



## 일본원자력개발기구(JAEA)의 FLWR 연구 개발

다카미치 이와무라

일본원자력개발기구 에너지시스템연구부장

### 머리말

미래의 지속 가능한 에너지 공급을 위해서는 원자력 발전이 필수 불가결한 것으로 여겨지고 있다. 특히 온실 가스 배출이라는 관점에서 보면 원자력 발전은 더욱 중요해진다.

그러나 한편으로는 우라늄 자원의 고갈이라는 측면에서 보면, 지금처럼 단순히 경수로(LWR)를 계속 이용하는 것은 좋은 방법이 아니며 연료를 재활용할 수 있는 시스템이 구축되어야 한다.

이에 따라 고속증식로(Fast Breeder Reactor, FBR) 시스템이 가장 장래성 있는 대안으로 기대를 한 몸에 받으며 널리 알려지면서 지난 수 년간 개발되어 왔다.

일본은 나트륨 냉각 FBR을 대표적인 FBR 시스템으로 개발하였고, 이 FBR의 원형(prototypes)을 「몬주(Monju)」라고 이름 붙였다.

FBR의 노심이 기대만큼의 성능을 발휘하도록 하기 위해 가장 선호하는 냉각제가 나트륨이지만 대형 원자력발전소(Nuclear Power Plant, NPP)에서 이를 실용화한 경험이 충분하지 않다는 문제가 있다.

이 문제는 실제 가동 경험이 축적되어 경제성이 실현되면 해결되겠지만, 그럼에도 불구하고 FBR 상용화에 따르는 문제점들을 모두 해결하기까지는 앞으로 많은 시간이 걸릴 것이다.

NPP의 운영 경험에 따르면, LWR가 나트륨 냉각 FBR과 비교했을 때 더 탁월한 성과를 보인다는 것을 알게 되었다.

따라서 지금까지 경험이 누적된 LWR 기술의 틀 안에서 연료를 재활용할 수 있다면 많은 도움이 될 것이다.

이러한 생각을 바탕으로 JAERI

는 연료를 재활용할 수 있는 혁신적인 LWR의 가능성을 연구하기 시작했다.

JAERI는 2005년 10월 1일 일본 원자력기구(JAEA)로 개편되었는데, JAEA는 일본 공공 설비 기관과 LWR 사업자들의 도움으로 JAERI와 JNC를 통합하여 탄생했다.

이처럼 혁신적인 원자로 개념은 저감속 스펙트럼 원자로(Reduced-Moderation Water Reactor)로 명명되었으며, 이 원자로에 대한 포괄적인 타당성 연구가 이루어졌다.

〈그림 1〉은 FLWR 도입이 일본의 천연 우라늄 누적 소비량에 미치는 영향을 보여주고 있다. 2030년 이후에는 총전력 발전량이 58GWe가 될 것으로 추정하고 있다.

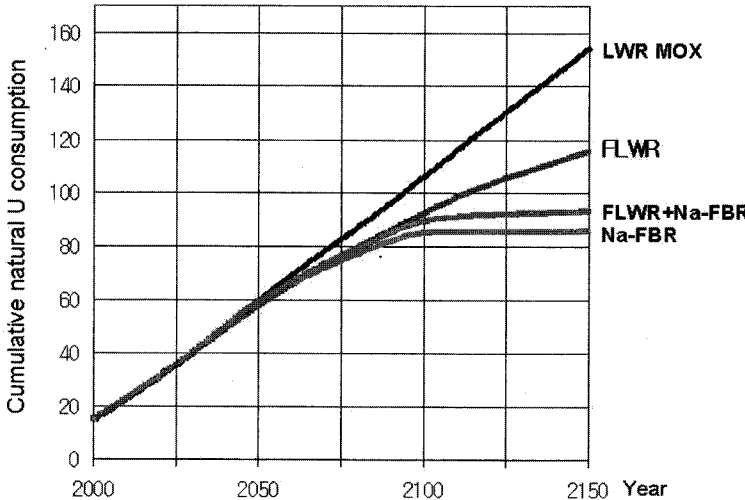
FLWR이 나트륨 FBR보다 누적 소비량 포화에 이르는 시간이 더 오



〈표 1〉 Major dimensions and characteristics of FLWR core design for two steps

Item	Units	First step of FLWR High conversion	Second step of FLWR Sustainable Pu recycling
Electrical power	MWe	1,356	1,356
Reactor thermal power	MWth	3,926	3,926
Reactor operating pressure	MPa	7.2	7.2
Core average void fraction	%	40	70
Core circumscribed radius	m	3.8	3.8
Number of fuel assemblies	-	900	900
Number of fuel rods /assembly	-	217	217
Outer diameter of fuel rods	mm	11.2	13.7
Gap between fuel rods	mm	3.8	1.3
Cladding tube material	-	Zircaloy-2	Zircaloy-2/Advanced SS
Fuel active length	mm	1500	1255
Core axial fissile Pu enrichment distribution	Upper blanket	Height (mm)	DU 220
	MOX region	Height (mm)	18 225
	PuF content (wt%)		DU 400
	Lower blanket	Height (mm)	18 230
			DU 180
Core average burn-up	GWdt	45	65
Total average burn-up <sup>(1)</sup>	GWdt	45	50
PuF conversion ratio	-	0.85	1.04
Void reactivity coefficient	dk/k / %void	- 2×10 <sup>-4</sup>	- 0.5×10 <sup>-4</sup>
Contents of MA / FP	%	0.1/0.0	0.1/0.0

