

(iii) 대량의 혼합산화물연료가 실제의 발전용 원자로의 조건에서 100,000MWd/tHM까지 照射되었고 연료손율은 0.01% 이하였다.

(iv) 사용후 연료를 재처리하여 플루토늄을 再利用함으로써 고속로 핵연료사이클을 완결했다.

(v) 增殖을 実証했다.

(vi) pool type LMFBR은 제어와 보수가 용이하며 주요 機器에 대해서도 거의 곤란을 느끼지 않고 교환이나 수리를 할 수 있으며, 이때의 被曝量도 극히 적다.

Plu-Thermal 움직임 活性化

최근 Plu-Thermal(Plutonium을 熱中性子炉에 사용하는 것으로, 일반적으로 輕水炉에서의 Plutonium 이용을 말한다)이 크게 대두되고 있다.

장차 plutonium 이용이 가능한 option으로는 경수로에서의 이용, ATR이용, FBR이용, 경수로와 ATR과의 併用利用이라는 네 가지가 생각되고 있는데 이 중에서 FBR에 이용하는 것이 최적이라고 하나 문제는 FBR이 실용화 될 때까지의 사이를 어떻게 하는가 하는 것으로 이에 대응한 것이 plutonium의 경수로 recycle이다.

이 경수로 recycle의 특징은 plutonium 專燒炉를 새로 건설하는 것이 아니라 既存의 BWR이나 PWR의 炉心설계를 변경시키지 않고 농축우라늄의 대용으로 MOX연료(plutonium 산화물과 uranium 산화물의 혼합체)를 사용하려는 것인데 ① 새로운 炉型개발이 필요없다 ② 많은 연구개발비가 필요하지 않다 ③ 実証까지의 기술개발 기간이 비교적 단시간으로 충분하다는 점을 들 수 있다.

Plu-thermal 추진 이유

plu-thermal이 최근 추진되고 하는 큰 요인의 하나는 장차 천연우라늄의 입수가 곤란해진다는 것으로 천연우라늄의 값이 폭등할 것을 예측했을 경우 천연우라늄을 최대한 절약할 수 있는 방법을 생각하여 대처해나가기 위해서 實用化의 견지에서는 좀 빠른것 같으나 지금부터 시

작함으로써 사업화 되었을 때 어떤 문제가 생기는가를 미리 熟知하고 준비해 둘 필요가 있기 때문이다.

두번째는 플루토늄의 이용에 대해서는 FBR을 기다리면 된다고 하나 그 entry의 지연이 예상되기 때문이다.

그외에도 재처리를 할 수 있는 자신이 생긴 것과 플루토늄을 되도록 stock하지 않고 활용하려는 요청이 있는 것 등이 지적된다.

plu-thermal의 經濟的 評價

plu-thermal(輕水炉利用)이 다른 이용형태와 비교해서 경제적인가에 대해 일본의 모델핵연료cycle·flow를 전제조건으로 플루토늄의 이용방법에 따른 연료cycle·cost의 비교를 보면 플루토늄의 경수로이용의 경제성평가는 재처리, MOX연료가공 등이 같은 時期에서 행해지는가, 사용후 핵연료의 영구저장 feasibility가 있는가 등의 핵연료cycle 전체시스템 형성과 밀접한 관계가 있으며 대단히 불확실한 요인에 의해 지배되고 있으나, 일반적으로는 macro 경제적인 recycle의 영향평가, 원자로의 life cycle에서 平均한 경제성평가 및 사용후 핵연료의 가치평가 등 3가지의 approach가 있다.

