



KR0100852

KAERI/TR-1649/2000

Test Procedure

Endurance Test on IR Rig for RI Production

August 2000

Korea Atomic Energy Research Institute

32 / 42
~~4~~

제 출 문

한국원자력연구소장 귀하

본 보고서를 하나로운영과 관련하여 “Endurance Test on IR Rig for RI Production (Test Procedure)” 기술보고서로 제출합니다.

2000년 9 월

주 저 자 : 정 홍 준 (열수력안전연구팀)

공동저자 : 류 정 수 (하나로운영팀)

Test Procedure

Endurance Test on IR Rig for RI Production

RI-TP-TH-00001

REVISION 00

한국원자력연구소

Table of Contents

| | |
|---|----|
| 1. Introduction | 5 |
| 2. Test Objectives | 6 |
| 3. Scope | 7 |
| 4. Quality Assurance and Reporting | 8 |
| 5. Test Facility | 9 |
| 5. 1 Test Loop | 9 |
| 5. 2 Test Section | 9 |
| 5. 3 RI 생산용 IR Rig | 9 |
| 5. 4 Instrumentation | 10 |
| 5. 5 Data Acquisition System | 11 |
| 6. Test Procedure | 12 |
| 6. 1 Pressure Drop and Vibration Test | 12 |
| 6. 1. 1 Test Method and Condition | 12 |
| 6. 1. 2 Test Procedure | 12 |
| 6. 2 Endurance Test | 12 |
| 6. 2. 1 Test Method and Condition | 12 |
| 6. 2. 2 Test Procedure | 13 |
| 7. Acceptance Criteria | 14 |
| 8. References | 15 |

List of Tables

| | | |
|---------|---|----|
| Table 1 | Technical Specifications of Each Instrument | 16 |
| Table 2 | Calibration Equation of Each Instrument | 17 |
| Table 3 | Technical Specifications of Laser Vibrometer | 18 |
| Table 4 | Technical Specifications of DT-2821 A/D Converter | 19 |

List of Figures

| | | |
|----------|--|----|
| Figure 1 | Schematic Flow Diagram of the Cold Test Loop I | 20 |
| Figure 2 | Test Section with Laser Vibrometer Setup | 21 |

1. Introduction

본 문서는 “방사성 동위원소 제조 및 이용기술 개발” 과제에서 설계/제작한 방사성 동위원소(RI) 생산용 IR Rig에 대한 압력강하 실험, 진동 실험 및 내구성 실험의 실험절차 및 측정장비에 대한 기술사양에 대하여 기술한다. 본 실험들은 원자력 연구소 열수력안전연구팀의 상온·상압 실험장치인 Cold Test Loop I에서 수행된다. 그리고, 실험의 일반 요구조건들은 Technical Specification[1]을 따르며, 이에 따라 Test Procedure가 작성되었다.

현재 가동되고 있는 하나로에 방사성 동위원소 생산용 IR Rig를 장전하기 위해서는 하나로 정상 운전조건과 동일한 온도, 유량조건에서 캡슐에 대한 압력강하 실험을 실시하여 Rig의 설계요건을 검증하고 하나로 노심과의 수력학적 양립성을 입증하여야 한다. 또한, 진동실험 및 내구성 실험을 통하여 Rig가 장시간 동안 장전되어 운전되었을 때, 마모(Wear)가 발생하는지 여부를 실험적으로 규명하여 하나로에서 방사성 동위원소 생산을 안전하게 수행할 수 있음을 증명하여야 한다.

2. Test Objectives

본 실험절차서는 RI 생산용 IR Rig에 대한 압력강하실험, 진동실험 및 내구성실험을 위한 실험장치, 실험방법 및 실험절차 등에 대하여 상세히 기술한다.

압력강하실험을 실시하여 Rig의 수력학적 설계요건을 검증하고, 하나로 제한조건(압력강하 200 kPa 이상, 유량 19.6 kg/s 이하)에 대한 만족 여부를 확인하고 원자로 노심과의 수력학적 양립성을 입증한다.

유체유인진동실험을 실시하여 진동주파수, RMS(Root Mean Square) 진동변위 및 최대진동변위 등 Rig의 진동특성을 규명하고, 내구성 실험을 통하여 조사기간 동안 장전되어 운전되었을 때, 유체유인진동에 의하여 마모(Wear)가 발생하는지 여부를 실험적으로 규명하고, 마모흔적 발생시 최대 예상 조사기간까지 예측된 마모 손상을 평가한다.

