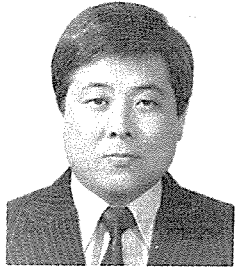


高速増殖型 原電의 建設

〈上〉



李 在 根
(工博·韓國重工業常務)

석유자원의 고갈에 대비하여 새로운 에너지원을 찾는 노력은 부단히 계속되어 왔다. 특히 발전분야에서는 원자력 발전을 비롯하여 조력, 수력, 풍력, 태양열, 지열, 파력, 해양온도차 발전과 미생물을 이용하는 발전까지 가능한 모든 방법이 연구되고 있다.

그러나 아직까지는 화력발전을 대체할 수 있는 유일한 방법으로 원자력 발전밖에 없다. 태양열을 이용하는 방법은 난방에는 많은 성과를 거두었으나 상업용 대형 발전소를 건설하기에는 아직 많은 문제점이 있으며 그 밖의 방법은 최대한으로 활용한다고 하더라도 앞으로 필요하게 될 전력의 10% 이상을 감당하지 못한다.

그러므로 대기권 밖의 태양열 발전소나 핵융합 발전소와 같이 근본적인 해결이 가능할때까지는 원자력 발전에 의존하는 수 밖에 없다.

상업용 대형 원자력 발전소에는 비등식 경수로(BWR), 가압식 경수로(PWR)와 중수로(DWR)가 있고 고온가스로(HTR)와 고속증식로(FBR)가 실용 단계로 까지 개발되어 있다.

비등식 경수로는 화력 발전소의 원리를 그대로 적용한 것으로 원자력 발전소의 개발초기에는 많이 건설하였으나 방사선의 유출이 심하여 지금은 거의 건설되지 않고 있다.

가압식 경수로는 방사선의 유출을 적게 하기 위하여 열 전달 과정을 1차계통과 2차계통으로

나누고 1차계통의 압력을 155 Bar까지 올려서 320℃나 되는 물이 끓지 않도록 하였다. 2차계통의 물은 증기 발생기 안에서 1차계통의 물과 직접적인 접촉이 없이 열만 전달 받아 압력 52 Bar 온도 270℃의 증기로 변하여 발전기를 가동하게 된다.

중수로는 천연 우라늄(Uranium)을 사용할 수 있는 장점이 있으나 중수를 만드는데 막대한 비용이 필요하므로 자연수 속에 중수의 함량이 비교적 많은 스웨덴이나 캐나다에서 일부 건설되고 있다.

경수로와 중수로는 투입되는 핵연료의 극히 일부분만을 사용하므로 많은 핵 폐기물이 생기게 되고 증기의 온도가 화력 발전보다 낮은 결함이 있다.

고온가스로는 흑연을 감속제로 탄산가스를 냉각제로 사용하여 원자로에서 나올때의 온도를 690℃까지 올릴 수 있어 열 효율을 44%까지 증가시킬 수 있다. 이로써 화력 발전소와 같은 고온의 증기를 만들 수 있고 산업용으로 증기를 공급할 수도 있다. 고온 가스로는 이 밖에도 토리움(Thorium)을 핵연료로 쓸 수 있는 장점이 있다.

고속증식로는 원자로에서 나올때의 온도가 약 550℃로써 고온가스로와 같이 높지는 못하나 경수로의 17배이며 경수로에서 사용할 수 없었던

우라늄 U-238을 프루토늄(Plutonium) Pu-239로 변환시켜서 사용할 수 있기 때문에 핵연료의 사용 효율이 약 60배 늘어난다. 핵연료를 적게 사용하는 만큼 핵 폐기물도 적어지므로 경수로가 가지고 있던 결함을 한꺼번에 해결할 수 있어서 고속증식로는 미래의 원자력 발전소로서 주목되고 있다.

