

위험도 정보를 활용한 가압중수로 용수계통 허용정지시간 설정

Risk-Informed Evaluation of Allowed Outage Times for PHWR Service Water System

서정관, 이명수, 서인용, 성창경
한전 전력연구원
대전광역시 유성구 문지동 103-16

요 약

원자력발전소의 운영기술지침서에 제시되어 있는 운전제한조건은 다중성확보를 만족해야 하며, 이러한 관점에서 현행 가압중수로 용수계통과 관련한 운전제한조건은 변경이 필요하다. 용수계통과 관련한 운전제한조건에는 기기냉각수계통 및 기기냉각해수계통에 대한 것이 있으며, 현행 운전제한조건은 기기냉각수펌프 및 관련 유로, 기기냉각수 열교환기, 기기냉각해수펌프 및 관련 유로 각각 4개중 2개 이상이 운전불가능할 경우 조치를 취하도록 하고 있다. 그러나 표준운영기술지침서에서는 1개가 운전불가능할 경우 각각 72시간, 48시간 및 72시간의 허용정지시간을 갖도록 하는 조치가 제시되었다. 위험도 정보를 활용하여 새로 설정된 허용정지시간을 평가한 결과, USNRC Reg. Guide 1.174 및 1.177에서 제시한 허용기준을 만족하는 것으로 나타났다.

Abstract

Limiting condition for operation (LCO) in the technical specifications for nuclear power plants shall meet enough redundancy, and in this respect, the necessity was raised to revise LCOs related to PHWR service water system (SWS). There are the recirculated cooling water system (RCW) and the raw service water system (RSW) in the SWS. In current technical specifications, actions are taken in cases only that two or more RCW pumps and associated flow paths, RCW heat exchangers, RSW pumps and associated flow paths are inoperable. However in the Improved Standard Technical Specifications (ISTS), actions are suggested to be taken in cases that one equipment is inoperable with the allowed outage times (AOT) of 72 hours, 48 hours and 72 hours respectively. In the results of evaluation on the newly suggested AOTs using risk-informed regulation approaches, the AOTs show to meet the acceptable criteria in USNRC Regulatory Guide 1.174 & 1.177.

1. 서 론

국내 원자력발전소 운영기술지침서의 표준화를 위해 가압중수로 표준운영기술지침서가 개발되고 있다. 운영기술지침서에 제시되어 있는 운전제한조건은 다중성확보를 만족해야 하며, 이러한 관점에서 가압중수로 표준운영기술지침서의 운전제한조건 중에는 현행 운전제한조건과 비교하여

재구성된 것이 있다. 현행 가압중수로 기기냉각수계통 및 기기냉각해수계통과 관련한 운전제한조건은 기기냉각수펌프 및 관련 유로, 기기냉각수 열교환기, 기기냉각해수펌프 및 관련 유로 각각 4개중 2개 이상이 운전불가능할 경우 조치를 취하도록 하고 있다. 그러나 표준운영기술지침서에서는 1개가 운전불가능할 경우 각각 72시간, 48시간 및 72시간의 허용정지시간(AOT)을 갖도록 하는 조치가 제시되었다. 허용정지시간은 운전제한조건 불만족시 운전모드 변경 없이 계속 운전을 허용하는 시간으로서 복구를 위해 주어진 시간으로 정의된다.

본 연구에서는 위험도 정보를 활용하여 가압중수로 표준운영기술지침서에서 새로 설정된 용수계통 관련 허용정지시간을 평가하였다. 평가를 위한 위험도 척도로서 USNRC Reg. Guide 1.174 및 1.177에서 제시한 노심손상빈도(CDF), 노심손상빈도증가(Δ CDF), 조건부노심손상확률증가(ICCDP), 대량조기방출빈도증가(Δ LERF), 조건부대량조기방출확률증가(ICLERP)를 적용하였다. 분석방법은 WCAP-15622와 참고문헌 [4]에서 제시된 방법을 따랐다.

