

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보공개용으로 작성한 문서입니다.

핵연료의 장전계획에 관한 설명서



본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보공개용으로 작성한 문서입니다.

목 차

1. 목 적
2. 핵 연 료 장 전 수 행 조 직
3. 교 육 훈 련
4. 핵 연 료 장 전 선 행 조 건
5. 핵 연 료 장 전
6. 부 록

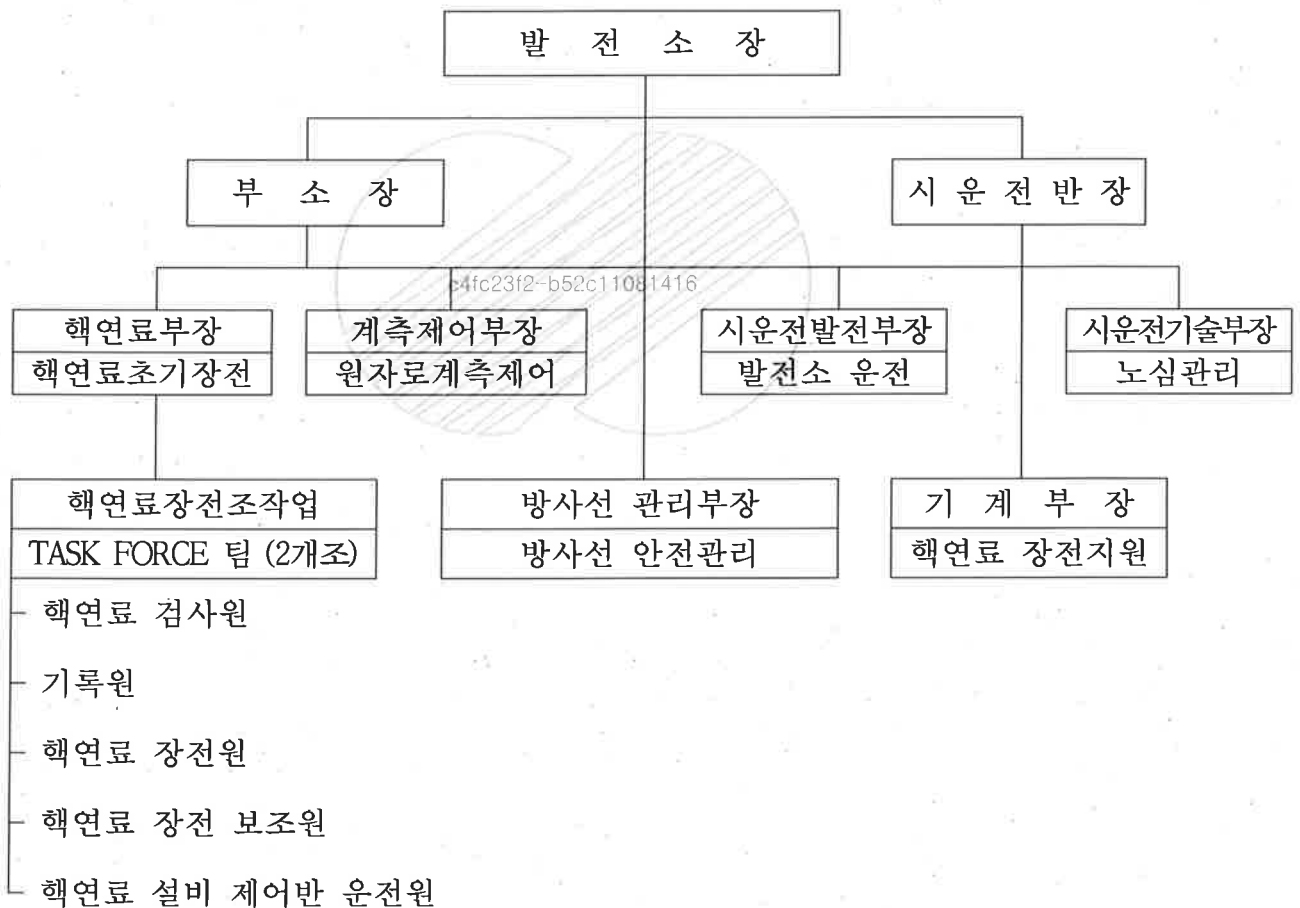
본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보공개용으로 작성한 문서입니다.

