

## 신형경수로 1차기기냉각수계통(CCW)의 설계최적화

### Design Optimization of Component Cooling System in Advanced Power Reactor(APR-1400)

임혁순, 김성환, 정대욱, 정대율

한전 전력연구원  
대전광역시 유성구 문지동 103-16

#### 요약

원자력 발전소의 1차측기기냉각수계통은 안전정지시, 사고시 및 사고후 안전성관련 기기들과 비안전성 관련성 관련기기들 발생되는 열을 제거하기 위해 계열간 독립으로 설계 되어있다. 이러한 계열간 독립설계안은 한 계열의 보수 또는 고장(한계열 전원상실, 완충탱크 수위 이상, 주요배관 및 밸브작업)으로 발전소 출력운전에 필수적인 비안전성 관련 기기에 냉각수 공급이 불가능할 경우 발전소 정지가 불가피하다. 이러한 계열간 독립설계안의 단점을 보완하기 위해 계열간 공통관 설계안에 대한 계통설계, 안전성 및 운전성 검토하고 현장 운전중인 CCW계통의 문제점을 보완하여 1차 기기냉각수계통에 설계개선 반영하여 운전성 및 안전성을 향상 시켰다.

#### Abstract

The Component Cooling Water System(CCWS) consists of two independent, redundant closed loops and is capable of removing heat from the safety-related components required for normal operation and accident condition. The system also provides cooling water to non-safety components during normal operation of the plant. In general, in case of the design of train division, One CCW division is the loss of flow only to the non-essential load that the Nuclear Power Plant should be shutdown. we reviewed the applicability of common loop for CCWS to improve of Reliability, operability and maintainability. In this paper is described the CCWS design requirements, common loop, comparison of division and common loop, major improvement items of CCWS.

#### 1. 서론

원자력 발전소의 1차측 기기냉각수계통은 모든 발전소 운전조건에서 안전기능을 수행하기 위해 열제거가 필요한 안전성 및 비안전성 관련 기기들로부터 발생하는 열을 제거하는 계통이다. 전형적인 계열간 독립 설계의 경우 안전성 관련기기는 독립계열로부터 냉각수를 공급받으나 비안전성 관련기기는 A계열 또는 B계열의 한쪽에서만 공급받도록 설계되어 있다. 이 경우 한 계열의 보수 또는, 고장시 발전소 운전이 필수적인 비안전성 관련기기에 냉각수 공급이 불가능 할 때 발전소 안전정지가 불가피하다. 특히, 비안전성 관련기기인 원자로냉각재 펌프(RCP) 4대가 한계열에 설치되어 발전소 출력운전시 CCW A계열의 이용불능으로 원자로냉각재펌프에 대한 냉각수 공급이 10분 이상 공급이 안되면 원자로를 운전하여야 하며, 동절기 해수 온도저하시 CCW 최저 온도로

감소 및 공기조화계통의 부하감소로 다른 기기의 냉각수 고유량 경보가 발생한다. 따라서, 본 보고서에서는 기기냉각수 계통 설계요구 조건, 기기냉각수 계통 운전상 문제점 등을 고려 공통관 설계 적용을 검토하고 개선방안에 대하여 논의하고자 한다.

## 2. 1차기기냉각수계통

### 2.1 기능 및 구성

1차기기냉각수계통은 정상운전, 기동 및 정지, 사고시 등 모든 발전소 운전모드에서 안전등급 및 비안전등급 기기의 열부하를 제거하는 계통이다. 제거된 열은 1차기기냉각수 열교환기를 통해 1차측 냉각 해수계통으로 전달되어 최종적으로 해수로 방출되며, 1차기기냉각수계통은 방사성물질을 함유하고 있는 기기로부터 방사성물질이 누설되는 경우 1차측 냉각 해수계통을 통해 외부환경으로 직접 누출되지 않도록 중간방벽 역할을 한다. 신형경수로의 1차기기냉각수계통은 그림1과 같이 다중개념이 적용된 두 개의 안전성관련 계열과 비안전성관련 계열로 구성되며 각계열에는 100% 용량의 펌프 2대, 50% 용량의 열교환기 3대, 완충탱크 1대, 화학주입탱크 1대 및 기기냉각수 보충탱크 1대로 구성되어 있다.

