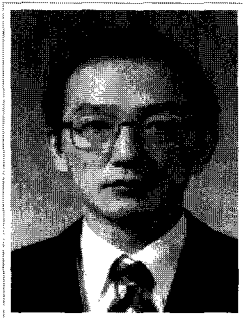




웨스팅하우스형 원전용 개량핵연료(ACE™) 개발

전 경 략

한전원자력연료(주) 핵연료설계처 ACE7 개발책임자



개 요

국내 원자력발전소에서 사용하고 있는 핵연료는 해외에서 도입된 핵연료 설계·제조 기술을 바탕으로 한전원자력연료(주)가 1989년 국산화에 성공한 이래 국내 20여기의 원자력발전소에 소요되는 전량을 공급하고 있다.

해외 핵연료 공급사들은 지속적으로 핵연료를 개선 또는 개발함으로써 국내에서 사용하고 있는 핵연료에 비해 성능 및 경제성 측면에서

10년 이상 앞선 핵연료를 상용 공급하고 있다.

따라서 한전원자력연료(주)는 안전하고 신뢰성 있는 고성능 개량 핵연료를 시급히 개발하고자 한국표준형 및 웨스팅하우스형 원전용 핵연료 개발을 추진하게 되었다.

과학기술부의 원자력 중장기 계획 사업으로 1999년부터 2002년까지 한국표준형 원전용 개량 핵연료인 PLUS7™을 개발한 데 이어, 2001년부터 2004년까지 웨스팅하우스형 원전용 16×16형 및 17×17형 개량 핵연료인 ACE7™ 개발에 성공함으로써 국내 경수로용 원전에 사용되는 핵연료를 단기간에 선진국 수준으로 끌어 올릴 수 있게 되었다.

본고에서는 최근 개발이 완료된 16×16형 및 17×17형 ACE7™의 개발 현황, 주요 특성, 그리고 향후 계획에 대하여 기술하였다.

ACE7 개량 핵연료의 주요 특성을 살펴보면, 최적화된 혼합 날개

및 중간 혼합 지지격자를 사용하여 기존 연료 대비 10% 이상의 열적 성능을 향상시켰으며, 내부식성이 우수한 재질을 사용하여 영역 평균 연소도 55,000 MWD/MTU 이상의 고연소도 성능을 확보하였고, 연료봉의 직경 최적화 및 지지격자 재질 변경으로 중성자 경제성을 크게 향상시켰다.

또한 프레팅 마모 저지 성능이 향상된 지지격자 스프링, 고강도 일자형 안내관, 일체형 상단 고정체, 다중 이물질 여과 개념 도입 등으로 무결함 연료를 지향하였다.

한전원자력연료(주)와 한국수력원자력(주)는 2005년 1월 16×16형 ACE7 4다발을 고리 2호기에 시범 장전한 데 이어, 금년 중반에는 17×17형 ACE7 4다발을 고리 3호기에 시범 장전할 예정이며, 3주기 동안 연소 시험을 수행하고 2008년부터 상용 공급을 목표로 하고 있다.

Plant	Year	1995	2000	2005	2010
Kori -1 (W 14)		KOFA	OFA		
Kori -2 (W 16)		KOFA	STD		ACE7
Kori -3/4 (W 17)		KOFA	V5H	RFA	ACE7
YGN -1/2 (W 17)		KOFA	V5H	RFA	ACE7
UCN -1/2 (W 17)		KOFA	V5H	RFA	ACE7
YGN -3/4 (KSNP)		KSNP		Guardian	PLUS7
YGN -5/6 (KSNP)		KSNP		Guardian	PLUS7
UCN -3/4 (KSNP)		KSNP		Guardian	PLUS7
UCN -5/6 (KSNP)				Guardian	PLUS7
SKNR-1/2 (KSNP)				Guardian	PLUS7
SWN -1/2 (KSNP)				Guardian	PLUS7
SKN -3/4 (APR)					PLUS7

KOFA : Korean FA, OFA : W's Optimized FA, STD : W's Standard FA
V5H : Vantage5H FA, RFA : Robust FA, ACE7 : Advanced W type FA
KSNP : KSNP FA, Guardian : KSNP FA with Debris Filtering Grid,
PLUS7 : Advanced KSNP FA

〈그림 1〉 국내 경수로형 핵연료 사용 이력 및 향후 공급 계획

**국내 경수로용 핵연료 현황 및
개량 핵연료 개발**

국내 경수로형 원자로는 크게 고리 1·2호기 등 웨스팅하우스형과 영광 3·4호기 이후의 한국표준형으로 나눌 수 있으며, 웨스팅하우스형에는 연료 형태에 따라 14×14형(고리 1호기), 16×16형(고리 2호기), 17×17형(고리 3호기 등 6개 호기)이 있다(〈그림 1〉 참조).

