

21세기 「수소시대」를 이끌어갈 분산형 에너지시스템

1. 지구온난화 억제를 지향하는 「수소시대」로

2001년 11월, 모로코의 마라케시에서 개최된 기후변화 협약 제7회 협약국회의(COP7)는 지구온난화 억제를 위한 세계 움직임에 비로소 방향성을 제시하였다. 미국의 부시정권은 2001년 3월, 京都의정서에서 탈퇴를 표명하였으며 일본은 미국과는 상관없이 적극적으로 대처해야 한다고 생각하고 있다. 대기중의 이산화탄소 농도가 해마다 증가하고 있는 것은 객관적인 사실이다. 다만 그것이 지구온난화를 가져올 것인가 아닌가에 대해서는 실험적으로 확증을 얻은 것은 아니다. 그러나 실증될 때까지 기다리고 있다가는 때가 늦을지도 모른다.

화석연료를 에너지원으로 연소시키는 한 이산화탄소의 배출은 피할 수 없다. 19세기까지 연료는 장작, 석탄 등 고체연료였다. 20세기는 액체연료, 즉 석유의 시대로, 내연기관이 발명되어 자동차가 달리고 비행기가 날았다. 고체에서 액체로 진화되어 왔기 때문에 21세기는 기체연료의 시대일 것이다. 사실 석유의 시장점유율은 1970년대 후반에 44%를 넘었을 때 쯤에서 피크로 천연가스에 주역의 자리를 빼앗기기 시작하였다. 천연가스는 메탄이 주성분으로 본래 유황분을 함유하지 않기 때문에 연소시켜도 SO_x는 배출하지 않고 기체연료로서 대량의 공기와

혼합하여 희박 연소시키면 NO_x의 배출도 낮게 억제할 수가 있다. 이산화탄소의 발생량도 같은 발열량에 대해 석탄 60%, 석유 75% 정도로서 화석연료 중에서는 가장 깨끗한 연료이다.

한편, 21세기 후반에는 연료전지가 널리 보급되어 기체연료 중에서도 수소가 연료의 주역이 되는 시대로 예측되어 왔는데 연료전지기술의 진보는 매우 빨라 자동차용 또는 가정용 코제너레이션으로 연료전지가 사용되는 시대가 2005년 경에는 시작될 추세이다. 그렇게 되면 수소 시대도 훨씬 빨라져 2010년까지는 그 때를 위한 인프라 구축에 착수할 필요가 있다고 생각한다.

2. 분산형 에너지 시스템 진의

지금까지 일본의 에너지공급구조는 공급의무를 가진 전기사업자가 독점적으로 발전하여 송배전을 함으로써 전기를 소비자에게 판매하여 왔다.

한편 가스 및 석유사업자는 공장의 프로세스용 증기라든가 가정용·업무용의 난방·급탕 등을 위해서 도시가스나 석유를 판매하여 왔다.

이 두 개의 에너지공급 흐름은 “병렬”로 서로 엮키는 일은 없었으나 전기사업자는 전기의 안정공급이 사명이기 때문에 발전만을 목적으로 연료를 사용하고 열기관으

로 발전기를 구동하여 발전하고 배열은 온배수 또는 배기 가스로서 환경 속으로 배출하여 왔다. 일본의 고도경제성장기에는 스케일메리트라하여 발전소는 거대화를 지향하여 왔으며, 전력이나 열의 주요 소비지인 도시에서 멀리 떨어진 변경에 입지하여 소비지까지 연결하여 송전하는 것이 정착화 되었다. 발전소 배열을 이용할 것을 생각하였다 하더라도 열을 소비지까지 운반하는 것은 경제적으로 성립되지 못하였다.

한편 열을 파는 것을 업으로 하는 가스 및 석유사업자는 발전하여 전기를 판다는 것은 꿈에도 생각하지 않고 단지 난방기구나 급탕기를 판매하여 왔고 에너지 공급의 두 가지 흐름은 완전한 병렬로 또한 독립적이었다.

