



세계의 미래 에너지시스템 전망 및 시사점¹⁾

윤 가 혜 한국에너지기술평가원 선임연구원 (ghyun@ketep.re.kr)

1. 서론

2015년 12월 UN 파리협정이 채택됨에 따라 신기후체제가 출범함으로써 기존 교토의정서가 대체되고 2020년 이후 선진국과 개도국이 모두 자발적 기여를 통한 온실가스 감축 노력에 동참하게 되었다. 또한, COP 21은 기후변화 저감을 위한 에너지정책 특히, 청정에너지기술 보급의 적극적인 추진을 위한 촉매이자 원동력이 되었다.

이러한 환경 속에서 「Energy Technology Perspectives 2016(ETP 2016)」은 기후변화에 대응하고 지속가능한 에너지시스템을 실현하기 위해 필요한 중장기 기술 비전을 제시하고 이에 요구되는 정책 및 투자방향을 제시하고 있다. 「ETP 2016」은 3가지 시나리오를 가정하고 2050년까지 적절한 정책적 지원과 도전적인 기술개발을 통해 저탄소 에너지 미래를 실현하기 위한 경로들을 모델링한 분석 보고서이다. 지속가능한 에너지시스템으로의 비용효과적인 전환을 위해 공급, 변환, 최종소비 등 에너지 전 부문에 걸친 저탄소 에너지기술의 포트폴리오 접근방식을 사용하고 있다.

「ETP 2016」은 지속가능한 에너지시스템으로의 전환이 현재 보급되거나 상용화에 가까운 기술들을 통해 충분히 가능함을 보여주고 있다는 측면에서 의미있는 분석결과를 제공해 준다. 그러나 이는 정책결정자들이 청정에너지기술 보급을 적극적으로 추진할 때 가능한 것이다. 탈탄소화는 에너지 전 부문에 걸친 강력하고 도전적인 정책의 도입과 비용을 절감할 수 있는 혁신기술의 개발 및 보급의 가속화를 통해서 가능하다.

본고는 IEA에서 발간한 「ETP 2016」의 내용 중 1장 세계 전망에 관한 내용을 요약 정리한 것으로서, 전 세계 에너지수요 및 배출량 전망과 미래 에너지부문별 시스템의 시나리오 분석 결과, 관련되어 요구되는 정책 및 투자 등의 내용을 포함하고 있다.

2. 에너지수요 및 CO₂ 배출 전망

「ETP 2016」의 분석모델은 발전, 수송, 산업, 건물 등 4가지 부문으로 구성되며 2013년~2050년 기간 동안

1) 본고는 IEA에서 발간한 ETP(Energy Technology Perspectives) 2016 보고서 중에서 제1장(The Global Outlook)의 내용을 바탕으로 정리한 것임.



28~39개 지역·국가를 대상으로 6℃ 시나리오(6DS), 4℃ 시나리오(4DS), 2℃ 시나리오(2DS)²⁾로 명명한 3가지 시나리오를 가지고 세계 에너지수요, CO₂ 배출량, 에너지 부문별 미래 에너지시스템을 전망하고 있다.

가. 1차에너지 수요

2014년 세계 1차에너지 소비는 570EJ로 2004년과 비교하면 20% 증가한 것으로 나타났다. 세부적으로는 석유가 31%, 석탄이 29%, 천연가스가 21%, 바이오연료가 10%, 원자력이 5%, 기타 재생에너지가 4%를 차지했다. 전체 에너지 중에서는 화석연료가 81%로 비율로는 대부분을 차지하고 있는데 2004년 이후 화석연료의 절대적인 사용량으로 보면 100EJ이 증가해 25% 늘어난 것으로 나타났다. 에너지원단위는 2004년~2014년 기간 동안 5% 향상되었다. 이는 에너지수요와 경제성장의 탈동조화를 위해 지원한 정책들이 성과를 보이기 시작했다는 증거인 동시에 화석연료의 소비와 에너지 관련 탄소 배출량을 줄이기 위한 노력이 더욱 확대되어야 함을 시사해 주는 지표이기도 하다.

6DS의 경우 세계 1차에너지 수요는 2050년까지 940EJ이 되며 화석연료가 1차에너지 수요의 77%를 차지해 여전히 세계 에너지믹스의 대부분을 화석연료가 차지할 전망이다. 2013년과 비교한다면 전체에서 차지하는 비율이 조금 낮아지긴 했지만 그렇다 하더라도 석탄, 석유, 천연가스 소비가 270EJ(58%) 증가하

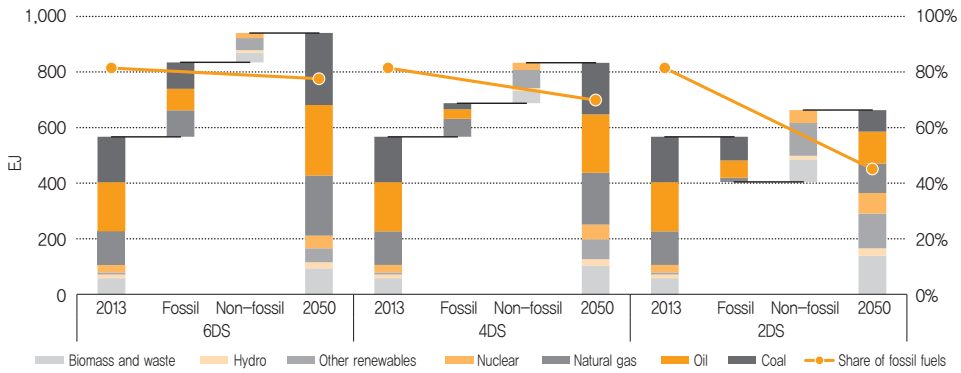
게 된다. 2050년 1차에너지 믹스의 화석연료를 제외한 나머지 부분은 바이오연료가 10%, 기타 재생에너지가 8%, 원자력이 5%를 차지하는 것으로 전망되었다. 6DS의 경우 1차에너지와 전환부문이 지속적으로 향상되어 1차에너지 수요 증가율이 점진적으로 감소함으로써 2050년 에너지원단위는 2013년 대비 50% 낮게 나타났다.

4DS의 경우 에너지 효율정책의 강화로 인해 1차에너지 수요의 성장이 줄어들어 6DS 대비 2050년 1차에너지 수요는 90EJ(10%) 감소하고 2013년과 비교하면 50% 증가하는 것으로 나타났다. 1차에너지 믹스를 보면 화석연료가 70%, 바이오연료가 12%, 기타 재생에너지가 12%, 원자력이 6%로 2013년~2050년 기간 동안 3개 화석연료의 절대적인 소비량은 증가하게 된다. 재생에너지원인 태양광, 풍력, 바이오연료 등의 수요는 2013년~2050년 두 배로 증가할 전망이다.

2DS를 적용한다면 2050년까지 1차에너지 수요는 663EJ이 되며 이는 6DS와 비교해 30% 낮은 수준이다. 연평균 증가율도 0.5%로 6DS와 비교하면 3배 이상 낮아지게 된다. 에너지믹스 측면에서는 2DS를 적용할 경우 화석연료가 45%, 원자력이 11%를 차지해 원자력이 중요한 역할을 하는 것이 특징이라고 할 수 있다. 6DS와 2DS에서 GDP 성장이 동일한 증가수준을 보인다고 가정한다면, 2DS는 에너지원단위가 2013년~2050년 사이에 3분의 2 수준으로 감소하여 6DS 대비 30% 정도 감소할 것으로 나타났다.

2) '2DS(2℃ Scenario)'는 평균기온 상승을 2℃ 이내로 제한하는 시나리오로써 2050년까지 2013년 대비 CO₂ 배출량을 60% 수준으로 줄일 수 있음. '6DS(6℃ Scenario)'는 이미 실행되고 있는 정책수단 이외에는 온실가스 감축을 위한 아무런 노력도 하지 않는다고 가정함. 6DS를 적용할 경우 2050년 연간 에너지 및 공정 관련 배출량은 55GtCO₂로 2013년 대비 60% 정도 증가함. 세계 평균기온 상승은 장기적으로 5.5℃까지 상승할 것으로 추정됨. '4DS(4℃ Scenario)'는 최근에 발표한 국가별 온실가스 감축 및 에너지 효율향상 정책까지 포함. 장기적으로 평균기온 상승을 4℃ 이내 제한을 목표로 함. ETP 2016은 궁극적으로 2DS의 실현을 목적으로 하고 있으며 6DS나 4DS와 달리 2DS가 실현된다면 장기적으로 안정적인 경제적 에너지 시스템을 구축할 수 있음. 또한, 2DS의 실현을 통해 CO₂ 배출량과 경제성장의 관계를 탈동조화할 수 있음.

[그림 1] 3개 시나리오별 세계 1차에너지 수요 전망(2013~2050)



자료: IEA, ETP 2016, 2016

나. 최종에너지 수요

2014년 세계 최종에너지 수요는 총 390EJ로 석유가 39%, 전력이 18%, 석탄이 15%, 천연가스가 15%, 바이오연료가 11%, 열이 3%로 나타났다. 최근의 경향을 보면 석탄과 전력의 비율은 증가하고 석유의 비율은 감소하는 추세다.

6DS를 적용할 경우 2050년 최종에너지 수요는 2013년 대비 약 3분의 2가 증가한 667EJ에 달할 전망이다. 석유는 2050년에도 전체의 37%를 차지해 여전히 중요한 비중을 차지할 것으로 전망되었다. 전력은 가장 큰 증가를 보이는 분야로 최종소비의 24%를 차지하고 천연가스의 소비는 2배 정도 증가하는데 전체에서 차지하는 비율로 보면 소폭 증가하는 수준에 그칠 것으로 나타났다.

4DS를 적용할 경우 2050년 최종에너지 수요는 6DS보다 낮은 590EJ이 되며 화석연료의 비율은 62%로 6DS의 65%와 비교하면 약간 감소하게 된다. 절대량으로 보면 2013년 대비 96EJ 증가할 것으로 나타났다.

한편, 2DS는 다른 전망을 보여준다. 최종에너지 수요는 여전히 증가하는 것으로 나타나지만 6DS나 4DS와 비교하면 그 속도가 훨씬 느려 2050년 최종에너지 수요는 455EJ 정도로 나타났다. 선진국에서는 소비량의 피크가 개발도상국보다 일찍 나타나지만 2DS가 실현된다면 많은 개발도상국들도 2050년 이전에 최종에너지 사용이 피크에 도달하는 것으로 전망되었다.