국내 원전에서 사용되고 있는 연료는 모두 해외 핵연료 공급사의 기술을 도입하여 국산화한 연료로서, 해외 핵연료 공급사들은 이후에도 지속적으로 핵연료를 개선/개발함으로써 현재 이들이 해외 원전에 상용 공급중인 연료에 비해 성능 및 경제성 측면에서 10년 이상 뒤떨어

져 있는 실정이었다.

국내 웨스팅하우스형 원전에서는 미국 웨스팅하우스가 1980년대 후반에 개발한 17×17형 V5H 연료를 국산화하여 계속 사용하고 있는 반면에, 해외 선진사인 미국 웨스팅하우스는 이후에도 연구 개발을 계속하여 현재 1990년대 후반에 개발된 Robust Fuel Assembly(RFA)를 상용 공급하고 있으며, 프랑스의 프라마툼도 이와 동등한 수준인 AFA 3G 연료를 상용 공급하고 있다.

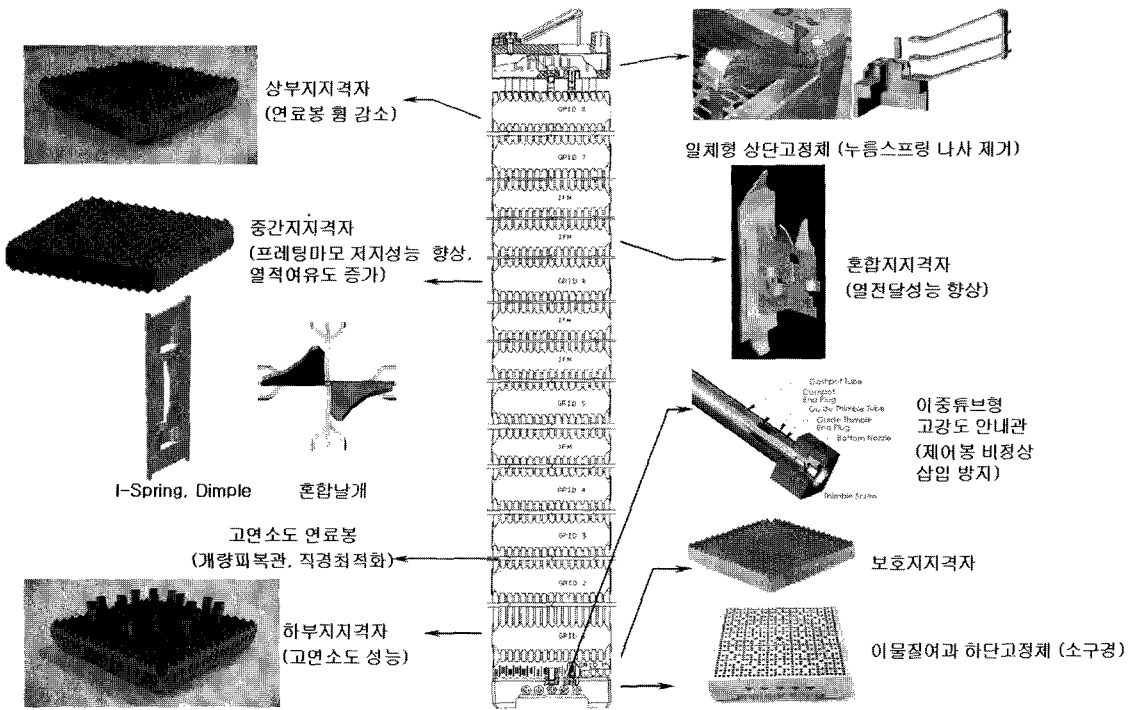
이들 RFA나 AFA 3G 연료는 V5H 연료에 비해 고연소 성능이나 열적 성능뿐만 아니라, 이물질에 의한 손상 방지, 내마모 저지 성능 등 신뢰성 측면에서도 우수한 것으로 알려져 있다.

