

核에너지資源의 利用을 極大化하는 새로운 CANDU 核燃料 사이클

주어진 상황으로 보아 금세기말 또는 다음 세기초에는 우라늄資源이 稀少해 지고 그 가격이 크게 상승할 것이므로 原子核 속에 潜在해 있는 에너지를 보다 효과적인 방법으로 抽出해 내는 방법이 연구 개발되지 않으면 안된다.

예를 들어, 오는 2000년까지는 현재 확인된 우라늄 매장량의 거의 半이 소모될 것이고, 기존 또는 계획된 발전소의 계속적인 核燃料 需要는 나머지 핵연료 자원의 供給을 훨씬 능가할 것으로 예측된다.

물론 장기적으로는 核發電의 다음 단계로서 核融合 및 太陽에너지源과 같은 가능성이 있을 수 있다.

그러나 유명한 物理學者인 Edward Teller 박사는 이러한 가능성은 먼 장래에나 이루어 질 수 있을 것이라고 하였다.

그는 1990년까지 制御된 核融合의 實證이 가능하게 될 것이나 그 비용이 엄청날 것이며, 따라서 상업적 활용은 20년 내지 100년후에나 가능하게 될 것이라고 예언하였다.

단기적으로 기대할 수 있는 다른 가능성은 한 개의 우라늄 원자가 분열할 때마다, 최소한 분열되지 않는 우라늄 원자 한개를 분열할 수 있는 플루토늄으로 전환시킴으로서 소모된 연료보다 더 많은 연료를 생성하는 소위 高速增殖炉의 활용이다.

그러나 美國에서는 카터 前大統領이 고속증식로에서 생산된 플루토늄이 핵무기의 제조에 이용될 수 있다는 이유로 고속증식로의 개발을 중지시킨적이 있었으며 이외에도 고속증식로의 건설은 다른 관점에서 의문이 제기되고 있는 바 이는 고속증식로가 핵반응을 계속하기 위하여는

減速(熱)中性子보다 高速中性子를 사용하여야 하기 때문이다.

Teller 박사는 이것이 理論적으로는 궁극적으로 모든 우라늄을 활용하게 되는 것이지만, 모험을 포함하고 있다는 사실을 지적한 바 있다.

그는 “고속증성자는 다루기가 매우 힘들어서 엔지니어링이 어려울 뿐 아니라, 성공된다 하여도 그 原子炉는 매우 값비싼 것이 될 것이다”라고 경고하면서 高速增殖炉가 경제적으로 만족스러운 결과를 가져올지 확신할 수 없다고 하였다. 그 대신 Teller 박사는 CANDU型 原子炉의 設計를 이용한 代案을 제시하였다. 약간의 수정으로 CANDU는 어느 정도 增殖이 가능하다. CANDU는 토륨을 사용하여 핵연료를 생산할 수 있고, 토륨은 우라늄보다 훨씬 풍부하기 때문에 CANDU는 충분한 에너지를 영구히 세계에 공급할 수 있다고 Teller 박사는 예측하였다.

사실상 현재 사용중인 원자로의 잠재력을 확대할 수 있는 진보된 핵연료사이클로서 다음의 네가지가 있다.

1. 低濃縮 우라늄을 사용하는 개량된 once-through cycle
2. 濃縮 우라늄에서 시작된 토륨-우라늄 recycle
3. 플루토늄에서 시작된 토륨 recycle
4. Self sufficient equilibrium 토륨cycle

CANDU設計는 앞의 네가지중 약간의 엔지니어링 변경만으로 어느 것에도 적용될 수 있다.

더구나 CANDU發電所는 다른 시스템의 발전소와 共生의 관계에서 가동될 수 있으며, 이와 관련하여 가장 분명한 세가지의 가능성은

○CANDU는 고속증식로와 함께 運用될 수

있다.

○CANDU는 캐나다 원자력공사(AECL)의 Chalk River 原子力研究所에서 연구중인 소위 加速增殖炉(Accelerator Breeder)와 함께 運用될 수 있다.

○輕水炉(LWR)에서 제거된 연료를 간단한 化學的再處理를 한 후 CANDU型 原子炉에 다시 사용할 수 있다.

