



KR0000501

KAERI/TR-1598/00

지지격자체의 기계/구조적 성능시험 기술개발

Mechanical/Structural Performance Test Method of a Spacer Grid

한국원자력연구소

31 / 47

Please be aware that all of the Missing Pages in this document were originally blank pages

제 출 문

한국원자력연구소장 귀하

본 보고서를 2000년도 “고성능지지격자 구조기술개발과제”의 “지지격자체의 기계/구조적 성능시험 기술개발”에 대한 기술보고서로 제출합니다.

2000년 6월

과제책임자 : 송 기 남

주 저 자 : 윤 경 호(고성능지지격자 구조기술개발과제)

공동저자 : 강 홍 석, 김 형 규, 송 기 남(고성능지지격자 구조기술개발과제)

요 약

경수로용 핵연료집합체에서 지지격자는 연료봉들이 횡방향 및 종방향으로 정 위치를 유지하도록 하여 연료봉간의 냉각경로가 보장되도록 하며, 또한 핵연료집합체가 하나의 지지 구조물을 형성하게 하는 기능을 갖는 핵심 구조 부품이다. 고성능 지지격자를 개발하기 위해서는 고안된 지지격자체에 대한 기계/구조적 성능시험을 통해 지지격자체의 성능이 입증되어야 하며, 따라서 이에 대한 시험절차를 확립할 필요가 있다. 본 보고서에서는 지지격자 격자판 지지부의 특성시험, 격자체의 정적 좌굴시험 및 동적 충격시험에 대해 기술하였다. 격자판 지지부의 특성시험을 위한 시험장치는 만능인장시험기를 사용하였고, 단일 셀의 시편을 고정치구에 고정하고 가중시 및 해중시의 변위와 그 때의 하중을 취득하여 특성곡선을 생산하고자 하였다. 격자체의 정적 좌굴시험을 위한 시험장치는 만능인장시험기를 사용하였고, 단일 방향의 압축하중을 가하고 그에 대한 하중을 얻는 단순압축 시험방법을 적용하였다. 그리고 격자체의 동적 충격시험을 위한 시험장치는 진자식 충격시험과 자유낙하 충격시험기를 구축하여 시험을 수행하고자 하였다. 특히 진자식 충격시험기는 별도의 노가 설치되어 있어 핵연료집합체의 운전 온도인 고온의 환경 하에서도 시험을 수행할 수 있게 하였다.

SUMMARY

The spacer grid is one of the main structural components in the fuel assembly, which supports the fuel rods, guides cooling water, and protects the system from an external impact load, such as earthquakes. In order to develop the spacer grid with the high mechanical performance, the mechanical and structural properties of the spacer grids must be extensively examined while designing it. In this report, the mechanical/structural test methods, i.e. the characteristic test of a spacer grid spring or dimple, static buckling test of a partial or full size spacer grid and dynamic impact test of them are described. The characteristic test of a spacer grid spring or dimple is accomplished with universal tensile test machine, a specimen is fixed with test fixture and then applied compressive load. The characteristic test data is saved at loading and unloading event. The static buckling test of a partial or full size spacer grid is executed with the same universal tensile testing machine, a specimen is fixed between crossheads and then applied the compressive load. The buckling strength is decided the maximum strength at load vs. displacement curve. The dynamic impact test of a partial or full size spacer grid is performed with pendulum type impact machine and free fall shock test machine, a specimen is fixed with test fixture and then applied the impact load by impact hammer. Specially, the pendulum type impact test machine is also possible under the operating temperature because a furnace is separately attached with test machine.

목 차

제출문

요 약

SUMMARY

그림목차

제 1 장 서 론	1
1절 지지격자 기계/구조적 성능시험의 개요	1
2절 시험목적 및 내용	1
제 2 장 지지격자체의 기계/구조적 성능시험	3
1절 격자판 지지부의 특성시험	3
2절 격자체의 정적 좌굴시험	8
3절 격자체의 진자식 동적 충격시험	11
4절 격자체의 자유낙하식 동적 충격시험	18
제 3 장 결 론	24
참고문헌	25
첨 부	26

그림목차

- 그림 2.1 시편 고정치구
- 그림 2.2 시편 가중부
- 그림 2.3 만능인장시험기 및 시편의 고정상태
- 그림 2.4 진자식 충격시험기의 개략
- 그림 2.5 격자채 시편 고정 브라켓
- 그림 2.6 충격해머 및 각 센서들의 부착상태
- 그림 2.7 충격시험을 위한 메인 프로그램
- 그림 2.8 자유낙하 충격시험기의 개략
- 그림 2.9 자유낙하 충격시험시의 데이터 수집 및 분석 프로그램

제 1 장 서 론

1절 지지격자 기계/구조적 성능시험의 개요

경수로용 핵연료집합체에서 지지격자는 연료봉들이 횡방향 및 종방향으로 정위치를 유지하도록 하여 연료봉간의 수로가 보장되도록 하며, 또한 핵연료집합체가 하나의 지지구조물을 형성하게 하는 기능을 갖는 핵심 구조부품이다[1]. 경수로용 신형핵연료 개발의 고성능 지지격자 구조기술 개발과제에서는 '97년부터 기계/구조적으로 고성능을 가지며, 냉각수 혼합능력을 제고하기 위한 여러 모형의 고유 지지격자 형상을 고안하고 있으며, 또한 국내·외에 산업재산권을 확보하기 위한 노력을 기울이고 있다. 그리고 이들 개발중인 고유 형상의 지지격자에 대한 기계/구조적 성능을 비교/확인하기 위해 지지격자 격자판 및 격자체를 제조하여 기계/구조적 특성시험을 수행하고 있다[2].

따라서 본 보고서에서는 지지격자체 격자판 지지부의 특성시험, 격자체의 정적 좌굴시험 및 동적 충격시험에 대한 시험절차를 상세히 기술하여 지지격자의 기계/구조적 성능시험에 대한 시험기술을 확립하고자 한다.

2절 시험목적 및 내용

격자판 지지부(스프링 및 덤플)의 특성시험은 단일 셀의 형상을 갖도록 격자판 시편을 제작하여 이들 시편을 만능 인장시험기에서 단일 방향의 인장시험을 통해 하중 대 변위선도(P- δ 선도)를 구하기 위한 시험이다. 이 특성시험은 도출된 격자판 시편의 스프링 및 덤플의 탄·소성 특성파악을 위한 것이므로 격자판 지지부 시편에 가능한 최대 변위까지 변위를 가하고 이에 해당하는 하중을 구하는 단일 절차를 적용하였다. 이 시험을 통해 고안된 격자판 지지부의 강성, 최대 하중 및 소성 변형량 등을 얻을 수 있다. 이들 격자판 지지부의 특성 파라미터들은 연료봉 지지성능을 평가하는데 주요한 척도로 사용될 수 있으며, 핵연료봉 진동해석과 핵연료집합체의 사고해석 모델을 위한 입력자료로 사용될 수 있다.

격자체의 정적 좌굴시험은 부분 격자체(3x3 셀 격자체, 5x5 셀 격자체 등)나 전체 격자체의 형태를 갖는 격자체 시편을 만능 인장시험기에서 단일 방향의 압축시험을 통해 하중 대 변위 선도를 구하기 위한 시험이다. 이 시험은 시편에 변위를 가하고 그 변위에 해당하는 하중을 로드 셀로부터 얻는 시험으로 좌굴이 발생하는 시점의 변위나 하중을 미리 예측할 수 없기 때문에 현 단계의 하중이 이전 단계 최대하중의 80 % 이하로 감소하면 변위가 정지되도록

시험절차를 설정하였다. 이 시험을 통해 격자체의 정적 좌굴강성, 최대하중 및 좌굴모드 등을 얻을 수 있다. 이들 격자체의 정적 좌굴특성 파라미터들은 핵연료집합체의 사고해석 모델을 작성하기 위한 입력자료로 사용될 수 있다.

격자체의 동적 충격시험은 부분 격자체나 전체 격자체의 형태를 갖는 시편에 일정한 질량을 가진 충격해머를 통해 충격을 가하고 그 때의 충격력, 충격가속도, 초기 해머의 각도 및 되 튀는 각도 등을 구해 격자체의 충돌특성을 얻기 위한 시험이다. 이들 격자체의 동적 충격특성 파라미터들은 지진이나 냉각재상실사고 발생시 핵연료집합체의 기계적 건전성을 평가할 수 있는 자료로 이용될 수 있다. 현재 해외의 핵연료제조 회사들이 사용하고 있는 지지격자 동적 충격시험 방법은 회사별로 차이는 있으나 크게 2가지 방법(W사 - 진자식 충격시험; ABB-CE사, SIEMENS사 등 - 자유낙하식 충격시험)을 사용하고 있다[2]. 본 과제에서도 국내에서 사용중인 W형 및 ABB-CE형 발전소에 부합되는 핵연료의 지지격자를 개발하고 있어서 2가지 방법의 지지격자 동적 충격시험 장치를 구축하고 시험을 수행하고자 하였다. 즉 하나는 일정한 질량을 갖는 충격해머를 초기높이로부터 자유낙하 시켜 충격량을 얻는 방법으로 격자체내에 좌굴이 발생할 때까지 낙하높이를 증가시키면서 동일한 절차를 반복하도록 하였다. 다른 하나는 격자체 하나의 스펠에 해당하는 질량을 갖는 진자식 충격해머를 초기 각도로부터 그 초기각도를 증가시키면서 충격을 가하여 초기 해머각도 대 충격력 및 충격 가속도를 측정하는 방법으로 격자체내에 좌굴이 발생할 때까지 동일한 절차를 반복하도록 하였다.

제 2 장 지지격자체의 기계/구조적 성능시험

1절 격자판 지지부의 특성시험

1. 서 론

노내에서 연료봉 지지스프링의 거동은 탄소성(elastic-plastic) 변형영역에서 변위를 가지며 또한 스프링 특성곡선은 수치해석적 방법을 통하여 요구되는 정확도 범위로 예측하기가 어렵기 때문에 격자판 지지부의 특성시험을 통하여 이를 측정함이 필요하게 된다. 지지격자판에 형성된 격자판 지지부(스프링 및 덤플)에 대한 특성시험을 위한 시편은 연료봉 지지부를 격자판 자체에 일체로 형성시킨 격자판의 단일 셀을 제작하여 사용한다.

