

세계원전시장 인사이트

Biweekly

| 격주간 |

2018.06.29

World Nuclear Power Market Insight

📍 원전이슈_ 03

- 원자력발전과 다른 에너지원에 대한 인식 비교
- 주요 선진국의 발전부문 저탄소화 경향과 함의

📍 주요단신_ 30

• 북미

- 원전 폐쇄는 전력 가격에 영향을 미치지 않을 것...Pennsylvania 주립대학 연구 결과 발표
- 미국인 절반 이상은 정부가 화력·원자력에 보조금을 지급해야한다는 설문 조사 결과가 발표됨.
- 미 원자력협회, 원전 폐쇄가 지속될 경우 대규모 공급시장의 위험이 있다는 연구 결과 발표

• 유럽

- EDF Energy社, 영국 에너지 믹스에서 원자력 필요성 강조
- FORATOM, EU에 기후 목표 달성을 위해 원자로 장기운전 시행 촉구
- 스웨덴 SKB社, 사용후핵연료 최종처분장 건설 승인을 위해 추가 서류 작업 진행
- 핀란드 TVO社, Olkiluoto 원전 3호기 시운전 추가 지연 발표
- 스위스 BKW社, Mühleberg 원전 해체 승인 획득
- 러시아 Rosatom Service社, 해외 수주금액 증가

• 중동

- 요르단, 러시아와의 원전 건설 계약 파기...대안으로 SMR 건설 추구

• 아시아

- 중국, 세계 최초 AP-1000 원전 가동 임박...Sanmen, Haiyang 원전 소식
- 인도 감사원, Kudankulam 원전 가동 지연으로 인해 94억 8천만 루피 손실을 기록했다는 감사결과를 공개
- 일본 도쿄전력, 후쿠시마 제2원전 폐로 검토
- 일본 규제위, 도카이(東海) 핵연료 재처리 시설 폐지 계획 인가
- 일본 규슈전력 겐카이(玄海) 4호기, 재가동 달성



World Nuclear Power Market Insight



(사)한국척수장애인협회 031-424-9347

원자력발전과 다른 에너지원에 대한 인식 비교

조성경 명지대학교 교수(supercharmsae@hotmail.com)

1. 조사개요

1) 조사 설계

구 분	내 용
모 집 단	· 전국의 만19세 이상 성인남녀
표집틀	· 한국리서치 MS 패널(2017년 12월 기준 40만명)
표집방법	· 지역별, 성별, 연령별, 학력별, 직업별 기준 비례할당추출
표본크기	· 1,023명
표본오차	· 무작위추출을 전제할 경우, 95% 신뢰수준에서 최대허용 표집오차는 $\pm 3.1\%$
조사방법	· 웹조사(휴대전화 문자와 이메일을 통해 url 발송)
응답(협조)율	· 메일 발송 19,126명, 조사참여 2,217명, 조사완료 1,023명 (발송대비 5.3%, 참여대비 46.1%)
조사일시	· 2018년 5월 25일~30일
조사기관	(주)한국리서치

2) 응답자 특성

Base=전체		사례수 (명)	비율 (%)
전체		(1,023)	100.0
성별	남자	(504)	49.3
	여자	(519)	50.7
연령	19~29세	(177)	17.3
	30~39세	(174)	17.0
	40~49세	(204)	19.9
	50~59세	(201)	19.6
	60세 이상	(267)	26.1
거주지역	서울	(197)	19.3
	인천/경기	(306)	29.9
	대전/세종/충청	(108)	10.6

Base=전체	사례수 (명)	비율 (%)
광주/전라	(106)	10.4
대구/경북	(103)	10.1
부산/울산/경남	(160)	15.6
강원/제주	(43)	4.2
학력		
고졸이하	(446)	43.6
대재이상	(577)	56.4
이념성향(11점)		
진보(0-4)	(342)	33.4
중도(5)	(354)	34.6
보수(6-10)	(298)	29.1
모름	(29)	2.8

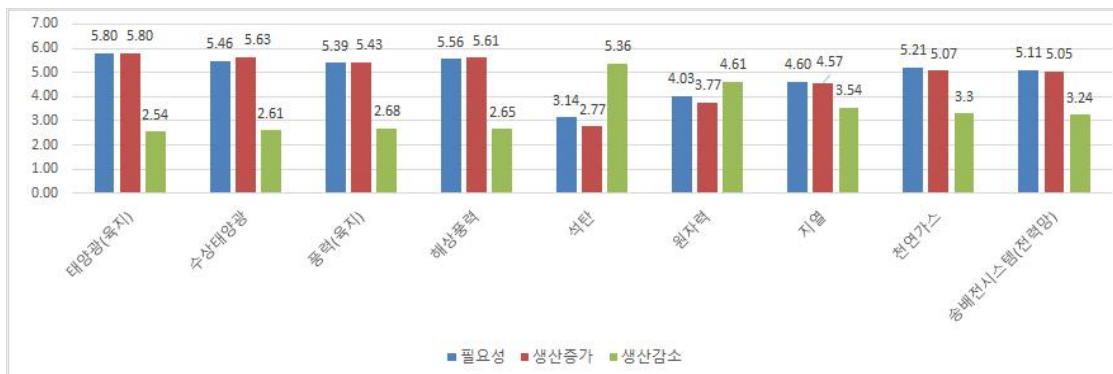
2. 에너지원별 특성에 대한 시민의 인식

1) 각 에너지원별 필요성에 대한 인식(7점 척도)

■ 사람들은 태양광과 풍력을 통한 전력생산의 필요성에 대해 가장 크게 동의함.

- 각 에너지를 통한 '전력생산이 필요하다'는 진술에 태양광(5.80), 해상풍력(5.56), 수상태양광 (5.46), 천연가스 (5.21) 순으로 동의함.
- 각 에너지를 통한 '전력생산을 지속적으로 늘려야 한다'는 진술에 대한 동의도 태양광(5.80), 수상태양광(5.63), 해상풍력(5.61), 풍력(5.43), 천연가스(5.07) 순임.
- 각 에너지를 통한 '전력생산을 점차 줄여야한다'는 진술에 대해서는 석탄(5.36), 원자력(4.61) 순으로 동의함.

〈에너지원별 필요성에 대한 인식 비교〉



2) 각 에너지원별 위험통제 가능성에 대한 인식(7점 척도)

- 사람들은 전력생산 과정에서 발생할 수 있는 위험을 통제할 수 있는 가능성에 대해 태양광과 풍력에 대해서는 긍정적, 원자력과 석탄, 지열에 대해서는 부정적으로 인식하는 경향이 있음.
- 과학기술을 통한 위험통제 가능성에 대해서는 태양광(5.35), 수상태양광(5.24), 풍력(5.23), 해상풍력(5.17), 송배전시스템(4.78) 순으로 동의함.
- 법과 제도를 통한 위험통제 가능성에 대해서는 태양광(5.15), 풍력(5.08), 수상태양광(5.06), 해상풍력(5.04), 송배전시스템(4.85) 순으로 동의함.
- 비용을 투자해 설비보완을 통한 위험통제 가능성에 대해서는 태양광(5.46), 풍력(5.37), 수상태양광(5.34), 해상풍력(5.25), 송배전시스템(4.96) 순으로 동의함.
- 원자력의 경우 위험통제 가능성에 대해 부정적이며, 법과 제도(3.95), 비용 투자를 통한 설비보완(3.74), 과학기술(3.40) 순으로 위험통제의 가능성을 보고 있음.
- 석탄의 경우 법과 제도(4.17)를 통한 위험통제 가능성은 비교적 인정하는 것으로 나타났으나, 비용 투자를 통한 설비보완(3.85)이나 과학기술(3.58)을 활용한 위험통제에 대해서는 부정적인 경향을 보임.
- 전반적으로 비용을 투자해 설비를 보완하는 것이 위험을 통제하는데 상대적으로 효과가 높은 것으로 인식하는 경향이 있음.

3) 각 에너지원별 위험원인에 대한 인식(7점 척도)

- 사람들은 전반적으로 안전에 대해 충분히 투자를 하지 않는 것을 위험의 원인으로 인식하는 경향이 있으며, 이는 비용투자를 통한 설비보완이 위험통제 가능성을 높이는데 기여한다는 인식과 일맥상통함.
- 태양광과 풍력의 경우 안전에 대한 불충분한 투자, 소홀한 기술개발, 느슨한 규제, 안전에 대한 자만 등이 주요 위험원인으로 지적됨.
- 원자력의 경우 폐기물(5.99) 문제가 가장 큰 위험 원인으로 지적되었으며, 사고 가능성(5.88), 느슨한 규제(5.06), 안전에 대한 자만(5.03) 등이 그 뒤를 따름.
- 석탄의 경우도 폐기물(5.18) 문제가 가장 큰 위험 원인으로 지적되었으며, 느슨한 규제(4.66), 불충분한 투자(4.45) 등도 위험 원인으로 인식하는 것으로 나타남.
- 송배전시스템의 경우 불충분한 안전 투자(4.14), 느슨한 규제(4.09), 안전에 대한 자만(4.05), 사고 가능성(4.05), 소홀한 기술개발(4.05) 순으로 위험의 원인을 지적함.

4) 각 에너지원별 사회적 편익에 대한 인식(7점 척도)

- 사람들은 일자리 창출을 제외한 사회적 편익 즉, 온실가스 감축, 환경오염 방지, 경제발전, 편안한 전기사용, 에너지안보, 값싼 전기요금과 관련하여 태양광을 1순위로 평가하는 경향이 있음.
- 태양광과 풍력의 경우 온실가스 감축(6.01/5.95)-환경오염 방지(5.96/5.93)-과학기술 발전(5.77/5.70)-경제발전(5.65/5.51)-편안한 전기사용(5.57/5.40)-에너지안보(5.48/5.34)-값싼 전기요금(5.34/5.18)-일자리 창출(4.92/4.87) 순으로 사회적 편익을 제공하는 것으로 인식됨.
- 원자력의 경우 값싼 전기요금(5.15)-편안한 전기 사용(5.12)-과학기술 발전(5.03)-경제발전(4.80)-에너지안보(4.66)-일자리 창출(4.62) 순으로 사회적 편익을 인정한 반면, 환경오염 방지(3.35)와 온실가스 감축(3.98)에 대해서는 다소 부정적 인식을 갖는 경향이 있음.
- 석탄의 경우 사회적 편익에 대해 전반적으로 부정적인 평가를 하고 있음.
- 경제발전에는 대해서는 석탄(3.80)을 제외한 모든 에너지원에 대해 기여도를 인정하는 경향이 있으며, 태양광(5.65)-수상태양광(5.55)-풍력/해상풍력(5.51)-천연가스(5.14)-송배전시스템(5.13)-원자력(4.80)-지열(4.72) 순임.
- 에너지안보에 대해서도 석탄(3.88)을 제외한 모든 에너지원의 기여도를 인정하고 있으며, 태양광(5.48)-수상태양광(5.37)-풍력/해상풍력(5.34)-송배전시스템(5.03)-천연가스(4.99)-원자력(4.66)-지열(4.64) 순임.
- 온실가스 감축의 경우 태양광(6.01), 풍력(5.95), 수상태양광과 해상풍력(5.94), 지열(4.94), 송배전 시스템(4.91), 천연가스(4.41)의 기여도는 인정하지만, 원자력(3.98)과 석탄(2.35)에 대해서는 인정하지 않는 경향이 있음.
- 편안한 전기사용과 관련해서는 태양광(5.57)-풍력/수상태양광(5.40)-해상풍력(5.36)-송배전시스템(5.26)-천연가스(5.13)-원자력(5.12)-지열(4.73)-석탄(3.99) 순으로 동의함.
- 환경오염 방지와 관련해서는 석탄(2.36)과 원자력(3.35)에 대해서는 기여도를 인정하지 않으며, 태양광(5.96)-풍력/해상풍력/수상태양광(5.93)-송배전시스템(4.93)-지열(4.87)-천연가스(4.46) 순으로 기여도를 인정함.
- 과학기술 발전 기여도의 경우 석탄(3.18)을 제외한 에너지원에 대해 긍정적으로 인식하는데, 태양광/수상태양광(5.77)-해상풍력(5.72)-풍력(5.70)-송배전시스템(5.28)-원자력(5.03)-지열(5.01)-천연가스(4.95)순임.
- 값싼 전기요금에 대한 기여도에 대해서도 석탄(3.98)을 제외한 에너지원에 대해 인정하는 경향을 확인했으며, 태양광(5.34)-풍력(5.18)-수상태양광(5.17)-원자력(5.15)-해상풍력(5.14)-송배전 시스템(4.94)-천연가스(4.79)-지열(4.69) 순임.



- 일자리 창출에 대해서도 석탄(3.75) 이외의 에너지원의 기여도를 인정하는데, 송배전시스템(5.00)–태양광(4.92)–수상태양광(4.91)–해상풍력(4.88)–풍력(4.87)–천연가스(4.71)–원자력(4.62)–지열(4.56) 순임.

5) 각 에너지원별 위험에 대한 인식(7점 척도)

- 사람들은 태양광과 풍력에 대해서는 거의 위험하지 않다고 인식하는 반면 석탄과 원자력에 대해서는 위험하다는 인식이 강한 것으로 나타남.
- 건강에 대한 나쁜 영향이 석탄(5.57)과 원자력(5.10)으로 인해서는 발생할 수 있으나, 해상풍력(2.38)–풍력/수상태양광(2.39)–태양광(2.40)–지열(3.18)–송배전시스템(3.38)–천연가스(3.69)의 경우 건강에 나쁜 영향을 미치지 않는다고 보는 경향이 있음.
- 자연환경에 대해서는 석탄(5.62)과 원자력(5.05)이 나쁜 영향을 미친다고 인식하는데 비해 해상풍력(2.75)–수상태양광(2.81)–풍력(2.86)–태양광(2.88)–지열(3.54)–송배전시스템(3.60)–천연가스(3.87)는 자연환경에 나쁜 영향을 미치지 않는 것으로 인식하는 경향을 보임.
- 미래세대에 대해서도 석탄(5.45)와 원자력(5.05)이 나쁜 영향을 미치는데 비해 해상풍력(2.32)–태양광/풍력/수상태양광(2.35)–송배전시스템/지열(3.31)–천연가스(3.60)는 나쁜 영향을 주지 않는 것으로 보는 경향이 있음.
- 온실가스 배출과 관련해서는 석탄(5.89), 원자력(4.48), 천연가스(4.07)이 나쁜 영향을 미치는 것으로 보고 있으며, 태양광(2.27)–해상풍력/풍력(2.28)–수상태양광(2.29)–지열(3.25)–송배전시스템(3.34)은 온실가스 배출과 거리가 있는 것으로 인식함.
- 사고가 나지 않더라도 위험하다는 것에 대해서는 원자력(5.46)과 석탄(4.92), 천연가스(4.09)의 위험성에 동의하고 있으며, 태양광(2.55)–수상태양광(2.60)–풍력/해상풍력(2.62)–지열(3.61)–송배전시스템(3.67)의 위험성에는 동의하지 않음.
- 사고가 나면 위험하다는 것에 대해서는 원자력(6.42), 석탄(5.28), 천연가스(5.00), 송배전시스템(4.32), 지열(4.19)의 위험성을 인정하고 있으며, 태양광(3.01), 수상태양광(3.12), 풍력(3.16), 해상풍력(3.18)의 위험성은 인정하지 않는 경향을 보임.

