

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

6.3 비상노심냉각계통

6.3.1 설계기준

6.3.1.1 개요

비상노심냉각계통 혹은 안전주입계통은 냉각재상실사고와 같은 발생가능성이 희박한 사고 시 노심냉각을 할 수 있도록 설계하였다. 비상노심냉각계통은 냉각재상실사고 후 상당기간 동안 노심의 심각한 변형을 막고, 핵연료 용융을 방지하며, 핵연료피복재와 냉각재와의 반응을 제한하고, 노심 내에 발생하는 에너지를 제거하며, 노심을 미임계상태로 유지하도록 한다.

이러한 기능요건을 만족하기 위하여 안전계통은 다중의 능동 및 수동적인 주입 부계통을 이용한다. 안전주입계통의 능동기기는 고압 및 저압의 안전주입펌프와 관련된 밸브들이고, 수동기기는 안전주입탱크, 배관 및 계기들이다.

안전주입계통은 주증기관파단사고와 같은 예상치 않은 사고 시 노심에 부반응도를 증가시키기 위하여 원자로냉각재계통에 봉산수를 주입하는 기능도 담당한다. 증기발생기전열관파단사고나 제어봉집합체인출사고와 같은 사고에서도 안전주입이 이루어진다. 이러한 안전주입계통은 자동적으로 작동한다. 또한 안전주입계통은 발생가능성이 희박한 2차측 완전급수상실사고 시 안전감압계통과 더불어 방출 및 주입운전을 통하여 붕괴열을 제거하는 기능을 제공한다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

6.3.1.2 기준

6.3.1.2.1 기능적 설계기준

- 가. 고압안전주입펌프와 저압안전주입펌프의 차단수두와 유량은 6.3.1.1절의 기능적 요건을 만족시키기 위해서 원자로냉각재계통에 적절한 유량을 공급하도록 선정하였다.
- 나. 안전주입계통의 작동유체는 6.3.1.1절의 기능적 요건을 완수하는 데 충분한 양의 봉산수를 재장전수탱크에 저장하고 있다.
- 다. 안전주입계통은 파단위치에 상관없이, 각각의 주입 부분에 거의 균등한 유량을 주입하도록 설계한다.

6.3.1.2.2 신뢰도 공학적 설계기준

- 가. 6.3.1.1절에 정의된 안전기능은 안전주입운전모드 시에는 단일능동 기기고장을, 재순환운전모드 시에는 기기의 단일능동고장 또는 제한된 누설의 피동고장을 가정하고도 완수할 수 있다. 고장분석 시 소내 전력계통을 포함한 모든 필요한 보조계통은 안전주입계통의 일부분으로 간주한다. 고장유형 및 영향분석은 표 6.3-2에 나타나 있다.
- 나. 냉각재상실사고 후 반드시 작동해야 하는 안전주입계통의 기기와 계기는 3.11절에 기술한 환경에서 작동하도록 설계한다.
- 다. 안전주입계통은 냉각재상실사고 전기간 동안 6.3.1.1절의 기능을 수행할 수 있도록 설계한다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

라. 안전주입계통은 내진범주 I급의 요건에 따라 설계한다.

6.3.2 계통 설계

6.3.2.1 계통 개요

안전주입계통 배관 및 계장도는 그림 6.3-1에 제시하였다. 이 계통의 주요 기기는 고압 안전주입펌프와 저압안전주입펌프, 안전주입탱크, 고압주입밸브, 저압주입밸브이다. 또한 화학 및 체적제어계통의 재장전수탱크를 안전주입탱크의 수원으로 사용한다(9.3.4절). 주요 기기는 다음 절에서 설명한다.

6.3.2.2 기기 설명

주요 기기의 설계변수와 코드의 요약은 표 6.3-1에 제시하였다. 표 6.3-3은 공정계측을 설명하며, 표 6.3-4는 유량자료를 제공하고 표 6.3-5는 유효흡입수두와 수두손실 요건을 나열하고 있다. 6.3.3절은 원자로냉각재배관 파단의 전 범위에서 노심 보호를 위하여 사용하는 기기들을 열거하고 있다.

6.3.2.2.1 안전주입탱크

4개의 안전주입탱크는 냉각재상실사고로 인하여 원자로냉각재계통이 감압되면 저장된 봉산수를 원자로냉각재계통으로 방출한다. 각 탱크는 원자로용기 입구 부근의 원자로냉각재계통 저온관에 위치한 안전주입 노즐을 통해 원자로냉각재계통에 연결되어 있다. 정상 운전 중 각 안전주입탱크는 직렬로 연결된 2개의 역류방지밸브로 원자로냉각재계통과 격리되어 있다. 원자로 운전 중 원자로냉각재계통 압력이 안전주입탱크 압력이하로 감압되면 안전주입탱크의 봉산수는 원자로냉각재계통으로 자동방출 된다. 안전주입탱크 방출배

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

관에 설치한 전동기구동 격리밸브는 사고 전이나 진행 중에 부주의한 닫힘을 방지하기 위해서 가압기 압력 측정채널과 연동시켰고, 원자로냉각재계의 압력이 $36.2\text{kg/cm}^2\text{A}$ (515psia)에 도달하면 자동으로 열린다. 이 밸브는 열린 후에 주제어실에서 행정통제 열림상태로 유지되며, 전동기의 전원은 차단된다(7.6절 참조).

정상출력 운전 중 부주의에 의해 원자로냉각재계의 압력이 $125.1\text{kg/cm}^2\text{A}$ ($1,780\text{psia}$) 이하로 감소하면 비록 열린 상태로 고정되어 있는 밸브라도 안전주입작동신호의 열림 확인신호를 받는다. 기동과 정지운전 중에는 7.2.1.1.6절에 기술한 가변설정치를 사용한다. 발전소 냉각 중에 원자로냉각재계의 압력이 $45.0\text{kg/cm}^2\text{A}$ (640psia)에 이르렀을 때 안전주입탱크의 압력은 운전원에 의해 28.1kg/cm^2 (400psig)까지 낮추어진다. 원자로냉각재계의 압력이 $30.2\text{kg/cm}^2\text{A}$ (430psia)로 감소될 때까지 안전주입탱크 밸브는 가압기 압력과의 연동으로 닫히는 것이 방지된다. 원자로냉각재계의 압력이 $29.2\text{kg/cm}^2\text{A}$ (415psia)로 낮아질 때 안전주입탱크 격리밸브가 운전원에 의하여 닫힌 경우에도 안전주입작동신호가 발생하면 이 밸브는 다시 열린다. 이 운전모드에서 질소공급밸브의 누설이나 질소공급밸브 스위치의 우발적인 고장에 의한 안전주입탱크의 부주의한 재가압은 서로 분리된 수동스위치를 가진 2개의 고장 시 닫히는 밸브를 각 안전주입탱크 질소공급관에 직렬로 설치함으로써 방지한다. 질소공급밸브를 구동하는 공기의 공급을 솔레노이드 밸브로 조절한다. 각각의 안전주입탱크에 있는 2개의 질소공급밸브 솔레노이드는 다중적이고 물리적으로 분리된 전기계열을 통하여 상호분리된 전기모선에 연결되어 있다. 이러한 계열의 고장이 2개의 질소공급밸브를 오류로 열리지 않도록 보장하기 위함이다.

원자로냉각재의 압력이 $36.2\text{kg/cm}^2\text{A}$ (515psia)로 증가하면 가압기 압력과의 연동으로 안전주입탱크 격리밸브는 자동으로 열린다. 운전원은 가압기 압력이 $45.0\text{kg/cm}^2\text{A}$ (640psia)에 이르면 안전주입탱크를 재가압한다. 탱크가 가압이 되지 않으면 가압기 압력 $50.3\text{kg/cm}^2\text{A}$ (715psia)에서 경보음이 발생한다.

안전주입탱크의 가스/액체의 비율과 가스압, 출구관 크기는 냉각재상실사고 후 피복재 용

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

용이나 지르코늄-냉각재 반응이 일어나기 전에 4개의 탱크 중 3개로 노심을 복구할 수 있도록 선정하였다. 탱크의 물 용량은 원자로냉각재계통의 취출(blowdown)이 끝나기 전에 모든 안전주입 유량이 상실된다는 가정하에 보수적으로 계산하였다.

탱크는 재장전에 필요한 최소 봉산농도를 가진 봉산수로 채워져 있고 질소가스로 공칭압력 42.9 kg/cm^2 (610 psig) 상태로 가압되어 있다.

탱크의 상태를 감시하기 위하여 다중의 수위 및 압력 계측장비(6.3.5.3절 및 표 7.5-2에 자세히 기술됨)를 제공하였다. 다양한 발전소 운전모드동안 운영기술지침서가 요구한 상태로 안전주입탱크를 유지할 수 있도록 충분히 시각적이고 청각적인 지시장치가 주 제어실에 설치되었다. 시료채취, 충수, 배수, 그리고 봉산농도를 교정하는 장치를 제공하였다. 탱크의 배기를 위하여 대기 배기밸브를 제공하였다. 이들은 닫힌 채로 잠겨 있으며 각 밸브에 공급되는 전원을 발전소 정상운전 중에는 차단한다. 이로써 발전소 정상운전 중 부주의한 탱크 배기를 방지할 수 있다. 안전주입탱크의 자료는 표 6.3-1에 요약되어 있다.

6.3.2.2.2 저압안전주입펌프

저압안전주입펌프는 두 가지의 기능을 수행한다. 하나는 원자로냉각재계통 배관의 대형 파단사고 시 원자로냉각재계통에 다량의 봉산수를 주입하는 기능이다. 이러한 조건하에서 6.3.1.1절에서 기술한 기능요건을 만족하기 위해서 충분한 유량을 공급한다. 저압안전주입펌프의 다른 기능은 정상적인 발전소 정지냉각 운전 중이나 장기 노심냉각에 필요한 경우 노심과 정지냉각열교환기로 흐르는 정지냉각 유량을 공급하는 것이다. 전형적인 펌프의 특성곡선이 그림 6.3-6에 나타나 있다(5.4.7절 참조).

정상운전 중에는 전동기구동 밸브를 이용하여 저압안전주입펌프를 원자로냉각재계통과 격리한다. 안전주입 중에는 계통압력이 펌프 차단수두 이하이면 저압안전주입펌프가 재장전수탱크에서 원자로냉각재계통으로 안전주입노즐을 통하여 봉산수를 공급한다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

저압안전주입펌프의 용량은 정지냉각 기능에 따라 결정된다. 1대의 저압안전주입펌프로 공급 가능한 유량은 정지냉각 시작(정지 후 3.5시간) 시에 노심의 온도차를 허용가능한 수준으로 유지하기에 충분하다.

저압안전주입펌프의 설계온도는 정지냉각 운전을 개시하는 약 176.7 °C (350 °F)의 원자로 냉각재 온도에 설계여유를 더한 204.4 °C (400 °F)를 사용한다. 저압안전주입펌프의 설계 압력은 정지냉각계통의 설계압력에 근거한다(5.4.7.2.1절 참조).

저압안전주입펌프는 직립형이며, 1단 원심형이고 부싱이 장치된 기계적 접촉면이 있는 밀봉을 갖추고 있으며, 밀봉을 통과한 누설을 모으는 누설연결관이 있다. 밀봉장치는 204.4 °C (400 °F)의 작동유체에 대하여 운전하도록 설계하였다. 펌프 전동기는 부하가 있을 때 구동기기를 기동하고 가속시켜 5초 이내에 설계회전속도에 이르도록 명시하였다. 이는 초기전압이 전동기 접속단자에서 정격의 75%에서 처음 3초 이내에 90% 전압에 이르고 그 다음 2초 후 100%에 이르는 것에 근거한다.

펌프에는 정비 이전에 방사능 준위를 감소시키기 위한 배수 및 세척 연결부가 있다. 압력지지부는 스테인리스강으로 제작한다. 내부 재질은 붕산용액에 적합하게 선택한다. 펌프는 폐회로에서 기동할 때의 손상을 방지하기 위해 최소유량우회설비가 제공된다. 저압안전주입펌프의 자료는 표 6.3-1에 요약되어 있다. 펌프의 정지냉각 기능은 5.4.7절에 기술하였다.

6.3.2.2.3 고압안전주입펌프

고압안전주입펌프의 주기능은 원자로냉각재계통경계에서 파단이 일어날 경우 원자로냉각재계통으로 붕산수를 주입하는 것이다. 소형파단의 경우 원자로냉각재계통 압력은 사고 후 장기간 고압으로 유지되며, 고압안전주입펌프는 6.3.1절에 기술된 기준을 만족하기 위

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

하여 충분한 주입유량을 보장한다. 또한 고압안전주입펌프는 재순환 운전기간 중에 노심상부가 냉각재상실사고 후 상당기간 동안 봉산수로 채워지도록 유지하는 데 사용된다. 장기 노심냉각 시 고온관과 저온관의 동시주입을 위하여 고압안전주입펌프를 수동으로 재정렬한다. 이로써 파단위치에 무관하게 노심을 봉산수로 채우고 최종적 과냉각 상태를 보장한다. 증기발생기전열관 파단사고나 제어봉집합체 이탈사고를 포함한 소형파단 시 고압안전주입펌프는 정상적인 냉각이 진행되는 동안 파단부위로 흘러 넘치는 냉각수를 보충하기 위해 원자로냉각재계통으로 계속 냉각수를 주입한다. 또한 고압안전주입펌프는 2차측 완전급수상실사고 시 노심의 잔열 제거를 위해 주입 기능을 수행한다.

정상운전 중 고압안전주입펌프는 전동기구동 밸브로 원자로냉각재계통과 격리시킨다. 안전주입 중에 고압안전주입펌프는 원자로냉각재계통의 압력이 펌프의 차단수두보다 낮으면 언제나 저온관 안전주입노즐을 통해 재장전수탱크에서 원자로냉각재계통으로 물을 공급한다. 재순환 운전 중에는 원자로건물 재순환집수조에서 물을 공급받는다.

고압안전주입펌프의 용량은 파단부 밖으로 직접 흘러 넘침을 고려하여 1대의 펌프가 노심의 노출을 최소화하기 위해 붕괴열에 의한 냉각수의 비등이탈(boil-off)량에 해당하는 충분한 물을 즉시 공급하고, 소형 냉각재상실사고 시 10 CFR 50.46의 성능기준을 만족할 수 있는 충분한 양의 물을 노심에 공급할 수 있도록 설계하였다. 전형적인 펌프의 특성곡선은 그림 6.3-7에 있다. 또한 펌프 용량이 적절히 결정되었는지를 입증하기 위하여 주증기관파단사고 시의 펌프 효과성 분석을 수행하였다.

펌프에는 기계적 축밀봉이 제공되고 밀봉을 통과한 모든 누설을 수집하기 위한 장치가 있다. 밀봉장치는 176.7 °C (350 °F)의 작동유체에도 운전할 수 있도록 설계하였다.

펌프 전동기는 부하가 있을 때 구동기기를 기동하고 가속시켜 설계회전속도까지 5초 이내에 도달하도록 명시하고 있다. 이는 초기전압이 전동기 접속단자에서 정격의 75%에서 처음 3초 내에 90% 전압에 이르고 그로부터 2초 후 100%에 이르는 것에 근거한다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

펌프에는 정비 이전에 방사능 준위를 감소시키기 위한 배수와 세척 연결부가 있다. 펌프의 압력지지부는 내부를 붕산용액에 적합하게 선택된 스테인리스강으로 가공된다. 선택한 재료는 설계 과도현상 때의 차등팽창 수용여부를 입증하기 위하여 분석한다.

펌프는 폐회로에서 작동할 때 손상을 방지하기 위한 최소유량우회설비가 함께 제공된다. 또한 고압안전주입펌프의 저유량 경보를 제공하기 위한 초음파 유량계가 있다.

설계온도는 원자로건물 설계압력에서의 원자로냉각재 포화온도에 설계여유를 주어 정한다. 고압안전주입펌프의 설계압력은 차단수두에 최대 원자로건물 압력 및 설계여유를 더하여 정한다. 고압안전주입펌프의 자료는 표 6.3-1에 제시하였다.

6.3.2.2.4 배관

배관의 주기능은 안전주입탱크와 재장전수탱크에서 안전주입펌프를 통하여 붕산수를 원자로냉각재계통 안전주입노즐로 수송하는 것이다. 주요 배관의 구성은 다음과 같다(그림 6.3-1 참조).

- 가. 각각의 안전주입탱크로부터 원자로냉각재계통 저온관 안전주입노즐까지의 배관
- 나. 재장전수탱크와 원자로건물 재순환집수조로부터 고압안전주입펌프와 저압안전주입펌프의 흡입측까지의 다중 배관
- 다. 고압안전주입펌프의 방출측으로부터 다중의 고압안전주입 모관까지의 다중 배관과 여기에 연결된 4개의 저온관 안전주입노즐과 2개의 정지냉각 흡입배관 안전주입노즐

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

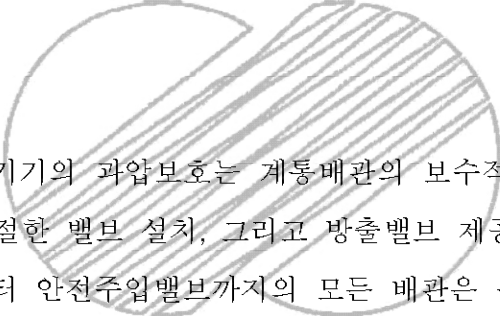
라. 저압안전주입펌프의 방출측으로부터 각 저압안전주입 모관까지의 다중 배관과 여기에 연결된 4개 중 2개의 저온관 안전주입노즐

안전주입계통의 배관은 오스테나이트 스테인리스강으로 제작하였고, KEPIC MN에 따라 설계하였다. 계통배관의 구조적 건전성을 입증하기 위하여 탄력성과 지진부하 해석을 수행하였다.

6.3.2.2.5 밸브

안전주입계통 밸브의 목록은 표 6.3-6에 제시하였다.

가. 방출밸브



안전주입계통기기의 과압보호는 계통배관의 보수적 설계, 고압배관과 저압배관 사이의 적절한 밸브 설치, 그리고 방출밸브 제공으로 이루어진다. 원자로 냉각재계통부터 안전주입밸브까지의 모든 배관은 원자로냉각재계통의 최고압력에 견디도록 설계하였다. 또한 충전펌프의 방출측과 연결된 고압 모관은 모관 역류방지밸브까지 원자로냉각재계통 최고압력으로 설계하였다. 방출밸브는 해당 규격의 요구에 따라 공급한다. 모든 방출밸브는 완전 밀폐형 압력 밀봉 형식으로 열림방지(gagging) 설비와 함께 제공된다.

안전주입계통의 방출밸브 목록은 다음과 같다.

- 1) 441-V-211, 221, 231, 241, 안전주입탱크 방출밸브

안전주입탱크 방출밸브의 크기는 탱크로 유입되는 액체나 기체의 최대 충전율로부터 안전주입탱크를 보호하도록 결정한다. 방출밸브는 액체나

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

기체를 원자로건물로 방출한다. 설정압력은 49.2 kg/cm^2 (700psig) 이며 가스의 경우 $169.9 \text{ m}^3/\text{min}$ ($6,000 \text{ ft}^3/\text{min}$), 액체의 경우 밸브당 870 L/min (230 gpm) 용량을 가지고 있다.

2) 441-V-473, 역류방지밸브 누설 방출밸브

방출밸브는 역류방지밸브 누설회수관에 설치한다.

이 방출밸브의 용량은 역류방지밸브 시험 후나 정상운전 중에 주입 배관의 압력을 제거하고자 할 때 그 배관의 과압을 방지하도록 결정한다. 이 밸브는 유체를 원자로배수탱크로 방출한다. 설정압력은 144.16 kg/cm^2 (2,050psig)이며, 용량은 132.5 L/min (35 gpm) 이다.

3) 441-V-474 및 441-V-407, 안전주입탱크 충수관 방출밸브

이 방출밸브는 온도증가로 인한 과압을 방지하기 위하여 안전주입탱크 충수 배관에 설치한다. 441-V-474는 원자로배수탱크로 방출하며, 441-V-407은 기기배수탱크로 방출한다. 설정치는 144.16 kg/cm^2 (2,050psig)이고, 밸브당 용량은 37.85 L/min (10gpm)이다.

4) 441-V-439 및 441-V-449, 저압안전주입 방출밸브

이 방출밸브들은 온도증가에 의한 압력증가로부터 각각의 격리된 저압안전주입 배관을 보호한다. 이 밸브들은 기기배수탱크로 방출한다. 설정압력은 63.3 kg/cm^2 (900psig) 이며, 용량은 밸브당 37.85 L/min (10 gpm) 이다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

5) 441-V-409 및 441-V-417, 안전주입 고온관 주입배관 방출밸브

이 방출밸브들의 크기는 온도증가에 의한 압력증가로부터 격리된 고압안전주입 모관을 보호하도록 결정한다. 이 밸브들은 기기배수탱크로 방출한다. 441-V-409의 설정압력은 144.16 kg/cm^2 (2,050 psig) 이며, 441-V-417은 174.7 kg/cm^2 (2,485 psig) 이다. 용량은 각각 37.85 L/min (10 gpm) 이다.

6) 441-V-166 및 441-V-468, 고압안전주입 방출밸브

이 방출밸브들은 고압안전주입 모관을 충전펌프 배출압으로부터 보호한다. 이 밸브들은 기기배수탱크로 방출하며 설정압력은 174.7 kg/cm^2 (2,485 psig) 이고, 용량은 각각 548.83 L/min (145 gpm) 이다.

7) 441-V-288, 저압안전주입 방출밸브

이 밸브는 온도증가로 인한 압력상승 조건에서 격리된 저압안전주입 시험배관을 보호하도록 용량을 결정한다. 이 밸브는 기기배수탱크로 방출하며, 설정압력은 63.3 kg/cm^2 (900 psig) 이고, 용량은 37.85 L/min (10 gpm) 이다.

8) 441-V-285 및 441-V-286, 안전주입펌프 우회배관 방출밸브

이 밸브들의 용량은 온도상승으로 인한 압력증가로부터 안전주입펌프의 우회관을 보호하도록 결정한다. 이 밸브들은 기기배수탱크로 방출한다. 설정압은 144.16 kg/cm^2 (2,050 psig) 이며, 용량은 밸브당 37.85 L/min (10 gpm) 이다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

9) 441-V-191 및 441-V-194, 정지냉각열교환기 출구배관 방출밸브

이 밸브들의 용량은 온도상승으로 인한 압력증가로부터 격리된 정지냉각열교환기 모관을 보호하도록 결정한다. 이 밸브들은 기기배수탱크로 방출한다. 설정압력은 63.3 kg/cm^2 (900 psig) 이며, 용량은 밸브당 454.2 L/min (120 gpm) 이다.

10) 441-V-161 및 441-V-193, 정지냉각열교환기 방출밸브

이 밸브들은 온도상승으로 인한 과압으로부터 각각의 격리된 정지냉각열교환기 방출배관을 보호한다. 이 밸브들은 기기배수탱크로 방출한다. 설정압력은 63.3 kg/cm^2 (900 psig) 이며, 용량은 밸브당 37.85 L/min (10 gpm) 이다.

11) 441-V-169 및 441-V-469, 정지냉각흡입배관 방출밸브

이 밸브들은 온도상승으로 인한 과압으로부터 각각의 격리된 정지냉각흡입배관을 보호한다. 이 밸브들은 원자로배수탱크로 방출하며, 설정압력은 174.7 kg/cm^2 (2,485 psig) 이고, 용량은 밸브당 56.82 L/min (15 gpm) 이다.

나. 구동기작동 조절밸브 및 정지밸브

구동신호의 상실이나 전원상실 시 각각의 밸브위치는 안전한 운전을 보장하기 위하여 결정된다. 임의의 주어진 밸브의 고장위치를 선정할 때 계통의 다중성을 고려한다. 밸브의 위치지시는 그림 6.3-1에 나타난 바와 같이 주 제어

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

반에 제공된다. 효율적이고 안전한 운전을 위해 필요하다면 주제어반에 잠금 장치를 가진 제어스위치를 제공하거나 또는 무효화 수동핸들을 제공한다. 모든 구동기작동 밸브는 랜턴링 누수 연결관이 있는 이중 패킹으로 밸브축 누설을 조절한다.

안전주입펌프가 최대허용유량을 초과하는 것을 방지하고 비상운전 중에 유량을 균등하게 배분하는 유량제한장치를 사용한다.

다. 역류방지밸브

모든 역류방지밸브는 완전 밀폐형이다. 펌프 흡입배관에 있는 역류방지밸브는 유동저항 특성이 연결하는 배관과 크기가 같은 스윙 역류방지밸브와 같거나 작은 저압력강하형의 밸브이다. 원자로냉각재계통으로부터 안전주입계통을 격리하는 역류방지밸브는 주기적인 기능시험을 수행한다.

6.3.2.2.6 원자로건물 재순환집수조

원자로건물 재순환집수조에 대한 자세한 설명은 6.2.2절에 기술하였다.

6.3.2.3 적용코드와 분류

6.3.2.2절과 표 6.3-1 참조.

6.3.2.4 재료의 규격과 적합성

안전주입계통 기기제작에 사용하는 재료는 표 6.3-1에 기기의 설계변수와 함께 제시하였다. 기본적으로 원자로냉각재와 접촉하는 모든 재료는 오스테나이트 스테인리스강이고

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

밸브 시트는 스텔라이트 또는 이와 동등한 재질이다. 능동기기와 수동기기 제작에 사용되는 재료를 평가한 결과 선정된 재료는 가장 혹독한 환경에 견딜 수 있고 모든 코드요건을 만족하였다.

6.3.2.5 계통 신뢰도

6.3.2.5.1 안전주입탱크

상부가 질소가스로 가압된 봉산수를 가진 안전주입탱크는 운전을 위해 운전원 조치나 전기적 신호가 필요없기 때문에 수동 주입계통에 해당한다. 각 탱크는 정상운전 중에 원자로냉각재계통으로부터 탱크를 격리시키는 2개의 역류방지밸브를 가진 별도의 배관으로 해당 저온관과 연결된다. 원자로냉각재계통 압력이 탱크압력보다 낮아지면 역류방지밸브가 열리고 원자로냉각재계통으로 가압봉산수를 방출한다.

6.3.3절의 성능평가는 공급되는 냉각재의 공급량이 적절함을 입증하고 있다. 정지냉각재통의 부주의한 과압을 막기 위하여 원자로냉각재계통 압력이 $45.0 \text{ kg/cm}^2\text{A}$ (640 psia) 이하로 낮아지면 안전주입탱크 압력을 28.1 kg/cm^2 (400 psig)로 낮추며 탱크 격리밸브는 이 압력에서 닫혀진다. 이 때, 가압기 압력과의 연동은 가압기의 압력이 $30.2 \text{ kg/cm}^2\text{A}$ (430 psia) 이상이면 격리밸브들이 닫히지 않도록 한다. 정지냉각 중에 냉각재상실사고와 같은 예기치 않은 사고가 발생하면 안전주입작동신호가 자동으로 안전주입탱크 격리밸브를 연다.

정지냉각 중에 질소공급밸브의 누설이나 밸브스위치의 우발적인 고장에 의한 안전주입탱크의 부주의한 재가압은 고장 시 닫히는 서로 분리된 수동스위치를 가진 두 개의 밸브를 직렬로 설치함으로써 방지한다. 질소공급밸브를 구동하는 공기의 공급은 솔레노이드밸브에 의하여 조절된다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

각 안전주입탱크마다 2개의 질소공급밸브 솔레노이드를 다중적이고 물리적으로 분리된 전기계열을 통해 각각의 전기모선에 연결한다. 이는 한 계열의 고장으로 인하여 2개의 질소공급밸브가 불필요하게 동시에 열리지 않도록 보장한다.

안전주입탱크 방출측의 전동기구동 격리밸브는 계통압력이 $36.2 \text{ kg/cm}^2\text{A}$ (515 psia)로 증가할 때 자동으로 열리도록 가압기 압력과 연동되어 있다. 원자로냉각재계통 압력이 $45.0 \text{ kg/cm}^2\text{A}$ (640 psia)로 증가하면 운전원은 안전주입탱크를 재가압한다. 탱크가 가압이 되지 않으면 가압기 압력 $50.3 \text{ kg/cm}^2\text{A}$ (715 psia)에서 경고음이 발생한다. 밸브 조작에 관한 자세한 사항은 7.6절에 기술하였다.

안전주입탱크의 대기방출밸브는 닫힌 상태로 잠겨있으며 고장 시 닫히고, 정상운전 시 솔레노이드 밸브의 전원은 차단된다. 이는 원자로냉각재계통 출력운전 중에 탱크가 배기되지 않도록 보장하기 위함이다.

6.3.2.5.2 고압 및 저압 안전주입 부계통

두 계열의 다중 고압안전주입 부계통을 제공한다. 각 펌프와 이와 관련된 밸브들은 각각 독립된 비상전원으로 작동한다. 이는 소외전원상실과 대기 중인 비상디젤발전기를 포함한 능동기기의 고장이 동시에 일어나는 예기치 못한 사고 시에도 100% 용량을 가진 완전한 부계통 하나가 자동으로 작동하는 것을 보장한다.

두 계열의 다중 저압안전주입 부계통이 있다. 각 펌프와 이와 관련된 밸브들은 각각 독립된 비상전원으로 작동한다. 이는 소외전원상실과 대기 중인 비상디젤발전기를 포함한 능동기기의 고장이 동시에 일어나는 예기치 못한 사고 시에도 100% 용량을 가진 완전한 부계통 하나가 자동으로 작동되는 것을 보장한다.

안전주입작동신호를 받지 않는 주입유로상의 모든 밸브들은 행정관리에 의해 제 위치에

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

서 잠긴 채로 유지된다.

상기 배관을 포함하여 작은 직경의 배관에서 유로가 막히는 것을 방지하기 위하여 원자로 건물 재순환집수조와 재장전수탱크 출구를 지나는 주입수 내의 입자 크기와 비중량을 제한한다.

6.3.2.5.3 전원

독립적인 전기모선이 안전주입계통 기기에 전원을 공급하며 각각의 모선은 다음에서 전기를 공급받는다.

가. 소외전원

나. 소내비상전원



안전설비 기동감지기와 전기제어, 전기적 지시기기는 일반적으로 4개의 120 V AC 모선으로부터 전기를 공급 받는다. 변환기를 가진 4개의 125 V 발전소 축전지는 다른 모든 전원상실 시에 대비한 보조설비이다.

계통의 신뢰도는 다음과 같이 달성된다.

가. 각 모선이 100 % 용량의 저압안전주입펌프, 100 % 용량의 고압안전주입펌프 그리고 관련된 밸브 및 보조계통에 전원을 공급하는 2개의 전기모선(각 보조계통은 100 % 용량의 부계통 2개를 가지고 있으며, 각 부계통은 하나의 모선에 연결되어 있고 독립된 주입계열 역할을 한다.)

나. 비상디젤발전기로부터 자동으로 지원받는, 양쪽 모선에 연결된 2개의 전원(정

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

상 및 대기)

다. 안전설비 운전의 최소부하에 대한 전력을 공급할 수 있는 용량을 가진 2개의 비상디젤발전기

라. 단일전기고장으로 불필요한 주입유동을 야기하지도 않고 또한 필요한 주입유동을 막지 않도록 계통설계

자세한 전원공급에 대한 설명은 8.3절에 기술하였다.

6.3.2.5.4 단일고장 후 냉각을 유지하기 위한 용량

안전주입계통은 주입운전모드시의 단일 능동기기 고장이나, 재순환운전모드 중의 단일 능동고장 또는 제한된 누설의 피동고장에서도 기능요건을 만족하도록 설계하였다. 기기에 적절한 다중성을 제공함으로써 위에 기술된 단일고장 시에도 최소한으로 필요한 안전주입 기기는 언제나 작동 가능하다.

이를 보여주는 고장유형 및 영향분석은 표 6.3-2에 있다.

해석은 다음 가정을 근거로 하였다.

가. 계통에서 하나의 능동고장이 발생

나. 방출밸브의 고장은 고려하지 않음

다. 외부신호에 대한 응답고장은 능동고장으로 고려함

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

비상노심냉각계통 기기의 최소 운전성 요건은 운영기술지침서에 기술하였다. 이러한 운전성 요건과 계통 고장모드가 서로 일치하도록 가상사고 시 운전될 최소한의 비상노심냉각계통 설비는 6.3.3절에 기술하였다. 이러한 최소설비는 원자로가 고온정지로부터 전출력 운전의 어느 시점에 있을 때라도 냉각재상실사고로 인한 악영향을 완화시키는데 필요하고 또한 비상노심냉각계통의 작동이 필요한 다른 사고에 대해서도 보수적인 결과를 초래할 것이다.

단일고장기준을 만족하기 위한 설계특성은 다음과 같다.

가. 다중의 고압 및 저압안전주입펌프

나. 재장전수탱크와 안전주입펌프 흡입구 간의 다중의 배관과 밸브 설치

다. 원자로건물 재순환집수조와 안전주입펌프 흡입구 간의 다중의 배관

라. 다중의 고압 및 저압안전주입 모관

마. 원자로냉각재계통 저온관으로 방출되는 4개의 주입지점과 원자로냉각재계통 고온관으로 방출되는 다중의 주입지점

바. 다중의 비상노심냉각 부계통의 분리

재순환 운전 중 3.1.2.31절에 정의한 제한된 누설의 피동고장이나 이로 인한 범람, 분사, 증기, 온도, 압력, 방사능, 유효흡입수두의 상실, 혹은 재순환수 재고량 상실과 같은 영향이 허용가능한 최소 재순환 능력을 방해하지 않음(허용가능한 최소 능력은 부속계통 하나로 제공할 수 있는 능력으로 정의함)

사. 발전소 안전정지와 냉각을 위하여 필요한 안전주입계통의 일부는 3.6절에 정의

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

한 고에너지 혹은 중에너지의 배관파단사고의 영향으로부터 보호됨

6.3.2.6 보호설비

안전주입계통은 냉각재상실사고로 인해 일어날 수 있는 손상으로부터 보호받도록 다음과 같이 설계하였다.

가. 사고로 인한 냉각재 화학조건과 방사능, 온도, 습도, 압력을 포함한 설계기준 사건 환경조건에 견디는 기기의 설계

나. 냉각재상실사고와 함께 발생한 안전정지진동에 의한 응력에도 견딜 수 있는 내진설계

다. 3.5절에 따른 비산물로부터의 보호

6.3.2.6.1 설계기준사고 환경에서 견딜 수 있는 능력

안전주입계통을 기동하는 데 필요한 원격작동 밸브나 계측장비 및 제어설비처럼 원자로 건물 내에 위치한 기기들은 3.11절에서 기술한 바와 같이 냉각재상실사고 이후 장기간동안 냉각재상실사고로 인한 온도, 압력, 습도, 수화학 및 방사능 조건을 견디도록 설계하였다. 이런 밸브에는 안전주입탱크의 충수, 배수 및 압력조절 관련밸브가 포함되며 이들은 안전주입작동신호를 받거나 사고 후 운전에 필요한 것이다. 계측설비에는 안전주입탱크의 광역 수위 및 압력 지시계가 포함된다.

기능적 상태를 유지해야 할 안전주입 기기들은 냉각재상실사고 후 환경에 이들 기기가 노출되는 것을 막기 위하여 가능한 한 원자로건물 외부에 위치시킨다. 원자로건물 외부의 기기들은 냉각재상실사고 후 운전 시 수화학 및 방사능 효과를 고려하여 설계하였다

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

(그림 6.3-1은 원자로건물 내외의 기기위치를 나타낸다.).

안전주입펌프의 설계수명은 발전소의 수명과 같은 40년이다. 설계온도와 압력은 최악 또는 정상운전 조건 및 설계기준 조건동안 개별기기가 겪는 최대온도와 압력 이상이다. 펌프의 제작재료는 정상조건과 냉각재상실사고 조건에서 예상되는 수화학 조건에 적합하도록 설계되었다. 펌프에 적용된 내방사선 요건은 3.11절과 일치한다.

6.3.2.6.2 비산물에 대한 보호

안전주입탱크를 제외한 모든 기기들을 원자로건물 외부에 설치함으로써 원자로냉각재계통에서 발생한 비산물로부터 보호할 수 있다. 탱크들은 원자로냉각재계통에서 발생한 비산물들로부터 보호할 수 있도록 생물학적 차폐벽 외부에 위치한다.

6.3.2.6.3 내진설계

안전주입계통의 운전이 냉각재상실사고 이후 필수적이므로 내진범주 I급으로 설계하였다. 내진범주 I급 기기의 일반적인 설계기준은 대충을 보호하는 데 필요한 설계기능을 상실하지 않고 적절한 지진하중과 기타 적용가능한 하중을 중첩하여도 이를 견딜 수 있어야 한다.

안전주입계통에서 이러한 요건은 냉각재상실사고 후 비상운전에서 기인한 응력과 안전정지지진으로 인한 응력이 중첩되어도 기기들이 기능 상실없이 견디어 낼 수 있어야 함을 의미한다.

내진설계와 해석방법에 대하여는 3.7절에 자세히 기술하였다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

6.3.2.7 필요한 수동운전

주입과 재순환의 두 가지 운전은 각각 안전주입작동신호와 재순환작동신호로 기동된다. 재순환작동신호가 발생한 후 운전원은 원자로건물 재순환집수조 격리밸브가 열린 것을 확인한 후 재장전수탱크 격리밸브를 닫아야 한다.

장기노심냉각은 냉각재상실사고 약 2시간 후에 수동으로 기동되며 이 때 고온관 주입밸브가 열려 고온관 및 저온관으로 동시에 고압안전주입이 이루어져 노심 내에서 순환유동을 형성하게 한다. 소형 배관파단 시 고압안전주입펌프는 누설을 보충하며, 증기발생기 대기방출밸브와 보조급수계통을 이용하여 원자로냉각재계통이 정지냉각계통 기동조건에 이를 때까지 냉각하고 감압한다. 소형 냉각재상실사고 시에 원자로냉각재계통 감압을 위하여 안전주입탱크를 배기해야 한다. 이 후에 정지냉각 수동운전이 이루어진다.

6.3.3 성능평가

6.3.3.1 서론 및 요약

원자력안전위원회고시 제2014-21호(가압경수로의 비상노심냉각계통의 성능에 관한 기준)(참고문헌 1) 및 10 CFR 50.46(참고문헌 2)은 경수로용 비상노심냉각계통에 대한 허용기준을 명시하고 있다. 이 절에 제시된 해석은 신월성 1,2호기 설계가 이러한 허용기준들을 만족함을 입증하고 있다.

펌프 토출관의 다양한 파단크기에 대한 고온 핵연료봉 온도 계산들이 수행되었다. 침두 선출력밀도(PLHGR)를 제한하는 파단은 방출계수(Discharge Coefficient)가 0.8인 양단 순시파단(0.8×양단 순시파단)으로 나타났다. 계산결과, 신월성 1,2호기의 비상노심냉각계통 설계는 침두 선출력밀도가 469.2 W/cm (14.3 kW/ft)까지 참고문헌 1 및 2의 허용기준을 만족한다는 것이 입증되었다. 허용기준은 다음과 같이 만족된다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

기준 (1) 최대 피복재 온도 “계산된 최대 핵연료피복재 온도는 1,204 °C (2,200 °F)를 넘지 않아야 한다.”

가장 높은 최대 피복재 온도는 0.8×양단 순시파단에 대해서 1,021.4 °C (1,870.5 °F)로 나타났다.

36

기준 (2) 최대 피복재 산화도 “계산된 피복재의 총 산화도는 어느 부분에서도 산화되기 전의 피복재 총 두께의 0.17배(17%)를 넘지 않아야 한다.”

가장 높은 국부 최대 피복재 산화도는 0.8×양단 순시파단에 대해서 2.2 % 미만으로 나타났다.

36

기준 (3) 최대 수소 생성량 “피복재가 물이나 증기와 화학 반응하여 생성되는 수소의 계산 총량은 상·하부 플레넘(plenum volume) 주위의 피복재를 제외한 핵연료 주위 피복재 금속 전체가 반응했을 때 생성되는 가상 수소량의 0.01배 (1%)를 넘지 않아야 한다.”

최대 노심-전반 산화도는 0.8×양단 순시파단에 대해서 1 % 미만으로 나타났다.

36

기준 (4) 냉각가능 형상 “계산된 노심형상의 변화는 노심의 냉각이 가능한 형태로 유지되어야 한다.”

평가모델(참고문헌 8)의 일부인 피복재 팽창과 파열 모델은 노심형상의 변화

36

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

가 예측될 경우, 그 변화에 의한 영향을 고려할 수 있도록 되어 있다. 이러한 노심형상의 변화에서도 노심냉각은 저온까지 충분히 이루어졌다. 피복재 온도가 감소하고 있고 계통이 완전히 감압될 때까지 계산이 수행되었기 때문에 피복재의 팽창이나 파열은 더 이상 일어날 수 없다. 따라서 냉각 가능한 형상이 유지됨을 입증하였다.

기준 (5) 장기 냉각 “비상노심냉각계통의 성공적인 초기 작동 후 계산된 노심온도는 충분히 낮은 값으로 유지되어야 하며 장수명 방사능이 노심에 잔존하기 때문에 붕괴열은 장기간에 걸쳐 제거되어야 한다.”

대형 및 소형 파단 해석(6.3.3.2절 및 6.3.3.3절)은 비상노심냉각계통으로부터 붕산수가 급속히 주입되어 최대 피복재 온도를 적절하게 제한하고 단기간 동안에 노심을 냉각할 수 있음을 보여준다. 냉각재상실사고 후 장기냉각 해석(6.3.3.4절)은 고압안전주입펌프가 재장전수탱크나 원자로건물 재순환집수조로부터 붕산수를 지속적으로 주입하여 노심 내에 잔존하는 장수명 방사능으로 인한 붕괴열을 제거함을 보여준다.

6.3.3.2 대형파단 해석

6.3.3.2.1 평가 모델

대형파단 해석은 KINS/GT-N007-2(참고문헌 4-1)에 기술된 방법에 따라 개발된 최적평가방법인 KREM(참고문헌 8)을 적용하여 수행된다. 이 방법론은 원자력안전위원회 고시 제 2014-21호(가압경수로의 비상노심냉각계통의 성능에 관한 기준)(참고문헌 1)의 제 4조 2항(최적평가방법)에 적합하게 개발되었다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

KREM에서 원자로냉각재계통에서의 열수력적 천이 양상과 노심 내 연료봉의 소결체 및 피복재 온도 천이 양상은 계통 해석 최적 코드인 RELAP5/MOD3.1/K 코드(참고문헌 5)에 의해 해석되고, 원자로건물 내 압력 및 온도의 변화 양상은 CONTEMPT4/MOD5 코드(참고문헌 6)에 의해 계산된다. 대형 파단 냉각재상실사고 시 원자로건물 배압은 원자로냉각재계통으로부터 방출되는 질량 및 에너지의 양에 의해 달라지고, 원자로냉각재계통의 열수력 거동은 원자로건물 배압에 의해 달라진다. 때문에 RELAP5/MOD3.1/K 코드의 계산 결과와 CONTEMPT4/MOD5 코드의 계산 결과는 매 시간 간격마다 상호 교환된다.

KREM에서는 해석 방법 및 입력의 불확실도를 확률론적 관점에서 고려한다. 이를 위해 KREM에서는 통계변수를 임의 추출한 횟수가 증가되면 추출된 변수의 최대치가 모집단의 정해진 백분위수를 능가하는 신뢰도가 된다는 비모수 통계학 원리를 사용한다. 즉, 계산 결과에 심각한 영향을 주는 것으로 판단되는 코드 변수 및 운전 변수를 불확실도 변수로서 선정하고, 각 변수의 범위에서 임의추출을 통하여 124 개의 입력 벡터(변수값들의 조합)를 만든 뒤, 각 입력 벡터를 사용한 단순임의추출(SRS, Simple Random Sampling) 계산을 수행한다. 이 때, 코드 변수에 속하는 변수의 범위와 확률 분포 함수는 다양한 개별 효과 실험과 종합 효과 실험들에 대한 실험 자료 커버링(Experimental Data Covering) 계산을 통해 결정된 것이며, 운전 변수에 속하는 변수의 범위와 확률 분포 함수는 대상 발전소 운전 조건을 반영하여 결정된다. 124회의 SRS 계산에서 도출된 결과에 Wilks' Formula를 적용함으로써, 95%의 신뢰도를 가지고 예측한, 95% 확률 상한치 이상의 최대 피복재온도를 결정할 수 있다. 즉, 124회 계산 결과 중 세 번째로 높은 피복재온도까지는 95% 신뢰도 수준에서 95% 확률을 초과한다.

124회 SRS 계산에서 가장 높은 피복재 온도와 두 번째로 높은 피복재 온도가 발생한 경우를 제외한 122회 계산 결과 중, 재관수 기간의 가장 높은 피복재 온도와 비교하여 100℃ 이내로 낮은 모든 경우에 대해 비상노심냉각수 우회 현상, 원자로 상부공간에서의 액적 이탈 및 증기발생기 전열관에서의 액적 증발 등에 의한 스케일 바이어스를 독립적으로 평가한다. 허용기준과의 비교를 위한 인허가 값으로는 124회 SRS 계산 중 세 번째로

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

높은 피복재온도에 스케일 바이어스 그리고 시간 증분 조절기능과 출력 간격에 따른 불확실도를 결합한 값을 제시한다.

36

6.3.3.2.2 안전주입계통 변수

안전주입계통은 두 대의 고압안전주입펌프와 두 대의 저압안전주입펌프 및 네 개의 안전주입탱크로 구성되어 있다. 고압안전주입펌프로부터 주입된 냉각수는 각각 네 개의 저온관으로 주입되는 반면, 저압안전주입펌프로부터 주입된 냉각수는 각각 두 개의 저온관으로 주입된다. 각각의 안전주입탱크로부터 주입된 냉각수는 각각 하나의 저온관으로 주입된다. 고압안전주입 및 저압안전주입펌프는 가압기 저압에 의하여 발생하는 안전주입작동신호에 의하여 자동으로 작동된다. 안전주입탱크는 원자로냉각재계통 압력이 안전주입탱크 설정압력 이하로 떨어지면 자동으로 안전주입수를 방출한다.

36

36

대형과단 해석의 경우 안전주입계통에 대해 최악의 단일 고장 조건인 비상디젤발전기 하나가 기동되지 않는 경우를 고려한다. 따라서, 한 대의 고압안전주입펌프 유량의 75%, 한 대의 저압안전주입펌프 유량의 50% 및 세 개의 안전주입탱크 유량의 100%가 사용되며, 안전주입작동신호 설정치 도달 후 고압안전주입펌프의 경우 30초, 저압안전주입펌프의 경우 50초의 지연시간 후에 주입되도록 모사한다.

36

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

6.3.3.2.3 노심 및 계통변수

대형파단 해석에서 결정된 불확실도 변수 및 그 변위는 표 6.3-7에 제시된 것과 같다. 노심 및 계통 관련 변수는 측정 불확실도를 그 변위로 하거나, 기술지침서의 제한치 또는 설계 자료의 최소값과 최대값을 포괄할 수 있도록 그 변위가 결정되었다.

36

대형파단 해석에서는 증기발생기 전열관에 대하여 발전소 전 수명기간 동안에 전체 전열관 중 8%의 평균길이를 가진 전열관이 관막을 된다고 가정한다.

대형파단 해석에서는 사고가 초기 연소도에서 발생하는 것으로 가정한다. 초기 연소도에서는 소결체의 크기가 가장 작아서 갭 간격 증가에 따른 핵연료봉 저장에너지가 최대가 되므로 대형 냉각재상실사고가 발생했을 때 가장 높은 최대 피복재 온도가 발생한다.

6.3.3.2.4 원자로건물 변수

6.2.1.5절은 비상노심냉각계통 성능 분석에서 사용된 원자로건물 최소압력 해석을 제시하고 있다. 이 절에서 대형파단 해석 시 사용된 원자로건물 변수들을 명기하고 있다. 원자로건물 변수들에 대한 값은 노심의 재관수율을 최소화하기 위하여 원자로건물 압력을 최소화시키는 것으로 선택된다.

36

6.3.3.2.5 파단범위

참고문헌 8에 기술된 바와 같이 가장 제한적인 파단은 원자로냉각재펌프 토출관에서의 양단 순시 파단이다. 따라서 펌프 토출관 양단 파단의 100%, 80%, 60%인 3가지의 파단에 대하여 대형 파단 스펙트럼 해석을 수행하고 가장 제한적인 파단으로 결정된 파단 크기에 대하여 124회 SRS 계산을 수행한다.

36

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

6.3.3.2.6 결과 및 결론

대형 파단 안전주입계통 성능 분석에 사용된 주요 입력 변수는 표 6.3-8에 나타내었다. 대형 파단 스펙트럼 해석에 대한 최대 피복재 온도 및 최대 피복재 산화도 등의 주요 결과는 표 6.3-9에 요약되어 있으며 주요 시간값들은 표 6.3-10에 제시되어 있다. 표 6.3-11에 나열된 핵증기 공급계통의 변수들에 대한 과도 상태시의 거동은 그림 6.3-9에서 그림 6.3-13에 나타나 있다.

대형 파단 스펙트럼 해석 결과로부터 알 수 있듯이 가장 제한적인 파단은 펌프토출관 양단 파단 면적의 80%인 경우에 발생한다. 따라서 SRS 계산은 80% 펌프 토출관 양단 순시 파단을 대상으로 수행하였다.

124회 SRS 계산 수행 결과 생산된 피복재 온도 거동과 피복재 산화도는 각각 그림 6.3-12와 그림 6.3-13에 제시되어 있다. 124회 SRS 계산 중 가장 높은 최대 피복재온도와 두 번째로 높은 최대 피복재온도를 갖는 계산을 배제하면, 95%의 신뢰도를 가지고 예측한 95% 확률 상한치 이상의 최대 피복재 온도와 최대 피복재 산화도는 계산 39번의 1021.4 °C (1870.5 °F)와 계산 123번의 1.50%이다.

SRS 계산 중 재관수기간의 피복재 온도가 가장 높은 계산보다 100 °C (180 °F) 이내로 낮은 계산들이 바이어스 평가 대상으로 선정되었다. 독립적으로 평가된 원자로 상부공간에서의 액적 이탈 바이어스와 증기 발생기 전열관에서의 액적 증발 바이어스는 합산하여 스팀바인딩에 의한 스케일 바이어스로 처리하였다. 표 6.3-12에 제시된 스케일 바이어스 평가 계산 결과와 같이 피복재 온도에 대한 바이어스는 +0 °C로 평가 되었다. 즉, 재관수기간의 피복재 온도는 변하지만, 취출기간에 예측된 1,021.4 °C (1,870.5 °F)보다 높아지지 않는 것이다. 따라서 95% 신뢰도를 가지고 예측한 95% 확률 상한치 이상의 최대 피복재 온도는 SRS 계산에서 구한 1,021.4 °C (1,870.5 °F)가 된다. 표 6.3-13에 제시된 바와 같이 스케일 바이어스 평가된 최대 피복재 산화도는 계산 88번의 2.11%이다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

코드 및 발전소 운전 변수에 대한 불확실도 외에, 자동 시간 증분 조절기능과 출력 간격에 따른 피복재 온도 오차는 최대 10 °C로 추정하여 불확실도로 고려한다. 고온 연료봉 평균 산화도(HRAO)는 1% 미만으로 계산되었고 이는 노심 전반 산화도가 1% 미만임을 의미한다. 따라서 최종적인 최대 피복재 온도, 최대 피복재 산화도 및 노심 전반 산화도는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\text{최대 피복재 온도} &= 1,021.4 \text{ }^{\circ}\text{C} + 10 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ &= 1,031.4 \text{ }^{\circ}\text{C} (1,888.5 \text{ }^{\circ}\text{F}) \\ \text{최대 피복재 산화도} &= 2.11\% \\ \text{노심 전반 산화도} &< 1.0\%\end{aligned}$$

36

또한, 핵연료 피복재 온도 증가는 노심이 아직 냉각 가능한 형상을 유지하고 있는 시점에 종료되었다. 따라서 핵연료에서 발생한 열은 보다 긴 시간동안에도 원활히 제거될 수 있다.

