소하며 대신 신재생에너지와 저탄소 에너지 및 에너지효율에 대한 투자가 크게 증가할 전망이다. 산업화 이전 대비 2도 온도 상승을 달성하는 경우에도 화석에너지에 대한 투자는 감소하는 대신 신재생에너지와 전력 시스템, 에너지효율에 대한 투자는 급증할 전망이다. 현 정책이 유지되는 경우에 2040년까지 에너지 공급부문에 대한 연평균 투자는 \$1,964십억, 2015-2040년 기간의 누적 투자는 \$49,098이며, 에너지 효율에 대한 연

평균 투자는 \$617십억이며 누적투자규모는 \$15,437십억에 이를 전망이다.

나. 연료연소에 의한 이산화탄소 배출 전망

1) 최근의 이산화탄소 배출 추이

2014년부터 2016년까지 연속 3년 동안 세계 경제는 연평균 3% 이상 성장했음에도 불구하고 연료연소에 의한 이산화탄소 배출량은 32십억CO₂톤 수준에서 정체되어 경제와 이산화탄소 배출량의 탈동조화(decoupling) 추이가 나타났다. 최근의 이산화탄소 배출량 정체는 신재생에너지 발전 확대, 석탄에서 천연가스로의 연료전환, 에너지 효율 개선, 경제구조 변화 등이 요인으로 작용했다.

2014년의 세계 연료연소에 의한 이산화탄소 배출량은 32.4십억CO₂톤으로서 전년 대비 0.8% 증가(2.5



〈표 2〉 시나리오별 에너지부문 투자 규모

(단위 : 2015년 \$십억)

구분	2010-2015 연평균	현 정책 유지		파리협정 목표		2도 상승	
		2015-2040 연평균	기간 증감 (2014/2040)	2015-2040 연평균	기간 증감 (2014/2040)	2015-2040 연평균	기간 증감 (2014/2040)
- 화석연료	1,112	1,314	18%	1,065	-4%	691	-38%
- 신재생에너지	283	245	-13%	299	6%	503	78%
- 전력시스템	229	354	55%	322	41%	288	26%
- 기타 저탄소	13	50	285%	58	346%	114	777%
에너지공급계	1,637	1,964	20%	1,744	7%	1,596	-3%
에너지효율	221	617	179%	919	316%	1,402	534%
투자 총계	1,858	2,581	39%	2,663	43%	2,998	61%

자료 : IEA, World Energy Outlook, 2016

역CO₂톤)에 그쳤다. 이러한 증가율은 2000년 이후 가장 낮은 수준이며 2000년 이후 평균 증가율(연평균 2.4%)의 약 30% 수준에 불과하다.⁵⁾ 부속서 I 국가의 이산화탄소 배출량은 석탄과 가스 사용 감소로 1.8% 감소했으나 비부속서 I 국가의 배출량은 석탄과 석유 및 가스사용 증가로 2.5% 증가했다. 부속서 I 국가는 석탄 소비에서 1.3억tCO₂, 가스 소비에서 1억tCO₂ 등 총 2.3억tCO₂ 감소했으나, 비부속서 I 국가는 석탄 소비에서 약 2.5억tCO₂, 석유와 가스에서 각각 1억tCO₂ 등 4.5억tCO₂ 증가했다.

2016년에 세계 경제는 3.1% 성장했으나 연료연소에 의한 이산화탄소 배출량은 32.1십억CO₂톤(잠정치)에 이르러 전년과 비슷한 수준을 유지하여 2014년 이후 3년 연속 정체수준을 나타냈다. 세계 최대 배출국인 중국과 미국의 배출량 감소와 유럽의 배출량 정체

가 나머지 지역의 배출량 증가를 상쇄했다. 미국의 경제는 1.6% 성장했으나 발전부문에서 셰일가스의 소비가 증가하고 신재생에너지가 석탄발전을 대체함으로써 이산화탄소 배출량이 0.16십억CO₂톤 감소(-3.0%)했다. 중국 경제는 6.7% 성장했으나 발전부문에서 신재생에너지와 원자력 및 천연가스 사용이 확대되고 석탄 사용이 축소되었으며, 산업부문과 건물부문에서는 석탄이 천연가스로 대체되면서 이산화탄소 배출량이 1% 감소했다. 중국 전력수요 증가(5.4%)의 2/3는 신재생에너지(주로 수력과 풍력)가 충당하고 나머지는 원자력발전이 충당했다. 세계적인 차원에서는 전력수요 증가의 절반 이상을 신재생에너지발전이 충당했으며, 천연가스화력 발전량이 석탄화력 발전량을 상회했다.⁶⁾

2009년의 경기침체에서 탈피한 이후 세계의 경제 성장과 온실가스(이산화탄소) 배출량의 탈동조화가 진

5) 2014년에 세계 6대 온실가스의 배출량은 52.7십억tCO₂(UNEP, 2016)으로서, 연료연소에 의한 CO₂ 배출량은 전체 온실가스 배출량의 61%를 차지한 것으로 추정된다.

6) 미국의 소비 급감(-11%)과 중국의 소비 감소에 의해 세계 석탄 소비가 감소함에 따라 석탄 소비에서 발생하는 이산화탄소 배출량도 증가폭이 둔화되었을 것으로 추정된다.



〈표 3〉 연료연소에 의한 세계 이산화탄소 배출 추이

(단위 : 백만CO₂톤)

구분	1990	2000	2010	2013	2014	기간 증감율(%)		
						'90~'14	'13~'14	
세 계	20,503	23,145	30,450	32,129	32,381	57.9	0.8	
협약	부속서 I	13,717	13,549	13,220	12,865	12,628	-7.9	-1.8
	비부속서 I	6,156	8,743	16,104	18,159	18,622	202.5	2.6
경제	OECD	10,996	12,451	12,323	12,027	11,856	7.8	-1.4
	비OECD	8,877	9,840	17,001	18,997	19,395	118.5	2.1
다배출 10개국	중 국	2,076	3,086	7,707	8,980	9,087	337.7	1.2
	미 국	4,803	5,642	5,347	5,103	5,176	7.8	1.4
	인 도	530	890	1,594	1,853	2,020	280.8	9.0
	러시아	2,163	1,474	1,529	1,535	1,468	-32.2	-4.4
	일 본	1,041	1,141	1,112	1,230	1,189	14.2	-3.3
	독 일	940	812	759	764	723	-23.1	-5.4
	한 국	232	432	551	572	568	145.0	-0.7
	캐나다	420	516	526	550	555	32.2	0.9
	이 란	171	312	498	535	556	224.9	3.9
	사우디	151	235	419	471	507	235.3	7.6

자료 : IEA, CO₂ Emissions from Fuel Combustions, 2016 edition에 의거하여 작성, 에너지경제연구원, 에너지인사이트 제17-3호(2017.2.6)에서 재인용

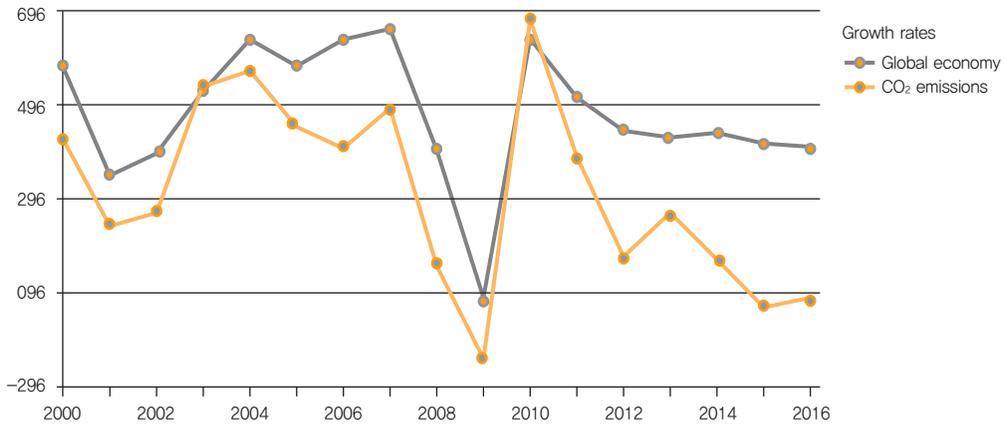
전되고 있는 것으로 평가된다. 연료연소에 의한 세계 이산화탄소 배출량은 1982년, 1992년, 2009년에 감소했는데 이는 마이너스 경제 성장에 의해 발생된 현상이다. 2011년 이후에 세계 경제 성장율은 3% 이상을 유지했으나 이산화탄소 배출량 증가율은 점점 하락하여 최근에는 감소 내지 정체 수준을 나타내고 있다. 특히 최근(2014-2016년)에는 경제성장에도 불구하고 배출량이 감소함으로써 경제성장과 온실가스배출량의 탈동조화가 뚜렷하게 나타나고 있다. 교토의정서에 의한 본격적인 온실가스 감축이 2008년(1차 공약기간 2008-2012년)부터 시작되었고, 2009년에는 역사적인 코펜하겐 논의가 있었으며, 2015년에는 파리협

정 탄생으로 유엔의 기후변화 논의가 세계적인 관심의 대상이 되었다. 따라서 최근의 탈동조화 추이는 기후변화에 관한 일련의 논의에 의해 각국이 온실가스 감축을 통한 저탄소 사회를 본격적으로 추진하기 시작한 신호로 해석될 수 있다.

2015년에 세계 에너지 집약도(에너지/GDP)는 전년 대비 1.8% 하락했는데 이는 과거 10년 동안의 개선율에 비해 두 배 높은 수준이다. 에너지효율 개선과 에너지 집약산업(시멘트, 철강)의 생산활동 감소(특히 중국에서)가 주요 요인으로 작용했다. 에너지 효율 규제 대상은 10년 전에 최종 에너지 소비의 14%에 불과했지만 2015년에는 30%를 상회했다. 에너지의 온실가스



[그림 2] 연료연소에 의한 세계 이산화탄소 배출량 증감율과 경제성장률 추이



자료 : IEA News, "IEA finds CO₂ emissions flat to third straight year even as global economy grew in 2016," 2017.3.17, 에너지경제연구원, 에너지인사이트 제17-12호(2017.4.10.)에서 재인용

집약도(CO₂/에너지) 역시 개선되었는데, 이는 연료전환과 신재생에너지 확대에서 기인된 것으로 풀이된다. 미국에서는 셰일가스 생산확대에 의해 석탄화력발전 대신 천연가스 발전이 확대되었으며, 2015년 세계 발전설비 확대의 50% 이상이 신재생에너지가 차지했고, 전자동차 보급대수는 2015년 말에 130만대에 이르렀다. 2014-2015년 기간에 온실가스 배출량 감소의 2/3는 에너지 집약도 개선에서 비롯되었고 나머지는 신재생에너지 확대에 의한 것으로 해석되고 있다.