본 연구는 가압중수로 표준운영기술지침서에서 새롭게 설정된 용수계통 관련 허용정지시간에 대한 평가 방법론을 제시하고, 최적화된 허용정지시간을 설정하여 가압중수로의 안전운전 향상에 기여하는데 목적이 있다.

2. 본 론

2.1 용수계통 허용정지시간에 대한 기술지침서 요건

기기냉각수계통은 발전소의 최종 열제거원 중 하나이며 운전중이나 정상적인 원자로 정지기간, 냉각기간 및 사고 시에 필수적인 안전계통에 냉각수를 공급한다. 기기냉각해수계통 또한 발전소의 최종 열제거원 중 하나이며 운전중이나 정상적인 원자로 정지기간, 냉각기간 및 사고 시에 사용후 핵연료 저장조 및 기기냉각수계통의 열교환기에 해수를 공급한다.

기기냉각수계통 및 기기냉각해수계통 관련 현행 운전제한조건은 그림 1 및 그림 2에 나타난 바와 같이 기기냉각수 및 기기냉각해수 관련 유로, 기기냉각수펌프 및 기기냉각해수펌프 각각 4대중 3대, 기기냉각수 열교환기 4대중 3대가 운전가능하여야 하고, 2대 이상이 운전불가능할 경우 조치를 취하도록 하고 있다. 그러나 표준운영기술지침서에서는 그림 3 및 그림 4에 나타난 바와 같이 기기냉각수계통 및 기기냉각해수계통은 운전가능하여야 하며, 1개의 기기냉각수펌프 또는 관련 유로 및 1개의 기기냉각해수펌프 또는 관련 유로가 운전불가능할 경우 각각 72시간의 AOT(Case1, 3)가 주어졌고, 1개의 기기냉각수 열교환기가 운전불가능할 경우 48시간의 AOT(Case2)가 주어졌다. Case1, 3의 경우 AOT를 72시간으로 설정한 것은 가압중수로를 함께 운영하는 국내 상황을 고려하여 가압중수로 운영기술지침서와 통일시킨 결과이며, Case2에서 48시간의 AOT는 기기 평균수리시간을 고려하여 설정되었다.

2.2 발전소 안전성에 대한 영향 평가

상기한 용수계통 관련 AOT가 발전소 안전성에 미치는 영향을 다음의 4가지 관점에서 평가하였다.

(가) 해당 계통/기기가 어떤 초기사건의 완화에 이용되는가?

기기냉각수계통 및 기기냉각해수계통은 발전소의 최종 열제거원 중 하나이며 초기사건의 완화에 직접 사용되지는 않으나, 초기사건 발생 시 초기사건 완화 계통의 지원계통으로서 기능을 수행한다.

(나) 해당 계통/기기의 이용불능이 어떤 초기사건을 유발하는가?

기기냉각수계통 및 기기냉각해수계통의 이용불능으로 인해 유발될 수 있는 초기사건에는

“IE-SW”가 있으며, “IE-SW”는 용수 상실에 의한 초기사건을 의미한다.

(다) 해당 계통/기기의 오작동이 어떤 초기사건을 유발하는가?

기기냉각수계통 및 기기냉각해수계통의 오작동에는 개방되어 있는 밸브가 닫히는 경우 등이 존재할 수 있으며, 이로 인해 용수 상실에 의한 초기사건이 유발될 수 있다.

(라) 해당 계통/기기와 관련하여 어떤 backup 계통이 가용한가?

기기냉각수계통 및 기기냉각해수계통은 등급 3 및 등급 4 전원이 이용가능할 경우 최종 열제거원으로서 기능을 수행하며, 등급 3 및 등급 4 전원이 상실되면 backup 계통으로서 비상급수계통이 최종 열제거원 기능을 수행한다.

2.3 확률론적안전성평가(PSA) 모델과 허용정지시간 관련 인자 수정

위험도 정보를 활용한 AOT 평가를 위해 월성 2,3,4호기 PSA 모델을 사용하였으며, 본 AOT 표준안과 관련하여 영향을 받는 고장수목은 다음과 같다.

