

고효율화 기술이란?

에너지 위기를 타개하기 위한 대책은 신재생 에너지의 발굴보다는 기존 화석연료의 절약 및 고효율 사용에 있음을 보였다. 이를 위하여 필요한 구체적 대책들을 에너지 절약 방안과 에너지 품질의 향상이라는 두 가지 측면에서 논의하였다.

송 태 호 한국과학기술원 기계공학과, 교수

e-mail : thsong@kaist.ac.kr

세계 에너지 현황의 개괄

그림 1을 보면 근래 세계의 에너지 사용량을 알아 볼 수 있다. 2010년에는 약 860억 boe(오일환산 배럴, 1boe=581만 Btu) 가량의 에너지를 사용할 것으로 예상되며, 이중 석탄 및 석유가 각각 25%, 35% 가량의 소비를 담당하는 것으로 추정되고 있다. 이중에서 우리나라의 에너지 비율은 세계 총량의 약 2%를 차지하고 있다. 에너지 소비량은 근자에 들어 BRICs 제국의 경제개발과 함께 급격히 증가하는 추세를 보이고 있는데, 향후 20년 내에 세계 에너지 소비량이 1,200억 boe를 넘어설 것으로 예상된다.

이와 같은 에너지 수요의 급격한 증가는 이미 2008년도 초반의 원유가 파동에서 경험한 바와 같이 감당할 수 없는 에너지가 양등을 불러올 것이 예상된다. 그 원인은 우리의 생활 및 산업구조가 급격한 유가의 변동에 탄력적으로 대처할 수 없다는 데에 있는데, 참고문헌 2의 연구는 2008년도 전후, 유가에 대한 가격탄력성을 그 이전의 유가안정기에 비하여 훨씬 낮은 0.06으로 평가하고 있다. 이 말은 에너지 수요가 40%가 증가한다면, 가격은 무려 6 내지 7배 가량으로 급증한다는 것인데, 현재 세계적으로 에너지에 소비하는 비용이 전체 GDP의 10% 가량이 됨을 생각해 보면, 향후 에너지 수요 증가분이 40%가 되면, GDP의 절반 가량이 에너지 구입에 쓰여야 한다는 말이 된다. 따라서 그

