

# 核燃料 新規工場의 建設計劃 및 展望

정부의 핵연료국산화 방침에 따라 설립된 한국핵연료주식회사는 현재 대전 대덕연구단지 내에 연산 200톤 규모의 핵연료성형가공공장 시설을 가동하여 지난 89년부터 국내 경수로 핵연료 소요분 전량을 생산, 공급해 오고 있다. 91년 10월에 확정된 정부의 장기전력수급계획에 의거, 오는 2006년까지 원자력발전소 18기의 추가건설이 예정됨에 따라 한국핵연료주식회사는 추가로 소요되는 원전 연료 전량을 안정적, 경제적으로 공급하기 위해 충남 공주군에 신규공장을 건설할 계획이다.



김 동 훈  
한국핵연료주식회사 사장

에너지의 안정적인 공급을 위한 정부의 장기전력수급계획이 지난해 10월에 확정됨에 따라 현재 건설중인 영광 3, 4호기, 월성 2호기, 울진 3, 4호기 및 추가로 건설될 원자력발전소에 소요되는

핵연료 수요를 적기에 공급하기 위하여 핵연료성형가공공장을 신, 증설하여 핵연료 전량을 국내 공급함으로써 에너지에 대한 국가의 실질적인 자립과 국제경쟁력을 확보하는 것이 필요하게 되었다.

이에 따라 경수로 핵연료 수요량은 당사의 현 공칭 생산능력 연 200MTU 규모를 초과하여 연 200MTU 규모의 핵연료공장의 추가 건설이 필요하며, 중수로 핵연료의 경우 한국원자력연구소에서 R&D에 의하여 건설된 약 100MTU 규모의 시설을 보유하고 있어 월성 1호기까지는 공급 가능하나 월성 2호기부터는 설비용량이 부족하게 되어, 연간 약 400MTU 규모의 핵연료성형가공시설 신, 증설계획을 수립하여 92년 5월9일 이사회의 승인을 득하였다.

경수로 200톤 규모, 중수로 400톤 규모의 공장건설을 위하여 소요되는 투자규모는 약 1,100억원으로, 92년도에 사업을 착수하여 96년 12월까지 공장건설 및 기기설치를 끝내고, 97년 6월까지 시운전을 완료하여, 97년 7월 상업가동을 목표로 추진하고 있다.

당사의 현 경수로 핵연료 생산능력은 연간 공칭 200MTU이나 핵연료 수요가 연간 약 400MTU 규모에 도달할 때까지는 일부 병목공정을 현 공장 내에 증설하는 것이 경제적으로 유리하여 연료봉 이하의 공정은 신규부지에 건설을 보류하고, 분말제조공정과 소결체제조공정의 증설은 기존공장의 공간이 협소하며 증설시 기존공장의 작업이 중단될 뿐 아니라 핵연료 수요의 지속적인 증가로 별도의 부지에 곧바로 증설을 추진해야 하는 점 등을 고려하여 신규부지에 건설함이 타당한 것으로 판단되어 연 200MTU 규모의 재변환, 소결체공장을 400MTU 규모까지 확장이

가능하도록 계획하였다(표 1).

중수로 핵연료가공시설은 변환시설을 제외한 성형가공공장을 신규 부지에 연간 400MTU 규모로 신설하여 800MTU 규모로 확장할 수 있도록 계획하였으며, 변환시설은 현재 한국원자력연구소에서 개발한 AUC 공법에 의한 UO<sub>2</sub> 분말을 사용중에 있으나 요구되는 밀도를 얻기가 어려워 고밀도가 가능한 공법을 자체 R&D 계획에 의거 국산화개발을 추진하여 경제성 규모에 도달시 또는 정책적으로 증설이 결정되면 즉시 건설할 계획이다(표 2).

신규공장 건설의 기본방향은 최

신의 자동화설비와 최소의 작업인원으로 운영하여 국제경쟁력을 확보하는 데 있다. 관세 및 무역에 관한 일반협정(GATT) 및 UR 협정이 핵연료에도 적용될 경우를 대비, 국제경쟁력을 확보하기 위한 자구책은 품질과 가격면에서 유리한 핵연료를 생산해야 하므로 경제성 향상 및 생산량 증가를 위한 신규공장 건설이 필연적인 것이다.

### 사업 추진일정

동일공장 내에 경수로와 중수로 핵연료가공시설을 설치하여 신뢰성과 안전성 있는 신규공장 건설을

목표로 부지확보, 인허가, 설계, 건물건설, 기기구매 및 설치, 시운전을 통하여 97년 7월부터 상업가동할 예정이다.