2DS가 실현될 경우 최종에너지 믹스도 보다 균형이 잡히면서 에너지안보 측면에서도 잠재적 편익이 발생하게 된다. 전력의 경우 2050년까지 석유소비량을 뛰어넘어 전체에서 차지하는 비중이 28%가 되지만 절대적인 성장 수준을 보면 6DS보다는 적은 수준이다. 나머지는 석유가 25%, 천연가스가 16%, 바이오연료 및 폐기물이 15%, 석탄이 11%를 차지하게 된다.

다. CO₂ 배출

2014년 세계 에너지 관련 CO₂ 배출량은 2004년과 비교하면 약 4분의 1 정도 증가해 계속 증가하는 것으로 나타났으며 부문별로는 발전이 38%, 산업이 26%,

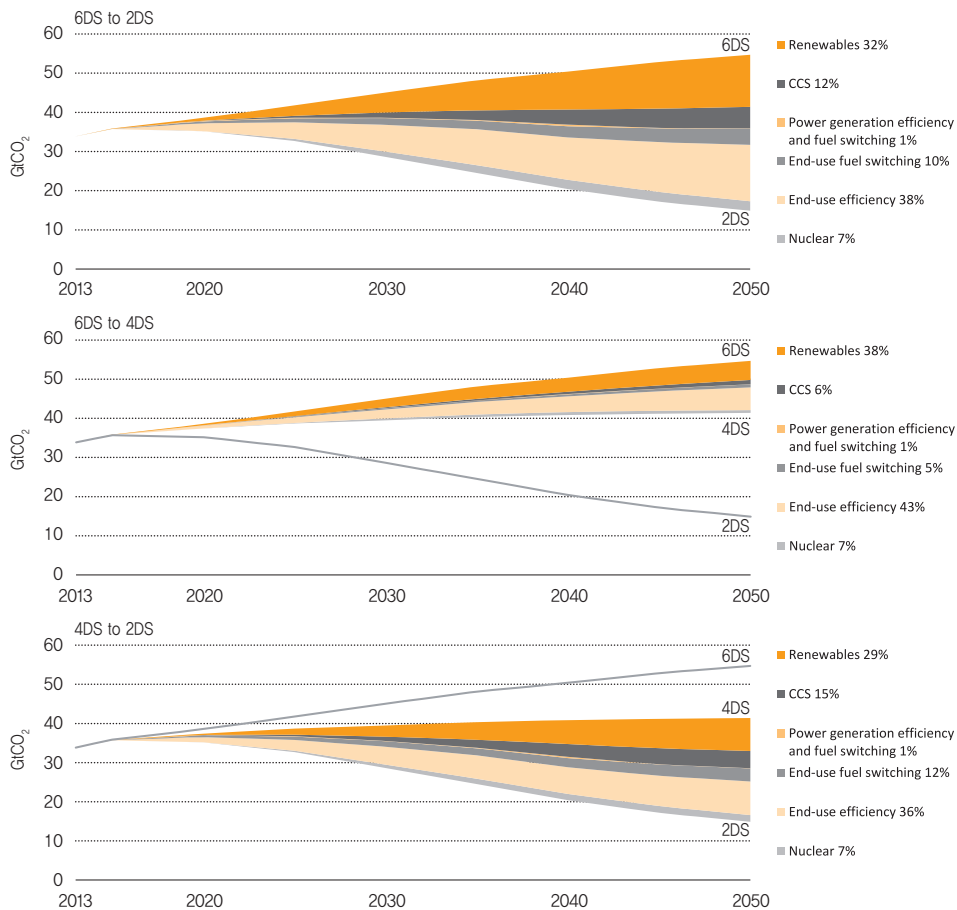


수송이 21%, 건물이 8%를 차지했다. 발전부문의 배출량을 최종소비부문에 할당할 경우 건물은 30%, 산업은 40%로 각각 비율이 증가하게 된다.

6DS의 경우 CO₂ 배출은 2050년까지 2013년 대비 3분의 2 증가한 55GtCO₂에 달하게 된다. 4DS에서는 2013년 대비 20% 증가한 41GtCO₂가 된다. 한편 2DS에서는 배출량이 2013년 대비 반 이상으로 줄어들고 6DS와 비교하면 70% 정도 줄어들게 된다.

2DS를 비용효과적으로 실현하기 위해서는 재생에너지, 원자력과 같은 저탄소 기술 포트폴리오를 통한 기술적 해결책이 핵심적이라 할 수 있다. 2015년~2050년 동안 2DS의 누적 배출량 감소에 큰 기여를 한 분야로는 전력효율(38%)과 재생에너지(32%) 등 2개 분야를 들 수 있다. 이외에도 CCS가 12%, 원자력이 7% 기여한 것으로 나타났다. 이와 같은 기술의 배출량 감축 기여도는 시나리오에 따라 변동한다. 재생에너지와 최

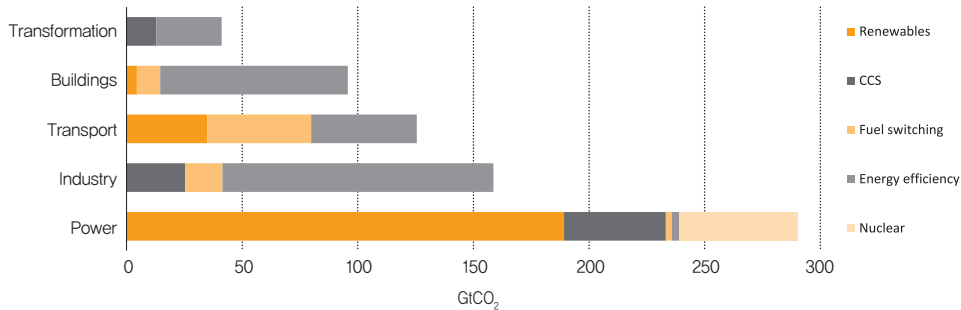
[그림 2] 기술별 세계 CO₂ 감축 전망(2013~2050)



자료: IEA, ETP 2016, 2016

중소비 연료 및 발전효율은 6DS에서 4DS로 전환되는 데 큰 역할을 했고, CCS와 최종소비부문의 연료교체는 4DS에서 2DS로 전환되는데 중요한 기여를 한 것으로 나타났다.

[그림 3] 6DS 대비 2DS에서 발생하는 세계 누적 CO₂ 감축 전망(2013~2050)



자료: IEA, ETP 2016, 2016

3. 부문별 미래 에너지시스템 전망

가. 발전부문

1) 현황

2013년 세계 CO₂ 배출의 40% 이상 및 세계 1차에너지 사용의 37%가 발전부문에서 발생하는 것으로 나타났다. 2013년에 세계 발전량은 3.1% 증가했는데 이 중 80%가 아시아 국가에서 발생했고 중국이 65%를 차지했다. 전력은 산업, 건물, 수송, 농업부문의 최종에너지 소비 중 가장 빠르게 성장하는 분야로 2013년 연간 성장률은 3.3%이다.

재생에너지 기술의 경우 2014년 발전설비 시장의 성장을 주도하며 세계 발전설비의 증가분 중 45%를 차지했다(130GW). 저유가에도 불구하고 풍력은 50GW, 태양광은 41GW 증가하였다. 그러나 재생에너지 설비의 급격한 증가에도 불구하고 2014년 세계 발전설비

5,800GW 중 대부분은 여전히 화석연료가 주도하고 있어 석탄 33%, 가스 27%, 재생에너지 25%, 석유 8%, 원자력 7% 순으로 나타난다.

중국은 2012년 이후 설치된 발전설비량이 가장 큰 국가로 2014년에 1,245GW로 세계 용량의 21%를 차지해 미국(20%) 보다 더 큰 수치를 나타냈다. 중국과 미국은 발전소의 수명구조가 다른데, 중국의 경우 전체의 70%, 865GW가 지난 수십년 이내에 건설된 것이고 미국은 절반정도인 580GW가 30년 이상 된 것이다. 급격한 경제성장 및 전력수요 증가로 인해 아시아와 중동에서도 지난 10년간 발전설비가 증가하고 있다. 세계 신규 설비 증가량을 보면 중국이 40% 이상을 차지하고 있는데 주로 석탄발전소이고 EU와 미국은 10% 정도를 차지하고 있는데 주로 가스화력이나 재생 플랜트로 구성되어 있다.

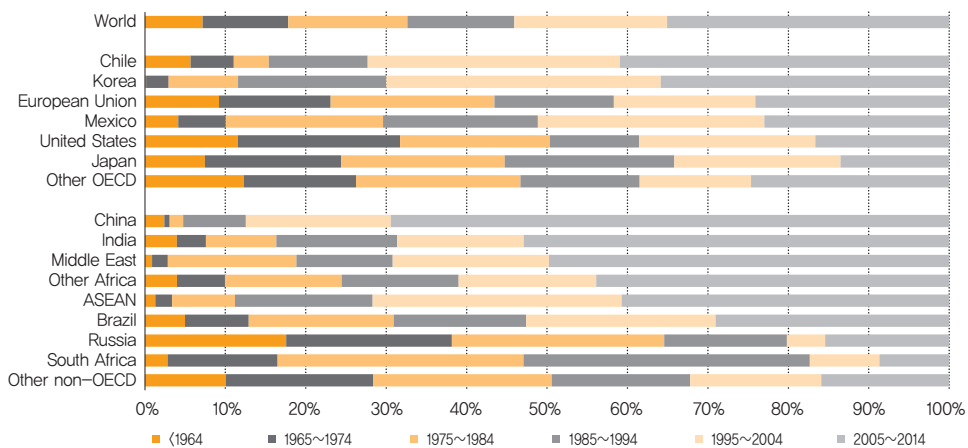
발전부문의 탈탄소화를 위한 전략은 발전소의 노후화 정도에 따라 국가별로 다르게 나타난다. 미국이나 EU와 같은 국가들은 수요 성장이 제한적이고 설비가



노후화되어 점진적으로 다양한 재생에너지원으로 이동하고 있다. 그러나 아시아나 중동 등 개도국에서는 전력에 대한 수요 증가에 대응하면서 인프라 확대에 따른 기술적 문제, 파이낸싱, 숙련된 인력의 확보와 같은 문

제들을 해결하는 것이 필요하다. 신규로 화석연료 기반의 발전플랜트가 보급되는 경우라면 기존 인프라에 대한 고착(lock-in) 효과 없이 저탄소 기술이 보급되는 기회가 될 수 있다.