(1) Average discharge burn-up including upper and lower blankets  
 (2) Almost the same as a limit of the PuF content for Pu-thermal in current LWRs



〈그림 1〉 Effect of FLWR introduction on cumulative natural U consumption in Japan

래 걸리지만 LWR MOX와 비교해서는 천연 우라늄 소비를 줄이고 더 빨리 포화에 이를 수 있다. 나트륨 FBR과 FLWR을 결합하여 도입하는 것도 가능한 방법이다.

이러한 결과를 바탕으로 연료 재

활용 원자로의 개념이 확장되어 연료 주기 환경에 유연하게 대응할 수 있게 되었고, 그럼으로써 미래의 연료 주기 전망에서 더욱 현실성을 갖게 되었다.

이 새로운 개념은 혁신적인 가변

핵연료 주기용 경수로(Innovative Water Reactor for Flexible Fuel Cycle)라고 불리며 시간 순서에 따라 두 단계로 구성되어 있다.

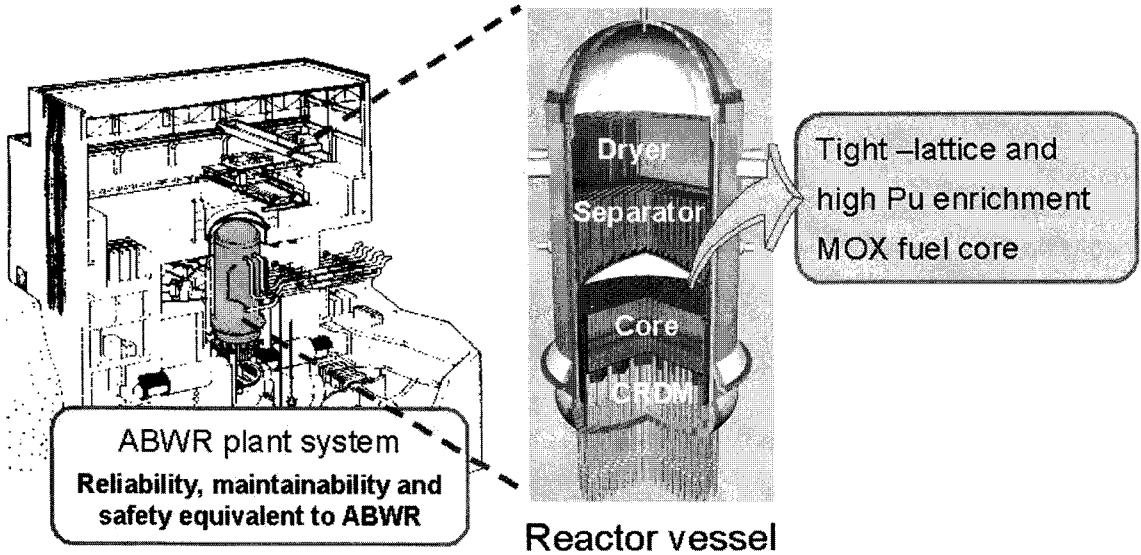
첫 단계는 조밀 격자(tight-lattice) MOX 노심을 채용하여 고전환 노심(high conversion type core) 설계를 실현하는 것이다.

이 단계의 근본적인 목적은 기술적 관점에서 심각한 격차없이 기존의 LWR 기술로부터의 연속성을 원활하게 이어가려는 것이다.

두 번째 단계는 RMWR 노심 설계 단계로, 전환비를 1.0 이상으로 향상시켜 풍부한 경험의 LWR 기술을 가지고 플루토늄을 여러 번 재활용하여 장기적으로 지속적인 에너지를 공급하려는 것이다.

중요한 사실은 이 두 개의 노심이 상호 호환이 가능하고 동일한 규모의 핵연료 집합체(fuel assembly)를 활용하기 때문에, 원자로 가동 주기인 약 60년 동안 연료 주기 환경에 따라 탄력적으로 동일한 원자로 시스템에서 처음의 노심에서 다음 노심으로 진행해 나갈 수 있다는 점이다.

〈그림 2〉는 기존의 개량형 비등수형 원자로(Advanced Boiling Water Reactor, ABWR) 시스템을 대부분 활용하면서 고농축 MOX 연료의 조밀 격자 구성 아래 신형 노심을 활용하는 FLWR 발전소의 전체적인 개념을 보여준다.



〈그림 2〉 Overall idea of FLWR plant

**미래 연료 주기에서 FLWR의 역할**

현재로서는 MOX 연료 재처리를 통해 플루토늄을 여러 번 재활용하기 위한 연료 주기가 아직 실현되지 않았기 때문에, LWR 사용후연료에서 재처리한 플루토늄을 MOX 연료로 LWR에 사용하고 있다.

일본에서는 로카쇼 재처리 시설(Rokkasho reprocessing plant, RRP)이 2007년부터 가동을 시작하여 40년 동안 가동될 예정이다.

