

개요

아시아/세계 에너지 아웃룩 2016

- 새로운 국제 에너지 상황에서 세계 3E+S 를 생각하며 -

IEE
JAPAN

October 2016

The Institute of Energy Economics, JAPAN

50th
ANNIVERSARY

(Translated by Jin Kyungrok)

The Institute of Energy Economics, Japan © 2016-2017

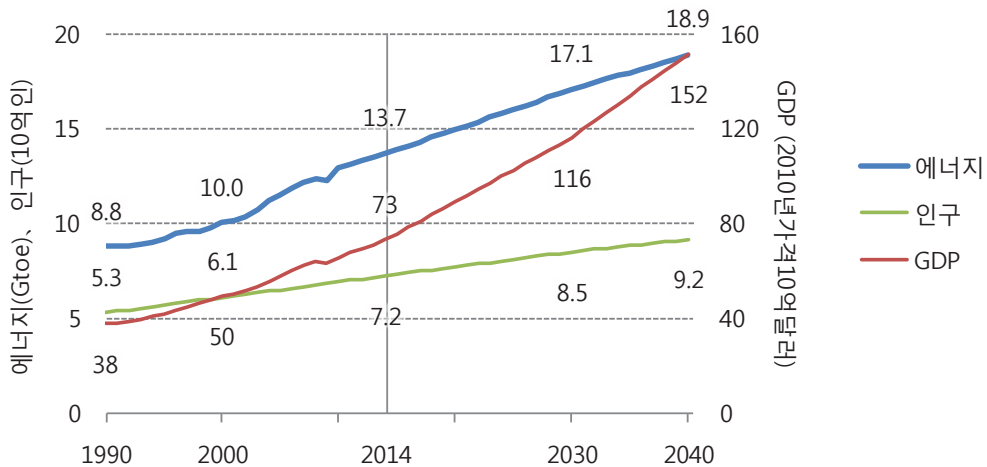
개요

세계에너지 수급 전망

수요

앞으로 2040년까지 26년간 세계의 인구는 19억명이 증가 하고 세계 경제는 2.1배로 확대된다. 에너지 소비도 2014년의 석유 환산량 13,699백만 t (Mtoe)에서 18,904 Mtoe로 증가가 계속되고(레퍼런스 경우, 이하 동일). \$1,000의 국내총생산(GDP)를 내기 위해서 들어가는 에너지는 2014년부터 2040년까지 3분의 1 감소, 일정한 에너지 절약이 기대된다. 그래도 이 기간 세계 에너지 소비의 증가량 5,205Mtoe는 세계 제1, 제2의 소비국가인 미국과 중국의 현재 소비량을 합친 것에 맞먹는 엄청난 양이다. 1990년부터 2040년까지 50년 동안 에너지 소비량은 2배 이상 팽창하게 된다

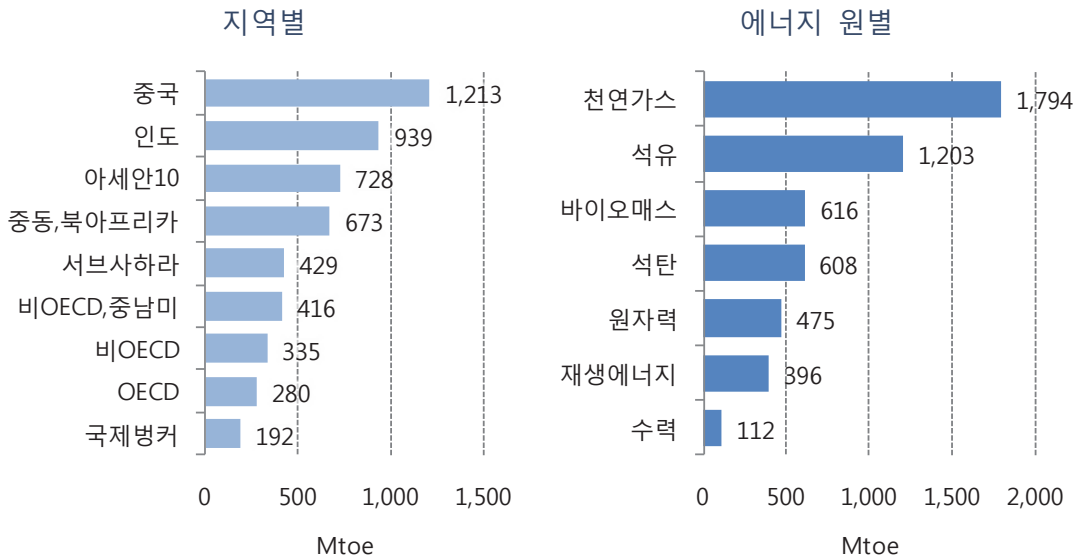
그림1 세계의 실질GDP, 인구, 1차 에너지소비



에너지 소비의 증가는 지역적으로는 경제협력개발기구(OECD)밖에서 발생하는 것이 압도적이다. 비 OECD국가와 중국 인도 동남아 국가 연합 (ASEAN)의 증가는 현저하고 그 증가분 2,879 Mtoe는 일본의 현 소비량의 6년치 이상에 해당한다. 또한 OECD국가의 증가량은 세계의 소비 증가의 5%를 차지하는 데 불과하다

새로 발생하는 방대한 수요를 충족시키는 것은 일차적으로는 천연가스, 석유를 중심으로 하는 화석 연료이다. 비화석연료 에너지에 대한 기대는 크지만, 전망 기간에서는 비화석연료 에너지가 1 toe증가하는 동안 화석 연료는 2.3 toe 증가한다. 화석 연료의 점유율은 최근의 81%보다는 저하 시키되 2040년에도 인류가 필요로 하는 에너지의 78%를 조달한다.

그림2 세계 일차에너지 소비 증가분[2014-2040년]



석유의 향후 증가분이야말로 천연가스를 밀들지만 2040년에 가장 소비량이 많은 에너지원이 될 전망이다. 최근의 저유가의 영향도 있고 그 소비량은 1년에 약 하루 1.5백만배럴(Mb/d)로 늘어나고 있다. 앞으로도 꾸준한 증가가 계속되어 2020년대 중반에는 100Mb/d를 넘어 2040년에는 114Mb/d에 이른다. 그 증가를 주도 하는 것은 비 OECD국가이다. 특히 중국은 2030년대 초에는 미국을 능가하는 세계 최대 소비 국가가 될 전망이고, 인도는 올해 일본을 넘어섰지만, 2030년대 중반에는 유럽 연합(EU)를 제치고 2040년에는 10Mb/d까지 이른다.

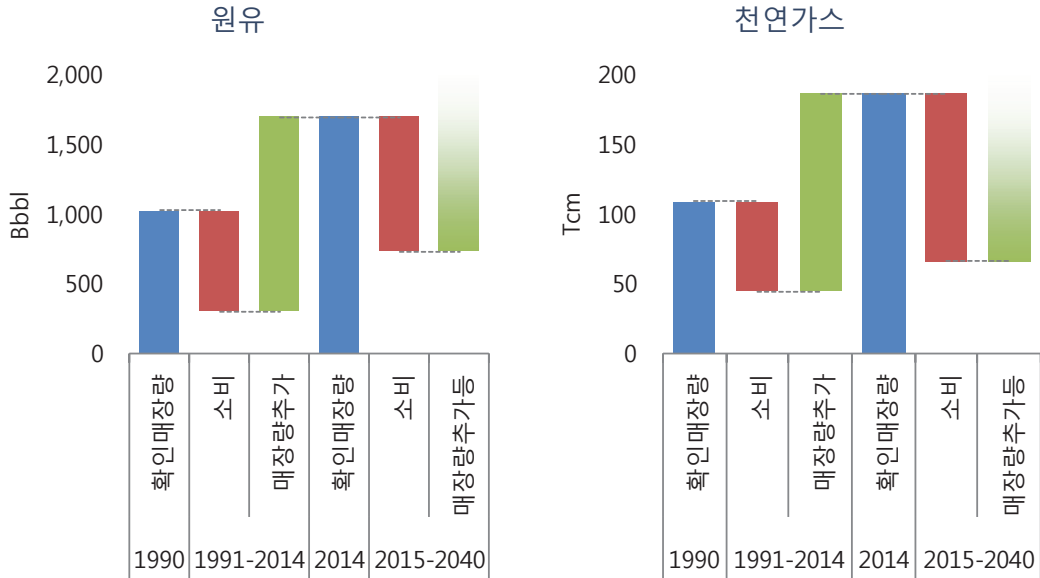
천연가스는 다른 어떤 에너지원보다 소비량의 증가가 크고 2040년까지 석탄을 제치고 제2의 에너지원이 된다. 미국에서는 2030년까지 석유를 제치고 최대의 에너지가 되고 EU에서도 2040년 이후 5년 정도로 비슷한 상황이 된다. 또, 천연 가스는 그 이용 지역이 다양화 한다. 현재는 미국, 유럽, 구소련의 3개 지역에서 세계 천연 가스의 53%를 쓰고 있지만 2040년에는 그 이외의 지역이 62%를 소비할 전망이다.

