



기후변화와 에너지 기술

▶ 박철환

서울특별시 제12기 건설기술위원, 한국지질자원연구원 책임연구원

지구가 몸살을 앓고 있다. 온실가스가 대기층에 누적되면서 온실효과에 의하여 지구온난화가 발생한 것이다. 이산화탄소는 두말할 것도 없이 에너지 소비로 인하여 배출되는 대표적인 온실가스이다.

산업혁명에 의하여 에너지 사용량이 급격히 증가하면서, 온실가스의 농도가 현시대에 400ppm에 이르렀다. 그러면서 지구의 평균기온을 2°C 상승시킨 것이다. 현 시대의 산업발달과 에너지 소비의 증가 등을 미루어 볼 때, 금세기 말에는 이 농도가 850ppm에 달하여, 온도는 6°C 상승하고 해수면은 88cm 상승할 것이라고 예측되고 있다. 이러한 변화가 이제는 인간의 삶에 커다란 영향을 미치는 심각한 문제가 되어 버렸다.

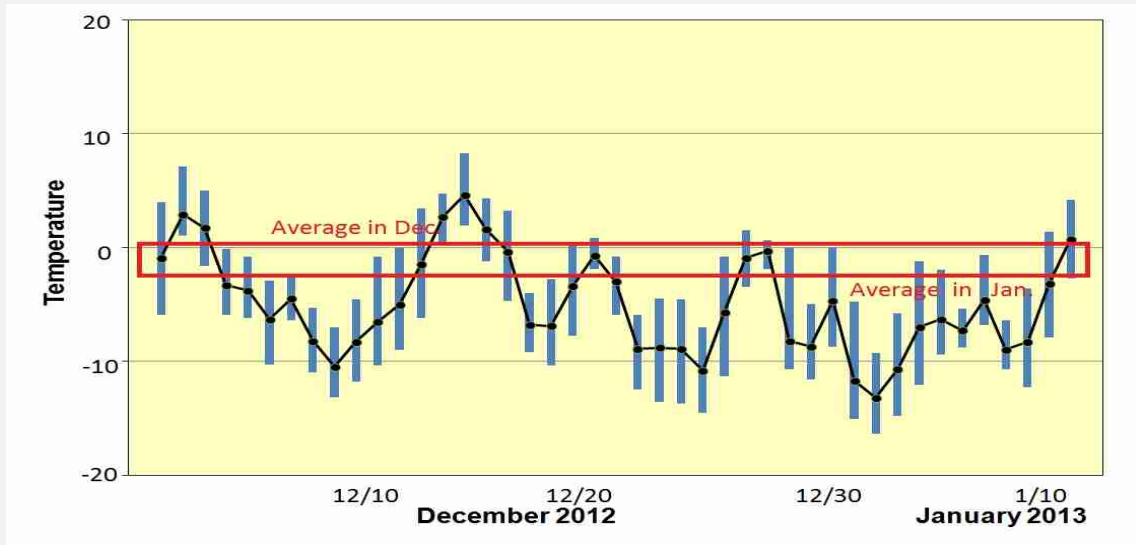
0.04%의 농도나 2°C의 기온상승이라는 크기는 미미하게 느껴지기도 하여, 우리의 생활에 크게 작용하지 않는 듯하다. 기후나 에너지에 관련하는 전문가들의 문제로만 치부될 수도 있다. 하긴 우리들이야 국가적 홍보에 따라 자동차 운전을 제한하고, 정전이 예보되면 에어컨 사용을 자제하면 그만일 것이다.

그러나 온실가스의 농축으로 인한 기후변화의 직간접적인 영향으로 나타난 피해사례들을 다시 생각해 본다면 전문가가 아닌 우리들도 보다 적극적으로 에너지에 대한 인식을 바꾸어야 할 것이다. 이 시대에 살고 있는 우리는 에너지 사용에 따르는 결과를 인지하고, 나아가 지구를 온전하게 보전하여 후대에 물려줄 책임과 의무가 있기 때문이다.