이전에 사실상 경제성장의 한계에 부딪쳐 버리게 된다. 이러한 데이터는 장래의 세계 경제와 정세에 대

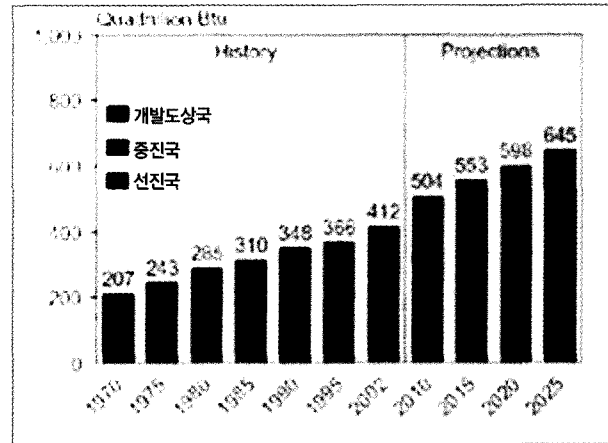


그림 1 세계 에너지 소비량의 추이

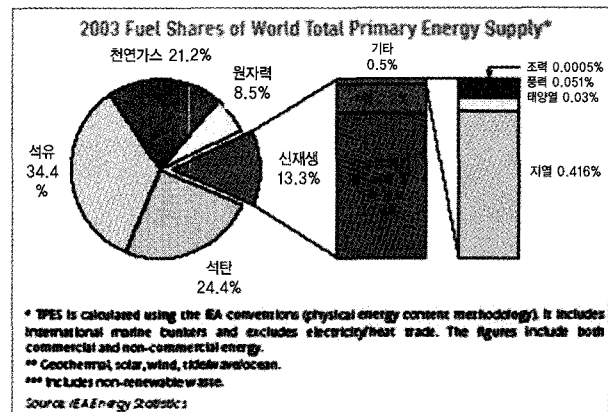


그림 2 세계 에너지 생산의 자원별 비율

해 매우 비관적인 예측을 하게 하는 동시에 근래 일고 있는 대체에너지에 대한 개발 붐의 동기를 한편 동감하게 한다. 그림 2¹⁾를 보면 2003년도 에너지원의 비중이 나타나 있는데, 주된 에너지 소스는 대부분 화석연료임을 알 수 있다. 특히, 재생 가능한 에너지로 표기된 13.3%의 대부분이 저개발국에서 사용하는 목재와 가축 배설물이고, 실제로 광역적으로 보급될 수 있는 조력, 풍력, 태양열의 경우는 전체 에너지 수급의 0.05%에 지나지 않는 작은 부분만을 공급하였다. 이러한 비율을 매년 2배씩 성장을 시킨다고 하여도 기여도 10%에 다 다르려면 7.5년의 기간이 필요하고, 더욱이 태양열로 한국의 에너지 소요량(2010년 기준 약 15억 boe/년= 3억kW)을 전부 태양열로 충당한다고 하면 유효집열능력을 태양열 조사량의 5%로 취한다고 할 때, 무려 30,000km²의 면적을 태양전지로 깔아야 한다는 계산이 나온다. 이것은 구름에 의한 태양열감쇠를 70%로 보고 최근의 고효율 태양전지를 기준으로 했을 때의 추정치이다. 경제적 타당성, 공해 등을 모두 감안하면 태양열과 풍력, 조력이 주역이 되기는 거의 불가능하다. 또한 수력, 지열 등은 일부 지역에 작은 양이 분포하여

확대재생산이 어렵다.

한편 관심을 끄는 것이 원자력인데, 필자가 다수의 자료로부터 취사하여 평균적으로 얻은 표 1의 데이터를 참조하면 원자력은 우리나라의 매장량이 그다지 많지 않을 뿐만 아니라, 최종 생산물이 전체 에너지의 10% 정도를 차지하는 전기 에너지이고, 또한 고속증식로의 기술적 문제 해결이 아직 요원한 상황에서 여기에 전적으로 장래를 담보하기가 어렵다. 따라서 향후 수백년간 여전히 화석연료에 의존해야 하는 상황인데, 표 1에서 눈길을 끄는 가스 하이드레이트는 개발에 따른 기술적 어려움이 고속증식으로 못지 않다는 점을 고려하면 향후 한 두 세대 안에 사용할 수 있는 에너지는 아니라는 점을 염두에 두어야 한다.

이와 같은 논의의 결론은 새로운 에너지원에 대한 우리의 갈망과는 달리 향후 더 많은 에너지를 사용하기는 상당히 어려울 것이라는 것을 예단하게 한다. 여기에 더욱 힘을 실는 것이 지구온난화를 염려한 이산화탄소 배출 규제이다. 교토의정서로 대표되는 이 규제가 과연 기후변화를 막기 위한 유효한 조치인가에는 많은 과학적 반론이 있을 수 있다. 그러나 이 문제는 과학적으로 다루기 이전에 이미 정서적이고 정치적인 문제로 변화하였고, 상기 의정서는 그러한 정치적 결론의 산물이다. 이 규제를 앞으로 중국 및 미국이 준수할 것인가 여부도 단언하기는 어렵다. 현재 분명한 것은 교토의정서를 준수하려고 노력해야만 한다는 것이며, 따라서 화석연료 이외의 대안이 사실상 없는 마당에 이산화탄소 배출 규제를 해야 한다면, 에너지 소비를 줄이는 것만이 대안임을 알 수 있다.

이러한 결론은 자칫 암울한 미래를 연상케 할 수도 있다. 지금까지의 인류의 발전공식은 '경제 발전=에너지 소비의 증가'라는 등식에 입각해 왔다고 해도 과언이 아니기 때문이다. 그러나 이제는 이러한 패러다임의 변화를 생각해 보아야 할 때가 되었다. 이것은 옷을 더 많이 두껍게 입는 것이 더 좋은 의생활을 하는 것이 아니고, 음식을 많이 먹는 것이 향상된 식생활이 아닌 것처럼, 에너지의 소비에 있어서도 더욱 적절하고 고급스러운 소비를 행할 때에 생활이 향상된다는 생각을 할 필요가 있다. 이러한 점에서 에너지의 고효율화는 현시점에서 가장 시급한 발상의 전환 화두가 될 터

