

신형 지지격자 형상고안 및 기계/구조적 관점에서 지지격자 유력후보 선정

Contriving New Spacer Grid Shapes and Choosing the Leading Candidates of
the Spacer Grid from the Mechanical/Structural Point of View

송기남, 윤경호, 강홍석, 김형규

한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150번지

요 약

핵연료집합체 기계설계 및 열수력설계 경험을 바탕으로 하고 외국의 최신 개량핵연료에 대한 특징과 국외 특허자료를 면밀히 검토하여 13종의 지지격자 고유형상을 고안하였고 그 중에서 5종의 지지격자 형상들에 대한 기계/구조적 시험 및 해석을 통하여 성능을 평가하고 기계/구조적 상세 성능시험 및 분석을 위한 지지격자 유력후보 모형 2종을 선정하였다.

Abstract

Based on the fuel assembly mechanical/thermal-hydraulic design experience and scrutinizing the design features on the foreign advanced nuclear fuel and the foreign patents of the spacer grid, 13 kinds of spacer grid candidates are derived. Among the candidates the mechanical/structural performance on the five candidates was evaluated by the screening test and the analysis. As a result of the test and the analysis, two spacer grid shapes are finally selected to be the leading candidates in order to investigate the mechanical/structural performance in detail.

1. 서론

경수로용 핵연료집합체는 그림 1과 같이 상·하단고정체 각 1개, 7~11개의 지지격자체, 여러[웨스팅하우스("W")형 발전소용 핵연료의 경우 16~24개; ABB-CE형 발전소용 핵연료의 경우 4개]개의 안내관 그리고 1개의 계측관 등으로 구성된 골격체와 지지격자체 격자내의 스프링 및 덤플에 의해 지지되고 있는 다수(179~264개)의 연료봉으로 구성되어 있다. 지지격자체의 기능은 크게 기계/구조적인 기능과 열수력적 기능으로 나누어지고 있는데, 전자의 기능은 핵연료 수명기간 내내 원자로심내의 운전조건하에서 연료봉이 종방향 및 횡방향의 정위치에 있도록 건전하게 지지하면서 냉각수 수로를 형성해주고, 또한 핵연료집합체 측면에 가해지는 여러 하중으로부터 연료봉을 보호하면서 비상시에 원자로의 긴급 냉각구조를 유지할 수 있도록 충분한 구조적 강도를 갖는 것이며, 후자의 기능은 연료봉내의 UO_2 소결체로부터 발생된 열을 효과적으로 냉각수로 전달하기 위해 연료봉 수로를 따라 흐르는 냉각수에 난류를 유발시키고 혼합하는 것이다. 이러한 기능을 갖고 있는 지지격자는 핵연료 성능과 매우 밀접하게 관련되어 있어서 외국의 핵연료 vendor들은 신연료 개발 및 상용화시에 핵연료 건전성 및 열적 성능을 향상시킨 새로운 지지격자 형상을 제시하여 신연료의 특징으로 주창하고 있다.

외국의 핵연료 vendor들이 신연료 개발시에 지지격자 형상을 개량한 사례들을 살펴보면 다음과 같다[1]. 냉각성능 개선과 관련된 사항으로, 초창기에는 지지격자체 상단부에서 냉각수의 혼합에 특별한 고려가 없던 평범한 지지격자체를 사용하다가 냉각성능 향상에 대한 요구를 수용하기 위해 지지격자체 윗부분에서 냉각수의 혼합을 촉진시키려는 시도가 추진되었다. 외국의 대다수 핵연료 vendor들은 지지격자체 상단에 혼합날개를 부착하여 냉각수의 혼합을 촉진시키려 하였는데 혼합날개의 형상 및 부착위치는 핵연료 회사별로 다를 수 있다. 또한 핵연료집합체 상반부의 지지격자들 사이에 냉각수 혼합을 촉진시키는 중간 혼합격자(Intermediate flow Mixers; IFM)가 1983년 W사의 VANTAGE 5 연료에 도입된 이래 근래에는 여러 핵연료 회사의 최신 핵연료에 IFM이 사용되고 있다. 한편 SPC사는 두 개의 얇은 지지격자판 사이에 노즐형 수로가 형성될 수 있도록 고안한 HTP 지지격자를 도입하여 냉각수의 혼합을 촉진시키고 있으며 아울러 연료봉 지지면적을 증대시켜서 연료봉 진동 및 프레팅마멸을 경감시킬 수 있도록 하였다. 연료봉의 기계적 손상을 감소시키려는 시도로는 단순히 연료봉을 지지하는 기능으로 있던 지지격자 스프링과 덤플의 형상을 변경하여 연료봉과의 접촉면적이 증가하도록 하여 접촉면에서 연료봉의 국부 침투 응력치가 감소할 수 있도록 하거나 지지격자 스프링과 지지격자판 기저부의 가공방법을 다르게 하여 중성자 조사에 따른 조사 성장량의

차이로 인하여 지지격자 스프링이 연료봉을 지속적으로 지지할 수 있도록 하여 연료봉의 프레팅마멸 손상을 줄이려하는 등의 개선이 시도되고 있다.