2) 세계 이산화탄소 배출 전망

현 정책 유지 시 연료연소(1차 에너지 소비)에 의한 세계 온실가스 배출량은 2014년의 32.2십억CO₂톤에서 2040년에는 43.7십억CO₂톤에 이르러 현재(2014년) 대비 36%(연평균 1.9% 증가) 증가할 전망이다. 에너지원별로는 천연가스 소비에 의한 온실가스 배출량이 가장 빠르게 증가하고(연평균 1.9%), 다음으로는

석탄(연평균 1.1%), 석유(연평균 0.9%) 순으로 증가할 전망이다. 이러한 연료별 온실가스 배출량은 기본적으로 에너지원별 수요전망과 맥을 같이 하고 있다. 발전부문의 온실가스 배출량은 2014년의 13.5십억CO₂톤에서 2040년에는 19.1십억CO₂톤에 이르러 연평균 1.3%의 비교적 빠른 속도로 증가할 전망이다. 발전부문에서는 석유소비(연평균 -2.1%)에 의한 온실가스 배출량은 감소하는 반면 석탄소비(연평균 1.4%)에 의한 배출량과 천연가스소비(연평균 1.9%)에 의한 배출량은 증가할 전망이다. 1차 에너지와 발전부문에서 석탄소비가 증가하는 것은 개도국을 중심으로 가격이 저렴한 석탄소비가 지속적으로 증가하기 때문이다. 최종 에너지 소비에서 발생하는 온실가스 배출량은 현재의 17십억CO₂톤에서 2040년에는 22.6십억CO₂톤에 이르러 연평균 1.1%의 속도로 증가할 전망이다. 선진국(OECD)의 이산화탄소 배출량은 2040년까지 감소(연평균 -0.3%)하는 반면 개도국(non-OECD) 배출량은 증가(연평균 1.8%)할 전망이다.



세계 저탄소 에너지 체제 달성 방안

파리협정의 감축목표(INDC)를 달성할 경우에는 연료연소에 의한 온실가스 배출량이 2040년에 36.3십억 CO₂톤으로서, 2014년 배출량 대비 13%(연평균 0.5%) 증가할 전망이다.⁷⁾ 에너지원별 배출량에서는 석탄과 석유소비에서 발생한 온실가스 배출량은 정체되지만 천연가스 소비에서 발생한 온실가스 배출량은 비교적 빠르게 증가(연평균 1.5%)할 전망이다. 발전부문과 최종에너지소비에서 발생하는 온실가스 배출량은 각각 연평균 0.2%와 0.7% 증가하여 증가속도가 확연하게

나아질 전망이다. 발전부문에서는 석탄소비에서 발생한 온실가스 배출량은 정체되고, 석유소비에 의한 배출량 감소세는 확대(연평균 -2.2%)되며 천연가스의 배출량(연평균 1.4%)은 증가세가 나아질 전망이다. 현 정책이 유지될 경우에 비해 신재생에너지나 원자력과 같은 저탄소 에너지가 확대되기 때문에 화석연료 연소에서 발생한 온실가스 배출량 증가속도가 하락하거나 감소세가 확대될 전망이다. 선진국(OECD)의 이산화탄소 배출량은 2040년까지 감소세가 확대(연평균

〈표 4〉 시나리오별 연료연소에 의한 세계 온실가스 배출 전망

(단위: 백만CO₂톤)

구분	2014	현 정책 유지		파리협정 목표		2도 상승	
		2040	증가율 (2014-2040)	2040	증가율 (2014-2040)	2040	증가율 (2014-2040)
1차에너지소비	32,175	43,698	1.9%	36,290	0.5%	18,427	-2.1%
(석탄)	14,868	19,589	1.1%	14,975	0.0%	4,375	-4.6%
(석유)	10,955	13,824	0.9%	11,296	0.3%	7,484	-1.5%
(가스)	6,351	10,285	1.9%	9,389	1.5%	6,568	0.1%
(OECD)	11,748	10,735	-0.3%	8,746	-1.1%	4,404	-3.7%
(non-OECD)	19,297	30,922	1.8%	25,698	1.1%	12,915	-1.5%
발전부문	13,496	19,058	1.3%	14,351	0.2%	3,603	-5.0%
(석탄)	9,899	14,112	1.4%	9,992	-	1,255	-7.6%
(석유)	868	505	-2.1%	481	-2.2%	206	-5.4%
(가스)	2,729	4,441	1.9%	3,879	1.4%	2,143	-0.9%
최종에너지소비	16,997	22,642	1.1%	20,182	0.7%	13,745	-0.8%

자료: IEA, World Energy Outlook, 2016 및 저자가 일부 작성

7) 유엔 기후변화협약 사무국에 의하면, 파리협정의 감축목표(INDC) 달성 시 비조건부 감축목표의 2030년 온실가스 배출량은 42십억CO₂톤(연료연소는 34.5십억톤, 공정배출은 2.4십억톤, 메탄과 아산화질소 배출량은 4.5십억톤)에 이르며, 여기에 토지이용(LULUCF)과 비에너지부문 배출량까지 고려하면 파리협정 감축목표의 배출량은 2030년에 50십억톤에 이르러 지구온도 2.7도 상승 경로에 해당된다(연료연소에 의한 온실가스 배출량은 2030년에 34.5십억톤, 2040년에 36십억톤에 이를 전망). 온실가스를 감축하기 위한 조치에는 단기적인 조치(비효율적인 석탄화력발전 축소, 화석연료 보조금 제도 개편, 석유가스부문의 메탄배출량 감소 등)와 장기적인 조치(CCS 도입, 전기자동차 도입, 원자력발전 등) 등 다양한 조치가 포함되어 있다.



-1.1%)되고 개도국(non-OECD) 배출량은 증가세가 하락(연평균 1.1%)할 전망이다.

지구온도 2도 상승을 달성할 경우 연료연소에 의한 온실가스 배출량은 2040년에 18.4십억CO₂톤에 이르러 2014년 배출량 대비 43% 감소(연평균 -2.1%)할 전망이다. 에너지원별 배출량에서는 석탄과 석유의 소비에서 발생하는 온실가스 배출량은 감소세로 전환되고 천연가스 소비에서 발생하는 이산화탄소 배출량은 정체될 전망이다. 즉, 석탄 소비에서 발생하는 온실가스 배출량은 연평균 4.5%의 속도로 감소하고, 석유 소비에서 발생된 온실가스 배출량도 연평균 1.5%의 속도로 감소하지만, 천연가스 소비에서 발생하는 온실가스는 연평균 0.1% 증가할 것으로 전망된다. 발전부문의 이산화탄소 배출량은 연평균 5.0%의 빠른 속도로 감소하고 최종에너지소비에서 발생하는 온실가스 배출량도 연평균 0.8%의 속도로 감소하여 모두 감소세로 전환될 전망이다. 발전부문에서는 석탄과 석유 연소에서 발생하는 이산화탄소 배출량은 빠른 속도로 감소(각각 연평균 -7.6%, -5.4%)하고 천연가스에서 발생하는 온실가스도 감소(연평균 -0.9%)할 전망이다. 이와 같이 화석연료 연소에서 발생하는 이산화탄소 배출량이 감소하는 것은 기본적으로 1차에너지 소비나 발전부문 및 최종 에너지 소비부문에서 화석연료 소비는 감소하고 신재생에너지나 원자력과 같은 저탄소 에너지 소비가 확대되기 때문이다. 선진국(OECD)의 이산화탄소 배출량은 2040년까지 감소세가 더욱 확대(연평균 -3.7%)되고 개도국(non-OECD) 배출량은 증가세에서 감소세로 전환(연평균 -1.5%)될 전망이다.

경제성장에도 불구하고 2014~2016년 기간에 세계 온실가스 배출량이 정체 내지 감소 추이를 나타냄에 따라 경제성장과 에너지 소비 및 온실가스 배출량의 관계가 약화되는 탈동조화(decoupling) 추이가 나타났으며,

이러한 추이는 파리협정의 온실가스 감축목표 달성 과정에서 가속화될 것으로 전망된다. 즉, 2040년까지 세계 경제는 연평균 3.4% 성장하는데 반해 에너지 소비는 1%, 온실가스 배출량은 연평균 0.5% 증가에 그칠 전망이다. 따라서 탈동조화 추이는 향후에도 유지될 것으로 예상된다. 또한 지구온도 2도 상승을 달성하기 위해서는 온실가스를 더욱 감축해야하기 때문에 이러한 탈동조화 추이는 더욱 가속화될 것으로 예상된다.

3. 저탄소 에너지 체제 달성 방안

가. 현 정책 유지를 통한 온실가스 감축 방안

현재 추진하고 있는 정책을 유지할 경우 2040년에 연료연소에 의한 세계 이산화탄소 배출량은 43.7십억 CO₂톤에 이를 것이며, 지구온도 2도 상승에 필요한 이산화탄소 배출량(18.4십억CO₂톤)을 달성하기 위해서는 추가적으로 25.3십억CO₂톤의 온실가스 감축이 이루어져야 한다. 이러한 감축규모는 현 정책 추진 시의 배출량 대비 57.8%의 감축률에 해당된다.

각국은 현 정책 하에서 온실가스 감축을 위해 다양한 저탄소 정책을 추진하고 있다. 이러한 정책은 대부분 에너지체제를 저탄소 에너지 공급 및 소비체제로 전환하는 것을 목표로 설정하고 있으며 파리협정 체결을 전후하여 추진하고 있는 것으로 나타나고 있다. 2015년에 유엔에 제출한 파리협정 감축목표(INDC)를 달성하기 위한 정책 및 조치를 이미 자국의 정책에 반영한 국가가 많은 편이다.