표 1 에너지 매장량 추정치(단위: 조 boe)

자원	석탄	석유	천연 가스	오일 셸	오리 멀전	가스 하이 드레 이트	가스	좌측	기준	핵융
매장량	14	3	0.5	14	1	50	83	0.6	무한	무한

주 1) 오리멀전은 베네수엘라의 오일샌드 상품명
 주 2) 우리나라는 고속증식 시 36조 boe 상당

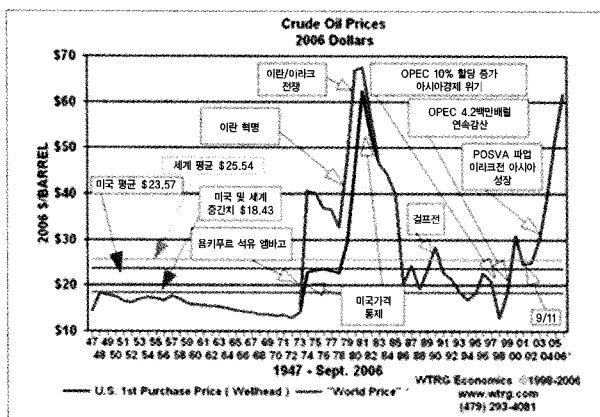


그림 3 원유가의 변화추이

인데, 에너지 고효율화의 구체적 면면을 살펴보기 전에 역사적 배경을 또한 고찰하여 보자.

에너지 소비량이 그대로 생활수준의 척도가 되었던 이유는 특히 석유로 대표되는 양질의 에너지를 매우 싼 값에 구할 수 있었기 때문인데, 그림 3은³⁾ 2차세계대전 이래 21세기 초반까지 선진국의 1인당 GNP 상승비율보다 훨씬 낮은 유가 상승을 보이고 있다. 참고로 미국의 경우 동기간 1인당 GNP가 50배 가량 증가하였고 유가는 최근까지 감안해도 겨우 5배 정도 상승하였다. 그러므로 사람들의 생활에서 유가가 차지하는 중요도는 오히려 감소되었고, 에너지 자체의 고효율화는 이루어지지 않은 채로 에너지를 사용하는 자동차, 건물 등만이 고급화되고 또한 대형화되었다. 이것은 과거와는 달리 현대에 들어 많은 물에 대한 투자가 대량으로 이루어지는 것과 비견할 수 있는 것으로 에너지에 대해서도 유사한 연구개발 및 투자가 이루어져야 함을 유추할 수 있다.

그러면, 에너지의 고효율화를 의논하기 위해서 먼저 우리에게 필요한 에너지의 양은 최소한 얼마나 되어야 하는지를 생각하여 보자. 우리 몸을 따뜻하게 유지하기 위하여 필요한 난방에너지는 최대 100W를 넘지 않는다. 이것을 위하여 우리는 집안 전체를 난방하느라 10kW가량을 사용한다. 그리고 우리가 이동을 하기 위하여 필요한 에너지는 자전거를 생각할 때에 100W에 지나지 않는다. 그런데, 실제 자동차는 대당 평균 10kW가 넘는 출력을 사용한다. 또 한편 집안의 조명 기구도 우리가 실제로 빛 에너지로 사용하는 효율은 수 퍼센트를 넘지 않는다. 그럼에도 한국의 경우 일인당 에너지 소비량은 평균 7kW나 되어서 최소 요구량의 10배 이상이 됨을 알 수 있다. 이렇게 생각해보면, 우리가 에너지를 절약하고 효율적으로 쓸 수 있는 여지가 무궁함을 알 수 있다.