재처리와 recycle의 경제성은 원자력발전규모 확대에 따라 dynamic하게 변화한다. 그래서 어느 장래시점까지의 전체 핵연료cycle 코스트를 쌓아올려 once-through cycle과 비교를 행

한다. 이것이 첫번째의 macro경제적 approach이다. 또 두번째의 원자로 life cycle 평균의 approach란 핵연료cycle의 각 option에 대해 初裝填부터 연료교환과 꺼내는 각 단계에서의 코스트를 炉의 life cycle 전체 (30년간)에 걸쳐 계산하고 이것을 평균화하여 비교평가를 행하는 것이다. 세번째의 사용후 핵연료 가치평가의 approach인데 사용후 핵연료는 영구처분 되는데 곧 재처리되든가, 혹은 중간저장을 한 후 폐기 또는 재처리되든가 어느쪽이든 생성되는 플루토늄에 맞추어서 경수로로의 recycle은 있을 수 있다. 그래서 사용후 핵연료에 焦点을 맞추어 그 代替的인 對處방법의 차이에 의한 割引後의 現在 가치를 계산해서 비교하려는 것이다.

이와같은 경제평가에서 채택되는 분석방법은 원자로 life cycle 평균의 approach이다. 경제성 비교의 대상이 되는 경우는 다음 네가지 경우이다.

A : 경수로에 우라늄을 once-through하여 재처리를 하지 않고 사용후 핵연료로 FBR시대까지 저장한다.

B : 경수로로부터의 사용후 핵연료는 재처리하는데 생성플루토늄, 회수우라늄은 FBR시대까지 recycle하지 않고 저장한다.

C : 경수로의 사용후 핵연료를 재처리하여 플루토늄과 회수우라늄을 SGR모델로 recycle한다.

D : ATR에서 플루토늄을 recycle한다. 플루토늄의 조달은 自己炉의 recycle과 부족분은 自社의 경수로로부터 보충한다고 가정한다.

이상 네가지 경우의 핵연료cycle·cost의 계산이 U_3O_8 의 가격, 연료가공비, 재처리비 등을 parameter로 하여 행해졌다.

결론은 다음과 같다.

(1) MOX가공비가 400 \$/kg·HM(UO_2 의 2배)로 가정했을 경우 경수로플루토늄·recycle이有利的 것은 U_3O_8 이 130 \$/lb 이상일 때다.

(2) ATR플루토늄·burner는 천연우라늄 소비량이 적으므로 U_3O_8 가격에는 거의 의존하지 않는다. ATR플루토늄·burner는 MOX가공비가 800 \$/kg·HM(UO_2 의 4배) 경우에도 U_3O_8 이 55

\$/lb 이상이면 경제적으로 성립한다. 그러나 自社内 플루토늄이용이라는 점을 생각해서 경수로에 비해 건설비가 15%정도 비싸다고 하면 경수로 플루토늄·recycle과 경제성은 큰 차이가 없게된다.

(3) 경수로에서의 플루토늄·recycle은 그 recycle량이 적기 때문에 농축우라늄이 필요하며 ATR이 농축우라늄을 필요로 하지 않음을 비교할 때 계산에서는 不利하게 된다.

MOX연료가공상의 문제점

MOX연료가공에서 문제가 되는 것은 MOX연료를 가공하는 것이 얼마만큼 발전코스트에 영향을 주느냐 하는 것과 가공하는 공정에서 안전성의 문제 등이 추가된다고 보여진다. 그 이유는 천연우라늄에서 만든 농축우라늄을 成型加工하는 데는 특별한 프로세스를 거치지 않더라도 충분하고, 안전하게 성형할 수 있음에 비해 MOX연료를 가공할 경우는 원격조작을 해야하며 그외에 차폐를 계속해서 고려해야할 필요가 있기 때문이다.

따라서 당연히 코스트는 상승하게 된다. 그러므로 MOX연료를 어떻게 하면 낮은 코스트로 하느냐 하는 것이 대단히 중요하다고 할 수 있다.

Plu-thermal의 意義

Plu-thermal에는 다음과 같은 의의가 있다. 첫번째로 資源論으로서의 의의이다. 즉 장기적, 종합적효과는 별도로 하더라도 FBR의 본격적이용까지의 기간을 대상으로 했을 때 단기적이기는 하나 약간의 우라늄 절약효과가 있다.