1. 목적

본 설명서는 월성원자력 발전소 1호기 초기노심 핵연료 장전을 안전하고 신속, 정확하게 수행하기 위하여 장전 전 갖추어야 할 선행조건, 수행조직, 교육훈련 및 작업내용 등을 구체적으로 설명을 하고자 함.

2. 핵연료 장전 수행조직

가. 조직



본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보공개용으로 작성한 문서입니다.

나. 인원 구성

- 장전원 : 18명
 - 핵연료 검사(2)
 - 기록 (2)
 - 장전요원 (6)
 - 보조원 (8)
- 핵연료 제어반 운전원 : 2명/근무조
- 감독자 : 3명/근무조 (2 KEPCO, 1AECL)
- 핵연료 이송원 : 18명
 - POLK 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, 방사선 관리부, 품질관리부

3. 교육 훈련

가. 핵연료 장전요원에 대한 취급설비 및 장전장비 교육

1) 강의

- 운전개념
- 공구소개
- 신연료 취급법
- 신연료 검사
- 기록, 유지

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보공개용으로 작성한 문서입니다.

2) 실습

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

나. 조별 예행연습 실시

다. 방사선 방호교육

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

4. 핵연료 장전 선행조건

가. 선행조건

- 1) 감속재가 충분한 양의 독물질 (붕소 또는 가돌리늄)을 함유하고 있어야 한다.
- 2) 초기기동에 필요한 계측기의 동작 준비가 되어 있어야 한다. 즉 3개의 BF3 계측기가 원자로 내의 열중성자 계수율을 탐지하여 상당한 열중성자 증가시 제1정지계통을 동작 시킬 수 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)
- 2) 원자로내 핵연료가 장전시부터 원자로 초임계를 위한 운전작업 개시 전까지 정지보증상태를 유지해야 한다.
 - 감속재내 붕소농도 21ppm 이상유지(가돌리늄일 경우 약 6ppm 이상)

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보공개용으로 작성한 문서입니다.

- 감속재 정화계통은 주감속재 계통과 분리
 - 중수 공급계통은 주감속재 계통과 분리
 - 주감속재 펌프의 모터 전원차단
 - 조절봉 21개 모두 삽입된 상태로 구동모터 전원차단
- 3) 감속재 독물질 농도는 매 근무조 마다 1회 이상 분석한다.
- 4) 핵연료 장전 시작 전 계통 상태는 다음과 같아야 한다.
- 중수장전 (감속재 계통)
 - 정지계통 #1 이나 #2 계통이 작동 될 수 있어야 함
 - 고체제어봉(MCA) 및 정지봉(SOR)은 완전 인출상태
 - 액체영역 제어계통은 약 15%로 유지
 - 원자로 제어계통(RRS)은 수동정지 모드에 의해 운전
 - 감속재 계통은 PONY MOTOR를 가동하여 계통순환
- 5) 원자로 건물 출입을 통제하여야 한다.
- 6) 핵연료 장전 전 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 정보공개용으로 작성한 문서입니다.

다. 준비사항

1) 소요장비 및 공구

- PLATFORM	2 개
- 수동 연료 장전기	2 개
- 찬넬 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 (2 TON)	1 대
- PALLET TRUCK (2 TON)	1 대
- S/B HALL MAIN & AUX HOIST (15 TON)	1 대
- R/B CRANE (15 TON)	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 정보공개용으로 작성한 문서입니다.

