

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

(첨부 서류 3)

핵연료의 장전계획에 관한 설명서



본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

목 차

- 1 . 목 적
- 2 . 핵연료 장전 수행조직
- 3 . 교육훈련
- 4 . 핵연료 장전 선행조건
906122ef-08d611081416
- 5 . 핵연료 장전
- 6 . 부 록

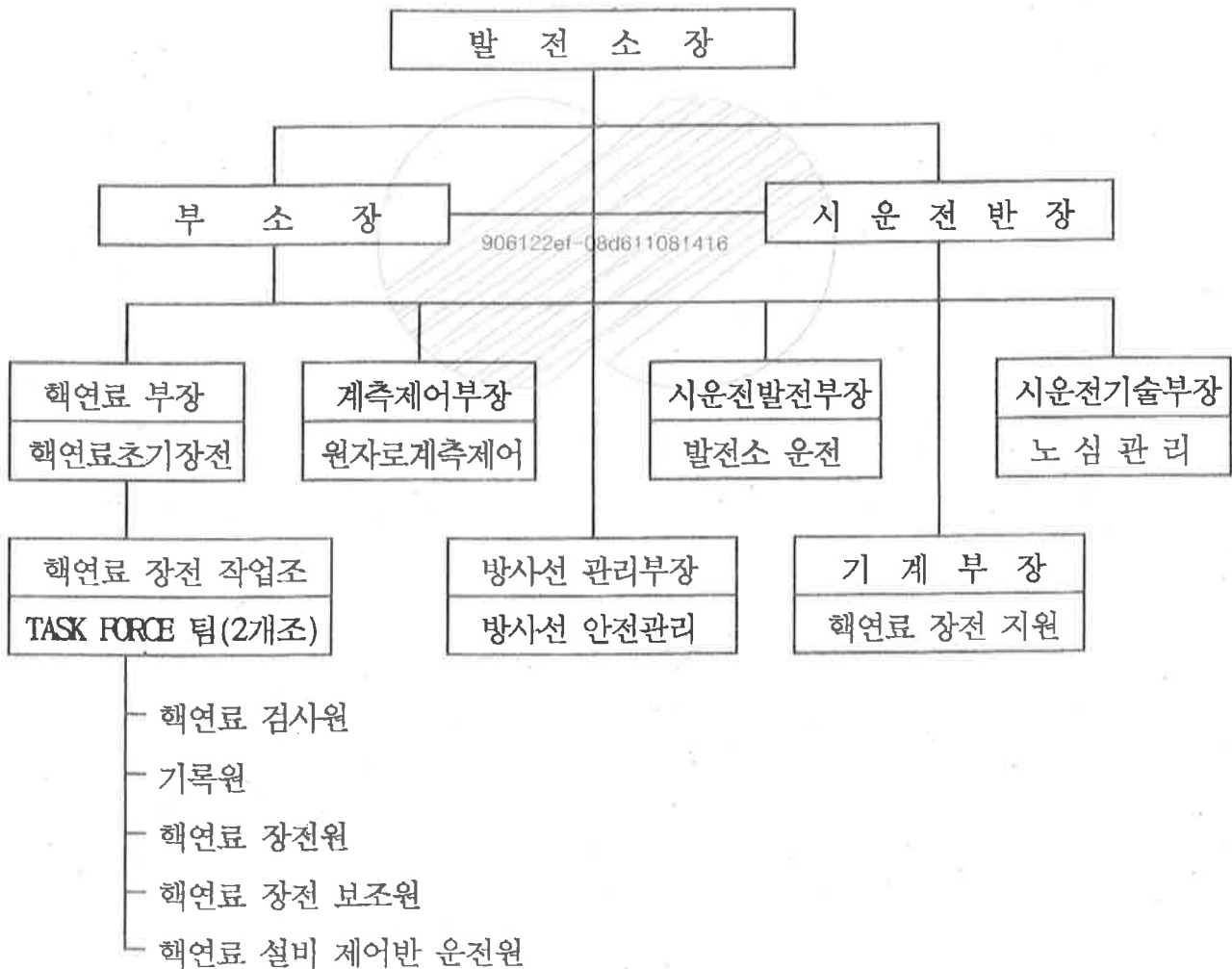
본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

1. 목 적

본 설명서는 월성원자력 발전소 2호기 초기노심 핵연료 장전을 안전하고 신속, 정확하게 수행하기 위하여 장전전 갖추어야 할 선행조건, 수행조직, 교육훈련 및 작업내용 등을 구체적으로 설명을 하고자 함.