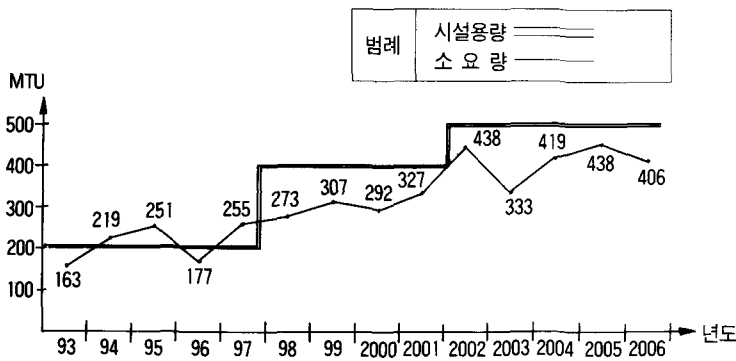
최근 원자력시설에 대한 주민반발로 인한 신규공장 부지매입이 지연됨으로 인하여 추진일정에 영향을 줄 수 있으나, 궁극적인 97년 6월 상업가동의 목표달성을 위하여 효율적인 공정관리와 설비 및 시공방법 개선 등을 통하여 극복해 나갈 예정이다. 추진일정은 <표 3>과 같다.

### 공장부지 확보

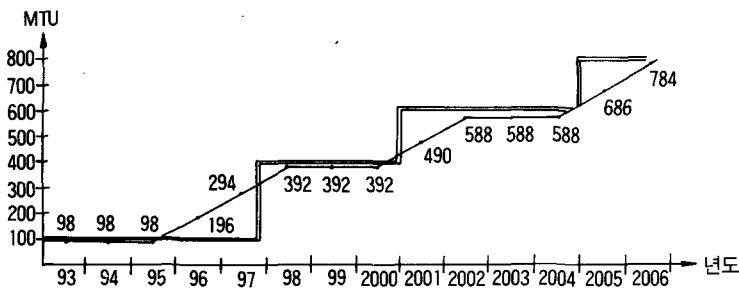
최근 방사성폐기물 저장시설 부지선정과 관련하여 거세게 일고 있는 주민들의 반발은 우리 회사 신규공장 부지확보에도 지대한 영향을 주어 어려움은 예상되었다. 부지선정조건으로 인허가 및 입지지정승인이 가능한 지역 중 민원발생을 감안한 주민 최소거주지역, 부지구입이 용이한 지역, 영업용수원 확보 가능지역, 핵연료수송이 용이한 지역 및 기존시설과 공통설비를 공용할 수 있도록 현 공장에서 40km 이내에 위치한 지역 30여곳을 물색하였다.

현 공장 인근지역을 중심으로 신규공장부지를 물색하던중 92년 2월 공주군 의당면 가산리 부지의 소유자의 요청에 의하여 해당 부지의 타당성을 조사하였고, 관련 군청 및 도청과 접촉하여 공장유치가 가능하다고 판단되어, 부지매입계약을 체결하기 이전에 지역주민들의 폭넓은 이해를 도모하고자 가산리

<표 1> 경수로 핵연료 소요량 및 시설용량



<표 2> 중수로 핵연료 소요량 및 시설용량



〈표 3〉 건설추진 일정

구분 \ 년도	91	92	93	94	95	96	97
1. 부지확보 및 관련 허가	3						
2. 건설 · 기본, 상세설계 · 기기구매 · 건물건설 · 기기설치	11			3		9	
3. 인허가 · 환경영향평가 · 가공사업허가, 설공서승인 · 건축허가 · 집합체설계승인 · 시설검사		5		6			
				6		9	
				6	7		3
4. 시 운 전						4	6

지역주민들을 회사에 초청하여 공장 신, 증설사업 설명 및 공장견학을 통해 92년 2월에 인근 지역주민의 공장입주 동의서명을 득한 후, 92년 4월에 부지매수계약을 체결하였다.

그러나 부지매입추진중에 반핵단체가 개입하여 유언비어를 유포하고, 공주군 의회의 핵연료공장 유치관련 특별조사위원회와 의당면 지역주민의 반대투쟁위원회 구성 및 설치반대시위 등 핵연료공장의 가산리 설치를 일부 반대하고 있는 상황이나, 핵연료 안전성에 대한 꾸준한 주민설득과 공장유치에 따른 지역발전효과 등을 설명하고 언론 및 관련기관, 단체의 지속적인 홍보활동을 통하여 공장건설을 추진할 예정이다.