각국이 현재 적용하고 있는 조치를 보면, 미국의 경우에는 주정부의 신재생에너지 공급목표(RPS) 설정, 발전부문을 대상으로 한 9개 주의 배출권거래제, 캘리



포니아 지역의 배출권거래제 등이 있으며, EU에서는 “2020 기후변화 패키지(1990년 대비 온실가스 20% 감축, 2020년까지 신재생에너지 20% 공급, 에너지 효율 20% 개선)”와 2020년까지 2005년 대비 배출량을 21% 감축하는 배출권거래제가 시행되고 있다. 중국에서는 2020년까지 1차 에너지소비의 비화석에너지 비중을 15%로 증대하고, 대기오염 방지 및 관리를 위한 행동계획을 수립·이행하고 있으며, 인도는 에너지효율 개선 국가계획 수립·이행, 석탄 톤당 INR 100⁸⁾을 부과하는 청정에너지 펀드 조성, 국가경제에서 제조업의 비중을 증대시키는 계획을 추진하고 있다.

나. 파리협정의 감축목표 달성 방안

파리협정의 온실가스 감축목표(INDC)를 성실하게 달성할 경우 2040년에 연료연소에 의한 세계 이산화탄소 배출량은 36.3십억CO₂톤에 이를 것이며, 지구온도 2도 상승에 필요한 연료연소에 의한 온실가스 배출량(18.4십억CO₂톤)을 달성하기 위해서는 추가적으로 17.9십억CO₂톤의 온실가스 감축이 이루어져야 한다. 이러한 감축량은 파리협정의 온실가스 배출량(36.3십억CO₂톤) 대비 49.2%의 감축률에 해당된다. 파리협정의 온실가스 감축목표를 달성하기 위해서는 대부분의 국가가 2030년 혹은 2025년의 온실가스 감축목표를

설정하고 이를 달성하기 위해 신재생에너지 도입 확대와 에너지 효율 개선을 추진하고 있는 것으로 나타나고 있다.

유엔 기후변화협약(UNFCCC) 사무국이 189개 당사국이 제출한 자발적 기여(INDC)의 온실가스 감축 효과를 분석한 2차 종합보고서(2016.5.2.)⁹⁾에 의하면, 파리협정의 감축목표를 달성하기 위한 주요 온실가스 감축분야, 즉 온실가스 감축 잠재량이 가장 높은 분야로 신재생에너지, 에너지효율, 지속가능 수송, CCS, 산림 보존 및 관리, non-CO₂ 감축, 탄소시장 활용 등이 언급되었다. 신재생에너지를 확대하기 위한 조치로는 발전차액 보조금 제도(FIT), 신재생에너지 공급목표 설정, 신재생발전을 연결하기 위한 전력망 인프라 개선, 환경세 도입, 보조금 개혁 등이 제시되었다. 에너지 효율 개선을 위한 조치로는 에너지 효율 기준 설정, 에너지 생산 및 수송 인프라의 현대화, 스마트 그리드 촉진, 산업공정과 건물부분의 에너지 효율 개선, 에너지 절약 목표 설정 등이 제시되었다. 지속가능한 수송체제 구축을 위한 방안으로는 대중교통 확대, 전기자동차 및 바이오 자동차 확대, 에너지 효율이 낮은 자동차의 수입 제한, 연료효율 기준 설정 등이 제시되었다. 작물 및 가축 사육 방법 개선, 저탄소 농업 촉진, 탈루배출 감소, 메탄 회수, 폐기물 관리 및 순환 프로그램 설정, 폐기물의 에너지화 설비 구축, 산림의 보존

8) 인도 100루피는 현재 기준 약 \$2에 해당되는 수준이다.

9) 엔 기후변화협약(UNFCCC) 사무국은 2015년 10월 30일에 발간된 1차 종합보고서를 갱신하여 2016년 5월 2일에 189개 당사국이 제출한 161개의 자발적 기여(INDC)의 온실가스 감축 효과를 분석한 2차 종합보고서(updated synthesis report)를 발간했다. 종합보고서에 의하면 자발적 기여를 성실하게 이행하면 세계의 온실가스 배출량은 2030년에 평균 56.2십억 CO₂톤에 이르러, 1990년 대비 44% 증가하지만 증가율은 둔화될 전망이다. 2030년의 비조건부 감축목표의 배출량은 57.9십억 CO₂톤, 조건부 감축목표의 배출량은 55.5십억 CO₂톤에 이를 전망이다. 2014년의 세계 온실가스 배출량이 약 52.7십억 CO₂톤인 점을 감안하면 자발적 기여가 이행되어도 배출량은 정점에 도달하지 못한 채 2030년까지 지속적으로 상승할 전망이다. 산업화 이전 2도 이내 온도상승을 달성하기 위한 최소 비용의 2C 시나리오 배출량은 2030년에 42.7십억CO₂톤으로 전망되기 때문에 2030년에 2도 배출량을 15.2십억 CO₂톤 초과할 것으로 예상된다.

10) 자발적 기여(INDC)의 효율적 추진을 위해 민간부문, 연구단체 및 시민단체, 업종별 협회, 지방정부의 지원이 중요하다는 점도 언급되었으며 이해단체를 참여시키기 위해 의회 공청회, 업종별 대화, 연구협력, 작업반 개최, 워크숍, 전문가팀 및 동료검토, 대규모 국민자문, 정보공유 플랫폼, 언론 활용, 홍보 및 교육 등이 필요하다는 점을 명기하고 있다.



〈표 5〉 파리협정 감축목표(INDC) 달성을 위한 주요 조치

구분	세부내용
주요 감축 조치	<ul style="list-style-type: none"> • 신재생에너지 : 발전차액 보조금(FIT), 신재생에너지 공급목표 설정, 신재생발전 통합 전력망 인프라 개선, 환경세, 보조금 개혁 • 에너지효율 : 에너지 효율 기준 설정, 에너지 생산 및 수송 인프라의 현대화, 스마트 그리드 촉진, 산업공정과 건물부문의 에너지 효율 개선, 에너지 절약 목표 설정 • 지속가능 수송 : 대중교통 확대, 전기자동차 및 바이오 자동차 확대, 에너지 효율이 낮은 자동차의 수입 제한, 연료효율 기준 설정 • 탄소 포집 및 저장(CCS) : 연구개발 확대, 적용 확대 • 저탄소 농업 : 작물 및 가축 사육 방법 개선, 저탄소 농업 촉진 • 산림 보존 및 관리 : 산림의 보존 및 지속가능한 관리, 산림 확충, 산림파괴 완화 • non-CO₂ 감축 : 탈루배출 감소, 메탄회수 • 탄소시장 활용 : CDM 활용, 국내외 ETS 활용
미국	• 온실가스 감축목표 설정 : 2025년까지 2005년 대비 26-28% 감축
일본	• 2030년까지 2013년 대비 온실가스 26% 감축
EU	<ul style="list-style-type: none"> • 2030 기후변화 패키지(1990년 대비 온실가스 40% 감축, 2030년까지 신재생에너지 30% 공급, 기준안 대비 에너지 효율 27% 개선) • 2020년까지 1차 에너지 소비를 20% 감축시키기 위한 에너지효율지침 일부 시행 • 2030년까지 2005년 대비 45% 감축 목표의 배출권거래제 • 2019년부터 시장안정화 조치를 시행하는 ETS 제도 수정
러시아	• 2030년까지 1990년 대비 배출량을 70-75% 수준으로 억제
중국	<ul style="list-style-type: none"> • 2030년까지 온실가스 집약도를 2005년 대비 60-65% 개선 • 2030년까지 1차에너지의 비화석에너지 비중을 20%까지 증대 • 2017년부터 발전과 산업부문 대상 배출권 거래제 시행 • 천연가스 사용 확대 • 에너지 가격 개편(석유제품 가격 수시 조정, 비가정용 천연가스 가격 상승)
인도	<ul style="list-style-type: none"> • 2030년까지 온실가스 집약도를 2005년 대비 33-35% 개선 • 2030년까지 비화력발전설비능력을 40% 확보 • 국가 청정에너지 펀드 증대 • 석탄부문을 민간 및 외국투자자에 개방
브라질	<ul style="list-style-type: none"> • 온실가스 감축목표 : 2025년까지 2005년 대비 온실가스 배출량을 37% 감축 • 에너지 목표 : 2030년까지 1차 에너지 소비에서 바이오연료 비중은 18%, 신재생에너지는 45%(수력을 제외한 신재생은 28-30%, 전력공급의 최소 23%) • 국가 에너지 효율개선 계획 이행
멕시코	<ul style="list-style-type: none"> • 2030년까지 기준배출량 대비 25-40% 감축 • 에너지전환법을 통해 에너지효율 개선 프로그램 실시 • 휘발유, 경유, 연료유에 대한 특별소비세 부과 • 2017년에 휘발유, 경유, LPG 가격 자유화

자료 : UNFCCC, Aggregate effect of the intended nationally determined contributions : an update, 2016.5.2,와 IEA, World Energy Outlook 2016에 의거하여 작성



및 지속가능한 관리, 산림 확충, 산림파괴 완화 조치 등도 제시되었다.¹⁰⁾

대부분의 국가는 파리협정의 감축목표를 달성하기 위해 현 정책을 유지하는 것에 더해 구체적인 2030년 감축목표를 추가했으며, 일부 국가는 현 정책 유지 외에 추가적인 조치를 도입할 계획이다. 미국과 일본은 현행 정책을 유지한 경우에 비해 추가적인 조치를 도입하지 않은 채, 2025년과 2030년 온실가스 감축목표를 도입했다. EU는 2020 패키지를 강화하여 2030 기후변화 패키지를 설정했으며, 에너지 효율 지침의 일부 이행과 ETS의 감축목표 강화 및 시장안정화 조치를 위한 ETS 개정을 추진할 예정이다. 중국은 2030년까지 2005년 대비 온실가스 집약도를 60-65% 개선하는 목표 설정, 2017년부터 발전부문과 산업부문을 대상으로 한 전국 단위의 배출권 거래제 시행, 비화석에너지의 비중을 2030년까지 20%로 강화, 에너지 가격 개편 등을 추진할 계획이다. 인도는 2030년까지 온실가스 집약도를 2005년 대비 33-35% 개선하는 감축목표를 설정하고, 비화력발전설비 능력을 2030년까지 40% 증대하며, 국가 청정에너지 펀드를 증대시키고, 석탄부문을 민간과 외국에 개방할 계획이다. 브라질은 2025년까지 2005년 대비 배출량을 37% 감축하는 목

표를 설정하고, 2030년까지 1차에너지 소비에서 차지하는 신재생에너지 비중을 45%까지 증대시키며, 국가 에너지 효율 계획을 이행할 계획이다. 멕시코는 2030년까지 기준 배출량 대비 25-40% 감축하는 감축목표를 설정했고, 에너지 효율 프로그램을 실시하며 휘발유와 경유 및 연료유에 특별 소비세를 부과하며 2017년부터는 가격 자유화를 실시하게 된다.

