

## 일본의 水素 기술 전략

카네다 다케시(미쯔비시종합연구소)

미국의 수소경제로의 이행을 위한 드라이브가 강력하다. 부시 행정부는 2001년 5월 취임 초반부터 국가에너지정책(National Energy Policy)을 발표하고, 에너지와 환경 문제에 집중하기 시작했다. 그리고 현재는 수소의 연구개발을 에너지정책의 최우선순위로 하고 있다.

2002년 미국은 수소인프라와 연료전지 자동차를 동시 개발하여 꿈의 자동차인 'FreedomCAR' 프로그램의 실현을 위한 '수소연료구상(HF)'을 발표한 바 있으며, 금년 1월 부시 대통령은 연두교서를 통하여 수소인프라, 연료전지 및 하이브리드 자동차 기술개발 5개년 계획에 17억 달러의 예산을 책정하겠다고 밝혔다.

EU도 2002년 수소경제 개발을 위해 역내의 자동차 및 수송회사, 전력연구소 및 정책결정자들로 구성된 '수소·연료전지 관련 고위그룹(HLG-HFC)' 회의를 조직하였으며, 앞으로 5년간의 신재생에너지 및 수소에너지 기술개발에 20억 유로를 투자하기로 하였다.

특히, 아브라함 美에너지부 장관은 지난 4월말 파리에서 개최된 IEA 에너지장관 회의에서 2020년 수소경제의 실현에 회원국의 동참을 위한 파트너십 결성을 촉구했다. 또한 6월 16일 美-EU는 2001년 5월의 '신태에너지협력협정' 체결 후 처음으로 '연료전지부속서'에 서명하여 향후 양국간 수소에너지 연구에 협력하기로 하였다.

그리고 아브라함 장관은 이 날 EU 에너지정책 자문단 회의에서 기초연설을 통해 수소에너지 개발을 위한 국제적 공동 노력의 중요성을 강조하고, EC 회원국들에게 금년 가을 '수소경제를 위한 국제적 파트너십' 결성을 위한 공식 모임을 갖자고 제안했다.

수소경제의 실현을 위해서는 고난도의 기술적 문제를 해결하고 상응한 비용을 치루어야 가능할 수 있다. 그래서 미국도 국제적 공동노력을 강조하고 있다. 일본도 1995년부터 연료전지 및 수소 기술의 연구개발이 급진전하고 있다. 아래의 논문은 일본의 수소기술 개발 전략을 살펴볼 수 있는 자료로서 일본동력협회 動力誌 최근호에 실린 것을 번역 개제한 것이다. — 편집자주

가속기를 밟으면 엔진소리와 함께 배기관에서 수증기가 나온다. 노면이 다소 젖지만 말라버리면 아무 것도 남지 않는다. 냄새조차 없었던 것으로 기억된다. 수년 전 독일 뮌헨국제공항에서 처음 수소로 움직이는 자동차를 보았을 때의 인상이다. 뮌헨국제공항에는 수소 자동차용 충전소(수소주유소)가 있다. 수소를 연료라고 하면 연료전지라고

생각할지도 모르겠지만 왕복기관(reciprocating engine)이다.

현재 수소는 청정연료로 주목을 받고 있다. 지금까지의 개념을 벗어나 새로운 에너지의 수송·저장·이용 시스템 프로세스를 구축할 수 있는 가능성을 간직한 신기술이다. 수소 이용에 대해서 최근 연료전지 등이 매스컴을 장식하고 있으나, 차세



대 동력·발전기술의 핵심 기술로서 기술개발·규제완화·사회제도 등 다각적인 관점에서 미래 에너지源으로서의 수소 이용을 다방면에서 검토할 필요가 있는 것으로 판단된다.

필자는 이 논문에서 주요 국가의 몇 가지 수소 개발 전략을 소개하여 사회 시스템적 견지에서 일본의 수소이용 정책에 대해 그 실현성을 검증하고 미래 水素社會의 청사진을 그려보고자 한다.