그 동안에 국내에 축적된 지지격자체 개발기술을 살펴보면 1986년에 한국원자력연구소(이하 “KAERI”로 지칭)와 Siemens/KWU사가 공동 설계한 KOFA(KOrean Fuel Assembly) 연료가 1989년부터 국내의 W형 발전소(고리 2호기)에 처음으로 공급된 이래 KAERI와 ABB-CE사가 공동 설계한 핵연료가 1994년부터 국내의 ABB-CE형 발전소(영광 3,4호기)에 공급되었다. 또한 1998년부터 한전 원전연료주식회사(이하 “KNFC”로 지칭)에서는 W사와 함께 W사의 개량연료인 VANTAGE 5H연료 부품을 국내에서 제조하여 국내의 W형 발전소에 공급하고 있으며 1999년부터는 국내에 있는 ABB-CE형 발전소에 공급할 표준원전용 핵연료를, 2001년부터는 W형 발전소에 공급할 핵연료를 W사와 공동으로 개발하고 있다. 그러나 이러한 공동설계는 지지격자를 비롯한 핵연료부품에 대한 통상설계 및 제조관련 기술을 공고화하여 1999년말 시점에서 외국과 비견할 정도로 크게 성장한 반면이 있으나 지지격자를 독자적으로 고안하고 설계/분석하는 개발기술은 크게 확보하지 못한 면이 있었다. 그런데 KAERI에서는 1986년 이래의 핵연료 기계설계 경험 및 설계/제조연계 경험을 바탕으로 하고 1997년부터 외국의 최신 개량핵연료에 대한 특징과 국외 특허자료를 면밀히 검토하여 기계/구조적 및 열수력적 성능관점에서 성능향상이 예상되는 지지격자 모형 13종을 독자적으로 고안하여 국내·외에 각각 13건의 특허를 출원하였는데 2001년도 8월말 현재 4종의 지지격자 고유형상에 대하여 핵연료 구조부품으로는 우리 나라에서 처음으로 미국특허 4건, 국내특허 4건이 등록되어서 우리가 고안한 지지격자 형상의 독창성이 점차적으로 국내·외에서 인정을 받고 있다.

본 논문에서는 KAERI에서 고안한 13종의 지지격자 형상중에서 기계/구조적인 관점에서 중요한 지지격자 형상 5종에 대한 특징을 기술하였고, KAERI에서 구축한 시험시설을 이용하여 수행한 기계/구조적 시험결과와 해석결과[1] 등을 비교하여 성능이 우수한 것으로 판단된 2종의 지지격자 형상을 선정하여 형상을 개선하였으며, 개선된 2종의 지지격자에 대한 주요 특징을 기술한 것이다.

2. 지지격자 고유 후보모형들에 대한 특징

2.1 개요

본 절에서는 KAERI에서 고안한 13종의 지지격자 중에서 기계/구조적으로 볼 때 중요한 5종의 지지격자에 대한 주요 특징을 기술하였고 형상이 개선된 2종의 지지격자에

대하여 주요 특징을 기술하였다.

2.2 H형 스프링 부착 지지격자

종래의 대다수 지지격자 스프링 및 덤플은 연료봉을 점 접촉이나 선 접촉의 비등각(non-conformal) 접촉으로 지지하고 있었다. 이에 비하여 H형 스프링이 부착된 지지격자(그림 2 참조)는 지지격자 스프링 및 덤플이 그림 3에서 보듯이 연료봉을 감싸는 형태의 등각(conformal)의 면 접촉이 되도록 고안되었다. 연료봉과 스프링/덤플의 접촉을 면접촉이 되게 함으로서 접촉면적이 넓어지게 되어 스프링/덤플 접촉부 및 연료봉 접촉부에서 첨두응력(peak stress)의 크기를 크게 감소시킬 수 있으며 연료봉을 넓은 면적에서 지지함으로서 유체유발진동에 의해 연료봉이 축방향 및 횡방향으로의 미소한 흔들림으로 인한 연료봉과 지지부 간의 상대운동을 감소시켜 연료봉의 프레팅마멸 발생 가능성을 억제할 수 있다. 또한 종래 지지격자는 외부에서 작용하는 임의의 방향으로부터의 하중에 불안정한 지지 구조를 이루고 있어 건전한 지지상태를 상실할 가능성이 있다. 그러나 H형 스프링은 스프링 지지점에서의 반력을 분산시킬 수 있는 이중 아치(Arch) 형상의 다리를 갖도록 하여 안정적인 연료봉의 지지를 기하고 스프링의 탄성 거동 허용범위를 확장시켜 원자로의 운전 중 변화하는 지지조건에서도 연료집합체의 수명기간 동안 건전한 연료봉의 지지를 가능케 하기 위한 것이다. H형 스프링 부착 지지격자는 미국특허가 등록되었고[2] 국내특허도 등록을 목전에 두고 있다.