이 해석의 결과에 근거하여 결론적으로 신월성 1,2호기의 안전주입계통은 대형 냉각재상실사고의 전 파단범위에 대하여 참고문헌 1 및 2의 허용기준을 만족시키며 노심의 건전성을 유지시켜 대기로의 방사능 누출을 제한시키는 설계 기능을 수행하는 데 충분히 적합하도록 설계되어 있다.

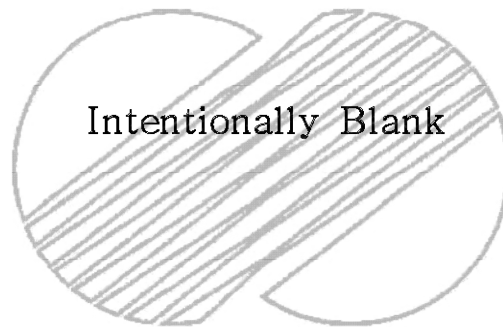
6.3.3.3 소형파단 해석

6.3.3.3.1 평가 모델

소형파단 해석은 규제기관으로부터 승인된 한국표준형원전용 NOTRUMP 평가모델(참고문헌 3)을 사용하여 수행한다. 이 평가모델은 10 CFR 50의 부록 K(참고문헌 2) 및 KINS/GT-N007-1(참고문헌 4)에 수록된 모델과 가정을 만족하며, NOTRUMP와 LOCTA-IV 전산프로그램으로 구성되어 있다.

NOTRUMP(참고문헌 10, 11)는 소형 냉각재상실사고 시 원자로냉각재계통의 열수력 거동을 계산한다. 이 전산프로그램의 기본적인 모사 대상은 일차계통의 감압 및 파단 위치

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서



신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

를 통한 질량 및 에너지 방출이다. 이 전산프로그램은 1차원 지배방정식을 사용하며 냉각재의 상 변화를 반영할 수 있도록 물과 증기 사이의 열적 비평형 상태와 상간의 드리프트 유속, 대향류(counter-current flow), 자유표면 수위, 유동영역에 따른 열전달계수 등을 계산하는 기능을 갖추고 있다. NOTRUMP 계산에서 원자로냉각재계통은 제어 체적과 유로의 조합으로 표현되는데, 매우 유연한 제어 체적 및 유로 구성이 가능하기 때문에 소형 냉각재상실사고 해석에서 중요한 루프실 뚫림 현상을 적절히 모사할 수 있다. 원자로냉각재계통의 과도 특성은 질량, 에너지 및 운동량 방정식을 사용하여 계산되며, 노심 부분에는 연료봉으로부터의 열전달과 기포 상승을 계산하는 모델이 적용된다. 단, NOTRUMP의 COSI 응축모델은 충분한 보수성이 입증되지 않아 소형 파단 해석에 적용하지 않는다.

LOCTA-IV(참고문헌 7)는 냉각재상실사고 동안의 연료 및 피복재와 냉각재의 온도를 계산하는 전산프로그램이다. LOCTA-IV는 NOTRUMP에 의해 계산된 원자로냉각재계통의 열수력 과도 특성, 즉, 노심 압력, 연료봉 출력 이력, 노심 입구 엔탈피, 노심 출구 증기 유량, 이상혼합체 수위 등을 경계조건으로 사용하여 연료봉 및 피복관의 온도 변화를 계산한다.

6.3.3.3.2 안전주입계통 변수

안전주입계통은 2대의 고압안전주입펌프와 2대의 저압안전주입펌프 및 4개의 안전주입탱크로 구성되어 있다. 고압안전주입펌프로부터 주입된 냉각수는 각각 4개의 저온관으로 주입되는 반면, 저압안전주입펌프로부터 주입된 냉각수는 각각 2개의 저온관으로 주입된다. 각각의 안전주입탱크로부터 주입된 냉각수는 각각 하나의 저온관으로 주입된다. 고압안전주입 및 저압안전주입펌프는 가압기 저압이나 원자로건물 고압에 의하여 발생하는 안전주입작동신호에 의하여 자동으로 작동된다. 안전주입탱크는 원자로냉각재계통 압력이 안전주입탱크 설정압력 이하로 떨어지면 자동으로 안전주입수를 방출한다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

소형파단 해석 시 소외전원은 원자로정지와 동시에 상실된다고 보수적으로 가정한다. 그리하여 모든 안전주입펌프는 비상디젤발전기의 기동 및 부하 연결에 걸리는 시간이 지난 후에야 작동할 수 있다. 해석 시 사용된 총지연시간(안전주입작동신호 설정치 도달 후 안전주입수가 원자로냉각재계통으로 전달되는데 걸리는 시간)은 고압안전주입펌프의 경우 30초, 저압안전주입펌프의 경우 50초이다.

소형파단 해석인 경우 최악의 단일고장 조건인 비상디젤발전기 하나가 기동되지 않는 경우를 고려한다. 이 고장으로 인하여 고압안전주입펌프 1대와 저압안전주입펌프 1대가 동시에 상실되어 노심을 냉각시키는데 사용되는 안전주입수는 최소화 된다. 파단루프 안전주입(참고문헌 3 및 11)을 적용함에 따라 펌프 토출관 파단에서는 1대의 고압안전주입펌프, 1대의 저압안전주입펌프 및 4개의 안전주입탱크 유량의 100 %가 고려된다.

표 6.3-13은 해석에 사용된 4곳의 각 주입점에서의 고압안전주입펌프 및 저압안전주입펌프 유량을 원자로냉각재 압력에 따라 나타낸 것이다.

| 36

6.3.3.3.3 노심 및 계통변수

소형파단 해석에 사용된 노심 및 계통의 주요 변수들은 표 6.3-14에 실려 있다. 소형파단 해석은 증기발생기의 전열관에 대하여 705개까지의 평균길이를 가진 전열관이 관막음된다고 가정한다.

| 36

대형파단 해석에서와 같이 소형파단 해석에서도 사고가 초기 연소도에서 발생하는 것으로 가정한다.

소형파단 해석에는 대형파단 해석에서 사용한 것보다 더 높은 침투 선출력밀도를 사용한다(515.1 W/cm (15.7 kW/ft) 대 469.2 W/cm (14.3 kW/ft)). 그 이유는 대형파단의 결과가 소형파단의 결과보다 더 제한적이기 때문이다. 소형파단의 결과는 노심의 총붕괴열에 따

| 36

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

른 노심의 수위 거동에 주로 지배받기 때문에 더 높은 침투 선출력밀도는 소형파단 결과에 심각한 영향을 미치지 않는다.

6.3.3.3.4 원자로건물 변수

소형파단 냉각재상실사고 시 파단 유량은 임계유량을 항상 유지하기 때문에 원자로건물 변수는 소형파단 해석에 영향을 미치지 않는다. 그러므로 원자로건물 체적과 원자로건물 초기압력을 제외한 어떠한 변수도 해석에는 사용되지 않는다. 해석 시 원자로건물 체적은 $81,043 \text{ m}^3$ ($2.862 \times 10^6 \text{ ft}^3$)로, 초기 원자로건물 압력은 $0.997 \text{ kg/cm}^2\text{A}$ (14.18 psia)로 사용하였다.

6.3.3.3.5 파단범위

참고문헌 3에서 수행된 파단 스펙트럼 분석은 펌프 토출관에서의 46.5 cm^2 (0.05 ft^2), 80.8 cm^2 (0.087 ft^2) 및 92.9 cm^2 (0.1 ft^2) 파단이며, 가장 높은 최대 피복재 온도는 80.8 cm^2 (0.087 ft^2) 파단에서 발생하였다. 따라서 신월성 1,2호기에 대한 소형 냉각재상실사고 파단 스펙트럼 분석은 펌프 토출관에서의 46.5 cm^2 (0.05 ft^2), 80.8 cm^2 (0.087 ft^2) 및 92.9 cm^2 (0.1 ft^2) 파단에 대해 수행하였다.

6.3.3.3.6 결과 및 결론

표 6.3-15는 이 해석의 중요한 결과를 요약하고 있다. 해석한 여러 파단에 대한 주요 시간 값들은 표 6.3-17에 제시되어 있다. 표 6.3-16에 나열된 핵증기공급계통 변수들에 대한 과도상태 시의 거동은 그림 6.3-14부터 그림 6.3-16에 나타나 있다. 80.8 cm^2 (0.087 ft^2)의 파단이 해석된 소형파단 중 가장 높은 피복재 온도인 663°C ($1,225^\circ\text{F}$)를 나타내었다. 이는 6.3.3.2절에 제시된 가장 제한적인 대형파단에 대한 값보다 333°C (600°F) 이상 낮은 값이다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

이 해석의 결과에 근거하여 결론적으로 신월성 1,2호기의 안전주입계통은 소형 냉각재상 실사고의 전파단범위에 대하여 참고문헌 1 및 2의 허용기준을 만족시키며 노심의 건전성을 유지시켜 대기로의 방사능 누출을 제한시키는 설계기능을 수행하는 데 충분히 적합하도록 설계되어 있다.

6.3.3.3.7 계측관 파단

위에서 기술한 3가지의 소형파단 외에 노내계측관에 대한 파단도 평가하였다. 원자로 용기 하부 플레넘으로 관통하는 계측관 하나가 완전히 파단되면 그 크기는 2.8 cm^2 (0.003 ft^2)에 해당한다.

계측관에 파단이 일어나게 되면 원자로냉각재계통이 감압되어 가압기 저압력에 의하여 원자로정지 및 안전주입작동신호가 발생한다. 소외전원이 상실된다고 가정하기 때문에 원자로냉각재펌프와 주급수펌프는 관성서행(coastdown)하게 된다. 안전주입신호가 발생하고 나서 비상디젤발전기와 고압안전주입펌프를 기동시키는데 요구되는 30초의 지연시간 후에 안전주입수는 원자로냉각재계통으로 유입된다. 또한 증기발생기 저수위에 의하여 보조급수펌프가 기동되어 증기발생기로 냉각원을 제공한다. 1E급 비상디젤발전기 하나가 고장난다고 가정하기 때문에 1대의 고압안전주입펌프와 한 계열의 보조급수만이 사용 가능하다(네 개의 안전주입탱크와 1대의 저압안전주입펌프 또한 사용 가능하지만 높은 원자로계통의 압력 때문에 주입되지 않는다.). 증기발생기의 2차측 또한 원자로정지 시 격리된다.

원자로냉각재계통은 계속해서 감압되며 증기발생기의 압력은 증가한다. 원자로냉각재계통은 증기발생기의 압력이 주증기안전밸브의 최저 설정치에 도달할 때까지 지속적으로 감압된다. 이 때, 원자로냉각재계통의 압력이 증기발생기의 압력보다 높게 유지된 상태로 원자로냉각재계통의 감압은 중지된다. 이 시점에서 작동하는 1대의 고압안전주입펌프

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

로부터 주입되는 유량(26.6 kg/sec (58.6 lbm/sec))은 파단 유량(12.1 kg/sec (26.6 lbm/sec))보다 많다. 그러므로 원자로냉각재계통은 충수되게 된다. 노심에서 발생하는 붕괴열은 주증기안전밸브를 통한 증기 유량으로 인하여 증기발생기에서 제거된다. 그리하여 노심은 물로 차 있게 되고 이 상태에서 냉각된다. 6.3.3.4절에 기술된 냉각재상실사고 후 장기냉각 절차는 장기냉각을 제공하기 위하여 1시간 후에 개시된다.

6.3.3.4 냉각재상실사고 후 장기냉각

6.3.3.4.1 장기냉각계획

장기냉각은 냉각재상실사고 후 노심이 급냉(quench)될 때 시작하여 발전소가 안전할 때까지 지속된다. 장기냉각의 목적은 노심을 안전한 온도 수준에서 유지시키면서 노심영역에서의 붕소석출을 막기 위함이다. 이 목적을 달성하기 위하여 신월성 1,2호기에 대한 장기냉각 해석은 참고문헌 9에 기술된 전산프로그램과 방법론을 사용하여 수행한다.

신월성 1,2호기에 대한 장기냉각계획은 파단크기에 따라 두 절차 중 하나를 사용한다. 정지냉각계통은 파단크기가 충분히 작아서 그 계통의 성공적인 작동이 확실시되면 기동된다. 대형파단 냉각재상실사고인 경우 노심냉각과 붕소세척(flushing)을 유지하기 위하여 고온 및 저온관에 대한 동시주입이 사용된다. 발전소 운전원은 원자로냉각재계통의 지시압력에 따라 적절한 절차를 개시한다. 그림 6.3-19는 신월성 1,2호기의 장기냉각계획을 위한 기본적인 사건전개 순서 및 운전원 조치에 대한 시간계획을 보여준다. 시간계획은 조치가 수행되는 시간범위를 명시하고 있다. 즉, 주어진 시간범위 내에 명시된 기능요건이 작동된다고 가정한다.

운전원의 첫번째 조치는 냉각재상실사고 1시간 후 증기발생기로부터 증기를 방출시킴으로써 냉각을 개시하는 것이다. 증기는 터빈우회계통이 사용 가능하면 이 계통을 통하여 그렇지 않으면 대기방출밸브를 통하여 방출시킨다. 냉각재상실사고 후 1~3시간 사이

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

에 원자로냉각재계통 내로 많은 양의 질소(비응축성) 가스가 주입되는 것을 막기 위하여 안전주입탱크를 격리시키거나 배기시킨다. 냉각재상실사고 후 1~4시간 사이에 가압기를 이용한 감압이 시작된다. 냉각재상실사고 후 2~2.5시간 사이에 총 주입 유량이 고온관과 저온관에 거의 같은 양으로 균등하게 나뉘어 주입되도록 고압안전주입펌프 방출유로를 재정렬시킨다.

1

냉각재상실사고 후 9~10시간 사이에 원자로냉각재계통의 압력이 $38.7 \text{ kg/cm}^2\text{A}$ (550 psia) 이상이면 원자로냉각재계통은 충수되어 있고, 이는 정지냉각 작동을 위한 적절한 흡입을 제공 가능하게 한다. 원자로냉각재계통의 냉각은 계통의 지시온도가 계기오차를 포함한 최대 정지냉각 작동온도 이하로 될 때까지 지속한다. 그 후 원자로냉각재계통 압력이 계기오차를 포함한 정지냉각 작동압력으로 떨어질 때까지 고압안전주입펌프 유량을 교축(throttling)한다. 그런 후에 모든 고압안전주입펌프의 유량이 저온관으로 다시 들어가도록 재정렬하고 정지냉각을 개시한다. 고압안전주입펌프 유량을 교축하거나 단절시키기 위한 선행조건은 원자로냉각재계통이 계통지시압력하에서 과냉각 상태이어야 한다. 그러므로 정지냉각계통의 운전을 개시하기 위하여 원자로냉각재계통의 압력을 줄일 때 비상 운전절차서에 명기된 대로 원자로냉각재계통을 과냉각 상태로 유지시키는 것이 절대 필요하다.

정지냉각계통이 작동 가능하지 않을 때 붕괴열을 제거시키는 다른 방안은 증기발생기를 계속 사용하는 것이다. 이를 위해서는 보조급수와 대기방출밸브나 증기우회계통이 지속적으로 사용 가능하여야 한다. 그 후에 정지냉각계통이 작동될 수 있게 되면 정지냉각계통을 작동시켜야 한다. 이 경로는 그림 6.3-19에 점선으로 표시되어 있다.

36

사고 발생 후 9~10시간 사이에 원자로냉각재계통의 지시압력이 $38.7 \text{ kg/cm}^2\text{A}$ (550psia) 이하로 떨어져 있으면, 파단은 너무 커서 정지냉각계통의 작동에 필요한 적절한 흡입이 전적으로 보장된다고 확신할 수 없다. 이런 경우에는 고온관 및 저온관으로의 동시주입을 지속하게 되면 노심의 냉각 및 원자로용기 내의 세척은 계속적으로 이루어 진다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

6.3.3.4.2 냉각재상실사고 후의 장기냉각 해석에 사용된 가정

장기냉각 해석 수행에 사용된 주요한 가정들이 아래에 열거되어 있다.

가. 소외전원은 사용 불능이다.

나. 최악의 단일고장은 2대의 비상디젤발전기 중 1대가 고장나는 것이다. 이것은 다음과 같은 결과를 초래한다.

- 1) 1대의 고압안전주입펌프가 작동 가능하다(재순환모드 동안에 저압안전주입펌프는 사용되지 않는다.).
- 2) 한 계열의 보조급수펌프가 작동 가능하다.

다. 붕소석출이 되는 농도는 무게로 27.6% 이다. 이것은 보수적으로 결정된 원자로 건물 압력인 $1.03 \text{ kg/cm}^2\text{A}$ (14.7 psia)에 대한 석출한계이다.

라. 각 증기발생기에 있는 2개의 대기방출밸브 중 1개가 작동 가능하다.

마. 원자로냉각재계통의 냉각은 냉각재상실사고 1시간 후부터 시작한다.

바. 안전주입탱크는 소형파단 장기냉각을 위하여 정지냉각조건 도달 전에 배기시키거나 격리시킨다.

사. 가압기는 소형파단 장기냉각절차 적용 시 정지냉각 작동조건에 도달하도록 감압시킨다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

아. 원자로냉각재계의 냉각은 고온관의 온도가 계기오차를 포함한 정지냉각 작동 온도 이하로 되면 종료된다.

자. 해석 시 가정한 최대 계기오차 : 원자로냉각재계통 압력 $\pm 21.1 \text{ kg/cm}^2$ ($\pm 300 \text{ psi}$) ; 원자로냉각재계통 온도 $\pm 16.7^\circ\text{C}$ ($\pm 30^\circ\text{F}$).

차. 모든 봉산원에 대한 봉산농도는 최대값을 사용한다.

카. 최대 봉산농도 계산에 사용된 펌프 유량 및 초기 냉각수 재고량은 노심 내의 봉산농도를 최대화시키는 것으로 선택한다.

6.3.3.4.3 냉각재상실사고 후 장기냉각 해석에 사용된 변수

냉각재상실사고 후 장기냉각 해석에 사용된 노심 및 계통에 대한 주요 변수들은 표 6.3-18에 제시되어 있다.

36

6.3.3.4.4 냉각재상실사고 후 장기냉각 해석의 결과

저온관 양단 순시파단($9,104 \text{ cm}^2$ (9.8 ft^2))이 원자로용기 내의 장기적인 붕소축적 관점에서 가장 제한적인 파단이다. 저온관 파단인 경우, 노심 세척유량은 고온관 주입 유량과 노심 비등이탈 유량의 차이이다. 냉각재상실사고 후 2~2.5시간 사이에 고온관과 저온관 양측으로 고압안전주입펌프의 유량이 최소한 $1,140.2 \text{ L/min}$ (301.2 gpm)으로 동시 주입을 시작하면 그림 6.3-20에서 보는 것처럼 충분하고 또한 시간에 따라 증가하는 노심 세척 유량이 제공된다.

1

36

그림 6.3-21은 노심의 세척유량이 없더라도 냉각재상실사고 후 2.8시간까지는 붕소석출이

1 36

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

시작되지 않는다는 것을 보여준다. 113.6 L/min (30 gpm)의 노심 세척유량에 의하여 붕소석출을 막는데 제공되는 여유 또한 그림 6.3-21에서 볼 수 있다. 고온관으로 주입되는 안전주입수가 증기에 실려 모두 빠져나가는 현상이 끝나는 시간은 냉각재상실사고 후 0.8 시간으로 계산된다. 그러므로 고온관과 저온관으로의 동시주입은 주입수가 고온관에서 증기와 함께 실려 나갈 어떠한 가능성도 끝난 후이며 붕소석출이 예측되기 전인 2~2.5시간 사이에 시작된다. | 1 | 36 | 1

소형파단 장기냉각계획은 모든 보조급수가 고갈되기 전에 원자로냉각재계통이 충수되는 파단크기에 대하여 적용된다. 소형파단 해석결과 원자로냉각재계통의 냉각기간 동안 모든 보조급수가 고갈되는 최소 요구시간은 25시간으로 결정되었다. 또한 해석결과에 의하면 그림 6.3-22에서 보는 바와 같이 파단크기에 따라 원자로냉각재계통이 충수되는 시간이 각각 다르게 예측됨을 알 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이 42.7 cm^2 (0.046 ft^2)과 같이 큰 파단인 경우도 원자로냉각재계통은 9시간 내에 충수된다. 25시간까지는 더 큰 파단크기에 대해서도 원자로냉각재계통은 충수될 것이다. | 36

그러므로 보조급수의 고갈을 막기 위한 충분한 시간 여유를 주기 위하여 운전원이 소형파단 장기냉각절차가 적절한가를 결정하는 시점으로 9~10시간이 선택되었다. 이 결과는 42.7 cm^2 (0.046 ft^2)과 같은 큰 파단크기까지 장기냉각과 노심세척에 정지냉각이 사용될 수 있다는 것을 입증한다. 해석결과, 대형파단 장기냉각절차는 파단크기가 2.8 cm^2 (0.003 ft^2)까지 내려가는 경우에 대해서 노심을 세척할 수 있다. 대형 혹은 소형 파단 장기냉각절차 중 어느 하나를 사용할 수 있는 중복되는 파단크기들에 대한 것은 그림 6.3-23에 설명되어 있다. | 36

운전원은 9~10시간 사이에 원자로냉각재계통의 지시 압력에 근거하여 적절한 절차를 선택한다. 그림 6.3-23은 광역의 파단크기에 대하여 사고 후 9시간에서의 원자로냉각재계통 압력을 나열하고 있고 그림 6.3-24는 이것을 그림으로 나타낸 것이다. 원자로냉각재계통 압력계기 최대오차보다 더 큰 $\pm 21.1 \text{ kg/cm}^2$ ($\pm 300 \text{ psi}$)를 고려하여 $38.7 \text{ kg/cm}^2 \text{A}$ | 36

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

(550 psia)로 결정압력을 선택하였다. 따라서 운전원은 어떠한 파단크기에 대하여 적절한 절차를 선택했음을 확신할 수 있다.

6.3.3.5 사고전개순서와 계통운전

표 6.3-19는 2개의 대표적인 냉각재상실사고(46.5 cm^2 (0.05 ft^2) 소형파단과 0.8 양단순시 대형 파단) 동안 일어나는 사건순서를 나열하고 있다. 표 6.3-19에 파단 발생 시부터 운전원이 정지냉각모드로의 진입여부를 결정하는 시점인 9~10시간까지의 사건전개 순서가 기술되어 있다.

36

냉각재상실사고 완화를 위한 안전 기능은 다음과 같이 기술되어 있다.

반응도 제어

대형 및 소형 파단이 일어나면 원자로냉각재계통의 압력은 급속히 떨어진다. 이는 소형 파단에 대해서 가압기 저압 트립신호를 발생시켜 제어봉집합체를 노심 내로 낙하시키며 대형파단인 경우에는 원자로건물 고압 트립신호에 의해 제어봉집합체의 삽입이 일어나게 한다. 가압기 저압 트립설정치에서 안전주입작동신호가 발생하고 재장전수탱크로부터의 봉산수 때문에 부반응도가 추가적으로 첨가된다. 대형파단의 경우, 원자로냉각재계통의 압력은 안전주입탱크로부터의 방출과 고압안전주입펌프 및 저압안전주입펌프로부터의 주입을 가능하게 할 수 있을 만큼 충분히 감소한다. 소형파단인 경우, 고압안전주입펌프만이 주입하게 된다. 모든 파단에 대해서 재장전수탱크의 수위는 궁극적으로 재순환작동신호가 발생될 만큼 충분히 감소하게 된다. 재순환작동신호가 발생하게 되면 원자로건물 재순환집수조 격리밸브가 열려 재순환기간 동안 고압안전주입펌프로 물을 공급하게 된다.

36

원자로 열제거

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

터빈정지와 더불어 가정된 소외전원상실로 인한 비-공학적안전설비 부하로 공급되는 전원이 상실됨에 따라 원자로냉각재펌프는 관성서행하게 된다. 소형파단의 경우 원자로의 열제거는 자연순환과 안전주입계통에 의하여 유입되는 비교적 낮은 엔탈피를 갖는 재장전수탱크의 물에 의한 추가적인 냉각능력에 의하여 이루어진다. 대형파단의 경우, 원자로냉각재계통 내의 조건이 자연순환 유동을 형성할 수 없기 때문에 원자로의 열제거는 안전주입계통에 의하여 이루어진다. 재순환작동신호 발생 후 원자로의 열제거는 재순환 모드에서 안전주입계통을 사용하여 지속된다.

냉각재상실사고 발생 2시간 후, 운전원은 고온관 및 저온관으로의 동시주입을 위하여 고압안전주입펌프의 출구관을 수동으로 정렬시킨다. 냉각재상실사고 후 9~10시간에서 운전원은 원자로냉각재계통의 압력이 $38.7 \text{ kg/cm}^2\text{A}$ (550 psia) 이상에서 머물러 있다고 가정하여 정지냉각을 수행할 수도 있다. 원자로냉각재계통의 압력이 $38.7 \text{ kg/cm}^2\text{A}$ (550 psia)보다 낮으면 고온관 및 저온관 주입은 노심을 냉각시키는데 충분하며 이 주입은 지속된다.

일차계통 건전성

소형파단 냉각재상실사고의 경우 원자로냉각재계통의 압력은 고압안전주입 출구밸브를 교축시킴으로써 조절된다. 운전원은 냉각재상실사고 후 1~3시간 사이에 계통을 감압시키고 안전주입탱크를 격리시켜 원자로냉각재계통의 압력을 정지냉각 진입단계까지 낮춘다.

이차계통 건전성

모든 파단크기에 대하여 원자로정지는 터빈정지를 일으키고 동시에 일어나는 소외전원상실로 인하여 주급수가 상실된다. 소외전원상실에 따른 복수기 진공의 상실로 인하여 증기우회계통이 이용 가능하지 않기 때문에 이차계통의 압력은 증가하게 되고 어떤 소형

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

파단의 경우에는 주증기안전밸브의 열림압력에 도달하게 된다. 주증기안전밸브가 열리는 경우에 있어서, 주급수가 부족하게 되면 궁극적으로 보조급수작동신호가 발생하게 되고 급수는 양 쪽의 증기발생기로 이송되게 된다. 운전원은 냉각재상실사고 1시간 후에 대기 방출밸브나 증기우회계통을 이용하여 냉각을 개시한다. 대기방출밸브나 증기우회밸브와 더불어 운전원은 보조급수펌프를 사용한다. 냉각하는 동안 운전원은 주증기격리신호가 오류로 발생하는 것을 막기 위하여 그 설정치를 낮춘다.

원자로건물 건전성

원자로건물살수작동신호는 원자로건물 고-고압 신호에 의하여 발생된다. 원자로건물살수펌프는 원자로건물 대기의 온도와 압력을 감소시키기 위하여 재장전수탱크로부터 원자로건물 내로 살수한다. 재순환작동신호에 의하여 원자로건물 재순환집수조 격리밸브가 열려 재순환집수조로부터 원자로건물 살수펌프로 물이 공급되게 된다.

가연성기체제어

원자로건물 살수와 원자로건물 송풍냉각기는 원자로건물 내의 대기를 혼합시켜 수소기체 포켓이 형성되는 것을 방지한다. 운전원은 원자로건물 대기 내의 수소농도를 조절하기 위하여 가연성기체제어계통을 작동시킨다.

방사성 유출물 제어

가압기 압력이 저압 설정치에 도달하게 되면 원자로건물격리작동신호가 발생한다. 원자로건물 고-고 압력이 감지되면 원자로건물살수작동신호가 발생한다. 원자로건물격리작동신호와 원자로건물살수작동신호는 방사능 누출을 제한하기 위하여 원자로건물 일차계통과 이차계통을 격리시키게 된다. 원자로건물살수계통은 원자로건물 대기로부터 방사성 요오드를 제거시키는 기능을 한다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

주제어실 거주성 보장

안전주입작동신호는 주제어실의 거주성 보장을 위하여 주제어실비상환기계통을 작동시킨다.

교류전원 복구

비상디젤발전기는 공학적안전설비 모선에 저전압 조건이 감지되면 자동으로 기동된다. 대형파단 냉각재상실사고의 경우, 교류전원은 $t = 0$ 초에서 상실된다. 소형파단 냉각재상실사고의 경우 교류전원은 원자로정지에 이어 상실되며 비상디젤발전기 중 1대가 고장난다고 가정한다. 요구되는 모든 공학적안전설비의 부하는 비상디젤발전기에 절리게 된다.

사용후연료 열제거

사용후연료저장조의 냉각은 소외전원 상실유무에 관계없이 냉각재상실기간 동안 계속된다. 사용후연료저장조 냉각펌프는 비상디젤발전기에 자동으로 연결된다. 사용후연료저장조 열교환기는 냉각재상실기간 동안 1차측기기냉각수를 지속적으로 받는다.

6.3.4 시험과 검사

안전주입계통 기기제작 중 시험과 검사를 수행하며 양질의 제작을 보증하기 위하여 규제요건에 따라 문서화 한다. 필요하다면 기기의 성능시험을 공급자측 제작현장에서 수행한다. 안전주입계통은 KEPIC MI에 따른 가동중검사와 KEPIC MO에 따른 가동중시험이 가능하도록 설계하고 설치한다.

가동중 계통의 운전 및 성능을 보증하기 위해 표 6.3-20에 따라 안전주입탱크, 비상노심 냉각계통 부속계통의 운전 가능성을 주기적으로 시험한다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

6.3.4.1 비상노심냉각계통 성능시험

최초의 발전소 기동 전에 계통과 개별기기의 설계성능이 확보되었는지를 입증하기 위하여 종합적인 일련의 계통유량시험을 수행한다.

6.3.4.2 신뢰도 시험과 검사

6.3.4.2.1 계통수준의 시험

발전소가 운전에 들어간 후에는 사고 시에 계통이 적절히 운전되는지를 보장하기 위하여 안전주입계통의 기기 및 부계통에 대한 주기적인 시험과 검사를 수행한다. 정상운전 중에 안전주입계통 기기들은 비상운전 대기상태로 정렬되고 다른 기능을 수행하지 않기 때문에 계통의 운전성을 입증하기 위하여 계획된 시험 및 검사가 필요하다. 규정된 시험은 정상운전동안 부계통과 기기 수준에서의 완전한 검사를 가능하게 한다. 정기적인 핵연료 재장전을 위한 원자로정지 동안 전체 계통의 만족할 만한 운전성을 입증할 수 있다. 안전주입계통의 시험 및 검사는 운영기술지침서에 기술하였다.

6.3.4.2.2 기기시험

6.3.4.1절에 기술된 계통수준의 시험에 추가하여 안전주입계통 기기의 적절한 운전을 입증하기 위한 시험을 수행한다. 이 시험은 안전주입계통 내 각 능동기기의 허용가능한 성능을 입증함으로써 계통수준의 시험을 보완한다. 펌프와 자동밸브는 KEPIC MO에 따라 시험한다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

6.3.5 계측설비

6.3.5.1 설계기준

안전주입계통의 계측과 제어는 IEEE 603-1998, “원자력발전소의 보호계통에 대한 기준”의 적용 부분에 따라 설계하였다. 제어는 안전주입계통의 기동에 필요한 운전순서를 자동으로 제공하기 위하여 연동되어 있다. 안전주입계통을 구동하고 제어하기 위한 계측제어설비는 다음의 기준으로 설계하였다.

가. 안전주입계통의 작동을 위해 다중의 계기를 제공한다. 4개의 감지기가 각 주요변수를 만드는데 이용된다. 이들 4개의 감지기중 임의의 2개의 신호로부터 발생한 트립은 필요한 안전주입계통을 작동시킨다. 회로는 안전주입작동신호의 가용성을 보장하기 위하여 분리된 배선관으로 연결한다.

나. 안전주입계통의 제어와 계측을 위하여 필요한 전기는 1E급 필수전원공급계통에서 공급한다. 대체 전원은 비상디젤발전기로부터 제공된다.

구동기작동 밸브는 출력운전 중에 안전주입 유로를 실수로 잘못 배열하는 것을 방지하기 위해 필요한 곳에 제어스위치 보호용 덮개를 함께 제공한다.

안전주입과 재순환 기동 시 작동이 필요하지 않은 안전주입 유로상의 모든 밸브들은 운전 중에 안전주입 위치로 잠겨져 있다. 이 밸브들은 행정관리에 의해 제 위치에서 잠긴 채로 유지된다.

안전주입 기동에 대한 계측과 제어의 자세한 설명은 7.3절에 기술하였다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

6.3.5.2 계통작동 신호

안전주입계통의 운전은 2개의 작동신호로 제어한다. 하나는 안전주입작동신호로서 원자로냉각재계통 저압력과 원자로건물 고압력의 경우 안전주입계통을 작동시킨다. 이 2개의 변수들은 냉각재상실사고가 일어났음을 나타내므로 안전주입계통 운전이 필요하다. 안전주입작동신호는 주제어실에서 수동으로 발생시킬 수도 있다. 두번째 제어신호는 재순환작동신호이다. 이는 재장전수탱크를 흡입측으로 하는 주입모드에서 원자로건물 재순환집수조를 흡입측으로 하는 재순환모드로 안전주입계통의 운전모드를 바꾼다. 재순환작동신호는 재장전수탱크 저수위에 의해 발생한다. 안전주입작동신호와 재순환작동신호는 수동 혹은 자동으로 발생시킬 수 있다. 주입모드에서 재순환모드로의 전환은 재장전수탱크로부터 물 공급이 끊어져도 노심에 지속적인 유량을 공급할 수 있게 한다.

6.3.5.2.1 안전주입작동신호

안전주입은 4개의 독립적인 가압기 압력 감지기와 4개의 독립적인 원자로건물 압력 감지기의 입력신호에 의해 시작된다. 어느 변수이든지 4개 중 2개 감지기로부터의 동시 신호는 안전주입을 자동으로 기동한다. 출력운전 중에 가압기 압력이 약 $125.1 \text{ kg/cm}^2 \text{A}$ ($1,780 \text{ psia}$)이거나 원자로건물 압력이 $134 \text{ cmH}_2\text{O}$ (1.9 psig)이면 안전주입계통이 자동운전을 시작한다. 기동운전이나 정지냉각 운전 중에는 가압기 저압력에 대한 가변설정치를 사용한다. 안전주입작동신호의 자세한 설명은 7.3절에 기술하였다.

6.3.5.2.2 재순환작동신호

4개의 독립적인 재장전수탱크 수위 감지기로부터의 신호나 주제어실에서의 수동작동에 의해 재순환이 시작된다. 재장전수탱크 수위 7.2%에서 4개 중 2개의 신호에 의해서 재순환 자동운전이 시작된다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

6.3.5.3 운전 중의 계측장비

안전주입계통 운전 중에 안전주입계통의 기기를 감시하기 위한 계측장비는 본 절에서 기술한다. 그림 6.3-1에는 계기의 판독위치가, 그림 6.3-2부터 그림 6.3-5까지는 여러가지 운전 모드에서의 기기의 사용에 대하여 설명하였다.

6.3.5.3.1 온도

가. 정지냉각 흡입 및 주입 온도

안전주입계통에 들어왔다 나가는 정지냉각수의 온도를 측정하고 기록하는 데 각 저압주입 모관의 저항온도검출기와 기록계를 사용한다. 이것의 판독이 전체적인 계통의 성능을 측정하는 수단을 제공하며, 운전원에게 냉각률을 조절하는 데 필요한 정보를 제공한다. 기록계는 주 제어실에서 접근이 용이하도록 운전원 조작반에 위치한다. 지시계는 주 제어실과 원격정지실에 공급한다 (5.4.7절 참조).

6.3.5.3.2 압력

가. 안전주입탱크 압력

각 안전주입탱크에 있는 하나의 광역 압력전송기는 각 탱크 압력을 주 제어실과 원격정지반에 제공한다. 또한 두 개의 협역 압력전송기는 주 제어실에 탱크의 압력 정보를 제공한다.

나. 고압과 저압의 안전주입펌프 토출압력

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

고압안전주입펌프와 저압안전주입펌프의 토출압력을 주제어실에 지시한다.

6.3.5.3.3 밸브위치

가. 안전주입탱크 격리밸브 개폐상태

밸브 개폐상태를 다중적이고 다양한 지시계로 주제어실에 지시한다. 지시등은 완전히 열린 상태나 완전히 닫힌 상태를 표시하며 밸브가 완전히 열리지 않았으면 경고음도 발생한다.

나. 정지냉각계통 밸브 개폐상태

개폐상태를 바꿔야 하는 밸브나 냉각을 조절하는 데 이용되는 밸브는 주제어실 내부와 외부에서 모두 개폐상태를 지시한다.

다. 고온관 주입밸브 개폐상태

고온관 주입밸브 개폐상태는 주제어실에 지시된다. 지시등은 개폐상태를 표시한다. 부가적으로 연속적인 밸브 개폐상태 지시는 부분적 열림과 부분적 닫힘위치를 표시한다.

라. 저압안전주입모관 격리밸브 개폐상태

밸브 개폐상태는 주제어실 내부와 외부에 모두 지시된다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

6.3.5.3.4 수위

가. 안전주입탱크 수위

상부 수위계측기 탭 위쪽의 물과 하부 수위계측기 탭 아랫쪽의 물을 제외한 전체 탱크 체적에 대한 각 안전주입탱크의 수위가 주제어실에 지시된다. 계측기 탭은 상부탱크의 직선부 약 12.7 cm (5 in) 아래와 하부탱크의 직선부 약 12.7 cm (5 in) 위에 있다. 이러한 수위지시는 10.4 m (34 ft)의 전범위 스케일에 근거한 전범위의 수위지시를 제공한다. 하부탱크 직선부 7.8 m (25 ft 8.5 in) 위에 위치한 하부탭을 가진 1.2m (4 ft) 전범위 스케일에 근거한 다중적인 수위지시를 제공한다. 이 지시에 대한 입력신호를 차압 전송기로 제공한다.

6.3.5.3.5 유량

가. 정지냉각 유량



정지냉각 유량지시계는 정지냉각 전유량을 나타낸다.

나. 안전주입 유량

안전주입 유량 채널은 4개의 저온관쪽 안전주입관 유량과 2개의 고온관쪽 안전주입관 유량을 나타내며, 주제어실에 지시된다.

6.3.5.4 사고 후 감시계기

사고 후 성능에 대한 평가를 위한 계기는 표 7.5-3에 있다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

6.3.6 참고문헌

1. 원자력안전위원회고시 제2014-21호 “가압경수로의 비상노심냉각계통의 성능에 관한 기준” | 43 | 93
2. 10 CFR Part 50.46 및 Appendix K of 10 CFR, Part 50, “Acceptance Criteria for Emergency Core Cooling Systems for Light Water Cooled Nuclear Power Reactors,” Federal Register, Volume 39, Number 3, January 1974, as amended in Federal Register, Volume 53, September 1988.
3. KNF-TR-SGA-01001/N/A, Rev.1, “한국표준형 원전의 냉각재상실사고 해석을 위한 웨스팅하우스 평가모델,” 2004. 6.
KNF-TR-DMR-04001/N/A, Rev. 0, “한국표준형 원전용 PLUS7 연료 설계 및 안전성 평가,” 2006. 3.
4. KINS/GT-N007-1, “가압경수로형 원자력발전소 비상노심냉각계통 성능의 보수적 평가방법에 대한 기술지침서,” 2004. 1.
- 4-1. KINS/GT-N007-2, “가압경수로형 원자력발전소 비상노심냉각계통 성능의 최적 평가방법에 대한 기술지침서,” 2004. 1.
5. NUREG-5535, “RELAP5/MOD3 Code Manual,” March 1998.
6. NUREG/CR-3716, “A Multi-compartment Containment System Analysis Program,” March 1984.
NUREG/CR-4001, “An Improvement to CONTEMPT4/MOD5 Multi-compartment System Analysis Program for Ice Containment Analysis,” September 1984.
7. F. M. Bordelon, et. al., “LOCTA-IV Program : Loss of Coolant Transient Analysis,” WCAP-8301 (Proprietary) and WCAP-8305 (Non-Proprietary), June 1974.
8. TR-KHNP-0010, “한국표준형 원전 LBLOCA 안전해석방법론,” 2007. 6.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

36

9. "Post-LOCA Long Term Cooling Evaluation Model," CENPD-254-P-A, June 1980 (Proprietary).
 10. P. E. Meyer, et. al., "NOTRUMP: A Nodal Transient Small Break and General Network Code," WCAP-10079-P-A (Proprietary) and WCAP-10080-NP-A (Non-Proprietary), August 1985.
 11. N. Lee, et. al., "Westinghouse Small Break ECCS Evaluation Model Using the NOTRUMP Code," WCAP-10054-P-A (Proprietary) and WCAP-10081-NP-A (Non-Proprietary), August 1985.
- S. M. Bajorek, et. al., "Addendum To The Westinghouse Small Break ECCS Evaluation Model Using The NOTRUMP Code For The Combustion Engineering NSSS," WCAP-10054-P-A Add. 1 (Proprietary) and WCAP-10054 Add. 1 (Non-Proprietary), March 1987.

36

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.3-1 (2 중 1)

안전주입계통 기기변수

저압안전주입펌프

대수(호기당)	2
형식	1단, 직립형, 원심형
안전등급	2
적용코드	KEPIC MNC
설계압력	63.3 kg/cm ² (900 psig)
최대 운전 흡입압력	41.5 kg/cm ² (590 psig)
설계온도	204.4 °C (400 °F)
설계유량	14.6×10 ³ L/min (3,850 gpm ¹⁾)
설계수두	102.1 m (335 ft)
허용 최대 유량	17.7×10 ³ L/min (4,670 gpm ¹⁾)
최대유량 시 수두	88.4 m (290 ft)
재질	스테인리스강 304형, 316형 또는 승인된 다른 재질
밀봉장치	기계적 밀봉장치
제동마력	330.8 kW (443.6 hp)

고압안전주입펌프

대수(호기당)	2
형식	다단, 수평식, 원심형
안전등급	2
적용코드	KEPIC MNC
설계압력	141.1 kg/cm ² (2,050 psig)
최대 운전 흡입압력	7.03 kg/cm ² (100 psig)
설계온도	176.7 °C (350 °F)
설계유량	3,034.8 L/min (815 gpm ¹⁾)
설계수두	868.7 m (2,850 ft)
허용 최대 유량	4,277.05 L/min (1,130 gpm ¹⁾)
최대유량 시 수두	481.6 m (1,580 ft)
재질	스테인리스강 304형, 316형 또는 승인된 다른 재질
밀봉장치	기계적 밀봉장치
제동마력	653.7 kW (876.1 hp)

1) 우회유량 불포함

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.3-1 (2 중 2)

안전주입탱크

대수(호기당)	4
안전등급	2
코드	KEPIC MNC
설계압력, 내부/외부	49.2 kg/cm ² /7.03 kg/cm ² (700 psig/100 psig)
설계온도	93.3 °C (200 °F)
운전온도	43.9 °C (120 °F)
정상운전압력	42.9 kg/cm ² (610 psig)
최소운전압력	42.2 kg/cm ² (600 psig)
체적, 전체	67.96 m ³ (2,400 ft ³)

액체

최소	50.7 m ³ (1,790 ft ³)
공칭	52.6 m ³ (1,858 ft ³)
최대	54.6 m ³ (1,927 ft ³)

유체

붕산수, 붕소 4,200 ppm 공칭
4,400 ppm 최대

재질

외복재 - 스테인리스강 304형, 316형
또는 승인된 다른 재질
몸체 - 탄소강 SA-516
또는 승인된 다른 재질

표 6.3-2 (18 중 1)

안전주입계통 고장유형 및 영향분석

번호	명칭	고장유형	원인	증상과 국부 영향 (연쇄고장 포함)	감지 방법*	고유 보상 설비	주의 및 기타 영향
----	----	------	----	------------------------	--------	----------	------------

가. 주입 모드, 안전주입탱크 충수 및 배수

I. 저압안전주입 모드

정상운전 중 가압기의 압력이 125.1 kg/cm²A (1,780 psia) 이하로 떨어지거나 원자로건물 압력이 134 cm H₂O (1.9 psig) 이상으로 증가하면, 안전주입작동신호가 발생되며 안전주입계통은 자동으로 운전해 들어간다. 다음의 기기들이 관련 계통들과 더불어 구동되며, 부품들은 다음과 같이 정렬된다. 재장전수탱크 격리밸브들(451-V-530/531)과 재장전수탱크 격리 역류방지 밸브들(451-V-305/306)이 열린다.