외국에서는 지속 가능한 국가·지역사회 구축의 실천계획(action plan) 가운데 수소이용 구상이 구체화되고 있다. 일본도 독자적인 수소 이용 청사진과 일본 표준형(standard)을 마련할 필요가 있다.

## 1. 에너지源으로서 수소

수소는 그 자체로는 자연계에 존재하지 않는다. 천연가스를 改質하거나 물을 전기분해하여 자연계에 있는 자원에 대하여 무엇인가를 加하여 에너지를 소비해서 만들어내는 것이다. 그런 의미에서 천연자원으로 존재하는 가스나 석유를 1차 에너지, 전기나 이용 가능한 열에너지를 2차 에너지라고 한다면 수소는 1.5차 에너지이다.

사실은 수소가 탄산가스를 배출하지 않고, 연료로서 에너지 효율이 좋은 시스템을 만들 수 있다는 것을 차치하고도 수소에너지 시스템은 소형의 단순한 시스템이 될 잠재적 특징도 갖추고 있다. 작으면서도 효율이 그다지 떨어지지 않는 시스템을 만들 수 있다는 것도 매력적이다.

사실 이런 특징은 지역고유의 에너지 공급시스템을 논의할 경우, 수소가 주목받는 큰 요인 중의 하나이다. 수소 시스템은 잠재적으로 변화에 적응하기 좋은 시스템이다. 예를 들어 물을 전기분해해서 수소를 만들고자 한다면 이미 소형의 현장(on-site) 설비가 상품화 되어 있다. 석유 정제 공정이

나 공장은 복합해지는 경향이 있어 이것과는 대조적이다.

결국은 옛날 중학교 과학 실험에서 했던 물의 전기분해 그 자체이며, 원리도 설비도 그리 복잡한 것이 아니다. 앞에서 언급한 뮌헨공항에는 수소충전소 옆 자그마한 건물에서 계속해서 물을 수소로 바꾸고 있었다. 수소충전소에서 연료를 만들고 있는 것이 작은 놀라움 이었다.

이와 같이 보면 수소 이용은 단순히 CO<sub>2</sub>를 배출하지 않는다는 환경문제뿐만 아니라 에너지 자원의 다양화, 에너지안보, 에너지 자립화라는 의미도 가지고 있다. 이런 점에 가장 빨리 눈을 들린 것이 미국이다.

에너지안보가 국가의 안보라고 생각하는 미국에서는 이런 점이 정부의 입장으로 강조되어 왔다. 국내의 지역별 에너지 자립이 국가의 에너지안보 측면에서 중요한 의미를 갖는다면, 일본에서도 원자력이나 재생가능에너지를 사용하여 수소를 제조한다면 새로운 국산 에너지 공급의 흐름을 만들어 에너지안보에 공헌하는 유일한 방법이다. 원자력이나 재생가능에너지 추진을 위한 큰 응원단의 등장이라고도 할 수 있다.

수소가 에너지 공급 시스템의 완충장치(buffer)로서 자리 매김하는 것이 에너지자원 이용의 다양화와 자립에 중요하다는 논의가 아직 일본에서 그렇게 많이 거론되고 있지 않다는 생각이 든다. 미국에서는 일찍이「수소기술 개발을 위한 로드맵」을 만들어 국가 에너지 정책의 주요 항목으로 자리잡고 있다.

수소 이용의 응용방법으로서 재생가능에너지와의 연계가 논의되고 있다. 자연에너지는 사용하기 어렵다. 태양광이나 풍력 등 사용하기 어려운 자연 에너지를 잘 이용하고자 하면, 어떻게 해서든 저장 등 안정공급을 위한 연구가 필요하다. 이와 같은

자연에너지로 만들어진 전력을, 지역에서 본격적으로 수소로 사용하기 위한 다양한 프로젝트가 주목을 모으고 있다.