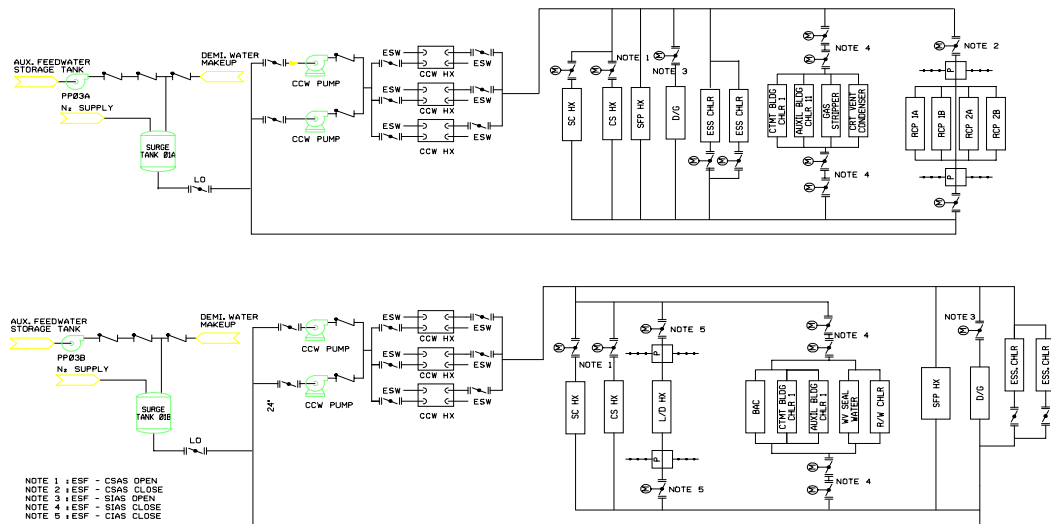


그림1. 기기냉각수계통 계통도

### 2.2 계통설계 요구조건(SRP. 9. 2. 2)

기기냉각수계통은 SRP 9.2.2 “Reactor Auxiliary Cooling Water System”의 요건을 만족하며 다음 설계기준을 만족하여야 한다.

- 정지냉각운전을 포함한 정상운전시 노심의 붕괴열을 제거해야 하며 설계기준 사고시 및 사고 후에 격납건물 대기의 열 제거기능을 수행해야 한다.
- 소외전원 상실과 동시에 기기의 단일고장시에도 안전정지 기능이 손상되지 않고 안전성 관련 기기열을 제거하도록 2개의 다중계열로 구성하며 다중의 기기냉각해수계통과 연결되어야 한다.
- 방사성 물질의 누출 가능성이 있는 보조계통에 신뢰성 있는 냉각수를 공급해야 하며 기기냉각수계통의 배수는 액체방사성폐기물계통으로 처리되어야 한다.
- 기기냉각수 공급온도는 정상운전시 최대 95°F 이하이며 정지냉각 초기 및 사고시는 110°F 이하를 유지해야 함. 또한, 최저 해수온도 조건에서도 최소 60°F 이상을 유지하도록 열교환기 우회 배관을 설치한다.

- 원자로냉각재 상실사고후 기능이 요구되는 기기는 내진범주 I 등급으로 설계해야 하며 비안전성 관련 기기의 냉각수 공급은 안전주입작동신호(SIAS)에서 격리되도록 설계해야 한다.

