

KAERI/TR-2383/2003

핵연료 원격제조중 방출되는
Kr-85 거동 특성 시험

Test Program on the Release Characteristics
of Kr-85 from Remote Fuel Fabrication
Process

KAERI
2003. 01

핵연료 원격제조 기술개발
한국원자력연구소

제 출 문

한국원자력연구소장 귀하

본 보고서를 핵연료 원격제조 기술개발 분야에서 핵연료 제조와 관련하여 수행중인 “핵연료 원격제조중 방출되는 Kr-85 거동 특성시험”의 기술보고서로 제출합니다.

제 목 : 핵연료 원격제조중 방출되는 Kr-85 거동 특성 시험
(Test Program on the Release Characteristics of Kr-85
from Remote Fuel Fabrication Process)

2003년 01월

주 저 자 : 박 근일(건식공정 핵연료 기술개발부)

공동저자 : 이 정원, 김 수성, 김 응기, 김 종호, 이 재원, 조 광훈,
이 도연, 이 영순, 정 정환, 신 원철, 양 명승
(건식공정 핵연료 기술개발부)

요 약 문

사용후핵연료를 이용한 DUPIC 핵연료 제조공정으로부터 방출되는 핵분열 기체중 Kr-85의 방출 거동 특성 분석을 위한 시험 장치 및 시험 절차를 개발하였다. 본 시험은 사용후핵연료의 분말 소결성을 향상시키기 위하여 채택하고 있는 OREOX공정으로부터 방출되는 핵분열기체중 Kr-85 거동 특성을 분석하고, 아울러 사용후핵연료를 이용한 핵연료 원격 제조조건에 따른 방출 거동 특성 분석하는데 주 목적을 두고 있다. DFDF(DUPIC Fuel Fabrication Facility)에 설치된 OREOX 가열로 및 tube 가열로로부터 온도 및 기체 분위기 변화에 따른 Kr-85 방출 농도를 측정하기 위하여 기체 라인 및 측정 시스템을 글로브박스내에 설치하고 작업구역으로의 기체 누설을 방지하기 위하여 부압 조건을 항상 유지하도록 시스템을 설계·제작하였다. 아울러 Kr-85 방출 시험에 따른 배출 농도 및 환경 안전성을 예비 평가한 결과, 본 시험으로 인한 환경에 미치는 영향은 극히 미미한 것으로 나타났다.

SUMMARY

In order to investigate the release kinetics of Kr-85 fission gas during DUPIC fuel fabrication process using spent fuel materials, the test equipment and its procedure was developed. The purpose of this test involves the measurement of Kr-85 released during OREOX process in DUPIC fuel fabrication as well as the analysis of fission-gas release kinetics with the variation of fuel fabrication conditions. Gas monitoring system installed inside glove box was located at out-cell of DFDF (DUPIC Fuel Fabrication Facility) at which OREOX and tube furnaces have already installed inside hot cell. The use of glove box is aimed for preventing a gas release from sampling gas line under negative pressure. Based on the allowable discharge concentration of Kr-85 to environment and the preliminary analysis assuming total released amount a year, environmental impact according to Kr-85 measuring test would be minimal.

CONTENTS

SUMMARY(Korean)	ii
SUMMARY(English)	iii
CONTENT(English)	iv
CONTENT(Korean)	vi
Tables	viii
Figures	viii
Chapter 1 Introduction	1
Chapter 2 Test Equipment and Test Procedure	4
Section 1. Test Title and Location	4
Section 2. Test Purpose	4
1. Test of Kr-85 Release Characteristics from OREOX Process	4
2. Test of Kr-85 Release Characteristics during Remote Fuel Fabrication Process using Spent Fuel	5
Section 3. Installation of Test Equipment	6
1. Test of Kr-85 Release Characteristics from OREOX Process	6
2. Test of Kr-85 Release Characteristics during Remote Fuel Fabrication Process using Spent Fuel	11
Section 4. Test Procedure	19
1. Test of Kr-85 Release Characteristics from OREOX Process	19
2. Test of Kr-85 Release Characteristics during Remote Fuel Fabrication Process using Spent Fuel	19
Chapter 3 Safety Analysis for the Test of Kr-85 Release Characteristics	20

Section 1. Allowable Discharge Concentration of Kr-85	20
Section 2. Analysis of Environmental Impact on Kr-85 Release	21
Appendix 1. OP-100 : Operating Procedure of OREOX Process	22
Appendix 2. MOP-400 : OREOX Process	28
Appendix 3. OP-002 : Operating Procedure for Off-gas Treatment System Connected to OREOX Process	37
Appendix 4. MOP-500 : Off-Gas Treatment System for OREOX Process	41

목 차

요약문	ii
SUMMARY	iii
CONTENT	iv
목 차	vi
표목차	viii
그림목차	viii
제 1 장 서 론	1
제 2 장 시험 장치 및 시험 절차	4
1. 시험명 및 시험 장소	4
2. 시험 목적	4
가. OREOX 공정으로부터 방출되는 Kr-85 거동특성 평가 시험	4
나. 사용후핵연료를 이용한 핵연료 원격 제조 공정조건에 따른 Kr-85 방출 거동특성 시험	5
3. 시험장치 구성	6
가. OREOX 공정으로부터 방출되는 Kr-85 거동특성 평가 시험	6
나. 사용후핵연료를 이용한 핵연료 원격 제조 공정조건에 따른 Kr-85 방출 거동특성 시험	11
4. 시험 절차	19
가. OREOX 공정으로부터 방출되는 Kr-85 거동특성 평가 시험	19
나. 사용후핵연료를 이용한 핵연료 원격 제조 공정조건에 따른 Kr-85 방출 거동특성 시험	19
제 3 장 Kr-85 방출 거동 특성시험에 따른 안전성 평가	20
가. Kr-85 방출 허용농도 관점	20
나. Kr-85 방출에 따른 환경영향 평가	21

별첨 1. OP-100 : 산화·환원 운전 절차서	22
별첨 2. MOP-400 : OREOX Process	28
별첨 3. OP-002 : 산화·환원로 배기체 처리 장치 운전 절차서	37
별첨 4. MOP-500 : Off-Gas Treatment System for OREOX Process	41

표 목 차

Table 1. OREOX 공정에서 각 단계별 시험 조건	5
Table 2. Kr-85 방출에 따른 하나로 운영에 미치는 영향	21

그 립 목 차

Fig. 1. OREOX 공정 및 tube furnace 이용한 시험으로부터 방출되는 배기체 흐름도	7
Fig. 2. 글로브박스 및 Kr-85 측정용 검출기	9
Fig. 3. 글로브박스내 기체라인 흐름도	12
Fig. 4. 장비설치후 글로브박스 내부 및 터보관과의 연결 파이프	13
Fig. 5. 밀폐된 글로브박스	14
Fig. 6. 글로브박스내 부압 정도	15
Fig. 7. Kr-85 측정을 위한 제어 시스템 전면	16
Fig. 8. 핵종 방출 시험용 tube furnace 및 기체 포집 장치	18

제 1 장 서 론

고온조건에서 사용후핵연료를 건식처리할 경우 핵연료로부터 핵분열 기체 및 핵분열 생성물 등과 같은 방사성 물질이 방출될 수 있으며, DUPIC(Direct Use of Spent PWR Fuel In CANDU) 공정과 같은 사용후 핵연료 건식 재가공 제조공정이 본 조건에 해당된다고 볼 수 있다.

핵분열 생성물의 방출에 관한 연구는 미국의 ORNL에서 가장 활발하게 수행하고 있고 프랑스 CEA, 영국의 AEA, 캐나다의 AECL, 일본 JAERI에서도 관련 프로젝트를 수행하고 있다. 지금까지의 시험결과를 종합적으로 살펴보면, 핵분열생성물 방출에 영향이 가장 큰 변수는 온도이며, 그 이외 핵연료 산화 정도, 연소도, 전처리 조건 등을 들 수 있다.

먼저 핵연료의 산화에 따른 영향을 보면 산화에 의한 UO_2 모체내 핵분열 기체의 확산도는 증가하는 것으로 나타났으며 산화와 방출특성과의 상관관계를 정립하기 위한 실험을 주로 수행하였다. 그러나 지르칼로이 피복관이 핵연료 산화의 방호막으로 작용하는 원자로내에서는 기하학적인 특성으로 인하여 핵분열생성물 방출 거동이 달라진다. 미국 ORNL에서 수행한 테스트 결과를 보면, Kr-85와 Cs-137의 온도 변화에 따른 확산계수 변화와 모델식과 실험 데이터와의 차이점을 해석한 결과, 확산 모델이 휘발성 핵분열생성물의 방출거동을 잘 예측하였고, UO_2 모체내 grain에서의 확산에 의한 영향이 지배적인 것으로 나타났다. 연소도의 영향을 보면, Kr-85와 Cs-137의 방출속도가 주로 입계내에서의 확산에 의존하며 확산은 주로 온도 함수이기 때문에 연소도가 증가함에 따라 방출속도는 증가한 것으로 나타났다. 그러나 50,000 MWD/ MTU 이상의 고연소도 사용후핵연료로부터 핵분열생성물 방출속도에 대한 시험데이터는 많이 확보되지 않은 상태이다. 또 하나의 변수인 분위기의 영향을 보면, 산화(스팀, 공기) 또는 환원 분위기(수소)에 따라 핵분열 생성물 방출속도 및 이동 거동은 달라진다. UO_2 가 산화되면 핵연료 모체내의 핵분열 생성물 확산도가 증가하게 되고, 또한 산화 포텐셜에 의하여 반응성이 있는 핵분열생성물의 화학적 형태가 달라지므로 이는 핵분열생성물의 유동성에 큰 영향을 미친다. 루테튬(Ru)의 경우 공기중에서 산화될 때 방출속도는 크게 증가하며, Sb, Mo 및 Ag의 경우도 비슷한 거동을 보인다. 반면에 Ba, Sr Eu의 경우는 산화분위기보다는 환원분위기에서 방출속도가 증가한다. 이상과 같이

분위기 기체에 따라 핵분열생성물의 방출속도는 달라지는 데 지금까지의 시험들은 주로 정성적인 데이터를 얻는 데 치중하였고 정량적인 데이터를 얻기 위한 시험은 부족한 실정이다. 입계 inventory (grain boundary inventory)는 핵분열기체의 방출과 관련하여 mechanistic 모델링시 매우 중요하다. 핵연료를 급격하게 가열할 경우 입계내 핵분열 기체의 방출은 핵연료의 팽창에 영향을 미치며 이와 같이 입계 inventory 측정 시험은 큰 의미를 가지고 있다. 캐나다에서는 공기중에서 UO_2 를 산화시킬 경우 입계내 핵분열기체의 방출에 관한 시험을 수행한 적이 있으며 핵분열 기체는 약 $500^\circ C$ 의 상대적으로 낮은 온도에서도 방출되어 UO_2 모체로부터 분리되는 것으로 나타났다.

캐나다에서는 고온조건에서 핵분열생성물의 방출거동에 미치는 핵연료의 산화 영향을 주로 평가하였는 데, 핵연료의 산화로 인하여 UO_2 모체내의 핵분열 기체의 확산도는 증가하는 것으로 나타났으며 산화와 방출 동특성 상관관계를 정립하였다. 아울러 가압경수로 사용후핵연료는 CANDU(가압중수로)에 재사용하기에 충분한 핵분열 가능물질을 가지고 있으므로, 캐나다는 한국 원자력연구소와 공동으로 가압경수로 사용후핵연료를 건식공정을 이용하여 CANDU 원자로에 재사용하기 위한 DUPIC(Direct Use of Spent PWR Fuel In CANDU)프로그램을 수행하고 있다. 이를 위하여 사용후핵연료를 이용한 고품질의 CANDU 핵연료 소결체 제조 시험을 수행하였는 데, 모든 공정은 높은 방사능 때문에 차폐된 핫셀내에서 수행되어야 하며 처리과정 중에 유출되는 핵분열생성물들은 감시와 처리가 적절히 이루어져야 한다. 캐나다 CRNL(Chalk River National Lab.)에서는 DUPIC 공정개발과 관련하여 핵연료 제조과정으로부터 발생하는 핵분열생성물 및 핵분열기체의 방출 특성 시험을 수행하였으며, 이를 HOX(Hot-Cell OREOX eXperiment)로 명명하였다. PWR 사용후핵연료로부터 소결성이 우수한 UO_2 분말을 제조하기 위하여 OREOX(Oxidation/REduction of OXide fuel)공정을 선택하였다. 3회의 산화/환원 공정동안 UO_2 는 U_3O_8 로 산화되고 다시 UO_2 로의 변화 과정을 겪으며, 산화과정 동안 약 32%의 부피증가가 이루어짐으로서 분말화가 이루어지고, 주기적인 산화-환원 과정을 통해서 미세분말을 얻을 수가 있다. 특히 소결공정보다는 OREOX 공정에서 상당량의 핵분열생성물을 제거하기 위하여 $1,100^\circ C$ 에서 annealing 단계를 도입하였다. 아울러 환원단계에서 12%CO/Ar 기체를 사용하여 핵분열 생성물의 방출량을 증대시키기 위한 시험도 수행하였다. HOX-1 시험은 1994년 2월~3월의 두 달간 수행되었으며, 여러 온도 및

기체분위기 조건에서 핵분열 생성물의 방출특성 예비 실험, 2가지 유형의 PWR 사용후핵연료로부터 분말 및 소결체 제조 특성, SEM 분석을 통한 OREOX 처리된 분말의 형상 등을 분석하여 핵분열 생성물의 방출거동과의 상호 연계성 분석에 주안점을 두고 수행하였다. HOX-2 시험은 1995년 3월과 4월에 수행되었고, 소결성이 우수한 분말 특성 분석에 초점을 두고 OREOX 공정을 보다 상세하게 평가하였으며 여러 가지 OREOX 공정조건별로 얻은 분말을 이용하여 압분체 및 소결체를 제조하였다. 특히 다양한 OREOX 및 소결공정 조건에서 방출되는 핵분열생성물(특히 Kr과 Cs)의 거동을 분석하였다.