1. 기후변화 (Climate Change)

지난 수년 동안의 여름은 예전에 비하여 많이 더워졌는데 이는 지구온난화의 직접적인 현상이다. 그런가하면 겨울의 기온 역시 1~2°C 상승하였는데, 오히려 지난 이년동안 1~2°C 하락하였고, 급기야 올해는 그 정도가 심한 추위가 이어졌다. 그림 1에서 보듯이 지난 12월 서울의 기온은 지난 30년 동안의 평균기온인 0.4°C 보다 크게 낮아졌다. 일평균기온이 예년의 평균기온보다 높은 날이 5일에 불과한 반면, 1월의 평균기온인 -2.4°C 보다 낮은 날은 1월 12일까지 30일을 기록한 것이다. 이러한 겨울의 매서운 추위도 지구온난화의 간접적 현상인 라니냐현상으로 설명되고 있다. 4월 중순에도 눈이 내려 충청도 높은 산은 겨울과 같은 백색이 되었고 밧고랑에는 하얀 줄이 선명하다.

이러한 이상기온이 계속되면서 앞으로 여름은 열대야가 80일간 지속된다는 전망도 제기되고 있다. 그림에서 보듯이 삼한사온의 특색을 갖는 대한민국의 겨울은 이미 사라졌으며, 어쩌면 시베리아의 겨울도 경험할 수 있게 될 것이다. 이상난동과 이상한파는 더 이상 일시적인 현상이 아니다.



<그림 1. 서울의 지난 겨울의 일일 기온 변화>

“제16호 태풍 '산바'가 9년 전에 막대한 피해를 안겼던 '매미'와 비슷한 경로로 북상하자 경남 창원시 마산만 일대에 비상이 걸렸다. (중략) 2003년 9월 12일 태풍 매미가 남해안에 상륙하면서 강풍을 동반한 해일이 마산 해안가를 덮쳐 인근 상가 지하 등에 있던 18명이 숨지고 엄청난 재산피해가 났다.” 이는 지난 9월의 뉴스이다. 다행히 태풍 산바는 큰 피해를 입히지 않은 채 소멸되었지만, 태풍에 대한 우리의 인식을 알 수 있는 부분이다.

우리나라는 1936년 8월 1200여명이 사망하는 태풍 3693호 이래, 20년 후에 800여명이 사망-실종하는 태풍 사라(1959년 9월)를 맞았다. 그리고 또 30년 후인 1987년 7월 343명의 인명피해를 기록한 태풍 셀마를 기억한다.

그러나 그 후에는 대형 태풍이 표 1에서 보는 바와 같이 짧게는 4년 간격으로 발생하여 대형의 인명 피해를 기록하였다. 더욱이 이들은 제한된 지역에 대량의 비를 부려 인명피해가 증폭되는 특성을 보였다. 특히 태풍 루사는 일년 강수량의 2/3에 해당하는 870 mm를 하루에 쏟아 부었다. 이를 엘리뇨라는 이름의 기상 이상현상으로 설명하는데, 이는 온실가스(GhGs, Greenhouse Gases)에 기인하는 것으로 해석하고 있다.

우리나라의 태풍피해는 미국에서 발생한 대형 허리케인들에 비하면 인명이나 재산피해가 적은 것이다.(표 2 참조) “U.S. Congress gave final approval on Monday to an emergency aid package of nearly \$51 billion to help millions of victims of Hurricane Sandy, ending the legislation's long and complicated odyssey.” 이는 금년 1월 뉴욕타임즈에 실린 허리케인 샌디에 관련한 기사 중 일부이다. 630억불 (약 70조원)의 피해에 대한 보상을 미국 하원에서 최종 의결한 내용이다.

<표 1. 우리나라의 대형 태풍>

발생시기	태풍 명칭	사망실종	재산 피해
1987. 7	셀마	343 명	3900 억원
1991. 8	글래디스	103 명	2400 억원
1995. 8	제이스	157 명	4500 억원
1999. 8	올가	67 명	1조 500 억원
2002. 8	루사	246 명	5조 1000 억원
2003. 9	매미	135 명	4조 2000 억원

<표 2. 미국의 대형 허리케인>

발생시기	Hurricane	사망실종	재산 피해
1992. 8	Andrew	65 명	265 억불
2005. 8	Katrina	1933 명	1080 억불
2005.10	Wolma	62 명	206 억불
2008.9	Ike	195 명	295 억불
2012.10	Sandy	253 명	630 억불

다음은 뉴욕타임즈 2월에 실린 기사 중 일부이다. “N.Y. State Gov. Andrew M. Cuomo is proposing to spend as much as \$400 million to purchase homes wrecked by Hurricane Sandy, have them demolished and then preserve the flood-prone land permanently, as undeveloped coastline. <중략> “She may only visit once every few years,” Mr. Cuomo said” - 뉴욕 주지사는 기후변화에 의하여 대형 허리케인이 자주 발생할 것으로 판단하였다. 그리고 이 지역은 앞으로도 잦은 피해가 예상되는 지역이므로 주민을 이주시키기로 결정하였다. 이 지역을 자연공원으로 만들어 인근 주민을 보호할 수 있는 완충지대로 만드는 계획을 발표한 것이다.