2. 시험의 목적

격자판 지지부 특성시험의 목적은 지지격자 스프링 또는 덤플의 하중 대 변위선도인 특성곡선을 얻기 위한 것이다. 시험으로부터 얻어진 격자판의 연료봉 지지부의 특성곡선은 연료봉 지지성능을 평가하는데 주요한 척도로 사용될 수 있으며, 핵연료봉의 진동해석과 핵연료집합체의 사고해석 모델을 작성하기 위한 입력자료로 사용될 수 있다.

3. 시험 요구조건

3.1. 시편

스프링 및 덤플의 성형가공이 완료된 격자판에서 한 개의 셀 크기로 절단하여 시편으로 사용한다. 제조된 시편의 정밀 측정은 입고되기 전에 제작업체에서 수행한다.

3.1.1. 시편의 형상검사

특성시험에 사용될 시편에서 스프링 및 덤플의 형상 및 치수는 측정결과와 도면의 허용공차와의 비교를 통해 적합한 것만을 사용한다. 스프링 및 덤플부 각 부위의 치수는 비접촉식 3차원 측정기를 사용하여 엄밀히 측정되어야 한다.

- 각 스프링의 형별 시편 수량 : 10 개

3.1.2. 표면처리

스프링의 표면은 크랙이 없어야 한다.

3.1.3. 시편 고정치구

그림 2.1과 같이 시편을 고정하고 만능인장시험기에 장착할 수 있는 적절한 시편 고정치구를 제작하여 시험에 사용한다. 시편 고정치구는 스프링 또는 덤플에 수직 압축하중을 가할 때 시편과 치구의 접촉부위가 안쪽으로 미끄러지지 않도록 시편의 끝단(edge)을 확실히 고정할 수 있어야 하며, 또한 스프링이나 덤플이 아래쪽으로 처질 수 있는 공간을 갖도록 설계되어야 한다. 그리고 치구에 의해 격자판 시편과 만능인장시험기의 연직축과는 직각이 보장될 수 있어야 한다.

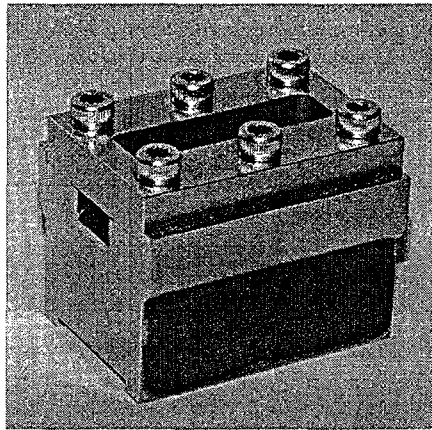


그림 2.1 시편 고정치구

3.1.4. 시편 가중부

지지격자 스프링 또는 덤플에 수직 압축하중을 가할 수 있도록 시편 가중부는 만능인장시험기의 크로스헤드에 직각방향으로 체결되어야 하며, 크로스헤드의 이송 중 연직상태가 유지되어서 체결상태의 불량이 발생되지 않아야 한다. 또한 시편 가중부와와의 접촉에 의해 스프링 또는 덤플이 변형할 때 접촉부위의 이동이 없어야 한다. 시편 가중부의 예시를 그림 2.2에 나타내었다.

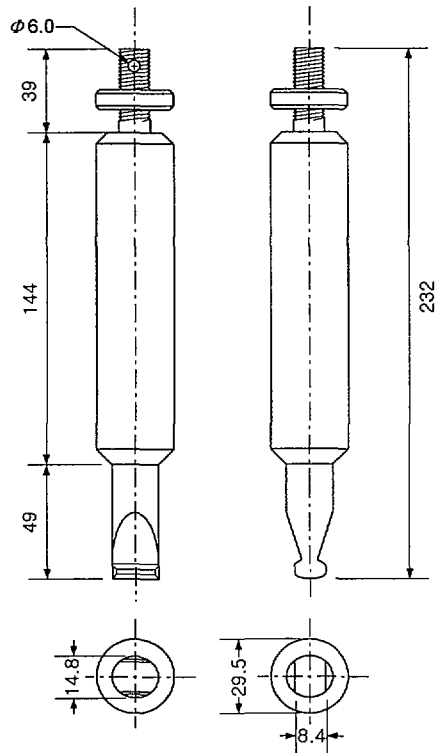


그림 2.2 시편 가중부

3.2. 시험장치

앞서 기술한 격자판 지지부의 특성곡선을 얻기 위한 시험기의 개략을 그림 2.3에 나타내었으며, 이때 만능인장시험기의 사양은 다음과 같다.

- 측정 최대 압축하중 : 100 N
- 최소 크로스헤드 이송속도 : 0.5 mm/min 이하
- 수동 및 자동의 크로스헤드 이송 제어
- 가중 및 해중시의 하중, 변위 데이터 취득 가능
- 시험 중의 하중 대 변위선도 생산
- 시험결과를 ASCII 파일 형태로 저장 가능

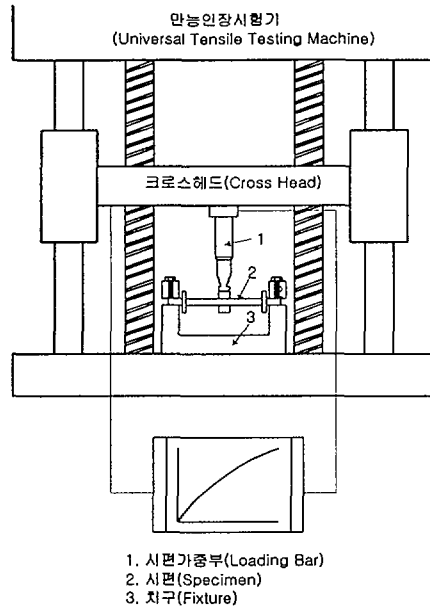


그림 2.3 만능인장시험기 및 시편의 고정상태

3.3. 격자판 지지부의 특성 측정을 위한 요구조건

3.3.1. 시험조건

- ◇ 격자체 상태에서의 격자판 고정조건과 동일하게 고정
- ◇ 시험 온도 : 상온
- ◇ 스프링의 적용하중 : 정하중
- ◇ 5개 시편은 최대 변위까지 연속하중 적용
- ◇ 2개 시편은 매 하중 후 하중 제거의 반복을 통한 루프선도 → 0.05 mm/step으로 하중 적용 및 이의 제거를 반복하여 최대 변위까지 적용
- ◇ 최대 격자판 지지부 변위 : 격자판 지지부가 허용하는 최대 변위

3.3.2. 측정 변수들

- ◇ 격자판의 두께
- ◇ 격자판 지지부의 높이
- ◇ 격자판 지지부의 폭
- ◇ 격자판 지지부에 가해진 하중 대 변위
- ◇ 잔류변위
 - 최대 변위에 도달한 후 연속하중시
 - 매 하중 단계에서 스텝 하중시

4. 시험절차

- 1) 시험장비를 운용하기 위한 메인 스위치를 켜다. 이것은 만능인장시험기 운용절차서[3]를 따른다.
- 2) 시편 가중부를 시험기에 고정하고 시험을 할 수 있는 상태로 시험기를 조정한다.
- 3) 준비된 시편을 시편고정 치구에 고정한 후 이를 시험기의 하부 크로스 헤드에 위치시킨다.
- 4) 시편 가중부가 스프링 또는 덤플과 거의 접촉할 때까지 육안으로 확인하여 시험기의 크로스 헤드를 이송한다. 이때 필요할 경우 시편고정 치구를 미세 조정하여 시편 가중부가 시편의 중앙에 일치하도록 한다.
- 5) 시편 가중부가 스프링 또는 덤플을 누르는 방향으로 천천히 크로스 헤드를 이송하며 모니터상의 하중을 계속 확인한다. 하중이 0으로부터 증가하기 시작하면 크로스헤드의 이송을 멈춘다. 크로스 헤드를 멈출 때의 하중은 스프링 또는 덤플의 보수적인 탄성범위 내에 있어야 한다.
- 6) 4)에서와 같이 느린 속도로 크로스 헤드를 가중 때의 반대방향으로 이송하여 하중이 0이 될 때까지 해중하고 크로스 헤드를 멈춘다. 이 상태가 격자판 지지부의 특성곡선 생산을 위한 시험준비가 완료된 상태이다.
- 7) 시험 중에 하중 대 변위의 특성곡선 생산을 위한 데이터 취득의 빈도를 결정하여 시험기의 제어판에 입력한다. 데이터의 취득 빈도는 취득된 데이터로부터 충분히 매끄러운 특성곡선을 생산할 정도가 되어야 하며, 초당 하나의 데이터 저장으로 설정하였다.
- 8) 크로스 헤드의 이송을 자동으로 전환하고 시험에서 규정한 크로스 헤드의 값으로 조정한다.
- 9) 시험기의 제어판에서 해당 시편의 변위를 설정하고 가중과 해중을 한 사이클 반복한다. 이때 시험기의 그래프 생산기능을 사용하여 하중-변위선도를 확인하고 이 데이터를 ASCII 형태의 파일로 저장한다.
- 10) 하부 크로스 헤드를 아래로 이송하여 시험이 완료된 시편을 분리한 후 다음 시편을 시편고정 치구에 고정한다. 이때 시편고정 치구를 청결히 하고 시편의 번호를 확인한다.
- 11) 이와 같은 격자판 지지부의 특성시험을 정해진 시편의 수량만큼 수행한다.

5. 시험 결과의 수집 및 분석

격자판 지지부의 하중 대 변위선도를 작성하기 위한 INSTRON 4505의 하중 및 변위 데이터는 각각 파운드, 인치의 단위로 저장을 한다. 따라서 이 데이터들을 ASCII 형태로 읽어 들여 각각 SI단위인 N, mm로 변환을 한다. 이 변환된 데이터를 가지고 격자판 지지부의 특성곡선을 작성하게 되는데 시험기의 특성상 영점을 정확히 유지할 수가 없기 때문에 시험시 저장된 데이터를 적절히 처리하여 가중시 및 해중시의 유연한 특성곡선을 생산한다.