핵연료 원격제조 기술개발 분야에서는 본격적인 DUPIC 핵연료 성능 평가를 위한 조사시험을 계획하고 핵연료 조사시험 사양을 만족하는 DUPIC 핵연료를 제조하기 위한 공정 조건 확립을 위해 성형압 등의 제조공정 조건을 변화시키면서 DUPIC 핵연료 소결체를 제조하고 특성을 분석하였다. 이를 위하여 사용후핵연료 연료봉으로부터 추출된 소결체를 산화·환원공정으로 분말화한 후, 혼합하여 건전한 소결체를 제조하는 공정기술 개발을 수행하였으며, 다양한 연소도를 가지는 사용후핵연료를 이용한 핵연료 원격 제조 시험을 수행 중에 있다. 본 보고서에서는 핵연료 원격 제조공정중 소결성이 우수한 분말 제조공정인 OREOX(Oxidation and REduction of OXide fuel)공정으로부터 방출되는 핵분열 생성물중 불활성 기체인 Kr-85의 방출특성과 온도 및 분위기 변화에 따른 방출거동 특성 변화 분석을 목적으로 관련 시험 장치 및 시험 절차에 관한 사항을 기술하였다.

제 2 장 시험 장치 및 시험절차

1. 시험명 및 장소

- 시험명 : 사용후핵연료 이용 핵연료 원격제조 공정으로부터 Kr-85 방출
거동 특성 평가 시험
- 시험 장소 : 조사재 시험시설(IMEF)내 M6a Hot-Cell

2. 시험 목적

가. OREOX 공정으로부터 방출되는 Kr-85 거동특성 평가 시험

본 시험은 사용후핵연료를 이용한 핵연료 원격 제조공정 중 분말의 소결성을 향상시키기 위하여 채택하고 있는 OREOX(Oxidation/Reduction of OXide Fuel)공정으로부터 방출되는 핵분열기체중 Kr-85의 거동 특성을 분석하는데 그 목적을 두고 있다. 현재 핵연료 원격 제조를 위한 사용후 핵연료 분말화 공정으로 설정된 OREOX 공정의 주요 특성은 다음과 같으며 공정 순서는 Table 1에 나타낸 바와 같다.

○ 주요 공정 특성

- 산화단계 : 500℃, 공기 분위기, 5.5 L/min
- 환원단계 : 700℃, 4%-H₂/Ar 기체 분위기, 13 L/min
- 완충단계 : 450℃ ~ 700℃, Ar 기체 분위기, 1 L/min
- 산화/환원 단계를 3회 반복
- 사용후핵연료 최대 사용량 : 1 kg
- 주요 시험 장비
 - OREOX 가열로 : Linderberg Box furnace
 - 기체 공급장비
 - 배기체처리장치 : 휘발성(I-129) 및 준휘발성 핵분열생성물 (Cs-134, 137, Ru-106 등) 포집 제거

Table 1. OREOX 공정에서 각 단계별 시험 조건

단계	형태	조건	분위기	가스유량	비 고
1	가온	4℃/분	알곤	1 L/분	
2	온도유지	500℃, 2시간	공기	5.5 L/분	
3	가온	4℃/분	알곤	1 L/분	
4	온도유지	700℃, 7시간	4%수소/알곤	13 L/분	
5	냉각	4℃/분	알곤	1 L/분	
6	온도유지	450℃, 2시간	공기	5.5 L/분	
7	가온	4℃/분	알곤	1 L/분	
8	온도유지	700℃, 7시간	4%수소/알곤	13 L/분	
9	냉각	4℃/분	알곤	1 L/분	
10	온도유지	450℃, 2시간	공기	5.5 L/분	
11	가온	4℃/분	알곤	1 L/분	
12	온도유지	700℃, 7시간	4%수소/알곤	13 L/분	
13	냉각	4℃/분	알곤	2 L/분	
14	온도유지	80℃, 4 시간	2%산소/알곤	2 L/분	
15	냉각	4℃/분	알곤	2 L/분	

나. 사용후핵연료를 이용한 핵연료 원격 제조 공정조건에 따른 Kr-85 방출 거동특성 시험

본 시험은 사용후핵연료를 이용한 핵연료 원격 제조를 위하여 공정조건에 따른 핵분열기체의 방출 거동 특성을 평가하는 데 그 목적이 있다. 아울러 고온의 산화 및 환원분위기 하에서 핵연료로부터 누출되는 주요 핵종(Cs-137, Eu-155)의 누출율 및 누출 기구에 관한 자료의 데이터베이스화를 통하여 핵연료 원격 제조공정의 흐름에 따른 총 방사능의 변화를 예측하고, 핵연료 원격 제조공정 중 발생하는 배기체 처리를 위한 배기체 처리장치 설계의 최적화를 도모할 수 있다. 이를 위하여 소량의 사용후핵연료 시편을 Tube furnace에 주입하여 상기 가. 항의 OREOX 공정조건 범위내의 온도 및 분위기에서 여러 종류 사용후핵연료 시편(분말, 조각형태)로부터 방출되는 핵분열 기체중 Kr-85의 방출거동 특성을 평가하고자 한다.

3. 시험 장치 구성

가. OREOX 공정으로부터 방출되는 Kr-85 거동특성 평가 시험

(1) OREOX 공정

본 공정의 운전 및 시험 절차는 핵연료 원격 제조 기술개발 분야에서 구축한 MOP(Manufacturing and Operating Procedure)-400, 500 지침서에 준하며, 이는 별첨 1, 2, 3, 4과 같다.

- OP-001 : 산화환원 운전절차서(별첨 1)
- MOP-400 : OREOX Process(별첨 2)
- OP-002 : 산화·환원로 배기체 처리장치 운전 절차서(별첨 3)
- MOP-500 : Off-gas Treatment System for OREOX Process
(별첨 4)

(2) Kr-85 측정 시험 장치

① OREOX 공정으로 부터 방출되는 배기체 흐름도

OREOX 공정으로부터 방출되는 주요 핵분열생성물은 MOP-500에 제시된 바와 같이 Off-gas treatment system에서 대부분 제거되며, Kr-85는 불활성 핵분열기체이므로 본 시스템에서 제거되지 않는다. 따라서 Off-gas treatment system을 통과한 기체내에는 대부분 Kr-85만이 존재한다.

Fig. 1은 시험목적 가 및 나를 수행하기 위하여 IMEF M6a 핫셀에 설치된 OREOX 가열로 및 tube furnace로부터 방출되는 배기체 흐름도이며, Kr-85 측정을 위한 기체 흐름도를 동시에 보여주고 있다. 따라서 Fig. 1에서 나타낸 바와 같이, 밸브 ①, ②를 이용하여 OREOX 공정 및 tube furnace를 이용한 시험공정으로 부터 방출된 Kr-85 기체농도를 하나의 분석 시스템으로 측정할 수 있게 구성하였다. 따라서 Tube furnace 로부터 방출되는 Kr-85 측정 시스템(2)는 별도로 설치할 필요가 없으며, Kr-85 측정시스템(1)을 이용하여 방출 특성을 분석할 수 있도록 구성하였다.

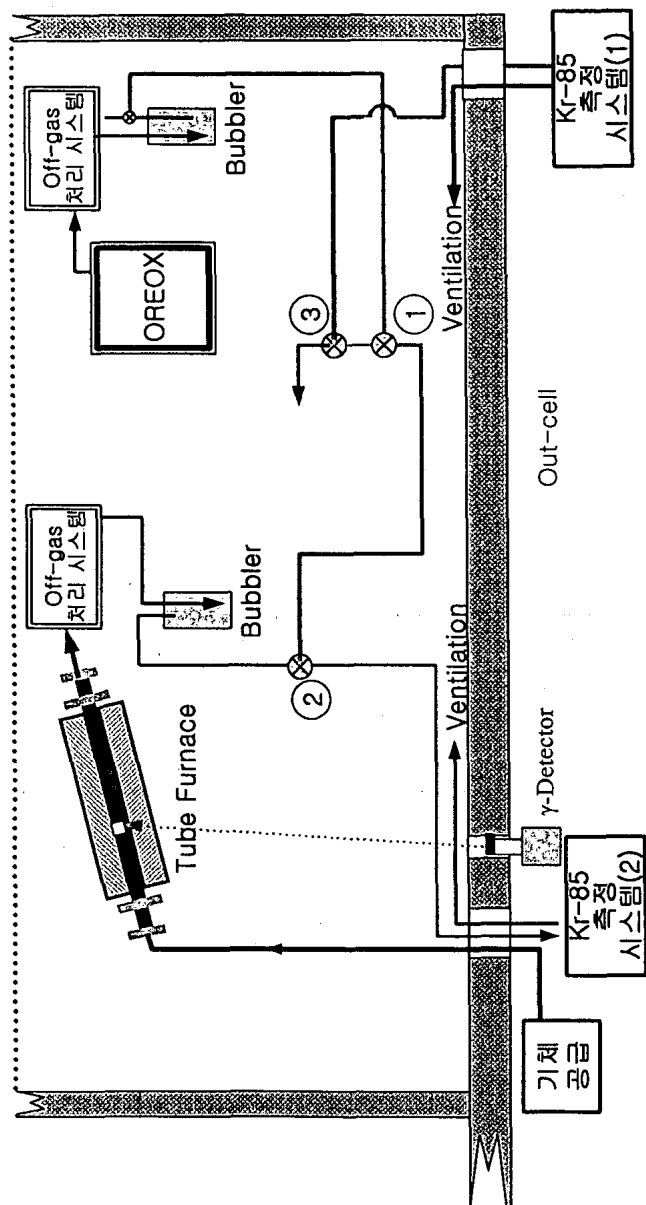


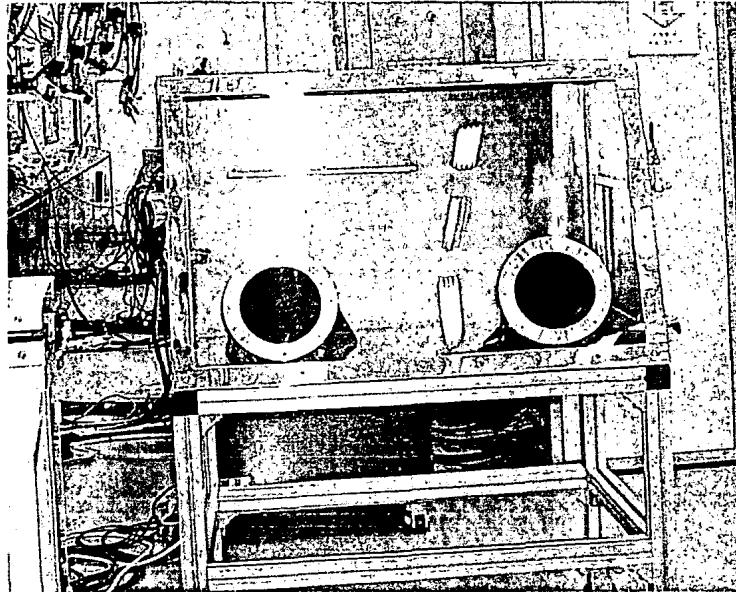
Fig. 1. OREOX 공정 및 tube furnace 이용한 시험으로부터 방출되는 배기체 흐름도.