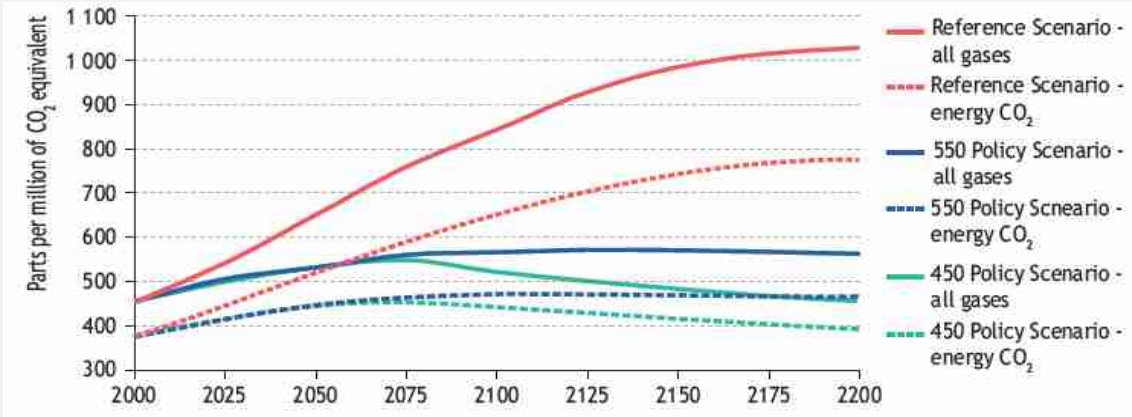
Katrina나 Sandy 같은 대형 허리케인은 한세대에 한번(onec-in-a-generation) 발생하는 것으로 인식되고 있지만, 앞으로 그 빈도가 훨씬 높아질 것이며, 이는 기후변화에 기인한다고 주지사가 발표한 것이 주목된다. 기후변화는 이렇게 우리 주변에 막대한 영향을 끼치고 있다. 더 이상 전문가 들만의 걱정거리가 아닌 지금의 현상이다.

2. 에너지 정책 (Energy Policy)

인류는 이러한 기후변화를 좌시하지 않고 적극적으로 대처하기 위하여 1997년 말에 교토의정서를 결의하였다. 이에 의하면 선진국들은 2008~2012년 동안 온실가스(GhGs) 배출을 1990년 기준 평균 5.2% 감축하기로 하였으나, 이행실적은 한참 못 미치는 것으로 평가되고 있다.

한편, 국제에너지기구(www.iea.org)는 2008년 세계에너지전망 보고서에서 200년 후까지의 온실가스 농도를 예측하였다. 그림 2의 빨강색 실선을 보면 2200년에는 1000 ppm (빨강색 점선인 에너지 소비에 의한 CO₂의 농도는 800 ppm)에 달할 것으로 예측하고 있다. 그리고 각국의 노력에 의하여

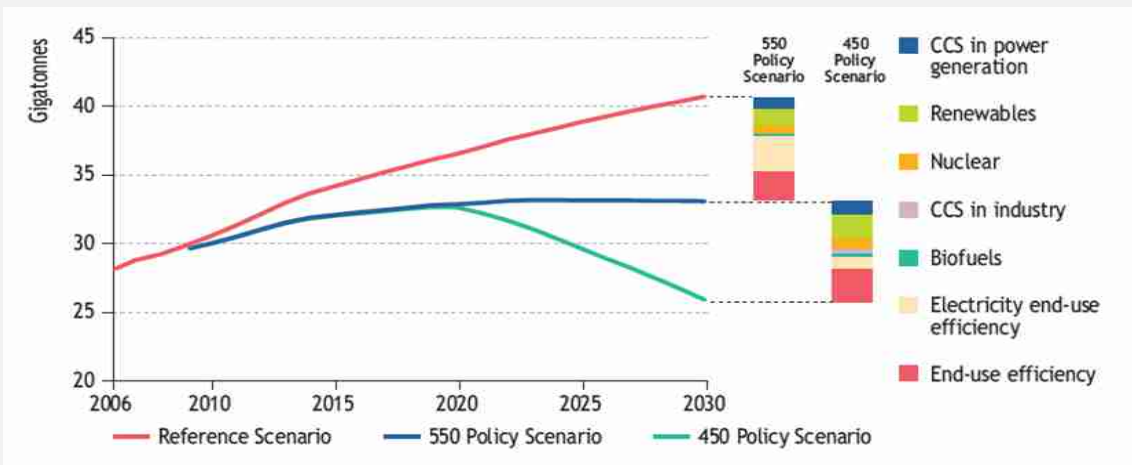
궁극적으로 이를 550 ppm 또는 450 ppm으로 저감시키는 정책을 추진해야 한다는 골격을 수립한 바 있다. 그리고 2012년 보고서에서는 450 정책은 물론이고 550 정책도 어렵다는 결론을 갖고 농도는 약 600 ppm 및 온도상승은 3.6°C를 목표로 하는 신정책(New Policy Scenario)을 수립하였다.



