

# 경수로, 중수로 및 고온가스로의 특성비교

<上>

차 종 희

한국원자력연구소 열유동연구실장

## 1. 서 론

세계각국의 발전용 원자로의 개발은 각국의 에너지사정이나 연구개발의 역사적 경위에 의하여 각국 특자의 형식을 중심으로 추진하고 있다. 예컨대 미국은 경수로를, 영국은 개스냉각로를, 그리고 카나다는 중수로를 중심으로 원자력개발이 추진되어 왔던 것이다. 아울러 이들 각국은 핵연료를 더욱 유효하게 이용할 수 있는 신형의 발전용 원자로의 개발을 진행하고 있다.

오늘날 몇가지 형식의 발전용 원자로는 기술적으로 신뢰성과 안전성을 가지게 되어 상업적으로 널리 보급되고 있으며 또한 발전의 주류를 이루고 있던 화석에너지원의 가격상승은 원자력발전의 충분한 경제적 타당성을 주게 되었다.

현재 상업적 발전의 대상이 되고 있는 원자로형은 가압수형(PWR) 비등수형(BWR)등의 경수로, 개스냉각로(GCR) 중수로(HWR)를 들 수 있으며 여기에 최근 고온개스냉각로(HTGR)도 실용화단계에 들어 서고 있어 새로운 대상으로 등장하게 되었다. 우리나라의 장기 에너지 수급계획에도 본격적인 원자력발전이 계획되고 있으며 원자로 시설도입에 있어 로형선정에 많은 관심이 집중되고 있는바 여기에 산업발전용으로 고려되고 있는 경수로, 중수로 및 고온개스냉각로의 세가지 로형에 대한 세가지 특성을 비교하여 보는것도 의의가 있다고 본다.

## 2. 경수로, 중수로 및 가스냉각로의 개요

경수로는 핵연료로서 농축우라늄을 사용하고 감속재 및 냉각재로는 경수를 사용하고 있는 형식이다. 경수로는 중래의 화력발전소용 보일러의 풍부한 경험을 살려 설계 할 수 있으며 또 경수를 쉽게 입수보급할 수 있고 처리도 용이한 장점이 있어 발전용 원자로중에서 가장 많이 건설 운전되고 있고 경험도 많이 축적이 되고 있는 노형이다.

그러나 경수를 감속재로 사용하기 때문에 일부 중성자가 경수에 흡수되어 핵 반응에 제한을 주므로 천연우라늄은 사용할 수 없고 2~3% 정도 농축된 연료를 사용하여야 한다. 또한 발전소의 열효율을 높이기 위하여 냉각계통의 압력과 온도를 높여 주어야 한다.

경수로인 가압수형 원자로와 비등수형 원자로는 우열을 가리기 힘들 정도의 같은 비율로 발전되고 있다. 가압수형으로서 발전용으로 최초로 건설된 것은 미국의 시핑포트(Shippingport) 발전소이며 1957년 10월에 입계에 도달하고 있으며 당시의 전기출력은 60MWe 이었다.

그후 양키(Yankee) 발전소, 인디언포인트(Indian Point)발전소의 경험을 거쳐 실증으로서 확립되었다. 비등수형으로서 최초의 발전소는 1957년에 운전이 시작된 MWe의 함볼트베이(Humbolt Bay) 발전소이다.

경수로는 경제성의 향상과 기술의 발전으로 단위기당 출력이 증가되고 있어 현재 1300MWe 급의 것이 건설착수 되고 있다. 중수를 감속재로 사용하는 중수로는 주로 캐나다에서 2차대전 이후부터 집중적으로 개발되어 실용화단계까지 이끌어 왔다. 프랑스, 서독에서도 독특한 가스냉각 중수로가 개발되어 있으나 여기서는 캐나다의 중수로를 들기로 한다.

캐나다의 중수로는는 가압중수냉각형 (PHWR)과 비등중수냉각형 (BLWR)의 두가지가 있는데 오늘날 실용화되고 있는것은 전자이다.

중수로의 특징은 감속재로서 중성자경제가 좋은 중수를 사용하기 때문에 천연우라늄을 연료로서 사용할 수 있는 것이다. 천연우라늄은 물론 농축우라늄에 비하여 값이 싸고 농축공정이 필요없기 때문에 간단한 공정으로 연료를 만들 수 있다. 그래서 중수로는는 비교적 연료비가 적게 든다.