[그림 4] 지역별 발전설비의 노후화 수준(2014)



자료: IEA, ETP 2016, 2016

2) 시나리오 결과

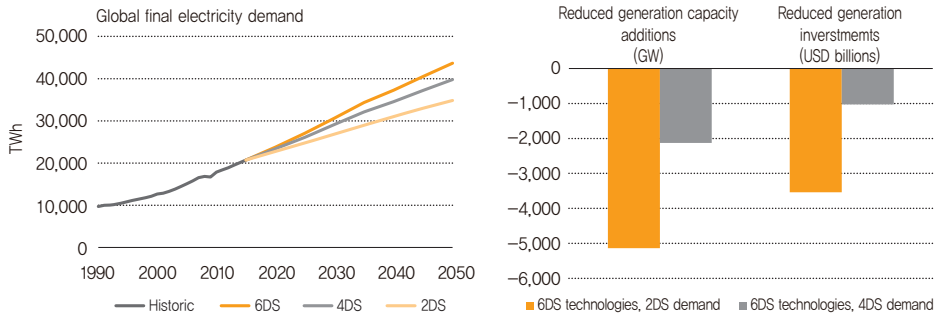
6DS와 4DS를 적용할 경우 세계 전력수요는 2013년~2050년 동안 각각 124%, 104%로 두 배 이상 증가할 전망이다. 최종소비 서비스부문의 효율향상과 건물 부문에서 태양열 시스템과 같은 전력의 대체재로 인해 2DS에서는 79% 정도 증가하는데 그친다. 또한 2DS에서는 2016년~2050년 동안 발전설비에 대한 수요도 감소해 약 5,100GW의 신규 설비를 추가하지 않아도 되며 경제적으로는 3.5조 \$US의 비용절감 효과가 있다. 이는 6DS에서 발전설비에 대한 세계 투자액의 약 5분의 1에 해당하는 수치다. 4DS를 적용한다면 2,100GW 정도의 설비량을 줄임으로써 1조 \$US의 비

용절감을 실현할 수 있다.

2DS의 경우 전력에 대한 수요가 낮게 나타나지만 최종소비부문에서 전기차나 히트펌프와 같은 에너지 서비스의 전기화(electrification)로 인해 2050년 세계 최종에너지 믹스에서 전력이 차지하는 비중은 18%에서 28%로 증가하게 된다. 절대량으로 보면 2050년 전력은 125EJ로 가장 큰 비중을 차지하는 에너지로써 석유 113EJ, 가스 74EJ보다 많다.

2DS에서는 전력의 CO₂ 원단위(CO₂ intensity)가 2013년 528gCO₂/kWh에서 2050년 40gCO₂/kWh로 감소하게 되는데 이는 저탄소 발전방식의 보급을 통해 달성이 가능한 것이다. 세계 발전믹스에서 재생에너지의 비율은 2013년 22%에서 2050년에는 67%가 된

[그림 5] 6DS 대비 4DS, 2DS의 전력 절감 효과(2015~2050)



자료: IEA, ETP 2016, 2016

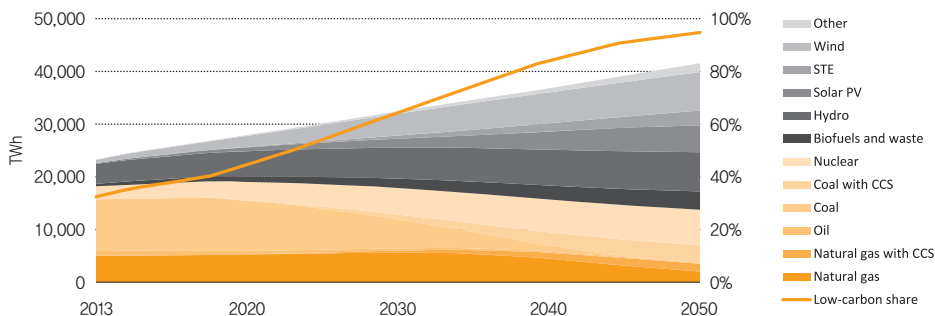
다. CCS가 있는 석탄·가스화력 발전소가 2050년에는 12%를 차지하고 원자력의 비율은 11%에서 16%로 증가할 전망이다.

다양한 재생에너지원으로부터 발전량이 증가할수록 전력시스템의 유연성에 대한 요구도 증가할 전망이다. 2DS의 경우 가스화력설비의 부하시간이 2013년 3,300시간에서 2040년 1,250시간으로 절반 이상이 되고 세계 저장용량도 양수발전을 중심으로 2050년까지 560GW로 세 배 이상 증가될 전망이다. 가스발전소는 다양한 에너지원간 균형을 맞추는 역할을 하고 저장기

술은 초과 공급량을 수요가 높은 시간에 활용할 수 있게 한다. 수요반응(demand response, DR)은 전력수요를 잉여(surplus) 전력 공급시간으로 이동시키는 기술로써 이미 산업 및 건물부문에서 수요반응을 통한 유연성 확보의 기회가 제공되고 있는데 이는 스마트미터와 같은 전력서비스의 스마트한 컨트롤 및 운영을 전제로 한다. 2DS에서는 2050년 5억대 가량의 전기차에 대한 스마트충전이 가능해지면서 관련 연간 전력수요를 450TWh 정도로 예상하고 있다.

발전부문에서 수력을 제외하면 저탄소 기술의 보급률

[그림 6] 2DS의 세계 발전믹스(2013~2050)



자료: IEA, ETP 2016, 2016



은 향후 35년간 가속화될 필요가 있으며 특히, 태양광과 풍력의 보급률 확대가 가장 중요하다. 태양광 보급률은 2010년~2014년 사이에는 연간 27.5GW였으나 2015년~2025년 동안에는 연간 45GW로 증가했다. 2026년~2035년 동안에는 연간 94GW, 2036년~2050년 동안에는 연간 189GW로 증가될 필요가 있다.

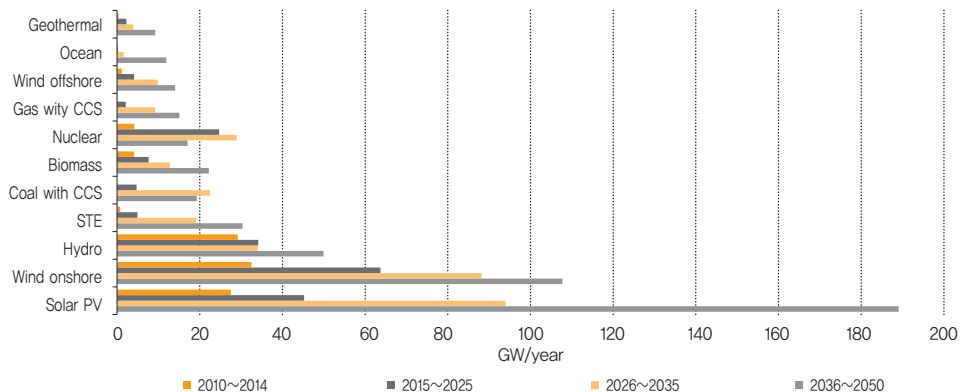
저탄소 기술의 보급률을 가속화하는 것은 도전적이지만 전례가 없는 것도 아니다. 태양광 설비의 경우 2005년~2009년 동안 연평균 증가는 4GW였으나 2010년~2014년 동안 연평균 증가는 27.6GW로 나타났다. 정부의 R&D 지원을 통해 특정 재료나 생산공정에 대한 의존도를 감소시키고 저탄소 기술 보급에 대해 예측가능한 정책 프레임워크 목표를 안정적으로 추진함으로써 산업의 혁신을 자극하고 제조부문에 투자를

위한 혁신을 제공할 필요가 있다. 저탄소 발전 기술의 개발, 플랜트의 건설, 운영, 유지를 위한 전문적인 인력의 수요도 증가할 것이다.

2DS의 실현을 위해서는 발전부문의 탄소 집약적 기술에 대한 고착(lock-in)이 제거될 필요가 있다. 현재 운영 중이거나 건설 중인 석탄발전소는 약 1,200GW에 달하는데 이들의 기술수명을 고려하면 2050년에도 운영이 가능하다. 이 설비용량이 2013년 기준 세계 석탄 발전량의 3분의 2에 해당하는데 연간 5.4GtCO₂를 배출하고 있다. 이는 2DS에서 2050년 배출하는 발전부문 배출량 1.4GtCO₂의 세 배 크기로 시나리오의 실현을 위해서는 석탄발전의 조기 퇴출과 CCS 도입은 피할 수 없을 전망이다.

최종소비부문의 전력사용이 줄어들면 설비 및 투자

[그림 7] 2DS의 저탄소 발전기술 세계 보급률



자료: IEA, ETP 2016, 2016

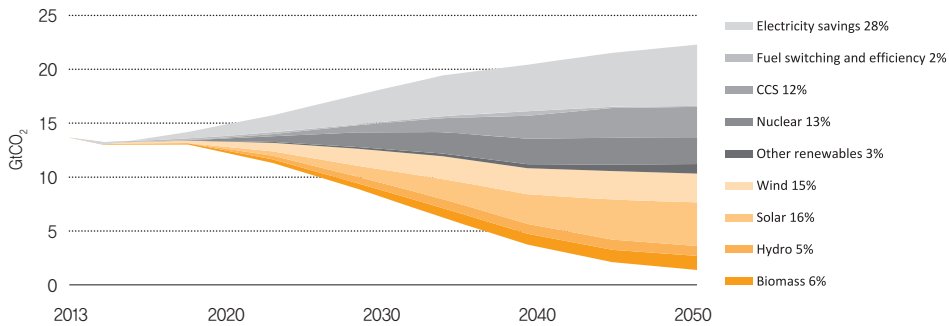
도 감소되고 발전부문의 총 CO₂ 배출량도 감소하게 된다. 6DS와 비교하면 2DS의 2016년~2050년 세계 누적 CO₂ 감소량의 4분의 1 이상이 최종소비부문의 전력 사용 절감량을 통해 발생한다. 이는 수요측 방안만으로

도 연간 약 16GtCO₂를 발전부문에서 감축할 수 있는 것을 시사해준다. 이외에도 시나리오의 실현을 위해서는 재생에너지, CCS, 원자력과 같은 다른 옵션도 중요하다. 재생에너지는 누적 배출감축량의 45%를 차지하

고 CCS는 12%, 원자력은 13%를 차지한다. 2050년에 는 발전부문 CCS를 통해 포집되는 CO₂가 3.5GtCO₂에

달하고 세계 원자력은 914GW로 두 배 이상 증가할 전 망이다.

[그림 8] 6DS 대비 2DS의 발전부문 기술별 CO₂ 감축량



자료: IEA, ETP 2016, 2016

3) 발전 투자수요

2DS의 경우 발전부문의 탈탄소화를 위해서는 2016 년~2050년 동안 37.2조 \$US의 누적투자가 요구되며 6DS 경우 필요한 누적투자액은 28.3조 \$US이다. 이러 한 투자는 발전, 송배전, 저장에 대한 비용을 포함하고 있다.