**주요 추진계획**

**1. 건설추진 및 기술확보방안**

건설수행내용 중 설계요건 작성, 기기구매, 인허가, 시공감독 및 시운전 등은 자체 수행으로 추진하고, 업무특성상 당사가 직접 수행하기에 제약요소가 있는 기본설계 및 상세설계, 시공관리 등은 관련업체의 용역으로 수행할 계획이다.

기술확보방안으로는 기존 보유기술을 최대한 활용하여 경수로 소결체 및 연료봉공정은 현 제조공정 개선을 통하여 자체 개발로 추진하며, 경수로 구조부품 개발 및 중수로 변환공정은 국내업체 및 관련기관을 통하여 국내 개발로 추진할 예정이다.

당사가 보유하지 못한 기술인 경수로 재변환건식공정 및 부품제조공정 일부와 중수로 성형가공공정은 기술제휴를 통하여 기술을 확보할 계획이다.

**2. 설비계획**

신규공장의 설비계획은 적정 규모의 건물 및 시설을 건설하여 작업의 단순화 및 자동화를 실현하며, 외화절감 및 원가절감에 기여할 수 있도록 장비국산화를 적극 추진하며, 최신설비를 설치하여 청결하고 안전한 작업환경 및 폐기물의 배출을 최소화할 계획이며, 공정간 물류자동화 및 최적의 장비배치로 작업자의 이동거리를 최소화하며, 신규공장은 현 공장으로부터 40km 이내에 위치함을 기준하여 설비의 효율적인 운영을 도모하기 위하여 현 공장 이용가능설비를 최대한 공동 사용하며, 경, 중수로 공동부설비를 공동 운영하여 최대한 투자비를 절감할 계획이다.

공정별 설비계획으로서 경수로 핵연료재변환공정은 액체폐기물 발생이 거의 없는 건식공법을 채택하여 최신의 기술과 자동화된 설비로 설치하며, 공정 및 장비의 특수성을 고려하여 400MTU까지 가능토록 설비추진할 예정이다.

소결체공정은 장비간의 용량불균형을 해소하고 안정적인 생산체제를 유지하기 위하여 소결체압분기와 연삭기를 각각 2대 설치하고 소결체 직경자동측정장치 등의 설치로 검사 및 물류이송을 자동화시키고 추후 400MTU까지 추가 증설이 가능하도록 공간을 확보할 계획이다. 또한 현 공장 경험을 토대로 자체 기술로 추진하며 주요 설비의 일부 장비만 관련사로부터 도입하고 대부분 국산화를 추진할 계획이다.

연료봉제조공정은 현 공장의 병

복공정을 증설하여 공간 용량불균형을 해소시키며 특히 개량핵연료 생산이 가능하도록 설비추진할 계획이다. 부품공정 중의 CE형 Grid Cage의 조립공정은 CE 기술로 설치하고, 구조부품은 국내업체로 외주개발 추진하며, 지지격자 조립설비는 개량형 핵연료용 레이저용접장비를 사용하여 지지격자 설계변경에 따라 호환성을 갖도록 추진할 계획이다.

중수로 핵연료성형가공공정은 주요 공정을 자동화 및 단순화하여 최소의 인원으로 가동할 수 있도록 최신의 설비로 설치하며 특히 데이터 Processing 등의 전산시스템을 도입하여 각종 데이터 수집 및 이력추적을 용이케 하고, 생산관리 전산화, Safeguard 전산화 등을 추진하고자 한다. 대부분의 설비는 국산화추진을 원칙으로 하고 전용 및 특수장비는 관련사로부터 도입 추진할 계획이며, 변환공정은 고밀도가 가능한 공법을 채택하고 경제성을 고려하여 추후 증설할 계획이다.

### 3. 인력계획

공장건설인력은 현 공장의 인력을 최대한 활용하고 현 공장과의 중복업무 일부는 현 공장인력으로 수행하며, 토목, 건축 관련분야의 인력은 상업가동시 소요되는 인력만 채용하고 추가 소요인력은 외부 인력을 활용할 예정이다.

또한 신규공장의 경, 중수로 공통부분(QA, QC, 공무, Safeguard, 전산, Utility, 폐기물처리 및 자재관리 등)은 공동 운영하고

생산, QC, QA 절차 및 물류운반 등을 단순화 및 자동화하며 증설완료 후 상업생산년의 생산량을 기준으로 하여 인력을 효율적으로 운영할 계획으로, 공장가동인력을 조기 충원하여 공장건설 완료 후 상업생산에 활용할 계획이며, 생산기술직 중 단순작업공정은 여성근로자 등을 활용하며, 경력을 요하는 인력의 충원은 현 공장인원을 투입하고 현 공장의 결원에 대한 보충은 신입사원 혹은 별정직 인력으로 대체함으로써 현 공장의 경영개선에 기여할 방침이다.