특히 16×16형 연료는 대상 원전

이 전세계에 3기뿐이며 발전소 건설 당시 처음 상용화된 이래 거의 개량되지 않은 연료로서, 비록 지금까지 큰 문제없이 잘 연소되고는 있으나, 영역 평균 방출 연소도가 38,000MWD/MTU에 불과하며 아직도 중성자 단면적이 큰 인코넬 중간 지지격자를 사용하고 있어서 중성자 경제성 측면에서 불리할 뿐만 아니라 제조성 측면에서도 비효율적이다.

또한 하단 고정체에 이물질 여과 기능이 없고, 상단 고정체가 용접으로 연결되어 있어서 조립/재조립 또는 연료 수리에 어려움이 있다.

따라서 한전원자력연료(주)는 국내 핵연료의 성능 격차를 조속히 해소하고, 나아가 핵연료 기술을 세계 수준으로 향상시키고자 국내 경수



〈그림 2〉 웨스팅하우스형 개량 핵연료 ACE7™의 주요 특성

로용 핵연료 개발을 추진하게 되었다.

과학기술부의 원자력 중장기 계획 사업으로 우선 한국표준원전용 개량 핵연료 개발에 착수하여 1999년부터 2002년까지 미국 웨스팅하우스와 공동으로 시범 집합체 개발을 완료하였으며, 올진 3호기에 PLUS7 4다발을 시범 장전하여 지난 2004년 4월 1주기 연소를 무사히 마치고 현재 2주기째 연소중이다.[1, 2]

이어서, 2001년부터 2004년까지 3년간 총연구 개발비 219억원 규모(정부 지원 100억원, 한전원자력연료(주) 119억원)에 연평균 약 30 M.Y를 투입하여 웨스팅하우스형 원전용 개량 핵연료 개발을 추진하였다.

4개월여의 사전 연구 기획 단계

에서 총개발 기간 단축 및 경제성 제고를 위해 기술 격차가 큰 고리 2호기용 16×16형과 고리 3호기 등 6개 호기가 운전중인 17×17형을 동시에 개발하기로 하고, 개량 핵연료의 연소 성능, 열적 성능, 신뢰성(무결함 연료), 안전 여유도 및 운전 여유도 등이 개발 당시뿐만 아니라 상용 공급 시점에서도 세계 최고 수준이 될 수 있도록 개발 목표 및 전략을 수립하였다.

단기간에 확실한 개발 목표를 달성할 수 있도록 검증된 설계 개념들을 활용하여 16×16형은 웨스팅하우스 및 브라질의 핵연료공사(INB)와, 17×17형은 미국 웨스팅하우스와 3년간 설계 개발, 노외 실증 시험 등 공동 개발을 성공적으로 마치고, 지난 2004년 7월 노내 연소 시험을 위한 시범 집합체 제조를 완료

하였다.[3, 4]

개량 핵연료(ACE7™)의 주요 특성

개량 핵연료 개발을 위하여 전체적인 개발 목표를 기본으로 하여 각 부품별 성능 목표 및 설계 기준이 정해졌으며, 초기 선별 시험 등을 바탕으로 각 부품별 주후보 모형을 선정하여 핵연료 집합체의 기본 설계를 수행하고, 이어서 이들에 대한 예비 시험 및 해석 결과를 이용하여 상세 설계를 완성하였다.

각 부품별 성능 목표 및 설계 기준의 만족 여부를 확인하기 위하여 시험용 부품의 제조 및 노외 시험을 수행하였으며, 마지막으로 최종 시험용 집합체 3다발씩을 제조하여 각종 노외 실증 시험을 완료하였다.



〈표 1〉 16x16형 ACE7™의 주요 특성 비교

항목	STD (현재)	ACE7	기대 효과
연료봉	Zry-4	Zirlo™ 저체적 압축 스프링 Gd 가연성 흡수봉	1. 고연소 성능 확보 (>72,000 MWD/MTU) 2. 중성자 경제성 향상
중간 및 혼합 지지격자	인코넬 혼합 날개 혼합 지지격자 없음	Zirlo™ Optimized MV I-형 스프링 혼합 지지격자(3)	2. 중성자 경제성 향상 3. 열적 여유도 향상(>20%) 4. 프레팅 마모 손상 방지
안내관	Zry-4 2단 외경형	Zirlo™ 일자형(이중 튜브)	5. 제어봉 비정상 삽입 방지
상단 고정체	TIG 용접	일체형 상단 고정체	6. 해체/재조립 용이 스프링 나사 손상 방지
하단 고정체	대구경 유로 구멍	소구경 유로 구멍	7. 이물질 기인 손상 방지
이물질 여과 지지격자	-	보호 지지격자	
하부 봉단 마개	-	장형 봉단 마개	

비 개량 핵연료의 설계 개선 사항 및 기대 효과를 〈표 1〉에 요약하였다.