- SWS.KFT : 용수계통 고장수목
- RCW-IE.CAF : 전체 용수 상실에 의한 초기사건 고장수목
- RSW-IE.CAF : 전체 기기냉각해수 상실에 의한 초기사건 고장수목

기기냉각수펌프 및 관련 유로는 상기 계통 고장수목(SWS.KFT)의 게이트 “7134-TLORCWRO!NP” 하부에 모델링되어 있으며, 4개의 기기냉각수펌프 및 유로 중 3개(71340-P7001, P7002, P7003)는 운전 중이고 1개(71340-P7004)는 대기 중으로 모델링되어 있다. 또한 전체 용수 상실에 의한 초기사건 빈도는 상기 초기사건 고장수목(RCW-IE.CAF)을 통해 정량화하며, 기기냉각수펌프 및 관련 유로의 모델링 방식은 계통 고장수목과 유사하다.

기기냉각수 열교환기는 상기 계통 고장수목(SWS.KFT)의 게이트 “7134-TLORCWRO!NP” 하부에 모델링되어 있으며, 4개의 기기냉각수 열교환기 중 3개(71340-HX7001, HX7002, HX7003)는 운전 중이고 1개(71340-HX7004)는 대기 중으로 모델링되어 있다. 초기사건 고장수목(RCW-IE.CAF)에서 기기냉각수 열교환기의 모델링 방식은 계통 고장수목과 유사하다.

기기냉각해수펌프 및 관련 유로는 상기 계통 고장수목(SWS.KFT)의 게이트 “7131-TLORSWRO!NP” 하부에 모델링되어 있으며, 4개의 기기냉각해수펌프 및 유로 중 3개(71310-P7751, P7752, P7753)는 운전 중이고 1개(71310-P7754)는 대기 중으로 모델링되어 있다. 또한 전체 기기냉각해수 상실에 의한 초기사건 빈도는 상기 초기사건 고장수목(RSW-IE.CAF)을 통해 정량화하며, 기기냉각해수펌프 및 관련 유로의 모델링 방식은 계통 고장수목과 유사하다.

본 AOT 표준안에 대한 위험도 평가를 위해, 다음과 같은 4가지 항목을 고려하여 PSA 모델과 AOT 관련 인자를 수정하였다.

2.3.1 초기사건 빈도

월성 2,3,4호기 PSA 정량화에서 전체 용수 및 기기냉각해수 상실에 의한 초기사건 빈도는 “CAFTA”를 통해 계산되었으며, 기기냉각수계통 및 기기냉각해수계통의 이용불능이나 오작동은 초기사건을 유발할 수 있으므로 초기사건 빈도를 계산할 필요가 있다. 본 AOT 표준안이 반영된 초기사건 빈도를 계산하기 위해 초기사건 고장수목 모델 중 시험 및 정비 이용불능도 값을 수정하였으며, 수정된 기본사건 수는 Case1 평가 시 9개, Case2 평가 시 7개, Case3 평가 시 9개이다.

변경 후 이용불능도 값은 아래 식에 의하여 계산하였다.

$$Q = \frac{1}{2}\lambda(T + 2(MTTR + 8)) = \frac{1}{2}\lambda(T + 2AOT) \quad (1)$$

T = 168시간 (기기냉각수펌프 및 관련 유로상의 밸브 점검주기, 기기냉각수 열교환기의 점검주기, 기기냉각해수펌프 및 관련 유로상의 밸브 점검주기 7일을 적용함.)

AOT = 72시간 또는 48시간(월성 2,3,4호기 PSA에서 사용한 MTTR+8 대신에 AOT 72시간 또는 48시간을 적용함.)