2. 핵연료 장전 수행조직

가. 조직



본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

나. 인원 구성

- 장전원 : 18명
 - 핵연료 검사(2)
 - 기 록 (2)
 - 장전요원 (6)
 - 보조원 (8)
- 핵연료 제어반 운전원 : 2명/근무조
- 감독자 : 3명/근무조 (2 KEPCO, 1 AECL)
- 핵연료 이송원 : 18명
 - FOLK LIFT DRIVER (1)
 - HELPER (2)
 - 기 록 (2)
 - CRANE OPERATOR (2) : (1 S/B, 1 R/B)
 - SIGNAL MAN (2)
 - PALLET TRUCK DRIVER (1)
 - NEW FUEL & PLUG CART DRIVER (8)
- 노물리원 : 1명/근무조
- 계기정비원 : 2명
- 보건물리원 : 3명/근무조
- 지원부서 : 시운전 발전부, 기계부, 기술부, 계측제어부, 방사선관리부, 품질관리부

3. 교육훈련

가. 핵연료 장전요원에 대한 취급설비 및 장전장비 교육

1) 강 의

- 운전 개념
- 공구 소개
- 신연료 취급법
- 신연료 검사
- 기록, 유지

2) 실 습

- 장비 사용방법 및 숙달

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

- 기록, 점검 (붙임 양식 참조)
- 계기 판독법
- 부여된 업무 숙지
- CHANNEL CLOSURE PLUG 설치용 공구사용법
- 차폐마개 설치용 공구사용법
- 수동연료 장전기 사용법
- 각종 마개 및 신연료 취급기술

나. 조별 예행연습 실시

다. 방사선 방호 교육

라. 핵연료 장전 업무에 참여할 모든 직원에 대한 핵연료 장전 세부계획 교육

4. 핵연료 장전 선행조건

가. 선행조건

- 1) 감속재가 충분한 양의 독물질 (봉소 또는 가돌리늄)을 함유하고 있어야 한다.
- 2) 초기가동에 필요한 계측기의 동작 준비가 되어 있어야 한다. 즉 3개의 BF3 계측기가 원자로 내의 열중성자 계수율을 탐지하여 상당한 열중성자 증가시 제1정지계통을 동작시킬수 있도록 제1정지계통과 연결되어 있어야 한다. (붙임 1 및 붙임 2 참조)
- 3) 냉각재 계통을 배수하여 건조시켜야 한다

나. 기타조건

- 1) 관련계통별 기능시험이 완료되어 있어야 한다
 - 감속재계통
 - 원자로 반응도 제어계통
 - 냉각재계통 (PHT)
 - 컴퓨터(DCCX, DCCY)
 - SDS #1, 2 계통
 - 원자로 제어 계통(RRS)

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

- 2) 원자로내 핵연료가 장전시부터 원자로 초임제를 위한 운전작업 개시전 까지 정지보증상태를 유지해야 한다.
 - 감속제내 붕소농도 21ppm 이상유지(가돌리늄일 경우 약 6ppm 이상)
 - 감속제 정화계통은 주감속제 계통과 분리
 - 중수 공급계통은 감속제 계통과 분리
 - 주감속제 펌프의 모터 전원차단
 - 조절봉 21개 모두 삽입된 상태로 구동모터 전원차단
- 3) 감속제 독물질 농도는 매근무조 마다 1회이상 분석한다
- 4) 핵연료 장전 시작전 계통 상태는 다음과 같아야 한다
 - 중수장전 (감속제 계통)
 - 정지계통 #1 이나 #2 계통이 작동 될수 있어야 함
 - 고체제어봉 (MCA) 및 정지봉(SOR)은 완전 인출상태
 - 액체영역 제어계통은 약 15 %로 유지
 - 원자로 제어계통 (RCS)은 수동정지 모드에 의해 운전
 - 감속제 계통은 PONY MOTOR 를 가동하여 계통순환
- 5) 원자로 건물 출입을 통제하여야 한다
- 6) 핵연료 장전전 필요한 계통 및 설비를 종합적으로 시험하여 초기노심 장전 및 정상운전시 차질이 없도록 설비 및 계기보전을 위하여 각종 기능시험을 수행하기 위한 절차서 및 점검표 (CHECK LIST)가 사전에 작성되어 있어야 한다.
- 7) 다음과 같은 통신설비가 완비되어 있어야 한다.
 - PAGING SYSTEM (소내방송)
 - 직통전화