5. 핵연료 장전

가. 핵연료 이송

- 1) 임시저장 창고로부터 FORK LIFT TRUCK을 사용하여 S/B HALL까지 운반한다.
- 2) CRATE를 해체한다.
- 3) PALLET LIFTING ATTACHMENT 및 S/B MAIN CRANE의 AUX HOIST를 사용하여 EQUIPMENT AIR LOCK까지 운반한후 PALLET TRUCK에 싣는다.
- 4) PALLET TRUCK으로 EQUIPMENT AIR LOCK 통과한다.
- 5) R/B 15 TON CRANE으로 하역한다.
- 6) PALLET TRUCK은 F/M TRANSFER GALLERY (R-111)로 이동한다.
- 7) R/B 15 TON CRANE과 PALLET LIFTING ATTACHMENT를 사용하여 PALLET을 PALLET TRUCK에 싣는다.
- 8) PALLET TRUCK으로 F/M MAINTENANCE LOCK 및 콘크리트 차폐문을 통과한다.
- 9) 원자로 측면(SIDE) 당 소요량을 하역한다.

나. 핵연료 검사

연료관에 핵연료를 장전하기 전에 다음 사항을 검사한다.

- 1) Spacer Pads가 제 위치에서 이탈하여 연료의 뒤틀림이 없어야 한다.
- 2) 용접부분의 파손 또는 용접이 빠졌거나, END Plate가 떨어진 부분이 없어야 한다.
- 3) 손톱으로 긁었을 때 느낄만한 깊이의 흠집(Scratch)이 없어야 한다.
- 허용치는 정밀측정기로 (Electronic depth micro meter) 깊이를 측정했을 때 0.038mm이다.
- 4) 연료의 축방향과 단면의 비틀림이 없어야 한다.
- 5) 연료 튜브에 형질조각이나 티끌, 스티로폼 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)

다. 핵연료 장전

핵연료 장전은 냉각재계통(PHT)의 HOT CONDITIONING 후에 시작되며

c4fc23f2-b52c11081416

c4fc23f2-b52c11081416



본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보공개용으로 작성한 문서입니다.

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 운전 전 점검

PHASE 2 : 양쪽의 연료관 마개 제거 및 경수(H_2O) 배수

PHASE 3 : 연료관에 설치된 STRAINER 차폐마개 제거

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

PHASE 5 : DOWN STREAM 측 엔드피팅에 차폐마개 설치

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

PHASE 7 : ROW “G” 부터 “W” 까지는 HANGING PLATFORM을 이용하여 UP STREAM 측에서 신연료를 장전

PHASE 8 : UP STREAM 측 차폐마개를 모두 설치

- 1) 초기 핵연료 장전은 4400개의 천연우라늄($0.72\% U^{235}$)다발이며, 감손우라늄 다발은 그림 #2와 같이 노심내 80개 연료찬넬에 부분적으로 장전하게 되며, 각 찬넬의 UP STREAM 끝에서부터 8번째와 9번째에 위치, 장전되게 한다.
- 2) 장전 순서는 그림 #3에 나타내었다.
- 3) 핵연료 장전은 2개의 원자로면 (A측과 C측)으로 나누어 양측의 연료장전 브리지에서 각각 연료를 장전한다.
- 4) 처음 장전은 E열에서 시작하고 A측은 E4, C측은 E3가 첫 번째로 장전된다.
- 5) E열이 장전되면 D열 (D19, D18에서 시작) C열, B열, A열순으로 장전하고 A열이 끝나면 기동용 계측기의 실제 계측 신호와 예상치를 비교하여 이상이 없을 시 F열에서 L열까지 차례로 연료를 장전한다.
- 6) 이때도 이동용 계측기 신호를 예상치와 비교하고 다음 M열에서 R열까지, S열에서 W열까지 핵연료를 장전하여 전체 노심에 대한 핵연료 장전을 완료한다.
- 7) 연료장전시 노심기동용 계측기는 BF3 계측기를 사용하며, 노심중심선에서 약 2000m 상부 (7개 격자거리)에 위치한다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보공개용으로 작성한 문서입니다.