정보화사회가 진전되고 냉난방 완비로 쾌적한 생활에 대한 욕구가 증대하면 전력수요의 증대는 피할 수 없다. 전력을 만들기 위하여 투입되는 연간 1차 에너지량의, 1차 에너지투입총량에서 점하는 비율을 전력화율이라하며, 그 값은 1975년도의 27.5%에서 1998년도에는 43%까지 증가되었다. 전력을 만들기 위하여 투입한 1차 에너지량 중 약 60%가 온배수 또는 배열가스손실로 환경속에 버려지는데 전력화율이 증가하면 이 배열손실도 증가하여 국가 전체의 에너지손실에 큰 부분을 차지하게 되어 에너지이용 효율을 점차로 악화시켜 간다.

예를 들면 앞의 숫자에 대응하는 1975년도의 국가 전체 에너지이용 효율은 약 37%였던 것이 1998년도 효율은 34%로 3%나 악화되고 있다. 이 사이 국민이 쉼에너지를 특별히 게을리한 것은 아닐 것이다. 즉 “병렬” 에너지공급구조를 유지하는 한 국가 전체로서 에너지이용 효율의 악화는 피할 수 없다.

쉼에너지는 본질적·구조적으로 실현 불가능한 것이다. 이것을 근본적으로 개혁하기 위해서는 발상을 전환하여 “직렬” 구조를 취하지 않으면 안된다. 직렬이란 무엇을 의미하는 것일까.

산위에 댐을 만들고 물이 해면까지 흘러 내려오는 사이에 강물의 흐름에 따라 고도가 높은 곳에서부터 순차적으로 수력발전소를 건설하여 물의 낙차를 사용하는 것은 누구나 다 알고 있다.

해면까지 흘러 내려온 물은 이제는 더 이상 쓸모가 없게 된다. 「업지른 물은 그릇에 담을 수 없다는 것」이다. 열에너지의 경우는 “낙차”에 해당하는 것이 “온도차”이며, “해면”에 해당하는 것이 지구의 “상온”이다. 연료에 불을 붙여서 발생시킨 1500°C 이상 고온에서 상온 즉 15°C까지 낙차를 사용해 가는 것이 “열이용”인데 이상하게도 열이용인 경우에는 수력발전과 같이 온도가 높은 곳에서부터 순차적으로 사용해 가는 일이 거의 발생하지 않았다.

열을 고온에서 상온까지 다 쓰기 위해서는 연료에 불을 붙이고 우선 엔진을 돌려 동력을 얻는 것을 생각한다. 목욕탕이나 난방열이 필요할 때는 지금까지는 목욕물을 데우거나 스토브에 불을 붙였다. 이 방법은 잘못되었던 것임을 깨달아야 한다. 이제부터는 열이 필요하면 우선 엔진이나 가스터빈을 도입할 것을 생각한다. 각 가정에서도 가스나 석유에 불을 붙이면 우선 엔진을 돌린다. 고온의 열은 엔진으로 동력화하고 온도를 낮춰 엔진에서 배출된 배열을 목욕탕이나 난방으로 사용하는 것이 열의 합리적인 사용방법 중 한 가지이다. 고온의 열로 동력이나 전력을 만들고 저온이 된 열은 열로 사용하는 “직렬”형 시스템을 코제너레이션(열병합발전 Cogeneration)이라 한다. 코제너레이션은 열수요지에 밀착하여 설치되기 때문에 분산형으로 되지 않을 수 없다.

3. 가스터빈과 연료전지의 하이브리드 시스템

1996년경부터 각종 전시회에서 눈에 띄기 시작한 것이 마이크로 가스터빈이다. 1996년 6월, 영국 Birmingham

에서 열린 ASME Turbo Expo '96에서 처음으로 마이크로 가스터빈을 발표한 Paul Craig씨는 Ford사에서 자동차용 세라믹 가스터빈, Allied Signal Garrett사에서 항공기용 보조발전기(APU)나 터보과급기 등에 종사해온 가스터빈기술자인데 그것들의 경험을 기초로 저코스트인 소형가스터빈발전기의 대량생산을 목적으로 1998년에 Capstone Turbine Corporation사를 캘리포니아주 Tarzana에 설립하였다. 압력비나 온도, 압축기나 터빈재료도 정적인 부품 구조, 모두가 터보과급기의 기술로 완성시키는 것이다. 다만 항공기업계에서 25년간이나 사용되어 온 공기축수기술을 도입하여 메인터넌스프리를 지향할 것을 설계 기본으로 하였다.

