



KR0100851

KAERI/TR-1643/2000

**DUPIC 핵연료 제조공정에서의
배기체처리계통 예비 안전성 분석**

Preliminary Safety Analysis of Offgas Treatment
System for DUPIC Fuel Manufacturing Process
at DFDF

한국원자력연구소

32/42

**PLEASE BE AWARE THAT
ALL OF THE MISSING PAGES IN THIS DOCUMENT
WERE ORIGINALLY BLANK**

제 출 문

한국원자력연구소 소장 귀하

본 보고서를 “DUPIC 핵연료 시설기술개발” 과제의 DUPIC 핵연료 제조공정에서의 배기체처리계통 예비 안전성분석“에 관한 기술보고서로 제출합니다.

2000년 9월 일

주 저 자 : 신진명

공 저 자 : 이호희

박장진

양명승

요 약 문

DUPIC 핵연료제조 공정은 가압경수로 사용후핵연료를 직접적인 재가공방법에 의하여 중수로용 핵연료로 제조하는 건식 공정기술이다. DUPIC 핵연료 제조시험은 다량의 고방사능 사용후핵연료를 재가공하는 공정을 포함하고 있으므로 엄격한 방사선 안전 관리가 필요하다. 이에 따라 사용후 핵연료 사용량증가에 따른 DFDF 시설의 안전성분석은 hot cell의 안전성 보장과 작업자의 방사선 피폭저감을 위해서 매우 중요하다. 본 보고서에서는 안전성분석을 위한 기초 자료로서 기존시설(IMEF)의 설계 및 DUPIC 핵연료 제조시험에 필요한 시설, 장비, 제조공정 및 배기체 처리장비등을 종합적으로 기술한다. 또한 DUPIC 핵연료 제조공정 중 사용후핵연료의 산화·환원 및 소결과정에서 발생하는 배기체 발생량 및 방사능량 그리고 배기체 처리장치별 제염효율, 제조공정, 핵종별 발생량 및 핵종별 방사능 흐름도 등을 기술한다.

SUMMARY

DUPIC fuel fabrication process is a dry processing technology to manufacture CANDU compatible fuel through a direct refabrication process from spent PWR fuel. DUPIC fuel fabrication process consists of the slitting of the spent PWR fuel rods, OREOX processing, homogeneous mixing, pelletizing and sintering. All these processes should be conducted by remote means in a M6 hot cell at IMEF.

Since there is a lot of highly radioactive spent fuel(200 kg) to be used in DUPIC fuel fabrication process, safety analysis on DFDF facility is very important to improve the safety of hot cell and to reduce the dose exposure to operator.

This report describes the design of IMEF facility, manufacturing equipment and process, offgas treatment system necessary for DUPIC fuel manufacturing process. Also, it provides the flow chart of arising and activity for each nuclide in offgas treatment system and final arising and activity for gaseous waste discharged from offgas treatment equipment into inside of M6 cell during OREOX and sintering processes in DUPIC fuel manufacturing process.

목 차

제 1 장 서론	7
제 2 장 DUPIC 핵연료 제조공정 및 설비	9
제 1 절 서설	9
제 2 절 기준 핵연료 및 DUPIC 핵연료 제조 시험계획	9
1. 사용후 PWR 핵연료	9
2. DUPIC 핵연료	12
제 3 절 핵연료 관련 시설 및 장비	13
1. 조사후시험설비(PIEF)	13
2. 조사재시험시설(IMEF)	14
제 4 절 DUPIC 핵연료 제조 공정 및 장비	19
1. DUPIC 핵연료 제조공정 흐름	19
2. DUPIC 핵연료 제조 공정 및 장비	19
제 3 장 IMEF M6 핫셀용 배기체 처리 계통분석	39
제 1 절 서설	39
제 2 절 배기체처리계통	39
1. 사용후핵연료	39
2. DUPIC 핵연료 제조조건	40
3. 배기체의 예상발생을	43
4. 배기체처리 공정	44
5. 배기체 처리계통의 단위포집장치	48
6. 단위포집장치의 설계기준	49
제 3 절 제조공정 및 핵종별 방사능 흐름도	49
제 4 장 결론	56
Appendix 1. Mass of elements in spent fuel	57
Appendix 2. Activities of Nuclides in spent fuel	101

표 목차

Table 1. PIEF 저장 수조에 저장된 사용후 PWR 핵연료	10
Table 2. DUPIC 핵연료 제조시험용 기준 사용후 PWR 핵연료의 설계특성	11
Table 3. DUPIC 핵연료 제조시험용 기준	12
Table 4. IMEF 핫셀의 주요 제원 및 기능	16
Table 5. IMEF M6 셀 설계특성 및 부속설비 용량	17
Table 6. DUPIC 핵연료 제조 및 품질관리 장비 설계특성	26
.....	
Table 7. 기체폐기물의 각 화학적 형태별 발생량 및 방사능량	41
Table 8. Operation conditions for DUPIC fuel manufacturing process	44
Table 9. Predicted release rates of fission products in DUPIC process	45
Table 10. 배기체 처리장치의 설계기준	51
Table 11. Flow chart of off-gas treatment system for OREOX furnace	52
Table 12. Flow chart of off-gas treatment system for sintering furnace	53
Table 13. Summary of arising and activity for gaseous waste discharge from off-gas treatment equipments to M6 cell for each furnace	54
Table 14. Total arising and activity for gaseous waste discharge from off-gas treatment equipments to M6 cell for each furnace	55

그림 목차

Fig. 1. 조사채시험시설(IMEF)의 핫셀 배치도.	15
Fig. 2. Block Flow Diagram of DUPIC Fuel Fabrication Process.	21
Fig. 3. Detailed Process in PIEF.	22
Fig. 4. Detailed Powder Manufacturing Process.	24
Fig. 5. Detailed Pellet Manufacturing Process.	25
Fig. 6. Layout of DUPIC Equipment at IMEF M6 Hot Cell.	30
Fig. 7. Slitting Machin.	31
Fig 8. OREOX Furnace	32
Fig 9. Milling Machine	33
Fig. 10. Roll Compactor	34
Fig. 11. Mixer	34
Fig. 12. Compaction Press	35
Fig. 13. Sintering Furnace	36
Fig. 14. Centerless Grinder	36
Fig. 15. Pellet Loading Machine	37
Fig. 16. Laser Welding Machine	38
Fig. 17. Off-gas treatment system for OREOX furnace at IMEF.	46
Fig. 18. Off-gas treatment system for sintering furnace at IMEF.	47

제 1 장 서 론

한국원자력연구소는 캐나다, 미국 및 IAEA의 협력하에 경·중수로 연계핵연료(DUPIC : Direct use of spent PWR fuel in CANDU reactor) 기술에 관한 국제 공동연구를 수행하고 있다. DUPIC 핵연료는 경수로 사용후핵연료를 차폐 시설내에서 건식공정을 통하여 중수로 핵연료로 재 가공하는 개념으로, 핵확산 저항성이 매우 우수하다고 평가되고 있다. 또한 우라늄 자원의 활용성을 극대화시킬 뿐만 아니라 방사성폐기물 방출량을 최소화 할 수 있는 장점을 지닌 독창적 개념이다.

DUPIC 핵연료기술개발 과제에서는 한국원자력연구소 조사재시험시설(IMEF)의 M6 핫셀을 이용한 DUPIC 핵연료봉 제조하기 위한 모든 제조 장비 및 검사 기기 설치를 완료하고 실제 사용후 핵연료를 사용한 본격적인 시험을 2000년 1월부터 착수하였다.

DUPIC 핵연료 제조시험은 다량의 고방사능 사용후핵연료를 파괴하여 원자로용 핵연료로 재가공하는 공정을 포함하고 있으므로 엄격한 방사선 안전관리가 필요하다. 특히, 본 시험은 기 건설된 조사재시험시설의 일부 핫셀을 개·보수하여 사용함으로써 사용후핵연료 사용량증가에 따른 시설의 안전성분석은 필수적이다. 이러한 안전성분석은 시험을 수행하는 시설뿐 아니라 주위시설과의 상관관계를 고려하여 종합적으로 분석하여야 한다.

시설의 안전성분석 결과는 DFDF 시설의 사용후핵연료 사용량 및 저장량을 결정하는 기본 자료로 활용할 수 있고 DFDF 시설의 안전성에 영향을 미치는 핵심인자를 도출하여 시설의 보완 및 안전운영의 기본자료로 활용할 수 있다. 또한 DFDF 시설의 안전성분석 결과는 필요시 향후 규제기관의 인허가 자료로도 활용할 수 있다.

본 보고서에서는 사용후핵연료 사용량증가에 따른 시설의 안전성분석을 수행하기 위한 기본 자료로서 기존시설(IMEF)의 설계 및 안전성분석 자료에 관하여 기술한다. 그리고 DUPIC 핵연료 제조시설 및 장비, 취급물질, 배기체 처리장비 자료에 관하여 기술한다. 또한 DUPIC 핵연료 제조공정 중 사용후핵연료의 산

화·환원 및 소결과정에서 발생하는 배기체 발생량 및 배기체 처리장치별 제염 효율, 단위포집장치 등의 크기, 포집재의 종류, 제조공정 및 핵종별 방사능 흐름도 등을 기술한다.

제 2 장 DUPIC 핵연료 제조공정 및 설비

제 1 절 서설

DUPIC(Direct Use of Spent PWR Fuel in CANDU Reactors) 즉, 경·중수로 연계핵연료는 사용후 PWR 핵연료를 직접적인 재가공 방법에 의해 중수로 핵연료로 재 사용하는 독창적인 개념이다. 이 공정에서는 사용후 PWR 핵연료를 함유된 민감한 핵물질을 분리하지 않고 그대로 중수로 핵연료 초기물질로 사용하여 건식 공정인 산화/환원 공정에 의해 분말을 제조하고, 이 분말을 사용하여 압분체, 소결체, 연료봉 및 연료다발을 개발하는 공정이다. 이와 같이 DUPIC 핵연료 제조시험은 다량의 고방사능 핵연료를 파괴하여 원자로용 핵연료로 재가공하는 공정을 포함하고 있으므로 엄격한 방사선 안전관리가 필요하다. 특히 DUPIC 핵연료 제조시험이 기 건설된 조사재시험시설의 일부 핫셀을 개·보수하여 사용함으로써 사용후핵연료의 사용량 증가에 따른 시설의 안정성분석은 필수적이다. 시설의 안정성분석 결과는 DFDF 시설의 사용후핵연료 사용량 및 저장량을 결정하는 기본자료로 활용할 수 있다. 또한 DFDF 시설의 안전성에 영향을 미치는 핵심인자를 도출하여 시설의 보완 및 안전운영의 기본자료로 활용할 수 있다.

본 장에서는 DFDF 시설의 안전성분석을 위하여 우선 기준 핵연료 및 DUPIC 핵연료 제조 시험계획, 기존시설 및 DUPIC 핵연료 제조시설, DUPIC 핵연료 제조 공정 및 장비등의 자료에 관한 내용을 기술하였다.

제 2 절 기준 핵연료 및 DUPIC 핵연료 제조 시험계획

1. 사용후 PWR 핵연료

DUPIC 핵연료 제조시험에는 PIEF 저장수조에 저장되어 있는 사용후 PWR 핵연료를 사용할 예정이다. Table 1에는 현재 PIEF 저장수조에 저장되어 있는 사용후 PWR 핵연료를 나타내었다. DUPIC 핵연료 제조시험에는 이러한 저

장 핵연료 중에서 G23 핵연료를 사용할 예정이며, 이 핵연료의 특성은 Table 2에 나타낸 바와 같다.

Table 1. PIEF 저장 수조에 저장된 사용후 PWR 핵연료

분류	수송 일자	원자로	연소 주기	노심내 위치	연소도 (MWD/MTU)	형태	방출 일자	비 고
C15	'87. 4	고리#1	1/2/3	K3/F8/H3	32,300	14x14 PWR	82. 4. 17	해체 완료
A39	'87. 5	고리#1	1/2	K7/G7	25,300	14x14 PWR	81. 1. 30	해체 완료
A17	'87. 6	고리#1	1	J6	17,071	14x14 PWR	79. 10. 27	해체 완료
G23	'90. 5	고리#1	4/5/6/7	A8/A8/B7/D7	35,500	14x14 PWR	86. 10. 24	해체 완료
J14	'91. 7	고리#1	7/8/9	E9/J5/H11	37,840	14x14 PWR	89. 1. 20	제원 측정 완료
F02	'92. 5	고리#1	4/5/6	B6/K9/L10	28,300	14x14 PWR	85. 9. 17	제원 측정중
J44	'93. 4	고리#2	7/8	C8/C7	35,018	16x16 PWR	92. 5. 29	해체 완료
Basket #1	'88. 5	고리#1						

Table 2. DUPIC 핵연료 제조시험용 기준 사용후 PWR 핵연료의 설계특성

Items	Descriptions	Specification
Fuel Assembly	<ul style="list-style-type: none"> - Rod array - Rod pitch, mm - Dimensions, cm - No. of fuel rods - No. of instrument/guide thimbles 	<ul style="list-style-type: none"> 14×14 14.122 19.712×19.712 179 17
Fuel Rod	<ul style="list-style-type: none"> - Outside diameter, mm - Inside diameter, mm - Clad material - Length of fuel rod, cm 	<ul style="list-style-type: none"> 10.72 9.48 Zircaloy-4 385.7
Pellet(fresh)	<ul style="list-style-type: none"> - Material - Enrichment - Fuel stack length 	<ul style="list-style-type: none"> UO₂, sintered 3.21 w/o of U-235 365.76
Spent PWR Fuel Composition (kg/MTU)	<ul style="list-style-type: none"> - U-234 - U-235 - U-236 - U-238 - Pu-239 - Pu-240 - Pu-241 - Pu-242 - Fissile Pu - Total Pu - Total fuel(kg)/assembly 	<ul style="list-style-type: none"> 0.136 7.625 4.211 941.39 5.305 2.229 1.320 0.556 6.624 9.410 374.9

2. DUPIC 핵연료

기준 DUPIC 핵연료다발은 CANFLEX CANDU 핵연료와 같은 외형을 가지며, DUPIC 핵연료의 주요 특성은 Table 3에 나타낸 바와 같다고 가정한다. 또한 하나로에서의 조사시험을 위해 DUPIC 핵연료 mini-element 및 mini-element capsule도 제조한다. 한 개의 미니 연료봉은 5~10 개의 펠렛으로 구성되며, 한 개의 펠렛중 우라늄량은 약 20 g이다. 한 개의 mini-element는 3 개의 연료봉으로 구성되며, 한 개의 mini-element capsule은 1 개의 mini-element를 적재한다.

Table 3. 기준 DUPIC 핵연료 다발의 설계특성

Items	Specification	Remarks
No of elements Length Bundle diameter Outer diameter of larger element Outer diameter of smaller element	43 (8 are larger and 35 are smaller pins) 495.30 ± 0.75 mm 102.50 mm max. 13.50 mm 11.50 mm	Several pellets and bundles to be manufactured and tested
Cladding - Material - Thickness	Zircaloy-4 0.33 mm for smaller, 0.36 mm for larger pin	
Weight - Fuel oxide+FP - Zircaloy	20.5 kg 2.1 kg	
Composition - U-235 - U-236 - U-238 - Pu-239 - Pu-240 - Pu-241 - Pu-242 - Am-241 - Am-243 - Total Pu	0.164 kg 0.056 kg 17.500 kg 0.086 kg 0.034 kg 0.012 kg 0.007 kg 0.008 kg 0.001 kg 0.160 kg	

제 3 절 핵연료 관련 시설 및 장비

고방사능 물질인 사용후 PWR 핵연료를 초기물질로 사용하는 DUPIC 핵연료 기술개발을 위한 실험적 검증을 위해 고방사능 차폐시설인 핫셀내에서 원격으로 조작되어야 하는 기술적 특성으로 특별한 시설을 이용하여야 한다. 본 연구소에는 다목적 연구로인 하나로와 부속시설인 조사재시험시설(IMEF)을 비롯하여 이미 운영되고 있는 조사후시험시설(PIEF), 화학분석실 및 방사성폐기물관리시설(RWTF) 등이 있어 DUPIC 핵연료 제조시험을 수행하기 위하여 필요한 기본적인 가용시설이 갖춰져 있다.

1. 조사후시험설비(PIEF)

PIEF(Post Irradiation Examination Facility) 시설은 사용후핵연료에 대한 시험시설로서 사용후핵연료를 저장하기 위한 저장 수조, 조사후시험을 수행하는 핫셀 및 화학분석실로 구성되어 있다. PIEF는 총 12 집합체의 사용후 PWR 핵연료를 저장 수조 내에 저장할 수 있는 저장용량을 갖추고 있으며, DUPIC 핵연료 제조시험은 이 사용후핵연료중 일부(G23)를 사용하여 수행한다.

DUPIC 핵연료 제조과정중 사용후 PWR 핵연료로부터 핵연료봉의 인출, 절단 등은 이 시설을 이용하여 수행된다. 핵연료봉의 인출은 index를 이용하여 사용후 핵연료집합체에서 원하는 핵연료봉을 선별한 후 특별히 제작한 기구를 이용하여 핵연료봉을 인출한다. DUPIC 핵연료 제조시험을 위해 사용후 PWR 핵연료 집합체는 저장 수조에서 해체하여 인출되고, 인출된 연료봉은 # 9404 hot cell로 이송하여 γ -scanning 한 후 이를 다시 # 9405 hot cell로 이송하여 puncturing 후 fission gas를 포집하여 분석하고, 약 25 cm 길이로 절단한다. 절단된 핵연료봉은 이 셀에서 DUPIC 핵연료 분말 및 소결체 특성시험을 수행하거나 캡슐에 넣어 밀봉하여 지정장소에 보관하다가 # 9406 hot cell로 이송한 후 padirac cask에 적재하여 DUPIC 핵연료 제조시험을 위해 IMEF로 운반한다.

핵연료봉의 절단시 사용후핵연료 분진이 차폐시설 내에 다량 축적될 가능성이 높으므로 이를 방지하기 위한 전용 진공시스템을 갖춘다. 또한 절단과정에서 발생하는 방사성폐기물 및 scrap도 상당한 양에 이를 것으로 예상되므로 이들의

취급, 처리 및 처분 방안도 고려하여야 한다.

2. 조사재 시험시설(IMEF)

DUPIC 핵연료 제조시험을 수행하는 조사재시험시설은 7 개의 hot cell로 구성이 되어 있으며, 전체적인 hot cell의 배치도 및 주요 기능은 Fig. 1 및 Table 4에 나타낸 바와 같다.

DUPIC 핵연료 제조시험을 위한 제반 공정설비 및 그 부속장치가 설치되는 M6 핫셀은 내부 크기가 폭 2 m x 길이 23.8 m x 높이 4 m로 alpha-gamma cell로 설계되었으나 현재는 beta-gamma cell로 운영되고 있다. M6 핫셀의 내부는 Table 5에 나타낸 바와 같이 두께 3 mm의 스테인레스 철판으로 라이닝이 되어 제염이 용이하도록 되어 있고, 방사선 차폐를 위하여 벽체와 바닥 및 천장은 중량 콘크리트 구조물로 건설되어 있다. 벽체 두께는 1.1 m, 천장의 두께는 0.9 m로 내진 1등급 구조물로 설계되었으며, 셀 전면부에는 1.06 m × 0.84 m 크기의 방사선 차폐창이 셀의 길이 방향으로 10 개가 설치되어 있다. 차폐창 상부 좌우에는 M/S manipulator가 한 쌍씩 설치되어 있으며, manipulator는 9 kg까지의 하중을 취급할 수 있다.

셀 내부에는 1 ton 하중의 취급용량을 갖는 in-cell 크레인이 설치되어 있으며, 핫셀 천장에는 roof door와 장비의 유지보수를 위한 isolation room이 설치되어 있다. 이 isolation room 바닥에는 M6 셀의 천장과 맞물려 해치 도어가 설치되어 있어 이곳을 통해 장비 및 물품을 반출·입할 수 있다.