※ 예상 BF3 계측기 계수율 (양식 #8 참조)

- 1) 냉각재계통에 중수는 충수되지 않았고, 감속재내에 약 2lppm의 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 QPS CPS이다.
- 3) 실측된 계수율이 예상치와 아주 상이할때는 핵연료 장전을 정지하고 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 시험 후 냉각재계통에 중수를 채우고 최종 수압시험 및 냉각재계통 성능 시험을 포함하여, 영출력시험, 출력증발시험 및 전출력 시험을 수행한 후 상업운전에 임하게 된다.

6. 붙임

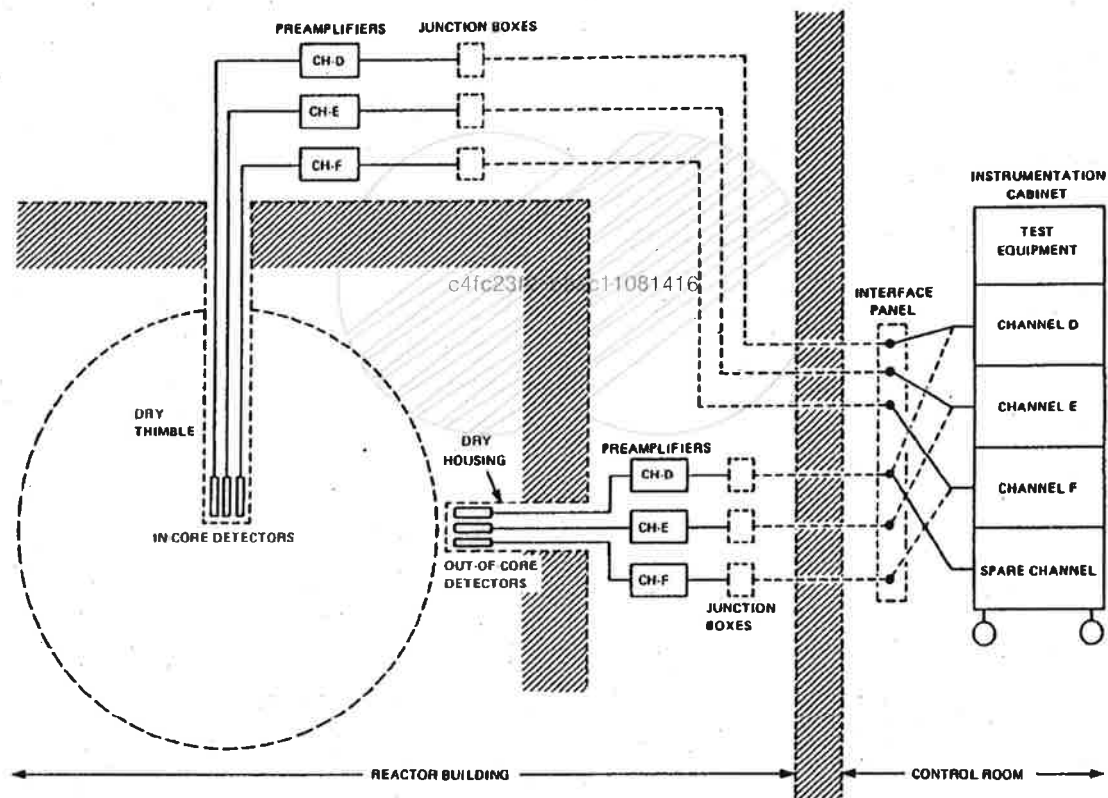
- 붙임 #1 : 임시 기동용 계측기 설치
- 붙임 #2 : 초기 노심 장전시의 원자로 정지계통
- 그림 #1 : STRAINER SHIELD PLUG LOCATIONS
- 그림 #2 : DEPLETED FUEL MAP
- 그림 #3 : FUEL LOADING ORDER
- 양식 #1 : ACCEPTANCE OF FUEL, BUNDLES PRIOR TO LOADING
- 양식 #2 : INITIAL FUEL LOADING RECORD SHEET
- 양식 #3 : CLOSURE PLUG AND SHIELD PLUG REMOVAL CHECK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

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보공개용으로 작성한 문서입니다.

