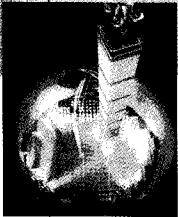


# 핵연료 기술 개발 현황 및 수출 전략

이 익 환 | 한전원자력연료(주) 사장



## 에너지원으로서 원자력 발전

주제 발표인 핵연료의 기술 개발 현황을 살펴보기에 앞서, 우선 에너지원으로서 원자력 발전의 역할을 다시 한번 확인할 필요가 있으며 그 중에서 또 핵연료는 어떤 역할을 담당하고 있는지 확인해 본다.

우리나라의 2007년 에너지 수입액은 약 945억불로서 이는 국가 총수입액의 27%, 국민총생산(GDP)의 약 10%에 해당하는 큰 액수이다. 이 에너지 수입액 중 원유 수입 비용이 603억불로 세계 5위이고 액화천연가스(LNG) 수입액이 127억불로 세계 2위이다. 또한 에너지원 중 석유의 의존도는 43%로서 OECD 평균인 41%를 상회하고 있음을 보여주고 있다.

에너지 부존 자원이 거의 전무하여 대부분의 에너지원을 수입

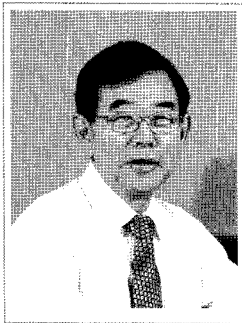
해야 하는 우리나라에서 원자력 발전은 다음 세 가지 측면에서 국가 경제에 크게 기여하고 있다.

첫째, 원자력 발전은 타 발전원에 비해 가장 저렴하여 석유 대비 약 1/3 가격으로 전기를 공급하고 있다.<표 1>

둘째, 원자력 발전은 기후변화 협약에 대응할 수 있는 현실적 발전원으로서 거의 이산화탄소를 배출하지 않는 청정 에너지원이다.<표 2>

셋째, 원자력 발전은 기술 집약적인 중합 산업으로서 연관 산업에의 파급효과가 우수하다. 원전 2기 건설시 연인원 약 800만명 이상의 일자리 창출 효과가 있으며 부가가치를 고려한 GDP 기여율이 발전원 중 가장 높아 석유 대비 약 18배에 달한다.

이와 같은 원자력 발전의 역할을 볼 때, 부존 자원이 없는 우리나라에서 원자력 발전은 대안이



한양대 원자력공학과 학사, 석사  
현대건설(주) 원자력부장  
(1979~1986)  
한국원자력연구소 본부장  
(1986~1996)  
한전, 한수원(주) 처장  
(1997~2003)  
한국원자력기술(주) 회장 역임  
IAEA 자문위원(2005~)  
민주평통자문위원(2005~)  
한전원자력연료(주) 사장(2008~)

아닌 필수 에너지원이라 할 수 있는 것이다.

다음은 국내외 원자력 환경에 대해 살펴보기로 한다. 우리나라는 1978년 고리 1호기 가동을 시작으로 원자력 발전을 시작한 이래, 원자력 발전은 현재 설비 용량으로 26%, 발전량으로 36%를 점하고 있다.

2008년 8월 정부는 '저탄소 녹색 성장' 구현을 목표로 국가에너지기본계획을 확정하면서 원자력 발전 비중을 2030년까지 설비 용량으로 41%, 발전량으로 59%가 되도록 확대토록 결정한 바 있다.

외국의 경우도 원자력 발전을 확대하는 정책을 채택하여 2030년까지 약 321GW(원전 300여기에 해당)의 신규 원전 시장이 형성될 것으로 예상되며, 금액으로는 최대 약 700조원에 달할 것으로 보인다.<그림 1>

**핵연료의 역할**

<표 1> 발전원별 판매 단가(원/kWh), 2007년 기준

| 원자력 | 석탄 | 석유  | LNG | 수력  |
|-----|----|-----|-----|-----|
| 39  | 42 | 118 | 105 | 113 |

<표 2> 발전원별 CO<sub>2</sub> 등가 배출량, g-CO<sub>2</sub>/kWh(IAEA 2006)

| 석탄  | 석유  | LNG | 태양광 | 풍력 | 원자력 | 수력 |
|-----|-----|-----|-----|----|-----|----|
| 991 | 782 | 549 | 57  | 14 | 10  | 8  |

국내외에서 원자력의 중요성이 부각되고 있는 상황에서, 이번에는 핵연료가 원자력 발전에 어떤 중요한 역할을 하는지에 대해 살펴보기로 한다.

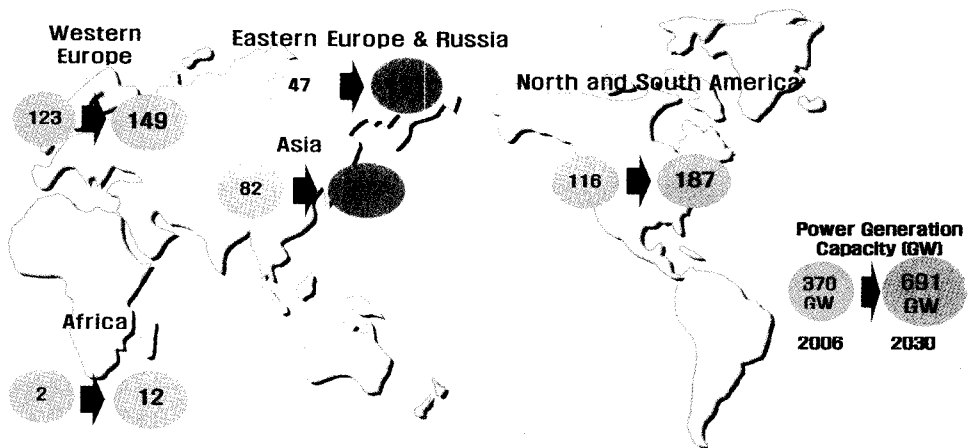
우선, 한전원자력연료(KNF)가 생산 공급한 핵연료의 품질의 우수성을 강조하고 싶다.