## 2. 수소의 미국 표준형이란

작년 말 미국 DOE가 주최하는 연료전지·수소에 관한 국제심포지엄이 중국 상하이에서 개최되었다. 일본측 참가자는 필자를 포함하여 발표자가 3명 정도였지만, 미국 유럽에서는 무엇 때문인지 유명인사들이 대거 참가하였다. 미국 DOE에서는 수소 로드맵 작성에 깊이 관여한 Larry R. Johnson씨, 캘리포니아 대기환경국의 Alan Lloyd씨, 지금은 수소·재생가능에너지의 敎祖인 Amory Lovins 등이 관련 조직을 이끌고 상하이로 날아온 이유는 중국의 水素化 지원이라고는 했지만, 미루어 짐작컨대 본심은 수소분야에서 미국의 주도권 확보가 아닐까 생각되었다.

그 자리에서 DOE가 발표한 “미국의 수소에너지 전략”에 압도되었다. 요컨대, 미국은 세계적으로 앞장서서 수소경제를 확립하고 동력(예, 자동차) 등에서 소형 分散發電 기술, 또는 이것들을 묶는 수소 인프라를 조속히 확립·건설하고자 하는 내용으로, 이것들을 실현하기 위해 DOE 연구예산을 2003년도에 200억엔 計上하였다는 것이다. 예산 자체를 보아도 결코 적은 금액이 아니지만, 포괄적(자동차에서 원자력, 사회 인프라까지의 논의가 전부 포함되어 있음) 이면서 전략적인 발상에 놀랐다.

미국에서는 수소경제로의 이행에 즈음하여 그 의의로서 에너지 자원의 유향성과 수송 부문에서의 화석연료 소비급증에 대한 대응은 물론 국가 에너지안보에 대해서도 명확하게 설명하고 있다. 환경과 제조측면에서 수소 제조의 프로세스는 중요하고, 원자력에서 재생가능에너지까지 고려한 수소

제조 프로세스를 동일선상에서 논의하고 있다. (A National Vision of America's Transition to a Hydrogen Economy—to 2030 and Beyond, Feb. 2002, USDOE 참조).

이올러 이러한 다면적 고찰에 근거하여 2002년 9월에는 「수소에너지 로드맵」을 작성하여 수소의 제조·수송·저장·이용 등의 다면적 기술개발 내용과 일정을 체계적으로 명백히 하고 있다. (National Hydrogen Energy Road Map, Sep. 2002, USDOE 참조)

이러한 정책지침에 근거하여 2003년 2월 미국에서는 2004년도 豫算概要가 제시되었는 바, 눈을 의심할 숫자가 적혀있다. 수소경제로의 이행 프로그램 예산이 두드러져 있다. 향후 5년간 17억 달러의 개발예산이 計上되어 있는 것이다.

## 3. 아이슬란드의 구상

미국이 기술개발형, 국내산업 육성형이라고 한다면, 외국자본과 기술을 계속 도입하여 일약 수소사회를 구축하겠다는 것이 아이슬란드의 생각이 다. 인구 26만 명의 작은 나라로서는 지금부터 국내 수소산업을 육성하겠다고 할 수 없기에 결국, 「수소사회 모델」을 다른 나라로부터 전적으로 도입하여 만들겠다는 생각인 것 같다. 자연히 다른 나라 메이커의 지원 등에 의존하지 않을 수 없지만, 개발 노우하우보다 실익을 선택한 것이다. 정책이 활기차다.

아이슬란드는 「화석자원의 수입·이용의 제로」를 기치로 내걸고 있다. 이것을 가능하게 하는 유일한 방법이 수소 이용이라고 한다. 「선진국이 재생가능에너지지만으로 그 나라 에너지 소비 전부를 완전히 조달할 수 있다고 생각하지 않는다」라는 의견에 대한 도전이면서 사회실험으로 주목할 가



치가 있다.

수년 전 아이슬란드에서 처음으로 수소경제로의 이행을 제창한 브리시·알나손은 많은 사람들로부터 미친 사람으로 취급받은 듯 하다. 아이슬란드에는 화석자원이 없어, 모든 것을 수소로 조달한다고 해도 스폰서가 나타날 가능성이 없다고 최근까지 생각해 왔다. 본래 아이슬란드에는 주식회사와 같은 기업공동조합을 만드는 전통이 있다.