석탄은 금세기 들어 10년간 세계 에너지 소비 증가의 절반을 충당할 만큼 크게 신장했다. 그러나, 최근 그 기세는 급속도로 둔화되고 있어 향후에 이러한 추세는 계속된다고 본다. 단, 개별의 양상은 지역마다 상당히 다르며 서구에서는 소비가 감소하는 한편, 중국, 인도에서는 왕성한 에너지 수요의 과반 및 40%이상을 지탱한다. ASEAN에서는 석탄에 대한 의존도가 오히려 커지면서 소비하는 에너지의 4분의 1에 해당하며 석탄이 제외되지 않는 한 기후변화 문제에 대한 현실적인 대응으로는 이를 깨끗하게 활용하는 방안이 요구된다.

충분한 석탄에 한정하지 않고, 석유, 천연가스화 함께 현재의 기술·경제성에서 생산 가능한 자원으로 확인(가채)매장량은 앞으로 사반세기의 소비를 감당할 수(그림 3)있다고 본다. 이 밖에 기술의 진보 등의 매장량 성장이나 미확인

자원도 있어 세계 전체로는 자원 고갈로 공급 제약이 발생할 가능성은 적다. 다만 최근의 원유와 천연가스 가격 등락이 적절한 공급 투자를 가로막을 것으로 예상된다.

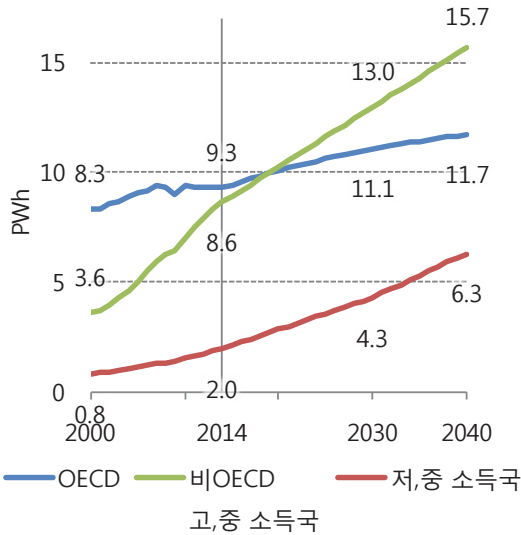
그림3 확인매장량과 기간소비량



전력 최종소비는 향후에도 각국·지역의 경제 발전 단계를 불문하고 증가를 계속하고(그림 4). 증가가 특히 두드러진 것은 비OECD국가로 2000년 이후 증가량에서는 중국, 인도, 미국, EU, 인도네시아의 순이다. 그 결과 최대 소비국은 2011년부터 중국이며, 인도는 EU와 일본을 제치고 미국에 이어 제3의 소비 국가로 나타났다.

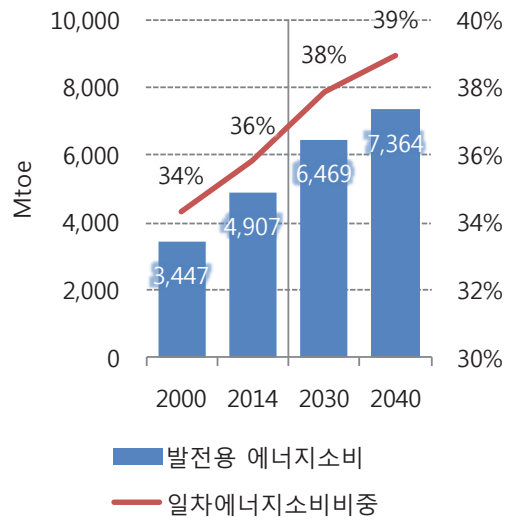
전력 소비의 신장에 따른 세계의 전력 공급(발전 전력량)도 급속히 증가했다(그림 5). 2000년에는 발전용으로 사용되는 에너지는 일차 에너지 소비 전체량의 3분의 1가량 이었지만 발전 효율의 지속적인 향상에 불구하고 2040년 전체 에너지의 약 40%가 발전용으로 이용된다. 그 비율중 석탄이 62%에 이른다.

그림4 전력최종소비



주: 저 중,저소득 국가는 2014년 시점의 1인당 실질 GDP가 \$4,000이하의 국가지역

그림5 세계발전용에너지소비



공급

2020년 원유 생산에서는 중동의 석유 수출국 기구(OPEC)회원국 및 북미지역이 세계 증가량의 90%를 차지한다(그림 6). OPEC에서 증산의 원동력이 된 것은 최대 생산 능력을 자랑하는 사우디아라비아와 경제 제재가 해제된 이란 및 큰 생산 잠재력을 지닌 이라크 같은 나라이다. 북미에서는 셰일 오일 생산성이 계속 향상되고, 유가의 완만한 상승에 따른 비 재래형 석유 증산을 견인한다. 그 뒤에는 북미 및 유럽·유라시아의 생산량이 2030년경에 피크 아웃하고 비 OPEC국가가 세계 공급의 점유율은 2014년 60%에서 2040년에는 54%로 낮아진다.

주요 지역 간의 원유 무역은 2015년 38 Mb/d에서 2040년에는 48 Mb/d이다. OECD의 수입은 수요 감소와 북미지역의 생산 증가에 따라 감소하지만 중국, 인도, ASEAN이라고 하는 신흥국가가 증가하는 수요를 충당하기 위한 수입이 전체의 무역량을 끌어올린다. 아시아에서는 북미와 비 OECD유럽/중앙 아시아의 공급이 증가함으로써 어느 정도의 공급원 다변화가 예상되며 중동 및 아프리카에서 공급량은 2040년 시점에서 80%를 차지한다(그림 7).

그림6 주요지역의 원유생산

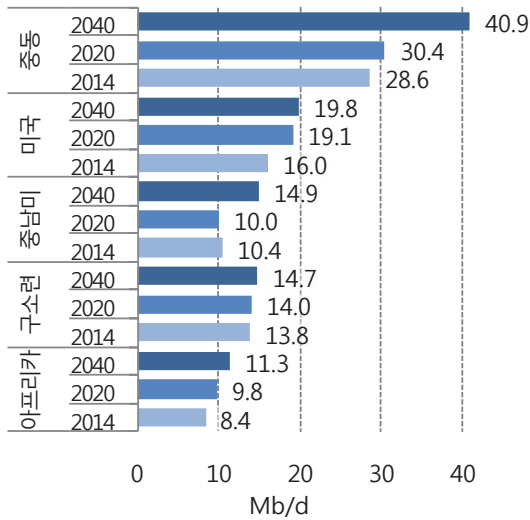
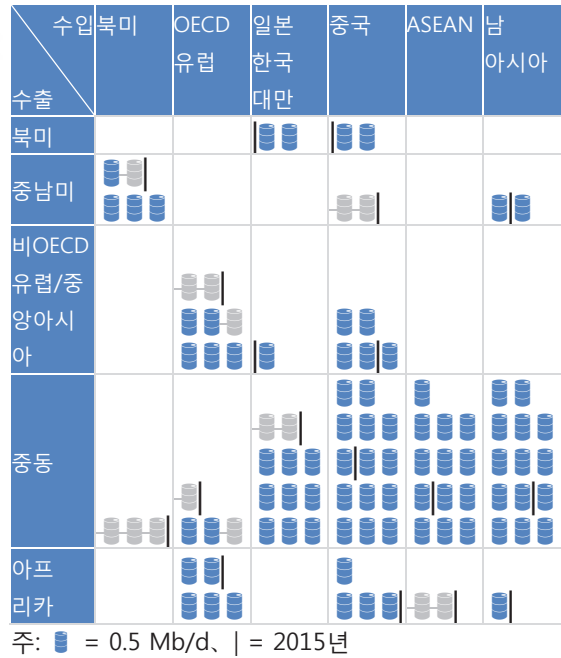


그림7 주요지역간 원유무역[2040년]



천연 가스 생산량은 2015년부터 2040년까지 63%증가한다(그림 8). 원유 가격 저하에 따라 세계적으로 상류 투자가 줄어들고 북미지역의 생산은 셰일 오일 생산에 수반하는 가스생산에 의해 꾸준히 증가한다. 러시아에서는 수출 증대에 대응하기 위한 신규 가스전 개발이 진행되고. 중동은 이란과 에너지 수요가 증대하는 사우디아라비아의 2개국 생산을 이끌어 계속 확대된다. 아시아에서는 중국과 인도에서 개발이 진행되고. 특히 중국은 2025년 이후 셰일가스 개발 투자가 본격화 되면 생산량은 더 증가한다. 아프리카에서는, 모잠비크, 탄자니아 등 신흥 액화 천연 가스(LNG)공급원의 등장이 생산량을 견인할 것으로 전망된다.