다. 2도 상승 목표 달성 방안

산업화 이전 대비 지구온도 2도 상승을 달성하기 위해서는 2040년에 연료연소에 의한 이산화탄소 배출량이 18.4십억CO₂톤으로 제한되어야 한다. 이를 달성하기 위해서는 현 정책 유지 시의 온실가스 배출량(43.7십억CO₂톤) 대비 57.8%의 감축이 추가적으로 이루어져야 하며, 파리협정의 온실가스 감축목표를 달성할 경우의 배출량(36.3십억CO₂톤)에 비하면 추가적으로 49.2%의 온실가스 감축이 이루어져야 한다. 2도 상승에 필요한 온실가스 배출량(18.4십억CO₂톤)이 현재(2014년) 배출량(32.2십억CO₂톤)에 비해 43% 낮은 수준임을 감안하면 각국이 파리협정에 의거하여 제출한 온실가스 감축목표(INDC) 이외에 에너지부문에서

〈표 6〉 2도 달성을 위한 시나리오별 이산화탄소 감축량

(단위: 백만CO₂톤, %)

구분	2014년	2020년	2030년	2040년
현 정책 유지 배출량	32,175	33,722	38,594	43,698
파리협정 목표 배출량		32,795	34,485	36,290
2도 상승 달성 배출량		31,256	25,180	18,427
2도 달성을 위한 추가 감축량 및 감축율				
(현 정책 대비)		-2,466(-7.3%)	-13,414(-34.8%)	-25,271(-57.8%)
(파리협정 대비)		-1,539(-4.7%)	-9,305(-27.0%)	-17,863(-49.2%)

자료 : IEA, World Energy Outlook, 2016의 자료에 의거하여 저자가 작성

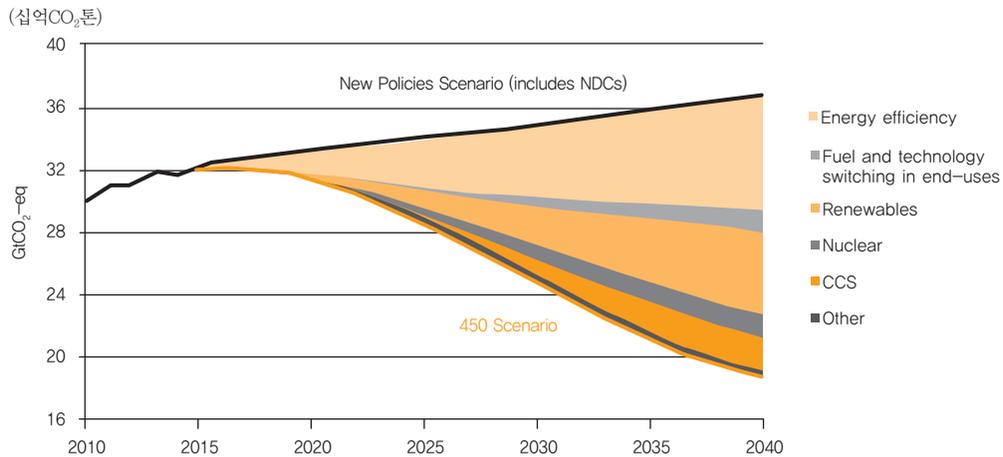


대폭적인 온실가스 감축을 추진하고 저탄소 에너지 체제 구축을 강력하게 추진해야 할 것으로 예상된다. 파리협정의 감축목표를 달성하기 위해서는 현 정책 유지 배출량 대비 17%를 감축해야 한다는 점을 감안하면 2도 온도상승 목표를 달성하기 위해 각국은 파리협정의 감축목표를 약 3.4배 강화시켜야 한다.

2도 달성에 필요한 온실가스 감축에는 에너지 효율

개선과 신재생에너지 확대가 가장 큰 기여를 할 것으로 예상되며 다음으로는 CCS, 원자력, 연료전환, 기타 등으로 나타나고 있다. 즉, 파리협정의 온실가스 감축 목표(INDC)를 달성하기 위해 신재생에너지와 에너지 효율 개선이 주로 활용될 것이며 2도 온도상승 목표를 달성하기 위한 추가적인 감축에서도 이들 두 수단이 가장 큰 온실가스 감축 잠재력을 갖고 있는 것으로 나

[그림 3] 2도 온도상승 경로에 필요한 감축수단별 온실가스 감축량



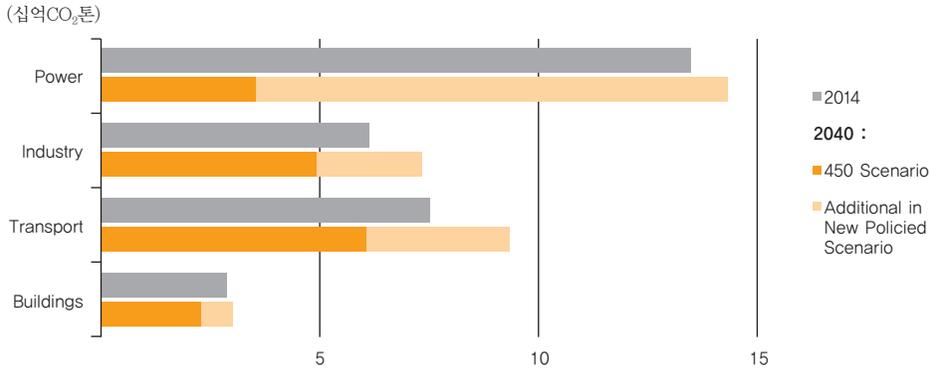
자료 : IEA, Energy, Climate Change and Environment, 2016 insights, IEA, World Energy Outlook, 2016.

타나고 있다. 2040년에 추가적으로 감축해야 하는 약 18십억CO₂톤의 온실가스 감축량에서 에너지 효율개선은 약 7.0십억CO₂톤, 신재생에너지는 약 6.0십억CO₂톤을 감축할 수 있으며, CCS는 약 2.5십억CO₂톤, 원자력은 약 1.5십억CO₂톤에 이르고 연료전환과 나머지 수단들이 약 1십억CO₂톤을 감축할 수 있을 것으로 예상된다. 따라서 온실가스 감축수단 측면에서는 에너지 효율 개선과 신재생에너지가 전체 온실가스 감축량의 40%와 33%를 차지하여 가장 중요한 감축수단이 될 것으로 예상된다.

2도 온도 상승 달성에 필요한 온실가스 감축량 기여도를 부문별로 보면 발전부문이 가장 큰 기여를 할 것으로 예상된다. 발전부문에서는 전체 온실가스 감축 필요량(18십억CO₂톤)의 절반 이상인 약 11십억CO₂톤이 감축되고, 수송부문에서 약 3.5십억CO₂톤, 산업부문에서 약 2.5십억CO₂톤, 건물부문에서 약 1십억CO₂톤이 감축될 수 있을 것으로 보여 발전부문이 전체 온실가스 감축의 60%를 차지할 것으로 예상된다. 이러한 점은 저탄소 사회를 달성하기 위해서는 우선 발전부문의 저탄소화가 가장 시급하고 비용 효과적인 과제



[그림 4] 2도 온도상승 경로에 필요한 부문별 온실가스 감축량



자료 : IEA, World Energy Outlook, 2016

임을 말해주고 있다. 전력 생산을 저탄소화 하고, 최종 에너지 소비부문에서 화석연료를 저탄소 전력으로 대체하여 저탄소화를 추진하는 것이 지름길이라는 점을 말해주고 있다.

대부분의 국가는 2도 온도 상승 목표를 달성하기 위해 현 정책 유지와 파리협정의 감축목표(INDC) 달성 조치를 강화하거나 탄소가격 도입 및 강화 등의 새로운 조치를 추진해야 할 것으로 예상된다. 화석연료에 대한 보조금이 에너지 수입국에서는 2025년까지, 에너지 수출국에서는 2035년까지 폐지되어야 할 필요가 있다. 2도 달성을 위한 국가별 구체적인 조치는 현재까지 구체화된 경우가 없기 때문에 대부분의 국가에서는 탄소 가격제를 도입 및 강화시켜야 할 것으로 보인다. 러시아는 원자력과 신재생에너지에 대한 정부 지원을 강화하고 에너지 절약 및 효율 개선 프로그램을 이행할 필요가 있으며, 중국은 2017년부터 발전부문과 산업부문에 도입된 배출권 거래제도를 강화할 필요가 있다.