2절 격자체의 정적 좌굴시험

1. 서론

격자체의 정적 좌굴시험은 그림 2.3과 같은 격자판 지지부의 특성시험을 위한 만능인장시험기에서 수행하며, 연료봉 지지부의 특성시험과는 달리 격자체 시편을 고정하기 위한 고정치구는 없다. 격자체 시편을 상부와 하부 크로스 헤드 사이에 위치시킨 상태에서 하부 크로스 헤드를 시편에 접촉할 때까지 수동으로 상승시킨다. 이때 제어판내의 하중 값이 상승하면 예비하중이 작용한 상태로 격자체 시편은 크로스 헤드 사이에서 엄밀히 고정된 상태로 볼 수 있다. 이 상태에서 하부 크로스 헤드를 정해진 속도로 상부로 이송하여 현 단계의 하중이 이전단계 하중의 80 % 이하로 감소하면 좌굴이 발생한 것으로 판단하여 크로스 헤드의 이송을 중지하도록 장치를 설정하였다.

2. 시험의 목적

격자체 정적 좌굴시험의 목적은 핵연료집합체의 사고해석 모델을 작성하기 위한 기초적인 입력 자료인 격자체의 강성 및 최대 좌굴강도를 얻기 위한 것으로서 격자체의 강성은 하중 대 변위선도에서 최대의 선형 구간을 선택하여 근사적으로 얻게 되며, 최대 임계 좌굴하중은 하중 대 변위선도에서 최대하중으로부터 구해진다.

3. 시험 요구조건

3.1. 시편

스프링 및 덤플의 성형가공이 완료된 내부격자판과 외부격자판을 조립하고 내부격자판들의 교차부, 내부격자판과 외부격자판의 연결부 및 외부격자판들이 연결되는 모서리부를 레이저 용접한 격자체를 시편으로 사용한다. 제조된 시편의 정밀 측정은 입고되기 전에 제작업체에서 수행한다.

3.1.1. 격자체의 형상검사

시험에 사용될 격자체 시편은 측정결과와 도면의 허용공차와의 비교를 통해 적합한 것만을 사용한다. 격자체 셀 간의 피치 및 외곽치수 등 각 부위의 치수는 비접촉식 3차원 측정기를 사용하여 엄밀히 측정한다.

- 각 격자체의 시편 수량 : 4 개 이상

3.1.2. 표면처리

격자체의 표면은 크랙이 없어야 한다.

3.2. 시험장치

상기 특성곡선을 얻기 위한 시험은 만능인장시험기를 이용하여 수행하며, 시험기의 개략을 그림 2.3에 나타내었다. 이때 만능인장시험기의 사양은 다음과 같다.

- 측정 최대 압축하중 : 100 kN
- 최소 크로스헤드 이송속도 : 0.5 mm/min 이하
- 수동 및 자동의 크로스헤드 이송 제어
- 가중 및 해중시의 하중, 변위 데이터 취득 가능
- 시험 중의 하중 대 변위선도 생산
- 시험결과를 ASCII 파일 형태로 저장 가능

3.3. 격자체 정적 좌굴특성의 측정을 위한 요구조건

3.3.1. 시험조건

- ◇ 크로스 헤드 사이에서 하중을 가하게 되는 방향으로의 변위와 회전방향으로의 자유도는 구속된 상태
- ◇ 시험 온도 : 상온
- ◇ 격자체의 적용하중 : 현 단계의 하중이 이전단계 하중의 80% 이하로 감소 시까지
- ◇ 최대 하중 대 격자체 변위 : ASCII형태로 저장

3.3.2. 측정 변수들

- ◇ 셀 피치
- ◇ 단위 셀 및 격자체의 직각도
- ◇ 격자체의 높이
- ◇ 격자체의 용접상태(육안)

4. 시험절차

- 1) 시험장비를 운용하기 위한 메인 스위치를 켜다. 이것은 만능인장시험기 운용절차서[3]를 따른다.
- 2) 시편을 하부 크로스 헤드 위에 위치시킨다.
- 3) 상부 크로스 헤드가 격자체와 거의 접촉할 때까지 육안으로 확인하며 시험기의 하부 크로스 헤드를 위로 이송한다. 이때 필요할 경우 격자체 시편을 미세 조정하여 상부 크로스 헤드의 중앙에 일치하도록 한다.
- 4) 하부 크로스 헤드가 격자체에 압축하중을 가하는 방향으로 천천히 크로스 헤드를 이송하며 모니터상의 하중을 계속 확인한다. 하중이 0으로부터 증가하기 시작하면 크로스헤드의 이송을 멈춘다. 크로스 헤드를 멈출 때의 하중은 격자체의 보수적인 탄성범위 내에 있어야 한다.
- 5) 4)에서와 같이 느린 속도로 크로스 헤드를 가중 때의 반대방향으로 이송하여 하중이 0이 될 때까지 해중하고 크로스 헤드를 멈춘다. 이 상태가 격자체의 특성곡선 생산을 위한 시험준비가 완료된 상태이다.
- 6) 시험 중 하중 대 변위의 특성곡선 생산을 위한 데이터 취득의 빈도를 결정하여 시험기의 제어판에 입력한다. 데이터의 취득 빈도는 취득된 데이터로부터 충분히 매끄러운 특성곡선을 생산할 정도가 되어야 하며, 초당 하나의 데이터 저장으로 설정하였다.
- 7) 크로스 헤드의 이송을 자동으로 전환하고 시험에서 규정한 크로스 헤드의 값으로 조정한다.
- 8) 시험기의 제어판에서 해당 시편의 변위를 설정하고 시험은 하중이 현 단계 하중이 이전단계 하중의 80 % 이하로 감소되면 크로스 헤드의 이송을 멈추도록 시험기를 설정한다. 이때 시험기의 그래프 생산기능을 사용하여 하중-변위 선도를 확인하고 이 데이터를 ASCII 형태의 파일로 저장한다.
- 9) 하부 크로스 헤드를 아래로 이송하여 시험이 완료된 시편을 분리한 후 다음 시편을 하부 크로스 헤드 위에 위치시킨다. 이때 하부 크로스 헤드를 청결히 하고 시편의 번호를 확인한다.
- 10) 이와 같은 격자체의 정적 좌굴시험을 정해진 시편의 수량만큼 수행한다.

5. 시험 결과의 수집 및 분석

격자체의 정적 좌굴 특성곡선을 작성하기 위한 INSTRON 4505의 하중 및 변위 데이터는 각각 파운드, 인치의 단위로 저장을 한다. 따라서 이 데이터들을

ASCII 형태로 읽어 들여 각각 SI단위인 N, mm로 변환을 한다. 이 변환된 데이터를 가지고 격자체의 정적 좌굴 특성곡선을 작성하게 되는데 시험기의 특성상 영점을 정확히 유지할 수가 없기 때문에 시험시 저장된 데이터를 적절히 처리하여 유연한 특성곡선을 생산한다. 이때 생산된 특성곡선은 충분히 매끄러운 곡선이여야 하며, 가능한 최대의 선형구간을 선택하여 격자체의 강성을 구한다. 또한 격자체의 임계 좌굴하중은 이 특성곡선의 최대하중으로 한다.

3절 격자체의 진자식 동적 충격시험

1. 서 론

지지격자 충격시험은 노내에서의 실제조건을 모사하기 위해 지지격자를 노(furnace)내에 설치하여 노내온도인 $320\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 까지 상승시킨 후 집합체의 중간 스패(span)에 해당하는 무게의 해머가 달려 있는 진자(pendulum)를 이용하여 지지격자에 충격을 가하여 충격시 발생하는 충격력과 시간 지속(time duration) 등을 측정한다[4]. 지지격자에 가해지는 충격력을 증가시키기 위하여 해머가 장착된 진자의 각도를 10도에서 시작하여 지지격자에 좌굴이 발생할 때까지 각도를 1도씩 증가시키면서 충격을 가한다. 지지격자의 충격하중은 슬리브의 용접방향에 대한 충격방향이 영향을 받는 것으로 나타나며, 일반적으로는 슬리브의 용접방향과 충격방향이 수직일 경우가 이들의 각도가 평행일 경우보다 작게 나타난다. 따라서 이 시험에서는 보수적으로 충격방향을 용접방향에 수직하게 설정하여 시험하였다.

2. 시험의 목적

격자체 동적 충격시험의 목적은 핵연료집합체의 지진이나 냉각재상실사고 발생시 핵연료집합체의 지지격자체에 가해지는 측면에서의 충격하중을 평가하고, 이 하중에 대한 기계적 건전성을 평가할 수 있는 자료로 이용될 수 있다.

3. 시험 요구조건

3.1. 시편

스프링 및 덤플의 성형가공이 완료된 내부격자판과 외부격자판을 조립하고 내부격자판들의 교차부, 내부격자판과 외부격자판의 연결부 및 외부격자판들이 연결되는 모서리부를 레이저 용접한 격자체를 시편으로 사용한다. 제조된 시편의 정밀 측정은 입고되기 전에 제작업체에서 수행한다.

3.1.1. 격자체의 형상

시험에 사용될 격자체 시편은 측정결과와 도면의 허용공차와의 비교를 통해 적합한 것만을 사용한다. 격자체 셀 간의 피치 및 외곽치수 등 각 부위의 치수는 비접촉식 3차원 측정기를 사용하여 엄밀히 측정한다.

- 각 격자체의 시편 수량 : 4 개 이상

3.1.2. 표면처리

격자체의 표면은 크랙이 없어야 한다.

3.2. 시험장치

진자식 충격시험 장치의 개략을 그림 2.4에 나타내었다. 충격시험기는 메인 프레임, 전자석 해머부착장치, 진자식 해머, 노, 온도 컨트롤러, 앰프 및 데이터 수집장치 등으로 구성되어 있으며, 초기 해머의 각도를 10 도에서부터 1도씩 증가시키며 격자체 시편에 충격하중을 가하여 그 때의 충격력, 충격가속도, 해머의 각도 및 되 튀는 각도 등을 측정하고 현 단계의 충격력이 이전 단계의 충격력보다 작아지는 시점까지 시험을 수행한다.

