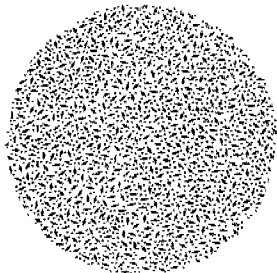


核燃料國產化 現況과 展望

The Status and Prospect of Nuclear Fuel Localization Programme in Korea



梁 昌 國

韓國電力公社 燃料處 核燃料部長

1. 序 言

우리나라는 1978년에 원자력 1호기를 준공시킨 이래 1983년에 원자력 3호기와 원자력 2호기를, 1985년에는 원자력 5호기를 각각 준공하여 현재 모두 4기의 원자력발전소를 상업가동중이며 1985년도 원자력발전이 전체 발전설비용량중 차지하는 비율은 18%이나 발전량은 총발전량의 약 28%이다.

또한 원자력 6호기부터 10호기까지 5기의 원자력발전소가 1986년부터 연차적으로 상업가동될 예정이며, 1996년까지는 원자력 11, 12호기가 준공되어 우리나라 발전설비용량중 원자력이 점유하는 비율은 약 33%까지 증가될 전망이다(표 1 참조).

원자력 발전용량의 증가에 따라 핵연료 수요가 급속히 증가하게 되며, 수요량의 100%를 해외수입에 의존하던 핵연료의 자립을 위한 국산화 필요성이 대두되었다. 본고에서는 핵연료주기(核燃料週期)를 개괄하고 우리나라의 핵연료주기시설 국산화 현황과 그 전망에 대해서 언급하고자 한다.

2. 核燃料週期概要

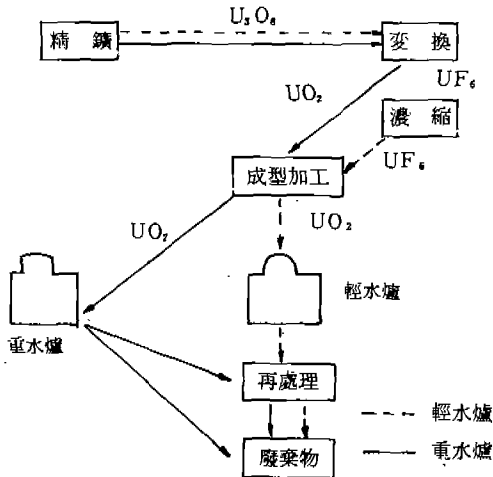
원자력발전소에 사용하는 핵연료의 원료물질로는 자연계에 존재하는 우라늄을 사용한다. 우라늄을 핵연료로 사용하기 위해서는 우라늄광석을 채광, 정련하여 정광(U₃O₈)을 얻은 후에 경수로용 핵연료인 경우에는 천연우라늄의 우라늄-235의 함유량 0.7%를 약 2~4% 정도까지 농축하는 과정이 필요하다. 그러므로 우라늄정광은 농축하기 쉬운 상태로 변환 즉, 우라늄정광을 기체상태인 육불화우라늄(UF₆)으로 바꾸게 된다. 농축된 우라늄은 원자력에 장전하기 위한 핵연료로 제작되는데, 농축 UF₆를 이산화우라늄(UO₂)으로 재변환하여 분필모양의 펠릿(Pellet)을 만들고 이를 연료봉에 장입하여 양단을 용접하고 연료봉을 핵연료다발로 만드는 과정을 성형가공(成型加工)이라고 한다.

또한 사용하고난 핵연료 속에는 아직도 덜 연소된 우라늄과 연소중 새로 생긴 핵분열성물질인 플루토늄(Plutonium)이 남아 있으므로 이를 재처리하여 발전용 연료로 재사용할 수 있다. 이와같은 일련의 과정을 핵연료주기라 하며(그림 1 참조) 원자력에 장전하기 전까지의 우라늄정광, 변환, 농축,

