

수소 경제와 원자력

박 창 규

한국원자력연구소 소장



나는 오늘 우리가 경험하고 있는 에너지 패러다임의 변화와 그 변화 속에서 우리 원자력계가 나아가야 할 방향에 대해서 말씀 드리고자 한다.

기존 에너지 정책의 문제 - 트라이레마(Trilemma)

딜레마(Dilemma)가 두 가지 사안이 얹힌 것이라면, 트라이레마(Trilemma)는 세 가지가 얹힌 것

이다.

세계는 21세기를 시작하면서 경제(Economy)와 환경(Enviro-nment) 그리고 에너지(Energy)의 세 가지 난제를 동시에 해결해야 하는 트라이레마에 처해 있다.

지금까지는 별개의 사안인 것처럼 논의가 되어 왔으나, 이제부터는 이 세 가지를 동시에 고려하여야만 되는 시대가 온 것이다.

지금과 같이 자원 의존형 에너지인 석유·석탄·천연 가스 등에 주로 의존하는 에너지 정책은 더 이상 우리 경제의 지속 성장을 약속하기가 어렵게 되었다.

주지하시다시피 우리나라는 에너지 자원이 거의 없다. 97%를 외국에서 수입하고 있다.

수입하는 에너지를 금액으로 환산하면 2004년도에 498억 달러에 달하며, 이는 우리나라 총수입액인 2,245억 달러의 22.1%를 차지한다.

우리 경제의 성장에 따라 당분간은 에너지 수입량이 지속적으로 증가할 것으로 전망이 되고 있다. 특히 석유의 경우, 전체 수입량의 70~80%를 지정학적으로 매우 불안한 중동 지역에 의존하고 있어서 가격 변동이 심하고, 가격 변동이 예상되더라도 우리가 취할 수 있는 조치는 거의 없다는 것이 우리의 현실이다.

에너지 경제학자들은 전 세계의 중동 석유 의존도는 갈수록 늘어날 것으로 예측하고 있으며, 우리의 경우도 예외는 아닐 것이다. 우리의 경제가 불안한 국제 정세의 종속 변수가 되어서는 안되겠다.

현재 우리가 쓰는 에너지의 84%가 화석 연료인 석유·석탄, 그리고 천연 가스 등이다. 학자들 사이에 약간의 의견 차이는 있지만, 석유는 2010~2020년, 그리고 천연 가스는 2020~2025년, 경제 생산량이 정점에 도달할 것으로 전망을 하고

있다.

지구물리학자인 Dr. M. King Hubbert의 이론에 의하면, 화석 연료는 그 생산량이 정점에 이르면 시장 가격의 폭등으로 나타난다고 한다. 최근의 유가 급등 현상이 어느 정도 그 이론의 신빙성을 증명해 보이고 있다.

그러나 과도한 화석 연료 위주의 현 에너지 공급 체계의 가장 큰 문제는 가격이 아니라 고갈이다. 아무리 비싼 값을 치르더라도 에너지 구매 자체가 어려워진다는 점이다.

화석 연료 위주의 에너지 소비가 가져다주는 또 하나의 문제는 환경의 문제이다. 화석 연료는 모두가 탄산 가스를 배출하고 있기 때문에 에너지만 수입하는 것이 아니라 공해 물질도 같이 수입하는 셈이다.

뿐만 아니라 교토의정서가 2005년 2월 16일 발효되었다.

우리나라는 본 의정서를 지난 2002년 11월에 비준한 바 있으며, 따라서 머지않아 환경을 고려하지 않은 산업 제품은 수출을 하기도 어렵게 되어 간다. 우리의 수출 대상이 되는 대부분의 나라에서는 수입을 규제할 전망이다.

영국 런던에서는 이미 탄산 가스 배출권을 사고파는 시장이 형성되어 있으며, 현재 시세로 탄산 가스 1톤당 평균 약 6\$에 거래되고 있다.

탄산 가스를 처리하는 비용이 톤당 약 200 달러 정도가 된다고 하

니 배출권의 상한선도 이 정도까지 올라갈 수 있을 것이다.