주요 지역 간의 천연가스 무역은 2015년 5,110억(Bcm)에서 2040년에는 8,870 Bcm까지 74%증가한다. 유가와 달리 무역의 증가율이 생산을 넘어서고. 2030년까지 수출이 가장 증가하는 것은 2020년대 전반에 많은 LNG프로젝트가 동 개시가 계획된 오세아니아와 북미이다. 2030년을 지나면 교역량 증가 속도가 다소 진정된다. OECD회원국 수요 증가가 둔화되는 것은, 중국, 중남미에서 셰일가스를 비롯한 생산이 본격적으로 열리게 되기 때문이다. 2016년에 시작된 북미의 LNG수출은 2040년이면 세계에서 주요 공급원의 하나가 되고(그림 9). 파이프라인 무역에서는 러시아와 중국이 현저하게 증가한다.

그림8 주요지역의 천연가스 생산

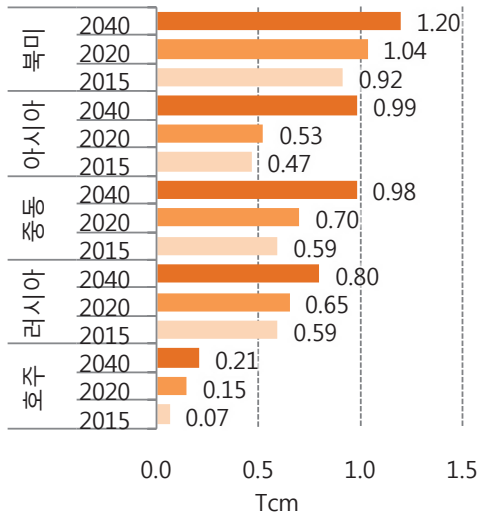


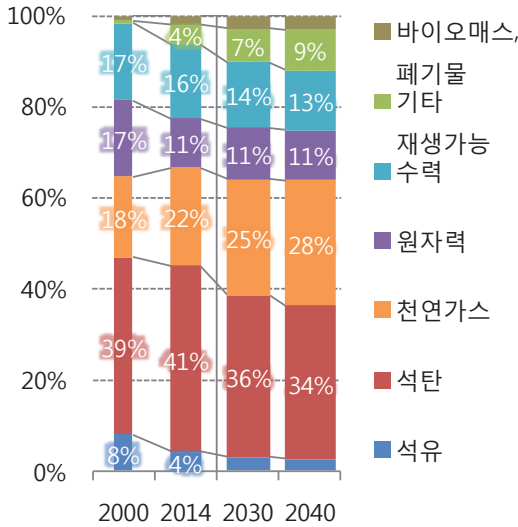
그림9 주요지역간 천연가스무역[2040년]



- 석탄 생산량은 아시아를 중심으로 중남미 아프리카, 중동 등 비 OECD국가에서 석탄 수요가 증가함에 따라 2014년 7,937Mt에서 2040년에는 9,286 Mt까지 증가한다. 일반 석탄 생산량은 주로 전력용 수요 증가에 따라 2014년 6,004Mt에서 2040년에는 7,522Mt으로 1.25배로 늘어난다. 한편 연료용은 2014년 1,116Mt에서 2040년에는 988Mt까지 감소하면서 갈탄은 2014년 817Mt에서 2040년에는 776Mt까지 감소한다.
- 발전에서는 화력을 중심으로 점유율 3분의 2정도로 전원 구성이 유지된다(그림 10). 석탄 화력은 서구 등을 중심으로 감소하여 점유율이 7%포인트 낮아져 34%수준이지만 그래도 전망 기간을 통해서 최대의 전원으로 사용된다. 천연 가스 화력은 영국, 이탈리아를 제외한 모든 지역에서 발전량이 증가, 세계 합계에서도 증가분이 가장 커진다. 그 점유율은 6%포인트 늘어나 28%까지 확대한다.
- 원자력은 2014년 2,535TWh에서 2040년에는 4,357TWh이지만, 2040년의 세계 발전량에서 차지하는 구성비는 현재의 11%과 다르지 않다. 설비 용량은 2020 년대를 기점으로 독일은 2040년까지 20GW 감소하고 일본 등 8개국·지역에서 감소한다. 한편 14개국이 신규 도입하고 18개국이 증설·증강함으로서 세계의 설비 용량은 2015년 399 GW에서 2040년에는 612 GW까지 확대한다.
- 재생가능 에너지에서 수력은 중국 인도 브라질을 중심으로 개발이 진행되어 발전량은 완만하게 늘어난다. 그러나 총 발전량 정도는 늘지 않아 점유율은 3%포인트로 축소된다. 풍력·태양광 등은 정책 지원이나 기술 개발로 2014년 1,005TWh에서 2040년에는 3.6배 증가한 3,573TWh까지 급속히 확대되어 총 발전량의 9%를 차지하기에 이른다. 그 때문에 필요한 설비 용량은 풍력이

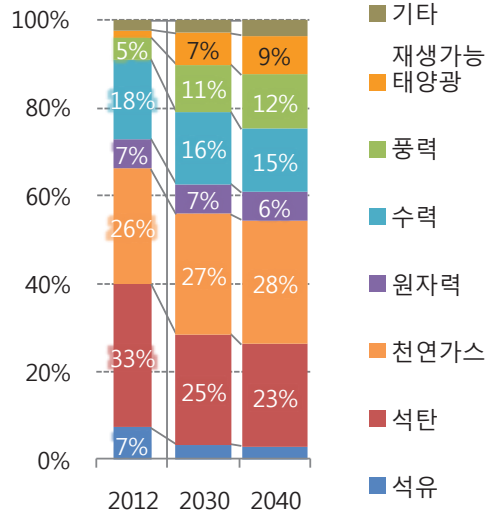
현재의 3.2배의 1,170GW, 태양광이 4.9배의 857 GW이며, 이와 더불어 총 발전 용량의 21%도 차지하게 된다(그림 11).