{	MCR ↔ 'A' SIDE	1 대 이상
{	MCR ↔ 'C' SIDE	1 대 이상
{	'A' SIDE ↔ 'C' SIDE	1 대 이상
 - HEAD SET ('A' 면 ↔ 'C'면)
- 8) 핵연료 장전에 필요한 인원이 조직되고 연료 취급에 대한 모든 교육이 완료 되어 있어야 한다.
- 9) 핵연료 취급 설비와 공구가 점검 및 시험이 완료되어 있어야 한다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

다. 준비 사항

1) 소요 장비 및 공구

- PLATFORM 2 개
- 수동연료 장전기 2 개
- 채널 배수 및 청소용 공구
- 연료관 마개 설치공구 2 개
- 차폐마개 760 개
- 차폐마개 설치공구 2 개
- 신연료 운반차 6 대
- 차폐마개 운반차 4 대
- 연료관마개 운반차 2 대
- 차폐마개 및 연료관 마개 예비량 적정보유
- 각 380개 적색 및 흑색 END FITTING용 플라스틱 덮개
- 진공 청소기 4 대
- G.I.F TOOLS 2 대
- FORK LIFT TRUCK (2TON) 1 대
- PALLET TRUCK (2TON) 1 대
- PALLET LIFTING ATTACHMENT 1 대
- S/B HALL MAIN & AUX HOIST (15TON) 1 대
- R/B CRANE (15TON) 1 대
- 기타 (86-35200-CP3-001 참조)

2) 절차서 준비

- 가) 초기 노심 장전 절차서
- 나) 방사선 관리 절차서
- 다) 핵연료 취급 절차서

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5. 핵연료 장전

가. 핵연료 이송

- 1) 임시저장 창고로 부터 FORK LIFT TRUCK 을 사용하여 S/B HALL까지 운반한다.
- 2) CRATE 를 해체한다.
- 3) PALLET LIFTING ATTACHMENT 및 S/B MAIN CRANE 의 AUX HOIST를 사용하여 EQUIPMENT AIR LOCK 까지 운반한후 PALLET TRUCK에 싣는다.
- 4) PALLET TRUCK 으로 EQUIPMENT AIR LOCK 통과한다
- 5) R/B 15 TON CRANE 으로 하역한다
- 6) PALLET TRUCK은 F/M TRANSFER GALLERY (R-111)로 이동한다
- 7) R/B 15 TON CRANE과 PALLET LIFTING ATTACHMENT를 사용하여 PALLET을 PALLET TRUCK 에 싣는다.
- 8) PALLET TRUCK으로 F/M MAINTENANCE LOCK 및 콘크리트 차폐문을 통과한다
- 9) 원자로 측면 (SIDE) 당 소요량을 하역한다.

906122ef-08d611081416

나. 핵연료 검사

연료관에 핵연료를 장전하기 전에 다음 사항을 검사한다

- 1) Spacer Pads 가 제위치에서 이탈하여 연료의 뒤틀림이 없어야한다.
- 2) 용접부분의 파손 또는 용접이 빠졌거나, End Plate가 떨어진 부분이 없어야 한다.
- 3) 손톱으로 긁었을때 느낄만한 깊이의 흠집(Scratch)이 없어야 한다.
- 허용치는 정밀측정기로 (Electronic depth micro meter) 깊이를 측정했을때 0.038mm이다.
- 4) 연료의 축방향과 단면의 비틀림이 없어야 한다.
- 5) 연료 틈새에 형철조각이나 티끌, 스티로폴 또는 이물질이 끼여 있지 않아야 한다.
- 6) 연료 외경게이지(GO-NO-GO GAUGE)를 사용하여 연료의 Support pads 부위 세곳을 측정하여 최대외경을 확인한다.
(연료 외경은 4.020+0.020 인치를 초과하면 안됨)

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

다. 핵연료 장전

핵연료 장전은 냉각재계통(PHT)의 HOT CONDITIONING 후에 시작되며 상부 및 하부 브리지 PLATFORM을 원자로실 양쪽(A & C SIDE)에 설치한 후 아래 8개의 PHASE로 구분하여 핵연료 장전을 수행하고, 핵연료 장전이 끝난 후 PLATFORM을 제거, 원자로실(REACTOR VAULT) 청소 및 차폐문을 닫음으로 장전업무가 끝나게 된다.