〈표-1〉 우리나라 원자력발전소 현황

호기	위치	원자로형	용량 (Mwe)	제 작 자		상업준공
				원 자 료	터 빈	
1	고리	경수로	587	W. H. (U. S. A.)	G. E. C(U. K)	8. 4
2	고리	경수로	650	W. H. (U. S. A.)	G. E. C(U. K)	83. 7
3	월성	중수로	676. 7	AECL (Canada)	Parsons (Canada & U.K.)	83. 4
5	고리	경수로	950	W. H. (U. S. A.)	G. E. C. (U. K.)	85. 9
6	고리	경수로	950	W. H. (U. S. A.)	G. E. C. (U. K.)	86. 6 (예정)
7	영광	경수로	950	W. H. (U. S. A.)	W. H. (U. S. A.)	86. 12 (")
8	영광	경수로	950	W. H. (U. S. A.)	W. H. (U. S. A.)	87. 3 (")
9	울진	경수로	950	Framatome (France)	Alsthom (France)	88. 9 (")
10	울진	경수로	950	Framatome (France)	Alsthom (France)	89. 9 (")

*현재 핵연료 성형가공 공급자는 원자로계통 설계자와 동일.
원자력 11, 12호기는 각각 '95 및 '96년도에 준공공표로 추진중.



〈그림-1〉 核燃料 週期圖

성형가공과정을 선행핵주기 (Front End Fuel Cycle) 라 하며 원자로에서 핵연료가 방출되고 난 후의 주기를 후행핵주기 (Back End Fuel Cycle)라 부르기도 한다.

중수로의 경우는 농축이 필요 없으므로 천연우라늄을 바로 UO_2 분말로 변환하여 원자로에 장전할 수 있는 핵연료다발로 제작한다.

3. 核燃料 國產化 現況과 展望

가. 우라늄 精鍊

자유세계 우라늄 자원중 파운드당 50달러 이하로 생산가능한 확인 및 추정 매장량은 약 400만톤 U

로 서기 2020년경까지의 수요를 충족할 수 있을 것으로 보인다. 확인, 추정 매장량외에도 많은 량의 우라늄이 지하에 부존하고 있을 것으로 예상되며 바닷물속에도 약 0.03ppm 정도의 우라늄이 함유하고 있어 약 40억톤에 달하는 막대한 량이 있는 셈이다.

우리나라에도 충청북도 괴산, 옥천지방에 평균품위 약 0.026%의 저품위우리는 하나 약 26,000톤- U_3O_8 이 매장되어 있는 것이 확인되었다. 현재와 같이 침체된 우라늄시장하에서의 국내 우라늄 개발은 경제성이 없으며, 우라늄 수요증가에 따른 우라늄 가격의 상승시에 대비하여 한국에너지(연)과 동력자원(연)에서 정련기술을 개발하고 있다.

한국에너지(연)은 불란서 코제마사로 부터 시설을 도입하여 1톤/일 광석처리능력의 시작공장 (Pilot Plant)을 건설하여 정련기술을 개발중이다. 또한 인산광석에 함유된 우라늄을 인산비료 생산시 부산물로 생산하기 위한 연구가 1976년부터 영남화학과학연구소와 한국과학기술원 공동으로 수행되어 1978년 시작공장의 운전에는 성공하였으나 1970년대말 파운드당 40불을 상회하던 우라늄 현물시장이 현재는 20불이하로 곤두박질하여 상업규모 생산시설이 포기된 상태이다.

현 시장여건으로 보아 상당기간 원자력발전소 소요되는 우라늄은 해외에 의존할 수밖에 없으며 이에 대비하여 장기계약과 개발수입을 적극 추진중이다.

나. 變 換

1) 重水爐核燃料 變換

한국에너지연구소는 불란서로 부터 연간 100톤U를 생산할 수 있는 변환시설을 도입하여 1982. 4 준공하여 ADU(Ammonium Diuranated) 공법에 의한 핵연료 변환기술을 개발하여 왔으며 현재의 ADU공법보다 새로운 기술인 AUC(Ammonium Uranyl Carbonated) 공정기술을 확보하기 위해 소규모의 시작공장을 건설하고 상용화 공정기술을 연구하고 있다. 현 ADU시설을 AUC변환시설로 개조하여 1988년 하반기부터 연간 100톤U를 변환할 계획이며 원자력 3호기의 연간 소요량을 충족할 수 있다.