### 2.3 CCW용량 결정시 주요 고려사항

#### 1) 기기냉각수계통 용량

- 각계열의 안전성/비안전성 관련기기 열부하
- 기기냉각수 열교환기 용량결정
  - 운전 모드별 열부하 및 계열당 열교환기 운전대수
  - 최종 해수온도 : 정상 및 사고시 온도
  - 기기냉각수 공급온도 및 유량 : 정상/비정상 온도 및 유량
  - 기기냉각수 해수유량

#### 2) 기기냉각수 펌프용량

- 정상운전시 필요한 부하의 요구유량 또는 사고시 필요한 요구부하 유량중 가장 큰 값을 기준으로 펌프용량 결정

## 3. CCW계통 설계현황

### 3.1 CCW계통 주요 설계현황

원전 계통		W.H 원전	Fra.원전	중수로원전	개선 표준원전	표준 원전			
계열구분		상호 연결 (공동연결관)				계열분리 (ESW 공동관 연결관설치)			
기기구성/계열	펌프	2	2	4	2	3	2	2	2
	열교환기	1	2	4	3	3	2	3	2
펌프 용량기준		정상운전 100%		정상운전 33%	사고시 100%	사고시 50%	사고시 100%		
열교환기 용량기준		정상운전 100%	정지냉각 50%	정지냉각 33%	사고시 50%	사고시 50%	사고시 100%	사고시 50%	사고시 100%
계열구성	안전성 기기	- 다중의 100%×2계열 - 공동연결관				- 다중의 100%×2계열 - 계열분리			
	비안전성 기기	양 계열에서 냉각수 공급이 가능토록 공동연결관 설치				계열당 한 대의 펌프로 각 계열의 안전관련 기기에 냉각수 공급			
계통 운전	정상운전	한 계열의 한 대 펌프만으로 양 계열의 안정 및 비안전 관련기기에 냉각수 공급				계열당 한 대의 펌프로 각 계열의 안전 및 비안전 관련기기에 냉각수 공급			
	계열 전환운전	주기적으로 계열 전환운전				계열 전환운전 없음			
	사고시	대기중인 계열의 펌프가 기동하며 공동 연결밸브가 자동 격리되어 계열별로 안전관련 기기에 냉각수 공급				계열당 비안전 관련기기가 격리되고 안전등급 기기에 냉각수 공급.			

## 3.2 현장 CCW계통 문제점

### 3.2.1 원자로냉각재 펌프(RCP) 배치

- 표준원전의 경우 비안전성 기기인 원자로냉각재 펌프(RCP) 4대가 모두 하나의 계열(A 계열)에만 집중배치되어 한계열 CCW상실시 운전제한 조건을 적용하여 발전소를 정지해야 하는 문제점이 있어 문제해결방안 제시
- RCP가 연결된 해당계열(A 계열)의 고장시 4대의 RCP에 냉각수를 공급할 수 없으며 기술지침서(Tech. Spec.)의 고온대기 또는 고온정지의 요건인 원자로냉각재 Loop당 1대의 RCP 운전상태를 유지할 수 없어 72시간의 복구시간을 허용하는 운전제한조건(LCO) 조건을 적용할 수 없어 발전소 이용률 관점에서 불리하다.

### 3.2.2 운전모드별 열 부하 불균형

- 1차 기기냉각수계통은 안전성 관련계통으로 사고시와 정지냉각운전을 포함한 정상운전시의 열부하도 담당해야 하는 계통 특성상 각 운전모드별 열 부하 불균형이 있어 적정한 용량의 설계가 필요하다.
- 표준원전 CCW A 계열의 경우 사고시 열 부하( $238 \times 10^6$  Btu/hr)는 정상시( $57 \times 10^6$  Btu/hr)보다 약 4배 이상 큰 것으로 설계되었다.
- 또한, 기기냉각수계통은 각 운전모드별 하절기 최대 열 부하를 수용할 수 있도록 설계하여야 하며 그러나 각 운전모드별 열 부하 편차가 크고 동일 운전모드에서도 동절기와 기, 설계값과 실제 운전값의 열 부하 불균형이 존재한다.

### 3.2.3 냉각수 최저설계 온도 불만족

- 발전소 각 기기에 공급되는 기기냉각수의 최저 설계온도는 65°F를 유지해야 하지만 동절기에 열 부하 및 해수온도가 설계시 고려한 최대 열 부하 및 최대 해수온도보다 현격히 저하되어 최저 설계온도인 65°F를 유지하기 위해 기기냉각수 열교환기 우회유량을 증기시켜야 한다
- 따라서 정상운전중 운영기술지침서에 2대 열교환기를 운전하도록 되어 있어 동절기에 기기냉각수 최저온도를 유지하기 위해 기기냉각수 열교환기 우회유량을 95% 이상 유지하여야 한다.