② Kr-85 측정 시험장치 제작시 주요 고려 사항

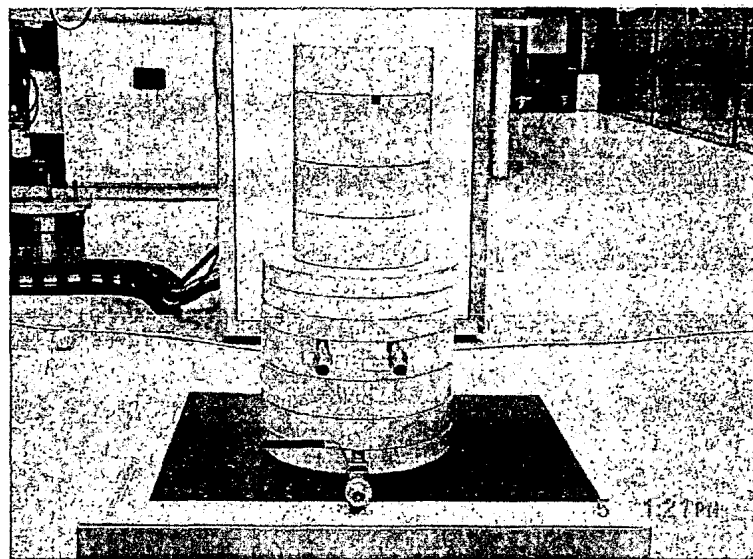
- 핫셀 내부의 배기체 라인과 Out-cell에 설치된 Fig. 1의 Kr-85 측정 시스템(1)과 연결된 모든 기체 라인은 Out-cell 작업구역으로의 기체 누설을 방지하기 위하여 작업구역 외부와 완전 차단한다.
- 모든 기체 라인과 Kr-85 측정장치로 유입되는 기체라인, 검출기 등은 글로브박스(Fig. 2 참조)내에 위치하여야 하며, 글로브박스 내부는 외부로의 기체누설을 방지하기 위하여 부압을 유지한다.
- 핫셀내의 장비 추가 설치는 없으며, OREOX 공정 및 tube furnace로부터 방출되는 배기체는 기체라인을 통하여 환기계통으로 유입되는 데, 기체 라인 끝 부분에서 Kr-85 측정시스템으로 샘플링 라인만을 설치한다.

③ Kr-85 측정 시스템 개요

- 본 측정 시스템의 모델명 : Iodine & Gas Monitoring System중 RGM- 02HR (제조회사 : RTS, RADOS Tech. Srl., 이태리)
- 본 시스템은 측정하고자 하는 기체가 스테인레스 스틸 재질 Marinelli 형태의 납으로 차폐된 탱크 내로 연속적으로 흐르면서 탱크 내에 위치한 검출기를 이용하여 기체 농도를 측정한다. 기체 유량은 질량 유량계 (Mass flow meter)를 이용하여 자동 측정된다. 본 측정 장비는 진공 펌프를 이용하여 유량을 조정하도록 되어 있으나 본 실험에서는 실린더를 이용하여 기체를 공급하므로 펌프를 사용하지 않고 공급 유량을 그대로 측정한다.
- 모니터는 실시간 연속 측정을 하며 감마 스펙트로미터 방법을 이용한다(감마 방사능을 MBq/m³으로 표시). LPU(Local Processing Unit)를 이용하여 데이터 표시, 시그널 조절, 데이터 전송 등을 수행한다.
- Detector chamber에는 1" × 0.5" NaI(Tl) crystal 및 관련 photo-multiplier 튜브가 있다.
- Detector는 316 cc 스테인레스 스틸 Marinelli 형태 vessel과 연결되어 있고 두께는 1 mm이다. Lead 두께는 5 cm이다.
- RGM-02HR은 Integral NaI(Tl)/PM/electronics 어셈블리를 사용하며 온도에 무관하게 보정(calibration)이 가능하다. MCA 기기를 사용



(a) 장비 설치전 글로브박스



(b) Kr-85 측정용 검출기

Fig. 2. 글로브박스 및 Kr-85 측정용 검출기.

하여 측정되는 방사성 기체성분 피크중 다섯 개까지의 ROI(Region Of Interest)를 선정할 수 있고 또한 넓은 범위에서의 평균값을 취할 수도 있다. 피크(혹은 구역)의 net area는 민감도 및 측정된 농도 동적 범위를 증가시키기 위하여 background를 보정하는 데 직접 사용된다.

- Chamber는 적절한 액체 용액을 사용하여 보정하였으며, "Marinelli response"와 "Point-source response"사이의 상관 관계를 설정하였고 point source를 chamber 옆 구멍에 넣으면 정확한 위치에 도달하게 되어있다.

- 매 샘플링 간격마다 다음의 데이터를 저장한다.

·측정 날짜 및 시간

·총 감마 방사능 농도 및 특정성분 감마 방사능 농도(MBq/m³)

·샘플링 시간 및 측정 특성

- High range unit는 다음과 같이 구성되어 있다.

·316 ml 부피의 스테인레스 스틸 재질 Marinelli 형태의 vessel 및 3개의 주입구멍(입/출구, 서비스)을 가진 high range measuring chamber

·관련 PMT와 전압 분할기(voltage divider)를 가진 1" × 0.5" NaI(Tl) high range detector, 낮은 방사능의 Am-241 선원이 안정화를 위하여 부착됨.

·Integral electronics

- High voltage supply : 50 ~ 1,200 V, 소프트웨어로 선정

- Pre. amplifier : Direct anode coupling 1 μs decay constant

- Amplifier : Coarse gain(×1...×4), Pulse shape(Bipolar)

·ADC

- Conversion gain : 1024 Channels

- 선정 영역 : 512 ~ 2048 Channels, 소프트웨어로 선정

·Acquisition memory

- Counts/Channel : 4,000,000,000

- 저장 능력 : 16 × 1024

·Accuracy : ≤ 10%

- 선원 농도 : Xe-133, 10⁸ Bq/m³

- Background : 0.2 μSv/hr

- 샘플링/측정 시간 : 시간, 분 단위 설정 가능
- 5 cm 두께 납차폐 뚜껑
- 적정 유량 : 0 ~ 30 L/min

④ Kr-85 측정 장비 구성

- 글로브박스내에는 핫셀 내부로부터의 기체라인, 밸브, 응축기, 질량 유량계, 스테인레스 스틸 Marinelli vessel, 검출기, 제어/데이터 송수신 시스템과 interface 케이블 등이 있으며, 상부에는 부압측정용 압력계 이지(최대 : - 100mmaq. 측정 가능)가 설치되어 있다.
- 글로브박스내 Kr-85 측정을 위한 기체 흐름도는 Fig. 3과 같다. Iodine & gas monitoring system중 Kr-85 측정에 필요한 부품 및 라인만을 분리하여 글로브박스내에 설치하였다. Fig. 3의 굵은선이 핫셀내 배기체 라인과 글로브박스내 Kr-85 측정 시스템과의 연결 흐름도를 나타내고 있고, Vessel (316 cc)을 통과한 후 다시 핫셀 내부의 환기 계통으로 유입된다. Vessel 및 기체 라인 세척을 위해서는 V6 밸브에 알곤 기체를 주입한다.
- Fig. 4, 5는 Kr-85 측정용 글로브박스 설치 사진들이다. 구성 부품을 보면, 글로브박스 및 박스 내부에 설치된 검출기, 기체 라인, 밸브, 응축기, interface 케이블, 압력계이지 등이다. Fig. 4 에서 보는 바와 같이, 왼쪽 상단 터보관과 글로브박스는 파이프로 연결되어 있고, 파이프 내에 모든 기체 라인이 들어 있어 외부로 기체는 누설되지 않는다. Fig. 6은 핫셀 환기계통 가동시 글로브박스내 부압 정도를 나타내고 있는데 약 40 mmaq.의 부압이 걸려 글로브박스내의 기체라인에서 누설이 일어나더라도 모든 기체는 핫셀 내부로 흡입된다. 따라서 시험과정에서 안전성은 충분하다고 볼 수 있다. Fig. 7은 Kr-85의 시간에 따른 농도 변화를 관찰할 수 있는 모니터 및 농도 측정시스템이다.

나. 사용후핵연료를 이용한 핵연료 원격 제조 공정조건에 따른 Kr-85 방출 거동특성 시험

(1) Tube furnace를 이용한 Kr-85 방출 거동특성 시험 장치

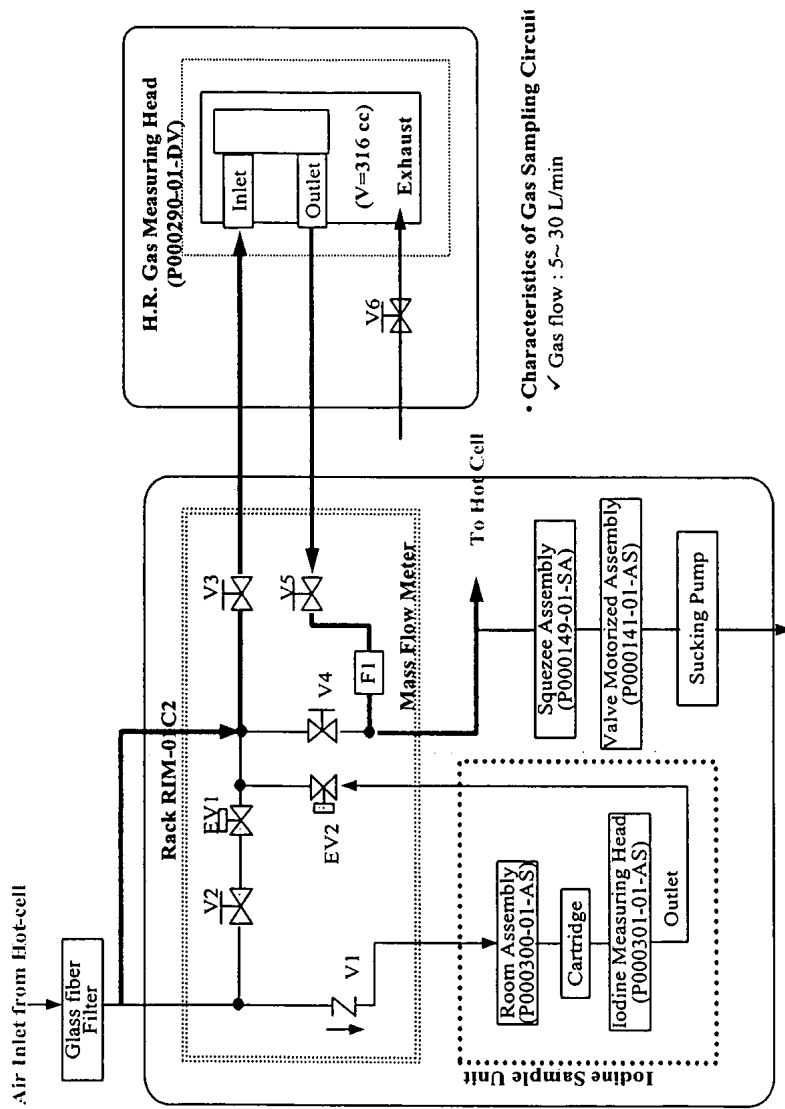


Fig. 3. 칼로브박스내 기체라인 흐름도.

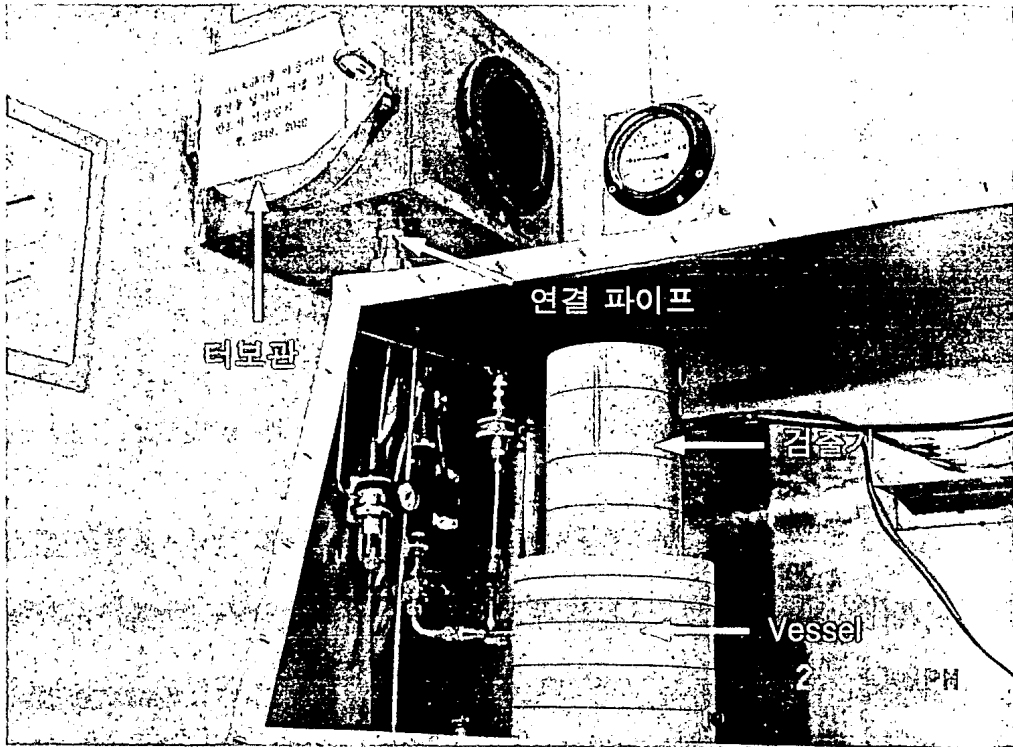


Fig. 4. 장비 설치후 글로브박스 내부 및 터보관과의 연결 파이프.