2) 輕水爐核燃料變換

앞서 언급된 바와같이 경수로용 핵연료는 농축과정이 필요하므로 경수로용 핵연료변환은 농축과 같이 검토되어야 한다. 우리나라정부는 상당기간 해외에 의존하여야하므로 외국에서 수입한 우라늄을 국내에서 변환하고 다시 농축을 위해 재반출하는 것은 수송비등 경제적인 측면에서 경제성이 없으므로 현재 국산화계획은 추진되고 있지 않다.

다. 濃 縮

우라늄의 이용은 맨하탄 프로젝트(Manhattan Project)에 의한 핵무기제조 목적으로 최초로 이용되었으며 본 농축기술은 핵무기제조와 직접 관련되므로 기술이 비공개된 분야이며 국제적으로 기술이전이 금지된 예민기술이다.

수십년간 기술이 확립된 기체확산법(氣體擴散法) 외에 최근 원심분리법(遠心分離法)이 상용화 되었으며, 그 외에 레이저를 이용한 분리법등 신기술을 개발중이다. 기체확산방법 및 원심분리법은 건설비용이 엄청나며 기술이 미공개된 상태로 국산화가 어렵다. 기술개발중인 레이저법 및 화학분리법등이 상용화되면 농축의 국산화도 고려될 수 있겠으나 상당기간 국산화는 어려운 전망이다.

라. 成型加工

대부분의 원자로 공급자들은 핵연료 성형가공시설을 보유하고 있으며 현재의 시설용량도 충분하여 공급에 별 문제점은 없다. 그러나 본 성형가공기술은 설계 및 제조를 포함하여 원자력이용의 핵심기

술로서 핵연료 성능 및 원자력발전소의 안전성 확보에 필수적이며 특히 핵연료의 경제성 및 발전소 가동율제고에도 가장 크게 기여하는 기술이므로 원자력발전소를 보유하고 있는 대부분의 국가들이 동성형가공의 자체기술 확보를 추진하고 있는 추세이다.

1) 重水爐 核燃料 成型加工

한국에너지연구소는 중수로 핵연료 성형가공 기술의 국내자립을 위해 불란서로부터 주요기기를 도입하여 연간 10톤 생산규모의 성형가공 시작공장을 1978년 준공하고 핵연료소결체(Fuel Pellet)의 제조 핵연료다발 제조공정과 설계기술을 개발하여 1982년 제 1 단계개발을 완료하였으며 1983년에는 동 연구소가 제작한 핵연료제품에 대한 원자로의 실증시험을 동 연구소의 시설에서 수행하고 원자로내 실증시험은 캐나다에서 수행하여 시제품핵연료의 안정성과 성능을 입증하였다. 1984년 하반기에는 24개 핵연료다발을 시험적으로 원자력 3호기에 부분장전 하였으며 약 1년간에 걸친 원자로내 연소후 방출하여 검사한 결과 아무런 결함이 없이 연소된 것이 확인되었다. 1986년까지 상당량의 시제품핵연료를 계속 원자력 3 호기에 부분장전하여 핵연료성능 및 안전성을 확인할 계획이며 기술개발이 완료되는 1986년 12월까지의 연간 100톤U 생산규모로 성형가공공장을 확장하여 원자력 3호기의 연간소요량을 공급할 계획이다. 이에 따라 중수로 핵연료변환 및 성형가공의 국산화를 달성하면 외화절약은 물론 관련분야 기술축적, 중수로 핵연료주기의 자립에도 기여할 것이다.

2) 輕水爐 核燃料 成型加工

1982년 11월 경수형원자로용 핵연료 성형가공 국산화사업의 본격적인 추진을 위해 한국핵연료주식회사가 설립되었다. 동 성형가공 국산화방법으로는 외국기술은 도입하되 운영은 국내주도형으로 하며 설계는 한국에너지(연)에서, 제조는 한국핵연료(주)가 수행토록 결정되었다.

경수로 10기분의 핵연료 공급이 가능하도록 1988년 12월까지 연산 200톤U 규모의 성형가공 공장을 준공할 예정이며 외국기술도입선으로는 서독 KWU(Kraftwerk Union)사가 경쟁입찰결과 선정되었다.