가. 연료봉

영역 평균 연소도 55,000 MWD/M TU 이상의 고연소 성능 확보를 위하여 Zry-4 피복관 대신 Zirlo 피복관을 사용하고 플레넘 부피를 감소시키기 위해 저체적 가변 피치 (Variable Pitch) 연료봉 압축 스프링을 개발하였다.

그리고 연료봉 직경을 기존 9.5mm(0.374 in.)에서 9.14mm(0.360 in.)로 최적화하여 H/U 비율 증가에 따른 우라늄 이용률을 향상시키고, 연료봉 상하부에 축방향 반사체(Axial Blanket)를 도입하여 축방향 중성자 누출률을 감소시키는 등 중성자 경제성을 향상시켰다.

또한 다중 이물질 여과 개념을 채택하여 이물질 여과용 보호 지지격자와 접촉되는 연료봉 하부에 장형 봉단마개를 채택하였다.

나. 중간 지지격자 및 혼합 지지격자

고연소도에 따른 열적 성능 향상을 위하여 혼합 날개를 최적화하고 3개의 중간 혼합 지지격자를 장착함으로써 기존 연료 대비 DNB 여유도를 20% 이상(과출력 여유도 20%) 향상시켰다.

또한 기존의 인코넬 재질을 중성자 흡수 단면적이 작은 Zirlo로 변경하여 중성자 경제성을 향상시켰

각 개발 단계마다 공동 개발자인 한전원자력연료(주), 웨스팅하우스, INB의 사내의 전문가로 구성된 설계·제조 검토 회의를 거쳐 최종 설계가 확정되었다.

개량 핵연료 집합체 및 주요 부품은 〈그림 2〉에서 보는 바와 같다.

이번에 개발된 웨스팅하우스형 원전용 개량 핵연료의 주요 특성 및 기대 효과는 다음과 같은 7가지로 요약될 수 있으며, 이를 지칭하여 「ACE7」으로 명명하게 되었다.

- ① 고연소 성능 확보(영역 평균 방출 연소도 55,000 MWD/MTU)
- ② 중성자 경제성 향상(연료봉 직경 최적화 및 중간 지지격자에 지르코늄 합금 사용)
- ③ 열적 여유도 20% 이상 향상(혼합 날개 최적화 및 혼합 지지격자 3~5개 장착)
- ④ 프레팅 마모 저지 성능 향상

(I-형 스프링 중간 지지격자 개발)

⑤ 제어봉 집합체 비정상 삽입 가능성 배제(일자형 고강도 안내관 개발)

⑥ 상단 고정체 손상 가능성 배제 및 해체/재조립 용이(일체형 상단 고정체 개발)

⑦ 다중 이물질 여과 기능 채택(소구경 하단 고정체 및 보호 지지격자 개발)

1. 16×16형 ACE7

16×16형 ACE7은 해체/재조립이 용이한 일체형 상단 고정체, 이물질 여과 소구경 하단 고정체, 6개의 Zirlo 중간 지지격자, 3개의 Zirlo 혼합 지지격자, 이물질 여과 보호 지지격자, 20개의 고강도 일자형 안내관과 1개의 계측관, 그리고 16×16 배열의 고연소도 연료봉으로 구성되어 있다. 기존 연료 대

〈표 2〉 17x17형 ACE7™의 주요 특성 비교

항목	V5H	RFA	ACE7	기대 효과
연료봉	Zry-4 축방향 반사체	Zirlo™ 저체적 압축 스프링 Gd 가연성 흡수봉	Optimized Zirlo™ 저체적 압축 스프링 Gd 또는 IFBA	1. 고연소 성능 확보 (>72,000 MWD/MTU)
중간 및 혼합 지지격자	Zry-4 대각선형 스프링 혼합 지지격자(3)	Zirlo™ 혼합 날개 개선 혼합 지지격자(3)	Optimized Zirlo™ 혼합 날개 최적화 I-형 스프링 혼합 지지격자(5)	2. 열적 여유도 향상(>20%) 3. 연료봉 크러드 저감 4. 프레팅 마모 손상 방지
안내관	Zry-4 2단 외경형	Zirlo™ 두께 증가 2단 외경형	Optimized Zirlo™ 두께 증가 일자형(이중 튜브)	5. 제어봉 비정상 삽입 방지
상단 고정체	스프링 나사 사용	스프링 나사 사용	일체형 상단 고정체	6. 스프링 나사 손상 방지
하단 고정체	소구경 유로 구멍	소구경 유로 구멍	소구경 유로 구멍	7. 이물질 기인 손상 방지
이물질 여과 지지격자	-	보호 지지격자	보호 지지격자	
하부 봉단 마개	-	장형 봉단 마개	장형 봉단 마개	

다.