1.	정지냉각계통 흡입관 격리밸브 441-V-655 441-V-656 441-V-689 441-V-690	a) 열린채 고장 b) 닫힌채 고장	기계적 고착, 전기적 고착, 부식	없음	주기적 시험; 주제어실내의 밸브위치 지시	같은 계열의 다중 격리 밸브들이(441-V-653/654) 닫혀있음	밸브들은 정상운전 시 닫혀 잠김
2.	정지정화 흡입 격리밸브 441-V-418 441-V-419 441-V-420 441-V-421	a) 닫힌채 고장 b) 열린채 고장	기계적 고착, 부식 기계적 고착, 부식	없음 없음	주기적 시험; 운전원 주기적 시험; 운전원	필요 없음 화학 및 체적제어계통 직렬 격리밸브(451-V- 363/396/397)	밸브들은 정상운전 시 닫혀 잠김
3.	저압안전주입 펌프 흡입측 격리밸브 441-V-691 441-V-692	a) 열린채 고장 b) 닫힌채 고장	기계적 고착, 전기적 고착, 부식 기계적 고착, 전기적 고착, 부식	주입 모드 중 영향 없음 영향받은 주입 유량의 손실	주기적 시험; 주제어실내의 밸브위치 지시 3. a) 와 동일	주입 모드 중 필요 없음 다중의 저압안전주입 계열	밸브들은 정상운전 시 열려 잠김

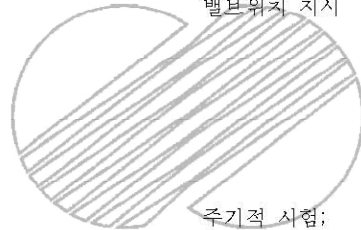


표 6.3-2 (18 중 2)

번호	명칭	고장유형	원인	증상과 국부 영향 (연쇄고장 포함)	감지 방법*	고유 보상 설비	주의 및 기타 영향
4.	저압안전주입 펌프 흡입측 시험 격리밸브 441-V-550 441-V-555 441-V-207 441-V-208	a) 닫힌채 고장 b) 열린채 고장	기계적 고착 기계적 고착, 시트 누설	계통 운전에는 영향없음 없음	운전원 없음	필요 없음 배수 밸브와 시험배관의 연결은 뚜껑과 밀폐형 플랜지 되어있음	
5.	저압안전주입 펌프 1 또는 2	a) 안전주입 작동신호시 기동 실패	전기적 고장	저압 모관의 유량 감소	F-306이나 F-307의 저유량 지시; 펌프 "run" 점등; 주기적 시험	다중의 저압안전주입펌프	
6.	저압안전주입 방출측 배관 격리밸브 441-V-435 441-V-447	a) 닫힌채 고장	기계적 고착, 부식	하나의 저압안전주입 배관 상실	주기적 시험; F-306이나 F-307의 저유량 지시	다중의 저압안전주입 계열	밸브들은 정상운전 중 열려 잠 김
7.	저압안전주입 최소 우회관 격리밸브 441-V-668 441-V-669	a) 닫힌채 고장	기계적 고착, 전기적 고장, 부식	하나의 저압안전주입펌프에 손상 가능	주기적 시험; 펌프가 과열되지 않거나 고장나지 않으면 없음; 밸브위치 지시; F-300의 저유량 지시	다중의 저압안전주입펌프	밸브들은 정상운전 중 열려 잠 김
8.	재장전수탱크로 의 최소 우회관 격리밸브 441-V-659 441-V-660 (주:고장유형 c, d는 441-V- 659에만 적용됨)	a) 닫힌채 고장 b) 열린채 고장 c) 초기 열림 상태, LOP reset 기능 없음으로 인한 재열림 시도후 닫힌채 고장	기계적 고착, 전기적 고장, 부식 전기적 고장 기계적 고착	관련 펌프의 손상 가능 재순환운전 동안 영향없음 8.a)와 동일	주기적 시험; 주제어실내의 밸브위치 지시; 펌프가 과열되지 않거나 고장나지 않으면 없음 주제어실내의 밸브위치 지시 8.a)와 동일	다중의 펌프 다중격리밸브(441-V-666, 667, 668, 669)들이 재순환운전 동안 닫혀있음 8.a)와 동일	밸브들은 정상운전 중 열려 잠 김 최소유량배관상의 밸브들은 정상운전 중 열려있고 재순환 운전 동안 닫혀있음. 8.a)와 동일

표 6.3-2 (18 중 3)

번호	명칭	고장유형	원인	증상과 국부 영향 (연쇄고장 포함)	감지 방법*	고유 보상 설비	주의 및 기타 영향
		d) 초기 열림 상태. LOP reset 기능 없음으로 인한 재열림 시도후 열린 채 고장	전기적 고장 기계적 고착	8.b)와 동일	8.b)와 동일	8.b)와 동일	8.b)와 동일
9.	저압안전주입 펌프 토출측과 정지냉각 열교환 기의 연결 밸브 441-V-693,694,695 441-V-696,657,658	a) 열린채 고장	기계적 고착, 전기적 고장, 부식	없음	주기적 시험;주제어실내 의 밸브위치 지시	441-V-693/694와 441-V-657/658, 695/696의 직렬로 된 격리밸브	밸브들은 정상운전 중 닫혀 잠김
10.	정지냉각계통 우회 유량 조절밸브 441-V-306 441-V-307	a) 닫힌채 고장	기계적 고착, 전기적 고장, 부식	하나의 저압안전주입계열 상실	주기적 시험;주제어실내 의 밸브위치 지시; F-306, 307의 저유량 지시	다중의 계열	밸브들은 정상운전 중 열려 잠김
		b) 열린채 고장	10. a) 와 동일	없음	주기적 시험;주제어실내 의 밸브위치 지시; F-306,307에 유량지시	필요 없음	
11.	재장전수탱크 배관 격리밸브 441-V-298	a) 닫힌채 고장	기계적 고착, 부식	없음	운전원	필요 없음	
		b) 열린채 고장	11. a) 와 동일	없음	운전원	직렬로 된 격리밸브가 (441-V-460/464) 닫혀 있음	밸브들은 정상운전 중 닫혀 잠김
12.	저압안전주입 모관격리밸브 441-V-615 441-V-625 441-V-635 441-V-645	a) 닫힌채 고장	전기적 고장, 기계적 고착, 부식	저압안전주입펌프에서 하나의 원자로냉각재계통 저온관 으로의 유량 상실	주기적 시험;주제어실내 의 밸브위치 지시	다중의 저압안전주입계열	고압안전주입펌프와 안전주입탱크 가 연속적으로 저온관으로 주입
		b) 안전주입 작동신호에 열리지 않음	전기적 고장, 기계적 고착, 부식	저압안전주입펌프에서 하나의 원자로냉각재계통 저온관 으로의 유량 상실	12. a)와 동일	다중의 저압안전주입계열	12. a)와 동일
		c) 열린채 고장	기계적 고착, 전기적 고장, 부식	없음	12. a)와 동일	다중의 후단 역류방지밸브가 (441-V-114/124/134/144)가 역류를 방지	

표 6.3-2 (18 중 4)

번호	명칭	고장유형	원인	증상과 국부 영향 (연쇄고장 포함)	감지 방법*	고유 보상 설비	주의 및 기타 영향
13.	저압안전주입 방출 유량 지시계 F-306 F-307	허위지시	전기적 고장, 기계적 고착	없음	주기적 시험; 다중의 지시계와 비교	다중의 계열	
14.	저압안전주입 펌프방출측 시험 격리밸브 441-V-576 441-V-577 441-V-578 441-V-579 441-V-586 441-V-587 441-V-588 441-V-589	a) 닫힌채 고장 b) 열린채 고장	기계적 고착, 시트누설	계통운전에 영향 없음 없음	운전원 없음	필요없음 직렬 격리밸브(441-V-580/ 581/582/583, 441-V-590/591/ 592/593)는 닫힘	밸브들은 정상운전 중 닫힘
15.	비상냉각수 외부 주입 유로 격리 밸브** 441-V-803 441-V-804	a) 닫힌채 고장 b) 열린채 고장	기계적 고착 기계적 고착	저압안전주입운전에 영향 없음 저압안전주입운전에 영향 없음	없음 주제어실 내 밸브위치 지시	필요없음 직렬 격리(역지)밸브 441-V-805/ 806(441-V-801/802)는 닫힘	격리밸브는 정상운전 중 닫혀 잠김
16.	비상냉각수 외부 주입 유로 충수 격리밸브** 441-V-805 441-V-806	a) 닫힌채 고장 b) 열린채 고장	기계적 고착 기계적 고착	저압안전주입운전에 영향 없음 저압안전주입운전에 영향 없음	없음 없음	필요없음 직렬 격리밸브 441-V-803/804는 닫힘	충수 격리밸브는 정상운전 중 닫혀 잠김
17.	비상냉각수 외부 주입 유로 격리 밸브** 441-V-807 441-V-808	a) 닫힌채 고장 b) 열린채 고장	기계적 고착 기계적 고착	저압안전주입운전에 영향 없음 저압안전주입운전에 영향 없음	없음 없음	필요없음 필요없음	격리밸브는 정상운전 중 열려 잠김

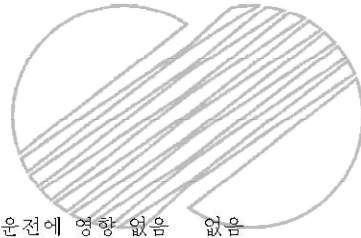


표 6.3-2 (18 중 5)

번호	명칭	고장유형	원인	증상과 국부 영향 (연쇄고장 포함)	감지 방법*	고유 보상 설비	주의 및 기타 영향
II. 고압안전주입 모드							
18.	고압안전주입 흡입관 격리밸브	a) 닫힌채 고장	기계적 고착, 부식	하나의 고압안전주입 유로의 상실	주기적 시험; 운전원; 관련 고압안전주입 펌프의 고장	다중의 고압안전주입 계열	밸브들은 정상운전 중 열려 잠김
	441-V-470 441-V-402						
19.	고압안전주입 펌프 흡입측 시험 격리밸브	a) 닫힌채 고장	기계적 고장	계통운전에 영향 없음 배수나 가동중시험 불가	운전원	필요 없음	
	441-V-552 441-V-553	b) 열린채 고장	기계적 고장, 시트 누설	없음	없음	배수밸브와 시험 연결이 뚜껑으로 되어있음	
20.	고압안전주입 펌프 1 또는 2	a) 안전주입작동 신호에 기동 실패	전기적 고장	고압 모관으로의 유량 감소	P-308 이나 309 의 저압력 지시; 펌프 "run" 점등; 주기적 시험	다중의 고압안전주입펌프	
21.	고압안전주입 최소 우회관 오리피스 우회밸브	a) 닫힌채 고장	기계적 고장	안전주입탱크 재충전이나 고압안전주입펌프에 적절한 환경조건을 줄 수 없음.	운전원	오리피스가 대체 유로를 제공할수 있음	
	441-V-218 441-V-219	b) 열린채 고장	17. a)와 동일	원자로냉각재계통으로의 유량 감소	없음	다중의 계열	밸브들은 정상운전 중에 닫혀 잠김
22.	고압안전주입 펌프 최소 우회관 격리밸브	a) 닫힌채 고장	기계적 고착, 전기적 고장, 부식	한대의 고압안전주입펌프 손상 가능	주체어실내의 밸브위치 지시; 주기적 시험; 펌프의 과열이 없고 고장이 없다면 없음	다중의 고압안전주입 펌프	밸브들은 정상운전 중 열려 잠김
	441-V-666 441-V-667						

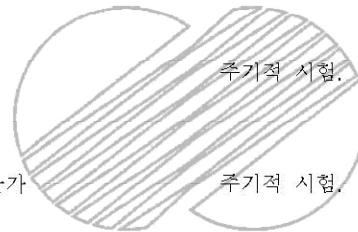


표 6.3-2 (18 중 6)

번호	명칭	고장유형	원인	증상과 국부 영향 (연쇄고장 포함)	감지 방법*	고유 보상 설비	주의 및 기타 영향
23.	재장전수탱크 회수관 격리밸브 441-V-400 441-V-459	a) 열린채 고장	기계적 고착, 부식	없음	운전원	다중의 연속 밸브 (441-V-461,462,463)가 닫혀 있음	밸브들은 정상운전 중 닫혀 잠김
		b) 닫힌채 고장	기계적 고착, 부식	고압안전주입펌프 시험을 위한 적절한 조건을 제공할 수 없음	운전원	재장전수조의 물을 기동 운전 이전에 재장전수탱크로 되돌릴 수 있는 다중의 유로가 있음	
24.	고압안전주입 방출측 격리밸브 441-V-476 441-V-478	a) 닫힌채 고장	기계적 고착, 부식	하나의 고압안전주입 유로 상실	주기적 시험; P-308이나 309에 저압력 지시	다중의 고압안전주입 계열	밸브들은 정상운전 중 열려 잠김
25.	고압안전주입 펌프 오리피스 우회밸브 441-V-698 441-V-699	a) 닫힌채 고장	전기적 고장, 기계적 고착, 부식	하나의 고압안전주입 유로의 유량 감소	주기적 시험;주제어실 내의 밸브위치 지시; P-308이나 309에 저압력 지시	다중의 고압안전주입 계열	밸브들은 정상운전 중 열려 잠김
26.	고압안전주입 고온관 주입 격리밸브 441-V-603 441-V-604	a) 열린채 고장	전기적 고장, 기계적 고착, 부식	고온관으로 고압안전주입이 나뉘어질 가능성이 있음	주기적 시험; 주제어실내의 밸브위치 지시	연속된 격리밸브 (441-V-321/331, 441-V-508/509)가 닫혀 있음	밸브들은 주입운전시 닫혀 잠김
27.	충전 배관 격리밸브 441-V-508 441-V-509	a) 열린채 고장	기계적 고착, 운전원	충전펌프 부속계통으로 고압 안전주입 유량이 손실될 수 있음	운전원	직렬의 화학 및 체적제어 계통의 역류방지밸브 (451-V-440)	밸브가 정상운전 중 닫혀 잠김
28.	고압안전주입 모관 격리밸브 441-V-616,617 441-V-626,627 441-V-636,637 441-V-646,647	a) 닫힌채 고장	기계적 고착, 전기적 고장, 부식	원자로냉각재계통으로 고압의 물을 주입할 능력의 감소	주제어실에 밸브 위치 지시; 주기적 시험	병렬의 다중 저온관 주입 유로	
		b) 안전주입작동 신호에 열림실패	25. a)와 동일	25. a)와 동일	25. a)와 동일	25. a)와 동일	
		c) 열린채 고장	25. a)와 동일	없음	25. a)와 동일	필요없음	

표 6.3-2 (18 중 7)

번호	명칭	고장유형	원인	증상과 국부 영향 (연쇄고장 포함)	감지 방법*	고유 보상 설비	주의 및 기타 영향
29.	고압안전주입 모관 주입 유량 지시계 F-311/321 F-331/341	허위 지시	전기적 고장, 기계적 고장	없음	주기적 시험; 다중의 지시계와의 비교	다중의 계열	
30.	고압안전주입 펌프 방출측 시험격리밸브 441-V-566 441-V-567 441-V-568 441-V-569	a) 닫힌채 고장 b) 열린채 고장	기계적 고착, 기계적 고착, 시트누설	계통운전에 영향 없음. 없음	운전원 없음	필요없음 직렬 격리밸브(441-V-570/ 571/572/573)가 닫힘	밸브가 정상운전 중 닫혀있음
31.	고압안전주입 최소 유량-시료 채취밸브 441-V-428 441-V-466	a) 열린채 고장 b) 닫힌채 고장	기계적 고착, 부식 기계적 고착, 부식	없음 시료채취 불가	주기적 시험. 주기적 시험.	없음 다른 곳에서 시료채취.	하류에 직렬 차단밸브 있음



III. 안전주입탱크 주입 모드

가압기 압력이 36.3 kg/cm²A (515 psia) 이상이 되면, 안전주입탱크는 두 개의 직렬로 된 역류방지밸브로 원자로냉각재계통에서 격리된다. 원자로냉각재계통의 압력이 안전주입탱크의 압력보다 낮아지면, 탱크는 원자로냉각재계통으로 봉산수를 방류하기 시작한다.

32.	안전주입탱크 격리밸브 441-V-614 441-V-624 441-V-634 441-V-644	a) 닫힌채 고장 b) 열린채 고장 c) 안전주입작동 신호 시 열림실패	기계적 고착, 전기적 고장, 부식 29. a)와 동일 29. a)와 동일	안전주입탱크로부터 하나의 손상 주 제어실내의 받은 원자로냉각재계통 저온관 으로의 유량 상실 필요 시 영향받은 안전주입탱크 격리 불가 29. a)와 동일	주기적 시험; 밸브위치 지시; 주기적 시험 29. a)와 동일 29. a)와 동일	저온관으로의 다중의 안전 주입탱크 방류 없음, 역류방지밸브가 역류를 방지함 29. a)와 동일	밸브들은 정상운전 중 열려 잠김 29. a)와 동일
-----	--	--	--	---	---	--	---------------------------------

표 6.3-2 (18 중 8)

번호	명칭	고장유형	원인	증상과 국부 영향 (연쇄고장 포함)	감지 방법*	고유 보상 설비	주의 및 기타 영향
33.	안전주입 저온관 역류방지밸브 누설 배관 격리밸브 441-V-618 441-V-628 441-V-638 441-V-648	a) 닫힌채 고장	기계적 고착, 구동기의 공기 공급이 차단됨	없음	주제어실내의 밸브위치 지시; 주기적 시험	필요없음	밸브들은 정상운전 중 닫혀 있음
		b) 안전주입작동 신호 시 닫힘 실패	전기적 고장, 시트누설, 오염	없음	30. a)와 동일	연속된 다중의 격리밸브 가 안전주입 저온관이 배수 되는 것을 방지	밸브는 고장 시 닫히고, 정상운전시 닫혀있도록 설계됨
		c) 열린채 고장	시트누설, 오염	없음	30. a)와 동일	30. b)와 동일	30. b)와 동일
		d) 초기 열림상태, LOP reset 기능 없음으로 인한 재열림 시도 후 열린채 고장	전기적 고장 시트누설	없음	주제어실의 밸브 위치 지시; 주기적 시험; 안전주입탱크 수위 지시계;	운전원은 안전주입탱크가 배수 중지를 위해 다중격리 밸브(441-V-661/681)들을 잠금	밸브들은 전원의 공급 중단에 따라 잠기도록 설계됨
		e) 초기 열림상태, LOP reset 기능 없음으로 인한 재열림 시도 후 닫힌채 고장	구동기 공기 공급이 차단됨	필요 시 고장단 안전주입 저온관 체크밸브의 누설량을 알기 위한 누설관 배수 운전을 할 수 없음	30. a)와 동일	없음	
34.	안전주입탱크 충수 및 배수 배관 격리밸브 441-V-611 441-V-621 441-V-631 441-V-641	a) 닫힌채 고장	기계적 고착, 구동기의 공기 공급이 차단됨	필요시 안전주입탱크 수위를 조절 할 수 없음	주제어실내의 밸브위치 지시; 주기적 시험; 안전주입탱크 수위 지시계	필요 없음	밸브들은 정상운전시 닫혀 있음
		b) 안전주입 작동신호에서 닫힘 실패	전기적 고장 시트누설, 오염	없음	안전주입탱크 수위 지시계를 제외하고는 31. a)와 동일	연속된 다중의 격리밸브 (441-V-322/332, 661/ 681)가 안전주입탱크가 배수되는 것을 방지	밸브들은 고장시 닫히고, 정상운전 중 닫혀 있도록 설계됨
		c) 열린채 고장	31. b)와 동일	없음	31. b)와 동일	31. b)와 동일	밸브들은 고장시 닫혀 있도록 설계됨
		d) 최초 열림상태, LOP reset 기능 없음으로 인한 재열림 시도후 열린채 고장	전기적 고장, 시트누설	안전주입탱크 충전운전 동안 한 탱크의 배수 가능성 있음	주제어실의 밸브 위치 지시계; 안전주입계통 수위 지시계	탱크배수를 중지하기 위하여 다중격리밸브 (441-V-661 혹은 441-V- 681)를 잠금	밸브는 안전주입탱크 충전/배수 운전을 제외하고는 정상운전 중 닫혀 있음
		e) 최초 열림상태, LOP reset 기능 없음으로 인한 재열림 시도후 닫힌채 고장	전기적 고장, 구동기의 공기 공급차단	필요시 안전주입 탱크수위를 조절할 수 없음	31. a)와 동일	없음	안전주입탱크 수위가 운영기술지침 서 범위밖일 때 발전소 정지할 수 있음

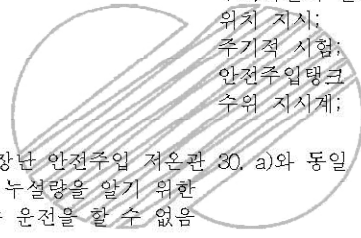


표 6.3-2 (18 중 9)

번호	명칭	고장유형	원인	증상과 국부 영향 (연쇄고장 포함)	감지 방법*	고유 보상 설비	주의 및 기타 영향
35.	안전주입탱크 질소공급 격리밸브 441-V-619,612 441-V-629,622 441-V-639,632 441-V-649,642	a) 닫힌채 고장	기계적 고착, 구동기의 공기 공급이 차단됨	필요시 안전주입탱크의 재가압이 안됨	주제어실내의 밸브위치 지시; 주기적 시험		발전소 정지
		b) 열린채 고장	기계적 고착, 시트누설, 전기적 고장	없음	주제어실내의 밸브위치 지시; 주기적 시험	연속된 격리밸브 (441-V-612/622/632/642, 441-V-619/629/639/649) 들이 닫혀 있음.	밸브는 고장시 닫히도록 설계됨
		c) 최초 열림상태, LOP reset 기능 없음으로 인한 재열림 시도후 열린채 고장	전기적 고장, 시트누설	질소공급배관의 다중 격리기능 손실	32. a)와 동일	다중격리밸브는 영향이 없음	
		d) 최초 열림상태, LOP reset 기능 없음으로 인한 재열림 시도후 닫힌채 고장	기계적 고착, 구동기의 공기 공급차단	32. a)와 동일	32. a)와 동일	없음	32. a)와 동일
36.	안전주입탱크 대기배기 격리밸브 441-V-613,605 441-V-623,606 441-V-633,607 441-V-643,608	a) 닫힌채 고장	기계적 고착, 전기적 고장	안전주입탱크의 재충수나 압력 감소를 위한 배기의 다중성 이 감소됨	주제어실내의 밸브위치 지시; 주기적 시험; 밸브가 열릴때 탱크 압력의 불변	다중의 병렬 배기관	
		b) 열린채 고장	기계적 고착 전기적 고장	없음	주제어실에서 밸브위치 지시; 주기적 시험; 안전주입탱크 저압력	직렬 격리밸브 (441-V-112/122/132 /142, 441-V-118/128 /138/148)가 닫힘	탱크의 배기가 필요할 때까지 밸브에 전원은 제거됨
37.	안전주입탱크 시료채취 격리밸브 441-V-214 441-V-224 441-V-234 441-V-244	a) 닫힌채 고장	기계적 고장	정상운전에 영향 없음, 안전주입탱크 내용물 채취 불가	운전원	없음	
		b) 열린채 고장	시트 누설, 기계적 고장	탱크 내용물의 소량 손실	국부 누설 감지기, 방사능 감지	없음	하류에 격리밸브가 위치하고 밸브들은 정상운전 중 닫혀 잠김

표 6.3-2 (18 중 10)

번호	명칭	고장유형	원인	증상과 국부 영향 (연쇄고장 포함)	감지 방법*	고유 보상 설비	주의 및 기타 영향
38.	원자로배수탱크 격리밸브 441-V-661	a) 열린채 고장	전기적 고장, 시트누설	안전주입탱크 충전 운전 중 한 탱크의 배수 가능성 있음	주제어실의 밸브 위치지시: 수위지시	운전원은 탱크배수를 방지하기 위하여 다중 격리밸브 (441 -V-611,621,631,641)를 잠금	밸브는 안전주입탱크를 배수하거나 (441 역류방지밸브의 압력을 원자로배수 탱크로 완화하기 위하여 열림
		b) 닫힌채 고장	구동기의 공기 공급차단	필요시 고장난 저온관 역류방지 밸브들의 누설량을 알기 위한 누 설관 배수 운전을 할 수 없음	35. a)와 동일	441-V-681을 이용한 재장전수탱크로의 배관이용	35. a)와 동일
39.	안전주입탱크 충전배관격리 밸브 441-V-681	a) 열린채 고장	전기적 고장, 시트누설	안전주입탱크 충전 운전 중 한 탱크의 배수 가능성 있음	주제어실의 밸브 위치지시, 안전주입탱크 수위지시계	운전원은 탱크배수를 방지하기 위하여 다중 격리밸브 잠금	밸브는 안전주입탱크 수위를 조절하기 위하여 열림
		b) 닫힌채 고장	전기적 고장, 구동기의 공기 공급차단	필요시 안전주입탱크 수위를 조절할 수 없음	36. a)와 동일	없음	만일 안전주입탱크 수위가 운영기술지침서 범위 밖이면 발전소를 정지할 수 있음
다음은 이 모드에서의 안전성관련 계기의 목록임							
40.	안전주입탱크 대기배기 격리밸브 441-V-112,118 441-V-122,128 441-V-132,138 441-V-142,148	a) 닫힌채 고장	기계적 고장,	안전주입탱크의 재충수나 압력 감소를 위한 배기의 다중성이 감소됨	없음	다중의 병렬 배기관	정상시 밸브는 열린 채 잠김
		b) 열린채 고장	기계적 고착,	없음	없음	직렬 격리밸브 닫힘 (441-V-605/606/607/608, 441-V-613/623/633/643)	
41.	안전주입탱크 수위 지시계 L-311 L-321 L-331 L-341	허위 지시	전기적 고장 기계적 고장	없음	주제어실내의 밸브위치 지시; 주기적 시험	없음	
42.	안전주입탱크 압력 지시계 P-311,313 P-321,323 P-331,333 P-341,343	허위 지시	전기적 고장; 기계적 고장	P-313/323/333/343을 통하여 기동시 원자로냉각재계통 재가압과 동시에 안전주입탱크 저압력 경보	주기적 시험; 다중의 지시계와 비교	P-311/321/331/341, P-313/323/333/343의 다중의 압력지시계	

표 6.3-2 (18 중 11)

번호	명칭	고장유형	원인	증상과 국부 영향 (연쇄고장 포함)	감지 방법*	고유 보상 설비	주의 및 기타 영향
나. 단기간 재순환 운전							
재장전수탱크의 양이 안전주입에 필요한 양인 7.8% 이하로 떨어지게 되면 재순환작동신호가 발생된다. 이는 기본적으로 다음의 변화를 제외하고는 상기의 주입 모드와 같이 정렬시킨다.							
1. 화학 및 체적제어계통의 재장전수탱크 흡입측 기기(451-V-530/531, 451-V-305/306)는 위치를 바꿀 것이다.							
2.	원자로건물 재순환집수조 배관 격리밸브 441-V-675 441-V-676	a) 재순환작동 신호에서 닫힌채 고장 b) 재순환작동 신호에서 열림 실패 c) 열린채 고장	기계적 고착, 전기적 고장 2. a)와 동일 2. a)와 동일, 오염, 시트 누설	재순환 중 하나의 고압안전주입 펌프의 상실 2. a)와 동일 없음	주제어실의 밸브 위치 지시; 주기적 시험; F-303이나 304의 저유량 지시 2. a)와 동일 주기적 시험	다중의 재순환집수조 배관과 펌프 2. a)와 동일 재순환작동신호에서 필요 없음	재순환작동신호에서 밸브는 열 림이 필요 재순환작동신호에서 밸브는 열 려 있음
3.	저압안전주입 펌프 1 또는 2	a) 재순환작동 신호에서 정지 실패	전기적 고장	저압안전주입펌프 방출구가 막히거 나, 순수흡입수두가 부족하여 손상이 가능	펌프 "run" 점등; 주기적 시험	다중의 안전주입 계열	펌프는 재순환작동신호에서 정 지하도록 설계
4.	저압안전주입 최소 우회관 격리밸브 441-V-668 441-V-669	a) 재순환작동 신호에서 닫힘 실패	기계적 고착 전기적 고장 오염	없음	주제어실의 밸브위치 지시; 주기적 시험	다중의 격리밸브들이 (441-V-660,659) 닫힘	재순환작동신호에서 밸브는 닫 힘이 필요
5.	고압안전주입 최소 우회관 격리밸브 441-V-666 441-V-667	a) 재순환작동 신호에서 닫힘 실패	기계적 고착 전기적 고장 오염	없음	주제어실의 밸브위치 지시; 주기적 시험	다중의 격리밸브들이 (441-V-660, 659) 닫힘	재순환작동신호에서 밸브는 닫 힘이 필요

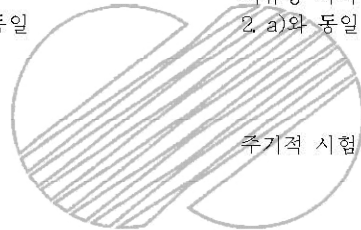


표 6.3-2 (18 중 12)

번호	명칭	고장유형	원인	증상과 국부 영향 (연쇄고장 포함)	감지 방법*	고유 보상 설비	주의 및 기타 영향
6.	원자로건물격리 밸브 시험밸브 441-V-566, 567 441-V-568, 569	a) 닫힌채 고장	기계적 고장,	계통운전에 영향 없음	주기적 시험.	없음	
		b) 열린채 고장	기계적 고장, 시트누설	없음	주기적 시험.	직렬 격리밸브 (441-V-570,571,572,573) 가 닫힘	밸브는 정상운전시 닫혀 있음.

다. 장기간 재순환 모드

냉각재상실사고 한 시간 후, 운전원은 증기발생기를 이용한 냉각을 시작한다. 교류전원이 이용가능하면 증기는 터빈우회계통을 통하여 방출되며, 교류전원이 없을때에는 대기방출계통을 통하여 방출된다. 세 시간내에 정지냉각계통 진입조건에 이르면 정지냉각계통은 운전에 들어간다. 만약 세 시간 이내에 정지냉각 진입조건에 이르지 못하면, 냉각재상실사고후 두 시간 내지 세 시간후, 고압안전주입 토출 배관은 총 주입유량을 고온관과 저온관에 똑같이 나누어 주입하기 위하여 재정렬된다. 기본적으로 이 운전은 아래의 변화와 추가적인 사항을 제외하고는 단기간 재순환운전과 같이 정렬을 한다.

1.	고압안전주입 펌프 토출측 격리밸브 441-V-698 441-V-699 441-V-476 441-V-478	a) 닫힌채 고장	기계적 고착, 전기적 고장	441-V-476 또는 478 이 닫혀 고장 났을 경우 하나의 고압안전 지시(441-V-698/699); 주입펌프의 상실, 441-V-698, P-308,309의 저압력 699에 대해서는 없음	주제어실의 위치 지시; 주기적 시험	다중의 고압안전주입 계열	밸브는 정상운전 중 열려 잠김
		b) 고온관과 저온관 동시 주입시 열린채 고장	1. a)와 동일, 441-V-698,699의 시트누설	영향을 받은 고온관 유량이 총 유량의 50% 보다 적을것임. 고압 안전주입펌프는 최대 유량을 넘을 것임	주기적 시험; 주제어실의 밸브 위치 지시 (441-V-698/699)	1. a)와 동일	
2.	고온관 주입 격리밸브 441-V-603 441-V-604 441-V-321 441-V-331	a) 고온관과 저온관 동시 주입시 닫힌채 고장	기계적 고착, 전기적 고장	하나의 고온관 주입 유로 상실	주제어실의 밸브위치 지시; 주기적 시험	다중의 고압안전주입 계열	
		b) 열린채 고장	2. a)와 동일, 시트 누설	없음	2. a)와 동일	필요 없음	밸브는 정상운전 중 닫혀 잠김

표 6.3-2 (18 중 13)

번호	명칭	고장유형	원인	증상과 국부 영향 (연쇄고장 포함)	감지 방법*	고유 보상 설비	주의 및 기타 영향
3.	역류방지밸브 누설배관 격리밸브 441-V-322 441-V-332	a) 안전주입작동 신호시 닫힘 실패	전기적 고장, 시트누설, 오염	없음	주기적 시험; 주제어실의 밸브위치 지시	다중의 연속된 격리밸브가 (441-V-681/661) 고온관 주입수의 배수를 방지함.	밸브가 고장시 닫히도록 설계됨
		b) 닫힌채 고장	기계적 고착, 구동기의 공기 공급이 차단됨	고온관 주입배관의 역류방지밸브 3. a)와 동일 시험을 수행할수 없음			수리
		c) 열린채 고장	시트누설, 오염	없음	3. a)와 동일	3. a)와 동일	밸브는 정상운전 중 닫혀 있으며, 고장시 닫힘
		d) 최초 열림 상태, LOP reset 기능 없음으로 인한 재열림 시도후 열린채 고장	전기적 고장, 시트누수	없음	3. a)와 동일	배관부 배수방지를 위한 다중격리밸브(441-V-661, 681)	밸브는 고온관으로부터의 누설을 배수하기 위하여 열림
		e) 최초 열림 상태, LOP reset 기능 없음으로 인한 재열림 시도후 닫힌채 고장	기계적 고착, 구동기의 공기 공급차단	3. a)와 동일	3. a)와 동일	없음	3. a)와 동일
4.	정지냉각계통 흡입 배관 격리밸브 441-V-651 441-V-652	a) 열린채 고장	기계적 고착, 전기적 고장, 시트누설	없음	주기적 시험; 주제어실의 밸브위치 지시	다중의 연속된 격리밸브 (441-V-653,654)가 닫혀 있음	밸브는 정상운전 중 닫혀 잠김
		b) 닫힌채 고장	기계적 고착 전기적 고장	없음	4. a)와 동일	필요 없음	
5.	고온관 유량 지시계로의 고압 토출 F-390 F-391	허위 지시	전기적 고장	없음, 고온관과 저온관 주입 배관의 동일하지 않은 유량 지시	주기적 시험; 다중의 유량계와의 비교	다중의 지시계	

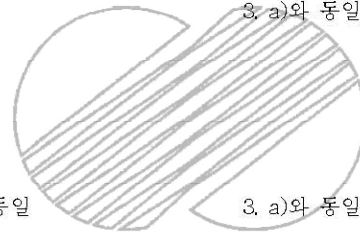


표 6.3-2 (18 중 14)

번호	명칭	고장유형	원인	증상과 국부 영향 (연쇄고장 포함)	감지 방법*	고유 보상 설비	주의 및 기타 영향
라. 역류방지밸브 분석							
다음은 이 문서에서 분석한 모든 안전주입계통의 역류방지밸브의 목록이다.							
1.	원자로건물 재순환집수조 흡입측 역류방지밸브 441-V-205 441-V-206	a) 주입 모드 중 열린채 고장 b) 주입 모드 중 닫힌채 고장 c) 장기간과 단기간 재순환 모드시 열린채 고장 d) 장기간과 단기간 재순환 모드시 닫힌채 고장	기계적 고착, 부식 기계적 고착, 부식 기계적 고착, 부식 기계적 고착, 부식	없음 없음 없음 하나의 고압안전주입 계열의 상실	없음 없음 없음 없음	주입 모드 중 연속된 격리밸브 441-V-675,676이 역류를 방지한다. 없음 없음 다중의 계열	
2.	저압안전주입 흡입측 역류방지밸브 441-V-200 441-V-201	a) 열린채 고장 (모든 모드) b) 닫힌채 고장 (모든 모드)	기계적 고착, 부식 기계적 고착, 부식	없음 하나의 저압안전주입 계열의 상실	없음 없음	없음 다중의 저압안전주입 계열	
3.	저압안전주입 최소우회관 역류방지밸브 441-V-448 441-V-451	a) 주입 모드 중 열린채 고장 b) 주입 모드 중 닫힌채 고장 c) 장기간과 단기간의 재순환 운전 중 열린채 고장	기계적 고착, 부식 기계적 고착, 부식 기계적 고착, 부식	없음 펌프의 손상 가능과 하나의 저압안전주입 계열 상실 없음	없음 유량계, F-300 없음	없음 다중의 계열 직렬의 격리밸브가 (441-V-669,668) 닫혀 있음	

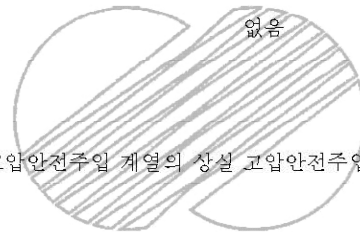


표 6.3-2 (18 중 15)

번호	명칭	고장유형	원인	증상과 국부 영향 (연쇄고장 포함)	감지 방법*	고유 보상 설비	주의 및 기타 영향
		d) 장기간과 단기간의 재순환 운전 중 닫힌채 고장	기계적 고착 부식	없음	없음	없음	
4.	고압안전주입 최소우회관 역류방지밸브 441-V-424 441-V-426	a) 주입 모드 중 열린채 고장	기계적 고착, 부식	없음	없음	없음	
		b) 주입 모드 중 닫힌채 고장	기계적 고착 부식	펌프 손상의 가능 그리고 하나의 고압안전주입 계열 상실	유량계, F-300	다중 계열	
		c) 장기간과 단기간 재순환 모드 중 열린채 고장	기계적 고착, 부식	없음	없음	직렬의 격리밸브가 닫혀있음 (441-V-666,667)	
		d) 장기간과 단기간 재순환 모드 중 닫힌채 고장	기계적 고착 부식	없음	없음	없음	
5.	저압안전주입 방출측 역류방지밸브 441-V-434 441-V-446	a) 열린채 고장 (모든 모드)	기계적 고착, 부식	없음	없음	후단부 역류방지밸브들이 (441-V-114/124/134/144) 고압안전주입펌프의 역류를 방지	
		b) 닫힌채 고장 (모든 모드)	기계적 고착, 부식	하나의 저압안전주입 계열의 상실	F-306,307 유량계; 주기적 시험	다중의 저압안전주입 계열	
6.	저압 모관 역류방지밸브 441-V-114 441-V-124 441-V-134 441-V-144	a) 장기간과 단기간 재순환 모드 중 열린채 고장	기계적 고착, 부식	저압안전주입 계열의 과압	P-306,307에 저압안전주입 고압력; 누설 감지	다중의 저압안전주입 계열과 영향 받은 저압안전주입 계열의 격리; 직접 연결된 방출밸브 (441-V-439,449)	
		b) 주입 모드 중 닫힌채 고장	기계적 고착 부식	하나의 원자로냉각재계통 저온관으로의 저압안전주입펌프 유량상실	F-306,307의 저유량 지시; 주기적 시험	다중의 저압안전주입 계열	

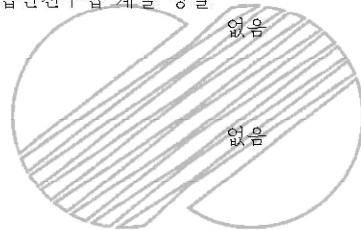


표 6.3-2 (18 중 16)

번호	명칭	고장유형	원인	증상과 국부 영향 (연쇄고장 포함)	감지 방법*	고유 보상 설비	주의 및 기타 영향
7.	안전 주입 배관 역류방지밸브 441-V-540 441-V-541 441-V-542 441-V-543	a) 열린채 고장 (모든 모드)	기계적 고착, 부식	정상운전 중 안전주입 배관에 봉산 농도 감소 가능	없음	연속된 역류방지밸브들이 (441-V-114/124/134/144, 441-V-113/123/133/143) 역류 방지; 다중의 계열	
		b) 닫힌채 고장 (모든 모드)	기계적 고착, 부식	하나의 원자로냉각재계통 저온 관으로의 안전주입펌프의 유량 상실	주기적 시험	다중의 저온관 주입 배관	
8.	원자로냉각재 계통 역류방지밸브 441-V-217 441-V-227 441-V-237 441-V-247	a) 열린채 고장 (모든 모드)	기계적 고착, 부식	정상운전 중 안전주입 배관내의 봉산 농도 감소 가능	P-319/329/339/349에 고압력 정보	직렬의 역류방지밸브가 (441-V-540/541/542/543) 역류를 방지함	
		b) 닫힌채 고장 (모든 모드)	기계적 고착, 부식	하나의 원자로냉각재계통 저온 관으로의 안전주입 펌프 유량 상실	주기적 시험	시험 프로그램이 밸브를 단일고장기준으로부터 면제시킴	
9.	안전주입탱크 역류방지밸브 441-V-215 441-V-225 441-V-235 441-V-245	a) 열린채 고장 (모든 모드)	기계적 고착, 부식	안전주입탱크의 과압과 원자로 냉각재계통으로의 주입 유량 감소	주입 모드 중 안전주입탱 크의 수위와 압력 증가	다중의 안전주입 계열과 영향받은 안전주입탱크의 격리;안전주입탱크 방출밸브(441-V-211/221/231/241)	
		b) 닫힌채 고장 (모든 모드)	기계적 고착, 부식	하나의 원자로냉각재계통 저온 관으로의 안전주입탱크 유량 상실	주기적 시험		
10.	고압안전주입 방출측 역류방지밸브 441-V-404 441-V-405	a) 열린채 고장 (모든 모드)	기계적 고착, 부식	없음	없음	없음	
		b) 닫힌채 고장 (모든 모드)	기계적 고착, 부식	하나의 고압안전주입펌프와 유로의 상실	F-311/321/331/341의 고압안전주입 저유량 지시	다중의 고압안전주입 계열	

표 6.3-2 (18 중 17)

번호	명칭	고장유형	원인	증상과 국부 영향 (연쇄고장 포함)	감지 방법*	고유 보상 설비	주의 및 기타 영향
11.	고압안전주입 모관 역류방지밸브 441-V-113 441-V-123 441-V-133 441-V-143	a) 열린채 고장 (모든 모드)	기계적 고착, 부식	없음	없음	직렬의 역류방지밸브가 (441-V-404,405) 역류를 방지 함	
		b) 닫힌채 고장 (모든 모드)	기계적 고착, 부식	고압안전주입펌프로부터 원자로 냉각재계통 저온관으로의 유량 상실	유량계, F-311/321/331/341	다중의 고압안전주입 계열	
12.	고압 모관 역류방지밸브 441-V-522 441-V-532	a) 장기간 재순환 운전 중 열린채 고장	기계적 고착 부식	없음	없음	없음	
		b) 장기간 재순환 운전 중 닫힌채 고장	기계적 고착, 부식	하나의 고압안전주입 고온관 주입 유량상실	저온관 고유량 지시 (F-311/321/331/341); 주기적 시험; 저유량 지시 (F-390/391) 없음	다중의 고압안전주입과 고온관 주입 유로	
		c) 주입 모드와 단기간 재순환 운전 중 열린채 고장	기계적 고착, 부식	없음	없음	직렬의 격리밸브가 (441-V-321/331) 닫혀있음	
		d) 주입 모드와 단기간 재순환 운전 중 닫힌채 고장	기계적 고착, 부식	없음	주기적 시험	없음	
13.	고압 모관 역류방지밸브 (고온관 주입) 441-V-523 441-V-533	a) 장기간 재순환 운전 중 열린채 고장	기계적 고착, 부식	없음	없음	없음	
		b) 장기간 재순환 운전 중 닫힌채 고장	기계적 고착 부식	하나의 고온관 주입 유량 상실	저유량 지시(F-390/391); 주기적시험);저온관 고유량 주입 배관 지시(F-311/321/331/341)	다중의 고압안전주입과 고온관	

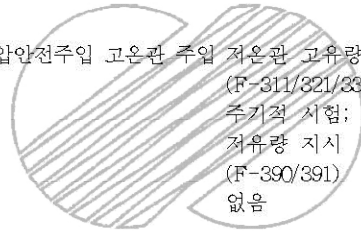
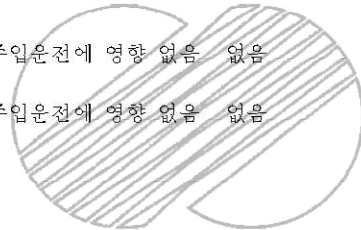


표 6.3-2 (18 중 18)

번호	명칭	고장유형	원인	증상과 국부 영향 (연쇄고장 포함)	감지 방법*	고유 보상 설비	주의 및 기타 영향
		c) 주입 모드와 단기간 재순환 운전 중 열린채 고장	기계적 고착, 부식	없음	없음	직렬의 역류방지밸브가 (441-V-321/331) 닫혀있음	
		d) 주입 모드와 단기간 재순환 운전 중 닫힌채 고장	기계적 고착 부식	없음	주기적 시험	필요 없음	
14	비상냉각수 외부 주입 유로 역지밸브**	a) 닫힌채 고장	기계적 고착	저압안전주입운전에 영향 없음	없음	필요 없음	
	441-V-801	b) 열린채 고장	기계적 고착	저압안전주입운전에 영향 없음	없음	직렬 격리밸브 441-V-803/804 는 닫힘	
	441-V-802						



* 감지방법란은 사고 때나 사고 전에 고장을 감지할 수 있다는 것을 보여주기 위해 사용된다.

** 후쿠시마 사고 후속 개선 조치사항인 원자로 비상냉각수 외부 주입유로(부록 1C, 4-3항 참조)에 설치되는 밸브로서 중대사고시 원자로냉각재계통이 충분히 감압된 상태에서 비상냉각수를 외부에서 주입하기 위한 대처설비(Provision)이다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

표 6.3-3 (2 중 1)

안전주입계통 안전성관련 공정계측기

<u>계기</u>	<u>채널갯수</u>	<u>범위</u>	<u>사고 후 기능</u>
<u>일차계통</u>			
가압기 압력	4	0~210.9 kg/cm ² A (0~3,000 psia)	안전주입작동신호 시작, 일차계통 압력 감시
가압기 압력	4	0~52.7 kg/cm ² A (0~750 psia)	일차계통 압력 감시, 정지냉각계통 흡입 밸브와 안전주입탱크 격리밸브에 연동 제공
<u>안전주입계통</u>			
고압안전주입계통 저온관 유량	4	0~2,500 L/min (0~660.8 gpm)	고압안전주입계통 저온관주입 유량 감시
고압안전주입계통 고온관 유량	2	0~2,500 L/min (0~660.8 gpm)	고압안전주입계통 고온관 주입유량 감시
정지냉각/저압안전 주입계통 유량	2	0~25,000 L/min (0~6,604 gpm)	정지냉각 유량을 설정하기 위한 정지냉각/저압안전주입유량 감시
정지냉각열교환기 입출구 온도 계측기/ 기록계 (계열 A)	2	4.4~200 °C (40~392 °F)	정지냉각계통 성능감시 및 기록 원자로냉각재계통의 냉각률 제어에 사용됨

6.3-69

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

표 6.3-3 (2 중 2)

6.3-70

계기	채널갯수	범위	사고 후 기능
<u>안전주입계통</u>			
정지냉각열교환기 입출구 온도계측기/ 기록계 (계열 B)	2	4.4~200 °C (40~392 °F)	정지냉각 열교환기 성능 감시 및 기록 원자로냉각재계통의 냉각률 제어에 사용됨
안전주입탱크 광역 압력	탱크당 1개	0~52.7 kg/cm ² (0~750 psig)	안전주입 탱크압력 감시
재장전수탱크 수위	4	0~100 %	재순환작동신호 발생, 재장전수탱크 수위 감시
안전주입탱크 광역 수위	탱크당 1개	0~100 %	안전주입탱크 수위 감시
<u>원자로건물</u>			
원자로건물 압력 (협역)	4	-300~1,200 cm H ₂ O (-4~17 psig)	안전주입작동신호, 주증기격리신호, 원자로건물격리작동신호 발생
원자로건물 압력 (광역)	4	-360~5,600 cm H ₂ O (-5~79.5 psig)	원자로건물살수작동신호 발생
원자로건물 압력 (초광역)	2	-360~13,000 cm H ₂ O (-5~180 psig)	원자로건물 압력 감시

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.3-4 (2 중 1)

안전주입계통 유량주입 자료

가. 주입모드

안전주입계통 주입점 ¹⁾	유량 L/min (gpm)	안전주입계통 주입점 ¹⁾	유량 L/min (gpm)
2	44,667 (11,800) ²⁾	50	1,628 (430)
5	19,305 (5,100)	54	265 (70)
		56	3,520 (930) ³⁾
6	25,362 (6,700) ²⁾	57	3,785 (1,000) ³⁾
12	17,677 (4,670)	61	2,139 (565)
16	8,839 (2,335)	62	10,977 (2,900)
17	4,542 (1,200)	64	226,739 (59,900)
24	4,277 (1,130)	72	215,745 (57,000)
25	1,071 (283)	82	7,571 (2,000) ³⁾

나. 단기 재순환모드

안전주입계통 주입점 ⁴⁾	유량 L/min (gpm)	안전주입계통 주입점 ⁴⁾	유량 L/min (gpm)
1	23,333 (6,164) ^{2), 3)}	61	2,203 (582)
17	4,406 (1,164)	64	2,203 (582)
25	1,102 (291)	72	0 (0)

다. 장기 재순환모드

안전주입계통 주입점 ⁵⁾	유량 L/min (gpm)
1	23,333 (6,164)
17	4,406 (1,164)
24	2,203 (582)
25	553 (146)
42	2,203 (582)
47	2,203 (582)
61	1,102 (291)
64	1,102 (291)

1) 그림 6.3-2 참조

2) 18,925 L/min (5,000 gpm) 원자로건물살수계통 유량 가정

3) 1,893 L/min (500 gpm) 원자로건물살수계통 최소 재순환 유량 가정

4) 그림 6.3-3 참조

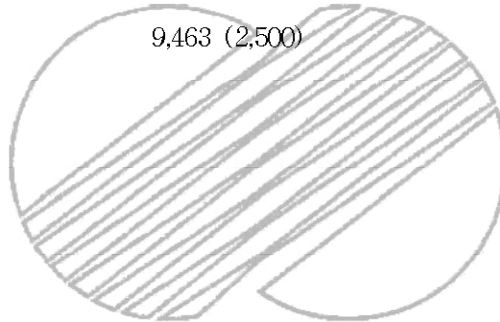
5) 그림 6.3-4 참조

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.3-4 (2 중 2)

라. 정지냉각모드

<u>안전주입계통 주입점¹⁾</u>	<u>유량 L/min (gpm)</u>
10	18,925 (5,000)
13	2)
14	18,925 (5,000)
16	9,463 (2,500)
31	2)
37	18,925 (5,000)
38	18,925 (5,000)
64	9,463 (2,500)



1) 그림 6.3-5 참조

2) 18,925 L/min (5,000 gpm)의 유량이 원자로냉각재계통 냉각률을 41.7 °C/hr (75 °F/hr) 이하로 유지하기 위하여 점 13과 점 31로 나뉘어 들어감

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.3-5 (2 중 1)

안전주입계통 유효흡입수두와 수두손실요건

가. 펌프 총유효흡입수두 요건

	펌프당 유량 L/min (gpm)	총유효흡입수두 ¹⁾ m (ft)
<u>고압안전주입펌프</u>		
주입모드	4,674 (1,235 ²⁾)	6.7 (22 ³⁾)
재순환모드	4,674 (1,235)	6.7 (22 ⁴⁾)

저압안전주입펌프

주입모드	19,379 (5,120 ²⁾)	6.7 (22 ³⁾)
재순환모드	19,379 (5,120)	6.7 (22 ⁴⁾)
주변온도 순환모드	13,248 (3,500)	5.8 (19 ⁵⁾)

나. 계통 수두손실 요건

	펌프당 유량 L/min (gpm)	필요한 계통저항 m (ft)
--	-----------------------	--------------------

고압안전주입펌프

주입모드	4,277 (1,130 ⁶⁾)	548 (1,915 ⁷⁾)
장기냉각모드	4,406 (1,164)	618 (2,028 ⁸⁾)

저압안전주입펌프

주입모드	17,676 (4,670 ⁶⁾)	93 (305 ⁹⁾)
주변온도 순환모드	13,248 (3,500)	113 (370 ¹⁰⁾)

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.3-5 (2 중 2)

- 1) 상기 유효흡입수두 값들은 필요한 펌프의 요구유효흡입수두에 10% 여유를 포함한 값임
- 2) 우회유량 포함
- 3) 대기압과 48.9 °C (120 °F)에서의 물을 기준으로 함. 모든 펌프들은 재장전수탱크에서 흡입하여 허용 최대유량으로 운전됨(모든 펌프는 각 계열에서 운전되는 1대의 고압안전주입펌프, 1대의 저압안전주입펌프, 1대의 원자로건물살수펌프를 포함한다)
- 4) 148.9 °C (300 °F)에서 포화상태의 물의 성질에 기준하여 고압안전주입펌프, 원자로건물살수펌프는 허용 최대유량에서 원자로건물 재순환집수조로부터 흡입함
- 5) 대기압과 51.7 °C (125 °F)에서의 물을 기준으로함. 1대의 저압안전주입펌프는 고온관(또는 재장전수탱크)으로부터 흡입함
- 6) 우회유량은 포함되지 않음
- 7) 재순환운전 시작때의 재장전수탱크 수위와 저온관 주입노즐 출구 사이의 마찰 및 높이차에 의한 손실. 1대의 고압안전주입펌프가 운전된다고 가정함
- 8) 원자로건물 재순환집수조의 최소 수위와 저온관 주입노즐 출구 사이, 그리고 고온관에 있는 정지냉각노즐 사이의 마찰 및 높이차에 의한 손실. 필요한 수두손실은 유량배분 오리피스 손실도 포함함. 1대의 고압안전주입펌프가 운전된다고 가정함
- 9) 재순환운전 시작때의 재장전수탱크 수위와 저온관 주입노즐 출구 사이의 마찰 및 높이 차에 의한 손실. 1대의 저압안전주입펌프가 운전된다고 가정함
- 10) 전체 유로의 마찰 및 높이차에 의한 손실. 운전 중인 1대의 저압안전주입펌프는 고온관(또는 재장전수탱크)에서 흡입을 받아 보통 저압안전주입펌프와 원자로건물살수펌프의 가동중시험때 쓰이는 연결배관을 통하여 재장전수탱크로 배출함. 441-V-306/307 밸브와 441-V-657/658 밸브는 충분한 계통저항을 위하여 이 운전을 시작하기 전에 적절한 시험위치에 놓아야 함.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.3-6 (9 중 1)

안전주입계통 밸브 목록

<u>밸브 번호</u>	<u>밸브 종류</u> ⁽¹⁾	<u>구동기</u> ⁽²⁾	<u>설계 압력</u> kg/cm ² (psig)	<u>설계 온도</u> °C(°F)	<u>환경 조건</u> ⁽³⁾
441-V-161	R	N	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-170	G	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-172	G	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-180	G	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-182	G	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-191	R	N	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-193	R	N	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-194	R	N	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-200	C	N	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-201	C	N	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-203	G	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-205	C	N	7.030(100)	176.66(350)	D
441-V-206	C	N	7.030(100)	176.66(350)	D
441-V-207	G	H	7.030(100)	176.66(350)	D
441-V-208	G	H	7.030(100)	176.66(350)	D
441-V-218	G	H	144.1(2,050)	176.66(350)	D
441-V-219	G	H	144.1(2,050)	176.66(350)	D
441-V-268	G	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-285	R	N	144.1(2,050)	176.66(350)	D
441-V-286	R	N	144.1(2,050)	176.66(350)	D
441-V-288	R	N	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-298	T	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-306	G	M	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-307	G	M	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-400	G	H	144.1(2,050)	176.66(350)	D
441-V-402	T	H	7.030(100)	176.66(350)	D
441-V-404	C	N	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-405	C	N	144.1(2,050)	176.66(350)	D
441-V-407	R	N	144.1(2,050)	176.66(350)	D
441-V-408	G	H	144.1(2,050)	176.66(350)	D
441-V-409	R	N	144.1(2,050)	176.66(350)	D
441-V-416	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	D

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.3-6 (9 중 2)

밸브 번호	밸브 종류 ⁽¹⁾	구동기 ⁽²⁾	설계 압력 kg/cm ² (psig)	설계 온도 °C(°F)	환경 조건 ⁽³⁾
441-V-417	R	N	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-418	T	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-419	T	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-420	T	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-421	T	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-424	C	N	144.1(2,050)	176.66(350)	D
441-V-426	C	N	144.1(2,050)	176.66(350)	D
441-V-428	G	H	144.1(2,050)	176.66(350)	D
441-V-431	G	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-433	G	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-434	C	N	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-435	T	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-436	G	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-437	G	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-438	G	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-439	R	N	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-440	G	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-441	G	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-443	G	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-446	C	N	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-447	T	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-448	C	N	144.1(2,050)	176.66(350)	D
441-V-449	R	N	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-451	C	N	144.1(2,050)	176.66(350)	D
441-V-459	G	H	144.1(2,050)	176.66(350)	D
441-V-460	T	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-461	G	H	144.1(2,050)	176.66(350)	D
441-V-462	G	H	144.1(2,050)	176.66(350)	D
441-V-463	G	H	144.1(2,050)	176.66(350)	D
441-V-464	T	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-466	G	H	144.1(2,050)	176.66(350)	D
441-V-470	T	H	7.03(100)	176.66(350)	D
441-V-473	R	N	144.1(2,050)	176.66(350)	B
441-V-474	R	N	144.1(2,050)	176.66(350)	B

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.3-6 (9 중 3)

