

1cm의 기적(奇蹟), 핵연료의 연금술사 한전원자력연료(주)

천근영

<에너지경제신문> 부국장 / 원자력 · 전력 전문가



세계에서 유일한 중·경수로 핵연료 공급사

원자력산업의 첨병! 원자력 기술자립의 기수! 핵연료의 연금술사!

다소 화려한 수사(修辭)의 주인공은 한전원자력연료(주)(이하 원자력연료)이다.

여기에 하나 덧붙이면 1cm의 기적의 창조자이다. 직경 8.6mm, 높이가 1.2cm의 원기둥 형태가 바로 핵

연료 소결체라서 붙여진 별칭이다.

한전 자회사로 국내 유일의 핵연료 제작 공급사인 원자력연료는 우리나라 30년 원자력 역사와 궤를 같이해 왔다. 원전처럼 거대한 시설도 없고, 총 직원도 630여명에 불과하지만 원자력연료가 우리나라 원자력산업의 첨병이요, 기술자립의 기수, 핵연료의 연금술사로 일컬어지는 이유는 수행해 온 역할에 기인한다.

결론부터 말하면, 원자력연료는 경수로 16기, 중수로 4기 등 우리나라가 보유한 20기 전 원전의 핵연료를 전담 공급하는 유일한 회사다.

원자력연료가 연간 원전에 공급하고 있는 핵연료는 중수로 400톤-U, 경수로 400톤-U로 총 800톤-U이다. 우리나라 한 가구가 8개월간 사용할 수 있는 1600kWh의 전력을 생산할 수 있는 소결체 한 개의 무게가 5.2g임

을 감안할 때 이 양이 어느 정도인지 쉽게 가늠하기 어려울 정도다.

5.2g의 소결체 하나는 석유 450리터, 석탄 700kg이 생산하는 에너지의 양과 맞먹는다. 쉽게 말해 100만kW급 발전소를 1년 동안 운전하기 위해서는 석유는 150만 톤, 석탄은 240만 톤이 소요되지만 우리나라는 불과 30톤이면 충분하다.

다소 과장된 듯 보이는 수사(修辭)가 겸연쩍지 않은 이유는 1cm의 기적을 창조하고 있는 힘이 첨단 기술력과 이 기술력을 녹여낸 전 부품의 국산화를 지향점으로 하고 있기 때문이다.

한 발 더 나가면 이미 물꼬를 튼 수출 사업의 확대가 원자력연료를 주시하게 만드는 이유다.

핵연료 관련 부품 수출 1000만 달러

‘연료공급자(fuel vendor)는

영원하다'. 명문화하지 않은 원자력연료의 캐치프레이즈다.

지난 1982년 11월 설립된 원자력연료(당시 한국핵연료주식회사)는 자본금 932억원, 전 직원 630명으로 핵연료의 설계 제조 공급을 전담하고 있다.

원자력연료가 핵연료를 자체 생산한 것은 지난 1989년 1월로, 핵연료 국산화 사업을 시작한 지 만 8년만이다.

원자력연료는 1998년부터 연산 200M톤-U의 경수로용 핵연료를 생산, 고리와 올진 영광 원전에 공급을 개시했다. 특히 원자력연료는 핵연료 국산화 드라이브 정책에 따라 1992년 설계기술원을 설립했고, 이어 1998년 경수로 200M톤-U 성형 가공 시설의 상업 가동을 시작했다. 그리고 1999년 3월 사명을 한전원자력연료(주)로 변경해 한전 사회사로서의 시너지 효과 극대화에 나섰다.

핵연료의 국산화와 부품의 국산화를 추진하는 과정에서 원자력연료는 2001년 5월 국가 공인 교정 기관으로 인정받았고, 이듬해 9월 ISO 9001과 2000 인증을 한꺼번에 획득해 핵연료 설계부터 공급까지 전 체계를 아우르는 핵연료 회사로 자리 잡았다.

현재 원자력연료는 내년 준공을 목표로 연산 250톤 용량의 원자력연료 재변환 세라믹 설비 증설 공장을 짓고 있고, 핵연료 소결체를 장착하는 지르코늄 합금튜브 생산 공장도 짓고 있다. 특히 세라믹 설

비 공장이 준공되면 원자력연료의 재변환 시설 생산 규모는 550톤으로 확대된다.