라. 부문별 온실가스 감축 방안

1) 발전부문의 온실가스 감축 방안

현 정책을 유지할 경우 2040년에 발전부문의 온실가스 배출량은 19.1십억CO₂톤에 이를 것이며, 지구온도 2도 상승에 필요한 발전부문 온실가스 배출량(3.6십억CO₂톤)을 달성하기 위해서는 15.5십억CO₂톤을 추가적으로 감축해야 한다. 이는 현 정책 유지 시의 배출량 대비 81.1%의 높은 감축률에 해당된다. 파리협정의 감축목표를 달성할 경우 발전부문의 배출량은 14.4십억CO₂톤에 이르며, 2도 상승 목표를 달성하기 위해서는 추가적으로 10.8십억CO₂톤을 감축해야 하는데, 이는 파리협정의 감축목표 달성 시의 배출량(14.4십억CO₂톤) 대비 74.9%의 높은 감축율에 해당된다. 파리협정의 감축목표를 달성하기 위해서는 현 정책 유지 배출량 대비 24.7%를 감축해야 한다는 점을 감안하면 2도 온도상승 목표를 달성하기 위해 각국은 파리협정의 감축목표(INDC)에서 발전부문의 감축을 약 3배 강화시켜야 한다. 2040년까지 전력 수요는 현재 대비 약 60% 증가하지만 저탄소 발전원 확대에 의해 발전부문의 온실가스 배출량은 현재(2014년) 대비 소폭 증가



〈표 7〉 2도 달성을 위한 시나리오별 발전부문의 온실가스 감축량

(단위: 백만CO₂톤, %)

구분	2014년	2020년	2030년	2040년
현 정책 유지 배출량	13,496	13,798	16,313	19,058
파리협정 목표 배출량		13,194	13,657	14,351
2도 상승 달성 배출량		12,169	7,841	3,603
2도 달성 추가 감축량 및 감축율				
(현 정책 대비)		-1,629(-11.8%)	-8,472(-51.9%)	-15,455(-81.1%)
(파리협정 대비)		-1,025(-7.8%)	-5,816(-42.6%)	-10,748(-74.9%)

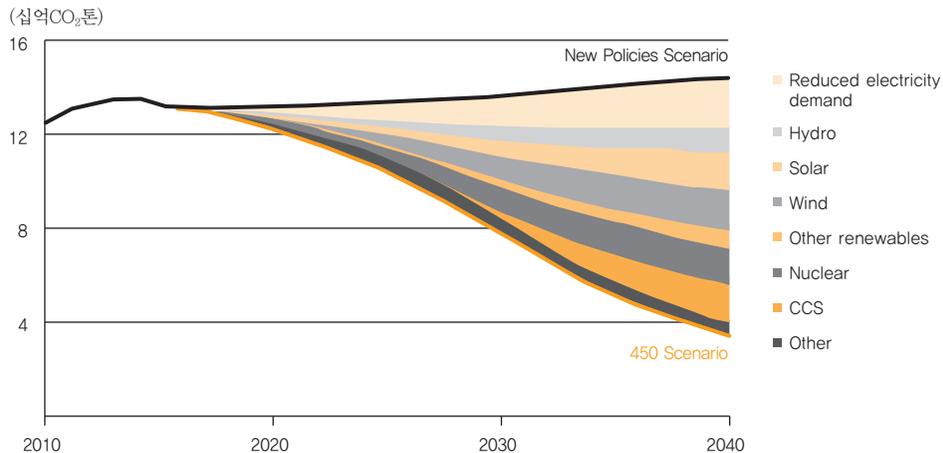
자료 : IEA, World Energy Outlook, 2016 정보에 의거하여 작성

하지만 대폭 감소하기 때문에 파리협정 감축목표 달성 시 발전부문의 온실가스 집약도는 현재의 0.515CO₂톤/MWh에서 2040년에는 0.335CO₂톤/MWh으로 하락하고, 2도 상승 목표를 달성할 경우에는 집약도가 0.08CO₂톤/MWh까지 하락(연평균 7%의 속도로 집약도 개선 필요)할 것으로 전망된다.

파리협정의 온실가스 감축목표를 달성하기 위해 세계 대부분의 국가는 전력 생산부문에서 화력발전 대신

태양광과 풍력발전을 대폭 확대하고, 전력 소비부문에서는 효율개선을 추진하고 있다. 현재 30%에 이르고 있는 신재생에너지를 비롯한 저탄소 전원의 비중은 파리협정의 감축목표를 달성할 경우 2040년에 48%까지 확대해야 할 것으로 예상된다. 파리협정의 온실가스 감축목표를 달성하기 위한 발전부문의 대표적인 정책수단은 태양광과 풍력과 같은 신재생에너지를 확대하는 방안과 탄소가격을 도입하는 것이다.

[그림 5] 2도 온도상승 경로에 필요한 발전부문의 감축수단별 감축량



자료 : IEA, World Energy Outlook, 2016



세계 저탄소 에너지 체제 달성 방안

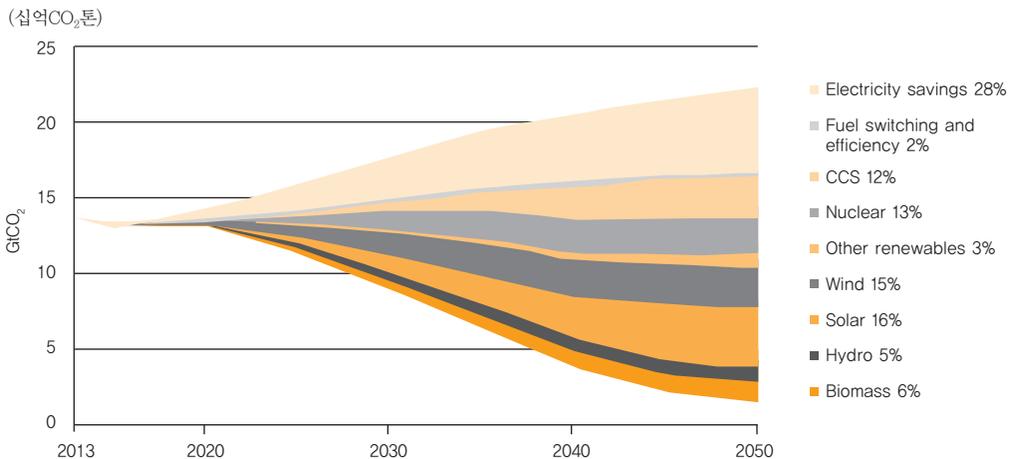
2도 배출경로를 달성하기 위해서는 발전설비의 70% 이상이 저탄소 발전원(신재생, 원자력, CCS)으로 구성되어야 한다. 2도 배출경로를 달성하기 위해서는 파리협정 감축목표 달성에 비해 신재생에너지발전(태양광, 풍력)을 40% 이상 확대해야 하며, 탄소가격을 강화하고 원자력과 CCS 도입을 확대해야 한다. CCS는 온실가스 저장뿐만 아니라 개발된 화석연료 자원의 투자비를 회수하기 위한 목적으로도 사용될 것이며 430GW(절반 이상은 중국)의 화력발전에서 CCS를 도입해야 할 필요가 있다. 신재생에너지 발전설비 도입과 같은 전력 생산의 저탄소화 뿐만 아니라 전력의 소비도 감소시킬 필요가 있다. 전력 생산의 저탄소화(수력, 원자력, 태양광, 풍력, CCS)가 발전부문 온실가스 감축의 75% 정도(약 50%는 수력, 태양광, 풍력, 기타 신재생에너지가 차지)를 담당하고 나머지 25%는 전력의 소비 감소가 담당할 것으로 예상된다. 에너지부문 온실가스 배출량의 35%를 차지하고 있는 석탄발전과 가스발전의 저탄소화가 시급하게 추진할 과제이며, 이를

위해 석탄발전을 가스발전으로 대체하는 방안이 추진되지만 2030년 이후에는 가스발전도 저탄소화를 위해 CCS를 장착해야 할 것으로 판단된다.

2050년까지의 발전부문 온실가스 감축 방안에서도 신재생에너지가 가장 크게 기여할 것으로 예상된다. 2도 상승 달성을 위해 2050년에 발전부문에서는 약 20십억CO₂톤의 온실가스 감축이 필요하며 신재생에너지(풍력, 태양광, 수력, 바이오매스, 기타 신재생)가 감축량의 45%를 차지하고 원자력은 13%, CCS는 12%, 연료전환 및 효율 개선은 2%, 전력소비 감소는 28%를 차지할 것으로 나타났다. 따라서 발전부문의 온실가스 감축은 주로 신재생에너지 발전의 확대를 통해서 추진될 필요가 있다는 점을 말해주고 있다.

발전부문에서 파리협정의 감축목표 달성과 2도 온도상승 목표를 달성하기 위한 각국의 조치는 신재생에너지 발전원을 확대하고 이에 대한 정부의 지원을 강화하는 조치 이외에 CCS 도입 및 탄소 가격제 도입이 주를 이루고 있다. 미국은 파리협정 감축목표를 달성하

[그림 6] 2도 온도상승 경로에 필요한 발전부문의 2050년 수단별 감축량



자료 : IEA, Energy Technology Perspective, 2016



〈표 8〉 파리협정 및 2도 온도 상승 목표를 달성하기 위한 발전부문의 주요 조치

구분		세부내용
미국	파리협정	<ul style="list-style-type: none"> • 신규/개조된 화력발전 온실가스 배출량을 감축하는 탄소오염기준 실시 • 신재생에너지 및 원자력발전 지원 강화
	2도 상승	<ul style="list-style-type: none"> • 2020년부터 탄소가격제 시행 • 신재생, 원자력, CCS에 대한 지원 강화 • 비효율적인 구형 발전소의 개조 금지
일본	파리협정	<ul style="list-style-type: none"> • 2030년까지 발전설비의 22-24%를 신재생에너지로 총당 • 원전 수명을 60년으로 연장 • 발전차액보조금제도 시행 • 2030년까지 비화력발전 비중을 44%로 증대(집약도는 0,37CO₂톤/MWh) • 신규발전설비 효율기준 설정(석탄 42%, 가스 50,5%, 석유 39%)
	2도 상승	<ul style="list-style-type: none"> • 2020년부터 탄소가격제 도입 • 저탄소 발전원 비중을 2030년까지 확대 • 신재생에너지에 대한 지원 확대 • 석탄화력발전에 CCS 도입
EU	파리협정	<ul style="list-style-type: none"> • 신재생에너지발전에 대한 지원 강화 • 에너지효율 지침 시행을 통해 CHP 장애요인 제거 • 투자비 회수를 위한 전력시장 개편
	2도 상승	<ul style="list-style-type: none"> • 신재생에너지 지원 강화 • CCS 지원 강화
러시아	파리협정	<ul style="list-style-type: none"> • 수력과 원자력 지원 강화
	2도 상승	<ul style="list-style-type: none"> • 2020년부터 탄소 가격제 시행 • 원자력과 신재생에너지 지원 강화
중국	파리협정	<ul style="list-style-type: none"> • 2017년부터 전국 단위 배출권 거래제 도입 • 신규 석탄화력발전소 효율 개선(300g/kWh) • 2020년까지 원자력 58GW, 수력 365GW, 풍력 230GW, 태양광 140GW, 바이오매스 15GW 증대
	2도 상승	<ul style="list-style-type: none"> • 배출권 거래제 확대 • 2020년 이후에도 원자력 지원 유지 • 2025년까지 CCS 도입
인도	파리협정	<ul style="list-style-type: none"> • 2022년까지 태양광 100GW, 비태양광 75GW(수력 제외) 증대 • 초초임계 석탄화력 확대 • 송배전손실율을 15%로 낮추기 위한 국가 전력망 확충
	2도 상승	<ul style="list-style-type: none"> • 신재생, 원자력, 고효율 석탄화전 지원 확대 • 2030년까지 CCS 도입
브라질	파리협정	<ul style="list-style-type: none"> • 신재생발전 확대
	2도 상승	<ul style="list-style-type: none"> • 2020년부터 탄소 가격제 도입 및 신재생발전 증대
멕시코	파리협정	<ul style="list-style-type: none"> • 청정에너지 발전비중을 2018년까지 25%, 2021년까지 30%, 2024년까지 35%로 증대 • 청정에너지 인증서 도입
	2도 상승	