3. 에너지정책 결정에 대한 시민의 인식

1) 에너지정책 결정 과정에 대한 인식(7점 척도)

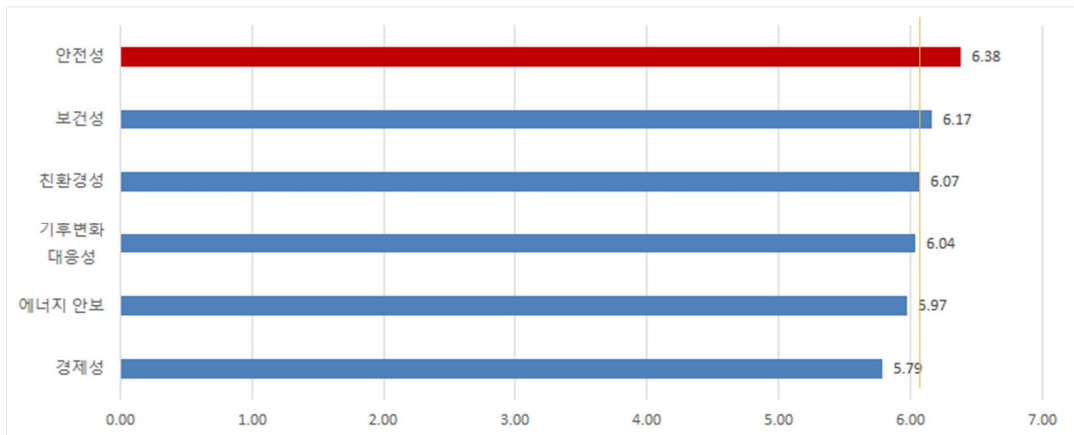
- 사람들은 각 에너지원별로 각기 다른 정책 결정 과정을 거치는 것으로 인식하는 경향이 있으나, 에너지 관련 정책이 정치적으로 결정된다는 것에 대해서는 전반적으로 동의함.
- 에너지정책 결정 과정에 대해 정치적으로 결정된다(4.69)는 인식이 가장 높으며, 적법한 절차를 통해 결정된다(4.43), 연계된 다른 분야 정책과의 균형을 고려하여 결정된다(4.20), 원칙을 갖고 이를 준수하여 결정된다(4.13), 각계각층의 다양한 의견을 바탕으로 결정된다(4.05) 순으로 동의하는 경향이 확인됨.
- 원자력(5.40)의 경우 정치적으로 결정된다는 인식이 강하며, 천연가스(4.76)–송배전시스템(4.68)–석탄(4.61)–태양광(4.57)–수상태양광(4.56)–해상풍력(4.53)–풍력(4.52) 순임.
- 에너지정책 결정의 절차적 정당성에 관련해서는 다른 에너지원에 비해 석탄, 원자력, 지열 등이 상대적으로 열위에 있는 것으로 나타남.

2) 에너지정책 결정 기준에 대한 인식(7점 척도)

- 사람들은 에너지정책을 결정하는데 중요한 기준으로 안전성(6.38)–보건성(6.17)–친환경성(6.07)–기후변화 대응성(6.04)–에너지안보(5.97)–경제성(5.79) 순으로 제시함.
- 에너지정책 결정 기준 중요성의 평균이 6.07점임을 감안할 때, 안전성과 보건성은 평균 이상의 중요성을 인정하고 있으며, 친환경성은 평균 수준, 기후변화 대응성, 에너지안보, 경제성은 평균 이하의 중요성을 인식하는 경향을 보임.
- 이념성향별로 살펴보면, 진보성향의 경우 안전성(6.58), 보건성(6.39), 친환경성(6.32), 기후변화 대응성(6.22), 에너지안보(6.06), 경제성(5.85) 순인데 비해 보수성향의 경우는 안전성(6.34), 보건성(6.11), 에너지안보(6.01), 친환경성(5.93), 기후변화 대응성(5.83), 경제성(5.66) 순인 것으로 나타남.
- 이념 성향에 따라서는 에너지안보와 관련한 인식차이가 가장 뚜렷하게 확인됨.
- 같은 방식으로 2015년 12월 10일~12월 15일 1,000명을 대상으로 조사한 결과를 살펴보면, 경제성(3.86점 / 5점 만점), 안전성(3.64점 / 5점 만점), 에너지안보(3.56점 / 5점 만점), 기후변화 대응(3.47점 / 5점 만점), 보건성(3.39점 / 5점 만점) 순이었음(친환경성에 대해서는 질문하지 않음).
- 2015년 12월과 2018년 5월의 결과를 비교할 때 명확한 인식의 변화를 확인할 수 있는데, 특히 에너지 정책 결정기준으로서의 경제성과 에너지안보, 보건성에 대해서는 순위가 뒤바뀜.

- 안전성에 대해서는 약간의 순위변동은 있으나 지속적으로 중요성이 강화되는 추세를 보임.

〈에너지정책 결정 기준으로서의 중요성 인식 비교〉



4. 에너지안전에 대한 시민의 인식

1) 에너지안전의 현안 중요성에 대한 인식(7점 척도)

- 각 에너지원별로 약간의 차이는 있으나 모두 에너지안전 문제를 사회적 차원이나 개인적 차원에서 중요한 현안으로서 인식하고 있음.
- 상대적으로 비교하면, 개인적 차원보다는 사회적 차원에서 에너지안전 문제를 더욱 중시하는 경향을 보임.
- 개인적 차원에서의 현안 중요성의 경우 원자력(5.61)–천연가스(5.14)–태양광(5.11)–송배전시스템(5.01)–풍력(4.99)–수상태양광/석탄(4.94)–해상풍력(4.92)–지열(4.89) 순임.
- 사회적 차원에서는 원자력(6.26)–천연가스(5.70)–석탄(5.63)–태양광(5.55)–송배전시스템(5.48)–풍력(5.47)–수상태양광/해상풍력(5.45)–지열(5.42)의 순으로 안전의 현안 중요성을 인식함.

2) 에너지안전 지식수준과 정보수준에 대한 인식(7점 척도)

- 사람들은 에너지안전에 대해 잘 알지 못한다고 생각하는 경향이 있음.
- 각 에너지원에 대해 스스로 인식하고 있는 지식수준은 전반적으로 낮는데, 나는 비교적 에너지안전과 관련해 잘 알고 있다는 것에 대한 동의 정도를 보면 태양광(4.04)–풍력(3.88)–석탄(3.87)–원자력(3.75)–천연가스(3.72)–수상태양광(3.66)–해상풍력(3.64)–송배전시스템(3.55)–지열(3.44)순임.

- 다른 사람들에 비해 에너지안전과 관련해 많은 지식을 갖고 있다는 것에 대해서도 동의하지 않는 경향을 보이는데, 태양광(3.63)-석탄(3.56)-풍력(3.49)-원자력(3.45)-천연가스(3.42)-해상풍력(3.29)-송배전시스템(3.28)-수상태양광(3.28)-지열(3.17) 순임.

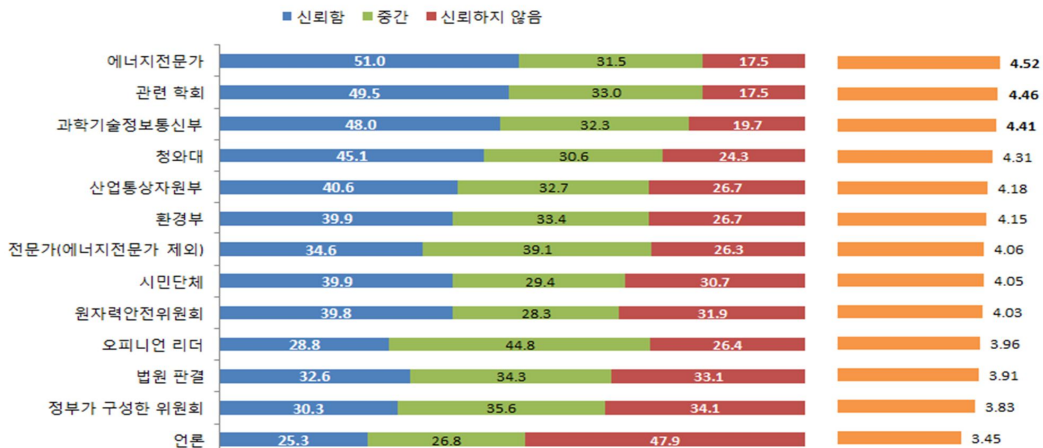
■ 사람들은 각 에너지원별로 정보의 습득 용이성, 이해 수월성, 신뢰성에 대한 인식의 차이를 보이지만 전반적으로 정보 수준에 대한 인식은 부정적인 경향이 확인됨.

- 정보습득의 용이성에 대해서는 태양광(4.11)만이 긍정적인 평가를 받고 있으며, 지열(3.72)과 원자력(3.72)이 필요한 정보를 얻기가 가장 어려운 것으로 인식함.
- 정보에 대한 이해 수월성 측면에서도 태양광(4.04)만이 중간 이상의 동의 수준을 보이며, 원자력(3.44)과 지열(3.55)의 공개된 정보는 이해하기 어려운 것으로 평가됨.
- 정보의 신뢰성에 대해서는 태양광(4.31), 풍력(4.24), 수상태양광(4.19), 해상풍력(4.18), 송배전시스템(4.08), 천연가스(4.02)는 상대적으로 동의하는데 비해, 원자력(3.37), 석탄(3.75), 지열(3.82)의 공개된 정보는 믿을만하지 않은 것으로 인식함.

■ 사람들은 에너지전문가로부터 얻은 에너지안전 정보에 대해 가장 신뢰하며, 언론, 정부 위원회, 법원 판결에 대해서는 신뢰하지 않는 경향이 있음.

- 응답자의 51.0%는 에너지전문가가 제공하는 에너지안전 관련 정보를 신뢰하며, 17.5%는 신뢰하지 않는 것으로 나타남.
- 신뢰수준을 살펴보면, 에너지전문가(4.52)-관련학회(4.46)-과학기술정보통신부(4.41)-청와대(4.31)-산업통상자원부(4.18)-환경부(4.15)-에너지전문가를 제외한 전문가(4.06)-시민단체(4.05)-원자력안전위원회(4.03)-오피니언리더(3.96)-법원판결(3.83)-정부위원회(3.83)-언론(3.45) 순임.

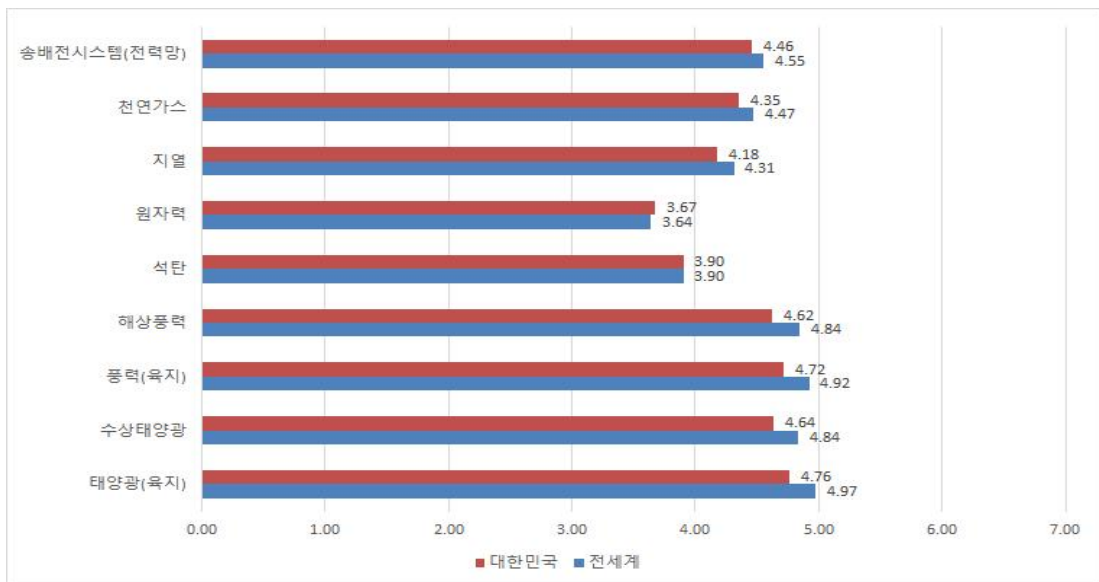
〈기관별 제공한 에너지안전 관련 정보에 대한 신뢰수준 비교〉



3) 에너지원별 안전에 대한 신뢰수준(7점 척도)

- 사람들은 원자력을 제외한 모든 에너지원에 대해 전 세계적인 차원에서의 에너지안전이 대한민국에서의 에너지안전보다 높다고 평가하는 경향이 있음.
- 전 세계적인 차원에서 에너지원별 안전에 대한 신뢰수준을 살펴보면, 태양광(4.97)이 가장 높으며, 원자력(3.64)과 석탄(3.90)의 안전에 대해서는 신뢰하지 않음.
- 대한민국에서 에너지원별 안전에 대한 신뢰수준 역시, 태양광(4.76)이 가장 높으며, 원자력(3.67)과 석탄(3.90)의 안전은 신뢰하지 않는 경향을 보임.

〈에너지원별 에너지안전에 대한 신뢰수준 비교〉



5. 에너지안전 주체에 대한 시민의 인식

1) 에너지안전 주체의 전문성에 대한 인식(7점 척도)

- 에너지안전에 대한 전문성이란 에너지안전에 대해 올바른 판단을 내릴 수 있는가의 문제로 규정함.
- 에너지안전 주체를 정부, 발전사업자, 규제기관, 에너지전문가로 구분하여 살펴본 결과, 전반적으로 전문성에 대해서는 인정하는 경향이 있음.