과정이 결과를 말해준다고, 원자력연료는 2003년 11월 공공 부문 e비즈니스 최우수 기관, 2001년부터 2007년까지 7년 연속 국가 품질 경쟁력 우수 기업으로 선정돼 비즈니스와 경영 품질 등 전 분야에서 탁월한 실적을 인정받았다.

원자력연료는 지난 2006년 2월 중수로 3000M톤-U, 6월 경수로 4000M톤-U를 생산했다.

특이할만한 것은 원자력연료가 세계 핵연료 제조 회사로는 유일하게 경수로와 중수로용 핵연료를 생산하고 있다는 것이다. 이는 우리나라 원전이 경수로와 중수로 두 가지 노형이 있기 때문이지만 거의 30년을 끊임없이 지속해 온 국산화 노력의 산물임은 두 말 하면 사족이다.

지나온 역사도 역사지만 원자력연료의 가치는 미래에 달려 있다. 세계 톱 클래스의 핵연료 회사를 목표로 하고 있는 원자력연료는 지난 2001년부터 원자력연료 핵심 부품을 기술 종주국인 미국 웨스팅하우스를 위시해 브라질 INB 등에 수출해 1000만 달러의 실적을 거둔 바 있다.

그러나 이것은 수치에 불과하다. 궁극적으로 원자력연료가 목표로 하고 있는 수출품은 핵연료에 있기 때문이다. 한전을 핵으로 우리나라의 원자력 밴더가 해외 원

전 사업을 수주할 경우 핵연료 공급은 원자력연료가 책임지겠다는 각오다.

원자력연료가 야심차게 추진하고 있는 X-Gen Project는 독자 소유권을 가진 고성능 개량 연료 개발 사업이다. 수출 선도형 핵연료 개발 프로젝트다. 이 프로젝트가 성공적으로 완료되는 2015년, 원자력연료는 핵연료 원천 기술 보유사로 등재하게 된다.

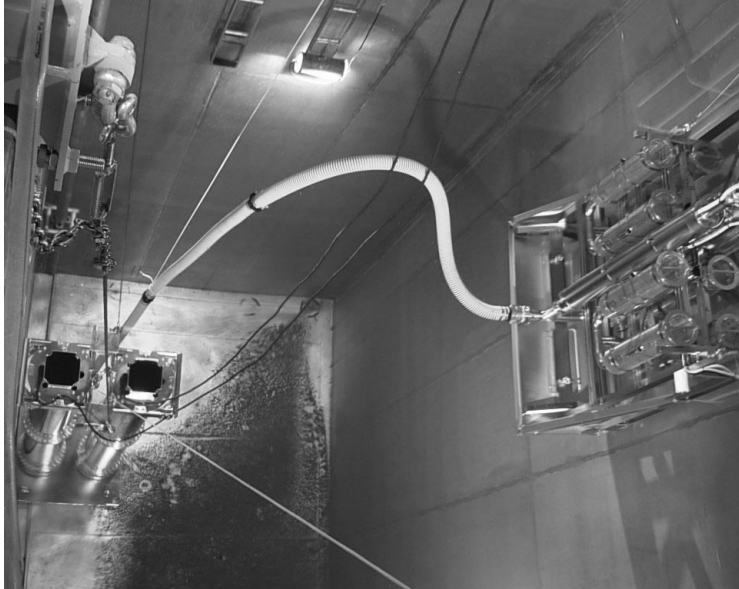
핵연료 국산화 'GO GO'

원자력연료의 설립 목적은 바로 핵연료 국산화다. 물론 지르코늄 합금튜브와 가연성흡수봉용 소결체 등 부품은 물론이다.

원자력연료가 핵연료와 부품 국산화 사업을 본격화한 것은 1984년이다. 이 시기, 그러니까 우리나라 첫 원전인 고리원자력 1호기가 상업 운전애 들어간 지난 1978년부터 1988년까지 원전에 사용되는 핵연료 전량이 수입되고 있어 핵연료 비용이 만만치 않았고, 원전 증설에 따라 비용은 기하급수적으로 늘어날 것이 예정돼 있었기 때문이다.