우리나라는 우리의 경제 규모와 비슷하게 탄산 가스 배출량도 세계 10위권이며 국토가 매우 작아서 면적당 탄산 가스 배출량은 세계 1위이다.

우리나라의 경제 구조는 수출을 중심으로 하고 있기 때문에, 환경 규제에 따른 수출 상품의 국제 규제가 강화되면 우리나라 경제는 거의 치명적이라 할 수가 있다.

우리나라가 잘 살기 위해서는 경제가 발전해야 하고, 경제가 발전하려면 당연히 에너지를 많이 사용해야 하는데, 현재와 같은 화석 연료 중심의 에너지를 많이 쓰다보면 환경 피해는 물론이고 경제의 지속성도 어렵게 되어 오히려 삶의 질을 떨어뜨리는 모순이 발생하게 된다.

이와 같이 이제는 경제와 환경과 에너지의 문제는 불가분의 관계가 되었으며, 이러한 트라이레마의 문제를 해결하기 위해서는 새로운 에너지의 패러다임이 요구된다.

새로운 에너지 패러다임 - 수소 경제의 등장

인류의 에너지 변천사를 보면 목재·석탄·석유 그리고 천연 가스 순으로 단위 질량당 탄소가 줄어들고 수소가 늘어나는 쪽으로 변화하여 왔다.

에너지의 형태도 고체에서 액체로 그리고 기체로 변화되어 왔다. 즉, 점차 깨끗하고 사용이 편리한 쪽으로 움직여 왔다는 것이다.

이러한 에너지 역사적 측면에서 미래 에너지를 전망해보면 당연히 수소라는 에너지원에 도달하게 된다.

최근 들어 정부는 화석 연료 위주의 에너지 정책을 탈피하기 위한 정책으로써 수소 경제로의 조기 진입을 추진하고 있다. 2020년경이 되면 전체 최종 에너지 소비의 10%대를 수소가 담당하게 되어 수소 경제 시대가 도래할 것이라고 한다.

이는 앞에서 지적한대로 미래의 모든 경제 활동이 환경 친화적이어야 할 뿐만 아니라 조만간에 나타날 것으로 예상되는 화석 연료의 고갈에 가장 크게 기인한다.

물론 수소 경제 시대에도 화석 연료가 완전히 사라지는 것은 아니다. 20세기를 석유 경제라고 명명했지만 산업 혁명 이후 사용되어온 석탄이 계속적으로 중요한 에너지원으로 사용되어온 것과 마찬가지로 일 것이다.

수소 경제의 문제는 우리만의 문제가 아니고 전 세계적인 에너지 역사의 큰 흐름이다. 주요 선진국은 이러한 에너지 역사의 전환점에서 많은 준비를 하고 있다.

가장 적극적으로 나서는 나라가 미국이다. 미국은 2003년 1월 말, 부시 대통령이 연두교서(State of

the Union)에서 에너지 자립을 천명한 이후, 정부가 주도하고 산업계, 학계, 국립 연구소들이 협력하여 수소 에너지 인프라 구축에 적극적으로 나서고 있다. 향후 5년간에 걸쳐서 17억 달러를 투자할 예정이다.

수소의 생산에서부터 수송, 저장 및 활용에 이르는 모든 분야에서 세계적으로 기술적 우위를 차지하겠다는 정책으로, 수소를 통하여 에너지 자립을 이루고, 세계기후변화협약에도 대처하고, 관련 에너지 산업에서도 세계적 우위에 서겠다는 구상이다. 일석삼조인 셈이다.

미국은 2010년까지 수소 자동차의 상용화를 완료하고, 2020년까지는 현재 전기 생산으로 인해 발생하는 탄산 가스를 80% 감축하며, 2040년이 되면 외국에서 수입하는 석유를 더 이상 수입하지 않겠다는 정책 목표를 세워 놓고 있다.

미국뿐만이 아니라, 유럽연합, 일본, 아이슬랜드 등에서도 수소 관련 기술 개발을 중요 과제로 추진중에 있다. 유럽연합에서는 지난 2003년부터 2006년 사이에 총 20억 달러를 투자할 예정이다.