J-MOX라고 하는 LWR MOX를 활용하기 위한 MOX 연료 생산 시설이 RRP에 이어 2012년경에 건설될 계획이다.

국내에서 자체적으로 MOX 연료 공급이 가능해지기 전까지는 재처리 계약에 따라 일본에서 해외로 보낸  $UO_2$  사용후연료를 재처리하여 얻은 플루토늄을 가지고 MOX 연료를 해외에서 생산할 계획이다.

〈그림 3〉은 앞으로 일본이 LWR 기술을 이용하여 플루토늄을 배치

하려는 계획 및 제안을 도식으로 보여주는 것이다.

이 계획에서는 MOX 연료를 기존 LWR의 노심에 일부 또는 전부 축적한 이후에 FLWR 첫번째 단계의 고전환형을 도입하여 LWR을 일부 대체할 수 있다.

LWR MOX 연료 활용 경험에 비추어 보면, 비록 연료 집합체는 삼각 격자 연료봉 배열의 육각 형태로 바뀌게 되지만 FLWR로의 기술 이전은 원활할 것으로 기대된다.

원자로의 플루토늄 저장량이 방대하기 때문에 MOX 연료를 이용하는 원자로 수가 LWR MOX 이용에 비해 급격히 감소할 것이다.

연료 집합체의 크기는 내부 길이가 200mm인 RMWR의 육각 연료 집합체와 유사하다. 연료봉과 연료봉간의 간격이 3mm로 비교적 간격이 넓은 삼각 격자에 배열되어 있으며, 효과적인 MOX의 길이는 소결체(blanket)를 사용하지 않았을 경우 1.5m 미만이다.

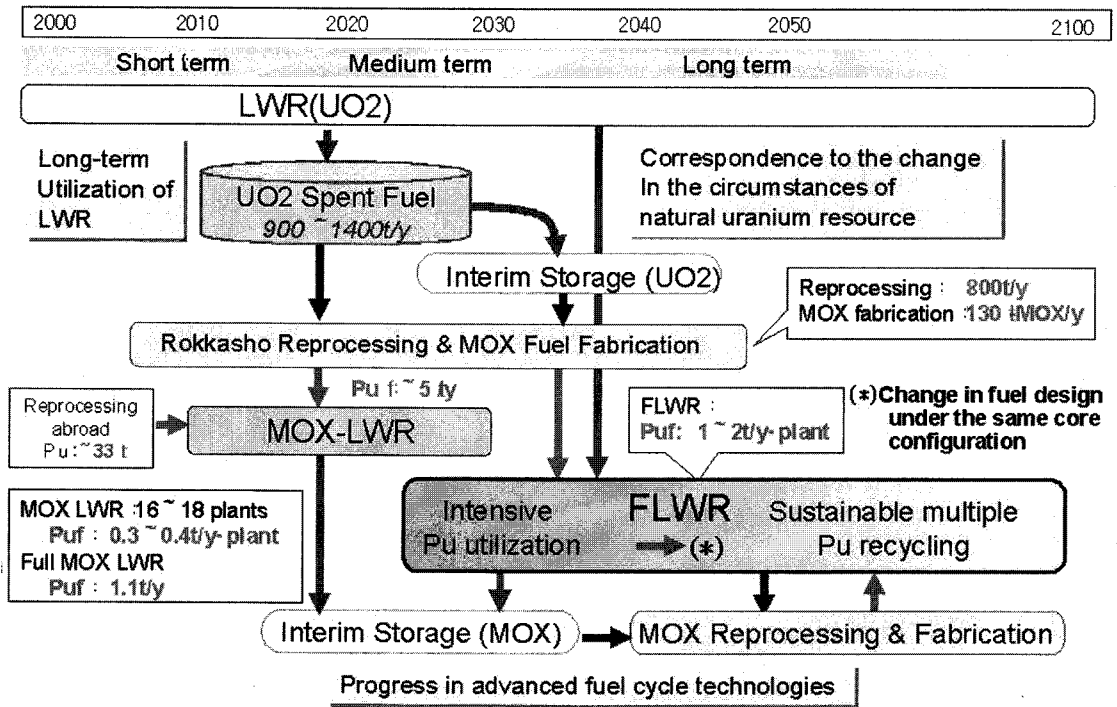
따라서 LWR MOX 이용과 큰 기술적 차이가 없으며, 원활한 기술적 연속성이 가능할 것으로 기대되고 있다.

연료 재처리를 통해 플루토늄을 여러 회 재활용하기 위한 연료 주기가 실현되면 동일한 원자로 시스템에서 연료봉의 직경, 연료봉간의 간격 등을 바꾸는 것만으로 연료 집합체를 다른 RMWR용 조밀 격자로 대체할 수 있으며, 그럼으로써 연료 주기 환경에 더 유연하게 대응할 수 있게 된다.

LWR MOX를 이용할 때 FLWR 1단계와 2단계로 가면서 노심 설계가 어떻게 달라지는지를 보여주는 것이 〈그림 4〉이다.

FLWR의 첫 단계에서 연료 집합체가 삼각 격자 연료봉 배열의 육각 형태로 바뀌었지만 연료봉 사이의 간격 폭은 여전히 LWR만큼이나 넓다.