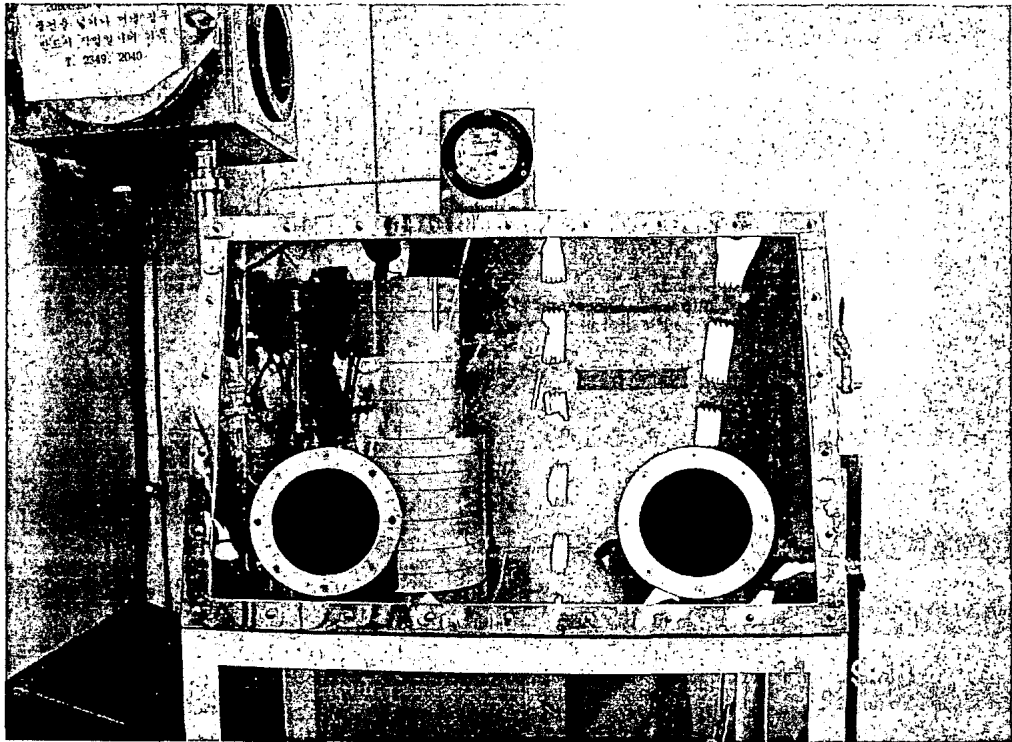


Fig. 5. 밀폐된 글로브박스.

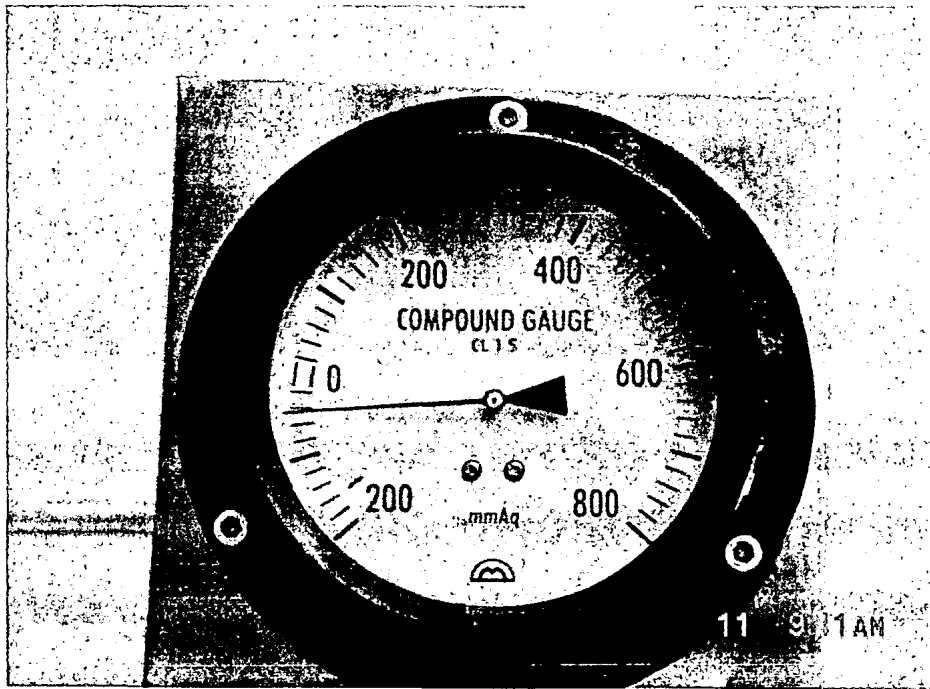


Fig. 6. 글로브박스내 부압 정도.

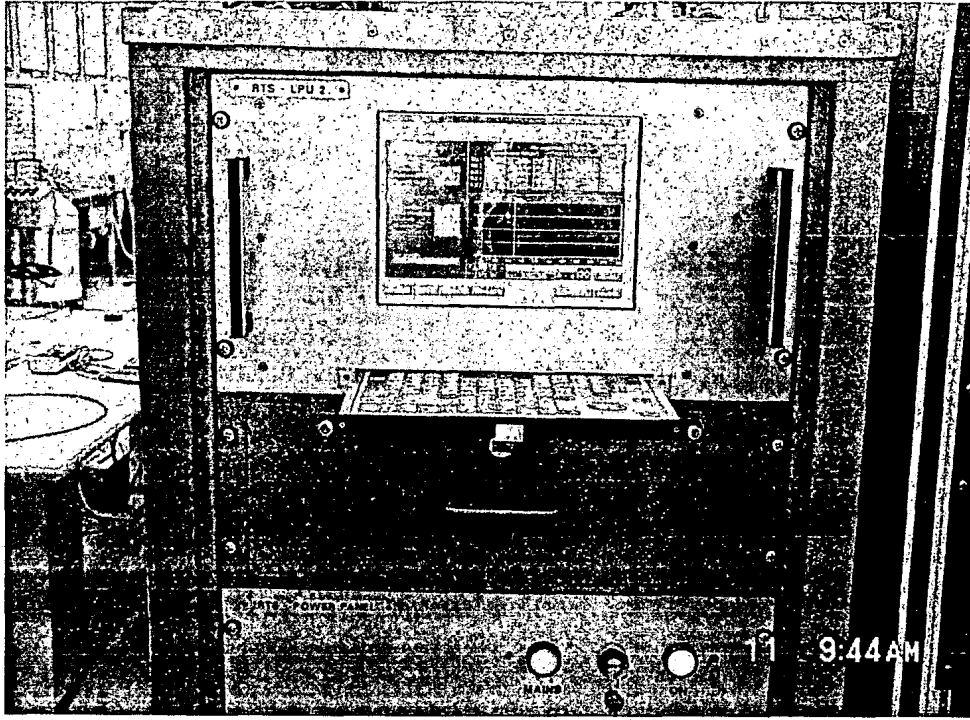


Fig. 7. Kr-85 측정을 위한 제어 시스템 전면.

① 장치 개요 : Fig. 1 참조

- 핵연료를 가열하는 tube furnace, 기체 공급라인, 배기체내 부유물질 포집장치(HEPA 필터, Balston 필터), 세습 등의 준휘발성 핵종 포집을 위한 열구배관(TGT), Bubbler로 구성되어 있다. Bubbler를 통과한 배기체는 OREOX 공정과 마찬가지로 Kr-85만이 존재하며 Kr-85 측정 시스템으로 배기체 흐름을 전환시켜(밸브 ①, ② 사용) 시간에 따른 Kr-85 방출 특성을 분석한다. 아울러 핵연료로부터 방출되는 방사능 양을 측정하기 위하여 감마 스펙트로미터가 설치되어 있으며 감마선 검출기는 실시간으로 핵종의 누출율을 측정하도록 설계하였다. 대상 핵연료의 온도를 측정하기 위하여 열전대를 설치하였으며, 핵연료의 산화, 환원 분위기를 조절하기 위하여 Ar, He, 공기 등을 사용하였다.

② Tube furnace : Fig. 8 참조

■ 몸체

- 내부 크기 : $200 \times 200 \times 430 \text{ mm}^3$, 외부 크기 : $460 \times 520 \times 690 \text{ mm}^3$
- 전원 220V, 단상, 15 kW, 사용온도 : $1800 \text{ }^\circ\text{C}$, 최고온도 : $1900 \text{ }^\circ\text{C}$
- 발열체 : Super kanthal, 단열재 : Ceramic board 및 내화재
- 분위기 chamber : 고순도 알루미늄 튜브(99.9 %) $\varnothing 60 \times 1000 \text{ mm}$

■ 제어기

- Program digital PID controller : REN P-250
- SCR unit 220V/150A(4.20mA)
- Digital V/A meter
- Thermocouple B Type, Oven-temperature controller
- Transformer 150A/200A
- Gas flow meter : 1 ~ 3 L/min

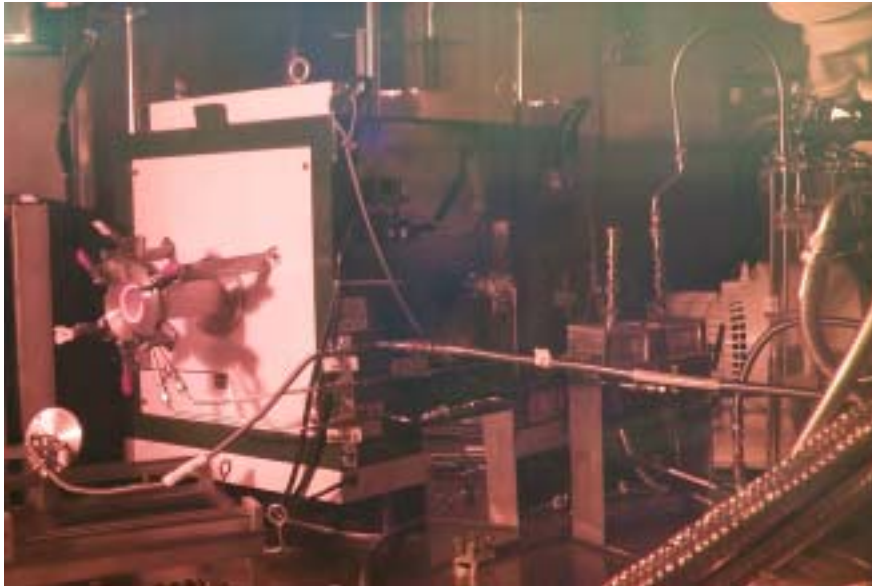


Fig. 8. 핵종 방출 시험용 tube furnace 및 기체포집 장치.

③ 부유물질 포집장치(필터류)

- 배기체 중의 부유 미립자 제거를 위하여 HEPA 필터와 Balston 필터를 사용한다. HEPA 필터는 불연성의 고성능 필터(여과성능: $0.3 \mu\text{m}$ 입자, 99.97 % 제거효율)를 이용한다. 고성능 필터는 크기 $80 \text{ mm(L)} \times 50 \text{ mm(W)} \times 100 \text{ mm(H)}$ 이고 입구, 출구 양단은 1/2 인치 union을 이용하여 제작하였다. 압력손실은 공기유량 0.1 CMM인 경우 9.5 mmAq 이다. HEPA를 거친 후에는 Balston 필터를 거치게 된다.

④ 가스공급 계통

- OREOX 공정에서 사용한 기체 종류와 동일하다. 표준용기(충전압력, 150 kg/cm^2)로부터 공급되는 기체는 라인필터, 감압밸브(2단계), 유량계를 거쳐 Tube furnace에 공급된다. 핫셀 내부로 공급시 역류가 되지 않도록 체크밸브를 사용하였다.

4. Kr-85 측정 시험 절차

가. OREOX 공정으로부터 방출되는 Kr-85 거동특성 평가 시험

- OP-001/MOP-400에 제시된 절차에 의하여 OREOX 공정을 시작한다.
- OREOX 공정 1 단계 전에는 Fig. 1의 밸브 ①과 ③을 조작하여 Kr-95 측정시스템으로 배기체가 흐르지 않도록 한다. 이때 밸브 ②가 닫혀 있는 지 확인하여야 한다.
- OREOX 공정 1 단계부터 그림 1의 밸브 ①과 ③을 조작하여 Kr-95 측정시스템으로 배기체가 흐르도록 한다.
- 시간에 따른 공정온도, 유량 및 Kr-85 농도를 기록한다.
- OREOX 공정이 완료되면 Fig. 1의 밸브 ①과 ③을 조작하여 OREOX 공정 배기체가 핫셀 내부로 흐르도록 한다.

나. 사용후핵연료를 이용한 핵연료 원적 제조 공정조건에 따른 Kr-85 방출 거동특성 시험

- Tube furnace에 사용후핵연료 일정량 (최대 10 g)를 알루미늄 도가니에 넣고, 알루미늄 튜브에 도가니를 올려 놓은 다음 furnace 내부로 밀어 넣는다.
- 먼저 알곤 기체를 furnace 내부에 공급하여 라인 세척을 한다.
- 온도 프로그램을 설정하고 설정된 기체를 공급하면서 가열을 시작한다.
- 온도가 100℃ 이상이 된 경우 Fig. 1의 밸브 ①, ②, ③을 조작하여 Kr-95 측정시스템으로 배기체가 흐르도록 한다.
- 시간에 따른 공정온도, 유량 및 Kr-85 농도를 기록한다.
- 공정이 완료되면 Fig. 1의 밸브 ①, ②, ③을 조작하여 배기체가 핫셀 내부로 흐르도록 한다.