3. Scope

하나로 조사공에 장전되는 Rig에 대한 압력강하실험, 진동실험 및 내구성실험에 대한 일반적인 요건은 다음과 같다.

모든 실험은 한국원자력연구소 열수력안전연구팀에서 수행함을 기본으로 하며, 실험 Loop, 실험장치 및 각종 센서의 교정과 건전성을 유지하여 실험을 수행하는데 필요한 조치를 취한다. 아울러, Rig의 내구성시험 전과 후의 상태를 촬영하여 사진 기록으로 남긴다.

열수력안전연구팀에서는 실험절차서를 작성하고 실험전에 하나로 운영팀의 검토를 받는다. 열수력안전연구팀, Rig 설계/제작팀 및 하나로 운영팀 담당자들이 Rig의 설계 및 제작상태를 면밀히 점검하고, 실험 전후 및 중간에 상세 실험절차, 필요시 설계변경 및 결과 평가에 대하여 검토한다.

열수력안전연구팀에서는 압력강하실험, 진동실험 및 내구성실험 수행 및 분석업무를 수행한다. Rig 설계/제작팀은 Rig의 조립과 칫수검사, 내구성실험 전후의 마모 검사 및 평가를 수행한다. 위 두 팀의 업무를 하나로 현장조건을 반영하여 하나로 운영팀에서 검토한다. 모든 실험 관련 기록을 유지 및 보관한다.

4. Quality Assurance and Reporting

본 실험절차서에 기술된 압력강하실험, 진동실험 및 내구성실험은 Technical Specification[1]에 명시된 QA Program에 따라 수행된다.

본 실험 절차서에 의해 획득된 모든 측정 데이터들은 교정된 계측 장비를 사용하여 얻어진 것이어야 하며, 교정성적서 등 그 근거서류들이 확보되어야 한다.

열수력안전연구팀은 측정데이터의 획득 및 분석을 위한 지시서를 작성하고 이를 이행하여야 하며, 측정데이터를 기록하기 위한 방안을 마련한다. 측정데이터를 기록한 기록서에는 다음과 같은 사항이 포함되어야 하며 그 유효성을 입증하기 위하여 품질보증요원의 확인이 필요한 경우 협조를 요청한다.

- 측정 대상 품목 및 부위
- 본절차서에서 요구한 기술적 측정데이터
- 측정일자
- 측정자 또는 기록자 성명 및 서명
- 측정방법 및 사용된 측정기기의 일련번호 및 교정유효일자
- 측정결과 및 적합성여부
- 부적합사항의 발생시 그 조치결과
- 측정결과에의 평가 및 평가자의 서명

측정데이터의 분석이 완료되면 그 분석결과는 실험보고서에 기술되어야 한다. 측정데이터가 기록된 모든 문서는 열수력안전연구팀의 문서보존 절차에 따라 적어도 5년 동안 보존되어야 한다. 본 실험절차서는 실험 수행 전에 하나로 운영팀 담당자의 검토를 득한 후 품질보증 부서장 및 열수력안전연구팀 책임자의 승인을 득하여야 한다. 또한, 실험결과, 분석 및 평가에 대한 기술보고서는 열수력안전연구팀 담당자의 검토를 득 해야 하며, 필요시 하나로 운영팀 담당자의 검토를 득한 후 과제책임자의 승인을 받아 발간되어야 한다.

5. Test Facility

5. 1 Test Loop

본 실험은 열수력안전연구팀의 상온·상압 실험장치인 Cold Test Loop I에서 수행된다. Cold Test Loop I은 Figure 1에 나타난 바와 같이 저장수조, 가변속도모터 펌프, Test Section, 모터 제어장치, 온도 제어장치 및 관련 배관 등으로 구성된다.

Test Section에 공급되는 유량은 모터 제어장치에 의한 펌프 회전속도에 의해 제어되며, 이때 공급되는 유량은 Turbine 유량계에 의해 측정된다. 실험 중 폐쇄회로를 흐르는 순환수 온도를 일정하게 유지하기 위하여 PID Controller, Control Valve, SCR Unit, Heater 및 RTD(Resistance Temperature Detector)등으로 구성되는 온도 제어장치를 이용한다. 즉, PID Controller에 원하는 온도를 입력시키면 SCR Unit에 의해 Heater가 작동하여 원하는 온도까지 순환수를 가열시키게 되며, 온도 설정치가 RTD로부터 측정되어지는 PV(Position Value)치를 초과할 경우 Control Valve가 열리면서 상수도에 연결된 보충수 배관을 타고 차가운 물이 저장수조내로 유입되어 온도는 일정하게 유지된다. 저장수조내의 수위는 Over-flow Drain을 설치하여 일정하게 유지된다.