CANDU가 미래의 광범한 전략에 쉽게 적용될 수 있는 기본적인 이유는 原子炉 自体의 설계에 있다.

한국, 캐나다 및 기타 국가에서 가동중인 것과 같은 표준형 CANDU원자로는 감속재 및 냉각재로 重水를 사용한다. 이러한 중수 감속재는 효율적이며 천연우라늄을 연료로 사용할 수 있게 하기 때문에 高價의 농축비용을 절약하고, 인플레이에 의하여 계속적으로 증가하는 비용부담의 위험을 피하며, 동시에 소수의 외국 우라늄 농축 서비스 공급으로부터 독립을 보장받을 수 있다.

重水는 天然의 보통물에 7000분의 1정도 존재

하며 전형적인 화학공업기술과 유사한 화학공학 공정을 이용하여 대량의 물을 처리함으로써 중수를 분리한다.

천연우라늄 연료는 농축우라늄 235 연료의 4분의 1에도 못미치는 분열원자를 함유하고 있기 때문에 일정량의 에너지를 생산하기 위하여는 보다 자주 새로운 연료를 원자로에 裝填해야 한다. 輕水炉에서와 같이 燃料再裝填時 가동중지로 에너지 생산시간을 잃어버리는 손실을 피하기 위하여 CANDU型 原子炉는 發電量의 감소없이 계속해서 연료를 再裝填할 수 있어야만 했다.

20kg의 천연우라늄 연료 다발이 CANDU발전소로부터 제거될 때까지 생산하는 전력은 1,050,000kWh로서 400톤의 석탄에 상당한다. 연료 다발에 있는 우라늄이 소모되면 그것은 연료 사용의 극대화를 위하여 원자로의 다른 자리로 옮겨 지거나 또는 새로운 연료로 교체된다.

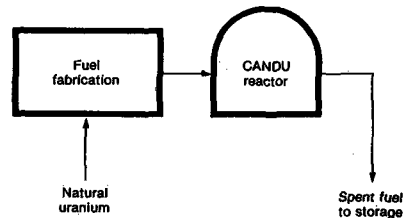
연료봉이 제거될 때 우라늄 235의 함량은 0.2%에 불과한데, 이것은 濃縮工場에서 제거되는 우라늄과 같은 함량이며, CANDU型 原子炉에서 제거되는 핵연료는 화학적으로 추출이 가능하고 재사용할 수 있는 상당량의 플루토늄을 함유하고 있다.

여기에서 몇가지 數値의 비교는 주목할만하다. 천연우라늄을 사용하는 CANDU型 原子炉가 1메가와트의 전력을 생산하기 위하여는 167kg의 천연우라늄을 필요로 하는 반면, 輕水炉가 같은 電力量을 發電하는데 필요한 농축 우라늄을 생

表 Approximate equilibrium fuel consumption			
Reactor	Fuel cycle	Fuel consumption (kg/MW.a)	
		Uranium	Thorium
CANDU	Natural uranium once-through	167	—
	1.2% Enriched uranium once-through	118	—
	Plutonium/uranium	70	—
	Plutonium/thorium	45	1
	Uranium-235/thorium	32	1
	Thorium self-sufficient	—	2
LWR*	Enriched uranium once-through	200	—
	Uranium recycle	170	—
	Plutonium/uranium recycle	125	—
LMFBR**	Plutonium/uranium	2	—

* Light water reactor fuelled with enriched uranium.
 ** Liquid metal fast breeder reactor fuelled with plutonium and uranium-238.

그림 1 "Once through" natural uranium fuel cycle



산하기 위하여는 200kg의 천연우라늄이 필요하다.

CANDU는 또한 1.2%의 농축우라늄 118kg을 사용하여 같은 電力量을發電할 수 있으며, 이濃縮度는 輕水炉로부터 사용후 제거된 使用後核燃料과 거의 같은 수준이다.

이러한 점들은 CANDU형 원자로와 경수로를 함께 사용하고 있는 나라들에서는 CANDU형과 경수로형 핵연료사이클을 연결할 수 있다는 점에서 상당히 관심있는 분야이다.