밸브 번호	밸브 종류 ⁽¹⁾	구동기 ⁽²⁾	설계 압력 kg/cm ² (psig)	설계 온도 °C(°F)	환경 조건 ⁽³⁾
441-V-476	T	H	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-478	T	H	144.1(2,050)	176.66(350)	D
441-V-482	G	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-483	G	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-491	G	H	7.030(100)	176.66(350)	D
441-V-492	G	H	7.030(100)	176.66(350)	D
441-V-493	G	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-494	G	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-495	G	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-496	G	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-508	G	H	212.6(3,025)	93.3(200)	D
441-V-509	G	H	212.6(3,025)	93.3(200)	D
441-V-550	G	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-552	G	H	7.030(100)	176.66(350)	D
441-V-553	G	H	7.030(100)	176.66(350)	D
441-V-555	G	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-603	T	M	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-604	T	M	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-657	F	M	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-658	F	M	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-659	G	S	144.1(2,050)	176.66(350)	D
441-V-660	G	S	144.1(2,050)	176.66(350)	D
441-V-661	G	D	144.1(2,050)	176.66(350)	B
441-V-666	G	M	144.1(2,050)	176.66(350)	D
441-V-667	G	M	144.1(2,050)	176.66(350)	D
441-V-668	G	M	144.1(2,050)	176.66(350)	D
441-V-669	G	M	144.1(2,050)	176.66(350)	D
441-V-675	F	M	7.030(100)	176.66(350)	A
441-V-676	F	M	7.030(100)	176.66(350)	A
441-V-681	G	D	144.1(2,050)	176.66(350)	A
441-V-691	T	M	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-692	T	M	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-693	T	M	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-694	T	M	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-695	T	M	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-696	T	M	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-698	T	M	144.1(2,050)	176.66(350)	D
441-V-699	T	M	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-112	D	H	49.21(700)	93.333(200)	A
441-V-113	C	N	174.7(2,485)	343.33(650)	A

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.3-6 (9 중 4)

밸브 번호	밸브 종류 ⁽¹⁾	구동기 ⁽²⁾	설계 압력 kg/cm ² (psig)	설계 온도 °C(°F)	환경 조건 ⁽³⁾
441-V-114	C	N	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-115	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-116	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-117	G	H	49.21(700)	93.333(200)	B
441-V-118	D	H	49.21(700)	93.333(200)	A
441-V-119	G	H	49.21(700)	93.333(200)	B
441-V-122	D	H	49.21(700)	93.333(200)	A
441-V-123	C	N	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-124	C	N	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-125	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-126	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-127	G	H	49.21(700)	93.333(200)	B
441-V-128	D	H	49.21(700)	93.333(200)	A
441-V-129	G	H	49.21(700)	93.333(200)	B
441-V-132	D	H	49.21(700)	93.333(200)	A
441-V-133	C	N	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-134	C	N	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-135	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-136	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-137	G	H	49.21(700)	93.333(200)	B
441-V-138	D	H	49.21(700)	93.333(200)	A
441-V-139	G	H	49.21(700)	93.333(200)	B
441-V-142	D	H	49.21(700)	93.333(200)	A
441-V-143	C	N	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-144	C	N	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-145	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-146	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-147	G	H	49.21(700)	93.333(200)	B
441-V-148	D	H	49.21(700)	93.333(200)	A
441-V-149	G	H	49.21(700)	93.333(200)	B
441-V-166	R	N	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-169	R	N	174.7(2,485)	343.33(650)	B
441-V-179	R	N	63.3(900)	204.44(400)	B
441-V-189	R	N	63.3(900)	204.44(400)	B

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.3-6 (9 중 5)

밸브 번호	밸브 종류 ⁽¹⁾	구동기 ⁽²⁾	설계 압력 kg/cm ² (psig)	설계 온도 °C(°F)	환경 조건 ⁽³⁾
441-V-210	G	H	144.1(2,050)	176.66(350)	B
441-V-211	R	N	49.21(700)	93.333(200)	B
441-V-212	G	H	49.21(700)	93.333(200)	A
441-V-213	G	H	49.21(700)	93.333(200)	A
441-V-214	G	H	49.21(700)	93.333(200)	B
441-V-215	C	N	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-216	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	B
441-V-217	C	N	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-220	G	H	144.1(2,050)	176.66(350)	B
441-V-221	R	N	49.21(700)	93.333(200)	B
441-V-222	G	H	49.21(700)	93.333(200)	A
441-V-223	G	H	49.21(700)	93.333(200)	A
441-V-224	G	H	49.21(700)	93.333(200)	B
441-V-225	C	N	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-226	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	B
441-V-227	C	N	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-228	G	H	49.21(700)	93.333(200)	A
441-V-229	G	H	49.21(700)	93.333(200)	A
441-V-230	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	B
441-V-231	R	N	49.21(700)	93.333(200)	B
441-V-232	G	H	49.21(700)	93.333(200)	A
441-V-233	G	H	49.21(700)	93.333(200)	A
441-V-234	G	H	49.21(700)	93.333(200)	B
441-V-235	C	N	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-236	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	B
441-V-237	C	N	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-238	G	H	49.21(700)	93.333(200)	A
441-V-239	G	H	49.21(700)	93.333(200)	A
441-V-240	G	H	144.1(2,050)	176.66(350)	B
441-V-241	R	N	49.21(700)	93.333(200)	B
441-V-242	G	H	49.21(700)	93.333(200)	A
441-V-243	G	H	49.21(700)	93.333(200)	A
441-V-244	G	H	49.21(700)	93.333(200)	B
441-V-245	C	N	174.7(2,485)	343.33(650)	A

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.3-6 (9 중 6)

밸브 번호	밸브 종류 ⁽¹⁾	구동기 ⁽²⁾	설계 압력 kg/cm ² (psig)	설계 온도 °C(°F)	환경 조건 ⁽³⁾
441-V-246	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	B
441-V-247	C	N	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-248	G	H	49.21(700)	93.333(200)	A
441-V-249	G	H	49.21(700)	93.333(200)	A
441-V-258	G	H	49.21(700)	93.333(200)	A
441-V-259	G	H	49.21(700)	93.333(200)	A
441-V-321	G	M	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-322	G	D	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-331	G	M	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-332	G	D	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-468	R	N	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-469	R	N	174.7(2,485)	343.33(650)	B
441-V-506	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	B
441-V-516	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	B
441-V-522	C	N	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-523	C	N	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-525	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-526	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-532	C	N	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-533	C	N	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-535	G		174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-536	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-540	C	N	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-541	C	N	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-542	C	N	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-543	C	N	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-566	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-567	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-568	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-569	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-570	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-571	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-572	G		174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-573	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-576	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-577	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-578	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-579	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	D

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.3-6 (9 중 7)

밸브 번호	밸브 종류 ⁽¹⁾	구동기 ⁽²⁾	설계 압력 kg/cm ² (psig)	설계 온도 °C(°F)	환경 조건 ⁽³⁾
441-V-580	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-581	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-582	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-583	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-586	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-587	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-588	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-589	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-590	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-591	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-592	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-593	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-605	G	S	49.21(700)	93.333(200)	A
441-V-606	G	S	49.21(700)	93.333(200)	A
441-V-607	G	S	49.21(700)	93.333(200)	A
441-V-608	G	S	49.21(700)	93.333(200)	A
441-V-611	G	D	144.1(2,050)	176.66(350)	A
441-V-612	G	D	49.21(700)	93.333(200)	B
441-V-613	G	S	49.21(700)	93.333(200)	A
441-V-614	T	M	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-615	G	M	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-616	G	M	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-617	G	M	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-618	G	D	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-619	G	D	49.21(700)	93.333(200)	B
441-V-621	G	D	144.1(2,050)	176.66(350)	A
441-V-622	G	D	49.21(700)	93.333(200)	B
441-V-623	G	S	49.21(700)	93.333(200)	A
441-V-624	T	M	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-625	G	M	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-626	G	M	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-627	G	M	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-628	G	D	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-629	G	D	49.21(700)	93.333(200)	B
441-V-631	G	D	144.1(2,050)	176.66(350)	A
441-V-632	G	D	49.21(700)	93.333(200)	B
441-V-633	G	S	49.21(700)	93.333(200)	A
441-V-634	T	M	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-635	G	M	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-636	G	M	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-637	G	M	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-638	G	D	174.7(2,485)	343.33(650)	A

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.3-6 (9 중 8)

밸브 번호	밸브 종류 ⁽¹⁾	구동기 ⁽²⁾	설계압력 kg/cm ² (psig)	설계온도 ℃(°F)	환경 조건 ⁽³⁾
441-V-639	G	D	49.21(700)	93.333(200)	B
441-V-641	G	D	144.1(2,050)	176.66(350)	A
441-V-642	G	D	49.21(700)	93.333(200)	B
441-V-643	G	S	49.21(700)	93.333(200)	A
441-V-644	T	M	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-645	G	M	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-646	G	M	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-647	G	M	174.7(2,485)	343.33(650)	D
441-V-648	G	D	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-649	G	D	49.21(700)	93.333(200)	B
441-V-651	T	M	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-652	T	M	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-653	T	M	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-654	T	M	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-655	T	M	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-656	T	M	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-689	G	M	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-690	G	M	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-801 ⁽⁴⁾	C	N	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-802 ⁽⁴⁾	C	N	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-803 ⁽⁴⁾	T	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-804 ⁽⁴⁾	T	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-805 ⁽⁴⁾	G	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-806 ⁽⁴⁾	G	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-807 ⁽⁴⁾	T	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-808 ⁽⁴⁾	T	H	63.3(900)	204.44(400)	D
441-V-957	T	H	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-958	T	H	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-961	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-962	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-963	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-964	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-965	G	H	63.3(900)	204.44(400)	A
441-V-967	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-968	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	A
441-V-971	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	A

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.3-6 (9 중 9)

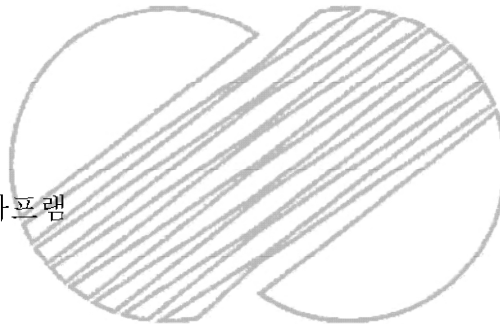
밸브 번호	밸브 종류 ⁽¹⁾	구동기 ⁽²⁾	설계압력 kg/cm ² (psig)	설계온도 ℃(°F)	환경 조건 ⁽³⁾	6
441-V-972	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	A	
441-V-973	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	A	
441-V-974	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	A	
441-V-975	G	H	63.3(900)	204.44(400)	A	
441-V-977	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	A	
441-V-978	G	H	174.7(2,485)	343.33(650)	A	

(1) 밸브 종류

- C - Swing Check
- F - Butterfly
- G - Globe
- R - Relief
- T - Gate

(2) 구동기 형식

- D - 공기식 다이어프램
- H - 수동
- M - 전동기
- N - 없음
- S - 솔레노이드



(3) 환경조건은 다음의 범주안에서 분류된다.

- A - 원자로건물 환경 : 냉각재상실사고 또는 증기관파열사고
- B - 원자로건물 환경 : 정상환경
- C - 보조건물 환경 : 정상환경
- D - 보조건물 환경 : 냉각재상실사고

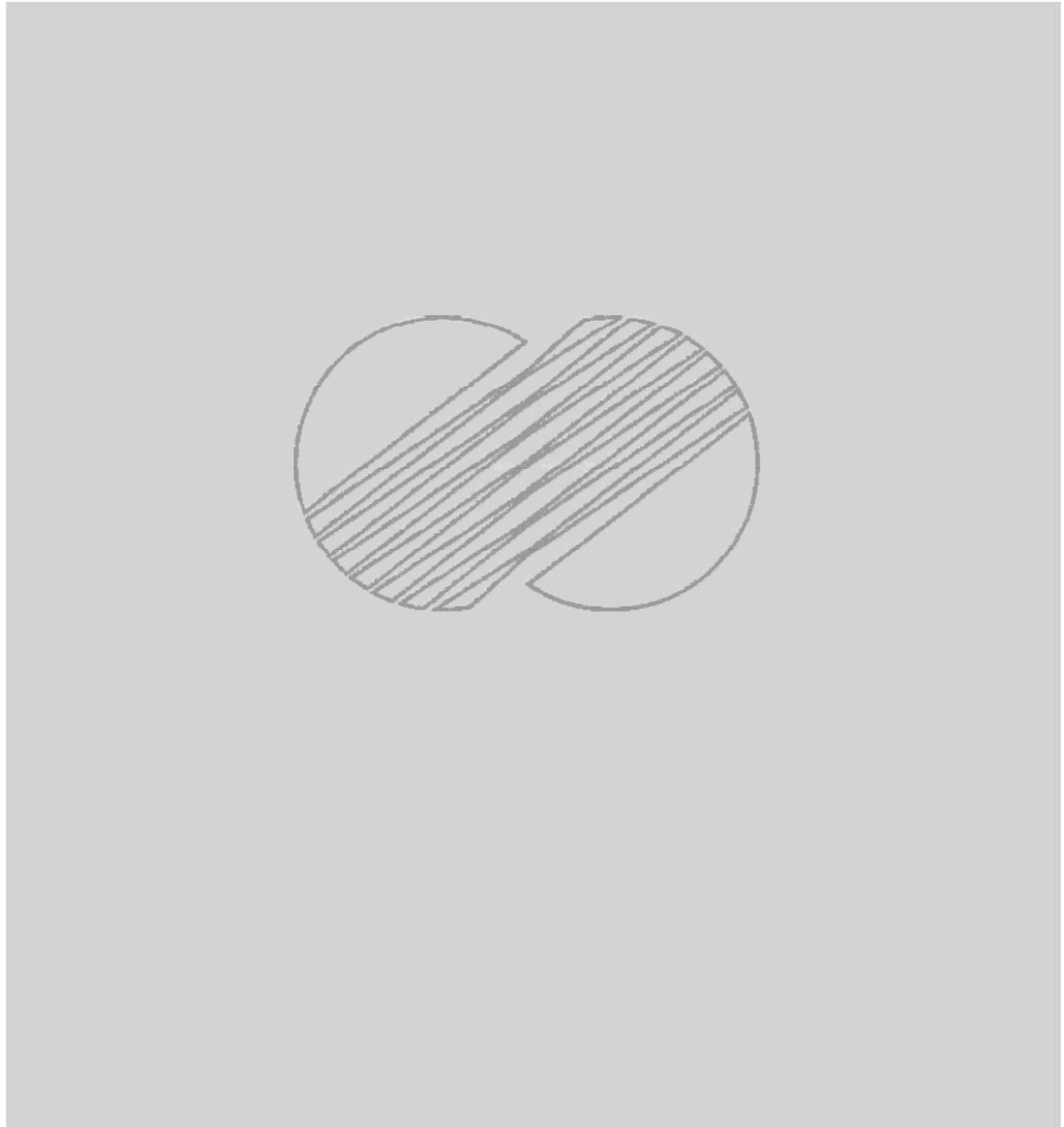
환경검증의 범위에 대해서는 3.11.2절 참조.

(4) 후쿠시마 사고 후속 개선 조치사항인 원자로 비상냉각수 외부 주입유로(부록 1C, 4-3항 참조)에 설치되는 밸브들로 중대사고시 원자로냉각재계가 충분히 감압된 상태에서 비상냉각수를 외부에서 주입하기 위한 대처설비(Provision)이다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.3-7

불확실도 변수의 변위 및 분포

No.	Parameter	Distribution	Mean	Uncertainty	Component
					

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.3-8

주요 계통변수 및 초기조건
대형파단 비상노심냉각계통 성능

변 수	기준 조건
노심 1. 노심 출력 2. 침투 출력 계수 3. 핵연료 종류 4. 출력 형태 5. 붕괴열 6. 노심 유량	2,815 MWt 2.318 16 × 16 PLUS7 그림 6.3-17 ANS79 모델 $53.46 \times 10^6 \text{ kg/h}$ ($117.85 \times 10^6 \text{ lb/h}$)
원자로 냉각재 계통 1. 원자로냉각재계통 유량	$55.11 \times 10^6 \text{ kg/h}$ ($121.50 \times 10^6 \text{ lb/h}$)
가압기 1. 압력	$158.2 \text{ kg/cm}^2\text{A}$ (2,250 psia)
증기 발생기 1. 급수 온도 2. 관 막음율	232.1 °C (450 °F) 8%
안전주입 계통 1. 안전주입탱크 냉각수 체적 2. 안전주입탱크 기체 압력 3. 안전주입탱크 냉각수 온도 4. 재장전저장수 온도	52.63 m^3 (1858 ft ³) $43.29 \text{ kg/cm}^2\text{A}$ (615.7 psia) 29.4 °C (85 °F) 32.2 °C (90 °F)
원자로건물 1. 초기 압력 2. 초기 온도 3. 자유 체적 4. 살수기 개수 5. 살수기 작동 지연 시간 6. 살수 유량 (2대 펌프)	$0.997 \text{ kg/cm}^2\text{A}$ (14.18 psia) 10 °C (50 °F) $81,043 \text{ m}^3$ ($2.862 \times 10^6 \text{ ft}^3$) 2 0 초 $37,853 \text{ L/min}$ (10,000 gpm)

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.3-9

핵연료봉 성능 요약
대형파단 범위

변 수		100% 파단	80% 파단	60% 파단
취출	최대 피복재 온도 (℃)	882.0	891.1	879.3
	최대 피복재 온도 위치 (m)	2.76	2.57	2.57
	최대 피복재 온도 발생 (초)	5.3	7.0	9.3
재관수	최대 피복재 온도 (℃)	588.11	648.27	791.25
	최대 피복재 온도 위치 (m)	2.95	2.57	2.57
	최대 피복재 온도 발생 (초)	76.0	59.0	59.5
최대 피복재 산화도 (%)		1,183	1,188	1,215
최대 피복재 산화 발생위치 (m)		2.76	2.57	2.57
노심 전반 산화도 (%)		< 1.0	< 1.0	< 1.0
고온 연료봉 파열		없음	없음	없음

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.3-10

대형파단 냉각재상실사고에 대한 주요 사고 전개 시간

주요 사건	100% 파단(초)	80% 파단(초)	60% 파단(초)
사고 초기화	0.0	0.0	0.0
원자로 정지 신호 발생	7.26	7.43	7.58
안전주입수 주입 신호 발생	7.26	7.43	7.58
안전주입탱크 작동 시점			
안전주입탱크 1 (파단 저온관 쪽)	3.4	5.8	9.4
안전주입탱크 2 (파단루프 건전 저온관 쪽)	12.0	13.6	16.6
안전주입탱크 3 (건전 루프 건전 저온관 1 쪽)	12.0	13.6	16.6
안전주입탱크 4 (건전 루프 건전 저온관 2 쪽)	12.0	13.6	16.6
고압 안전 주입 펌프 작동	35.85	36.02	36.17
저압 안전 주입 펌프 작동	55.85	55.02	56.17
노심 수위 회복 시작 ¹⁾	29.8	31.7	34.3
안전 주입 탱크 고갈			
안전주입탱크 1 (파단 저온관 쪽)	70.5	74.0	78.0
안전주입탱크 2 (파단루프 건전 저온관 쪽)	77.0	79.0	82.0
안전주입탱크 3 (건전 루프 건전 저온관 1 쪽)	77.0	79.0	82.0
안전주입탱크 4 (건전 루프 건전 저온관 2 쪽)	77.0	79.0	82.0

1) 액정 환산 수위가 유효 노심 바닥에 도달하는 시점

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.3-11

전 범위의 각 대형파단에 대하여
시간의 함수로 나타낸 변수

<u>면 번호</u>	<u>변수 (그림 6.3-8 ~ 6.3-10)</u>
1	고온점 최대 피복재 온도
2	노심 압력
3	노심 및 강수관 수위
4	노심 유입 누적 유량
5	정규화된 노심 출력
<u>면 번호</u>	<u>변수 (그림 6.3-11)</u>
1*	노심 입/출구에서의 유입/유출 유량
2*	고온점 열전달계수
3*	고온 집합체 증기 온도
4*	원자로건물로의 파단 질량 유량
5*	원자로건물로의 파단 에너지 방출량
6*	고온 집합체 건도
7*	고온 집합체 유량
8*	안전주입탱크 유량
9*	안전주입 펌프 유량
10*	원자로건물 압력

*) 가장 제한적인 80% 양단 순시 파단에 대한 계산 결과를 추가함.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.3-12

단순임의추출 계산 결과와 재관수 바이어스 평가에 대한 결과 요약

최대 피복재 온도		값
최대 피복재 온도, 계산번호 39 ¹⁾	최대 피복재 온도, °C	1021.4
	시간, 초	7.0
	위치, m	2.57
최대 재관수 피복재 온도, 계산번호 32 ²⁾	최대 피복재 온도, °C	882.0
	시간, 초	56.0
	위치, m	2.57
스케일 바이어스 평가, 계산번호 32 ³⁾ - 비상노심냉각수 우회 바이어스 - 스팀 바인딩 바이어스 최대 재관수 피복재(바이어스 포함)	최대 피복재 온도, °C	882.0
	피복재 온도 바이어스, °C	+9.8
	피복재 온도 바이어스, °C	+0.0
	최대 피복재 온도, °C	891.8
최종 최대 피복재 온도(바이어스 포함) ⁴⁾	최대 피복재 온도, °C	1021.4
최대 피복재 산화도		값
최대 피복재 산화도, 계산번호 123 ²⁾	최대 피복재 산화도, %	1.50
	위치, m	2.57
스케일 바이어스 평가, 계산번호 88 ³⁾ - 비상노심냉각수 우회 바이어스 - 스팀 바인딩 바이어스 최대 피복재 산화도(바이어스 포함)	최대 피복재 산화도, %	1.306
	피복재 산화도 바이어스, %	+0.0
	피복재 산화도 바이어스, %	+0.804
	최대 피복재 산화도, %	2.11
최종 최대 피복재 산화도(바이어스 포함)	최대 피복재 산화도, %	2.11

- 1) 단순임의추출 계산에서 세 번째 높은 피복재 온도의 계산번호
- 2) 단순임의추출 계산에서 최대 재관수 피복재 온도와 최대 피복재 산화도의 계산번호
- 3) 스케일 바이어스 평가된 최대 피복재 온도와 최대 피복재 산화도의 계산번호
- 4) 연소도에 따른 핵연료 열전도도 저하로 인한 39 °C (70 °F)의 최대 피복재 온도 별 점이 추가되어야 함.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.3-13

| 36

원자로냉각재계통으로의 안전주입펌프 최소 이송 유량
(1대의 비상디젤발전기가 고장이라고 가정)

원자로냉각재계통 압력 주입점 당 유량¹⁾, L/min (gpm)

<u>kg/cm² (psig)</u>	<u>A1</u>	<u>A2</u>	<u>B1</u>	<u>B2</u>
112.5 (1,600)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
98.4 (1,400)	333 (88)	333 (88)	333 (88)	333 (88)
84.4 (1,200)	477 (126)	477 (126)	477 (126)	477 (126)
70.3 (1,000)	583 (154)	583 (154)	583 (154)	583 (154)
56.2 (800)	674 (178)	674 (178)	674 (178)	674 (178)
42.2 (600)	753 (199)	753 (199)	753 (199)	753 (199)
28.1 (400)	825 (218)	825 (218)	825 (218)	825 (218)
14.1 (200)	890 (235)	890 (235)	890 (235)	890 (235)
11.2 (160)	901 (238)	901 (238)	901 (238)	901 (238)
11.2 (159.65)	901 (238)	901 (238)	901 (238)	901 (238)
9.84 (140)	3,823 (1,010)	3,823 (1,010)	908 (240)	908 (240)
8.44 (120)	5,034 (1,330)	5,034 (1,330)	916 (242)	916 (242)
7.03 (100)	5,947 (1,571)	5,947 (1,571)	920 (243)	920 (243)
5.6 (80)	6,708 (1,772)	6,708 (1,772)	927 (245)	927 (245)
4.2 (60)	7,370 (1,947)	7,370 (1,947)	931 (246)	931 (246)
2.8 (40)	7,968 (2,105)	7,968 (2,105)	939 (248)	939 (248)
1.4 (20)	8,517 (2,250)	8,517 (2,250)	946 (250)	946 (250)
0 (0)	9,020 (2,383)	9,020 (2,383)	950 (251)	950 (251)

1) 주입점 A1은 파단된 펌프 토출관에 붙어 있는 것으로 가정

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.3-14

| 36

주요 계통변수 및 초기조건
소형과단 비상노심냉각계통 성능

변수	값
원자로 출력	2,871 MWt
첨두 선출력밀도	515.1 W/cm (15.7 kW/ft)
축 방향 출력 형상	그림 6.3-18
초기밀도에서의 감속재온도계수	0.0 $\Delta\rho/^{\circ}\text{C}$ (0.0 $\Delta\rho/^{\circ}\text{F}$)
안전주입탱크 액체 체적	52.6 m ³ (1,858 ft ³)
안전주입탱크 압력	41.1 kg/cm ² A (585 psia)
안전주입펌프 수	고압안전주입펌프 1대 저압안전주입펌프 1대
안전주입 지연시간	
고압안전주입펌프	30초
저압안전주입펌프	50초
원자로냉각재계통 총 유량	55.1×10 ⁶ kg/hr (121.5×10 ⁶ lb/hr)
노심 입구 온도	295.8 $^{\circ}\text{C}$ (564.5 $^{\circ}\text{F}$)
노심 출구 온도	328.7 $^{\circ}\text{C}$ (623.6 $^{\circ}\text{F}$)
원자로냉각재계통 압력	158.2 kg/cm ² A (2,250 psia)
증기발생기 관막음률	8 %
증기발생기당 전열관 수	7,635/705 (안 막힌 관/막힌 관)
안전성 분석을 위한 설정치	
가압기 저압 원자로 정지	109.3 kg/cm ² A (1,555 psia)
가압기 저압 안전주입	109.3 kg/cm ² A (1,555 psia)

| 36

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.3-15

| 36

핵연료봉 성능 요약

소형파단 범위

결과	파단 면적, cm ² (ft ²)		
	46.5 (0.05)	80.8 (0.087)	92.9 (0.1)
최대 피복재 온도 (℃ (°F))	560.3 (1040.5)	662.9 (1225.3)	653.2 (1207.8)
최대 피복재 온도 발생 (초)	1300.8	867.8	753.0
최대 피복재 온도 위치 (m (ft))	3.58 (11.75)	3.58 (11.75)	3.58 (11.75)
노심 전반 피복재 산화도 (%)	< 1.0	< 1.0	< 1.0
최대 국부 피복재 산화도 (%)	0.06	0.08	0.08
최대 피복재 산화도 위치 (m (ft))	3.58 (11.75)	3.58 (11.75)	3.58 (11.75)
고온 연료봉 파열 발생 (초)	N/A	N/A	N/A
고온 연료봉 파열 위치 (m (ft))	N/A	N/A	N/A

| 36 | 129

| 36 | 129

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.3-16

| 36

전범위의 각 소형파단에 대하여 시간의 함수로 나타낸 변수

면 번호 변수 (그림 6.3-14~그림 6.3-16)

- | | |
|---|------------------|
| 1 | 정규화한 노심출력 |
| 2 | 노심 압력 |
| 3 | 노심 입구 유량 |
| 4 | 파단 유량 |
| 5 | 노심 이상 혼합체 수위 |
| 6 | 고온점에서의 열전달계수 |
| 7 | 고온점에서의 피복재 표면 온도 |



신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.3-17

| 36

소형파단 냉각재상실사고에 대한 주요 사고전개 시간

경과 (초)	파단 면적, cm ² (ft ²)		
	46.5 (0.05)	80.8 (0.087)	92.9 (0.1)
사고 발생	0.0	0.0	0.0
원자로 정지신호 발생	132.86	63.35	53.5
안전주입신호 발생	132.86	63.35	53.5
안전주입 시작	161.71	92.2	82.35
루프 밀봉 뚫림	441.3	259.0	230.2
노심 노출 시작	995.5	253.8	219.0
안전주입탱크 주입	2182.5	842.7	729.8
최대 피복재 온도 발생	1300.8	867.7	753.0
노심 노출 회복	1867.5	916.8	789.9

36 129

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.3-18

| 36

주요 계통변수 및 초기조건 - 장기냉각 비상노심냉각계통 성능

변수	값
원자로 출력 (정격 출력의 102 %)	2,871 MWt
정지냉각 작동 온도	204.4 °C (400 °F) (최대)
정지냉각 작동 압력	28.8 kg/cm ² A (410 psia) (최대)
대기방출밸브 용량 /밸브당	107 kg/sec (235 lbm/sec) @(70.3 kg/cm ² A (1,000 psia) (최소))
보조급수저장탱크내의 보조급수 불산농도	1,211,000L (320,000 gal) (최소)
원자로냉각재계통	0.85 wt. % (1,485 ppm)
재장전수탱크	2.52 wt. % (4,400 ppm)
안전주입탱크	2.52 wt. % (4,400 ppm)
붕소석출 분석을 위한 물 재고량	
원자로냉각재계통	276,714 L (73,100 gal) (최소)
재장전수탱크	2,653,574 L (701,000 gal) (최대)
안전주입탱크	226,394 L (59,807 gal) (최대)
붕소석출 분석을 위한 펌프 유량	
고압안전주입펌프	2,650 L/min (700 gpm) (최소)
저압안전주입펌프	13,249 L/min (3,500 gpm) (최소)
원자로건물살수펌프	13,249 L/min (3,500 gpm) (최소)

표 6.3-19 (2 중 1)

대표적인 대형 및 소형 파단에 대한 사고전개 순서

사건	대형 파단 (0.8×양단 순시파단)		소형 파단 (46.5 cm ² (0.05 ft ²))		
	설정치 혹은 값	시간 (초)	설정치 혹은 값	시간 (초)	성취 경로
		0.0		0.0	
노심 침투 출력	132 %	0.15	102.6 %	46.8	
가압기 압력이 원자로 트립 및 안전주입작동신호 분석 설정치에 도달	120.4 kg/cm ² A (1,712.5 psia)	6.01	109 kg/cm ² A (1,555 psia)	131.71	반응도 제어
원자로 트립 및 안전주입작동신호 발생		7.16		132.86	반응도 제어
안전주입탱크 방출 시작	43.29 kg/cm ² A (615.7 psia)	5.8 (파단측) 13.6 (건전측)	41.1 kg/cm ² A (585 psia)	2,182.5	반응도 제어
재관수 시작		31.7		N/A	
주증기안전밸브 열림 시작		N/A	92.4 kg/cm ² A (1,315 psia)	137.5	이차계통 건전성
2차측 압력 최대	78.5 kg/cm ² A (1,116 psia)	4.0	95.4 kg/cm ² A (1,356.3 psia)	140.5	
원자로냉각재계통으로 고압안전주입펌프 유량 이송		36.02		161.71	반응도 제어
안전주입탱크 고갈		74.0 (파단측) 79.0 (건전측)		N/A	

6.3-96

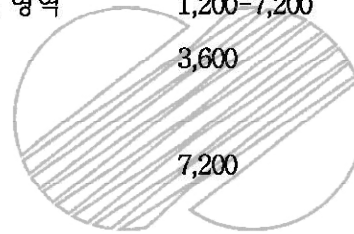
신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

36

129

표 6.3-19 (2 중 2)

사건	대형 파단 (0.8×양단 순시파단)		소형 파단 (46.5 cm ² (0.05 ft ²))		
	설정치 혹은 값	시간 (초)	설정치 혹은 값	시간 (초)	성취 경로
원자로냉각재계통으로 저압안전주입펌프 유량 이송 주증기안전밸브 닫힘		56.02		N/A	반응도 제어
재순환작동신호 냉각 개시	5 % 영역	1,200-7,200 3,600	92.4 kg/cm ² A (1,315 psia) 5 % 영역	559.7	반응도 제어
고온관 및 저온관 동시 주입모드 진입		7,200		7,200	이차계통 건전성 원자로 열제거
정지냉각 혹은 고온관 및 저온관 주입 모드로의 진입을 위한 결정 시간		32,400		32,400	원자로 열제거



- 1) 대형파단의 경우, 사고 발생 시 (t = 0.0) 교류전원 상실 가정.
- 2) 소형파단의 경우, P_pL 트립 시 (t=131.71초) 교류전원은 상실되고 비상디젤발전기가 기동되는 것으로 가정.

표 6.3-20 (4 중 1)

비상노심냉각계통 운전가능성 점검

1. 안전주입탱크

계통요구사항	점검요구사항	점검주기	적용모드
<p>안전주입탱크는 운영기술지침서의 요구사항 외에 다음과 같이 운전가능해야 한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 질소배기밸브는 닫힘 상태에서 전원이 제거되어 있고 전원 복구시 운전가능해야 한다. 2. 안전주입탱크 격리밸브가 운전가능해야 한다. 	<p>안전주입탱크는 다음과 같이 운전가능함이 입증되어야 한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 질소배기밸브가 닫혀 있음을 확인 2. 질소배기밸브들의 공급전원이 제거되어 있음을 확인 3. 각 안전주입탱크 격리밸브가 다음 각 조건에서 자동으로 열리는지를 확인 <ul style="list-style-type: none"> 가. 실제 또는 모의신호에 의해 원자로냉각재계통 압력이 $36.2\text{kg/cm}^2\text{A}$ (515 psia)를 초과할 때 나. 안전주입작동신호를 받을 때 4. 안전주입탱크 압력이 40.6kg/cm^2 (577 psig) 보다 작고, 원자로냉각재계통 압력이 $50.3\text{kg/cm}^2\text{A}$ (715 psia) 보다 크게 하는 모의신호에 의해 원자로냉각재계통과 안전주입탱크의 저압경보가 발생됨을 확인 5. 안전주입탱크가 격리되어 있을 때, 안전주입탱크 질소 배기밸브들이 열릴 수 있음을 확인 	<p>12시간에 한번씩 31일에 한 번씩 18개월에 한번씩</p> <p>18개월에 한번씩</p> <p>18개월에 한번씩</p>	1, 2, 3, 4

표 6.3-20 (4 중 2)

2. 비상노심냉각 부속계통

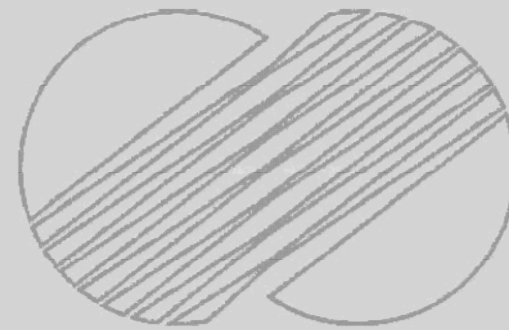
계통요구사항	점검요구사항	점검주기	적용모드
비상노심냉각 부속계통은 운전가능함이 입증되어야 한다.	<p>비상노심냉각 부속계통은 다음과 같이 운전가능함이 입증되어야 한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 냉각재상실사고시 원자로건물 재순환집수조와 연결되는 원자로건물 외부의 모든 비상노심냉각계통 배관에 대해 최소한 2.8kg/cm^2 (40 psig)로 가압된 상태에서 배관이나 기기들로부터의 총 누설이 3.8L/min (1 gpm) 미만임을 확인 2. 냉각재상실사고시 원자로건물 재순환집수조로 들어가 펌프 입구를 방해할수 있는 이물질(결레, 폐기물, 옷가지 등)이 원자로건물내에 없음을 다음과 같이 육안검사를 실시해야 한다. <p>가. 원자로건물의 모든 접근 가능한 지역에 대해</p> <p>나. 원자로건물내의 영향을 받는 모든 지역에 대해</p>	<p>18개월에 한번씩</p> <p>원자로건물 건전성을 확립하기 전에 원자로건물 건전성이 확립되고 출입완료 시점에서</p>	1, 2, 3

표 6.3-20 (4 중 3)

계통요구사항	점검요구사항	점검주기	적용모드
	<p>발전소 정지기간 동안 유량평형시험을 시행하고 다음의 유량을 확인한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 고압안전주입계통 - 단일 펌프 가장 높은 유량을 제외한 주입관로 유량의 합이 3,134 L/min (828 gpm) 이상 저압안전주입계통 - 단일 펌프 <ol style="list-style-type: none"> 주입유로 1의 총유량이 최대 17,735 L/min (4,685 gpm), 최소 17,577 L/min (4,485 gpm) 주입관 1A 및 1B를 다른 주입관과 격리한 후 독립적으로 시험할 때 상호간 격차가 379 L/min (100 gpm) 이내 주입유로 2의 총유량이 최대 17,735 L/min (4,685 gpm), 최소 17,577 L/min (4,485 gpm) 주입관 2A 및 2B를 다른 주입관과 격리한 후 독립적으로 시험할 때 상호간 격차가 379 L/min (100 gpm) 이내 	비상노심냉각 부속계통의 유동특성에 영향을 줄 수 있는 변경 후	

표 6.3-20 (4 중 4)

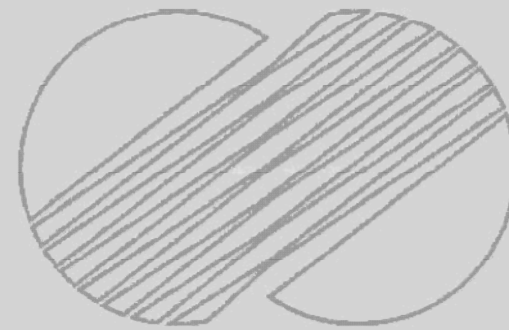
계통요구사항	점검요구사항	점검주기	적용모드
	<p>3. 고온관 및 저온관으로의 동시주입 - 단일 펌프</p> <p>1) 고온관 유량이 최대 2,165 L/min (572 gpm), 최소 2,059 L/min (544 gpm)</p> <p>2) 저온관 유량이 저온관 당 최대 549 L/min (145 gpm), 최소 544 L/min (135 gpm)</p> <p>비상노심냉각계통의 유량조절밸브에 대한 전기적 그리고/또는 기계적 정지 위치를 확인</p> <p>저압안전주입계통 밸브 : 441-V-615, 625, 635, 645, 306, 307 고압안전주입계통 밸브 : 441-V-321, 331</p>	<p>비상노심냉각 부 속계통의 유동특 성에 영향을 줄 수 있는 변경 후</p> <p>비상노심냉각 부 속계통의 운전가 능함이 요구될 때, 각 밸브의 행정운전이나 밸브에 대한 보수가 완료된 후 4시간 이내</p>	



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

안전주입계통 배관 및 계장도

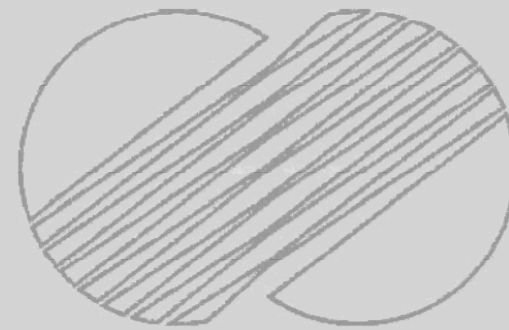
그림 6.3-1 (4 중 1)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

안전주입계통 배관 및 계장도

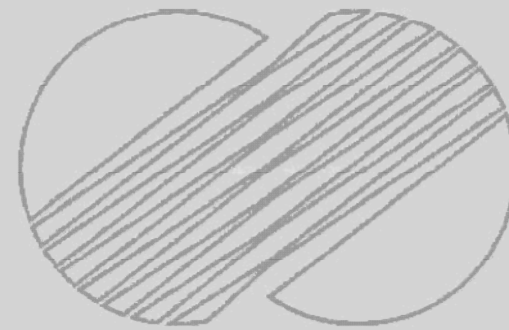
그림 6.3-1 (4 중 2)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

안전주입계통 배관 및 계장도

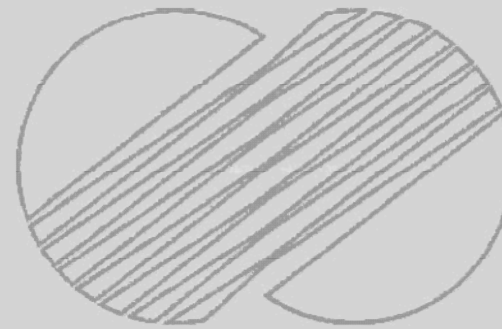
그림 6.3-1 (4 중 3)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

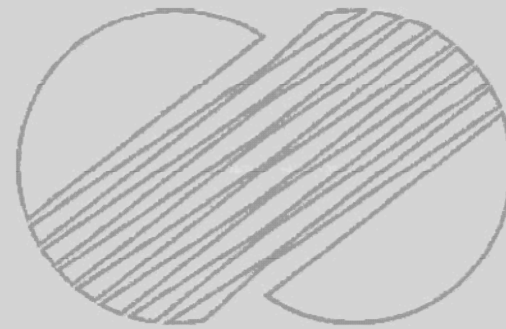
안전주입계통 배관 및 계장도

그림 6.3-1 (4 중 4)





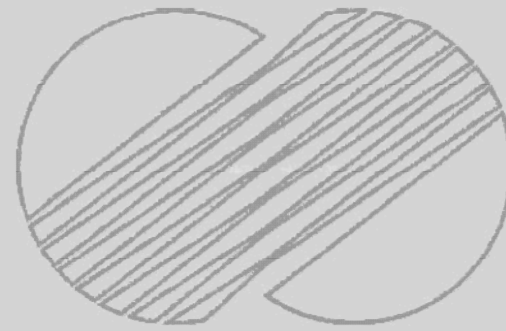
	한국수력원자력주식회사 신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서
안전주입계통 유량도 - 주입모드	
그림 6.3-2 (2 중 2)	



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

안전주입계통 유량도 - 단기재순환모드

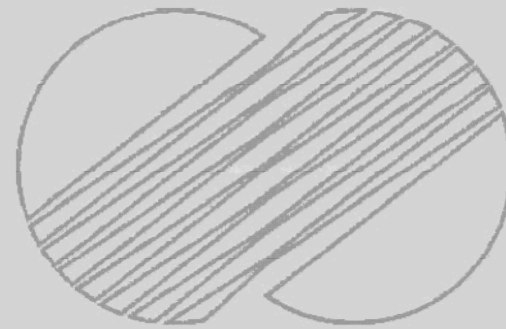
그림 6.3-3 (2 중 1)

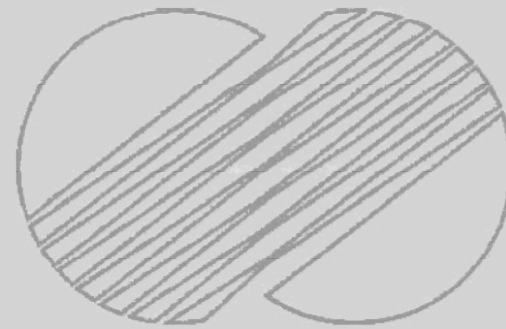


한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

안전주입계통 유량도 - 단기재순환모드

그림 6.3-3 (2 중 2)

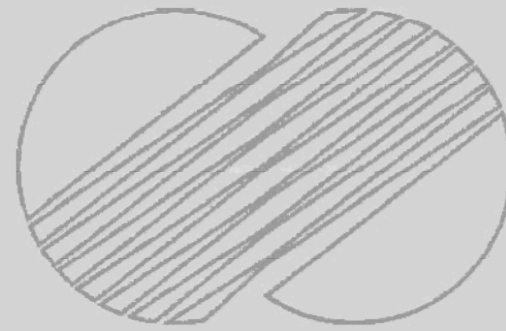




한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

안전주입계통 유량도 - 장기재순환모드

그림 6.3-4 (2 중 2)

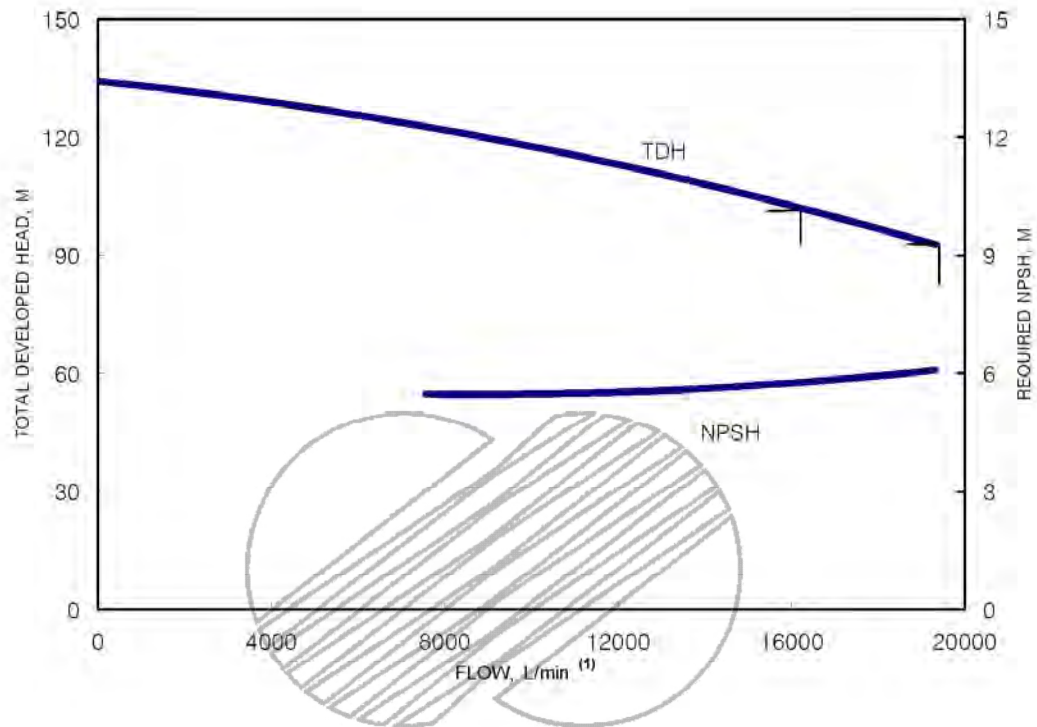


한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

안전주입계통 유량도 - 정지냉각모드

그림 6.3-5 (2 중 1)





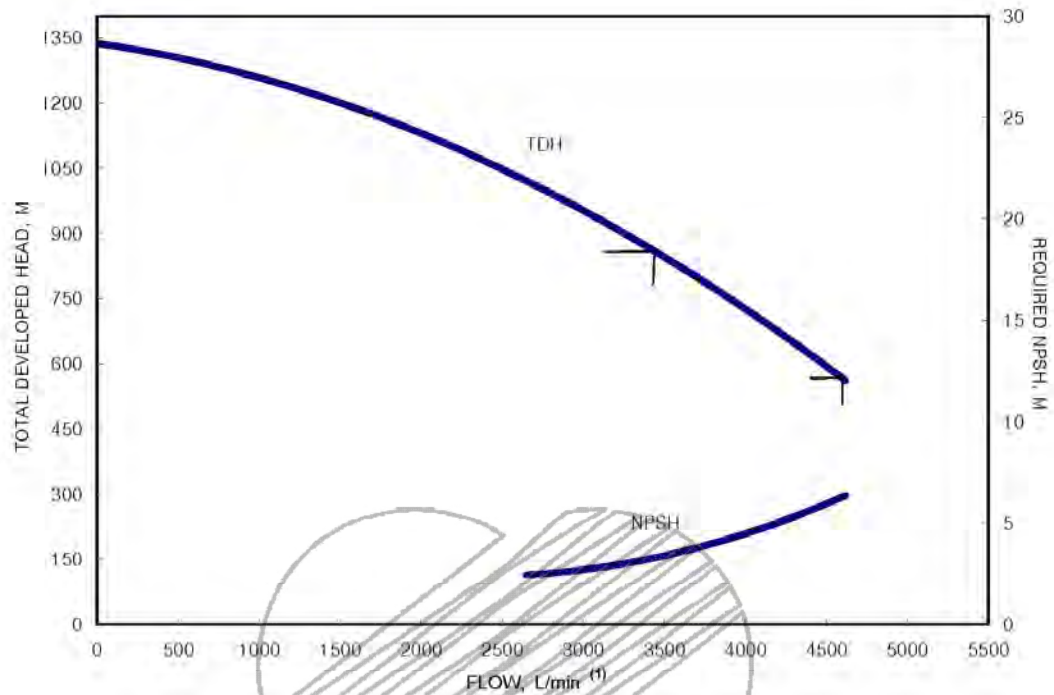
NOTE 1 = FLOW INCLUDES 1705 L/min BYPASS FLOW



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

저압안전주입펌프의 전형적인
양정 - 요구유효흡입수두 곡선

그림 6.3-6



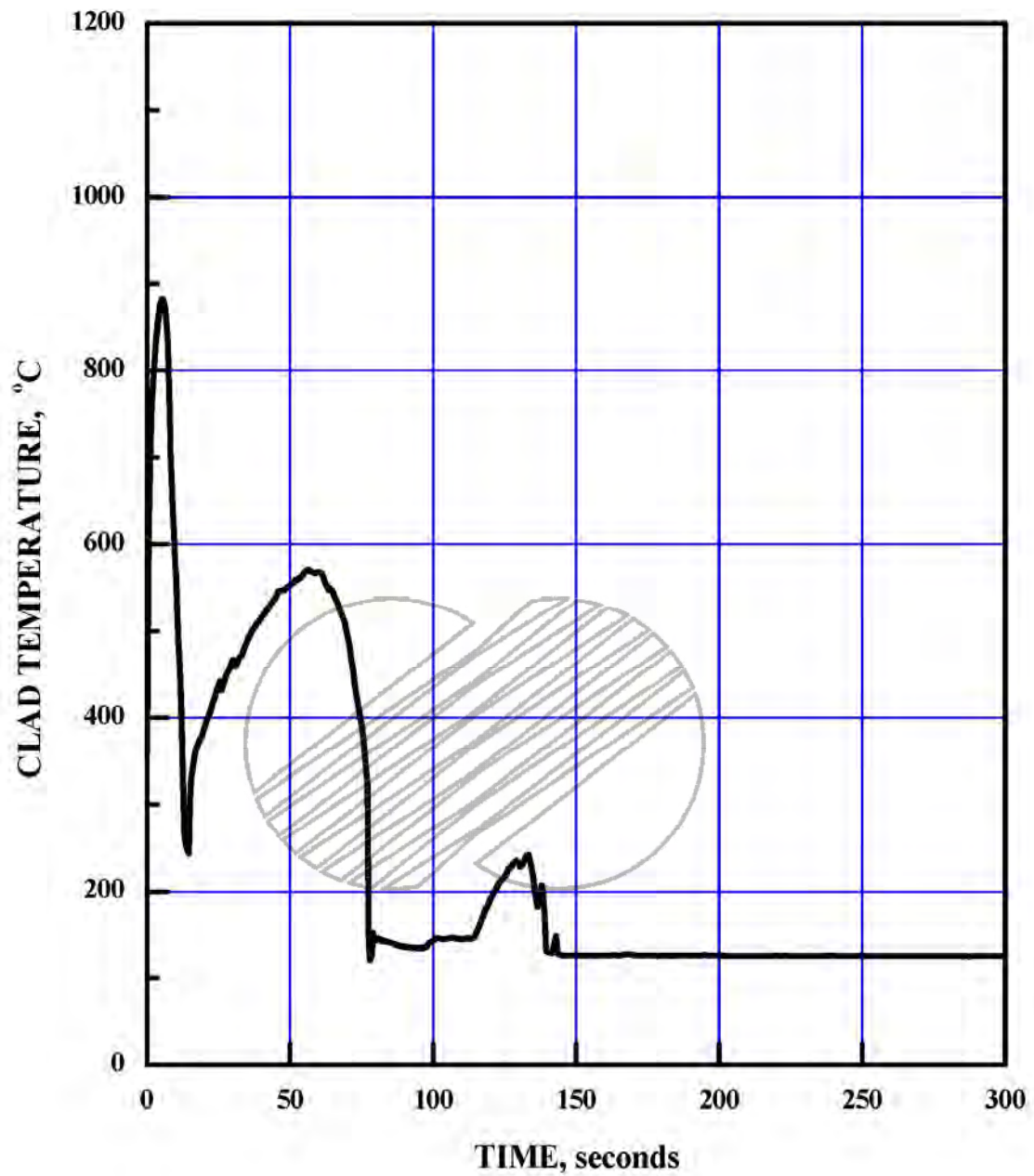
NOTE 1 = FLOW INCLUDES 322 L/min BYPASS FLOW