그러나 천연우라늄을 사용하는 중수로는에서는 효율적인운전을 위하여 빈번한 연료교환이 필요하다. 또한 중수의 인벤토리가 필요하기 때문에 건설비가 얼마간 높아진다. 실용적 발전로로서 가압중수형로를 발전시킨 캐나다는 1967년에 완성된 200MWe 용량의 더글러스포인트(Douglas Point) 발전소의 경험을 토대로 온타리오 호반에 있는 피커링(Pickering)의 총발전용량이 2000 MWe 인 4기의 중수로가 건설완성 되었고 계속 브루스(Bruce)에 4기의 3000MWe 용량의 중수로건설이 진행되고 있다.

중수로는는 경수로는에 비하여 운전 경험이 적고 중수조달의 필수조건이 있는등 문제점이 있으나 값싼 연료비, 핵연료시장의 다변화의 견지에서 고려될 만한 노형이기도 하다. 물이나 중수를 냉각재로 사용하는 원자로에서는 이들 액체냉각재의 고유의 성질때문에 온도를 높일 수 있는 한계가 있으나 가스를 사용하면 임의의 높은 온도를 선택할 수 있다.

가스를 냉각재로 하는 가스냉각로는는 높은 온도를 얻을 수 있다. 그래서 발전용뿐만 아니라 제철등 공업용 열원으로도 주목을 끌고 있다.

영국에서 개발된 초기의 가스냉각로는는 냉각재가 탄산가스로서 냉각계의 온도와 압력은 400°C, 28atm. 이었다. 그후 개량가스냉각로는에서는 냉각재가 역시 탄산가스로서 650°C 40atm 상태이고 오늘날 개발된 고온가스냉각로는는 냉각재로서 헬륨(He)을 사용하며 사용온도와 압력은 750°C, 50atm까지 상승되고 있는데 장차 제철용을 위하여서는 1000°C 이상을 목표로 하고 있다. 고온가스냉각로는는 고온에서 충분한 강도를 유지해야 하기 때문에 노실구성 재료로서 흑연등 탄소계의 재료가 사용되고 있다. 냉각재는 고온고방사능하에서 안정되고 아울러 노실재료인 흑연과 반응이 없는 불활성기체를 사용하여야 한다. 또 방사성폐기물이나 배기열량이 적어 환경에 대한 영향도 적고 열효율이 높아 경제성도 좋다고 보고 있다. 고온가스냉각로는는 미국, 서

표 1. Total Units and MWe of LWR, PHWR, GCR and HTGR in the World (1)

Status	Types	LWR		PHWR	GCR (AGR)	HTGR
		PWR	BWR			
Operable	Total Units	40	35	10	41	1
	Total MWe	22,913	16,782	3,154	9,648	40
Under Construction	Total Units	135	65	8	10	7
	Total MWe	122,438	61,507	4,144	5,270	5,690

각형의 원형로에 대한 보기는 다음과 같다.

표 2. 각형의 원형로

항 목	PWR	PHWR	HTGR
이 름	Shippingport	Douglas Point	Peach Bottom
운전개시 년	1957	1967	1967
발전용량, MW	60	200	40
형 식	가압수	가압중수	헬륨냉각고속중수우라늄
연 료	저농축우라늄	천연우라늄	고농축우라늄 및 Th

독 및 영국에서 개발되고 있는데 미국에서는 GGA(Gulf General Atomic)사가 중심이 되어 개발되고 있다. GGA사는 이미 40MWe 용량의 피치 버텀(Peach Bottom) 발전로를 건설하여 6년간의 운전경험을 토대로 330MWe 용량의 포트 세인트 브라인(Fort St. Vrain) 발전소를 완성하였고 이어 770MWe, 1100MWe 규모의 것을 발주받아 경수로 일련도의 미국원자력 발전계에 새로운 기반을 닦고 있다.

고온가스냉각로기술에 있어서는 아직도 고온에서의 불순물이 주는 해를 제거하기 위한 품질관리문제, 내열금속재료의 개발문제등 문제점이 있으나 고온, 고효율에 의한 다목적이용의 가능성이 크고 환경에 대하여도 우수한 노형으로서 장래성이 크다. 다음표에 1973년 6월현재 전세계에서 운전 및 건설착수된 경수로, 중수로 가스냉각로 및 고온가스냉각로의 기수와 발전용량을 표시한다.