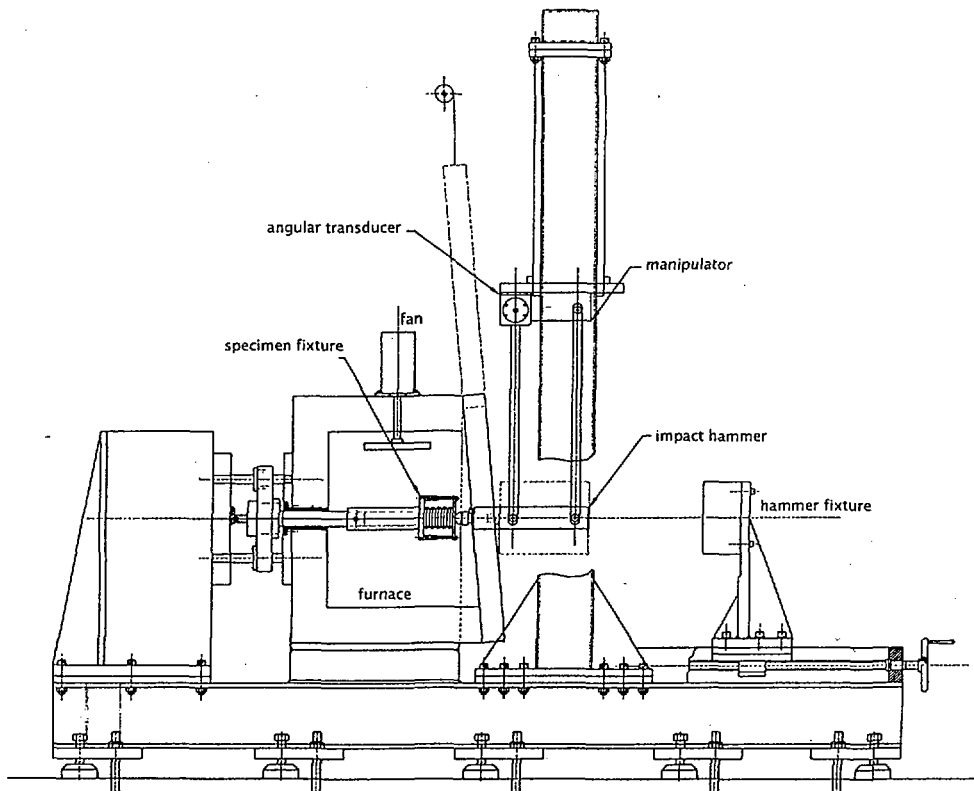


그림 2.4 진자식 충격시험기의 개략

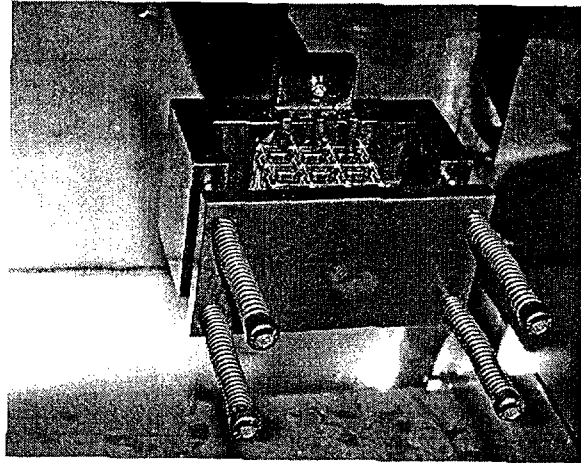


그림 2.5 격자체 시편 고정 브라켓

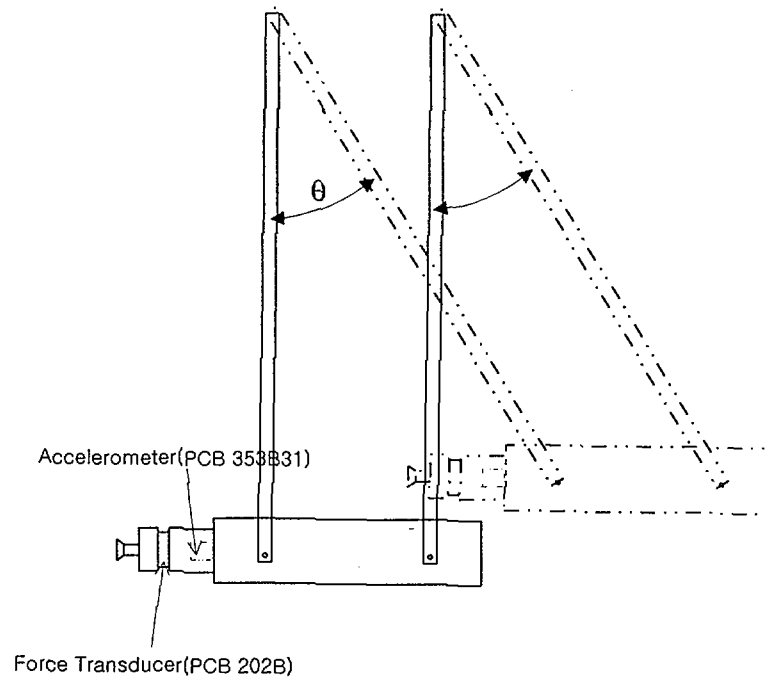
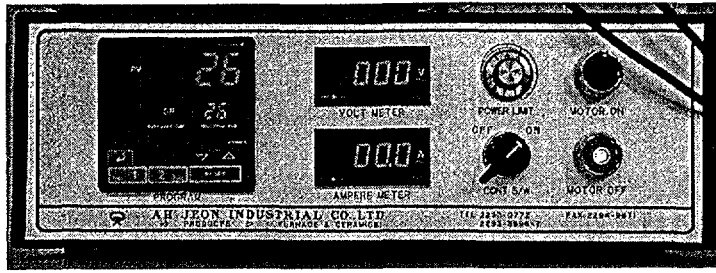


그림 2.6 충격해머 및 각 센서들의 부착상태

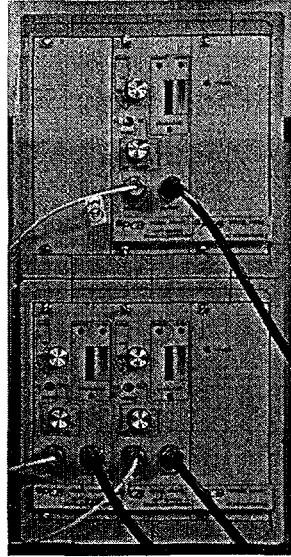
4. 시험절차

4.1. 시험준비 절차

- 1) 시험장비를 운용하기 위한 메인 스위치를 켜다.
- 2) 데이터를 수집하기 위한 각 앰프 및 온도 컨트롤러의 스위치를 켜다.

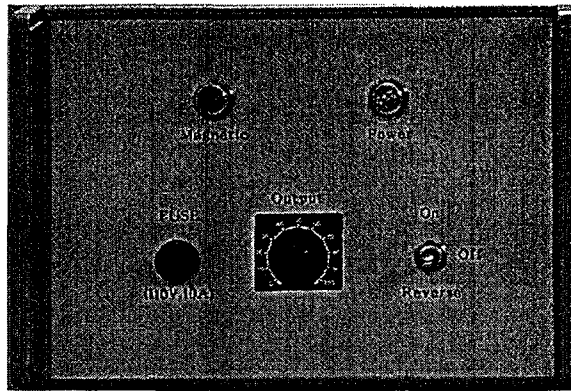


온도 컨트롤러의 제어판



신호 앰프의 전면

- 3) 데이터 수집 및 분석을 위한 컴퓨터를 부팅한다.
- 4) 윈도우 운영체제의 바탕화면 또는 충격프로그램 디렉터리내의 충돌프로그램을 기동한다.
- 5) 해머의 각도를 최소로 하여 강체(rigid body)에 충돌을 시켜 충격력, 충격가속도, 해머의 각도 및 해머의 속도 등 프로그램이 정상적으로 작동하는지 체크 한다.
- 6) 기타 시험을 위한 노내 온도 표시장치, 전자석의 해머 초기각도 유지상태 등 시험을 위한 모든 준비사항에 이상은 없는지 체크 한다.



해머 고정을 위한 전자석 제어판 전면

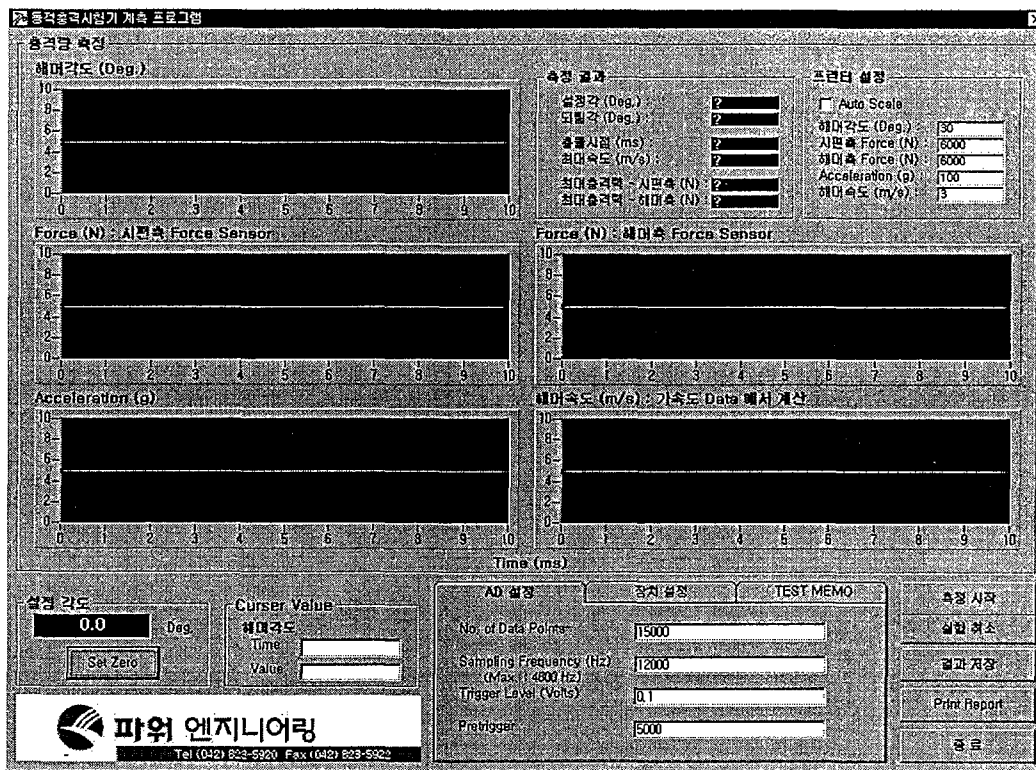


그림 2.7 충격시험을 위한 메인 프로그램

4.2. 충돌시험 절차

- 1) 피복판 일부를 지지격자 셀에 삽입한다(필요시).
- 2) 지지격자 시편을 후방 고정판(back holding plate)의 고정 브라켓에 삽입한 후 나사를 조여 시편이 고정판에 엄밀하게 고정되도록 한다.
- 3) 시험 데이터의 수집을 위해 데이터의 개수, 샘플링 주파수 및 예비