국내 원자력발전소 이용률이 세계 평균 이용률보다 10% 이상 높고, 고장 정지에 따른 발전 손실률이 적다는 측면에서 세계 1위를 기록하고 있다.<그림 2> 과거 5년간 우리나라 원전 이용률

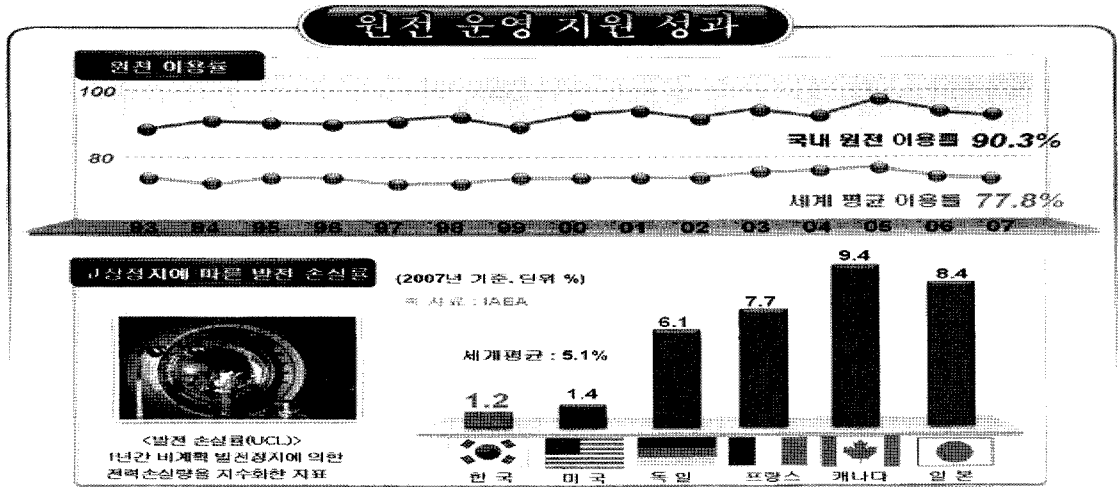
은 세계 1~2위를 기록하고 있는데 작년 2008년에는 국내 원전 이용률이 93%를 넘어서 세계 1위를 달성하였다.

이러한 우수한 원전 운영 실적은 운영자인 한국수력원자력(주)의 고도의 운전 경험이 일차적인 원인이 될 수 있지만 또한 KNF가 공급한 핵연료가 손상 없이 잘 연소된 것이 주요 원인이 된다는 것에 이견이 없다.

다음은, 발전 단가에서 연료비가 차지하는 비중에서 핵연료의 중요성을 확인할 수 있다.



<그림 1> 2030년까지의 세계 원자력 발전 설비 용량 증가 추정치



〈그림 2〉 국내 원자력발전소 이용률 및 발전 손실률의 우수성

원자력발전소는 발전 단가 중 연료비가 차지하는 비중이 10~12%로서 타 발전원(석탄 61%, 석유 82%, LNG 85%)에 비해 가장 낮아 연료의 가격 변동이 발전 단가에 미치는 영향이 가장 낮다는 것을 의미한다. 또한 원자력발전은 외국에의 에너지 의존도가 낮아 준국산 에너지라고 할 수 있다.

마지막으로, 핵연료의 원료가 되는 우라늄은 세계적으로 고르게 분포되어 있고 그 에너지 등가 매장량도 타에너지원에 비해 가장 많다. 현재까지 확인된 매장량만으로도 가채년수가 240년이며(석탄 133년, LNG 60년, 석유 42년) 사용한 핵연료를 재활용하게 될 때는 그 가치가 더 늘어나게 된다. 따라서 장기적 관점에서 핵연료는 국가 에너지 안보의 핵심이라고 할 수 있다.

참고로 핵연료에서 얼마나 많은 에너지가 나오는 지 확인해 보

면, 우라늄 1kg(~0.001m<sup>3</sup>)에서 나오는 에너지는 석유 9,000드럼, 석탄 3,000톤에서 나오는 에너지와 동일하다. 이는 타에너지원에 비해 수송, 저장 등의 물류 비용이 거의 들지 않는 것을 나타낸다.

KNF가 생산 공급하는 핵연료 집합체 1다발은 6만 가구가 1년 동안 사용하는 전기를 생산하며, 핵연료의 최소 단위인 소결체 1개(5.2g)가 생산하는 전기는 약 1,800kwh로서 1가구가 8개월 동안 쓸 수 있는 양이다.<표 3>

**국내 핵연료 개발 현황 및 전망**

이상 언급한 바와 같이 국가에너지원으로서 중요한 역할을 하는 핵연료의 생산 공급을 KNF가 담당하고 있는 것이다. 이제 본 주제로서 그 동안 KNF가 수행해 온 핵연료 개발 현황과 전망에 대해 알아보기로 한다.

KNF는 1982년에 창립되어 1989년 경수로 핵연료 가공 기술을 자립하고 상업 생산을 착수한 이래 2009년 현재 국내 가동중인 원자력발전소 20기에 소요되는 핵연료 전량을 설계, 제조, 공급하고 있다.