변경된 이용불능도 값을 “RCW-IE.BE” 파일 및 “RSW-IE.BE” 파일에 적용하여 “RCW-IE” 및 “RSW-IE”를 정량화한 결과는 표 1에 정리되어 있다. 본 AOT 표준안이 반영된 $\Delta CDF/\Delta LERF$ 계산에서는 “RCW-IE” 값과 “RSW-IE” 값의 합을 “IE-SW” 값으로 새로 정의하여 사용한다.

표 1. $\Delta CDF/\Delta LERF$ 계산을 위한 초기사건 빈도 정량화 결과

초기사건 명	변경 전 초기사건 빈도	변경 후 초기사건 빈도		
		기기냉각수펌프 또는 관련 유로 1개 고장 시 AOT 72시간 평가 (Case1)	기기냉각수 열교환기 1개 고장 시 AOT 48시간 평가 (Case2)	기기냉각해수펌프 또는 관련 유로 1개 고장 시 AOT 72시간 평가 (Case3)
RCW-IE	4.46E-02	4.46E-02	4.46E-02	4.46E-02
RSW-IE	6.34E-02	6.34E-02	6.34E-02	6.34E-02
IE-SW	1.08E-01	1.08E-01	1.08E-01	1.08E-01

2.3.2 사건수목 모델

기기냉각수계통 및 기기냉각해수계통은 초기사건 발생 시 초기사건 완화 계통의 지원계통으로서 기능을 수행하며 사건수목에 직접 모델링되어 있지는 않다. 따라서 본 AOT 표준안으로 인해 사건수목 모델을 수정할 필요는 없다. 다만, 본 AOT 표준안으로 인해 기기냉각수계통 및 기기냉각해수계통 관련 초기사건 빈도가 변경되므로, 상기 ‘2.3.1 초기사건 빈도’에서 구한 “RCW-IE” 값과 “RSW-IE” 값의 합을 사건수목 모델의 “IE-SW” 값으로 적용하였다.

2.3.3 계통 고장수목 모델

본 AOT 표준안으로 인해 성공기준이 변경되는 것은 아니므로 계통 고장수목 모델을 수정할 필요는 없다. 다만, AOT 표준안을 반영하기 위해 고장수목 모델 중 논리 및 이용불능도 값 일부를 수정하였다. 이에 관한 구체적인 내용은 ‘2.3.4 시험 및 정비로 인한 이용불능도’ 항목에 서술되어 있다.

2.3.4 시험 및 정비로 인한 이용불능도

본 허용정지시간 표준안이 반영된 $\Delta CDF/\Delta LERF$ 계산을 위해, 계통 고장수목 모델 중 시험 및 정비 이용불능도 값을 수정하였으며, 수정된 기본사건 수는 기기냉각수펌프 또는 관련 유로 관련 AOT 평가 시 9개, 기기냉각수 열교환기 관련 AOT 평가 시 7개, 기기냉각해수펌프 또는 관련 유로 관련 AOT 평가 시 9개이다. 변경 후 이용불능도 값은 상기 ‘2.3.1 초기사건 빈도’에서 구한 방법과 동일하게 계산되었다.

또한, ICCDP/ICLERP 계산을 위해 초기사건 고장수목 및 계통 고장수목 모델에 대한 수정이 필요한 부분을 표 2에 정리하였다.

표 2. ICCDP/ICLERP 계산을 위한 초기사건/계통 고장수목 수정 필요 항목

평가 AOT	게이트 명	설 명
Case1	7134-RCWSPFS&FR	71340 RCW STANDBY PUMP (7004) FAILS TO START OR RUN
Case2	7134-HX7004FS&FF	71340 HX 7004 FAILS TO OPERATE ON DEMAND OR FAILS WHILE OPERATION
Case3	7131-RSWSPFS&FR	71310 RSW STANDBY PUMP (7754) FAILS TO START OR RUN

표 2의 게이트에서 수정한 구체적 내용을 표 3에 정리하였다.