제 3 장 Kr-85 방출 거동 특성 시험에 따른 안전성 평가

1. Kr-85 방출 허용농도 관점

가. Kr-85 공기중 허용농도

- 일반인(Stack 방출허용농도) : $3 \times 10^{-7} \mu\text{Ci/cc}, 10^4 \text{ Bq/m}^3$
- 작업종사자 : $10^{-5} \mu\text{Ci/cc}, 3 \times 10^5 \text{ Bq/m}^3$

나. Kr-85 연간 사용량(IMEF M6a 핫셀)

- 연간 사용후핵연료 취급량 : 10 kg/yr
- 사용후핵연료 내 Kr-85 함유량 (ORIGEN 코드 계산결과)

$$\frac{7.5g}{IMTHM} = \frac{7.5 \times 10^{-6}g}{I-gU} \times \frac{I-gU}{0.83 \times g-Powder} = \frac{10^{-5}g}{g-Powder}$$

- Batch 당 Kr-85 최대 방출량 : 1 Kg OREOX 기준

$$\frac{10^{-5}g}{g-Powder} \times 1,000 g-Powder = 10 \text{ mg Kr-85/ Batch}$$

$$10 \text{ mg Kr-85/ Batch} \times \frac{0.392 \text{ Ci}}{\text{mg Kr-85}} = 3.92 \text{ Ci/ Batch}$$

- 연간 방출량 : 10 batch 기준(10 kg Powder)

$$3.92 \text{ Ci/ Batch} \times \frac{10 \text{ batch}}{\text{yr}} = 39.2 \text{ Ci/ yr}$$

→ 하나로 운전 SAR : 473 Ci Kr-85/yr

상기 계산과 같이 연간 10 kg의 사용후핵연료를 취급할 경우 총 방출량은 연간 Kr-85 허용 방출량의 약 11%로서 규제 조건을 만족할 것이다.

2. Kr-85 방출에 따른 환경영향 평가

가. Kr-85 방출에 따른 하나로 운영영향


- 연구소내 환경영향평가팀 : 한문희 박사
- 근거
- 자료 : 2001년도 기준
- 방출량 : Kr-85 40 Ci/년
- 과기부 고시 설계 기준치 (고시 2002-1호)와 비교

Table 2. Kr-85 방출에 따른 하나로 운영에 미치는 영향

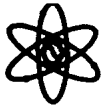
항목	기준치	2001년 하나로 실적치	Kr-85 영향	실적치 대비 (%)	합계
공기중 베타 흡수선량 (mGy/yr)	0.2	1.86E-2	2.39E-3	12.8	0.021
공기중 감마 흡수선량 (mGy/yr)	0.1	5.28E-2	2.11E-5	0.04	0.053
유효선량 (mSv/yr)	0.05	2.86E-2	2.41E-5	0.08	0.029
피부등가선량 (mSv/yr)	0.15	5.87E-2	1.91E-3	3.25	0.061
장기등가선량 (mSv/yr)	0.15	2.40E-3	-	-	2.40E-3

상기 표에 나타난 바와 같이 연간 Kr-85 방출량 40 Ci/년 기준으로 환경영향 평가할 경우에도 문제가 없는 것으로 나타났다.

별첨 1.

 한국원자력연구소 KAERI-DUPIC	운전 및 시험 절차서 Operating Procedure Manual			1 / 6																				
	문서번호 OP - 001 Doc. No.	개정번호 0 Rev. No.	날짜 1999. 6. 28 Date																					
DFD	제 목 : 산화환원 운전절차서 Subject																							
<table border="0"> <tr> <td>1. 목적</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>2. 적용범위</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>3. 참조문서</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>4. 책임사항</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>5. 시험장비 및 기기</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>6. 작업전 점검 및 준비</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>7. 작업순서 및 방법</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>8. 작업시 주의사항</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>9. 이상작업 발생시 처리사항</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>10. 첨부</td> <td>4</td> </tr> </table>					1. 목적	2	2. 적용범위	2	3. 참조문서	2	4. 책임사항	2	5. 시험장비 및 기기	2	6. 작업전 점검 및 준비	2	7. 작업순서 및 방법	3	8. 작업시 주의사항	3	9. 이상작업 발생시 처리사항	4	10. 첨부	4
1. 목적	2																							
2. 적용범위	2																							
3. 참조문서	2																							
4. 책임사항	2																							
5. 시험장비 및 기기	2																							
6. 작업전 점검 및 준비	2																							
7. 작업순서 및 방법	3																							
8. 작업시 주의사항	3																							
9. 이상작업 발생시 처리사항	4																							
10. 첨부	4																							

RW - QA - 00060



운전 및 시험 절차서
Operating Procedure Manual

한국원자력연구소
KAERI-DUPIC

문서번호 OP - 001

개정번호 0

날짜 1999. 6. 28

Doc. No.

Rev. No.

Date

2 / 6

DFDF

제 목 : 산화환원 운전절차서
Subject

1. 목적

이 절차서는 조사재시험시설의 핫셀(M6a)에서 수행해야 할 시험중 DUPIC 핵연료 분말 제조를 위한 사용후경수로 핵연료의 산화 및 환원(OREOX; Oxidation and REDuction of Oxide fuel) 공정에 대한 작업내용을 기술함으로써 작업절차의 표준화를 목적으로 한다.

2. 적용범위

본 절차서는 DUPIC 핵연료 분말 제조를 위한 산화/환원공정에 적용된다.

3. 참조문서

3.1 Linderberg Box furnace manual

4. 책임사항

조사재시험시설의 M6a 핫셀에서 수행되는 산화/환원로의 유지보수는 운전원에 있으며, 최종 책임은 시설운영 책임자에게 있다.

5. 시험장비 및 기기

5.1 M6a 핫셀내 시험장비 및 관련기기의 핫셀내 배치도는 그림 1과 같다.

6. 작업전 점검 및 시험준비

6.1 핫셀 전원(Control Panel Power) 확인

6.2 사용가스(Air, Ar, Ar-4%H₂, Ar-2%O₂) 실린더 압력 확인

6.3 배기체처리장치 연결 및 작동상태 확인

6.4 온도제어기의 입력 프로그램 확인

6.5 가스배관 이상유무 및 비상흡입장치 작동상태 확인

RW - QA - 00060



운전 및 시험 절차서
Operating Procedure Manual

한국원자력연구소 KAERI-DUPIC	문서번호 OP - 001	개정번호 0	날짜 1999. 6. 28	3 / 6
	Doc. No.	Rev. No.	Date	
DFDF	제 목 : 산화환원 운전절차서 Subject			

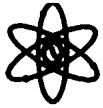
7. 작업순서 및 방법

- 7.1 콘트롤 패널(Control Panel) 주전원(Main Power) 스위치를 넣는다
- 7.2 가스실린더 압력을 각기 기록한다.
- 7.3 사용후핵연료 적당량을 tray에 넣는다.
- 7.4 tray를 전기로에 넣는다.
- 7.5 전기로 문을 닫는다.
- 7.6 입력된 프로그램에 따라 전기로를 가동한다.
- 7.7 분위기 가스를 20 psi(1.4 bar)의 압력으로 해당 유량만큼 흘린다.
- 7.8 입력 프로그램의 각 구간별 온도와 가스 종류 및 유량은 첨부 1과 같다.
- 7.9 입력된 프로그램이 끝났는지 확인한다.
- 7.10 전기로 온도가 80℃로 식을 때까지 기다린다.
- 7.11 80℃가 되면 입력 프로그램 No.2를 시작한다.
- 7.12 Ar가스를 잠그고 Ar-2%O₂ 가스를 흘린다.
- 7.13 입력된 프로그램이 끝났는지 확인한다.
- 7.14 Ar-2%O₂ 가스를 잠그고 Ar 가스를 흘린다.
- 7.15 전기로 온도가 실온으로 식을 때까지 기다린다.
- 7.16 실온에 도달하면 가스를 잠근다.
- 7.17 전기로 전원공급 스위치를 차단한다.
- 7.18 전기로 문을 열고 처리된 분말을 꺼낸다.

8. 작업시 주의사항

- 8.1 소요 가스량을 미리 판단하여 충분한 가스를 확보한다.
- 8.2 사용 핵물질의 무게를 기록, 관리한다.
- 8.3 장비 가동중 작업자는 항상 대기하여 가동상태를 점검, 확인한다.

RW - QA - 00060



운전 및 시험 절차서
Operating Procedure Manual

한국원자력연구소
KAERI-DUPIC

문서번호 OP - 001
Doc. No.

개정번호 0
Rev. No.

날짜 1999. 6. 28
Date

4 / 6

DFDF

제 목 : 산화환원 운전절차서
Subject

9. 이상작업 발생시 처리사항

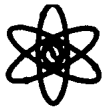
9.1 작업중 이상이 발생했을 때는 분위기를 Ar가스로 교체후 작업변수를 확인하여 조치하거나 담당연구원에게 연락한다.

9.2 작업중 장비작동에 이상이 발생했을 때는 작업을 중단하고 이상상태를 조치하거나 담당연구원에게 연락한다.

10. 첨부

그림 1. M6a 핫셀내 시험장비 및 관련기기의 핫셀내 배치도

첨부 1. 입력 프로그램의 각 구간별 온도와 가스 종류 및 유량



운전 및 시험 절차서
Operating Procedure Manual

한국원자력연구소
KAERI-DUPIC

문서번호 OP - 001
Doc. No.

개정번호 0
Rev. No.

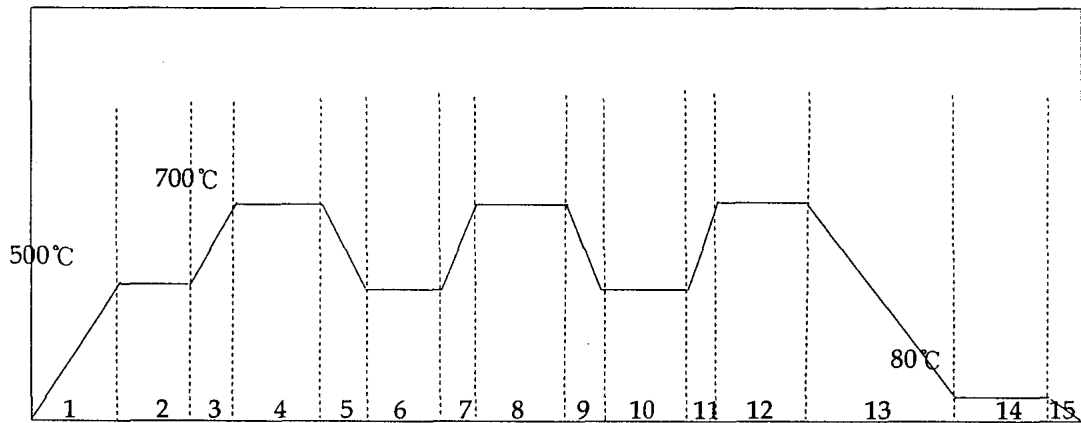
날짜 1999. 6. 28
Date

6 / 6

DFDF

제 목 : 산화환원 운전절차서
Subject

첨부 1.



단계	형태	조건	분위기	가스유량	비고
1	가온	4 °C/min	Air 가스	1 L/min	
2	유지	500 °C, 2시간	Air 가스	5.5 L/min	
3	가온	4 °C/min	Ar 가스	1 L/min	
4	유지	700 °C, 7시간	Air-4%H2 가스	13 L/min	
5	냉각	4 °C/min	Ar 가스	1 L/min	
6	유지	450 °C, 2시간	Air 가스	5.5 L/min	
7	가온	4 °C/min	Ar 가스	1 L/min	
8	유지	700 °C, 7시간	Air-4%H2 가스	13 L/min	
9	냉각	4 °C/min	Ar 가스	1 L/min	
10	유지	450 °C, 2시간	Air 가스	5.5 L/min	
11	가온	4 °C/min	Ar 가스	1 L/min	
12	유지	700 °C, 7시간	Air-4%H2 가스	13 L/min	
13	냉각	4 °C/min	Ar 가스	2 L/min	
14	유지	80 °C, 4시간	Air-2%O2 가스	2 L/min	
15	냉각	4 °C/min	Ar 가스	2 L/min	

RW - QA - 00060



한국원자력연
구소
KAERI-DUPIC

운전 및 시험 절차서
Operating Procedure Manual

문서번호 OP - 001
Doc. No.

개정번호 0
Rev. No.