경수로에서 나오는 使用後核燃料은 화학처리를 통해 핵분열생성물질이 제거되고 재가공을 거쳐서 CANDU형 원자로에 재사용 될 수 있다.

CANDU형 원자로의 연료 다발은 간단하게 설계되어 있으므로 재가공 과정이 단순하며 핵분열생성물질을 완전히 제거할 필요성이 없어 화학처리공정이 간단하다.

연구보고서에 의하면 CANDU형과 경수로형이 동시에 존재하는 입지조건에서, 앞의 방법을 사용할 경우 1000MW의 경수로에서 발생하는 사용후 핵연료는 600MW 내지 700MW 규모의 CANDU형 원자로를 가동시키는 데 필요한 연료를 공급할 수 있다고 한다. 따라서 이러한 비율을 고려할 때(약 40%의 에너지를 CANDU형

원자로로 충당하는 경우) 다음과 같은 경제성이 생긴다.

1. 총 우라늄 소비량의 약 40%를 수입하지 않아도 되며

2. 경수로에서 발생하는 사용후 핵연료의 축적이 불필요하게 된다.

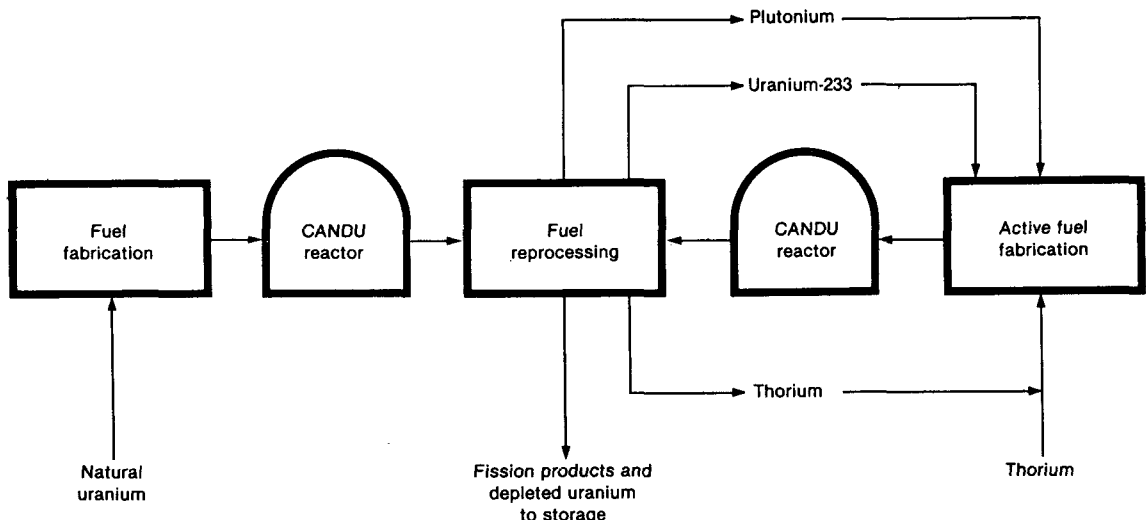
대부분의 에너지 연구가들은 원자력 에너지 이용의 증가와 1회용 핵연료의 세계적 사용으로 조만간 세계 우라늄 供給이 그 需要에 미치지 못하게 될 것이 틀림없지만 그 시기가 언제가 될것인가는 여러가지 요인에 의하여 단언하기 어렵다고 말하고 있다.

많은 나라의 과학자와 기술자들은 새로운 핵연료사이클을 개발하여 우라늄 부족사태에 대비코자 하고 있으나 현존하는 경수로의 개량 가능성에는 한계가 있기 때문에 高速增殖炉와 같은 새로운 시스템을 찾게 되었다.

이상과 같이 CANDU형 원자로는 핵연료를 효율적으로 사용할 수 있는 가능성이 많으며, CANDU의 경제적 가치를 손상함이 없이 실현될 수 있다.

결론적으로 CANDU형 원자로의 利點은 진보된 핵연료사이클을 CANDU형 원자로를 거의 변경하지 않고 그대로 이용할 수 있다는 데 있다.

그림 2 Thorium fuel cycle



(AECL 제공)