### 4. 핵연료제조공정

#### (1) 경수로 핵연료제조공정

핵연료가공공정은  $UO_2$  분말제조인 재변환공정 및 핵연료집합체제조공정으로 구분된다.  $UO_2$  분말제조공정은 건식공법을 채택한다.  $UF_6$ 로부터  $UO_2$ 로 변환되는 과정은  $UF_6$ 가 수증기에 의하여 가수분해되는 반응과 이로부터 생성된  $UO_2F_2$ 가 수소 및 수증기에 의하여 환원성 열가수분해되는 반응으로 이루어지며, 폐기물처리는 HF 가스회수와 우라늄회수단계로 이루어진다.

PWR 핵연료집합체제조공정은  $UO_2$  분말을 압분, 소결, 연마시켜  $UO_2$  소결체를 만드는 소결체제조공정과,  $UO_2$  소결체를 피복관에 집어 넣고 봉단을 용접시켜 연료봉으로 만드는 연료봉제조공정과 집합체제조공정 등으로 나눌 수 있다.

먼저 소결체제조공정은 재변환 및 전처리된  $UO_2$  분말을 회전식

압분기에서 짝어 압분체(Green Pellet)로 만들고 이것을 소결로에서 약  $1,750^{\circ}C$  정도의 고온에서 소결시킨 다음 무심연삭기에서 연마시켜 완성된 소결체를 얻게 된다. 그리고 이러한 소결체제조공정에서 발생하는 스크랩(Scrap)은 회수시킨 다음 다시 사용하게 된다.

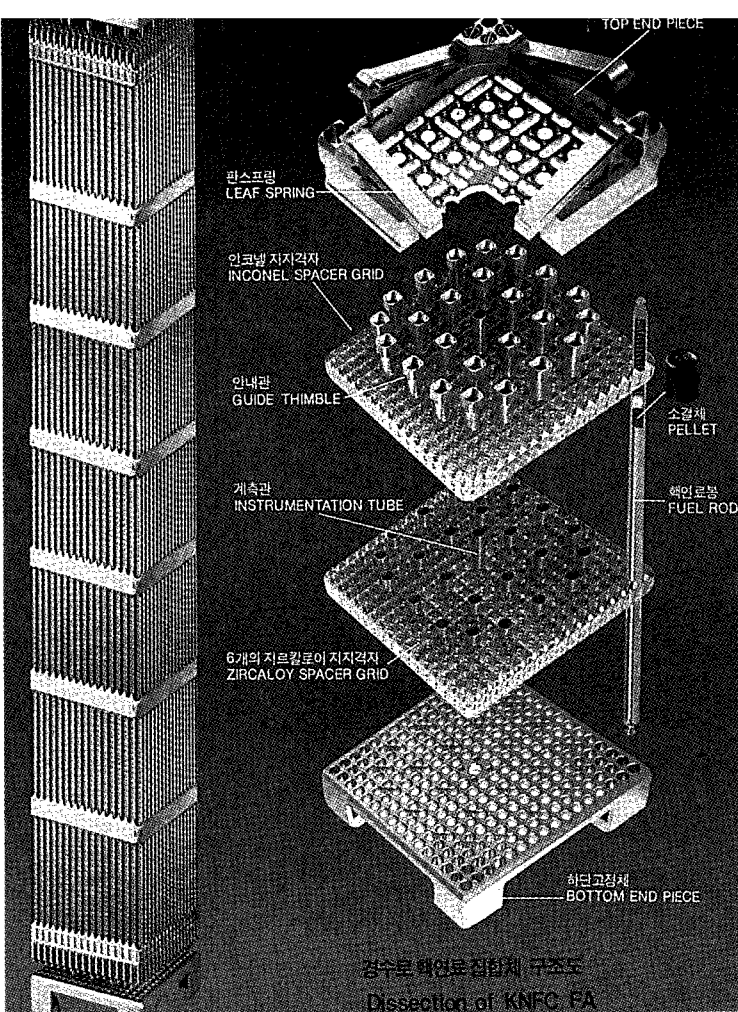
소결체제조공정에서 만들어진 소결체는 한쪽끝이 용접된 피복관 속으로 장입한 후 헬륨(He)가스를 채우고 밀봉용접하면 연료봉이 완성된다. 완성된 연료봉을 지지격자, 안내관으로 구성된 골격체에 장입하고 상, 하단고정체를 조립하면 완성된 연료집합체가 되며 최종검사를 거쳐 저장고에 저장한 후 발전소에 운송하게 된다(그림 1).