PHASE 1 : 기기요구조건을 포함한 초기점검 및 운전전 점검

PHASE 2 : 양쪽의 연료관 마개 제거 및 경수(H₂O) 배수

PHASE 3 : 연료관에 설치된 STRAINER 차폐마개 제거

PHASE 4 : 채널 및 엔드피팅 검사 및 물기 제거 (SWABBING)

PHASE 5 : DOWN STREAM측 엔드피팅 에 차폐마개 설치

PHASE 6 : ROW "E"부터 "A" 까지 UP STREAM 측에서 신연료 장전하고, ROW "F"는 브리지 위에 설치된 TOP PLATFORM을 이용하여 신연료를 장전

PHASE 7 : ROW "G"부터 "W" 까지는 HANGING PLATFORM을 이용하여 UP STREAM측에서 신연료를 장전

PHASE 8 : UP STREAM 측 차폐마개를 모두 설치

- 1) 초기 핵연료 장전은 4400개의 천연우라늄(0.72% U₂₃₅)다발이며, 감손우라늄 다발은 그림 #2와 같이 노심내 80개 연료채널에 부분적으로 장전하게 되며, 각 채널의 UPSTREAM 끝에서 부터 8번째와 9번째에 위치, 장전되게 한다.
- 2) 장전 순서는 그림 #3와 그림 #4에 나타내었다.
- 3) 핵연료 장전은 2개의 원자로면 (A 측과 C측)으로 나누어 양측의 연료장전 브리지에서 각각 연료를 장전한다.
- 4) 처음 장전은 E열에서 시작하고 A측은 E4, C측은 E3가 첫번째로 장전된다.
- 5) E열이 장전되면 D열 (D19, D18에서 시작) C열, B열, A열순으로 장전하고 A 열이 끝나면 이동용 계측기의 실제 계측 신호와 예상치를 비교하여 이상이 없을시 F열에서 L열까지 차례로 연료를 장전한다.
- 6) 이때도 이동용 계측기 신호를 예상치와 비교하고 다음 M열에서 R열 까지, S열에서 W열까지 핵연료를 장전하여 전체 노심에 대한 핵연료 장전을 완료한다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

- 7) 연료장전시 노심기동용 계측기는 BF3 계측기를 사용하며, 노심중심선에서 약 200cm 상부 (7개 격자거리)에 위치한다.

※ 예상 BF3 계측기 계수율 (양식 #10 참조)

- 1) 냉각재계통에 중수는 충수되지 않았고, 감속재내에 약 21ppm의 붕소 농도가 유지되고 있다고 가정하여

A열 - E열 장전 (5열) : 70 CPS

A열 - L열 장전 (1/2노심) : 152 CPS

A열 - R열 장전 (17열) : 157 CPS

A열 - W열 장전 (전체노심) : 158 CPS

- 2) 핵연료 장전중 허용되는 최고 계수율은 예상되는 최고계수율의 5배 정도인 800 CPS 이다.

- 3) 실측된 계수율이 예상치와 아주 상이할때는 핵연료 장전을 중지하고 원인을 분석한다.

- 4) 핵연료 장전이 완료되고 냉각재계통에 중수를 채우면 계수율은 약 30%선까지 떨어지게 될 것으로 예상된다.

라. 초기 핵연료 장전후 시험

핵연료 장전이 완료되면 설치된 연료관 마개의 누설여부를 확인하기 위해 AIR HOLDING 시험후 냉각재계통에 중수를 채우고 최종 수압시험 및 냉각재계통 성능 시험을 실시하며 초임계, 영출력시험, 출력증발시험 및 전출력시험을 수행한 후 상업운전에 임하게 된다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