자료 : IEA, World Energy Outlook, 2016

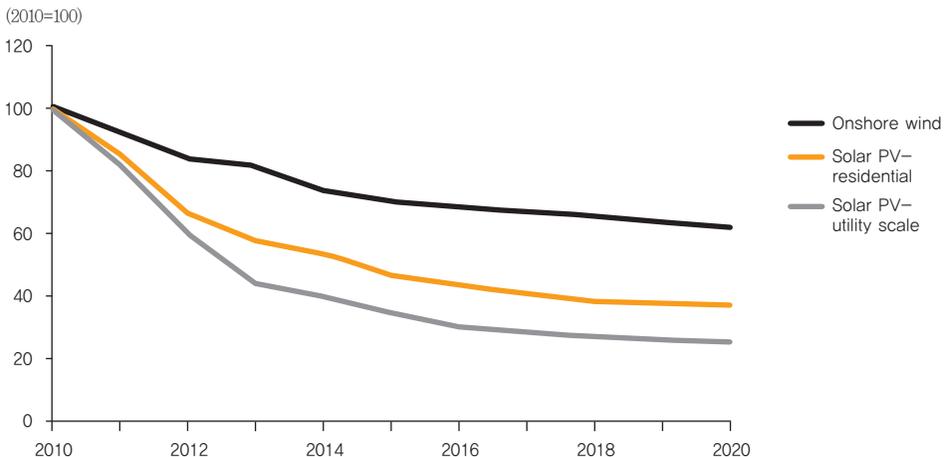


기 위해 신재생에너지와 원자력발전을 지원하고 있으며 2도 목표를 달성하기 위해서는 탄소 가격제를 도입하고 신재생에너지와 원자력 및 CCS에 대한 지원을 강화할 필요가 있다. 일본은 파리협정 감축목표를 달성하기 위해 2030년까지 발전설비의 22~24%를 신재생에너지로 공급하고 발전차액 보조금제도(FIT)를 시행하고 있으며, 2도 목표 달성을 위해서는 탄소 가격제 도입과 저탄소 발전 비중 확대, 신재생에너지에 대한 지원 강화, CCS 도입 등을 추진할 계획이다. EU는 신재생에너지에 대한 지원 강화를 통해서 파리협정 감축목표를 달성하고 2도 목표를 달성하기 위해서는 신재생에너지와 CCS에 대한 지원을 더욱 강화할 계획이다. 중국은 파리협정 감축목표를 달성하기 위해 전국 단위의 배출권 거래제도를 도입하고 2020년까지 신재생에너지 발전설비를 증대시키고 신규 석탄화력발전소의 효율을 개선할 계획이며, 2도 목표 달성을 위해서는 배출권 거래제 확대와 원자력발전 지원 유지와 CCS 도입을 추진할 계획이다. 다른 국가도 파리협정의 온실

가스 감축목표를 달성하기 위해서는 신재생에너지 설비를 증대시키고 2도 목표를 달성하기 위해서는 신재생에너지에 대한 지원을 대폭 강화시키고 CCS 도입을 추진할 계획이다.

신재생에너지가 발전부문의 주요 온실가스 감축방안으로 거론되는 이유는 향후 신재생에너지가 가격 경쟁력을 가질 가능성이 높기 때문이다. 특히 육상풍력과 태양광발전의 비용이 최근 빠르게 하락하고 있는데, 2010~2015년 기간에 육상풍력발전 비용은 평균 30% 하락했으며, 태양광발전 비용은 60% 정도 하락했다. 비용 하락폭은 축소되지만 이러한 비용 하락 추이는 향후에도 지속될 것으로 예상되어 2040년 이전에 이들 신재생에너지발전은 화석연료 발전에 비해 가격 경쟁력을 가질 것으로 예상된다. 중앙집중식 태양광(concentrated solar power)과 해상풍력 및 기타 신재생에너지발전은 가격 경쟁력을 갖지 못할 것으로 예상되어 이들 발전원이 가격 경쟁력을 갖기 위해서는 정책적인 지원이 필요할 것으로 보인다. 신재생에너지

[그림 7] 신재생에너지 발전원의 비용 지수 하락 추이



자료 : IEA, Energy, Climate Change and Environment, 2016 insights



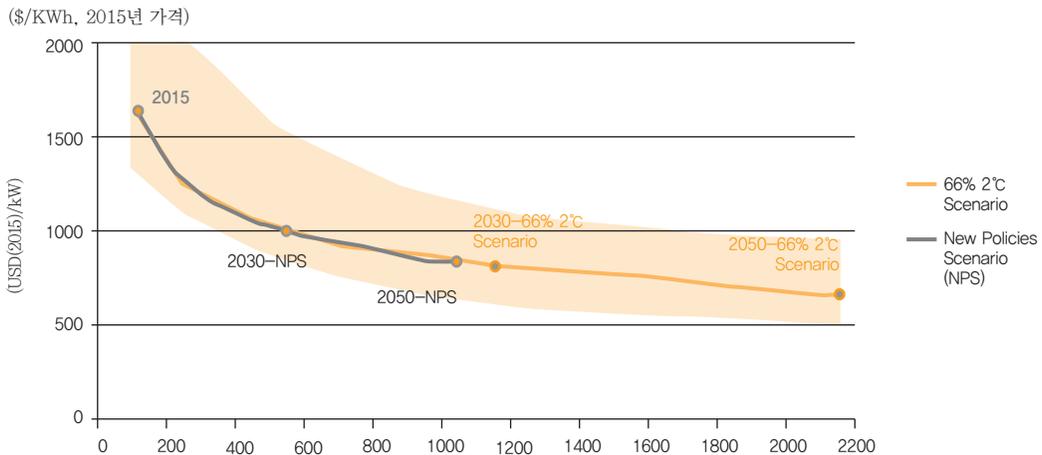
는 발전부문 뿐만 아니라 열 생산과 수송부문으로 사용이 확대될 것으로 예상된다.

태양광발전과 풍력발전 등 신재생에너지 발전설비의 비용은 온실가스 감축목표가 강화되고 따라서 설비확대가 진전될수록 비용 하락이 크게 이루어질 것으로 예상된다. 2010년 이후 2015년까지 비용이 40~70% 하락한 대규모 태양광발전(utility-scale solar PV)은 파리협정의 감축목표 달성 시 현재(2015년)의 \$1,700/KW에서 2030년에는 \$1,000/KW, 2050년에는 \$800/KW에 이르러 2030년까지 비용이 약 50% 하락할 전망이다. 2도 상승 목표¹¹⁾를 달성할 경우에는 비용이 2030년에 \$800/KW, 2050년에는 \$700/KW까지 하락하여 파리협정 감축목표 달성에 비해 50%의 비용 하락이 약 20년 앞당겨질 것으로 예상된다. 2도 상승목표 달성 시 해상풍력발전과 집중식태양열발

전(CSP)의 비용도 2030년까지 현재 대비 40% 하락할 전망이다.

현재 태양광발전이나 육상 풍력발전은 가스복합화력발전이나 초임계 석탄화력발전에 비해 가격 경쟁력을 갖지 못하고 있으나 2도 상승을 달성할 경우 탄소가격이 약 \$50-150/CO₂톤에 이르면 화력발전에 비해 가격 경쟁력을 가질 수 있을 것으로 예상된다. 즉, 대규모 태양광발전과 육상 풍력발전은 2015년 현재 발전 비용이 각각 MWh당 \$130와 \$80에 이른 반면 가스복합화력발전과 초임계 석탄화력발전 비용은 각각 \$70과 \$60에 이르고 있다. 그러나 탄소가격 설정과 비용 하락으로 인해 2030년에는 대규모 태양광발전과 육상 풍력발전 비용은 각각 MWh당 \$60와 \$80에 이른 반면 가스복합화력발전과 초임계 석탄화력발전 비용은 각각 \$130과 \$140에 이르러 태양광발전과 풍력발전의 비용

[그림 8] 대규모 태양광발전의 비용 하락 전망



자료 : IRENA, Perspectives for the Energy Transition, 2017

11) 지구온도 2도 상승을 달성할 확률이 66%인 경우로서 2도 보다 더 낮은 온도 상승을 달성한 경우에 해당된다.



이 화력발전 비용보다 낮아질 것으로 예상된다.

향후 온실가스 감축에서 국영기업이 중요한 역할을 할 것으로 나타나고 있다. 국영기업은 화력발전설비의 40%, 저탄소발전설비와 원자력발전설비의 60%를 소유하고 있으며, 대형 50개 국영기업(발전, 산업, 기타 부문 등)은 연간 4.4십억CO₂톤의 온실가스를 배출하고 있다. 또한 국영은행은 국영기업, 민간기업, 개도국을 지원하는 개발은행과 공공은행에 재원을 공급하는 역할을 하고 있다. 따라서 이들 국영기업은 온실가스 다량 배출원이면서 저탄소 에너지 공급, 자원 공급자, 혁신 출처로서의 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.