참고로 INFCE(국제핵연료싸이클평가)의 working group I에서는 「100만kW급의 발전소·耐用年數 30년·capacity factor 70%의 경수로를 1년간 계속 운전했을 때(현재의 기술로) 천연우라늄이 4,260톤 필요하다. 이에 대해 만약 自己가 만든 플루토늄으로 recover 할 수 있다면 천연우라늄은 2,665톤으로 충분하다」고 하고 있다.

두번째는 技術論的으로 장차 FBR이 실용화 될 때를 대비하여 플루토늄을 상업규모로 대량 사용하는 경험을 얻음으로서 취급의 習熟이라는 면이 있다.

세번째는 FBR실용화가 지연되고 또한 우라늄자원의 입수가 곤란하게 되었을 경우에 대비한 保險 또는 contingency plan이 된다.

plu-thermal 利用에 관한 海外의 動向

미국은 당분간 輕水炉에서의 플루토늄 利用 (plu-thermal)을 고려하고 있지 않으나 플루토늄 이용에 관한 신정책을 策定中이며 6월까지 대통령에게 보고할 전망이다.

서독은 고속증식로(FBR) 시대로의 移行이 늦어짐에 따라 경수로에서의 플루토늄 이용에 대한 중요성이 증대하여 1988년에 plu-thermal 실용화시험을 계획하고 있다.

미국의 당면 최대과제는 「사용후 핵연료를 포함한 高레벨방사성 폐기물의 관리체제 구축」에 있으며 바안웰재처리공장이 민간에 의해 계속 건설될 것인가에 대한 전망은 현재 불투명하다. 따라서 현재 미국내에 전력회사가 이용할 수 있는 플루토늄은 존재하지 않는다.

경수로에서의 플루토늄 이용에 대해서는 原子力發電 伸長이 예상을 크게 하회하여 ①우라늄 가격이 低迷하며 ②농축능력이 남는다 등으로 정부와 민간은 크게 관심을 갖고 있지 않다. 이

것은 카터정권 이전에 행해졌던 「混合酸化物연료 이용에 관한 포괄적 환경성명(GESMO)」을 완결시킬 의사가 에너지省(DOE)과 원자력규제위원회(NRC)에 없음으로 뒷받침된다.

한편 서독은 「회수플루토늄을 장기 저장하지 않고 원자로에 recycle한다」는 방침아래 FBR과 경수로에서의 플루토늄 recycle기술 개발을 수행해왔다.

그러나 FBR의 개발속도는 原型炉SNR-300에 대한 허인가수속의 대폭적인 지연으로 늦어지고 있으며 「FBR의 자본비가 예상보다 상당히 높으며 그 경제성은 우라늄가격의 대폭적인 상승을 전제로 하여야 비로소 성립된다고 예측된다」는 점이 지적되고 있다.

그 결과 서독에서는 플루토늄 이용의 방법으로 경수로에서의 recycle이 더한층 중요성을 갖게 되었으며 코스트면에서도 저장보다 유리하기 때문에 전력업계는 1988년에 plu-thermal의 실용화시험을 계획하고 있다. 또한 서독의 유일한 혼합산화물연료(MOX) 제조사인 알켄社は 「1987년에는 1990년대 초기에 필요한 공급규모인 연간 40톤体制를 확립한다」고 한다.

또 서독의 plu-thermal을 둘러싼 PA문제에 대해서는 「플루토늄에 대한 문제가 FBR에 대해서 일어나고 있으며 이에 대해 적극적으로 대응하고 있으나 plu-thermal자체에 대해서는 특별한 문제가 없다」고 강조하고 있다.

投 稿 案 內

- * 內 容 : 원자력 전반에 관한 논문, 정보, 제언, 국제회의참가기, 해외 방문기, 국내외 동정, 수필, 기타
- * 原稿枚數 : 200字 원고지 30枚 内外
(採択된 원고에는 所定の 原稿料를 드립니다)
- * 보 낼 곳 : 서울 중앙 사서함 6583호

韓國原子力産業會議 編輯室 (28-0163~4)