지역별 투자수요를 보면 비OECD 국가에서 85%가 발생하는데 특히, 중국이 22%, 인도가 21%로 2013년 ~2050년 사이에 전력수요가 140% 성장할 전망이다. 기술별로는 재생에너지가 10.7조 \$US로 가장 크고 CCS가 2.1조 \$US, 원자력이 1.8조 \$US 필요할 것으 로 예상된다. 반대로 CCS가 없는 화석연료 기반의 발 전플랜트에 대한 투자액은 4.2조 \$US 만큼 감소하 게 된다. 2DS의 경우 6DS와 비교해 전력수요가 낮아짐으 로써 송배전 인프라부문의 투자도 2.1조 \$US 감소하 게 된다.

4) 핵심 정책

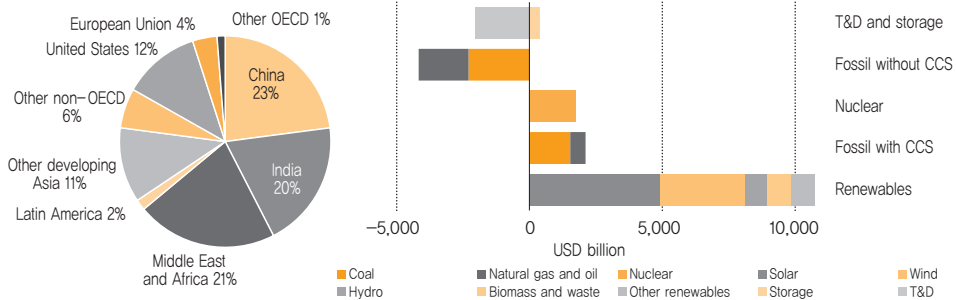
전력 시스템은 저탄소 에너지 미래를 실현하기 위한 핵심부문이다. 전력은 탄소 배출 중 가장 큰 비중을 차지하는 것으로 발전부문의 탈탄소화는 배출량 감축에 결정적인 역할을 하게 되며, 생산 측면 및 전력의 공급 과 수요의 인터페이스 측면, 수요 측면 모두 고려가 필 요하다.

전력생산 측면에서 보면 국가별로 모두 다른 환경에 처해 있다. OECD 국가들은 대부분 인프라가 노후화되 고 1인당 전력수요가 포화상태이므로 주요 관심이 신 재생에너지원의 비율을 증가시키는 데 있다. 반면 개도 국에서는 증가하는 전력수요를 충족시키기 위한 저탄 소 기술의 보급이 필요한 실정이다.

저탄소 전력기술에 대한 파이낸싱은 선진국이나 개 도국 모두에게 쉽지 않다. 선진국에서는 낮은 전력가격 때문에 저탄소 기술의 수익성이 낮고 개도국에서는 자



[그림 9] 지역별 · 기술별 발전부문 추가 투자수요



자료: IEA, ETP 2016, 2016

본이나 비용이 저탄소 기술의 보급에 장애가 된다. 각국 정부에서는 기술 지원, RD&D, 시장 규제, 탄소가격제(carbon pricing) 등 다양한 방식으로 이러한 장애물을 극복하는 방안을 제시하고 있다.

급격한 저탄소 발전기술을 보급 과정에서 야기되는 문제들의 해결을 위해 정부는 다양한 방식으로 개입할 수 있다. 먼저 안정적인 정책 프레임워크를 통해 장기적인 투자를 유도하는 것이 필요하다. 대학 커리큘럼과 훈련 과정을 조정함으로써 저탄소 발전기술의 개발, 건설, 운영에 필요한 엔지니어와 기술인력을 양성하는 역할을 할 수 있다. 2DS의 실현을 위해서는 석탄 화력발전소의 조기 퇴출과 CCS의 도입도 필수적인 것이다.

재생에너지원의 비율이 높아질수록 전력시스템의 높은 유연성이 요구될 전망이다. 에너지시스템 계획이 통합되면서 전력시스템과 전력시스템 외부에 있는 옵션들과의 균형이 필요해지게 될 것이다. 통합된 에너지시스템에 대한 연구와 가이드가 필요하며 각종 규제와 시장조건들도 새로운 비즈니스 모델이 경제적으로 가능해지도록 개선되어야 한다. 불필요한 전력사용의 감축과 생산의 효율성 증대도 배출량 감축에 중요한 요인이다.

나. 수송부문

1) 현황

2013년 수송부문에서는 최종에너지 수요의 26%인 103EJ이 소비되었고 세계 에너지 관련 CO₂ 배출량의 21%인 7.3GtCO₂가 발생한 것으로 나타났다. 수송부문 배출량은 지속적으로 증가하고 있지만 2006년~2015년 사이에 연간 2% 이하로 성장이 완화된 상태였다. 지난 10년간 연간 2.5%로 성장한 것과 비교하면 다소 완화된 수치이다.

여객수송부문을 보면 연료에 대한 세금이 낮고 소득이 높은 국가일수록 개인소유 자동차가 높은 비율을 보인다. 캐나다, 멕시코, 미국은 승용차 특히 대형차의 비율이 높고 중국, 인도, 아세안 국가에서는 2륜차나 3륜차 비율이 높다. 개발도상국에서는 평균 소득과 자동차 소유수준이 낮아 대중교통수단이 많이 활용된다. 라틴 아메리카, 아프리카, 아세안 국가들은 주로 버스와 철도에 의존하며 중국과 인도에서는 철도가 많이 사용된다. 항공은 OECD 국가의 장거리 여행의 40%를 차지하며 세계적으로 보면 도시 이외 지역을 여행할 때 4

분의 1을 차지한다. 소득이 지속적으로 상승함에 따라 항공은 2050년까지 지속적으로 성장할 전망이다.

평균적으로 자동차와 항공에 의한 여객수송의 에너지 및 배출원단위는 2~3륜차와 같은 소형 모드나 대중교통보다 높게 나타난다. 세계 자동차는 에너지원의 채취부터 에너지 전환에 소요되는 에너지 전체 효율성을 고려한 well-to-wheel 측면에서 온실가스 배출 원단위가 115~180gCO₂-eq/pkm에 달하고 항공부문은 평균 170gCO₂-eq/pkm 정도이다. 2~3륜차의 경우 58gCO₂-eq/pkm, 철도나 대중버스의 평균 배출 집약도는 2~3륜차의 절반 이하정도 밖에 되지 않는다.

화물운송부문을 보면 에너지 사용량 및 온실가스 배출량 측면에서 소형 차량은 중형 트럭의 3.5배, 대형 트럭의 8배, 철도와 선박은 중형 트럭의 10 배 이상 효율적이다. 화물 운송은 총 수송부문 에너지 소비의 40%를 차지하고 배출량의 42%를 차지한다. 도시의 화물운송의 경우 운송 에너지소비 및 배출의 21%를 차지하며 해상화물은 화물운송의 81%를 차지하지만 에너지측면에서는 4분의 1 정도만 차지한다. 철도는 비도시 수송의 비율이 높는데 러시아와 같이 바다로 연결되지 않는 무역 대상국을 가진 국가나 해안으로 운송되는 상품의 부피가 큰 경우 활용되고 있다.

2) 시나리오 결과

2DS의 실현을 위해서는 모든 OECD 국가에서 향후 10년 내에 수송연료의 부피가 절대적으로 감소되어야 한다. 대부분 트럭과 항공에서 바이오연료가 화석액체 연료를 대체하고 2륜차나 3륜차 등 단거리 수송에 전기가 급격히 도입되고 OECD 국가와 중국, 인도에 전기차가 빠르게 증가할 것이다.

대부분의 비 OECD 국가에서 소득과 인구가 증가하고 도시화되면서 수송부문의 최종에너지 사용도 증가할 전망이다. 2DS의 경우 라틴아메리카, 아세안, 인도에서 2030년대에는 에너지소비가 안정화될 것으로 보고 있지만 아프리카에서는 증가가 지속될 전망이다.

도시 이외 지역의 수송부문의 경우 자동차, 트럭, 항공, 선박이 주로 활용된다. 도시간 이동의 경우 엄격한 가격 및 규제 정책을 통해 에너지 및 배출량을 감소시킬 수 있다. 이는 효율향상을 촉진하고 차량의 이동량을 감소시키며 버스나 철도와 같은 대중교통의 사용을 증가시킨다.

OECD가 아닌 국가들에서는 GDP가 성장함에 따라 항공여객수요가 향후 수십년간 성장할 것으로 기대된다. 이들 에너지소비를 감소시키기 위해서는 항공수요를 대체할 고속철도의 성장도 중요하고 에너지 효율 기술들의 지속적인 보급도 필요하다. 에너지 효율 및 운영 개선은 항공부문의 2020년과 2050년 배출감축 목표를 달성할 수 있는 수단이다. 자동차의 효율 향상, 저탄소 연료 및 전력의 사용은 수송부문 배출량 감축과 에너지 사용 증가의 완화를 가져올 수 있다.

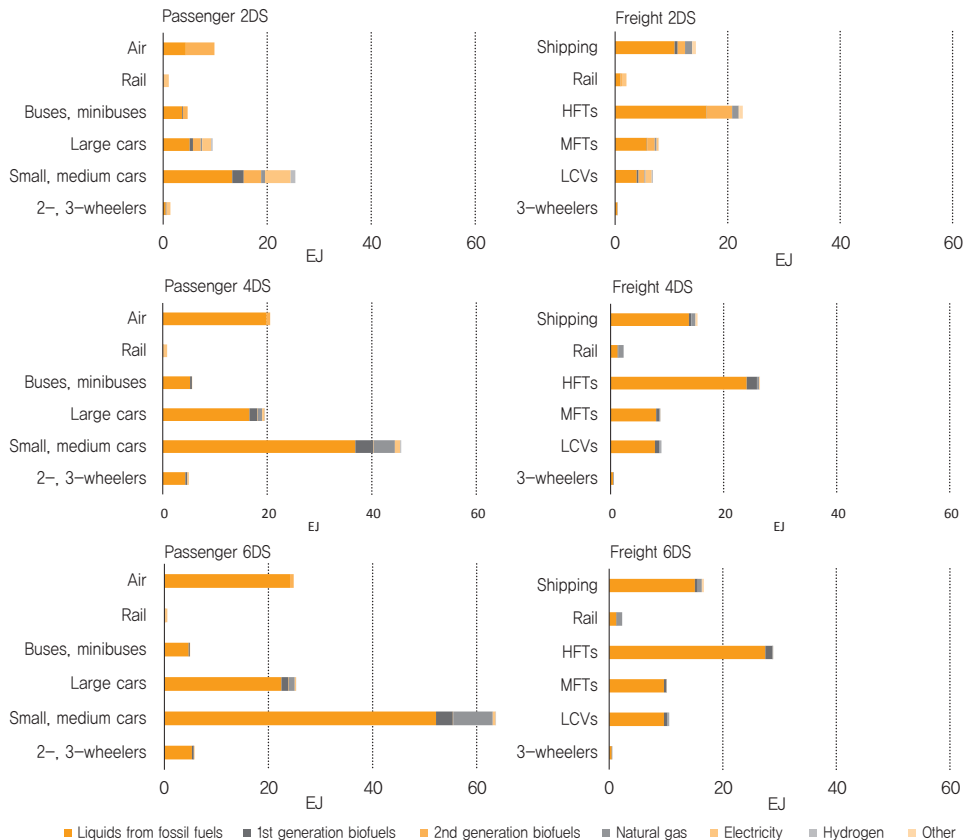
2DS의 경우 승용차나 경량 상업용 자동차는 빠르게 전기화될 전망이다. FCEVs(fuel cell electric vehicles)의 경우 투자 위험이 높아 제한적일 것으로 보인다. 수소의 사용은 2050년까지 1.5EJ에 달하고 최종에너지 수요의 1.5% 수준으로 전망된다.