2.3 이중판 노즐형 지지격자

지금까지 개발된 냉각재 혼합 지지격자는 지지격자체의 상부에 “혼합날개” 혹은 “베인”이라 부르는 냉각재 혼합용 날개를 부착하여 종방향으로 흐르는 냉각재에 횡방향 흐름을 부가적으로 갖게 함으로서 냉각재 체널간 혹은 낮은 온도 구역과 높은 온도 구역의 냉각재가 섞이게 하는 방법과 지지격자판을 두 겹으로 만들고 판과 판 사이에 공간을 형성시켜서 유로 통로를 만들되 이 통로의 입구와 출구를 길이 방향으로 기울여서 통로를 통과한 냉각재가 기울어진 각도만큼 회전하는 회전유동을 만들어 열전달을 향상시키는 방법이 있다. 이러한 혼합날개 및 유로통로형 혼합 지지격자는 냉각재를 섞어서 원자로의 열 효율을 높이는 잇점이 있지만 냉각재를 섞기 위해 발생시킨 횡방향 유동에 의하여 핵연료봉이 지지격자내에서 흔들리는 이른바 진동 현상을 유발하게 된다. 냉각재의 횡방향 유동으로 야기된 유해한 진동은 핵연료봉과 지지격자 사이에 빠르고 주기적인 간

섭을 발생시키고 결국은 지지격자체와의 접촉부위(스프링 혹은 덤플)에서 핵연료봉이 손상되는 이른바 유체유발진동에 의한 핵연료봉 프레팅마멸 손상을 초래할 수도 있다. 결국 혼합날개의 작용이 강력할 수록 냉각재의 혼합력이 강력하여져서 원자로의 열효율을 높이는 장점이 있는 반면에 이에 비례하여 핵연료봉의 진동 진폭도 커지고 이에 따라 핵연료봉의 손상 발생 가능성도 증가할 수 있다.

이러한 단점을 극복하고자 고안된 것이 그림 4와 5의 이중판 노즐형 냉각재 혼합 지지격자이다. 핵연료집합체내 낮은 온도 구역과 높은 온도 구역에 있는 냉각재를 섞기 때문에 원자로내 전체적인 열효율을 증가시켜서 핵연료봉이 국부적으로 과열되어 발생하는 핵 비등 이탈 등을 방지하는 역할을 제공함과 동시에 핵연료봉 주위로 냉각수를 회전시키거나 혼합날개 등과 같이 인접 핵연료봉으로 횡방향 유동을 발생시키지 않기 때문에 앞서 설명한 유체유발진동에 의한 핵연료봉 프레팅마멸 손상을 발생시킬 우려가 적다. 이중판 노즐형 지지격자의 원리는 낮은 온도 영역의 냉각재를 끌어다가 높은 온도 영역 쪽으로 노즐과 같이 빠르게 분사시키거나, 혹은 반대로 높은 온도 영역의 냉각재를 끌어다가 낮은 온도 영역으로 빠른 속도로 분사시키는 방법으로 핵연료집합체내 냉각재를 섞어서 전체적인 열효율을 향상시키게 된다. 또한 연료봉을 지지하는 중앙부위의 단면적이 입구/출구 노즐의 단면적보다 크게 설계됨으로서 노즐을 통해 흐르는 유체의 정압(static pressure)이 노즐 입구나 출구부위보다 중앙부위에서 더 커지게 되어(베르누이 정리) 궁극적으로 노즐속으로 유체가 흐를 때 스프링을 연료봉쪽으로 더 밀어내게 되어서 유동력에 의한 스프링력의 추가적인 보강을 이루게 하는 것이 특징이다. 이중판 노즐형 지지격자는 미국과 대한민국에 특허가 등록되어 있다[3,4].

2.4 회전유동형 날개부착 지지격자

그림 6은 회전유동형 날개부착 지지격자의 형상을 개략적으로 도시한 것이다. 그림 6에서 보듯이 가로와 세로로 배열되는 복수의 격자판을 조립에 의해 구성되는 회전유동형 지지격자는 격자판의 상단에 4개의 바람개비 형태로 절곡된 날개를 가진 회전유동 발생장치를 구비하고 격자판의 중간에 한쪽 끝 부분만 부착되는 외팔보 형태의 스프링이 구비되어 있으며 격자판의 상하단에 부착된 덤플이 구비되어 있다. 지지격자 스프링 및 덤플의 형상은 연료봉을 감쌀 수 있도록 즉, 등각의 접촉이 되도록 구현되었고 아울러 스프링의 끝단에는 냉각수를 회전시킬 수 있는 날개가 부가적으로 붙어 있어서 냉각수를 회전시킬 뿐만아니라 냉각수 회전시에 유동력에 의해서 스프링을 연료봉쪽으로 밀게 되어서 부가적으로 스프링력이 보강되는 효과가 있다. 회전유동형 날개부착 지지격자는 미국과 대한민국에 특허가 등록되어 있다[5,6].