처음의 개발목표는 출력 10~100kW, 터빈입구온도 700°C, 정격회전수 9만 6000rpm, 재생열교환기 부열효율 30%, NO_x 9ppm 이하(0.15%)라는 것이었다. 미국에서는 단지 발전기로서 발매되었으나 일본에서는 코제너레이션으로 사용하지 않으면 의미가 없다. 1989년부터는 일본, 미국, 유럽의 기계·전기 메이커가 계속하여 제품을 발표하였다.

한편 1979년 11월 12일부 일본경제신문의 전면광고로 당시 독일 다임러·벤츠사가 2005년까지 연료전지 하이브리드차의 대량 생산체제를 갖춘다고 발표하여 에너지 관계자에게 충격을 주었다.

이후 일본의 자동차 메이커도 2003년까지 한시적인 시장도입을 개시한다고 발표하였고 또 국내의 가전 메이커 각사도 전기출력 1kW 정도의 가정용 연료전지 코제너레이션 유닛을 2004년에 시장도입을 한다고 발표하였다. 이것은 어느 것이나 전해질에 불소계 폴리머를 사용한 고체 고분자형 연료전지(PEFC)로 불리우는 것으로 대량 생산용의 구조이다. 배열이 70°C 정도의 따뜻한 물로 나오기 때문에 가정에서 급탕이나 거실난방에 알맞다. 소음·진동도 없고 배기가스는 깨끗하다. 발전효율 32%로

열이용을 포함한 총합열효율이 72% 정도의 성능을 나타내고 있다. 자동차와 가전이라는 대량생산을 장기로 하는 양 업계가 주도하면 가격도 급속하게 저하하게 될 것이다.

이와 같이 가정용에 이르기까지 코제너레이션 하드웨어가 갖추어지게 되었다. 원자력이나 대형 콤팩트 사이클발전소 등 시스템을 어미거북이라하면 그 등에 IPP나 공장 등 산업용 코제너레이션이 새끼거북으로 올라탄다. 그 등에 손자거북으로 마이크로 가스터빈 등을 사용한 호텔, 콘비니, 맨션, 병원 등 업무용 코제너레이션이 올라타고 마지막으로 증손거북으로서 각 가정레벨의 연료전지 또는 소형 가스엔지 코제너레이션이 올라타서 어미거북이로부터 증손거북이까지 유기적인 연계를 이루어 정보기술을 구사하여 30분 앞의 전력과 열의 수급을 예측하면서 중앙지령에 따라 각 레벨 에너지 적분량의 총화가 최소가 되도록 운전할 수 있다면 일본의 이산화탄소 배출량은 획기적으로 삭감될 것이다. 어미거북이가 쓰러지면 모드 쓰러지지만 이와 같은 「거북 자손 에너지공급 시스템」이 진정한 의미의 베스트믹스가 아니겠는가.

2001년 8월에 미국 Lawrence Livermore 국립연구소를 방문하였다. 여기서 감탄한 것이 고체 전해질형 연료전지(SOFC)와 마이크로 가스터빈의 가정용 하이브리드 시스템(전기출력 5kW)의 개발이다. 발전효율 70~80%를 겨냥한다고 한다. 2000년 11월에 마찬가지로 미국 코네티컷주 Danbury의 FuelCell Energy Inc.사를 방문하였을 때 내부개질용탄산염형 연료전지(MCFC)와 가스터빈의 콤팩트사이클로 출력은 최소 300kW에서부터 1.5MW, 3MW, 10~50MW 정도까지로, 발전효율 75%를 목표로 하고 있었다. 발전효율 70% 이상이라는 것은 콤팩트 사이클이라 하더라도 열기관만으로는 실현하기 어렵고 연료전지와 조합함으로써 비로소 실현 가능하게 되는 숫자이다. 또한 열기관만으로는 200MW 정도 이상의 대형플랜트로 실현할 수

있는 발전효율이 최근 겨우 60%에 가까워질 정도로, 그 가스터빈 입구 온도는 1700°C를 넘어 열기관 사이클론으로 거의 한계에 가까워져서 겨우 실현할 수 있었던 숫자인 것이다. 연료전지와 조합하면 대형으로 하지 않더라도 재료적인 무리를 하지 않아도 발전효율이 70%를 넘는다는 것은 스케일메리트뿐만 아니라 열역학적으로도 거대시스템이 이제는 존재이유를 상실하였다고 할 수 있지 않을까.