수송부문의 온실가스 배출은 지역별로 다르다. OECD 국가에서 수송 배출량은 효과적으로 안정화되어 6DS를 적용한다하더라도 배출량이 3% 이하로 증가하고 4DS에서는 2050년에 현재 보다 13% 이상 감소하는 것으로 나타난다.

OECD에서는 이동량을 줄이거나 저탄소 수단으로 이동함으로써 배출량의 3분의 1을 감축하는데 도시



[그림 10] 시나리오별 여객 및 화물 수송모드에 대한 2050년 연료비율



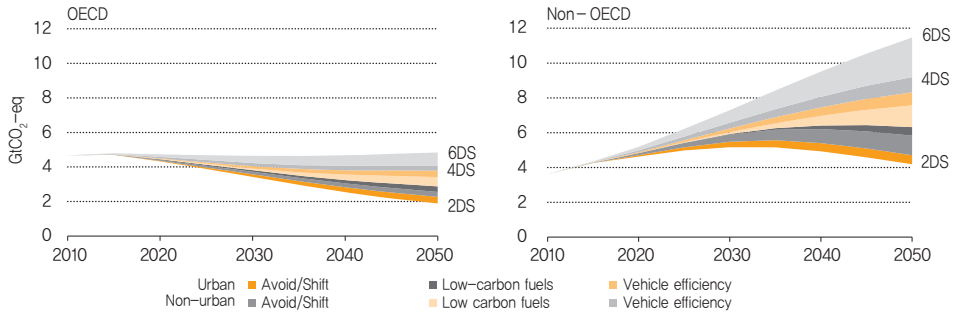
자료: IEA, ETP 2016, 2016

지역의 잠재량이 크다. 또 다른 3분의 1은 효율 향상을 통해 달성되며 도시와 비도시지역의 잠재량이 동등한 편이다. 나머지 3분의 1은 저탄소 연료를 사용함으로써 실현될 수 있으며 비도시 지역에서 잠재량이 크다. 6DS와 비교하면 2DS에서 누적 배출량이 2010년~2050년 동안 28% 감소하고 2050년 배출량은 61% 감소하게 된다.

비OECD 지역에서는 수송부문의 온실가스 배출이 향후 5년간 OECD를 능가하며 2050년까지 비

OECD 지역의 총 수송부문 배출량은 모든 시나리오에서 70% 정도 증가하게 된다. 6DS에서는 2015년~2050년까지 2.6배 증가한 11.5GtCO₂-eq, 4DS에서는 9.2GtCO₂-eq다. 비OECD 지역은 OECD 지역보다 감축 잠재량이 크게 나타나는데 이는 도시가 계획 중에 있고 자동차 수요도 가격 정책을 통해 줄일 수 있는 가능성이 높기 때문이다. 비OECD 지역에서 바이오연료는 비용이 높아 도입속도가 느리며 대륙간 항공수송에 대한 대체재로서 고속철도의 중요성이 높다.

[그림 11] 6DS 대비 2DS의 OECD 및 비OECD 온실가스 배출량



자료: IEA, ETP 2016, 2016

3) 수송 투자수요

수송 투자에 대한 추정치는 도로, 선박, 항공에 대한 여객 및 화물수송에서 발생하는 비용을 포함하고 있다. 자동차 뿐 아니라 신규 도로 및 주차장 건설이나 기존 도로의 유지비용 등도 포함이 되었다. 자동차 소유나 도로 및 철도 인프라 등의 국가 및 지역별 과거 데이터 셋에 기반해 미래 수요를 전망했다.

6DS의 경우 2016년~2050년 동안 367조 \$US의 투자가 필요한 것으로 전망했다. 이는 같은 기간 동안의 세계 누적 GDP의 4.8% 수준에 해당하는 금액이다. 2DS의 경우 353조 \$US가 필요한 것으로 나타났으며 이는 세계 누적 GDP의 4.6% 수준이다. 두 시나리오 모두 투자의 60%는 자동차 관련이고 나머지는 인프라 관련 비용이다. 6DS와 비교하면 2DS에서 자동차 소유가 더 줄어들기 때문에 투자비가 더 낮은 것으로 나타났다.

4) 핵심 정책

2DS 목표의 달성을 위해서는 강력하고 체계적인 수

송 정책이 필요하다. 가격이나 규제를 통해 행동을 변화시키고 투자를 유도하며 기술개발을 촉진시켜야 한다. 온실가스 배출 비용을 포함시킴으로써 시장에 가격 시그널을 제공하고 효율향상의 동력이 되며 가장 배출량이 높은 부분의 비용을 증가시키는 등의 수단이 필요하다.

국가적 수준에서 가장 중요한 것은 향후 십년 내에 연료 보조금을 중단하는 것이며 온실가스 배출량에 따라 연료에 세금을 부여하는 것이 필요하다. 자동차 관련 세금도 개선될 필요가 있다. 노르웨이의 경우 1인당 GDP가 매우 높음에도 불구하고 자동차 세금을 높게 책정함으로써 자동차 소유가 낮게 나타나며 전기차 판매비율도 세계에서 가장 높은 편이다. 이러한 세금의 수익은 에너지효율 기술에 대한 RD&D나 구매 비용을 보조하고 공공 수송부문의 재투자에 활용이 된다. 또 다른 국가적 방안으로써 승용차나 트럭에 대한 연비와 배기가스 배출기준 강화와 같은 규제가 필요하다.

국가적인 정책 지원을 기반으로 지역에서는 교통 혼잡, 건강, 지역환경영향에 대한 설계를 하고 공공 수송, 도보, 자전거 등의 인프라에 대한 투자를 통해 자동



차에 대한 대체재에 보다 경제적이고 편안하게 접근할 수 있도록 하는 것이 필요하다.

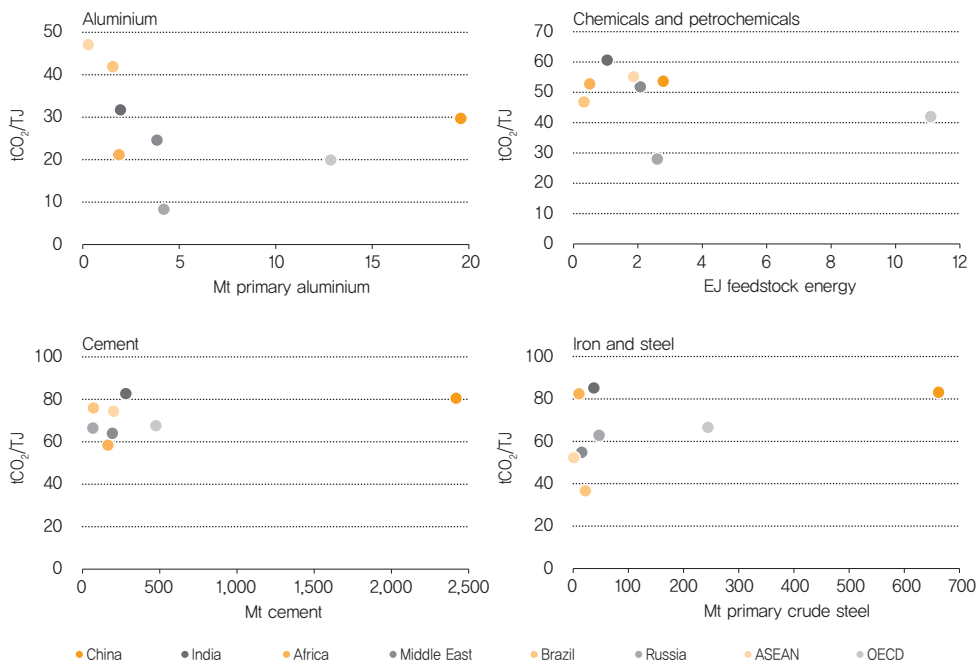
장거리 수송의 급격한 증가와 관련해서는 고속철도와 같은 대체재에 대한 투자가 요구되며 바이오연료와 같은 저탄소 연료의 경우 기준이나 의무사항과 같은 분야에 RD&D 지원과 정책적 지원이 필요하다. 항공부문의 경우 설정한 효율향상 목표의 달성을 위해서는 탄소세, 효율향상과 같은 정책들이 필요한 상황이다.

다. 산업부문

1) 현황

2013년 세계 산업부문 최종에너지 사용은 152EJ, 직접적인 탄소 배출은 9.0GtCO₂로 나타났다. 2000년~2013년 동안 에너지소비는 연평균 3.4% 증가해 경제위기로 인한 일시적 하락을 제외하면 산업에너지 소비는 장기적으로 증가해왔다. 산업의 최종에너지 소비는 2000년 이후 아프리카, 아시아, 라틴 아메리카, 중동에서 증가해 왔으며 OECD 지역에서는 모든 산업에너지 소비가 조금씩 감소해 왔다(연평균 0.7%). 에너지 다소비산업의 에너지소비는 2000년 이래 49% 성장해 왔고 이외 산업의 소비는 37% 증가했다. 에너지 다소비산업은 2013년 기준 전체 산업에너지 사용의 68%를 사용하는데 2000년에는 66%였다.