### 3.2.4 유량 불평형

- 정상운전시 저 부하 운전  
동절기 HVAC 부하가 감소하여 Essential Chiller, CTMT BLDG Chiller, Radwaste BLDG Chiller를 운전중지 또는 저 부하 운전을 할 경우 요구유량이 크게 감소하여 펌프의 최소설계 유량을 만족하지 못하고 펌프에 진동이 발생한다.
- 원자로냉각재 펌프(RCP) 저, 고-유량 정보  
정상운전시 열 부하 변동에 따라 기기냉각수량을 제한하는 Essential Chiller 및 CTMT Chiller가 저 부하 운전시 RCP와 같은 계열에 연결되어 있어 RCP 유량에 미치는 영향이 크므로 저유량 또는 고유량 정보 발생, 이를 해결하기 위해서는 운전원이 원자로 보조건설물에 설치되어 있는 비 안전등급 우회배관의 수동밸브를 조작해야 한다.

### 3.2.5 운전 보수성

- 표준원전 격납건물 냉방수(3대)의 CCW가 A계열에서만 공급되어 발전소 예방정비시 기기정비를 위해 A계열을 정지 할 경우(또는 ESW A계열) 격납건물 냉방기능 상실로 격납건물 내부 온도 상승에 의한 핵연료 재장전 수조의 수분이 증발하여 핵연료 교체 및 작업 수행, 증기발생기 ECT 장비 및 시험에 어려움이 발생한다.
- 발전소 정상운전. O/H 기간중 ESW 계통의 배관부식 등으로 보수정비를 위해 한계열 차단시 CCW계통 안전운전에 영향을 미친다.

## 4. CCW계통 최적화 설계

### 4.1 설계현황

다중의 독립된 2개의 계열로 구성되어 있으며 각 계열당 펌프 2대, 열교환기 3대, 완충탱크 1대, 화학첨가탱크 1대, 관련배관 및 밸브로 구성되어 있다. 정상운전시 안전성 관련기기에는 양쪽계열에서 냉각수를 공급하고 비안전성관련 기기에는 해당되는 한계열에서만 냉각수가 공급되도록 설계되어 있다.(RCP 펌프 Cooler에는 계열 A에서 기기냉각수 공급)

### 4.2 공통관 설계검토

공통관 정상열림(N.O) 및 공통관 정상단힘(N.C) 설계안을 검토한 결과 차세대 설계개념을 만족하고 운전 및 정비편의성을 증진시키며, 기기냉각수계통의 펌프/열교환기/배관 용량 증가없이 공통연결배관(공급관/회수관)만 설계하여 건설비용이 적고 현 발전소 GA 범위내에 수용가능, CCW /ESW 한계열 과도상태 및 비정상시에만 공통관을 개방하여 운전할수 있도록 공통관 정상단힘(N.C) 적용을 검토하였다.

- 정상 운전중에는 공통관을 사용하지 않고 한계열의 CCW/ESW 기능상실시 공통관운전
- 각각의 공통연결관에 단일능동고장을 고려하여 운전원이 원격조작 할 수 있는 안전등급 동력 구동 밸브(MOV) 2개를 설치.(안전등급 1E)
- 공통연결관은 공급유량을 고려하여 26" 크기로 설치
- 밸브의 유량조절 기능은 없으며 격리기능만 수행
- 공통관 운전시 완충탱크 수위이상, 관련밸브 고장, SI 사고 발생시 각 계열의 독립성 유지하기 위하여 공통연결관 격리밸브가 자동으로 격리되어 계열분리 운전.