붙임 # 1

임시 기동용 계측기 설치

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



본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보공개용으로 작성한 문서입니다.

붙임 # 2

초기 노심장전시의 원자로 정지계통

1. 제 1정지계통

기동용 계측기의 TRIP

정지 설정치

- | | |
|----------------------------|-------------------------------------|
| (1) HIGH LOG COUNT RATE | 최초 100 CPS에서부터 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 |
| TEMPORARY LOG N TRIP | 10% FP |
| ROP TRIP | 30% FP |

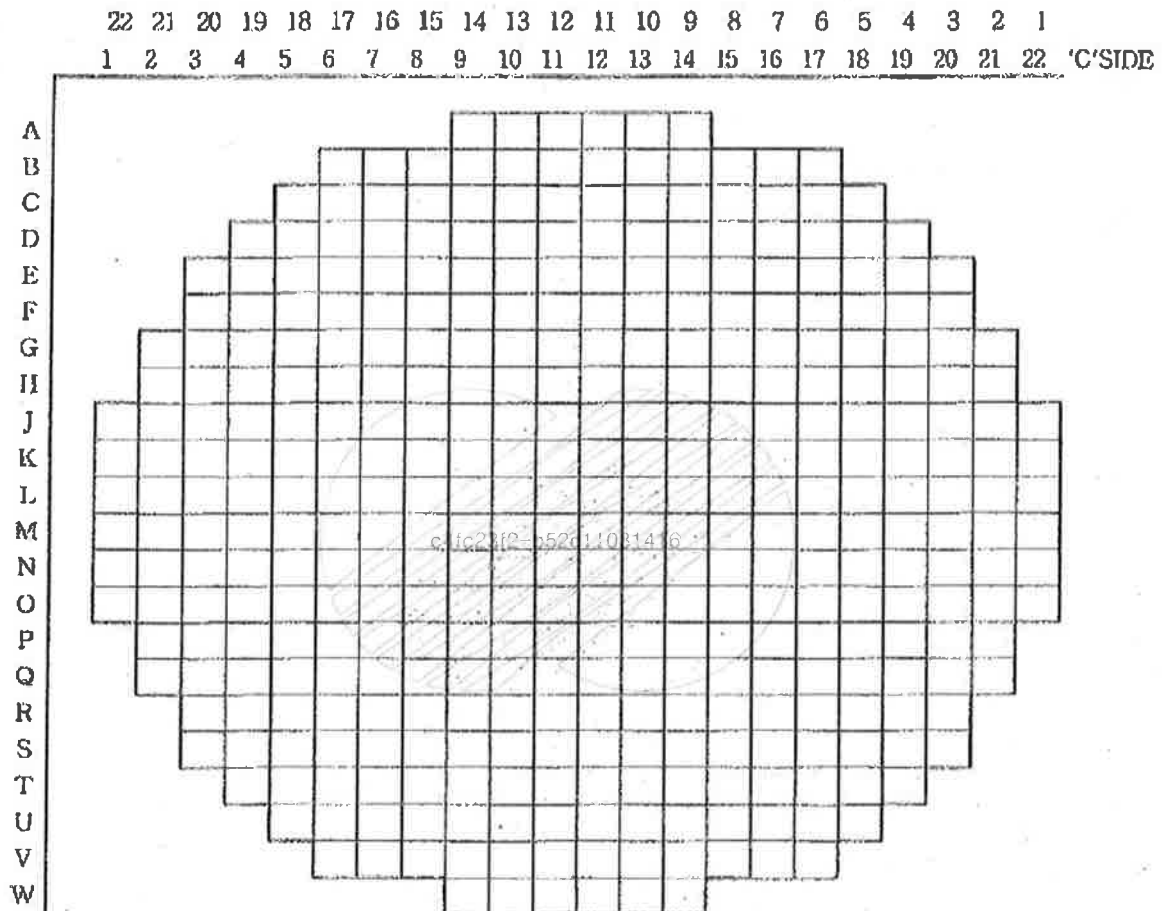
3. 제 2정지계통

- | | |
|----------------------|-----------------------|
| RATE LOG TRIP | 25% / SEC |
| TEMPORARY LOG N TRIP | 3×10^{-3} FP |
| ROP TRIP | 40% FP |

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보공개용으로 작성한 문서입니다.

그림 1.

WOLSUNG-1 N.P.P
STRAINER SHIELD PLUG LOCATIONS



REACTOR LATTICE POSITIONS

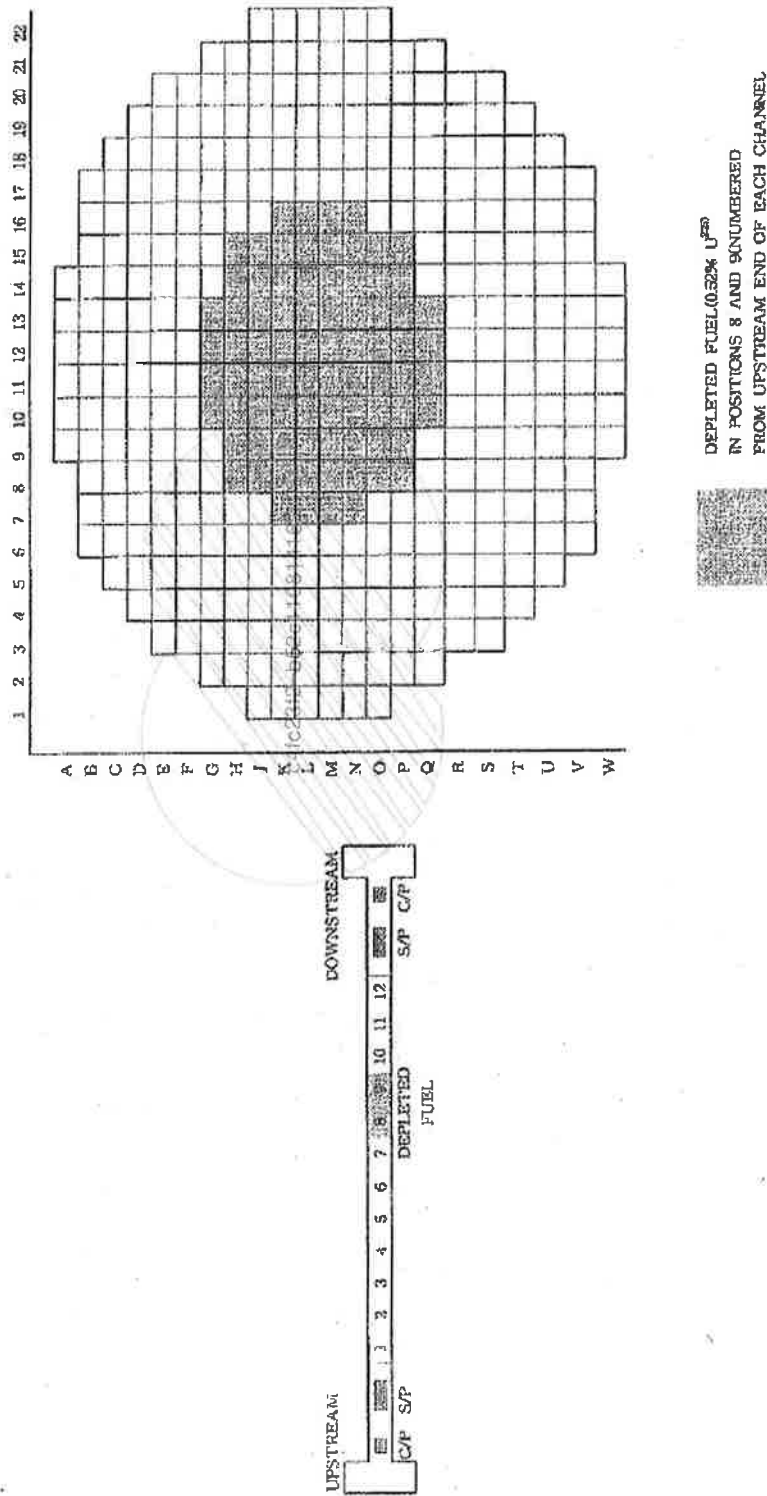
☒ DESIGNATES STRAINER SHIELD PLUG INSTALLATION LOCATION
(LATER)