핵분열성 플루토늄(PuF) 함량은 최대 9%로 연료 주기 인프라인 J-



〈그림 3〉 Schematic of example plan for future Pu deployment in Japan with LWR technologies

MOX 사양에서 정한 한도를 준수하고 있다. 이 노심의 전환비는 0.9이다. 심지어 이 노심에서도 반복적인 플루토늄 재활용이 몇 회 가능할 것이다.

FLWR의 두 번째 단계는 RMWR 개념이다.

연료봉 사이의 간격 폭은 1.0mm 내외로 줄어들고 MOX의 평균 Puf량은 18%로 증가하게 된다. 연료봉의 직경도 늘어나고 연료봉 피치(pitch)는 첫 단계와 같은 수준으로 유지된다.

따라서 연료 집합체의 크기는 첫 단계와 동일하고, 그렇기 때문에 FLWR 개념의 두 단계를 모두 동일한 노심 설계를 가지고 달성할 수 있다.

냉각수의 평균 공극률(void fraction)도 증가하고 축 소결체

(axial blanket) 영역이 채택된다. 따라서 이러한 형태의 노심에서는 전환비가 증가하여 그 값이 1.0을 넘어서는 것으로 측정되고 있다.

### FLWR 노심 개념

FLWR의 원자로 개념은 〈그림 2〉에 보이는 기존의 개량형 BWR(ABWR) 시스템과 동일한 발전소에서 사용하기 위해 설계되었다. 따라서 노심의 개념만이 새로운 것이다.

시간 순서로 보면, 이 개념의 최종 목표를 수립하고 명료화하기 위해서 두 번째 단계인 RMWR 개념을 먼저 조사하였다. 그 이후에 ABWR 노심과 RMWR 노심 사이의 원활한 기술적 연속성을 유지하기 위해 첫 단계를 지금 구체적으로

조사하고 있는 중이다.

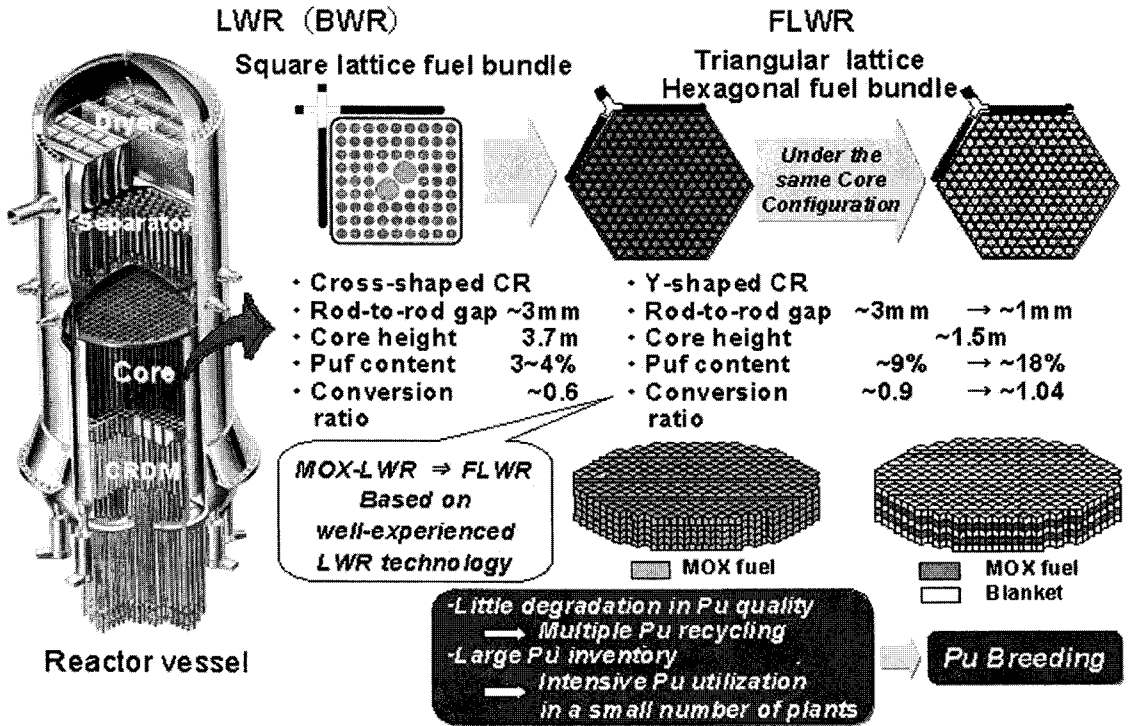
이 단원에서는 두 단계의 FLWR 노심을 모두 설명하고 있다. 이 두 단계 노심의 제원과 특성은 〈표 1〉에 간단하게 요약되어 있다.

### 1. 1단계 FLWR 노심 설계

FLWR 노심 개념의 첫 단계는 고전환 LWR (HCLWR) 형태로 1980년대에 연구가 처음 시작되었다.

그러나 FLWR 개념에서는 호환이 가능하며 동일한 크기의 핵연료 집합체를 사용하여 RMWR 노심으로의 원활한 연속성이 보장되어야 한다.