그림 4는 사람들이 사용하는 에너지를 최종 사용처를 기준으로 분류해 본 것이다⁴⁾. 교통에 대략 1/4의 에너지를 사용하고, 가정과 공공 및 상업시설에 1/3, 산업부문에 1/3 가량을 사용하며, 원자재로 사용하는 비율은 5%에 지나지 않음을 알 수 있다. 이 분류는 최종 사용처를 기준으로 행한 것이므로, 산업 현장의 공정에서 사용한 것과 사무실에서 냉난방으로 사용한 것

이 함께 묶여 들어가 있고, 가정의 냉난방과 병원의 냉난방이 합해서 얼마나 되는지도 알 길이 없다. 다만, 대략적으로 추정하면, 거의 1/2 가량의 에너지가 건물 에너지, 특히 절대적으로 많은 부분을 난방용으로 사용되고 있는 것으로 추정하고 있다⁴⁾. 따라서 에너지 소비를 합리적으로 줄이기 위해서는 건물 에너지, 수송 에너지, 공정 에너지의 절약기술이 매우 중요하고, 또한 이에 못지 않게 에너지 품질의 고급화가 매우 중요함을 알 수 있다. 이 두 가지 주제를 고효율화 기술로 묶어서 각각을 조금 더 분류하여 보기로 하자.

에너지 절약 기술

앞서 논의한 바와 같이 가장 에너지를 많이 소비하는 분야는 건물, 수송, 공정의 분야이다. 따라서 이 분야에 대하여 간략하게 에너지 절감 기술을 생각하여 보자.

건물의 에너지는 냉난방, 가전, 조명, 기타 엘리베이터 등에 주로 소비되는데, 그 중에서도 냉난방이 가장 커다란 부분을 차지한다. 특히, 지구상의 인구가 북반구의 온대 지역에 크게 집중하여 있어서, 겨울의 난방 에너지 수요가 무엇보다도 큰 비중을 차지하고 있다. 따라서 난방부하를 줄이기 위한 노력이 단열, 기밀성 향상, 환기열회수 등을 통하여 이루어져야 한다. 한편, 지역적으로 그리고 시기적으로 수급이 합리적인 조건하에서는 필요한 난방에너지를 열병합발전 등을 통하여 저렴하게 공급하는 방안도 실천되어야 한다. 기후 조건이 적절한 곳에서는 히트 펌프의 적용도 고려될 수 있는데, 냉방기와 마찬가지로 그 효율을 높이는 기술이 지속적으로 개발되어야 한다. 부차적인 건물에너지로서 냉장설비의 경우에는 진공단열재를 적용하여 냉각 부하를 크게 줄일 수 있으며, 조명의 경우에는 LED의

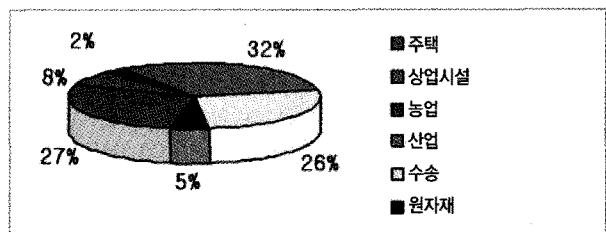


그림 4 에너지 사용처별 분류

사용가능성을 높여야 한다.

한편, 난방에 있어서 국부적으로 필요한 부분에 난방을 하는 방안이 보다 적극적으로 강구될 필요가 있다. 예를 들어서 기존의 덕트 난방 방식은 층고가 높은 강당, 체육관 등의 건물에 있어서 심각한 성층화문제를 일으키므로 바닥을 향한 복사 혹은 온돌난방 방식을 채택하면 이러한 문제도 사라지고 에너지도 절약된다. 이 방식을 온실에 적용하면 식물의 온도를 충분히 높게 유지하면서도 공기온도는 낮아서 전체적인 열손실을 매우 작게 유지할 수 있다. 또한 이러한 방식을 도장건조공정 등에 이용하면 공정결과가 뛰어나고 에너지도 절약되는 효과가 있다. 제한적으로 냉방의 경우에도 국부 냉각이 더 효과적인 경우도 있다.