KNF는 핵연료 공급과 아울러, 원자로심 설계 및 원전 안전 해석, 핵연료 및 엔지니어링 서비스, 핵연료 자원 개발 등을 수행하고 있다.

**1. 핵연료 가공 공정**

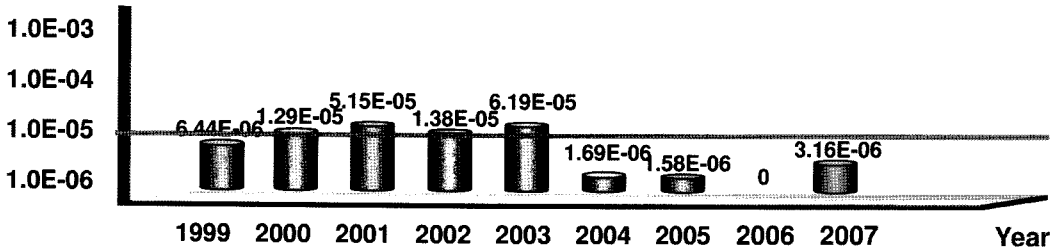
핵연료에 대한 이해를 돕기 위해, 먼저 핵연료 가공 공정에 대해 간략히 설명하기로 한다.

먼저, 원전 운영자가 공급하는 농축된 우라늄(UF<sub>6</sub>)을 KNF 공장에서 변환시켜 우라늄 분말(UO<sub>2</sub>)을 생산한다. 그 다음, 생산된 우라늄 분말을 고르게 섞은 후 급형틀을 사용하여 직경 및 길이

〈표 3〉 핵연료 유형별 전기 생산량

| 구분                 |       | PLUS7                 | ACE7            | CANDU                |
|--------------------|-------|-----------------------|-----------------|----------------------|
| 체원(cm)             |       | 20.7x20.7x452.8       | 21.4x21.4x406.3 | 49.6xΦ10.2           |
| 연료봉/집합체            |       | 236                   | 264             | 37                   |
| 소결체/집합체            |       | 약 92,000 개            | 약 98,000 개      | 1,147 개              |
| UO <sub>2</sub> 무게 | 소결체 1 | 5.2 g                 | 5.2 g           | UO <sub>2</sub> 무게   |
|                    | 집합체 1 | 487 kg                | 524 kg          | 19 kg                |
| 다발 수               |       | 177 개                 | 157 개           | 4560 개               |
| 전기생산량 (kwh)        | 소결체 1 | 약 1,800(1가구 8개월 사용량)  |                 | 약 1,000(1가구 5개월 사용량) |
|                    | 집합체 1 | 약 1억 7천만(6만가구 1년 사용량) |                 | 약 115만(500가구 1년 사용량) |

Fuel Leak Rate



〈그림 3〉 국내 핵연료 손상률

가 약 1cm인 원통형 압분체를 찍게 되는데, 이 압분체를 고온의 소결로에 넣어 소결시킨 후 설계치에 맞게 연삭을 하면 핵연료봉에 사용되는 UO<sub>2</sub> 소결체가 완성된다.

제조된 UO<sub>2</sub> 소결체는 하부 끝단이 용접으로 밀폐된 지르코늄 합금 피복관에 장입되며, 약 400개의 소결체 장입이 완료되면 피복관 상부 끝단을 용접으로 밀폐시키게 되는데 이렇게 만들어진 것이 1개의 핵연료봉이 된다.

핵연료는 집합체 단위로 제작되어 원자로에 장전되는데, 핵연료집합체는 지지격자를 사용하여 이러한 핵연료봉들을 약 180 ~ 260 개 단위로 묶은 후 상단 고정

체와 하단 고정체를 부착하여 완성된다.

완성된 핵연료집합체는 누설 시험 및 최종 육안 검사를 거친 후 집합체 저장고에 저장되며, 생산된 집합체를 원자력발전소로 이동시킬 때는 특수하게 제작된 운반 용기에 집합체를 포장하여 운송을 하게 되는 것이다.

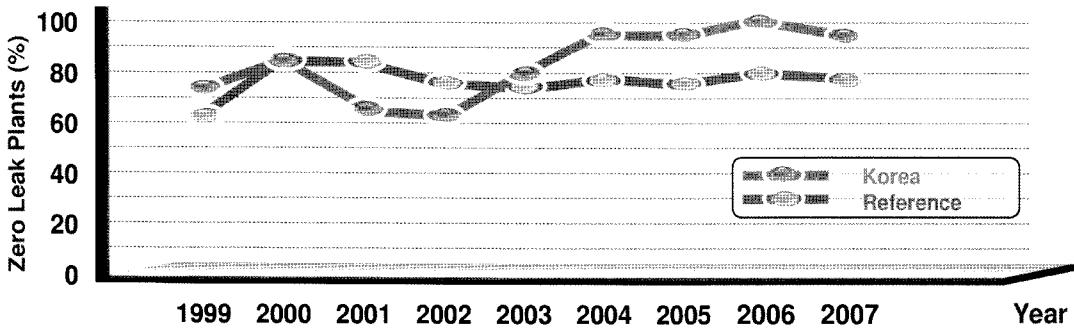
핵연료 생산 설비와 관련하여 2008년 11월에 상업 가동이 시작된 튜브 제조 공장에 대해 간단히 설명을 하기로 한다.

핵연료집합체에는 핵연료봉에 들어가는 피복관과 원자로의 제어봉이 삽입되는 안내관 및 노내 핵계측기가 삽입되는 안내관 등 세 가지의 튜브가 사용된다.