FLWR 연료 집합체의 구성은 〈그림 5〉에 나타나 있다. 여기서 보면, 연료봉의 수는 217개이고 배열 피치는 15.0mm, 연료 집합체의 피



〈그림 4〉 Changes in core design from LWR MOX utilization to FLWR

치는 228mm 이다.

앞에서 제시한 요건에 따라 노심을 설계하는 이유는 다음 세 가지를 달성하기 위한 것이다.

① 음의 보이드 반응 계수 (void reactivity coefficient)

② 전체 노심 방출 연소도 (discharge burn-up) 45GWd/t

③ Puf 함량 제한 9%

③은 J-MOX 사양의 계획 값을 따르는 것이다.

노심 설계는 앞에서 주어진 요건을 따르더라도 쉽지 않다. Puf 함량 제한은 저감속 스펙트럼 노심에서 달성할 수 있는 방출 연소도를 상당 부분 통제한다. 또한 잘 알고 있듯이 음의 로이드 반응 특성은 노

심 방출 연소도와 상충 관계에 있다.

현재는 〈표 1〉에 나와 있듯이 연료봉의 직경이 11.2mm이고 연료봉간의 간격이 3.8mm인 대표 설계를 완성한 상태이다.

MOX 연료 영역(fuel region)은 1,500mm 높이에 있으며, Puf량은 9%이다. 냉각수의 노심 평균 공극률은 40%이고 이 설계에는 소결체 영역이 없다.

이와 같은 설계로 음의 보이드 반응 계수와 전체 노심 방출 연소도 45GWd/t를 달성할 수 있다. Puf 전환비는 0.85로 측정되고 있다.

또한 이 설계를 가지고 플루토늄 재활용 특성을 조사하였다. 그 결과

음의 로이드 반응 계수를 달성하기 위한 제한적인 설계를 바탕으로 했을 때, 재활용한 플루토늄에서 Puf 비율이 60% 이상이면 계속 재활용이 가능하다는 사실을 발견했다.

## 2. 2단계 FLWR(RMWR) 노심 설계

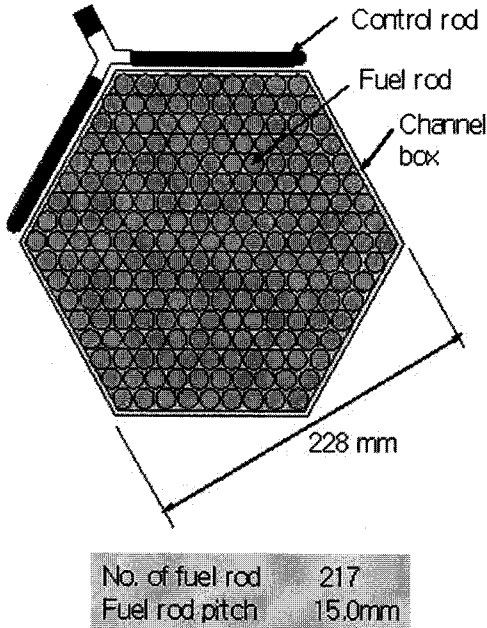
RMWR 노심 설계의 주요 목표는 다음 세 가지를 달성하는 것이다.

(1) 1.0 이상의 고전환율

(2) 음의 보이드 반응 계수

(3) 노심 방출 연소도 45GWd/t

첫번째 사항은 플루토늄을 반복적으로 재활용하면서도 우라늄 자원을 이용하여 장기적으로 에너지



〈그림 5〉 Configuration of fuel assembly for FLWR

를 공급하기 위해서 반드시 필요하다.

두 번째 사항은 현 LWR가 공통적으로 안전성을 확보하기 위해 보유하고 있는 특성이며 RMWR에도 이 특성은 요구되고 있다. 왜냐하면 RMWR도 경험이 누적된 LWR 기술의 연장선상에 존재하고 있기 때문에 동일한 안전 철학을 따라야 하는 것이다.

고전환비를 달성하기 위해서는 냉각수의 양을 줄여야 한다. 이를 위해 〈그림 5〉에서 보는 바와 같은 고도의 조밀 격자 연료봉 배열을 채용한다. 연료봉 사이의 간격이 1mm 밖에 안 되는 삼각 격자 그리고/또는 직경이 넓은 연료봉이 전형적인 형태이다. 특히 BWR형 원자로 설계에서는 공극률을 높이는

것이 현실적으로 가능한 방법이다.

음의 보이드 반응 계수 요건을 충족시키기 위해서는 노심에서 공극이 생성되거나 증가했을 때 중성자 누출(neutron leakage)을 늘려야 한다. 짧은 노심 설계가 보편적으로 이용되는 기술이다.

소결체 영역을 적절히 이용하면 중성자 흡수를 증대시킬 수 있다. 중성자 누출 효과를 높이기 위해서는 스트리밍 메커니즘(streaming mechanism)을 사용할 수도 있다.

앞에서 제시한 두 종류의 설계 목표는 위에서 설명한 기본 기술을 결합하고 그 기술 사이의 균형을 유지함으로써 달성할 수 있다.