### 3. 핵 및 열공학특성비교

#### 3-1 경수로의 핵 및 열공학특성

발전용 경수로의 보기로서 600MWe 용량의 가압수형로 (2, 3)를 들기로 한다. 가압수 경수로는 경수감속, 경수냉각, 저농축 2 산화우라늄 연료, 수직류 냉각방식의 압력용기를 원자로용기로 하는 기본적 특성을 갖는다.

원자로 아셈블리는 수직원 통형의 단일 압력용기와 4각형격자구조로 배열한 연료집합체를 수직방향으로 배열한 연료체, 그리고 그 연료체 내를 상하구동하는 제어기구조로 구성된다. 경수 냉각재는 원자로용기의 유입노즐로부터 들어가 연료체와 용기간의 다운코머(down comer)로 내려가 하부 플레넘을 거쳐 연료체내의 채널을 상향으로 유동하여 가열되며 상부 플레넘을 거쳐 출구 노즐로 나간다. 연료집합체는 Zircaloy-4 피복관내에 소결된 2~3% 범위의 저농축 2산화우라늄의 펠릿(Pellet)를 채워 넣은 원통형봉의 묶음이다. 핵연료의 전체중량은 약 50톤이며

H<sub>2</sub>O/U의 체적비는 3.85이다.

원자로심을 구성하는 연료체는 다영역(多領域 Multi-region) 형식으로서 16×16배열 봉속의 집합체가 일정중심간의 피치로 121개가 구성한다.

연료교환은 매년 1회 실시하며 교환량이 3분의 1임으로 3영역식이라 말할 수 있다. 최초의 노심에서의 번업은 24,000 MWD/MTU로 추정하고 있다.

여러가지 운전조건에 대한 원자로의 동특성에 알맞게 원자로제어 및 방어장치가 설계되어 있다. 원자로의 전반적인 반응도는 화학 shim(Chemical shim)과 제어봉으로 제어한다. 연료의 연소도 또는 Xe 포이즌을 보상하기 위한 장시간에 걸친 반응도제어는 냉각재에 포함된 봉소의 함량조절에 의한 즉 화학 shim제어방식에 의하며 출력변화 또는 원자로 트립(trip)에 따른 단시간의 반응도제어는 제어봉조절에 의한다.

원자로 운전중에는 원자로제어 및 보호계통이 제어봉을 구동하여 제어한다. 여기에 필요한 입력은 중성자속, 냉각재 온도, 압력, 유량, 제어봉의 위치 및 열출력등이다. 화학적 제어는 봉산용액을 가감함으로써 반응도의 장기제어를 위한 이차적인 원자로 제어 역할을 하게 된다. 연료의 초기 사이클에서 연료의 과잉반응도를 조절할 목적으로 가연성포이즌(burnable poison) 봉이 마련되어있는데 이것은 연료집합체속에 들어 있어 화학 shim, 제어봉과 함께 사용된다, 또한 이 봉은 정상운전시의 감속재 온도계수가 양(Positive)이 되는 것을 막는 역할도 하게 된다. 제어봉장치에서는 FLR(full length rod)와 PLR(Part length rod)의 두가지 형이 있는데 FLR는 급속한 섯다운, 평균냉각제 온도에서의 온도 변화에 따른 반응도변화제어, 보이드(Void)형성에 의한 반응도제어, 출력계수(Power Coefficient)의 변화에 따른 반응도제어에 사용되며 PLR는 축방향의 출력분포의 평준화 및 축방향의 Xe에 의한 진동을 제어하는데 사용된다. 노심내의 온도가 전체적 또는 국부적으로 변화하면 사용재료의 팽창, 수축에 따라 밀도 또는 체적의 변화가 생겨 감속재의 감속능력이 변화한

다.

또 공명흡수, 단면적 그밖의 핵적 성질에도 변화가 생겨 이때문에 출력도 변화한다. 보통 원자로의 감속재 온도변화에 따른 반응도변화(온도계수라 함)는 음(negative)인데 이것은 온도 상승에 따라 출력이 감소함을 말한다.

이 원자로에서도 운전중의 온도계수는 음이며 이 값은 운전중의 번업의 증가에 따라 Pu 및 핵분열성 생성물의 축적과 부산농도의 회석에 따라 더욱 음의 값을가지게 된다. 감속재의 밀도가 감소하면 감소능력이 감소되어 출력이 강해진다. 감속재의 밀도변화에 따른 반응도변화 즉 밀도계수는 원자로수명의 초기와 말기에 걸쳐 음과 양으로 변화하는 값을 가지는데 가압수형로에서는 큰 문제는 없다고 본다.