M6 셀의 천장에는 roof door와 isolation room의 해치 도어가 설치되어 있다. M6a 셀의 상부에 설치되어 있는 isolation room은 본래 핫셀내 기기 및 장치의 제염과 유지보수를 위하여 글로브박스 타입으로 건조되었으며, 3 ton 하중 취급용량의 suspension 크레인과 차폐창 및 글로브박스가 부착되어 있다. 개구부의 제원은 1,550 mm × 1,550 mm의 장방향으로 2 부분으로 나누어져 있다. 상부 door는 2 부분으로 나누어 밀도 3.5 g/cm³의 중량 콘크리트로 건설되어 있으며, 하부에는 shielded door assembly가 설치되어 있고, 도어 프레임에는 2 개의 O-ring이 설치되어 M6 핫셀의 기밀을 유지하도록 설계되어 있다. M6b 핫셀의 상부에는 waste container를 핫셀 내외·부로 이송할 수 있는 waste container

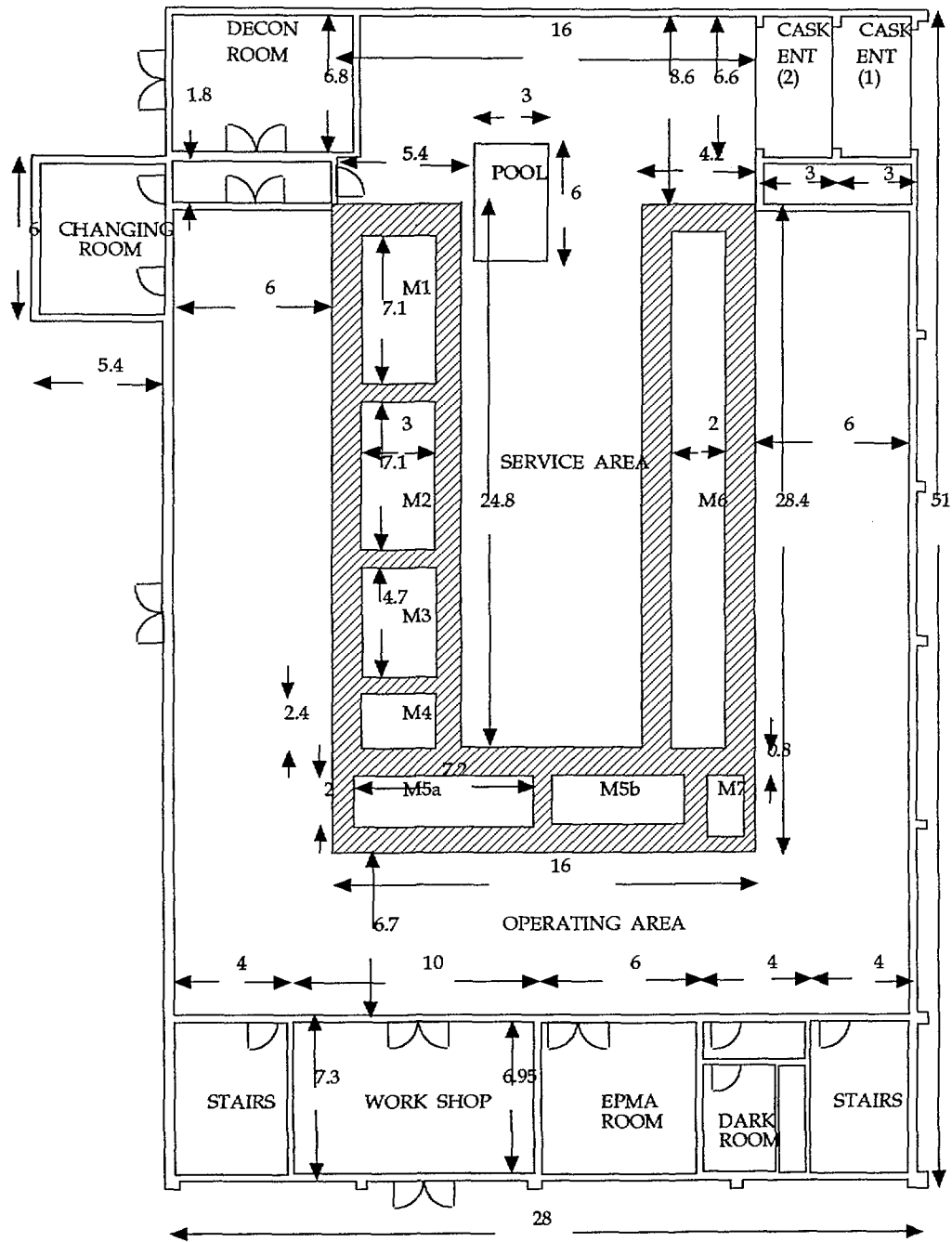


Fig. 1. 조사채시험시설(IMEF)의 핫셀 배치도.

Table 4. IMEF 핫셀의 주요 제원 및 기능

IMEF 셀 (내부 크기, L×W×H, m)	내장기기	주요 기능	
수조(6×3×10)		핵연료 집합체 저장	
M1 (7×3×6)	A	외관검사장치 2~20배로 확대 관찰 및 사진 촬영	
	B	치수측정장치	연료봉의 길이, 직경, 굽음 상대 측정
		와진류탐사장치	연료봉 피복관의 내외면 미세결합 조사
		감마스캐닝장치	측방향의 핵분열 생성물의 핵종강도 및 분포 측정
C	X-선 검사장치	X-선 투과사진 촬영 및 내부상대 검사	
M2 (7×3×6)	A	연료봉 천공장치	연료봉을 천공하여 내압 및 기체량 측정
	A	캡슐 절단기	조사장치 절단 및 해체
	B	밀링기기	기계적특성 시험용 시편 가공
M3 (4.7×3×6)	C	방전가공기	기계적특성 시험용 시편 가공
	A	미세절단기	시료 미세 절단
		마운팅프레스	미세절단된 시편 마운팅
		연마기(1)	현미경시료의 전처리단계로 시료 연마
	B	연마기(2)	전처리 연마된 현미경 시료를 마무리 연마
		레진주입기	연료봉내부에 리진 주입
연료채취장치		연료봉으로부터 시료 채취	
M4 (2.3×3×6)	A	하이스코프	2~20배 확대관찰, 시편 분류
	M5a (7.1×2×4)	A	충격시험기
A		변형측정기	충격시편 변형상태 측정
A		하이스코프	충격시편의 2~20배 확대관찰, 파단면 촬영
B		가스열처리로	25~900°C 범위에서 열처리
		진공열처리로	25~900°C 범위에서 진공 열처리
		열전도도측정기	25~800°C 범위에서 열전도도 측정
		열팽창율측정기	25~800°C 범위에서 열팽창율 측정
M5b (4.8×2×4)	A	동적인장시험기	-150~900°C 범위에서 인장 및 피로 시험
	A	하이스코프	2~20배 확대관찰, 파단면 촬영
	B	정적인장시험기	상온에서 인장/압축 시험
M6 (23.8×2×4)	A	핵연료 제조기기	DUPIC 핵연료 제조
	B	핵연료 제조기기	DUPIC 핵연료 제조
M7 (2.6×1.5×2.7)	A	금속현미경	최대 1500배 조직 확대 관찰 및 촬영
	A	미소경도기	재료 미소 강도 측정
	B	밀도측정기	핵연료 밀도 측정
Hot Lab.		전자현미경(TEM)	조직을 100만배까지 확대하여 관찰
		이온밀링장치	TEM 시료 제작을 위한 미세가공 및 이온가공
		성분분석기(EPMA)	Be에서 U까지의 방사성물질 분석하며 2차전자상 또는 후방회절전자상으로 파단면 관찰, 최소분석범위 0.1µm, 최대 30만배 확대
		EPMA 시료제작장치	시료 채취, 연마, Au/C 코팅

Table 5. IMEF M6 셀 설계특성 및 부속설비 용량

항 목	설계특성	비 고
○ 기본설비 규격/ 용량 - M6 셀 크기	23.7 mL×2 mW×4.0 mH	*폭 2m중 manipulator접근이 어려운 dead space 0.3m
- SUS liner 두께	3.0 mm	
- 차폐벽 두께	1.1 m	
- 납유리 (10개)	1.06 m×0.84 m	
- Manipulator(10)	9.0 kg	*Air tightness로서 셀 내부 방사선량이 2.5×10^{-3} Sv/h 이하일 때 개폐
- In-cell crane	1.0 ton	
- Suspension crane	3.0 ton	
- Rear door	1.0 mW×2.0 mH×1.1 mT	
○ 설계특성 - 온도	25~35 °C	
- 압력	-40~50 mAq	
- Thermal Load	<400 kW	
- 분위기	N ₂ gas	
○ 핵물질 취급용량	1 Spent PWR rod/2days -180 day cooling -33~55 GWD/MTU	
○ 방사선 차폐용량	2.0×10^5 Ci(1MeV γ -ray)	* DUPIC 기준 핵연료 537 kgHM 분량
○ 환기설비	-15~25 mmAq (개구면 속도: 0.5m/sec 이상) (*셀내 핵연료 처리용량인 1 PWR rod/2days의 모든 방사선원이 100% 배출되는 것으로 가정.)	*once-through flow
○ 방사선 구역	8000 Zone : <15 mrem/h 7000 Zone : <1 mrem/h	
○ 전기용량(시설총량)	750 KVA	

door가 sliding type으로 설치되어 있다.

Waste container door에는 직경 450 mm의 passage hole이 핫셀 천장을 관통하고 있으며, hole 상부는 납으로 차폐한 sliding door가 개구부를 개폐할 수 있도록 되어 있다. Sliding door는 casting slide plate 상에서 hole의 좌우로 움직이도록 되어 있으며, 닫힌 상태에서 slide plate의 sliding door 하단면 사이에 압축공기를 이용한 inflatable gasket이 부착되어 기밀을 유지할 수 있도록 되어 있다. M6b 핫셀의 천장 solid waste container door는 기존 PIEF 핫셀 상부의 solid waste container door와 동일한 사양으로 제작되어 있어 고체폐기물 수송용기를 IMEF 및 PIEF에서 공동으로 사용할 수 있다.

M6a 셀 측면에는 차폐벽을 관통하고 있는 연료봉 이송도어가 설치되어 있으며, 이 door는 핫셀 내 working floor로부터 300 mm 상부에 중심선이 지나도록 설치된 직경 20 mm의 관통구멍으로 핫셀 외부에서 연료봉 한 개를 M6a 셀로 장입할 수 있다. 핫셀 쪽 벽의 라이닝에 sealed door가 설치되어 있으며 관통부 주변에는 계단형으로 plug가 삽입되어 방사선 차폐가 되도록 되어 있다. Plug 상부에는 N₂ 가스 퍼지라인이 설치되어 셀 안의 분위기와 동일하게 유지함과 동시에 기밀을 유지할 수 있도록 되어 있으나 현재 이 설비는 갖춰져 있지 않다. 이 밖에 M6a 및 M6b 핫셀 후면에는 rear door가 설치되어 있으며, M6b 셀의 rear door에는 padirac cask를 접속시켜 핵물질을 이송할 수 있도록 padirac adaptor가 설치되어 있다. 또한 2 개의 tobogani 핫셀 전면 벽에 설치되어 있고, 예비 plug hole 들도 설치되어 있다.

DUPIC 핵연료 제조시험을 위해 수송용기에 적재된 상태로 PIEF로부터 운반하여 IMEF에 반입된 핵연료는 M6b 핫셀의 rear door에 padirac cask를 접속하여 핫셀로 이송한다. Rear door의 크기는 개구부 기준으로 폭 1.0 m × 길이 2.0 m × 두께 1.1 m이고 무게는 약 9 톤이다. 이 door의 중심에는 내경(cavity diameter) 약 20 cm인 padirac adaptor가 설치되어 있다.

M6 셀의 환기계통은 12 회/h 이상의 환기횟수를 갖고, 부압이 -15~-25 mmAq이며, 개구면의 면속도가 0.5 m/s 이상이 되도록 설계되어 있다. 환기계통의 필터시스템은 앞에서 언급된 방사성물질 취급용량인 1 spent PWR rod/2 days에 존재하는 모든 기체 방사선원이 100 % 방출된다는 가정 하에 in-cell

filter(prefilter + HEPA filter) + out-cell filter(HEPA filter + charcoal filter + HEPA filter)로 구성되어 있으며, 냉각 시스템은 셀 내에서의 총 발열원이 400 kW라는 가정 하에 셀 내부온도가 25~35 °C로 유지되도록 설계되었다.

M6 핫셀은 M6a와 M6b로 나누어져 있으나 크레인을 공유하여 함께 사용하도록 설계되었기 때문에 M6a와 M6b 핫셀 사이의 분리 벽에는 크레인 이동통로를 확보하기 위한 최소한의 공간이 뚫려 있다. 오염 물질의 이동을 방지할 수 있는 방안으로 M6a와 M6b 사이에 가변 분리벽을 설치하고, M6a 및 M6b 핫셀에 설치된 환기 damper를 조절하여 핫셀내의 공기는 항상 M6b에서 M6a 측으로 흐르도록 보완하였다.

제 4 절 핵연료 제조 공정 및 장비 관련 사항

1. DUPIC 핵연료 제조공정 흐름

DUPIC 핵연료 제조공정은 PIEF에서의 사용후 PWR 핵연료 집합체의 해체, 연료봉 인출 및 절단 공정과 IMEF에서의 slitting, 산화에 의한 탈피복 공정, 산화/환원(OREOX)에 의한 분말 제조공정, 소결체 제조공정, 연료봉 및 연료집합체 제조공정 등으로 크게 분류할 수 있다. 핵연료 제조공정의 개략적인 흐름도는 Fig. 2에 나타낸 바와 같다.

2. DUPIC 핵연료 제조 공정 및 장비

가. 집합체 해체 및 연료봉 절단 공정

DUPIC 핵연료의 제조에 사용되기로 선정된 핵연료 봉을 집합체로부터 인출하기 위하여 재조립(reconfiguration)이 가능한 핵연료 경우에는 index plate를 이용하여 위치를 고정시키고, extraction tool로서 볼트 및 너트를 제거함으로써 분리가 가능하다. 구형의 핵연료 경우에는 상·하단부가 용접되어 있으므로 절단장치로 제거한다. 인출된 핵연료 봉은 육안검사 등의 routine 검사를 거친 후 PIEF 핫셀로 이송한다.

인출된 핵연료봉은 9404 핫셀에서 γ -scanning을 수행한 후 이를 9405 핫셀

로 이송하면서 9405 셀에서 연료봉을 puncturing하여 핵연료 봉 내의 fission gas를 포집하여 분석하고, 길이가 약 4 m인 사용후 PWR 핵연료 봉을 약 25 cm 길이로 low speed 다이아몬드 절단기를 이용하여 절단한다. 절단시 분말의 비산과 절단속도 향상을 위한 별도의 장치 및 냉각유를 사용한다. 절단후 핵연료 제조에 사용할 수 없는 핵연료 rod-cut는 container에 밀봉하여 저장 수조로 이송하여 저장한다. DUPIC 핵연료 제조시험용 절단 핵연료 봉은 8 개씩(약 1 kg) capsule에 밀봉하여 지정장소에 저장한다. 이러한 capsule을 9406 셀에서 RD-15 padirac cask에 적재하여 조사재시험시설로 운반한다. 조사후시험시설에서의 공정흐름은 Fig. 3에 나타낸 바와 같다. 절단 공정중에서 화학분석을 위한 시편도 준비한다.

나. 탈피복, 분말처리 및 소결체 제조공정

조사후시험시설에서 이송된 cask는 조사재시험시설 M6b cell의 rear door에 부착된 padirac adaptor에 접속시킨 후 8 개씩의 rod-cut가 적재된 capsule를 꺼내 다시 NDA 방식으로 동위원소량을 측정된 후 지정장소로 옮겨 저장한다. Capsule을 열어 절단된 핵연료 봉을 꺼내 slitting 기기를 이용하여 연료봉의 축방향으로 slitting하고, 이를 산화로에서 약 450 °C로 가열 산화시키면 소결체의 산화($UO_2 \rightarrow U_3O_8$)에 따른 부피팽창으로 핵연료와 피복관을 분리시킬 수 있다.

산화방식에 의하여 탈피복된 핵연료는 cladding hull과 사용후핵연료 분말을 sieving하여 기계적 방식으로 분리한다. 이때 산화공정중 발생한 off-gas는 Tc, I, Kr 등을 함유하고 있으므로 별도의 배기체 정화계통에서 처리한 후 시설의 배기계통을 통해 굴뚝으로 방출된다. Cladding hull 및 scrap 등의 폐기물은 일단 핫셀내의 지정장소에 모아 보관하다가 규정된 절차에 따라 핵물질을 계량한 후 50 리터 폐기물 드럼에 넣어 intervention cask에 적재한 후 RWTF의 monolith로 운반하여 저장한다. 산화에 의하여 탈피복된 분말은 질소 또는 수소와 아르곤 가스의 혼합가스를 이용하여 약 600~700 °C에서 환원시킨다. 분말의 소결성을 향상시키기 위하여 이러한 산화 및 환원공정을 2~3 회 반복 실시한다. 또한, 분말의 소결성 향상 및 적절한 화학성분 조절을 위하여 천연 이산화우라늄을 혼합

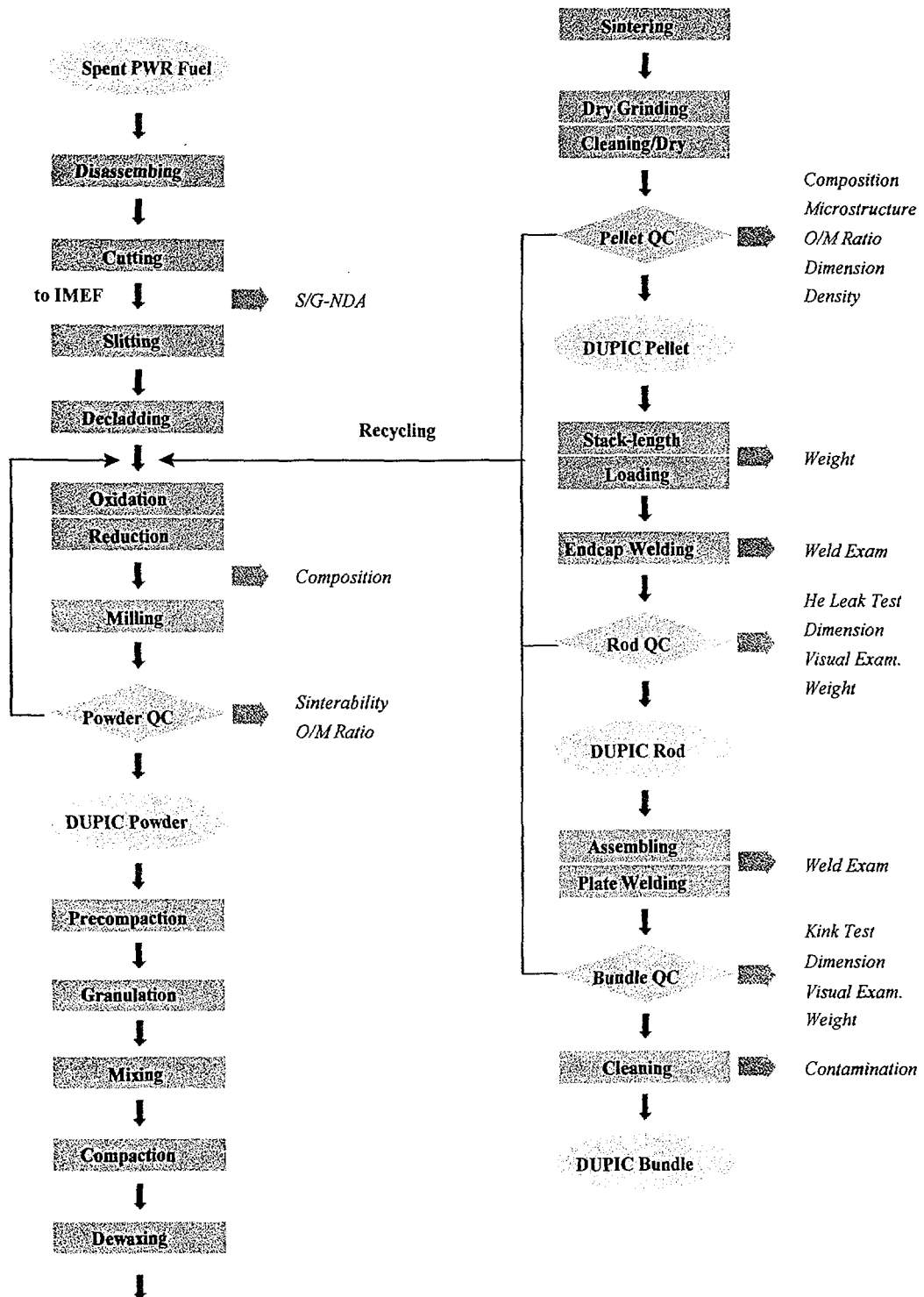


Fig. 2. Block Flow Diagram of DUPIC Fuel Fabrication Process.

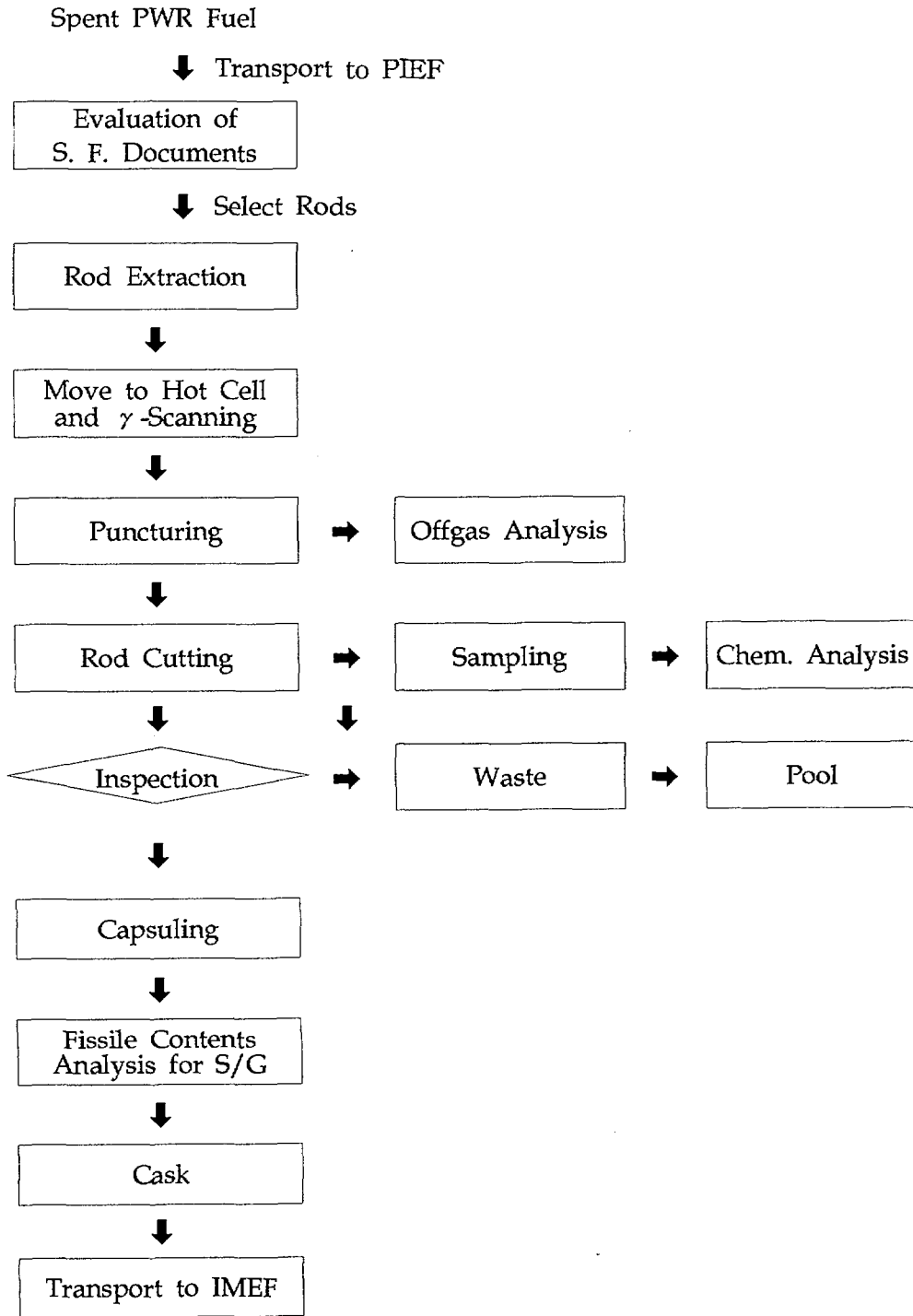


Fig. 3. Detailed Process in PIEF.