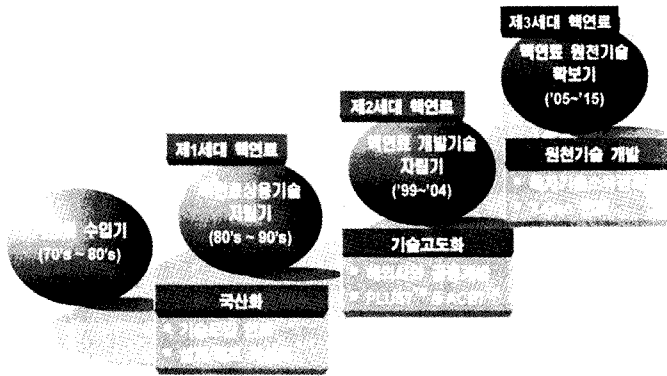
그 동안 KNF는 이 튜브류를 해외로부터 수입하여 왔는데 작년 부터 이 튜브들을 모두 국산화 하였다. 이 튜브 공장의 상업 가동으로 연간 200억원의 수입을 대체하고 약 100여명을 고용 효과를 가져왔으며, 또한 튜브 국산화로 핵연료 생산에서 완전 100% 국산화를 달성하게 된 것이다.

## 2. KNF가 생산 공급한 핵연료의 성능

다음은 KNF가 생산 공급한 핵연료의 성능에 대해 잠시 살펴본다. 1999년부터 2003년까지의 핵연료 손상률은 10<sup>-5</sup> 수준(10만개 핵연료봉 당 1개 손상)으로



〈그림 4〉 핵연료 손상이 없는 원전 비율



〈그림 5〉 핵연료 개발 로드맵

선진국 수준을 일부 밀돌았으나, 2004년 이후부터는 10-6 수준(100만개 핵연료봉 당 1개 손상)으로 선진국 수준 이상으로 성능이 향상되었다. 특히 2006년에는 핵연료 손상이 전무한 기록을 세운 바도 있다.〈그림3〉 이에 따라, 핵연료 손상이 없는 원전 수도 2004년부터는 외국 선진사보다 10% 이상 높은 수준을 유지하고 있음을 알 수 있다.〈그림 4〉

KNF는 그 동안 축적해 온 기술력을 바탕으로 2020년까지 달성할 Vision 2020을 설정하고 임직원이 합심하여 Vision을 달성하기 위해 매진하고 있다.

그 첫째는 안전하고 신뢰성 있는 고성능 핵연료를 설계하고 공급하는 것이다. KNF는 이를 통해 원전 운영자가 세계 최고의 원전 가동률을 유지할 수 있도록 뒷받침한다는 것이다.

둘째, 국제 경쟁력을 갖춘 핵연료 전문 Global Company로 성장하는 목표를 갖고 있다. 이를 위해 장기적으로 우라늄 가격을 포함하여 세계 최저 원가를 달성한다는 것이다.

셋째, 최고의 기술로 수출을 확대하는 목표를 갖고 있다. 2011년 100억원의 수출액을 달성할 계획이며, 2012년 이후에는 핵연

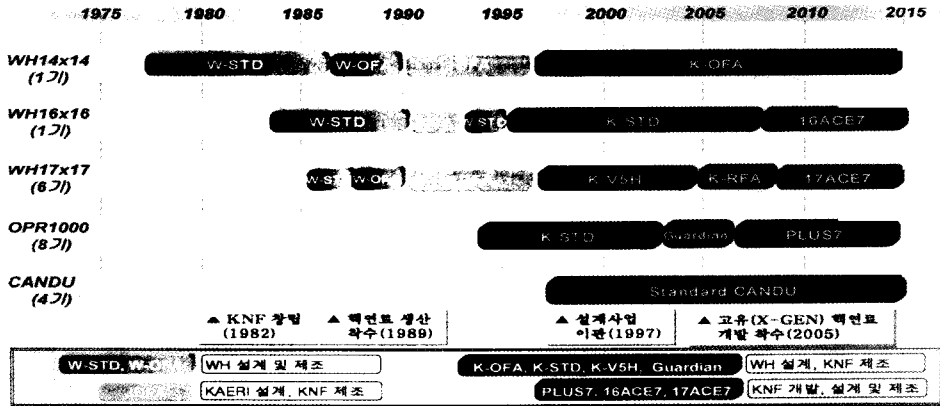
료 완제품 수출을 목표로 나아간다는 것이다.

마지막으로, 사용후핵연료를 포함한 핵주기 전문 회사로 확대 발전하는 것이다. 즉 선·후행 핵주기 사업과 제4세대 원전의 핵연료 기술 개발에도 적극적으로 참여할 것이다.

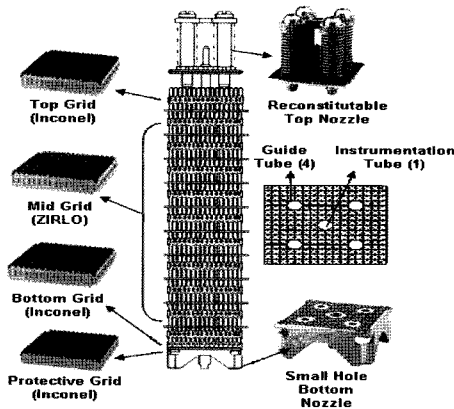
### 3. 핵연료 개발 로드맵과 개발 현황

이러한 목표하에서 KNF가 추진하고 있는 핵연료 개발 로드맵에 대해 설명하도록 한다.