감속재의 압력변화에 따른 반응도변화 즉 압력계수는 원자로 운전조건에서 양이나 이것은 노심의 반응도와 안정도에 별 큰 영향을 미치지 않는다.

반응도의 Doppler 계수는 모든 출력조건에서 음의 값을 갖는다.

연료봉표면에서 핵비등최대 열유속이 될 때 이를 DNB 점이라고 부르며 원자로 열설계의 하나의 기준이 되고 있다.

원자로의 완전한 운전을 확보하기 위하여 과도상태나 정상이상의 출력을 내고자할 때 문제되는 것은 DNB 열유속까지 얼마나 여유가 있을 것인가를 정하여야 한다. DNB 열유속과 설계열유속과 비를 DNB비라고 부르고 있다. PWR에서는 최소 1.3, 정상시 1.97의 값을 취하고 있다.

원자로설계에 있어서 물리적 핵정수, 물질특성치, 중성자밀도, 연료밀도 및 각 요소의 치수 등은 모두 평균치에 대하여 계산한다. 동력용 원자로의 경우는 출력이 극히 크기 때문에 평균치와 최대치간의 차이가 커서 얼마간의 안전계수를 급해야 하는 문제가 일어난다. 예컨대 PWR에서는 노심반경방향으로 냉각재의 유량분포가 균일하지 않기 때문에 열 전달도 일정하지 않아 평균유량으로부터 계산하는 경우 연료의

과열을 초래할 우려가 있다. 이에 사용되는 안전계수로서 hotchannel factor가 있는데 엔탈피(enthalpy) 증가에 대한 이 값은 1.6열유속에 대하여는 2.8을 적용하고 있다.

원자로심의 열수력학적 설계에서 또 다른 중요한 사항은 연료봉의 linear heat rate(KW/ft)이다.  $UO_2$  연료를 완전하게 유지하기 위해서는 연료의 온도가  $UO_2$ 의 용해점을 초과하지 못하게 하는 것이 필요하며 연료온도상태는 linear heat rate로서 정해질 수 있다. Westinghouse 사제의 PWR에서는 연료봉의 중심이 용해되지 않으려면 22kW/ft 이하인 된다고 하며 평균치는 5.3kw/ft 이하이다.

원자로냉각재계통은 운전압력이 2250Psia, 원자로 출구의 냉각재온도는 616F 유량은  $71.1 \times 10^6$  lb/hr이다. 2차계통은 2기의 열교환기와 연결되며 증기계통의 계의압력이 920Psia, 증기온도가 535°F이며 증기유량은  $8.2 \times 10^6$  lb/hr이다. 원자로내에서의 열출력은 1882 MWe이며 전기출력이 626 MWe의 경우 약 33%의 발전소 효율을 가져온다.

### 3-2 중수로의 핵 및 열공학적 특성

발전용 중수로의 보기로서 캐나다의 가압중수로(CANDU-PHW) (4,5)를 들기로 한다. 가압중수로는 중수감속, 중수냉각, 천연 2산화우라늄 연료, 수평냉각 관형의 기본적 특성을 가지고 있다.

원자로 아셈블리는 중수감속재가 든 튜브형의 원통형 외각구조물과 그 속을 수평으로 관통하고 있는 연료체가 든 압력관과 반응도제어기구로 구성되어 있다. 중수냉각재는 압력관의 연료채널속을 통하여 유동하게 된다. 압력관내의 연료아셈블리는 Zircaloy 피복관내에 소결된 천연 2산화우라늄의 펠리트를 채워넣은 원통형봉의 묶음이다.

원자로심의 격자구조는 일정한 중심간의 간격(예컨대 약 28cm)으로 Unit cell이 정사각형 배열로 구성되어 있고 각 Cell은 연료봉의 묶음, 압력관, 외각관(calandria 관이라고 부르고 있

음)과 그 주위의 중수감속재로서 구성되어 있다. 천연우라늄의 연료를 사용하기 때문에 원자로의 효율적 운전을 위하여 운전중에 빈번한 연료교환을 하도록 되어 있다. 이 경우 인접하는 연료체의 조합효과와 번업값에 의하여 중성자속이 평준화되도록 연료관리를 하게 된다. 이 원자로에서는 내부가 외부보다 높은 최종번업을 갖는 2-Zone burnup 분포를 갖도록 되어 있다. 여러개(예컨대 380개)의 연료체널로 구성된 원자로의 열출력을 반경방향과 축방향으로 평준화하는데 인접 연료체의 조합효과와 2-Zone burnup에 의하여 이루고 있는 것이다. 다음표는 캐나다의 AECL가 제시한 600MWe의 CANDU-PHW 원자로의 2-Zone 번업을 표시한 것이다.