원자력연료는 기술성과 사업성이 담보된 선진 외국과의 합작 공장 건설 방침에서 급선회해 기술 도입을 통한 기술 자립으로 방향을 바꿔 1983년 국산화 작업에 착수했다.

물론 다소 무리가 있었다. 한국 원자력연구원 한 관계자는 “단기



한원전자력연료(주)가 개발한 크러드 제거장비. 이 장비의 개발로 원전은 1호기 당 약 5억원의 비용을 절감할 수 있게 됐다.

적으로 많은 비용을 들여 기술을 도입하는 것은 모험에 가까운 사업이었다.”며 “그러나 장기적으로 원전을 추가 건설할 수밖에 없는 상황에서는 기술 자립을 통한 국산화가 합리적이라는 공감대가 형성됐고, 원자력연료가 신념을 갖고 강한 드라이브를 걸어 성공할 수 있었다.”고 말했다.

결국 원자력연료는 원자로, 증기발생기 등 설비를 제치고 가장 먼저 기술 자립을 완성했다. 여기에는 원자력연료의 연구 개발 노력이 뒤를 받쳤다.

원자력연료는 핵연료 설계, 원전 노심 설계와 안전성 평가를 핵연료 또는 원자로 형태에 따라 각각의 설계 시스템으로 이원화된

설계 코드를 일원화한 상태에서 고유 설계 코드 개발도 목전에 두고 있다.

현재까지 원자력연료가 국산화했거나 국산화를 위해 생산 공장을 짓고 있는 부분은 한국표준원전인 OPR1000 원전용 개량 핵연료(PLUS7)와 웨스팅하우스형 원전용 개량핵연료(ACE7) 그리고 가연성흡수봉용 소결체와 지르코늄 합금튜브 등 십여 가지. 수입 대체 효과만 연간 수백원대고, 수출까지 이어질 경우 수십 수백억 달러에 달할 예상하고 있다.

원자력연료 한 고위 관계자는 “경수로용 핵연료를 원전 2기에만 공급한다해도 연간 수백억원대”라며 “튜브 등 부품까지 일괄 공급할

경우 수출액은 1000억원대에 육박할 것”이라고 말했다.

국산화를 넘어 수출로

1. PLUS7

한국표준형 개량 핵연료인 PLUS7은 원자력연료의 국산화 사업의 대표적인 성공작이다. 원자력연료는 이 연료를 우리나라 경수로 원전에 상용 공급해 연간 80억원의 핵연료 비용을 절감시키는 쾌거를 일궈냈다.

이 연료 개발은 지난 1999년으로 거슬러 올라간다. 무려 7년이 걸린 셈이다. 그만큼 어렵고 힘든 작업임을 반증하는 기간이다.

원자력연료는 원천 기술 보유사인 웨스팅하우스와 공동으로 약 200억원(정부 지원금 95억원 포함)의 연구개발비를 투입했고, 원전 1회 교체용 첫 제품을 2006년 4월 출하했다.

이 연료의 특성은 안전성이다. 이 연료는 기존 연료에 비해 안전성이 약 10% 이상 증진됐고 연소 성능이 획기적으로 개선돼 경제성이 크게 향상됐다. 이 연료를 PLUS7이라고 명명한 것은 기존 연료와 비교해 7가지의 개선된 성능을 가지고 있어서다.

특히 원자력연료는 이 연료 제조에 필요한 모든 부품을 국내에서 개발 조달해 차세대 연료를 독자 기술로 할 수 있는 바탕을 마련했음은 물론 부품의 해외 수출도

추진하고 있다.

이 연료 개발의 또 다른 의의는 중주국인 미국 시장으로의 수출에 있다. 원자력연료는 2006년 3월 웨스팅하우스와 PLUS7의 미국 내 원전 장전과 관련한 제반 업무에 대한 역할 분담과 절차에 대한 합의를 이끌어내 수출의 돌파구도 마련한 상태다.

합의 내용에 따르면, 원자력연료는 이 연료의 미국 내 원전 장전시 요구되는 인허가 업무와 구조 부품 공급을 담당하고 웨스팅하우스는 공급 계약을 담당토록 명기했다. 또 고객이 원자력연료와 공급 계약을 희망할 경우 원자력연료가 공급 계약을 담당할 수 있도록 한 것도 성과다.

현재 원자력연료는 미국 내 원전 운영자와 이 연료 장전을 전제로 세부적인 실무 협의를 하고 있다.