- 모든 에너지원에 에너지전문가의 전문성을 가장 높이 인정하고 있으며, 태양광(4.89), 풍력(4.86), 수상풍력(4.84), 해상풍력(4.82), 천연가스(4.81), 송배전시스템(4.79)은 평균이상이며, 원자력(4.56), 석탄(4.66), 지열(4.60)의 경우는 평균보다 낮은 전문성이 인정되고 있음.
- 정부의 에너지안전에 대한 전문성에 대해서는 태양광(4.30), 송배전시스템/풍력(4.37), 수상태양광(4.24), 해상풍력(4.23), 천연가스(4.22)는 평균 이상으로 인정한데 비해 원자력(3.90), 지열(4.02), 석탄(4.04)에 대한 정부의 전문성에 대해서는 평균보다 낮은 수준으로 평가함.
- 발전사업자의 에너지안전에 대한 전문성의 경우 송배전시스템(4.48), 천연가스/태양광(4.42), 풍력(4.41), 해상풍력(4.38), 수상태양광(4.37)은 평균 이상으로 인정받고 있지만, 석탄(4.17)과 원자력(4.27)은 발전사업자가 에너지안전에 대해 평균이하의 전문성을 갖고 있다고 인식함.
- 규제기관이 갖고 있는 에너지안전에 대한 전문성에 대해서는 태양광(4.50), 송배전시스템/풍력(4.49), 수상태양광(4.45), 천연가스(4.42), 해상풍력(4.41)은 평균 이상으로 인정하나, 지열(4.24), 원자력(4.26), 석탄(4.27)에 대해서는 평균 이하로 보고 있음.

2) 에너지안전 주체의 도덕성에 대한 인식(7점 척도)

- 에너지안전에 대한 도덕성이란 에너지안전과 관련하여 해당 주체가 부도덕한 일을 하지 않는 것으로 규정함.
- 사람들은 에너지전문가의 도덕성을 상대적으로 높게 인식한 반면, 발전사업자, 규제기관, 정부의 에너지안전과 관련한 도덕성에 대해서는 부정적인 평가를 하는 경향이 있음.
 - 정부의 에너지안전 관련 도덕성에 대해서는 태양광(4.15), 풍력(4.13), 수상태양광/해상풍력(4.12), 송배전시스템(4.03), 천연가스(3.99)는 평균 이상으로 인식하나, 지열(3.92)은 평균 수준, 원자력(3.53)과 석탄(3.77)은 평균 이하로 평가함.
 - 발전사업자의 도덕성의 경우 전반적으로 부정적 인식을 하고 있으며, 지열(3.73), 석탄(3.52), 원자력(3.42)은 평균 이하의 에너지안전 관련 도덕성을 갖고 있는 것으로 인식됨.
 - 규제기관의 도덕성과 관련하여 태양광(4.00)을 제외하고는 모두 부정적인 평가를 받고 있으며, 원자력(3.57), 석탄(3.67), 지열(3.81)은 평균 이하 수준임.
 - 에너지전문가에 대해서는 상대적으로 높은 도덕성을 갖고 있는 것으로 인식되었으나, 최고 점수가 4.24점임을 감안할 때 도덕성에 대한 점검이 필요함.

3) 에너지안전 주체의 책임성에 대한 인식(7점 척도)

- 에너지안전에 대한 책임성이란 전력생산으로 인한 위험으로부터 국민을 보호하기 위해 책임을 다하는 것으로 규정함.
- 사람들은 에너지전문가, 발전사업자, 규제기관, 정부의 에너지안전과 관련한 책임성에 대해 전반적으로 긍정적으로 바라봄.
 - 책임성과 관련해서는 정부에 대한 인식이 상대적으로 높았으며, 발전사업자의 책임성을 가장 낮게 평가하는 경향을 보임.
 - 에너지원별로 보면, 정부, 발전사업자, 규제기관, 에너지전문가의 책임성에 대해 석탄, 원자력, 지열의 경우는 모두 평균 이하로 인식함.
 - 에너지원별 에너지안전 주체의 책임성에 대한 인식은 석탄 발전사업자(3.98)를 제외한 나머지의 경우 모두 동의하는 것으로 나타남.

6. 원자력발전에 대한 시민의 수용수준

1) 원자력발전에 대한 수용수준의 의미

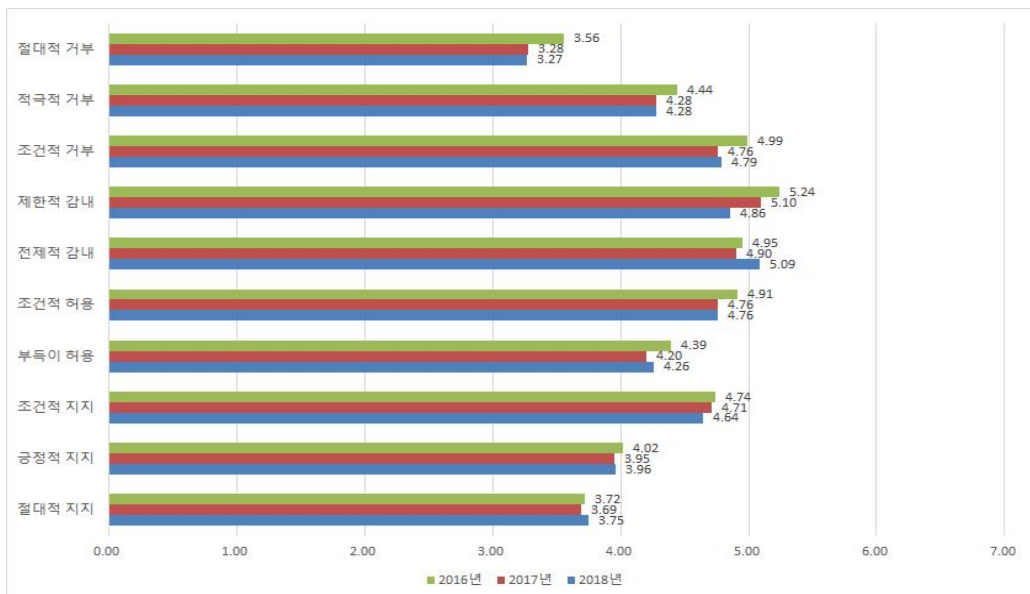
- 현실적인 차원에서 원자력발전에 대한 사회문화적 수용성을 구성하고 분석하기 위해 그 수준을 10 단계(절대적 지지-긍정적 지지-조건적 지지-부득이 허용-조건적 허용-전제적 감내-제한적 감내-조건적 거부-적극적 거부-절대적 거부)로 세분화함.
 - 절대적 지지라 함은 앞으로 지속적으로 원자력발전을 확대 이용해야 한다는 것을 의미함.
 - 긍정적 지지는 현재의 수급 비중을 유지하면서 지속적으로 원자력발전을 이용해야 한다는 것을 뜻함.
 - 조건적 지지는 안전규제와 원칙을 철저히 준수한다는 것을 전제로 원자력을 유용하게 이용할 수 있다는 것임.
 - 부득이 허용은 위험하지만 우리 삶에 필요하므로 원자력발전을 어쩔 수 없이 이용할 수밖에 없다는 것을 말함.
 - 조건적 허용이란 우리 삶에 필요하지만 매우 위험하므로 철저한 감시와 관리를 조건으로 원자력발전의 이용을 허용할 수 있다는 입장임.
 - 전제적 감내란 원자력발전은 치명적인 위험을 안고 있으므로 철저한 위험통제 하에 제한적으로 이용하되 점차 줄여나가야 한다는 입장임.

- 제한적 감내는 원자력발전의 이용을 줄여나가는 것을 전제로 대체 가능한 에너지가 마련될 때까지 원자력을 이용하는 것은 참을 수 있다는 것임.
- 조건적 거부는 탈핵 시점을 명확히 하여 이에 대한 대책을 마련하고 원자력발전의 이용을 최대한으로 빨리 줄여야 한다는 입장임.
- 적극적 거부는 탈핵을 최우선 목표로 원자력발전의 이용을 가능한 빨리 중단해야 한다는 것임.
- 절대적 거부는 어떤 불이익을 감수하더라도 원자력발전의 이용을 즉각 중단해야 한다는 것을 의미함.

2) 원자력발전에 대한 수용수준 분석

- 원자력발전에 대해 전제적 감내 즉 원자력발전은 치명적인 위험을 안고 있으므로 철저한 위험통제 하에 제한적으로 이용하되 점차 줄여나가는 것이라고 응답한 비율이 64.4%로 가장 높으며, 평균점은 5.09임.
- 원자력발전에 대한 수용 수준은 전제적 감내(5.09)-제한적 감내(4.86)-조건적 거부(4.79)-조건적 허용(4.76)-조건적 지지(4.64)-적극적 거부(4.28)-부득이 허용(4.26)-긍정적 지지(3.96)-절대적 지지(3.75) 순임.
- 같은 방식으로 조사한 과거 3년의 결과를 비교하면, 2017년과 2016년에는 제한적 감내 즉 원자력발전의 이용을 줄여나가는 것을 전제로 대체 가능한 에너지가 마련될 때까지 원자력을 이용하는 것은 참을 수 있다는 입장이 가장 강했던 것으로 확인됨.

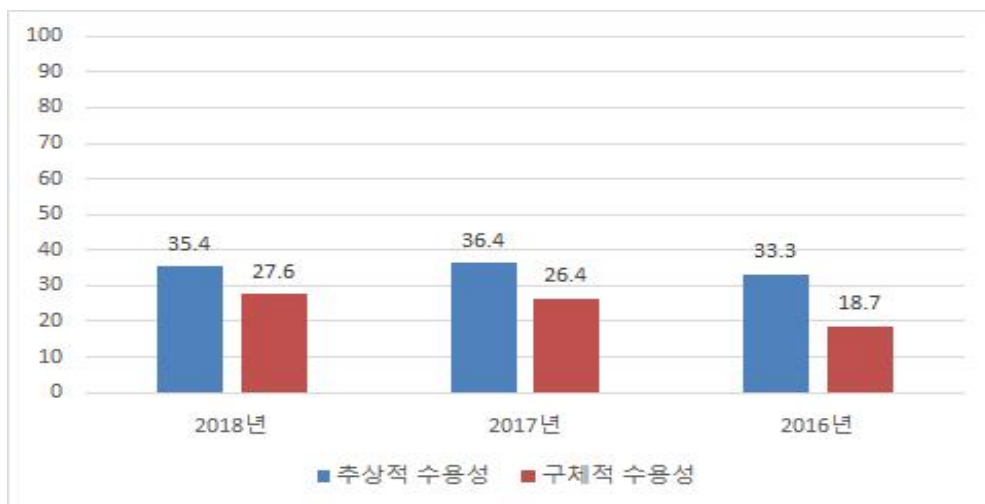
〈원자력발전에 대한 수용수준 비교〉





- 원자력발전에 대한 추상적 수용성(3.97)과 구체적 수용성(3.38) 모두 낮은 수준이며, 상대적으로 구체적 수용성이 더 낮음.
- 추상적 수용성은 우리나라가 원자력발전을 계속 이용하는 것을 수용할 수 있다는 것을 의미하며, 구체적 수용성은 원자력발전소가 내가 사는 지역에 건설되는 것을 수용할 수 있다는 것을 뜻함.
- 원자력발전을 계속 이용하는 것을 수용할 수 있다는 것에 대해 35.4%가 동의한 반면 34.7%는 동의하지 않았으며 29.9%는 중립적인 입장을 표명함.
- 원자력발전소가 내가 사는 지역에 건설되는 것을 수용할 수 있다는 데에 동의한 경우는 27.6%이며, 동의할 수 없다고 답한 경우는 47.9%, 중립적 입장은 24.5%로 나타남.
- 추상적 수용성의 경우 2017년에는 36.4%가 동의, 33.6%가 비동의 입장이었으며, 2016년에는 33.3%가 동의, 26.9%가 비동의인 것으로 확인됨.
- 구체적 수용성의 경우 2017년에는 26.4% 동의, 48.1% 비동의 입장이었으며, 2016년에는 18.7%만이 동의했으며 49.5%가 동의하지 않음.
- 시간이 지날수록 구체적 수용성과 추상적 수용성의 차이가 줄어드는 추세임.

〈추상적 수용성과 구체적 수용성 비교〉



7. 시사점

- 각 에너지원에 대한 정확한 정보 공유를 토대로 커뮤니케이션할 수 있도록 정부와 발전사업자, 규제 기관과 에너지전문가의 구체적 노력이 필요함.

- 태양광과 풍력의 경우는 긍정적인 답변이 주를 이루었으며, 석탄과 원자력의 경우는 부정적인 답변으로 치우친 경향이 있음.
- 각 에너지원에 대한 가치판단은 개개인의 몫이지만 그 판단의 근거가 되는 정보와 지식이 체계적으로 공유되지 못하는 경향이 있음.
- 예를 들어 태양광이 값싼 전기요금에 가장 기여한다고 인식하거나 원자력이 온실가스 감축에 기여하지 않는다고 인식하는 것은 사실과 거리가 있는 것임.
- 따라서 무엇보다 정확한 정보를 이해하기 쉽도록 정리하여 원하는 사람은 누구나가 활용할 수 있도록 구체적인 방안을 마련하는 것이 시급함.

■ 다양한 위험과 기후변화의 문제로 에너지정책은 새로운 전환기를 맞이하고 있으므로 에너지정책의 고유역할을 이해하고 정책을 결정하는 기준과 원칙에 대해 사회적으로 공감할 수 있도록 커뮤니케이션하는 것이 중요함.

- 에너지안보(에너지공급의 안정성), 경제성, 친환경성, 기후변화 대응성, 안전성, 보건성 등 에너지정책을 결정하는 기준에 대해 공유하고, 이를 적용하는 원칙에 대해 논의할 수 있는 공론장을 마련하는 것이 필요함.
- 공론장에서 논의할 것은 에너지정책 그 자체가 아니라 에너지정책을 결정하는 기준과 원칙임을 분명히 하고 출발해야 할 것임.

■ 에너지안전에 대한 관심이 급증하고 있으며, 안전에 대한 사회적 요구가 점차 강해지는 추세임.

- 에너지안전의 문제는 에너지정책을 결정하는데 있어서 가장 중요한 기준이 되고 있음.
- 안전과 위험에 대한 인식의 경계는 모호하며, 이로 인한 사회적 갈등이 촉발되기도 하며 감정싸움이나 이념다툼으로 번지기도 함.
- 위험과 안전의 이슈는 과학기술적이고 이성적인 차원의 논의로 규정하기도 하지만 현실적으로는 정치적이고 사회심리적이며 정서적인 영역에서 다루어지고 있음.
- 에너지안전의 문제를 기술공학적 안전성과 안전신뢰의 문제로 구분하고, 사회적으로 공감할 수 있는 에너지안전에 대한 신뢰 기준을 마련하는 것이 필요함.
- 이는 에너지안전의 이슈를 건강한 논쟁으로 이어가고 이를 동력으로 실질적으로 안전을 강화하는데 기여할 수 있을 것으로 판단됨.
- 무엇보다 에너지정책과 에너지안전을 다루는 주체들 스스로가 신뢰를 확보하기 위한 체계적이고 현실적인 실천이 절실함.