2.5 바가지형 지지격자

바가지형 지지격자는 선행 기술에 의한 지지격자들이 안고있는 문제점을 보완 및 개선하고 열효율을 증진시키기 위하여 고안된 것으로서, 그림 7과 같이 냉각수의 열효율을 증가시키기 위하여 혼합날개를 부착하되 상부와 하부에 동시에 부착함으로써 하부의 날개에 의하여 격자내로 들어오는 냉각수의 유입 방향을 조절하고 상부 혼합날개에 의하여 냉각수를 회전시켜 유출함으로써 더욱 능동적으로 강력한 회전유동을 발생시킬 수 있도록 하는 지지격자체를 제공하는 데 그 목적이 있다. 또한 이 지지격자는 핵연료봉을 지지하는 지지점의 수를 늘리고 단위격자 공간내의 상하 두 곳에서 지지하도록 하여 핵연료봉의 지지성능을 향상시켜서 프레팅마멸 저항성을 증강시킬 수 있도록 하고 있는데 이러한 지지구조에 의하면, 핵연료봉과 접촉하는 부위를 모두 스프링으로 배치한 특징이 있으므로 종래 스프링-핵연료봉-돌출부 구조가 스프링이 존재하는 방향으로만 핵연료봉의 변위를 수용하는데 반하여 양 방향으로 모두 변위를 수용할 수 있다.

이러한 바가지 모양의 혼합날개는 오목한 부분으로 냉각재를 회전시키는 열수력적인 기능을 수행함과 동시에 그 뒷면의 볼록한 부분으로 핵연료봉을 지지하는 역할도 수행하게 되는데, 전술한 바와 같이 상하부가 엇갈려 있기 때문에 하부에서 핵연료봉을 지지하는 4부분과 상부에서 지지하는 4부분이 원주방향을 따라 교대로 위치하게 되므로 더욱 안정적으로 핵연료봉을 지지할 수 있다. 그리고, 단위격자의 상·하단에 돌출 형성된 바가지형 혼합날개를 통해 단위격자 공간내의 상·하부 2곳에서 각 4점씩 총 8점에서 핵연료봉을 지지하는 지지점의 수를 늘리는 구조로 지지성능을 향상시킴으로써 핵연료봉을 충분히 지지하지 못함으로 발생하는 핵연료봉의 프레팅마멸 손상을 최소화할 수 있다. 특히, 이러한 지지성능은 한 방향으로만 변위를 수용하는 기존의 스프링-핵연료봉-딴플 구조를 양 방향으로 변위를 수용하는 스프링-핵연료봉-스프링으로 구조화함으로써 더욱 향상된다. 또한, 하부의 혼합날개에 의해 단위격자 공간내로 유입되는 냉각재의 양과 방향을 조절하고, 상부의 혼합날개와 방향의 조화를 이루어 지지격자 끝단에서 강력한 회전유동이 발생하도록 한다. 이러한 회전유동이 발생하는 원리는 지지격자 하부와 상부에 있는 혼합날개를 서로 엇갈리게 함으로써 지지격자가 단위격자의 공간부가 마치 길이 방향으로 비틀어 놓은 긴 관과 같게 되고 이 긴 관과 같은 단위격자의 공간부를 통과하는 냉각수는 아주 먼 거리까지 그 관성을 유지할 수 있게 된다. 바가지형 지지격자는 미국과 대한민국에 특허가 출원되어 있다[7].

2.6 딴플형 베인과 다중스프링이 부착된 지지격자

딴플형 베인과 다중스프링이 부착된 지지격자는 그림 8과 같이 지지격자 내부에

축방향으로 엇갈리도록 배열한 돌출 베인이 냉각수의 혼합을 강화시켜 열적 여유도를 제고시킬 수 있으며, 이 돌출 베인들의 상·하에 각 세 개씩의 스프링들이 돌출되어 있는데 이중 중간에 있는 주스프링은 주로 연료봉을 지지하는 기능을 가지며 주스프링의 상·하에 위치한 부스프링들은 연료봉을 감싸고 있는 형상으로 연료봉을 지지함으로써 연료봉과 지지부와의 접촉응력을 분산시켜 접촉에 의한 침투응력을 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라 주스프링이 연료봉을 지지하는 기능이 약화되었을 때 연료봉의 지지를 대신할 수 있도록 하였다. 또한 이들 주 및 부스프링들을 스트립에서 일정한 각도로 경사지게 함으로써 동일한 높이에서 냉각수의 유로면적 감소를 줄이고 다중스프링 및 베인들이 같은 방향으로 돌출되도록 하여 지지격자에 의한 압력손실이 되도록 작아지도록 고안하였다. 덤플형 베인과 다중스프링이 부착된 지지격자는 미국과 대한민국에 특허가 출원되어 있으며[8] 미국특허는 등록사정서를 획득하여서 특허등록이 목전에 와 있다.