표 3. ICCDP/ICLERP 계산을 위한 초기사건/계통 고장수목 수정 사항

평가 AOT	게이트 명	설 명
Case1	7134-RCWSPFS&FR	본 게이트의 하부 논리를 삭제하고 기본사건으로 변경한 후, 이용불능도 값으로 “1.0”을 할당
Case2	7134-HX7004FS&FF	본 게이트의 하부 논리를 삭제하고 기본사건으로 변경한 후, 이용불능도 값으로 “1.0”을 할당
Case3	7131-RSWSPFS&FR	본 게이트의 하부 논리를 삭제하고 기본사건으로 변경한 후, 이용불능도 값으로 “1.0”을 할당

표 3의 변경된 이용불능도 값을 “RCW-IE.BE” 파일 및 “RSW-IE.BE” 파일에 적용하여 “RCW-IE” 및 “RSW-IE”를 정량화한 결과는 표 4에 정리되어 있다.

표 4. ICCDP/ICLERP 계산을 위한 초기사건 빈도 정량화 결과

초기사건 명	변경 전 초기사건 빈도	변경 후 초기사건 빈도		
		Case1	Case2	Case3
RCW-IE	4.46E-02	7.63E-02	5.08E-02	4.46E-02
RSW-IE	6.34E-02	6.34E-02	6.34E-02	7.54E-02
IE-SW	1.08E-01	1.397E-01	1.142E-01	1.20E-01

2.4 PSA 모델을 이용한 위험도 평가

본 단계에서는, 다음과 같은 절차로 위험도 척도들에 대한 평가를 수행하여 본 AOT 표준안에 대한 위험도 평가 결과가 허용기준을 충족시키는지 판단하는 업무를 수행하였다.

2.4.1 Baseline CDF

월성 2,3,4호기 PSA 모델을 이용하여 Baseline CDF를 정량화하면 2.508E-5/Ry으로서 1.0E-4/Ry 미만으로 분석되었다.

2.4.2 ΔCDF

CDF(AOT 표준안 반영) 계산을 위해 먼저 초기사건 고장수목 모델(RCW-IE.CAF 또는 RSW-IE.CAF)에서 관련 시험 및 정비 이용불능도 값을 변경한 후, “RCW-IE” 또는 “RSW-IE”를 정량화한다. 그리고 “RCW-IE” 값과 “RSW-IE” 값의 합을 “IE-SW”의 값으로 새로 정의하여 사용한다. 아울러, 계통 고장수목 모델(SWS.KFT)에서 관련 시험 및 정비 이용불능도 값을 변경한 후 Δ CDF를 정량화한 결과는 다음과 같다:

$$\begin{aligned} \Delta \text{CDF} &= \text{CDF}(\text{AOT 표준안 반영}) - \text{Baseline CDF} & (2) \\ &= 2.508\text{E-}5/\text{Ry} - 2.508\text{E-}5/\text{Ry} = 0.0\text{E-}0/\text{Ry} (< 1.0\text{E-}6/\text{Ry}) : \text{Case1} \\ &= 2.508\text{E-}5/\text{Ry} - 2.508\text{E-}5/\text{Ry} = 0.0\text{E-}0/\text{Ry} (< 1.0\text{E-}6/\text{Ry}) : \text{Case2} \\ &= 2.508\text{E-}5/\text{Ry} - 2.508\text{E-}5/\text{Ry} = 0.0\text{E-}0/\text{Ry} (< 1.0\text{E-}6/\text{Ry}) : \text{Case3} \end{aligned}$$

분석 결과, 상기와 같이 Δ CDF는 ‘0’으로 계산되어 1.0E-6/Ry 미만으로 분석되었다.