KNF는 국산 핵연료 개발을 크게 3세대로 분류, 설명할 수 있는데, 1980년대와 1990년대에 걸친 핵연료 국산화를 통한 핵연료 상용 기술 자립기의 핵연료가 제1세대 핵연료이고, 제2세대 핵연료는 1999년~2004년까지 해외사와 공동 개발한 개량 핵연료이며, 독자 기술 소유권 확보를 목적으로 2005년부터 개발이 착수된 X-GEN 핵연료를 제3세대 핵연료로 설정하였다. X-GEN 핵연료는 원천 기술을 확보하여 해외 수출에 제한이 없도록 개발 중



〈그림 6〉 국내 핵연료 공급 이력



PLUS7™ Fuel for OPR1000 & APR1400

| Item          | Guardian (1st Gen) | PLUS7™ (2nd Gen) |
|---------------|--------------------|------------------|
| 상용공급          | 2006               | 2006             |
| Burn-up       | 45 GWD/MTU         | 55 GWD/MTU       |
| Rod OD        | 9.7mm              | 9.5mm            |
| Mixing Vane   | No                 | Yes              |
| Debris Filter | Single Filter      | Multiple Filter  |

〈그림 7〉 PLUS7™ 핵연료 특성

인 연료이다.〈그림 5〉

다음은 국내 핵연료 공급 이력에 대해 살펴 보기로 한다. KNF는 1989년부터 경수로 핵연료를 생산 공급한 이래, 1998년부터는 중수로 핵연료까지 생산 공급하게 되어 국내 원전에 소요되는 핵연료 전량을 생산 공급하게 되었다.

특히 1997년에는 한국원자력 연구원이 수행하던 노심 및 핵연료 설계 사업까지 업무를 이관 받아 명실상부한 핵연료 설계 및 제조 회사로 거듭나게 되었다.

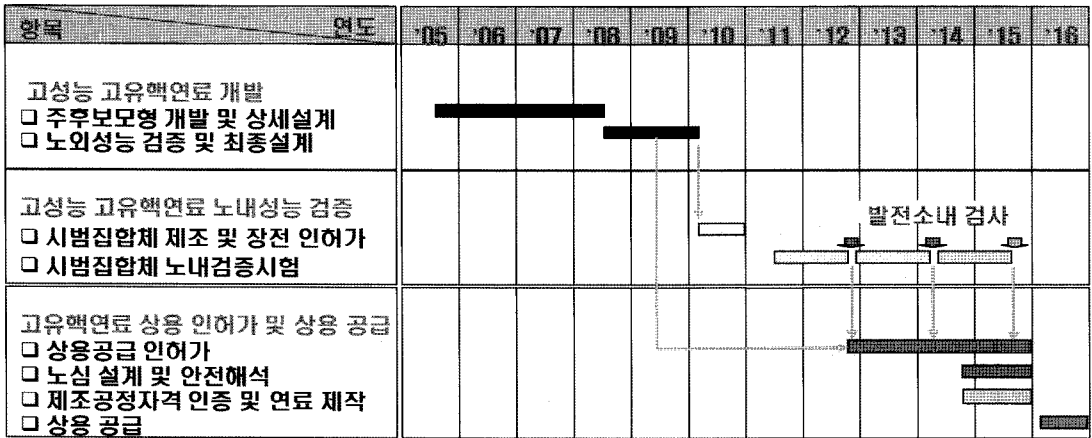
2006년부터 OPR1000에 개량

핵연료인 PLUS7™을 개발하여 공급해 오고 있으며, 2008년부터 WH형 원전에 개량핵연료인 ACE7™을 개발하여 공급해 오고 있다.

이와 병행하여 2005년부터 고유 핵연료인 X-GEN 핵연료를 개발하고 있다.〈그림 6〉 2008년 말 현재 경수로용 핵연료는 총 5,116톤(연간 약300~350톤)을 공급했고, 중수로용 핵연료는 총 4,511톤(연간 약 400톤)을 공급하였다.

다음은 국내 핵연료 개발 현황

에 대해 살펴보도록 한다. 제1세대 핵연료는 해외사로부터 기술을 도입하여 제작되었는데, 1985년 독일 KWU로부터 기술을 도입하여 JDFA를 생산하여 공급하다가, 고리 2호기 핵연료의 다량 손상을 계기로, 1989년부터 미국 웨스팅하우스로부터 기술을 재도입하여 WH형 원전용 핵연료들(STD, OFA, V5H, RFA)을 생산하여 공급하였고, 1994 부터는 당시 미국 컴버스켄 엔지니어링으로부터 기술을 도입하여 OPR1000용 핵연료들(STD,



〈그림 8〉 X-GEN 핵연료개발 추진 일정

Guardian)을 생산 공급하였다. 제1세대 핵연료는 기술을 도입함에 따라 국내 기술 소유권은 없고 실시권만 보유한 상황이었다.

제2세대 핵연료는, 제1세대 핵연료의 성능을 개선하여 해외사 대비 안전성과 경제성의 경쟁력을 확보하고 핵연료 개발 능력을 확보하기 위해, 웨스팅하우스와 공동으로 개발하였다.

먼저 OPR1000용 개량 핵연료인 PLUS7TM을 개발하여 2006년부터 국내원전에 공급하고 있고, 이후 WH형 16×16 및 17×17 개량핵연료(16 및 17ACE7TM)를 개발하여 각각 2008년, 2009년부터 공급하고 있다.