2002년 4월, 일본의 고이즈미 총리는 각료 간담회에서 "산업 경쟁력 관점에서 일본이 세계에서 가장 앞서서 연료 전지 자동차의 조기 실용화를 실행하는 것이 중요"하다고 강조하고, 앞으로 시판될 연료

전지 자동차를 정부에서 대규모로 출산하여 도입하겠다고 밝힌 바 있다. 일본은 2020년까지 24억 달러를 투자할 예정이라고 한다.

아이슬랜드에서는 국가의 모든 에너지를 수소로 바꾸는 정책을 채택하였다. 현재 35%에 달하는 화석 연료 사용을 수소 에너지로 완전 대체하는 5단계 시나리오를 만들었으며, 2030년경에 완료할 것으로 예상된다.

수소 에너지로 가는 길 - 공짜는 없다

지금의 화석 연료, 특히 석유 중심 경제 체제에서 수소 중심 체제로 옮겨가기 위해서는 해결하여야 할 일들이 많다. 기술적인 문제와 경제적인 문제로 크게 나눌 수가 있다.

기술적인 문제에는, 수소를 대대적으로 활용하는 데 따르는 일반적인 안전성의 문제와, 수소의 생산, 저장, 수송 및 활용의 전 과정에 걸쳐 발생할 수도 있는 환경적인 문제가 있다.

경제적인 문제에는 수소 생산 단가를 기존의 에너지와 경쟁할 수 있는 수준으로 낮추어야 하는 문제와, 사회 인프라가 수소로 바뀌어짐에 따라 들어가야 하는 사회 간접 비용의 증가가 있다. 수소는 원소 중에서 제일 가벼운 원소이기 때문에, 수소를 활용하는 동안 누설이 발생

하더라도 공기 중으로 날아가 버려서, 현재 많이 사용하고 있는 천연가스나 LPG 가스에 비해 안전하다고 말할 수 있다.

물론 날아간 수소가 많을 경우 오존층을 파괴할 수도 있다는 주장도 있다. 그러나 밀폐된 공간에서 수소의 농도가 올라가게 되면 폭발할 가능성이 있기 때문에 저렴한 가스 누설 검출기의 개발, 누설 가스의 간편한 제거 방법의 개발 등 안전성 관련 연구 개발은 더욱 더 필요하다고 하겠다.

수소는 우주 중량의 75%를 구성하고 있는 가장 흔한 원소이지만, 홀로 존재하지 못하고 산소나 탄소 등과 결합한 형태로 존재한다.

수소가 산소와 결합하면 물이 되고, 탄소와 결합하면 탄화수소가 되는데, 탄화수소의 예가 바로 석유나 천연 가스 등 화석 연료이다. 따라서 수소를 얻기 위해서는 산소나 탄소와의 결합을 떼어 내야 한다.

이런 결합을 어떻게 떼어 내느냐에 따라서 수소 생산 방법이 달라진다. 현재로서는 탄화수소에 뜨거운 수증기를 붙여넣어 수소를 분리해내는 증기개질법이 가장 경제적이어서, 세계적으로도 가장 많이 쓰이고 있다.

또 다른 방법으로는 물의 전기 분해가 있다. 그러나 전기 분해 방법에서는 전기를 만드는 과정에서 쓰이는 에너지가 화석 연료라면 필연

적으로 탄산 가스와 같은 공해 물질이 배출될 수도 있다는 점을 주의해야 한다.

수소 경제의 배경은 화석 연료의 고갈과 화석 연료 사용이 가져오는 온실 가스 배출 방지에 있다. 따라서 수소 생산을 위해 더 많은 화석 연료를 사용하고 온실 가스를 배출하는 우를 범해서는 안 될 것이다.

이러한 관점에서 수소 경제 시대의 본질적인 에너지 사이클은 비화석 에너지와 물의 결합이어야 한다. 즉, 탄산 가스를 방출하지 않으면서 거의 무한정 사용이 가능한 지속 가능한 에너지를 사용하여 물로부터 수소를 만들고, 수소는 우리에게 생활에 편리한 에너지를 전해주고 다시금 물로 돌아가는 선순환 사이클이어야 한다.