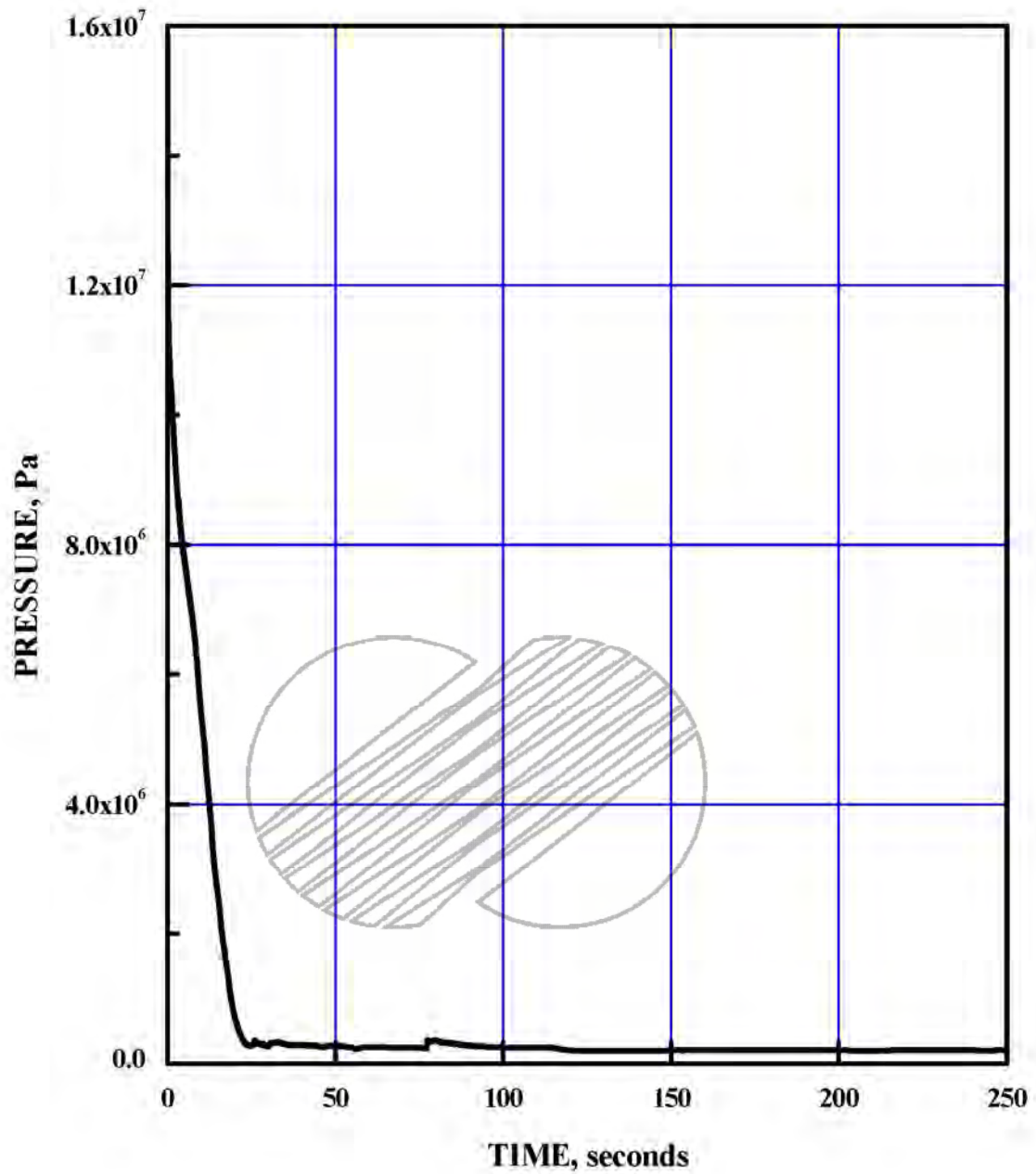
한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

고압안전주입펌프의 전형적인
양정 - 요구유효흡입수두 곡선

그림 6.3-7



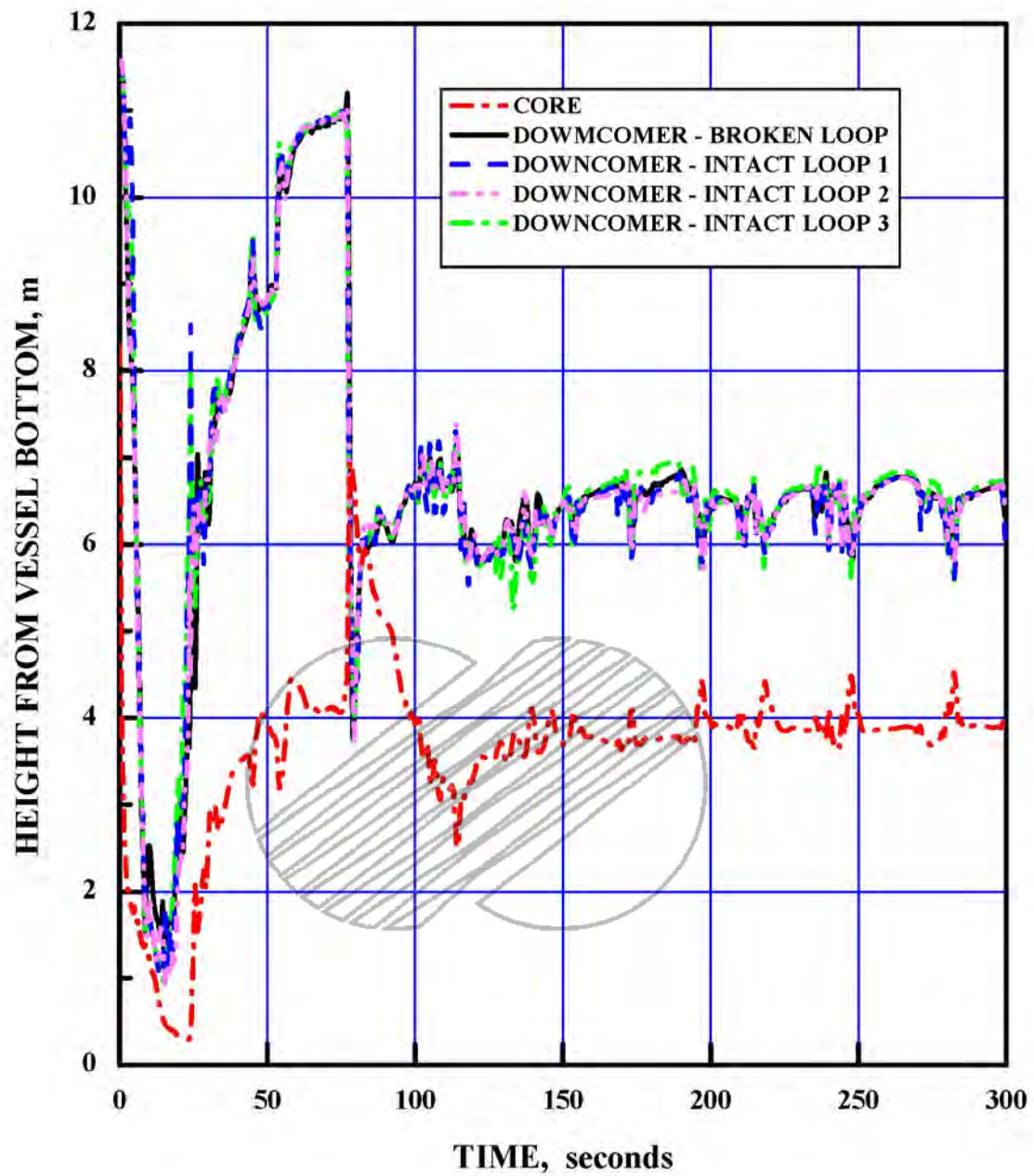
	한국수력원자력주식회사
	신월성 1,2호기
	최종안전성분석보고서
고온점 최대 피복재 온도 (1.0 × 양단 순시 파단)	
그림 6.3-8 (5 중 1)	



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

노심 압력
(1.0 × 양단 순시 파단)

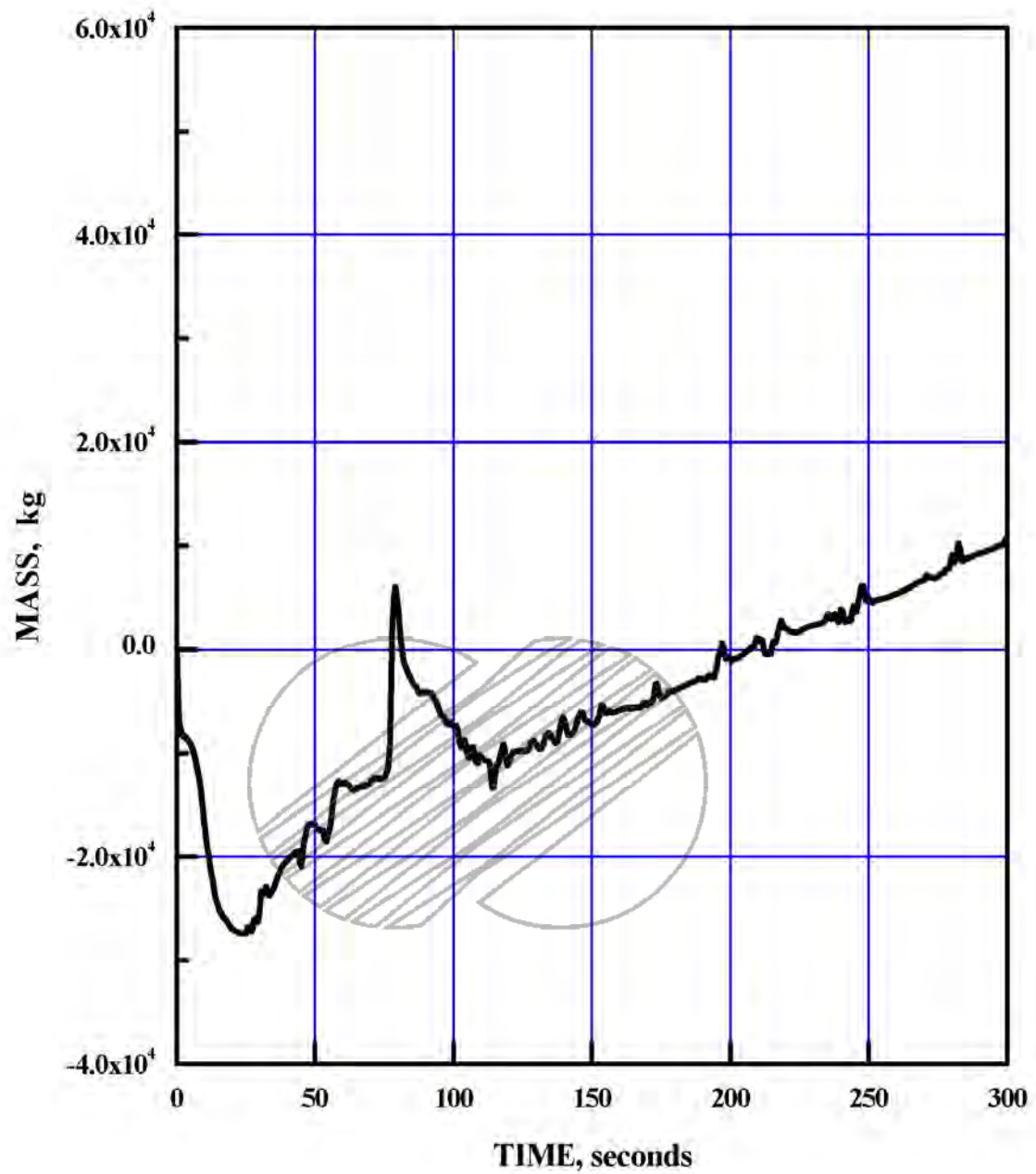
그림 6.3-8 (5 중 2)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

노심 및 강수관 수위
(1.0 × 양단 순시 파단)

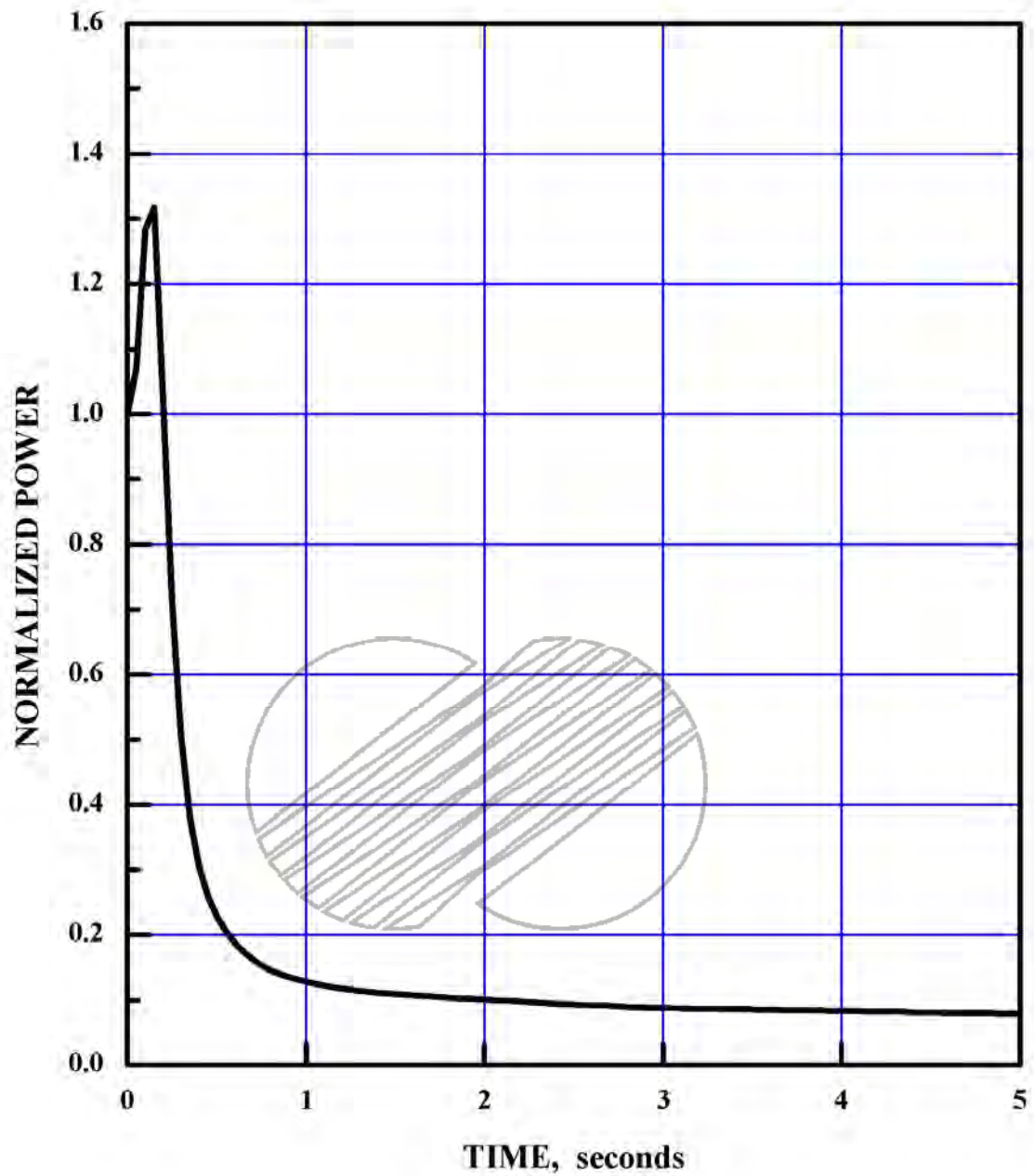
그림 6.3-8 (5 중 3)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

노심 유입 누적 유량
(1.0 × 양단 순시 파단)

그림 6.3-8 (5 중 4)

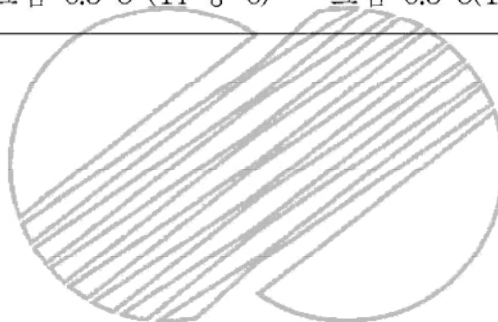


한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

정규화된 노심 출력
(1.0 × 양단 순시 파단)

그림 6.3-8 (5 중 5)

삭제
그림 6.3-8 (14 중 6) ~ 그림 6.3-8(14 중 14)

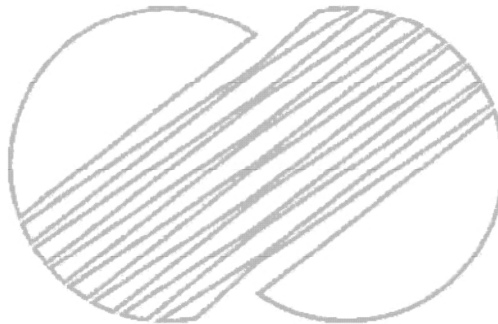


한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

그림 6.3-8 (14 중 6)

삭제

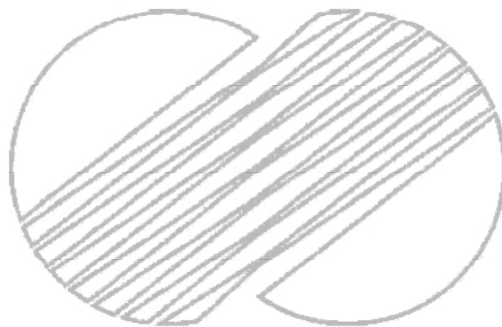


한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

그림 6.3-8 (14 중 7)

삭제



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

그림 6.3-8 (14 중 8)

삭제

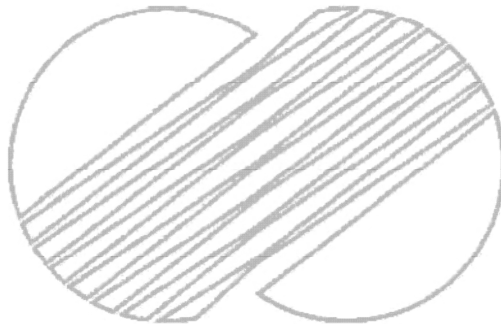


한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

그림 6.3-8 (14 중 9)

삭제



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

그림 6.3-8 (14 중 10)

삭제

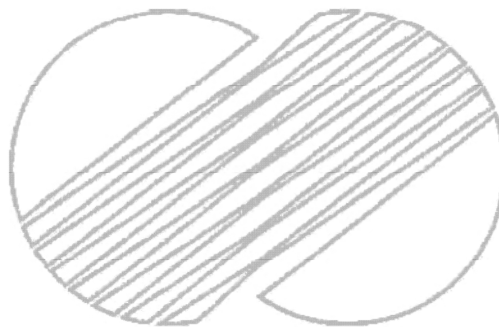


한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

그림 6.3-8 (14 중 11)

삭제

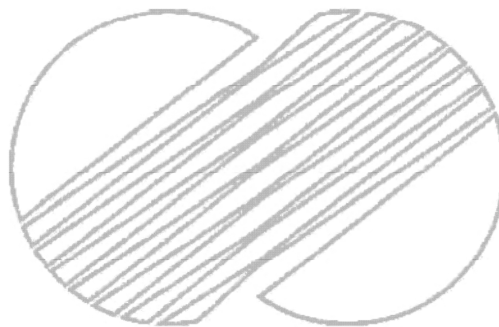


한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

그림 6.3-8 (14 중 12)

삭제

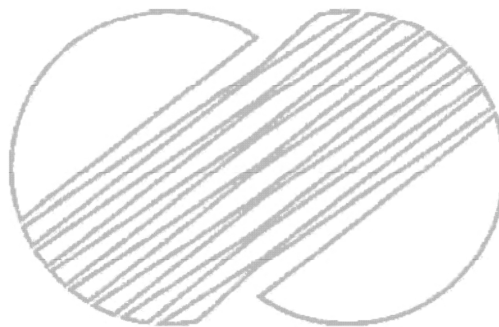


한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

그림 6.3-8 (14 중 13)

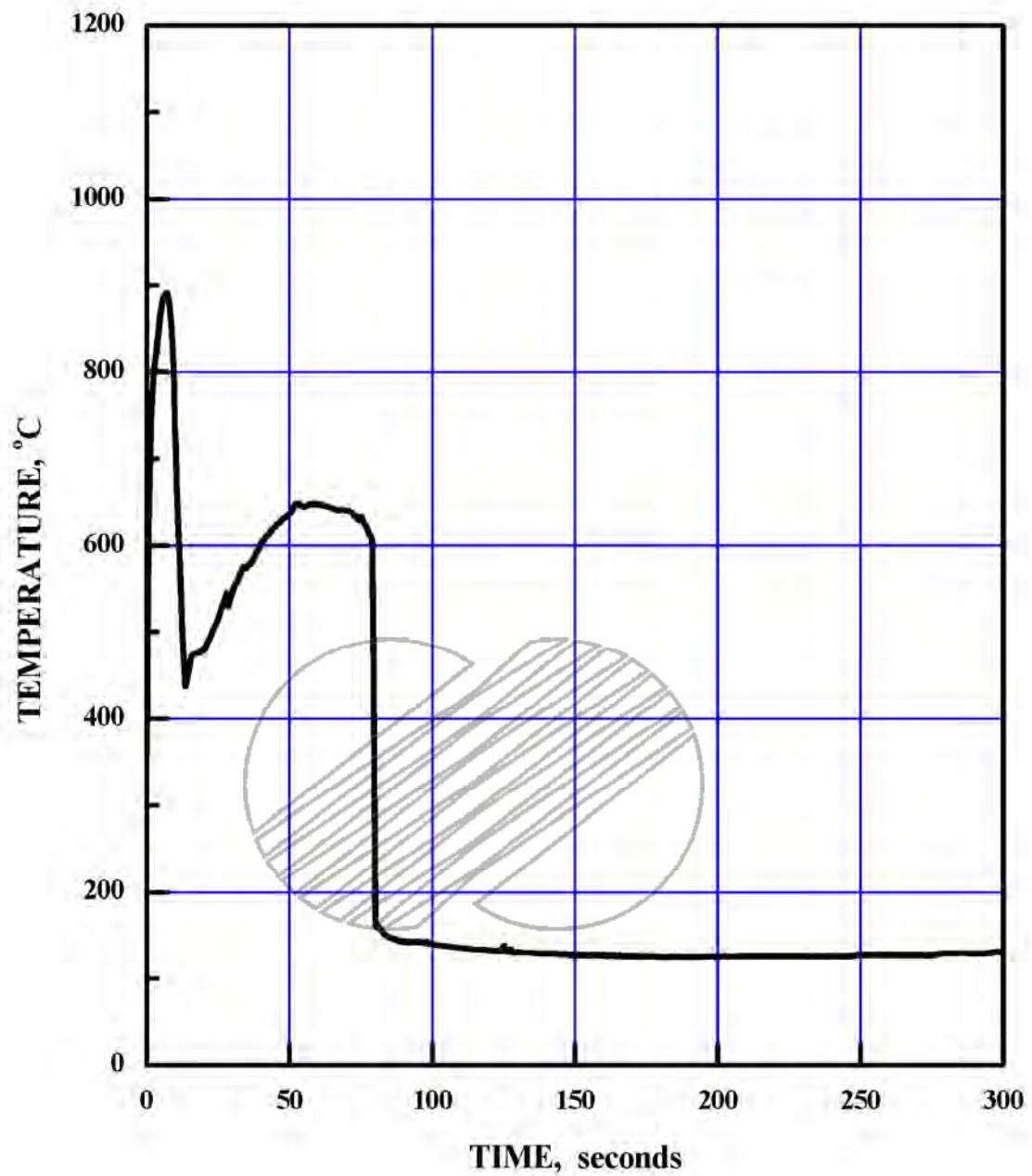
삭제



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

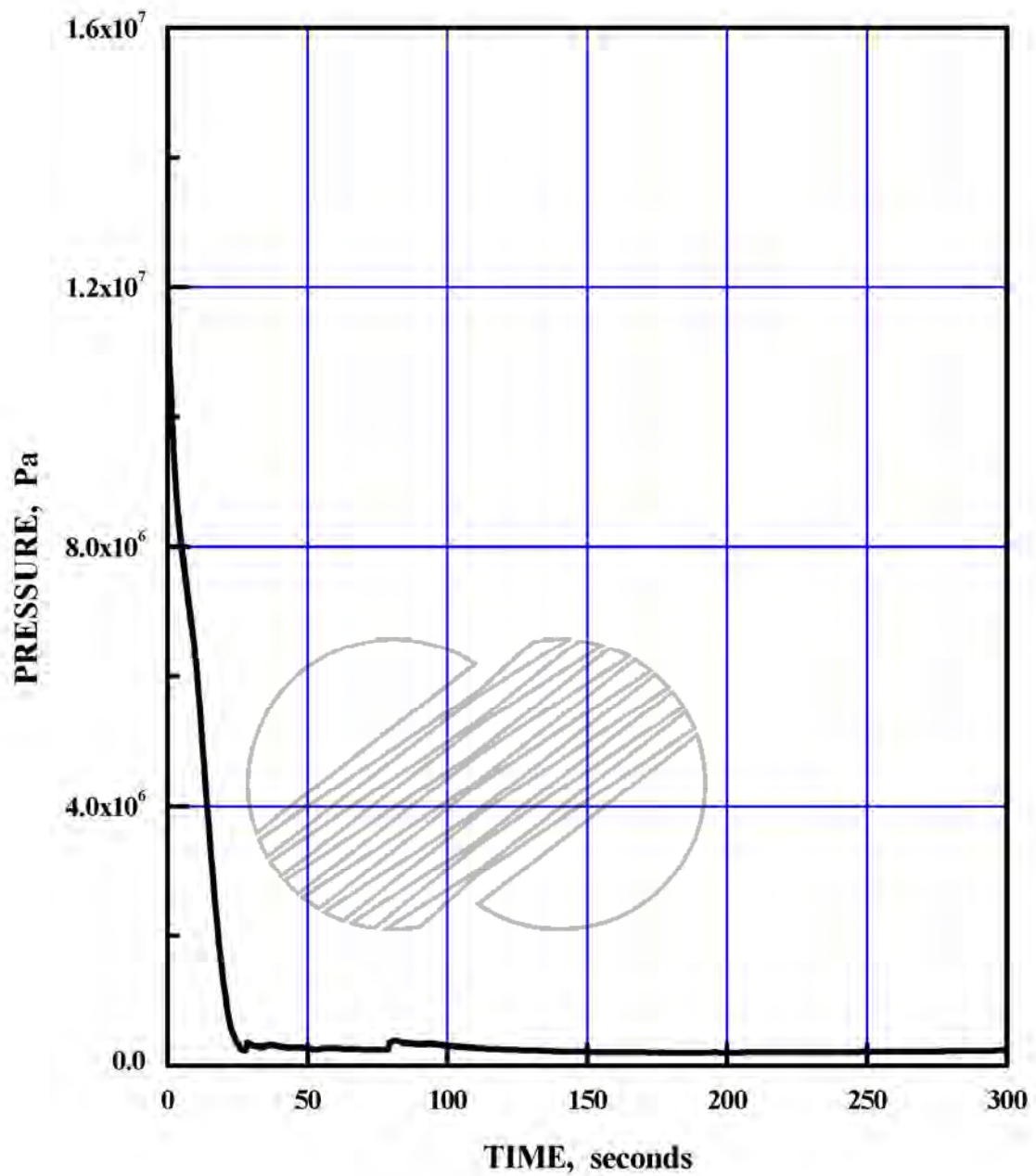
그림 6.3-8 (14 중 14)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

고온점 최대 피복재 온도
(0.8 × 양단 순시 파단)

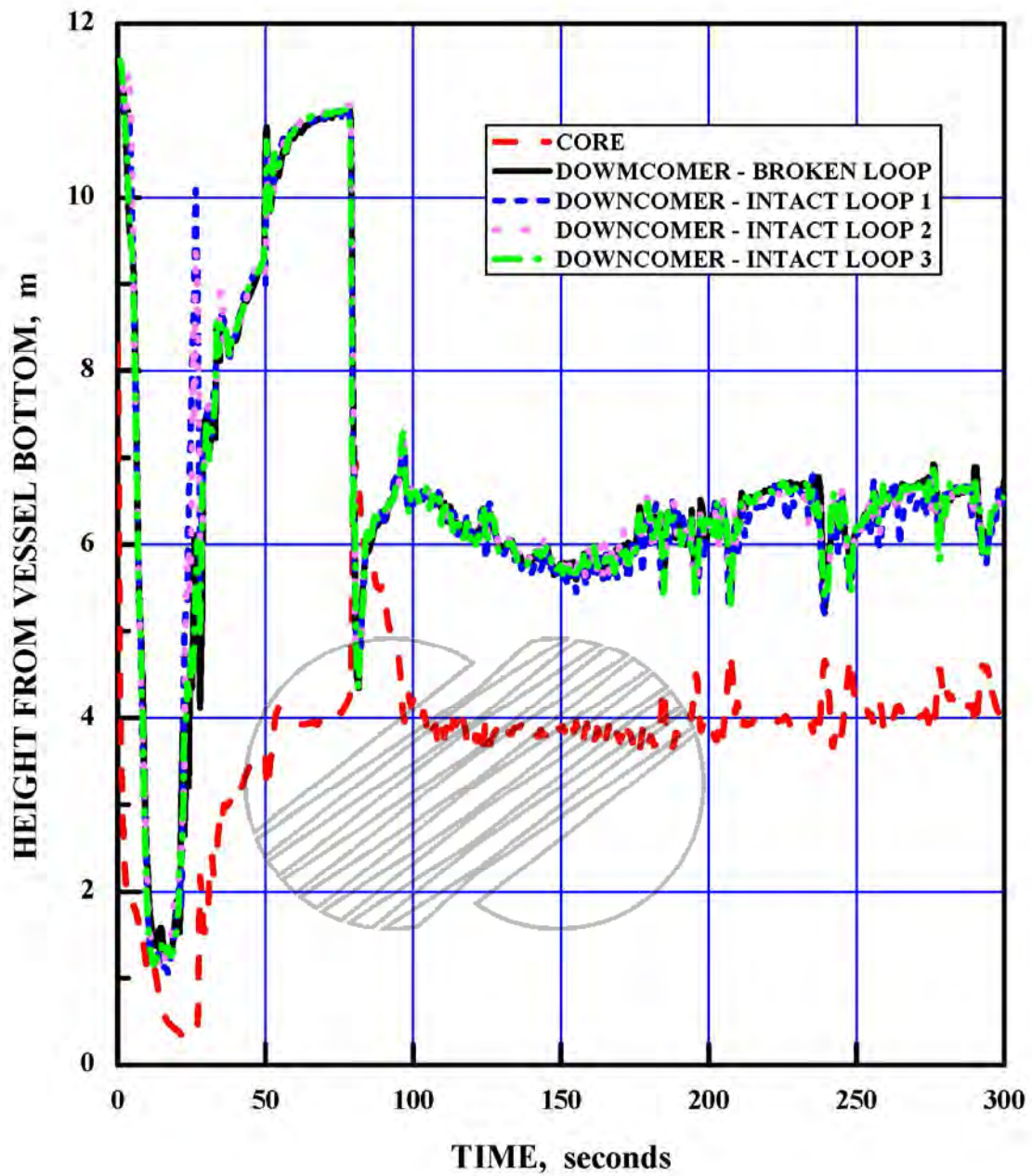
그림 6.3-9 (5 중 1)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

노심 압력
(0.8 × 양단 순시 파단)

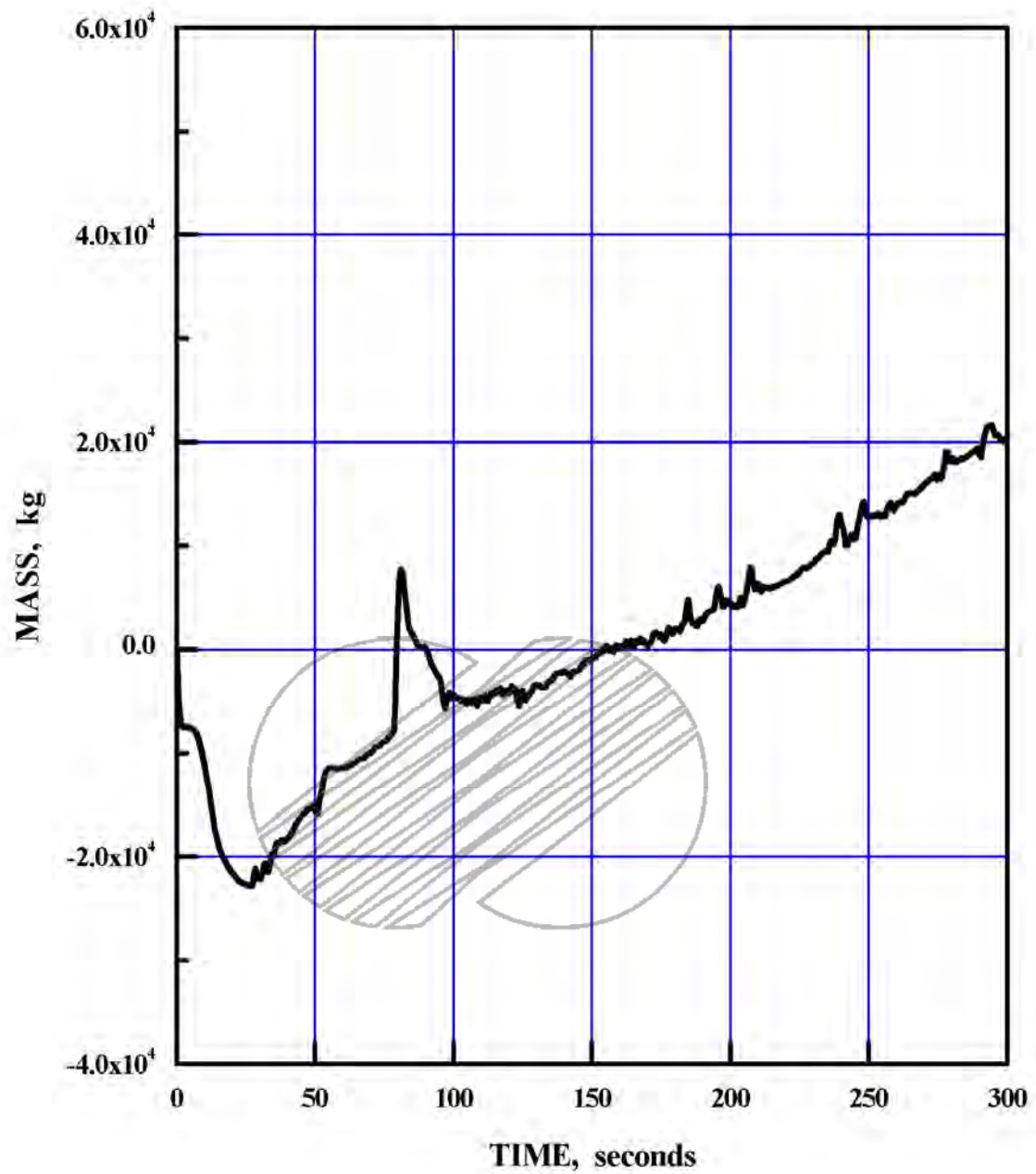
그림 6.3-9 (5 중 2)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

노심 및 강수관 수위
(0.8 × 양단 순시 파단)

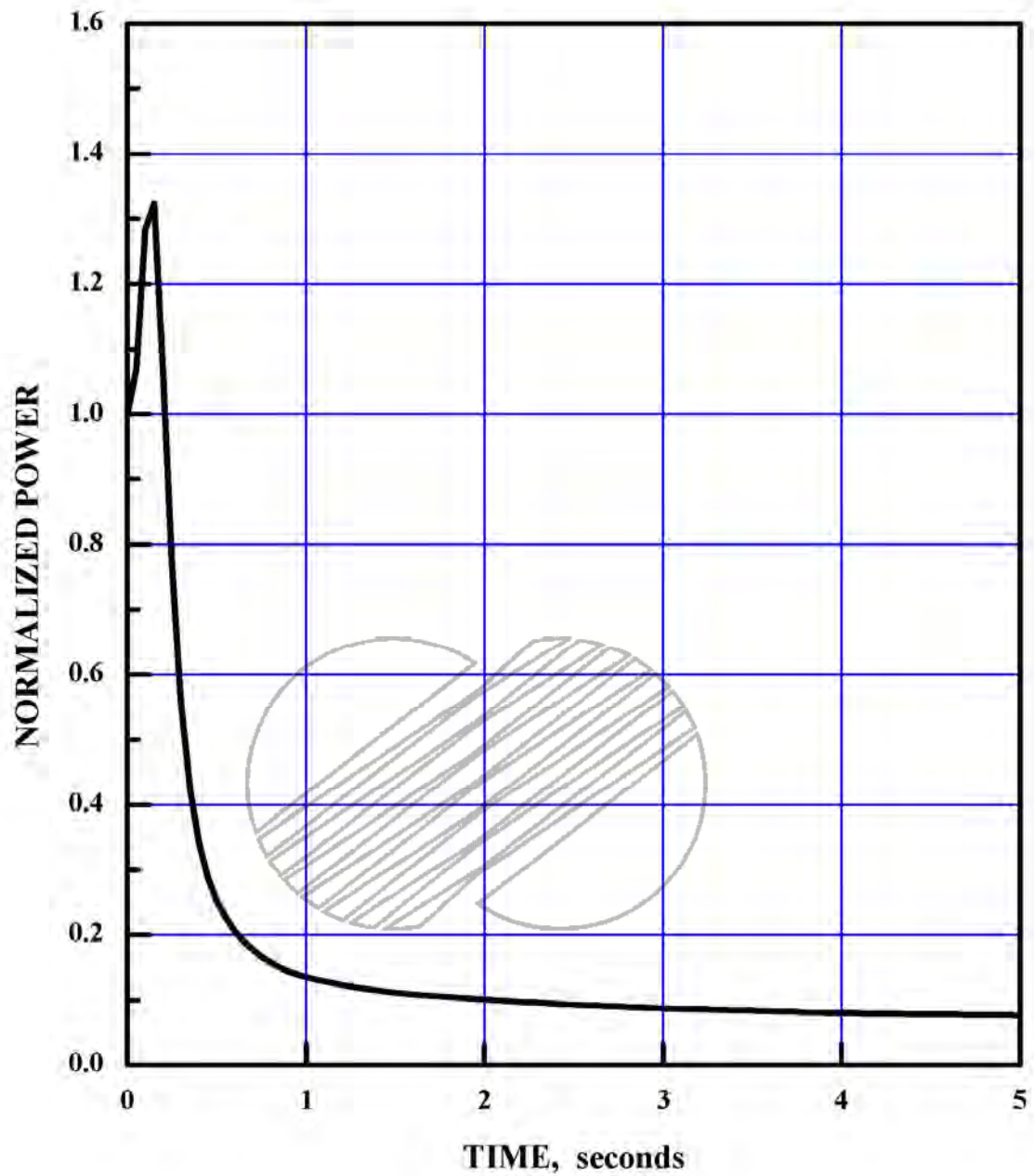
그림 6.3-9 (5 중 3)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

노심 유입 누적 유량
(0.8 × 양단 순시 파단)

그림 6.3-9 (5 중 4)

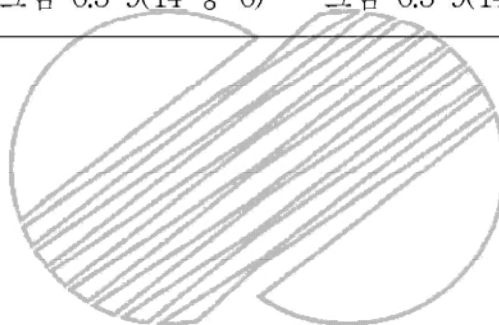


한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

정규화된 노심 출력
(0.8 × 양단 순시 파단)

그림 6.3-9 (5 중 5)

삭제
그림 6.3-9(14 중 6) ~ 그림 6.3-9(14 중 14)

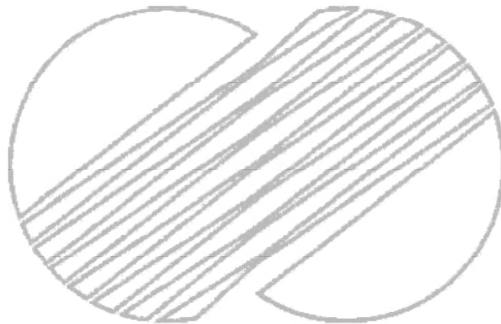


한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

그림 6.3-9 (14 중 6)

삭제

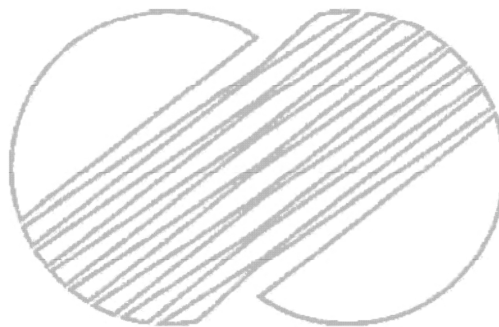


한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

그림 6.3-9 (14 중 7)

삭제

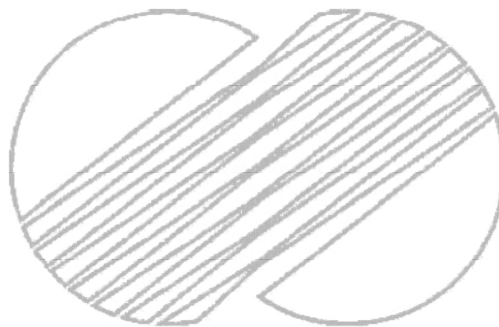


한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

그림 6.3-9 (14 중 8)

삭제



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

그림 6.3-9 (14 중 9)

삭제

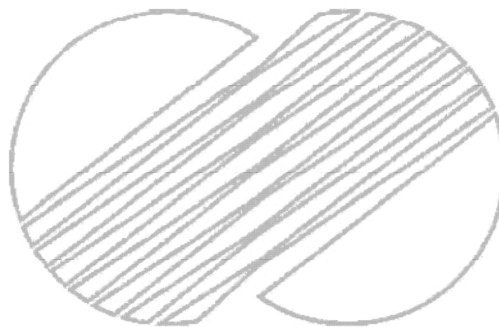


한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

그림 6.3-9 (14 중 10)

삭제

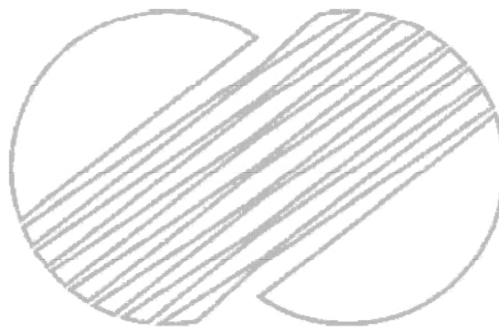


한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

그림 6.3-9 (14 중 11)

삭제

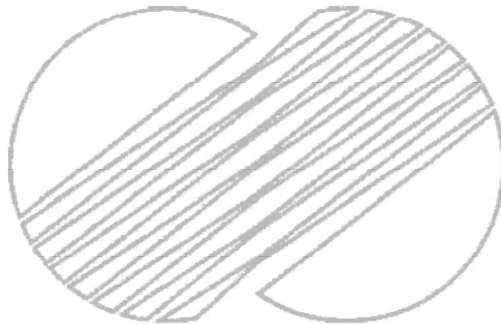


한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

그림 6.3-9 (14 중 12)

삭제



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

그림 6.3-9 (14 중 13)

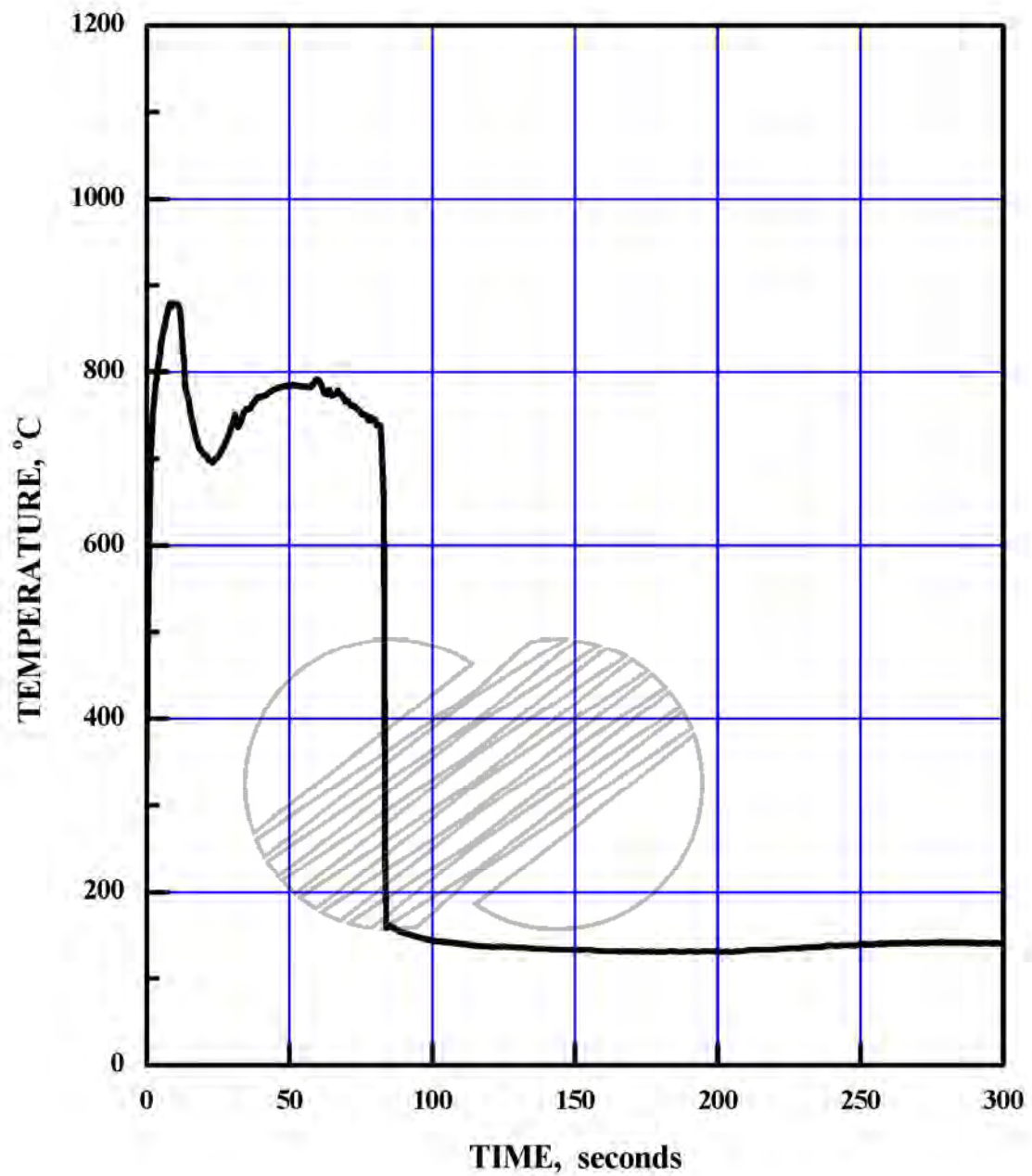
삭제



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

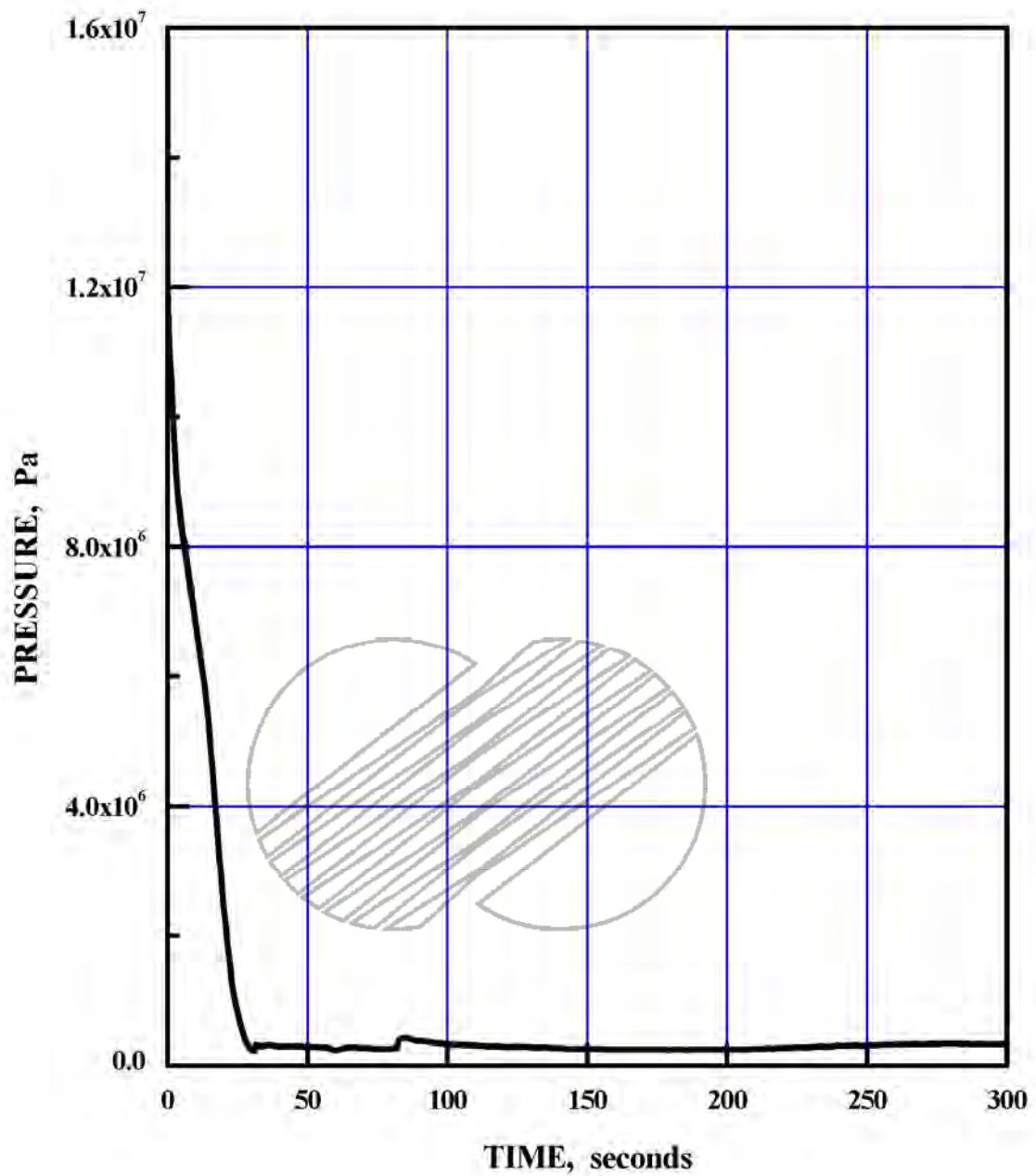
그림 6.3-9 (14 중 14)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

