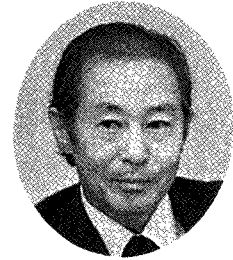


한국의 PWR핵연료 가공사업현황 및 전망

本稿는 지난 3월28일 서울 팔레스호텔
에서 개최된 제50차 「ANS Technical
Meeting」에서 한국핵연료(주) 김동훈 사
장이 발표한 내용이다.



김 동 훈
한국핵연료주식회사 사장

PWR 핵연료 국산화사업 추진경위 및 기술도입

우리나라에서의 경수로핵연료국산화는 1981년 7월에 개최되었던 제31차 경제장관협의회에서 경수로핵연료의 국산화 및 연간 200톤 규모의 핵연료성형가공공장건설방침을 수립함에 따라 구체화되기 시작하여 1982년 11월 국내 원자력발전소에 사용되는 경수로형 교체노심핵연료의 생산 및 공급을 전담할 한국핵연료주식회사(KNFC)가 설립되었다<표 1>.

핵연료국산화사업 초기에는 한국핵연료주식회사와 외국의 핵연료공급회사간의 합작방식으로 경수로핵연료의 설계 및 제조국산화를 추진하려고 하였으나, 핵연료국산화사업의 효율적인 추진을 위해 1984년 7월에 핵연료 및 노심설계는 한국원자력연구소(KAERI)가, 핵연료제조는 KNFC가 각각 외국으로부터 기술도입을 하여 핵연료국산화사업을 주도적으로 추진키로 당초의 계획을 변경하였다.

이에 따라, 외국의 5개 핵연료공급사간의 국

<표 1> 회사연혁

1981. 7. 30	제31차 경제장관협의회에서 경수로핵연료 국산화 및 공장건설방침 수립
1982. 11. 11	한국핵연료주식회사 설립
1985. 8. 26	독일 Siemens사와 계약체결 - 기기공급계약(ESC) - 기술도입계약(TIC)
1986. 11. 11	경수로핵연료성형가공공장 착공
1987. 12. 31	농축우라늄재변환공장 착공
1989. 1. 1	경수로핵연료 상업생산개시
1989. 7. 26	경수로핵연료 첫 출하(고리 2호기)
1990. 2. 17	경수로핵연료 첫 장전(고리 2호기)
1990. 3. 5	농축우라늄재변환 상업생산개시

제경쟁입찰을 통하여, 독일 Siemens /KWU사를 기술도입업체로 선정하여 1985년 8월에 핵연료 및 노심설계, 핵연료제조에 대한 기술도입계약을 체결하였으며, KNFC는 PWR 핵연료국산화사업의 성공적인 수행을 위해 다음과 같은 3가지 단계에 따라 독일 Siemens사의 핵

연료제조기술을 도입하였다.

첫째는 약 1,000여종에 달하는 핵연료제조 및 품질관리 관련문서들의 이전으로 핵연료제조에 필요한 제반 노하우들을 습득하였으며, 둘째로는 독일 Siemens사 핵연료제조공장에서 교육훈련으로, 약 3년간에 걸쳐 70명의 엔지니어 및 현장직원들을 파견하여 핵연료제조와 공장가동에 대한 교육을 받았으며, 셋째로는 공장건설과 기기설치 및 공정자격인증과 관련한 독일 Siemens사 전문가들의 기술자문으로 2년 동안 모의핵연료제조를 통하여 핵연료제조기술의 경험을 축적하여, 마침내 1989년 1월부터 국내의 경수로핵연료의 상업생산을 시작하게 되었다.

KNFC의 임무 및 역할

KNFC는 경수로핵연료의 설계 및 제조, 관련 기술개발 및 사업수행을 설립목표로 하여 한국전력공사(KEPCO)와 한국원자력연구소(KAERI)의 공동출자에 의해 1982년 11월에 설립되었다.

KNFC는 핵연료제조기술의 자립을 꾀한 추진한 결과, 선진 외국기술의 도입과 핵연료성형가공공장의 건설을 통하여 경수로핵연료의 국산화를 성공적으로 달성하였으며, 1989년부터는 국내의 모든 경수로원자력발전소에 사용되는 교체노심핵연료 전량을 생산, 공급하고 있다.

또한, KNFC는 축적된 교체노심핵연료제조기술을 바탕으로 1995년 및 1996년에 각각 상업운전할 영광 3, 4호기 원자력발전소에 소요되는 CE형 초기노심핵연료의 제조기술을 개발하여, 1993년부터 영광 3호기를 포함한 후속 원자력발전소에 사용될 CE형 초기노심핵연료 및 교체노심핵연료를 전량 생산, 공급할 예정으로 있다.