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보공개용으로 작성한 문서입니다.

그림 2.

WOLSUNG-1 N.P.P

DEPLETED FUEL MAP



본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보공개용으로 작성한 문서입니다.

양식 #2

WOLSUNG-1 N.P.P
INITIAL 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 : 원자력 연구소 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
N						
N						
N						
N D						
N D						
N						
N						
N						
N						
N						
N						
N						

Bundle 12 loaded first
and moved downstream

Loaded Number Independently
Checked by a second
Crew member and confirmed

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보공개용으로 작성한 문서입니다.

양식 #3

WOLSUNG-1 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 정보공개용으로 작성한 문서입니다.

양식 #4

WOLSUNG-1 N.P.P.
CLOSURE PLUG AND SHIELD PLUG INSTALLATION

REACTOR FACE A ☐ C ☐

LATTICE POSITION	CLOSURE PLUG SERIAL NUMBER	C/P CHECKS COMPLETE	SHIELD PLUG SERIAL NUMBER	S/P CHECKS COMPLETE	C/P OR S/P REJECTION STATE REASON

RECORDED BY : _____ CHECKED BY : _____ DATE : _____



본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보공개용으로 작성한 문서입니다.

양식 #5

WOLSUNG-1 N.P.P

CHANNEL CLOSURE INSTALLED DIMENSIONS

A SIDE ☐B SIDE ☐[illegible]

RECORDED BY : _____ CHECKED BY : _____ DATE : _____



본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보공개용으로 작성한 문서입니다.

양식 #7-1

연 료 교 체 이 력

월성 제1발전소 호기

연 료 팀	담당	차장	팀장

연료관기호 : _____ 교체일자 : _____ 년 월 일

연료관번호 : _____ 시 간 : _____ 시 분 부터
_____ 시 분 까지

교체방법 : A → C

A SIDE

C SIDE

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

제어반운전원 A : _____ 교체 방법 : _____ CHANNEL P1 : _____ kPa(교체전)

C : _____ 원자로출력 : _____ % P2 : _____ kPa(교체후)

일련번호 : _____ 차

교체주기 : _____ 주기

실교체시간 : _____ FPH END

특기사항

	A	C
STALL		
SNOUT		
C/P		

c4fc23f2-b52c11081416

양식 #7-2

연 료 교 체 이 력

월성 제1발전소 호기

연 료 팀	담당	차장	팀장

연료관기호 : _____ 교체일자 : _____ 년 월 일

연료관번호 : _____ 시 간 : _____ 시 분 부터
_____ 시 분 까지

교체방법 : C → A

C SIDE

A SIDE

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

제어반운전원 A : _____ 교체 방법 : _____ CHANNEL P1 : _____ kPa(교체전)

C : _____ 원자로출력 : _____ % P2 : _____ kPa(교체후)

일련번호 : _____ 차

교체주기 : _____ 주기

실교체시간 : _____ FPH END

특기사항

	A	C
STALL		
SNOUT		
C/P		

c4fc23f2-b52c11081416

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보공개용으로 작성한 문서입니다.

양식 #8

WOLSUNG-1 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			
V			
W		158	