표 2-Zone burnup

구	분	체년수	최종 burnup Mwd/ Mgu	출 력 Mwt	연료수명 day
내	부	124	8465	786.9	304
외	부	256	7020	1268.1	323

연료온도의 증가는 U-238 공명의 Doppler 효과로 인하여 U-238내의 중성자흡수를 증가시킨다. 연료내의 Upscattering의 증가로 인한 중성자 스펙트럼의 변화는 중성자온도의 증가를 가져온다.

이 원자로에서는 연료온도증가에 따른 반응도 변화는 음(negative)이며 그 정도는 연료 조사 시간에 따라 변화한다.

출력의 변화로 인한 반응도변화는 주로 연료 온도에 따라 변하며 연료내의 Xe의 농도에 따른다. 온도변화는 출력변화에 따르나 출력의 스텝상의 감소는 수시간에 걸친 Xe의 과잉축적을 가져온다. 온도변화만에 의한 출력 대 반응도 변화는 음이다. 출력변화에 따른 냉각재변화에 대한 반응도변화는 적어 무시된다. 냉각재의 밀도감소는 흡수와 격자구조로부터의 재료에 의한 손실을 가져온다. 산란손실은 고속중성자의 증가를 가져 오고 공명흡수의 감소를 가져온다.

따라서 노심에서의 냉각재감소는 반응도증가를 가져온다. 냉각재상실로 인한 반응도증가의 크기는 연료조성, 중성자 스펙트럼, 감속재의 붕소농도, 냉각재 순도등에 달려 있다.

원자로반응도변화는 경수제어격실(light water control compartment) 기계적 제어장치(mechanical control unit), 조절봉(adjuster rod) 감속제 포이즌(moderator poison) 및 연료교환(refueling)에 의하여 제어한다. 정상운전에서는 조절봉은 완전삽입되고 기계적 제어봉은 완전히 빼내 있는 상태이며 주 제어장치는 경수의 수위 조절에 의한다. 연료가 평형 번업 또는 초기에서 반응도가 초과되었을때 연료공급 이전에 감속재의 포이즌 농도를 조절하고 적당한 출력에서의 연료교환에 의하여 정해진 한도를 유지하도록 한다. 반응도의 급속한 변화는 정한 한도 내에서 수위를 유지하면서 기계적 조절봉을 삽입하거나 조절봉을 빼내어 제어한다. 조절봉은 주로 원자로시동중 Xe 농도의 평형유지에 사용되고 기계적 제어봉은 주로 초기 노심에서의 음의 출력계수로 인한 출력감에서 일어나는 반응도증가를 평행시킨다. 장기적인 벌크반응도(bulk reactivity)는 운전중 연료교환(On-Power refueling)에 의하여 제어된다. 단기적 벌크반응도제어는 경수의 수위조절에 의하여 마련된다. 시동중의 Xe Override, Power maneuvering 또는 연료교환기가 잠정적으로 사용 불가능할 때에는 조절봉의 제거에 의하여 마련된다.

조절봉은 정상시 노심내에 있는 중성자 흡수봉이며 그 기능은 다음의 두가지이다. 하나는 봉을 전부 삽입하여 중성자분포를 평준화하는 것이며 이것은 최대의 연료 번업을 얻도록 한다. 둘째는 Xe Override로서 이것은 Power maneuver와 Shutdown하는 동안의 Xe 축적을 극복하여 양(Positive)의 반응도를 주는것인데 조절봉의 발출에 의하여 이루어 진다.

이 원자로는 운전중 연료교환을 하기때문에 연료교환중의 반응도제어는 정확하여야 한다. 즉 사용이 끝난 연료는 핵분열성 생성물을 많이 함유하고 있기 때문에 반응도에 음의 효과를 주

는 반면 새로 장진되는 새연료는 양의 효과를 주기 때문에 연료교환 작업에 따라 반응도 변화에 2중의 효과를 주는 것이다. 그래서 가동중의 연료교환과 비교적 낮은 반응도의 출력계수때문에 시간과 원자로 출력에 따른 반응도는 한도내에서 변하도록 잘 제어되어야 한다.