그림10 세계 발전전력 구성비



주: 막대의 폭은 총발전량에 비례

그림11 세계 발전설비용량구성

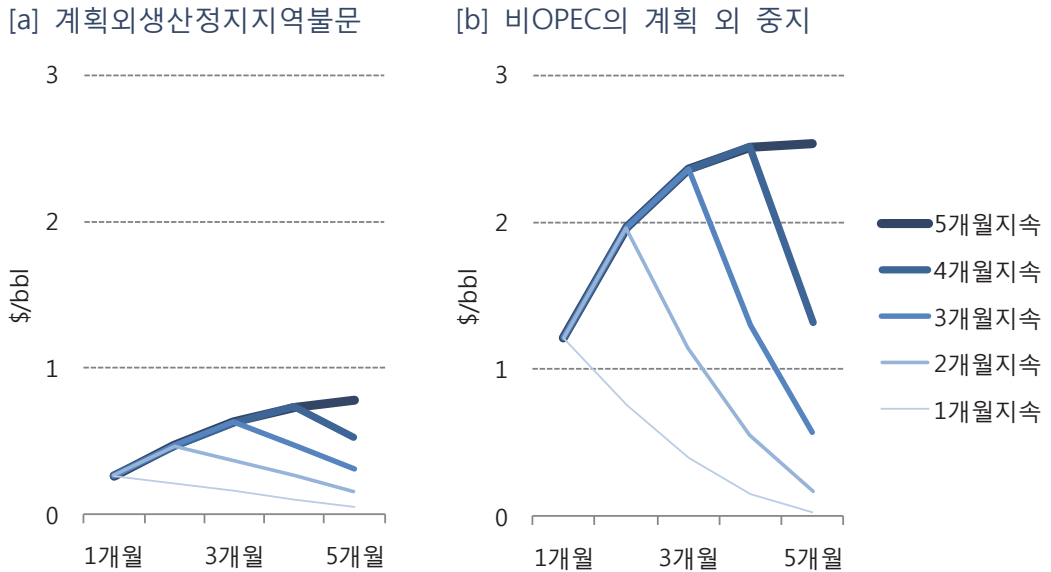


주: 막대의 폭은 총발전량에 비례

석유, 천연가스의 공급장애

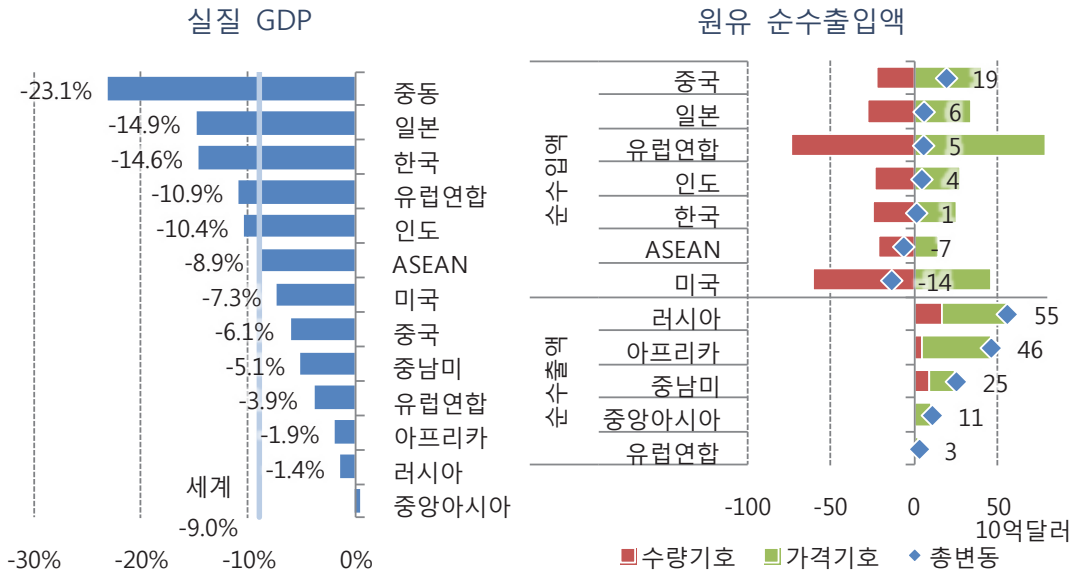
- 석유 천연 가스 등 화석 연료는 현대 사회의 기반을 지탱하는 중요한 에너지로 사람들에게 갈수록 필요로 하는 에너지의 80% 이상을 차지하고 있다. 최근에는 다행히도 화석 연료의 대규모 공급 단절은 발생하지 않았지만, 원유의 예상 밖 생산 정지는 재해, 사고, 분쟁, 테러, 파업 등을 배경로 항상 어딘가에서 발생할 수 있다.
- 100 kb/d의 예상 밖 생산 중단이 발생하면 평균적으로는 그 달 유가를 \$0.3/bbl 끌어올리는 효과가 있었다(그림 12). 그 중단이 5개월 지속되면 가격 상승 폭은 \$0.8/bbl까지 확대된다. 또 실제로 해당 국가의 원유 감산으로 연결되기 쉬운 비OPEC국가에서의 예상 밖 생산 중단에 한정하면 그 영향 정도는 매우 크다.
- 이런 가격 효과와 나란히 하는 필요한 양의 에너지가 입수할 수 없는 공급 제약도, 큰 리스크 요인이다. 가령 중동의 원유 생산이 의도하지 않게 크게(10 Mb/d) 떨어지고 다른 나라·지역이 이를 보충하는 증산을 할 수 없는 경우 세계 경제는 9% 축소한다(그림 13).
- 공급 장애의 진원지인 중동을 제외하고 가장 큰 타격에 직면하는 것이 중국 이외의 동 아시아 지역이다. 각각의 경제 성장율과 비교하면 한국, 대만은 약 5년, 일본에 와서는 약 20년분의 소실에 해당한다. 원유의 중동 의존도가 낮은 EU에서도 10%이상 감소가 예상되며, 미국은 최근까지 원유 생산량이 늘어나면서 침체 정도는 7%로 세계 평균을 밑돌지만 악영향으로부터 무관하다고 말할 수는 없다.

그림12 100 kb/d의 계획 밖 생산중단에 따른 유가의 영향



주: 2011년 ~ 2016년 상반기의 평균적인 영향

그림13 중동의 원유생산10 Mb/d 감소의 영향



주: 중동의 원유 순수출액은 1,390억 달러감소

세일 혁명으로 미국이 새로운 스윙 프로듀서(Swing Producer)가 될 것이 일부에서는 언급되고 있다. 분석하면 중동에서 공급 장애 발생 시 미국의 원유 증산에 기대하는 시각도 있을지도 모른다. 그러나 그런 때 미국이 원유 생산을 추가로 3.6 Mb/d 생산한다 해도 GDP축소에 대한 완화 폭은 세계 평균

2.5%p정도이다. 일본과 EU에서는 2%p정도에 그쳤고 공급 장애로 인한 타격의 8분의 1, 6분의 1규모밖에 완화되지 않는다.

에너지 공급 장애는 공급 국가에서 원유, 천연 가스를 수입하지 않는 나라·지역을 포함하여 세계적으로 큰 경제적 타격을 가져온다. 이에 위험 요인을 완전히 배제하는 것은 불가능하다고 볼수 있다. 그럴수록 고전적이고 충실한 대처를 자국은 물론 국제 사회와 함께 계속 가는 것이 요구된다.

ASEAN 에너지 수요전망

1차 에너지소비

ASEAN의 일차 에너지 소비는 경제 성장, 인구 증가를 배경으로, 2014년 624 Mtoe에서 2040년 1,352Mtoe까지 연간 3.0%로 증가한다(그림 14). 그 증가량은 현재 한일 총 소비량을 웃돌아 세계 전체 수요 증가의 14%를 차지했으며 중국 인도에 이어 3번째에 위치한다(그림 2).

ASEAN지역은 비교적 에너지 자원을 지니고 있으며 현재의 에너지 자급률은 125%로 에너지의 순수출 지역이다(그림 15). 그러나 지역에서 급증하는 수요 증가에 화석 연료의 생산이 따라오지 않고 자급률은 2030년까지 100%아래로, 2040년에는 76%까지 떨어진다.

그림14 ASEAN의 1차에너지소비

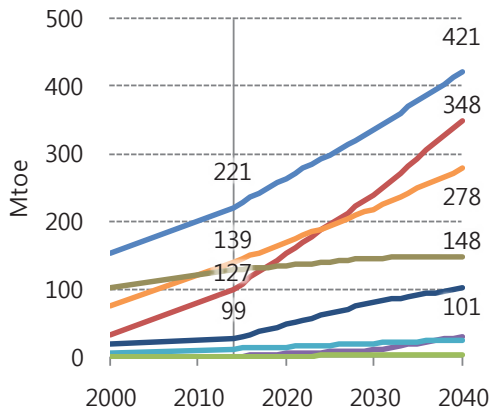
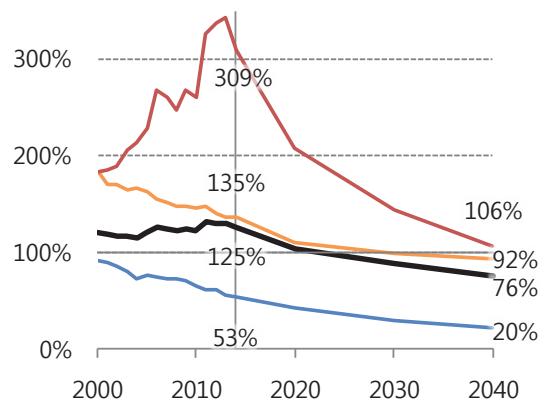


그림15 ASEAN의 에너지자급률



— 석탄 — 석유 — 천연가스 — 원자력 — 수력
— 지열 — 바이오매스 — 태양광/풍력등 — 합계

1차 에너지 소비 증가의 80% 이상이 화석 연료이며 화석 연료의 의존은 2014년 74%에서 2040년에는 77%로 상승한다. 그 가운데 증가량이 가장 큰 것이 발전용으로 견인되는 석탄이며 성장의 34%를 차지한다. 그 양은 석탄 환산 356백만t (Mtce)로 세계 석탄 소비 증가의 약 40%를 차지한다.

석유 소비는 2014년 대비 1.9배로 증가분 4.1Mb/d중 자동차 연료용이 절반을 차지한다. 또 민생용 액화 석유 가스(LPG)와 석유화학 원료용도 크게 상승한다.

구성비는 35%에서 31%로 저하되지만, ASEAN에게 가장 중요한 에너지의 지위를 유지하고 또한 역내 생산량은 감소함으로써 석유 자급률은 53%에서 20%로 낮아진다.