2. ACE7

원자력연료의 또 하나의 대표작은 웨스팅하우스형 원전용 개량 핵연료 ACE7이다. 지난 2001년부터 2004년까지 약 219억원(정부 출연금 100억원)을 투입해 만 3년을 꼬박 연구에 매진한 결과물이다.

비록 웨스팅하우스와 공동 소유권을 가지고 있지만 웨스팅하우스형 상용 원전용 최첨단 기술 경쟁력을 확보했다는 것은 수출 사업화 측면에서 의의가 크다.



한전원자력연료(주)는 개량형 핵연료 PLUS7 국산화로 연간 200억원의 비용을 절감할 수 있게 됐다. PLUS7 상업 생산 첫 출하 기념식.

특히 이 제품은 2006년 국가 연구 개발 우수 성과 100선으로 선정될 정도로 기술력을 인정받았다.

ACE7이 기존 핵연료와 다른 점은 열적 성능, 즉 열적 여유도가 10% 이상 개선됐고 연소 성능, 신뢰성 등 7가지 성능을 획기적으로 향상시킨 것이 장점으로, 2004년 개발을 완료한 상태에서 무려 3년간 연소 성능 검사와 평가 실증 시험 그리고 시운전까지 완벽하게 마치고 지난 4월 상용 공급에 들어간 상태다.

이 연료의 상용 공급으로 연간 연료비는 40억원 절감됐다. 최근 국제 우라늄 가격이 상승하고 있는 추세를 감안하면 절감 효과는 거의 100억원대에 달한다는 것이 원자력연료의 설명이다.

무엇보다 ACE7은 미세 진동에 의한 마모 저지 성능을 강화해 경제성과 안전성이 월등히 높은 것도 빼놓을 수 없는 장점이다.

3. Gd 소결체

Gd 소결체의 국산화 역시 원자력연료의 국산화 산물이다. 지난 2002년부터 4년 동안 총 25억원을 투입해 국산화한 이 제품은 핵연료의 핵심 부품이다. 중성자를 흡수해 원자로의 출력 분포를 효과적으로 제어하는 기능을 하는 연료인 이 제품의 국산화 공급으로 원자력연료는 연평균 30억원 수입 대체효과를 거두게 됐고, 원전은 원자로 운전 및 핵연료의 경제성이 크게 향상됐다. 그동안 이 제품은



한전원자력연료(주)가 개발해 내년 상업 생산에 들어갈 지르코늄합금튜브 생산 공장 기공식

전량 미국에서 수입해 왔다.

더구나 최근 원전이 18개월의 장주기 운전과 고연소도 핵연료를 위한 기술 개발이 지속적으로 추진되면서 사용이 증가해 100만 kW급 원전의 경우 전체 연료봉 대비 약 3.5%가 사용되고 있어 그 효과가 더욱 커질 것으로 전망된다.

4. 지르코늄합금 튜브

지르코늄합금 튜브 국산화 개발 또한 원자력연료의 야심작이 될 전망이다. 핵연료 전체 제조 원가의 21%를 차지할 정도로 고가인

합금튜브는 쉽게 말해 핵연료봉 내의 이산화우라늄 소결체를 둘러싸는 일차적인 방호벽으로 지르코늄으로 만들어진 얇은 봉이다.

이 튜브가 핵분열성 물질의 누출을 방지하고, 핵분열 연쇄 반응에 의해 발생하는 열을 1차 냉각수에 전달하며 소결체의 구조적 안전성을 유지하는 기계·재료적 건전성을 가진 고성능 특수 합금이다.

이 제품의 국산화 개발이 승인된 것은 지난 2004년. 상용 적용 시 연간 약 200억 원 수입 대체 효과가 기대되는 이 제품은 경수로의 경우 핵연료 집합체 재료비의 53%, 중수로용 재료비의 73%를

차지하는 고비용의 부품이다.

세계 선진 원자력 10개국 가운데 유일하게 우리나라만 제조 기술이 없어 전량을 수입에 의존하고 있는 제품이다. 이 제품은 고연소도 개량 핵연료 개발과 핵연료의 국제 경쟁력 확보 및 해외 수출을 위해 필수적으로 개발되어야 할 핵연료의 핵심 부품인 셈이다.