2.7 최적화 H형 스프링 부착 지지격자

2.2절의 H형 스프링 부착 지지격자에 대한 스프링/덤프 특성시험, 연료봉 지지진동 특성시험 그리고 프레팅마멸시험을 수행한 결과[1] 스프링의 강성을 연하게 하고 스프링의 탄성변형 영역을 종전보다 확장할 필요가 있었다. 또한 연료봉이 격자내에 장입되어 스프링을 변형시킬 때 스프링에서 비틀림의 발생을 최소화하고 단순 굽힘이 주로 작용하도록 함으로서 연료봉 장입전의 초기 접촉형상이 그대로 유지하게 할 필요가 있었다. 그리고 스프링/덤프와 연료봉의 접촉면에 대한 접촉해석을 수행한 결과[9] 접촉응력을 최소화하고 접촉면적을 넓게 할 필요가 있었다. 이러한 개선요구사항은 공리적 설계 개념을 이용한 형상최적설계를 수행하여 그림 9와 같은 형상의 스프링 및 격자체 형상을 고안하게 되었고 최적화된 형상의 지지격자체는 국내 및 미국에 특허를 출원하였다[10].

2.8 수정된 이중판 노즐형 지지격자

2.3절의 이중판 노즐형 지지격자에 대한 스프링특성시험, 연료봉 지지진동특성시험 그리고 프레팅마멸시험을 수행한 결과 스프링의 강성을 연하게 할 필요가 있었다. 또한 연료봉이 격자내에 장입되어 스프링을 변형시킬 때 연료봉과 스프링의 접촉길이를 증가시킬 필요가 있었으며 유동장 해석 결과 지지격자 상부에서 냉각수의 혼합을 촉진시키도록 노즐형상과 혼합날개를 부착할 필요가 있었다. 이러한 요구사항을 반영하기 위해 접촉해석을 통해 격자판 형상을 그림 10과 같이 확정하였다[11]. 확정된 형상의 지지격자체는 국내 및 미국에 특허를 출원하였다[12].

3. 결론

핵연료집합체 기계설계 및 열수력적 설계경험을 바탕으로 하고 외국의 새로운 핵

연료 특징 및 특허자료들을 면밀히 검토하여 특허분쟁이 되지 않을 것으로 기대되는 경수로용 핵연료 지지격자 형상 13종을 독자적으로 고안하였다. 고안된 지지격자 형상 중에서 기계/구조적 관점에서 중요한 5종의 지지격자 형상에 대한 성능비교시험 및 해석을 수행하고 결과를 분석하여 상세 시험을 위한 형상 2종을 선정하고 아울러 성능의 극대화를 위해서 선정된 지지격자 2종의 형상을 개선하였다. 앞으로 형상 개선된 지지격자 2종에 대한 시편을 제조하여 시험을 수행할 계획이다.

후 기

본 연구는 과학기술부의 원자력 연구개발사업중 고성능지지격자구조기술개발과제에서 과제업무의 일환으로 수행되었음.

참 고 문 헌

1. 송기남, "신형 지지격자에 대한 기계/구조적 성능비교시험," 한국원자력학회 2001 춘계 학술대회.
2. K. H. Yoon et al., "Spacer Grid with H-spring for Fuel Rods Use in Nuclear Reactor Fuel Assembly," US Patent 6,167,105.
3. 강홍석외 7인, "원자로의 핵연료집합체 이중판노즐형 냉각재 혼합 지지격자," 대한민국 특허 제 0265027호.
4. H. S. Kang et al., "Grid with Nozzle-type Coolant Deflecting Channels for Use in Nuclear Reactor Fuel Assemblies," US Patent 6,130,927.
5. 전태현외 8인, "회전유동발생장치를 가진 핵연료집합체 지지격자," 대한민국 특허 제 0287278호.
6. T. H. Chun et al., "Fuel Assembly Spacer Grid with Swirl Deflectors and Hydraulic Pressure Springs," US Patent 6,236,702.
7. 강홍석외 7인, "핵연료 집합체의 바가지형 혼합날개 지지격자," 대한민국 특허출원 제 99-22652호 및 미국특허 출원 제 09/439714.
8. 윤경호외 7인, "냉각수 혼합을 위한 뎀플형 베인과 다중스프링이 부착된 지지격자체," 대한민국 특허출원 제99-31120호 및 미국특허 09/558043.
9. K. H. Yoon et al., "Shape Optimization of a Spacer Grid Spring Structure," J of the KNS, Vol. 33, October, 2001.
10. 윤경호외 7인, "연료봉 접촉면적과 스프링 탄성영역을 확장하는 격자스프링이 부착된

지지격자체,” 대한민국 특허출원 제2001-20851호.