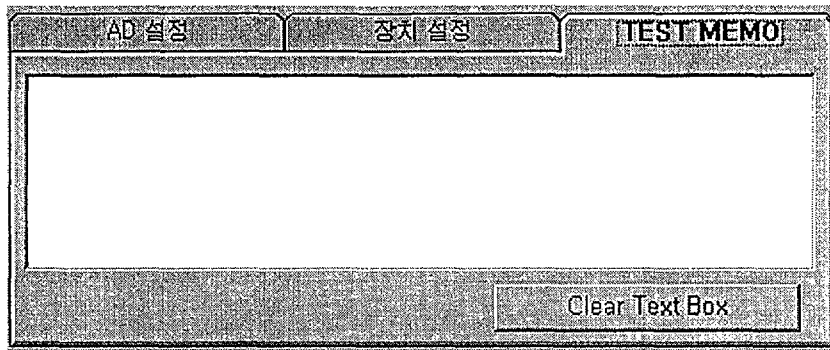
트리거링을 프로그램 내에서 입력한다. 여기서 데이터의 개수는 트리거링 이후에 읽어 들일 데이터의 개수를 말하며, 샘플링 주파수는 데이터 취득시의 주파수, 즉 초당 4000개의 데이터를 읽어야 할 경우 4000 Hz를 입력한다. 그리고 트리거 레벨은 트리거링이 시작되는 시점에서의 전압 레벨, 즉 충격해머가 회전하여 충동이 일어나는 시점에 대한 데이터 취득을 위하여 각도 측정용 엔코더의 신호를 트리거로 사용하게 되는데 트리거 레벨을 1 볼트로 설정한 경우 엔코더 신호가 변화하여 1 볼트가 되는 시점부터 지정된 샘플링 주파수로 설정된 개수의 데이터를 취득하게 된다.

AD 설정	장치 설정	TEST MEMO
No. of Data Points	<input type="text" value="15000"/>	
Sampling Frequency (Hz) (Max. : 4800 Hz)	<input type="text" value="12000"/>	
Trigger Level (Volts)	<input type="text" value="0.1"/>	
Pretrigger	<input type="text" value="5000"/>	

- 4) 충돌 프로그램내 시험을 위한 센서들, 즉 가속도계(PCB 353B31) 및 힘 변환기(PCB 202B), 의 민감도를 입력한다. 장치 설정에서는 각 센서들의 민감도, 즉 물리량과 출력 신호들간의 상관 계수들을 입력하게 된다. 여기서 입력된 상수 값들을 이용하여 취득된 전류 신호들을 물리량으로 변환시키는데 앰프에서 게인(gain)을 주어 사용하였을 경우 그 게인을 입력해 주어야만 정확한 물리량을 얻을 수 있다.

AD 설정	장치 설정	TEST MEMO
	Sensitivity (mV/g)	Amp. Gain
Accelerometer	<input type="text" value="9.88"/>	<input type="text" value="1"/>
	Sensitivity (mV/lbf)	Amp. Gain
Force Sensor #1	<input type="text" value="0.511"/>	<input type="text" value="1"/>
Force Sensor #2	<input type="text" value="0.521"/>	<input type="text" value="1"/>
속도 계산범위	<input type="text" value="200"/> Point from the Impact Point	

- 5) 충돌 프로그램내 시험을 위한 특기사항 항목에 시험일자, 시험조건 및 시편의 식별번호 등 시험결과를 분석하기 위한 특기사항을 입력해 넣는다.



- 6) 진자식 충격해머를 전자석에 부착시킨 후 해머의 각도를 초기 설정된 값으로 전자석 이송핸들을 이동시키며 모니터의 각도표시를 확인하여 고정한다.



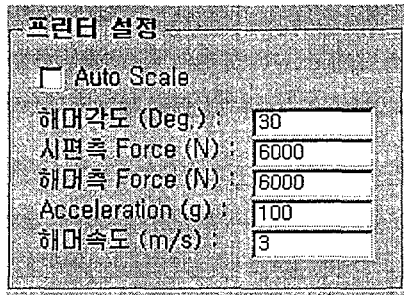
- 7) 만일 상온에서의 시험이 아닌 고온의 환경 하에서 시험을 하고자 할 경우는 노의 문을 닫고, 노내 팬을 기동하기 위해 팬 스위치를 켜고 노내 온도 컨트롤러를 작동하여 노내의 온도를 정해진 온도까지 상승시킨다(상온 하에서의 시험일 경우 본 절차는 생략). 노내 온도가 설정온도까지 상승하였다 하더라도 노내 온도의 균일화를 위해 3분 이상 유지시간을 가져야 한다.
- 8) 프로그램의 “측정시작” 아이콘을 클릭한다. 본 프로그램의 시작 아이콘은 프로그램을 트리거링 모드로 전환시켜 데이터 취득 대기상태를 조성하는 기능을 한다.



- 9) 노의 문을 개방한다. 이때 노내 온도는 고온이므로 시험자는 안전장구를 착용한 후 시험장비를 다루어야 한다.
- 10) 전자석의 전류 스위치를 해제한다.
- 11) 프로그램내의 “결과저장” 아이콘을 클릭한 후 적절한 파일명을 입력하여 결과를 저장한다.



- 12) 결과를 출력하고자 할 경우에는 “결과출력” 아이콘을 클릭하여 해당 결과를 프린터로 출력한다. 이때 각 그래프의 좌표축 범위는 자동 혹은 수동으로 원하는 범위를 설정할 수 있다.



- 13) 충격해머를 다시 해머 고정 장치인 전자석에 부착시킨다.
- 14) 전자석 이송핸들을 사용하여 해머의 각도를 다음 스텝의 설정각도로 고정한다.
- 15) 노의 문을 닫는다.
- 16) 다시 노내 온도를 설정온도까지 상승시킨다.
- 17) 6)에서 9)까지의 시험 절차를 격자체에 좌굴현상, 즉 이전 스텝의 충격력보다 작은 충격력이 나타날 때까지, 이 발생할 때까지 반복한다.
- 18) 시험을 모두 수행한 후에는 “종료” 아이콘을 클릭하여 충돌 프로그램을 종료한다.



5. 시험결과와 수집 및 분석

격자체 동적 충격시험의 측정 데이터들은 충격력, 충격가속도, 해머의 초기 각도 및 되 튼 각도, 노내 온도들이며 이것들은 시간의 영역에서 수집된 신호 값이다. 따라서 이들 데이터를 ASCII 형태로 저장한 것을 다른 스프레드시트 프로그램에서 읽어 들여 해머의 격자체 충격시점을 상세히 분석할 수 있도록 시간 영역을 적절히 선택한다. 충돌 프로그램내에서 해머가 격자체에 충격을 가해 얻게 되는 충격력은 최대값을 찾아 표시해주도록 되어 있으므로 이를 수집하면 되나 충격시점의 가속도는 모니터 상의 크로스 헤드를 사용하여 최대값을 찾도록 한다.

4절 격자체의 자유낙하식 동적 충격시험

1. 서 론

측면에서의 충격하중에 의한 지지격자체의 충격특성(임계 좌굴하중, 좌굴 모드 및 반발계수)을 구하여 외부 하중(지진하중이나 충격하중과 같은)에 따른 구조물의 충격거동을 파악하고자 하였다. 격자구조물의 충격특성을 파악하기 위해 자유낙하 형태의 충격시험을 수행하였다. 지지격자체는 그 격자의 수 및

크기에 따라 충격량도 달라지게 되므로 해머의 중량을 변화시켜야 하나 시험장비의 구조상 해머의 중량을 가변으로 하는 것은 제약이 있어 해머의 상부에 스프링 댐퍼를 부착하여 충격 속도를 완화할 수 있도록 하였다.

측면에서 충격하중을 받는 지지격자체의 충격시험을 위해 자유낙하 형태의 충격시험기를 설정하였다. 자유낙하 높이가 높아짐에 따라 충격속도가 커지므로 일정한 높이에서 충격시험을 시작하여 낙하높이를 증가시키면서 시편으로부터 얻는 충격량이 이전의 단계에서보다 작아질 때까지, 즉 격자체에 좌굴현상이 발생할 때까지 이러한 시험과정을 반복하였다. 일반적인 시험장비의 구성은 일정한 질량을 갖는 충격해머, 마찰력을 최소화한 안내봉, 시편 고정장치, 컬럼 및 메인 프레임 등으로 구성되어 있다. 충격해머의 질량은 약 23.5 kg 이다.

2. 시험의 목적

격자체 동적 충격시험의 목적은 핵연료집합체의 지진이나 냉각재상실사고 발생시 핵연료집합체의 지지격자체에 가해지는 측면에서의 충격하중을 평가하고, 이 하중에 대한 기계적 건전성을 평가할 수 있는 자료로 이용될 수 있다.