핵연료체에서 핵분열에 의하여 발생하는 열은 1차열전달계내에서 중수에 의하여 이동된다. 이 장치는 원자로의 양단에서 노심을 수평으로 관통하고 있는 여러개의 압력관에 연결된 인접 압력관과 서로 대항류인 루우프에 의하여 구성되며 이 루우프는 2 계통으로 되어 있다. 연료체 내의 압력관은 경수로에서의 압력용기구실을 한다. 이 관은 600 MWe 용량의 경우 직경이 약 10cm이고 두께가 4.34mm, 길이가 6.36m의 크기이며 그 안에 핵연료가 들어가고 냉각제가 흐르며 보통의 운전조건에서 압력이 약 1600Psia, 온도가 550°F 전후의 상태에서 약  $60 \times 10^6$  lb/hr의 유량을 갖는다.

1차계통과 열교환이 이루어지는 보일러의 2차계통의 경수는 압력이 660Psia 입구온도가 368°F, 출구온도가 500°F로서 quality 75%인 증기를 발생한다. 노심에서의 열출력은 약 2180 MWt이며 전기출력이 620MWe가 예상된다면 발전소효율은 28%정도가 된다.

이 원자로의 연료체내의 열수력설계에 대하여는 두가지 기준이 있는데 그 하나는 확산유동 불안정에 대한 임계출력비(Critical power ratio)이고 다른 하나는 스레시홀드출력비(threshold power ratio)이다.

전자는 DNB로 인한 연료체내의 열전달위기 문제와 관계되며 후자는 원자로 운전중의 채널유동내의 현저한 진동문제와 관계된다. 임계출력비는 채널내에서 dryout를 가져오는 채널의 출력과 정상운전시의 그 채널의 출력과 정상운전시의 그 채널의 출력의 비이고 유동불안정과 관계되는 스레시홀드출력비는 유동진동이 일어나는 limiting 채널의 출력에 대한 그 채널의 정상운전중의 출력의 비이다. 이 원자로에서는 전자의 값을 1.56, 후자를 1.7로 잡아 열수력설계

를 하고 있다. 그리고 최대 linear rod rating 은 54kW/m로 되어 있다.

### 3-3. 고온가스냉각로의 핵 및 열공학적 특성

발전용 고온가스로의 예로서 GGA (Gulf General Atomic)사가 개념적으로 설계한 770 MWe 용량(6-10)의 원자로를 들기로 한다.

오늘날 실용단계에 들어선 고온가스로는 헬륨(helium)냉각, 흑연감속고농축우라늄과 토리움의 혼합 연료사용, 기체순회기에 의한 수직류 냉각방식, PS콘크리트 원자로용기로 하는 기본적인 특성을 갖는다.

원자로는 다른 증기공급장치와 함께 원통형의 PS콘크리트 원자로용기(PCRV) 내에 들어 있다. 1차냉각재는 He 기체이며 흑연을 감속재 핵연료피복재, 노심구조물 및 반사체로서 사용하고 있다. 노심은 여러개의 6각형의 흑연블럭을 쌓아 구성하는데 그 하나가 연료요소(fuel element)가 된다. 연료요소는 그 속에 수직방향으로 다수의 냉각제유로, 연료장진공 및 제어봉 삽입공이 뚫여 있다. 연료공에는 피복층을 가진 연료입자가 든 연료봉이 삽입된다. 연료요소의 기둥(column)은 연료교환을 위하여 6~7개의 구름으로 구성한다. Fort St. Vrain 원자로의 경우 이 연료기둥의 수는 247개이며 연료요소의 크기는 높이가 31.2in 폭이 14.2in 이다.

전체적으로 원통형의 노심은 상하부와 원주주위에는 흑연의 반사체요소로서 중심부의 연료블럭을 둘러싸고 있다. 초기의 핵연료는 농축도가 93% U-235인 UC<sub>2</sub> 형의 우라늄과 ThO<sub>2</sub> 또는 ThC<sub>2</sub>의 형으로 된 토리움을 사용한다.

입자형으로 된 이들 연료는 Pyrolytic carbon의 층으로 피복하여 가스상의 핵분열 생성물을 체류시키고 또 Silicon carbide의 층을 입혀 금속상 분열생성물을 보류시키도록 되어 있다.

연료사이클은 U-235/Th/U-233의 우라늄-토리움사이클 또는 U-235/U-238/Pu의 우라늄-플루토늄사이클이 적용되도록 하고 있다.

<다음 호에 계속>