2.4.3 Δ LERF

LERF(AOT 표준안 반영) 계산을 위해 먼저, 초기사건 고장수목 모델(RCW-IE.CAF 또는 RSW-IE.CAF)에서 관련 시험 및 정비 이용불능도 값을 변경한 후 “RCW-IE” 또는 “RSW-IE”를 정량화한다. 그리고 “RCW-IE” 값과 “RSW-IE” 값의 합을 “IE-SW”의 값으로 새로 정의하여 사용한다. 아울러, 계통 고장수목 모델(SWS.KFT)에서 관련 시험 및 정비 이용불능도 값을 변경한 후 Δ LERF를 정량화한 결과는 다음과 같다:

$$\begin{aligned} \Delta \text{LERF} &= \text{LERF}(\text{AOT 표준안 반영}) - \text{Baseline LERF} & (3) \\ &= 3.246\text{E-}7/\text{Ry} - 3.246\text{E-}7/\text{Ry} = 0.0\text{E-}0/\text{Ry} (< 1.0\text{E-}7/\text{Ry}) : \text{Case1} \\ &= 3.246\text{E-}7/\text{Ry} - 3.246\text{E-}7/\text{Ry} = 0.0\text{E-}0/\text{Ry} (< 1.0\text{E-}7/\text{Ry}) : \text{Case2} \\ &= 3.246\text{E-}7/\text{Ry} - 3.246\text{E-}7/\text{Ry} = 0.0\text{E-}0/\text{Ry} (< 1.0\text{E-}7/\text{Ry}) : \text{Case3} \end{aligned}$$

분석 결과, 상기와 같이 Δ LERF는 ‘0’으로 계산되어 1.0E-7/Ry 미만으로 분석되었다.

2.4.4 ICCDP

조건부 CDF(해당 기기가 이용불능인 상태에서의 조건부 CDF) 계산을 위해 먼저, 초기사건 고장수목 모델(RCW-IE.CAF 또는 RSW-IE.CAF)을 표 3에 나와 있는 바와 같이 수정한 후 “RCW-IE” 또는 “RSW-IE”를 정량화한다. 그리고 “RCW-IE” 값과 “RSW-IE” 값의 합을 “IE-SW”의 값으로 새로 정의하여 사용한다. 아울러, 계통 고장수목 모델(SWS.KFT)을 표 3에 나와 있는 바와 같이 수정한 후 ICCDP를 정량화한 결과는 다음과 같다:

$$\begin{aligned} \text{ICCDP} &= (\text{해당 기기가 이용불능인 상태에서의 조건부 CDF} - \text{Nominal} \\ &\quad \text{Baseline CDF}) \times \text{단일 AOT} & (4) \\ &= (2.709\text{E-}5/\text{Ry} - 2.508\text{E-}5/\text{Ry}) \times 72 \text{ hrs} = 3.965\text{E-}7 (< 5.0\text{E-}7) : \text{Case1} \\ &= (2.582\text{E-}5/\text{Ry} - 2.508\text{E-}5/\text{Ry}) \times 48 \text{ hrs} = 9.732\text{E-}8 (< 5.0\text{E-}7) : \text{Case2} \\ &= (2.738\text{E-}5/\text{Ry} - 2.508\text{E-}5/\text{Ry}) \times 72 \text{ hrs} = 4.537\text{E-}7 (< 5.0\text{E-}7) : \text{Case3} \end{aligned}$$

분석 결과, 상기와 같이 ICCDP는 5.0E-7 미만으로 분석되었다.

2.4.5 ICLERP

조건부 LERF(해당 기기가 이용불능인 상태에서의 조건부 LERF) 계산을 위해 먼저, 초기사건

고장수목 모델(RCW-IE.CAF 또는 RSW-IE.CAF)을 표 3에 나와 있는 바와 같이 수정한 후 “RCW-IE” 또는 “RSW-IE”를 정량화한다. 그리고 “RCW-IE” 값과 “RSW-IE” 값의 합을 “IE-SW”의 값으로 새로 정의하여 사용한다. 아울러, 계통 고장수목 모델(SWS.KFT)을 표 3에 나와 있는 바와 같이 수정한 후 ICLERP를 정량화한 결과는 다음과 같다:

$$\begin{aligned}
 \text{ICLERP} &= (\text{해당 기기가 이용불능인 상태에서의 조건부 LERF} - \text{Nominal} \\
 &\quad \text{Baseline LERF}) \times \text{단일 AOT} \tag{5} \\
 &= (3.341\text{E-}7/\text{Ry} - 3.246\text{E-}7/\text{Ry}) \times 72 \text{ hrs} = 1.874\text{E-}9 (< 5.0\text{E-}8) : \text{Case1} \\
 &= (3.264\text{E-}7/\text{Ry} - 3.246\text{E-}7/\text{Ry}) \times 48 \text{ hrs} = 2.367\text{E-}10 (< 5.0\text{E-}8) : \text{Case2} \\
 &= (3.322\text{E-}7/\text{Ry} - 3.246\text{E-}7/\text{Ry}) \times 72 \text{ hrs} = 2.122\text{E-}8 (< 5.0\text{E-}8) : \text{Case3}
 \end{aligned}$$

분석 결과, 상기와 같이 ICLERP는 5.0E-8 미만으로 분석되었다.

3. 결 론

가압중수로 표준운영기술지침서에서는 기기냉각수펌프 및 관련 유로, 기기냉각수 열교환기, 기기냉각해수펌프 및 관련 유로 각각 4개중 1개가 운전불가능할 경우 각각 72시간, 48시간 및 72시간의 AOT를 갖도록 하는 조치가 제시되었다. 위험도 정보를 활용하여 새로 설정된 AOT를 평가한 결과, 표 5에 나타난 바와 같이 USNRC Reg. Guide 1.174 및 1.177에서 제시한 허용기준을 만족하였다. 또한 본 AOT 표준안으로 인해 심층방어 및 안전여유도는 향상되는 효과가 있으며, 발전소 배열이 변경되는 사항은 없다. 따라서 표준운영기술지침서에서 새로 설정된 기기냉각수계통 및 기기냉각해수계통 관련 AOT 표준안은 표준 AOT로서 채택될 수 있는 것으로 분석되었다. 그리고 기기냉각수 열교환기 4개중 1개가 운전불가능할 경우 주어진 48시간의 AOT는 민감도 분석을 통하여 72시간으로 설정할 수 있을 것으로 판단된다.

표 5. AOT 표준안에 대한 위험도 평가 결과

위험도 척도	허용기준	정량화결과		
		기기냉각수펌프 또는 관련 유로 1개 고장 시 AOT 72시간 평가 (Case1)	기기냉각수 열교환기 1개 고장 시 AOT 48시간 평가 (Case2)	기기냉각해수펌프 또는 관련 유로 1개 고장 시 AOT 72시간 평가 (Case3)
Baseline CDF	< 1.0E-4/Ry	2.508E-5/Ry	2.508E-5/Ry	2.508E-5/Ry
△CDF	< 1.0E-6/Ry	0.000E-0/Ry	0.000E-0/Ry	0.000E-0/Ry
△LERF	< 1.0E-7/Ry	0.000E-0/Ry	0.000E-0/Ry	0.000E-0/Ry
ICCDP	< 5.0E-7	3.965E-7	9.732E-8	4.537E-7
ICLERP	< 5.0E-8	1.874E-9	2.367E-10	2.122E-8

참고문헌

1. “월성 2호기 운영기술지침서”, 한국수력원자력주식회사, 2001.
2. 성장경 외, “가압중수로 표준운영기술지침서(안)”, TM.02NE04.12004.069, 전력연구원, 2004.
3. “가압중수로 원전 2단계 확률론적 안전성 평가”, TR.93NJ10.97.67-2, 전력연구원, 1997.
4. 임재원,최성수,김태운,서정관,성장경, “중수로 전출력 운전 시 운전제한조건 관련 계통의 STI/AOT에 대한 위험도 평가”, 한국원자력학회 2003 춘계학술발표회 논문집, 경주, 2003.
5. WCAP-15622, “Risk-Informed Evaluation of Extensions to AC Electrical Power System Completion Times”, Westinghouse Electric Co., 2001.
6. Regulatory Guide 1.174, “An Approach for Using PRA in Risk-Informed Decision on Plant Specific Changes to the Licensing Basis”, USNRC, 1998.
7. Regulatory Guide 1.177, “An Approach for Plant-Specific, Risk-Informed Decisionmaking Technical Specifications”, USNRC, 1998.