6. 붙임

- 붙임 #1 : 임시 기동용 계측기 설치
- 붙임 #2 : 초기 노심 장전시의 원자로 정지계통
- 그림 #1 : STRAINER SHIELD PLUG LOCATIONS
- 그림 #2 : DEPLETED FUEL MAP
- 그림 #3 : FUEL LOADING ORDER
- 양식 #1 : ACCEPTANCE OF FUEL BUNDLES PRIOR TO LOADING
- 양식 #2 : INITIAL FUEL LOADING RECORD SHEET
- 양식 #3 : CLOSURE PLUG AND SHIELD PLUG REMOVAL CHECK LIST
- 양식 #4 : CLOSURE PLUG AND SHIELD PLUG INSTALLATION
- 양식 #5 : CHANNEL CLOSURE INSTALLED DIMENTIONS
- 양식 #6 : REJECT CHANNEL CLOSURES REASON SHEET
- 양식 #7-1, #7-2 : FUEL CHANNEL HISTORY (A & C-SIDE)
- 양식 #8 : COUNT RATE CHECK LIST

906122ef-08d611081416

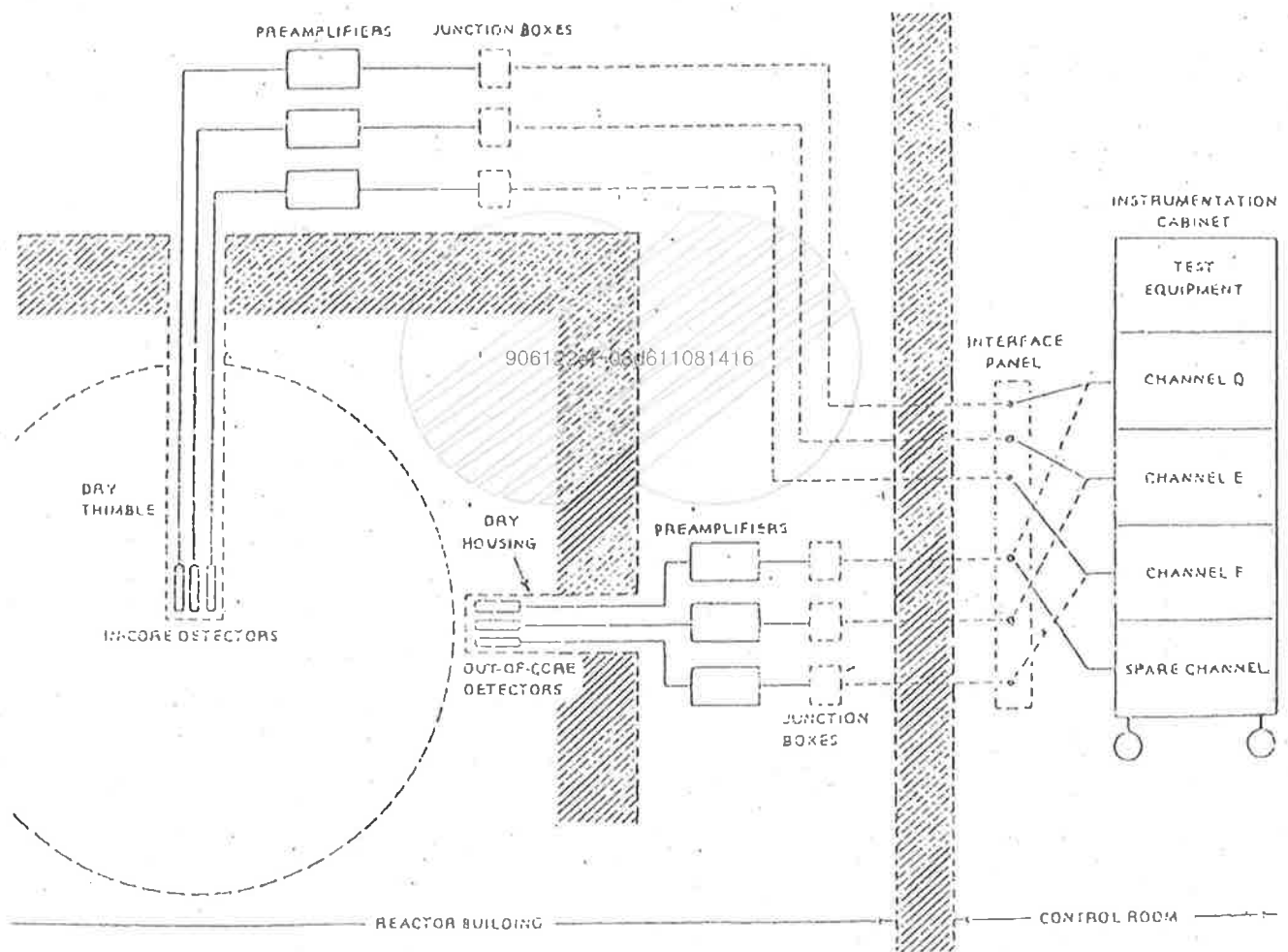


본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

붙임 # 1

임시 기동 계측기 설치

핵연료가 정상적인 상태에서 장전되는가를 감시하기 위해서 임시 기동용 계측기를 아래 그림과 같이 설치한다.