#### (2) 중수로 핵연료제조공정

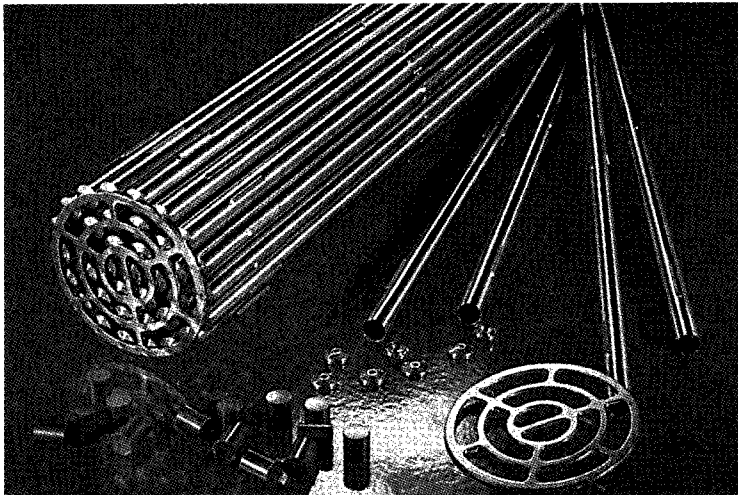
CANDU형 핵연료는 고밀도 천연  $UO_2$  소결체가 장입된 37개의 연료봉과 2개의 봉단접합체(End Plate)로 구성된다. 연료봉 사이의 간격은 연료봉 외면에 부착된 Zircaloy-4 간격체(Spacer Pad)에 의하여 일정하게 유지되며 원자로에 핵연료집합체 사이의 일정한 간격을 유지하도록 집합체의 최외각 연료봉에 Zircaloy-4 지지체(Bearing Pad)가 부착되어 있다.

$UO_2$  분말은 조립화(粗粒化)공정을 거쳐 율활제를 혼합한 후 프레스에서 압분성형하여 수소분위기의 소결로에서 약  $1,750^{\circ}C$ 의 고온으로 소결하면 약 98%의 고밀도를 갖는 소결체가 되며, 이는 무심연삭기에서 규정된 외경수치와 표면조도를 갖는 소결체로 연마가공된다.

연료봉은 소결체, 피복관, 봉단



〈그림 1〉 경수로 핵연료집합체



〈그림 2〉 중수로 핵연료집합체 및 부품

마개, 지지체, 간격체 등으로 구성되며 지지체와 간격체는 점용접 및 브레이징에 의하여 피복관에 용접

이 되고 이 피복관의 내부에 3~20 $\mu\text{m}$  두께로 흑연도포한 후 건조하여 소결체를 장입하게 한다.

소결체장입이 끝난 피복관은 저항용접기에서 양단이 봉단마개로 용접밀봉된다. 봉단용접이 완료된 연료봉은 탁상선반에서 봉단마개 용접시 발생한 용접덧살(Weld Flash)이 제거되고, 또한 양단의 봉단마개 부분이 일정한 형상 및 치수로 가공되어 연료봉이 완성된다.

완성된 37개의 연료봉을 조립치구의 일정한 위치에 배열시켜 조립체 구조를 갖추게 한 후 전체 연료봉의 양단을 2개의 봉단접합체에 용접하면 완성된 집합체가 되며 최종검사를 거쳐 포장을 하게 된다(그림 2).

## 기대효과

공장건설의 지향목표를 가능한 최신의 기술을 적용, 자동화 및 단순화를 추진하여 소요인전력을 최소화하고, 소음, 진동이 적고 방사선조임을 최소화한 쾌적하고 경제성 있는 공장을 건설할 계획이다.

신규공장을 적기에 건설함으로써 경제성 있는 핵연료의 안정적 공급 실현으로 국내의 원활한 전력수급에 기여할 수 있으며, 최신 자동화된 제조기술의 확보와 관련 기술의 국내과급 등의 기술적 효과가 있다. 또한 현 공장의 인력배치를 통한 인건비절감과 설비의 공동 이용으로 가동률을 향상시켜 현 공장의 경영개선효과를 꾀할 수 있으며, 장기적으로는 해외시장을 겨냥한 핵연료수출 기반을 구축할 계획이다.■