<그림 2. 시나리오에 따른 온실가스 농도의 장기 전망 (WEO-2008, IEA)>

이러한 시나리오 설정에는 에너지 소비의 억제를 포함하고 있지 않다. 2030년의 에너지 소비는 현재보다 45% 증가하는 것을 고려하여 설정한 목표이다. 산업의 발달로 말미암아 에너지 소비는 증가하지만 동시에 기술의 발달을 기대하고 있다. 이러한 기술에는 그림 3에서 보는 바와 같이 CCS(Carbon Dioxide Capture and Sequestration, 이산화탄소 포집처리)기술을 비롯하여 신재생 에너지, 원자력, 생화학연료, 에너지 효율 등이 있다. 이러한 기술로 인하여 에너지 사용은 증가하지만, 실현성이 높은 550 정책에서는 CO₂의 배출이 20% 감축되어 2020년 이후에는 연간 33 Gton으로 억제되는 것이다.

우리나라는 2002년도에 기구 회원국으로 가입하여 이러한 국제적 정책에 부응하기 위한 노력을 경주하고 있다. 코펜하겐 기후회의에서 2020년에는 온실가스 배출량을 0.81 Gton에서 0.57 Gton으로 30% 감축하겠다고 전망치를 제시하였다. 이에 앞서 2008년 정부는 저탄소 녹색성장을 국정운영의 핵심으로 정하고 스마트 그리드의 모범국가가 될 것이라고 발표한 바 있다. 이는 후기 Kyoto 의정서에 의하면 금년부터 우리나라도 CO₂ 배출량 의무감축국으로 지정될 것에 대비한 것이다.



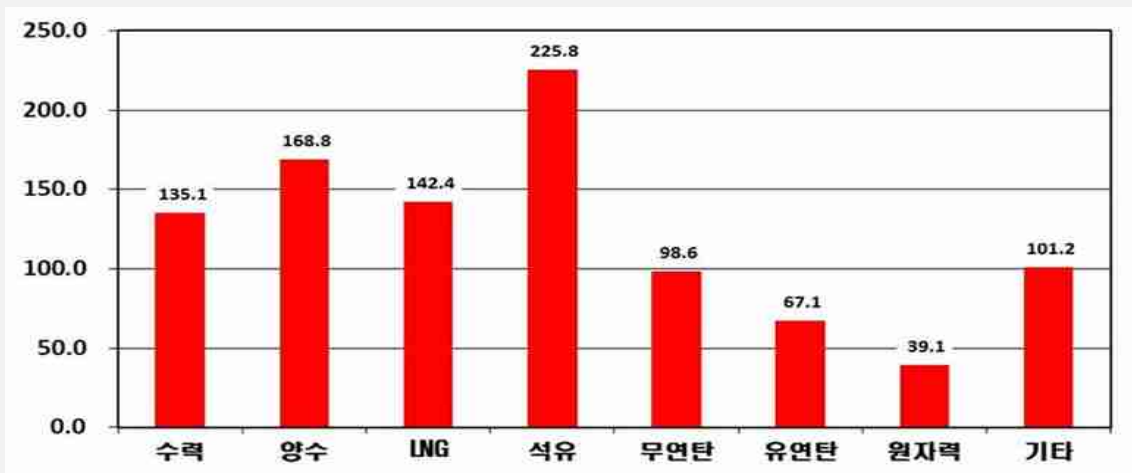
<그림 3. 온실가스 저감을 위한 에너지 기술 (WEO-2008, IEA)>