5. 2 Test Section

실험용 유동관은 하나로 36봉 핵연료 집합체용 Zircaloy 재질의 실제 원형 유동관을 이용한다. Receptacle에 하나로 36봉 핵연료 집합체용 Orifice가 삽입되고, Zircaloy 유동관은 90 N·m의 일정한 힘으로 Receptacle에 체결된다. 유동관의 외부에는 Flow Housing이 장전되는데, 진동실험시 Laser Beam이 투과될 수 있도록 투명한 아크릴로 제작되었다. Figure 2에 Test Section을 보여준다. Flow Housing 및 Receptacle에 대한 제작도면은 참고문헌[2]에 제시되어 있다.

5. 3 RI 생산용 IR Rig

실험에 사용되는 IR Rig는 참고문헌[3]에 따라 제작된다.

5. 4. Instrumentation

실험 중 Test Section으로 공급되는 유량은 OMEGA Turbine 유량계로 측정한다. Turbine의 회전수와 유량간에는 다음의 일정한 관계가 성립한다.

$$\dot{Q} = A + BH \quad (1)$$

여기서, \dot{Q} : Flow Rate(GPM)

A, B : Constant(Given by OMEGA)

H : Frequency(Hz)

식 (1)에서 유량을 구하는데 이용되는 H는 Turbine의 회전수에 비례하여 Turbine 유량계 전자부(Electronic Part)를 통하여 출력되는 전기적 신호를 측정함으로써 구해지며, 다음의 관계가 성립한다.

$$H = A_2 + B_2 V \quad (2)$$

여기서, A_2, B_2 : Calibration Constant

V : Voltage(Volt)

실험대로 유입되는 순환수의 온도는 RTD로 측정하며 이는 또한 온도제어용 PID Controller에 입력변수로서 이용된다. Test Section 입구 압력 및 각 측정부위에서 발생하는 압력강하는 Rosemount사의 Smart Type 압력발신기와 차압발신기로 측정한다. 압력발신기와 차압발신기는 예비실험을 통하여 최적의 측정범위로 교정된다. Table 1에 각 계측기의 기술사양을 측정변수와 함께 나타내었고 Table 2에는 각 계측기의 교정식(Calibration Equation)을 제시하였다.

IR Rig의 진동은 Laser Vibrometer(Polytecc Model : FV3001)를 이용하여 측정한다. Laser Interferometer로부터의 입사광은 진동물체로부터 반사되어 여러 Lens 조합을 거쳐 Signal Processor에 전달되어 진동물체의 진동속도와 진동변위에 해당되는 전기신호로 변환된다. 이 전기적 신호는 Computer Memory에 일단 저장되고 FFT(Fast Fourier Transform) 과정을 통하여 주파수 대 진폭의 함수를 얻고 이 결과로부터 진동주파수, RMS 값 및 Peak 값 등을 판별한다. Table 3에 Laser Vibrometer의 주요사양을 제시하였다.

5. 5 Data Acquisition System

각 계측기에서 발생하는 전기적 신호는 Data Acquisition System(DAS)과 본 실험을 위해 작성된 구동 Program에 의해 수집되고 처리된다. DAS는 Personal Computer, DT-2821 A/D Converter 등으로 구성된다. A/D Converter의 기술사양은 Table 4에 제시하였다. 구동 Program은 Main Program과 Sub-Program 등으로 구성되며, Main Program은 실험자료의 처리에 필요한 Mini-Element Assembly의 제원과 계측기의 교정식 등을 저장한다. Sub-Program은 처리된 실험자료의 출력과 주어진 온도, 압력 조건에서 순환수의 물성치를 계산할 수 있는 Steam Table 등으로 구성된다.