하여 milling 공정을 수행한다. Milling은 attritor mill을 사용함으로써 분말의 혼합은 물론 분말의 분쇄효과를 촉진시키고 분말의 소결성도 향상시켰다.

제조된 DUPIC 분말은 약 100 °C 이하의 온도에서 약간의 산화를 시켜 안정화시킨다. 분말처리 공정의 흐름도는 Fig. 4에 나타내었다.

이와 같이 제조된 DUPIC 분말은 전형적이 powder-pellet route에 따라 예비압분 및 granulation, zinc stearate와의 혼합, 최종압분, 소결 및 연삭공정을 거쳐 소결체를 제조하게 된다. 소결체 제조공정의 흐름은 Fig. 5에 나타내었다.

DUPIC 핵연료는 CANFLEX 핵연료의 구조를 따를 예정이므로 2 조의 소결체의 제조가 필요하며 따라서 압분체 역시 압분기의 die를 교체하여 두 종류의 압분체를 제조한다. 일반적인 핵연료의 소결은 수소 분위기에서 1700 °C에서 수행된다.

소결체의 연삭은 핵연료 가공시설이 건식 핫셀임을 감안하여 건식 연삭을 채택하고, Table면조도의 관리, 직경의 관리, 연삭 분진의 처리 등을 추가로 고려하였다. 특히, 방사성 분진에 의한 차폐시설의 오염, 제조기기 및 공정중 부품의 오염은 특히 연료봉 제조를 위한 봉단마개 용접에 매우 유해하므로 주의하여야 한다. 분말 및 소결체 성분의 균질도를 얻기 위한 품질관리 방안도 함께 고려한다.

다. DUPIC 핵연료 제조 장비

M6 핫셀에서의 DUPIC 핵연료 제조공정은 5 가지 작업 분야 즉, 탈피복 (decladding), 분말준비(powder preparation), 소결체제조(pelletizing and sintering), 핵연료봉 제조(fuel rods manufacturing), 핵연료 다발 조립(bundle assembling)으로 구분할 수 있다. 또한 이러한 공정을 지원하는 품질검사, 계량 관리 및 유지보수 장비도 필요하다. M6 hot cell 내에 설치하여 운용되어야 할 제조장비는 부속기기를 포함하여 Table 6에 나타낸 바와 같은 20 여종의 공정장비가 필요하다. M6 셀의 개략적인 장비 배치도는 Fig. 6에 나타낸 바와 같다. 기본적인 배치개념은 작업창 사이는 manipulator가 접근하기 어려우므로 공정간의 이송을 겸한 저장 rack 역할을 하도록 배치하였으며, 전체적으로 대별하여 청정구역(M6b)과 오염구역(M6a)을 구분하여 장비를 배치하였다. 오염구역은 소결체 제조공정까지의 구역으로 분말 등이 비산될 우려가 있어 청정구역과 분리하기

위해 분리 벽을 설치하였다. 각 구역은 1 개의 작업장을 보수 및 기타 용도로 사용하도록 배치하였다.

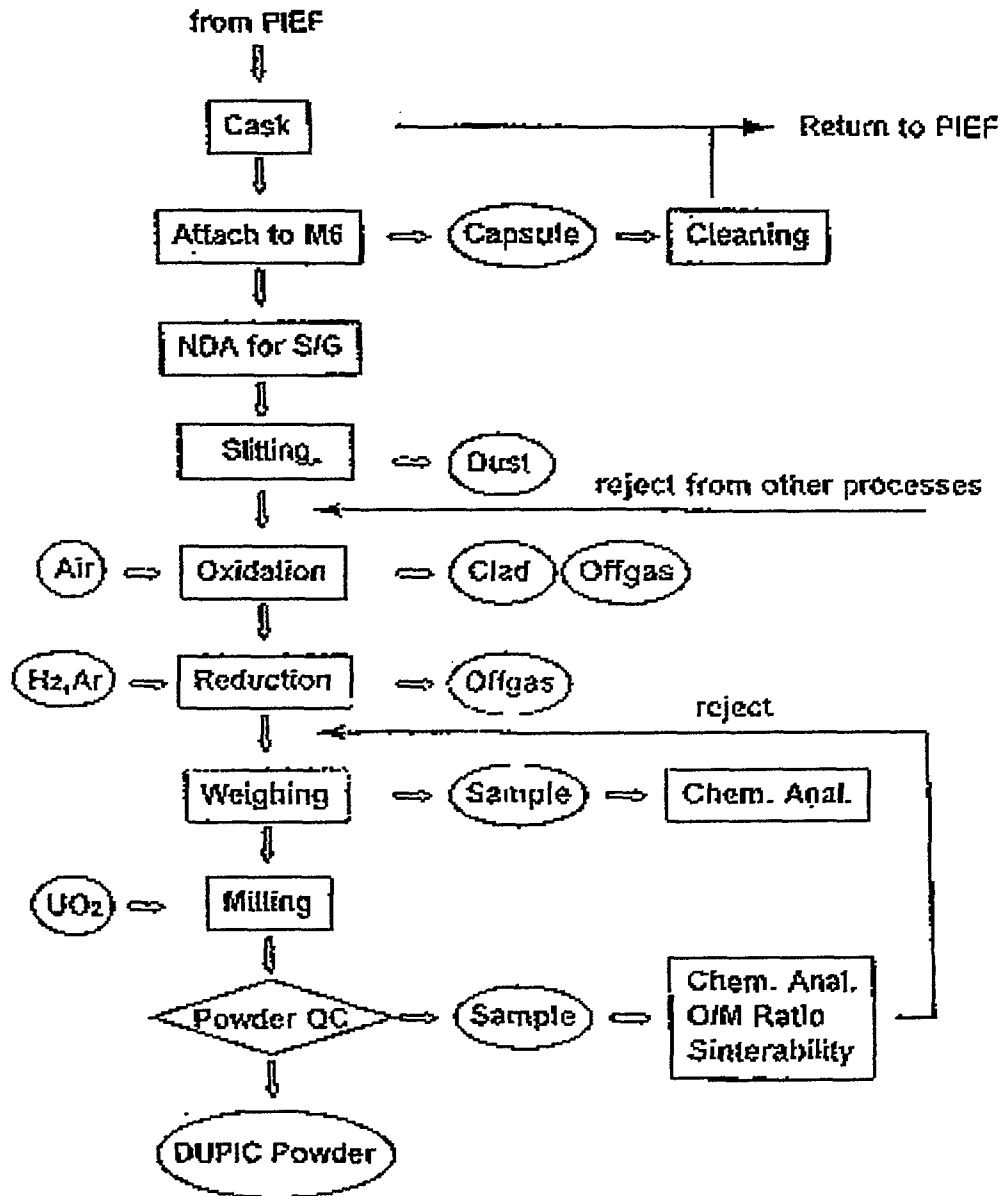


Fig. 4. Detailed Powder Manufacturing Process.

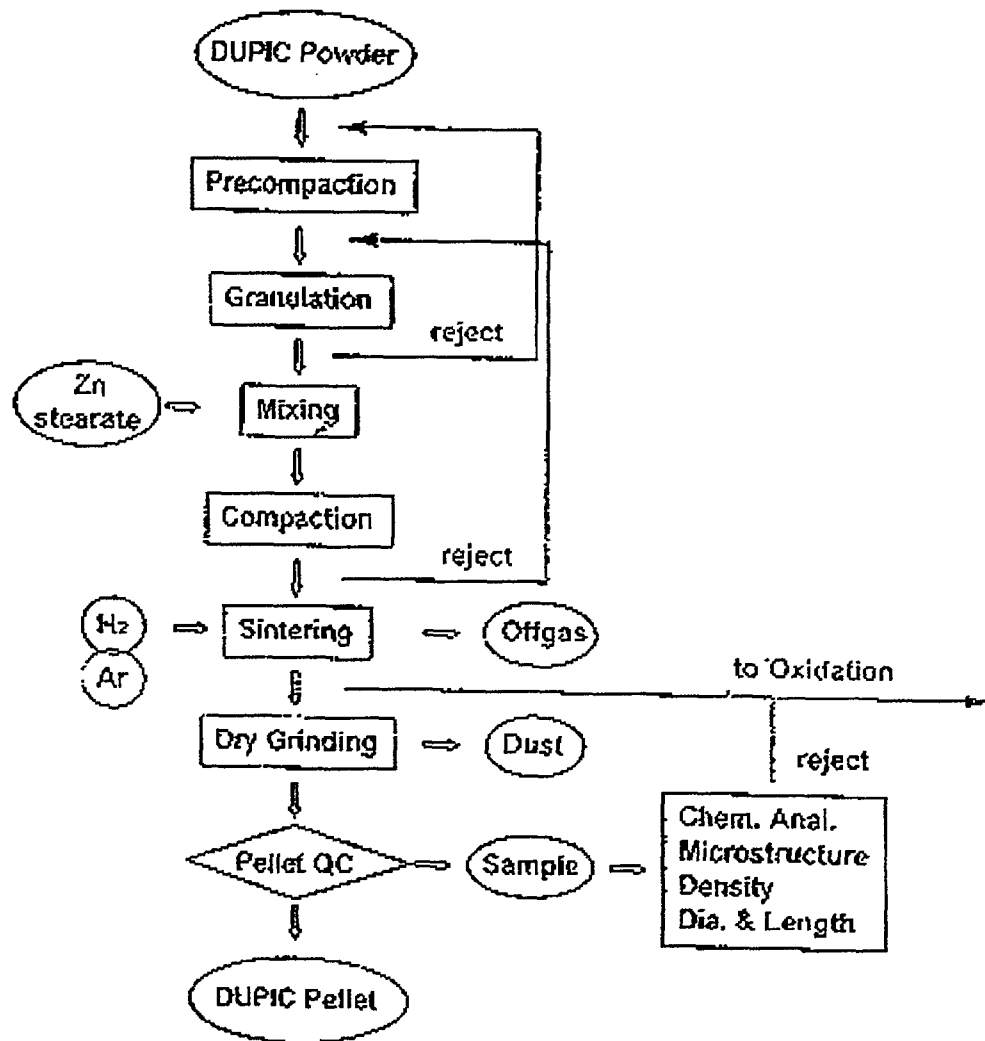


Fig. 5. Detailed Pellet Manufacturing Process.

Table. 6. DUPIC 핵연료 제조 및 품질관리 장비 설계특성(1/4)

장 비	주요 기능	주요 사양	비 고
PWR Rod Cutter	<ul style="list-style-type: none"> • 사용후 PWR 핵연료봉을 25 cm 로 절단 	<ul style="list-style-type: none"> • Type : Slow wheel cutter • 피삭체 크기 : 직경 8-30 mm • Cutter : diamond wheel, 직경 205 mm • 회전속도 : 100-500 rpm 	
PWR Rod Slitter	<ul style="list-style-type: none"> • Rod-cut 피복관 slitting 	<ul style="list-style-type: none"> • Type : 3상 유도전동기 • 용량 : 750 W • 전원 : 220 V/60 Hz • 감속비 : 1/450 	
OREOX Furnace	<ul style="list-style-type: none"> • Slitted rod-cut 산화 • 분말 산화/환원 • 분말 dewaxing 	<ul style="list-style-type: none"> • Type : Box furnace • Temp. range : Room temp. to 1200 °C • Environment : Air, Ar-4 %H₂, Ar Gas • 크기: 762 mmW x 787 mmH x 787 mmD • 발열체 : 나선형 고온합금, 위아래양옆 • 전원 : 208/240 V, 60 Hz, 단상, 6.8 kW • 가열속도 : 200 °C/h • 제어기 : Eurotherm 818P-4 • 열전대 : Platinel II • 최대승온속도 : 7 °C/min 	
Powder Mill	<ul style="list-style-type: none"> • 분말 미분쇄 및 혼합 • 분말특성향상 및 균질화 	<ul style="list-style-type: none"> • Type : Horizontal ball mill • Chamber capacity : 2 L • Rotational speed : 1100 rpm Max. • Impeller type : special designed spirial type • Impeller coating : stellite • 크기: 500 mmH x 394 mmW x 665 mmL • 무게 : 74 kg • Milling media : zirconia ball 	
Powder QC	<ul style="list-style-type: none"> • 분말크기 분포 측정 	<ul style="list-style-type: none"> • Vibrator : 220 V/60 W • Sieve ; 100, 200 μm 	

Table 6. DUPIC 핵연료 제조 및 품질관리 장비 설계특성(2/4)

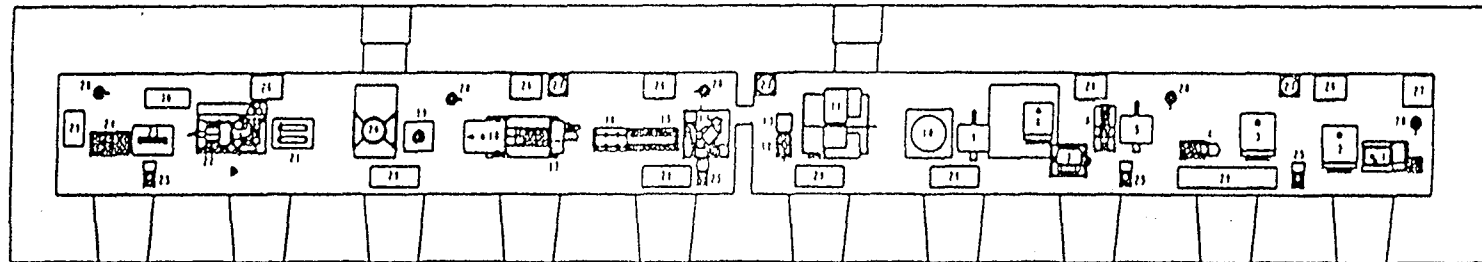
장 비	주요 기능	주요 사양	비 고
Roll Compactor	• 분말 예비성형 및 과립화	<ul style="list-style-type: none"> • Roll Type : 3상 유도전동기 • Roll 용량 : 200 W • Roll 전원 : 220 V/60 Hz • Roll 감속비 : 1/30 • Compactor Type : 3상유도전동기 • Compactor 용량 : 400 W • Compactor 전원 : 220 V/60 Hz • Compactor 감속비 : 1/600 	
Mixer	<ul style="list-style-type: none"> • 분말 미분쇄/혼합 • Fresh UO₂ 첨가 • Zinc stearate 첨가 	<ul style="list-style-type: none"> • Type : 3상 유도전동기 • 용량 : 400 W • 전원 : 220 V/60 Hz • 감속비 : 1/25 	
Compaction Press	• 압분체 제조	<ul style="list-style-type: none"> • Type : Double acting hydraulic press • Capacity : 10 tons • 10 ton hydraulic cylinder • Plunger stroke : 8¹/₈ inch • Electric pump : 220V, 60Hz, 1.5HP 	
Sintering Furnace	• 펠렛 소결	<ul style="list-style-type: none"> • Type : Pot-type furnace • Temp. range : Room to 2000 °C • Environment : Ar-4 %H₂ Gas • Uniform zone 크기: 직경 120 mm, 높이 60 mm • 작업온도범위 : 1750 °C ± 50 °C • Uniform zone 온도편차 : ± 3 °C • 최대 furnace 전력 : 25 kW • 제어기 : Eurotherm 2416 • 발열체 : 텅스텐 • 열전대 : W5-type 	
Grinder	• 소결체 건식무심연삭	<ul style="list-style-type: none"> • Type : Dry infeed grinding • 용량 : 10 KVA • 전원 : 460 V, 3 ph, 60 Hz • 연삭가능 외경: φ8 ~ φ15 mm • 최대 인피드 폭: 18 mm • 지석 치수 및 최소 사용경: φ150 x 20 x 50.8 mm • 지석 치수 및 주속: 2123 rpm : 1000 m/min • 조정차 치수 및 최소 사용경: φ120 x 17 x 50.8 mm • 조정차 회전 수 및 변속: 0 ~ 357 rpm : 무단계 	
Pellet Cleaner/Dryer	• 건식세척 및 건조	• Type : Pellet tray and box	

Table 6. DUPIC 핵연료 제조 및 품질관리 장비 설계특성(3/4)

장 비	주요 기능	주요 사양	비 고
Pellet QC Equipment	• 펠렛 품질검사	<ul style="list-style-type: none"> • 길이측정장치(dial gauge): 0.01 mm accuracy • 홈깊이 측정장치(dial gauge): 0.01 mm accuracy • 직경 측정장치(micrometer): 0.01 mm accuracy • 무게 및 밀도측정장치: 620 g Max, 0.001 g accuracy • Table면조도측정장치: 0.01 μm accuracy • Table면상태검사장치: 30-200 배 	
Stack Adjuster	• 소결체 길이조정	• Type: Pellet tray and dial gauge	
Loader	• 연료봉을 피복관에 장전	• Type : Tube stand and guide funnel	
Endcap Welder	• 연료봉 endcap 용접	<ul style="list-style-type: none"> • Type : Nd:YAG laser welding system(500W) • Optical fiber transmission system • Environment : He gas 	
He Leak Tester	• 연료봉 용접부 누출시험	<ul style="list-style-type: none"> • 진공도 : 10^{-9} torr • 검출감도 : 2×10^{-11} mbar l/s 	
Rod QC	• 연료봉 길이 측정	• 길이측정기 : 500 ± 10 mm, 0.01 mm accuracy	
Endplate Welder	• Endplate 용접	<ul style="list-style-type: none"> • Type : Resistance welder • End plate welding • Environment : Ar gas 	
Bundle QC	• Bundle 품질검사	<ul style="list-style-type: none"> • Balance • Linear gauge • Dial gauge 	
Bundle Cleaner	• Bundle 세척	<ul style="list-style-type: none"> • Wiping method • Bundle stand, wiping paper 	

Table 6. DUPIC 핵연료 제조 및 품질관리 장비 설계특성(4/4)

장 비	주요기능	주요 사양	비 고
Off gas Treatment System	• Off gas 처리	<ul style="list-style-type: none"> • Type : Continuous flow treatment • Design pressure : 3 kg/cm² • Design temperature : 50~800 ℃ • Major components : filter, trapping unit, control panel, indicator 	
O/M ratio Measurement System	• O/M ratio 측정	<ul style="list-style-type: none"> • Type : Electrical heating tube furnace • Temp. range : Room to 1700 ℃ • Environment : Ar-4%H₂, CO/CO₂, Ar Gas 	
S/G-NDA	• 핵물질 계량	<ul style="list-style-type: none"> • Type : Neutron counter • 중성자감속재 : 고밀도 폴리에틸렌 • 중성자검출기 : He-3 비례계수관 18개 • 중성자신호증폭기 : 내방사선용 증폭기(Amp) • 중성자신호분석기 : Neutron multiplicity shift register 1 조 	



- | | | |
|------------------------|--|-------------------------|
| 1. Slitting Machine | 11. Centerless Grinder | 21. Rod OC Equipment |
| 2. Oxidation Furnace | 12. Pellet Cleaner | 22. End Plate Welder |
| 3. OREOX Furnace | 13. Pellet Dryer | 23. Bundle OC Equipment |
| 4. Mill | 14. Pellet OC Equipment | 24. Bundle Cleaner |
| 5. Precompaction Press | 15. Pellet Slack Adjuster | 25. Balance |
| 6. Granulator | 16. Pellet Loading Machine | 26. Material Storage |
| 7. Mixer | 17. End Cap Welder | 27. Waste Storage |
| 8. Dewaxing Furnace | 18. Weld Flash Remover | 28. Vacuum Cleaner |
| 9. Compaction Press | 19. Helium Leak Tester | 29. Ventilation Filter |
| 10. Sintering Furnace | 20. S/G-NDA Attachment 11.2.1 & 11.2.2 | 30. Ventilation Duck |

Fig. 6. Layout of DUPIC Equipment at IMEF M6 Hot Cell.

○ 연료봉 인출, 절단 및 탈피복 공정장비

탈피복 작업에서는 조사후시험시설 수조에 저장된 사용후 PWR 핵연료 집합체를 해체하여 연료봉을 인출하고, 이를 25 cm 길이로 절단하여 조사재시험 시설의 M6 핫셀로 이송하여 slitting한 후 OREOX furnace에서 산화열처리하여 핵물질과 cladding hull을 분리한 후 DUPIC 소결체 제조를 위한 원료물질을 얻는 작업특성을 가진다.

사용후 PWR 핵연료 집합체를 해체하여 연료봉을 인출할 수 있는 기기로서 사용후 핵연료를 담은 assembly basket, 연료봉을 파지하여 인출할 수 있는 rods extrusion tool, 집합체중 원하는 위치의 연료봉을 인출할 수 있도록 연료봉 위치를 확인할 수 있는 rods index plate가 소요된다. 인출된 약 4 m 길이의 사용후 PWR 핵연료봉은 수송 및 hot cell내에서의 취급이 용이하도록 약 25 cm 길이로 절단하기 위해 cutting machine이 소요된다.