개념적인 설계 연구 과정에서 앞에서 설명한 서로 다른 기본 아이디어를 바탕으로 다른 형태의 노심 설

계를 연구했다. 이는 앞의 기본적인 아이디어를 채용하고 결합할 때 설계상으로 많은 가능성이 있다는 의미이다.

현재로서는 BWR형 개념과 PWR형 개념 모두에서 전환비와 보이드 반응 계수 목표를 충족시킬 수 있는 몇 가지 유형의 기본적인 디자인 개념을 제안하는 데 성공했다.

그러나 BWR형 개념이 설계상 PWR형 개념보다 더 높은 노심 성과를 달성할 수 있는 이점이 있다는 사실을 발견했다. 왜냐하면 BWR형 개념에서는 물의 공극을 이용함으로써 노심의 조임(tightness)을 높이지 않고도 물 비율을 줄일 수 있기 때문이다.

따라서 대표적인 RMVR 노심 설계는 다음에서 자세히 설명하는 바와 같이 BWR형 개념을 토대로 하고 있다.

대표적인 1,356MWe 급 대형 노심 설계는 〈그림 6〉에서 도식으로 보여지고 있다. 음의 보이드 반응 계수를 달성하기 위해서는 노심을 짧고 편평하게 설계하여 노심으로부터의 중성자 누출을 늘려야 한다.

우라늄이 소모된 축 소결체를 채택함으로써 전환비를 높이고 보이드 반응 계수를 감소시킬 수 있다. 현 설계에서는 MOX 노심층(layer)의 상부 MOX 영역의 높이를 225mm로, 하부 MOX 영역의

높이를 230mm로 줄였다.

400mm의 내부 소결체 영역은 두 개의 MOX 층 사이에 놓여 있다. 상부 소결체와 하부 소결체를 포함하여 총노심 영역은 다섯 개의 층으로 이루어지며 총 높이는 1.255m가 된다.

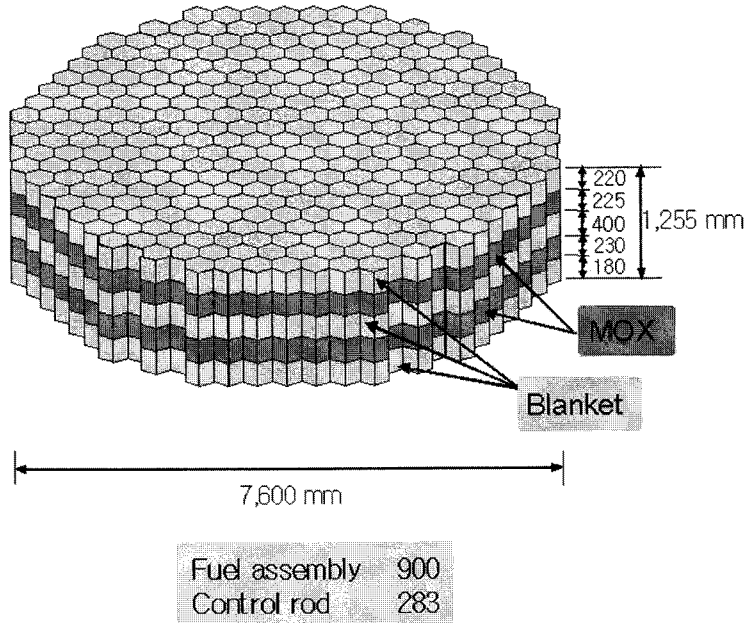
〈그림 5〉의 연료 집합체 단면을 보면, 노심의 직경은 13.7mm이며 노심 간격은 1.3mm이다. 집합체의 피치는 228mm이다. 노심의 주요 제원과 특성은 〈표 1〉에 요약되어 있다.

MOX와 내부 소결체 부분을 포함하는 노심 영역의 평균 핵분열성 플루토늄 함량은 9.6%이다. MOX 부분의 평균 핵분열성 플루토늄 함량은 18%이다.

연료 집합체는 반경방향 출력 첨두치(radial power peaking factor)를 감소시키기 위해 플루토늄 함량이 다른 다섯 종류의 연료봉으로 구성되어 있다.

세 개의 연료 집합체마다 다음에서 설명하는 구조를 가진 Y 형태의 제어봉(control rod)을 채택하였다.

노심의 평균 공극률은 70%로 높아지고, 따라서 이 설계에서는 전환비를 높이기 위해 효과적인 물 대 연료의 비율( $V_m/V_f$ )이 0.17로 현격하게 줄어든다.  $P_{uf}$  전환비는 1.04이다. 보이드 반응 계수는 음으로 측정되며 그 값은  $-0.5 \times 10^{-4}$



〈그림 6〉 Schematic of representative core(1,356MWe)

dk/k/%void이다.

ABWR의 경우에는 전자 출력 1,356MWe도 달성했다. 낮은 유속과 높이가 짧아진 노심 덕분에 노심 압력 저하가 0.04 MPa까지 떨어져서 자연 순환으로 노심을 냉각할 수 있다. 그러므로 이 설계에서는 ABWR에서 사용되는 원자로 내부 펌프를 제거할 수 있다.