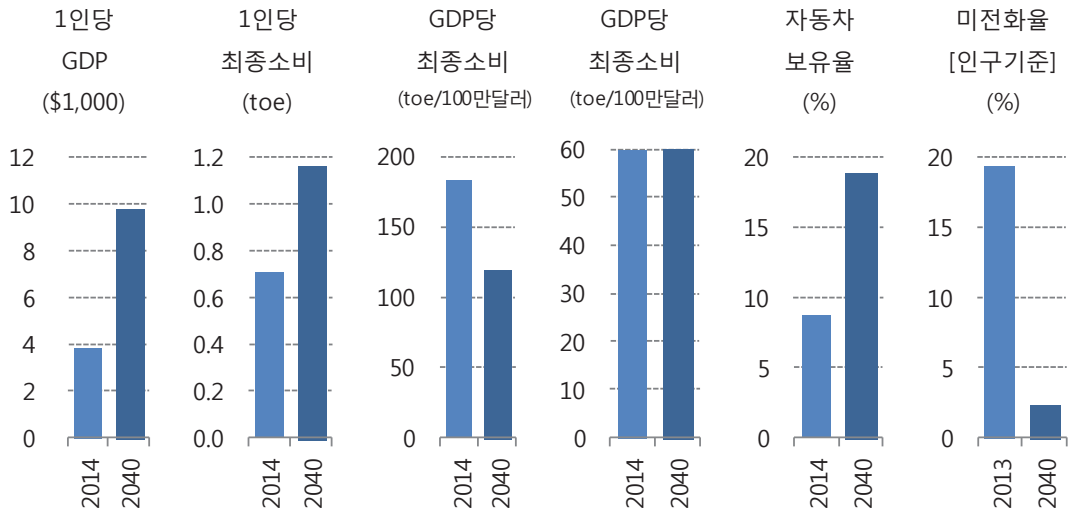
- 천연 가스 소비는 2040년까지 2.0배 증가했고 증가분 170Bcm의 과반이 발전 연료용, 나머지 대부분이 산업용(석유 화학 원료 포함)이다. ASEAN의 소비 증가의 과반을 차지하는 인도네시아와 말레이시아는 풍부한 자원을 갖지만 양국의 수출 여력은 축소된다. ASEAN은 현재 60Bcm를 역외로 수출을 하고 있지만 2030년까지 순수입 포지션에 빠지게 된다.
- 원자력은 현재 운용 실적은 없지만 2025년 이후 태국, 베트남, 인도네시아, 말레이시아에서 합계 16 GW가 도입된다. 그러나 2040년에는 발전 구성의 4%, 일차 에너지 구성 2%를 차지하는 데 그친다.
- 수력, 지열, 바이오매스 등 신재생 에너지의 공급 가능성은 크다. 캄보디아, 태국, 베트남, 라오스, 미얀마를 포함한 대메콩권(GMS) 지역은 수력 발전 잠재력이 248GW로 방대하고 많은 개발 프로젝트가 진행되고 있다. 지역 내 수력 발전량은 2040년까지 2.2배로 증가하고 재생가능에너지 발전량 증가의 약 60%를 차지한다.
- 지열은 인도네시아, 필리핀에서 큰 부분을 차지한다. 지열 발전은 재생 에너지 발전량 증가의 약 20%를 차지하지만 1차 에너지 기준으로는 일차 환산 효율의 차이¹에서 수력 약 5배의 증가가 된다.
- 재생가능에너지에서도 농촌을 중심으로 사용되고 있는 땀감과 가축 배설물 등의 전통적인 바이오매스의 이용은 도시화의 진전이나 생활수준의 증가 등으로 감소한다. 한편, 발전용 또는 자동차용 액체바이오 연료가 보급된다. 바이오매스의 소비량은 2040년까지 20% 증가하지만 에너지 구성비는 20%에서 11%로 낮아진다.
- 풍력, 태양광 발전의 증가율이야말로 가장 크지만 2040년 시점에서도 ASEAN의 에너지 믹스에 차지하는 비중은 1%에도 못 미친다.

최종에너지 소비

- 최종에너지 소비는 경제의 공업화, 생활 수준 향상, 역내 인구 증가 등을 배경으로 2014년 440 Mtoe에서 2040년 890Mtoe까지 연율 2.7%로 증가한다. 자동차·가전기기의 효율 기준의 설정이나 연료 보조금 폐지 등을 포함한 에너지 절약 정책의 강화에 덧붙여서 산업 구조의 변화, 도시화의 진전 등으로 GDP 단위는 35% 개선된다(그림 16).

¹ 지열의 10%정도에 대하여, 수력은 100%의 효율로 환산된다

그림16 ASEAN의 경제에너지 관련지표



산업부문은 증가율이 연 3.5%로 다른 부문보다 높다. 말레이시아, 태국, 인도네시아, 필리핀, 베트남 등에서는 풍부하고 값싼 노동력을 기대하며 해외 직접 투자가 급증하고 있다. 기계 조립 산업이 크게 발전하고 전력 수요가 크게 증가하고 있다.

이에 버금가는 연 2.7%의 높은 성장세를 보이는 것이 운수 부문이다. 1,000명당 자동차 보유 대수는 2014년 88대에서 2040년에는 189대까지 증가, 역내의 보유 대수는 2.7배로 확대하고, 도로 부문의 석유 수요는 2.0 Mb/d 증가한다.

민생·농업 부문은 연 2.2%로 성장이 낮지만, 이것은 주로 전통적 바이오메스의 이용으로부터 에너지 효율이 좋은 LPG쿠킹 난로 등에 대체가 진행되기 때문이다. 도시화의 진전이나 전기공급 지역의 확대, 생활 수준 향상 등을 배경으로 근대적 에너지 수요 증가율은 연 4.0%로 산업, 운수 부문을 넘는다.

전기공급이 안된 미전화율(未電化率)은 현재 19%로 1억 2,000만명의 사람들이 전력을 공급 받지 않고 있다. 각국 정부는 미전화율 인구 제로의 조기 달성을 목표로 하여 전력화 정책을 추진 중에 있다. 이러한 정책과 경제 성장이 맞물려서, 전력 수요는 2040년까지 3.2배로 증가, 2,450 TWh에 이른다. 전력 수요 증가에 대응하기 위해서 발전용 에너지 소비도 3.1배 증가했고 증가분의 약 3분의 2는 화석 연료로 충당할 것이다.

ASEAN의 에너지 투자, 시장 통합

에너지 투자액은 2015-2040년까지 2.3조 달러에 이른다(그림 17). 이는 현재 지역의 GDP (2.4조 달러)와 맞먹는다. 전력 공급 부문과 연료 공급 부문 투자가 각각 1.0조 달러를 차지한다. 전력 공급 중 55%가 발전 설비의 투자이며 나머지 45%가 송, 배전 설비 투자이다. 연료 공급으로 가스 유전 등 상류 개발이 약 80%를 차지하며 LNG등 연료 수송 시설이 약 10%, 나머지가 석유 정제에 대한 투자이다. 참고 사례에서의 에너지 절약 투자액은 2,200억달러로 작다.

ASEAN전체가 천연 가스 수입 밸런스를 이행하고 있는 현재, 지역의 송유관 건설의 정당성이 없어지고 있다. 그 중에서도 현 시점에서 유일하게 그 가능성이 있는 것이 East Natuna가스전에서 말레이시아 및 태국에 송유관 건설이다. 총생산량 15 Bcm의 전량이 말레이시아에 수출됐고 수입 LNG를 대체하면, 지역의 LNG수입액을 2040년까지의 누적으로 1,690억달러 줄일 수 있다(그림 18).

그림17 ASEAN의 에너지 투자액 [2040년까지 누적데이터]

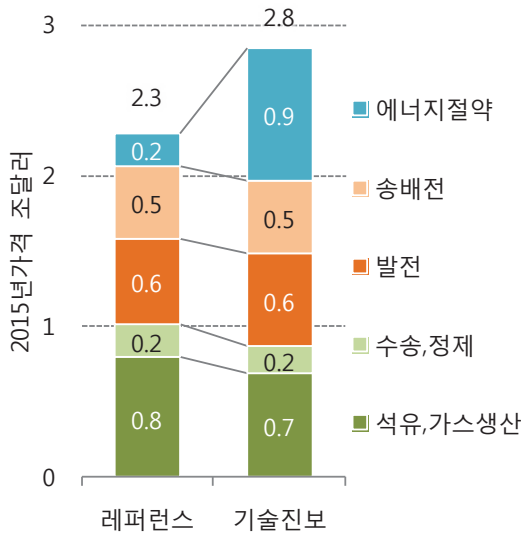
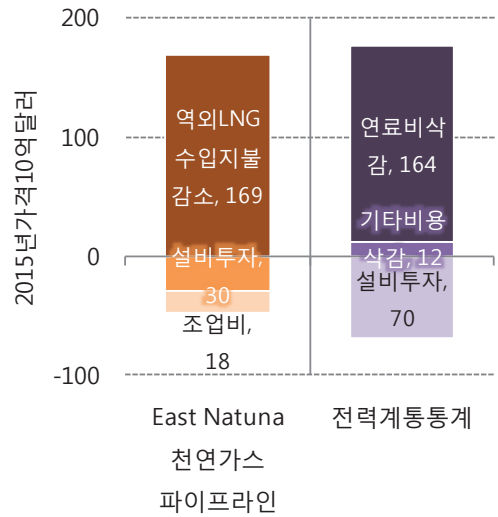


그림18 ASEAN의 에너지 인프라 정비효과 [2040년까지 누적 데이터]



송유관 망의 광역 정비는 에너지 안전 보장 면에서 공급원 분산 효과와 국제적인 사정에 의한 뜻밖의 LNG공급 두절이 가져오는 악영향의 완화 뿐만 아니라 평상시에 있어서는 공급 두절에 대비한 재고의 합리화도 가능하다. 또 현재 지역에서는 10곳 이상의 LNG수입 기지가 건설되고 있지만 그 배치의 적합화로 도입 비용 감축 가능성이 있다.

ASEAN 지역내의 수력 자원은 라오스와 미얀마 등에 많이 존재하고 있고 이들 국가 및 그 주변 지역과 전력 수요 지역을 연결하는데 따른 자원의 유효 활용을 목표로 삼고 있다. 또 마찬가지로 큰 수력 자원이 존재하는 보르네오 섬에서도 섬 내의 연계선 증강, 그 위에서 말레이 반도나 자바 섬 등의 수요지와 연계의 꺾이고 있다.

계통 등 시스템에 의해서 연합선·수력 발전 설비의 초기 투자에 700억달러를 투입하는 한편 관련 시스템에 의한 계통 안정화에 따른 정전 발생 시간을 일정 시간 이하로 하기 위한 공급 예비력을 절감할 수 있다. 또 수력 발전의 확대로 전지역에서 전원 부문의 이산화탄소(CO₂)배출량을 78Mt, 5%억제하는 동시에 화석 연료비를 1,640억달러 줄일 수 있다.