수송의 경우에 있어서, 디젤, 하이브리드, 연료 전지, 전기 자동차 등 다양한 대안이 나오고 있고, 어느 것이 최적이 될지 알 수 없는 상황이다. 각각에 대한 치밀한 분석이 필요하다고 하겠으며, 여기에는 동력원의 효율뿐 아니라, 연료의 변환효율, 동력장치의 중량, 항속거리 등을 종합적으로 검토하여야 한다. 또한 충전식 전기차의 경우 난방용 폐열을 얻을 수 없으므로 이에 대한 대책-예를 들어, 고효율 단열재를 쓰거나, 전기 자동차용 지하도로를 건설하는 등의 방법으로- 고려해야 하고, 교통체제의 개선, 차체의 경량화, 이에 따른 안전성의 확보 등의 문제도 해결되어야 한다. 비슷한 맥락에서 해운 및 항공에서의 에너지 문제도 다양하게 다루어져야 한다. 특히, 해운의 경우에는 저온 탱크 기술이 또한 중요한 에너지 문제를 제시하고 있다.

끝으로 각종 공정의 경우를 살펴보면, 그 다양한 특성상 한 두 가지 기술로 요약할 수는 없으나, 우리나라의 에너지 원단위가 2004년 기준 0.36TOE/USD로서 이웃 일본에 비하여 3배 가량 높고⁶⁾, 특히 철강, 유리, 화학 플랜트 같은 분야에서 소비량이 많아서 동 분야에서의 에너지 절감이 시급하다. 또한 근래에 우리나라의 플랜트 수출량이 빠르게 증가하는 추이를 감안하면, 화력 플랜트, 담수화 플랜트 등의 수출분야에 있어서의 에너지 고효율화도 절실하다 하겠다. 다행한 것은, 우리나라의 엔지니어링 수준이 상당히 높으므로, 각 해당 분야의 전문 엔지니어가 각자 맡은 분야에서 많은 개선을 할 것으로 기대되는 바이다. 다만, 그런 하우

스 농업이 많은 국내의 사정상, 농업분야의 에너지 절감은 국가적 연구개발을 통하여 수행되어야 한다고 생각된다.

에너지 품질의 향상

에너지의 품질은 다양한 각도에서 생각하여 볼 수 있다. 그것은, 동력 대 열, 고온열 대 저온열, 발열량, 상(phase), 연소성, 휴대성, 공해 및 유해성 등의 다양한 관점이 있을 수 있다. 일반적으로 보자면, 동력은 열보다 고급 에너지이고, 저온열은 고온열보다 부가가치가 크다. 또한, 발열량이 큰 것이 더 좋고, 액상 및 기상의 것이 고상보다 선호된다. 이것은 연소성의 관점에서 그러한 것인데, 휴대성을 보자면, 액상이 가장 선호된다. 전기의 경우를 보자면, 배터리에 휴대된 에너지 1kWh는 고정 전원의 경우보다 1,000배 이상의 가치를 지니고 있다. 그리고 사람이 직접 휴대하는 난방열? 예를 들어 손난로 등-의 에너지 1kcal는 거시적인 실내난방 100kcal 만큼의 효과를 가지고 있다. 또한 화석연료의 경우 배출되는 공해물질과 이산화탄소량을 기준으로 평가되기도 한다. 그러므로, 에너지의 품질을 향상시키는 데에 그 척도가 다양할 수 있고, 그 경제적 부가효과 또한 엄청나게 커질 수 있다. 그 판단기준이 다양한 만큼, 일률적으로 에너지 품질의 효율화를 논할 수는 없으나, 가장 역점을 두고 개척하는 기술들을 가지고 논의를 해 보면, 다음과 같은 것들을 생각해 볼 수 있다.

우선, 연료의 부가가치를 높이기 위해서 증유, 피치 등을 크래킹하여 휘발유 등의 고급유로 변환시키는 공정을 활발히 운용하고 있다. 기술적으로는 이미 정착된 기술이지만, 생산에 따른 경제적 최적화가 아주 중요하다고 할 수 있다. 이와 함께 석탄 액화 및 석탄 가스화도 시장에서 경쟁할 것으로 예상된다. 또한 오리멸전과 같은 에너지원이 심각한 대기오염으로 시장에서 외면당하고 있는 것을 생각하여 보면, 이미 수입된 에너지원에 대해서도 탈황 등의 저공해연료로 개선하는 공정도 고효율화의 좋은 예가 된다. 한편으로는 기존의 '좋은' 연료를 이산화탄소 배출량을 줄이거나, PEMC 연료전지 등에 적용하기 위하여 개질하는 경우도 생각해 볼 수 있는데, 이것들은 아직 시장성을 논의하기에는 이

른 기술로 보인다.