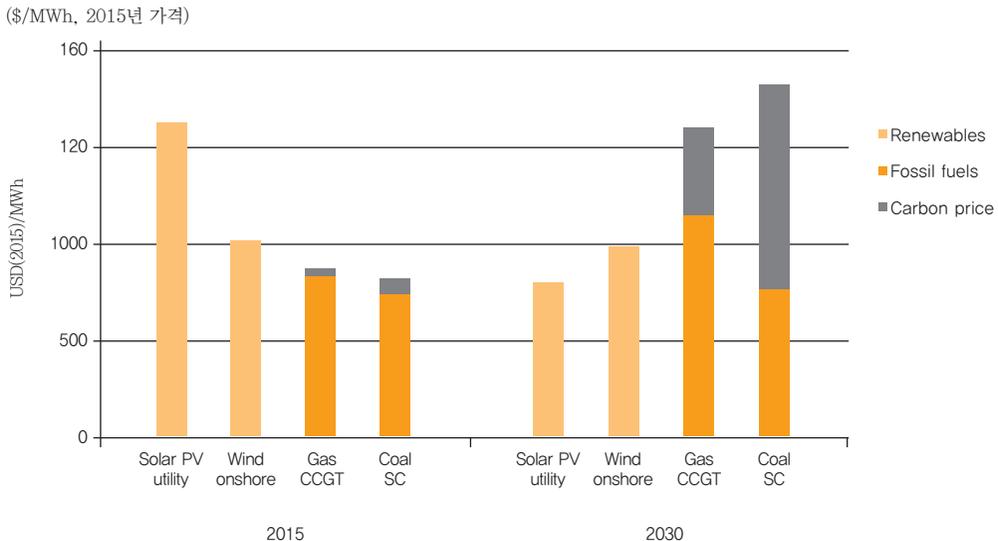
2) 수송부문의 온실가스 감축 방안

수송부문은 발전부문 다음으로 연료연소에 의한 온실가스 배출량이 많기 때문에 저탄소사회 달성에 매우

중요한 부문이다. 파리협정의 감축목표를 달성할 경우 수송부문의 온실가스 배출량은 현재의 7.5십억CO₂톤에서 2040년에는 9.4십억CO₂톤에 이르러 매우 느린 속도로 증가(연평균 0.2%)할 전망이다. 파리협정의 감축목표 달성 시 수송부문의 온실가스 배출량이 소폭 증가하는 이유는 특히 개도국에서의 수송수요가 증가하여 석유소비가 증가하기 때문이다. 자동차는 2040년까지 약 20억대 증가할 것으로 예상되며 화물트럭과 해운 및 항공수요도 빠르게 증가할 전망이다. 자동차의 연료경제 규제가 강화되어 배출량 증가를 둔화시키지만 수송부문의 석유 의존도를 낮추기에는 역부족일 것으로 예상된다. 배터리 비용이 크게 하락하지 않아 2040년에 전기자동차는 보급대수가 전체 승용차의 8%에 불과한 1억 5천만대에 그칠 전망이다.

2도 상승 목표를 달성할 경우 수송부문의 2040년 이산화탄소 배출량은 6.1십억CO₂톤에 이르러 현

[그림 9] 신재생에너지 발전과 화력발전의 비용 비교



자료 : IRENA, Perspectives for the Energy Transition, 2017



재(2014년) 대비 10.7%인 0.8십억CO₂톤 낮아질 전망이다. 2도 달성을 위해서는 선진화된 바이오연료(advanced biofuels)는 항공용과 선박용 석유소비를 대체할 연료로 등장할 것이며 화물트럭용 연료로도 사용될 것이다. 바이오연료 소비량은 2040년 파리협정 감축목표 달성의 경우에는 2040년에 4.5백만b/d에 이르고 2도 온도상승 달성 시 바이오연료 소비량은 2040년에 9백만b/d에 이를 전망이다. 천연가스 소비는 2도 달성의 경우에는 대부분의 부문에서 소비가 감소하지만, 수송부문에서는 화물트럭, 국제해운용 연료로 사용되어 소비가 415십억m³에 이를 전망이다. 2도 달성을 위해서는 신차의 연비가 현재 연비의 절반 이하로 하락해야 한다.

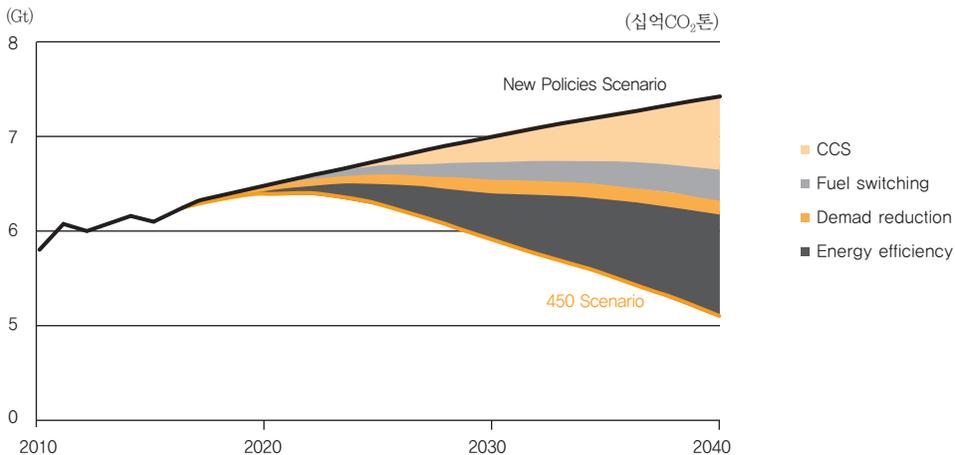
3) 산업부문의 온실가스 감축 방안

산업부문의 온실가스 감축은 주로에너지 효율 개선을 통한 감축이 주를 이루고 있는데, 특히 다른 국가에

비해 산업부문의 에너지 소비 비중이 높은 중국(전체 에너지 소비의 1/3을 산업부문이 차지)에서 에너지 효율 개선이 강력하게 추진되고 있다.

최근 15년 사이에 에너지가격 상승과 함께 탄소가격이 도입되고, 또한 에너지의 효율적 사용을 촉진시키는 정책이 도입되고 있으며, 파리협정의 온실가스 감축목표를 달성하면 산업부문의 에너지 소비당 온실가스 집약도가 2040년까지 연평균 0.6%의 빠른 속도로 개선될 것으로 예상된다. 이러한 집약도 개선에도 불구하고 산업부문의 온실가스 배출량은 현재(2014년)의 6.1십억CO₂톤에서 2040년에는 7.4십억CO₂톤으로 증가하고 여기에 전력과 열 소비에 따른 간접배출량(5십억CO₂톤)이 추가되면 산업부문에서 발생된 온실가스는 파리협정 감축목표를 달성하더라도 2040년에 12.4십억CO₂톤에 이를 전망이다. 산업부문의 배출량이 증가한다는 점은 산업부문의 에너지 효율 개선 잠재량이 실현되지 못한 부분이 많다는 점을 말해주고 있는데 대표적으로는 산업용 전동기의 효율 개선 여지

[그림 10] 2도 온도상승 경로에 필요한 산업부문의 수단별 감축량



자료 : IEA, World Energy Outlook, 2016



가 있다고 할 수 있다.

2도 온도상승 목표를 달성하기 위해서는 산업용 전 동기의 효율개선과 함께 산업용 열 생산, CCS 활용을 통해 산업부문의 온실가스 배출량(직접배출)을 2040년에 7.4십억CO₂톤에서 5십억CO₂톤으로 감축할 수 있을 것으로 예상된다. 전동기를 비롯한 산업부문의 에너지 효율 개선은 2040년에 추가적으로 약 1.1십억 CO₂톤의 감축 잠재량을 갖고 있으며, CCS는 약 1십억 CO₂톤, 연료전환과 수요 감축이 나머지 0.3십억CO₂톤의 온실가스 감축 잠재량을 갖고 있는 것으로 나타나고 있다. 2도 달성을 위해서는 산업용 전동기의 효율이 현재 대비 40% 이상 개선되어야 한다는 점을 감안하면 산업부문에서는 에너지 효율 개선에 의한 온실가스 감축이 2도 달성 감축에 필요한 온실가스 감축의 약 40%를 차지할 것으로 예상된다.

4) 건물부문의 온실가스 감축 방안

건물부문의 에너지 소비당 온실가스 집약도는 다른 부문에 비해 개선속도가 느린 편이지만 건물부문은 전력 소비의 절반 정도를 차지하고 지역난방을 가장 많이 소비하고 있는 부문이기 때문에 온실가스 감축에 있어서 중요한 부문이라고 할 수 있다. 건물부문의 주요 온실가스 감축은 가전기기나 조명기구의 에너지 소비 효율을 제고시키거나 저탄소 연료를 사용하는 기구로 전환하는 방안, 건물용 난방과 냉방용 에너지 소비를 감축할 수 있도록 단열을 강화하는 방안이다. 에너지 효율기준 도입을 통해 에너지 소비기구의 효율은

빠른 속도로 개선되고 있다.

가전기구의 효율개선으로 파리협정의 감축목표를 달성할 경우에도 건물부문의 온실가스 배출량(직접 배출량)은 2040년까지 현재의 수준을 유지하지만, 전력과 열 소비의 증가로 인해 간접 배출량은 현재의 5.6십억 CO₂톤에서 2040년에는 6.4십억CO₂톤까지 증가할 것으로 예상된다.

2도 상승 배출경로를 달성하기 위해서는 효율이 낮은 가전기기(냉장고, 냉동기, 세탁기, 드라이기 등)와 백열등 사용을 2030년부터 금지할 필요가 있다. LED 전구가 이미 가격 경쟁력을 갖고 있음에도 불구하고 소비자들이 기존의 전구를 지속적으로 사용하고 있는 현상이 나타나고 있기 때문에 신축건물에 대한 에너지 효율기준 도입 및 강화를 통해서 에너지 소비를 감축시키고 간접배출량도 감축시킬 수 있다.