주요 선진국의 발전부문 저탄소화 경향과 함의

이상준 부연구위원(sjlee@keei.re.kr)

1. 세계 온실가스 배출 탈동조화 경향과 발전부문 저탄소화 필요성

1) 세계 온실가스 배출과 경제성장의 탈동조화 경향

- 최근 전 세계 온실가스 배출량은 정체하는 한편 GDP 성장은 지속되는 탈동조화 현상이 나타나고 있는 것으로 분석(IEA, 2016)
 - 2015년 전 세계 CO₂ 배출량은 32.3 GtCO₂을 기록하여 전년 대비 0.1% 감소하였으며, 1990년대 이후 최초로 온실가스 배출량이 감소(IEA, 2017a)
 - 한편 동 기간 세계 경제는 소폭 성장(0.6%)하여 경제가 성장하는 한편 온실가스 배출량은 감소하는 탈동조화 현상이 나타나고 있는 것으로 평가되고 있음.
- 경제성장과 온실가스 배출의 탈동조화 경향은 에너지 시스템의 측면에서 세계가 저탄소형 에너지 시스템으로 이행하고 있는 과정으로 평가할 수 있으며 주로 선진국의 저탄소화 이행에 따른 결과로 볼 수 있음(이상준, 2017).
 - 특히 서유럽 및 북유럽 국가를 중심으로 경제 성장이 지속되는 한편 온실가스 배출량은 감소하는 현상이 두드러짐(Aden, 2016; Handrich et al., 2015).
 - 지속적으로 온실가스 배출량의 증가를 기록하고 있던 미국에서도 온실가스 배출량의 감소가 시작되는 추세를 보여주고 있음.
 - 이에 따라 경제성장과 온실가스 감축은 양립가능하다는 주장이 힘을 얻고 있으며 경제성장과 온실가스 배출량의 탈동조화에 대한 관심이 고조되고 있으며,
 - 특히 세계 온실가스 배출의 대부분을 차지하는 에너지 부문의 역할이 중요할 것으로 평가되고 있음.

※ 2014년 기준 에너지 부문은 전 세계 온실가스 배출량의 68%를 차지(IEA, 2017a)

2) 온실가스 배출과 경제성장의 탈동조화를 위한 발전부문의 저탄소화의 필요성

- 전 세계 온실가스 배출에서 발전부문의 비중이 높은 점을 고려하면 발전부문의 저탄소화는 경제성장과 온실가스 배출의 탈동조화를 위한 필수적 요건이라고 할 것임.

- 전기 및 열생산 부문은 2015년 연료연소에 의한 CO₂ 배출량 기준 전 세계 CO₂ 배출의 42%를 차지하고 있음(IEA, 2017a).
- 2015년 기준 전기 및 열생산 부문의 CO₂ 배출량은 전년대비 0.9% 감소하여 전세계 온실가스 배출량 감소에 가장 큰 역할을 하였음(IEA, 2017a).
- 이는 석탄에서 가스로의 연료전환에 의한 결과로 평가되나 여전히 전 세계적으로 석탄의존도는 높은 상황임.

※ 전기 및 열생산 부문 CO₂ 배출에서 석탄의 비중은 1990년 65%에서 2015년 72%로 지속적으로 상승한 것으로 나타나고 있는 바, 여전히 동 부문에서 석탄의존도가 높은 상황이라고 볼 수 있음.

■ 전 세계 온실가스 배출과 경제성장의 탈동조화 경향과 마찬가지로 발전 부문의 저탄소화도 주로 선진국에서 나타나고 있는 경향임.

- 서유럽 국가를 중심으로 재생에너지 발전의 증가로 인한 화석연료 사용의 감소로 발전 부문의 저탄소화가 빠르게 진행되고 있으나,
- 개도국들은 여전히 화석연료의 의존도가 높은 상황이며 특히 석탄의존도가 높게 유지되는 경향을 보여주고 있음.

■ 우리나라 정부는 최근 안전하고 깨끗한 에너지 전환을 목표로 에너지 전환정책을 추진 중으로 발전 부문의 저탄소화는 에너지 전환에서 중요한 부분임.

- 후쿠시마 원전사고, 경주지진 등으로 인한 국민 불안 확산, 미세먼지로 인한 생활 불편 등에 따라 안전과 환경에 대한 가치 및 인식이 높아지고 있음.
- 우리나라 에너지 전환은 지속 가능한, 선진화된 에너지체계로의 전환을 목표로 하고 있는 바, 발전 부문의 저탄소화도 중요한 이슈가 될 것임.

■ 주요 선진국의 발전 부문 저탄소화 경향은 우리나라 에너지 전환의 추진과정에서 발전 부문의 저탄소화 방향을 설정하는 데 시사점을 제공할 수 있을 것임.

- 주요 선진국들은 최근 발전 부문에서 저탄소화 경향이 나타나고 있으나 저탄소화의 양상과 요인은 상이한 것으로 평가됨.
- 주요 선진국 중 미국, 영국, 독일의 발전 부문 저탄소화 경향을 통해 우리나라 발전 부문 저탄소화의 방향성에 대한 함의를 도출할 수 있을 것임.

※ 미국은 전 세계 온실가스 배출량에서 차지하는 비중이 높다는 점, 독일은 우리나라와 같이 제조업의 비중이 높으며 에너지 전환 정책을 추진하고 있다는 점, 영국은 적극적으로 발전 부문의 저탄소화를 추진하고 있다는 점을 고려하여 선정하였음.

2. 주요 선진국의 발전 부문 저탄소화 경향: 미국, 영국, 독일을 중심으로

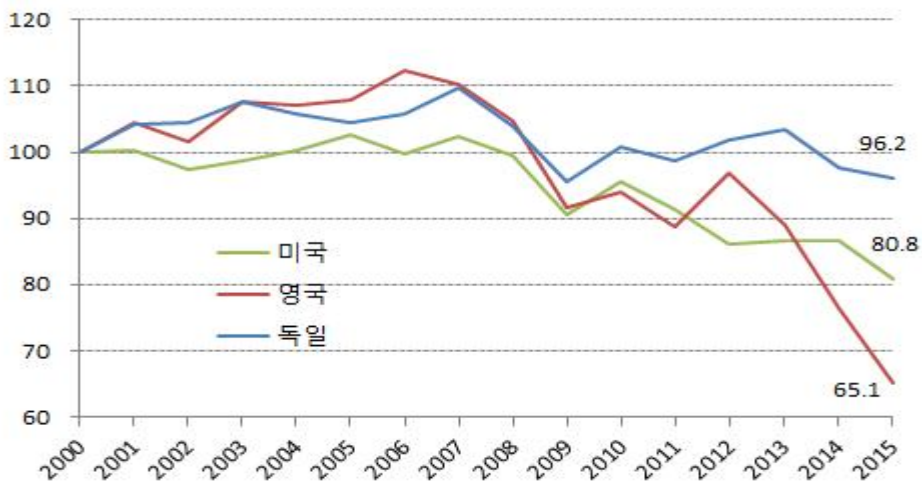
1) 주요 선진국 발전 부문 온실가스 배출 추이

■ 전기 및 열생산 부문 CO₂ 배출량 기준 미국, 영국, 독일 3개국은 배출량이 감소하는 경향을 보이고 있음.

- 전기 및 열생산 부문 CO₂ 배출량은 2000년 대비 미국은 19.2%, 영국은 34.9% 감소하였으나 독일은 3.8% 감소하여 배출량 감소가 작은 것으로 나타남(IEA, 2017a).
- 특히 3개국은 2010년대 배출량의 감소경향이 나타나고 있으며, 독일은 경제위기 때의 배출 수준을 유지하고 있는 수준으로 하향안정화 경향이나 미국과 영국은 지속적으로 배출량 감소를 보이고 있음.

※ 2009년은 금융위기로 인한 CO₂ 배출량의 일시적 감소로 볼 수 있으나 경기회복 이후에도 이전의 배출량 수준으로 증가를 억제하였음.

〈미국, 영국, 독일의 전기 및 열생산 부문 CO₂ 배출변화(2000=100)〉



주) IEA 연료연소에 의한 CO₂ 배출량 통계에서 전기과 열 생산 부문의 배출량이 분리되지 않아 전기와 열생산 부문의 배출량을 제시하였음.

출처 IEA 연료연소에 의한 CO₂ 배출량 통계를 바탕으로 저자 작성(stat.oecd.org).

■ 발전 부문 온실가스 배출의 저탄소화 경향은 검토대상 3개국에서 뚜렷하게 나타나고 있으며 2010년 이후에는 더욱 빠르게 진행되는 추세

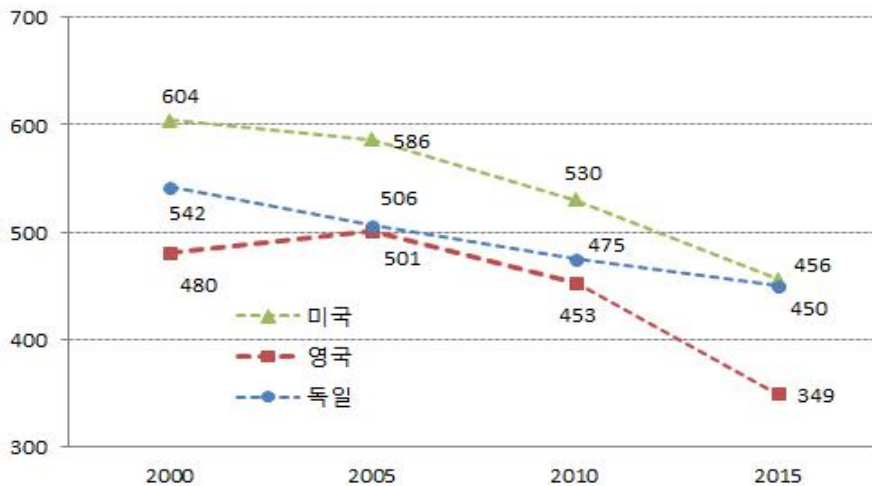
- 발전 부문 온실가스 배출의 저탄소화 경향은 발전부문 CO₂ 배출집약도(단위 발전량 당 CO₂ 배출량)로 파악할 수 있음.

- 독일은 2000년 이후 안정적으로 배출집약도가 하락하고 있는 추세를 보이고 있는 반면 미국과 영국은 2005년 이후 집약도 개선 속도가 빨라지고 있는 추세를 보이고 있음.

※ 2000년 대비 발전부문 배출원단위는 미국은 24.5%, 영국은 27.3%, 독일은 17% 하락한 것으로 계산됨.

- 특히 영국은 2010년 이후 집약도 개선이 매우 가파르게 이루어지고 있는 것으로 나타나고 있는 데 배출집약도는 최근 5년간 17% 감소하여 이전 10년 대비 더욱 빠른 속도로 집약도가 개선되고 있는 추세를 보여줌.

〈미국, 영국, 독일의 발전 부문 배출집약도 추세(gCO₂/kWh)〉



출처: IEA(2017a)의 자료를 바탕으로 저자 작성

2) 주요 선진국 발전 부문 온실가스 배출 증감의 요인

- 주요 선진국에서 발전 부문 온실가스 배출량은 대체로 감소하는 경향을 보이거나 이의 양상은 다르게 나타나고 있는 바, 이 요인에 대해서 살펴볼 필요가 있음.

- 발전 부문 온실가스 배출 증감의 요인은 다음과 같은 항등식으로 나타낼 수 있음.
- CO₂ 배출량 = ① 발전량 x ② 화석연료 발전 믹스의 배출집약도 x ③ 화석연료 발전 비중 x ④ 발전소 열효율
- ① 발전량은 전력수요에 따라 좌우되기 때문에 전력수요에 의한 요인을 보여주는 지표로 발전량이 많으면 온실가스 배출량은 자연히 상승하게 됨.



② 화석연료 발전 믹스 내의 배출집약도는 화석연료 내에서의 믹스변화를 보여주는 지표로 볼 수 있으며 상대적으로 배출량이 적은 연료의 비중이 증가하면 집약도는 낮아지게 됨.

※ 예를 들어 석탄에서 가스로 연료전환의 경우 동 지표는 개선되게 됨.

③ 화석연료 발전 비중은 전체 전원 믹스 중 화석연료 발전의 비중을 나타내는 지표로 동 지표가 낮아질수록 온실가스 배출량은 하락하게 됨.

④ 발전소 열효율은 화력 발전소의 대표적 효율 지표로 열효율이 높아질 경우 연료 사용량이 감소하게 되므로 온실가스 배출량은 감소하는 효과가 발생함.

■ 2000년 이후 미국의 발전 부문 CO₂ 배출량의 감소는 발전 효율의 증가, 화석연료 발전 비중의 감소, 화석연료 발전 믹스의 배출집약도의 하락이 종합적으로 기능한 것으로 평가되고 있음.

- 2000년 이후 전력 수요의 증가로 인한 배출량 증가 요인을 발전 효율의 증가, 화석연료 발전 비중의 감소, 화석연료 발전 믹스의 배출집약도 하락이 상쇄하고 배출량 감소를 견인
- 요인별로는 발전 효율의 증가 > 화석연료 발전 믹스의 배출집약도 하락 > 화석연료 발전 비중의 감소 순으로 배출량 감소에 기여한 것으로 평가됨.

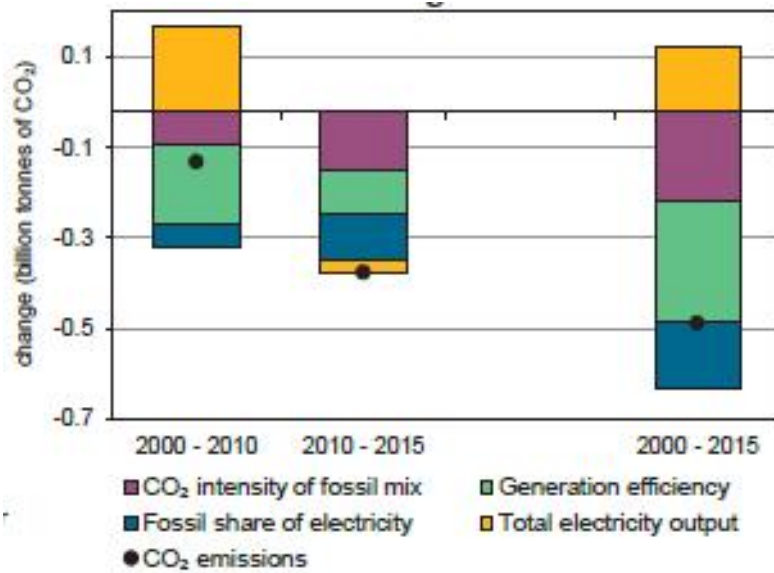
■ 2010년 이후에는 전력 수요가 다소 감소한 가운데 화석연료 발전 믹스의 배출집약도 하락으로 인한 배출량 감소가 두드러진 것으로 나타나고 있음.