이와 같이 KNFC는 국내 핵연료제조사업수행의 주체로서 우수한 품질과 경제성 및 안전성이 제고된 핵연료를 국내 원자력발전소에 장기적으로 생산, 공급할 것이다.

시설현황

KNFC의 핵연료제조시설은 크게 재변환시설과 핵연료집합체성형가공시설로 나뉘어진다.

재변환시설은 UF₆로부터 소결체제조에 필요한 UO₂분말을 만들기 위한 시설로 KAERI가 독자적으로 개발한 AUC재변환기술을 사용하고 있으며, 1990년 1월에 연산 200톤 규모의 재변환공장을 자체기술로 건설완료하여 1990년 3월부터 상업가동하였다. 특히 재변환공정기술은 연구개발의 결과를 상업생산규모까지 실용화하는데 성공한 좋은 사례라고 할 수 있다.

핵연료집합체성형가공기술은 소결체, 연료봉, 핵연료집합체 및 구조부품 등을 제조하기 위한 시설로서 1989년 1월부터 경수로핵연료의 상업생산을 시작하였으며 성형가공시설은 제조공정을 최대한으로 자동화함은 물론 품질관리체계 또는 전산화함으로써 완벽한 핵연료품질보증이 가능토록 하였다.

생산실적

공장건설, 핵연료제조장비설치, 모의핵연료생산 및 시운전을 거쳐 1989년 1월부터 경수로핵연료의 상업생산을 시작한 이후, 현재 KNFC는 국내 원자력발전소에 3.5 w/o 및 3.7 w/o의 2가지 농축도를 가진 14×14형, 16×16 및 17×17형의 3가지 형태의 핵연료를 생산중에 있으며, 1989년 7월 고리원자력발전소 2호기에 국산핵연료를 최초로 공급한 이래, 17개 교체영역분 총 824다발, 약 360톤 우라늄을 공급하였다(표 2).

또한 1993년부터는 영광 3, 4호기 초기노심에 사용될 1.28 w/o, 2.34 w/o, 2.84 w/o 및 3.34 w/o의 4가지 농축도를 가지는 CE형의 16×16 핵연료들을 생산할 예정이며, 아울러 발전소이용률 및 연료효용성을 개선하고 연료비절감을 위한 KEPCO의 발전소장주기운전계획에 따라 KNFC는 농축도가 4.2 w/o까지 증가된 장주기용핵연료도 생산할 계획으로 있다.

국내 8기의 PWR 발전소는 매년 340다발의

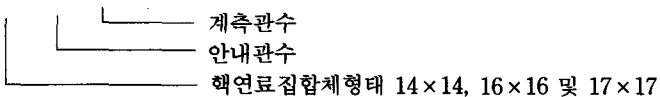


〈표 2〉 핵연료집합체공급 및 장전현황

1992. 2. 29 현재

원자력 발전소	핵연료 집합체 형태	교체 주기	생산량 (다발)	공급일자	장 전		농축도
					수 량	일 자	
고리 # 1	14-(16+1)*	11	48	90. 4	48	90. 12	3.50
		12	48	91. 8	48	92. 2	3.50
고리 # 2	16-(20+1)	7	52	89. 7	48	90. 2	3.50
		8	52	91. 11	52	91. 5	3.50
고리 # 3	17-(24+1)	6	48	90. 9	48	91. 1	3.50
		7	48	91. 7	48	92. 1	3.50
고리 # 4	17-(24+1)	5	44	90. 2	44	90. 6	3.50
		6	48	91. 1	48	91. 5	3.50
영광 # 1	17-(24+1)	5	52	90. 1	52	90. 9	3.50
		6	48	91. 5	48	91. 9	3.50
영광 # 2	17-(24+1)	4	48	89. 11	48	90. 5	3.50
		5	48	90. 10	48	91. 3	3.50
		6	48	91. 11	-	-	3.50
울진 # 1	17-(24+1)	3	52	90. 7	48	91. 9	3.50
		4	48	91. 9	-	-	3.50
울진 # 2	17-(24+1)	2	44	89. 9	44	91. 1	3.50
		3	48	91. 6	48	91. 11	3.50
합 계			824다발 (17영역)		720다발 (15영역)		

* 14-(16+1)



핵연료를 교체장전하고 있어, 1990년 2월에 고리 2호기 원자로에 국산핵연료가 최초로 장전된 후 1992년 2월말까지 15개 교체영역의 총 720다발이 장전되어 2주기제 연소중에 있으며, 지금까지의 발전소운전결과 국산핵연료가 이상 없이 설계목표대로 잘 연소되고 있어 우수한 품질을 입증하고 있다.