[그림 12] 지역별 산업부문 CO₂ 배출 원단위 · 재료생산(2013)



자료: IEA, ETP 2016, 2016

산업부문은 최근 경제적인 압박이 증가하고 있으며 특히 에너지 다소비산업은 더 그런 편이다. 산업재료에 대한 수요는 세계적으로는 증가하고 있으나 일부 지역에서는 초과공급에 직면했다. 2013년 세계 조강(crude steel)에 대한 명목 생산량은 연간 약 21억 톤, 수요는 연간 약 16억 톤이었다. 이는 76%의 활용률로 역사상 가장 낮은 수치 중 하나였다. 시멘트부문은 몇년간 초과공급과 합병이 계속되었다. 이는 부문의 수익성과 경쟁력을 위협하고 개보수(retrofit)이나 업그레이드, 효율 프로젝트의 추진을 어렵게 하지만 한편으로는 비효율적인 부문을 퇴출하고 성능 수준을 높이는 기회가 되기도 한다.

어려운 경제적 환경 하에서는 산업의 지속가능한 전략을 산업에너지 사용과 CO₂ 배출의 명료하고 상세한 관점에 기반하여 수립할 필요가 있다. 2DS의 실현을 위해 가장 효과가 큰 분야에 대한 목표 설정과 지역별 부문별 다양한 전략이 필요하다. 산업부문 감축 잠재량이 어디에 존재하는지 평가하고 BATs(best available technologies)의 적용이나 저탄소 공정을 확대함으로써 에너지 관련 CO₂ 배출원단위를 향상하

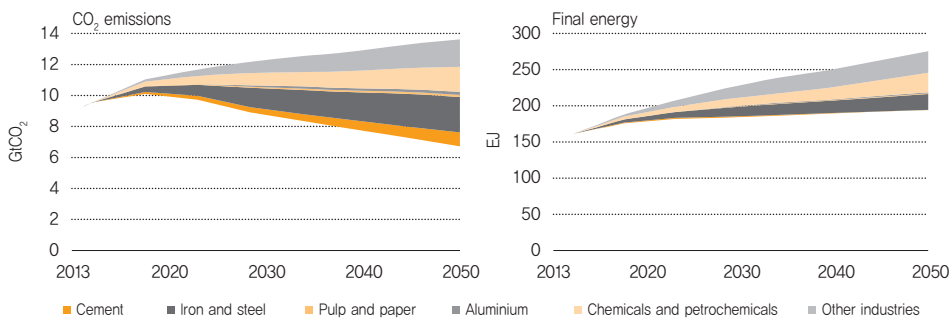
는 것이 필요하다. 또한 저탄소 연료로의 전환과 에너지 효율향상의 기술적 한계를 넘어서는 것도 중요하다.

2) 시나리오 결과

1차산업 재료에 대한 수요가 지속적으로 성장하면서 생산의 지역적 중심이 세계 산업 시장으로 이동하고 있다. 중국의 경우 핵심 재료의 생산이 중기적으로 완화된 있지만 인도와 아세안 지역은 수요의 강력한 성장을 보이고 있다. 시멘트부문의 경우 중국은 2050년 11억톤으로 52% 감소하고 인도와 아세안에서는 13억톤으로 180% 생산이 증가한다. 조강(crude steel)의 경우 중국에서는 생산이 2013년에서 2050년 45% 감소한다. 이처럼 지역적으로 차이는 있지만 재료 생산의 증가는 4DS나 6DS에서 세계 배출량 증가를 가져오는 요인이다.

2DS 목표를 달성하려면 재료 수요 증가와 산업에너지 소비를 탈동조화하는 것이 필요하다. 2050년 산업의 최종에너지 소비는 6DS에서보다 2DS에서 26% 낮

[그림 13] 6DS 대비 2DS의 산업부문 CO₂ 배출 및 최종에너지 감소



자료: IEA, ETP 2016, 2016



고 연평균 성장률도 0.9% 정도이다.(6DS는 2.2%) 조강 생산은 2DS에서 2050년 최종에너지를 29EJ 소비하며 6DS에서는 51EJ 소비한다. 석유화학은 2050년 6DS에서보다 2DS에서 25% 에너지를 적게 사용한다. 펄프·제지에서는 13% 적게 사용하고 알루미늄은 12%, 시멘트는 2% 적게 사용한다. 에너지 다소비가 아닌 산업의 연평균 에너지소비 증가는 2DS의 경우 0.2%로 제한적이다.

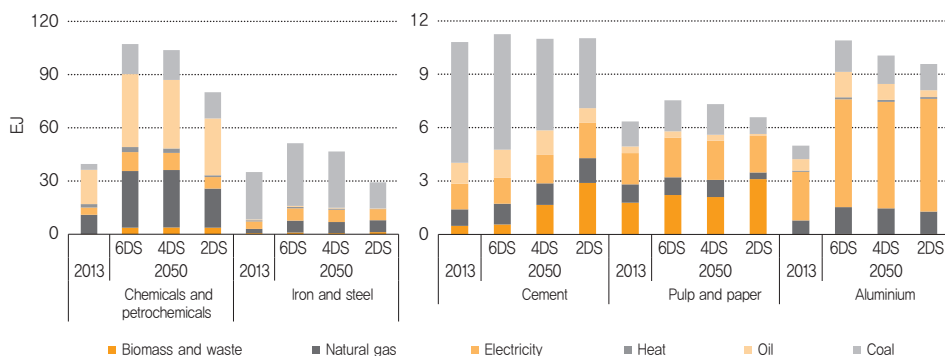
2DS를 달성하기 위해서는 2050년 산업 CO₂ 배출이 6DS 수준보다 49% 적은 6.7GtCO₂가 되어야 한다. 2050년 배출 감축량의 33%는 철강, 23%는 석유화학, 13%는 시멘트, 3%는 알루미늄, 2%는 펄프·제지에서 발생한다. 나머지 26%는 에너지 다소비산업 이외 부문에서 발생한다. 인도가 2050년 감축량의 26%를 차지하고 중국이 24%, OECD 국가가 18%, 아프리카와 중동이 14%, 나머지가 18%를 차지한다. 한편 2DS의 경우 세계 산업에너지 사용은 2050년까지 조금씩 증가해 2020년까지 피크에 달하고 CO₂ 집약도가 감소하는데, 저탄소 연료와 공급원

료로의 이동, 혁신적인 저탄소 공정 기술의 보급 등이 주요 요인이다.

단기적으로는 2020년까지 직접적인 CO₂ 배출 감축의 86%가 에너지효율에 기인하는데 장기적으로는 에너지효율의 기여도가 55%로 떨어진다. 화학제품, 알루미늄, 시멘트 등 부문의 혁신 공정은 2050년 1.7GtCO₂ 배출 감축량을 차지하는데 총 산업부문의 4분의 1 정도이다. 저탄소 연료 및 공급원료 믹스로의 전환은 2050년 배출 감축의 17%를 차지한다. 바이오매스는 2%에서 11%로 2050년까지 시멘트부문에서의 전반적인 에너지소비가 증가하고 펄프·제지부문에서 28%에서 47%로 증가한다. 산업공정의 전기화도 2DS에서 중요한 역할을 한다.

2050년 리사이클링은 배출 감축량의 240MtCO₂를 차지한다. 리사이클링은 철강에서 중요한 부분으로 생산의 51%를 차지하고 알루미늄에서는 34%를 차지한다. 2DS에서는 플라스틱 리사이클링 비율이 증가함에 따라 1차 화학제품에 대한 수요 증가가 완화된다.

[그림 14] 산업부문 업종별 에너지소비



자료: IEA, ETP 2016, 2016

3) 산업 투자수요

6DS의 경우 에너지 다소비산업에 대한 누적 투자 추정액은 9.5조~10.5조 \$US이며 2DS의 경우 10.9조~12.4조 \$US로, 2DS에서 에너지 다소비산업에 추가적으로 요구되는 누적투자액은 1.4조~2.0조 \$US이다. 투자 추정을 위해서는 상향식 모델이 사용되었는데 분석 기간 동안 설치된 산업공정 설비에 대한 자본 비용을 포함하고, 연료나 고정 및 운영비용, 금융비용은 분석에서 배제되었다.

지역적으로는 6DS와 비교해 2DS에서 추가로 투자되는 금액의 32%가 중국에서 발생하고 OECD 지역이 31%, 인도가 12%, 나머지 비OECD 국가가 25%를 차지했다. 2DS의 경우 누적 총 투자 관점에서 세계 투자의 29%는 중국에서 발생하고 OECD에서 20%, 인도에서 12%, 나머지는 39%가 비OECD 국가에서 발생했다. 비OECD 국가의 경우 추가 투자액 중 차지하는 비율이 낮게 나타나는데 이는 도약(leapfrog) 효과에 기인한 것으로 산업활동 성장률이 높고 기술의 고착(lock-in) 수준이 낮기 때문에 추가투자가 낮게 나타나는 것으로 분석된다.

4) 핵심 정책

산업부문에서 2DS 목표를 달성하기 위해서는 민간뿐 아니라 정부 및 사회 영역의 역할이 중요하다. 모든 이해관계자들이 저탄소 사회로의 전환을 경제성장이나 경쟁력의 위기 없이 가능하게 하는 전략을 만드는데 참여해야 한다. 전체 에너지시스템을 고려하고 비용효율적으로 에너지소비와 탄소 배출을 최적화하는 통합적 접근이 필요하다.

산업부문의 2DS 실현은 쉽지 않으며 기업과 각 부

문, 각 지역에서 지식을 공유하고 협력하며 기술개발과 실행사례(best practice)의 학습을 가속화해야 한다. BATs와 에너지관리시스템(EMS)의 실행, 에너지 성능 기준 등의 정책은 산업부문에서 매우 중요하다. 저탄소 산업개발에 대한 계획과 혁신적인 저탄소 기술의 RDD&D(Research, Demonstration & Deployment)의 촉진, 혁신 관련 정보교환을 우선순위에 두어야 한다.

안정적이고 장기적인 정책 프레임워크가 없는 산업부문의 2DS 목표를 달성하는 것이 불가능하다. 광범위한 에너지 및 기후정책 전략이 필요하고 범경제적이고 법적 구속력이 있는 CO₂ 배출 감축과 에너지효율 목표의 설정이 보다 구체적인 정책 방향을 제시하게 된다. 또한 CO₂ 배출의 부의 외부성을 포함한 가격 시그널로써 화석연료 보조금의 단계적 폐지와 탄소가격제 시행은 저탄소 산업에 대한 인센티브를 제공할 것이다. 이를 위한 지역적 국제적 협력이 필요하고 투자 촉진을 위한 정책의 실행이 요구된다.