일본기계학회에서는 1999년도부터 제1기 연구에 이어 2001년도부터 2년간 「가스터빈·연료전지이용 소형 분산에너지 시스템에 관한 연구분과회(RC185)」를 설치하고 있는데 여기서 소형 가정용 연료전지·마이크로 가스터빈 하이브리드 시스템의 설계연구를 시행할 계획이다.

4. 아시아의 기간인프라 스트럭처의 구축

연료전지의 연료는 수소이다. 과도기적으로는 천연가스나 프로판 등에서 개선하여 수소를 만들지만 인프라가 정비되면 수소를 직접 공급하게 될 것이다. 지구온난화 방지를 위해서도 가능한 한 조기에 태양이라든가 풍력, 수력 등 자연에너지를 사용하여 발전하고, 물을 전기분해하여 수소를 만드는 것이 바람직하다. 한편 천연가스에 수소를 20% 정도 혼합한 기체를 하이단(Hydrogen+Methane=Hythane)이라고 하고, 하이단을 피스톤엔진이나 가스터빈의 연료로 사용하면 배기가스 중의 NO_x나 PM(입자상물질) 등 대기오염물질이 아주 적어진다는 것을 알고 있다. 아직 그 메커니즘은 분명하지 않기 때문에 일본에서도 연구를 조속히 시작할 필요가 있다. 하이단이란 용어는 이룰테면 코카콜라와 같이 등록상표이며 미국 콜로라도주 덴버에 본사가 있는 Hydrogen Components Inc.사 사장 Frank Lynch씨가 권리를 갖

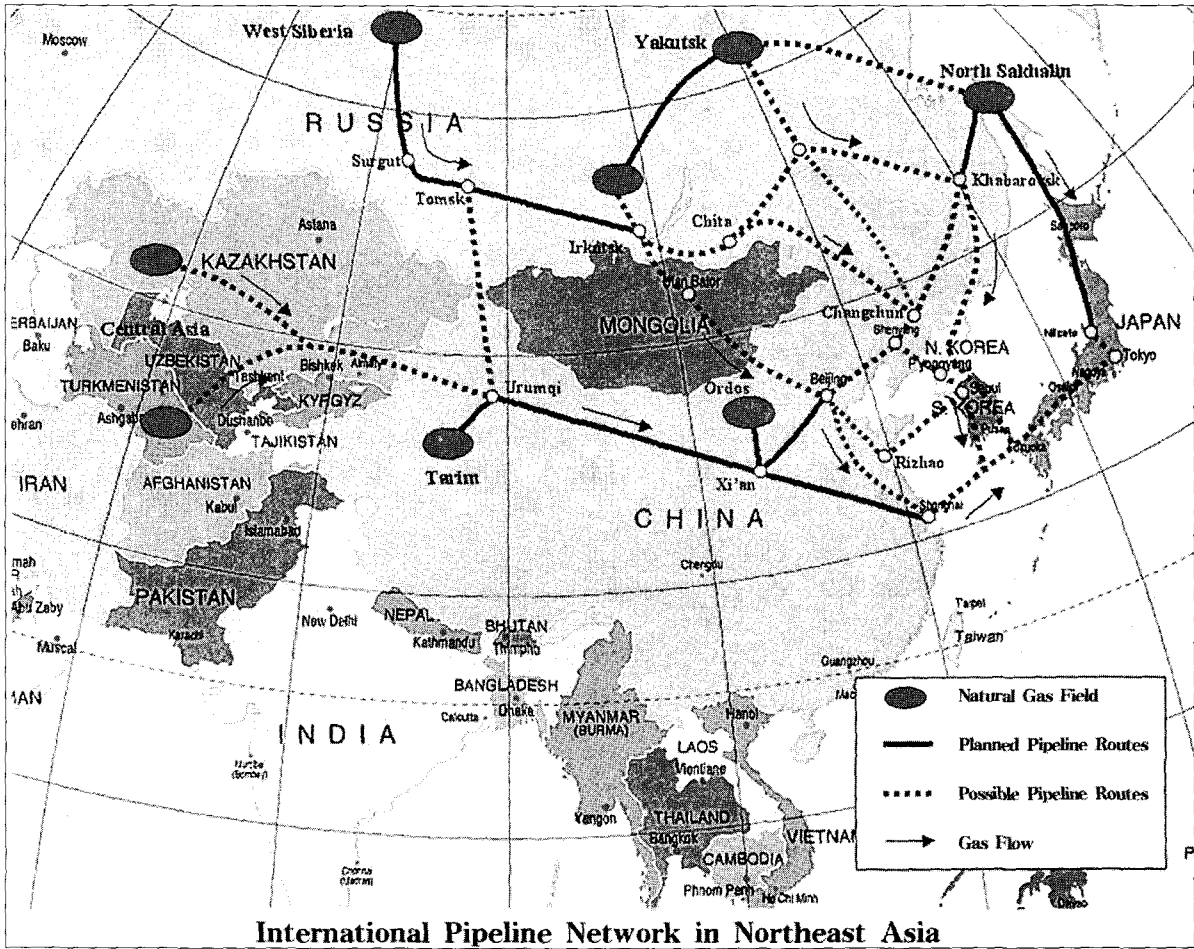
고 있다.