한편 연료봉의 프레팅 마모에 의한 손상과 직결되는 중간 지지격자의 스프링 및 뎀플은 검증된 여러 가지 후보 모형 중 가장 성능이 우수한 것으로 평가된 I-형 스프링을 사용하고, 뎀플은 연료봉과의 접촉 길이를 증가시켜 프레팅 마모 저지 성능을 향상시켰다.

그리고 고연소 성능을 위해 내부 식성이 우수한 Zirlo 재질을 사용하고 지지격자의 폭방향 조사 성장을 최소화하기 위하여 원자재의 압연 방향이 지지격자판의 높이 방향이 되도록 「Transverse Stamping」공정을 개발하여 지지격자판을 제조하였다.

다. 상·하부 지지격자

상·하부 지지격자는 연료봉 장입시의 결림에 의한 손상 가능성을 최소화하기 위하여 지지격자 뎀플을 수평 방향에서 수직 방향으로 개선하였으며, 고연소도 성능을 위해 하부 지지격자는 스프링력을 강화시키고 상부 지지격자는 연료봉 조사 성장을 충분히 허용하여 연료봉 휨을 최소화하도록 스프링력을 최적화하였다.

또한 핵연료 집합체의 노내 인출 및 장전시 결림에 의한 손상이 발생되지 않도록 외부 지지격자판 가장자리의 설계를 개선하였다.

라. 상단 고정체

안내관과 용접으로 연결되어 있

던 상단 고정체를 해체/재조립이 용이하도록 설계하였으며, 일체형으로 주도된 클램프가 스프링을 지지하는 일체형 상단 고정체를 개발하여 스프링 나사의 파손에 의한 스프링력 감소와 이물질 발생 가능성을 원천적으로 제거하였다.

마. 하단 고정체 및 보호 지지격자
이물질 여과를 위해 소구경 유로 구멍을 갖는 하단 고정체를 사용하고 하단 고정체 상부에 보호 지지격자를 부착함으로써 보호 지지격자의 뎀플과 접촉하는 장형 봉단 마개와 함께 다중 이물질 여과 기능을 한다.

바. 안내관

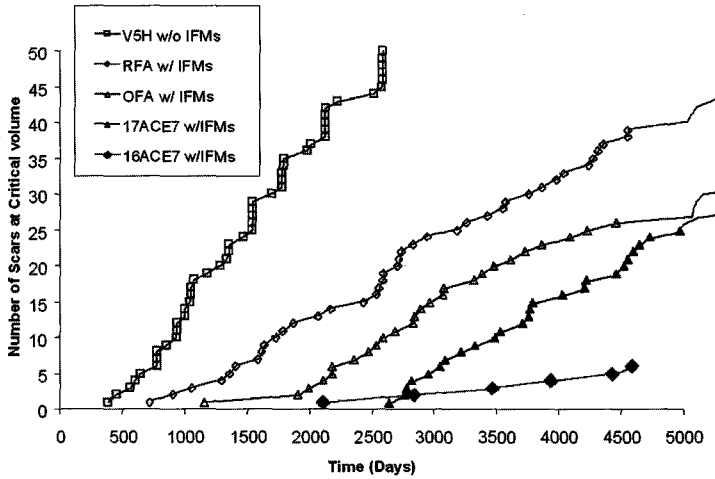
고연소에서도 집합체 휨에 의한 제어봉 비정상 삽입 가능성을 배제하기 위하여 2단 외경형 안내관(Swaged Type)을 고강도 일자형 안내관(Tube-in-Tube)으로 설계

변경하여 안내관의 강도가 증가되었으며 Zirlo 재질을 사용하였다.

2. 17×17 ACE7

공동 개발자인 웨스팅하우스사가 미국내에 상용 공급하고 있는 RFA 연료는 국내 원전에서 사용중인 V5H 연료에 비해 고연소 성능 및 열적 성능뿐만 아니라 신뢰성 측면에서도 우수하므로, 신뢰성이 더욱 향상된 고성능 개량 핵연료를 개발하는 한편, 이를 상용화하기까지 우선 RFA 연료를 국산화하여 2003년 말부터 상용 공급하게 되었다.