현재 아이슬란드의 수소화계획을 담당하는 벤처기업 「아이슬란드 수소·연료전지사」는 이와 같은 아이슬란드 전통적 기업 컨소시엄을 배경으로 설립되었다. 독일에서는 자동차 메이커가, 노르웨이에서는 전력회사가, 또 네덜란드에서는 석유 메이저 로얄더치셀이 협력하여, 이와 같이 다국적 벤처기업의 지주회사가 된 것도 또한 특이하다.

아이슬란드에서는 60년 이상 전부터 주택 등의 난방에 지열에너지가 사용되어 온 역사를 갖고 있다. 지금 현재 수도 레이카비크의 전체 건물이 지열로 난방되고 있다고 하여 놀랐다. 전국적으로도 난방의 90%가 지열이다. 게다가 전력시스템에 대해서는 사실상 100% 재생가능에너지만으로 조달되고 있다.

이와 같이 종전부터 열과 전기에 대해 100% 재생가능에너지를 활용하고 있는 국가는 어떤 의미에서 행운일지도 모른다. 더욱이 행운인 것은 원래 아이슬란드에는 제2차 대전 후 수력발전에 의한 전기를 사용하였기에 물을 전기분해하여 수소를 제조하는 대규모 플랜트가 존재하고 있다. 연간 2,000t의 액체수소를 제조하여 비료용 암모니아를 생산하고 있다는 역사적 배경이 있다.

일본에서 생각하는 재생가능에너지는 일반적으로 풍력이나 태양력이기 때문에 제어하기 어려운 것인데 비하여, 아이슬란드는 본래 그 지역적·지리적 조건에서 안정적이면서 제어하기 쉬운 수력

이나 지열이라는 재생가능에너지를 대량으로(인구 비율 상), 아울러 저가로 손에 넣을 수 있다는 것이 수소화를 뒷받침하고 있다고 할 수 있다.

여기서 아이슬란드의 다음 목표는 자연히 풍부한 재생가능에너지를 이용한 수소제조와 이의 다면적 이용이다. 만약 이 수소를 승용차에 공급하는 기술시스템과 사회제도 확립이 가능해진다면, 아이슬란드는 세계 최초로 열·전력·동력 모두를 재생가능에너지로 조달하는 세계 최초의 국가가 된다. 이것은 사회실험으로서 선진국 모두에게 매우 흥미 깊은 일이다. 석유메이저와 자동차 회사 힘을 합쳐 전력회사를 선도적으로 시작한 가장 큰 이유일 것이다.

#### 4. 수소를 핵으로 한 에너지공동체

일본에 국한된 이야기는 아니나, 지금까지 에너지 생산·공급의 기술개발이 부분적으로 행하여지면서 에너지의 생산 및 공급에서 이용까지 일관된 시스템적 발상은 빠져있었다. 국제회의에서 발전 효율이 1% 향상되더라도 이용률이 1% 하락하면 사회적 의미는 없다고 논의되었지만, 일본에서의 논의의 주류는 아직 부분 최적화이다.

당연히 시스템 전체의 설계나 라이프 사이클 등은 그다지 실험적 의미를 가지고 있지 않았다. 이른바 縱的發想이며 그 피해를 이제 와서 알기어울할 생각은 없지만, 고도 경제성장 시대에는 그 나름대로 효과적으로 작용해온 것도 사실이어서 전부 부정하지는 않겠다.

그러나 지금은 업종의 경계를 초월하고 국경을 초월한 동맹, 경쟁의 시대에 돌입해 있다. 앞서 설명한 아이슬란드의 프로젝트가 그 좋은 예이다. 에너지시스템의 整合性 있는 유기적 연결을 의식한 개발이 중요해 진다. 자동차회사와 전력회사가 연

료를 중심으로 동맹을 구축하는 발상이 머지않아 일본에도 나타날 것이다.

흥미가 깊은 기술로 가역성(reversible) 연료전지가 있다. 이것은 연료전지로서는 PEM형(고체 고분자형)에 속하는 것이지만, 매우 흥미 깊은 특징을 갖고 있다. 놀랍게도 하나의 膜으로 발전가능하며, 그 연료인 수소를 만들 수도 있다. 사실은發電과 전기분해는 전기 화학적으로 逆反應이라는 것도 있어, 같은 膜으로 兩方의 기능을 가지게 하는 것도 원리적으로 가능한 것이다.