본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

붙임 # 2

초기 노심장전시의 원자로 정지계통

1. 제 1정지계통

기동용 계측기의 TRIP

정지 설정치

(1) HIGH LOG COUNT RATE

최초 100 CPS에서 부터 최고는 실제
계수율의 10배까지

(2) LOW LOG COUNT RATE

최초엔 설정불가, 후에는 100 CPS

(3) LOG RATE

5% / SEC

(4) HIGH VOLTAGE VARIATION

±5% (INTERNALLY PRESET)

2. 중성자속 관계

RATE LOG TRIP

10% / SEC

TEMPOARY LOG N TRIP

10 FP

ROP TRIP

30% FP

3. 제 2정지계통

RATE LOG TRIP

25% / SEC

TEMPOARY LOG N TRIP

3×10^{-3} FP

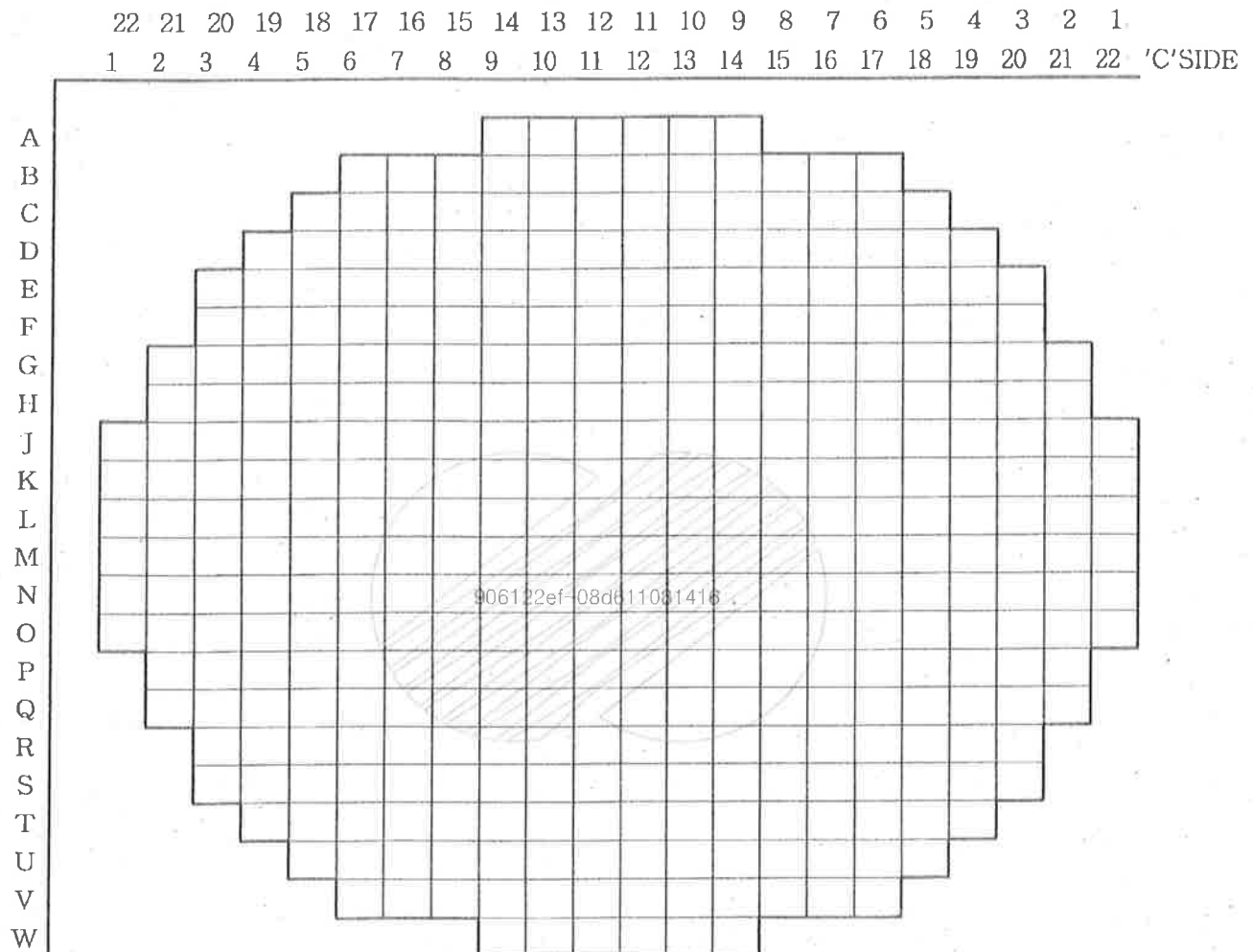
ROP TRIP

40% FP

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

그림 1.

WOLSUNG-2 N.P.P
STRAINER SHIELD PLUG LOCATIONS



REACTOR LATTICE POSITIONS



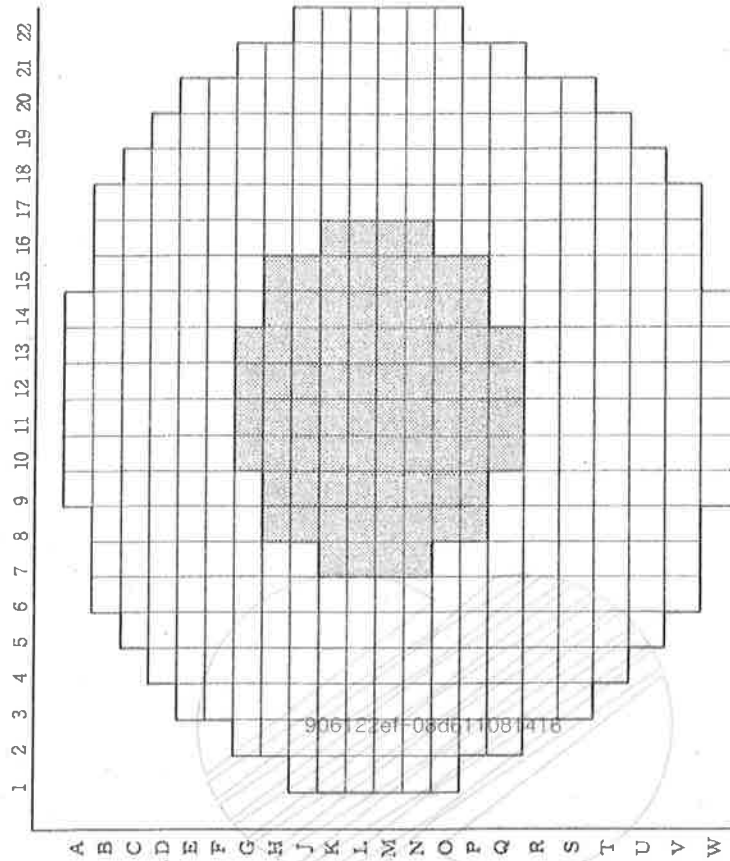
DESIGNATES STRAINER SHIELD PLUG INSTALLATION LOCATION
(LATER)



본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

WOLSUNG-2 N.P.P.
DEPLETED FUEL MAP

그림 2.



DEPLETED FUEL(0.52% U^{235})
IN POSITIONS 8 AND 9(NUMBERED
FROM UPSTREAM END OF EACH CHANNEL)



본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

WOLSUNG-2 N.P.P
FUEL LOADING ORDER

33.

५५

[illegible]

906122ef-08d611081416

01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22

A. ३३

[illegible]

- 42 -

22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 09 08 07 06 05 04 03 02 01

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

양식 #2

WOLSUNG -2 N.P.PINITIAL FUEL LOADING RECORD SHEET

Channel # _____

Date : _____

Loaded from side : _____

Channel Loaded by : _____

Depleted Loading

YES	NO

Note in positions 8 and 9

Fuel type required : 원자력연구소 NATURAL
 " DEPLETED
 CANADA NATURAL
 " DEPLETED

TYPE OF FUEL N-NATURAL D-DEPLETED	POS	BUNDLE SERIAL NUMBER	PALLET NUMBER	FINAL VISUAL AND DIAMETER CHECKS COMPLETED	REPLACEMENT BUNDLE PALLET # AND CORRECT SERIAL #	INSERTED BUNDLE SERIAL NUMBER CONFIRMED
			906122ef-08d611081416			
N						
N						
N						
N D						
N D						
N						
N						
N						
N						
N						
N						
N						