17×17 ACE7은 해체/재조립이 용이한 일체형 상단 고정체, 이물질 여과 소구경 하단 고정체, 6개의 Optimized Zirlo 중간 지지격자, 5개의 Optimized Zirlo 혼합 지지격자, 이물질 여과 보호 지지격자, 24개의 고강도 일자형 안내관과 1



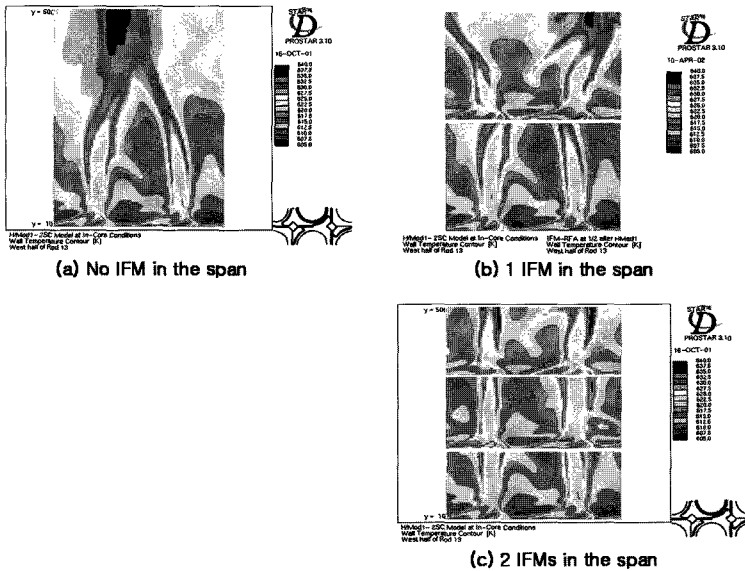
〈그림 3〉 핵연료 집합체 내구성 시험 결과를 이용한 연료봉 마모 손상 예측 결과

시험, 유체 유동에 의한 집합체 진동 시험, 지지격자 고주파 진동 시험, 500시간 집합체 내구성 시험 (연료봉 프레팅 마모 시험), 집합체 기계적 특성 시험, 집합체 장전/인출 모의 시험, 지지격자 충격 시험 및 스프링 특성 시험, 기타 구조적 강도 시험 등 현재 세계 핵연료 공급사가 수행할 수 있는 거의 모든 노의 실증 시험을 망라하여 수행하였다.

노내 장전을 위한 안전성 평가와 관련해서는 노심 핵설계, 연료봉 성능 해석, 집합체 기계 설계, 열수력 설계, 사고 해석 및 과도 해석 등 각 분야별로 영역 평균 방출 연소도 55,000 MWD/MTU(최대 연료봉 평균 연소도 75,000 MWD/MTU) 까지 성능을 입증하였으며 향후 출력 증강을 고려한 해석도 수행하였다.

여러 가지 노의 실증 시험 중 핵연료의 주요 손상원인 중의 하나인 연료봉 프레팅 마모와 연관된 핵연료 집합체의 진동 시험 결과를 살펴보면, 유체 유동에 의한 집합체 진동 시험과 지지격자 고주파 진동 시험에서 개량 핵연료에서는 전체 유동 범위에서 과거와 같은 과도한 진동이 전혀 나타나지 않음을 확인하였다.

〈그림 3〉은 시험용 개량 핵연료 및 기존 연료 2다발을 유동 시험 시설에서 500시간 동안 내마모 시험



〈그림 4〉 혼합 지지격자에 의한 연료봉 표면의 온도 분포 변화

개의 계측관 및 17×17 배열의 고연소도 연료봉으로 구성되어 있다.

기존 연료인 V5H 및 중간 단계인 RFA 대비 개량 핵연료의 설계 개선 사항 및 기대 효과를 〈표 2〉에 요약하였다. 부품별 특성은 16×16 ACE7과 유사하므로 상세한 설명

은 생략한다.

노의 실증 시험 및 해석

ACE7 개량 핵연료 공동 개발에서는 열적 성능 검증을 위한 임계열속 시험, 부품 및 집합체 압력 강하

을 수행한 결과로부터 프래팅 마모에 의한 손상 가능성을 예측한 그래프로서, 개발된 개량 핵연료의 내마모 특성이 기존 연료에 비해 매우 우수한 것으로 나타났다.

