

일본 ‘몬쥬’(Monju) 고속증식 원형로의 초임계

에너지자립 위한 핵연료 사이클의 핵심

1994. 4. 5 일본의 동력로·핵연료 개발사업단이 개발한 고속증식로 Monju(원형로, 전기출력 28만 kw)가 초임계에 도달하였다. 이로써 일본은 핵연료주기 완성을 통한 에너지자립이라는 목표에는 큰진전을 보였지만 플루토늄 이용에 관한 국제적인 논란이나 안전성과 경제성 확보를 위하여 해결하여야 할 문제가 많아서 실용화되기 까지는 그 전망이 밝은 것만은 아니다.

Monju는 고속증식로로 발전의 초보적인 원형로로서 핵분열 반응이 연쇄적으로 일어나는 상태(임계)에 달하였으나, 실제로 발전을 수반하는 출력시험은 내년 4월부터 시작하여 내년 말에 28만kw 100% 출력을 할 예정이다. Monju이전에도 고속증식 실험로인 常陽이 있었으나 발전설비가 없었다. 원형로 이후에는 전력업계에서 고속증식로 발전이 기술적, 경제적으로 타당성이 있는가를 확인하기 위한 전기출력 60만 kw급 실증로를 설계, 건설할 예정이다. 그러나 전기출력 100만kw급인 고속증식로 발전을 본격적으로 이용하게 되는 것은 일반적으로 2030년 이후에만 가능할 것으로 보고 있다.

고속증식로(FBR)는 연소된 것 이상의 연료를 만들어 내는데, 그 능력의 지표를 증식비라고 하며 Monju의 경우 그 비율이 1.2이다. 예를 들면 10개의 플루토늄 239가 핵분열을 하면, 239연료 집합체를 에워싸고 있는

Blanket연료집합체중의 12개의 우라늄 238이 그대로 플루토늄 239로 변한다니 계산이다.

고속증식로의 구조는 크게 보아 3층 구조로 되어 있다(노심단면도 참조). 중심부에 있는 연료집합체와 이를 에워싼 Blanket연료집합체, 그 바깥쪽에는 중성자 차폐체가 있다. 연료집합체는 안쪽노심과 바깥쪽 노심으로 되어 있으며 모두 핵분열이되는 플루토늄 239와 우라늄을 혼합한 MOX연료로 채워져 있다.

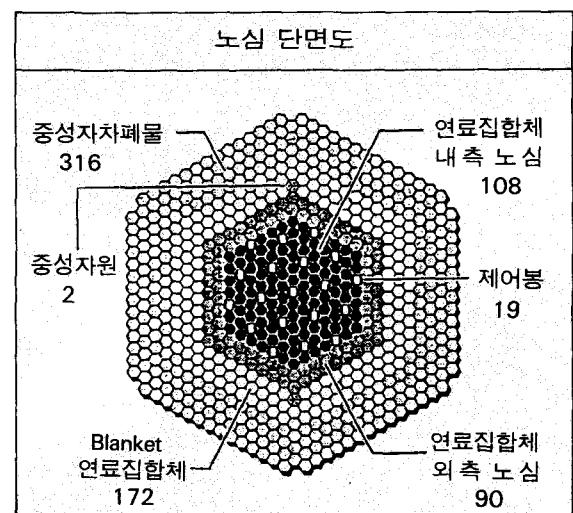
Blanket연료의 성분은 친연우라늄의 99.3%를 차지하고 있는 연소되지 않는 우라늄 238이다. 중심부 연료집합체에 있는 플루토늄 239가 핵분열을 일으키면 대량의 열과 함께 약 3개의 고속증성자가 발생한다. 이 증성자 중 1개가 옆의 플루토늄 239에

충돌하여 다음 핵분열이 일어나면서 핵분열의 연쇄반응이 진행된다. 이와 같이 연료 집합체의 플루토늄 239가 감소되는 한편, 핵분열 때마다 남은 1, 2개의 중성자가 바깥쪽으로 날아가서 Blanket연료인 우라늄 238과 충돌

하면, 중성자를 흡수한 우라늄 238은 플루토늄 239로 변화하게 되어, 연료를 연소하면서 새로운 연료를 생산하는 것이 가능하게 된다.

또한 고속증식로는 일반 원자력발전소의 경수로에서 물을 냉각제로 사용하는 경우와 달리 금속나트륨을 사용한다. 나트륨은 고온에서도 쉽게沸騰하지 않고 열을 전도하는 성질이 우수하며 중성자의 운동에 방해되는 일이 드물기 때문이다.

일본의 Monju원형로는 자원소국인 자국의 에너지 자립정책의 일환으로서 26년 전인 1968년 예비설계에 착수하여 당초 계획보다 1년 반 늦게 약 60억불(6,000억엔)을 투자하여 쓰루가시 시라기에 건설된 것이다. 그러나 국제정세의 변화로 당초 계획하였던 의미가 크게 줄어 들었다.