6. Test Procedure

6. 1 Pressure Drop and Vibration Test

6. 1. 1 Test Method and Condition

압력강하 실험은 설계유량(압력강하 200 kPa 유발유량)을 포함하여 Test Loop의 최소유량에서 설계유량의 약 120% 범위에서 실시된다. 실험은 내구성 실험 전·후 각각 유량을 1.0 kg/s 변화시키면서 총 4회 실시하며, IR Rig에서 발생하는 전체 압력강하를 측정한다. 진동실험은 압력강하실험과 동일한 유량 범위에서 실시되며, Grapple Head 부분에 대하여 90° 간격을 두고 서로 다른 2개의 지점에서 수행된다. 압력강하실험 및 진동실험은 순환수 온도 40 °C 조건에서 실시된다.

6. 1. 2 Test Procedure

- (1) 육각형 유동관을 Receptacle에 장전(장전 Torque 90 N·m 확인).
- (2) 실험용 IR Rig를 유동관에 장전하고 초기위치 확인/기록
- (3) 외부 아크릴관(Flow Housing) 조립
- (4) Test Section에 순환수를 채우고 누수 검사
- (5) 각 계측기기 및 배관 배기
- (6) Pump를 가동하여 최소의 유량범위에 Setting(약 1.8 kg/s)
- (7) Heater를 가동하여 순환수 온도가 40±1°C가 될 때까지 가열
- (8) 내구성실험 전 압력강하실험 실시(2회)
- (9) 내구성실험 전 진동실험 실시(2회)
- (10) 내구성실험 후 압력강하실험 실시(2회)
- (11) 내구성실험 후 진동실험 실시(2회)
- (12) 실험관련 내용을 상세히 기록하고 유지 및 보관

6. 2 Endurance Test

6. 2. 1 Test Method and Condition

내구성시험의 경우 순환수 온도 40℃ 조건과 설계유량의 110% 유량에서 20일간 실시되며 매 24시간마다 진동변위 변화를 육안 관찰하고, 일정시간 연속 시험 후 시험부를 해체하여 방사성 동위원소 생산용 IR Rig에 대하여 육안검사를 실시한다. 마모가 발견되면 필요시 세척하고 마모의 정도를 정밀 측정/기록한다.

6. 2. 2 Test Procedure

- (1) IR Rig 및 부품들에 대한 외형 칫수검사 와 육안검사 실시
- (2) 내구성시험 전에 방사성 동위원소 생산용 IR Rig 및 부품들의 사진을 찍어 기록 유지
- (3) 원통형 유동관을 Recetacle에 장착(장전 Torque 90 N·m 확인)
- (4) 시험용 IR Rig를 유동관에 장전하고 초기 위치 확인/기록
- (5) 외부 아크릴관(Flow Housing) 조립
- (6) Test Section에 순환수를 채우고 누수 검사
- (7) 각 계측기기 배기 및 작동검사
- (8) Pump를 가동하여 최소의 유량범위에 Setting(약 4 kg/s)
- (9) Heater를 가동하여 순환수 온도가 $40\pm 1^{\circ}\text{C}$ 가 될 때까지 가열
- (10) 내구성시험 유량에 Setting(설계유량의 약 110%)
- (11) 내구성시험 시작 및 시간 기록
- (12) 매 24시간마다 진동변위 변화 육안 관찰(필요 시 진동시험 실시)
- (13) 규정시간 경과 후 압력강하 및 진동시험 실시
- (14) 내구성시험 종료 및 시험부 해체
- (15) IR Rig에 대한 최종 육안 마모손상 확인 및 칫수검사/기록
- (16) 내구성시험 후 IR Rig 및 부품들의 사진을 찍어 기록 유지
- (17) 마모손상 발견되면 최대 장전기간까지 예측된 마모손상을 평가
- (18) 시험관련 내용을 상세히 기록하고 유지/보관

7. Acceptance Criteria

본 실험절차서에 명시된 모든 실험들이 종료된 후 IR Rig는 다음의 Acceptance Criteria를 만족하여야 한다.

압력강하 : 200 kPa 이상

유 량 : 19.6 kg/s 이하

진동변위 : Grapple head에서 300 μ m 미만

또한 내구성실험 결과 특정한 마모가 발생되지 않아야 하나, 마모흔적이 발견되면 허용 마모기준으로는 마모로 인하여 내구성시험후 마모로 인하여 제거된 부위를 측정하여 최대 장전기간까지 예측된 깊이가 부품들의 가장 얇은 곳의 두께를 기준으로 원래 두께의 3/4을 초과해서는 안된다. 또한 원래 두께의 3/4보다 작더라도 IR Rig의 유체유발진동을 확대시키거나, 장탈착에 영향을 미쳐서는 안된다. 그리고 내구성시험후 IR Rig와 접촉되는 유동관내의 특정한 마모는 발생되지 않아야 한다. 그러나 마모 흔적이 발생되면 원자로 사용수명까지 예측된 마모 깊이가 유동관 원래 두께의 3/4을 초과해서는 안된다.