그리고 <그림 4>는 연료봉 표면의 온도 분포를 계산한 결과로서, 지지격자 혼합 날개를 최적화하고 3개 또는 5개의 중간 혼합 지지격자를 장착하여 열적 성능을 향상시킬 뿐만 아니라 연료봉 둘레의 온도 편차를 최소화하여 국부 부식 방지와 비정상 출력 편차를 최소화할 수 있음을 보여주고 있다.

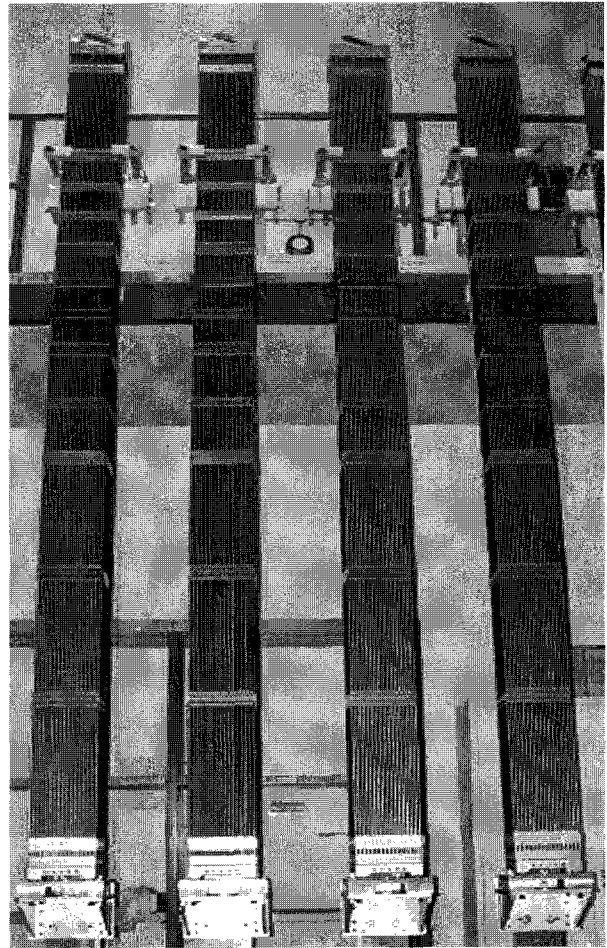
시범 집합체 제조

설계가 최종적으로 확정된 후 노내 연소 시험을 위해 시범 집합체를 제조하였다.

이 시범 집합체는 상용 원전에 장전되므로, 상용 공급의 경우와 동일하게 원자재 공급부터 부품 제조, 집합체 조립의 전 공정에 대해 제조 공정 자격 인증 시험을 수행한 후, 16×16형 및 17×17형 ACE7 시범 집합체 각 4다발과 발전소 내의 사전 취급 시험을 위한 모의연료 각 1다발을 제조하였다(그림 5).