지구환경문제의 대처

파리협정파리협정

2015년 12월 유엔 기후 변화 협약 제21회 체결국 회의(COP21)에서 2020년 이후의 온실 가스(GHG)배출 삭감 등을 위한 새로운 국제 협정인 파리 협정이 채택됐다. 여기서 "자율적으로 결정하는 약속 초안(INDC)"을 기초로 작성한 세계의 GHG배출량은 2030년에서 45.5 GtCO₂이며 최근보다 증가한다(그림 19). 이는 그동안의 트렌드보다는 억제되고 있지만 2050년에 절반을 감축하는 미래상에는 연결되기 어려운 모습이다.

표1 파리협정의 평가

좋은 평가

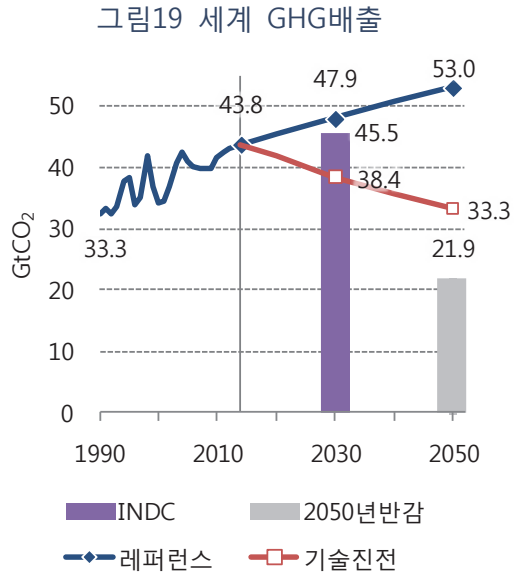
중국, 인도 등 개발도상국을 포함한 모든 나라가 감축의무를 지는 것으로 180개국 이상의 국가들이 향후 감축 노력에 합의

교토합의 처럼 먼저 삭감율을 정하고 각국에 그것을 적용한 톱다운방식이 아니라 각각 감축 목표를 마련, 쌓아가는 보텀업 방식

5년에 한번, 각국의 목표의 합계를 평가하고 추가 감축 노력을 요구하는 방식

과제

세계의 GHG배출량은 현재보다 증가했다

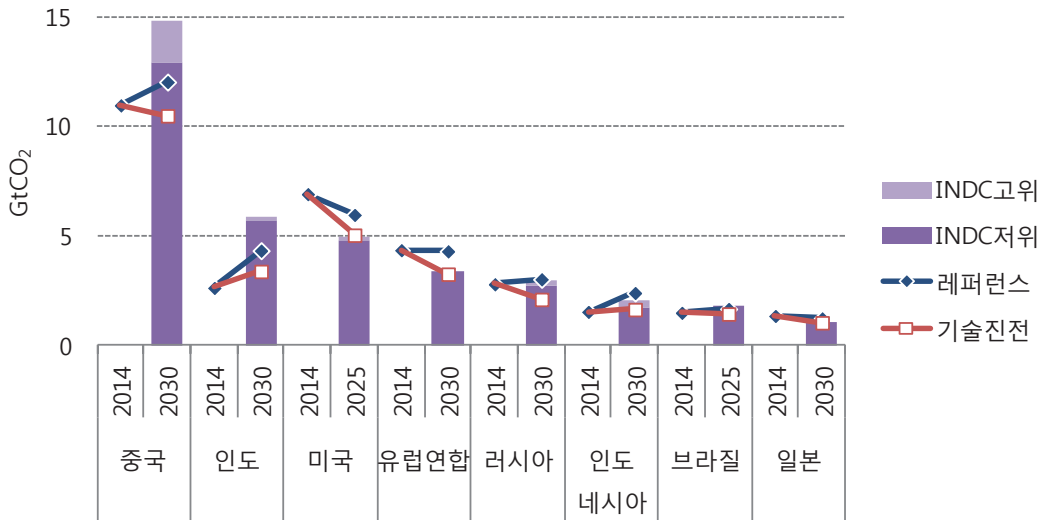


주: G20 파리협정에서 INDC를 기초로 작성

주요 각국의 INDC를 평가하면 선진국은 대체로 뒤에서 언급하는 기술 진전 경우에 가깝다(그림 20). 한편 중국 및 인도는 레퍼런스 사례에 가깝고 인도네시아 및 브라질은 기술 진전 사례로 레퍼런스 사례 사이에 있다. 각국에는 기술 진전 사례 정도의 노력이 바람직하므로 이를 위해서는 개발도상국의 저탄소 기술의 전개 추진이 중요하다

그래도 현재 상황에서 파리 협정은 세계 규모의 활동의 한 걸음으로서 탄탄한 발자국을 남길 것이라고 평가해야 한다. 본질은 향후 이 협정으로 목표를 착실하게 현실의 것으로 추가 삭감에 연결해 가는 것이다. 그러기 위해서는 기술 혁신과 동시에 양자 크레딧 제도를 포함한 시장 메커니즘을 활용한 기술 이전이 세계 전체에서 대책을 뒷받침하는 것이 불가피하다.

그림20 주요국가, 지역의 GHG배출



주: 파리협정에서 INDC를 기초로 작성

기술진보 케이스

- 현실 사회에서 적용 기회·수용성을 감안한 최대한의 CO₂배출 감소 대책을 예상한 "기술 진전 케이스"에서는 2040년의 에너지 소비가 레퍼런스 경우 대비 2,343 Mtoe, 12%절감되고 향후의 증가량은 55%로 억제된다.
- 가장 큰 변화가 나타나는 에너지원은 전력 소비의 억제, 발전 효율 향상, 다른 에너지의 대체 영향으로 주로 발전용으로 감소하는 석탄과 천연 가스이다(그림 21). 다만 석탄은 2040년의 소비가 현재의 17% 밀도는 반면, 천연 가스는 기술 진전 케이스에서도 향후 약 사세기 동안 증가가 계속된다. 석유는 레퍼런스 사례를 832Mtoe 밀도는 수준으로는 2040년경 정점에 이른다. 화석 연료가 레퍼런스 사례에서 3,196 Mtoe감소되는데 비하여 원자력은 433 Mtoe, 재생 가능 에너지는 태양광, 풍력을 중심으로 419 Mtoe증가한다. 이러한 결과 화석 연료의 점유율은 2014년 81%에서 2040년에 70%까지 감소한다.
- 레퍼런스 사례의 경우 2040년에 중국과 인도의 일차 에너지 소비의 세계 점유율은 모두 32%이지만, 참고 사례에서 기술 진전 경우를 통한 절감량 점유율은 36%를 차지하고, 이는 아시아에서 대소비국의 역할이 크다. 특히 석탄 절감 점유율은 61%로 매우 높은 것 외에 원자력 및 풍력·태양광 등의 증가에 대한 기여도 각각 38%에 이른다. 이러한 비 OECD국가를 중심으로 잠재력을 지닌 지역에서 적극적인 에너지 절약·저탄소화 전개 여부가 세계의 미래상을 좌우한다.
- 기술 진전의 경우, 세계의 에너지 기원 CO₂배출량은 2020년경을 정점으로 완만한 감소세로 돌아서고 2050년에는 2014년 대비 1.2 Gt, 3.8% 줄어든 31.8 Gt (그림 22). 2050년의 레퍼런스 사례에서 감소량 13.7 Gt은 세계의 현 배출량의 42%에 해당하며, 2050년까지의 누적 감소량 259 Gt은 세계의 현 배출량의 7.8년치에 해당한다.

그림21 세계 1차에너지소비증감

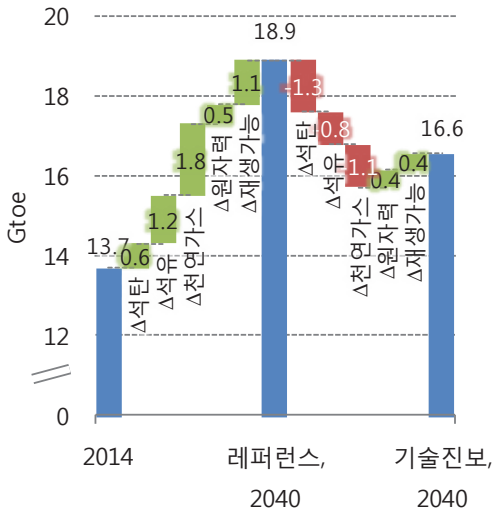
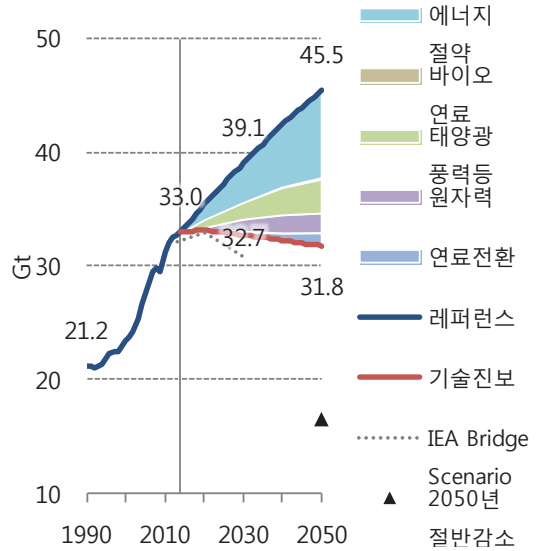