이 장비는 저속으로 wheel를 회전시켜 연료봉을 절단하는 low speed wheel saw와 절단매체로서 경도가 아주 강한 diamond wheel로 구성된다.

UO₂의 산화시 부피팽창을 이용해 연료봉내 핵물질과 이를 감싸고 있는 피복관과의 분리를 위한 전처리 공정으로 연료봉 양쪽을 slitting하기 위하여 Fig. 7에 나타낸 바와 같은 slitting machine이 소요된다.

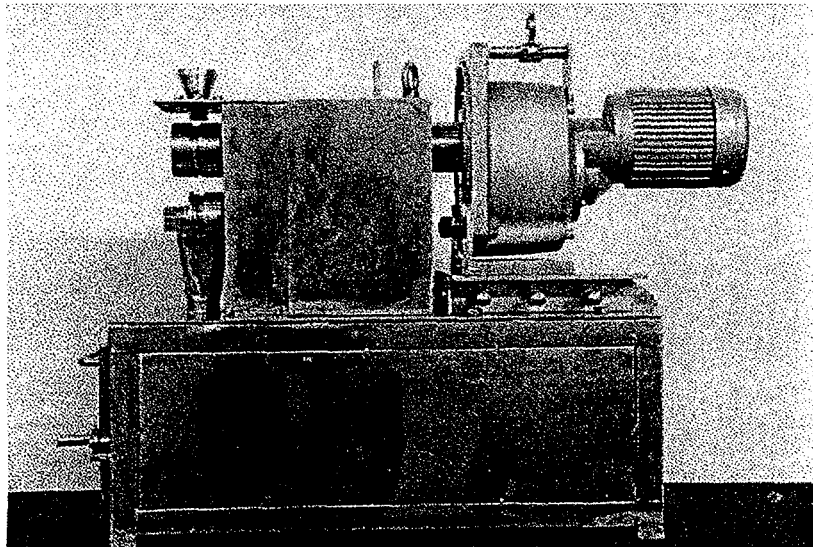


Fig. 7. Slitting Machine.

Slitting된 25 cm 길이의 연료봉을 넣고 약 450 °C에서 산화시키기 위해 Fig. 8에 나타낸 바와 같은 산화로(oxidation furnace)가 소요된다. 이 장비는 고온을 만들기 위한 electric furnace와 자동으로 온도를 조절할 수 있는 automatic controller, 그리고 노내 분위기를 제어할 수 있는 atmosphere gas controller로 구성된다.

산화된 핵물질과 찢어진 피복관(cladding hull)을 분리하기 위해 screening machine이 소요되며, 이 장비는 분리가 되도록 진동을 가해 주는 sieve shaker 및 핵물질과 cladding hull을 분리하고 분말 입자별로 분리하는 기준이 되는 sieve set로 구성된다.

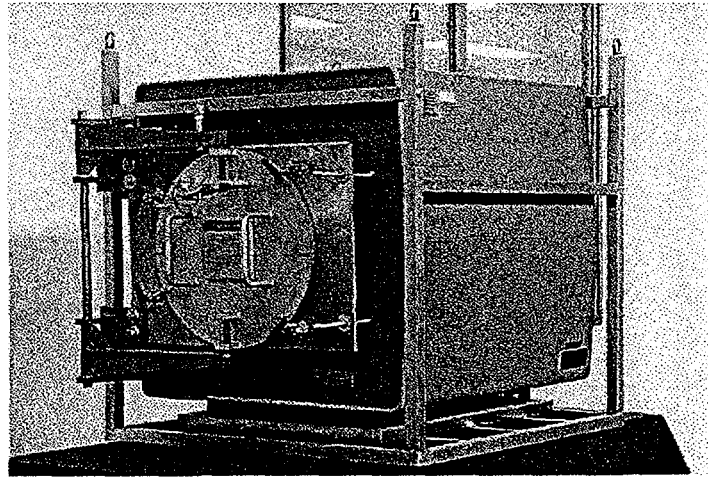


Fig. 8. OREOX Furnace.

○ 분말준비 공정장비

Cladding hull과 분리된 핵물질 분말을 OREOX 공정을 거쳐 재소결 가능한 DUPIC 분말로 제조하는 작업특성을 가지고 있다. Hull과 분리된 핵물질 분말을 산화분위기 및 환원분위기로 조절하면서, 동시에 약 450 °C의 산화온도와 600 °C의 환원온도가 자동적으로 조절되는 산화/환원로(oxidation/reduction furnace, Fig. 8)가 필요하다. 이 장비는 고온을 얻기 위한 electric furnace와 자동으로 온도를 조절할 수 있는 automatic controller, 그리고 노내 분위기를 제어할 수 있는 atmosphere gas controller로 구성된다.

산화/환원을 거치는 동안 응결된 분말 덩어리의 분쇄를 위해서는 Fig. 9에 나타낸 바와 같은 milling machine이 필요하며, 이를 위해 attrition mill이 소요된다. 분말의 원활한 공급과 이송을 위해 필수적인 특성인 분말의 유동성을 높이기 위해 분말을 일단 압분하였다가 분쇄하여 입자를 균일화해야 한다. 이를 위해 Fig. 10에 나타낸 바와 같은 compaction press가 필요하다. 이 장비는 자동으로 압분 작업을 할 수 있도록 하는 motorized press와 일정한 형태로 만들기 위한 punch-die set로 구성된다.

분말의 원활한 공급과 이송을 위한 필수적인 특성인 분말의 유동성을 높여주기 위해 분말을 일단 예비 압분한 후 이를 분쇄하여 입자를 균일화하기 위해 granulation machine이 소요된다. 이 장비는 앞서 공정에서 제조된 예비 압분체를 분쇄하는 cutting mill과 균일한 크기의 입자로 분류하는 sieve로 구성된다.

균일한 크기의 DUPIC 분말에 소요되는 fresh 분말 또는 압분 운활제를 첨가하거나 또는 자체 성분의 균일화를 위해 혼합공정을 거쳐야 하며 이를 위해 자동으로 회전속도가 조절되는 automatic controller가 부착된 Fig. 11에 나타낸 바와 같은 mixer가 소요된다.

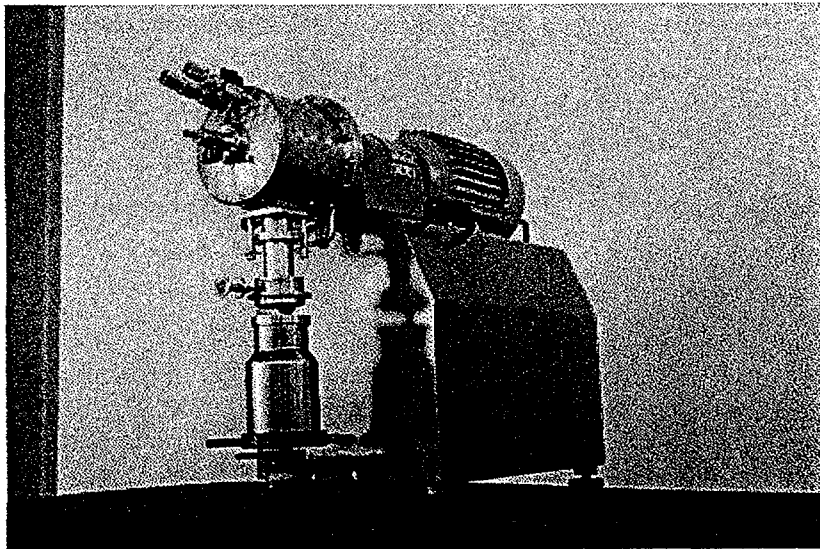


Fig. 9. Milling Machine.

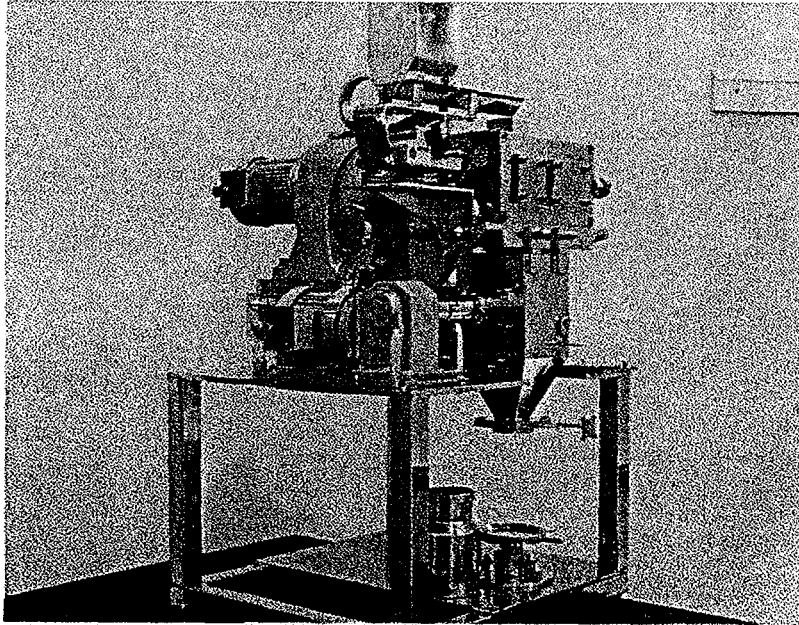


Fig. 10. Roll Compactor.

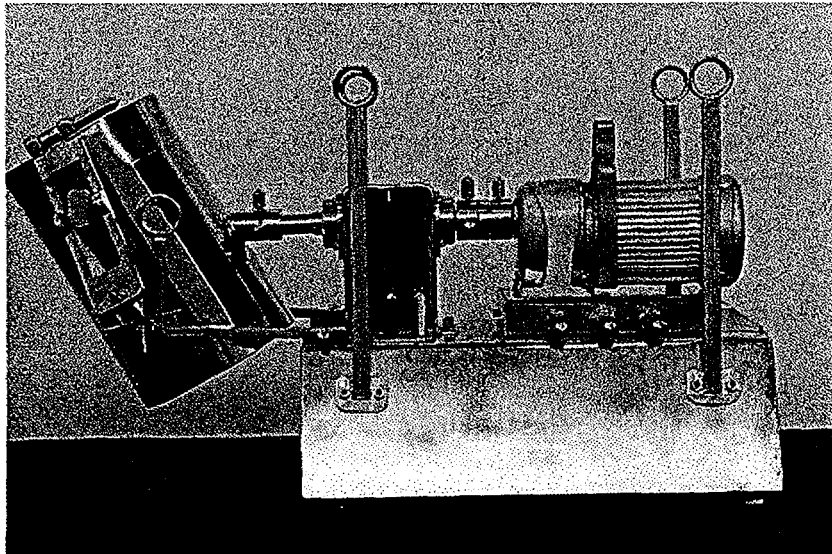


Fig. 11. Mixer.

○ Pelletizing 공정장비

Pelletizing 공정에서는 성분 및 입자 크기가 균일화된 DUPIC 분말을 사용해 압분한 후 소결하여 일정 치수의 DUPIC 소결체를 제조하는 작업특성을 가진다.

성분 및 입자 크기가 균일화된 DUPIC 분말을 사용해 원하는 일정 치수의 압분체를 제조해야 하는 공정요구를 맞추기 위해 Fig. 12에 나타낸 바와 같은 compaction press가 필요하다. 이 장비는 자동으로 압분할 수 있는 motorized press와 일정형태의 압분체를 제조하기 위한 punch-die set로 구성되며, 특히 punch-die set는 2 종류의 직경을 가지는 소결체를 제조해야 하는 집합체 특성상 2 종류를 갖춘다.

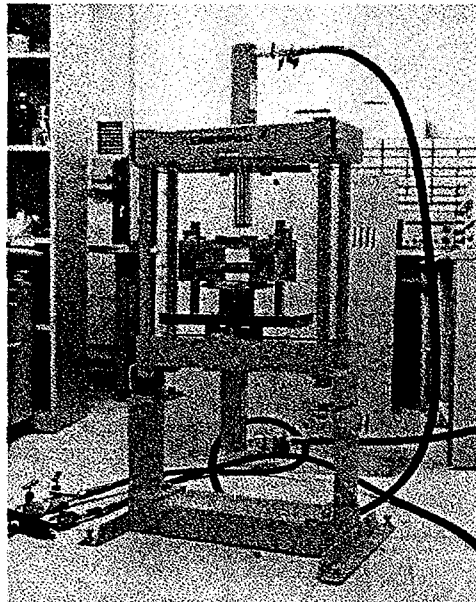


Fig. 12. Compaction Press.

제조된 압분체를 환원분위기, 1700 °C 이상의 고온에서 고밀도화시켜 가능한 단위 체적당 많은 양의 핵분열물질이 포함된 소결체를 제조하기 위해 Fig. 13에 나타낸 바와 같은 고온 소결로(high temperature furnace)가 소요된다. 이 장비는 1700 °C 이상의 고온을 낼 수 있는 electric furnace와 자동으로 온도를 조절할 수 있는 automatic controller, 그리고 노내 환원성분위기를 제어할 수 있는 reducing gas supply system, 노 외벽을 식혀주는 cooling system으로 구성된다.

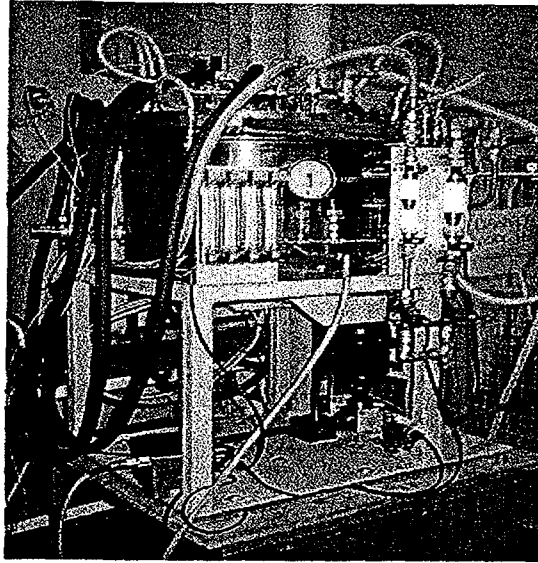


Fig. 13. Sintering Furnace.

제조된 소결체를 일정 치수의 균일한 DUPIC 소결체로 만들기 위한 소결체 연마작업을 위해 Fig. 14에 나타낸 바와 같은 centerless grinder가 필요하다. 특히 이 grinder는 습식 연마가 아닌 건식 연마방식을 채택하였다. 이 장비는 소결체를 연마하는 grinding wheel과 이 wheel를 돌려주는 regulating wheel, 그리고 발생하는 분진을 처리하는 dust collector로 구성된다.

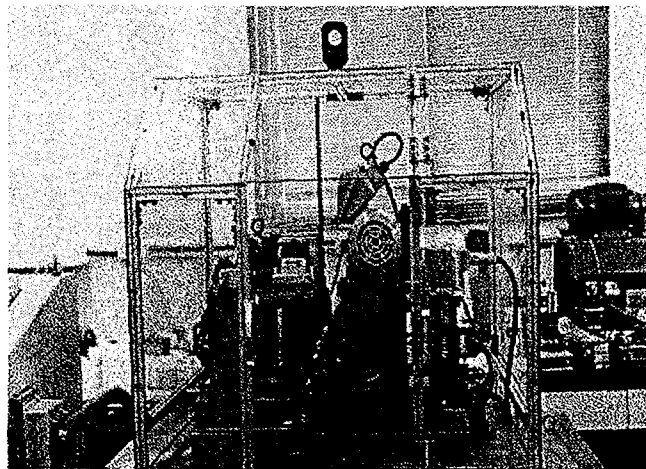


Fig. 14. Centerless Grinder.

연마되어 일정 치수의 균일한 DUPIC 소결체를 일렬로 정렬하여 설계된 연료봉 길이로 조정하기 위해 stacking-length adjust set가 소요된다. 이 장비는 소결체를 나열하고 정렬하는 pellet array plates와 일정 길이의 연료봉 길이로 정렬여부를 판정하는 measuring tool로 구성된다.

○ 핵연료봉 제조 공정장비

핵연료봉 제조공정은 일정 길이의 연료봉 길이로 정렬된 DUPIC 소결체를 피복관에 장전하고 이 양단을 용접으로 밀봉하여 일정 치수의 완성 연료봉을 제조하는 공정이다. 피복관은 핫셀로 반입하기 전에 외부에서 간격체 및 지지체를 부착하고 내부는 흑연으로 코팅한다.

일정 길이로 정렬된 DUPIC 소결체를 필요한 부품이 부착되고 내부가 흑연으로 코팅된 피복관에 장입하는 작업에는 Fig. 15에 나타낸 바와 같은 loading machine이 소요된다. 이 장비는 소결체 직경별 2 종류의 소결체를 장입시 안내관 역할을 하는 loading guides와 장입량을 측정하는 balance로 구성된다. 소결체가 장입된 완성 피복관의 양단을 봉단마개라는 부품으로 용접으로 밀봉하기 위해 Fig. 16에 나타낸 바와 같은 welding machine이 소요된다. 이 기기는 Nd:YAG 레이저 용접방식을 채택하였다.

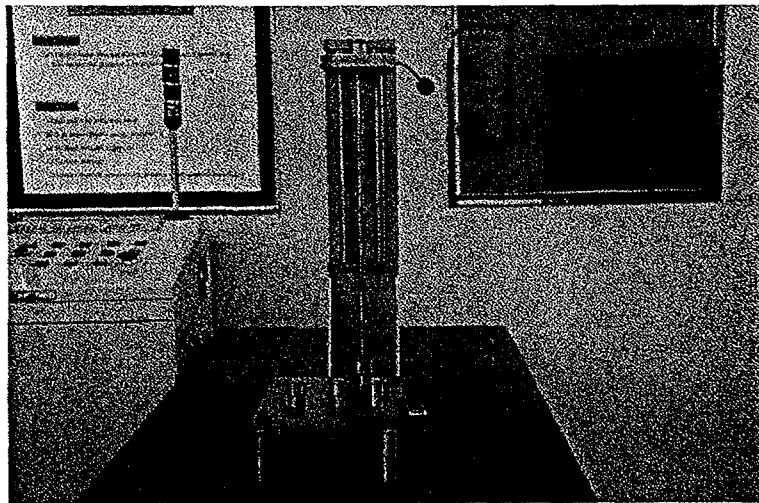


Fig. 15. Pellet Loading Machine.

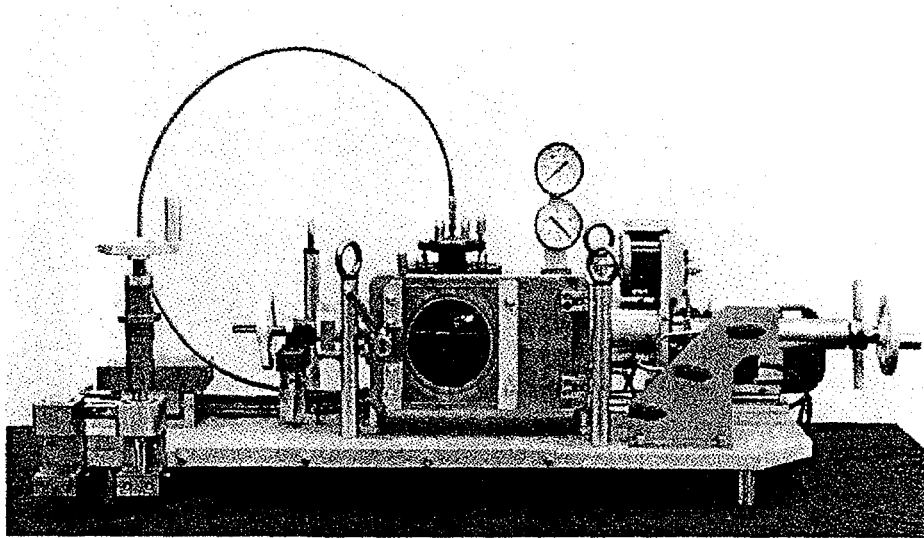


Fig. 16. Laser Welding Machine.

○ 핵연료 다발조립 공정장비

핵연료 다발조립 공정은 완성 연료봉을 사용해 일정 규격의 집합체 형태로 조립한 후 봉단 접합판으로 용접하여 DUPIC 핵연료다발을 완성하는 작업공정으로 구성된다. 완성 연료봉을 사용해 일정 규격의 집합체 형태로 조립한 후 봉단 접합판으로 용접하기 위한 welder가 소요된다. 이 장비는 전기저항 용접방식에 따른 전원공급을 위한 power supply, 용접 sequence를 제어하는 microprocessor controller, 집합체 형태로 조립한 후 용접위치까지 이송해 주는 transfer system, 완성 연료봉을 집합체내 해당 위치에 정렬하고 또 집합체 형태로 구성되도록 해주는 assembling jig set, 피용접물을 파지하고 전류를 통전해주는 electrodes, 그리고 용접시 산화를 방지하기 위한 불활성가스를 흘려주는 gas supply system으로 구성된다.

완성된 DUPIC 핵연료집합체를 최종적으로 세척하여 표면오염의 방지를 위한 cleaning machine이 소요된다. 이 장비는 집합체를 넣고 세척할 공간인 cleaning tank와 집합체를 이송하기 위한 집합체 basket으로 구성된다.

제 3 장 IMEF M6 핫셀용 배기체 처리 계통분석

제 1 절 서설

DUPIC 핵연료제조공정은 사용후 경수로핵연료의 탈피복, 산화·환원 및 소결 과정을 거치게 된다. 산화·환원과정에서는 탈피복된 사용후핵연료 분말의 소결성을 향상시키기 위하여 산화분위기 및 환원분위기에서 각각 약 450℃ 및 700℃로 처리하게 되며 산화·환원과정을 3 회 반복한다. 소결과정은 제조된 압분체를 고밀화 시켜 단위체적당 가능한 많은 양의 핵분열물질이 포함된 소결체를 제조하기 위하여 수소분위기, 1700 ℃하에서 수행된다.