그 이유는 중식되는 플루토늄 연료가 원폭제조에 사용할 수 있는 극히 위험한 물질이며, 또한 세계적으로 부족될 것으로 예상되었던 우라늄이 과잉추세이고, 냉전종식에 따른 핵무기 해체로 잉여 플루토늄이 대량으로 발생될 가능성이 있기 때문이다. 이러한 환경변화의 흐름에 따라서 독일등 각국이 FBR개발계획을 중지하였는데, 미국의 원형로 계획은 83년에 개발을 중지하였고, 몇 차례 사고를 야기하였던 영국의 PFR도 연초에 폐쇄되었다. 실증로까지 발전되었던 프랑스의 수퍼페닉스 FBR도 플루토늄등 장수명 핵물질 소멸 연구용으로 전용하는 방향으로 금년초에 노선이 변경되었다.

이와같은 추세와 FBR에 대한 비판, 특히 외국환경 그룹으로부터의 비판에 대해서, 일본 동력로·핵연료 개발사업단은 플루토늄 중식 기술이 확립되는 단계가 되면, 약간의 설계변경을 하여 잉여 플루토늄을 소멸시키는 비중식형 원자로로서 가동케하는 안을 선택안의 하나로서 검토하고 있다고 한다. 일본정부도 최근 플루토늄의 대량 비축을 지양하는 방향으로 원자력 장기 이용계획을 수정하여, 일반 원자력 발전소에서 연료로 플루토늄 사용을 확대함으로써 플루토늄 비축을 하지 않고, 프랑스 등지에서 재처리결과 반입하는 플루토늄도 연구용 또는 원전연료로 모두 사용할 방침이라고 밝혔다.

한편 고속증식로 건설비는 동일한 용량의 일반 원자력발전소에 비하여 현저하게 높다. 특히 세계적으로 우라늄 공급이 과잉상태이며, 플루토늄이 고가이고 위험한 점을 고려할 때 미래의 기술개발과 경제성 확보가 일본정부와 전력업계가 당면한

과제라고 할수 있다. 2005년경에 건설될 실증로 1호기(전기출력 60만 kw)는 경수로의 1.5배 수준의 비용을 목표로 하여 건설할 예정이라고 한다. 또한 세계적으로 2070년경에는 연소가능한 우라늄 235가 부족하게 되어 우라늄 가격이 상승할 것이

큰 목적이며, 처분과정에서 위험성이 있는 폐기물을 원자로 안에서 연소케 한다는 이점이 있다.

핵연료 사이클의 중심기술인 사용후 핵연료의 재처리에 관한 현재의 기술은 사용후 핵연료를 용해하여 플루토늄과 우라늄, 방사선폐기물

“고속증식로, 플루토늄 분리 않고 핵연료로 이용하는 기술개발추진”

므로 자원이 부족한 일본은 이와같은 사태에 대비하여 고속증식로 개발을 계속 추진하여야 한다고 주장하고 있다.

한편 현재 가동중인 42기 원자로의 안전도 기록이 양호하였던 점에 비추어, 일본의 여론은 고속증식로 개발에 대하여서도 기본적으로 소극적이기는 하나 적극적인 반대는 하지 않고 있는 것으로 보인다.

한편 일본 원자력위원회는 5월 7일 일본의 플루토늄 이용에 대한 국내외비판을 감안하여 고속증식로가 실용화되는 시기까지는 방사선폐기물의 일부인 플루토늄과 우라늄을 분리하지 않은 상태에서 신연료로 사용하는 새로운 방식의 핵연료 주기를 확립한다는 방침을 결정하였으며, 이 방침은 개정작업중인 원자력 개발이용 장기계획에 반영할 것이라고 한다.

새로운 사이클 확립을 위하여 새로운 시험원자로와 새방식의 재처리 공장을 건설하여, 고속증식로의 실용화 목표인 2030년까지는 기술개발을 완료할 계획이다. 이 방침은 핵무기에 이용될 우려가 있는 순수한 플루토늄을 일체 취급하지 않음으로써 핵확산 우려를 줄인다는 것이 가장

등 세 가지 종류로 분리하고 있다.

재처리는 원래 원폭을 만드는 군사 기술로 발달되었기 때문에 순수한 플루토늄을 추출하는것이 특징이다. 그러나 일본 원자력위원회가 개발하고자 하는 새로운 방식은 사용후 핵연료에 포함된 방사선폐기물 중에서 반감기가 극히 길어서 처리가 위험한 네튜늄(neptunium)과 큐륨(curium)을 플루토늄, 우라늄과 혼합된 상태로 추출하여 신연료로 재이용한다.

순수한 플루토늄이 아니기 때문에 그것만으로써 원폭을 만들기 어려울뿐만 아니라 각물질을 분리하고 있는 현재의 방식에 비하여 재처리공정을 간소화 할수 있어 재처리 비용도 절감할수 있다.

이러한 기술개발을 위하여 2015년 까지 고속증식로용 재처리 공장 파이럿플랜트를 운전개시할 것을 목표로 하고 있으며, 또한 방사선폐기물이 포함된 연료를 효율적으로 연소하는 기술을 실증할 시험원자로도 건설할 계획이다. 그 규모는 미정이지만 고속증식로 원형로 Monju 이상으로 하는 안도 나오고 있는데, 이러한 기술개발은 동력로·핵연료 개발사업단을 중심으로 추진할 예정이다.(자료 미WP, 일產經지)