세계무역기구(WTO)는 2001년 11월 10일, 중국의 가맹을 승인하였다. 인구 13억명의 중국뿐만 아니라 인도를 포함한 아시아 여러 나라의 정보화와 모오티리제이션이 일제히 시작되게 된다.

지구온난화와 대기오염의 진행을 억제하면서 이 움직임을 지원하고 가속시켜 가기 위해서는 처음부터 기술한바와 같은 분산 소형의 고효율에너지 시스템 보급을 추진함과 동시에 천연가스, 하이단 나아가 수소연료를 자동차에 보급할 필요가 있다. 그러기 위해서는 아시아에 이들 기체연료 수송을 위한 고압간선 파이프라인망을 구축하는 것이 필수조건이다.

유럽에서는 수십만km에 이르는 고압천연가스 수송 파이프라인망이 완비되어 있는데 아시아에는 국제적인 장거리 파이프라인은 존재하지 않는다. 아시아의 뒤늦음은 명백하다. 가능한 한 조기에 고압간선망을 정비하여 초기에는 천연가스를 수송하지만 머지않아 수소를 혼합한 하이단을 수송하고 궁극에는 순수소를 수송하게 된다. 즉 처음에는 천연가스를 운반하는 것이 주목적이지만 머지않아 아시아 전역, 시베리아를 포함하는 지역에서 태양, 풍력, 수력 등 자연에너지를 모아 발전하여 수소로 바뀌어 천연가스에 혼합하여 천연가스를 캐리어로 하여 파이프라인으로 운반해 오는 것이다. 따라서 여기에 사용되는 파이프용 강재는 당초부터 수소취성에 강한 재료로 설계하지 않으면 안된다. 구미의 현재 파이프라인은 그대로는 수소를 수송할 수 없다.

이와 같은 기본구상 하에 필자들은 중국, 한국, 북한, 몽골, 대만, 러시아 등 관계국에 제안하여 「동북아시아 가스&파이프라인 포럼」을 설립하여 1995년 이래 東京, 北京, 서울, 우랍과들, 야쿠츠크, 이루츠크로 매년 1회 회의를 거듭하여 상호이해를 돈독히 함과 동시에 각국 천연가스의 수요량과 공급량의 예상이라든가 기술적인 정보교



〈그림 1〉 북동아시아 천연가스 파이프라인망 개념도

환을 하여 왔다. 지난 2001년 12월 3~5일에는 東京에서 제7회 회의를 개최하여 회원국 외에 미국, 영국, 프랑스, 오스트레일리아, 홍콩 등으로부터 해외 78명, 국내 160명의 참가로 성황리에 개최되었다.

특히 러시아로부터는 가스포럼사 부사장을 포함한 34명의 대표단으로 천연가스 수출에 거는 강한 기대를 표시하였다. 그림 1은 제6회 이루쿠츠회의에서 회원국이 합의한 동북아시아 파이프라인망의 개념도이다. 아시아가 처음부터 수소 수송을 염두에 두고 이들 파이프라인망을 건

설해 가면 인프라 구축에서 뒤늦은 아시아가 21세기 「수소시대」에는 세계 선두에 설 수 있게 될 것이다.

이 원고는 일본 明電時報에서 번역, 전재한 것입니다. 본고의 저작권은 (株)明電숨에 있고 번역책임은 대한전기협회에 있습니다.