연료 집합체는 900개이고 각 집합체에는 217개의 연료봉이 들어 있다. 노심의 외부 직경은 7.6m 이다. 내부 소결체를 포함하여 노심의 평균 방출 연소도는 65 GWd/t이다. 가동 사이클은 14개월이다.

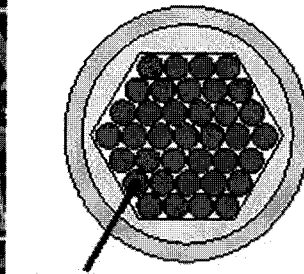
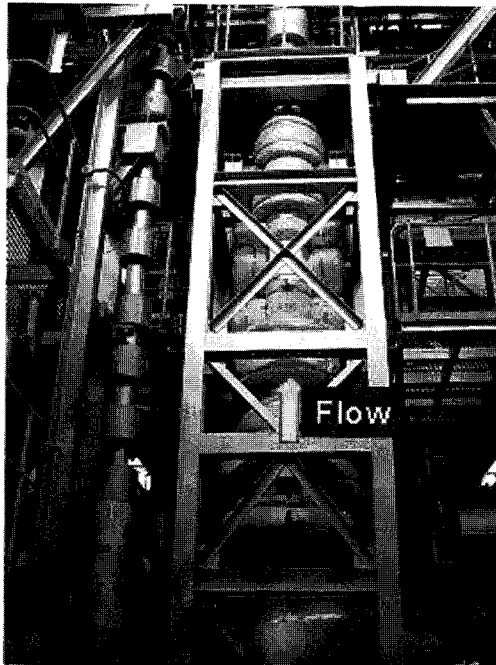
반경 방향 첨두치는 1.2 정도이고 적절한 패턴의 섞음(shuffling)으로 억제된다. 또한 집합체 연료봉

의 플루토늄 함량 분포를 도입하여 로컬 첨두치를 1.05 이하로 설계했다. 냉각 상태에서 제어봉의 가치는 1% 이상이다.

### FLWR 개발을 위한 R&D

앞에서 설명한 노심 설계 연구 외에도 JAERI는 다음과 같은 FLWR 관련 R&D 활동을 펼치고 있다.

- ① 조밀 격자에서의 열수력(thermal-hydraulic) 문제
- ② 중성자 물리학의 예측 정확성 평가
- ③ 높은 연소를 위한 MOX 연료와 클래딩(cladding) 작업
- ④ 경제성 있는 폐연료 재처리
- ⑤ 비정상적 상황에서의 원자로



Simulated fuel rod  
 Number : 37  
 O.D.: 13 mm  
 Gap between rods:  
 1.3 & 1.0 mm  
 Test loop  
 Max. press.: 9.5 MPa  
 Max. temp.: 308 C  
 Max. power: 6 MW

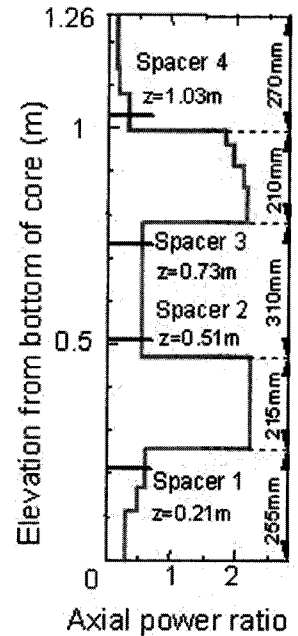


Photo of the Test Section

〈그림 7〉 Schematic of 37 - rod bundle critical heat flux test section

### 시스템과 안전성

이들과 관련된 R&D의 필요성이 제기되면서 적절한 연료 주기와 더불어 FLWR 개발을 위한 활동의 일환으로 이루어졌다.

특히 조밀 격자 연료봉 배치에서 노심 냉각 능력, 즉 위의 ①과 같은 문제를 밝혀내는 것이 가장 중요한 과제로 여겨지고 있다.

이를 조사하기 위해 JAERI는 ABWR 발전소와 동일한 압력과 온도 조건에서 7개의 연료봉 꾸러미를 가지고 임계 열유속(critical heat flux) 실험을 실시하였고, 그 결과는 매우 희망적이었다.

그러나 소규모 조밀 격자 실험에서는 유량 구속 기구(shroud)가 반경 방향 유량 분포에 미치는 영향이

중요하며 이는 임계 열유속 특성에 도 강한 영향을 주는 것으로 생각되고 있다.

실제 연료 집합체에는 200개 정도의 연료봉이 있으며, 유량의 불균형 정도도 소규모 실험 상황과 비교했을 때 그렇게 크지 않다. 구체적인 하위 채널 분석에서 나타난 측정 결과도 이와 유사한 경향을 보여주고 있다.

따라서 실험 상황의 유량 구속 기구의 영향력을 최소화하면서 임계 열유속 데이터를 얻기 위해 37개의 연료봉 꾸러미를 가지고 대규모 실험을 계획하였고, 2003년 이후부터 실험을 계속하고 있다. 그리고 이와 더불어 3차원의 정확한 열수력 예측 기술을 개발하기 위한 분석

활동도 함께 진행하고 있다.