고속증식로의 개발과정을 보면 1960년대에는 주로 20MWe의 규모로서 영국의 DFR(15MWe 1962년 가동), 미국의 EBR II(20MWe, 1965년 가동), 불란서의 RAPSODIE(40MWth, 1967년 가동), 소련의 BOR-60(7.5 MWe, 1969년 가동) 등이 건설 되었다. 독일은 이보다 늦어서 1977년에 21MWe의 KNK II를 가동하였고 같은해에 일본에서는 100 MWth의 JOYO를 가동 하였다. Pilot Plant라 할수 있는 300 MWe 급의 발전소는 영국이 1974년에 PFR(254 MWe)를, 같은 해에 불란서가 PHENIX (250 MWe)를, 미국이 1979년에 FFTF(400 MWth)를 가동하였으며 소련은 150MWe의 발전소와 1일 생산량 12만톤의 해수 담수화 플랜트를 겸한 BN-350을 1973년에 가동하였다. 독일이 유럽제국과 합작한 KALKAR(327 MWe)는 1983년이나 가동할 예정이다. 상업용 대형 발전소로는 소련의 BN-600(600MWe)이 1973년 부터 건설하기 시작하여 1980년에 가동할 예정이었으나 자세한 소식을 듣지 못하고 있고 불란서가 주도하는 Super PHENIX(1200 MWe)가 1977년부터 건설에 착수하여 1983년에 가동할 예정으로 있다.

핵연료가 풍부한 미국은 고속증식발전소의 개발을 등한히 하였고 유럽 제국이 원자력 발전소를 수출하고자 할 때에 핵연료 공급권으로 이를 규제하여 오던 터이라 상업용 고속증식 발전소가 실용화되면 미국의 원자력산업계는 큰 타격을 입게 된다. 한때 미국은 핵 확산방지를 내걸고 고속증식발전소의 개발을 중지하자고 제안 하였다가 유럽제국의 거센 반발로 실패하였다.

현재까지 추정된 전세계의 우라늄 매장량은 이를 전부 경수로에만 사용할 경우에는 석탄 매

장량의 열량에도 미치지 못한다. 또한 경수로에서는 너무나 많은 핵 폐기물이 나오기 때문에 고속증식로의 개발은 불가피한 사정이다.

필자의 견해로는 앞으로 10년 안팎에 선진 공업국들은 경수로에 대한 Know how를 가장 비싼 값으로 개발도상국에 이양하고 고속증식로로 옮겨갈 것이 분명하다.

1. 경수로와 중수로의 원리

천연자원 중에서 연쇄 핵반응을 일으킬 수 있는 것은 오직 u-235밖에 없다. u-235가 핵분열을 하기 위하여는 6.1MeV가 필요하며 핵분열때에 나오는 중성자가 다음 u-235에 충돌하여 생기는 에너지는 6.5MeV이므로 연쇄반응이 가능한 것이다. 인공적으로 만들 수 있는 핵연료로는 토륨 Th-232가 분열하여 생기는 u-233과 u-238이 분열하여 생기는 프루토늄 Pu-239가 있으며 모두다 u-235의 분열을 이용하여 만들 수 있다.

u-235가 분열할때에는 2 내지 3개의 중성자가 나오게 되며 이중에서 적어도 1개 이상이 다음 핵분열에 사용되어야만 연쇄반응이 가능하다.

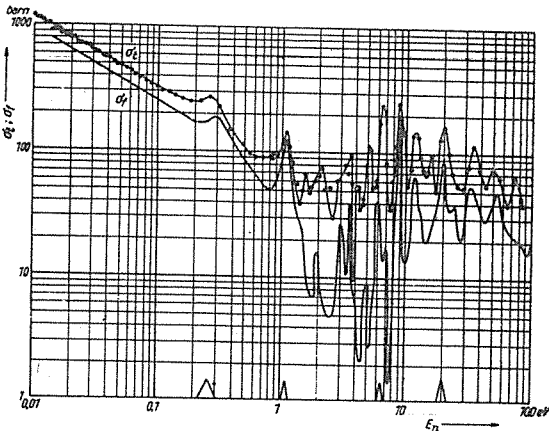
중성자가 다음 핵분열에 이용되지 못하고 손실되는 경우는 주위에 핵분열 물질을 만나지 못하고 밖으로 유출되거나 다른 물질에 흡수되므로서 생기게 된다. 그러므로 연쇄 핵반응이 일어나려면 일정량의 핵분열 물질이 적합한 모양으로 모여있어야 한다. 순수한 u-235의 경우에는 적어도 22.8kg이 공과 같은 모양으로 모여있어야 하고 순수한 Pu-239의 경우에는 이 보다 적어서 5.6kg이 공과 같이 모여 있으면 연쇄반응이 가능하다.