휴대성이 높은 에너지로서 배터리에 저장된 전기 에너지를 생각해 볼 수 있는데, 불행히도 현재의 축전지 기술은 화석연료에 비하여 단위무게당 저장 에너지의 양이 수백 분의 1 정도로 낮다. 이것은 화석연료의 경우 공유결합 전자의 에너지 준위가 배터리 용액의 그것보다 훨씬 클 뿐 아니라, 단위 질량당의 참여 전자의 개수가 또한 많다는 이유로 인한 것인데, 이러한 자연의 조건이 깨어지기는 어려울 것으로 보아, 현재의 제한 조건을 다소 향상은 시킬 수 있으나, 혁신적 개선은 어렵다는 전제하에서 향후의 배터리 개발 및 적용이 시도되어야 할 것이다. 따라서 노트북 PC에 경량의 리튬 이온 계열 배터리를 사용한다고 해도 향후의 개선 사항은 저전력 회로와 디스플레이를 개발하는 데에 집중하는 것이 아마도 더 현실적일 것이고, 충전식 전기자동차의 경우도 기존의 내연기관 자동차와 직접적 경쟁을 하는 것보다는 다른 개념으로 접근하는 것이 옳을 것으로 예측된다.

한편으로는 내연기관을 개선하기 위한 방안으로서 연료에 수소를 첨가하여 연소성을 향상시키거나, 플라즈마를 적용하여 배기가스 산화질소를 감소시키는 등의 방안도 성공적으로 시도되고 있다. 이러한 것은 에너지의 직접적인 절약 방안은 아니지만, 결과적으로는 수소첨가의 경우 엔진출력 향상에 따른 엔진소형화로 인하여 간접적으로 에너지가 절약되고, 플라즈마 응용의 경우 산화질소가 줄어들어서 연료품질이 향상된 것과 동일한 효과를 준다.

에너지의 최종 사용결과로서의 제품 품질에도

관심을 쏟아야 한다. 예를 들어서 많은 에너지를 들어서 실내를 난방한 경우를 생각해 보자. 건물의 단열상태가 열악한 경우, 매우 많은 열 에너지를 동원하면 그 실내온도를 적절히 유지할 수는 있다. 그러나 그렇게 하기 위해서 실내의 공기순환을 매우 활발하게 해야 하고, 창문에는 결로가 되어 실내 공기가 건조해지며, 벽으로는 외풍(cold drift)이 심해져서 유효하게 사용할 수 있는 실내 면적이 줄어들게 된다. 따라서, 열 에너지를 얼마나 쓰느냐 하는 문제 못지 않게, 온도 분포, 기류, 습도, 위생성, 소음, 창외 가시성 등의 종합적인 문제가 에너지 사용 결과의 품질에 직결된다. 마치 좋은 식생활이 섭취한 칼로리만 갖고 평가되지 않는 것처럼, 에너지 소비에 있어서도 이러한 종합적 품질이 향상될 때 비로소 좋은 에너지 생활을 하였다고 말할 수 있게 되는 것이다. 지금은 그러한 발상이 필요한 시점이며, 이러한 점에서 근간의 에너지 위기는 일면, 좋은 전환적 기회를 제공하고 있다고 생각되는 바이다.

참고문헌

- (1) International Energy Annual 2002, DOE/EIA-0219(2002), Washington DC, 2004.
- (2) http://dss.uscd.edu/~jhamilton_oil_shock_08.pdf
- (3) WTRG Economics, www.wtrg.com
- (4) Energy Trends 2003, www.berr.gov.uk
- (5) www.theoil Drum.com/node/5034
- (6) 지식경제부, 제13차 국가에너지절약추진위원회 자료, 2006.

기계용어해설

물 브레이크(Water Brake)

펠턴 수차에서 노즐로부터의 물의 분출을 정지시켜도 지속되는 회전을 신속히 정지시키기 위하여 버킷 바퀴의 반대 방향에서 물을 분출시켜 제동을 거는 노즐 장치.

수주(水柱; Water Column)

물의 높이로 유체의 정압, 동압, 총압을 나타내는 것처럼 유리관을 수직으로 장치했을 때 그 속으로 차오르는 물의 기둥.