한편 산화·환원 및 소결과정에서는 휘발성 및 준휘발성 방사성 기체폐기물 등이 발생하게 되는데 각 과정에서 발생하는 방사성기체폐기물의 종류와 발생량은 서로 다르다. 따라서 각 과정의 특성에 맞는 방사성폐기물 처리공정 장치를 설계·제작하여 IMEF M6 핫셀에 설치하여 운전하고 있다.

본 보고서에서는 ORIGEN II code를 이용하여 DUPIC 핵연료 제조공정 중 사용후핵연료의 산화·환원 및 소결과정에서 발생하는 배기체 발생량 및 방사능량을 계산하여 조사재시험시설 M6 핫셀에서 운영중인 배기체 처리장치의 설계상 제염효율을 기초로하여 제조공정 및 핵종별 방사능 흐름도 등을 기술한다.

제 2 절 배기체처리계통

1. 사용후핵연료

39배기체처리계통 안정성분석을 위하여 조사재시험시설 M6 핫셀에서 제조중인 DUPIC 핵연료 제조공정에 사용할 가압경수로형 사용후핵연료의 대한 특성은 다음과 같이 가정한다.

- 기본특성
 - 고리 1호기 14×14 형 핵연료 집합체

- Fuel rod 수 : 179 개
- 초기 농축도 : 3.21 wt%
- 집합체 평균 연소도(추정치) : 35,502 MWD/MTU (cycle 4~cycle 7)
- 방출일 : 1986. 10. 24
- PIEF로 이송일 : 1990. 6. 1

- 연소이력

- Cycle 4 : 261.17 EFPD
- Overhaul : 51 days
- Cycle 5 : 320.99 EFPD

- G2 핵연료봉 특성

- Stack length : 3,667 mm
- Rod length : 3,885 mm
- DUPIC 핵연료 제조에 사용될 부분 : 285(하단)~3,300(상단)mm
- 상기부분의 average burnup : 34,770 MWD/MTU
- 상기 부분의 average specific power : 30.045 MW/MTU

ORIGEN II code를 이용한 초기농축도 3.21 wt%, 연소도 34,770 MWD/MTU, 냉각기간 13년인 사용후핵연료의 핵종별 무게는 Appendix 1에 나타내었고, 핵종별 방사능 함유율(inventory) 계산결과는 Appendix 2에 나타내었다.

이로부터 발생할 수 있는 기체폐기물의 화학적 형태별 발생량 및 방사능량을 핵연료 제조용량인 500 g UO₂/batch 기준으로 계산한 값은 Table 7에 나타내었다. 여기서 입자상 폐기물의 발생량은 처리한 UO₂의 0.25 %로 가정하여 계산하였다.

2. DUPIC 핵연료 제조조건

DUPIC 핵연료 배기체처리계통의 안정성분석을 위하여 산화/환원 공정 및 소

Table 7. 기체 폐기물의 각 화학적 형태별 발생량 및 방사능량
(500 g UO₂/batch 기준)

Nuclide	Arising, g	Arising ,wt%	Arising, ml	Arising, %(v/v)	Activity, Ci	Activity, %
H, H ₂	2.28E-05	0.00	2.53E-01	0.02	1.76E-01	0.46
He	1.67E-03	0.02	9.35E+00	0.69	0.00E+00	
C, CO ₂	1.57E-01	1.51	7.99E+01	5.87	2.64E-04	
Se, SeO ₂	3.65E-02	0.35	7.37E+00	0.54	1.88E-04	
Br, Br ₂	9.97E-03	0.10	1.40E+00	0.10	0.00E+00	
Kr	1.64E-01	1.58	4.38E+01	3.22	1.80E+00	4.68
Rb, Rb ₂ O	1.79E-01	1.73	2.14E+01	1.57	9.83E-09	
Mo, MoO ₃	2.31E+00	22.33	3.21E+02	23.57	2.87E-07	
Tc, TcO ₂	4.75E-01	4.58	8.25E+01	6.06	6.06E-03	0.02
Ru, RuO ₄	1.66E+00	16.00	2.25E+02	16.52	2.85E-02	0.07
Cd, CdO	8.01E-02	0.77	1.24E+01	0.91	4.31E-07	
Sb, SbO	9.58E-03	0.09	1.64E+00	0.12	2.32E-01	0.60
Te, TeO ₂	2.80E-01	2.70	3.93E+01	2.89	5.66E-02	0.15
I, I ₂	1.08E-01	1.04	9.53E+00	0.70	1.45E-05	
Xe	2.43E+00	23.49	4.15E+02	30.47	0.00E+00	
Cs, Cs ₂ O	1.16E+00	11.17	9.22E+01	6.77	3.61E+01	94.02
U(Particulate as U ₃ O ₈)	1.30E+00	12.53	0.00E+00	0.00	1.58E-03	
Total	1.04E+01	100.00	1.36E+03	100.00	3.84E+01	100.00

* Amount of particulate waste is assumed as 0.25 % of treated U weight.

결공정의 조업조건을 Table 8에 나타내었다. DUPIC 핵연료 제조조건의 상세 내용은 다음과 같다.

- 산화/환원 : 산화된 분말을 산화/환원로에 장전한 후 3 회에 걸쳐 산화/환원 운전을 반복하여 재소결 가능한 DUPIC 분말을 제조하였다. 이때 처리작업 내용은 상온에서 450℃로 승온-산화(1)-승온-환원(1)-감온-산화(2)-승온-환원(2)-감온-산화(3)-승온-환원(3)의 3 cycle의 반복처리를 한 다음 분말의 산화피막 형성을 위해 80 ℃로 감온하여 Ar-2%O₂ 분위기에서 4 시간 유지하였다. 각 단계별 공정조건은 다음과 같다

- 산화 : 450 ℃, 5 시간, 공기분위기(유량 : 3 L/min)
 - 환원 : 700 ℃, 3 시간, Ar-4%H₂ 분위기(유량 : 3 L/min)
 - passivation : 80 ℃, 4 시간, Ar-2%O₂ 분위기(유량 : 3 L/min)
- 산화·환원로 승온 및 감온속도 : 4 ℃/min

- 미분쇄(milling) : 분말의 조성을 균일하게 하고 입자크기를 작게 하기 위하여 수평식 볼밀 분쇄기에서 산화/환원된 분말을 450 rpm으로 10 분간씩 3 회 분쇄하였다.

- 예비압분 및 조립(granulation) : 성형다이에 분말의 충전율을 높이기 위해 분말을 400 kg/cm²으로 예비 성형한 후, 성형체를 #12(1 mm) sieve에 놓고 분쇄, 통과시켜 분말을 과립화하였다. 이때 예비 압분체의 밀도는 6.00~6.17 g/cm³ 이었다.

- 최종압분 : 조립화 분말에 0.2 wt%의 윤활제(zinc stearate)를 첨가하고 polyethylene 병에 담은 후 5 분 정도 흔들어서 균일하게 혼합하였다. 최종압분은 800, 1200, 1600 kg/cm² 의 3 가지 조건의 가압력으로 행하였다. 최종압분 후 압분체 밀도는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} 6.35\sim 6.40 \text{ g/cm}^3 & \quad \text{at } 800 \text{ kg/cm}^2 \\ 6.54\sim 6.58 \text{ g/cm}^3 & \quad \text{at } 1200 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

6.68~6.71 g/cm³ at 1600 kg/cm²

- 탈왁스 : 원활한 압분을 위해 첨가된 윤활제(zinc stearate)를 제거하기 위해 최종 압분된 압분체를 탈왁스로에 넣고 환원성 분위기(Ar-4%H₂)하 800 °C에서 2 시간 가열하여 탈왁스 처리하였다. 이때 가온 및 냉각속도는 4 °C/min 이었다.

- 소결 : 탈왁스 처리한 압분체를 수소의 환원성 분위기(Ar-4%H₂)하 1,700 °C에서 4 시간동안 소결하였다. 소결온도인 1,700 °C까지는 분당 5 °C의 속도로 가열하며, 냉각도 분당 5 °C의 속도로 150 °C까지 냉각시켰다.

- 소결체 연마 : 제조된 소결체를 무심연마기에서 건식연마하여 소결체 직경 및 표면거칠기를 조정하였다.

- 소결체 장전길이 조정 : 완성된 소결체들을 일렬로 나열하여 피복판에 장전할 길이로 조정하였다.

3. 배기체의 예상발생을

DUPIC 핵연료 제조공정 중 산화·환원로 또는 소결로에서 방출되는 배기체에는 소량의 미립자, 휘발성 및 준휘발성 방사성핵종 등이 포함되어 있다. 배기체 처리계통 안전성분석을 위한 각 제조 공정별 기체폐기물의 예상발생율을 Table 9에 나타내었다. 산화·환원공정 및 소결공정 중에 삼중수소, He, Br₂, C-14, Xe는 100 %의 누출율, Kr, Se, Sb, Rb, Te, Cs은 99 %의 누출율, Cd은 75 %의 누출율, Ru, Mo의 누출율은 2% 로 예상하였다. 부유입자는 안전한 설계를 위하여 처리 U의 0.25 %가 발생하는 것으로 가정하였다. 각 공정별 방사성핵종의 예상 누출율을 Table 9에 나타내었다.

Table 8. Operation conditions for DUPIC fuel manufacturing process

공 정	반응온도, °C	반응시간, hr	기체 유량(표준상태)
산화공정	450	5	공기 3 l/min
환원공정	700	3	H ₂ + Ar(4 % 수소), 3 l/min
소결공정	1,700	4	H ₂ +Ar (4 % 수소), 3 l/min

4. 배기체처리 공정

배기체처리계통은 DUPIC 핵연료 제조공정 중 산화·환원 및 소결과정에서 발생하는 배기체를 처리하기 위한 장치이다. DUPIC 핵연료제조공정 중 산화·환원 공정중에 발생하는 핵종제거를 위한 배기체 처리계통도는 Fig. 17에 제시한 바와 같으며 미립자제거장치인 SUS로 된 metal wool을 통하여 우선 부유입자를 제거하고, 다음 요오드 제거장치로 CH₃I 와 I₂를 Silver impregnated zeolite로 포집하고 이어 삼중수소 흡수장치로 Molecular sieve 5A로 HTO를 제거하도록 하였다. 최종적으로 HEPA filter를 설치하여 미처리된 배기체를 처리한 후 핫셀의 주환기계통으로 방출한다. DUPIC 핵연료제조공정 중 소결 공정중에 발생하는 핵종제거를 위한 배기체 처리계통도는 Fig. 18에 제시한 바와 같으며 석탄회 세라믹필터를 이용한 세습포집장치로 방사선적 위험도가 높고 처리온도가 높은 세습을 처리한다. 다음 은침착제 지올라이트를 사용한 요오드제거장치로 배기가스중 요오드화합물을 제거한 후 이어 온도구배관(Thermal Gradient Tube, TGT)을 이용하여 준휘발성핵종을 응축시킨 후 최종적으로 HEPA filter를 설치하여 미처리된 배기체를 처리한 후 핫셀의 주환기계통으로 방출하도록 설계하였다.

Table 9. Predicted release rates of fission products in DUPIC process

Nuclides	Release Rate (%)		Remarks
	OREOX	SINTERING	
H	100	-	1, 2, 3, 4
He	100	-	1, 2
Br	100	-	1, 2, 4
Kr	99	-	1, 2, 4
I	40	59	1, 2, 4
Xe	99	-	1, 2, 4
Ru	2	0	1
Cs	5	94	1, 2, 4
Tc	0	2	1
Cd	0	75	3
Mo	0	2	1, 2
Se	99	0	1, 2
Sb	0	99	1
Rb	5	94	1
Te	0	99	1, 2
C	100	-	1, 2, 3, 4

References

1. ET-KAERI/DUPIC-DD-012 (산화온도 400 °C)
2. MIT-NFC-TR-014 (산화온도 1,200 °C)
3. "Conceptual Design and Cost Evaluation of the DUPIC Fuel Fabrication Facility Final Report," SCIENTECH, Inc., and Gamma Engineering Corp., SCIECOM-219-96, May 1996 (산화온도 400 °C)
4. KAERI/CM-062/95

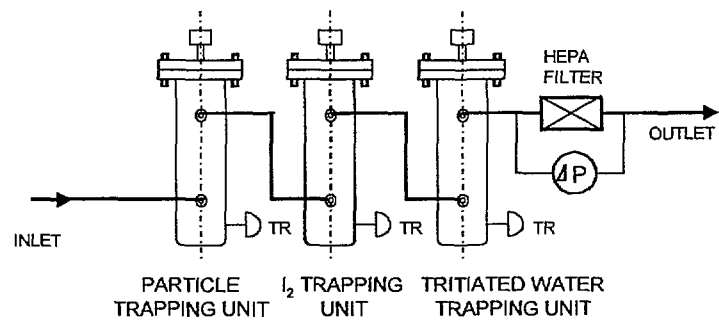


Fig. 17. Off-gas treatment system for OREOX furnace at IMEF.

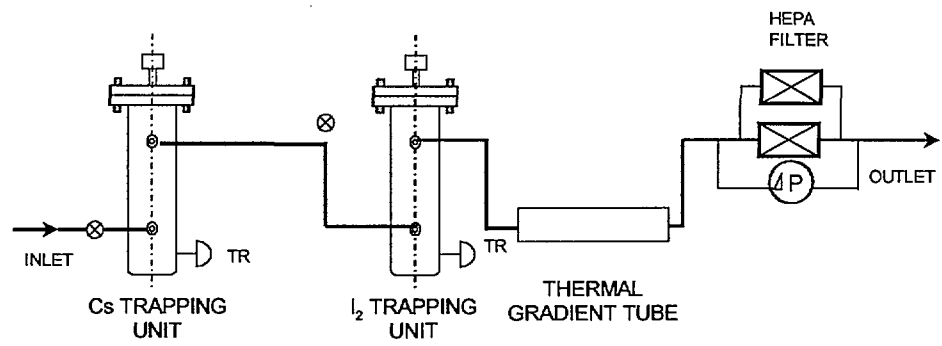


Fig. 18. Off-gas treatment system for sintering furnace at IMEF.

5. 배기체 처리시스템의 단위포집장치

산화·환원로 또는 소결로에서 방출되는 미립자, 휘발성 및 준휘발성 방사성 핵종을 포집하기 위하여 각각 필터 및 핵종별 단위포집장치를 설계하였다. 배기체처리시스템의 단위포집장치 별 설계기준을 마련하고 물질수지도를 작성한 후 이를 근거로 단위포집장치의 크기 및 포집재의 소요량을 산정하였다. 포집장치에 대한 공정흐름도는 단위포집장치 들의 운전온도를 일차적으로 고려하고, 다음으로 처리기체에 의한 오염 및 성능저하 등의 상호관계를 고려하여 작성하였다. 각 단위포집장치 들은 효율적인 보수·유지를 위하여 개별적으로 분리가 가능할 뿐만 아니라 포집재의 교체가 가능하도록 접속부위의 용접을 배제하고 swagelock으로 체결하였으며 manipulator의 접근성, 운전성 등을 고려하여 설계하였다.

① 세슘 trap

준휘발성 성분 중 특히 세슘은 방사선적 위험도가 높고 아울러 복잡한 화합물 형태를 취하면서 여러 시설물에 잘 흡착되는 것으로 알려져 있으므로 process의 안정 운전에 악영향을 미치므로 이를 포집하여 처리하여야 한다. Cs trap은 내경 80 mm, 높이 약 250 mm의 SUS 316으로 만든 충전탑으로 탑 하부에는 포집재가 누출되지 않도록 지름 2 mm의 작은 구멍이 뚫어져 있는 두께 3 mm의 금속판을 설치하였다. 또 탑 하부에는 탑내의 온도를 측정할 수 있는 열전대를 설치하였다.

세슘의 포집재로는 석탄회를 이용하여 제조한 세라믹 기포여과체를 사용하였다. 소결로와 세슘 trap 사이에서 준휘발성 핵종인 세슘의 응축을 방지하기 위하여 소결로에서 세슘 trap에 이르는 배관을 500℃로 가열 가능하도록 설계하였다. 즉 소결로에서 세슘 trap까지의 배관을 직경 3.2 mm인 sheath heater(0.25 kW, SUS 316)로 감은 후 temperature controller에 의한 heater의 on-off 운전에 의하여 배관의 온도를 약 500℃로 유지하도록 설계하였다. Cs trap 내의 설계온도는 800 ℃, 설계압력은 3 kg/cm² 이다.

② 요오드 trap

I₂ trap은 내경 100 mm, 높이 약 250 mm의 SUS 316으로 만든 충전탑으로 탑

하부에는 포집재가 누출되지 않도록 지름 2 mm의 작은 구멍이 뚫어져 있는 두께 3 mm의 금속판을 설치하였다. 또 탑 하부에는 탑내의 온도를 측정할 수 있는 열전대를 설치하였다. 포집재로는 은첨착 제올라이트를 사용한다. 충전층 내의 온도는 약 120 °C이며 I₂ trap의 설계온도는 200 °C, 설계압력은 3 kg/cm² 이다.

③ 삼중수소 trap

삼중수소 trap의 경우 내경 80 mm, 높이 약 250 mm의 SUS 316으로 만든 충전탑으로 탑 하부에는 포집재가 누출되지 않도록 지름 2 mm의 작은 구멍이 뚫어져 있는 두께 3 mm의 금속판을 설치하였다.

④ 미립자제거 trap

배기체 중에 부유하고 있는 미립자의 제거에는 HEPA 필터가 사용된다. HEPA 필터는 불연성의 고성능필터(여과성능: 0.3 μ 입자 99.97 %)를 이용한다. 고성능필터 크기 80 mm(L) X 50 mm(W) x 100 mm(H)이고 입구, 출구 양단은 1/2 inch union을 사용하였다. 압력손실은 공기유량 0.1 CMM인 경우 9.5 mmAq이다.

⑤ 열구배관 (Thermal Gradient Tube, TGT)

열구배관은 소결공정 중에 발생하는 핵분열생성물의 포집을 위한 것이다. 열구배관은 직경 0.95cm (3/8 inch), 길이 30cm의 가느다란 sus tube로서 소결로에서 발생하는 휘발성핵종, 준휘발성핵종들을 응축시킬수 있도록 내부 표면 처리되어 있다.

6. 단위포집장치의 설계기준

배기체처리장치 내의 단위포집장치 별 설계기준은 Table 10과 같다.

제 3 절 제조공정 및 핵종별 방사능 흐름도

산화·환원로, 소결로의 배기체처리공정의 핵종별 방사능 흐름도를

Table 11 및 Table 12에 표시하였다. 500 g UO_2 /batch 기준으로 산화·환원로, 소결로에서 총 배출되는 핵종별 방사능 배출량과 연간 33 kg UO_2 /year (200 kg 사용후 핵연료를 2000년 3월부터 2006년 3월까지 6년간 사용하였을 경우로 가정)을 사용함에 따른 핵종별 방사능 배출량을 계산한 값을 Table 13에 수록하였다

이 값을 기준으로 연간 최대 33 kg UO_2 의 사용후핵연료를 사용함에 따른 배출량을 Table 14에 수록하였다. 산화·환원로, 소결로의 M6 핫셀내로 배기체처리공정에서 방출되는 총 방사능은 119 Ci/year 로서 안전성분석보고서에 기술된 IMEF 핫셀의 부유선원 총량인 3,203 Ci/year의 약 3.7%을 나타내고 있어 연간 33 kg- UO_2 의 사용후핵연료를 사용하여도 기존의 IMEF 시설의 배기체처리계통을 이용하는데 문제가 없다고 사료된다.