- 미국의 발전량은 2010년 이후 안정세를 유지하고 있으며 이는 전력수요의 증가가 둔화된 것이 원인인 것으로 사료됨.
- 화석연료 발전 믹스 상의 배출집약도 하락은 석탄발전의 감소, 가스발전의 증가에 따른 영향이 가장 큰 것으로 나타나는 데, 셰일혁명에 따라 가스발전의 단가가 급격히 하락하면서 석탄발전을 빠르게 대체한 것으로 보임.

※ 가스 발전량: 1017.87TWh('10) → 1,372.57('15), 석탄 발전량: 1994.19TWh('00) → 1471.00('14)

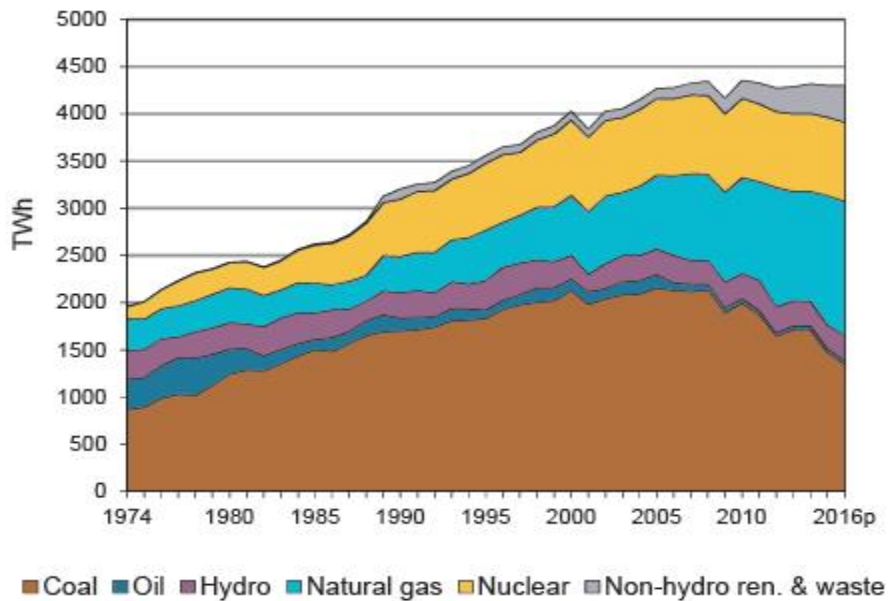
- 한편, 화석연료 발전 비중으로 하락도 2010년 이후 배출량 하락의 핵심 요인인 것으로 파악되며 재생에너지 보급의 빠른 증가가 기여하였음.

※ 태양에너지 발전량: 13.94TWh('10) → 35.64('15), 풍력 발전량: 95.15TWh('00) → 192.99('14)

〈미국 발전 부문 CO₂ 배출 증감 요인〉

출처: IEA(2017a)

〈미국 원별 발전량 추이〉



출처: IEA(2017b)



■ 2000년 이후 영국의 발전 부문 CO₂ 배출량의 감소는 화석연료 발전 비중의 감소와 발전량의 감소가 주요인으로 평가되고 있음.

- 동 기간 영국의 발전 부문 CO₂ 배출량 감소는 화석연료 발전 비중의 감소가 주요 요인으로 나타나고 있는 데 2000년 대비 2015년 화석연료 발전 비중은 21%p 하락

※ 화석연료 발전 비중: 75%('00) → 54%('15)

- 영국의 발전량은 2005년 이후 지속적으로 감소 추세를 보이고 있으며 2010년 이후에는 더욱 빠른 속도로 감소하고 있음.

※ 영국 전력 최종 소비: 329.42 TWh('00) → 348.68('05) → 328.96('10) → 302.85('15)

- 한편, 화석연료 발전 믹스의 배출집약도 하락, 발전소 열효율 개선 등으로 인한 배출량 감소는 미미한 것으로 평가되고 있음.

■ 특히 최근인 2010년 이후에는 화석연료 발전 비중의 감소가 매우 두드러지게 나타나고 있으며 발전량도 빠르게 감소하여 배출량 하락에 영향을 준 것으로 나타남.

- 전력수요 하락으로 2015년 영국의 총발전량은 2010년 대비 11.1% 감소하여 15년 전인 2000년 보다 낮은 수준을 기록

※ 총발전량: 381.63TWh('10) → 339.10('15)

- 화석연료 발전 비중은 동 기간 23%p 하락하여 CO₂ 배출량의 하락에 가장 큰 영향을 미친 것으로 나타나는 데 2000~2010년의 기간 동안 화석 연료 발전의 비중이 75~77% 수준으로 안정적인 추세를 유지한 것과 비교해 볼 때 비약적인 변화임.

- 동 기간 화석연료 발전 비중의 하락에 가장 큰 영향을 미친 것은 재생에너지 발전량의 빠른 증가인 것으로 나타나고 있으며 특히 풍력 발전량의 증가가 두드러짐.

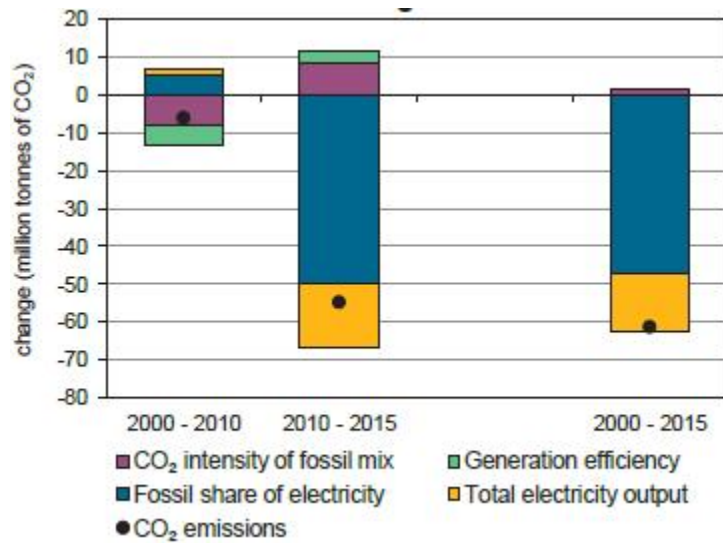
※ 풍력 발전량: 10.26TWh('10) → 40.31('15), 태양 에너지 발전량: 0.04TWh('10) → 7.56('15)

- 동 기간 원자력 발전량도 증가하여 온실가스 배출량 감소에 상당한 기여를 하였음.

※ 원자력 발전량: 62.14TWh('10) → 70.35('15)

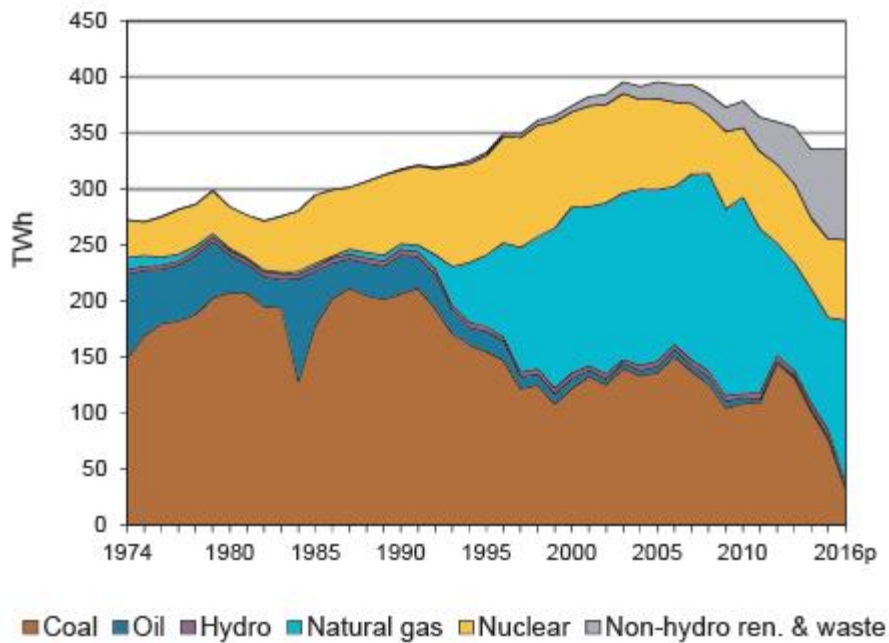
- 한편, 동 기간 석탄, 가스 발전량은 대폭 감소한 것으로 나타나 재생에너지, 원자력 발전이 화석 연료 발전의 감소분을 상당부분 대체하였음.

※ 석탄 발전량: 108.80TWh('10) → 76.21('15), 가스 발전량: 175.33TWh('10) → 100.03('15)

〈영국 발전 부문 CO₂ 배출 증감 요인〉

출처: IEA(2017a)

〈영국 원별 발전량 추이〉



출처: IEA(2017b)



■ 2000년 이후 독일의 발전 부문 CO₂ 배출량의 감소는 화석연료 발전 비중의 감소와 발전소 열효율의 개선이 주요인으로 평가되고 있음.

- 동 기간 독일의 발전 부문 CO₂ 배출량 감소는 화력연료 발전 비중의 감소가 가장 큰 기여를 하였으며, 발전소 열효율의 개선도 기여하였음.
- 2000년 이후 독일은 발전량이 증가한 추세를 보여 배출량 증가요인이 있었기 때문에 상대적으로 배출량 감소율은 미국이나 영국에 비해서 미진한 것으로 나타나고 있음.
- 다만 전력 소비 증가는 2010년대에는 낮은 수준이거나 소폭 감소 추세로 전환된 것으로 나타나고 있음.

※ 전력 최종 소비: 483.45TWh('00) → 522.26('05) → 532.42('10) → 514.73('15)

■ 2010년 이후 최근 5년간도 이전 10년과 마찬가지로 주로 화석연료 발전 비중의 감소와 발전소 열효율의 개선을 통해 온실가스 감축을 달성한 것으로 평가

- 최근 5년간은 전력소비 증가세가 둔화되어 2000~10년의 기간에 비해 전력 수요 증가로 인한 온실가스 배출 증가 요인은 낮아짐.
- 그러나 2000~10년 기간 동안 화석연료 발전믹스 내에서 배출집약도가 개선되었던 것과 상반되게 최근 5년간은 배출집약도가 악화되어 온실가스 배출 증가요인이 된 것이 특징적임.
- 이러한 결과는 2000~10년 중에는 석탄발전의 감소하고 가스발전이 증가하였다면 최근 5년 중 가스발전이 감소한 반면 석탄발전이 소폭 증가하여 화석연료 믹스 내에서 배출원단위 악화를 가져왔기 때문임.

※ 석탄발전: 304.16TWh('00) → 273.46('10) → 283.71('15), 가스발전: 52.50TWh('00) → 90.35('10) → 63.02('15)

- 2010년 이후 화석연료 발전 비중의 감소가 온실가스 배출량 감소에 기여하였으나 미국이나 영국에 비해 상대적으로 화석연료 발전 비중의 감소는 느리게 진행

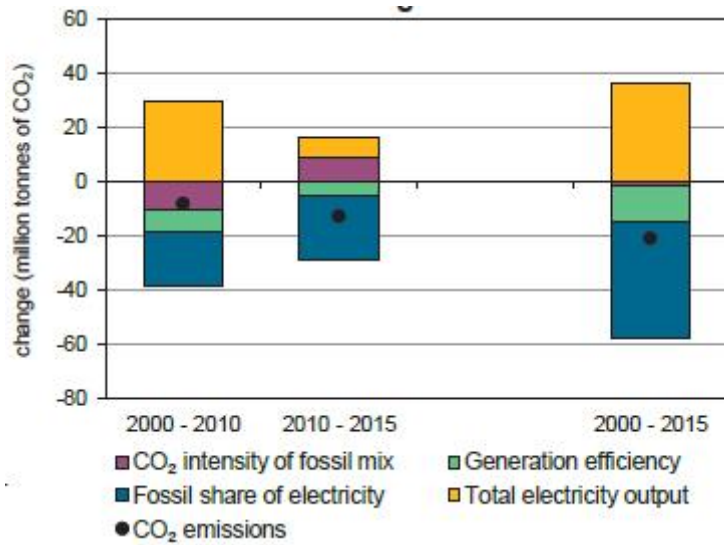
※ 화석연료 발전 비중: 61%('10) → 56('15)

- 이는 동 기간 동안 태양 에너지, 풍력 등 재생에너지 발전량은 대폭 증가하였으나 원자력 발전량이 축소되어 재생에너지 보급에 따른 온실가스 배출량 감소가 일부 상쇄되었기 때문임.

※ 풍력 발전량: 37.79TWh('10) → 79.21('15), 태양 에너지 발전량: 11.73TWh('10) → 38.73('15)

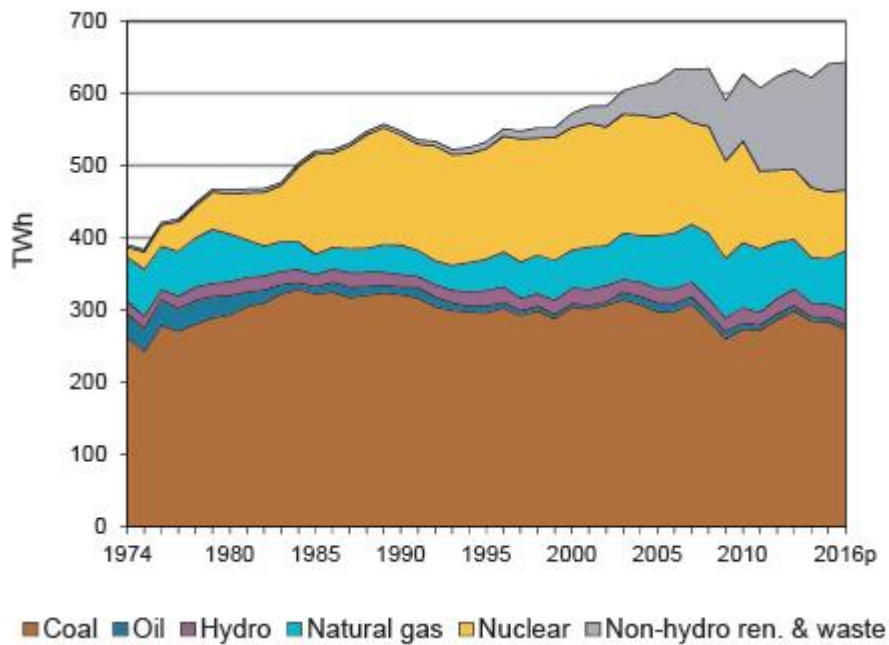
※ 원자력 발전량: 140.56TWh('10) → 91.79('15)

- 발전소 열효율 개선을 통한 온실가스 배출량 감소에 영향을 주었으나 기여도는 높지 않은 것으로 나타남.