3. 에너지기술 (Energy Technology)

앞에서 살펴본 에너지기술 가운데 CCS는 Carbon Dioxide Capture and Sequestration의 약어이며, CO₂를 대량으로 발생하는 화력발전소나 산업의 현장에서 포집하여 처리하는 기술을 뜻한다. 즉, 온실가스의 발생억제가 아니라 불가피하게 발생하는 것에 대하여 대기 방출과 농도 증가를 방지하는 소극적 저감기술이라 할 수 있다. 이러한 기술을 개발하기 위하여 교육과학기술부에 명칭이 한참 긴 ‘한국 이산화탄소 포집 및 처리 연구개발센터(www.kcrc.re.kr)’가 설립되었다.

신·재생에너지, 원자력, 생화학연료는 온실가스 저감의 적극적 기술이 된다. 이러한 에너지의 개발이냐 말로 원유를 전량 수입하는 우리나라에서 앞장서서 해결해야 할 분야가 될 것이며, 실제로 이와 관련한 연구는 많은 기관에서 수행하고 있다.

특히 공급단가가 가장 저렴한 원자력의 기술이 국제적 경쟁력을 갖추고 수출되고 있어 기대되는 분야이다. 다만, 2011년 3월에 발생한 동일본 대지진으로 인한 원자력에 대한 부정적 인식이 저변에 자리 잡고 있으며, 사용 후에 발생하는 고준위폐기물에 대한 장기적 대책이 마련되어 있지 않아 원자력 발전에 걸림돌이 되고 있다.



<그림 4. 2011년도 원료별 국내 전력의 정산단가 (단위 : 원/kWh)>

에너지 효율은 에너지 소비증가를 관리하고 억제하는 기술을 뜻한다. 이는 동일한 에너지 입력에 대하여 더 나은 서비스를 제공하는 경우이거나 적은 에너지 입력으로 동일한 결과를 얻는 경우에 해당되는 기술이다. 따라서 에너지 효율은 지속가능한 에너지의 미래를 얻기 위한 강력하면서도 저비용의 도구를 제공한다. 이 기술은 에너지의 최종 사용자의 노력 뿐 만 아니라 건물이나 가전제품, 교통 등의 모든 산업분야에서 다양하게 실현될 수 있다.

요즈음 에너지 빌딩이라 표시되어 있는 대형건물은 에너지 효율의 산물이라 할 수 있겠다. 앞에서 언급된 저탄소 녹색성장(Low Carbon Green Growth)과 Smart Grid의 구체적인 내용은 에너지 효율의 대표적인 개념이다. 발전할 때 발생하는 열을 활용하여 온수를 생산하여 공급하는 열병합 발전소도 에너지 효율을 실현하는 좋은 기술로 평가되고 있다. 여기에 CCS가 이루어져 온실가스 배출을 최소화한다면 최적의 방안이 될 것이다.

4. 에너지 저장 (ESS, Energy Storage System)

“한파가 기승을 부리면서 10일 전기 사용이 크게 늘어 전력 수급 경보 '주의'가 발령될 것으로 전력거래소가 예보했다. 이에 따라 전력수요 피크 시간대인 오전 10~11시에 최대 전력수요가 7천 550만 kW에 달하고 수요 관리와 공급 확충 조치를 취하더라도 예비력이 274만 kW까지 떨어질 것으로 예상했다.” 이는 지난 겨울의 한파로 인하여 발생한 전력비상 뉴스이다. 실제로 2년전 늦여름인 9월에는 예비전력이 한계에 이르러 순환정전을 시행한 바 있다.

우리나라의 전력 생산은 약 80 GW 정도이다. 발전소를 증설하여 가동능력이 100 GW 이상으로 된다면 이런 Blackout과 같은 불편한 사태는 없을 것이다. 그러나 Peak-time 반대편의 Off-time 때를 고려한다면 생산설비는 2배 이상이 될 것이다. 막대한 설비비가 소요되는 발전소 건설을 마냥 확대할 수 없는 이유이다. 전력원가가 저렴한 원자력발전소 증설은 사업비도 막대하지만, 동일본 대지진과 사용 후 핵연료의 처분 등의 이유로 공론화되지 못하고 보류되고 있는 듯하다. 그렇다고 화력발전소의 증설도 온실가스를 대량으로 배출하기에 최적의 방안이 되지 못한다.