천연 우라늄 중에는 u-238이 99.27%로 대부분을 차지하고 u-235는 0.72% 밖에 되지 않는다. 나머지 0.006%는 u-234이다. 이들 동위원소들은 화학적인 성질이 똑 같아서 화학적인 방법으로는 분리할 수가 없고 미세한 무게의 차이를 이용하여 분리하여야 한다. 현재 가장 실용적인 농축방법은 원심분리기를 이용하는 것으로 효율이 1.25이며 효율이 1.02인 Tre-

nduse 방법과 1.002인 Diffusion 방법도 있으나 모두다 막대한 경비가 소요된다.

이와같이 u-235를 농축하는데에는 많은 경비가 필요하므로 상업용 대형 원자로에서는 중성자의 속도를 줄이는 감속제와 중성자를 반사하는 반사제를 사용하여 다음 핵분열에 사용될 수 있는 확율을 높이고 있다. 중성자가 다음 핵분열에 사용될 수 있는 확율은 작용단면적으로 표시하며 단위는 Barn을 사용한다. 1Barn은 $10^{-28} m^2$ 이다. 도표 1은 u-235의 경우에 이 확율과 중성자의 운동 에너지와의 상관관계를 보여준다. 도표 1에서 보면 중성자의 운동 에너지가 적을수

(도표 1)



록 다음 핵분열에 사용될 확율이 높아진다. 그러나 중성자의 운동 에너지는 주위의 온도에 따른 에너지보다 더 낮아질 수는 없으므로 원자로 내의 온도가 700°C일 경우에는 0.08 eV가 하한선이 된다. 순수 u-235 안에서의 중성자 운동 에너지는 평균 2 MeV이다.

감속제로서 가장 이상적인 물질은 수소이다. 수소는 중성자와 무게가 거의 같기 때문에 한번 부딪쳐서도 중성자의 운동 에너지를 거의 흡수한다. 그러나 수소는 폭발할 위험이 있고 기체 상태로는 밀도가 작아서 상업용 대형 원자로에서는 중수나 물 또는 흑연을 감속제로 사용한다. 이 밖에도 Beryllium이나 Terphenyl, Polyphenyl 같은 유기물질을 감속제로 사용할 수 있다. 이들 감속제는 대부분이 중성자를 반사하는

작용도 하기 때문에 핵분열의 효율을 더욱 높여준다. 핵연료의 노심을 떠나서 튀어나온 중성자를 다시 노심 안으로 반사하는 비율은 물이 82%, 중수가 91.9%, 흑연이 89.2% Beryllium이 88.1%이다.

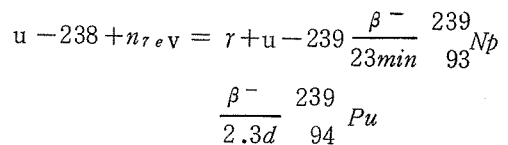
중수를 감속제와 반사제로 사용할 경우에는 연쇄 핵분열이 가능한 순수 u-235의 최소량을 22.8kg에서 0.6kg으로 격감시킬 수 있다. 순수 u-235 대신에 천연 우라늄을 사용할 수도 있으며 이때에는 약 30톤 이상이 필요하다.

물을 감속제와 반사제로 사용하는 경수로에서는 천연 우라늄을 사용할 수 없고 u-235가 2%에서 4%까지 농축된 핵연료를 사용한다.

흑연을 감속제와 반사제로 사용할 경우에는 천연 흑연에 들어있는 Bor를 분리 시켜서 0.0001% 이하로 줄여야 하는 아주 힘든 작업이 따르게 된다. Bor는 저속중성자를 흡수하는 확율이 7755Barn으로 흑연의 0.0032 Barn에 비하여 월등히 높다. 이와같이 연쇄 핵분열을 방해하는 Bor의 성질을 이용하여 원자로 안의 Bor량을 조절 하므로써 핵 반응을 제어하는데에 사용하기도 한다.

실제로 핵분열에 u-235의 량은 투입된 량의 0.1%에서 0.3%에 지나지 않는다. 이것은 u-235가 핵분열할 때에 생기는 Xe-135와 같은 물질이 저속중성자를 흡수하여 연쇄반응을 방해하기 때문이다. 그러므로 핵연료를 효율적으로 쓰자면 핵연료 재처리 과정에서 이 물질들을 제거하고 남은 u-235를 다시 핵연료로 가공하여 사용하여야 한다.

고속중성식의 원리와 나트륨 냉각제 천연우라늄의 99.27%를 차지하는 u-238은 저속중성자로는 핵분열 되지않으나 고속중성자를 이용하면 다음과 같이 Pu-239로 변환시킬 수가 있다.



(다음號에 계속)