마. 2도 이내 달성 방안

2040년에 지구온도 2도 이내 상승(2도 상승 달성 확률 66%)에 필요한 이산화탄소 배출량은 16.3십억CO₂톤으로서 2도 상승(2도 상승 달성 확률 50%)에 필요한 연간 온실가스 배출량(18.4십억CO₂톤)에 비해 약 2십억CO₂톤이 낮은 수준이다.¹²⁾ 2도 달성을 위해 대부분의 비용 효과적인 온실가스 감축수단이 활용되었기 때문에 추가적으로 약 2십억CO₂톤을 감축하기 위해서는 상당한 비용이 수반될 것으로 예상된다.

수송부문에서는 수송수단의 추가적인 전력화가 추진되어야 하는데, 2도 달성을 위해서는 경량 화물차

12) 지구온도를 2도 상승(확률 50%)에 머물기 위해서는 2015-2100년의 이산화탄소 배출허용총량(carbon budget)은 1,140십억탄소톤(990-1,240십억탄소톤), 2도 이하 상승(확률 66%, 확률 50% 시 1,840도 온도에 상승에 해당)의 이산화탄소 배출허용총량은 830십억탄소톤에 이르러야 한다.



의 1/3이 전력화되어야 하는 반면 2도 이내 목표달성을 위해서는 경량 화물의 3/4가 전력화되어야 한다. 승용차는 모두 전력화되어야 하고 경량 화물트럭의 상당부분이 전력화되어 전기자동차는 현재의 130만대에서 2040년에는 22억대로 증가되어야 한다. 이러한 전기자동차의 증가에 소요되는 전력을 공급하기 위해 2040년까지 180GW의 발전설비를 추가해야 한다. 발전부문에서는 신재생과 원자력과 같은 저탄소 발전원의 추가적인 증대가 이루어져야 하며, 2도 달성에 비해 2040년까지 10% 많은 2,400TWh의 저탄소 전력이 도입되어야 한다. 이러한 저탄소 전력은 수송부문의 수요증가와 석탄화력발전의 전력감소를 충당하기 위한 것이다. 발전부문에서 저탄소 발전원의 비중은 2도 달성(70%)에 비해 10% 포인트 높은 80% 수준에 이르러야 한다. 건물부문에서는 특히 선진국과 경제전환국을 중심으로 2040년까지 대부분의 건물이 잔존할 것으로 예상되어 건물의 색신이 이루어질 필요가 있다. 건물부문의 화석연료 수요는 2도 달성에 비해 25% 정도 감소되어야 한다.

바. 1.5도 달성 방안

지구온도를 1.5도 상승으로 제한하기 위해서는 에너지부문의 이산화탄소배출량은 2030년 말에 순제로까지 하락해야 하며 이를 위해서는 에너지 소비부문을 전력화해야 한다.¹³⁾ 지금부터 모든 저탄소 기술이 빠른 속도로 적용되어야 하며, 승용차와 경량 화물트럭이 모두 전력화되어야 하고 대형 트럭과 버스는 점진적으로 전력화가 이루어져야 한다. 산업부문에서는 에너지

와 물질의 효율을 극대화시켜 에너지 소비 수준을 현재의 수준보다 낮게 유지해야 하며, 이를 위해서는 전력, 바이오매스, 신재생 기반 열생산기술을 빠르게 보급해야 하며, 혁신적인 저탄소 공정도 빠른 속도로 도입해야 한다. 주거용 및 상업용의 모든 건물은 2040년까지 온실가스 배출량을 제로 수준으로 감축해야 하며 나머지 에너지 소비는 모두 신재생에너지나 저탄소 전력으로 대체되어야 한다. 에너지 소비부문의 급격한 전력화로 인해 전력수요는 현재의 두 배 수준으로 증가하며 전력수요 증가의 90%는 신재생에너지와 원자력에 의해서, 나머지는 CCS를 장착한 천연가스발전이 공급해야 한다. 천연가스 발전규모는 2도 달성 목표와 비슷한 수준이지만 전력망 안정을 위해 저장장치와 융통성 장치를 구비해야 하며, 석탄화력발전은 CCS를 장착했다 할지라도 급격하게 감축시켜야 한다. 화석연료 비중은 현재의 80%에서 30% 수준으로 감소해야 하며, 화석연료는 석유와 천연가스에 국한될 것이다. 천연가스는 주로 발전용과 산업용 소비를 중심으로 2040년에 2,300십억m³에 이르러 현재 수준의 1/3 수준까지 하락하며, 석유소비는 2040년에 40백만b/d 수준까지 감소하여 2도 달성 목표에 비해 50% 수준에 그치는데 석유소비는 석유 대체가 어려운 산업용 소비(석유화학)와 항공 및 도로수송용에 국한될 것이다.

1.5도 달성을 위해서는 지속가능한 바이오매스 사용을 추진되어야 한다. 2040년에 연간 에너지 소비량이 100 EJ에 이르기 위해서는 발전과 열생산 및 산업부문에 사용되는 바이오매스의 80%는 CCS를 장착해서 다른 화석연료 연소에서 발생한 온실가스를 포집 및 저장해야 한다. 2040년에 에너지부문 온실가스 배출량

13) 지구온도를 1.5도 상승에 머물기 위해서는 2015-2100년의 이산화탄소 배출허용총량은 400-450십억CO₂톤 혹은 50-250십억CO₂톤에 머물러야 한다.



이 순제로에 도달하기 위해서는 발전부문과 산업부문에서 매년 4십억CO₂톤이 포집되어야 하고 추가적으로 바이오매스의 CCS를 통해 4십억CO₂톤이 포집되어야 한다. 이를 위해서는 발전부문에 500GW의 바이오매스 발전설비에 CCS를 장착해야 한다.

4. 시사점

파리협정에 의해 세계 모든 국가가 온실가스 감축목표를 비롯한 자발적 기여(INDC)를 유엔에 제출했다. 인류가 공동으로 추구하고 있는 산업화 이전 대비 지구온도 2도 상승을 달성하겠다는 파리협정의 목표를 달성하기 위해 모든 국가가 적극적인 의지를 표명한 것이다. 그러나 각국이 최선을 다해 파리협정 감축목표를 달성해도 2도 상승목표를 달성하지 못하고 2.7도 상승을 초래할 것으로 우려되고 있다. 기후변화에 의한 심각한 피해를 방지하기 위해서는 추가적인 온실가스 감축노력이 필요할 것으로 예상된다.

에너지부문의 온실가스 배출량은 전체 온실가스 배출량의 60% 이상을 차지하고 있기 때문에 온실가스 감축에 있어서 핵심적인 역할을 할 수 있는 부문이다. 에너지부문의 온실가스 배출량은 파리협정의 감축목표를 달성해도 파리협정에서 요구하고 있는 조기 배출정점에 도달하지 못하고 지속적으로 증가할 전망이다. 지구온도 2도 상승에 필요한 배출경로를 달성하기 위해서는 파리협정 목표 달성 시의 온실가스 배출량을 추가적으로 50% 이상 감축해야 한다.

파리협정의 감축목표를 달성하기 위해 각국은 다양한 저탄소 에너지정책을 추진하고 있다. 온실가스 감축을 위해서는 신재생에너지 확대와 에너지 효율개선이 가장 크게 기여할 것으로 나타나고 있다. 부문별로

보면 발전부문과 수송부문 및 산업부문이 전체 온실가스 배출량의 85% 이상을 차지하고 있을 뿐만 아니라 이들 부문에서 가장 큰 온실가스 감축 잠재력이 있는 것으로 확인되고 있다. 따라서 저탄소 사회로 나아가기 위해서는 발전부문의 저탄소화를 우선적으로 추진하고 에너지 소비부문에서 현재의 화석연료 소비를 저탄소 전력으로 대체하는 정책이 추진될 필요가 있다.

발전부문에서는 신재생에너지발전을 비롯한 저탄소 발전원을 확대하고 이러한 발전원을 전력망에 안정적으로 통합하기 위한 정책이 추진될 필요가 있다. 수송 부문에서는 승용차부문에서 화석연료 자동차를 대체할 전기자동차나 연료전기자동차와 같은 저탄소 자동차의 보급이 확대될 필요가 있으며, 국제해운 및 항공부문의 석유소비를 대체할 바이오연료의 개발과 보급이 추진될 필요가 있다. 신재생에너지 보급확대와 에너지 효율 개선을 위해서는 우선적으로 탄소가격의 도입 및 확대가 필요하며 에너지 효율 개선을 위해서는 규제 정책도 병행될 필요가 있다.

파리협정이 추구하고 있는 온실가스 감축목표를 달성하기 위해서는 저탄소 기술의 적용과 이를 뒷받침해주는 규제 및 인센티브 정책, 그리고 능력형성이 가장 중요한 요소라고 할 수 있다. 저탄소 기술의 개발 뿐만 아니라 이들 기술이 현장에 적용될 수 있도록 정책적인 지원이 필요하다. 저탄소 기술의 개발과 적용을 통한 성장동력 창출도 함께 추진될 필요가 있다. 온실가스 감축이 뒤로 미루어질수록 나중에 감축해야 할 규모는 급격하게 증가할 뿐만 아니라 기후변화에 의한 사회적 비용이 빠르게 증가할 것으로 예상되고 있다.

참고문헌



〈국내 문헌〉

에너지경제연구원, 에너지인사이트 제16-25호,
2016.7.8

_____, 에너지인사이트 제17-3호,
2017.2.6

_____, 에너지인사이트 제17-12호,
2017.4.10

〈외국 문헌〉

IEA, CO₂ Emissions from Fuel Combustions, 2016
edition

_____, World Energy Outlook, 2017

_____, News, 2017.3.17("IEA finds CO₂ emissions flat to
the third straight year even as global economy
grew in 2016")

_____, Energy, Climate Change and Environment, 2016
insights, 2016

_____, Energy Technology Perspectives, 2016

UNEP, The Emissions Gap Report, 2016

UNFCCC, Aggregate effect of the intended nationally
determined contributions : an update, 2016.5.2