#### 1) 공통관 운전유형

- 정상 운전시 : 독립계열운전으로 각 계열의 기기냉각수 펌프 1대와 열교환기 2대가 운전
- 정지냉각 운전시 : 독립계열운전으로 각 계열의 기기냉각수 펌프 1대와 열교환기가 3대 운전
- ESW/CCW 한계열 상실시 : 공통관을 사용하여 한계열에서 펌프2대와 열교환기 2대 또는 3대를 이용하여 운전
- 공통관 운전중 사고시 발생시: 공통관 연결운전시 비상안전주입, 완충탱크 저-저수위, 배관 파단에 의한 압력저하시 자동으로 공통관 격리되어 두계열이 완전히 분리되어 운전

#### 2) 안전성 : 공통관 격리실패확률

계열분리 계통의 경우 공통연결관 격리밸브 실패 가능성은 없으나 공통관을 설치 할 경우 분석 결과 실패확률 : 0.012

##### - 사고 유형별

- MOV 작동실패 = 4 E-03 / demand (EPRI ALWR REQUIREMENT Document, 1989)
  - 운전원의 비고의적 실수 = 0.01 (NUREG/CR-2300, 1982)
  - 운전원의 판단 착오에 의한 실수 = 0.001
  - 기능적으로 분류되어 있는 제어기기에서 해당 제어기기를 선택하지 못하는 실수 = 0.001
- 사고시 공통연결관 격리실패 확률

$$\begin{aligned} \therefore P &= (P1) \times (P1) + P2 + P3 + P4 \\ &= (0.004) \times (0.004) + 0.01 + 0.001 + 0.001 \\ &= 0.012 \end{aligned}$$

#### 3) 운전성 : 공통연결관 운전시간 분석

##### ○ 공통연결관 운전 소요시간(ANSI 58.8-1984에 의거)

- 운전원의 상황 파악 및 필요여부 : 1분
- 현장 운전원과 통신후 Hx Bldg 이동 : 10분

- CCW 펌프 및 열교환기 전 후단 밸브(5개) : 5분 (N X 1분)
- 이용가능 계열 대기 CCW/ESW 밸브 (3개) : 3분 (N X 1분)
- 이용가능 계열 대기 펌프기동 : 1분
- Hx Bldg Cross-Tie MOV 2개 : 2분, Aux Bldg Cross-Tie MOV 2개 : 2분
- Flow Balance을 위한 밸브조작 : a 분

∴ 총 공통연결관 운전 소요시간 : 24분 + a 분

○ CCW A 계열 상실시 10분이내 RCP 펌프 냉각수공급

- 공통연결관 운전 소요시간 최소 24분이므로 CCW A 계열상실시 10분이내 RCP펌프에 냉각수 공급하기 원격조작 할수 있는 안전등급 동력 구동밸브(MOV) 2개를 설치(안전등급 1E)