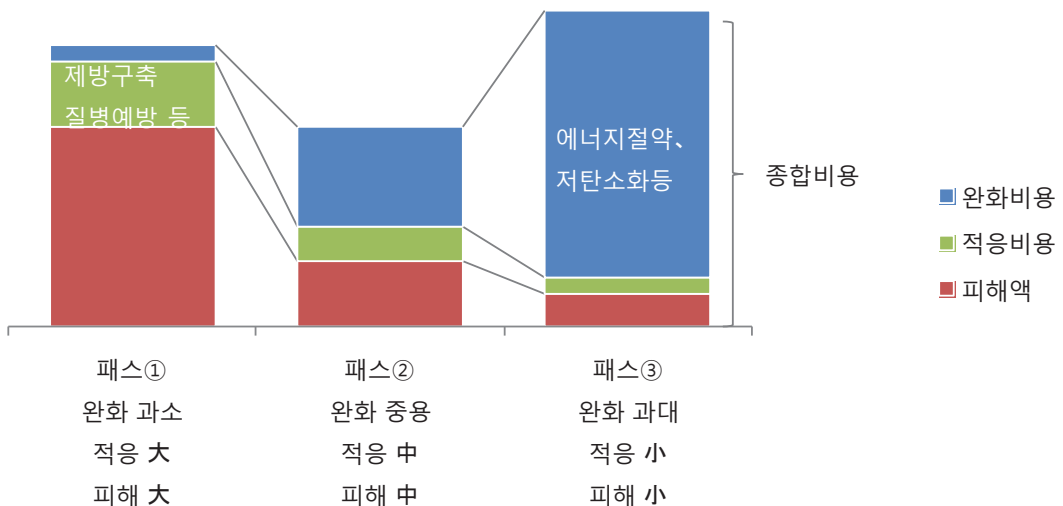
그림22 세계 이산화탄소배출과 삭감기여



초장기 기후변화대책 패스

기후 변동 문제는 광범위한 영역에 영향을 미치며, 몇세대 동안의 장기 과제이다. 언제, 어디서, 어느 정도의 대책을 강구해 나가야 할지는 잘 음미할 필요가 있다. 지속 가능하다는 시점에 근거하여 완화 비용, 적응 비용, 피해액의 합계인 종합 비용이 줄어드는 조합을 우리는 평가했다.(그림23) 100\$의 피해를 방지하기 위해서 1,000\$의 비용을 들여서 배출을 삭감하는 것처럼 제방을 쌓는 것과 같이 장기간 계속하는 것은 상당히 어려우며, 어디에선가 무너질 위험을 지을 수 없기 때문이다.

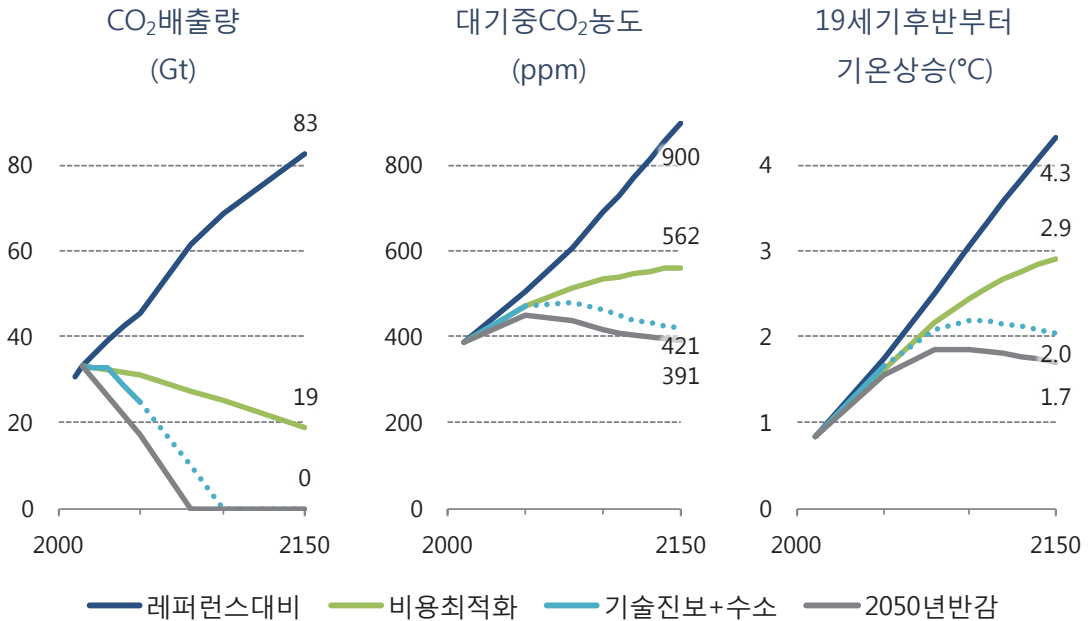
그림23 완화, 적응, 피해의 종합 원가의 이미지



누적 종합 원가를 줄이는 "비용 최적화 패스"에서 CO₂배출량은 레퍼런스사례에서는 대폭 삭감되지만 2050년에 배출을 반감시켜야 하는 것은 아니다(그림 24). 비용 최적화 패스로 배출량은 2050년 이후에도 완만하게 감소하면서 2150년 이후에 현재보다 절반 정도가 된다. 그리고 비용 최적화 패스에서 대기 중 CO₂농도는 완만하게 상승하면서 2150년 시점에서 560 ppm이다. 기온도 완만하게 상승하면서 2150년 시점에서 19세기 후반과 비교하여 3°C 높다.

무엇보다 이들은 조건에 따라 다른 모습으로 전개될 수 있다. 예를 들면, 2050년 이후의 한계 감축 비용이 기술 개발 보다 급속한 진전에 의해 저감될 경우 혹은 기후 감도²가 3°C가 아니라 2.5°C인 경우 비용 최적화 경로는 위에서 언급한 그것과는 다르게 되고 기온 상승폭은 더 작아진다. 인류가 기후 감도를 조작할 수는 없지만 완화 비용은 기존 저탄소 기술의 저비용화, 혁신적 기술의 개발을 진행시키는 것으로 저감이 가능하다. 우리에게 요구되고 있는 것은 적절한 기후 변동 대책을 지속적으로 실시하는 것과 병행하여 장기적 관점에서 기술 개발을 함께 하는 것이다.

그림24 초 장기 패스



다음에 언급하는 카본이 없는 수소를 병행하고 새로운 저탄소 기술의 비용삭감과 혁신적 기술 개발을 촉진함으로써 총 비용은 변동 될 수 있지만 기온상승을 2150년경까지 2°C정도까지 억제하는 패스도 옵션의 하나로 생각된다

수소이용 시나리오

장기적으로 미래에 세계 규모로 야심적인 CO₂삭감에 힘쓴다면 세계의 일부의 에너지 수요 지역, 예를들면 일본과 중국에서 국내로 이산화 탄소

² 대기중의 GHG의 CO₂환산농도가 증가한 경우의 평균기온 상승폭(°C)

포집·저장(CCS)기술을 충분히 이용할 수 없는 경우에는 제4의 제로 에미션 전원으로 수입 수소에 의한 발전이 큰 역할을 완수할 수 있다. CCS가 어렵거나 양적으로 한도가 있는 지역에서는 2030년 이후에 도입되는 석탄 화력·천연 가스 화력이 모두 수소 에너지로 대체되면서 이에 따른 수소 공급 비용도 대폭 줄이고 연료 전지 자동차의 보급이 세계에서 확대될 경우³ 2050년에는 수소가 발전량의 13%를 담당하고 판매되는 승용차의 8대에 1대가 연료 전지 자동차가 된다(그림 24). 총 3.2조 Nm³이상의 수소가 소비되지만 그 90%까지 CCS가 어려운 지역의 발전 부문에 의한 것이다.

수소의 주요 생산·수출국은 중동과 북아프리카, 북미, 호주, 러시아를 주로 한 유럽 등이다. 석유·천연 가스 등 기존의 에너지 수출국은 수소에 있어서도 중요한 공급자가 된다.

수소는 인프라 정비 등에 비용이 많이 들어 경제성은 없는 것이다. 다만 다른 대체 수단이 없는 경우에는 상대적으로 경제적인 저탄소화의 수단으로서 수소가 이용할 가능성은 있다. 또 공급원이 중동뿐만 아니라 북미와 호주도 유력 후보가 되어 에너지 공급원의 다양화로 이어진다.