Table 10. 배기체처리장치의 설계기준

단위포집장치	포집재	설계기준				비고
		포집능	선속도, cm/s	온도, ℃	제염계수	
미립자 제거장치	Metal wool	> 100 μm	<1200	실온	10	
Cs 포집장치	석탄회	-	< 10	~800	100	
I ₂ 포집장치	은침착 제오라이트	50 mg/g-bed	< 20	~150	100	
삼중수 흡수장치	Molecular sieve 5A	200 mg/g-bed.	< 5	실온	1000	
온도구배관 장치	sus tube	-		50	10	
HEPA 필터	Glass Fiber	-	3	실온	1000	0.3 μm, 포집효율 99.97 % 이상

Table 11. Flow chart of off-gas treatment system for OREOX furnace
(basis: 500 g UO₂/batch)

Isotope	OREOX furnace		Particulate removal unit outlet		Iodine trapping unit outlet		Tritium trapping unit outlet		HEPA filter outlet	
			DF=10		DF=100		DF=1000		DF=1000	
	arising,g	activity,Ci	arising,g	activity,Ci	arising,g	activity,Ci	arising, g	activity,Ci	arising,g	activity,Ci
H ₂	2.28E-05	1.76E-01	←	←	←	←	2.28E-08	1.76E-04	←	←
He	1.67E-03	0.00E+00	←	-	←	←	←	←	←	←
CO ₂	1.57E-01	2.64E-04	←	←	←	←	←	←	←	←
SeO ₂	3.61E-02	1.86E-04	←	←	←	←	←	←	←	←
Br ₂	9.97E-03	0.00E+00	←	←	←	←	←	←	←	←
Kr	1.62E-01	1.80E+00	←	←	←	←	←	←	←	←
Rb ₂ O	8.95E-03	4.92E-10	←	←	←	←	←	←	8.95E-06	4.92E-13
MoO ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TcO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RuO ₄	3.32E-02	5.70E-04	←	←	←	←	←	←	3.32E-05	5.70E-07
CdO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SbO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TeO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I ₂	4.32E-02	5.80E-06	←	←	4.32E-04	5.80E-08	←	←	←	←
Xe	2.41E+00	0.00E+00	←	←	←	←	←	←	←	←
Cs ₂ O	5.80E-02	1.81E+00	←	←	←	←	←	←	5.80E-05	1.81E-03
Particulate (base:U ₃ O ₈)	1.30E+00	1.58E-03	1.30E-01	1.58E-04	←	←	←	←	1.30E-04	1.58E-07
Total	4.22E+00	3.79E+00	3.05E+00	3.79E+00	3.01E+00	3.79E+00	3.01E+00	3.61E+00	2.78E+00	1.80E+00

Table 12. Flow chart of off-gas treatment system for sintering furnace
(basis: 500 g UO₂/batch)

Isotope	Sintering furnace		Cesium trapping unit outlet		Iodine trapping unit outlet		Thermal gradient tube unit outlet		HEPA filter outlet	
			DF=100		DF=100		DF=10		DF=1000	
	arising,g	activity,Ci	arising,g	activity,Ci	arising,g	activity,Ci	arising, g	activity,Ci	arising,g	activity,Ci
H ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
He	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SeO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Br ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rb ₂ O	1.68E-01	9.24E-09	←	←	←	←	1.68E-02	9.24E-10	1.68E-05	9.24E-13
MoO ₃	4.62E-02	5.74E-09	←	←	←	←	←	←	4.62E-05	5.74E-12
TcO ₂	9.50E-03	1.21E-04	←	←	←	←	←	←	9.50E-06	1.21E-07
RuO ₄	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CdO	6.05E-02	3.23E-07	←	←	←	←	←	←	6.05E-05	3.23E-10
SbO	9.48E-03	2.30E-01	←	←	←	←	←	←	9.48E-06	2.30E-04
TeO ₂	2.77E-01	5.60E-02	←	←	←	←	←	←	2.77E-04	5.60E-05
I ₂	6.37E-02	8.56E-06	←	←	6.37E-04	8.56E-08	←	←	←	←
Xe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cs ₂ O	1.15E+00	3.39E+01	1.15E-02	3.39E-01	←	←	1.15E-03	3.39E-02	1.15E-06	3.39E-05
Particulate (base:U ₃ O ₈)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	1.78E+00	3.42E+01	6.46E-01	6.25E-01	5.83E-01	6.25E-01	4.21E-01	3.20E-01	1.06E-03	3.20E-04

Table 13. Summary of arising and activity for gaseous waste discharged from off-gas treatment equipments to M6 cell for each isotope

Isotope	Basis : 500g UO ₂ /batch		Basis : 33 kgUO ₂ /year	
	arising, g	activity, Ci	arising, g	activity, Ci
H ₂	2.28E-08	1.76E-04	1.50E-06	1.16E-02
He	1.67E-03	-	1.10E-01	-
CO ₂	1.57E-01	2.64E-04	1.03E+01	1.74E-02
SeO ₂	3.61E-02	1.86E-04	2.38E+00	1.23E-02
Br ₂	9.97E-03	-	6.58E-01	-
Kr	1.62E-01	1.80E+00	1.07E+01	1.19E+02
Rb ₂ O	2.58E-05	4.92E-12	1.70E-03	9.35E-11
MoO ₃	4.62E-05	5.74E-12	3.05E-03	3.79E-10
TcO ₂	9.50E-06	5.60E-05	6.27E-04	7.99E-06
RuO ₄	3.32E-05	5.70E-07	2.19E-03	3.76E-05
CdO	6.05E-05	3.23E-10	3.99E-03	2.13E-08
SbO	9.48E-06	2.32E-4	6.26E-04	1.53E-02
TeO ₂	2.77E-04	5.60E-05	1.83E-02	3.70E-03
I ₂	1.07E-03	5.80E-08	7.06E-02	9.48E-06
Xe	2.41E+00	-	1.59E+02	-
Cs ₂ O	5.92E-05	1.85E-03	3.90E-03	1.22E-01
Particulate(base-U ₃ O ₈)	1.30E-04	1.58E-07	8.58E-03	1.04E-05
Total	2.78E+00	1.80E+00	1.83E+02	1.19E+02

Table 14. Total arising and activity for gaseous waste discharged from offgas treatment equipments to M6 cell for each furnace

	Basis: 500g UO ₂ /batch		Basis: 33 kg UO ₂ /year	
	arising, g	activity, Ci	arising, g	activity, Ci
OREOX furnace	2.78E+00	1.80E+00	1.83E+02	1.19E+02
Sintering furnace	1.06E-03	3.20E-04	7.00E-02	2.11E-02
Total	2.78E+00	1.80E+00	1.83E+02	1.19E+02

제 4 장 결 론

DUPIC 핵연료 제조시험은 사용후 PWR 핵연료를 초기물질로 사용하여 건식공정인 산화·환원공정에 의해 분말을 제조하고, 이를 사용하여 중수로형 핵연료를 연구개발 함을 목적으로 하는 시험으로서 취급하는 핵물질의 형태는 절단 연료봉, 분말, 압분체, 소결체, 가공 부스러기, 미니 연료봉, 미니연료 다발, 연료봉, 연료다발, 시료 및 기타 시험에 의해 발생하는 폐기물 등이 있다. 특히 이러한 시험은 고방사능을 띤 사용후 PWR 핵연료를 초기물질로 사용함으로써 고방사능 차폐시험(핫셀)에서 수행되어야 하고, 시설간 혹은 시설내의 핵물질 이동도 국내 및 국제법에 따라 엄격하게 관리되어야 한다.

DUPIC 핵연료 제조시험 중 산화·환원 및 소결과정에서 휘발성 및 준휘발성 방사성 기체폐기물 등이 발생하게 되는데 각 과정에서 발생하는 방사성기체폐기물의 종류와 발생량은 서로 다르다. 따라서 각 과정의 특성에 맞는 배기체 처리공정 장치를 설계·제작하여 IMEF M6 핫셀에 설치하여 운전하고 있다. 이와 같이 DUPIC 핵연료 제조시험은 다량의 고방사능 핵연료를 파괴하여 원자로용 핵연료로 재가공하는 공정을 포함하고 있으므로 엄격한 방사선 안전관리가 필요하다. 특히 DUPIC 핵연료 제조시험이 기 건설된 조사재시험시설의 일부 핫셀을 개·보수하여 사용함으로써 사용후핵연료의 사용량 증가에 따른 시설의 안정성분석은 필수적이다.

본 보고서에서는 안전성분석을 기초 자료로서 기존시설(IMEF)의 설계 및 DUPIC 핵연료 제조시험에 필요한 시설, 장비 및 제조공정을 종합적으로 기술하였다. 또한 ORIGEN II code를 이용하여 DUPIC 핵연료 제조공정 중 사용후핵연료의 산화·환원 및 소결과정에서 발생하는 배기체 발생량 및 방사능량을 계산하여 조사재시험시설 M6 핫셀에서 운영중인 배기체 처리장치의 설계상 제염계수를 기초로하여 제조공정 및 핵종별 방사능 흐름도 등을 기술하였다. 산화·환원로, 소결로의 M6 핫셀내로 배기체처리공정에서 방출되는 총 방사능은 119 Ci/year 로서 안전성분석보고서에 기술된 IMEF 핫셀의 부유선원 총량인 3,203 Ci/year의 약 3.7%을 나타내고 있어 연간 33 kg-UO₂의 사용후핵연료를 사용하여도 기존의 IMEF 시설의 배기체처리계통을 이용하는데 문제가 없다고 사료된다.

Appendix 1. Mass of elements in spent fuel

Y	90	1.85E-06	5.19E-11	4.95E-11	4.72E-11	4.50E-11	4.19E-11	3.95E-11	3.90E-11	3.72E-11	3.30E-11	1.62E-11	4.92E-12
Y	92	4.72E-07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
ZR	89	5.52E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
ZR	93	7.43E-09	7.43E-09	7.43E-09	7.43E-09	7.43E-09	7.43E-09	7.43E-09	7.43E-09	7.43E-09	7.43E-09	7.43E-09	7.43E-09
ZR	95	1.78E-03	3.40E-05	1.24E-08	4.54E-12	1.66E-15	1.16E-20	6.60E-25	6.60E-25	2.42E-28	6.18E-37	0.00E+00	0.00E+00
ZR	97	4.36E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
NB	92	1.10E-01	1.66E-12	3.76E-34	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
NB	93M	5.76E-10	8.98E-10	1.50E-09	2.03E-09	2.52E-09	3.17E-09	3.63E-09	3.72E-09	4.04E-09	4.72E-09	6.55E-09	7.02E-09
NB	94	7.63E-07	7.63E-07	7.63E-07	7.63E-07	7.63E-07	7.63E-07	7.63E-07	7.63E-07	7.63E-07	7.62E-07	7.62E-07	7.60E-07
NB	95	4.81E-03	7.87E-05	2.76E-08	1.01E-11	3.68E-15	2.58E-20	1.47E-24	1.47E-24	5.36E-28	1.37E-36	0.00E+00	0.00E+00
NB	95M	1.27E-05	2.52E-07	9.21E-11	3.37E-14	1.23E-17	8.61E-23	4.90E-27	4.66E-27	1.79E-30	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
NB	96	4.12E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
NB	97	1.56E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
NB	97M	4.12E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
NB	98	2.25E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
NB100		1.14E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
MO	93M	4.21E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
MO	93	6.52E-04	6.52E-04	6.52E-04	6.52E-04	6.51E-04	6.51E-04	6.51E-04	6.51E-04	6.50E-04	6.50E-04	6.46E-04	6.39E-04
MO	99	1.69E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
MO101		7.98E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
TC	99	1.56E-04	1.57E-04	1.57E-04	1.57E-04	1.57E-04	1.57E-04	1.57E-04	1.57E-04	1.57E-04	1.57E-04	1.57E-04	1.57E-04
TC100		4.63E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
TC101		7.98E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
RU103		1.83E-03	2.90E-06	7.32E-12	1.85E-17	4.66E-23	1.87E-31	2.33E-38	2.33E-38	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
RH104		9.38E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
RH104M		3.20E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
RH106		1.53E-05	5.31E-15	1.34E-15	3.39E-16	8.58E-17	1.09E-17	1.99E-18	1.39E-18	3.50E-19	1.09E-20	0.00E+00	0.00E+00
PD109		6.01E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
PD109M		9.03E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
PD111		1.31E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
PD111M		1.67E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
AG106		7.10E-04	8.23E-17	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
AG108		1.34E+01	1.15E-03	1.14E-03	1.13E-03	1.11E-03	1.09E-03	1.08E-03	1.08E-03	1.07E-03	1.04E-03	8.80E-04	6.70E-04
AG108M		1.30E-02	1.29E-02	1.28E-02	1.26E-02	1.25E-02	1.23E-02	1.21E-02	1.21E-02	1.20E-02	1.16E-02	9.89E-03	7.53E-03
AG109M		1.24E+00	6.81E-01	2.29E-01	7.68E-02	2.58E-02	5.02E-03	1.31E-03	9.77E-04	3.28E-04	2.14E-05	1.67E-12	2.37E-24
AG110		3.23E+01	7.01E-03	9.24E-04	1.22E-04	1.61E-05	7.69E-07	6.30E-08	3.68E-08	4.85E-09	3.06E-11	1.93E-24	0.00E+00
AG110M		1.45E+00	5.27E-01	6.95E-02	9.16E-03	1.21E-03	5.78E-05	4.73E-06	2.77E-06	3.65E-07	2.30E-09	1.45E-22	0.00E+00
AG111		2.11E-01	3.69E-16	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
AG111M		1.05E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
AG112		2.26E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
CD107		1.31E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
CD109		1.18E+00	6.81E-01	2.29E-01	7.68E-02	2.58E-02	5.02E-03	1.31E-03	9.77E-04	3.28E-04	2.14E-05	1.67E-12	2.37E-24
CD111M		2.23E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
CD115		3.16E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
CD115M		2.38E+01	8.14E-02	9.54E-07	1.12E-11	1.31E-16	5.26E-24	4.27E-30	4.27E-30	5.01E-35	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
CD117		9.39E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
CD117M		3.28E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
CD119		7.12E-07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
IN113M		7.60E-01	8.43E-02	1.04E-03	1.27E-05	1.57E-07	2.14E-10	9.35E-13	2.91E-13	3.58E-15	5.99E-20	0.00E+00	0.00E+00
IN114		3.40E+01	8.05E-02	2.92E-06	1.06E-10	3.82E-15	8.33E-22	2.73E-27	2.73E-27	9.88E-32	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
IN114M		1.40E+01	8.41E-02	3.05E-06	1.10E-10	3.99E-15	8.70E-22	2.85E-27	2.85E-27	1.03E-31	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
IN116		1.19E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
IN116M		8.65E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
IN117		5.01E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
IN117M		8.88E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
IN118		1.09E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
IN119		6.78E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
IN119M		7.12E-07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
SN113		7.60E-01	8.43E-02	1.04E-03	1.27E-05	1.56E-07	2.14E-10	9.34E-13	2.91E-13	3.58E-15	5.99E-20	0.00E+00	0.00E+00
SN113M		3.75E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
SN117M		2.82E+01	3.98E-07	7.90E-23	1.31E-38	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
SN119M		5.40E+00	1.92E+00	2.43E-01	3.08E-02	3.90E-03	1.76E-04	1.37E-05	7.92E-06	1.00E-06	5.72E-09	1.97E-22	0.00E+00
SN121		3.43E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
SN121M		6.38E-04	6.29E-04	6.12E-04	5.95E-04	5.79E-04	5.55E-04	5.36E-04	5.32E-04	5.18E-04	4.83E-04	3.19E-04	1.59E-04
SN123		3.00E-01	4.22E-02	8.38E-04	1.66E-05	3.30E-07	9.23E-10	7.29E-12	2.58E-12	5.12E-14	2.84E-18	0.00E+00	0.00E+00
SN123M		1.23E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
SN125		2.26E+00	8.87E-12	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
SN125M		1.61E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
SB122		4.69E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
SB122M		3.70E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
SB124		2.13E-02	3.18E-04	7.06E-08	1.57E-11	3.49E-15	1.16E-20	3.56E-25	3.56E-25	7.91E-29	5.78E		

TB160	1.51E+01	4.56E-01	4.14E-04	3.77E-07	3.42E-10	9.38E-15	1.65E-18	1.84E-19	1.67E-22	4.17E-30	0.00E+00	0.00E+00
TB161	9.86E+00	1.28E-15	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
TB162	1.85E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
DY165	1.39E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
DY165M	8.83E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
DY166	4.39E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
HO166	1.74E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
HO166M	2.84E-06	2.84E-06	2.83E-06	2.83E-06	2.83E-06	2.82E-06	2.82E-06	2.81E-06	2.81E-06	2.76E-06	2.68E-06	2.68E-06
ER167M	1.93E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
ER169	6.05E-06	1.22E-17	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
TA182	2.60E-02	2.88E-03	3.53E-05	4.32E-07	5.28E-09	7.15E-12	3.11E-14	9.68E-15	1.19E-16	1.96E-21	0.00E+00	0.00E+00
TA182M	5.29E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
TA183	7.94E-02	2.19E-23	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
W181	2.85E-01	3.53E-02	5.41E-04	8.28E-06	1.27E-07	2.41E-10	1.38E-12	4.56E-13	6.99E-15	2.03E-19	0.00E+00	0.00E+00
W183M	4.36E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
W185	8.30E+00	2.85E-01	3.37E-04	3.99E-07	4.72E-10	1.91E-14	4.63E-18	8.19E-19	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
W185M	9.86E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
W187	1.61E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
W188	4.19E-01	1.09E-02	7.39E-06	5.01E-09	3.40E-12	6.00E-17	7.33E-21	7.33E-21	4.97E-24	5.95E-32	0.00E+00	0.00E+00
RE186	5.57E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
RE187	5.85E-09	5.85E-09	5.85E-09	5.85E-09	5.85E-09	5.85E-09	5.85E-09	5.85E-09	5.85E-09	5.85E-09	5.85E-09	5.85E-09
RE188	5.43E+01	1.10E-02	7.47E-06	5.06E-09	3.43E-12	6.06E-17	7.40E-21	7.34E-21	5.02E-24	6.01E-32	0.00E+00	0.00E+00
RE188M	1.27E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
RE189	2.68E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
OS190M	4.58E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
OS191	4.34E-03	3.26E-10	1.73E-24	1.19E-38	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
OS191M	3.33E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
IR192	1.16E-03	3.80E-05	4.21E-08	1.23E-09	1.17E-09	1.16E-09	1.16E-09	1.15E-09	1.15E-09	1.13E-09	1.04E-09	8.99E-10
IR192M	1.20E-09	1.19E-09	1.19E-09	1.18E-09	1.17E-09	1.16E-09	1.16E-09	1.15E-09	1.15E-09	1.13E-09	1.04E-09	8.98E-10
IR194	4.63E-05	1.85E-11	1.47E-11	1.17E-11	9.26E-12	6.55E-12	4.92E-12	4.63E-12	3.68E-12	2.06E-12	6.45E-14	2.00E-16
IR194M	2.44E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
PT193	8.39E-09	8.44E-09	8.41E-09	8.39E-09	8.37E-09	8.33E-09	8.30E-09	8.30E-09	8.27E-09	8.22E-09	7.88E-09	7.35E-09
PT193M	2.42E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
TL206	1.73E-08	1.73E-08	1.73E-08	1.73E-08	1.73E-08	1.73E-08	1.73E-08	1.73E-08	1.73E-08	1.73E-08	1.73E-08	1.73E-08
PB205	1.87E-09	1.87E-09	1.87E-09	1.87E-09	1.87E-09	1.87E-09	1.87E-09	1.87E-09	1.87E-09	1.87E-09	1.87E-09	1.87E-09
PB209	5.73E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
BE208	2.01E-08	2.01E-08	2.01E-08	2.01E-08	2.01E-08	2.01E-08	2.01E-08	2.01E-08	2.01E-08	2.01E-08	2.01E-08	2.01E-08
B210	3.99E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
B210M	1.74E-08	1.74E-08	1.74E-08	1.74E-08	1.74E-08	1.74E-08	1.74E-08	1.74E-08	1.74E-08	1.74E-08	1.74E-08	1.74E-08
PO210	3.36E-02	5.64E-03	1.45E-04	3.75E-06	9.67E-08	4.70E-10	7.38E-11	7.10E-11	6.94E-11	6.94E-11	6.94E-11	6.94E-11
PO211	4.86E-07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
SUMTOT	3.47E+03	4.52E+02	3.47E+02	2.91E+02	2.48E+02	1.98E+02	1.66E+02	1.60E+02	1.40E+02	1.01E+02	1.81E+01	2.42E+00
TOTAL	3.47E+03	4.52E+02	3.47E+02	2.91E+02	2.48E+02	1.98E+02	1.66E+02	1.60E+02	1.40E+02	1.01E+02	1.81E+01	2.42E+00

ACTIVATION PRODUCTS

SUMMARY TABLE:	POWER= 3.00E+01 MW,		BURNUP= 3.48E+04 MWD,		FLUX= 2.64E+14 N/CM**2-SEC							
	RADIOACTIVITY,		CURIES		34,770 MWD/MTIHM		4 CYCLE					
	1 MTIHM	3.21% UO2	BURNUP=	34,770	MWD/MTIHM	4	CYCLE					
	DISCHARI	1.0YR	3.0YR	5.0YR	7.0YR	10.0YR	12.5YR	13.0YR	15.0YR	20.0YR	50.0YR	100.0YR
H	2.71E+02	2.52E+02	2.25E+02	2.01E+02	1.80E+02	1.52E+02	1.32E+02	1.28E+02	1.15E+02	8.67E+01	1.61E+01	9.72E-01
HE	1.64E-02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
LI	2.51E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
BE	2.53E+00	1.24E-06	1.24E-06	1.24E-06	1.24E-06	1.24E-06	1.24E-06	1.24E-06	1.24E-06	1.24E-06	1.24E-06	1.24E-06
B	1.76E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
C	3.02E+01	6.00E-01	6.00E-01	6.00E-01	5.99E-01	5.99E-01	5.99E-01	5.99E-01	5.99E-01	5.99E-01	5.96E-01	5.93E-01
N	1.85E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
O	3.79E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
F	3.88E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
NE	1.54E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
NA	4.18E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
MG	2.37E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
AL	7.33E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
SI	4.10E+01	1.67E-08	1.66E-08	1.66E-08	1.66E-08	1.65E-08	1.65E-08	1.65E-08	1.64E-08	1.64E-08	1.58E-08	1.50E-08
P	9.31E+01	1.92E-06	1.67E-08	1.66E-08	1.66E-08	1.65E-08	1.65E-08	1.65E-08	1.64E-08	1.64E-08	1.58E-08	1.50E-08
S	2.48E+01	1.40E+00	4.43E-03	1.40E-05	4.45E-08	7.95E-12	6.52E-15	1.42E-15	4.45E-18	2.52E-24	0.00E+00	0.00E+00
CL	7.68E+00	1.21E-02	1.21E-02	1.21E-02	1.21E-02	1.21E-02	1.21E-02	1.21E-02	1.21E-02	1.21E-02	1.21E-02	1.21E-02
AR	4.23E-01	3.69E-04	6.18E-05	6.15E-05	6.12E-05	6.07E-05	6.03E-05	6.02E-05	5.99E-05	5.91E-05	5.47E-05	4.81E-05
K	8.45E-03	3.47E-09	3.47E-09	3.47E-09	3.47E-09	3.47E-09	3.47E-09	3.47E-09	3.47E-09	3.47E-09	3.47E-09	3.47E-09
CA	4.57E-01	8.66E-02	4.06E-03	3.65E-04	2.00E-04	1.92E-04	1.92E-04	1.92E-04	1.92E-04	1.92E-04	1.92E-04	1.92E-04
SC	1.45E-01	2.04E-03	4.84E-06	1.15E-08	2.73E-11	3.16E-15	1.82E-18	3.32E-19	9.66E-20	2.66E-26	0.00E+00	0.00E+00
TI	1.01E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
V	1.33E+02	1.10E-15	1.10E-15	1.10E-15	1.10E-15	1.10E-15	1.10E-15	1.10E-15	1.10E-15	1.10E-15	1.10E-15	1.10E-15
CR	2.39E+01	2.52E-03	2.92E-11	3.38E-19	3.92E-27	6.61E-39	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
MN	2.33E+02	4.58E-01	9.06E-02	1.79E-02	3.54E-03	3.12E-04	4.22E-05	2.74E-05	5.43E-06	9.45E-08	2.63E-18	6.73E-36
FE	1.03E+01	7.37E+00	4.32E+00	2.54E+00	1.49E+00	6.89E-01	3.46E-01	3.00E-01	1.76E-01	4.65E-02	1.56E-05	2.54E-11
CO	3.63E+02	1.42E+02	1.09E+02	8.36E+01	6.43E+01	4.33E+01	3.13E+01	2.92E+01	2.24E+01	1.16E+01	2.25E-	