결국 원자력연료는 정부를 설득, 지난 2003년부터 총 6년간에 걸쳐 기술 개발에 착수해 기술 개발을 완료한 상태에서 생산 공장을 짓고 있다. 첫 상용 공급 예정은 2009년.

원자력연료는 경수로용 지르코



원자력 르네상스 시대, 한전원자력연료(주)는 도약을 꿈꾸고 있다. 도약의 배후에는 기술이 있다. 열정이 있다. 불과 1cm에 불과한 핵연료 소결체로 에너지의 기적을 만들어낸 원자력연료는 이미 영원한 'fuel vendor'이다.

늄합금 튜브 제조 공정 기술 및 성능 평가 기술 확보로 핵연료봉 평균 연소도를 현재 5만5000에서 7만MWD/MTU 이상의 연소 성능을 보유한 튜브를 생산하게 된다.

이 제품의 개발에는 원자력연구소와 창원특수강, 충남대, 경희대 등 산·학·연이 공동으로 참여해 관련 기술의 파급 효과도 만만치 않다는 것이 원자력연료의 설명이다.

이 제품을 생산할 전용 공장은 대전시 유성구 테크노밸리 5000평 부지에 지상 2층 지하 1층(약 5300평) 규모로 지어진다. 이 공장이 완공되면 원자력연료는 연간 1400km(설계 능력 1800km)의 제품을 생산할 수 있게 된다.

총 사업비는 약 1100억 원이고, 이 가운데 600억 원은 원자력연료가 조달하고, 나머지 474억 원은

연구개발비(민간 기금 192억 원, 정부 기금 282억 원)로 충당키로 돼 있다.

이 공장에서는 피복관 안내관 계측관 슬리브 플랜지 등 총 24종을 생산해 내게 된다. 원자력연료는 지르코늄합금 튜브 개발과 병행해 약 650종의 기자재를 개발해 수출 사업화를 꾀할 계획이다.

5. 핵연료 크러드 제거 기술

핵연료 크러드(Crud, Chalk River Unidentified Deposit) 제거 기술 개발 역시 원자력연료가 자신 있게 내놓은 국산화 기술이다. 더구나 이 기술은 미국에 이어 세계 두 번째로 기술 선점 차원에서 의미가 크다.

원자력연료가 이 기술 개발에

나선 것은 지난 2004년. 개발에 들어간 지 3년만인 지난 2007년 6월, 원자력연료는 이 기술 개발에 성공해 과기부(현 교육과학기술부)로부터 인허가를 획득했다.

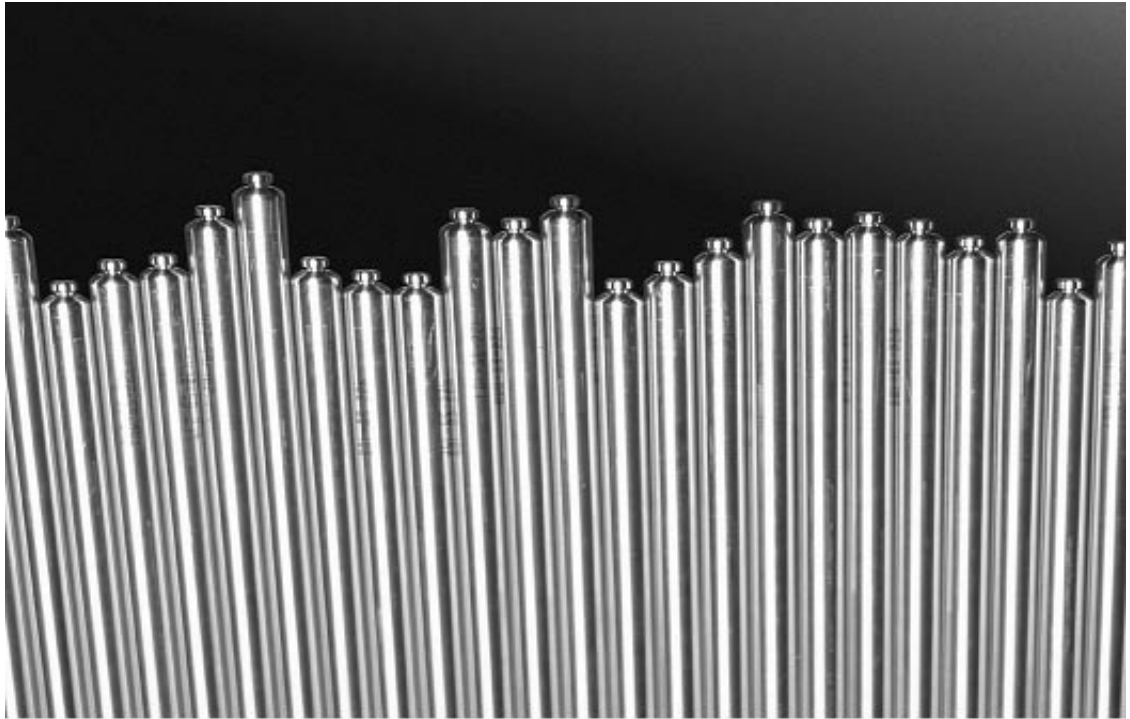
이 기술은 원전 운전의 고출력, 고연소도 및 장주기 운전으로 인해 증가되는 크러드, 즉 물때를 초음파를 이용해 제거하는 기술이다.