이들 제2세대 핵연료들은 해외사와의 공동 개발로 인해 일부 원천 기술을 확보하지 못한 상태에서 일부 국가(미국, 스페인)에의 수출에 제약이 있는 실정이다.

PLUS7TM은 기존 Guardian 연료 대비 연소성능을 증가시켜 55GWD/MTU까지 연소할 수 있도록 했으며, 열적 성능을 증진시

키기 위해 혼합납개를 부착하였고, 이물질에 의한 핵연료 손상을 방지하기 위해 다중 이물질 여과 기능을 부가하였다.〈그림 7〉

ACE7TM 연료도 55GWD/MTU까지 연소할 수 있도록 연소 성능을 증가시켰으며, 열적 성능을 증진시키기 위해 혼합 지지격자를 추가 부착하였고, 다중 이물질 여과 기능 역시 부가하였다.

#### 4. 제3세대 핵연료로 개발중인 X-GEN 핵연료

다음은 KNF에서 제3세대 핵연료로 개발중인 X-GEN 핵연료에 대해 설명하도록 한다.

X-GEN 핵연료는 원천 기술 확보를 위해 정부(지식경제부) 국가 과제로 자체 개발중인데, OPR1000용으로 2005년 9월부터 개발을 시작하였으며 2011년 2월까지 개발을 완료할 예정이다. 이와 아울러 WH형 원전용인 X2-GEN 핵연료도 1년의 시차를 두고 개발 중에 있다.

X-GEN 핵연료는 개량 연료 대비 연소 성능을 더욱 증가시켜 65GWD/MTU까지 연소할 수 있도록 하고 아울러 열적 성능도 향상시키는것을 목표로 개발 중이다.

현재 상세 설계를 완료하고 노외 실증용 부품 및 집합체 제조를 착수한 상태이며, 그 동안 핵연료 부품 국내 특허 25종을 출원하였고(4종은 등록 완료) 해외 특허 3종을 출원한 바 있다.

아울러, X-GEN 연료에는 현재까지 해외사에 의존하고 있는 피복관 및 지지격자판 소재도 KAERI가 개발한 HANA로 국산화를 추진 중에 있다.

X-GEN 핵연료는 2010년2월까지 개발이 완료되면, 2010년에 시범집합체를 제조하여 2011년부터 2015년까지 노내 성능 검증을 거친 후 2016년부터 국내외에 상용 공급할 예정이다.〈그림 8〉

그리고 제3세대 핵연료 이후의 미래 핵연료 주기 기술이 어떻게 발전할 것인가에 대한 전망을 알아보기로 한다.

세계는 사용후핵연료의 처분 문제로 고심을 하고 있지만, 사실 사용후핵연료에는 약 3%의 핵분열 생성물과 소량의 장반감기 방사능 동위원소 이외에 연소되지 않은 우라늄이 약 96% 가량 있고, 핵연료로 사용 가능한 플루토늄도 약 1% 가량 포함되어 있다.

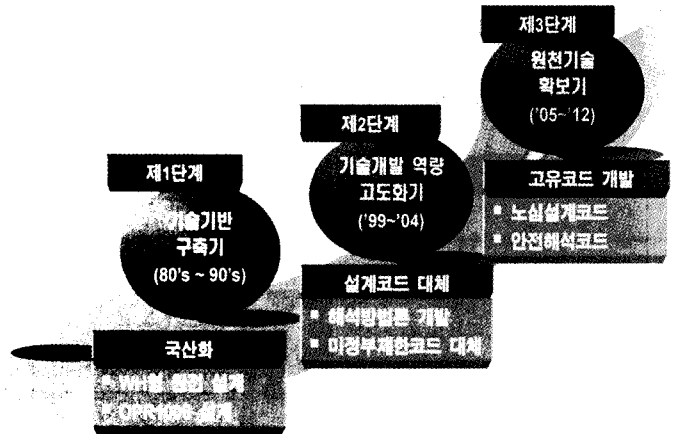
현재 세계가 공동으로 개발하고 있는 제4세대 원전 중 소듐냉각고속로(SFR)의 경우, 사용후핵연료를 재처리하여 우라늄과 플루토늄을 동시에 분리하여 핵연료로 재활용하고, 장반감기 방사능 동위원소들(Minor Actinide 등)도 동시에 추출하여 핵연료에 포함시켜 원자로에서 중성자로 소멸시키는 연구를 하고 있다. 이렇게 되면 우라늄의 활용도는 80~100배 이상 늘어나고 처분 대상 방사성 핵종의 독성은 1/1000로 감소될 것으로 예상된다.

따라서 미래의 핵연료 주기 기술은 우라늄 자원을 최대한 활용하면서 방사성 고체 폐기물의 처분장을 최소화할 수 있는 방향으로 개발될 것으로 전망된다.

**원천 기술(설계 코드) 개발 현황**

다음은 핵연료를 원자로 노심에 경제적이면서 안전하게 장전하는 설계 코드 원천 기술의 개발 현황에 대해 설명하기로 한다.

KNF가 현재 사용하고 있는 설계 코드는 1980년대와 1990년대 두 차례에 걸쳐 웨스팅하우스로부터 도입된 것이다. 이후



〈그림 9〉 설계코드 개발 로드맵

1999년~2004년까지 설계 코드 중 미정부 제한 코드를 대체하는 코드 개발과 안전 해석 방법론 개발을 통해 기술 개발 역량을 고도화하였으며, 2005년부터 원천 기술을 확보하기 위해 고유 코드를 개발중에 있다.〈그림 9〉

설계 코드 도입은 원자로형별로 진행되었는데, 국내 WH형 원전의 교체 노심 설계를 위해 1차로 1986년 독일 KWU 설계 코드가 도입되어 사용되다가 2차로 1994년 미국 웨스팅하우스 설계 코드 59종이 도입되어 현재까지 사용되고 있다.