### 4.3 공통연결관 개략도

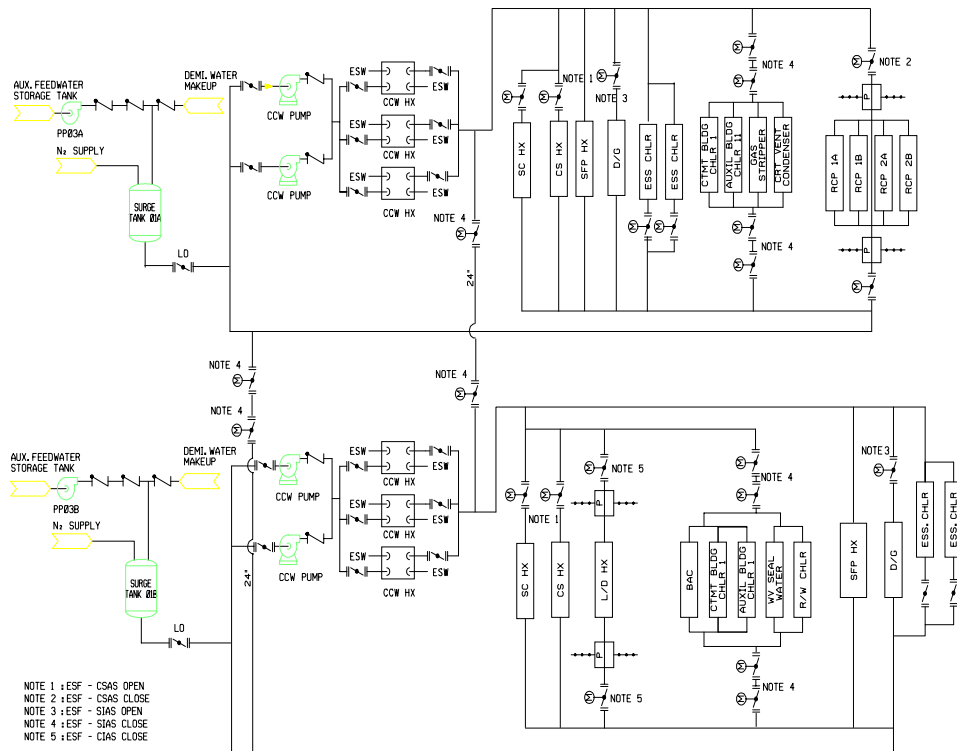


그림2. 공통관이 적용된 기기냉각수 계통도

### 4.4 계열분리/공통관 안전성 및 운전성

평가항목		계열분리	공통연결관(N.C)	비교
안전성	- 계열분리	완전분리	완전분리	
	- 사고시 격리기능	필요없음	필요있음	
운전성	- 계통이용불능도	$5.57 \times 10^{-10}$	$5.57 \times 10^{-10}$	공통관운전시 펌프2대운전
	- 사고시 계통의 신뢰도	0	0.012	
안전성	- 운전의 복잡성	단순함	보통	
	- 운전원의 조치요구사항	매우적음	보통	
운전성	- 10분내 계열전환 운전가능성	필요성 없음	가능	
	- 펌프용량(gpm) : 1대	17000 gpm	20000 gpm	

#### 4.5 계통 열부하 분석

##### 4.5.1 계열분리운전시 계통 열부하

운전모드		CCW 유량 (gpm)	운전대수		열부하 (MBTU/h)	요구유량 (gpm)		공급기기
			펌프	열교환기		안전성	비안전성	
No.Op	A 계열	14529	1대	2대	73.086	5467	9062	- Group 1, SFP Hx, Non-Safety
	B 계열	14575	1대	2대	103.858	5217	9358	- Group 2, SFP Hx, Non-Safety
SC+ 3.5	A 계열	25339	2대	3대	207.277	16277	9062	- Group 1, SFP Hx, SC HX, Non-Safety
	B 계열	25255	2대	3대	234.854	16217	9038	- Group 2, SFP Hx, SC HX, Non-Safety
SC+ 5.5	A 계열	25339	2대	3대	190.277	16277	9062	- Group 1, SFP Hx, SC HX, Non-Safety
	B 계열	25255	2대	3대	222.654	16217	9038	- Group 2, SFP Hx, SC HX, Non-Safety
SC+ 24	A 계열	25339	2대	3대	113.277	16277	9062	- Group 1, SFP Hx, SC HX, Non-Safety
	B 계열	25255	2대	3대	145.654	16217	9038	- Group 2, SFP Hx, SC HX, Non-Safety
SC+ 40	A 계열	25339	2대	3대	106.277	16277	9062	- Group 1, SFP Hx, SC HX, Non-Safety
	B 계열	25255	2대	3대	138.654	16217	9038	- Group 2, SFP Hx, SC HX, Non-Safety
SC+ 96	A 계열	25339	2대	3대	96.077	16277	9062	- Group 1, SFP Hx, SC HX, Non-Safety
	B 계열	25255	2대	3대	128.454	16217	9038	- Group 2, SFP Hx, SC HX, Non-Safety
Refuelin g	A 계열	23167	2대	3대	128.877	16277	6890	- Group 1, SFP Hx, SC HX, Non-Safety(RCP 제외)
	B 계열	25255	2대	3대	161.254	16217	9038	- Group 2, SFP Hx, SC HX, Non-Safety
SIAS	A 계열	9649	1대	2대	59.027	7477	2172	- Group 1, SFP Hx, CS HX, RCP
	B 계열	7417	1대	2대	53.707	7417	0	- Group 2, SFP Hx, CS HX
CSAS	A 계열	15477	1대	2대	162.227	15477	0	- Group 1, SFP Hx, CS HX
	B 계열	15417	1대	2대	161.707	15417	0	- Group 2, SFP Hx, CS HX