〈독일 발전 부문 CO₂ 배출 증감 요인〉

출처: IEA(2017a)

〈독일 원별 발전량 추이〉



출처: IEA(2017b)



3. 주요 선진국의 발전 부문 저탄소화 경향의 함의

1) 우리나라 발전 부문 CO₂ 배출량 증감 요인: 선진국과의 비교

■ 2000년 이후 우리나라는 발전량의 증가가 CO₂ 배출량의 증가에 절대적 영향을 미친 것으로 나타나고 있으며 화석연료 발전 비중도 증가하여 온실가스 배출 증가에 기여한 것으로 나타남.

- 대체로 전력소비가 둔화되거나 감소세에 있는 선진국과 달리 우리나라는 2000년 이후 전력수요의 증가로 인하여 발전량이 크게 증가하였기 때문에 CO₂ 배출량 증가에 크게 기여하였음.

※ 우리나라 전력 최종 소비량은 2000년 대비 1.9배 증가: 263.12TWh('00) → 495.31('15)

- 다만 2010년 이후에는 증가세가 다소 둔화된 것으로 나타나고 있다는 점이 특징적임.
- 화석연료 발전 비중도 2000년 대비 7%p 증가하여 온실가스 배출 감소에 부정적으로 작용하였으며 특히 석탄 발전량이 대폭 증가하여 온실가스 배출 증가에 기여

※ 화석연료 발전 비중: 61%('00) → 68%('15), 석탄 발전량: 111.40TWh('00) → 236.59('15)

■ 다만 동 기간 발전소 열효율 개선, 화석연료 발전믹스 상의 배출집약도 개선이 온실가스 배출증가를 억제한 것으로 나타나고 있음.

- 2000년 이후 기간에는 화석연료 발전 비중의 증가로 인한 배출량 증가를 원자력 발전량의 증가에 따른 배출집약도 개선으로 억제한 것으로 나타나고 있음.

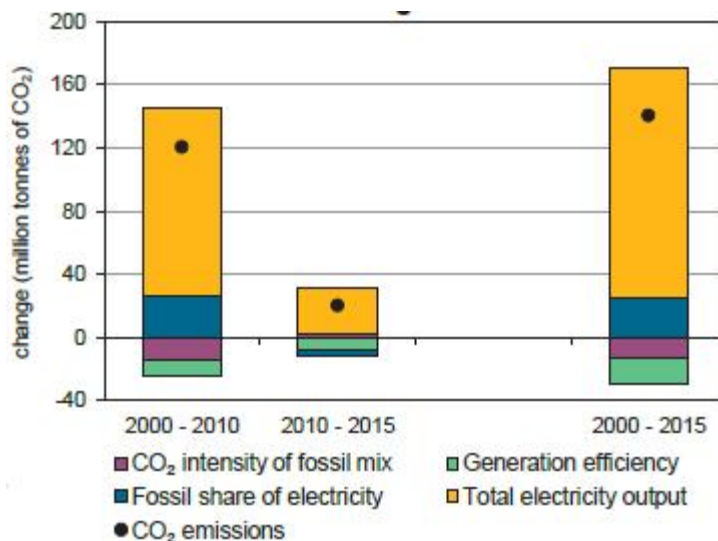
※ 원자력 발전량: 108.96TWh('00) → 164.76('15)

- 동 시에 발전소 열효율 개선이 온실가스 배출량 증가 억제에 기여한 것으로 평가됨.

■ 최근 5년 간의 경우 전력 소비의 증가가 다소 둔화되고 화석연료 믹스 상 배출집약도는 변화가 크지 않아 배출증가 요인은 약화되었으나 화석연료 발전 비중의 감소나 발전소 열효율 개선으로 인한 배출 억제요인도 크지 않은 것으로 나타남.

- 2010년 이후는 전력수요 증가가 둔화되며 발전량 증가가 이전 10년에 비해 완화된 것으로 나타나고 있음.
- 그러나 재생에너지 보급이 빠르게 진행되지 못하여 화석연료가 차지하는 비중의 감소도 크지 않았던 것으로 나타나고 있음.

※ 태양 에너지 발전량: 0.77TWh('10) → 3.88('15), 풍력 발전량: 0.82TWh('10) → 1.20('15)

〈우리나라 발전 부문 CO₂ 배출 증감 요인〉

출처: IEA(2017a)

2) 주요 선진국 발전 부문 저탄소화의 함의

- 미국, 영국, 독일의 사례를 종합하면 발전 부문 저탄소화는 수요증가 둔화를 통한 발전량의 증가를 관리하는 것이 필수적 요건임.
 - 미국, 영국의 사례로 볼 때 근본적으로 전력 소비 감소가 발전부문 온실가스 배출량 감소에 기여하는 중요한 요인임.
 - 한편, 독일의 사례는 증가세를 완화하고 완만하게 수요를 감소시킨 수준으로 제조업 비중이 높은 국가에서 수요증가 관리가 쉽지 않다는 점을 보여주고 있음.
 - 우리나라도 제조업의 비중이 높고 동 부문 수요가 총 전력 소비에서 차지하는 비중이 높다는 점에서 수요증가를 억제하는 노력이 필요한 것으로 보이는 바, 수요관리 정책의 내실화 또는 강화가 필요
- 수요 감소를 제외하면 발전 부문 저탄소화를 위한 발전 부문 내의 전략은 국가마다 다양하게 나타나고 있음.
 - 미국은 재생에너지 보급 확대, 발전 효율 개선, 셰일혁명으로 인한 가스발전의 증가가 고르게 저탄소화를 촉진하였음
 - 영국은 재생에너지 보급의 빠른 확대와 원자력 발전의 증가가 온실가스 배출량 감소에 가장 큰 기여를 하였음.



- 독일은 재생에너지 보급의 증가와 발전소 열효율의 개선이 온실가스 감축에 가장 기여한 것으로 평가되고 있음.
- 선진국의 사례를 종합하면 우리나라 발전 부문의 저탄소화를 위해서는 발전원별로 저탄소화에 기여할 수 있는 요소에서 다면적 노력이 필요한 것으로 사료됨.
- 선진국은 전반적으로 각국의 실정에 맞는 방식으로 화석연료 발전비중의 축소, 발전 효율 개선, 화석연료 믹스 내에서 배출집약도 개선 등 모든 요소에서 다면적으로 저탄소화를 추진했다고 볼 수 있음.
- 8차 전력수급계획에 따르면 우리나라는 향후 발전원별로 일정 비중을 차지하는 체계가 유지될 것으로 보이는 바, 각 발전원별로 저탄소화를 추진할 수 있는 요소를 발굴하고 다면적으로 저탄소화를 추진하는 전략이 필요할 것임.

참고문헌

- 이상준(2017) 주요국의 온실가스 배출과 경제성장의 탈동조화 경향과 시사점, KERI Insight 17-6, 한국경제연구원.
- Aden, N. (2016), "The Roads to Decoupling: 21 Countries Are Reducing Carbon Emissions While Growing GDP," <http://www.wri.org/blog/2016/04/roads-decoupling-21-countries-are-reducing-carbon-emissions-while-growing-gdp>
- Handrich, L., C. Kemfert, A. Mattes, F. Pavel, T. Traber (2015), "Turning Point: Decoupling Greenhouse Gas Emissions from Economic Growth," Heinrich-Böll-Stiftung
- IEA (2016), "Decoupling of Global Emissions and Economic Growth Confirmed," <https://www.iea.org/newsroom/news/2016/march/decoupling-of-global-emissions-and-economic-growth-confirmed.html>
- IEA (2017a), CO2 Emissions from Fuel Combustion 2017, Paris: International Energy Agency.
- IEA (2017b), Electricity Information 2017, Paris: International Energy Agency.

북미

■ 원전 폐쇄는 전력 가격에 영향을 미치지 않을 것...Pennsylvania 주립대학 연구 결과 발표

- Pennsylvania 주립대학의 Seth Blumsack 교수가 州내 원전 폐쇄는 전력 도매가격에 큰 영향을 미치지 않을 것이라는 연구 결과를 발표함.
 - 同연구에 따르면 폐쇄된 원전의 발전설비용량이 타 발전원으로 대체되지 않을 경우 향후 3년 간 전력 도매가가 매년 최대 10% 상승하는 반면,
 - 원전 발전설비용량이 천연가스로 대체되는 경우, 전력 도매가는 최대 24% 감소할 것으로 전망함.
- 지난 10년간 미국의 전력 수요는 큰 증가세를 보이지 않았으며, 당분간 천연가스 가격의 변동 폭이 크지 않을 전망이기*에 전력가격은 수년간 현 추세를 유지할 것으로 예상되는 만큼, 同연구는 원전 폐쇄가 송전망 복원력에 악영향을 미치지 않을 것으로 결론내림.

※ 천연가스의 현재 가격은 10년 전 가격의 1/4 수준이며, 세계은행은 향후 수년간 천연가스 가격이 소폭 상승에 그칠 것으로 전망함.

- 다만, Blumsack교수는 해당 연구는 전력가격 측면만을 고려하였으며 환경요인 등 기타 요인은 고려하지 않았음을 명시함.
 - 본 연구는 The Electricity Journal 차월호에 등재될 예정임.

phys.org 2018.6.19

■ 미국인 절반 이상은 정부가 화력·원자력에 보조금을 지급해야한다는 설문조사 결과가 발표됨.

- 전미 광산업협회(NMA)가 Morning Consult社에 의뢰하여 실시한 설문조사 결과, 설문조사 대상의 55%는 안정적으로 전력을 공급할 수 있으며 긴급 상황을 대비하여 연료를 저장할 수 있는 화력과 원자력 발전소의 특성을 고려할 때, 정부가 보조금을 지원해야 한다고 응답하였음.



- 설문 대상의 20%는 보조금 지원에 반대한다고 응답하였으며, 의견 없음 및 잘 모르겠음으로 응답한 이들은 24%를 차지함.

- 본 설문조사는 2018년 6월 7일부터 11일까지 미국 내 성인 2201명을 대상으로 실시되었으며, 표본 오차는 $\pm 2\%$ 임.

NMA.org, 2018.6.13

■ 미 원자력협회, 원전 폐쇄가 지속될 경우 대규모 공급지장의 위험이 있다는 연구 결과 발표

- 미 원자력협회(NEI)는 컨설팅 업체 ICF에 의뢰하여 실시한 “연료 공급 안정성이 PJM 권역 전력망 복원력에 미치는 영향”이라는 연구 보고서를 지난 6월 8일 공개함.
- 연구의 배경은, 지난 10년간 미국의 천연가스가 주요 발전원으로 부상하여 계통운영자와 송전사업자들의 천연가스 의존도가 높아짐.
 - 단일 연료에 대한 의존도가 높아진 만큼 공급에 차질을 일으키는 기상이변 등에 전력 공급은 취약해질 수 있음.
 - 특히, 가스 발전소가 밀집되어 있으며 동일한 파이프라인을 통해 연료를 공급받는 지역은 기상이변 또는 설비고장으로 인해 연료 공급에 차질이 발생하는 경우 전력 공급 두절 리스크가 더욱 커질 수 있음.
- 연방·주 정부의 보조금 정책에 힘입어 폐쇄를 발표했던 원전이 2022년 이후에도 가동되는 “정책 시나리오”와 현 상황이 유지되어 2023년까지 원전이 폐쇄되는 “폐쇄 시나리오”를 상정하여 연구를 진행하였음.
 - 同연구는 지난 10년간 PJM 권역에서 겨울 전력 수요(1·2월)가 가장 높았던 2014·15년을 기준년도로 설정함.
- 기상이변 또는 설비 고장에 따른 연료 공급이 60일간 두절된 가상 시나리오에서,
 - “정책 시나리오”에서는 원전이 백업 발전원으로 기능하여 부하손실을 경감할 수 있는 것으로 나타난 반면,
 - “폐쇄 시나리오”하에서는 최대 34일간 전력 공급에 차질이 발생할 수 있는 것으로 나타남.

- 따라서, 발전소 현장에서 장기간 전력 발전이 가능한 원전을 보전하는 것이 전력 공급 차질의 위험을 막을 수 있다고 보고서는 결론내림.
- 한편, 트럼프 대통령은 에너지부에 폐쇄를 앞두고 있는 “전력을 안정적으로 공급 가능한”(원자력을 포함)한 발전원의 손실을 막기 위한 조치를 명한 바 있음. (6월 15일자 원전 인사이트 단신 참조)

〈원전 폐쇄·유지 시나리오 별 연구 결과〉

Table 1-1: Case Specifications and Findings for Loss-of-Load Analysis

Scenario Specification	Case Name	Policy 2014 (Preserve Nuclear)	Policy 2015 (Preserve Nuclear)	Extended 2014 (Additional Nuclear Retirements)	Extended 2015 (Additional Nuclear Retirements)
	Length of Outage	60 Days			
Findings for Outage Period	Maximum Hourly Loss of Load (MW / %*)	No Loss of Load	No Loss of Load	8,754 MW 17%	10,889 MW 22%
	Days with Loss of Load			34	20
	Hours with Loss of Load			280	209
	GWh of Loss of Load			707	675

* Percentage of PJM Mid-Atlantic estimated winter peak

출처: NEI.org, The Impact of Fuel Supply Security on Grid Resilience in PJM

WNN, 2018.6.15., NEI, 2018.6.8

유 럽

■ EDF Energy社, 영국 에너지 믹스에서 원자력 필요성 강조

- EDF Energy社는 영국이 태양광과 풍력에 상관없이 기저부하를 공급하기 위해 원자력이 필요하다고 주장하며, Sizewell C 신규 원전이 에너지 믹스에서 필수적인 역할을 차지해야한다고 밝힘.

※ 프랑스 EDF社의 자회사인 EDF Energy社는 영국에 가스, 전력 판매 사업을 담당하는 전력회사임.