고온점 최대 피복재 온도
(0.6 × 양단 순시 파단)

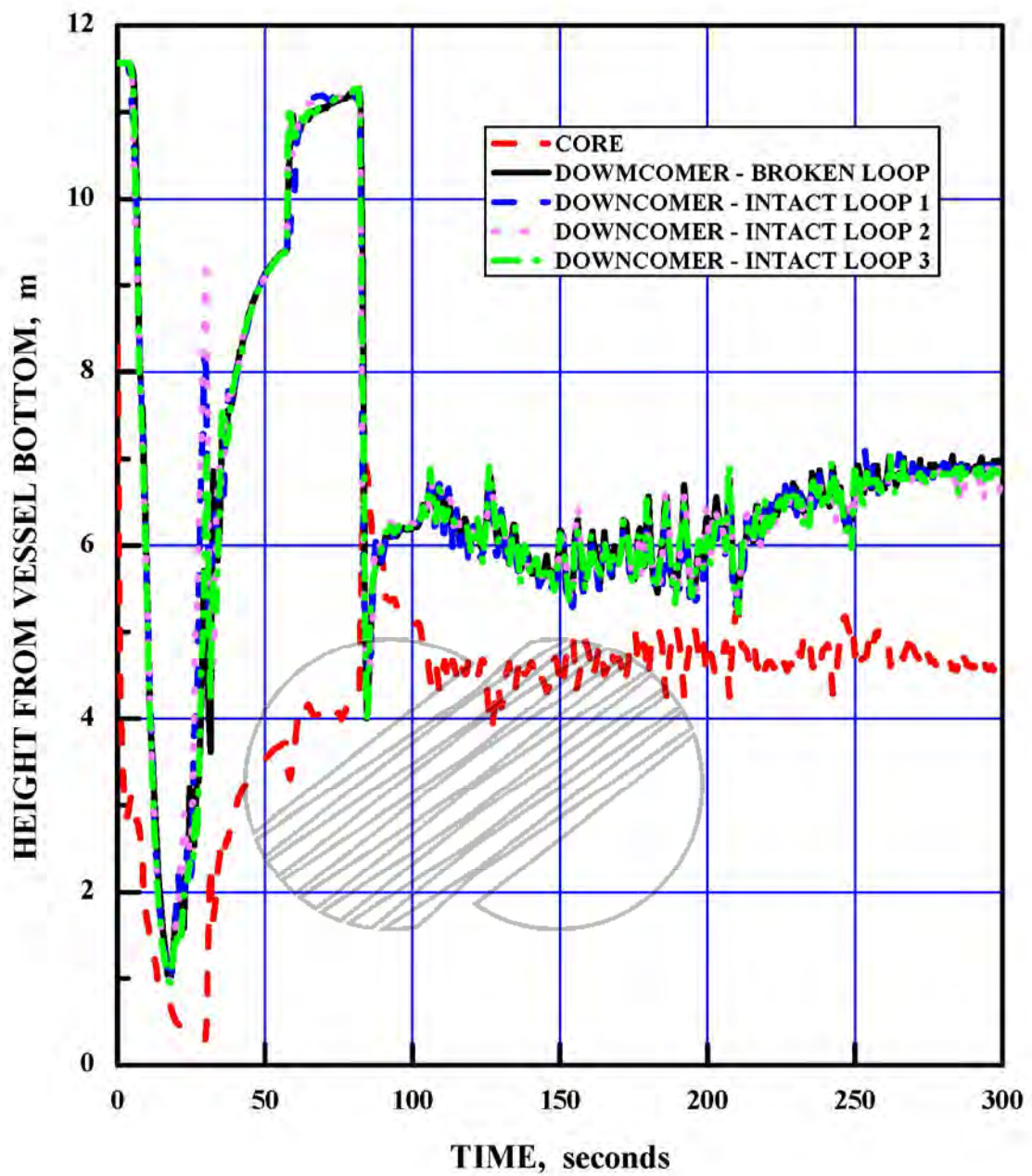
그림 6.3-10 (5 중 1)

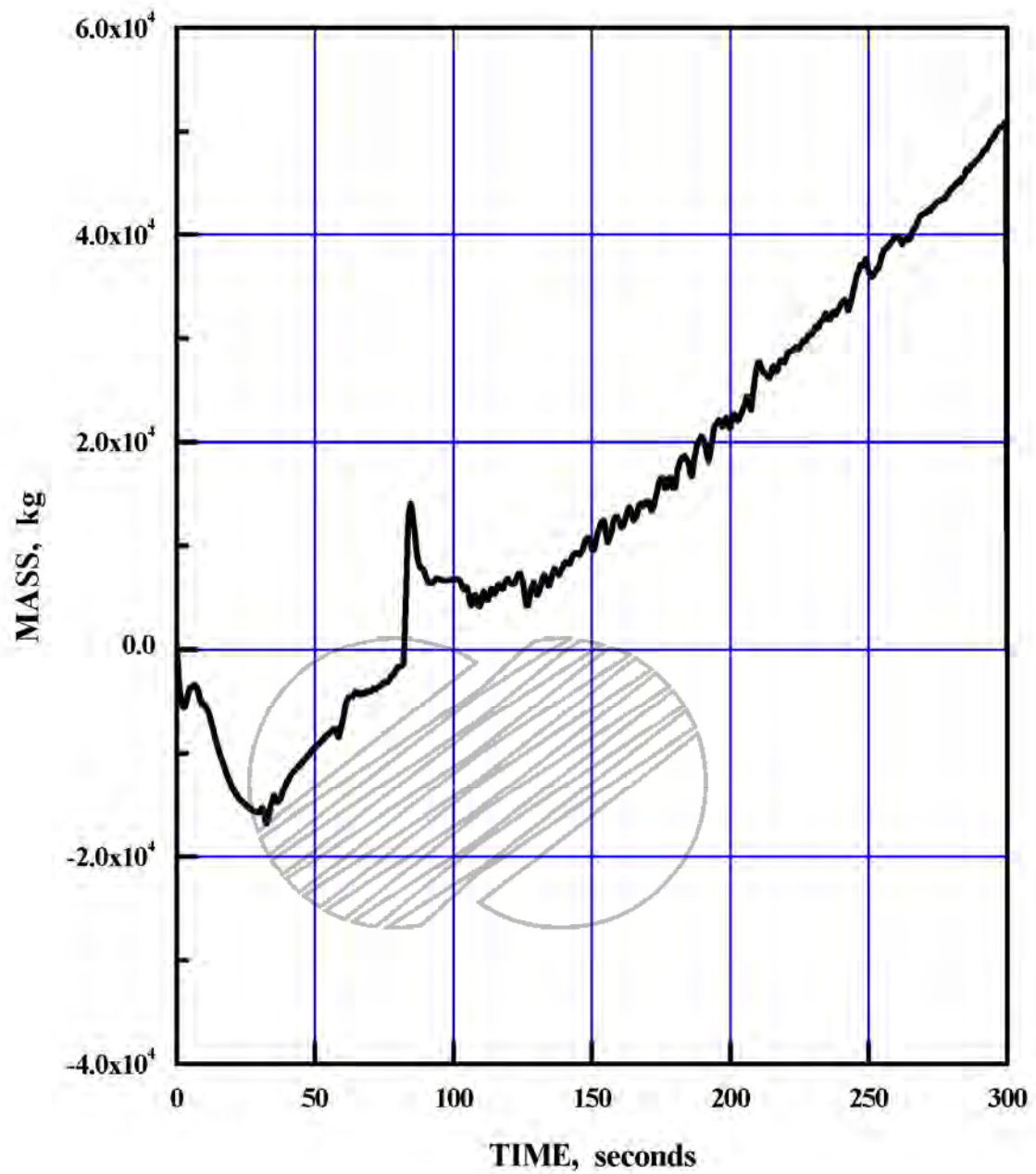


한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

노심 압력
(0.6 × 양단 순시 파단)

그림 6.3-10 (5 중 2)

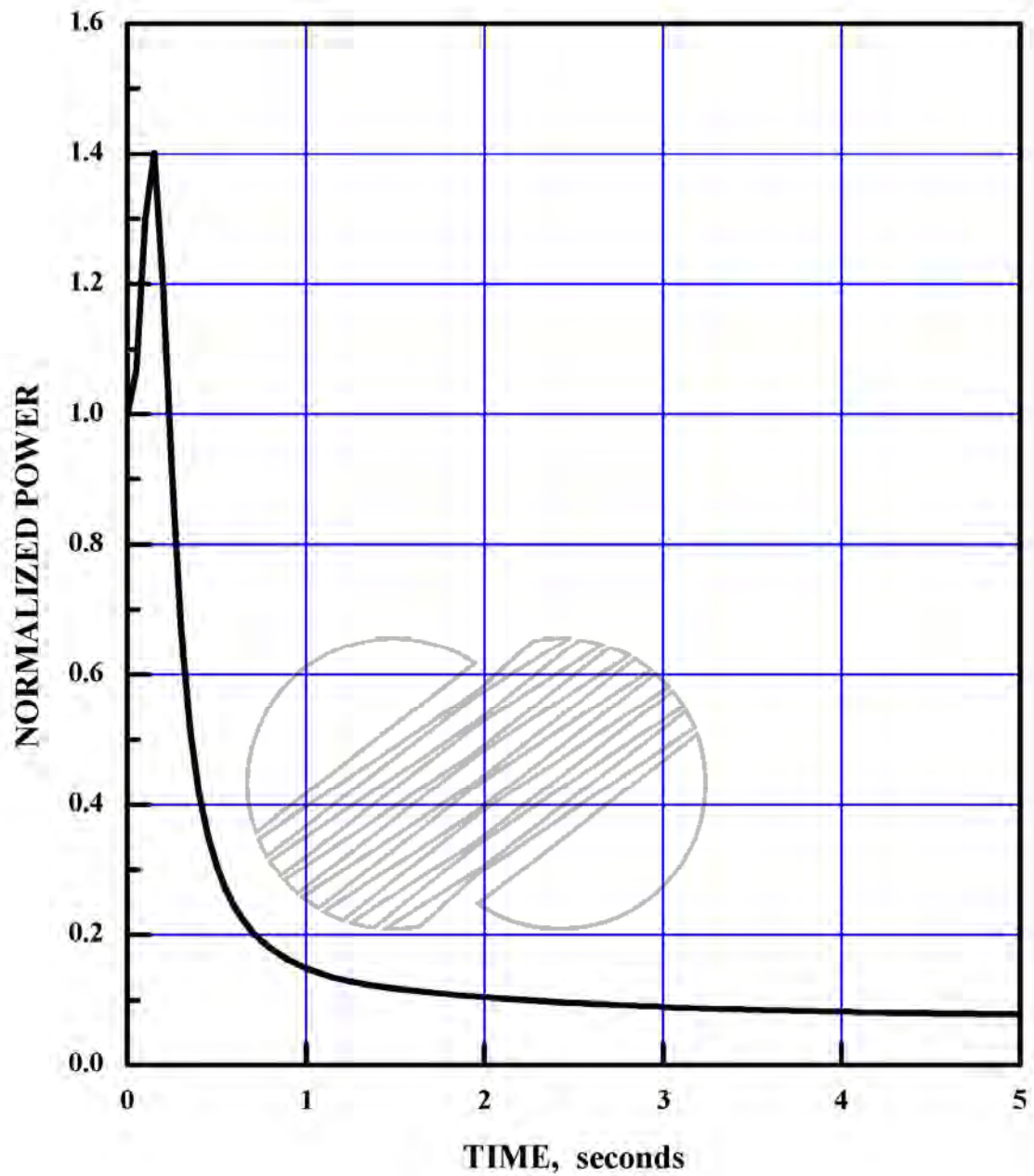




한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

노심 유입 누적 유량
(0.6 × 양단 순시 파단)

그림 6.3-10 (5 중 4)

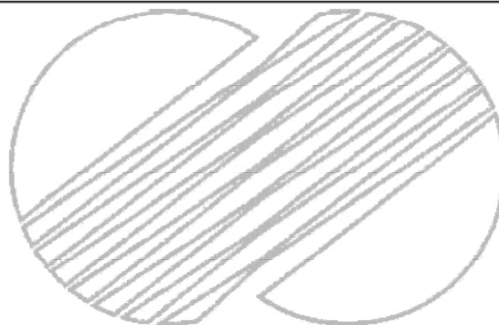


한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

정규화된 노심 출력
(0.6 × 양단 순시 파단)

그림 6.3-10 (5 중 5)

삭제
그림 6.3-10(14 중 6) ~ 그림 6.3-10(14 중 14)

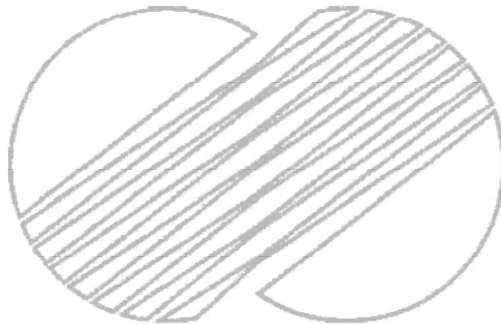


한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

그림 6.3-10 (14 중 6)

삭제

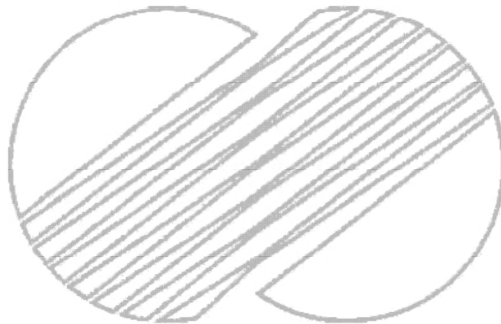


한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

그림 6.3-10 (14 중 7)

삭제

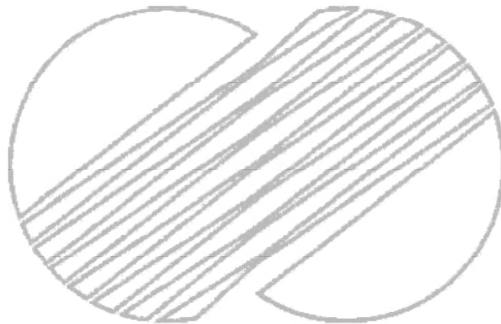


한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

그림 6.3-10 (14 중 8)

삭제

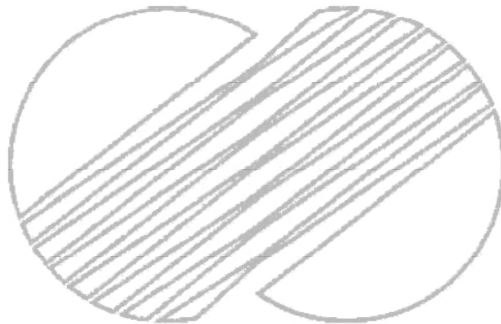


한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

그림 6.3-10 (14 중 9)

삭제

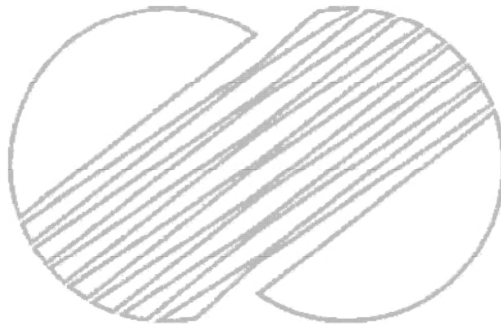


한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

그림 6.3-10 (14 중 10)

삭제



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

그림 6.3-10 (14 중 11)

삭제

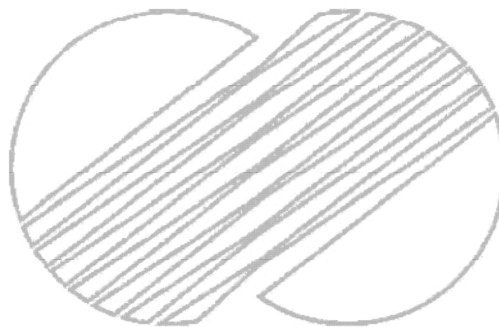


한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

그림 6.3-10 (14 중 12)

삭제



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

그림 6.3-10 (14 중 13)

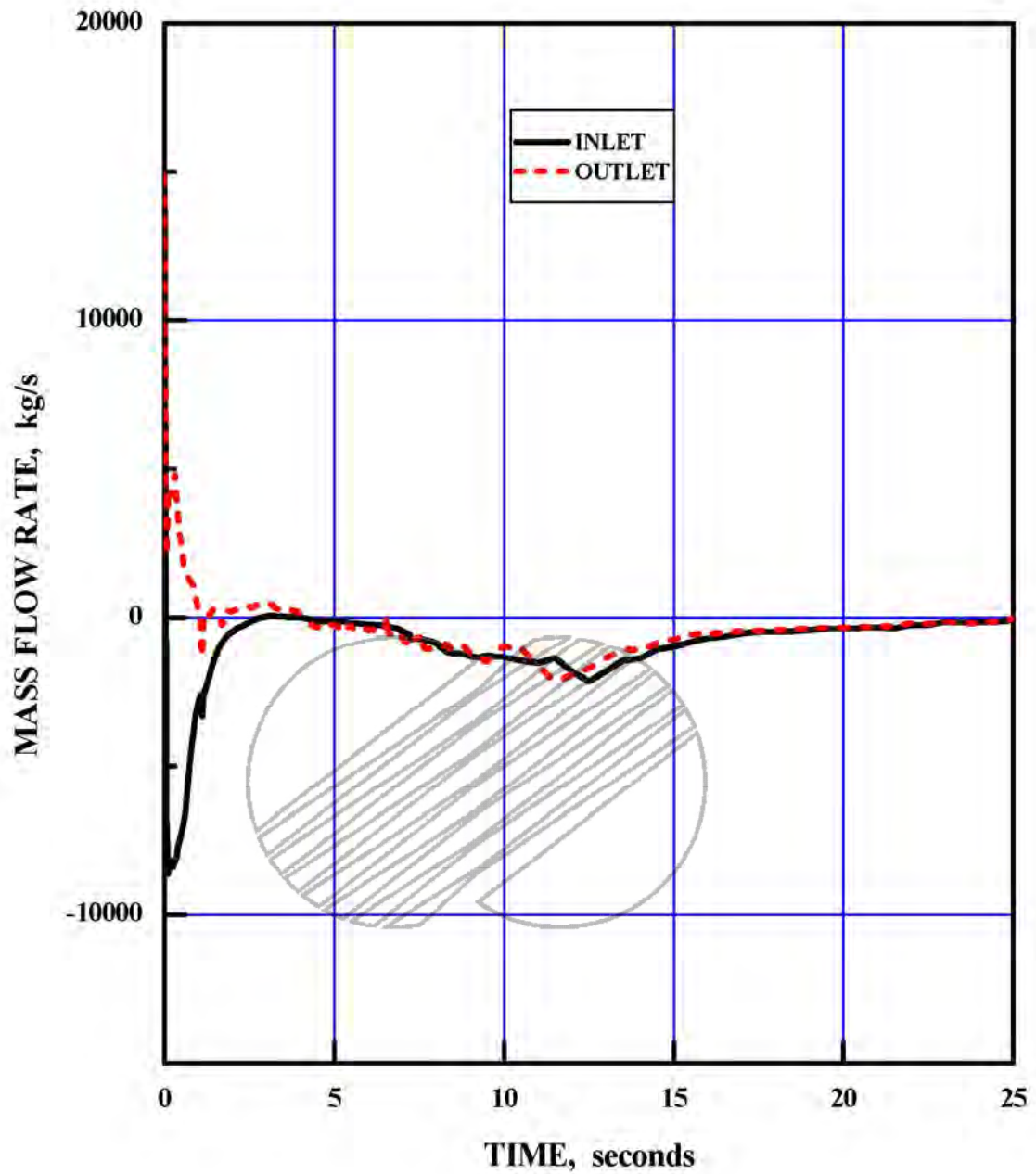
삭제



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

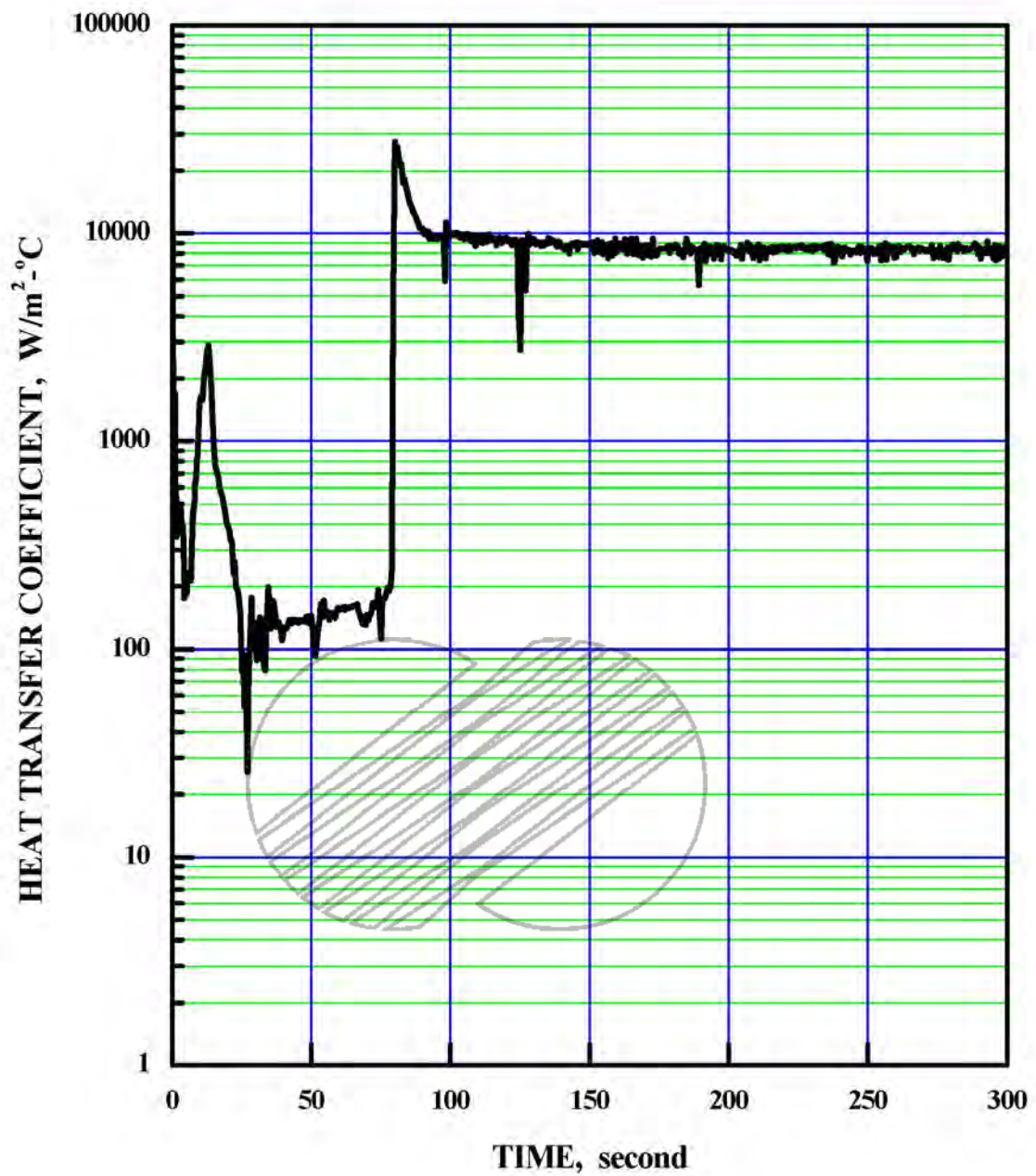
그림 6.3-10 (14 중 14)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

노심 입/출구에서의 유입/유출 유량
(0.8 × 양단 순시 파단)

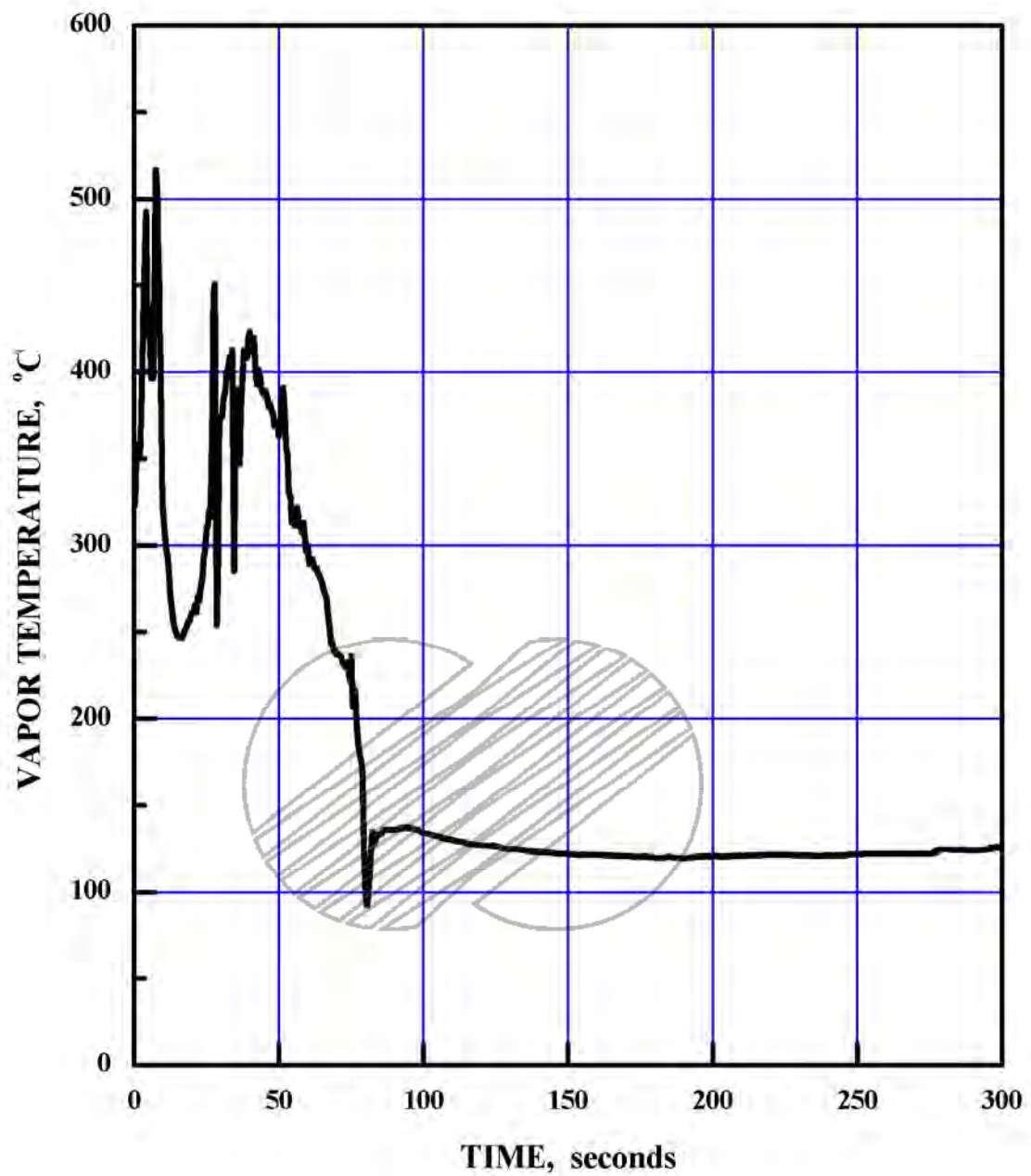
그림 6.3-11 (10 중 1)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

고온점 열전달계수
(0.8 × 양단 순시 파단)

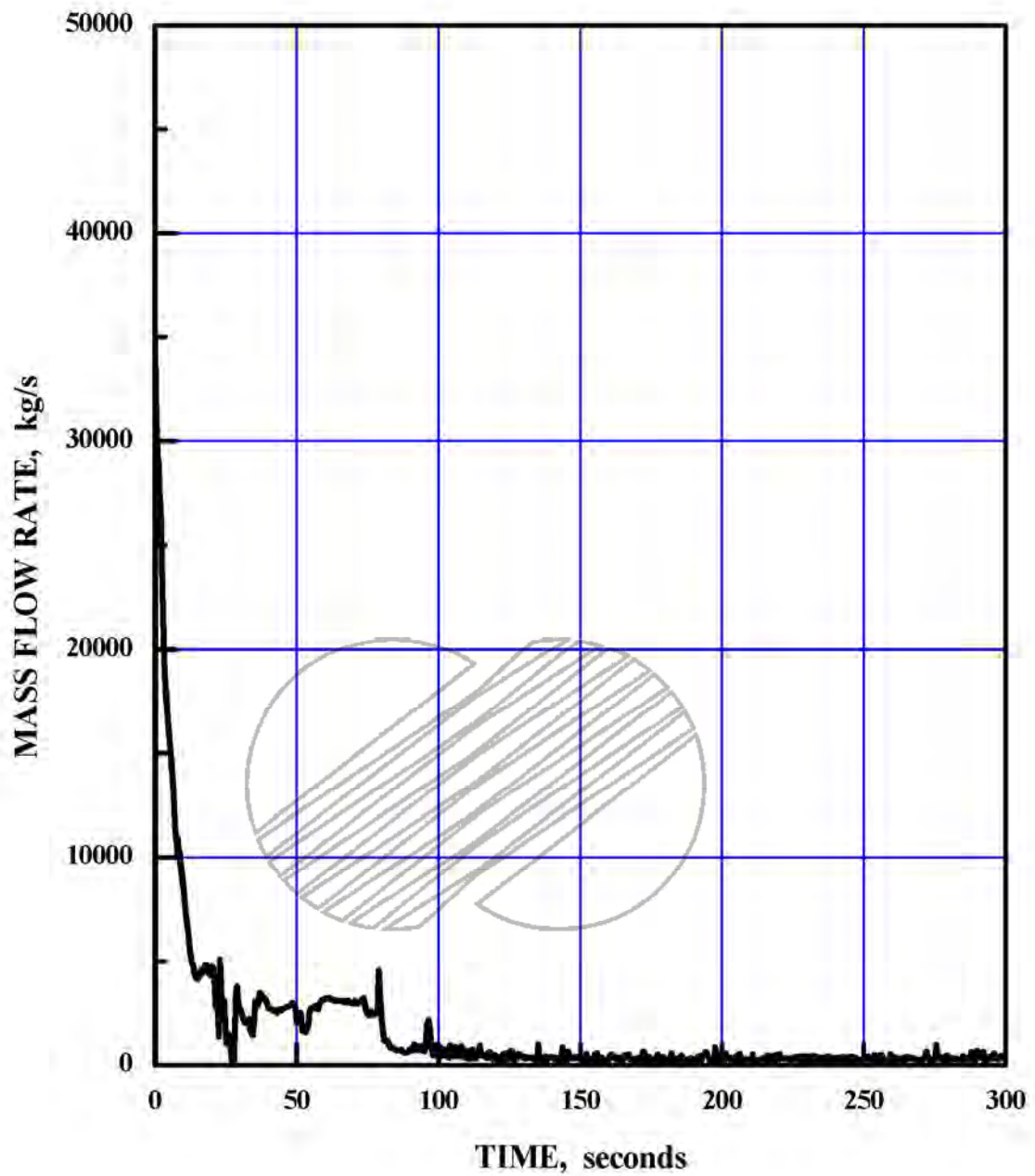
그림 6.3-11 (10 중 2)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

고온 집합체 증기 온도
(0.8 × 양단 순시 파단)

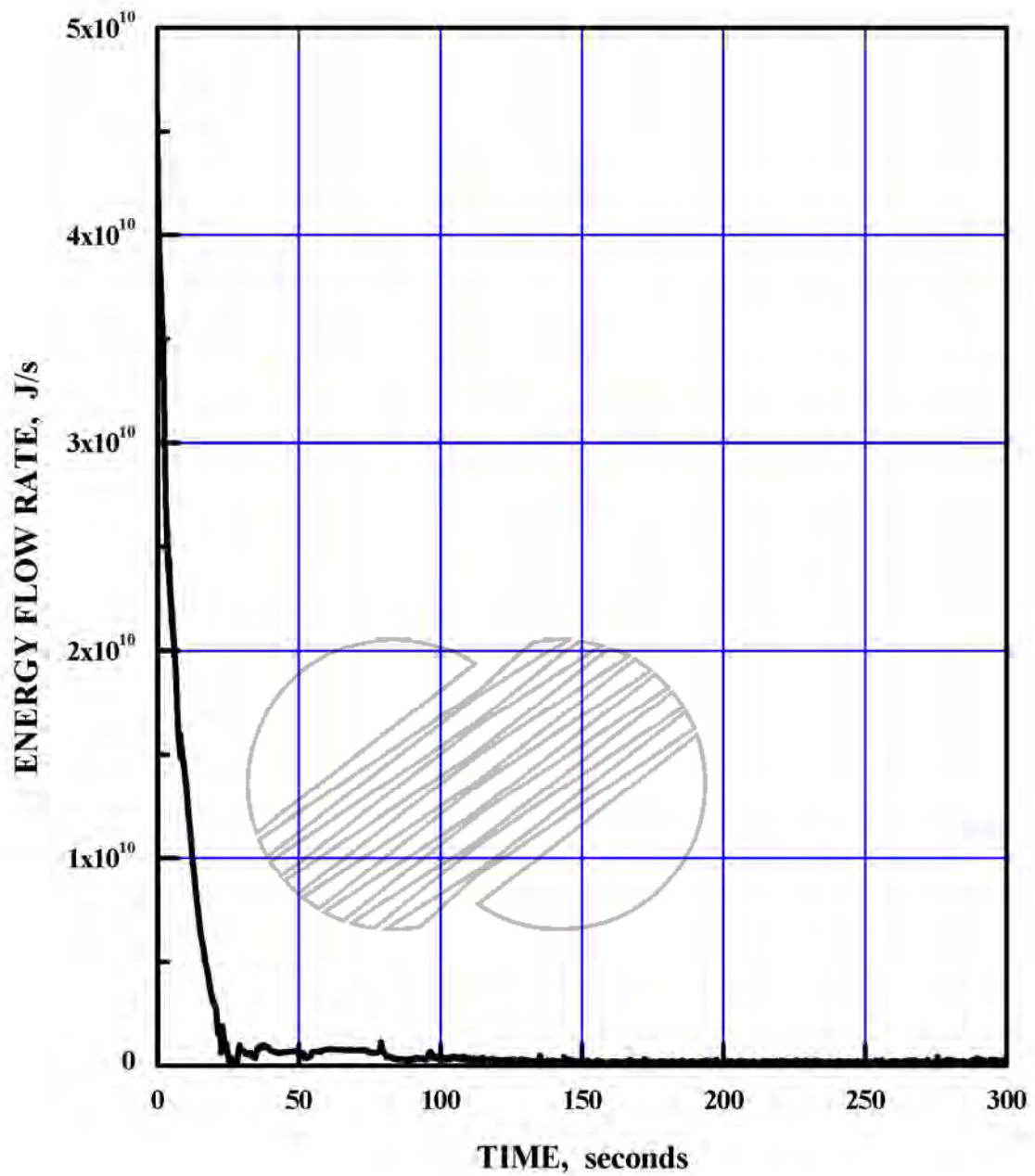
그림 6.3-11 (10 중 3)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

원자로건물로의 파단 질량 유량
(0.8 × 양단 순시 파단)

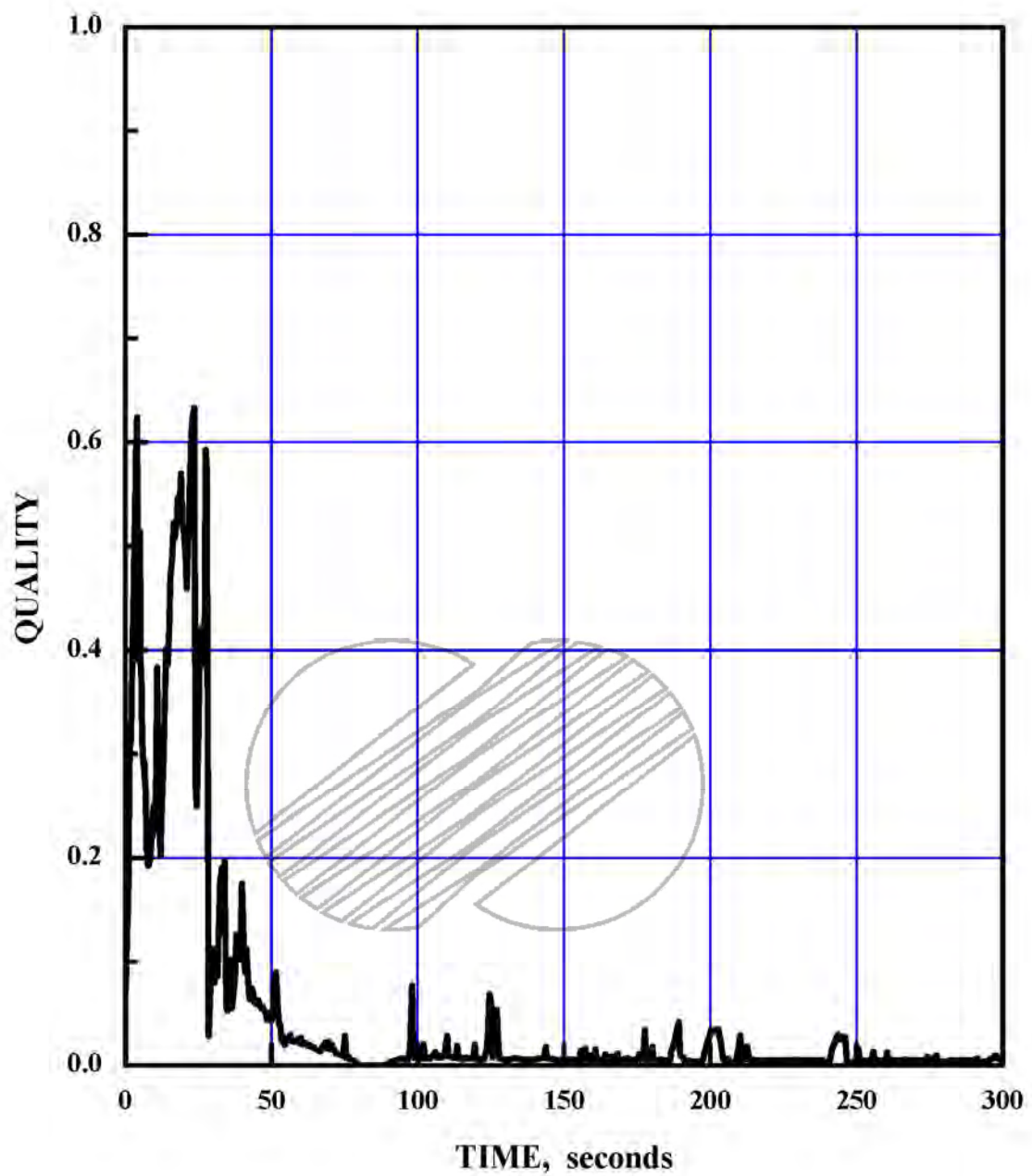
그림 6.3-11 (10 중 4)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

원자로건물로의 파단 에너지 방출량
($0.8 \times$ 양단 순시 파단)

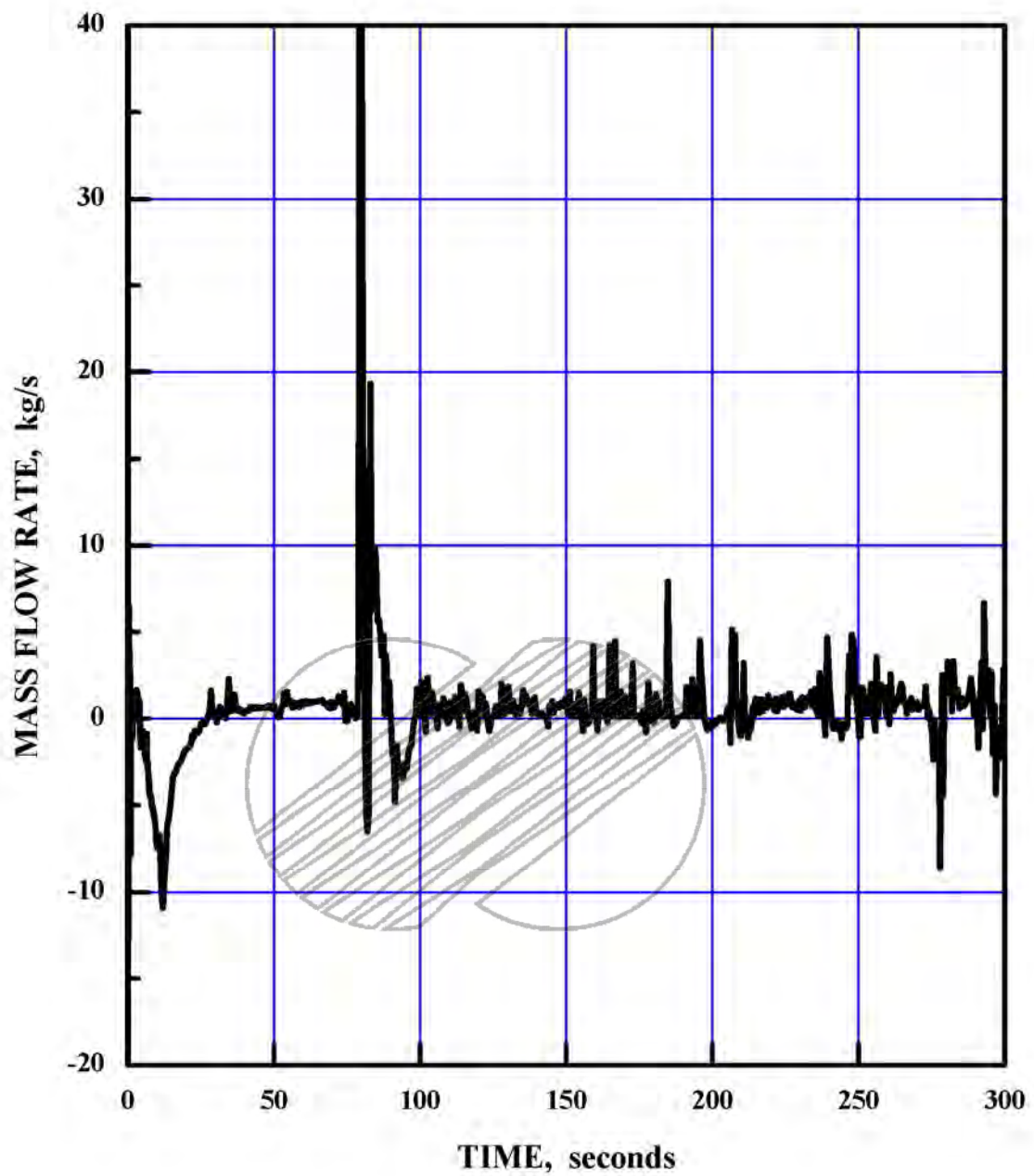
그림 6.3-11 (10 중 5)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

고온 집합체 건도
(0.8 × 양단 순시 파단)

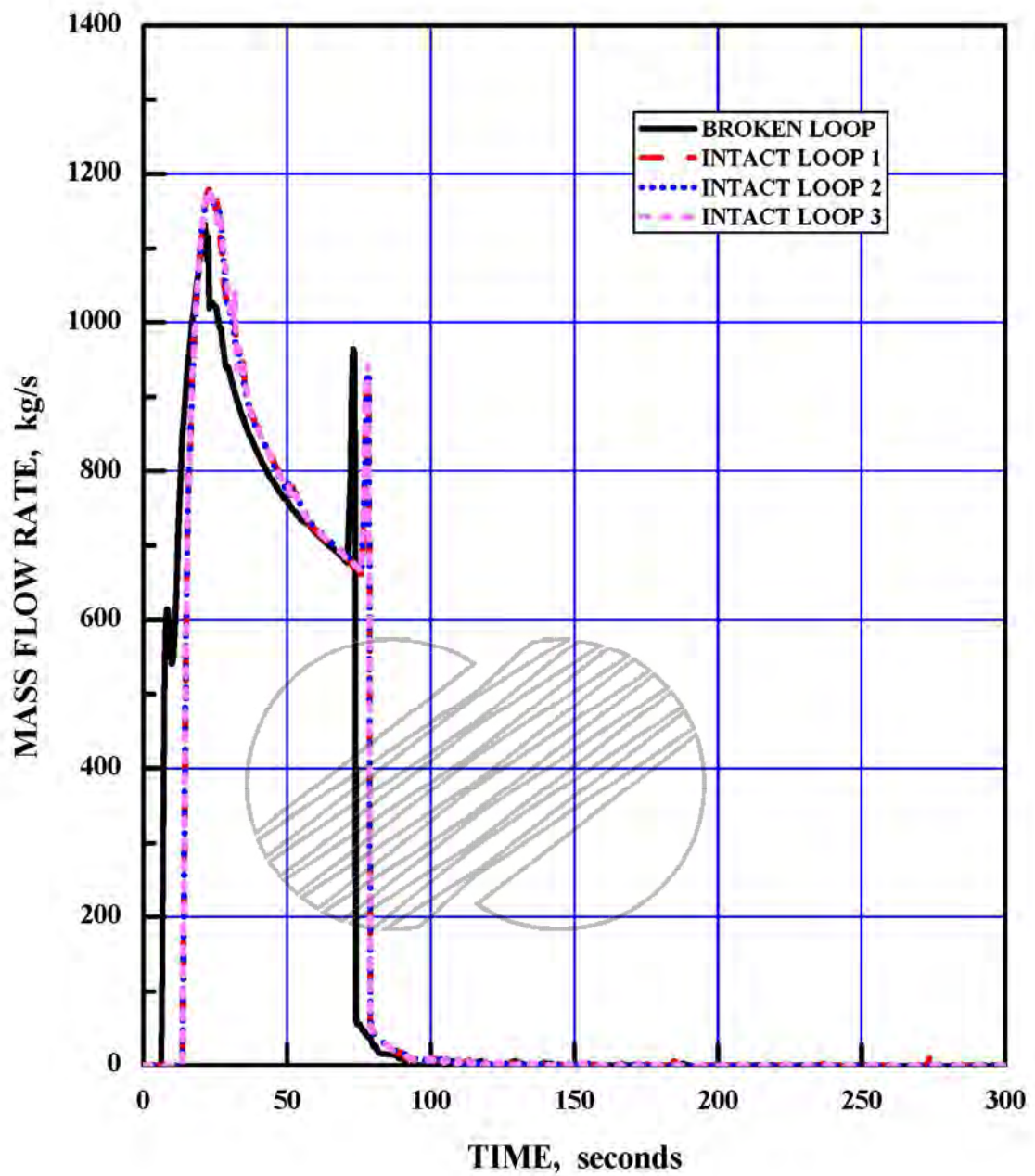
그림 6.3-11 (10 중 6)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

고온 집합체 유량
(0.8 × 양단 순시 파단)

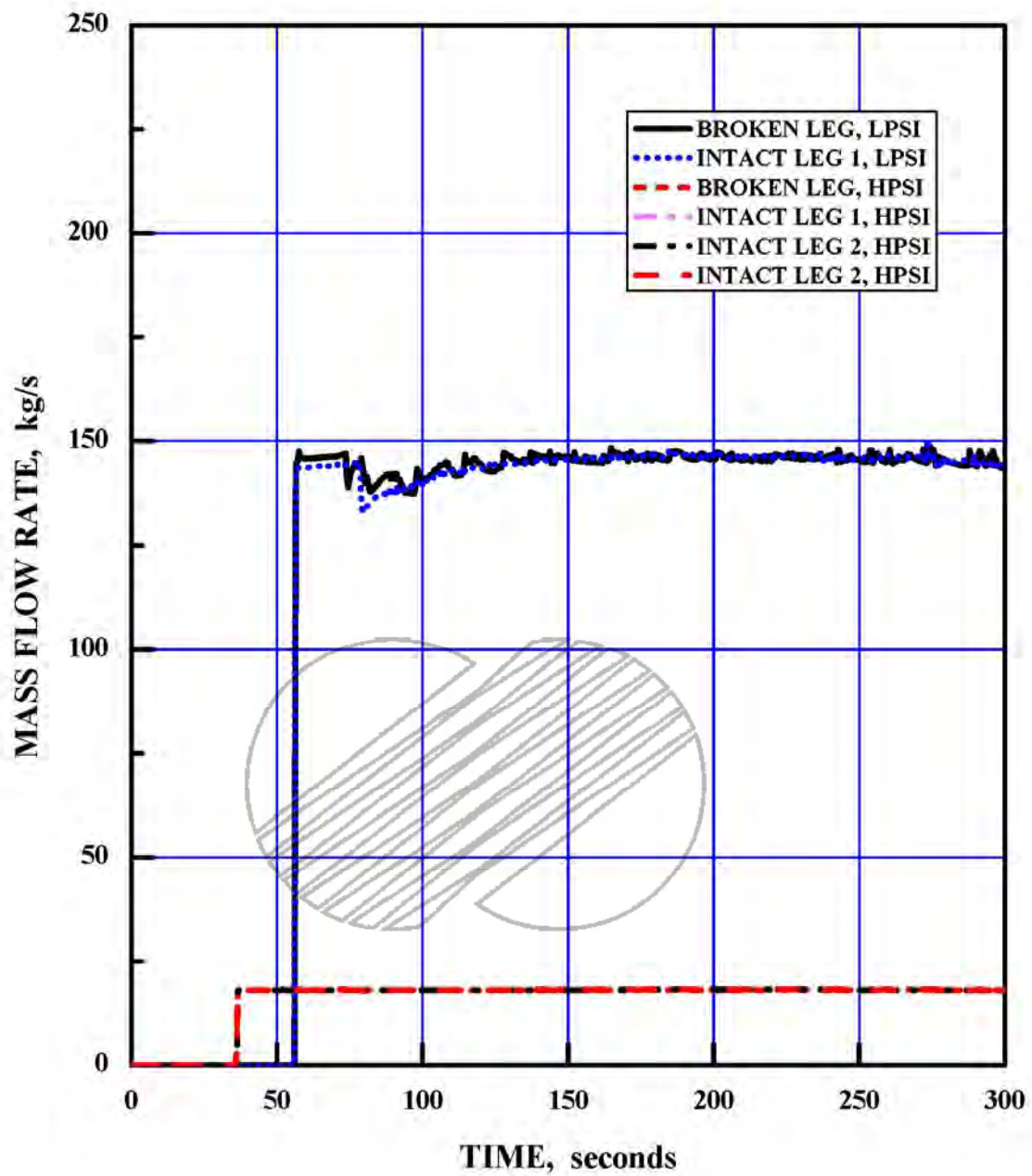
그림 6.3-11 (10 중 7)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