3. 시험 요구조건

3.1. 시편

스프링 및 댐퍼의 성형가공이 완료된 내부격자판과 외부격자판을 조립하고 내부격자판들의 교차부, 내부격자판과 외부격자판의 연결부 및 외부격자판들이 연결되는 모서리부를 레이저 용접한 격자체를 시편으로 사용한다. 제조된 시편의 정밀 측정은 입고되기 전에 제작업체에서 수행한다.

3.1.1. 격자체의 형상

시험에 사용될 격자체 시편은 측정결과와 도면의 허용공차와의 비교를 통해 적합한 것만을 사용한다. 격자체 셀 간의 피치 및 외곽치수 등 각 부위의 치수는 비접촉식 3차원 측정기를 사용하여 엄밀히 측정한다.

- 각 격자체의 시편 수량 : 4 개 이상

3.1.2. 표면처리

격자체의 표면은 크랙이 없어야 한다.

3.2. 시험장치

자유낙하 형태의 충격시험기를 그림 2.8에 나타내었으며, 이 시험기는 충격 시험 시나 지진 시에도 바닥면으로부터 전달되는 노이즈를 제거할 수 있도록 견고히 고정하였다. 이 시험기의 상부 구조물은 두 개의 안내봉(guide rods)과 두 개의 지지 기둥(support column)이 기준면으로부터 직립으로 세워져 있다. 시험 목적상 왕복대(carriage)나 시편 고정치구는 두 개의 안내봉 사이에 위치해 있다. 이 왕복대는 일체형으로 된 알루미늄 주조품이며 최소 중량 하에서도 최대의 견고성을 갖도록 강체(rigid) 형상으로 되어 있다. 왕복대의 공진주파수는 진동신호가 울리는 현상(ringing)을 방지하기 위하여 최소의 펄스 신호에 네 배에서 열 배 사이의 값으로 하였다. 왕복대의 순수 질량은 20.43 kg이며, 크기는 254 × 254 mm이고, 최대 낙하 높이는 1676.4 mm이다. 충격가속도는 최대 4000 g 까지 이다. 충격력의 측정은 충격시 시편으로부터 직접 힘 변환기(force transducer)를 사용하여 충격력을 얻는 방법과 스트레인 게이지(strain gauge)를 사용하여 충격시 시편으로부터의 변형률을 측정하는 방법이 있다. 힘 변환기를 사용하는 방법은 적용하기가 쉬우나 충격력에 대해 제한이 있으며, 스트레인 게이지를 사용하는 방법은 하중 신호 값에 대한 선형성을 점검할 필요가 있는 예비시험에 사용하나 신호에 대한 검증(verification)이 어렵고 적용하기가 곤란한 점이 있다. 따라서 본 시험에서는 적용성이 용이하며, 신호에 대한 확인이 상대적으로 쉬운 점을 고려하여 힘 변환기를 왕복대의 하부, 즉 시편과 충돌하는 면, 에 부착하는 방법을 적용하였다. 힘 변환기는 격자구조물의 비선형 동적 충격해석으로부터 구한 최대 충격력을 고려하여 RION사의 모델 PF-31을, 가속도계는 시험시의 충격 가속도 범위를 고려하여 충격시험용인 ENDEVCO사의 모델 2225를 선정하였다.

충격시험의 초기 높이는 에너지 보존의 원리(energy conservation law)와 계의 힘 평형 원리(force equilibrium)로부터 구한 충격속도를 자유높이로 환산하여 설정하였다. 충격력은 좌굴이 발생하기 전까지는 자유낙하 높이에 따라 증가하게 되므로 초기높이로부터 6.35 mm씩 증가하면서 충격신호를 저장하고 이전의 단계에서보다 충격력이 감소하는 높이까지 시험을 수행하였다. 시험을 위한 소프트웨어는 I-STAR[5]를 사용하였으며, 저장된 시험 데이터는 시험 및 해석 데이터 분석을 위한 FEMtools[6]로 분석을 수행하였다. 이 자유낙하 충격시험시 시험의 수행, 데이터의 수집 및 저장을 위한 전체 시스템의 개략을 그림 2.9에 나타내었다.

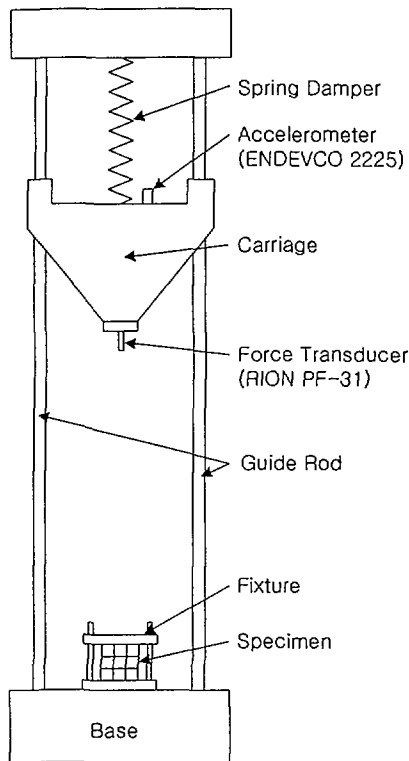


그림 2.8 자유낙하 충격시험기의 개략

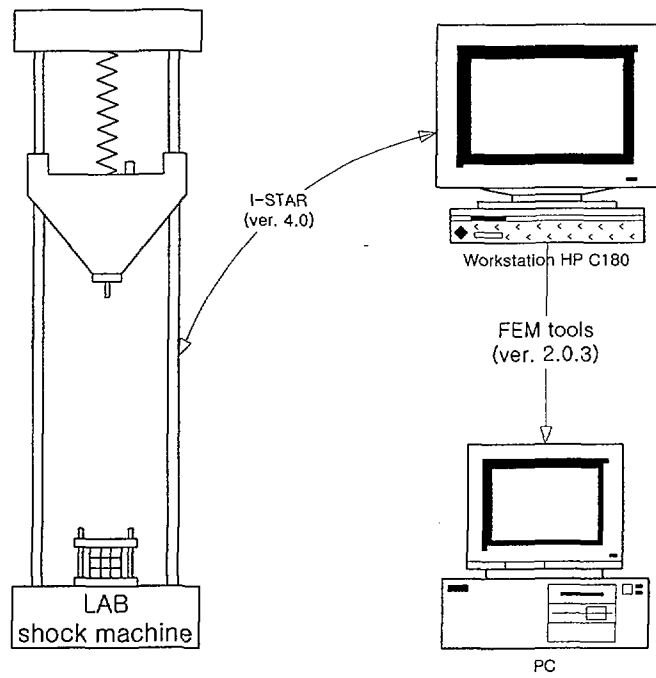


그림 2.9 자유낙하 충격시험시의 데이터 수집 및 분석 프로그램

4. 시험 절차

자유낙하 형태의 충격시험 절차는 다음과 같다.

- 1) 왕복대, 힘 변환기 및 가속도계를 포함한 이동 질량(moving mass)을 기록한다.
- 2) 왕복대를 들어 올리고 시편을 고정할 공간을 확보한다.
- 3) 시험기의 전원을 차단한다.
- 4) 시편을 고정치구에 고정한다.
- 5) 시편을 왕복대의 중심선과 정확히 일치시킨다.
- 6) 힘 변환기 케이블을 앰프에 연결한다.
- 7) 데이터 저장 시스템을 기동한다.
- 8) 시편의 고정상태를 확인한다.
- 9) 시험기의 전원을 켜다.
- 10) 이동 질량을 초기 낙하높이로 들어올린다.
- 11) 이동 질량을 자유낙하 시킨다.
- 12) 충격력 대 시간의 그래프를 얻는다.
- 13) 최대 충격력과 자유낙하 높이를 기록한다.
- 14) 초기 낙하높이를 정해진 단계만큼 증가시킨 후 단계 10)에서 13)까지를 반복하여 충격력이 이전 단계에서 보다 작아질 때까지 반복한다.

고정치구로부터 시편을 분리하고 데이터 시트에 좌굴 발생위치를 기록한다.

5. 시험 결과의 수집 및 분석

격자체의 자유낙하 충격시험으로부터 얻은 FRF 데이터는 유니버설 파일 형태로 저장되게 되므로 이를 FEMtools를 사용하여 각 채널 당 데이터인 충격력, 충격가속도 및 충격속도에 대한 그래프를 얻을 수 있으며, 필요시 이를 ASCII 형태로 변환하여 다른 스프레드 시트 프로그램에서도 충격특성 그래프를 얻을 수 있다. 최종적으로, 왕복대가 시편에 충격을 가할 때의 충격속도는 직접 적분

알고리즘을 내장한 앰프에서 충격시의 가속도를 적분한 결과를 다른 채널에서 얻게 된다[7].

제 3 장 결 론

경수로용 신형핵연료 개발의 고성능 지지격자 구조기술 개발과제에서 구축한 지지격자체의 기계/구조적 성능시험장치들의 기능과 특성을 기술하고, 아울러 이들을 운용하기 위한 시험절차를 기술하였다. 지지격자 격자판 지지부의 특성시험은 격자 단위의 시험보다는 셀 단위의 시험이 연료봉 지지부 자체의 특성을 정확히 도출해 낼 수 있을 것으로 판단되나, 별도의 시편 고정치구를 사용하면 격자 단위의 시험도 수행할 수 있게 하였다. 격자체의 정적 좌굴시험 및 동적 충격시험은 부분 격자체와 전체 셀 크기의 격자체 시험도 가능하도록 시험장치를 셋업하였다. 또한 격자체의 진자식 동적 충격시험은 상온에서 뿐 아니라 운전 온도의 환경 하에서도 시험을 수행할 수 있도록 하였다. 따라서 본 기계/구조적 시험절차를 적용하면 고안된 지지격자나 기 사용중인 지지격자체의 기계/구조적 특성시험을 엄밀히 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] 윤경호 외 3인, “노내 지지격자 스프링의 지지거동 예측을 위한 방법론 개발”, KAERI/TR-1041/98, 한국원자력연구소, 1998.
- [2] 강홍석 외 4인, “핵연료집합체 지지격자체에 대한 기계적 시험”, KAERI/TR-868/97, 한국원자력연구소, 1997.
- [3] 김우곤, 김대환, “INSTRON 4505 시험기의 고온 인장시험 절차서”, NMTD-RI&DB-TECHMEMO001/1999, Rev. 00, 1999.
- [4] C. M. Harris and C. E. Crede, “Shock and vibration handbook”, 4th ed., McGraw-Hill Book Co., 1996.
- [5] “I-STAR User’s manual (version 4.0)”, Concurrent Computer Corporation, 1996.
- [6] “FEMtools User’s manual (version 2.0.3)”, Dynamic Design Solutions, Louven, Belgium, 2000.
- [7] 윤경호 외 3인, “측면 충격하중에 의한 지지격자체의 좌굴거동 해석”, KAERI/TR-1569/00, 한국원자력연구소, 2000.