- Sizewell C 원전은 프랑스 EDF社와 중국 CGN社가 공동 추진하는 Hinkley Point C(이하 HPC) 원전 프로젝트 패키지의 일환으로, Suffolk州 Sizewell 부지에 EPR 원자로 2기 건설을 목표로 함.
- EDF Energy社 최고경영자인 Simone Rossi는 Sizewell C 원전이 196억 파운드에 달하는 HPC 원전보다 비용이 훨씬 저렴할 것이라고 언급함.
 - Sizewell C 원전은 기존 전력망에 연결되어 있고 전력 수요 센터와 근접해 저렴한 전력 공급이 가능하고, HPC 원전 건설 기술의 복제(replication), 동일 원자로 사용, 훈련된 인력 덕분에 건설비용이 HPC 원전과 비교해 20% 절감될 수 있다고 분석됨.
- Rossi 대표는 전력시스템을 탈탄소화하기 위해 탄소 배출량(g/kWh)을 기존 220g에서 60g으로 저감해야 하지만, 풍력은 발전량 부족 또는 과잉일 때 추가 비용이 발생해 탈탄소화 비용이 커지고, 태양광의 경우 전력수요가 많은 겨울 저녁에는 탈탄소화에 기여하는 바가 없다고 설명함.
- 또한 Rossi 대표는 가스의 경우 저탄소 전원이 아니며 탄소 포집과 저장 기술(CCS)은 아직 상용화되지 않았기 때문에 탈탄소화의 유일한 대안이 될 수 없다고 강조함.
 - 미국 Summit Power社는 스코틀랜드 Grangemouth에 1.3MW급 가스 발전소를 건설할 예정으로, 최근 타당성 조사를 실시해 탄소 포집 및 저장기술을 갖춘 신규 가스 발전소(20년 계약, 전력 행사가격 80~90파운드/MWh)가 HPC 원전(35년 계약, 전력 행사가격 92.50파운드/MWh)보다 저렴하게 전력을 생산할 수 있다고 주장하였음.
- Rossi 대표는 원자력이 다른 저탄소 발전원과 경쟁이 가능하고 이점이 많아 민간투자 유치가 용이할 것이라고 결론을 내림.

〈EDF Energy社의 영국 신규 원전 건설 현황〉

건설사	건설 부지	건설 지역	노형	용량(MW)	가동 시기(예정)
EDF Energy	Hinkley Point C-1	Somerset	EPR	1,670	2026년
	Hinkley Point C-2	Somerset	EPR	1,670	2027년
	Sizewell C-1	Suffolk	EPR	1,670	미정
	Sizewell C-2	Suffolk	EPR	1,670	미정

출처: World Nuclear Association

East Anglian Daily Times 2018.6.21

■ FORATOM, EU에 기후 목표 달성을 위해 원자로 장기운전 시행 촉구

- 2018년 6월 19일 유럽 원자력 산업계를 대변하는 Foratom은 브뤼셀에서 열린 워크숍에서 기후 목표 달성에 기여하는 원자력의 역할을 감안할 때 유럽연합 집행위원회(EC)와 EU의 다수 기관이 원자로 장기운전(long-term operation)을 시행해야한다고 촉구함.

※ Foratom은 브뤼셀에 소재한 유럽원자력산업회의로, 15개 국가의 원자력 협회로 구성됨. Foratom은 대략 3,000개의 유럽 회사를 대표하고 약 800,000 개의 일자리를 지원함.

- 현재 EU의 14개 회원국은 126기 원자로를 가동해 EU 전체 전력 생산량 4분의 1 이상을 제공하고 있음. 2017년에 발표된 원자력 실태 프로그램(Nuclear Illustrative Program)을 통해 EC는 2050년까지 유럽의 에너지 믹스에서 원자력이 중요한 역할을 지속적으로 담당할 것이라고 예상하였음.
- Foratom은 원자로 장기운전이 1) 낮은 자본투자 비용, 2) 상대적으로 짧은 업그레이드 작업 기간, 3) 저렴한 비용으로 안정적인 저탄소 전력 공급 등 다양한 인센티브를 제공하기 때문에, EU가 기후 목표량을 달성하고자 한다면 원자로 장기운전이 에너지 믹스에서 필수불가결하다는 점을 인식해야 한다고 주장함.
- Foratom에 따르면 대략 400억~500억 유로가 원자로 장기운전을 위해 투자되어야 하지만, 원전 운영사가 원자로 장기운전 허가를 갱신하지 않는다고 가정하면 향후 10년에 걸쳐 최대 50기 원자로가 조기 폐쇄될 위험이 발생함.
- 또한 Foratom은 50기 원자로를 조기 폐쇄하게 되면 CO₂ 배출량이 현 수준으로 유지되는 점 등 유럽의 탈탄소화가 현저히 늦어질 것이라고 지적함.
- Foratom는 독일의 사례를 들어 독일이 2020년까지 탄소배출 감축 목표 달성이 어려울 것으로 예상함. 독일이 2011년에 원전 대신 20GW급 석탄화력발전소의 단계적 폐쇄를 결정했다면 이미 배출 목표량을 달성했을 것이며 유럽의 기후 변화 선도국으로 인정받았을 것이라고 분석함.

World Nuclear News 2018.6.20

■ 스웨덴 SKB社, 사용후핵연료 최종처분장 건설 승인을 위해 추가 서류 작업 진행

- 스웨덴 방사성폐기물관리회사인 SKB社는 사용후핵연료 최종처분장 건설 승인을 받기 위해 스톡홀름 토지 및 환경법원이 요청한 추가 서류를 2019년 1월까지 제출할 계획이라고 밝힘.

※ 스웨덴은 현재 Oskarshamn 원전 인근에 위치한 임시저장시설에 사용후핵연료를 저장하고 있음.

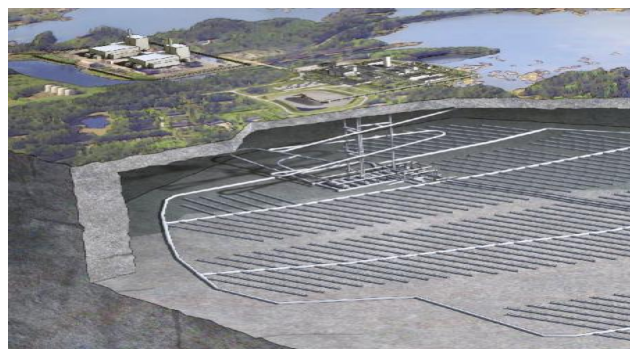
- 2011년 3월 SKB社는 사용후핵연료 최종처분장 및 밀봉시설 건설 허가 신청서를 제출하였고, 스웨덴 방사선안전청(SSM)과 스톡홀름 토지 및 환경 법원은 각각 스웨덴 원자력 활동법(Nuclear Activities Act)과 환경법(Environmental Code)을 토대로 해당 신청서를 검토하였음.

※ SKB社는 약 500미터 깊이에서 스웨덴 원전에서 발생한 총 12,000톤의 사용후핵연료를 보관한 6,000개의 캡슐을 처분할 계획임.

- 2018년 1월 SSM은 SKB社의 사용후핵연료 최종처분장이 원자력안전 및 방사선방호 요건에 부합한다고 판단해 정부가 이를 승인하도록 권고하였음. 그러나 법원은 방사성폐기물을 장기 저장하는 구리 캡슐 성능에 불확실성이 있다고 판단해, SKB社가 최종처분장의 안전성을 입증하는 추가 문서를 제출할 것을 요청하였음.
- SKB社는 토지 및 환경 법원이 제기한 안전 문제를 해결하기 위해 필요한 연구를 시행 중이라고 밝히며 추가 보고서 제출 이후 스웨덴 정부가 2020년 중반에 이를 최종 결정할 것으로 예상함.
- SKB社는 사용후핵연료 최종처분장과 밀봉시설 완공까지 10년이 걸릴 것이라고 밝힘.
- 스웨덴 정부는 Oskarshamn 및 Öthammars 지자체와 먼저 협의를 거친 후 두 시설물에 대한 건설허가 신청을 최종 결정할 예정임.

- Vattenfall社는 방사성폐기물 영구저장시설 건설이 지연되는데 우려를 표명하며, 비용 측면에서 이 사안을 신속히 처리하는 것이 중요하다고 강조함.

〈스웨덴 사용후핵연료 최종처분장 이미지〉



출처: SKB社

- Vattenfall社は 스웨덴이 보유한 8기 원자로 중 7기를 가동하고 있음. 여덟 번째 원자로는 독일 Uniper社 자회사인 OKG社가 가동함.

※ 스웨덴에서는 현재 6기 원자로와 2기 연구로가 해체되고 있음.

Reuters 2018.6.13

■ 핀란드 TVO社, Olkiluoto 원전 3호기 시운전 추가 지연 발표

- 2018년 6월 13일 핀란드 전력기업 TVO社は Olkiluoto 원전 3호기 (EPR)의 시운전 시험이 추가 지연 되어 同 원전의 상업운전이 2019년 5월에서 9월로 늦춰졌다고 발표함.
 - 2003년 후반 Areva-Siemens 컨소시엄은 TVO社와 터키계약을 체결해 2005년 Olkiluoto 원전 3호기 건설을 시작함. 1,600MW 규모의 同 원자로는 당초 2009년에 완공될 예정이었으나 건설이 여러 차례 지연되어왔음.
 - TVO社와 Areva社は 同 원자로 건설 지연과 비용 초과 문제로 제네바 국제중재재판소에 각각 26억 유로와 35억 유로를 손해배상금으로 청구하였고, 2018년 3월 Areva社가 TVO社에 4.5억 유로의 배상금을 지급하기로 합의해 법적 공방을 종결하였음.
 - TVO社は 2018년 가을에 연료 장전, 12월에 전력망 연결, 2019년 5월에 전력 생산을 계획하였음. 그러나 올해 4월 고온 기능 시험이 당초 일정보다 50일 정도 늦어지자 연료 장전을 2019년 1월, 전력망 연결을 2019년 5월, 전력 생산 일정을 2019년 9월로 변경한다고 발표하였음.
 - 고온 기능 시험은 同 원자로 시운전 과정의 일부로 2017년 12월에서 2018년 5월까지 진행되었음.
 - TVO社は Olkiluoto 원전 3호기의 시운전 시험이 계획보다 오래 걸릴 것이라고 판단함. 이에 따라 TVO社は 포괄적인 수정 프로그램을 몇 달간 실시하여 同 원자로의 전기, 계측 및 제어 시스템을 업그레이드하고, 수정 작업이 끝난 후 시운전을 계속 진행할 계획임.
- 핀란드 방사선 및 원자력안전청(STUK)의 안전성 평가 실시 이후, 해당 결과를 토대로 핀란드 정부가 운영 인허가 여부를 최종적으로 결정하면 Olkiluoto 원전 3호기의 연료 장전이 시작될 예정임.
- 핀란드의 5번째 원자로인 Olkiluoto 원전 3호기는 완공 시 전체 전력의 10%를 공급할 것으로 예상됨.

〈핀란드 Olkiluoto 원전 3호기 건설 현황〉

원전	노형	용량(MW)	착공	상업운전
Olkiluoto 원전 3호기	EPR	1,600	2005. 5	2019. 9

출처: World Nuclear Association

World Nuclear News 2018.5.30, Nuclear Engineering International 2018.6.18

■ 스위스 BKW社, Mühleberg 원전 해체 승인 획득

- 2018년 6월 21일 스위스 전력회사 BKW社는 스위스 환경, 교통, 에너지, 통신부(DETEC)로부터 2019년 말에 영구 폐쇄 예정인 Mühleberg 원전의 해체를 승인받음.

※ Mühleberg 원전(372MW급 BWR)은 1972년에 상업 운전을 개시하였음.

- 2013년 BKW社는 Mühleberg 원전에 대한 영구운전 인허가를 받았으나 불확실한 정치 및 규제 상황으로 同 원전의 장기 가동이 어렵다고 판단해, 당초 예정된 2022년보다 이른 2019년에 해당 원전을 폐쇄 하겠다고 발표한 바 있음.
 - 2015년 12월 BKW社는 DETEC에 同 원전 해체 신청서 및 해체작업 계획서를 제출하였음.
 - 2016년 2월 BKW社는 연방원자력안전검사국(Federal Nuclear Safety Inspectorate, ENSI)에 同 원전을 2019년 12월 20일에 영구 폐쇄할 예정이라고 통보하였음.
 - DETEC은 BKW社가 2015년에 제출한 해체 계획서에 따라 핵연료 제거를 포함한 해체 작업을 수행 하고, 다양한 요건, 특히 ENSI가 2017년 8월에 발표된 보고서를 통해 제시한 기술, 조직, 절차 조건을 충족하도록 요청함.
 - 또한 DETEC은 BKW社가 Mühleberg 원전의 일반 부대시설(conventional parts) 철거 계획서를 2027년 말까지 스위스 연방에너지국(Swiss Federal Office of Energy)에 제출하도록 요청함.
- BKW社는 스위스 정부의 이번 해체 승인으로 자국에서 최초로 원자로 해체가 시행되는 계기가 마련 되었다고 환영하며, 해체 절차가 재정 및 기획 측면에서 순조롭게 진행되고 있다고 밝힘.
 - Mühleberg 원전의 해체 및 철거 계획은 이미 상당히 진척되었음.
 - BKW社는 충당금을 마련해 연방정부가 관리하는 스위스 해체 및 방사성폐기물 처분 기금에 납입했기 때문에 Mühleberg 원전의 해체 및 철거 비용을 모두 조달할 수 있다고 밝힘.

〈스위스 가동 원전 현황〉

원자로	노형	지역	용량(MW)	최초 가동	폐쇄 예정(대략)
BEZNAU-1	PWR	BEZNAU	365	1969	2019 or 2030
BEZNAU-2	PWR	BEZNAU	365	1971	2021 or 2031
GOESGEN	PWR	DAENIKEN	1,010	1979	2029
LEIBSTADT	PWR	LEIBSTADT	1,220	1984	2034
MUEHLEBERG	PWR	MUEHLEBERG	373	1971	2019, 12

출처: World Nuclear Association

World Nuclear News 2018.6.22

■ 러시아 Rosatom Service社, 해외 수주금액 증가

- 2018년 6월 8일 러시아 Rosatom社의 자회사인 Rosatom Service社는 연례 보고서를 통해 자사의 해외 수주금액이 2016년 4억2천2백만 달러에서 2.5배 증가해 2017년 10억4천5백만달러를 기록했다고 밝힘.

※ Rosatom社가 2011년 설립한 Rosatom Service社는 러시아가 설계한 해외 원전에 서비스 제공(원전의 유지보수, 정비, 현대화, 기술 자문, 인력 훈련 등)을 담당함.