규제를 간소화하고 열·냉방 인프라 계획을 통합하는 것은 산업 설비의 통합을 촉진하며 산업부문의 열활용 기회를 증가시키고 전반적으로 에너지수요 및 에너지시스템의 CO₂ 감소효과를 가져오게 된다. 전력부문 CO₂ 수송과 저장 인프라 개발은 산업에서 CCS의 경제성을 향상시킨다. 재료의 자원 효율을 촉진시키는 규제도 산업에너지 사용과 배출량에 영향을 줄 수 있으며 산업의 범위를 넘어 환경적 효과도 향상시킬 수 있다. 이러한 전략들은 시스템적 관점에서 가치사슬에 따른 이해관계자들의 협력이 요구된다. 또한 이들 전략은 실제 자료를 사용해 입증되고 모니터링 되어야 하며 공공적으로 가능한 산업부문 에너지 통계는 보다 효과적인 정책으로 이어지게 된다.

라. 건물부문



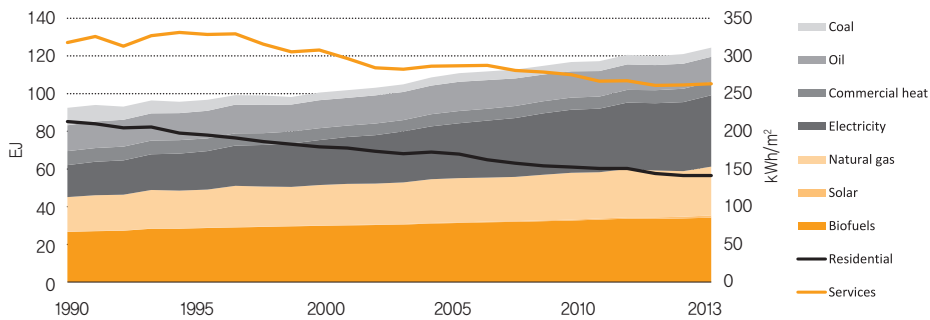
1) 현황

건물부문은 가정 및 서비스 하위부문으로 구성되는데 총 최종에너지의 30% 이상인 125EJ을 소비하는 부문이다. 가정용은 건물에너지 사용의 약 4분의 3을 차지한다. 건물은 세계 전력수요의 절반을 차지하는데 1990년 이래 세계 건물전력소비는 2배 이상으로 성장했다. 일부 지역에서는 건물의 전력수요가 1990년~2013년 사이에 500% 이상 증가했다.

발전 산업의 상류부문을 고려하면 건물부문은 세계 CO₂ 배출의 3분의 1보다 약간 작은 비중을 차지하고 있다.

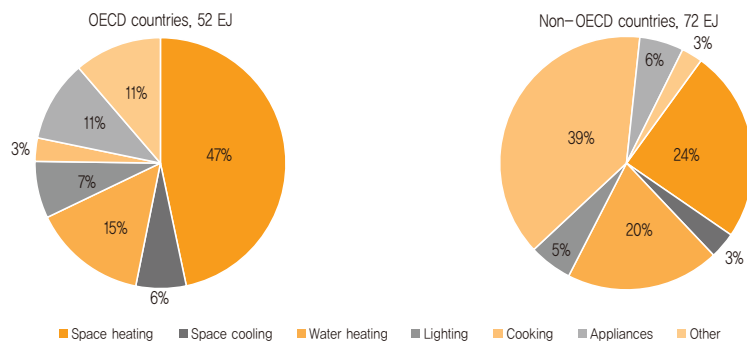
세계 건물에너지 소비는 1990년~2013년 동안 35% 이상 증가했고 전체 건물의 성능은 평방미터당 평균 에너지수요 측면에서 보면 1990년 이래 건물정책과 에너지효율 정책의 결과로 지속적으로 향상되었다. 가정용 건물의 평균 에너지원단위는 1990년 약 220kWh/m²이었는데 2013년에는 140kWh/m²로

[그림 15] 세계 건물 에너지소비 및 에너지원단위



자료: IEA, ETP 2016, 2016

[그림 16] 건물 최종에너지 소비(2013년)



자료: IEA, ETP 2016, 2016

35% 향상되었다. 서비스용 건물도 20% 향상되었다. 그러나 면적으로는 가정용 건물이 95% 증가, 서비스용 건물이 75% 증가하여 에너지원단위의 향상이 에너지소비의 성장을 상쇄시키는 효과는 충분하지 못했다.

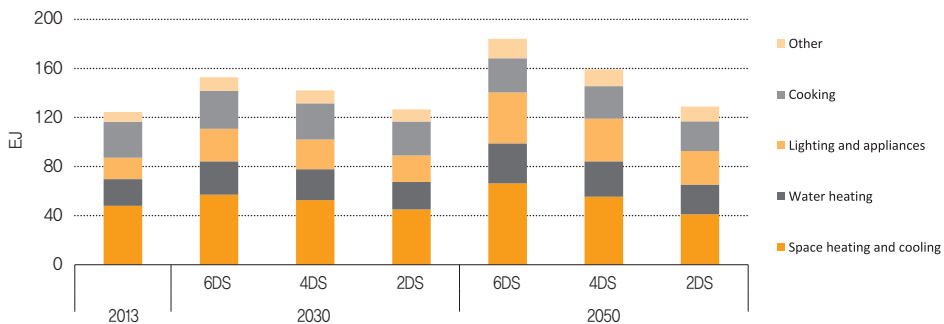
2050년까지 세계 건물면적은 2배로 증가할 전망이다. 비OECD 국가에서 85% 성장이 예상된다. OECD국과 비회원국의 에너지소비는 서로 다르게 나타나는데 난방의 경우 OECD국은 건물 최종에너지 수요의 절반 이하인데 비OECD국에서는 급탕과 취사가 건물에너지 사용의 60% 정도를 차지한다. 바이오매스의 사용을 배제한다면 취사와 급탕은 비OECD 국가에서 건물에너지 사용의 20% 정도를 차지하게 된다.

2) 시나리오 결과

건물부문 효율향상 조치가 없는 6DS의 경우 에너지 수요가 50% 증가하게 된다. 80%는 비OECD국가에서 발생하는데 전력 및 상업용 연료에 대한 접근성이 증대되고 소득이 증가하며 건물부문 규모가 지속적으로 증가하는 등 요인이 작용한다. 중국과 인도는 6DS에서 총 에너지소비 증가의 30%를 차지하고 대부분 OECD 국가들에서는 수요가 조금 증가하거나 유지되는 수준이다. 건물부문에서는 전력사용이 140% 증가하고 바이오매스 소비는 15% 감소하는데 가정에서 현대적인 에너지원으로써 전력 접근성과 소득의 향상 때문으로 분석된다.

4DS의 경우 세계 건물에너지 소비는 2050년 160EJ 증가하는데 이는 6DS보다는 15% 낮은 수치

[그림 17] 세계 건물 최종에너지 소비 전망



자료: IEA, ETP 2016, 2016

이지만 2013년 보다는 30% 높은 수준이다. 이는 최종사용 기술에 대한 효율향상 정책의 확대와 전통적인 바이오매스와 같은 에너지소비에서의 탈피를 통한 결과이다. 신규 건축물에 대한 건물에너지 규정의 강화 및 개선 적용은 난방과 냉방 에너지수요 성장을 감

소시키는데 기여하는데 특히 비OECD국가에서 두드러지게 나타난다. 그러나 이러한 개선들이 건물부문의 에너지수요 증가를 상쇄시키기에는 충분치 않아 4DS 하에서는 정책의 효과가 제한적이고 불충분하다고 볼 수 있다.



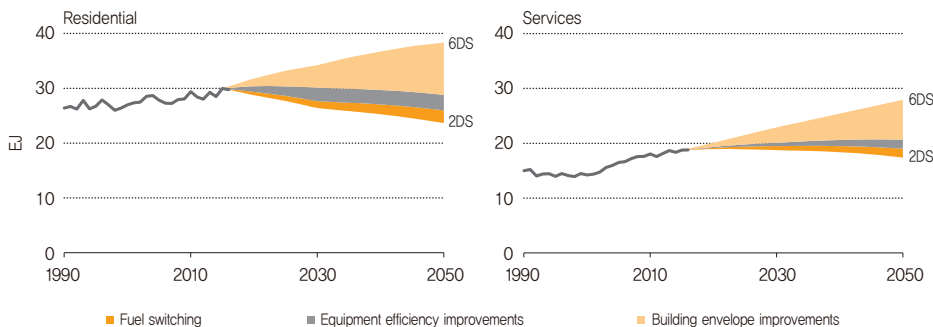
2DS의 경우 건물에너지 효율향상 정책으로 건물 최종에너지 수요가 2013년을 조금 넘는 수준으로 제한된다.(5% 증가) 난방과 냉방 수요는 6DS 대비 40% 감소하고 조명과 기기 에너지소비는 35% 감소한다. 취사 에너지수요는 15% 감소하고 급탕과 기타 설비는 25% 감소한다. 2050년 건물부문의 석탄과 석유의 사용은 2013년 대비 75% 감소한다. 천연가스 소비는 15% 감소하는데 2050년 6DS 수준과 비교하면 40% 감소한다. 전력수요는 6DS와 비교해 2050년 33% 감소하는데 창호, 문, 지붕, 벽 등 건물 외피의 효율 정책의 결과이다. 태양열 사용 특히 급탕의 경우에는 2DS에서 2013년 대비 850% 증가하는 것으로 나타났고 바이오매스의 경우 개발도상국에서 전기에 대한 접근성과 소득 증대로 인해 줄어드는 것으로 나타났다.

건물부문 효율 정책에서 난방과 냉방은 우선순위가

높은 분야로써 난방은 건물부문에서 세계 에너지사용의 3분의 1 이상을 차지하고 2050년 가장 큰 에너지 소비 최종소비부문이다. 건물 외피 효율 향상과 냉방 수요 증가의 감소를 위한 노력도 중요한 부분이다. 신규 건축 및 기존 건물의 에너지 리노베이션, 에너지 외피 개선에 대한 정책은 2DS에서 2050년 냉난방의 3분의 2를 감소시키는데 기여한다. 서비스용 부문에서 건물 외피는 2050년까지 냉난방 에너지절감의 70% 정도를 차지한다. 2DS의 경우 2050년 누적 에너지절감의 20%는 효율적인 설비를 적용함으로써 발생하고 나머지 절감량 15%는 전통적인 바이오매스 및 비효율적 화석연료의 사용을 탈피함으로써 발생하게 된다.