안전주입탱크 유량
(0.8 × 양단 순시 파단)

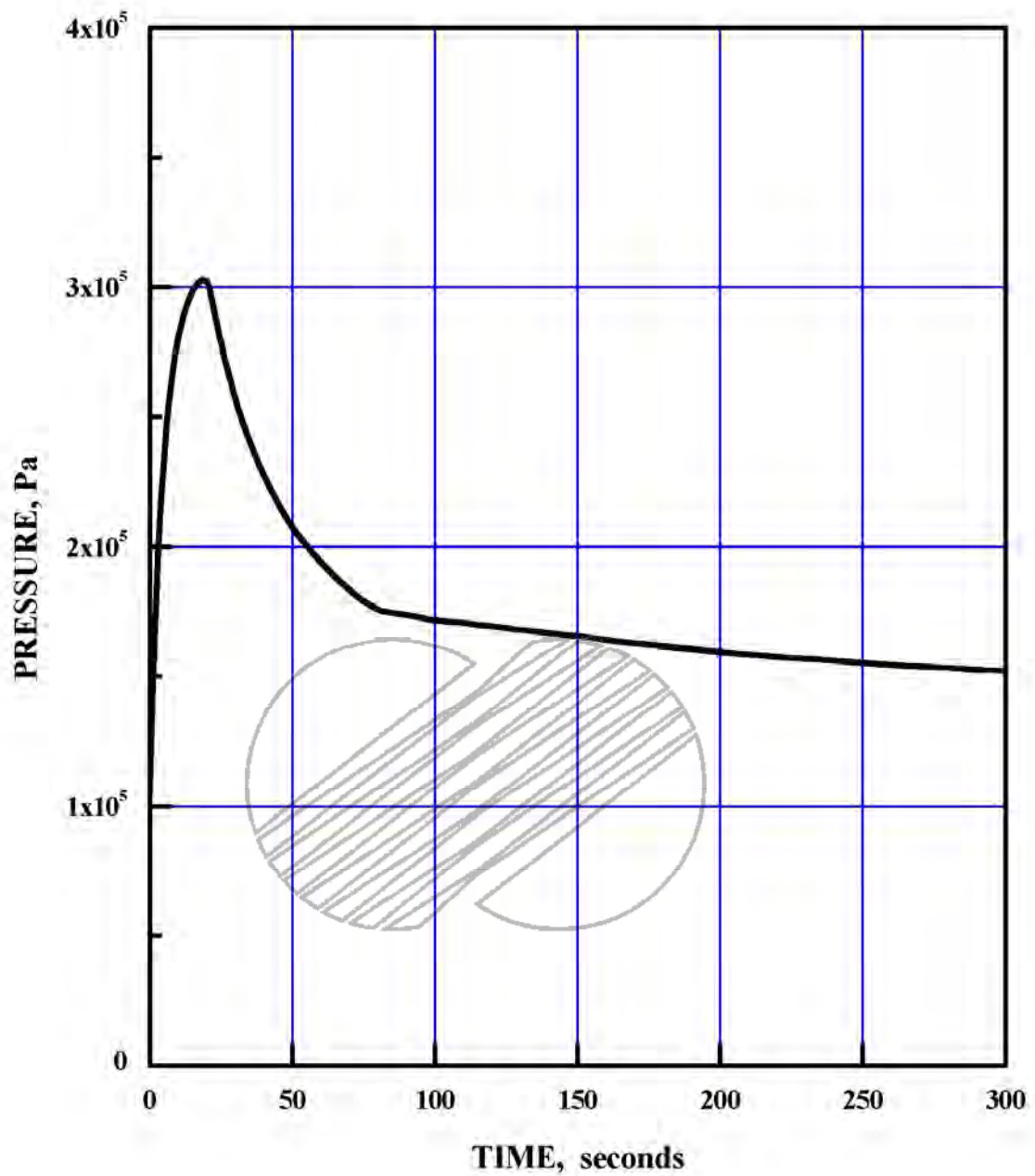
그림 6.3-11 (10 중 8)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

안전주입 펌프 유량
(0.8 × 양단 순시 파단)

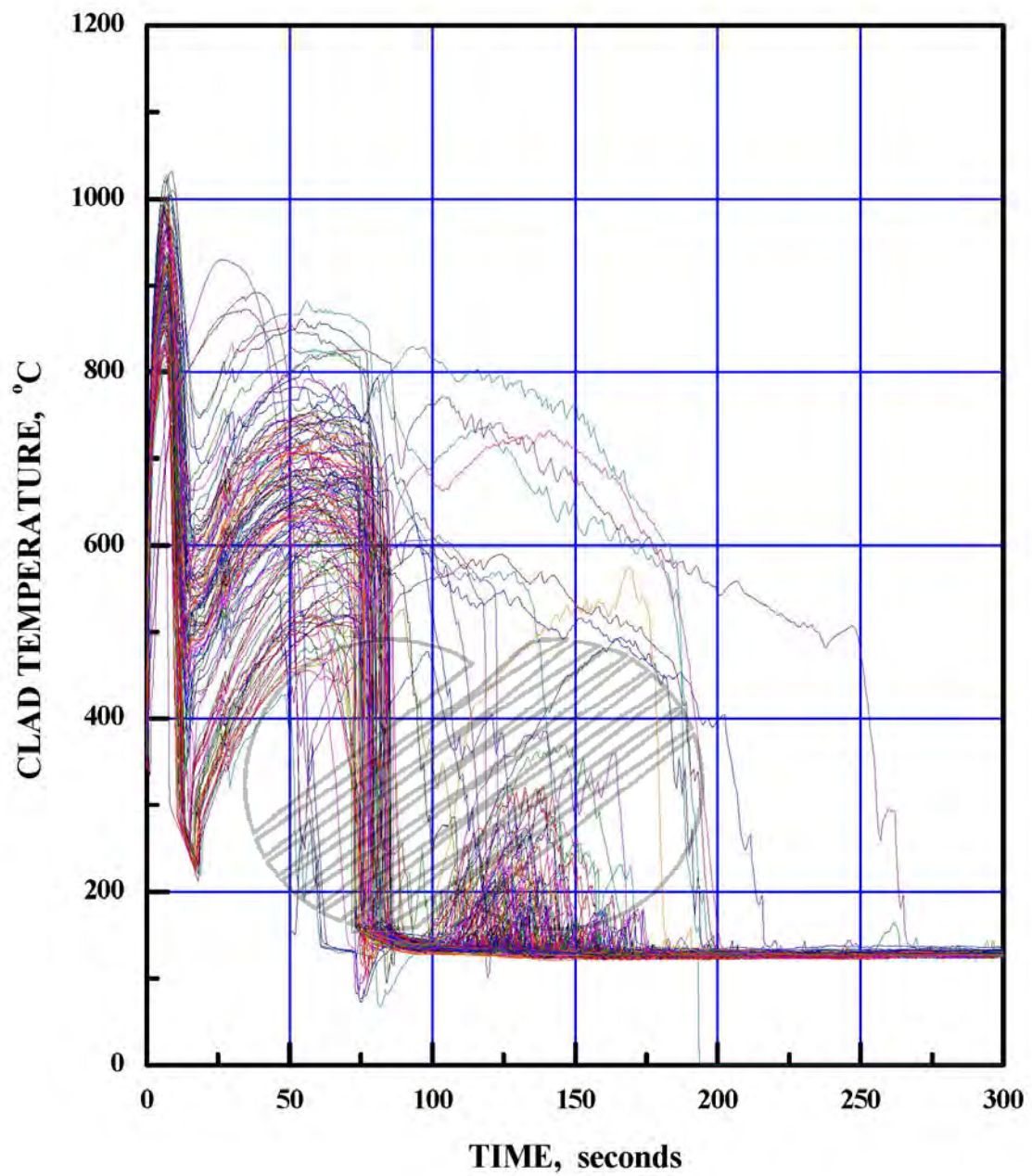
그림 6.3-11 (10 중 9)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

원자로건물 압력
(0.8 × 양단 순시 파단)

그림 6.3-11 (10 중 10)

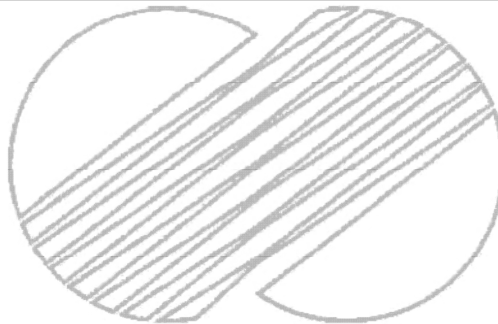


한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

단순임의추출 계산의 최대 피복재 온도

그림 6.3-12

삭제
그림 6.3-12(5 중 2) ~ 그림 6.3-12(5 중 5)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

그림 6.3-12 (5 중 2)

삭제



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

그림 6.3-12 (5 중 3)

삭제

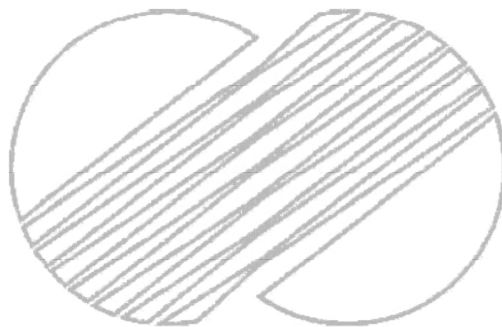


한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

그림 6.3-12 (5 중 4)

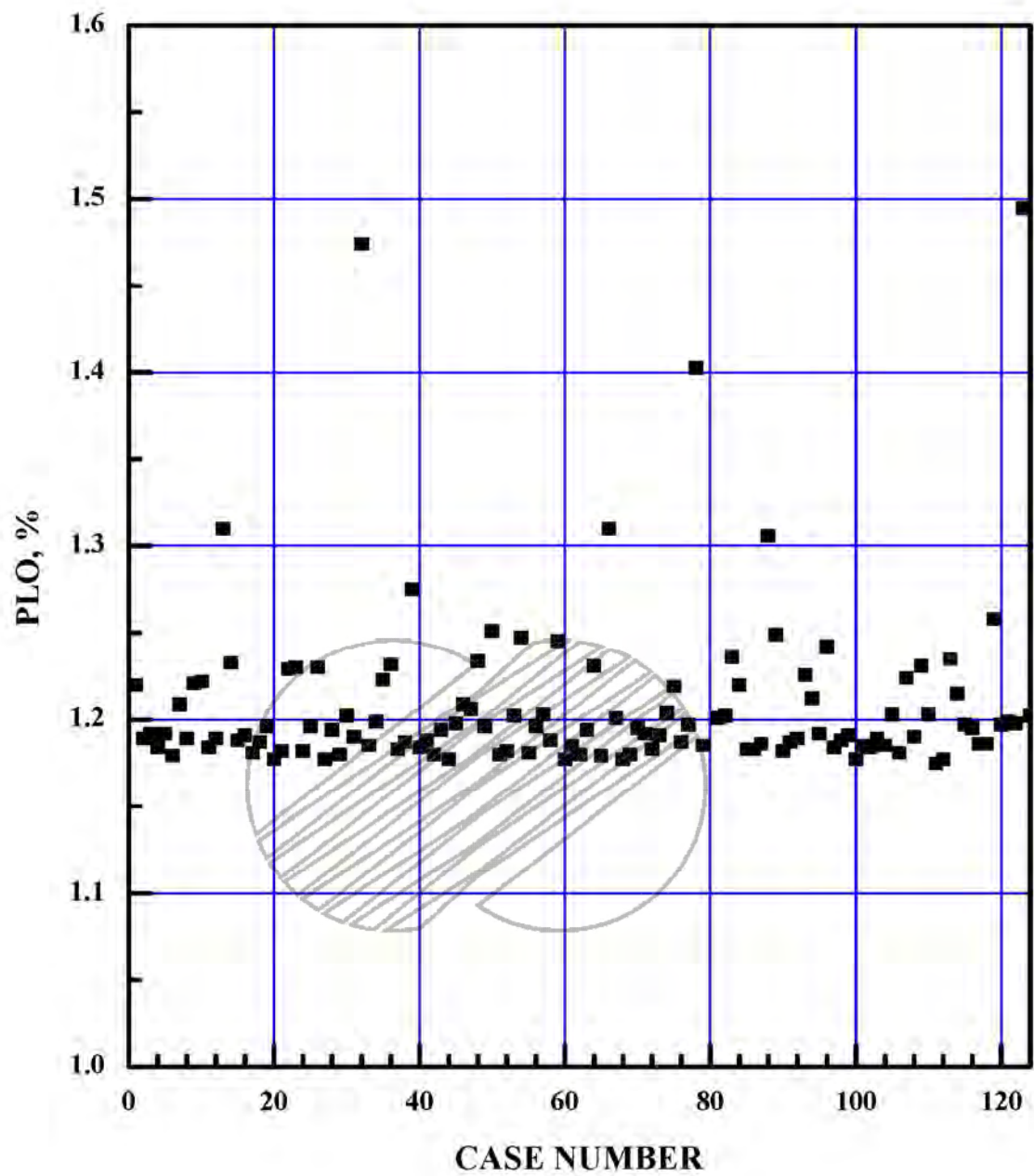
삭제



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

그림 6.3-12 (5 중 5)

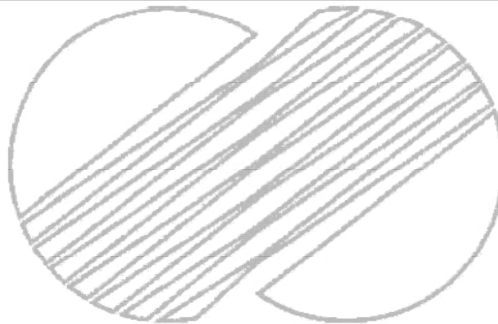


한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

단순임의추출 계산의 최대 피복재 산화도

그림 6.3-13

삭제
그림 6.3-13(5 중 2) ~ 그림 6.3-13(5 중 5)

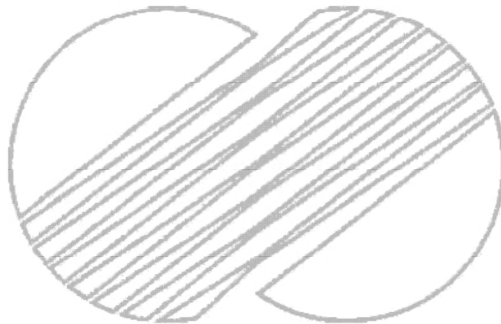


한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

그림 6.3-13 (5 중 2)

삭제

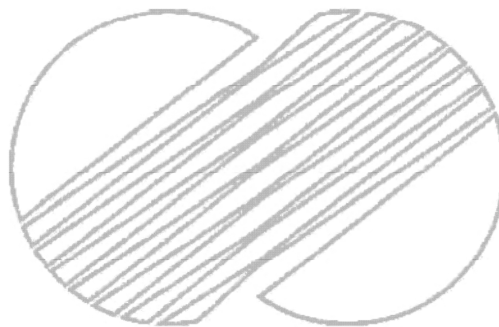


한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

그림 6.3-13 (5 중 3)

삭제

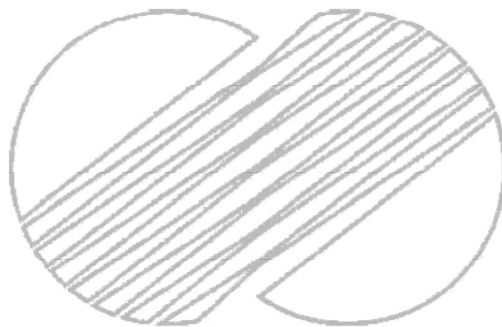


한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

그림 6.3-13 (5 중 4)

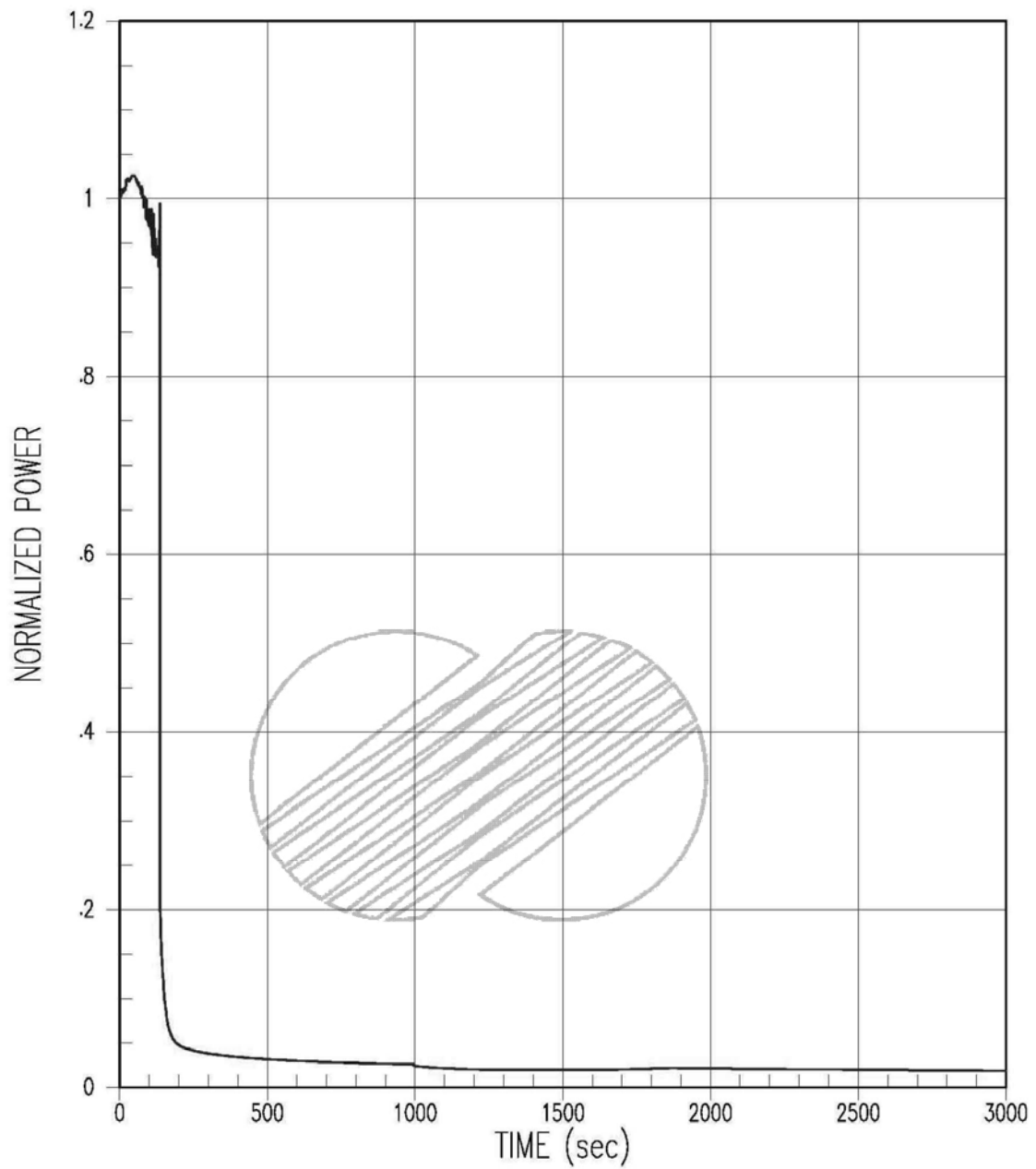
삭제



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

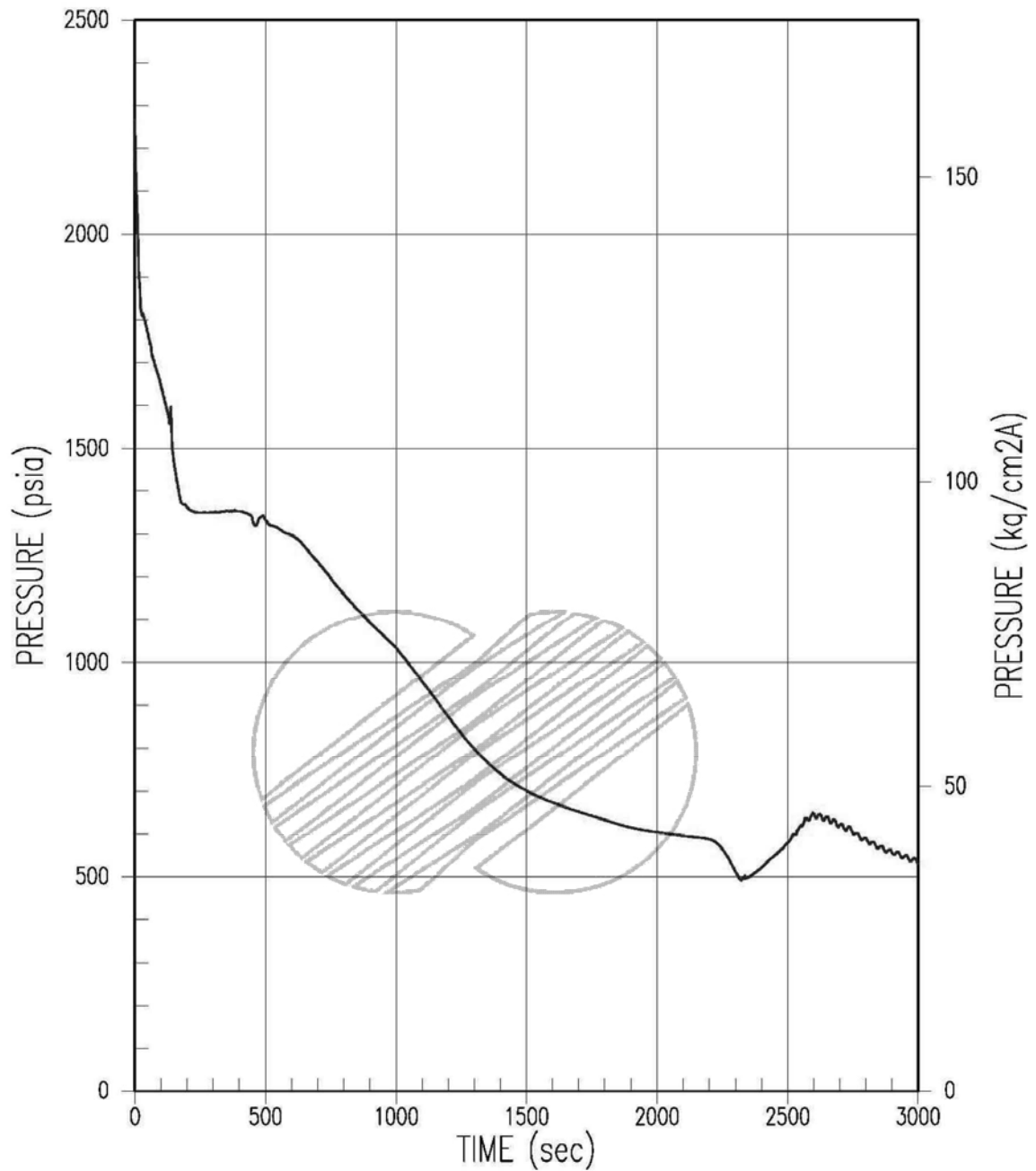
그림 6.3-13 (5 중 5)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

정규화된 노심 출력
46.5 cm² (0.05 ft²) 파단

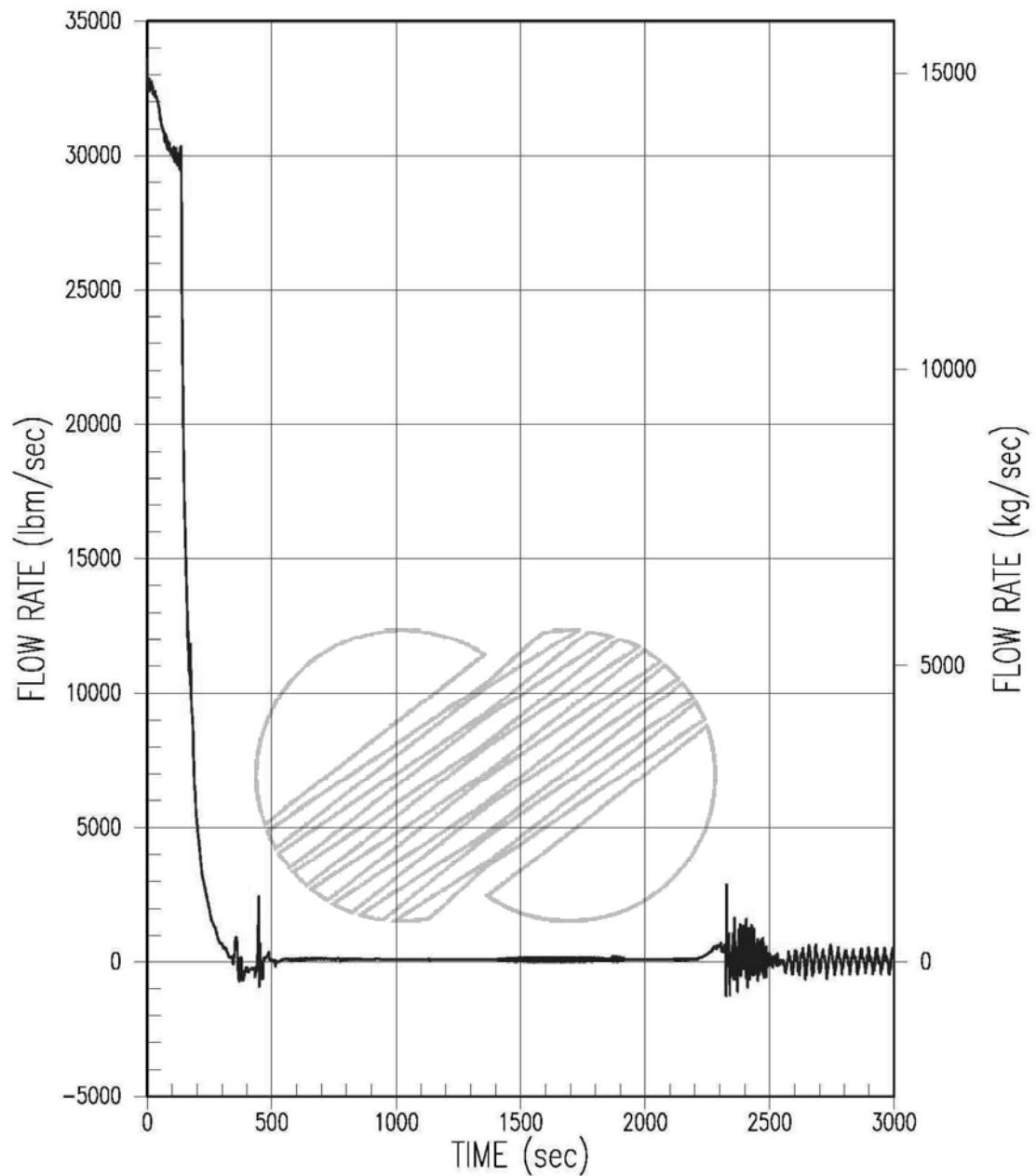
그림 6.3-14 (7 중 1)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

노심 압력
46.5 cm² (0.05 ft²) 파단

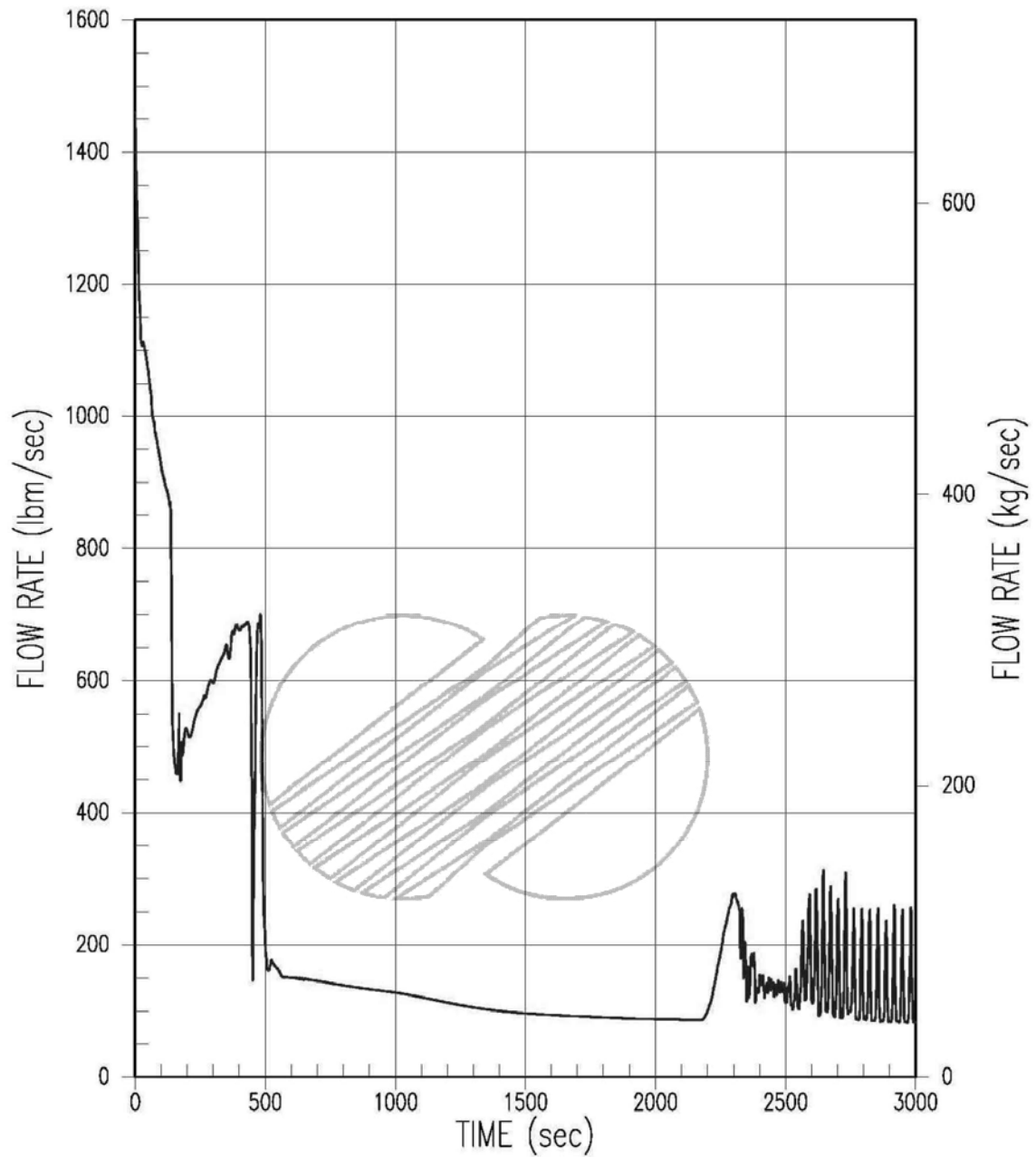
그림 6.3-14 (7 중 2)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

노심 입구 유량
46.5 cm² (0.05 ft²) 파단

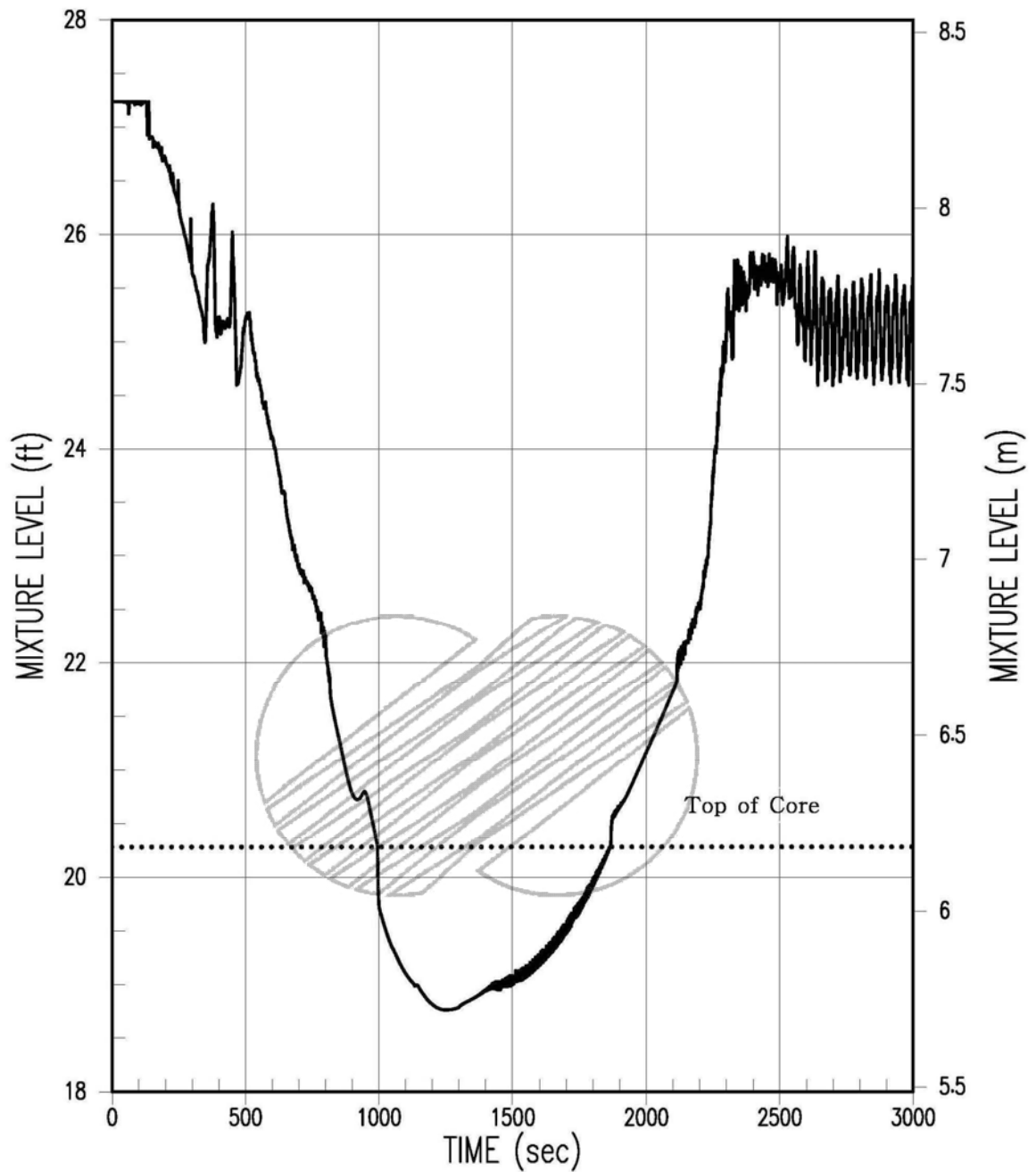
그림 6.3-14 (7 중 3)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

파단 유량
46.5 cm² (0.05 ft²) 파단

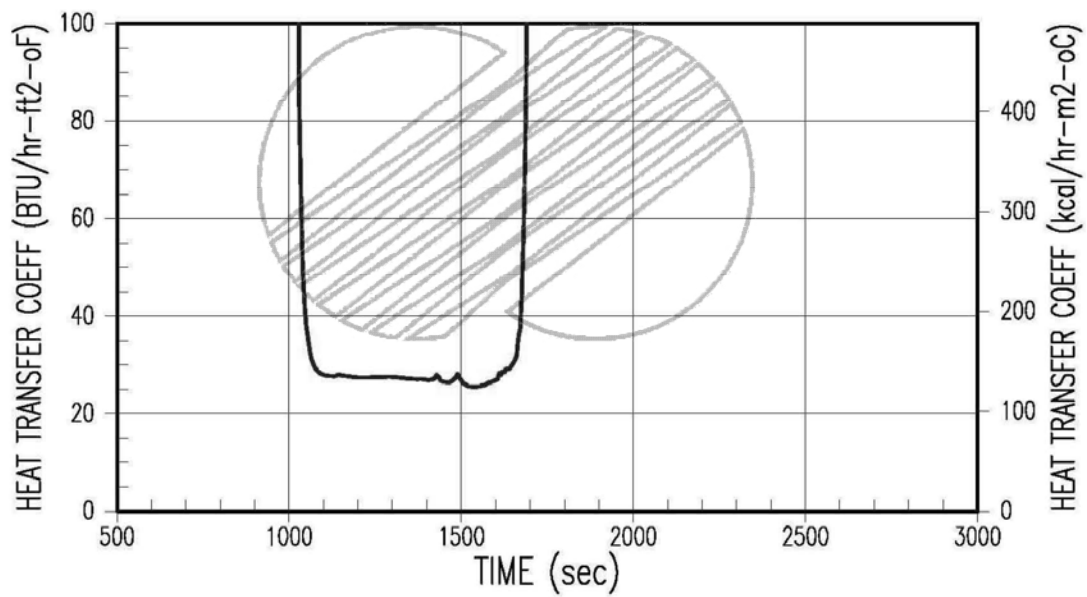
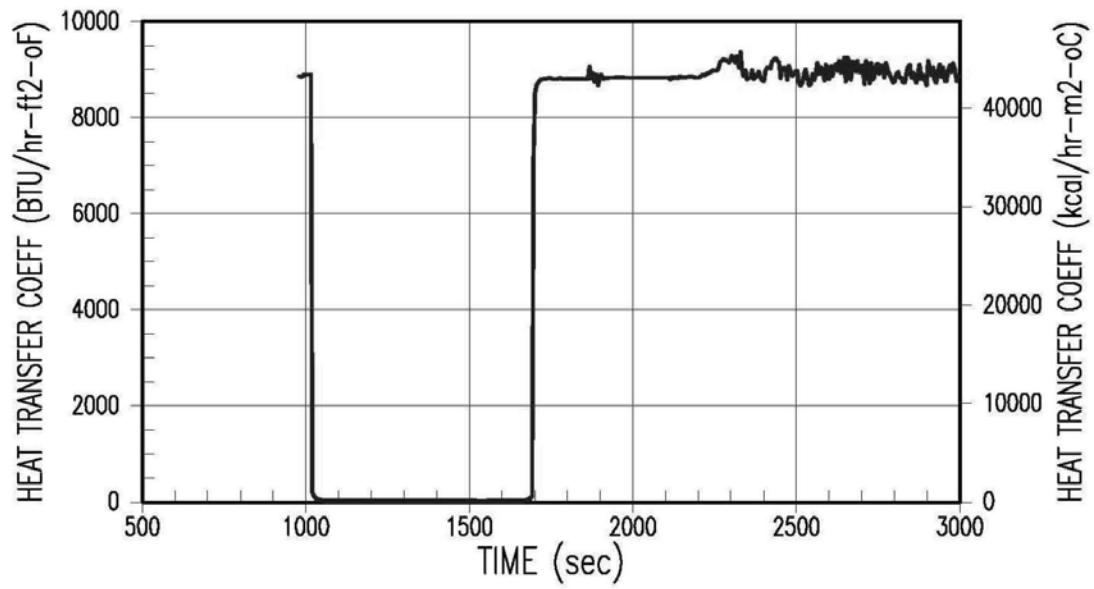
그림 6.3-14 (7 중 4)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

노심 이상 혼합체 수위
46.5 cm² (0.05 ft²) 파단

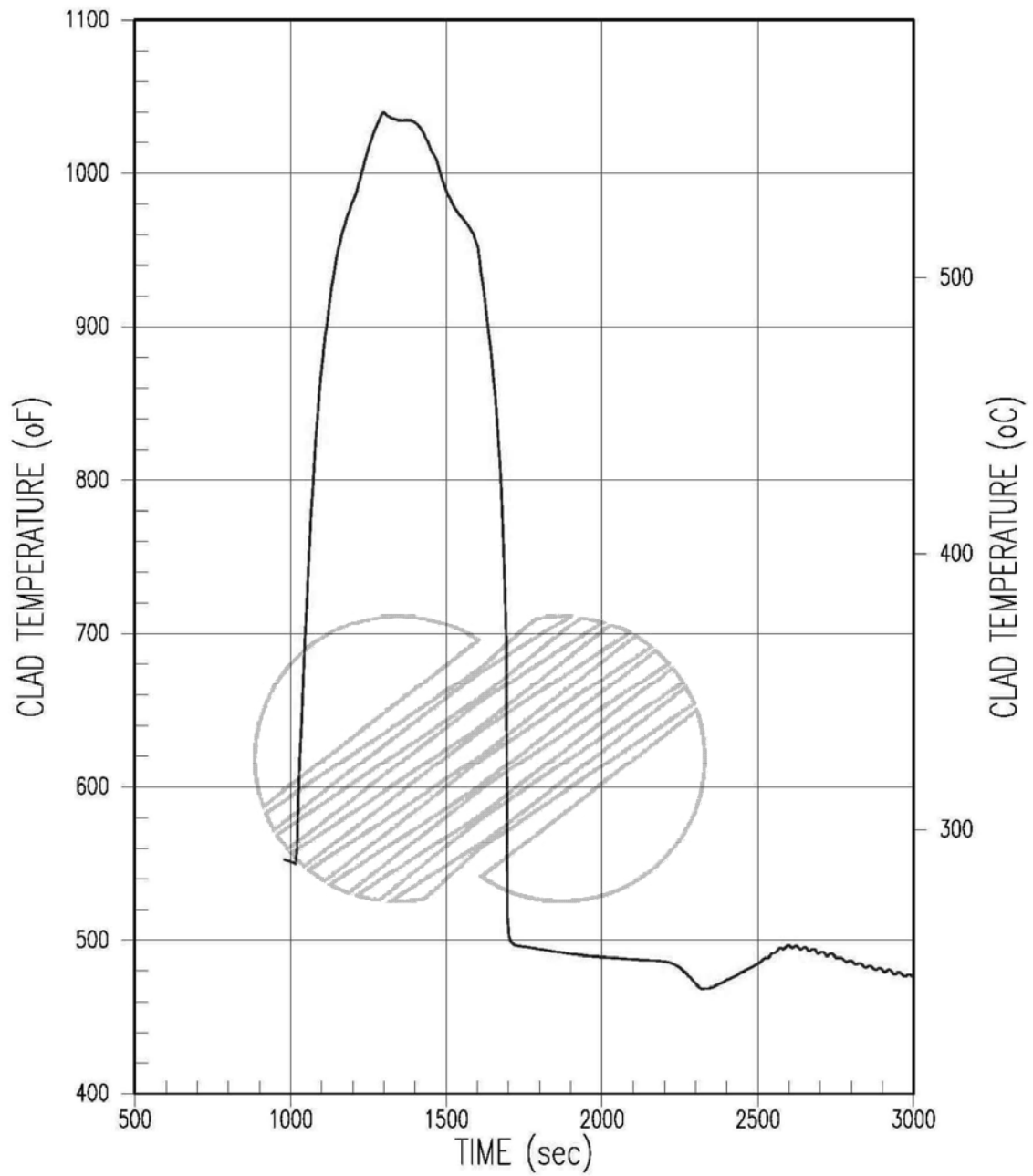
그림 6.3-14 (7 중 5)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

고온점에서의 열전달계수
46.5 cm² (0.05 ft²) 파단

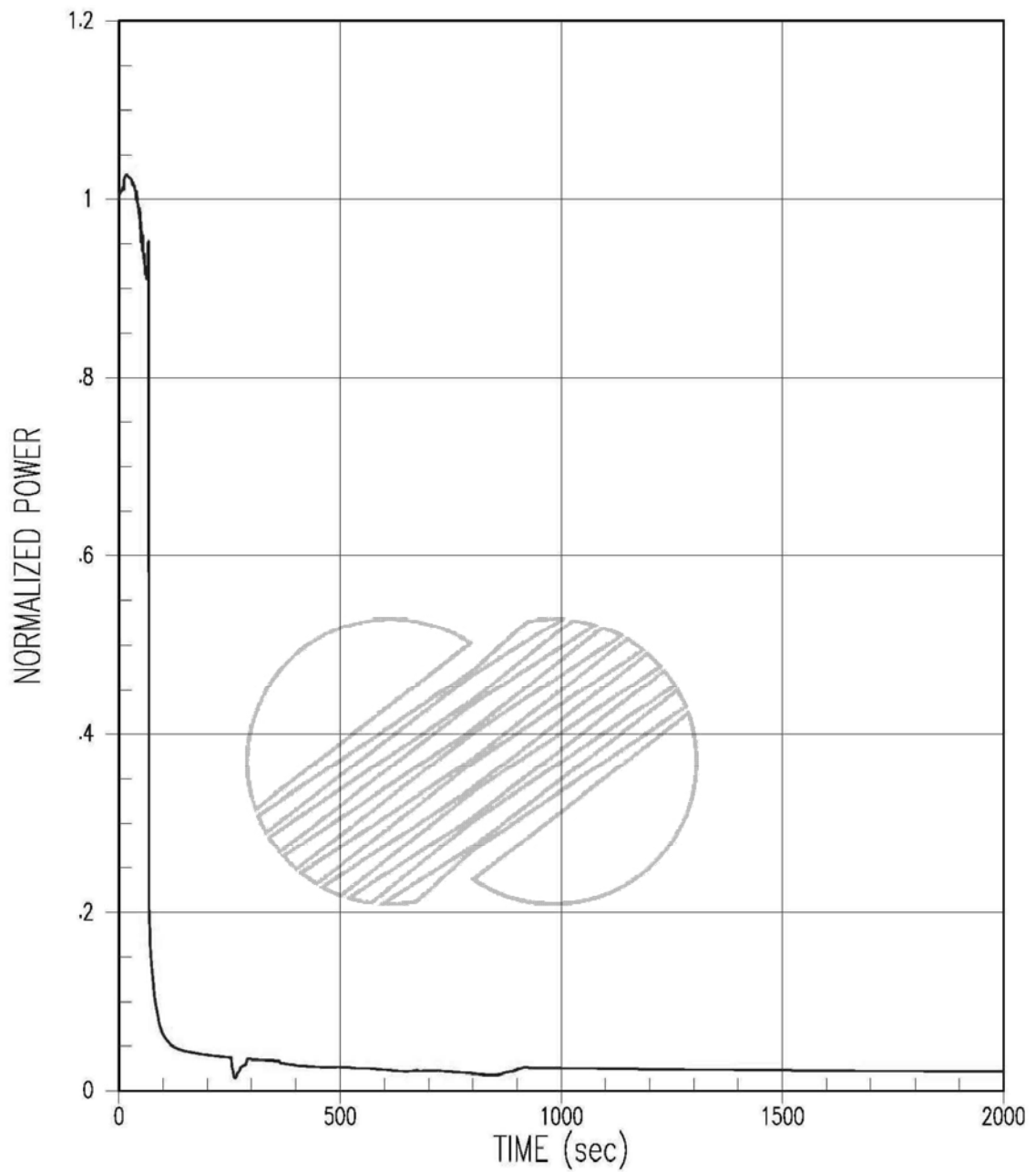
그림 6.3-14 (7 중 6)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

고온점에서의 피복재 표면 온도
46.5 cm² (0.05 ft²) 파단

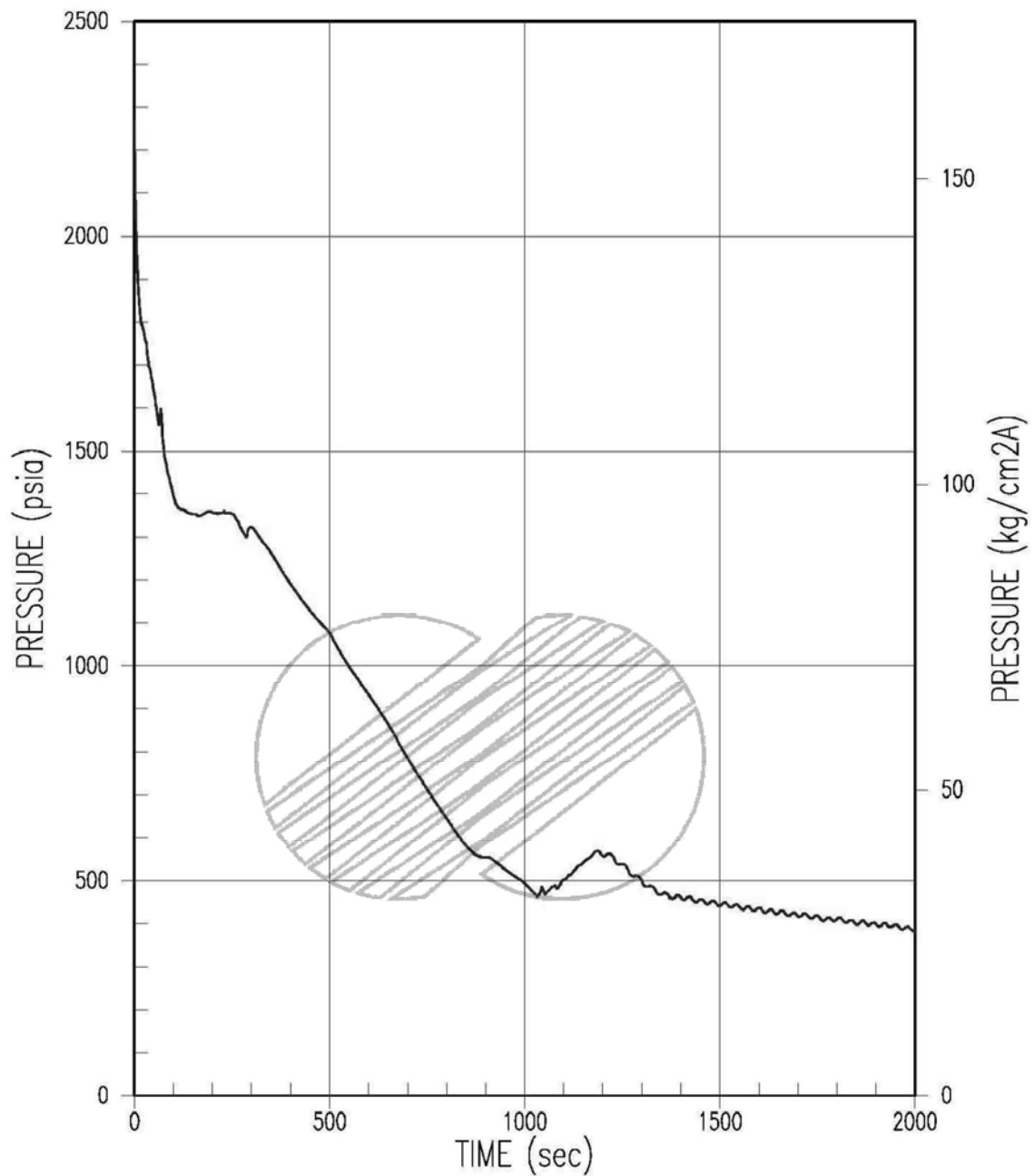
그림 6.3-14 (7 중 7)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