시범 집합체 장전 및 연소 시험

개량 핵연료의 노내 연소 시험을 위해 16×16형 및 17×17형 ACE7



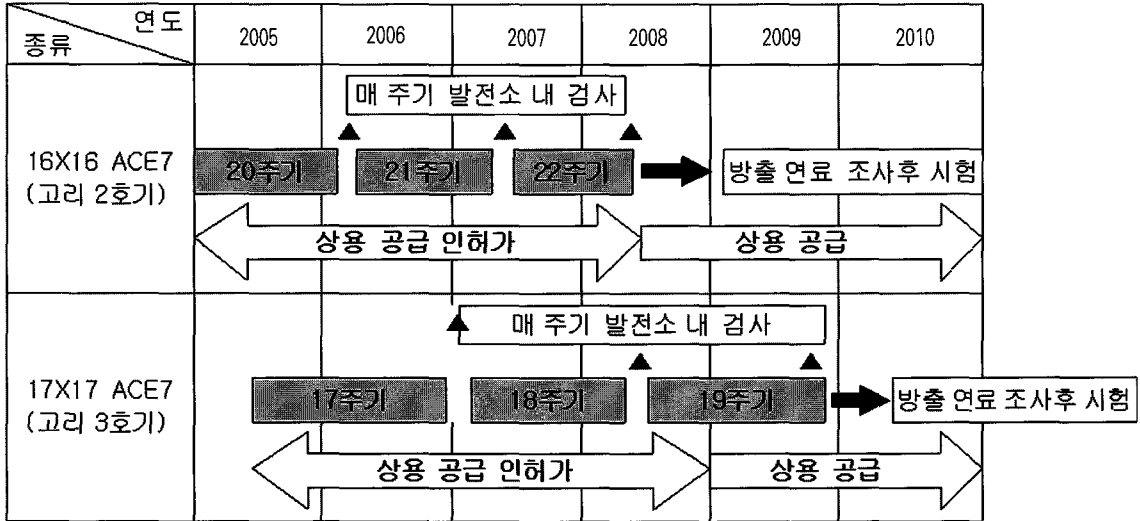
<그림 5> 고리 3호기에 장전될 17×17형 ACE7 시범 집합체

시범 집합체 장전 노심의 안전성 평가를 수행하여 안전성을 입증하였으며, 16×16 ACE7 4다발을 고리 2호기에 2005년 1월 시범 장전하여 현재 연소중에 있고, 이어서 금년 중반 17×17형 ACE7 시범 집합체 4다발을 고리 3호기에 시범 장전할 예정이다.

3주기까지는 현재의 인허가 연소도를 초과하지 않는 범위에서 시범

집합체를 연소시킬 계획이며, 3주기 연소 후 노내 연소 시험 자료를 토대로, 필요에 따라 별도의 승인하에 시범 집합체 1다발에 대해 4주기까지 노내 연소 시험을 수행할 계획이다.

시범 집합체의 연소 기간 동안 원자로내 계측기로부터 출력 이력 조사, 냉각수 방사능 분석을 통한 손상 유무 평가를 수행하고 매주기 연



(그림 8) ACE7 시범 집합체 노내 연소 시험 및 상용 공급 계획

소 후 운전 정지 기간 동안 시범 집합체 연소 성능 평가를 위하여 발전소 내 검사를 수행하며, 3주기 또는 4주기 연소 후 방출된 시범 집합체에 대해서는 국내 조사후 시험 시설(Hot Cell)에서 비파괴 검사 및 파괴 검사를 수행할 계획이다.

가. 발전소 저장조 내 검사

- 육안 검사 (Visual Inspection): 집합체 외관 검사, 연료봉 및 주요 부품 외관 검사

- 제원 측정: 집합체 제원 및 휨, 주요 부품의 제원 변화, 연료봉 산화막 두께, 기타 성능 인자

나. 조사후 핫셀 시험

- 비파괴 검사: 집합체 제원, 연료봉 휨 또는 간격, 산화막 두께, 각 부품의 기능 및 제원 등

- 파괴 검사: 피복관 제원, 부식 두께 및 미세 조직, 소결체 제원 및 미세 조직, 각 부품의 주요 성능 인자 등

향후 추진 계획

(그림 6)에서 보는 바와 같이 16×16형 및 17×17형 ACE7 시범 집합체를 3회 노내 연소 시험을 수행할 예정이며, 2~3주기 연소 후 성능이 확인되면 2008년부터 고리 2호기 등 웨스팅하우스형 원전에 상용 공급할 예정이다.

그리고 시범 집합체 3주기 연소 후, 노내 연소 시험 자료를 토대로 인허가 연소도 확장 등 필요에 따라 별도의 승인하에 시범 집합체 1다발에 대해 4주기까지 노내 연소 시험을 수행할 계획이다.

〈참고 문헌〉

1. K.T. Kim, et al., PLUS 7 Advanced Fuel Assembly Development Program for KSNPs and APR1400, 17th KAIF/KNS Annual Conference, Seoul, Korea, April 18-19, 2002.

2. 최준형, 한국표준형 개량 핵연료(PLUS7TM) 시범 집합체 1주기 원자로내 연소 시험, 〈원자력산업〉, 2004. 8.

3. S.J King et al., Introduction of Advanced 16×16 and 17×17 Fuel Assemblies into Korean PWRs, 14th Pacific Basin Nuclear Conference, Hawaii, USA, March 21-25, 2004.

4. K.L. Jeon et al, Updated Status of Advanced 16×16 and 17×17 Fuel Assembly Developments in Korea, 19th KAIF/KNS Annual Conference, Seoul, Korea, April 25-27, 2004.

5. K.T. Kim, et al., PLUS 7 Advanced Fuel Assembly Development Program for KSNPs and APR1400, 17th KAIF/KNS Annual Conference, Seoul, Korea, April 18-19, 2002.