미국 동해안에 있는 이 회사의 공장을 시찰했을 때 이 발상에 매우 놀랐다. 귀국하는 비행기 안에서 이런저런 생각을 했다. 「물만 있으면 고효율로 수소와 전기가 만들어진다. 그것도 탄산가스 발생도 없이」 이 발상은 역시 획기적이라고 생각한다. 이와 같이 「물」과 「자연에너지」를 에너지源으로 한 에너지 공급시스템이 구체성을 가지게 되면, 이것을 토대로 한 지역공동체를 다양하게 생각할 수 있다. 여기서 필자가 최근 평가·분석하고 있는 수소공동체의 일례를 제시하고자 한다.

예를 들어 500호의 주택으로 된 지역공동체가 있다고 하자. 각 가정의 지붕에 3kW의 태양전지를 설치하고, 1MW의 풍차 1기를 설치했다고 가정하면, 그 가동률을 고려해서 대략 10,000kWh/일 정도의 전력량을 생산할 수 있다. 당연히 공동체 내 전기를 가능한 한 이 전력으로 조달한다고 한다면, 500호의 전력소비를 공제하고 6,000kWh/일 정도의 전력이 이 공동체 자체적으로 剩餘分이 된다. 이 잉여분을 전기부하의 평준화에 사용하게 되는 것이다.

지금 이 잉여 전력으로 물을 전기분해해서 수소를 발생시키면 약 1,500Nm<sup>3</sup>/일 정도를 얻을 수 있다. 감각적으로 표현하면 직경 6~7m 원형탱크(압력 10기압으로)에 저장 가능한 양이다. 한번

수소로 변하면, 전력에도 동력에도 매우 높은 효율을 얻을 수 있다. 연료전지를 사용한다면 40~50%의 효율로 전기를 발생시킬 수 있다. 이 수소의 양은 대략 500호, 1일분의 전기를 공급하는 것이 가능한 양이다.

지역에서의 에너지 공급은 지역별 에너지 수요 구조나 재생가능에너지를 베이스로 한다면, 해당 지역의 지리적 조건에 따라 낭비가 없는 최적의 설계를 할 필요가 있다. 이것은 경제성 향상,省下 에너지의 필수조건이다.

다만, 여기서 중요한 것은 지역에서의 전력이나 연료공급을 지역 내에서 조달하려고 할 때 그 안정성이나 신뢰성을 얼마나 확보할 수 있는가 하는 문제이다. 예를 들어, 지역별로 다른 개념으로 이와 같은 에너지공동체를 개별적으로 설계하였다 하더라도 공동체 간에 어딘가 1개 장소에 전기적 또는 수소 파이프라인으로 연결만 되어있다면, 비상시 지역 상호간 에너지를 융통하는 것이 가능하다. 적어도 공동체의 에너지공급 안정성(security) 강화로 이어짐에는 틀림없다.

아이슬란드의 이와 같은 시범적 수소화 프로젝트에 대해 국제적 대기업이 흥미를 표시하고, 기업 컨소시엄에 출자를 하고 있다고 생각한다면, 일본에서도 규제·제도 등의 조건만 정비된다면 어떤 시도도 가능하게 되는 날이 올지도 모른다.

## 5. 핵심은 IT와 제어기술

기저부하 전력(예, 야간전력)은 가능한 한 저렴한 전력회사의 전기에 의지하고, 주간의 공동체 내 전력부하 변동부분은 가능한 그 지역 내에서 처리한다. 게다가 시시각각 필요로 하는 양을 조사 예측하고, 필요한 때에 필요한 양만 청정 발전을 행하여 간다.....