Bundle 12 loaded first
and moved downstreamLoaded Number Independently
Checked by a second
Crew member and confirmed.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

양식 #3

WOLSUNG - 2 N.P.P

CLOSURE PLUG AND SHIELD PLUG REMOVAL CHECK LIST

REACTOR FACE A ☐ C ☐

LATTICE POSITION							
SHIELD PLUG							
SERIAL NUMBER							
CLOSURE PLUG							
SERIAL NUMBER							
TAGGED BY :							
LATTICE POSITIONS							
SHIELD PLUG							
SERIAL NUMBER							
CLOSURE PLUG							
SERIAL NUMBER							
TAGGED BY :							

RECORDED BY : _____

DATE : _____

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

양식 #4

WOLUNG - 2 N.P.P

CLOSURE PLUG AND SHIELD PLUG INSTALLATION

REACTOR FACE A ☐ C ☐

LATTICE POSITION	CLOSURE PLUG SERIAL NUMBER	C/P CHECKS COMPLETE	SHIELD PIUG SERIAL NUMBER	S/P CHECKS COMPLETE	C/P OR S/P REJECTION STATE REASON
			906122ef-08d611081416		

RECORDED BY : _____

CHECKED BY : _____

DATE : _____



본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

양식 #7-1 (SHEET 1 OF 2)

WOLUNG-2 N.P.P.
FUEL CHANNEL HISTORY
(FUELLING FROM 'A' SIDE)

CHANNEL NO. : _____ FUELLING METHOD : _____ DIRECTION : 'A' (UP) → 'C'

INITIAL FUEL LOAD

'A' SIDE						'C' SIDE					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

STARTED
TIME & DATE _____COMPLETED TIME &
DATE _____(BEFORE
FUELLING)

CHANNEL Δ P _____

OUTLET HDR PRESSURE _____

(AFTER
FUELLING)

CHANNEL Δ P _____

PANNEL
OPERATOR _____

REMARKS/ABNORMAL EVENTS:

STARTED
TIME & DATE _____COMPLETED TIME &
DATE _____(BEFORE
FUELLING)

CHANNEL Δ P _____

OUTLET HDR PRESSURE _____

(AFTER
FUELLING)

CHANNEL Δ P _____

PANNEL
OPERATOR _____

REMARKS/ABNORMAL EVENTS:

* OUTLINE THE DEPLETED FUEL LOCALIONS WITH A YELLOW MARKER FOR INITIAL AND NORMAL FUELLING.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

양식 #7-2 (SHEET 2 OF 2)

WOLSUNG-2 N.P.P
FUEL CHANNEL HISTORY
(FUELLING FROM 'A' SIDE)

CHANNEL NO. : _____ FUELLING METHOD : _____ DIRECTION : 'A' ← _____ 'C' (UP)

INITIAL FUEL LOAD

'A' SIDE						'C' SIDE					
12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

STARTED
TIME & DATECOMPLETED TIME &
DATE(BEFORE
FUELLING

CHANNEL Δ P

OUTLET HDR PRESSURE

(AFTER
FUELLING)

CHANNEL Δ P

PANNEL
OPERATORF/H FIRST
OPERATOR

REACTOR POWER % F.P

REMARKS/ABNORMAL EVENTS:

STARTED
TIME & DATECOMPLETED TIME &
DATE(BEFORE
FUELLING

CHANNEL Δ P

OUTLET HDR PRESSURE

(AFTER
FUELLING)

CHANNEL Δ P

PANNEL
OPERATORF/H FIRST
OPERATOR

REACTOR POWER % F.P

REMARKS/ABNORMAL EVENTS:

* OUTLINE THE DEPLETED FUEL LOCATIONS WITH A YELLOW MARKER FOR INITIAL AND NORMAL FUELLING.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

양식 #8

WOLSUNG -2 N.P.P
COUNT RATE CHECK SHEET

장전순서 (열)	COUNT RATE (CPS)	예상 COUNT RATE (CPS)	비 고
E			
D			
C			
B			
A		70	
F			
G			
H			
J			
K			
L		152	
M			
N			
O			
P			
Q			
R		157	
S			
T			
U			
N			
W		158	