8. Reference

1. J. S. Ryu and H. J. Chung, Technical Specification for Endurance Test of HANARO Irradiation Test Assembly, KAERI/TR-1474/2000, 2000. 2.
2. S. K. Yang et al., Measurement of Subchannel Velocity and Pressure Drop for HANARO Fuel Assembly, KAERI/TR-735/96, 1996
- 3.

Table 1 Technical Specification of Each Instrument

| Instrument | Measuring Parameter | Model/Serial No. | Span | Accuracy |
|---------------|---------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------|
| A/D Converter | Data Acquisition | DT-2821/06214 | | 0.07% of FSR |
| Turbine Meter | Flow Rate | OMEGA FTB-111/45485 | 40 - 650 GPM | 0.5% of read |
| RTD | Temperature | Honeywell ss-5042w/5092 | 0 - 100°C | ± 1.0°C |
| P/T | Pressure | Rosemount 3051CD/94162 | 0 - 300 psig | ± 0.1% of span |
| D/P-1 | Pressure Drop | Rosemount 1151DP/1697069 | 0 - 8328 in H ₂ O | ± 0.25% of span |

Table 2 Calibration Equation of Each Instrument

| Instrument | Calibration Range | Calibration Equation |
|---------------|-------------------|---|
| Turbine Meter | 40 - 650 GPM | $Y(\text{GPM}) = -0.15428 + 1.2541 \cdot \text{Hertz}$ |
| | 0 - 510 Hz | $Y(\text{Hertz}) = 0.008899 + 101.29 \cdot \text{volt}$ |
| P/T | 0 - 100 psi | $Y(\text{psi}) = -24.865 + 24.892 \cdot \text{volt}$ |
| D/P-1 | 0 - 70 psi | $Y(\text{psi}) = -17.627 + 17.457 \cdot \text{volt}$ |

Table 3 Technical Specifications of Laser Vibrometer

1) Modular Controller

| | |
|--------------------|------------------|
| Laser output power | : < 1mW(Class 2) |
| Standoff Distance | : 4 cm to 30 m |
| Dynamic Range | : 140 dB |
| Analog Output | : $\pm 10V$ |

2) High Linearity Velocity Decoder

| | |
|---------------|------------------------------|
| Bandwidth | : 150 kHz |
| Max. Velocity | : Upto 10 m/s |
| Ranges | : 1, 5, 25, 125, 1000 mm/s/V |
| Resolution | : 0.5 μs min. |
| Acceleration | : 1500 g |
| Linearity | : 0.25% FSR |

3) 7-Range Displacement Decoder

| | |
|-------------------|-----------------------|
| Measurement Range | : 2 to 5120 $\mu m/V$ |
| Full Scale Output | : 0.032 to 82 μm |
| Resolution | : 0.008 to 20 μm |
| Linearity | : 0.1% FSR |

4) Single-point Interferometer Head

| | |
|-------------------------------------|------------------------|
| Laser type | : He-Ne |
| Laser Wavelength | : 633 nm |
| Cavity Length | : 205 mm |
| Laser Output/Classification | : 2.3 mW/IIIa |
| Range of standoff Distance | : 30 cm to 30 m |
| Remote focus lens standoff Distance | : $\Rightarrow 450$ mm |

Table 4 Specifications A/D Converter(DT-2821)

| Technical Specifications | |
|--------------------------|----------------------|
| Resolution | 12 bits (0.024% FSR) |
| Throughput | 250 kHz |
| Input Channels | 16 SE, 8DI |
| Gain | 1, 10, 100, |
| Conversion Times | 2.5 μ s |
| System Error | \pm 0.07% of FSR |