핵연료부품국산화 및 품질관리

핵연료제조기술의 자립을 달성함에 있어서 또 하나 중요한 과제는 핵연료집합체에 사용되는 구조부품의 국산화이다. KNFC는 핵연료구조부품의 안정적인 공급, 핵연료제조원가의 절감 및 국내 관련기술의 확보 등을 위해 핵연료국산화 초기단계에서부터 핵연료구조부품의 국산화를 추진하였다.

17×17 핵연료집합체에는 3,784개의 부품과 96,624개의 핵연료펠렛(약 500kg, UO₂)으로 구성되어 있으며, 구조부품소재의 특수성과 가공기술상의 어려움 그리고 원자력등급에 따른 엄격한 품질기준 등으로 인해 핵연료부품국산화에 많은 어려움을 겪었지만, 1988년 10월에 1단계 국산화개발부품인 봉단마개, 압축스프링 완성체, 안내관슬리브, 안내관체결나사, 안내관마개 및 안내관너트의 국산화를 완료하여 핵연료상업생산 시작단계에서부터 사용하여 왔으며, 1990년 6월에는 2단계 국산화개발부품인 상단고정체완성체 및 하단고정체의 국산화를 완료함으로써 연간 약 300만달러의 외화를 절감하게 되었다.

나아가 KNFC는 현재 1, 2단계 부품국산화 경험을 바탕으로 하여 핵연료제조원가의 절대적인 비중을 차지하고 있는 지지력자구성부품들에 대한 국산화개발을 3단계 국산화과제로서 추진하고 있다.

원자력발전소의 안전하고 경제적인 운전을 위해서는 핵연료에 대한 신뢰성이 보장되어야만 한다. KNFC는 핵연료의 건전성확보를 위해 한국원자력법, 미연방규제법 및 고객의 품질보증요건을 모두 충족하는 품질보증체계를

수립하여 운영하고 있으며, 이에 따른 품질보증절차서, 제조 및 검사절차서 등을 만들어 각종 업무를 세부 절차화하여 자재 및 부품의 구매에서부터 핵연료의 제조, 검사 및 출하까지 엄격한 품질관리와 공정감독을 수행하고 있으며, 품질보증문서검토 및 확인, 품질검사, 사전예방 및 시정조치 등 완벽한 품질보증업무를 수행하여 핵연료의 품질을 보증하고 있다.

특히 KNFC는 안전하고 신뢰성 있는 핵연료 생산을 위해 핵연료의 제조, 검사공정 및 공정간의 이송방법을 자동화하고, 데이터전송을 통한 생산성향상을 위해 생산 및 검사공정의 개선을 지속적으로 추진하고 있다.

영광 3, 4호기 프로젝트

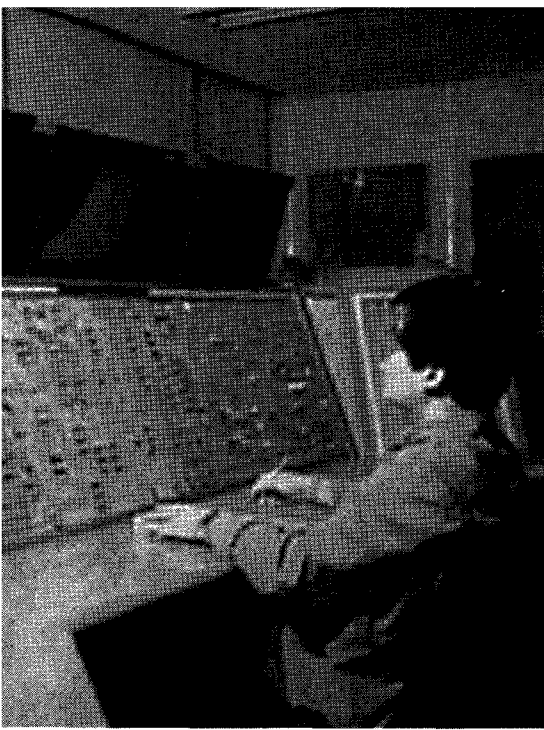
1995년과 1996년에 상업운전할 영광 3, 4호기용 CE형 초기노심핵연료는 현재 KNFC가 생산하여 공급하고 있는 Westinghouse형 교체노심핵연료와는 설계구조가 달라, 기존의 축적된 기술과 시설을 바탕으로 1990년부터 CE형 핵연료에 대한 제조 및 검사공정의 개발, 제조 및 검사문서의 보완, 필수치공구의 보완 및 인허가변경 등을 추진하여 왔으며, 금년말까지는 CE형의 초기노심핵연료제조를 위한 제반준비를 완료한 예정이다.