11. 이강희외 4인, “이중판 노즐형 지지격자 스프링의 지지강성 저하를 위한 형상개선,” 한국원자력학회 2001 춘계학술대회.

12. 강홍석외 7인, “핵연료집합체의 이중판 냉각재 혼합 지지격자체,” 대한민국 특허출원 제2001-14474호.

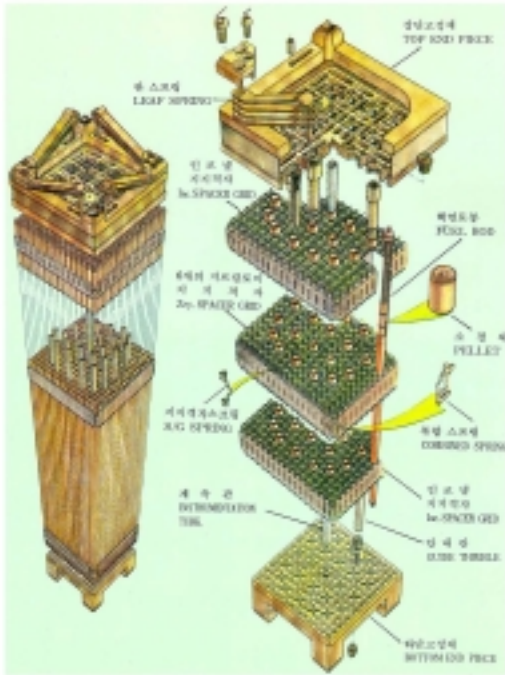


그림 1 핵연료집합체 개략도

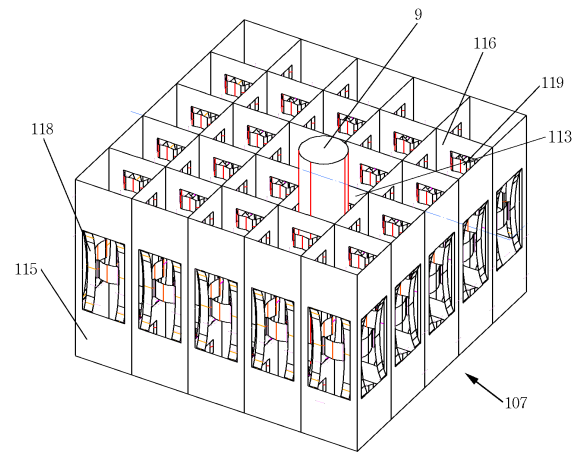


그림 2 H형 스프링 부착 지지격자체 (5x5형 격자체 형상)

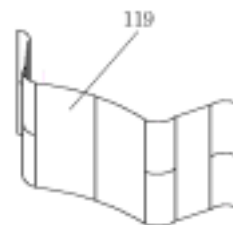
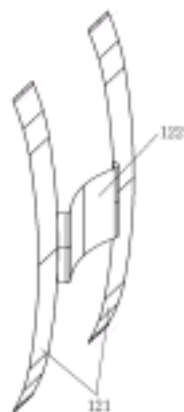


그림 3 H형 스프링 부착 지지격자의 스프링 및 딥플 형상

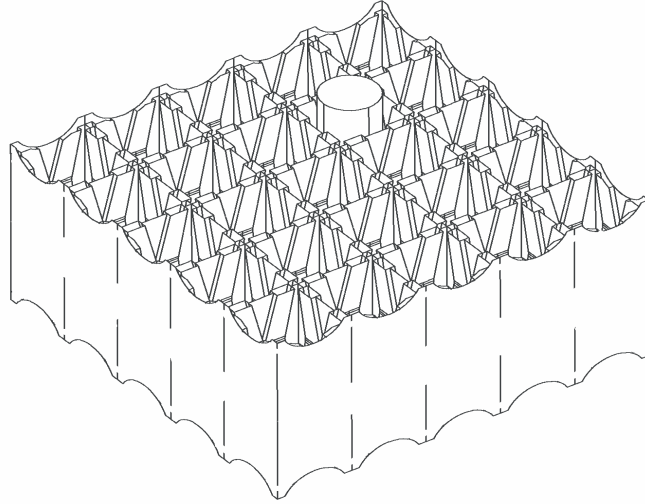


그림 4 이중판 노즐형 지지격자(5x5형 격자체 형상)