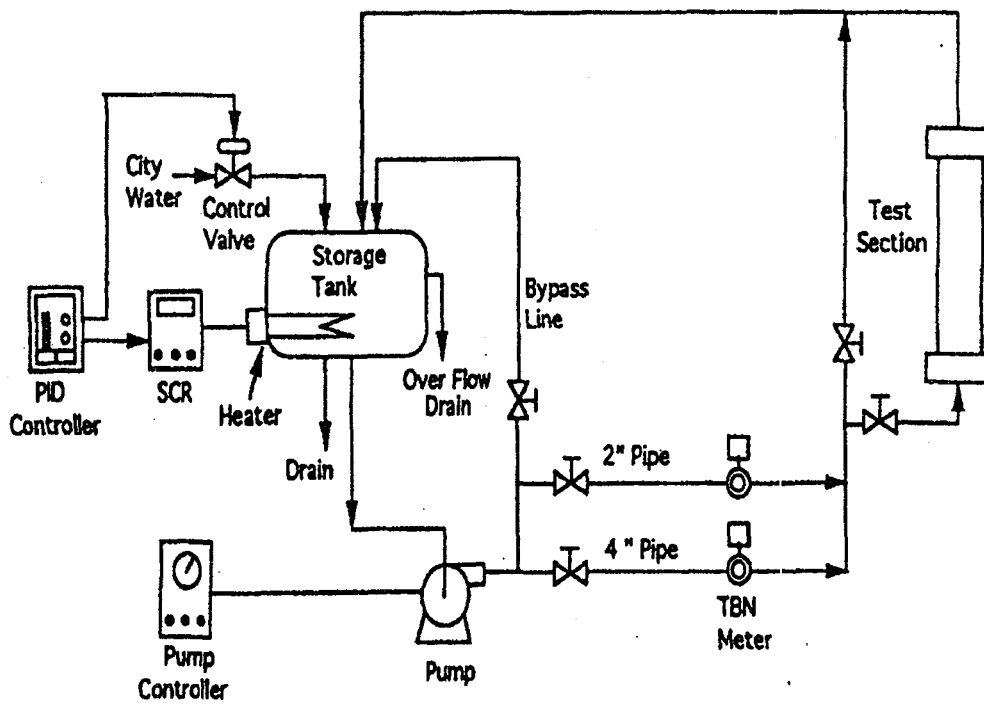


Fig. 1 Schematic Flow Diagram of the Cold Test Loop I

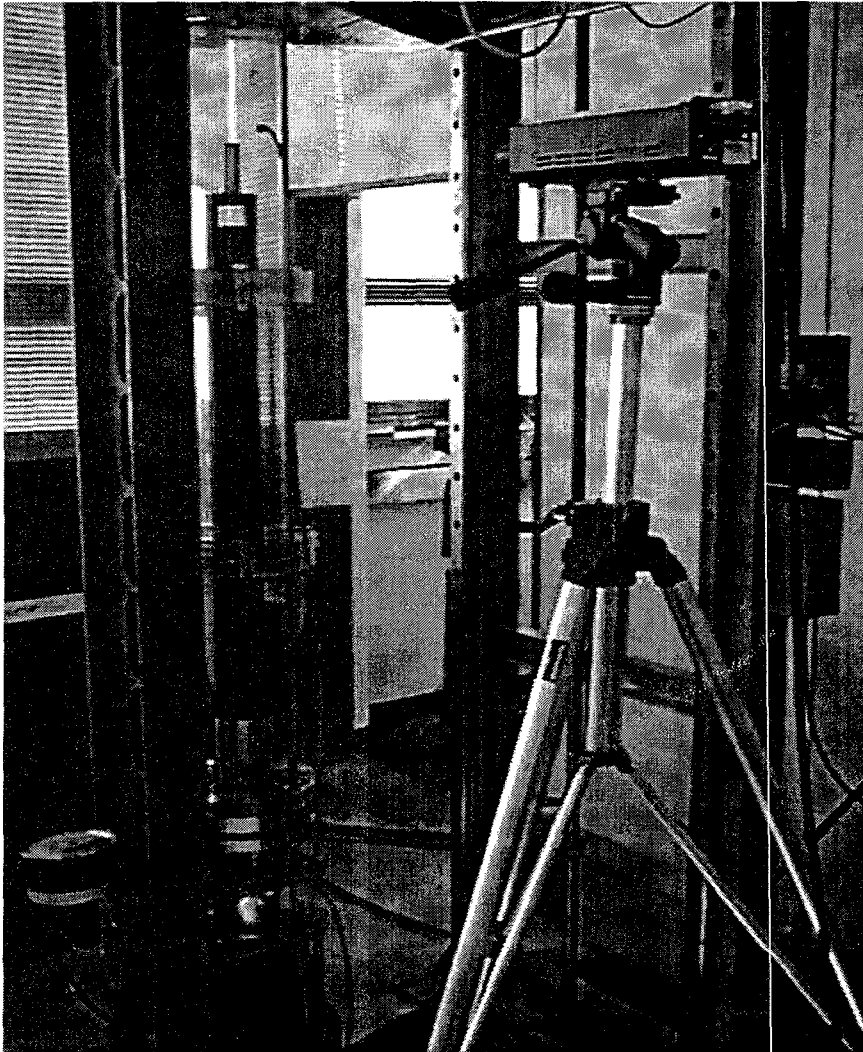


Fig. 2 Laser Vibrometer Setup

서 지 정 보 양 식

| | | | |
|------------------------|---|-------------------------------|----------------|
| 수행기관보고서번호 | 위탁기관보고서번호 | 표준보고서번호 | INIS 주제코드 |
| KAERI/TR-1649/2000 | | RI-TP-TH-00001 REVISION 00 | |
| 제목/부제 | Endurance Test on IR Rig for RI Production (Test procedure) | | |
| 연구책임자 및 부서명 | 정홍준(열수력안전연구팀) | | |
| 연구자 및 부서명 | 류정수(하나로운영팀) | | |
| 출판지 | 대전 | 발행기관 | 한국원자력연구소 |
| 발행년 | 2000. 8. | | |
| 페이지 | 25p. | 도표 | 있음(o), 없음() |
| 크기 | 26 Cm. | | |
| 참고사항 | | | |
| 비밀여부 | 공개(o), 대외비(), _ 급비밀 | 보고서종류 | 기술보고서 |
| 연구위탁기관 | | 계약 번호 | |
| 초록 (15-20줄내외) | <p>본 실험절차서는 방사성 동위원소 생산용 IR Rig에 대한 압력강하실험, 진동실험 및 내구성실험을 위한 실험장치, 실험방법 및 실험절차 등에 대하여 상세히 기술한다. 압력강하실험을 실시하여 Rig의 수력학적 설계요건을 검증하고, 하나로 제한조건(압력강하 200 kPa 이상, 유량 19.6 kg/s 이하)에 대한 만족 여부를 확인하고 원자로 노심과의 수력학적 양립성을 입증한다. 유체유인진동실험을 실시하여 진동주파수, RMS(Root Mean Square) 진동변위 및 최대진동변위 등 Rig의 진동특성을 규명하고, 내구성 실험을 통하여 조사기간 동안 장전되어 운전되었을 때, 유체유인진동에 의하여 마모(Wear)가 발생하는지 여부를 실험적으로 규명하고, 마모흔적 발생시 최대 예상 조사기간까지 예측된 마모손상을 평가한다.</p> | | |
| 주제명키워드 (10단어내외) | IR Rig, 압력강하 실험, 진동실험, 내구성 실험, 마모 | | |

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET

| | | | |
|--|--|------------------------------|---------------------|
| Performing Org. Report No. | Sponsoring Org. Report No. | Standard Report No. | INIS Subject Code |