첨 부

- 온도 컨트롤러 성적서(YOKOGAWA)
- 가속도계 성적서(PCB 353B31)
- 힘 변환계 성적서(PCB 202B)
- 각도 변환계(PAS-9009)

成績表 TEST CERTIFICATE

製品名称 PRODUCT NAME	UT350/UT320デジタル指示調節計 (DIGITAL INDICATING CONTROLLER)	タグNo. TAG NO.	-----
形名 MODEL	UT350-00	計器番号 SERIAL NO.	T5005TN904
手配No. ORDER NO.	9P00212-C04563		

測定精度 MEASUREMENT ACCURACY	項目 ITEMS	結果 RESULT
レンジ RANGE	許容誤差 ALLOWABLE ERROR	結果 RESULT
熱電対レンジ THERMOCOUPLE RANGE	±(0.1% OF FS±1digit) *1)	良, GOOD
測温抵抗体レンジ RTD RANGE	±(0.1% OF FS±1digit) *2)	良, GOOD
mV, Vレンジ mV, V RANGE	±(0.1% OF FS±1digit)	良, GOOD
TYPE K(RJC)	0°C±1.7°C以内 BELOW 0°C±1.7°C	良, GOOD

項目 ITEMS	結果 RESULT
APPEARANCE	良, GOOD
絶縁抵抗 INSULATION RESISTANCE	良, GOOD
耐電圧 WITHSTAND VOLTAGE	良, GOOD

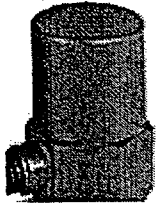
- Notes: *1 DIGITは表示最小単位 DIGIT MEANS MINI.DISPLAY UNIT
- ・TYPE B,S,R : ±(0.15% OF FS ±1digit)
 - ・TYPE B 0~400°Cの範囲: ±(5% OF FS ±1digit)
RANGE OF 0 TO 400°C
 - ・TYPE N : ±(0.20% OF FS ±1digit)
 - ・TYPE K,J,T,E,L,U 0°C以下: ±(0.20% OF FS ±1digit)
0°C OR BELOW
 - ・PR20-40 : ±(0.5% OF FS ±1digit)
但し, 800°C未満は精度保証外
 - ・熱電対入力の場合、基準接点補償誤差は含まず。
FOR THERMOCOUPLE INPUT, THE VALUE GIVEN INCLUDES
REFERENCE JUNCTION COMPENSATION ERROR
 - *2 -150~150°Cのレンジ: ±(0.20% OF FS ±1digit)
RANGE OF -150.00 TO 150.00°C
 - *3 測定レンジの誤差を含める
INCLUDE ERRORS OF THE RANGE FOR MEASURING
 - *4 UT350/320-2□のみ対応します。

注記) この成績表書式はUT350/UT320にて共通です。

日付 DATE	1999-03-16	室内温度・湿度 AMBIENT TEMP&HUM.	21 °C 25 %
検査者 INSPECTOR	YANG YONG MIN	承認者 APPROVED BY	KWEON SUN GI 1.9 YKO

電流出力1 CURRENT OUTPUT1	スパンの±0.3%	良, GOOD
	電流出力2 *4 ±0.3% OF SPAN	
	電流出力2 CURRENT OUTPUT2	-----
	制御出力 CONTROL OUTPUT	電圧パルス1 VOLTAGE PULSE1 12V 以上
	電圧パルス2 *4 (12V OR MORE)	-----
	リレー接点1 RELAY CONTACT1 NO, NC, コモン3端子	良, GOOD
	リレー接点2 *4 NO-COMM, NC-COMM	-----
	リレー接点2 RELAY CONTACT2	-----
伝送出力 TRANSMIT OUTPUT	4 TO 20mA DC	良, GOOD
	その他の OTHERS	L P S出力 LPS OUTPUT 14.5~16.0V
TC入力レンジ TC INPUT RANGE	TC入力レンジ	良, GOOD
	RTD入力レンジ RTD INPUT RANGE	良, GOOD
無電圧接点入力(2点) VOLTAGELESS CONTACT INPUT(2p)	警報動作(2 or 3点) ALARM ACTION (2p or 3p)	良, GOOD
	表示・キー動作 DISPLAY AND KEY INSPECTION	良, GOOD

オプション項目 OPTIONS	結果 RESULT
ヒーター断線警報 電流設定精度検査 HEATER LINE-CUT ALARM CURRENT ACCURACY	-----
RS485通信インターフェイス機能検査 RS485 INTERFACE TEST	-----



Model 353B03 General Purpose Quartz ICP[®] Accelerometer

The Model 353B03 is a quartz shear ICP[®] accelerometer designed for general purpose measurements. It has a sensitivity of 10 mV/g. The quartz shear-mode sensing elements reduce sensitivity to adverse environmental inputs, such as thermal transients, base strain, and transverse motion. The Model 353B03 features a side-exit, 10-32 coaxial connector. Its frequency range of 1 to 7 000 Hz ($\pm 5\%$) makes this sensor an ideal candidate for general purpose vibration measurements such as vehicle studies, product qualification studies, structural response tests and vibration control.

Model: 353B03 General Purpose Quartz ICP[®] Accelerometer, 10 mV/g, 10.5 gm	
Voltage Sensitivity ($\pm 5\%$)	10 mV/g (10,2 mV/[m/s ²])
Measurement Range	± 500 g pk (\pm m/s ² pk)
Frequency Range ($\pm 5\%$)	1 to 7 000 Hz
Mounted Resonant Frequency	≥ 38 kHz
Broadband Resolution	0.003 g rms (0,03 m/s ² pk)
Operating Temperature Range	-65 to + 250 °F (-54 to +121 °C)
Sensing Element	QuartzShear
Size (hex x height)	0.50 x 0.81 inch (12,7 x 20,6 mm)
Weight	0.38 oz (10,5 gm)
Electrical Connector	10-32 Coaxial/Side
Mounting Thread	10-32 Female

Calibration Data Card
SHEAR ACCELEROMETER

MODEL# 353B03
SERIAL# 60527

VOLTAGE SENSITIVITY: 9.88 mV/g
FREQUENCY RANGE: 1-7000 Hz
OUTPUT BIAS LEVEL: 9.5 V
Date: 11-26-99 By: AS.

For further information please refer to
Calibration Certificate.

 **PCB PIEZOTRONICS™**

Shock and Vibration Sensors Division
3425 Walden Ave • Depew, NY 14043
888-684-0013



#1

CALIBRATION CERTIFICATE

Model: 202B
Serial #: 2859
Description: Force Sensor
Type: ICP

Date: 3/16/99
By: Ron Stevens, Cal.Tech. 25
Station: 0-10,000 lb. Load Cell

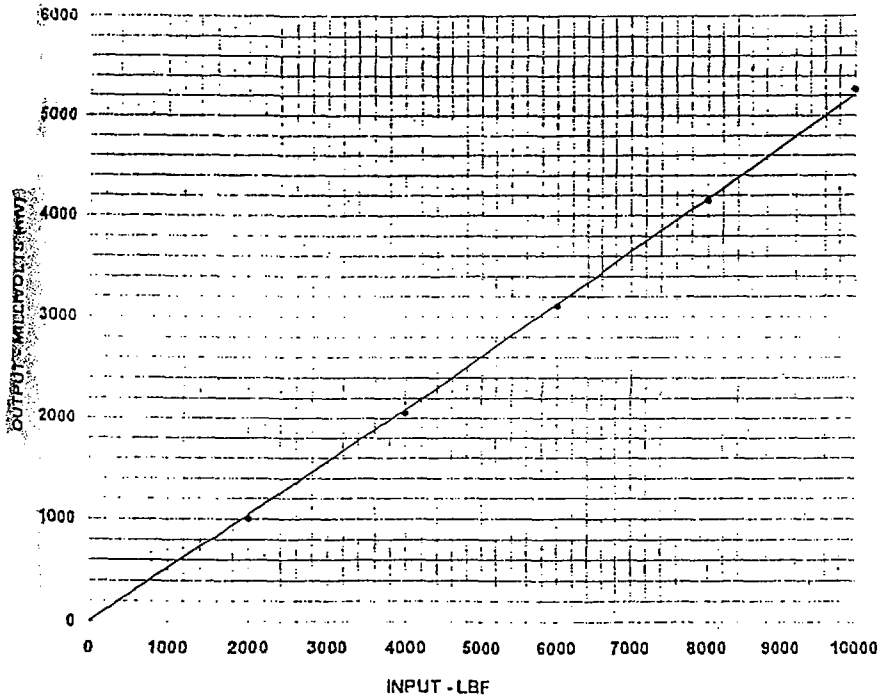
Sensitivity*: 0.521 mV/LBF
Linearity*: 0.98% FS

Cert #: 28284

*Zero based, least-squares straight line.

Notes:

- 1. This sensor is calibrated with a beryllium copper stud. The sensor is preloaded to 20% of the full scale working range prior to calibration.
- 2. Calibration is traceable to NIST and complies with ISO 10012-1 and former MIL-STD-45662A.
- 3. NIST traceability through project # 822.07/256377
- 4. This certificate may not be reproduced, except in full, without written approval.