CD	3.54E+02	7.63E-01	2.29E-01	7.68E-02	2.58E-02	5.02E-03	1.31E-03	9.77E-04	3.28E-04	2.14E-05	1.67E-12	2.37E-24
IN	2.68E+02	2.49E-01	1.04E-03	1.27E-05	1.57E-07	2.14E-10	1.11E-12	4.63E-13	1.75E-13	1.72E-13	1.72E-13	1.72E-13
SN	4.24E+01	2.05E+00	2.46E-01	3.14E-02	4.48E-03	7.31E-04	5.50E-04	5.40E-04	5.19E-04	4.83E-04	3.19E-04	1.59E-04
SB	2.18E+00	1.29E+00	7.83E-01	4.75E-01	2.88E-01	1.36E-01	7.32E-02	6.42E-02	3.89E-02	1.11E-02	6.11E-06	2.25E-11
TE	3.54E-01	3.15E-01	1.91E-01	1.16E-01	7.03E-02	3.32E-02	1.79E-02	1.57E-02	9.49E-03	2.72E-03	1.49E-06	5.49E-12
I	1.97E-05	2.53E-17	2.53E-17	2.53E-17	2.53E-17	2.53E-17	2.53E-17	2.53E-17	2.53E-17	2.53E-17	2.53E-17	2.53E-17
PM	8.51E-07	1.96E-18	1.05E-18	6.18E-19	6.32E-19	1.59E-19	8.90E-20	8.90E-20	4.20E-20	7.02E-21	2.54E-24	4.64E-30
SM	1.06E-06	6.52E-10	6.42E-10	6.32E-10	6.23E-10	6.08E-10	5.97E-10	5.95E-10	5.85E-10	5.63E-10	4.47E-10	3.04E-10
EU	6.86E-01	6.68E-02	5.47E-02	4.50E-02	3.71E-02	2.79E-02	2.21E-02	2.11E-02	1.75E-02	1.12E-02	8.80E-04	1.52E-05
GD	7.41E+01	4.36E-01	5.38E-02	6.64E-03	8.20E-04	3.55E-05	2.68E-06	1.54E-06	1.90E-07	1.02E-09	7.68E-14	7.68E-14
TB	2.50E+01	4.56E-01	4.14E-04	3.77E-07	3.42E-10	9.38E-15	1.65E-18	1.84E-19	1.67E-22	4.17E-30	0.00E+00	0.00E+00
DY	2.28E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
HO	1.74E-01	2.84E-06	2.83E-06	2.83E-06	2.83E-06	2.82E-06	2.82E-06	2.82E-06	2.81E-06	2.81E-06	2.76E-06	2.68E-06
ER	1.94E-03	1.22E-17	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
TM	3.51E-07	4.27E-08	1.59E-09	3.98E-10	1.86E-10	6.28E-11	2.58E-11	2.13E-11	1.03E-11	1.70E-12	3.36E-17	4.87E-25
TA	1.06E-01	2.88E-03	3.53E-05	4.32E-07	5.28E-09	7.15E-12	3.11E-14	9.68E-15	1.19E-16	1.96E-21	0.00E+00	0.00E+00
W	1.71E+02	3.31E-01	8.85E-04	8.69E-06	1.27E-07	2.41E-10	1.38E-12	4.56E-13	6.99E-15	2.03E-19	0.00E+00	0.00E+00
RE	1.13E+02	1.10E-02	7.47E-06	1.09E-08	5.86E-09	5.85E-09	5.85E-09	5.85E-09	5.85E-09	5.85E-09	5.85E-09	5.85E-09
OS	7.68E-03	3.44E-10	1.47E-11	1.17E-11	9.26E-12	6.55E-12	4.92E-12	4.63E-12	3.67E-12	2.06E-12	6.44E-14	2.00E-16
IR	1.21E-03	3.80E-05	4.33E-08	2.42E-09	2.36E-09	2.33E-09	2.32E-09	2.31E-09	2.30E-09	2.26E-09	2.07E-09	1.80E-09
PT	2.43E-06	8.44E-09	8.41E-09	8.39E-09	8.37E-09	8.33E-09	8.30E-09	8.30E-09	8.27E-09	8.22E-09	7.88E-09	7.35E-09
TL	1.73E-08	1.73E-08	1.73E-08	1.73E-08	1.73E-08	1.73E-08	1.73E-08	1.73E-08	1.73E-08	1.73E-08	1.73E-08	1.73E-08
PB	1.73E-04	1.87E-09	1.87E-09	1.87E-09	1.87E-09	1.87E-09	1.87E-09	1.87E-09	1.87E-09	1.87E-09	1.87E-09	1.87E-09
BI	3.99E-02	3.74E-08	3.74E-08	3.74E-08	3.74E-08	3.74E-08	3.74E-08	3.74E-08	3.74E-08	3.74E-08	3.74E-08	3.74E-08
PO	3.36E-02	5.64E-03	1.45E-04	3.75E-06	9.67E-08	4.70E-10	7.38E-11	7.10E-11	6.94E-11	6.94E-11	6.94E-11	6.94E-11

SUMTOT	3.47E+03	4.52E+02	3.47E+02	2.91E+02	2.48E+02	1.98E+02	1.66E+02	1.60E+02	1.40E+02	1.01E+02	1.81E+01	2.42E+00
TOTAL	3.47E+03	4.52E+02	3.47E+02	2.91E+02	2.48E+02	1.98E+02	1.66E+02	1.60E+02	1.40E+02	1.01E+02	1.81E+01	2.42E+00

CUMULATIVE TABLE TOTALS

AP+FP	3.47E+03	4.52E+02	3.47E+02	2.91E+02	2.48E+02	1.98E+02	1.66E+02	1.60E+02	1.40E+02	1.01E+02	1.81E+01	2.42E+00
ACT+FP	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
AP+ACT+FP	3.47E+03	4.52E+02	3.47E+02	2.91E+02	2.48E+02	1.98E+02	1.66E+02	1.60E+02	1.40E+02	1.01E+02	1.81E+01	2.42E+00

ACTINIDES+DAUGHTERS

NUCLIDE TABLE:	POWER= 3.00E+01 MW, BURNUP= 3.48E+04 MWD, FLUX= 2.64E+14 N/CM**2-SEC												
	CONCENTRATION,	GRAMS			3.21% UO2			BURNUP= 34,770 MWD/MTIHM			4 CYCLE		
	1	MTIHM	1.0YR	3.0YR	5.0YR	7.0YR	10.0YR	12.5YR	13.0YR	15.0YR	20.0YR	50.0YR	100.0YR
HE	4	4.21E-01	6.65E-01	8.23E-01	9.36E-01	1.05E+00	1.22E+00	1.36E+00	1.39E+00	1.51E+00	1.80E+00	3.54E+00	6.15E+00
TL206		8.71E-27	8.71E-27	8.71E-27	8.71E-27	8.71E-27	8.71E-27	8.71E-27	8.71E-27	8.71E-27	8.71E-27	8.71E-27	8.71E-27
TL207		3.51E-15	7.12E-15	1.37E-14	2.01E-14	2.63E-14	3.52E-14	4.23E-14	4.39E-14	4.94E-14	6.27E-14	1.30E-13	2.22E-13
TL208		3.44E-12	7.56E-12	1.59E-11	2.27E-11	2.76E-11	3.18E-11	3.35E-11	3.38E-11	3.41E-11	3.37E-11	2.56E-11	1.58E-11
TL209		3.00E-17	9.39E-18	9.55E-18	9.75E-18	9.98E-18	1.04E-17	1.08E-17	1.09E-17	1.12E-17	1.23E-17	2.28E-17	5.83E-17
PB206		7.06E-13	1.96E-12	6.54E-12	1.53E-11	3.09E-11	7.51E-11	1.40E-10	1.58E-10	2.43E-10	6.20E-10	1.48E-08	1.75E-07
PB207		3.46E-10	7.46E-10	2.32E-09	4.88E-09	8.40E-09	1.54E-08	2.28E-08	2.45E-08	3.16E-08	5.31E-08	2.78E-07	9.58E-07
PB208		1.11E-06	2.91E-06	1.07E-05	2.36E-05	4.03E-05	7.00E-05	9.68E-05	1.03E-04	1.25E-04	1.81E-04	4.76E-04	8.12E-04
PB209		1.25E-13	3.91E-14	3.98E-14	4.06E-14	4.16E-14	4.32E-14	4.49E-14	4.52E-14	4.67E-14	5.10E-14	9.50E-14	2.43E-13
PB210		4.42E-11	6.30E-11	1.21E-10	2.21E-10	3.77E-10	7.39E-10	1.18E-09	1.29E-09	1.77E-09	3.47E-09	3.46E-08	2.04E-07
PB211		2.72E-14	5.51E-14	1.06E-13	1.55E-13	2.03E-13	2.73E-13	3.28E-13	3.40E-13	3.82E-13	4.85E-13	1.01E-12	1.72E-12
PB212		2.03E-09	4.46E-09	9.38E-09	1.34E-08	1.63E-08	1.88E-08	1.97E-08	1.99E-08	2.01E-08	1.99E-08	1.51E-08	9.35E-09
PB214		1.09E-15	1.65E-15	3.18E-15	5.26E-15	7.91E-15	1.30E-14	1.81E-14	1.93E-14	2.43E-14	3.93E-14	2.14E-13	8.61E-13
BI208		4.72E-16	4.72E-16	4.72E-16	4.72E-16	4.72E-16	4.72E-16	4.72E-16	4.72E-16	4.72E-16	4.72E-16	4.72E-16	4.72E-16
BI209		1.92E-10	2.79E-10	4.24E-10	5.72E-10	7.23E-10	9.57E-10	1.16E-09	1.20E-09	1.37E-09	1.82E-09	5.71E-09	2.05E-08
BI210M		3.36E-15	3.36E-15	3.36E-15	3.36E-15	3.36E-15	3.36E-15	3.36E-15	3.36E-15	3.36E-15	3.36E-15	3.36E-15	3.36E-15
BI210		2.73E-14	3.88E-14	7.42E-14	1.36E-13	2.32E-13	4.55E-13	7.23E-13	7.92E-13	1.09E-12	2.14E-12	2.13E-11	1.25E-10
BI211		1.60E-15	3.25E-15	6.25E-15	9.16E-15	1.20E-14	1.61E-14	1.93E-14	2.01E-14	2.26E-14	2.86E-14	5.95E-14	1.02E-13
BI212		1.93E-10	4.23E-10	8.90E-10	1.27E-09	1.54E-09	1.78E-09	1.89E-09	1.91E-09	1.91E-09	1.88E-09	1.44E-09	8.86E-10
BI213		2.94E-14	9.20E-15	9.35E-15	9.54E-15	9.77E-15	1.02E-14	1.05E-14	1.06E-14	1.10E-14	1.20E-14	2.23E-14	5.71E-14
BI214		8.08E-16	1.22E-15	2.36E-15	3.91E-15	5.87E-15	9.62E-15	1.34E-14	1.43E-14	1.80E-14	2.92E-14	1.59E-13	6.40E-13
PO210		4.71E-13	8.74E-13	1.73E-12	3.21E-12	5.58E-12	1.12E-11	1.81E-11	1.97E-11	2.75E-11	5.91E-11	5.88E-10	3.46E-09
PO211M		2.39E-25	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
PO211		1.97E-20	3.99E-20	7.67E-20	1.12E-19	1.47E-19	1.97E-19	2.37E-19	2.46E-19	2.77E-19	3.51E-19	7.30E-19	1.25E-18
PO212		1.02E-20	2.24E-20	4.71E-20	6.73E-20	8.17E-20	9.42E-20	9.91E-20	9.99E-20	1.01E-19	9.97E-20	7.59E-20	4.69E-20
PO213		4.40E-23	1.38E-23	1.40E-23	1.43E-23	1.47E-23	1.52E-23	1.58E-23	1.60E-23	1.65E-23	1.80E-23	3.35E-23	8.57E-23
PO214		3.45E-22	1.68E-22	3.25E-22	5.38E-22	8.08E-22	1.32E-21	1.85E-21	1.97E-21	2.48E-21	4.02E-21	2.18E-20	8.80E-20
PO215		2.27E-20	4.61E-20	8.87E-20	1.30E-19	1.70E-19	2.28E-19	2.74E-19	2.85E-19	3.20E-19	4.06E-19	8.44E-19	1.44E-18
PO216		8.10E-15	1.78E-14	3.74E-14	5.35E-14	6.49E-14	7.49E-14	7.88E-14	7.94E-14	8.03E-14	7.92E-14	6.04E-14	3.73E-14
PO218		1.26E-16	1.91E-16	3.68E-16	6.10E-16	9.17E-16	1.50E-15	2.10E-15	2.24E-15	2.82E-15	4.56E-15	2.48E-14	9.99E-14
AT217		3.53E-19	1.11E-19	1.12E-19	1.15E-19	1.17E-19	1.22E-19	1.27E-19	1.28E-19	1.32E-19	1.44E-19	2.68E-19	6.86E-19
RN218		5.08E-20	2.63E-25	7.04E-36	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
RN219		5.15E-17	1.05E-16	2.01E-16	2.95E-16	3.86E-16	5.17E-16	6.22E-16	6.45E-16	7.25E-16	9.20E-16	1.91E-15	3.27E-15
RN220		3.06E-12	6.72E-12	1.41E-11	2.02E-11	2.45E-11	2.83E-11	2.97E-11	3.00E-11	3.03E-11	2.99E-11	2.28E-11	1.41E-11
RN222		2.32E-13	3.51E-13	6.77E-13	1.12E-12	1.69E-12	2.76E-12	3.86E-12	4.12E-12	5.18E-12	8.39E-12	4.56E-11	1.84E-10
FR221		3.20E-15	1.00E-15	1.02E-15	1.04E-15	1.07E-15	1.11E-15	1.15E-15	1.16E-15	1.20E-15	1.31E-15	2.44E-15	6.23E-15
FR223		2.56E-16	4.85E-16	9.32E-16	1.37E-15	1.79E-15	2.40E-15	2.88E-15	2.98E-15	3.36E-15	4.26E-15	8.87E-15	1.52E-14
RA222		5.61E-17	2.91E-22	7.78E-33	3.11E-43	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
RA223		1.31E-11	2.66E-11	5.11E-11	7.49E-11	9.80E-11	1.31E-10	1.58E-10	1.64E-10	1.84E-10	2.34E-10	4.86E-10	8.30E-10
RA224													

TH230	1.84E-03	2.36E-03	3.39E-03	4.44E-03	5.51E-03	7.14E-03	8.50E-03	8.80E-03	9.92E-03	1.28E-02	3.16E-02	6.80E-02
TH231	1.89E-06	2.84E-09	2.84E-08	2.84E-08	2.84E-08	2.84E-08	2.84E-08	2.84E-08	2.84E-08	2.84E-08	2.84E-08	2.84E-08
TH232	2.71E-04	3.89E-04	6.25E-04	8.61E-04	1.10E-03	1.45E-03	1.74E-03	1.81E-03	2.04E-03	2.63E-03	6.18E-03	1.21E-02
TH233	4.94E-10	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
TH234	1.37E-05	1.37E-05	1.37E-05	1.37E-05	1.37E-05	1.37E-05	1.37E-05	1.37E-05	1.37E-05	1.37E-05	1.37E-05	1.37E-05
PA231	4.44E-04	4.52E-04	4.66E-04	4.79E-04	4.93E-04	5.13E-04	5.30E-04	5.33E-04	5.47E-04	5.81E-04	7.83E-04	1.12E-03
PA232	1.57E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
PA233	1.68E-05	1.73E-05	1.73E-05	1.74E-05	1.74E-05	1.75E-05	1.76E-05	1.76E-05	1.77E-05	1.79E-05	1.95E-05	2.26E-05
PA234	4.69E-10	4.62E-10	4.62E-10	4.62E-10	4.62E-10	4.62E-10	4.62E-10	4.62E-10	4.62E-10	4.62E-10	4.62E-10	4.62E-10
PA235	2.53E-09	2.06E-10	2.06E-10	2.06E-10	2.06E-10	2.06E-10	2.06E-10	2.06E-10	2.06E-10	2.06E-10	2.06E-10	2.06E-10
U230	6.52E-15	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
U231	2.75E-12	1.42E-17	3.81E-28	1.02E-38	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
U232	1.72E-10	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
U233	5.38E-04	7.42E-04	1.02E-03	1.18E-03	1.26E-03	1.32E-03	1.32E-03	1.32E-03	1.31E-03	1.27E-03	9.96E-04	5.91E-04
U234	1.33E-03	1.51E-03	1.85E-03	2.19E-03	2.53E-03	3.04E-03	3.46E-03	3.55E-03	3.90E-03	4.73E-03	9.57E-03	1.98E-02
U235	1.83E+02	1.85E+02	1.87E+02	1.90E+02	1.93E+02	1.97E+02	2.00E+02	2.00E+02	2.03E+02	2.09E+02	2.41E+02	2.80E+02
U236	6.97E+03	6.97E+03	6.97E+03	6.97E+03	6.97E+03	6.98E+03	6.98E+03	6.98E+03	6.98E+03	6.98E+03	6.98E+03	6.99E+03
U237	4.05E+03	4.06E+03	4.06E+03	4.06E+03	4.06E+03	4.06E+03	4.06E+03	4.06E+03	4.06E+03	4.06E+03	4.07E+03	4.08E+03
U238	1.05E+01	3.72E-05	3.38E-05	3.07E-05	2.78E-05	2.41E-05	2.14E-05	2.09E-05	1.89E-05	1.49E-05	3.51E-06	3.17E-07
U239	9.43E+05	9.43E+05	9.43E+05	9.43E+05	9.43E+05	9.43E+05	9.43E+05	9.43E+05	9.43E+05	9.43E+05	9.43E+05	9.43E+05
U240	5.60E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
U241	2.53E-05	5.46E-13	5.46E-13	5.46E-13	5.46E-13	5.46E-13	5.46E-13	5.46E-13	5.46E-13	5.46E-13	5.46E-13	5.46E-13
U242	1.03E-15	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
NP235	3.73E-06	1.97E-06	5.48E-07	1.53E-07	4.25E-08	6.24E-09	1.29E-09	9.18E-10	2.56E-10	1.05E-11	4.91E-20	6.47E-34
NP236M	1.06E-05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
NP236	3.62E-04	3.62E-04	3.62E-04	3.62E-04	3.62E-04	3.62E-04	3.62E-04	3.62E-04	3.62E-04	3.62E-04	3.62E-04	3.62E-04
NP237	4.99E+02	5.10E+02	5.11E+02	5.11E+02	5.12E+02	5.15E+02	5.17E+02	5.18E+02	5.20E+02	5.26E+02	5.73E+02	6.64E+02
NP238	1.42E+00	3.83E-07	3.79E-07	3.76E-07	3.72E-07	3.67E-07	3.63E-07	3.62E-07	3.59E-07	3.57E-07	3.56E-07	3.56E-07
NP239	8.06E+01	9.19E-05	9.19E-05	9.19E-05	9.19E-05	9.18E-05	9.18E-05	9.18E-05	9.18E-05	9.18E-05	9.15E-05	9.11E-05
NP240M	4.52E-05	4.78E-15	4.78E-15	4.78E-15	4.78E-15	4.78E-15	4.78E-15	4.78E-15	4.78E-15	4.78E-15	4.78E-15	4.78E-15
NP240	1.56E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
NP241	9.85E-13	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
PU236	9.78E-04	7.71E-04	4.74E-04	2.92E-04	1.79E-04	8.65E-05	4.74E-05	4.17E-05	2.56E-05	7.60E-06	5.98E-09	8.08E-10
PU237	1.84E-04	7.13E-07	1.07E-11	1.62E-16	2.43E-21	1.42E-28	1.57E-34	1.57E-34	2.37E-39	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
PU238	1.63E+02	1.75E+02	1.75E+02	1.72E+02	1.70E+02	1.68E+02	1.62E+02	1.62E+02	1.59E+02	1.53E+02	1.21E+02	8.17E+01
PU239	5.28E+03	5.36E+03	5.36E+03	5.36E+03	5.36E+03	5.36E+03	5.36E+03	5.36E+03	5.36E+03	5.36E+03	5.36E+03	5.34E+03
PU240	2.25E+03	2.25E+03	2.25E+03	2.25E+03	2.25E+03	2.26E+03	2.26E+03	2.26E+03	2.26E+03	2.26E+03	2.26E+03	2.26E+03
PU241	1.26E+03	1.20E+03	1.09E+03	9.90E+02	8.99E+02	7.78E+02	6.91E+02	6.74E+02	6.12E+02	4.81E+02	1.14E+02	1.02E+01
PU242	5.08E+02	5.08E+02	5.08E+02	5.08E+02	5.08E+02	5.08E+02	5.08E+02	5.08E+02	5.08E+02	5.08E+02	5.08E+02	5.08E+02
PU243	1.31E-01	5.17E-14	5.17E-14	5.17E-14	5.17E-14	5.17E-14	5.17E-14	5.17E-14	5.17E-14	5.17E-14	5.17E-14	5.17E-14
PU244	2.86E-02	2.86E-02	2.86E-02	2.86E-02	2.86E-02	2.86E-02	2.86E-02	2.86E-02	2.86E-02	2.86E-02	2.86E-02	2.86E-02
PU245	5.70E-07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
PU246	3.86E-09	4.38E-19	1.54E-19	1.54E-19	1.54E-19	1.54E-19	1.54E-19	1.54E-19	1.54E-19	1.54E-19	1.54E-19	1.53E-19
AM239	1.04E-09	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
AM240	1.29E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
AM241	4.80E+01	1.07E+02	2.17E+02	3.16E+02	4.06E+02	5.24E+02	6.09E+02	6.26E+02	6.86E+02	8.11E+02	1.13E+03	1.14E+03
AM242M	2.05E+00	2.04E+00	2.02E+00	2.00E+00	1.99E+00	1.96E+00	1.94E+00	1.93E+00	1.91E+00	1.87E+00	1.63E+00	1.30E+00
AM242	1.02E-01	2.44E-05	2.42E-05	2.40E-05	2.38E-05	2.34E-05	2.32E-05	2.31E-05	2.29E-05	2.24E-05	1.95E-05	1.55E-05
AM243	1.07E+02	1.07E+02	1.07E+02	1.07E+02	1.07E+02	1.07E+02	1.07E+02	1.07E+02	1.07E+02	1.07E+02	1.07E+02	1.06E+02
AM244M	3.78E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
AM244	4.63E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
AM245	1.11E-07	1.34E-15	2.75E-16	5.65E-17	1.16E-17	1.08E-18	1.53E-19	1.01E-19	2.07E-20	3.97E-22	1.96E-32	0.00E+00
AM246	6.18E-12	7.01E-22	2.46E-22	2.46E-22	2.46E-22	2.46E-22	2.46E-22	2.46E-22	2.46E-22	2.46E-22	2.46E-22	2.45E-22
CM241	9.91E-07	8.75E-10	6.82E-16	5.31E-22	4.14E-28	2.85E-37	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
CM242	1.46E+01	3.12E+00	1.45E-01	1.11E-02	5.09E-03	4.75E-03	4.69E-03	4.68E-03	4.64E-03	4.53E-03	3.95E-03	3.14E-03
CM243	4.53E-01	4.42E-01	4.21E-01	4.01E-01	3.82E-01	3.55E-01	3.35E-01	3.30E-01	3.15E-01	2.79E-01	1.34E-01	3.98E-02
CM244	3.37E+01	3.24E+01	3.00E+01	2.78E+01	2.58E+01	2.30E+01	2.09E+01	2.05E+01	1.90E+01	1.57E+01	4.97E+00	7.33E-01
CM245	1.22E+00	1.22E+00	1.22E+00	1.22E+00	1.22E+00	1.22E+00	1.22E+00	1.22E+00	1.22E+00	1.22E+00	1.21E+00	1.21E+00
CM246	1.51E-01	1.51E-01	1.51E-01	1.51E-01	1.51E-01	1.51E-01	1.51E-01	1.51E-01	1.51E-01	1.51E-01	1.51E-01	1.49E-01
CM247	1.45E-03	1.45E-03	1.45E-03	1.45E-03	1.45E-03	1.45E-03	1.45E-03	1.45E-03	1.45E-03	1.45E-03	1.45E-03	1.45E-03
CM248	8.24E-05	8.25E-05	8.25E-05	8.25E-05	8.25E-05	8.25E-05	8.25E-05	8.25E-05	8.25E-05	8.25E-05	8.25E-05	8.25E-05
CM249	9.10E-10	2.85E-22	1.28E-34	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
CM250	3.59E-13	3.66E-13	3.66E-13	3.66E-13	3.66E-13	3.66E-13	3.66E-13	3.66E-13	3.66E-13	3.66E-13	3.66E-13	3.65E-13
CM251	2.91E-23	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
BK249	7.66E-07	3.48E-07	7.15E-08	1.47E-08	3.02E-09	2.81E-10	3.99E-11	2.62E-11	5.39E-12	1.03E-13	5.08E-24	3.39E-41
BK250	9.42E-10	1.28E-15	2.04E-16	3.24E-17	5.17E-18	3.30E-19	3.51E-20	2.20E-20	4.42E-21	1.12E-21	1.08E-21	1.08E-21
BK251	1.25E-13	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
CF249	1.09E-07	5.28E-07	8.02E-07	8.55E-07	8.63E-07	8.61E-07	8.57E-07	8.56E-07	8.53E-07	8.44E-07	7.96E-07	7.21E-07
CF250	1.67E-07	1.59E-07	1.43E-07	1.29E-07	1.16E-07	9.88E-08	8.66E-08	8.42E-08	7.58E-08	5.81E-08	1.19E-08	8.38E-10
CF251	6.70E-08	6.70E-08	6.69E-08	6.68E-08	6.67E-08	6.65E-08	6.64E-08	6.64E-08	6.63E-08	6.60E-08	6.45E-08	6.21E-08
CF252	3.82E-08	2.94E-08	1.74E-08	1.03E-08	6.07E-09	2.76E-09	1.44E-09	1.26E-09	7.42E-10	1.99E-10	7.52E-14	1.48E-19
CF253	5.54E-11	3.72E-17	1.68E-29	7.45E-42	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
CF254	2.36E-12	3.59E-14	8.33E-18	1.93E-21	4.48E-25	1.58E-30	5.13E-35					