이러한 지속 가능한 에너지원으로서 태양열·풍력 등 기술 중심의 에너지원과 같은 재생 에너지와 원자력이 있다.

정부와 국민들의 적극적인 노력에도 불구하고 재생 에너지의 대폭적인 확대 사용은 아직 많은 한계점을 가지고 있다. 최근 활발하게 진행되고 있는 재생 에너지를 이용한 수소 생산 방법은 크게 세 가지로 요약할 수가 있다.

첫 번째는 태양력 등을 이용하여 전력을 생산하고 이를 다시 물의 전기 분해에 활용하는 방법이며, 둘째는 미생물 등의 바이오 기술을 이용

하여 식물로부터 수소를 직접 분해하는 방법, 그리고 마지막으로 TiO_2 (이산화티탄)와 같은 광촉매를 이용하여 물을 직접 분해하여 수소를 얻는 방법이다.

이와 같은 방법으로 수소를 생산하면 친환경적이며 자원 고갈의 염려가 없으므로 가장 이상적인 방법이 될 것이다.

그러나 현재 연구가 진행되고 있지만 여전히 수소 생산 비용이 다른 방법에 비해 너무 비싸며, 우리의 경우 지역적 제약성 때문에 그 생산량도 매우 제한적이다.

따라서 경제성이 일부 좋아진다고 하더라도 재생 에너지에 의한 수소 생산은 상당 기간 소규모의 지역적 자급 수준이지 수소 경제를 이끌고 갈 수 있는 대량 생산과는 거리가 있을 것이다.

원자력 수소 - 현실적인 대안

재생 에너지에 의한 수소의 생산 능력은 2030년대가 되어도 10~20%선을 넘기가 힘들 것이다. 그렇다면 그 나머지가 문제이다.

가장 현실적인 대안은 원자력의 역할 확대를 통한 대량 수소 생산이다.

원자력을 이용하여 고온의 열을 얻고, 이 고온의 열을 이용하여 물을 직접 분해하면 대량의 경제성 있는 수소를 생산할 수 있다.

원자력 중에서 고온의 열을 가장 손쉽게 얻을 수 있는 방법이 고온가스로라는 원자로이다. 고온가스로는 미국·독일·영국 등에서 이미 운전 경험이 있고, 일본·중국 등은 최근에 원자력 수소 생산용 실험을 위해 건설운전중이다.

그리고 남아프리카공화국에서는 전기 생산을 위해 고온가스 상용로를 건설중에 있다. 뿐만 아니라, 우리나라를 비롯하여, 미국·캐나다, 영국·프랑스·스위스·일본·남아프리카공화국·브라질·아르헨티나 등 10개국이 모여, 보다 높은 열을 생산할 수 있는 초고온가스로(VHTR)를 개발중에 있다.

초고온가스로는 지속 성장 가능성, 핵확산 저항성, 경제성 및 안전성 측면에서 기존의 원자로보다 획기적인 개선이 기대되는 제4세대 원자력 시스템이다.

원자력 수소 생산으로 우리나라의 사용이 많아지더라도, 핵비확산 핵연료 주기 기술의 개발로, 핵확산의 위험 없이 현재의 우리나라 자원을 천 년 이상 아무런 걱정 없이 사용할 수가 있다. 뿐만 아니라, 우리나라의 가격이 높게 상승하면 우리나라에 많은 토륨을 사용할 수도 있을 것이다.

따라서 석유와 같은 천연 자원이 고갈되면서 발생하는 여러 가지 경제적 우려는 기술 주도형 에너지원인 원자력 수소에는 해당되지 않

는다.

즉, 원자력 수소의 경우는 자원의 문제가 아니라, 우리가 원자력 수소를 생산할 수 있는 기술을 가지고 있느냐 없느냐의 기술적인 문제인 것이다.