TEST DATA

INPUT (LBF)	OUTPUT (mV)
2000	1000
4000	2050
6000	3100
8000	4150
10000	5260

PCB PIEZOTRONICS, INC.
3425 Walden Avenue, Depew NY 14043
Tel: 716-684-0001 Fax: 716-684-0987
Email: sales@pcb.com Web: www.pcb.com

ISO 9001 CERTIFIED



#2

CALIBRATION CERTIFICATE

Model: 202B
Serial #: 2860
Description: Force Sensor
Type: ICP

Date: 4/27/99
By: Daniel Ott, Cal. Tech. *DO*
Station: 0-10,000 lb. Load Cell

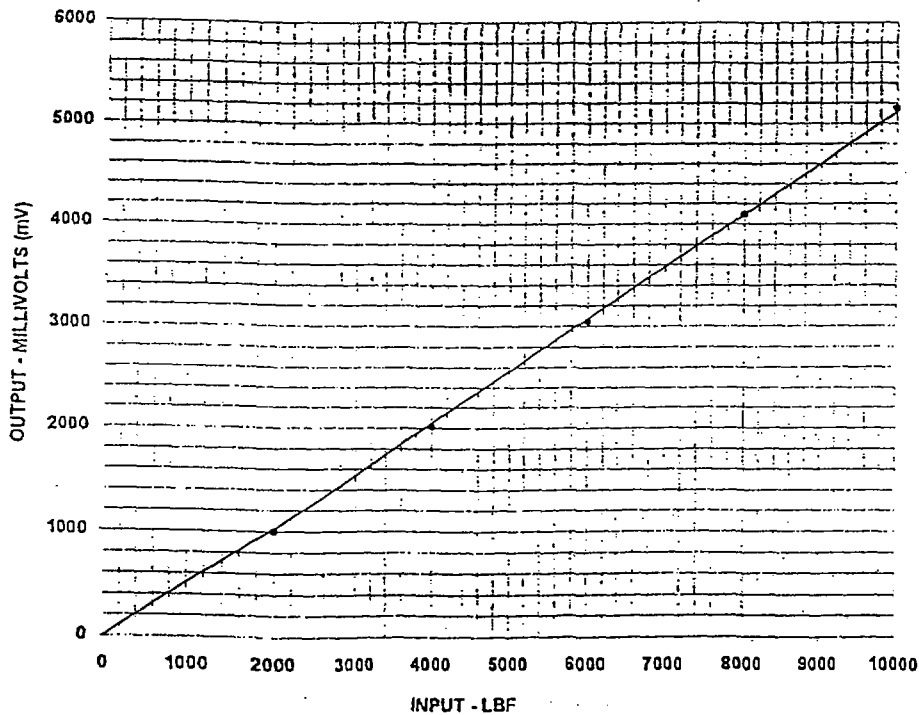
Sensitivity*: 0.511 mV/LBF
Linearity*: 0.71% FS

Cert #: 32239

* Zero based, least-squares straight line.

Notes:

- 1 This sensor is calibrated with a beryllium copper stud. The sensor is preloaded to 20% of the full scale working range prior to calibration.
- 2 Calibration is traceable to NIST and complies with ISO 10012-1 and former MIL-STD-45662A.
- 3 NIST traceability through project # 822.07/256377
- 4 This certificate may not be reproduced, except in full, without written approval.



TEST DATA

INPUT (LBF)	OUTPUT (mV)
2000	1000
4000	2010
6000	3040
8000	4090
10000	5150

PCB PIEZOTRONICS, INC.
3425 Walden Avenue, Depew NY 14043
Tel: 716-684-0001 Fax: 716-684-0987
Email: sales@pcb.com Web: www.pcb.com

ISO 9001 CERTIFIED



(주)파워엔지니어링
For the People, To the World

국산 신기술인증, 국가교정검사기관지정



PAS - 9009

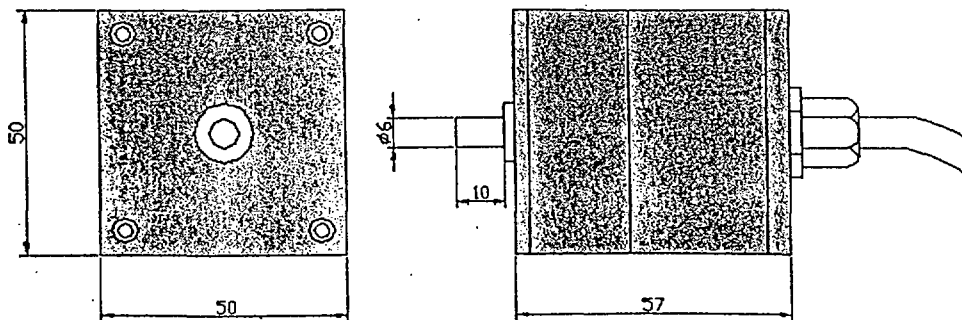
Feature

- ✓ 절대각 형식의 각변위 센서
- ✓ 아날로그 전압 출력 방식 (0 to 5 VDC)
- ✓ 사용환경에 의한 영향이 적은 견고한 디자인

Specifications

- Model 명 : PAS-9009
- Type : Absolute angle, Analog Output
- Range : 0 to 90 Deg.
- Sensitivity : 30 mV/Deg.
- Power Required : 5 VDC, 200 mA
- Shaft Diameter : 6 mm
- Pin Assignments (4-wire Type)
 - Green : Signal +
 - Black : Signal -
 - Red : Power Supply + (5 VDC)
 - White : Power Supply -

Dimensions



서 지 정 보 양 식

수행기관보고서번호	위탁기관보고서번호	표준보고서번호	INIS 주제코드		
KAERI/TR-1598/00					
제목/부제	지지격자체의 기계/구조적 성능시험 기술개발				
연구책임자/부서명 (TR,AR경우 주저자)	윤경호(핵연료제조기술개발팀)				
연구자 및 부서명	강홍석,김형규,송기남(핵연료제조기술개발개발팀)				
출판지	대전	발행기관	한국원자력연구소	발행년	2000.06.
페이지	33 p	도표	있음(<input checked="" type="checkbox"/>), 없음(<input type="checkbox"/>)	크기	19×26cm
참고사항	고성능지지격자 구조기술개발과제				
비밀여부	공개(<input checked="" type="checkbox"/>), 대외비(<input type="checkbox"/>), ___급비밀		보고서종류	기술보고서	
연구위탁기관			계약번호		
초록(15-20줄내외)	<p>경수로용 핵연료집합체에서 지지격자는 연료봉들이 횡방향 및 종방향으로 정위치를 유지하도록 하여 연료봉간의 냉각경로가 보장되도록 하며, 또한 핵연료집합체가 하나의 지지 구조물을 형성하게 하는 기능을 갖는 핵심구조부품이다. 고성능 지지격자를 개발하기 위해서는 고안된 지지격자체에 대한 기계/구조적 성능시험을 통해 지지격자체의 성능이 입증되어야 하며, 따라서 이에 대한 시험절차를 확립할 필요가 있다. 본 보고서에서는 지지격자 격자판 지지부의 특성시험, 격자체의 정적 좌굴시험 및 동적 충격시험에 대해 기술하였다. 격자판 지지부의 특성시험을 위한 시험장치는 만능인장시험기를 사용하였고, 단위 셀의 시편을 고정치구에 고정하고 가중시 및 해중시의 변위와 그 때의 하중을 취득하여 특성곡선을 생산하고자 하였다. 격자체의 정적 좌굴시험을 위한 시험장치는 만능인장시험기를 사용하였고, 단일 방향의 압축하중을 가하고 그에 대한 하중을 얻는 단순압축 시험방법을 적용하였다. 그리고 격자체의 동적 충격시험을 위한 시험장치는 진자식 충격시험과 자유낙하 충격시험기를 구축하여 시험을 수행하고자 하였다. 특히 진자식 충격시험기는 별도의 노가 설치되어 있어 핵연료의 운전온도인 고온의 환경 하에서도 시험을 수행할 수 있게 하였다.</p>				
주제명키워드 (10단어내외)	고성능 지지격자, 특성시험, 하중-변위 선도, 정적 좌굴강도, 자유낙하 충격시험, 충격모드, 임계 충격속도				

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET							
Performing Org. Report No.		Sponsoring Org. Report No.		Standard Report No.		INIS Subject Code	
KAERI/TR-1598/00							
Title/Subtitle		Mechanical/Structural Performance Test Method of a Spacer Grid					
Project Manager and Department		Yoon, Kyung Ho(Advanced Fuel Development Team)					
Researcher and Department		Kang, Heung Seok, Kim, Hyung Kyu, Song, Kee Nam (Advanced Fuel Development Team)					
Publication Place	Taejon	Publisher	KAERI	Publication Date	2000. 06.		
Page	33 p.	Ill. & Tab.	Yes(<input checked="" type="checkbox"/>), No (<input type="checkbox"/>)	Size	26 Cm.		
Note							
Classified	Open(<input checked="" type="checkbox"/>), Restricted(<input type="checkbox"/>), ___ Class Document		Report Type	Technical Report			
Sponsoring Org.				Contract No.			
Abstract(15-20 Lines)		<p>The spacer grid is one of the main structural components in the fuel assembly, which supports the fuel rods, guides cooling water, and protects the system from an external impact load, such as earthquakes. In order to develop the spacer grid with the high mechanical performance, the mechanical and structural properties of the spacer grids must be extensively examined while designing it. In this report, the mechanical/structural test methods, i.e. the characteristic test of a spacer grid spring or dimple, static buckling test of a partial or full size spacer grid and dynamic impact test of them are described. The characteristic test of a spacer grid spring or dimple is accomplished with universal tensile test machine, a specimen is fixed with test fixture and then applied compressive load. The characteristic test data is saved at loading and unloading event. The static buckling test of a partial or full size spacer grid is executed with the same universal tensile testing machine, a specimen is fixed between crossheads and then applied the compressive load. The buckling strength is decided the maximum strength at load vs. displacement curve. The dynamic impact test of a partial or full size spacer grid is performed with pendulum type impact machine and free fall shock test machine, a specimen is fixed with test fixture and then applied the impact load by impact hammer. Specially, the pendulum type impact test machine is also possible under the operating temperature because a furnace is separately attached with test machine.</p>					
Subject Key words (About 10 words)		High Performance Spacer Grid, Characteristic Test, Load vs. Displacement curve, static Buckling strength, Free Fall Shock Test, Buckling Mode, Critical Buckling Strength, Critical Impact Velocity					