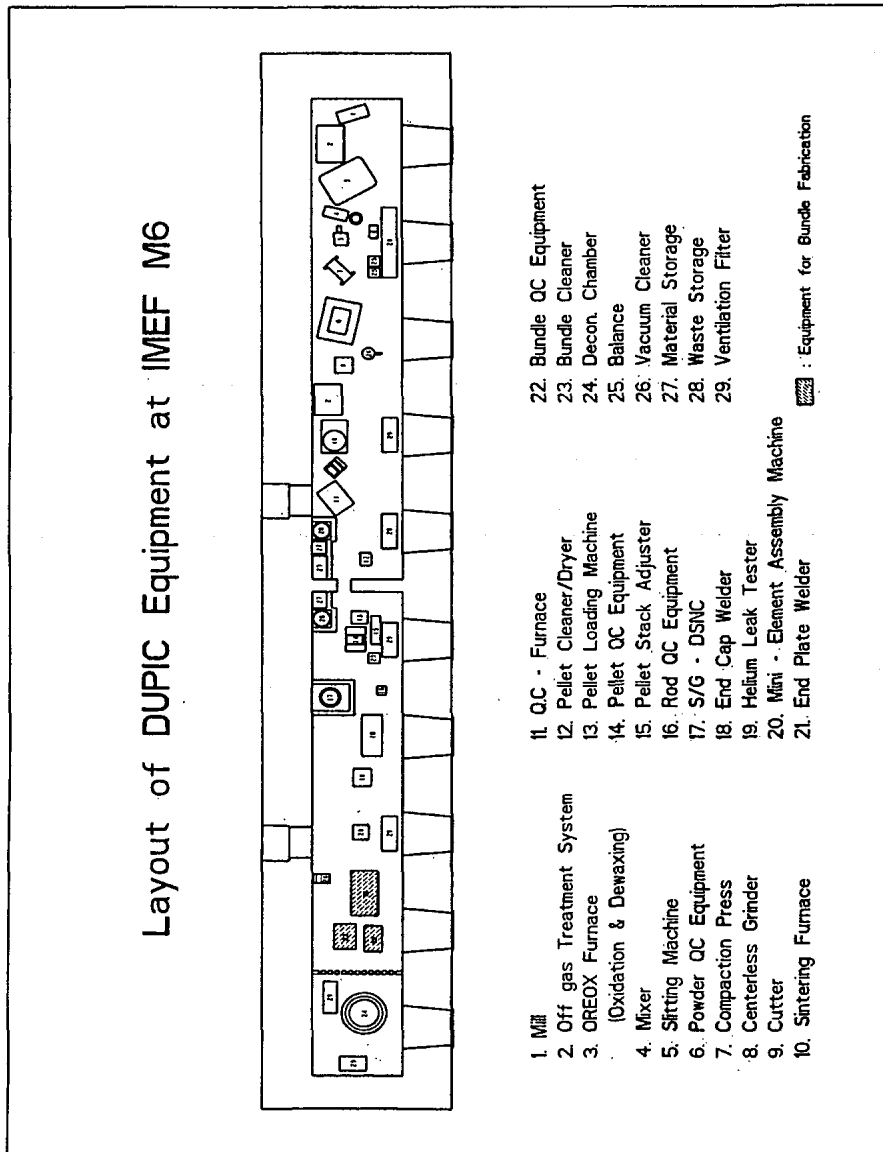
날짜 1999. 6.
28
Date

5 / 6

DFDF

제 목 : 산화환원 운전절차서
Subject

그림 1.



별첨 2

MOP- 400 : OREOX Process

OREOX PROCESS

1. PURPOSE

This procedure describes the methods used to convert the declad spent PWR fuel into a ceramic fine powder.

2. SCOPE

This procedure applies to the process used by DUPIC Manufacturing & Process Development Section to manufacture a ceramic fine powder, suitable for refabrication into the DUPIC fuel pellets, from the declad spent PWR fuel. This procedure is to be used by DUPIC Fabrication Engineers.

3. DEFINITIONS

OREOX: Oxidation and Reduction of Oxide fuels

OREOX process: A dry thermal process which involves subjecting the spent PWR fuel to successive oxidizing and reducing cycles to break it down to a ceramic grade powder suitable for refabrication into DUPIC fuel pellets.

Work Sheet: Records that accompany the process materials throughout the various stages of fabrication. Essential data is recorded during fabrication processes.

4. RESPONSIBILITY

The Fabrication supervisor is responsible for defining process parameters (e.g., operations to be used, batch size, component masses involved, specified densities) and ensuring that all work meet QA requirements. The Fabrication Engineers are responsible for carrying out the process and recording the Work Sheet in accordance with this procedure and the fabrication supervisor's direction.

5. RELATED DOCUMENTS

Lindberg Box Furnace Manual (Serial No. 969985)

MOP-500 : Operating Procedure of Off-Gas Treatment System for OREOX Process

6. EQUIPMENT

The main equipment are as follows.

- OREOX furnace
- Off-gas treatment system for OREOX process

Their location is shown in Appendix I.

7. PREREQUISITES

The sufficient number of gas cylinders (gas pressure: above 100 kg/cm²) must be prepared to supply air, Argon gas, Argon/4%H₂ gas, and Argon/2%O₂ gas in OREOX furnace without shortage during operation. The total pressure of each cylinder must be recorded on Work Sheet prior to operation.

It must be checked that off-gas treatment system is working properly according to the Operating Procedure of Off-Gas Treatment System(MOP-500)

It must be confirmed that the temperature program of OREOX furnace is set up correctly.

The balance must be readable to at least 0.01g.

8. HAZARDS AND PRECAUTIONS

The Procedure of Radiological Safety Control (by Department of Radiological Safety Control) must be applied to protect persons working at operating area of DFDF.

If the other work in hot cell is performed with the operation of OREOX process at the same time, any interruption must be avoided between them.

9. PROCEDURES

1. Turn on "Main Power" of control panel.
2. Record the pressure of each gas cylinder. (e.g. Air, Argon gas, Argon/4%H₂ gas, Argon/2%O₂ gas)
3. Turn on furnace controller.
4. Confirm that the furnace is at room temperature.
5. Confirm that the program of furnace controller is coincided with the temperature program of Appendix II.
6. Confirm that thermocouple, gas-flow line and off-gas treatment system is properly connected with the OREOX furnace.
7. Start the off-gas treatment system in accordance with the Procedure of Off-Gas Treatment System for OREOX process (MOP-500) and confirm that the system is properly operated.
8. Weigh the tray(A), and pour the PWR fuel into the tray.
9. Weigh both the tray and PWR fuel(B)
10. Determine the weight of PWR fuel in the tray(B-A).
11. Open the OREOX furnace door.
12. Place the tray in the furnace.
13. Close the OREOX furnace door.
14. Supply atmosphere gas with 20 psi(1.4 bar) to furnace in accordance with the Table 1 of Appendix

II

15. Check the valve of the off gas treatment system.
16. Start the program of furnace.
17. Change the atmosphere gas and gas flow in accordance with the Table 1. of Appendix II.
18. Monitor the gas flow meter and the bubbler to ensure that the gas-flow line is not becoming plugged.

WARNING

If the gas-flow line is plugged (the gas flow meter indicates near "0" and no bubble is in the bubbler), stop the operation and follow the Procedure 9.4 (When the Gas Flow Line is Plugged) of Off-Gas Treatment System for OREOX Process (MOP-500).

19. Wait until the furnace temperature reaches to 80 °C after finish of the temperature control program.
20. At the furnace temperature of 80 °C, start the program of furnace for the passivation step.
21. Undergo a passivation in Argon/2% O₂ gas with the flow of 2 L/min for 4 hour.
22. After the finish of the temperature program is finished, close the Argon/2%O₂ gas cylinder and supply Argon gas with the flow of 2 L/min. until the furnace temperature reaches to room temperature.
23. When the furnace is at room temperature, close the Argon gas cylinder.
24. Turn off the power to off-gas treatment system.
25. Record the pressure of each gas cylinder.
26. Open the furnace door and pull out the tray powder.
27. Transfer the tray with OREOXed powder to balance very carefully.
28. Weigh the tray loaded with OREOXed powder.
29. Sample the OREOXed powder for the characterization, if necessary.

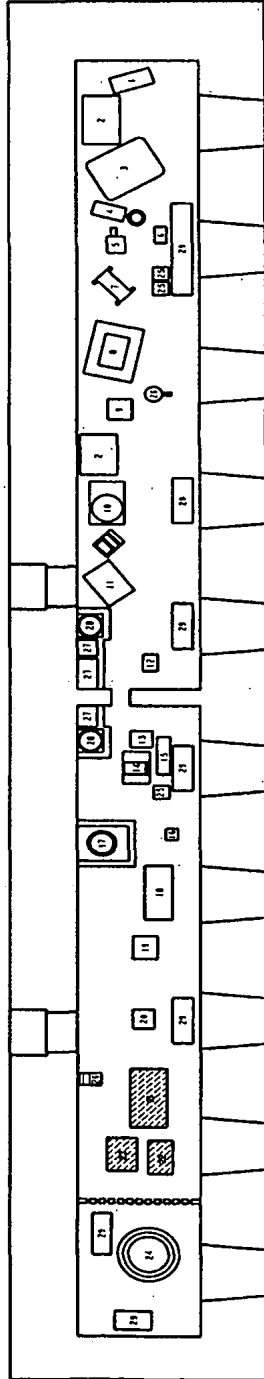
10. ACTIONS ON ABNORMAL SITUATION


If abnormal situation occurs, operator must notice it to the fabrication supervisor first of all and follow in supervisor's direction.

11. ATTACHMENTS

- | | |
|--------------|--------------------------------------|
| Appendix I | Lay-out of Equipments in DFDF |
| Appendix II | Operating Condition of OREOX Process |
| Appendix III | Work Sheet for OREOX Process |

Layout of DUPIC Equipment at IMEF M6



- | | | |
|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| 1. Mill | 11. QC - Furnace | 22. Bundle QC Equipment |
| 2. Off gas Treatment System | 12. Pellet Cleaner/Dryer | 23. Bundle Cleaner |
| 3. OREOX Furnace | 13. Pellet Loading Machine | 24. Decon. Chamber |
| (Oxidation & Dewaxing) | 14. Pellet QC Equipment | 25. Balance |
| 4. Mixer | 15. Pellet Stack Adjuster | 26. Vacuum Cleaner |
| 5. Slitting Machine | 16. Rod QC Equipment | 27. Material Storage |
| 6. Powder QC Equipment | 17. S/G - DSNC | 28. Waste Storage |
| 7. Compaction Press | 18. End Cap Welder | 29. Ventilation Filter |
| 8. Centerless Grinder | 19. Helium Leak Tester | |
| 9. Cutter | 20. Mini - Element Assembly Machine | |
| 10. Sintering Furnace | 21. End Plate Welder | |
-  : Equipment for Bundle Fabrication

HW-AE-WR100-011001

Appendix II Operating Condition of OREOX Process

Temp.

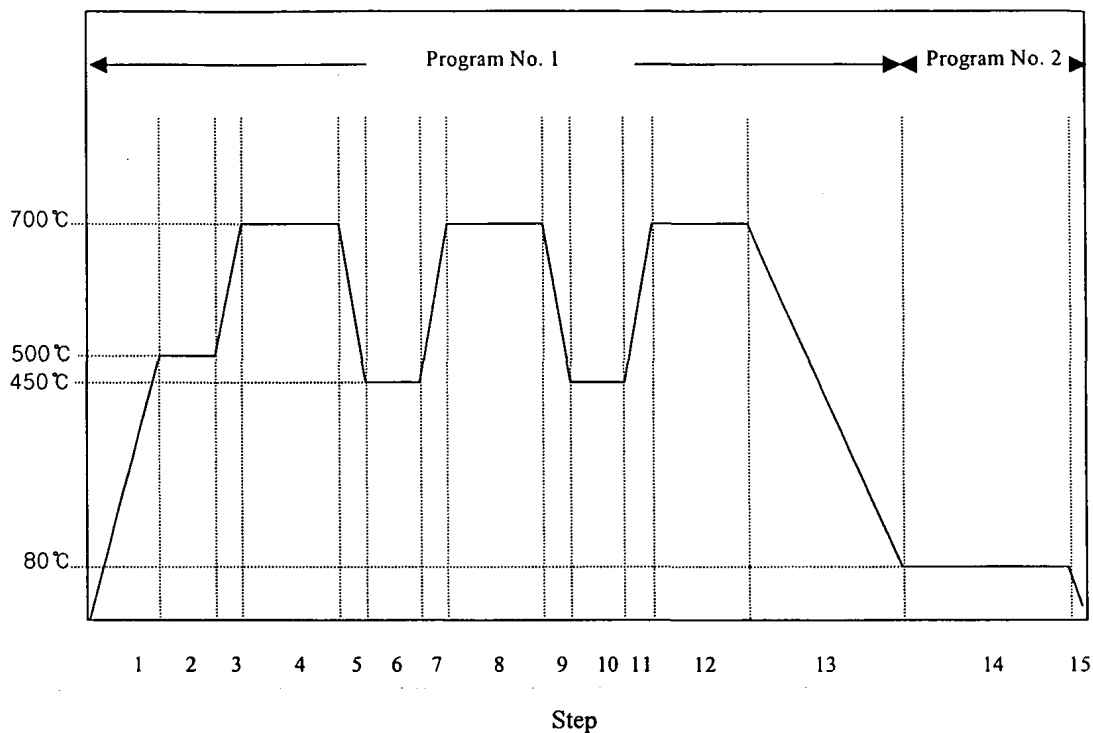


Fig. 1 Temperature Program of OREOX Furnace

Table 1. Operating Condition of Each Step

Step	State	Condition	Atmosphere	Gas Flow	Remarks
1	Heating	4 °C/min	Argon	1 L/min	
2	Dwell	500 °C, 2 hr	Air	5.5 L/min	
3	Heating	4 °C/min	Argon	1 L/min	
4	Dwell	700 °C, 7 hr	Argon/4%H ₂	13 L/min	
5	Cooling	4 °C/min	Argon	1 L/min	
6	Dwell	450 °C, 2 hr	Air	5.5 L/min	
7	Heating	4 °C/min	Argon	1 L/min	
8	Dwell	700 °C, 7 hr	Argon/4%H ₂	13 L/min	
9	Cooling	4 °C/min	Argon	1 L/min	
10	Dwell	450 °C, 2 hr	Air	5.5 L/min	
11	Heating	4 °C/min	Argon	1 L/min	
12	Dwell	700 °C, 7 hr	Argon/4%H ₂	13 L/min	
13	Cooling	4 °C/min	Argon	2 L/min	
14	Dwell	80 °C, 4 hr	Argon/2%O ₂	2 L/min	
15	Cooling	4 °C/min	Argon	2 L/min	