| KAERI/TR-1649/2000 | | RI-TP-TH-00001 REVISION00 | |
| Title / Subtitle | Endurance Test for IR Rig for RI Production Assembly(Test Procedure) | | |
| Project Manager and Department | Heung June Chung (Thermal Hydraulic Safety Research Team) | | |
| Researcher and Department | Jeong-Soo Ryu (HANARO Operation Team) | | |
| Publication Place | Publisher | KAERI | Publication Date |
| | | | 2000. 8. |
| Page | 25p. | Ill. & Tab. | Yes(o), No () |
| | | | Size |
| | | | 26 Cm. |
| Note | | | |
| Classified | Open(o), Restricted(), ___ Class Document | Report Type | Technical Report |
| Sponsoring Org. | | Contract No. | |
| Abstract (15-20 Lines) | | | |
| <p>This test procedure details the test loop, test method, and test procedure for pressure drop, vibration and endurance test of IR Rig for RI production. From the pressure drop test , the hydraulic design requirements of the capsule are verified. HANARO limit condition is checked and the compatibility with HANARO core is verified. From flow induced vibration test vibration frequency and displacement are investigated. The wear of IR Rig is investigated through endurance test, and these data are used to evaluate the expected wear at maximum resident time of the IR Rig for RI production.</p> | | | |
| Subject Keywords (About 10 words) | IR Rig, Pressure Drop Test, Vibration Test, Endurance Test, Wear | | |