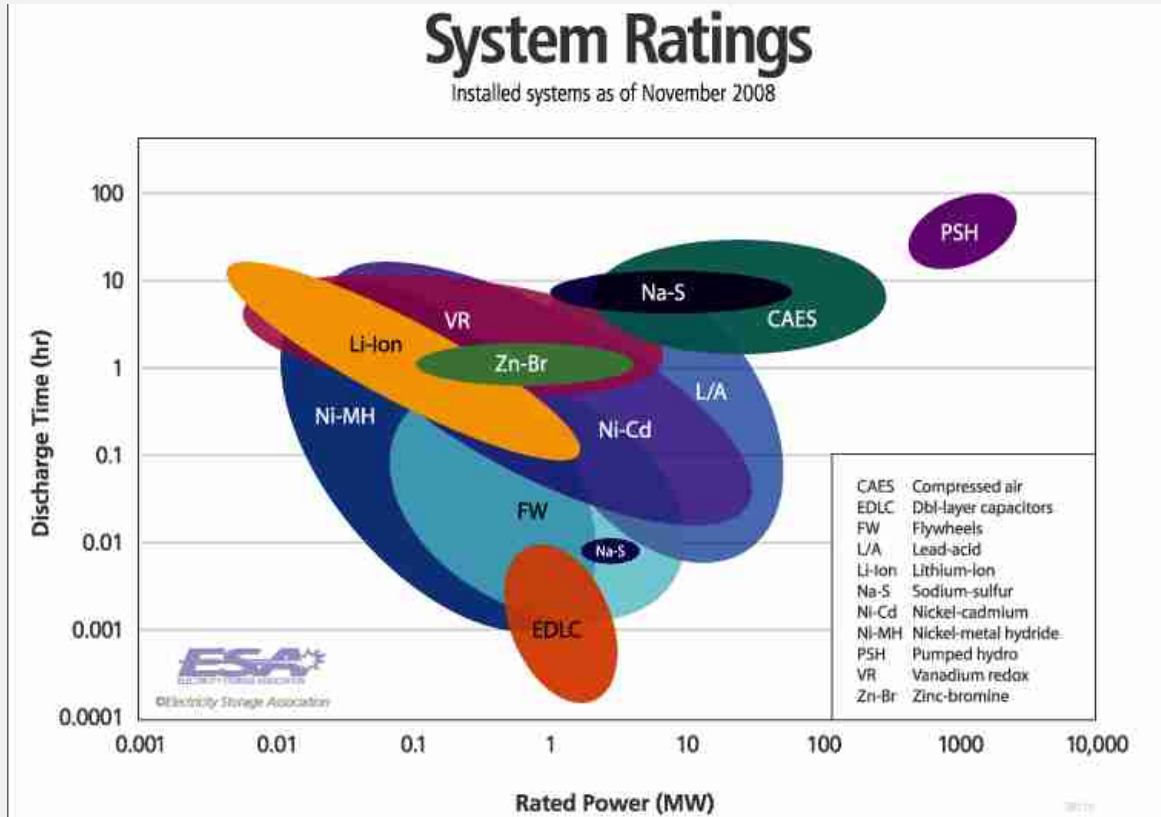
전기의 장점들은 무척 많아 오랫동안 가정이나 산업에 사용되어 왔는데, 대형으로 저장을 할 수 없다는 결정적 단점을 갖고 있다. 다양한 종류의 배터리는 그나마 직접 저장할 수 있는 기술이어서 현재와 미래의 대표적인 산업분야이다. 전기에너지가 대용량으로 효율적으로 저장될 수 있다면, 정전 사태를 완전히 해소할 수 있을 것이다.

2009년 10월 Wall Street Journal은 기후변화에 의하여 5개의 에너지기술이 이 세상의 모든 것을 바꿀 수 있다는 심층취재 기사를 실었다. 태양에너지를 비롯하여, 차세대 생화학연료, CCS, 차량용 배터리, 에너지저장이 그것들이다. 여기에서 먼저 언급된 것은 청정에너지의 개발을 뜻하며, 배터리와 에너지저장은 전력에너지의 저장을 의미하는데 이는 그림 3에서 언급한 에너지 효율의 기술들이다.