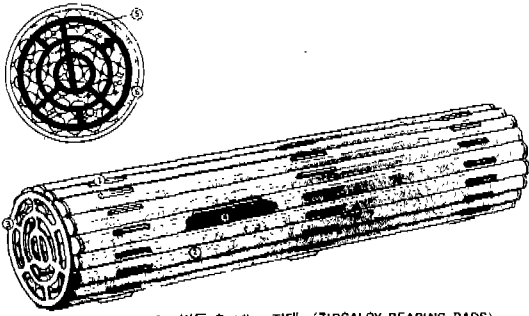
KWU사로 부터 이전될 기술은 핵연료설계 및 제

〈표-3〉 輕水爐核燃料 諸元

표준형핵연료집합체기준

핵연료봉 배열	14×14	16×16	17×17
핵연료집합체길이 (mm)	4,059	4,059	4,059
핵연료집합체폭 (mm)	197	197	214
핵연료봉수 / 집합체	179	235	264
핵연료봉직경 (mm)	10.75	9.5	9.5
핵연료봉 길이 (mm)	3,658	3,658	3,658
집합체 무게 (kg)	574	601	667
집합체당 UO ₂ 무게 (kg)	455	474	524
집합체당 U무게 (kg)	401	409	461
비 고	원자력 1호기	원자력 2호기	원자력 5,6호기

* 간소요량 : 원자력 1 기 40개 집합체
 2 호기 40개 "
 5 ~ 12 호기 2개 "



1. 번들 (Bundle) 지대 (ZIRCALOY BEARING PADS)
2. 핵연료 피복관 (ZIRCALOY FUEL SHEATH)
3. 연료봉 지지판 (ZIRCALOY END SUPPORT PLATE)
4. 펠릿 (우라늄) (URANUM DIOXIDE PELLETS)
5. 연료봉 간격지대 (INTER ELEMENT SPACERS)
6. 압력관 (PRESSURE TUBE)

〈그림-2〉 중수로핵연료 다발(Bundle) 형태

〈표-2〉 重水爐核燃料 諸元

핵연료봉수	37개	
봉및기타구조재료재질	질칼로이-4	약2.3kg/다발
핵연료봉직경 (mm)	13.08	
연료다발길이 (mm)	495.3	
최대다발직경 (mm)	102.49	
다발당 무게 (kg)	23.9	
다발당 UO ₂ 무게 (kg)	21.6	
다발당 U무게 (kg)	19.05	

* 연간소요량 : 원자력 3 호기 약 5,000다발

조기기술로서 설계업무에 대한 기술전수는 한국 에너지연구소가, 제조기술은 한국핵연료주식회사가 전수받도록 되어 있다.

따라서 1989년부터는 농축된 UF₆를 UO₂ 분말로 재변환하는 공정을 제외하고 핵연료의 설계 및 제조 과정의 국산화를 달성할 수 있으며 우리나라 실정에 맞는 원자로 운전의 기초기술을 자립하게 된다. 또한 핵연료 설계기술은 원자로계통 설계기술과 밀접한 관계가 있으므로 원자로설계의 국산화에 크게 도움이 될 것이다.

농축 UF₆를 UO₂ 분말로 재변환하는 기술도 1990년대 초를 목표로 한국에너지연구소가 자체 개발하고 있어 머지않은 장래에 전체 성형가공공정의 완전국산화도 달성될 전망이다.

마. 再處理

현재 영국, 불란서등 일부 국가에서 상용 재처리를 하고 있으며, 아직도 시설용량에 여유가 있어 위

탁재처리가 가능하나 재처리후 회수되는 우라늄 및 플루토늄값 200~300달러/kgU에 비하여 재처리비는 700달러/kgU로 경제성이 의문이다.

재처리기술도 농축기술과 마찬가지로 핵무기제조와 직접 관련되는 예민기술이므로 그 개발 및 기술전수에 제약이 많아 당분간 국산화는 어려울 전망이다.

4. 結 論

우리나라가 에너지원 빈국이라는 점에서 필수에너지원으로서 계속 원자력에 의존할 수 밖에 없다. 핵연료 수송 및 저장에 간편한 외에도 계속적인 기술개발에 따라 그 효용성이 증대될 수도 있어 에너지원의 자립이란 관점에서 가능한한 핵연료주기 국산화는 바람직하며 국가적인 목표를 설정하여 적극적으로 국산화가 추진되어야 할 것이다. *