##### 4.5.2 공통관운전시 계통 열부하

운전모드		CCW 유량 (gpm)	운전대수		열부하 (MBTU/hr)	요구유량 (gpm)		공급기기
			펌프	열교환기		안전성	비안전성	
No.Op	A 계열	19604	1대	2대	124.544	5467	6362	- Group 1, Group 2, SFP Hx (1)
	B 계열					1717	6058	- Non Safety (각 containment/auxiliary bldg. Chiller (1) 제외)
SC+ 3.5	A 계열	22639	2대	3대	193.777	16277	6362	- Group 1, SFP Hx, SC HX, Non-Safety
	B 계열	21955	2대	3대	218.354	16217	5738	- Group 2, SFP Hx, SC HX, Non-Safety
SC+ 5.5	A 계열	22639	2대	3대	176.777	16277	6362	- Group 1, SFP Hx, SC HX, Non-Safety
	B 계열	21955	2대	3대	206.154	16217	5738	- Group 2, SFP Hx, SC HX, Non-Safety
SC+ 24	A 계열	22639	2대	3대	99.777	16277	6362	- Group 1, SFP Hx, SC HX, Non-Safety
	B 계열	21955	2대	3대	129.154	16217	5738	- Group 2, SFP Hx, SC HX, Non-Safety
SC+ 40	A 계열	22639	2대	3대	92.777	16277	6362	- Group 1, SFP Hx, SC HX, Non-Safety
	B 계열	21955	2대	3대	122.154	16217	5738	- Group 2, SFP Hx, SC HX, Non-Safety
SC+ 96	A 계열	22639	2대	3대	82.577	16277	6362	- Group 1, SFP Hx, SC HX, Non-Safety
	B 계열	21955	2대	3대	111.954	16217	5738	- Group 2, SFP Hx, SC HX, Non-Safety
Refueling	A 계열	20467	2대	3대	115.377	16277	4190	- Group 1, SFP Hx, SC HX, Non-Safety(RCP 제외)
	B 계열	21955	2대	3대	144.754	16217	5738	- Group 2, SFP Hx, SC HX, Non-Safety
SIAS	A 계열	9649	1대	2대	59.027	7477	2172	- Group 1, SFP Hx, CS HX, RCP
	B 계열	7417	1대	2대	53.707	7417	0	- Group 2, SFP Hx, CS HX
CSAS	A 계열	15477	1대	2대	162.227	15477	0	- Group 1, SFP Hx, CS HX
	B 계열	15417	1대	2대	161.707	15417	0	- Group 2, SFP Hx, CS HX

#### 4.6 현장 운전중 문제점 개선반영

문제점		개선 반영내용
유량 불평형	정상 및 사고시(SIAS) 요구유량 차이로 인한 유량편차	<ul style="list-style-type: none"> <li>정상운전 및 사고시와의 유량편차를 최소화하기 위해 사고시 격납건물 살수열교환기 격리밸브 SIAS시 조기 개방하여 유량형성</li> </ul>
	동절기 저부하시 냉동기 부하 감소에 따른 다른 관련 기기 과유량	<ul style="list-style-type: none"> <li>정상운전시 냉동기 부하변동을 흡수하기 위해 각 냉동기(필수냉동기, 격납건물/보조건물/복합건물 냉동기)에 3-way 밸브 설치함</li> <li>따라서 저부하 운전에 따른 기기냉각수 유량감소가 요구될 경우에도 냉각수를 우회시켜 계통전체의 유량평형 유지</li> </ul>
최저온도	동절기 해수온도 변화로 최저온도 (65°F)이하 감소	<ul style="list-style-type: none"> <li>기기냉각수 최저공급온도(65°F)를 만족시키기 위해서는 열교환기 우회유량을 95% 이상 유지하여야 함</li> <li>이러한 유량을 우회시키기 위해서는 우회배관 및 열교환기의 수두차만으로 불가능하며 이를 위해서 열교환기 후단밸브의 교축운전이 가능하도록 개선</li> </ul>
격납건물 냉방	A계열만 냉방기 설치	<ul style="list-style-type: none"> <li>각 계열별로 100% 용량의 격납건물 냉동기를 설치하여 기기냉각수계통의 한 계열 보수시에도 냉각수 공급이 가능하여 격납 건물내의 적정온도 유지</li> </ul>