그림25 세계 발전전력량 구성

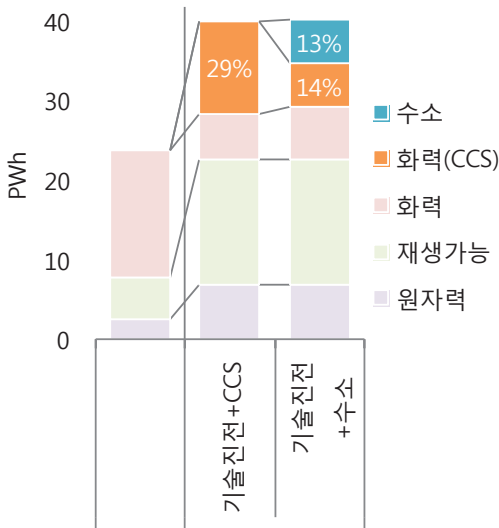
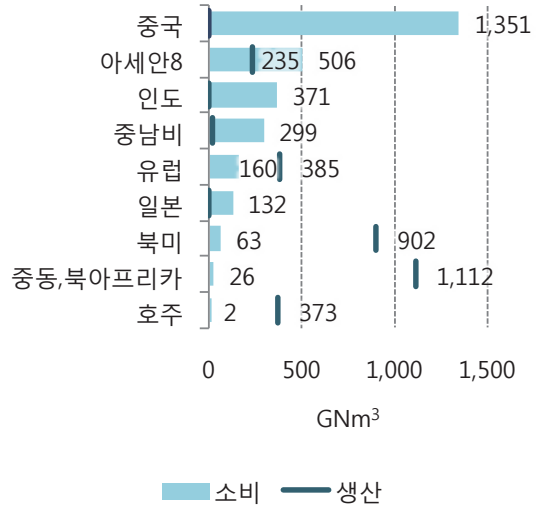


그림26 수소의 생산과 소비



3E달성을 향한 원자력의 중요성과 과제

안정성 향상과 규제기관의 독립성

동북 태평양 지진에 따른 쓰나미로 발생한 후쿠시마 제1 원자력발전소 사고는 단일 외부 사건에 의해 복수의 안전 기능이 파괴적인 타격을 받는다는 공통의 원인 고장(CCF)이었다. 특히 전원 및 급수원과 격납 시설 등 설비의 대책, 또

³ 본문중에 「수소 고위 시나리오」

해일 같은 자연 재해에의 준비가 불충분했던 점 등을 감안하여 일본에서는 규제 기준이 전면 재검토됐다. 새 규제 기준의 기본 방침은 ① 심층 방호 생각의 철저, ② 신뢰성 강화 ③ 자연 재해에 의한 CCF의 상정과 방호 대책의 인상이다. 이 방침에 기초한 안전 대책 강화의 결과 일부 원자력 발전소는 새 기준에 대한 적합성을 인정 받아 서서히 재가동이 진행되고 있다.

구미 선진국에서는 이러한 기준의 엄격화는 1980년대부터 행해졌다. 또 규제 기준의 적합으로 좋다고 하는 것이 아니라 그것을 넘어선 안전성 향상의 대처가 산업계에 자주적으로 이뤄졌다. 미국 스리마일 아일랜드 사고로 제로 위험은 있을 수 없음을 통감한 원자력 사업자에게 합리적인 자율 안전성 향상의 대응은 이른바 현실적이고 합리적으로 사업을 계속하기 위해서는 필연의 길이었다. 이 프로세스는 국가의 규제를 만드는 데도 중요한 참고가 된다고 생각한다.

규제 기관은 그 역할상 정치적인 제의와 경제 정세와 같은 기술적 지표 이외의 동향에도 좌우되지 않는 높은 독립성과 엄밀하고 공정한 심사를 하기 위한 높은 기술력이 요구된다. 아시아의 규제 기관은 서양과 비교하면 독립성 확보의 과제가 남아 있다. 일본과 한국은 2011년 이후 규제 체계를 갱신하고 독립성을 높였지만 서구보다 아직 역사가 짧다. 높은 독립성과 규제 활동의 투명성을 신뢰할 만한 수준을 높이는 안전 수준을 유지, 진행하기 위한 필수 조건이다.

원자력 발전에 의해서 생긴 고준위 방사성 폐기물을 적절하게 처분할 필요가 있다. 그 방법은 깊은 지층에 매설되며 암반의 특성을 이용하고 폐기물을 가두는 "지층 처분"이 국제적으로 공통 방침이다. 일본의 경우 폐기물 처분의 총 비용은 약 2.8조엔, 원자력 발전 단가에 대한 기여는 0.04엔/kWh로 평가된다. 경제성의 관점에서는 원자력 발전에 방해가 되는 문제 중에서 폐기물 처분이 차지한 위치는 결코 크지 않다.

그래도 처분 계획이 지연되는 원인으로 안전성에 관한 현지의 우려 등으로 처분지 선정 자체가 진전되지 않는 경우가 있다. 세계 최초로 처분지를 선정한 스웨덴에서는, 환경 법전 및 원자력 활동 법에 근거한 지역과의 협의가 반복했다. 이 때 "오스카 섬 모델"로 불리는 자치 단체, 규제 기관, 사업자와 환경 단체 등 모든 관계자를 포함하는 협의 체제가 구축됐다. 이러한 쌍방향 대화가 성공을 이끌어낸 것으로 생각할 수 있다.

저원자력 시나리오와 고원자력 시나리오

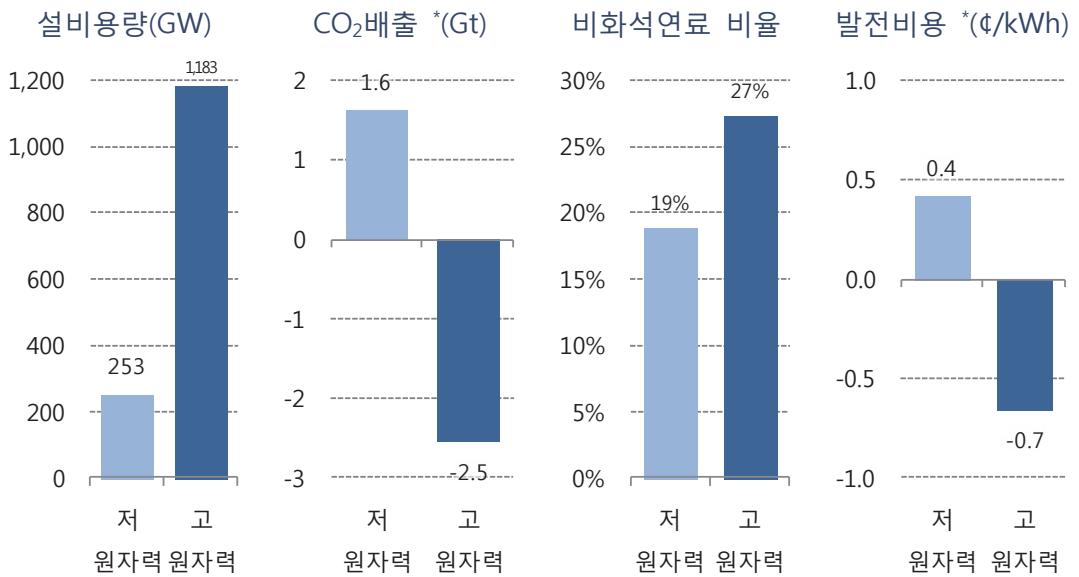
특히 아시아에서의 원자력 개발을 좌우하는 요인에 주목하고, 레퍼런스 때보다 원자력 개발에 있어서 마이너스의 요인이 작용하는 "저 원자력 시나리오", 기술 진전케이스 보고의 원자력 개발에 있어서 플러스의 요인으로 작용하는 "고 원자력 시나리오"를 세우고 그것들의 시나리오가 시사하는 과제를 분석했다.

2040년 원자력 설비 용량이 세계에서 약 1,200GW (2014년 대비 약3배), 아시아에서 약 700GW (2014년 대비 약7배)이 되는 고 원자력 시나리오에서는 세계에서 약 6%, 아시아에서 약 9%의 CO₂배출량이 감소하고, 아시아의 자급률은 약 74%로 거의 2014년 수준을 유지한다(그림 26). 발전 비용도 레퍼런스 케이스보다보다 약 0.9/kWh 낮고 대체로 에너지 안보, 경제, 지구 환경 문제 "3E"의 모든 것이 좋은 경향이다. 이 시나리오가 성립하는 조건은

선진국에서 신흥국으로의 기술 이전이지만, 특히 신흥국의 안전 규제 체제 정비가 과제로 남게 된다.

반면에 2040년 원자력 설비 용량이 세계에서 약 250GW (2014대비 약60%), 아시아의 약60 GW (동기대비 60%) 저전력 원자력 시나리오에서는 세계와 아시아의 CO₂ 배출량이 약 4%증가하고, 아시아의 자급률은 약 63%까지 대폭 저하된다. 발전비용도 레퍼런스 케이스보다 약 0.4/kWh 높아져, 3E에 전체적으로 마이너스의 영향이 나온다. 이 시나리오의 과제는 3E에의 악영향 외에 원자력 산업이 쇠퇴하는 가운데 어떻게 안전기준이나 인재의 수준을 유지하느냐 하는 것이다.

그림27 원자력 시나리오[2040년]



* 레퍼런스 사례 대비