이 기술을 적용하면 원전은 설비의 안전성이 크게 증진될 뿐 아니라 작업자의 방사선 피폭도 대폭 감소시킬 수 있고 출력이 떨어지지 않아 전력 생산량도 향상되는 효과가 있어 연간 100억 원의 경제적 이득을 기대할 수 있게 된다.

이 작업을 외국에 용역을 맡길 경우 원전 1호기당 5억원의 비용이 소요된다는 것이 한수원 월성 원전 한 관계자의 전언이다.

2015년 세계 초일류 핵연료 전문 회사 도약 목표

지난 2005년 4월 27일, 원자력연료에 경사가 났다. 원전 중주국인 미국에 핵연료 핵심 부품을 수출하는 계약을 체결했기 때문이다. 비록 수출 규모는 260만 달러로 크지 않지만 웨스팅하우스와 웨스팅하우스 원자로형의 원자력연료 상·하단 고정체 각 1200다발 분량과 System 80 원자로형의 상·하단 고정체 부품 각 300다발 물량을 공급하는 계약키로 한 것이다.



연료봉. 한전 자회사로 국내 유일의 핵연료 제작 공급사인 한전원자력연료(주)는 우리나라 30년 원자력 역사와 궤를 같이해 왔다. 한전원자력연료(주)는 경수로 16기, 중수로 4기 등 우리나라가 보유한 20기 전 원전의 핵연료를 전담 공급하는 유일한 회사다. 한전원자력연료(주)가 연간 원전에 공급하고 있는 핵연료는 중수로 400톤-U, 경수로 400톤-U로 총 800톤-U이다.

이 양은 Westinghouse 연료 공급 발전소 연간 필요 물량의 약 40%, 우리나라 원전의 연간 필요 물량의 약 70%에 해당하는 막대한 양이다. 상단 고정체는 노심의 상부와 연료 집합체를 연결하는 부품으로 원자로 노심과 연료집합체가 좌우로 흔들림을 방지하고 냉각수의 흐름에 의한 들림 방지를 하는 부품이며, 하단 고정체는 노심의 하부에 연결돼 집합체를 지지하고 연결하는 역할을 하는

중요 부품이라는 게 원자력연료가 고무된 이유다.

물론 원자력연료는 지난 2001년 원자력연료 부품인 리프 스프링(Leaf Spring)을 시작으로 지지격자 및 금형, 원자로 노심 및 원자력 연료 설계 용역, 엔지니어링 용역, 압축스프링 및 지지격자 등 원자력 연료 관련 용역 등 핵심 부품과 기술 용역을 미국과 캐나다, 브라질 등에 수출해 왔지만 장기 계약, 그것도 핵심 부품 장기 계약은

미래 수출 확대의 가능성을 열었다는 차원에서 더 큰 의미를 두고 있는 것이다.

원자력 르네상스 시대, 원자력 연료는 도약을 꿈꾸고 있다. 도약의 배후에는 기술이 있다. 열정이 있다.

불과 1cm에 불과한 핵연료 소결체로 에너지의 기적을 만들어낸 원자력연료는 이미 영원한 'fuel vendor'이다. 