#### 5. 개선효과

##### 1) 원자로냉각재 펌프(RCP) Trip 가능성 최소화

4대의 RCP가 한 계열에 집중 배치관련 공통관(Common Loop)가 연결 설치되어 양 계열에서 냉각수를 공급 가능하도록 설계하여 발전소 이용률을 향상.

##### 2) 운전모드별 열 부하 평형유지

유량 불평형 관련 정상운전(19604gpm)과 사고시(SIAS :7417gpm)와의 유량편차(12187gpm)가 과도하게 발생관련하여 격납용기 열교환기의 Logic변경으로 안전주입신호(SIAS)시 조기개방하여 유량편차를 최소화.

##### 3) 정상운전중 동절기 저부하시 냉동부하 감소에 따른 관련 기기 과유량 해소

정상운전시 냉동기 부하변동을 흡수하기 위해 각 냉동기(필수 냉동기, 격납건물/보조건물/복합건물 냉동기)에 3-Way 밸브를 설치하여 저부하 운전에 따른 기기냉각수 유량감소가 요구될 경우 냉각수를 우회시켜 계통전체의 유량평형 유지.

##### 4) 동절기 해수온도 변화로 인한 CCW 최저 공급온도(65°F) 만족

기기냉각수 최저 공급온도를 만족하기 위해서는 열교환기의 우회유량을 95.7% 이상 유지하여야 한다. 따라서 유량을 우회시키시 위해서는 우회배관 및 열교환기를 수두차만으로는 불가능하며 이를 해소 하기위해 열교환기 후단밸브의 교축운전하여 최저온도 만족.

##### 5) A계열만 격납건물 냉방기 배치로 발전소 O/H시 A계열 작업 보수시 격납건물 온도상승 해소

- 각 계열별로 100% 용량의 격납건물 냉동기를 설치하여 기기냉각수계통의 한계열 보수시 냉각수 공급이 가능한 계열의 냉방기를 이용하여 격납건물내의 설계온도 유지.
- 기기냉각수계통의 한계열 기능상실시 공통관을 통한 냉방수 공급이 가능함.

##### 6) 정비 보수성 향상

- 발전소 수명증가에 따라 해수배관의 해수에 의한 침식 부식등으로 고장시 공통관을 통하여 냉각수 공급을 공급하여 운전중 관련 배관, 기기 정비가 가능하여 보수성이 향상됨.



## 6. 결론

신형경수로 수명 60년을 고려하고 기기냉각해수계통(ESW) 및 1차기기냉각수계통(CCW) 해수 배관 부식에 따른 검사강화, 배관에 문제발생시 발전소 정지, 보수 정비기간 증가, 계열상실 경험 등을 고려하여 한계열 상실시에도 발전소 출력운전에 필수적인 비안전성 관련기기에 냉각수 공급이 가능하도록 CCW공통관을 적용하고 선형호기의 운전중 문제점 개선, 안전성, 운전편의성이 향상되도록 CCW계통의 설계 최적화를 수행하여 발전소의 운전 및 유지보수성 등이 향상에 될 것으로 기대된다.

## 7. 참고문헌

- [1] 한국전력, 한국표준원전 설계개선 사업 종합보고서, 1999.1
- [2] 한국전력 영광원전 훈련센터, 표준경수로 계통설비, 1999.5
- [3] 한국전력, 차세대원전 표준안전분석 보고서(SSAR)
- [4] 한국전력, 차세대원전 1차기기냉각수계통  
- 계통설계기준서, 계통기능설명서, 설계계산서
- [5] ABB-CE, Table A.1.2-1-NSSS and Related System Design Technical Documents
- [6] SFEN(Frech Nuclear Energy Society), The European Pressurized Water Reactor, 19-21 Oct. 1997