37개의 연료봉 꾸러미로 이루어지는 실험을 〈그림 7〉에서 도식으로 볼 수 있다. 히터(heater) 연료봉의 직경은 13mm이고 연료봉 사이의 간격이 1.3mm 또는 1.0mm로 삼각 격자에 배열되어 있다. 2003년에는 간격 폭이 1.3mm인 삼각 격자로 그리고 2004년에는 1.0mm로 실험을 했다.

축의 길이는 1.3m 정도이며 축의 출력 분포는 RMWR 노심 설계에서 사용한 이중 편평 노심(double flat core) 설계 조건과 유사하게 했다.

시스템 압력, 노심 유입(inlet) 물 온도, 물 유량, 반경 방향 출력 분포 등 다양한 범주의 실험 변수들에



서 많은 임계 열유속 데이터를 얻을 수 있었다. 임계 열유속 값을 구하기 위한 온도 데이터 외에도 차별화된 압력과 공극률 데이터도 얻을 수 있었다.

연료봉간 간격이 1.3mm인 실험의 전형적인 결과가 <그림 8>에서 보여지고 있다. 그림에서도 나타나듯이 설계 범주에서 30%의 열 마진(thermal margin)을 볼 수 있는데, 이는 열 제거 능력이 충분하다는 것을 의미한다. 또한 그림을 보면, 임계 출력이 노심 유입 물 온도와 질량 유량(mass flux)에 의존하고 있다는 것을 알 수 있다.

따라서 질량 유량이나 유입 물 과냉(subcooling)이 커질수록 임계 출력도 커진다. 이와 같은 의존적인 성향은 과거의 실험 결과와 같다.

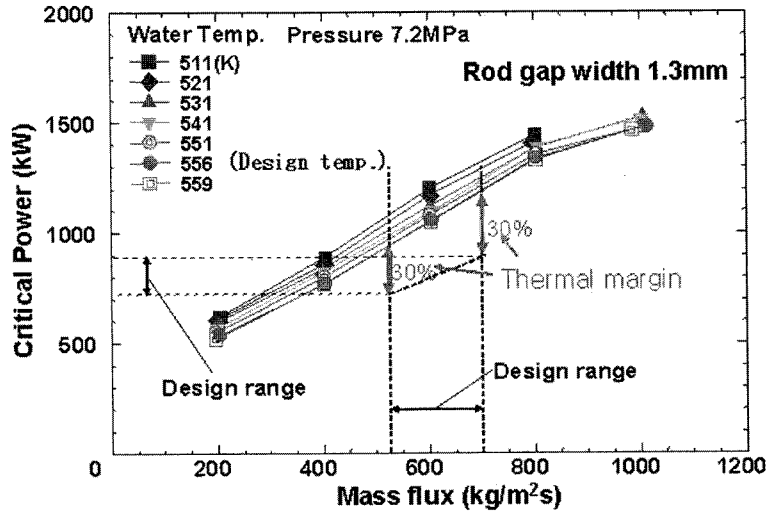
### 결론

2005년 10월 1일 JAERI와 JNC 통합으로 탄생한 JAEA는 FLWR 이라고 하는 혁신적인 수냉각형 원자로(water-cooled reactor) 개념을 연구하고 있다.

FLWR은 풍부한 경험을 갖춘 수 원자로 기술을 가지고 미래에도 지속 가능한 에너지 공급을 실현하는 것을 목표로 하고 있다.

이 개념은 시간 순서에 따라 두 단계로 이루어져 있다.

첫 단계는 고전환형 노심 개념을



<그림 8> 37-rod bundle test results<sup>(5)</sup> for rod gap width 1.3mm

실현하는 것으로 이는 기술적 관점에서 심각한 격차없이 기존의 LWR 기술로부터의 연속성을 원활하게 이어가려는 것이다.

두 번째 단계는 RMWR 노심 설계로 대표되며, 전환비를 1.0 이상으로 향상시켜 풍부한 경험의 LWR 기술을 가지고 플루토늄을 여러 번 재활용하여 장기적으로 지속적인 에너지를 공급하려는 것이다.

중요한 사실은 이 두 개의 노심이 상호 호환이 가능하고 동일한 규모의 핵연료 집합체를 활용하기 때문에, 원자로 가동 주기인 약 60년 동안 연료 주기 환경에 따라 탄력적으로 동일한 원자로 시스템에서 처음의 노심에서 다음 노심으로 진행해 나갈 수 있다는 점이다.

FLWR 개념의 두 단계 모두에서

노심에 대한 연구가 이루어졌다. 노심 개념 설계, 플루토늄 중독 재활용시 노심의 특성 연구, 조밀 격자에서의 열수력 조사 등이 행해졌다. 이 글에서 설명했듯이 지금까지는 이 연구에서 매우 고무적인 결과를 얻고 있다.

RMWR 설계 연구와 개발에 협조해주신 Hitachi의 타케다 박사와 일본원자력개발주식회사(Japan Atomic Power Company, JAPC)의 히다 연구원께 감사를 드린다.

위에서 설명한 R&D는 일본 문부과학성(Mext)이 제공하는 혁신적인 원자력 기술 개발을 위한 초청 연구 프로젝트(Publicity Invited Research Projects for Development of Innovative Nuclear Technologies) 지원금으로 일부 행해졌다. ☞