원자력을 이용한 수소 생산은 우리에게 여러 가지 이점을 가져다준다. 그 중에서도 원자력을 이용한 수소 생산의 가장 큰 이점은, 천연 자원이 없는 우리나라도 기술만 가지고 에너지 자립이 가능하다는 것이다. 그리고 수소 생산의 전 과정에서 탄산 가스를 발생하지 않아서 환경 친화적이라는 점이다.

따라서 우리나라는 석탄이나 석유 같은 천연 자원은 없지만 우리의 기술로써 환경 친화적으로 에너지 자립을 이룰 수 있게 된다.

끝내면서 - 우리의 선택

경제(Economy), 에너지(Energy), 그리고 환경(Environment) 세 가지 문제가 서로 상호 복잡하게 작용하는 트라이레마를 현명하게 풀어야만 우리에게 미래가 있다.

후손에게 빛을 지지 않으면서 우리도 잘 살기 위한 지속 가능 성장(Sustainable Development)이 논의되고 있다. 환경을 훼손하는 것은 후손에게 빛을 지는 것이다. 에너지를 낭비하는 것도 역시 후손에게 빛을 지는 것이다.

지금까지의 논의를 정리하면 우리의 선택은 명백해진다. 우리는 우리나라가 천연 자원이 부족한 것을 운명으로만 돌릴 것이 아니라, 우리의 장점인 우수한 인력으로써 기술을 개발하여 이를 극복하는 노력을 해야 한다.

그 첫 번째 선택은 무한 에너지 사이클인 재생 에너지를 이용한 수소의 생산이 되어야 할 것이다.

그러나 아직 재생 에너지는 자연 환경의 제약을 많이 받는다. 우리의 국가 에너지를 하늘의 뜻에만 맡길 수만은 없을 것이다.

다른 하나는 제 4세대 원자력 기술을 이용한 수소의 생산이다.

원자력은 대표적으로 기술이 주도하는 에너지원이다. 원자력은 기술의 발달에 따라 지속적인 진화를 거듭해왔으며 이제는 안전성과 경제성이 한 차원 높아진 제 4세대 원자력 시스템이 개발되고 있다.

이 제4세대 원자력 시스템을 대표하는 고온가스원자로와 물을 결합하여 미래 청정 에너지인 수소를 생산하는 일이야말로 수소 경제가 추구하는 가치와 가장 부합된다고 말씀드릴 수가 있겠다.

끝으로, 수소 경제의 조기 실현을 위한 상징적인 국가 과제로, 현 참여 정부가 역점을 두고 추진하는 신행정도시를 환경 친화적인 도시로 하자는 제안을 하고자 한다. 신행정도시는 계획 도시이다. 따라서

입안 단계에서부터 환경을 우선하는 도시 계획이 필요하다. 신행정도시 안에서 운행되는 모든 교통 수단은 수소 자동차로 하고, 필요한 전기와 냉난방 시설도 모두 수소 연료 전지로부터 에너지를 얻게 해야 한다.

정부 관련 기관이 들어오고 약 50만의 인구가 거주할 예정인 신행정도시는 세계에서 최초로 환경 친화적인 도시(Green City)가 될 수 있을 것이다. 그리고 신행정도시로부터 얻은 경험을 점진적으로 전국으로 확대함으로써 본격적인 수소 경제 시대를 열어갈 수 있을 것이다.

새로운 21세기 에너지 문제는 자원 의존형에서 기술 주도형으로 바뀌어 가고 있는 것이 시대적 흐름이라고 할 수 있다. 우리 산·학·연 원자력계가 힘을 모아 서로 협력하면 우리나라도 기술 주도형 에너지 자립 국가가 될 수 있을 것이라고 확신한다.

국가 에너지 자립을 한 단계 더 성장 발전할 수 있도록 여기 모이신 원자력 전문가들께서 적극적으로 지원해 주시기를 부탁드립니다.

이 자리를 빌어 그 동안 국내 원자력계 발전에 노력해 오시고 도와 주신 원자력 가족과 관계자 여러분께 깊은 감사의 말씀을 드립니다. ☺