영광 3, 4호기 초기 노심 설계를 위해 1987년에 미국 구 컴버스천 엔지니어링 설계 코드 약 180종이 도입되었고 이들을 사용하여 OPR1000의 초기노심 설계 및 교체 노심 설계가 수행되고 있다. 기술 도입으로 확보된 기존 설계 코드의 기술 소유권은 국내에 없어, KNF는 국내 실시권만 보유하고 있는 실정이다.

1990년대 말부터 고유 설계 코

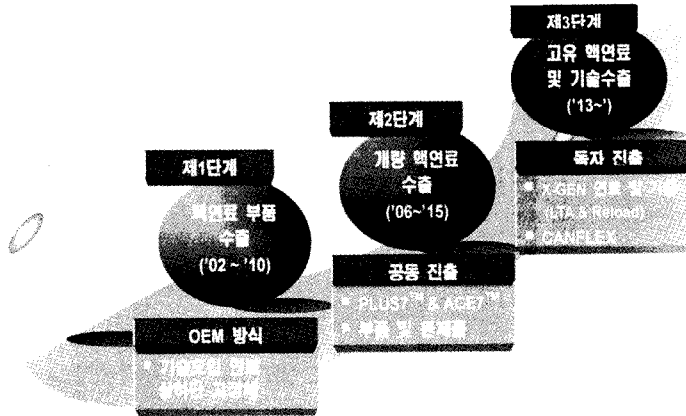
드 개발에 대한 필요성이 제기되어 1차로 공개된 안전 해석 코드(RELAP, RETRAN)를 사용한 안전 해석 방법론 개발이 먼저 착수되었는데, WH형 원전 LOCA 해석 방법론 개발과 OPR1000 안전 해석 방법론 개발이 각각 2002년, 2007년에 종료된 상태이다.

아울러, OPR1000 설계 코드 중 미정부 제한 코드 7종에 대한 사용 협정이 2007년에 종료됨에 따라 이들을 다른 설계 코드로 대체하는 방법론 개발이 2007년까지 이루어졌다.

이렇게 확보된 설계 코드 개발 역량을 바탕으로, 기술 소유권이 확보된 세계 일류 원전 설계 핵심 코드를 2006년부터 개발 착수하여 진행중에 있으며 2012년에 완료할 예정이다.

원천 기술 확보를 위한 본 과제는 KNF, 한국수력원자력, 원자력연구원, 전력연구원, 및 KOPEC이 공동으로 참여하여 노심 설계 코드 25종과 안전 해석 코드 7종





〈그림 10〉 핵연료 수출 로드맵

을 개발하는 것이다. 이중 노심 설계 코드는 KNF가 개발을 주관하며 현재 프로그램 개발을 완료하고 검증 작업 중이고, 5개 기관이 공동 개발중인 안전 해석 코드는 기능별 모듈 개발을 완료하고 모듈 통합을 하고 있다.

이 설계 코드 개발이 완료되면 원전 기술이 확보되어 핵연료 및 원전과 함께 우리 기술이 5대양 6대주로 수출될 수 있는 길이 열린다.

**핵연료의 해외 수출 전략**

다음은 핵연료의 해외 수출 전략에 대해 알아보기로 한다. 먼저 경수로 핵연료 시장을 살펴보면 프랑스 AREVA가 36%(~3,300 MTU)의 점유율로 세계 1위를 차지하고 있으며, 미국 WEC가 29%, 러시아의 TVEL이 14%로 2, 3위를 차지하고 있다. KNF는 연간 약 400MTU를 공급하여 약 7%의 점유율을 가지고 있다.

핵주기는 신연료 제조 부문의 선행 핵주기와 사용후핵연료 처리 부문의 후행 핵주기로 대별되는데, 미국, 프랑스, 일본 등 주요 선진 국가는 선행 핵주기 전 영역의 산업을 보유하고 있는 반면, 우리나라는 선행 핵주기에서 정광, 변환, 농축 산업이 없고 아직 후행 핵주기는 아직 확정된 것이 없고 다만 금년 2월부터 공론화가 시작되고 있다고 할 수 있다. 조속히 사용후핵연료의 처리 등에 관한 후행 핵주기에 대한 정부 정책이 수립되어야 하겠다.

이러한 시장 환경에서, KNF는 3단계 핵연료 수출 로드맵을 설정하고 핵연료 수출을 추진하고 있다. 1단계로 OEM 방식의 핵연료 부품 수출로서 2002년부터 기술 도입 연료의 상하단 고정체를 미국에 수출하고 있다.

2단계는 해외사와 공동 개발한 개량 핵연료의 부품 및 완제품을 2006년부터 해외사와 공동으로 수출하는 것이며, 3단계는 자체

기술로 개발하고 있는 고유 핵연료를 2013년부터 독자적으로 해외 시장에 수출코자 하는 것이다. 〈그림 10〉 KNF가 현재 수출중인 핵연료 부품은 〈표 4〉와 같이 약 687만불 정도의 규모로서 미국 WEC와 브라질 INB가 주수출국이다. 이중 브라질 INB에 수출하고 있는 지지격자체는 개량 핵연료인 16 ACE7TM 핵연료 부품이다.