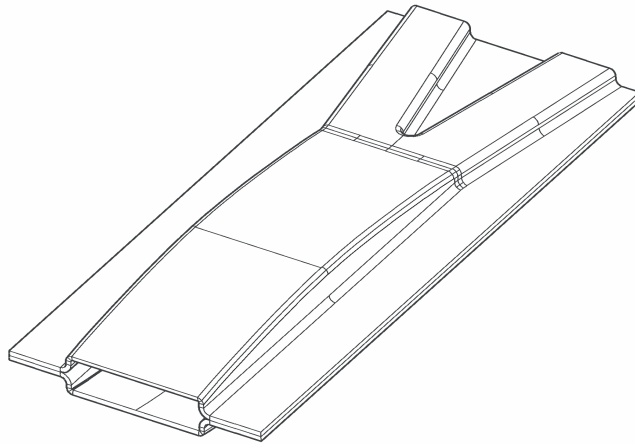


그림 5 이중판 노즐형 지지격자 단일통로

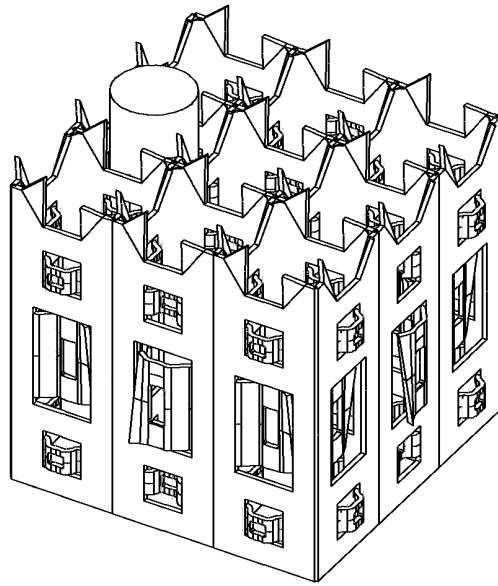


그림 6 회전유동형 날개부착 지지격자(3x3형 격자체 형상)

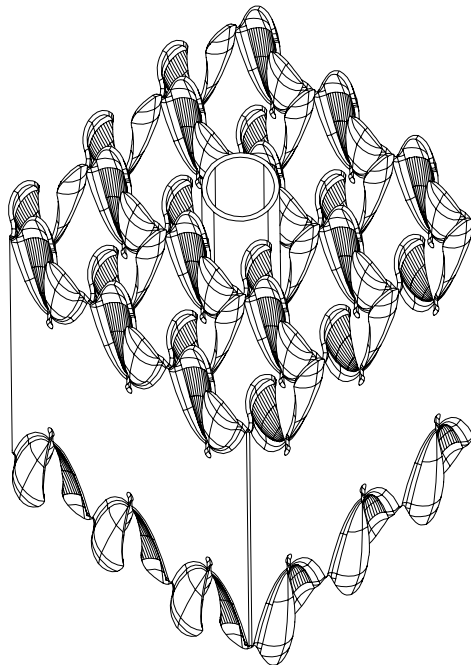


그림 7 바가지형 지지격자 (3X3형 격자체 형상)