Appendix III Work Sheet for OREOX Process

MOP-400 OREOX Process

CAMPAIGN			
Work serial No.		Batch/Lot I.D. No.	
Operator		Date	
Source of Material			
Mass of Input		Mass of Output	
Remarks			
Equipment OREOX furnace, Off-gas treatment system, Electronic Balance			
Program No.		Maximum Temp.	700 °C
Gas supply pressure	20 psig		
Air flow rate	5.5 L/min	Argon flow	1.0 L/min
Argon+4%H ₂ flow	13.0 L/min	Argon+2%O ₂ flow	2.0 L/min
Remarks			
Gas cylinder pressure	Start	Final	Comment
Argon			
Air			
Argon+4%H ₂			
Argon+2%O ₂			

1. Preliminary Check

No.	Check Item	Confirm	Remarks
1	System is correctly connected ?		
2	Control panel power has no problem ?		
3	Gas line has no problem ?		
4	Gas pressure is suitable for gas supply ?		
5	Off-gas treatment system is normally operated ?		
6	Temperature control program is correctly set-up ?		

2. Operating Procedure

No.	Operating Action	Confirm	Remarks
1	Turn on "Main Power" of control panel		
2	Record the pressure of gas cylinder		
3	Pour the fuel into tray		
4	Place the tray in the OREOX furnace		
5	Close the OREOX furnace door		
6	Start the furnace operation according to input program		
7	Supply atmosphere gas with 20 psi (1.4 bar) to furnace		

No.	Operating Action	Confirm	Remarks																																																																																
8	Temperature, gas type and flow rate in each cycle on input program for furnace operations are as follows.																																																																																		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Step</th> <th>State</th> <th>Condition</th> <th>Atmosphere</th> <th>Gas Flow</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Heating</td> <td>4 °C/min</td> <td>Argon</td> <td>1 L/min</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Dwell</td> <td>500 °C, 2 hr</td> <td>Air</td> <td>5.5 L/min</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Heating</td> <td>4 °C/min</td> <td>Argon</td> <td>1 L/min</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Dwell</td> <td>700 °C, 7 hr</td> <td>Argon/4%H₂</td> <td>13 L/min</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Cooling</td> <td>4 °C/min</td> <td>Argon</td> <td>1 L/min</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Dwell</td> <td>450 °C, 2 hr</td> <td>Air</td> <td>5.5 L/min</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Heating</td> <td>4 °C/min</td> <td>Argon</td> <td>1 L/min</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>Dwell</td> <td>700 °C, 7 hr</td> <td>Argon/4%H₂</td> <td>13 L/min</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>Cooling</td> <td>4 °C/min</td> <td>Argon</td> <td>1 L/min</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>Dwell</td> <td>450 °C, 2 hr</td> <td>Air</td> <td>5.5 L/min</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>Heating</td> <td>4 °C/min</td> <td>Argon</td> <td>1 L/min</td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>Dwell</td> <td>700 °C, 7 hr</td> <td>Argon/4%H₂</td> <td>13 L/min</td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>Cooling</td> <td>4 °C/min</td> <td>Argon</td> <td>2 L/min</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>Dwell</td> <td>80 °C, 4 hr</td> <td>Argon/2%O₂</td> <td>2 L/min</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>Cooling</td> <td>4 °C/min</td> <td>Argon</td> <td>2 L/min</td> </tr> </tbody> </table>			Step	State	Condition	Atmosphere	Gas Flow	1	Heating	4 °C/min	Argon	1 L/min	2	Dwell	500 °C, 2 hr	Air	5.5 L/min	3	Heating	4 °C/min	Argon	1 L/min	4	Dwell	700 °C, 7 hr	Argon/4%H ₂	13 L/min	5	Cooling	4 °C/min	Argon	1 L/min	6	Dwell	450 °C, 2 hr	Air	5.5 L/min	7	Heating	4 °C/min	Argon	1 L/min	8	Dwell	700 °C, 7 hr	Argon/4%H ₂	13 L/min	9	Cooling	4 °C/min	Argon	1 L/min	10	Dwell	450 °C, 2 hr	Air	5.5 L/min	11	Heating	4 °C/min	Argon	1 L/min	12	Dwell	700 °C, 7 hr	Argon/4%H ₂	13 L/min	13	Cooling	4 °C/min	Argon	2 L/min	14	Dwell	80 °C, 4 hr	Argon/2%O ₂	2 L/min	15	Cooling	4 °C/min	Argon	2 L/min
	Step			State	Condition	Atmosphere	Gas Flow																																																																												
	1			Heating	4 °C/min	Argon	1 L/min																																																																												
	2			Dwell	500 °C, 2 hr	Air	5.5 L/min																																																																												
	3			Heating	4 °C/min	Argon	1 L/min																																																																												
	4			Dwell	700 °C, 7 hr	Argon/4%H ₂	13 L/min																																																																												
	5			Cooling	4 °C/min	Argon	1 L/min																																																																												
	6			Dwell	450 °C, 2 hr	Air	5.5 L/min																																																																												
	7			Heating	4 °C/min	Argon	1 L/min																																																																												
	8			Dwell	700 °C, 7 hr	Argon/4%H ₂	13 L/min																																																																												
	9			Cooling	4 °C/min	Argon	1 L/min																																																																												
	10			Dwell	450 °C, 2 hr	Air	5.5 L/min																																																																												
	11			Heating	4 °C/min	Argon	1 L/min																																																																												
	12			Dwell	700 °C, 7 hr	Argon/4%H ₂	13 L/min																																																																												
13	Cooling	4 °C/min	Argon	2 L/min																																																																															
14	Dwell	80 °C, 4 hr	Argon/2%O ₂	2 L/min																																																																															
15	Cooling	4 °C/min	Argon	2 L/min																																																																															
9	After input program reaches to 80°C, stop the program by pushing program hold s/w (14 th step)																																																																																		
10	Wait until the furnace temperature reaches to 80°C																																																																																		
11	After the furnace temperature reaches to 80°C, Restart the program by pushing program run s/w (14 th step)																																																																																		
12	Close Argon gas cylinder and supply the Ar-2%O ₂ gas																																																																																		
13	Confirm the finishing of input program																																																																																		
14	Close the Argon/2%O ₂ gas cylinder and supply Argon gas with the flow of 2 L/min																																																																																		
15	Wait until the furnace temperature reaches to room temperature																																																																																		
16	Close the Argon gas cylinder after reaching room temperature																																																																																		
17	Turn off the power switch for furnace operation																																																																																		
18	Open the furnace door and pull out the tray powder																																																																																		
19	Finish the whole operation																																																																																		


3. Final Check

No.	Check Item	Confirm	Remarks
1	Weigh the powder treated from each batch operation		
2	Sample the powder of specific weight if necessary		


4. Results

Operator		200 . . .
Reviewer		200 . . .
Supervisor		200 . . .
Comment		


별첨 3.

 한국원자력연구소 KAERI-DUPIC	운전 및 시험 절차서 Operating Procedure Manual			1 / 4
	문서번호 OP - 002 Doc. No.	개정번호 0 Rev. No.	날짜 1999. 5. 31 Date	
DFD	제 목 : 산화·환원로 배기체 처리장치 운전절차서 Subject			
<p>목 차</p> <p>1. 목적 2</p> <p>2. 적용범위 2</p> <p>3. 참조문서 2</p> <p>4. 책임사항 2</p> <p>5. 구성 및 배치 2</p> <p>6. 점검 및 주의 사항 3</p> <p>7. 운전절차 3</p> <p>8. 첨부 3</p>				

RW - QA - 00059

 한국원자력연 구소 KAERI-DUPIC	운전 및 시험 절차서 Operating Procedure Manual			
	문서번호 OP - 002 Doc. No.	개정번호 0 Rev. No.	날짜 1999. 5. 31 Date	2 / 4
DFD	제 목 : 산화·환원로 배기체 처리장치 운전 절차서 Subject			
<p>1. 목적</p> <p>이 절차서는 조사재시험시설의 핫셀(M6a)에서 수행되는 DUPIC 핵연료 제조공정 중 산화·환원 공정에서 발생하는 핵분열생성물, 액티나이드, 에어로졸이나 증기 입자들과 같은 기체 방사성폐기물의 제거에 사용되는 산화·환원로 배기체 처리장치의 운전절차를 기술함을 목적으로 한다.</p> <p>2. 적용범위</p> <p>본 절차서는 DUPIC 핵연료 제조 공정 중 산화·환원로에서 발생하는 기체방사성폐기물처리를 위한 산화환원로의 배기체처리장치의 운전에 활용한다.</p> <p>3. 참조문서</p> <p>4. 책임사항</p> <p>조사재시험시설의 M6a셀에서 설치, 운전되는 산화·환원로 배기체처리장치의 유지보수는 운전원에 있으며, 최종 책임은 시설운영 책임자에게 있다.</p> <p>5. 산화·환원로 배기체처리장치의 구성 및 배치도</p> <p>M6a 핫셀내 산화·환원로 배기체처리장치의 구성은 다음과 같은 4개의 단위장치들로 구성되어 있다. 조사재시험시설의 핫셀(M6a) 내에서의 배치도는 그림 1과 같다.</p> <p>5.1 사이클론 단위장치</p> <p>5.2 요오드 포집 단위장치</p> <p>5.3 삼중수 포집 단위장치</p> <p>5.4 필터류</p>				

RW - QA - 00060

 한국원자력연 구소 KAERI-DUPIC	운전 및 시험 절차서 Operating Procedure Manual			3 / 4
	문서번호 OP - 002 Doc. No.	개정번호 0 Rev. No.	날짜 1999. 5. 31 Date	
DFDF	제 목 : 산화·환원로 배기체 처리장치 운전 절차서 Subject			
<p>6. 점검 및 주의사항</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 산화·환원 작업중에는 운전원이 상주하여 반드시 산화·환원로 배기체처리장치의 상태를 감시하여야 한다. 2) 산화·환원로 작동 전 산화·환원로의 실온 유지 여부를 확인한다. 3) 산화·환원로 온도조절 프로그램을 수행한다. 4) 열전대, 가스공급라인, 전원공급장치 및 배기체처리장치 등과 산화·환원로의 연결 상태를 확인한다. 5) 냉각수 공급 여부를 확인한다. 6) 계통 내의 기밀상태를 확인한다. 가스공급라인을 열어 배기체 처리장치에서의 bubbler에서 기포 발생여부를 확인한다. 7) 배기체처리장치 내의 밸브의 개·폐가 적절한 상태로 유지되어 있는지 확인한다. <p>7. 운전절차</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 산화·환원로를 작동시키고 분위기 가스가 공급되면 배기체처리장치에 전원을 공급한다. 2) 산화·환원로 작동 중 bubbler에서 기포 발생여부를 계속하여 감시한다. 3) 산화·환원로 작동 중 bubbler에서 기포가 발생하지 않으면 산화·환원로의 운전을 중지하고 산화·환원로를 실온으로 냉각시킨다. 냉각후 system의 기밀상태 또는 필터의 막힘여부를 확인한 후 적절한 조치를 취한다. <p>8. 첨부</p> <p style="padding-left: 20px;">그림 1. M6a 핫셀내 시험장비 및 관련기기의 핫셀내 배치도</p>				

RW - QA - 00060



한국원자력연
구소
KAERI-DUPIK

운전 및 시험 절차서
Operating Procedure Manual

문서번호 OP - 002
Doc. No.

개정번호 0
Rev. No.