PA231	4.44E-04	4.52E-04	4.66E-04	4.79E-04	4.93E-04	5.13E-04	5.30E-04	5.33E-04	5.47E-04	5.81E-04	7.83E-04	1.12E-03
U232	5.38E-04	7.42E-04	1.02E-03	1.18E-03	1.26E-03	1.32E-03	1.32E-03	1.32E-03	1.31E-03	1.27E-03	9.56E-04	5.91E-04
U233	1.33E-03	1.51E-03	1.85E-03	2.19E-03	2.53E-03	3.04E-03	3.46E-03	3.55E-03	3.90E-03	4.73E-03	9.97E-03	1.98E-02
U234	1.83E+02	1.85E+02	1.87E+02	1.90E+02	1.93E+02	1.97E+02	2.00E+02	2.00E+02	2.03E+02	2.09E+02	2.41E+02	2.80E+02
U235	6.97E+03	6.97E+03	6.97E+03	6.97E+03	6.97E+03	6.98E+03	6.98E+03	6.98E+03	6.98E+03	6.98E+03	6.98E+03	6.99E+03
U236	4.05E+03	4.06E+03	4.06E+03	4.06E+03	4.06E+03	4.06E+03	4.06E+03	4.06E+03	4.06E+03	4.06E+03	4.07E+03	4.08E+03
U237	1.05E+01	3.72E-05	3.38E-05	3.07E-05	2.78E-05	2.41E-05	2.14E-05	2.09E-05	1.89E-05	1.49E-05	3.51E-06	3.17E-07
U238	9.43E+05	9.43E+05	9.43E+05	9.43E+05	9.43E+05	9.43E+05	9.43E+05	9.43E+05	9.43E+05	9.43E+05	9.43E+05	9.43E+05
U239	5.60E-01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
NP236	3.62E-04	3.62E-04	3.62E-04	3.62E-04	3.62E-04	3.62E-04	3.62E-04	3.62E-04	3.62E-04	3.62E-04	3.62E-04	3.62E-04
NP237	4.99E+02	5.10E+02	5.11E+02	5.11E+02	5.13E+02	5.15E+02	5.17E+02	5.18E+02	5.20E+02	5.26E+02	5.73E+02	6.64E+02
NP238	1.42E+00	3.83E-07	3.79E-07	3.76E-07	3.72E-07	3.67E-07	3.63E-07	3.62E-07	3.59E-07	3.51E-07	3.06E-07	2.44E-07
NP239	8.06E+01	9.19E-05	9.19E-05	9.19E-05	9.19E-05	9.18E-05	9.18E-05	9.18E-05	9.18E-05	9.18E-05	9.15E-05	9.11E-05
NP240	1.56E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
PU236	9.78E-04	7.71E-04	4.74E-04	2.92E-04	1.79E-04	8.65E-05	4.74E-05	4.17E-05	2.56E-05	7.00E-06	5.98E-09	8.08E-10
PU237	1.84E-04	7.13E-07	1.07E-11	1.62E-16	2.43E-21	1.42E-28	1.57E-34	1.57E-34	2.37E-39	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
PU238	1.63E+02	1.75E+02	1.75E+02	1.72E+02	1.70E+02	1.66E+02	1.62E+02	1.62E+02	1.59E+02	1.53E+02	1.21E+02	8.17E+01
PU239	5.28E+03	5.36E+03	5.36E+03	5.36E+03	5.36E+03	5.36E+03	5.36E+03	5.36E+03	5.36E+03	5.36E+03	5.36E+03	5.34E+03
PU240	2.25E+03	2.25E+03	2.25E+03	2.25E+03	2.25E+03	2.26E+03	2.26E+03	2.26E+03	2.26E+03	2.26E+03	2.26E+03	2.26E+03
PU241	1.26E+03	1.20E+03	1.09E+03	9.90E+02	8.99E+02	7.78E+02	6.91E+02	6.74E+02	6.12E+02	4.81E+02	1.14E+02	1.02E+01
PU242	5.08E+02	5.08E+02	5.08E+02	5.08E+02	5.08E+02	5.08E+02	5.08E+02	5.08E+02	5.08E+02	5.08E+02	5.08E+02	5.08E+02
PU243	1.31E-01	5.17E-14	5.17E-14	5.17E-14	5.17E-14	5.17E-14	5.17E-14	5.17E-14	5.17E-14	5.17E-14	5.17E-14	5.17E-14
PU244	2.86E-02	2.86E-02	2.86E-02	2.86E-02	2.86E-02	2.86E-02	2.86E-02	2.86E-02	2.86E-02	2.86E-02	2.86E-02	2.86E-02
AM241	4.80E+01	1.07E+02	2.17E+02	3.16E+02	4.06E+02	5.24E+02	6.09E+02	6.26E+02	6.86E+02	8.11E+02	1.13E+03	1.14E+03
AM242M	2.05E+00	2.04E+00	2.02E+00	2.00E+00	1.99E+00	1.96E+00	1.94E+00	1.93E+00	1.91E+00	1.87E+00	1.63E+00	1.30E+00
AM242	1.02E-01	2.44E-05	2.42E-05	2.40E-05	2.38E-05	2.34E-05	2.32E-05	2.31E-05	2.29E-05	2.24E-05	1.95E-05	1.55E-05
AM243	1.07E+02	1.07E+02	1.07E+02	1.07E+02	1.07E+02	1.07E+02	1.07E+02	1.07E+02	1.07E+02	1.07E+02	1.07E+02	1.06E+02
AM244M	3.78E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
AM244	4.63E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
CM242	1.46E+01	3.12E+00	1.45E-01	1.11E-02	5.09E-03	4.75E-03	4.69E-03	4.68E-03	4.64E-03	4.53E-03	3.95E-03	3.14E-03
CM243	4.53E-01	4.42E-01	4.21E-01	4.01E-01	3.82E-01	3.55E-01	3.35E-01	3.30E-01	3.15E-01	2.79E-01	1.34E-01	3.98E-02
CM244	3.37E+01	3.24E+01	3.00E+01	2.78E+01	2.58E+01	2.30E+01	2.09E+01	2.05E+01	1.90E+01	1.57E+01	4.97E+00	7.33E-01
CM245	1.22E+00	1.22E+00	1.22E+00	1.22E+00	1.22E+00	1.22E+00	1.22E+00	1.22E+00	1.22E+00	1.22E+00	1.21E+00	1.21E+00
CM246	1.51E-01	1.51E-01	1.51E-01	1.51E-01	1.51E-01	1.51E-01	1.51E-01	1.51E-01	1.51E-01	1.51E-01	1.50E-01	1.49E-01
CM247	1.45E-03	1.45E-03	1.45E-03	1.45E-03	1.45E-03	1.45E-03	1.45E-03	1.45E-03	1.45E-03	1.45E-03	1.45E-03	1.45E-03
SUMTOT	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05
TOTAL	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05

ACTINIDES+DAUGHTERS

SUMMARY TABLE:	POWER= 3.00E+01 MW, BURNUP= 3.48E+04 MWD, FLUX= 2.64E+14 N/CM**2-SEC											
	CONCENTRATION, GRAMS 1 MTHM 3.21% UO2 BURNUP= 34,770 MWD/MTHM 4 CYCLE											
	DISCHARG	1.0YR	3.0YR	5.0YR	7.0YR	10.0YR	12.5YR	13.0YR	15.0YR	20.0YR	50.0YR	100.0YR
HE	4.21E-01	6.65E-01	8.23E-01	9.36E-01	1.05E+00	1.22E+00	1.36E+00	1.39E+00	1.51E+00	1.80E+00	3.54E+00	6.15E+00
PB	1.11E-06	2.91E-06	1.07E-05	2.36E-05	4.03E-05	7.01E-05	9.68E-05	1.03E-04	1.25E-04	1.81E-04	4.76E-04	8.13E-04
TH	2.14E-03	2.77E-03	4.05E-03	5.34E-03	6.65E-03	8.63E-03	1.03E-02	1.07E-02	1.20E-02	1.55E-02	3.78E-02	8.02E-02
PA	4.62E-04	4.70E-04	4.83E-04	4.97E-04	5.10E-04	5.31E-04	5.47E-04	5.51E-04	5.65E-04	5.98E-04	8.02E-04	1.14E-03
U	9.54E+05	9.54E+05	9.54E+05	9.54E+05	9.54E+05	9.54E+05	9.54E+05	9.54E+05	9.54E+05	9.54E+05	9.54E+05	9.54E+05
NP	5.81E+02	5.10E+02	5.11E+02	5.11E+02	5.13E+02	5.15E+02	5.17E+02	5.18E+02	5.20E+02	5.26E+02	5.73E+02	6.64E+02
PU	9.45E+03	9.49E+03	9.38E+03	9.28E+03	9.19E+03	9.06E+03	8.97E+03	8.96E+03	8.89E+03	8.76E+03	8.36E+03	8.20E+03
AM	1.57E+02	2.16E+02	3.26E+02	4.25E+02	5.15E+02	6.33E+02	7.18E+02	7.35E+02	7.95E+02	9.19E+02	1.24E+03	1.25E+03
CM	5.01E+01	3.73E+01	3.19E+01	2.96E+01	2.75E+01	2.47E+01	2.26E+01	2.22E+01	2.06E+01	1.73E+01	6.47E+00	2.13E+00
SUMTOT	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05
TOTAL	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05

CUMULATIVE TABLE TOTALS

AP+FP	1.35E+05	1.35E+05	1.35E+05	1.35E+05	1.35E+05	1.35E+05	1.35E+05	1.35E+05	1.35E+05	1.35E+05	1.35E+05	1.35E+05
ACT+FP	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05	9.64E+05
AP+ACT+FP	1.10E+06	1.10E+06	1.10E+06	1.10E+06	1.10E+06	1.10E+06	1.10E+06	1.10E+06	1.10E+06	1.10E+06	1.10E+06	1.10E+06

ACTINIDES+DAUGHTERS

NUCLIDE TABLE:	POWER= 3.00E+01 MW, BURNUP= 3.48E+04 MWD, FLUX= 2.64E+14 N/CM**2-SEC											
	RADIOACTIVITY, CURIES 1 MTHM 3.21% UO2 BURNUP= 34,770 MWD/MTHM 4 CYCLE											
	DISCHARG	1.0YR	3.0YR	5.0YR	7.0YR	10.0YR	12.5YR	13.0YR	15.0YR	20.0YR	50.0YR	100.0YR
HE	4	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
TL206		1.90E-18	1.90E-18	1.90E-18	1.90E-18	1.90E-18	1.90E-18	1.90E-18	1.90E-18	1.90E-18	1.90E-18	1.90E-18
TL207		6.69E-07	1.36E-06	2.61E-06	3.83E-06	5.01E-06	6.71E-06	8.07E-06	8.37E-06	9.41E-06	1.19E-05	2.48E-05
TL208		1.01E-03	2.23E-03	4.69E-03	6.69E-03	8.13E-03	9.38E-03	9.86E-03	9.94E-03	1.00E-02	9.92E-03	7.55E-03
TL209		1.23E-08	3.84E-09	3.91E-09	3.99E-09	4.08E-09	4.25E-09	4.40E-09	4.44E-09	4.59E-09	5.01E-09	9.33E-09
PB206		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
PB207		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
PB208		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
PB209		5.69E-07	1.78E-07	1.81E-07	1.85E-07	1.89E-07	1.97E-07	2.04E-07	2.06E-07	2.12E-07	2.32E-07	4.32E-07
PB210		3.37E-09	4.81E-09	9.20E-09	1.69E-08	2.88E-08	5.65E-08	8.98E-08	9.83E-08	1.35E-07	2.65E-07	2.64E-06
PB211		6.71E-07	1.36E-06	2.62E-06	3.84E-06	5.02E-06	6.73E-06	8.09E-06	8.39E-06	9.44E-06	1.20E-05	2.49E-05
PB212		2.82E-03	6.20E-03	1.30E-02	1.66E-02	2.26E-02	2.61E-02	2.74E-02	2.77E-02	2.80E-02	2.76E-02	2.10E-02
PB214		3.57E-08	5.40E-08	1.04E-07	1.73E-07	2.60E-07	4.25E-07	5.93E-07	6.33E-07	7.96E-07	1.29E-06	2.83E-05
B208		2.20E-18	2.20E-18	2.20E-18	2.20E-18	2.20E-18	2.20E-18	2.20E-18	2.20E-18	2.20E-18	2.20E-18	2.20E-18
B209		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
B210M		1.91E-18	1.91E-18	1.91E-18	1.91E-18	1.91E-18	1.91E-18	1.91E-18	1.91E-18	1.91E-18	1.91E-18	1.91E-18
B210		3.39E-09	4.82E-09	9.21E-09	1.69E-08	2.88E-08	5.65E-08	8.98E-08	9.84E-08	1.35E-07	2.65E-07	2.64E-06
B211		6.71E-07	1.36E-06	2.62E-06	3.84E-06	5.02E-06	6.73E-06	8.09E-06	8.39E-			

Appendix 2. Activities of nuclides in spent fuel

서 지 정 보 양 식

수행기관보고서번호	위탁기관보고서번호	표준보고서번호	INIS 주제코드
KAERI/TR-1643/2000			
제목 / 부제	DUPIC 핵연료 제조시험공정에서의 배기체처리계통 예비 안전성 분석		
주저자	신진명(사용후핵연료 기술개발팀)		
연구자 및 부서명	이호희(사용후핵연료 기술개발팀), 박장진(""), 양명승("")		
출판지	대전	발행기관	한국원자력연구소
페이지	56 p.	도 표	있음(V), 없음()
발행년월	2000. 9	크 기	26 cm.
참고사항			
비밀여부	공개(V), 대외비(), _ 금비밀	보고서종류	기술보고서
연구위탁기관		계약 번호	
초록 (300단어내외)	<p>DUPIC 핵연료제조 공정은 가압경수로 사용후핵연료를 직접적인 재가공방법에 의하여 중수로 용 핵연료로 제조하는 건식 공정기술이다. DUPIC 핵연료 제조시험은 다량의 고방사능 사용후 핵연료를 재가공하는 공정을 포함하고 있으므로 엄격한 방사선 안전관리가 필요하다. 이에 따라 사용후 핵연료 사용량증가에 따른 DFDF 시설의 안전성분석은 hot cell의 안전성 보장과 작업자의 방사선 피폭저감을 위해서 매우 중요하다. 본 보고서에서는 안전성분석을 위한 기초 자료로서 기존시설(IMEF)의 설계 및 DUPIC 핵연료 제조시험에 필요한 시설, 장비, 제조 공정 및 배기체 처리장비등을 종합적으로 기술한다. 또한 DUPIC 핵연료 제조공정 중 사용후핵연료의 산화·환원 및 소결과정에서 발생하는 배기체 발생량 및 방사능량 그리고 배기체 처리장치별 제염효율, 제조공정, 핵종별 발생량 및 핵종별 방사능 흐름도 등을 기술한다.</p>		
주제명키워드 (10단어내외)	DUPIC 핵연료, 배기체처리계통, 안정성 분석, 방사능 흐름도		

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET							
Performing Org. Report No.		Sponsoring Org. Report No.		Standard Report No.		INIS Subject Code	
KAERI/TR-1643/2000							
Title /Subtitle		Preliminary Safety Analysis for Offgas Treatment System of DUPIC Fuel Manufacturing Process at DFDF					
Project Manager and Department		J.M.Shin(Spent Fuel Technology Development)					
Researcher and Department		H H. LEE(Spent Fuel Technology Development), J.J.Park(""), M.S.Yang("")					
Publication Place	Taejon	Publisher	KAERI	Publication Date	2000. 9.		
Page	56 p.	Ill. & Tab.	Yes(V), No ()	Size	26 cm.		
Note							
Classified	Open(V), Restricted(), Class			Report Type	Technical Report		
Sponsoring Org.				Contract No.			
Abstract		<p>DUPIC fuel fabrication process is a dry processing technology to manufacture CANDU compatible fuel through a direct refabrication process from spent PWR fuel. DUPIC fuel fabrication process consists of the slitting of the spent PWR fuel rods, OREOX processing, homogeneous mixing, pelletizing and sintering. All these processes should be conducted by remote means in a M6 hot cell at IMEF.</p> <p>Since there is a lot of highly radioactive spent fuel(200 kg) to be used in DUPIC fuel fabrication process, safety analysis on DFDF facility is very important to improve the safety of hot cell and to reduce the dose exposure to operator.</p> <p>This report describes the design of IMEF facility, manufacturing equipment and process, offgas treatment system necessary for DUPIC fuel manufacturing process. Also, it provides the flow chart of arising and activity for each nuclide in offgas treatment system and final arising and activity for gaseous waste discharged from offgas treatment equipment into inside of M6 cell during OREOX and sintering processes in DUPIC fuel manufacturing process.</p>					
Subject Keywords (About 10 words)		DUPIC Fuel, Offgas treatment system, Safety analysis, Flow chart of activity					