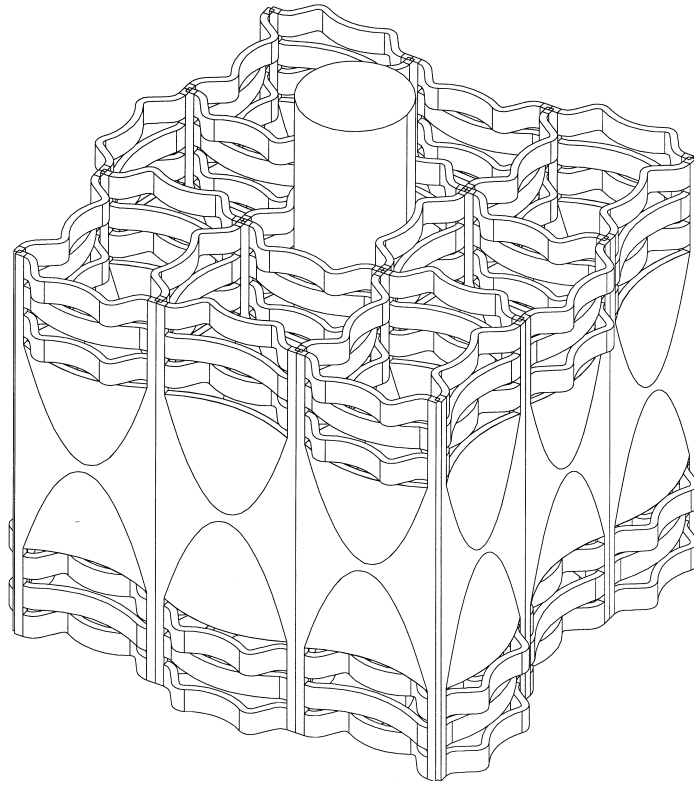


그림 8 뒨플형 베인과 다중스프링이 부착된 지지격자

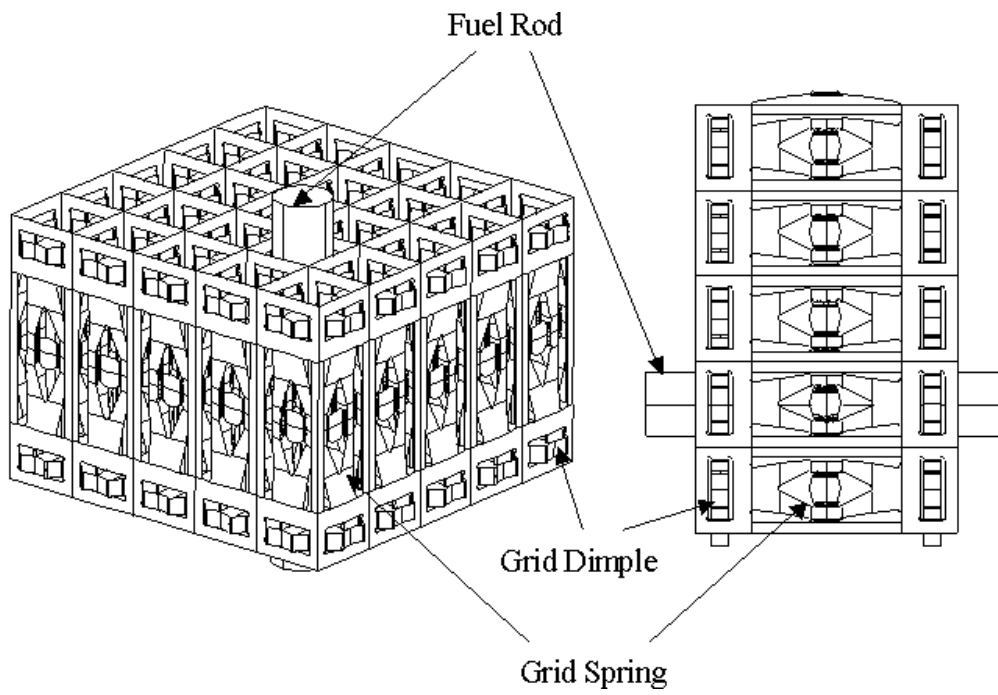


그림 9 최적화 H형 스프링 부착 지지격자

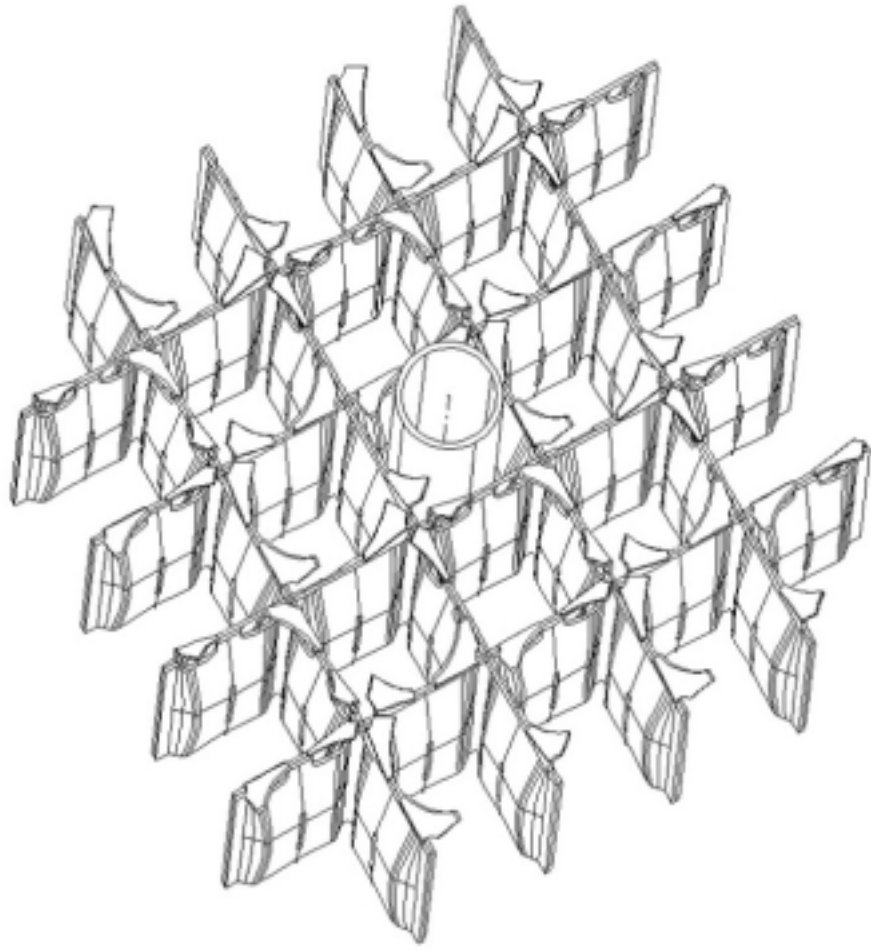


그림 10 수정된 이중판 노즐형 지지격자