이와 같은 水素이용 이미지는 사실, 부분 부분을 보면 거의 실현되어 있다. 핵심인 물의 전기분해만 하더라도 PEM형 연료전지를 이용한 상당히 고성능의 소형 시스템이 개발되어 있고, 연료전지에 있어서도 일본 자동차 업체의 분골쇄신 노력에 의해 세계 최첨단 수준에 와있다. 나머지는 전력계통을 어떻게 구축해서 효율적으로 제어하여 갈 것인가 하는 부분에 지혜를 모아야 한다고 생각된다.

발전효율의 향상에 지금까지 충분한 기술개발자금이 투입되었지만, 지금부터는 이들 전체를 시스템으로 어떻게 운용해갈 것인가와 발생한 전력을 어떤 수요에 공급할 것인가가 중요한 문제가 된다. 한마디로 말한다면, 정보통신기술(IT)일 것이라고 생각한다. CO<sub>2</sub> 배출량의 최소화, 에너지 자립률(공동체 내에서 조달하는 전력량)의 최대화, 공동체 收入의 최대화 등 다양한 정책이 취해진다. 시스템의 최적화 문제 그 자체가 지역의 에너지정책으로 되어가고 있다.

이와 같은 공동체는 오히려 획일적이지 않고 지역사정이라든지 지리적 요건, 기상요건에 따라 다양한 공동체 모습으로 그릴 수 있다는 특징이 있다. 가역성 전지(reversible cell)가 아니고 보통의 '연료전지+물'의 전기분해 장치라도 좋다. 이와 같이 생각하면, 지금부터는 지역사회가 에너지의 공급과 이용에 대한 비전을 자기 스스로 그린 독자적 방법으로 실천하는 시대라고 생각한다.

## 6. 꿈은 이루어진다

水素는 오래되었지만 새로운 연료이다. 이 수소 기술과 IT를 연결하면 무엇이 가능해 질까? 지역 전력소비량 (24시간 전력부하 자료 등)의 과거 데이터를 모아두어, 시시각각의 최적 水素저장량을 평가하여, 낭비 없는 최적의 發電을 한다.

이런 공동체를 구역별로 생각하면 상호간에 1개 장소에서 전력이나 수소를 유통함으로써 에너지공급의 안정성(security)은 보다 강해질 수 있다. 당연히 각자의 공동체는 각자 부담으로 자연 에너지나 쓰레기發電 등을 이용해서 독자적인 시스템을 구축하고, 독자의 정책에 근거하여 자율적으로 운용한다. 또한 당연히지만 상호간에 협력해서 보완하는 부분도 있다. 정확히 뇌세포가 차례차례 결합하여 성장해서 시냅스(synapse)를 거쳐 정보를 전달하여 전체적으로 유기적인 기능을 하는 이미지와 비슷하다.

또한 탄산가스 배출권 등 국제 시장에서의 거래, 나아가 재생가능에너지 의무판매(RPS) 證書 등의 국제 시장 거래에 눈을 돌려 플러스 알파의 부가가치를 기대할 수 있을지도 모른다. 수소를 핵심으로 해서 정보통신, 연료공급(水素), 전력공급(재생가능에너지)으로부터 수송부문(水素자동차)에 의 연료공급에 이르기까지 多重 네트워크를 어떤 정책에 근거하여 최적화해서, 유기적으로 연결한 수소에너지 시스템의 실현도 멀지 않았다.

미국의 수소경제 추진의 주역인 스펜서·아브라함 DOE장관의 설명에 의하면, 「2020년까지의 수소경제 이행으로 석유수입과 그 의존도를 낮춘다. 그리고 대기오염 물질이나 온실가스의 방출을 대폭 삭감시킨다」는 것이다. 1년 전까지만 해도 이처럼 미국이 본격적으로 추진하리라고는 예상하지 못했다.

일본은 수소제조에 이용 가능한 원자력 기술, 고온가스爐 등 선진기술도 있고 여러 외국으로부터 주목도 받고 있다. 일본 내 독자·지역독자 아이디어 등의 사회적 실험도 이제부터 제안되어 올 것으로 예상되지만, 정부와 지역이 일체가 된 적극적인 접근과 일본의 이니셔티브를 기대하고 싶다.

(자료 : 일본동력협회 '動力誌' 2003년 1월호)