3/4.9.3 기기냉각수(RCW) 계통

운전 제한 조건

3.9.3 기기냉각수 계통이 아래와 같이 운전 가능하여야 한다.

- 가. 기기냉각수 관련 유로
- 나. 기기냉각수 펌프 및 열교환기 각각 4대중 3대
- 다. 기기냉각수 누설율 3.8ℓ/초 이내

적 용 : 운전모드 1, 2, 3, 4

조 치 : 가. 기기냉각수 펌프 또는 열교환기 4대 중 2대 이상이 운전 불가능하면 즉시 정비를 착수하고 기기냉각수 온도를 감시하며, 기기냉각수 온도가 35℃를 초과하면 원자로 출력을 감발한다.
만일 기기냉각수 온도가 1시간 이내에 35℃ 이하로 떨어지지 않으면 다음 4시간 이내에 원자로를 고온정지 상태로 하고, 다음 6시간 이내에 상온정지 상태로 한다.
나. 기기냉각수 누설율이 상기 제한치를 초과하여 1시간 이내에 복구되지 않으면 다음 4시간 이내에 원자로를 고온정지 상태로 하고, 다음 6시간 이내에 상온정지 상태로 한다.

그림 1. 기기냉각수계통 관련 현행 운전제한조건

3/4.9.3 기기냉각해수(RSW) 계통

운전 제한 조건

3.9.3 기기냉각해수 계통이 아래와 같이 운전 가능하여야 한다.

- 가. 기기냉각해수 관련 유로
- 나. 기기냉각해수 펌프 및 기기냉각수 열교환기 각각 4대중 3대
- 다. 기기냉각해수 펌프 흡입해수 수위 4m 이상

적 용 : 운전모드 1, 2, 3, 4

조 치 : 가. 기기냉각해수 펌프 또는 열교환기 4대 중 2대 이상이 운전 불가능하면 즉시 정비를 착수하고 기기냉각수 온도를 감시하며, 기기냉각수 온도가 35℃를 초과하면 원자로 출력을 감발한다.
만일 기기냉각수 온도가 1시간 이내에 35℃ 이하로 떨어지지 않으면 다음 4시간 이내에 원자로를 고온정지 상태로 하고, 다음 6시간 이내에 상온정지 상태로 한다.
나. 기기냉각해수 펌프 흡입해수 수위가 4m 이하이면 기기냉각해수 펌프 1대를 정지하고, 흡입해수 수위가 1.6m 이하로 떨어지면 2대의 기기냉각해수 펌프를 정지한다.

그림 2. 기기냉각해수계통 관련 현행 운전제한조건

3.7 발전소 계통

3.7.3 기기냉각수계통

운전제한조건 3.7.3 기기냉각수계통은 **운전가능**하여야 한다.

적용 **운전모드 1, 2, 3**

불만족시 조치

불만족상태	조치요구사항	제한시간
1. 1개의 기기냉각수 펌프 또는 관련 유로가 운전 불가능 할 때	1.1 운전가능 한 상태로 복구한다.	72시간
2. 1개의 기기냉각수 열교환기가 운전불가능 할 때	2.1 운전가능 한 상태로 복구한다.	48시간
(이하 생략)		

그림 3. 기기냉각수계통 관련 표준 운전제한조건

3.7 발전소 계통

3.7.4 기기냉각해수계통

운전제한조건 3.7.3 기기냉각해수계통은 **운전가능**하여야 한다.

적용 **운전모드 1, 2, 3**

불만족시 조치

불만족상태	조치요구사항	제한시간
1. 1개의 기기냉각해수 펌프 또는 관련 유로가 운전불가능 할 때	1.1 운전가능 한 상태로 복구한다.	72시간
(이하 생략)		

그림 4. 기기냉각해수계통 관련 표준 운전제한조건