2DS의 경우 건물부문 에너지 절감량은 2050년 55EJ에 달하는데 이는 2013년 아프리카, 중동, 비 OECD 아메리카 지역에서 소비되는 최종에너지 사용

[그림 18] 6DS 대비 2DS에서 냉난방 최종에너지 절감량



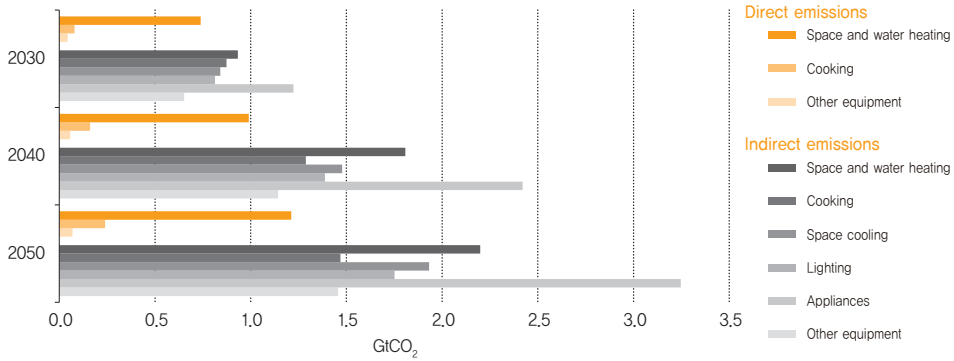
자료: IEA, ETP 2016, 2016

량 수준과 같다. 건물 CO₂ 배출은 85% 감소하는데 약 13GtCO₂ 정도이다. 1.6GtCO₂는 난방, 급탕, 취사, 기타 설비부분에서 감소되는 부분이며 나머지는 전력 및

상업용 열소비로부터 감축되는 부분이다.

3) 건물 투자수요

[그림 19] 6DS 대비 2DS에서 건물부문 직/간접 배출 감축량



자료: IEA, ETP 2016, 2016

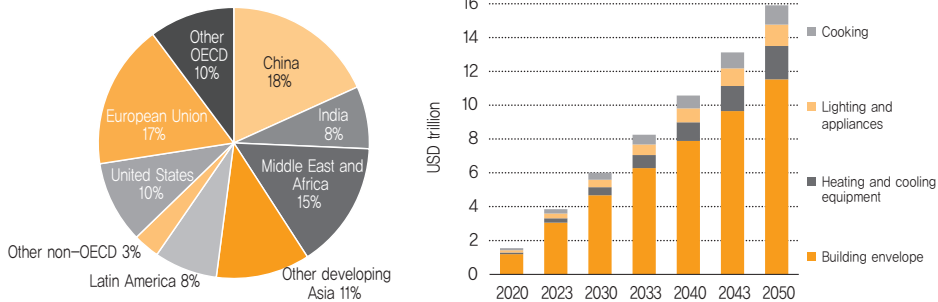
2DS의 경우 건물부문 누적 투자수요는 약 45조 \$US이다. 2DS의 경우 6DS와 비교하면 2016년~2050년 동안 16조 \$US의 누적 추가 투자가 요구된다. 이러한 투자에는 설비비용, 조명, 가전, 건물 외피 효율향상 정책 등에 대한 비용이 포함되어 있다.

지역적 수준에서 추가투자의 대부분인 63%는 비 OECD 국가에서 요구되는데 중국이 18%, 인도가 8%, 나머지 아시아 개발도상국이 11%, 아프리카가 11%를 차지한다. 이는 주로 신규 건축 및 에너지 사

용기기의 증가 때문으로 분석된다. 2DS의 경우 신규 건축은 고착(lock-in)을 피할 수 있는 지역에서 2020년까지의 투자가 상당히 증가한다. OECD 국가에서는 기존 건축물에 대한 리노베이션 투자가 2020년까지 급격히 증가한다. 2020년~2050년 동안 매년 기존 건축물의 3% 정도가 에너지 리노베이션이 요구된다.

4) 핵심 정책

[그림 20] 2050년까지 건물부문의 지역별 기간별 추가 투자수요



자료: IEA, ETP 2016, 2016



2050년까지 건물부분의 방대한 에너지절감 잠재량을 실현함으로써 다양한 편익을 얻을 수 있다. 가계와 기업에 낮은 전력 및 연료비용을 제공하고 비용이 수반되는 인프라나 그리드에 대한 취약 부분 없이 에너지 수요에 대응하며 인류의 건강을 위협하는 CO₂ 배출이나 오염을 감소시킬 수 있다.

정부는 핵심 이해관계자, 소비자, 제조업체가 에너지 효율 잠재량을 최대화할 수 있도록 조치를 취함으로써 미래 변화의 비용을 절감하는 것이 필요하다. 대부분의 건물 및 건물 기술은 수명이 길기 때문에 고효율 건물의 도입을 중국이나 인도와 같이 빠르게 성장하는 개발도상국에 적용되기 쉽다. OECD 국가에서는 기존 건물의 에너지 리노베이션 촉진이 필요하다.

2DS의 에너지 절감 및 배출 감축목표를 2050년까지 달성하기 위해서는 다양한 정책들이 필요하다. 단기적으로는 라벨링과 조명, 가전, 냉난방 설비에 대한 최소 성능 기준이 모든 국가에 적용되는 것이 필요하다. 엄격한 건물코드가 신규 건축물에 적용하는 것이 필요하다. 단기 및 중기적 관점에서 소비자, 건물 이해관계자, 생산 제조업체가 시장 수요를 만드는데 도움이 되도록 시그널을 주는 목표 및 인센티브 정책이 필요하다. 중기 및 장기적 관점에서는 보다 엄격한 기준과 기존 건물의 의무적인 에너지 효율 개선, 지속적인 선진 건물 기술의 개발이 2DS 목표를 실현하는데 도움이 될 수 있다.

서로 다른 기술 및 이해관계자 간에 시너지를 발생시키고 자본비용을 절감하기 위해서는 통합된 정책을 시행하는 시스템적 접근이 필요하다. 지속적인 R&D 지원은 비용효과적인 에너지효율 개선방안이다. 엄격한 최소에너지 성능기준과 시장 인센티브, 상용화 가능한 선진기술의 보급 등 정책 수단도 중요하다.

마지막으로 건물에너지 정책의 개발을 위해서는 데

이터의 수집, 일관성, 비교가능성이 개선될 필요가 있으며 건물에너지 데이터의 국가별 관리 및 거버넌스 역량 강화가 요구된다. 에너지 효율적인 저탄소 건물의 청사진을 제시하는데 국가간의 협력도 필수적이다.

4. 정책적 환경의 변화와 시사점

최근의 국제적 환경의 변화는 ETP 2016에서 제시한 저탄소 에너지시스템 미래의 실현을 한 단계 더 독려하고 있다. 2015년 12월 파리 협정에서는 “세계 평균 온도 증가를 산업화 이전 수준보다 2℃ 이하로 낮추고 온도 증가를 1.5℃로 제한하는 노력을 추구”한다는 도전적인 목표가 합의되었다. 세계 기후변화에 대한 효과적이고 장기적인 대응으로써 이전 기후협약들보다 기술 혁신의 중요성을 더욱 강조하였으며 주요 선진국들은 비용경쟁력 있는 저탄소 기술 및 혁신적인 기술개발을 가속화하기 위해 현재 에너지기술 RD&D에 대한 정부 지출을 2배 확대 노력하기로 약속하였다.

「ETP 2016」의 분석 결과에 따르면, 2014년 이산화탄소 배출과 경제성장 간의 관계는 약화된 것으로 나타났다. 이 둘의 상관관계가 약해졌다는 것은 2℃ 시나리오(2DS)의 실현 가능성을 의미하는 한편 에너지효율 향상과 저탄소 기술·연료의 보급이 가속화되고 있음을 보여주는 증거이기도 하다. 저유가에도 불구하고 세계적으로 효율향상과 재생에너지 기술에 대한 투자는 지속되고 있다.

이러한 국제적인 흐름 속에서 우리 정부도 파리협정에 따른 혁신미션(Mission Innovation) 선언에 동참하고 이에 대한 후속조치로써 ‘청정에너지기술 발전전략(2016.6월)’ 수립 추진을 통해 기후변화 대응과 신산업 창출을 위한 기술기반을 확대하기로 하였다. 이 전

략에서는 13개 청정에너지 기술에 대해 중점 투자하며 청정에너지 기술혁신으로 신기후체제 위기를 경제성장 동력의 기회로 전환한다는 비전을 제시하고 있다.

그러나 앞서 살펴본 「ETP 2016」에서 논의된 바와 같이 2DS를 실현한다는 것은 선진국과 개도국 모두에게 쉬운 일은 아니다. 기존 기술의 고착(lock-in)을 탈피해야 하고 대규모 자본이 투자되어야 하며 기존 산업의 행동양식을 바꾸어야 한다. 화석연료 기반의 에너지시장에 새로운 가격 시그널을 주어야 하며 새로운 규제가 필요하고 새로운 RD&D와 상용화 보급 정책이 통합적으로 제시되어야 한다. 새로운 기술에 대한 전문적인 인력 양성도 수반되어야 하고 국제적인 양자간 다자간 파트너십을 통한 공통의 에너지 기술혁신 이니셔티브도 필요하다. 또한 정책의 효과적인 설계와 모니터링을 위해서는 국가별로 정확한 통계 확보와 기술정보의 공유도 중요한 요소로 인식되고 있다.

ETP 2016에서 제시한 주요 정책수요를 부문별로 요약해 보면, 발전부문은 저탄소발전 기술개발과 관련된 인력양성 지원, 석탄발전소의 퇴출과 CCS의 의무적 도입이 필요하다고 보고 있다. 수송부문은 온실가스 배출량에 따라 세금을 부여함으로써 시장에 가격신호를 제공할 수 있는 시스템과 연비 강화정책, 저탄소 연료 기술개발, 효율향상이 중요한 것으로 분석되었다. 산업부문도 저탄소 기술개발과 함께 에너지관리시스템, 에너지성능기준, 탄소가격제와 같이 저탄소 산업에 인센티브를 제공하는 제도가 중요한 것으로 나타났다. 재료의 자원효율 향상도 에너지소비와 온실가스 감축에 기여할 수 있어 중요하게 다루어졌다. 건물부문은 단기적으로는 라벨링, 최소성능기준의 적용, 중장기적으로는 기존 건물의 효율 개선과 지속적인 기술개발이 중요한 것으로 분석되었다.

결론적으로 「ETP 2016」의 분석결과는 전 지구적인

기후변화 대응의 관점에서 나아가야 할 에너지기술의 청사진을 제공하고 있지만, 국가별로는 매우 다양하고 많은 정책적 수단의 적절한 선택이 필요할 것으로 생각된다. 향후 우리나라의 중장기적인 경제성장률과 일자리 창출을 견인하는 합리적이고 효과적인 에너지기술 정책 포트폴리오의 구축과 성과를 기대해 본다.

참고문헌

〈국내 문헌〉

국가과학기술심의회, 기후변화 대응과 신산업 창출을 위한 청정에너지기술 발전전략(안), 2016

〈외국 문헌〉

IEA, Energy Technology Perspectives 2016, 2016

〈웹사이트〉

<http://www.iea.org>