전력에너지의 저장은 전력수요가 적을 때 기저전력의 잉여에너지를 여러 가지 다른 형태로 저장하였다가, 피크 시간에 수요가 급증할 때 발전하여 전력을 공급하는 개념이다.

저장대상은 전력이며, 발전소 외에 풍력이나 조력, 태양열에 의하여 발생된 전력도 해당된다. 이러한 기술에는 그림 5와 같이 양수발전소(PSH), 압축공기저장(CAES), Fly-wheel 기술들이 있다.

양수발전소는 저장용량이 수천 MW(mega-watt)에 이르는 대용량 저장기술의 대표적인 사례이다. 이 기술수준은 완성단계에 도달한 상태이지만, 하천개발에 따르는 환경오염을 유발하므로, 선진국에서는 더 이상 활용되지 않는 기술이다.



<그림 5. 에너지저장기술의 용량 (ESA)>

잉여전력을 압축공기(Compressed Air)로 만들어 지하 공동에 저장하는 개념을 가진 CAES 기술은 성숙단계에 진입하고 있다. 이의 저장규모는 수백 MW로서 양수발전소 다음으로 큰 용량이다.

1970년대에 개념이 정립된 이 기술은 발전을 거듭하여, 예전에는 공기를 압축하는 장치의 효율이 낮았지만, 지금은 이를 극복하고 경제성을 확보하고 있다. 현재 가동중인 이 시설은 두 곳인데, 독일(Huntorf, 290 MW, 1978)과 미국(McIntosh, 110 MW, 1991)에 있다.

CAES 기술의 초점은 저장된 압축공기가 유출되는 것을 막을 수 있는 기밀성의 확보에 있다. 독일과 미국의 시설은 암염층에 구축되어 있는데, 암염은 기밀성을 유지하는 최적의 지질조건이다. 불행하게도 우리나라에는 이러한 규모의 암염층이 없어 적용이 늦어졌다.

암반 내에는 크고 작은 규모의 균열이 존재하여 기밀성을 증대시키는 기술이 요구되는데 한국지질자원연구원(www.kigam.re.kr)에서 2 MW 수준의 Pilot Plant를 구축하면서 이 기술을 확립하였다.

경제성과 함께 기밀성 설계기술이 확보된 지금에는 CAES 시설은 지질조건에 크게 좌우되지 않고 필요한 장소에 구축할 수 있는 장점을 갖게 되었다.



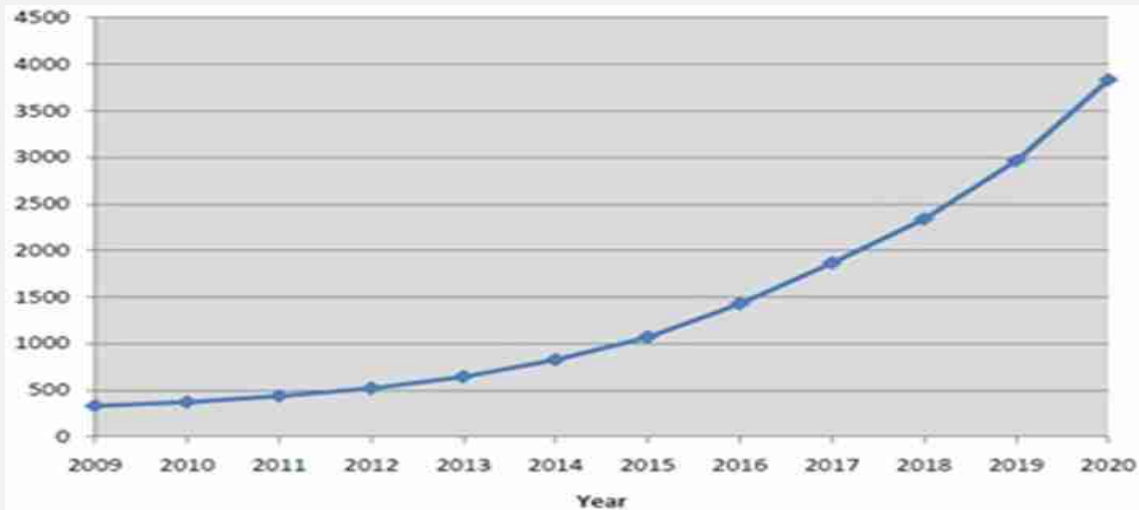
<그림 6. 한국지질자원연구원에서 구축한 CAES Pilot Plant 지하시설>

이러한 기술에 힘입어 지식경제부는 전력저장 실증사업을 추진하려는 정책을 지난 12월에 발표하였다. 이는 2012년에 수립한 에너지저장 및 산업화전력의 후속조치이며, 서해안 풍력단지에서 생산되는 전력을 약 100 MW 규모의 압축공기저장시설에 저장하여 전력수요가 급증할 때 품질이 향상된 전력을 재생산하여 전력망으로 공급하는 방안이다. 저장과 생산의 순환공정으로 인하여 6시간을 지속적으로 발전하게 되며, 100 MW 규모는 5만~10만 가구에 공급할 수 있는 전력이다.