이와 같이 영광 3, 4호기 초기노심핵연료 제조를 자체기술로 수행함으로써 KNFC는 핵연료제조기술자립을 완수하게 될 것이다.

전 망

우리들의 연료단위당 에너지발생량은 화석연료에 비해 약 10만배에 달하기 때문에 원자력은 가장 경제적이고 이상적인 에너지원이라 생각한다. 뿐만 아니라 석탄발전에 의한 CO₂ 배출량은 사용된 석탄량의 3.67배에 달하는 반면, 원자력발전은 전혀 CO₂를 배출하지 않는다.

최근 우리나라 전기의 절반은 원자력발전에 의해 공급되고 있다. 1990년 발전자료에 의하



면 우리나라의 원자력발전량을 석유로 환산하면 약 8,400만배럴, 석탄은 1,900만톤에 해당되는 것으로 나타나고 있어 원자력이 환경오염을 방지하는데에 중요한 역할을 하고있다 하겠다.

에너지는 국가경제의 지속적인 발전과 국민생활의 향상을 보장하는 원동력이다. 한국에서의 에너지수요는 경제성장에 따라 비약적으로 증가하고 있어 정부에서는 에너지의 안정적 공급을 위해 향후 2006년까지 18기의 원자력발전소를 건설하는 내용을 포함하는 장기에너지계획을 수립하였다. 따라서 KNFC는 앞으로 계속 건설될 원전에 소요되는 경수로핵연료를 전량 공급하여야 할 뿐만 아니라, 특히 정부의 방침에 따라 1997년부터는 중수로핵연료도 생산, 공급하여야 한다.

그러나 현재의 KNFC시설은 국내 가동중인 경수로원자력발전소에 소요되는 핵연료생산을 기준한 시설로서, 1993년부터의 CE형 핵연료 제조를 위해서는 치공구의 보완 및 CE핵연료 설계기준에 기초한 제조 및 검사문서작성 등이 필요하며, 다양한 농축도로 여러 형태의 핵연료를 생산하여야 하기 때문에 생산능률의 저하는 물론 생산능력의 부족이 예상된다.

일반적으로 핵연료의 수요에 영향을 미치는 것으로는 2가지 요인이 있다. 하나는 원자로의 수나 시설용량의 증가에 따른 것이고, 또 하나

는 고연소도추세에 따른 수요감소가 있다. 이런 면에서 볼 때 우리나라는 후자의 경우보다는 전자의 경우가 더 크다 하겠다.

KNFC는 이러한 핵연료수요증가에 대비하기 위하여 경수로 및 중수로핵연료생산을 위한 시설의 신설 및 증설을 계획하고 있으며, 신규생산시설은 연간 경수로핵연료 200MTU 그리고 중수로핵연료 400MTU를 생산할 수 있는 규모로 건설하여 1997년 6월에 완공할 예정이다<그림 1>.

<그림 1> 신규 생산공장 건설계획

구 분	1992	1993	1994	1995	1996	1997
1. 기초설계		6				
2. 상세설계	7		3			
3. 기기구입						
4. 공장건설		7			19	
5. 기기설치				4		
6. 시운전					4	6
7. 인허가	5					3
8. 상업가동						7

경수로핵연료 : 200MTU 400MTU

중수로핵연료 : 100MTU 400MTU

또한 핵연료의 품질 및 경제성향상과 국제경쟁력을 갖추기 위해 현재 KAERI가 수행하고 있는 핵연료설계기술을 확보하고자 하며, 핵연료성능향상을 위해 Debris 여과기능을 가진 하단고정체, 열수력성능향상을 위한 지지격자 Mixing Vane, 고연소에 따른 피복관부식감소를 위한 개량 Zry Tube 및 고연소소결체 등의 개발을 통해 현재의 38,000MWD/MTU 에서 45,000MWD/MTU 이상으로 연소시킬 수 있는 개량핵연료의 개발을 위한 기술개발을 강화할 예정이다.

이처럼 KNFC는 국내유일의 핵연료공급회사로서 원자력에너지기술자립의 중요한 역할을 수행함은 물론 핵연료의 경제성향상, 설계기술 확보, 개량핵연료의 개발 및 국내외 연구기관과의 긴밀한 협조 등을 통해 세계적인 핵연료공급회사로의 도약을 계속적으로 추진할 것이다.(끝)