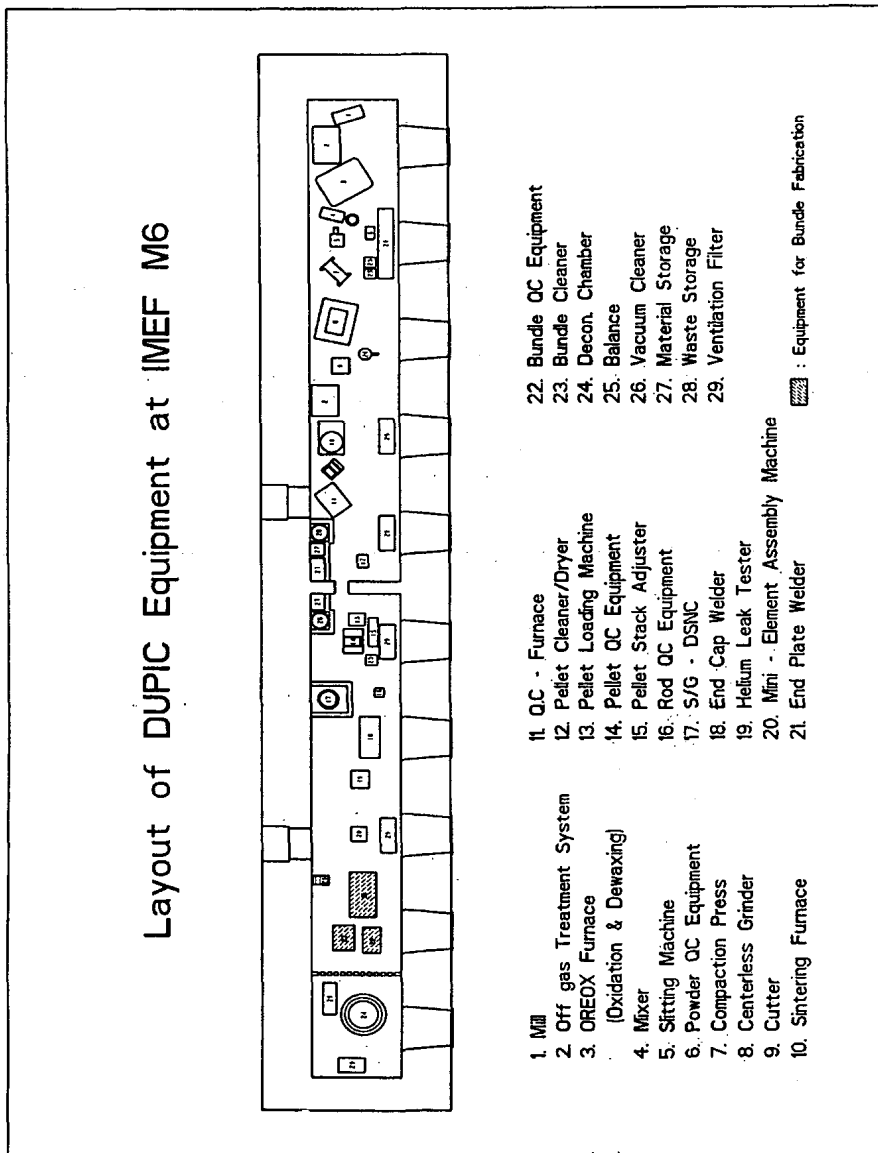
날짜 1999. 5. 31
Date

4 / 4

DFDF

제 목 : 산화·환원로 배기체 처리장치 운전 절차서
Subject

그림 1.



별첨 4

MOP- 500
Off-Gas Treatment System for
OREOX Process

OFF-GAS TREATMENT SYSTEM FOR OREOX PROCESS

1. PURPOSE

This procedure describes the methods used to remove the fission products, actinides, aerosol and gaseous radioactive waste being discharged from OREOX furnace during operation of OREOX process

2. SCOPE

This procedure applies to the process used in DFDF (by DUPIC Manufacturing & Process Development Section) to treat the off-gas being discharged from OREOX furnace during operation of OREOX process. This procedure is to be used by DUPIC Fabrication Engineer.

3. DEFINITIONS

OREOX: Oxidation and Reduction of Oxide fuels

OREOX process: A dry thermal process which involves subjecting the spent PWR fuel to successive oxidizing and reducing cycles to break it down to a ceramic grade powder suitable for refabrication into fuel pellets for CANDU reactor.

Off-gas: A gas discharged from a spent fuel materials during processing, which usually involves various particulates and chemicals.

4. RESPONSIBILITY

The Fabrication Supervisor is responsible for defining operating conditions and communicating them with the Fabrication Engineers. The Fabrication Engineers are responsible for carrying out the process and recording the Work Sheet in accordance with this procedure and the fabrication supervisor's direction.

5. RELATED DOCUMENTS

MOP-400 : Operating Procedure of OREOX Process

6. EQUIPMENT

The off-gas treatment system for OREOX process consists of following equipment.

- Thermal Gradient Tube and Cyclone
- Iodine Adsorber
- Tritium Adsorber
- Filters
- Bubbler

The location of off-gas treatment system for OREOX process is shown in Appendix I.

7. PREREQUISITES

The water of bubbler must be filled in proper level.

It must be confirmed that the ON/OFF position of valves in off-gas treatment system is correct.

The tightness of the system must be checked prior to operation. And it also must be ensured that there is no leak on the gas flow line.

8. HAZARDS AND PRECAUTIONS

The Procedure of Radiological Safety Control (by Department of Radiological Safety Control) must be applied to protect persons working at operating area of DFDF.

9. PROCEDURES

1. Open the valves in the gas-flow line.
2. When atmosphere gas with 20 psi (1.4 bar) is supplied to furnace according to the Procedure of OREOX Process (MOP-400, section 9. step 13.), check the pressure of the line.
3. Monitor the gas flow meter and the bubbler to ensure that the gas-flow line is not becoming plugged.
4. If the gas-flow line is plugged (the gas flow meter indicates near "0" and no bubble is in the bubbler), close the valve of gas supply and stop the operation and follow the next procedure;

When the Gas Flow Line is Plugged,

- a. **Stop the program-run of OREOX furnace and lower the furnace temperature to 80 °C.**
- b. **Check the gas-flow line and the equipment of the off-gas treatment system (e.g. cyclone, Iodine absorber, Tritium absorber and filters)**
- c. **When the plugged line or part is found, replace the line or part with spare units.**

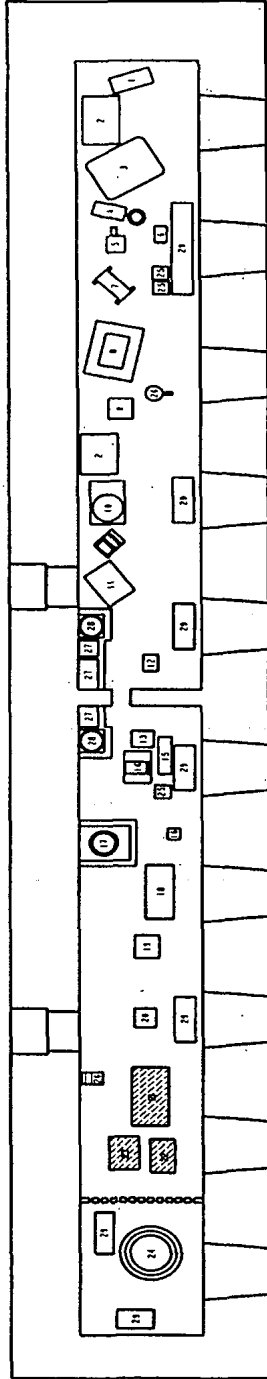
10. ACTIONS ON ABNORMAL SITUATION

If abnormal situation occurs, first of all, operator must notice it to the fabrication supervisor and follow in supervisor's direction.

11. ATTACHMENTS

Appendix I Lay-out of Equipments in DFDF

Layout of DUPIC Equipment at IMEF M6



- | | | |
|--|-------------------------------------|-------------------------|
| 1. Mill | 11. Q.C. - Furnace | 22. Bundle QC Equipment |
| 2. Off gas Treatment System | 12. Pellet Cleaner/Dryer | 23. Bundle Cleaner |
| 3. OREOX Furnace
(Oxidation & Dewaxing) | 13. Pellet Loading Machine | 24. Decon. Chamber |
| 4. Mixer | 14. Pellet QC Equipment | 25. Balance |
| 5. Slitting Machine | 15. Pellet Stack Adjuster | 26. Vacuum Cleaner |
| 6. Powder QC Equipment | 16. Rod QC Equipment | 27. Material Storage |
| 7. Compaction Press | 17. S/G - DSNC | 28. Waste Storage |
| 8. Centerless Grinder | 18. End Cap Welder | 29. Ventilation Filter |
| 9. Cutter | 19. Helium Leak Tester | |
| 10. Sintering Furnace | 20. Mini - Element Assembly Machine | |
| | 21. End Plate Welder | |
- : Equipment for Bundle Fabrication

서 지 정 보 양 식					
수행기관보고서번호	위탁기관보고서번호	표준보고서번호	INIS 주제코드		
KAERI/TR-2383/2003					
제목 / 부제	핵연료 원격제조중 방출되는 Kr-85 거동 특성 시험				
주 저 자	박 근일 (건설공정 핵연료 기술개발부)				
연구자 및 부서명	이 정원, 김 수성, 김 용기, 김 중호, 이 재원, 조 광훈, 이 도연, 이 영순, 정 정환, 신 원철, 양 명승(건설공정 핵연료 기술개발부),				
출 판 지	대 전	발행기관	한국원자력연구소	발행년	2003
페 이 지	53 p.	도 표	있음(○), 없음()	크 기	A4
참고사항					
비밀여부	공개(○), 대외비(), — 급비밀		보고서종류	기술보고서	
연구위탁기관			계약 번호		
초록 (15-20줄내외)	<p>사용후핵연료를 이용한 DUPIC 핵연료 제조공정으로부터 방출되는 핵분열 기체 중 Kr-85의 방출 거동 특성 분석을 위한 시험 장치 및 시험 절차를 개발하였다. 본 시험은 사용후핵연료의 분말 소결성을 향상시키기 위하여 채택하고 있는 OREOX공정으로부터 방출되는 핵분열기체중 Kr-85 거동 특성을 분석하고, 아울러 사용후핵연료를 이용한 핵연료 원격 제조조건에 따른 방출 거동 특성 분석하는데 주 목적을 두고 있다. DFDF(DUPIC Fuel Fabrication Facility)에 설치된 OREOX 가열로 및 tube 가열로로부터 온도 및 기체 분위기 변화에 따른 Kr-85 방출 농도를 측정하기 위하여 기체 라인 및 측정 시스템을 글로브박스내에 설치하고 작업구역으로의 기체 누설을 방지하기 위하여 부압 조건을 항상 유지하도록 시스템을 설계·제작하였다. 아울러 Kr-85 방출 시험에 따른 배출 농도 및 환경 안전성을 예비 평가한 결과, 본 시험으로 인한 환경에 미치는 영향은 극히 미미한 것으로 나타났다.</p>				
주제명키워드 (10단어내외)	<p>사용후핵연료, DUPIC 공정, 핵연료 제조, 핵분열기체, Kr-85, 방출특성, DUPIC 핵연료 제조시설(DFDF)</p>				

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET					
Performing Org. Report No.	Sponsoring Org. Report No.	Standard Report No.	INIS Subject Code		
KAERI/TR-2383/2003					
Title / Subtitle	Test Program on the Release Characteristics of Kr-85 from Remote Fuel Fabrication Process				
Main Author	Geun Il Park(Dry Process Fuel Tech. Development Div.)				
Researcher and Department	J.W. Lee, S.S. Kim, W.K.Kim, J.H. Kim, J.W. Lee, K.H. Cho, D.Y. Lee, Y.S. Lee, J.W. Jeong, W.C. Shin, M.S. Yang (Dry Process Fuel Tech. Development Div.)				
Publication Place	Daejeon	Publisher	KAERI	Publication Date	2003
Page	53 p.	Ill. & Tab.	Yes(O), No ()	Size	A4
Note					
Classified	Open(O), Restricted(), __ Class Document	Report Type	Technical Report		
Sponsoring Org.		Contract No.			
Abstract(15-20 Lines)	<p>In order to investigate the release kinetics of Kr-85 fission gas during DUPIC fuel fabrication process using spent fuel materials, the test equipment and its procedure was developed. The purpose of this test involves the measurement of Kr-85 released during OREOX process in DUPIC fuel fabrication as well as the analysis of fission- gas release kinetics with the variation of fuel fabrication conditions. Gas monitoring system installed inside glove box was located at out-cell of DFDF(DUPIC Fuel Fabrication Facility) at which OREOX and tube furnaces have already installed inside hot cell. The use of glove box is aimed for preventing a gas release from sampling gas line under negative pressure. Based on the allowable discharge concentration of Kr-85 to environment and the preliminary analysis assuming total released amount a year, environmental impact according to Kr-85 measuring test would be minimal.</p>				
Subject Keywords (About 10 words)	Spent fuel, DUPIC process, Fuel fabrication, Fission gas, Kr-85, Release characteristics, DUPIC Fuel Development Facility(DFDF)				