100 MW 규모의 전력저장을 위한 공간의 크기는 대략 11만 m^3 이다. 현재 사일로 등등 여러 가지 형태의 지하공간이 고려되고 있는데, 일반적인 터널형태로 환산하면, 단면적이 100 m^2 되는 지하철 터널의 1.1 km에 해당된다. 이러한 규모는 풍력단지 뿐만 아니라 서울을 비롯한 대도시 외곽에 있는 크고 작은 산속에 건설될 수 있다.

산업에서 발생하는 여러 가지 오염물질을 발생하지 않는 발전소가 우리 주변에 건설될 수 있는 것이야말로 에너지 효율을 실현하는 좋은 기술이라 할 수 있다.

한편, 지경부 자료에 의하면 에너지저장의 세계시장은 2020년에 이르면 약 47조원에 달하며, Visiongain(www.visiongain.com)에서는 전력저장의 시장규모가 약 4조원에 이를 것이라는 전망을 제시하고 있다. 이러한 세계시장은 우리의 전력저장시설이 확충되어야 하고 기술이 확립되어야 하는 또 다른 이유가 될 수 있다.



<그림 7. 전력저장의 세계시장 전망 (단위: 백만불, Visiongain, 2010)>

5. 맺음말

불과 0.04%의 온실가스 농도에 지구의 변화가 감지되고 온실가스 농도 0.08% 예측에 몸살을 앓고 있다. 그러나 지구는 무한한 자정능력을 갖고 있어 기후변화를 야기하면서 능동적으로 살아간다. 공룡이 번성하고 멸망 하듯이 많은 생물이 생겼다가 사라지는 지구의 역사가 이를 증명하고 있다.

하지만 대기를 마시고 대지를 딛고 살아가는 인간은 독감으로 몸져 눕기 직전이다. 편리함이 주는 에너지 소비의 결과는 부메랑으로 돌아와 삶을 고통으로 이끌고 있다. 몸살이나 독감으로 끝날 수 있다면 다행이라 느껴지기도 한다.

그래도 인류는 비록 수동적이지만 이에 대처하려는 의지와 능력이 있다. 현재의 산업발전을 저지하는 에너지 소비를 줄일 수도 없는 노릇이기에, 온실가스 농도를 저감할 수 있는 기술을 고안하고 있다. 이에 듣지도 보지도 못했던 새로운 에너지 용어들이 많이 생겼으며, 일상생활이나 산업기술에 많은 변화가 일어나고 있다.

즉 ‘Paradigms Shift’가 이루어지고 있는 것이다. 전기자동차나 손 안에서 애용되는 모바일 전자제품의 배터리 수명이 일주일이고 한 달이 된다면 정말 획기적인 것이다. 이는 사용자에게는 로망이고, 개발자에게는 신의 선물이 될 것이다. 그러나 전력을 직접 저장하여 생활을 매우 편리하게 하는 배터리의 저장용량에는 아직까지 한계가 있다.

핵발전소에서 발생하는 사용 후 연료는 중간 저장이 한계에 이르러 있다. 장시간 건설이 필요한 영구 처분은 계획이나 일정조차 결정되지 않고 있다. 에너지 저장을 위해 서울 주변의 명산들을 파헤친다는 것은 또 다른 환경오염을 유발할 가능성은 있다하더라도, 지역의 정전사태를 고려한다면 전력의 지하저장은 에너지 효율을 실현할 수 있는 좋은 방안이 될 수 있다.

전력의 민영화와 지방자치 제도가 정착된 지금 상황에 에너지 사용에 따르는 문제점을 어떻게 대처하는가는 우리 시민의 몫이다. 우리 집 근처에 각종 에너지 시설이 구축되는 것은 에너지 사용과 함께 이제는 선택이 아닌 필수 사항이 되었다.