- Rosatom Service社는 2017년에 순 수익은 4배 증가한 2천4백만 달러, 매출은 약 8천3백만 달러에 이른다고 언급함.
- Rosatom Service社에 따르면 수주 포트폴리오에는 이집트 El-Dabaa 원전과 터키 Akkuyu 원전 가동 지원 및 유지보수 계약, 이란 원자력 생산 및 발전회사(NPPD)와의 인력 훈련 계약 및 이란 Busheh 원전 1호기장비 공급(2018-2021년) 계약, 잠비아 정부와의 원자력기반시설 평가 및 개발 계약이 포함됨.
 - 2017년 12월 러시아와 이집트는 El Dabaa 원전에 3+세대 VVER-1200 원자로 4기 건설하는 협약을 체결하였음. 同 프로젝트의 비용은 210억 달러이며 2028~2029년까지 완료될 예정임.
 - 200억 달러 규모의 Akkuyu 원전(총 4,800MW급 VVER-1200 원자로 4기)은 2010년 5월 양국이 체결한 정부간협약을 기반으로 추진 중이며 Rosatom社는 BOO 모델(건설, 소유, 운영)을 적용함.
 - 2014년 11월 Rosatom社와 이란 원자력청(AEOI)은 총 8기의 원자로를 증설(Bushehr 원전 부지와 기타 부지에 각각 원자로 4기 추가)하는 협정을 체결하였음.
- 2018년 Rosatom Service社는 방글라데시 원자력 위원회와 Ruppur 원전 가동 및 유지보수를 위한 기술 지원 및 인도 Kudankulam 원전 1단계 진입을 위한 기술 지원 서비스 계약을 체결할 계획임.
 - 2018년 4월 5일 Rosatom社는 방글라데시의 Rooppur 원전 1호기의 기초 콘크리트 타설 작업을 완료 하였음.
 - 2017년 6월 Kudankulam 원전 3, 4호기 건물에 콘크리트 타설 작업이 시행되어, 두 원자로가 공식 착공되었음.
- 또한 2018년 중국 CGN社와 1년간 비(non) VVER 원자로 서비스 제공을 위한 로드맵 수립을 계획 하고 있으며, 사우디아라비아 원전 건설 프로젝트 추진을 위해 제안서 관한 논의를 사우디아라비아 측과 시행할 계획임.
 - 사우디아라비아는 2030년까지 16기 원자로를 건설할 계획임. 2017년 11월 Rosatom社는 사우디아라비아에 원전 건설 초기 제안서를 보내면서 입찰에 참여할 준비가 되어있다고 밝힌 바 있음.



중 동

■ 요르단, 러시아와의 원전 건설 계약 파기...대안으로 SMR 건설 추구

- 요르단 원자력 위원회(JAEC)는 지난 6월 11일 러시아 Rosatom社와의 100억 달러 규모 원전 건설 계약을 파기한 사실을 발표함.
- 양측은 지난해부터 원전 건설 기금 조달 방법에 관해 논의해왔으나, 자금 조달 방식에 대한 의견차를 좁히지 못하고 결국 계약 파기로 이어짐.
 - Rosatom社는 상업 은행을 통한 자금 조달을 제안하였으나, 요르단측은 이는 원전 건설비용 및 전력 생산 단가의 증가로 이어질 것이라며 난색을 표한 결과 계약이 파기됨.
 - JAEC측은 계약 파기에 따른 금전적 손실이나 법적 다툼은 없다고 밝힘.
- 비록 원전 건설 계획은 파기되었으나 양측의 원전 협력관계는 건고한 것으로 보임.
 - 요르단은 지난 5월 러시아와의 소형 모듈 원전 건설 타당성 조사 협약을 발표하였으며,
 - 현재 100여명의 요르단 학생이 러시아 주요 대학에서 원자력 학습을 위해 유학 중.
- 익명을 요구한 요르단 정부 인사는 Jordan Times와의 서면 인터뷰에서 “(전통적인 방식의) 원전 건설은 국가에 재정적 부담이 큰 만큼 요르단의 재정 상황을 고려하였을 때 더욱 안전하고 재정적 부담이 적은 SMR이 요르단에게 최선이라고 생각한다.” 고 밝힘.
- 한편, JAEC 측은 연구 및 교육 목적 원자로 건설 및 가동을 위해 5천9백만 요르단 니다르(약 8천 3백만 달러)를 한국 수출입은행으로부터 대출받았음. 해당 비용은 2020년부터 20년간 0.2% 금리 조건으로 상환될 예정임.

Jordan Times, 18.6.12

아 시 아

■ 중국, 세계 최초 AP-1000 원전 가동 임박...Sanmen, Haiyang 원전 소식

- AP-1000원전 Haiyang 1호는 지난 6월 21일 오전 7시 36분을 기하여 157개의 연료다발 장전 작업에 돌입함.
 - Haiyang 1호는 올해 말 가동 예정이며, Haiyang 2호는 2019년 가동을 목표로 하고 있음.
- Sanmen 1호 역시 6월 21일 새벽 2시 09분에 최초임계에 성공하였으며, 송전망 연결 및 출력상승 시험 등의 절차를 남겨둔 상황.
 - Sanmen 2호의 시험가동은 지난 1월에 완료되었으며, Sanmen 1,2호 모두 올해 말 내 상업 가동을 목표로 하고 있음.
- Sanmen 원전과 Haiyang 원전이 일정대로 가동에 성공한다면 전 세계 최초로 가동하는 AP-1000 원전이 되는 만큼, 본 단신에서는 AP1000 원전의 특징 및 타 3세대 원전과의 차이를 간략하게 기술함.
- APR-1400, VVER, EPR 등 3세대 원전에 도입된 기술에는 큰 차이가 없으나, AP-1000은 안전 기능 및 건설비용에 대한 접근방식에서 차이를 보인다.
 - AP-1000 설계의 주목적은 원전 건설 단가를 높이는 부품, 파이프, 케이블의 개수를 줄이는 동시에 원전 안전성을 높이는 것으로, 피동형 안전 계통 활용도를 높여 이를 달성하였음.
 - AP-1000은 Westinghouse社의 2세대 원전인 PWR 대비 안전 관련 밸브가 50% 적으며, 안전 관련 파이프는 80%, 내진 설계 건물 규모는 40%를 줄임.
 - 펌프를 통해 냉각수를 공급하는 기존 방식에서 벗어나 중력이나 밀도차이에 따른 자연 순환을 통해 냉각수를 공급함.
 - 또한 모듈 방식을 도입하여 기존 건설 방식(stick-built)대비 건설기간을 단축하여 경제성 증진을 꾀함.

〈주요 3세대 원전 특징 비교〉

	AP-1000	APR-1400	EPR	VVER
발전설비용량	1,115MWe	1,400 MWe	1,660 MWe	1,198MWe
격납용기	단일	단일	이중	이중
연료다발 개수	157	241	241	163
노심 손상 빈도	2.4×10^{-7}	$< 10E6$	5×10^{-7}	7.37×10^{-7}
긴급 안전조치	원자로 내 억류 체계	능동 (4기 독립회로)	능동 (4기 독립회로)	능동 (4기 독립회로)
증기발생기 개수	2	2	4	4
연료 재장전 주기	18개월	18개월	18개월	18~20개월
건설기간	36개월	45~51개월	60개월	54개월
건설 중인 국가	중국, 미국	UAE	핀란드, 프랑스, 중국	터키, 러시아
제조사	Westinghouse	KHNP	EDF	Rosatom

출처: Colombia Center on Global Energy Policy, A Comparison of Advanced Nuclear Technologies, World nuclear association

WNN, 2018.6.22, Nuclear Plant Journal, 2004.9.10

■ 인도 감사원, Kudankulam 원전 가동 지연으로 인해 94억 8천만 루피 손실을 기록했다는 감사결과를 공개

- 인도 감사원은 인도 원자력공사(NPCIL)의 Kudankulam 원전 재가동이 계획보다 지연됨에 따라 94억 8천만 루피의(약 1억3900만 달러) 손실을 기록했음을 밝힘.
- 당초 NPCIL은 2015년 5월 연료 재장전을 위해 원전 가동을 60일간 중지할 계획이었으나, 자체적으로는 연료 재장전을 수행할 수 없음을 깨닫고 뒤늦게 러시아 ASE社와 전문가 파견 계약을 2015년 8월에 체결함.
 - 그 결과, 연료 재장전 비용이 76% 증가하게 되었다고 인도 감사원은 지적함.
- NPCIL측은 당시 여건 상 연료 재장전 작업 수행이 가능한 곳이 ASE社가 유일하였기에 효율이 높음에도 제안을 받아들일 수밖에 없었다고 주장하였으나,
- 인도 감사원은 러시아 전문가 파견에도 불구하고 원전 가동 중단 기간이 당초의 60일에서 222일로 증가하였음을 지적하며, 자사의 기술 역량을 평가하지 않고 연료 재장전 작업을 감행한 것은 신중하지 못한 결정이었다고 평가.

thehindu.com 2018.6.20

■ 일본 도쿄전력, 후쿠시마 제2원전 폐로 검토

- 6월 14일, 도쿄전력 홀딩스(이하 도쿄전력) 고바야기와 도모아키(小早川智明) 사장은 후쿠시마 제2원전 (총 4기, 각 110만 kW)의 폐로 방침을 밝힘. 향후 이사회에서 정식 결정한 후 원자력 규제위원회의 인가 등을 거쳐 폐로 작업에 나설 예정임.
 - 폐로 작업은 20년~40년이 소요되며, 원전 해체 비용은 2,766억 엔으로 추산됨.
- 도쿄전력의 이번 표명을 후쿠시마 제1원전의 오염수 문제 해결을 위한 발판으로 보는 시각도 있다고 일본경제신문은 전함.
 - 입지 지역인 후쿠시마현이 원하던 同 원전의 폐로를 통해 지역에 다가가는 자세를 보여줌으로써 후쿠시마 제1원전의 폐로작업을 가능한 한 원활히 추진하려는 의도라는 것.
 - 도쿄전력은 후쿠시마 제1원전 건물 내 오염수를 정화하여 발생한 방사성 트리튬이 포함된 물 약 100만 톤을 탱크에 보관 중임. 이 물은 기준 이하의 농도가 되면 바다에 방출할 수 있지만, 풍평피해 (風評被害: 풍문으로 입는 피해)가 발생할 우려가 있어 처리 방법을 결정하지 못함.
 - 현재 137만 톤을 보관할 수 있도록 탱크의 증설을 추진 중이나 3년 내 탱크를 증설할 부지가 한계에 달할 것으로 전망되어 해결이 필요한 상황임.
- 한편, 후쿠시마현은 2011년 후쿠시마 원전 사고 직후 원전에 의존하지 않는 사회 조성을 기본 이념으로 내세움.
 - 2020년도에 현 내 전력 수요량 약 40%를 재생에너지로 대응하고, 2030년도에 약 60%를, 2040년도 경에 100% 이상의 대응을 목표로 삼아 태양광에너지 등의 도입 확대를 추진 중임.

일본경제신문, 2018.6.14, 6.15

■ 일본 규제위, 도카이(東海) 핵연료 재처리 시설 폐지 계획 인가

- 6월 13일, 원자력 규제위원회는 원자력발전소의 사용후핵연료에서 플루토늄 등을 추출하는 '도카이 재처리 시설'의 폐지계획을 인가함.
 - 同 시설은 폐지완료까지 약 70년 소요되며, 총 비용은 1조 엔에 달함.
- 도카이 재처리 시설은 재처리 기술 개발을 위해 건설되어 1981년 운전을 시작함.
 - 2014년 운영사인 JAEA(일본원자력연구개발기구)는 동일본대지진 후 도입된 신 규제 기준에 대응 하기 곤란하다는 이유로 同 시설의 폐지를 결정, 2017년 6월 규제위에 폐지 계획을 제출함.



- 폐지작업은 최초 10년간 약 2,200억 엔의 비용이 들 것으로 전망되며 강한 방사선을 내는 폐액의 유리 고화체 작업을 중심으로 추진함.
- 이후 60년간 시설 해체에 1,400억 엔, 방사성 폐기물을 시멘트 등으로 굳히는 처리에 2,500억 엔, 폐기물 매설 처분에 3,800억 엔이 들 것으로 추산함.

일본경제신문, 2018.6.13

■ 일본 규슈전력 겐카이(玄海) 4호기, 재가동 달성

- 6월 16일, 규슈전력의 겐카이 4호기가 6년 반 만에 재가동을 달성했으며, 7월 중순 상업운전을 시작할 것으로 전망됨.
- 겐카이 4호기는 신 규제 기준 도입 이후 5원전 9번째로 재가동을 달성함. 규슈전력은 2015년 센다이 원전 1, 2호기, 2018년 3월 겐카이 3호기를 재가동한 바 있음.

- 일본 경제매체인 산케이비즈는 차기 원전의 재가동 시기에 대해 아무리 짧아도 1년 반 이후이거나 더 늦어질 수도 있다고 전함. 더불어 정부가 내세운 2030년도 원전 비율 20~22%의 달성이 어려워질 것으로 전망된다고 보도함.

※ 산케이비즈는 차기 재가동 원전으로 간사이전력 다카하마 1호기를 꼽음. 同 원전은 2019년 9월 재가동을 계획 중이나 입지 지역의 재가동 동의 여부가 불투명함.

- 원전 비율 20%를 달성하려면 원전 30기의 재가동이 필요하며, 현재 재가동 상황으로는 목표치에 크게 못 미침.
- 일본 경제산업성은 2018년 여름 내각 결정할 에너지기본계획안에서 원전을 중요 전원으로 삼겠다고 할뿐 대체건설과 신증설의 필요성은 다루지 않음.
- 한편, 2011년 후쿠시마 제1원전 사고 이후 폐로를 결정한 원전은 7원전 15기임. 6월 14일에는 도쿄전력이 후쿠시마 제2원전의 폐로를 검토하겠다고 밝혔음. 同 원전이 정식으로 폐로 결정되면 일본 내 폐로 원전(상업용)은 10원전 22기에 달함.
- 후쿠시마 제1원전 사고 후 책정한 신 규제 기준으로 인해 전력회사의 안전대책비가 늘어나 경제성이 낮은 원전은 폐로가 됨.
- 일본 내 원전은 노후화가 진행 중이며 원칙 가동 40년이라는 수명을 점차 맞이하고 있음. 산케이비즈는 폐로 작업 인력 확보와 방사성 폐기물 처분 등 과제가 많다고 지적함.

- 일본경제신문 역시 원자로 건물을 해체해 방사성 물질을 처분하는 폐로작업은 원전건설보다도 난해한 작업이며, 정부가 원전을 계속 이용하겠다는 방침을 내세우는 이상 앞으로 수십 년간의 구체적 계획을 세울 필요가 있다고 지적함.

10개 원전 22기가 폐로됨



참고: 일본경제신문 2018.6.15.

일본경제신문, 2018.6.15., 6.16, Sankeibiz, 2018.6.16., 6.21

World Nuclear
Power Market
Insight

세계원전시장 인사이트

격주간 | BIWEEKLY



에너지경제연구원
Korea Energy Economics Institute

<http://www.keei.re.kr>

에너지경제연구원 에너지정책연구본부 / 원자력정책연구실
울산광역시 중구 종가로 405-11 (우) 44543