다음은 현재 KNF 추진하고 있는 핵연료 해외 수출 추진 계획이다. 핵연료 단독 수출로서, 16 ACE7TM 핵연료의 필리핀 바탄 원전 진출과 AECL의 신규 원전 (ACR1000)용 연료인 CANFLEX-ACR 수출, WEC와 협력을 통한 PLUS7 미국 동반 진출과 CEA 공동 생산 및 미국 수출 등을 추진 중에 있다.

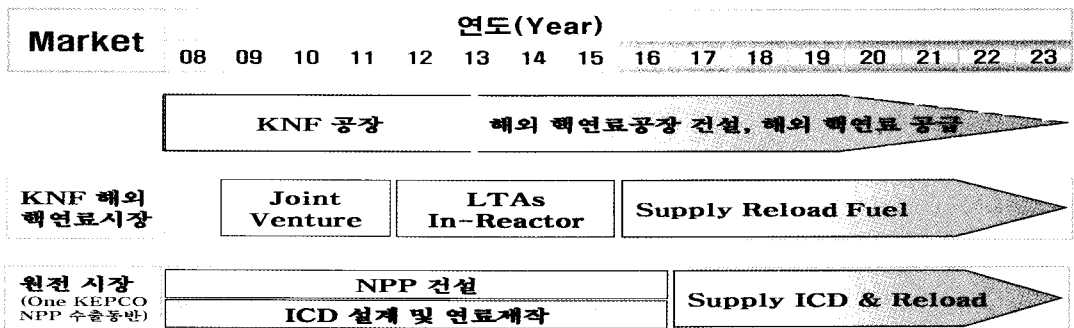
CANFLEX-ACR 수출의 경우 AECL과 7년 공급분(54,720 다발) 계약을 협의 중에 있다. 이와 아울러, 개발중인 X-GEN 핵연료의 해외 진출을 위해 전략적 제휴를 통해 미국 등 현지에 회사를 설립하는 방안도 구상 중에 있다.

또한 한국전력공사를 주축으로 한 전력그룹(One KEPCO)의 요르단, UAE, 터키 등 해외 원전 수출에 공동으로 참여하여 OPR1000 또는 APR1400 용 핵연료 수출을 기대하고 있다.

KNF는 이러한 노력을 통하여 2016년부터는 해외 상용 원전에 교체 노심 핵연료 수출을 시작하여 2020년까지 연간 10개 호기의 핵연료 수출을 달성할 목표를

〈표 4〉 핵연료부품 수출 현황

| 계약 품목            | 계약 내용                | 계약액(체결일)                   | 계약처       | 공급 기간               |
|------------------|----------------------|----------------------------|-----------|---------------------|
| 상,하단고정체          | 3년 공급<br>(400개/년)    | \$2,591,100<br>(2007. 4월)  | 미국, WEC   | 2009. 7.~<br>2011.6 |
| 지지격자채 등          | 3개 재장전<br>(48sets/R) | \$1,687,070<br>(2006. 6월)  | 브라질, INB  | 2007년 ~<br>2010년    |
| 지르칼로이<br>Tube    | 4년 공급<br>(16,000개/년) | \$2,552,960<br>(2004. 11월) | 미국, WEC   | 2010년~<br>2013년     |
| 지르칼로이<br>Scrap 등 | 1~2 ton              | \$39,000<br>(2008. 12월)    | 캐나다, MM&A | 매년 계약 갱신            |
| 계                |                      | \$6,870,130                |           |                     |



〈그림 11〉 경수로 핵연료 해외 수출 추진 전략

세우고 있다.〈그림 11〉

**현안 및 결론**

이제까지 오늘의 강연 주제에 대한 설명을 하였는데, 마지막으로 핵연료 공급, 기술 개발, 핵연료 수출 등의 업무를 가시적이고 성공적으로 달성하기 위해 현안과 결론을 제시하고자 한다.

우선 KNF의 현안 사항은 업무의 증대에 따른 대책이 수립되어야 한다. 크게 다음 4개 분야에서 업무가 크게 늘어나고 있다.

첫째, 2010년부터 신규 원전 건설에 따라 경수로 핵연료 생산량이 약 40% 이상 증가되며, 둘째, 2010년부터 매년 1기씩 신규 원전이 건설되어 교체 노심 설계

업무량이 증가하고 신울진 1, 2호기 및 신고리 5, 6호기 초기 노심 설계 업무가 추가된다.

셋째, 원전 수출 촉진을 위해, 기 수행 중인 원전 기술 개발 완료 목표시기가 2015년에서 2012년으로 3년 단축되었다는 것이다. 그리고 APR1400+ 기본 설계 개발 등 수출 관련 개발 업무도 늘어나고 있다.

마지막으로 핵연료 완제품 수출 및 One KEPCO 해외 원전 수출 추진 등 핵연료 수출 관련 업무도 증가하고 있다. 이러한 업무량의 증가에 따라 KNF는 시설 및 기술 인력 확보가 시급한 상황임을 강조하고 싶다. 따라서 시설 증축과 함께 인력은 연차적으로 늘어나 2017년에는 현재 인력보

다 200여명이 더 증가됨에 대한 대비를 해 나가야 한다.

지금까지 원자력 발전과 핵연료가 우리나라 경제에 기여하고 있는 역할, 핵연료 개발 및 설계 코드 개발 현황 및 핵연료의 해외 수출 전략에 대해 설명을 하였다.

KNF는 부단한 기술 개발을 통해 국내 원전에 신뢰성 있는 고성능 핵연료를 계속 공급하고 원전 기술 및 국제 경쟁력 확보로 해외 시장을 개척하여, 앞으로 세계 3대 선·후행 핵주기 전문 회사로 도약할 것임을 확인하면서 설명을 모두 마치도록 한다. ☉