정규화된 노심 출력
80.8 cm² (0.087 ft²) 파단

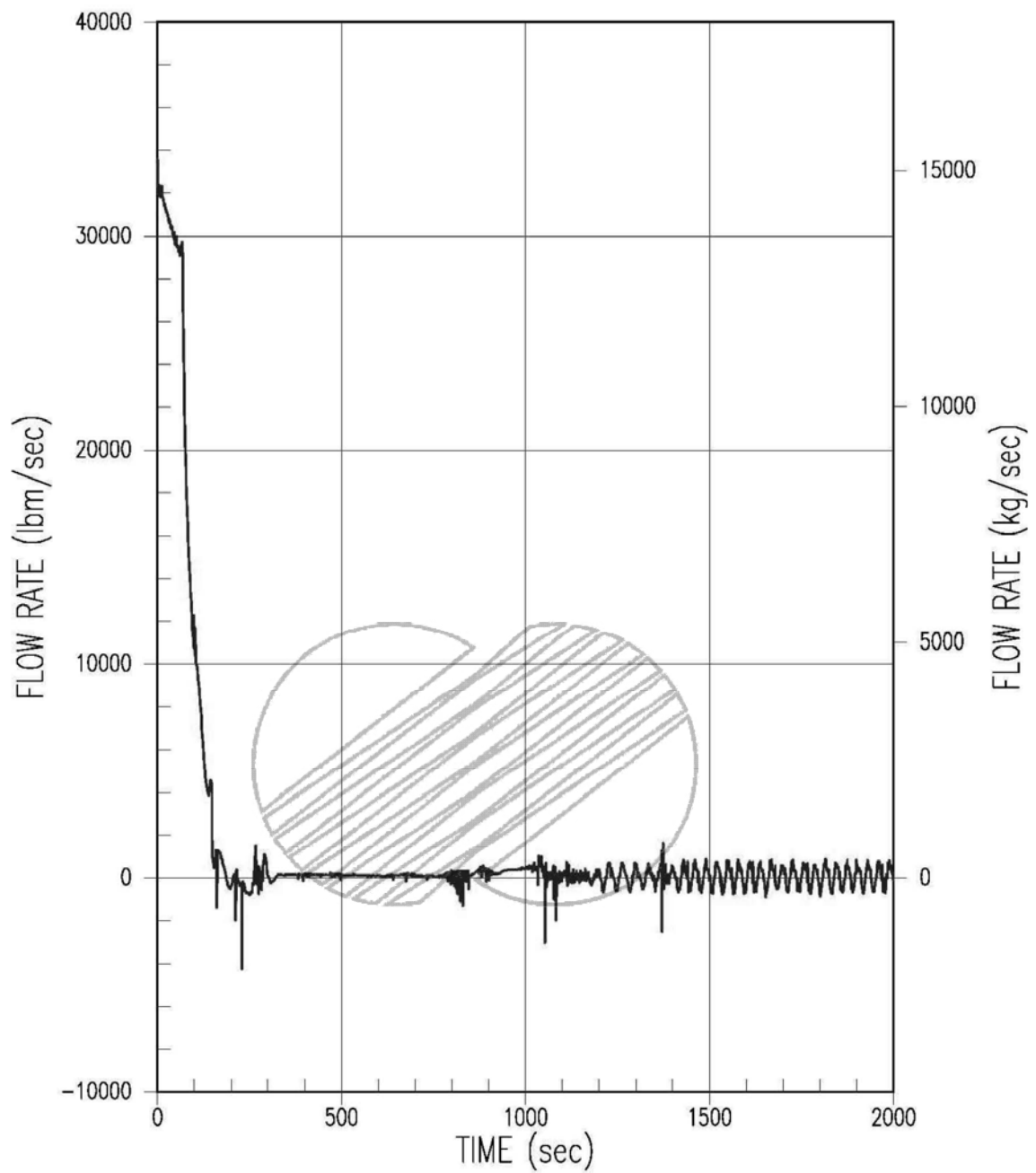
그림 6.3-15 (7 중 1)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

노심 압력
80.8 cm² (0.087 ft²) 파단

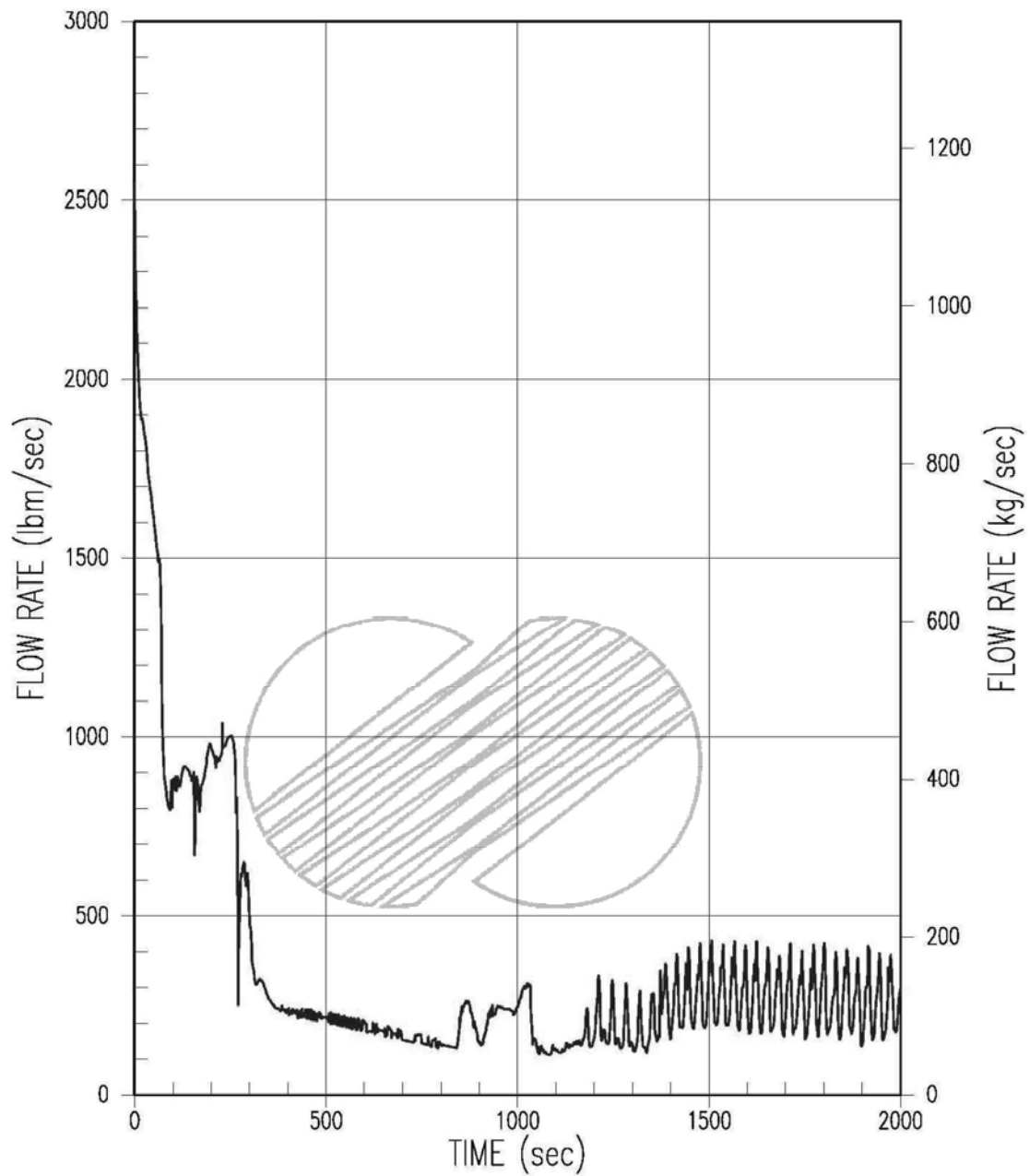
그림 6.3-15 (7 중 2)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

노심 입구 유량
80.8 cm² (0.087 ft²) 파단

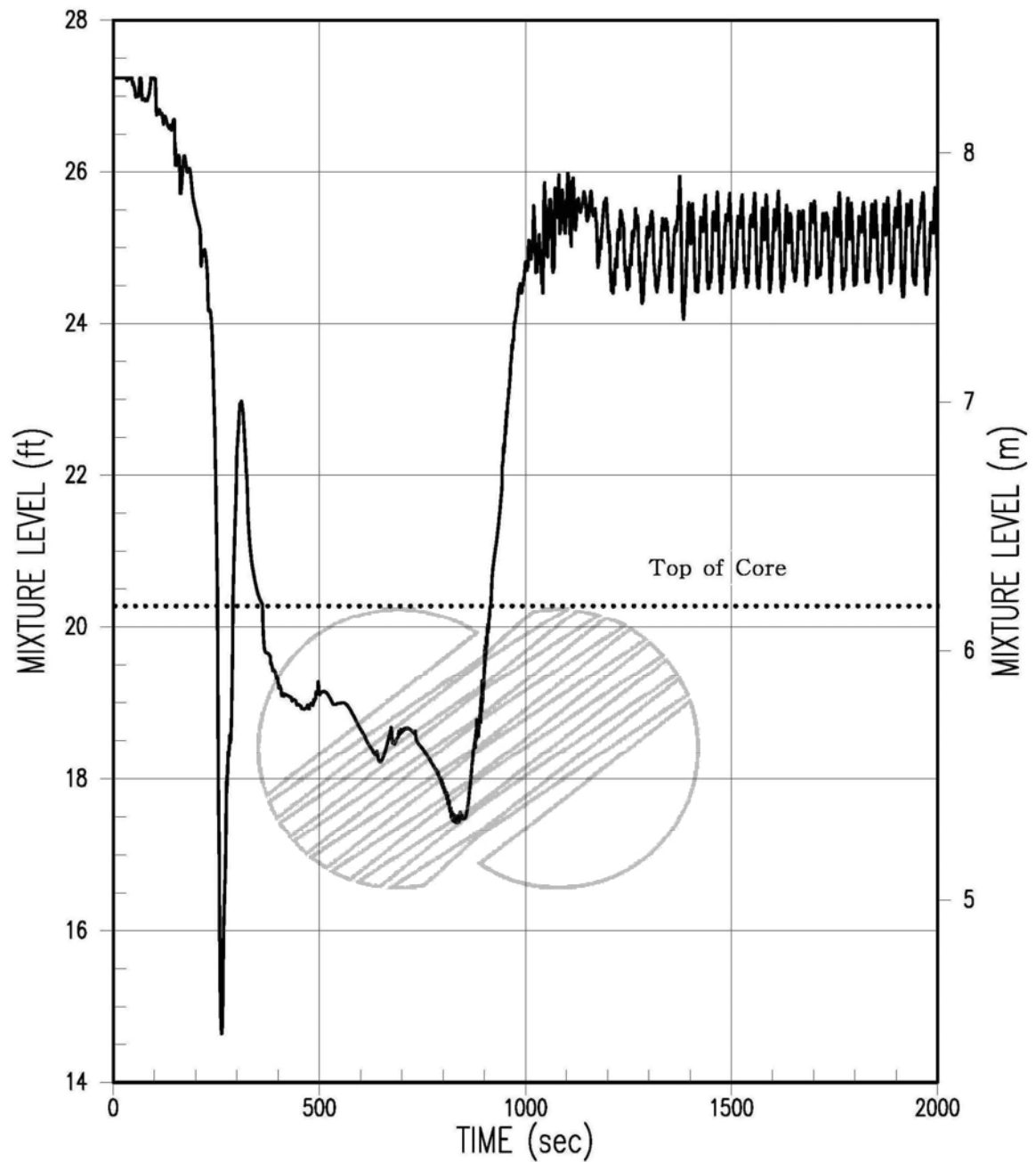
그림 6.3-15 (7 중 3)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

파단 유량
80.8 cm² (0.087 ft²) 파단

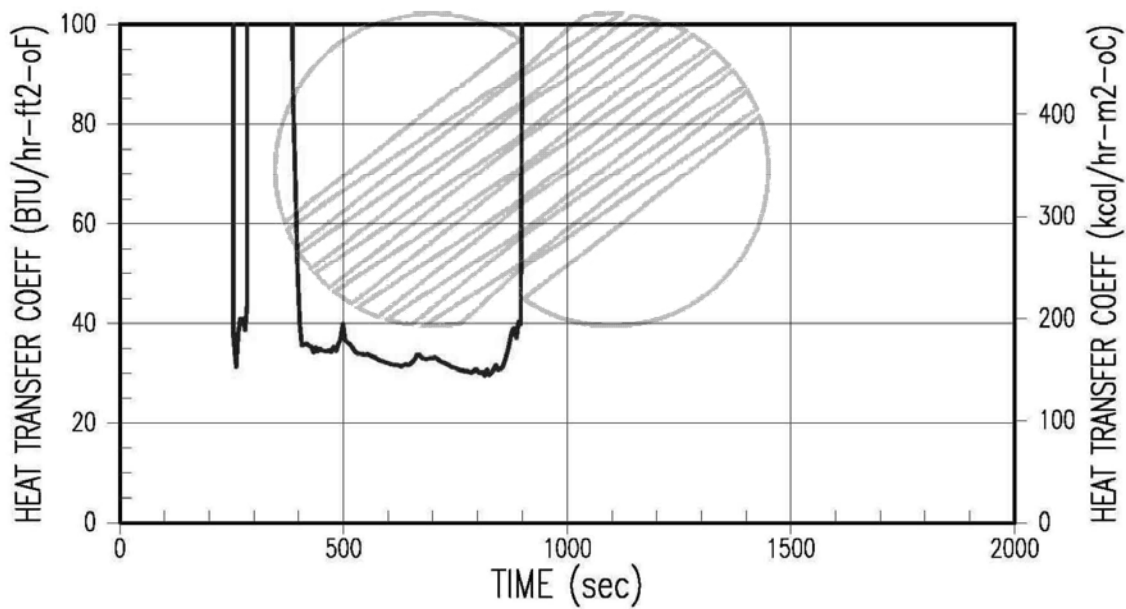
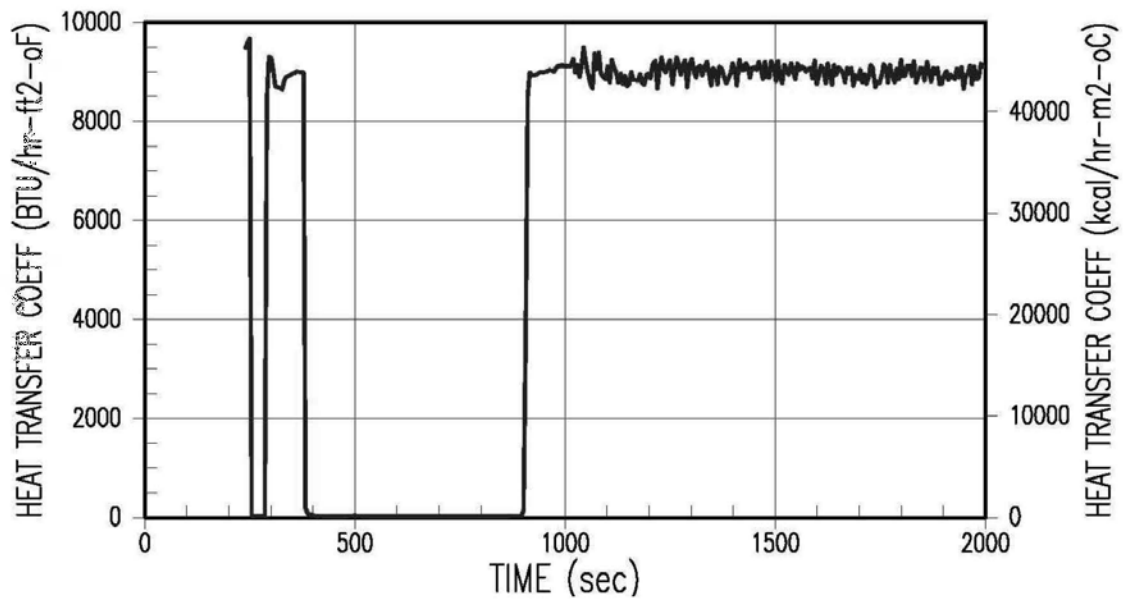
그림 6.3-15 (7 중 4)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

노심 이상 혼합체 수위
80.8 cm² (0.087 ft²) 파단

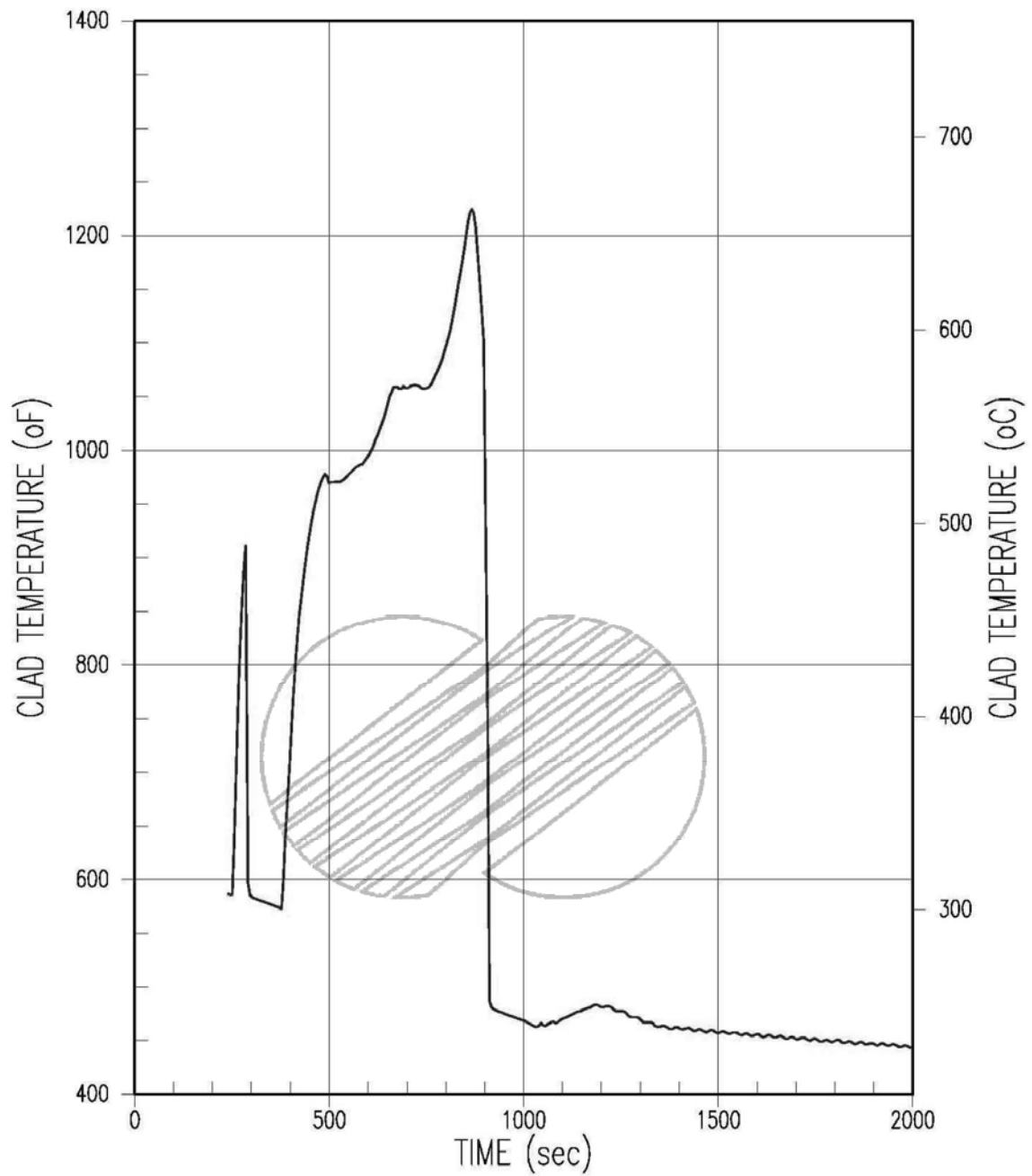
그림 6.3-15 (7 중 5)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

고온점에서의 열전달계수
80.8 cm² (0.087 ft²) 파단

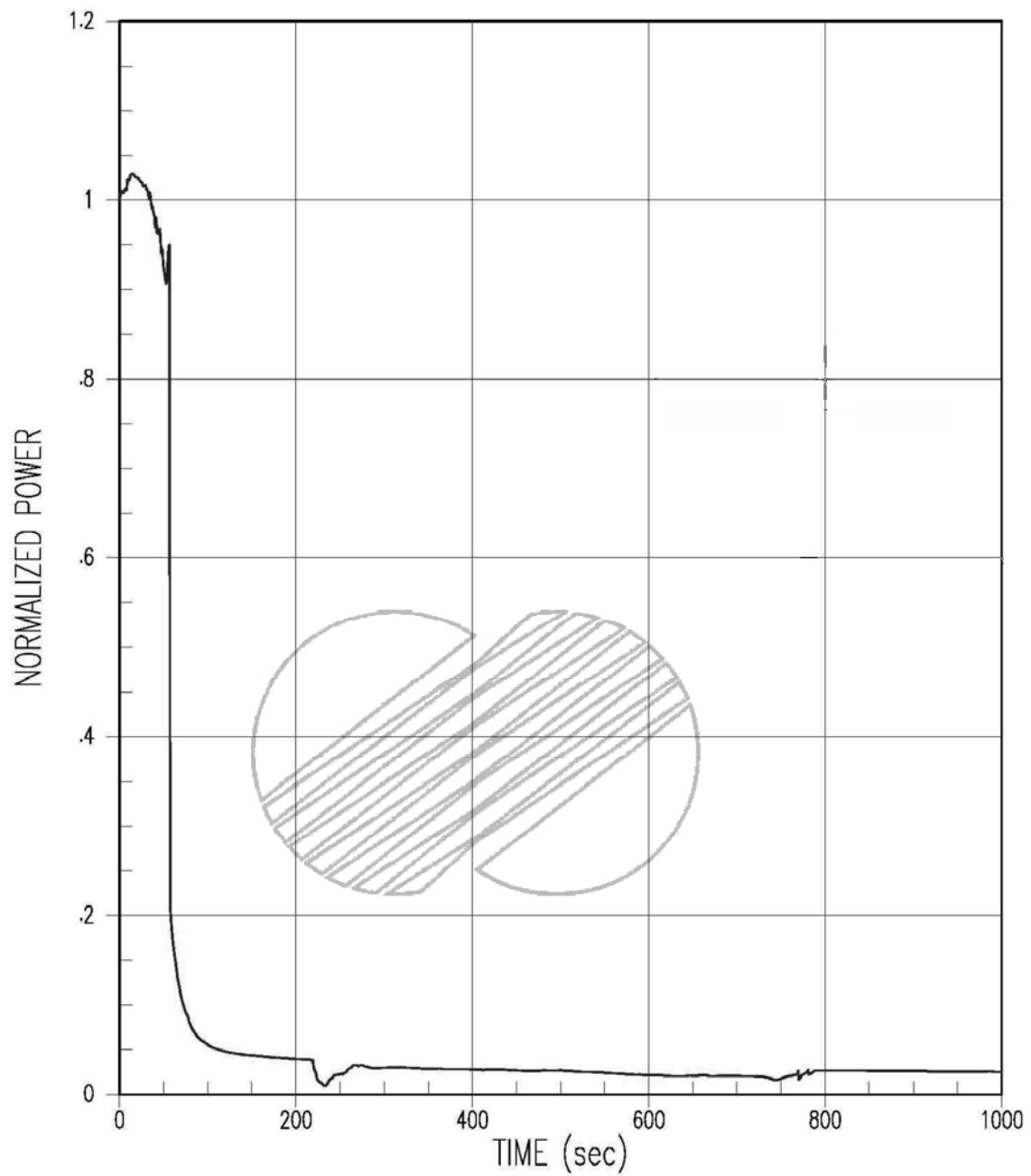
그림 6.3-15 (7 중 6)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

고온점에서의 피복재 표면 온도
80.8 cm² (0.087 ft²) 파단

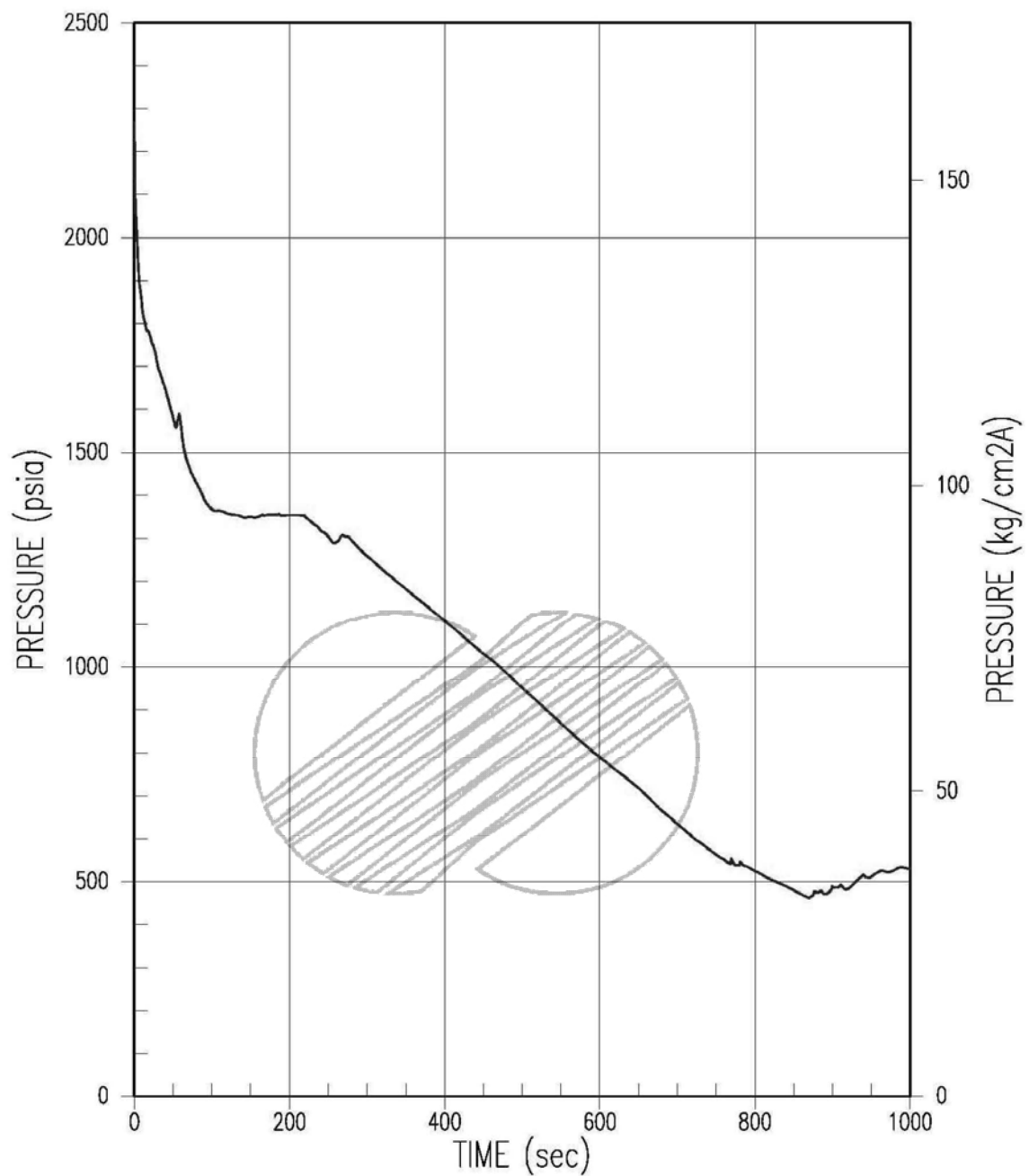
그림 6.3-15 (7 중 7)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

정규화된 노심 출력
92.9 cm² (0.1 ft²) 파단

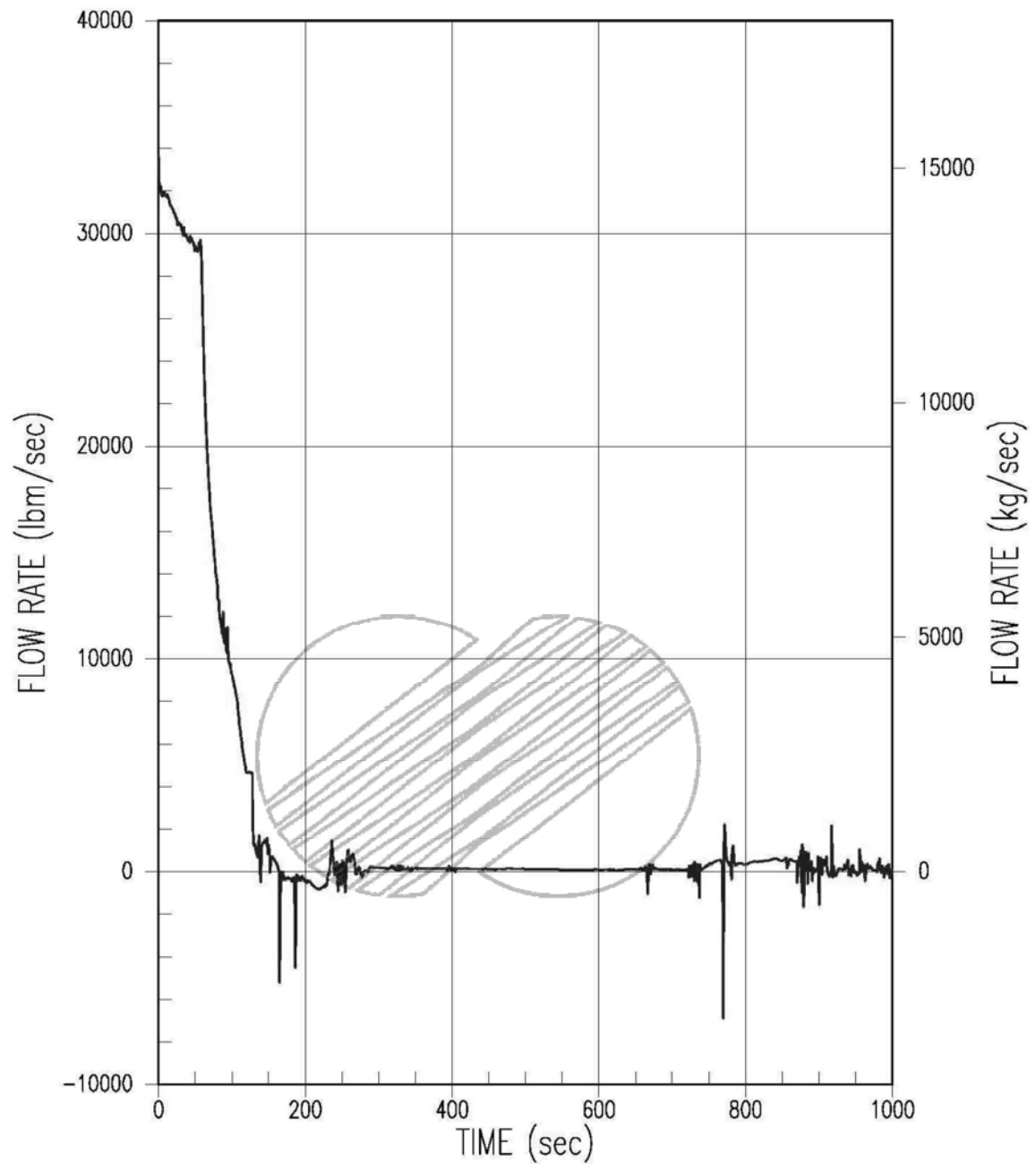
그림 6.3-16 (7 중 1)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

노심 압력
92.9 cm² (0.1 ft²) 파단

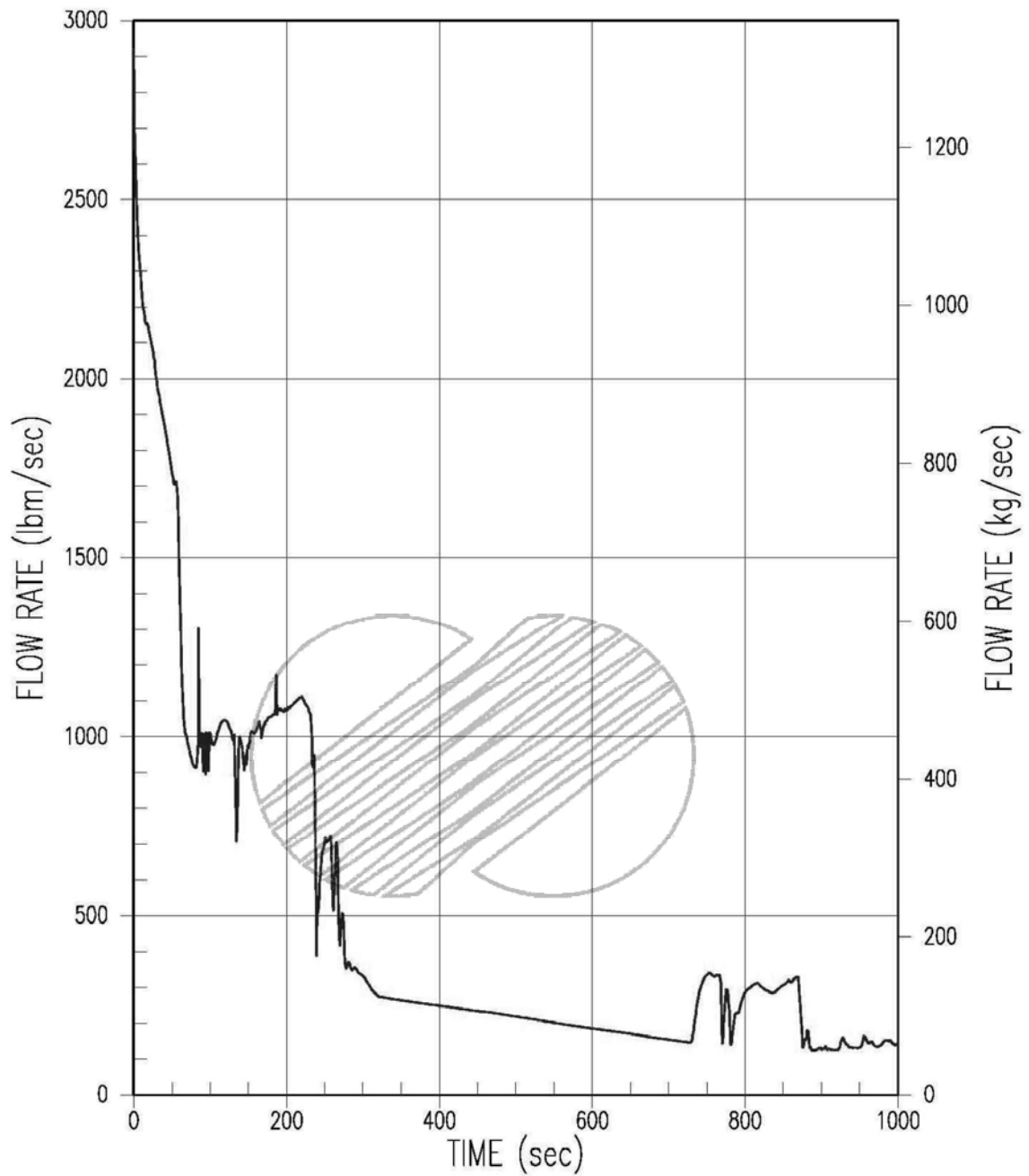
그림 6.3-16 (7 중 2)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

노심 입구 유량
92.9 cm² (0.1 ft²) 파단

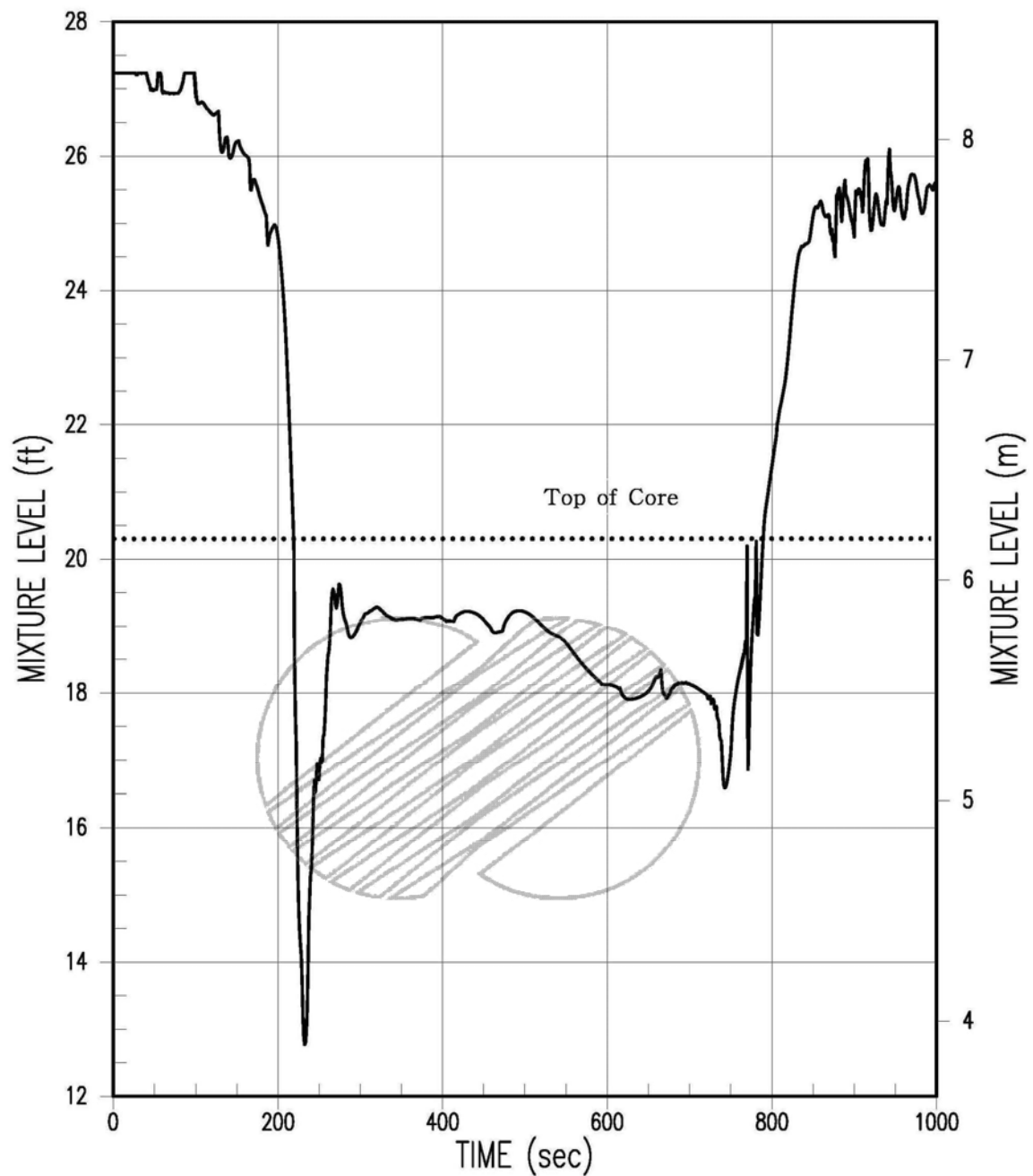
그림 6.3-16 (7 중 3)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

파단 유량
92.9 cm² (0.1 ft²) 파단

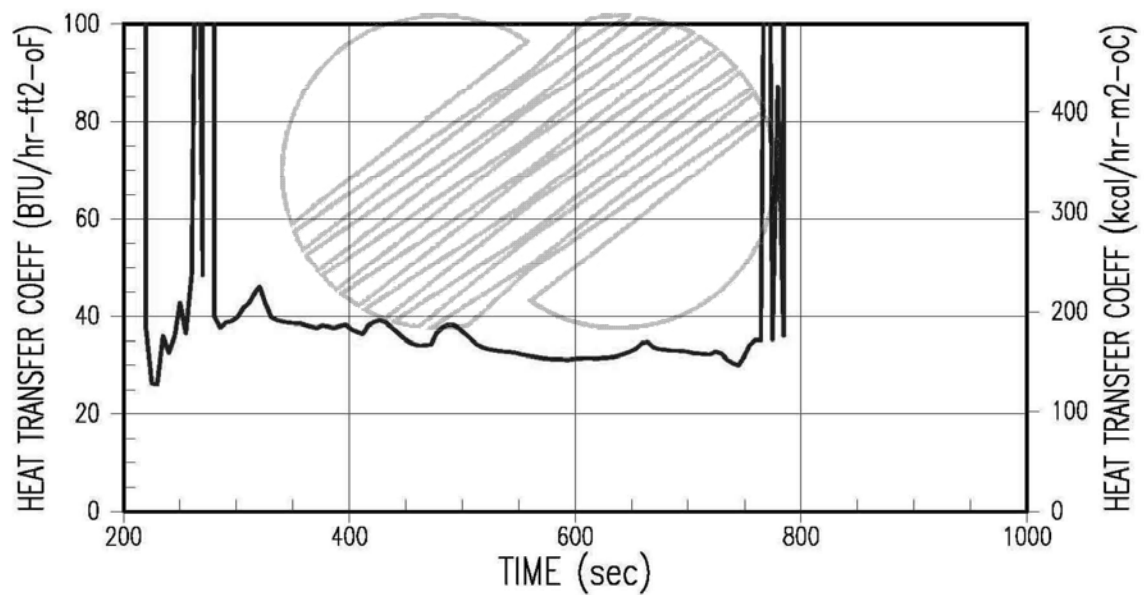
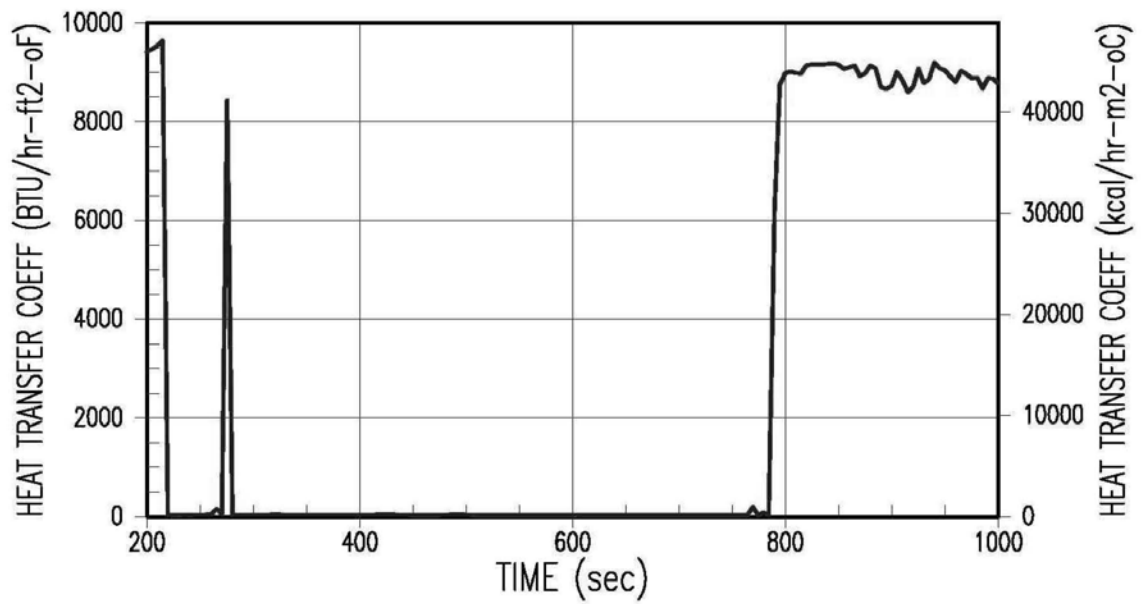
그림 6.3-16 (7 중 4)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

노심 이상 혼합체 수위
92.9 cm² (0.1 ft²) 파단

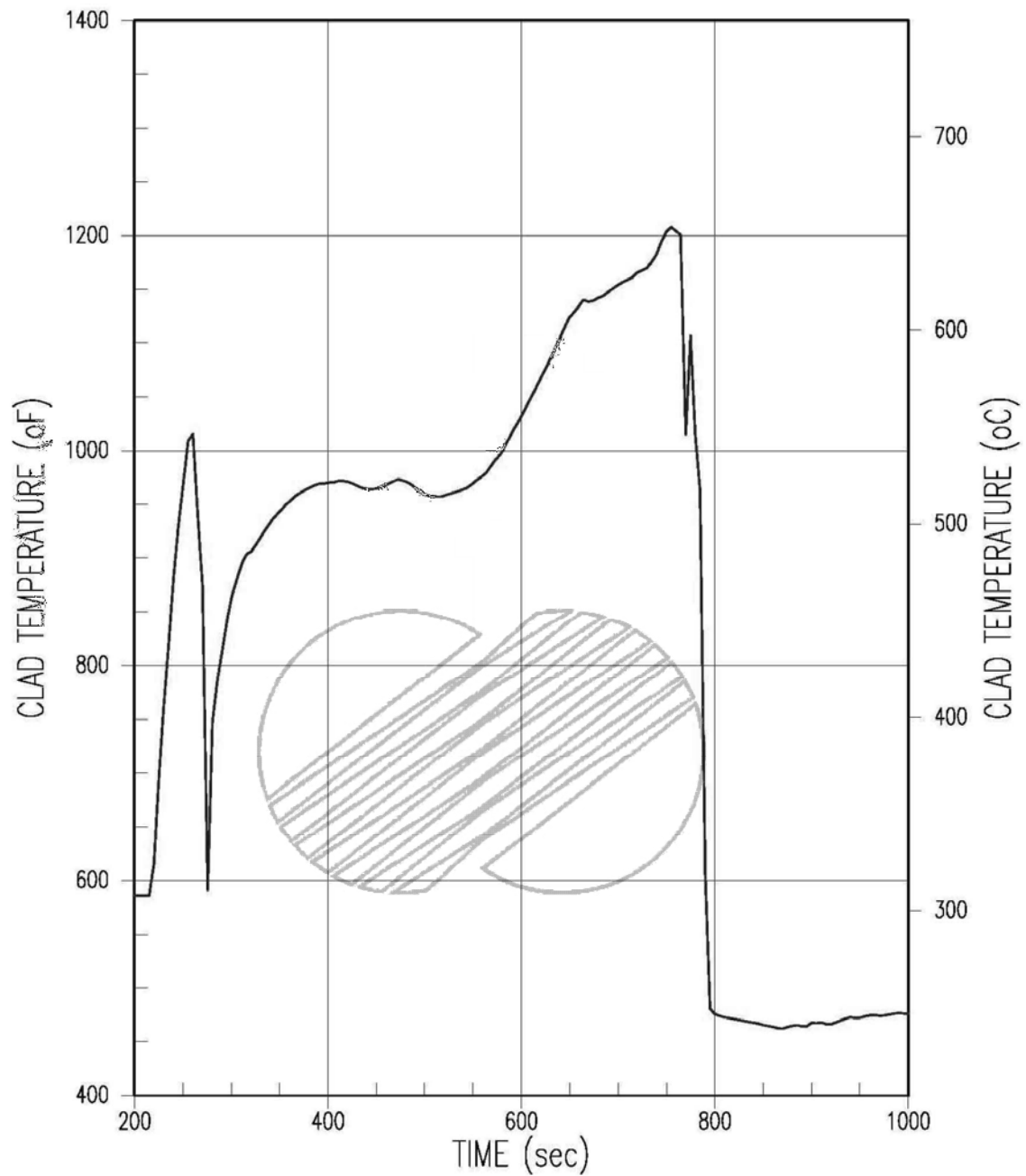
그림 6.3-16 (7 중 5)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

고온점에서의 열전달계수
92.9 cm² (0.1 ft²) 파단

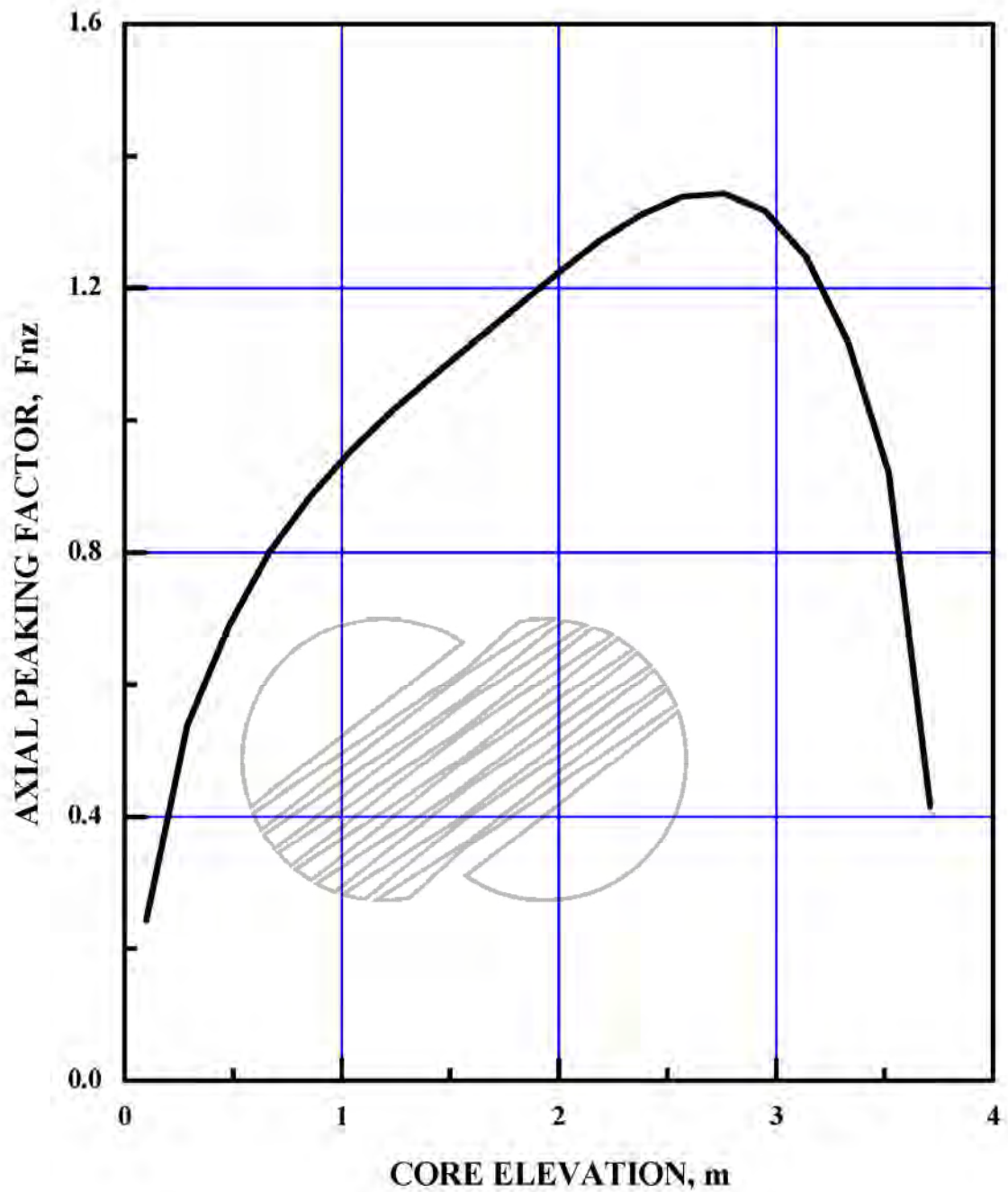
그림 6.3-16 (7 중 6)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

고온점에서의 피복재 표면 온도
92.9 cm² (0.1 ft²) 파단

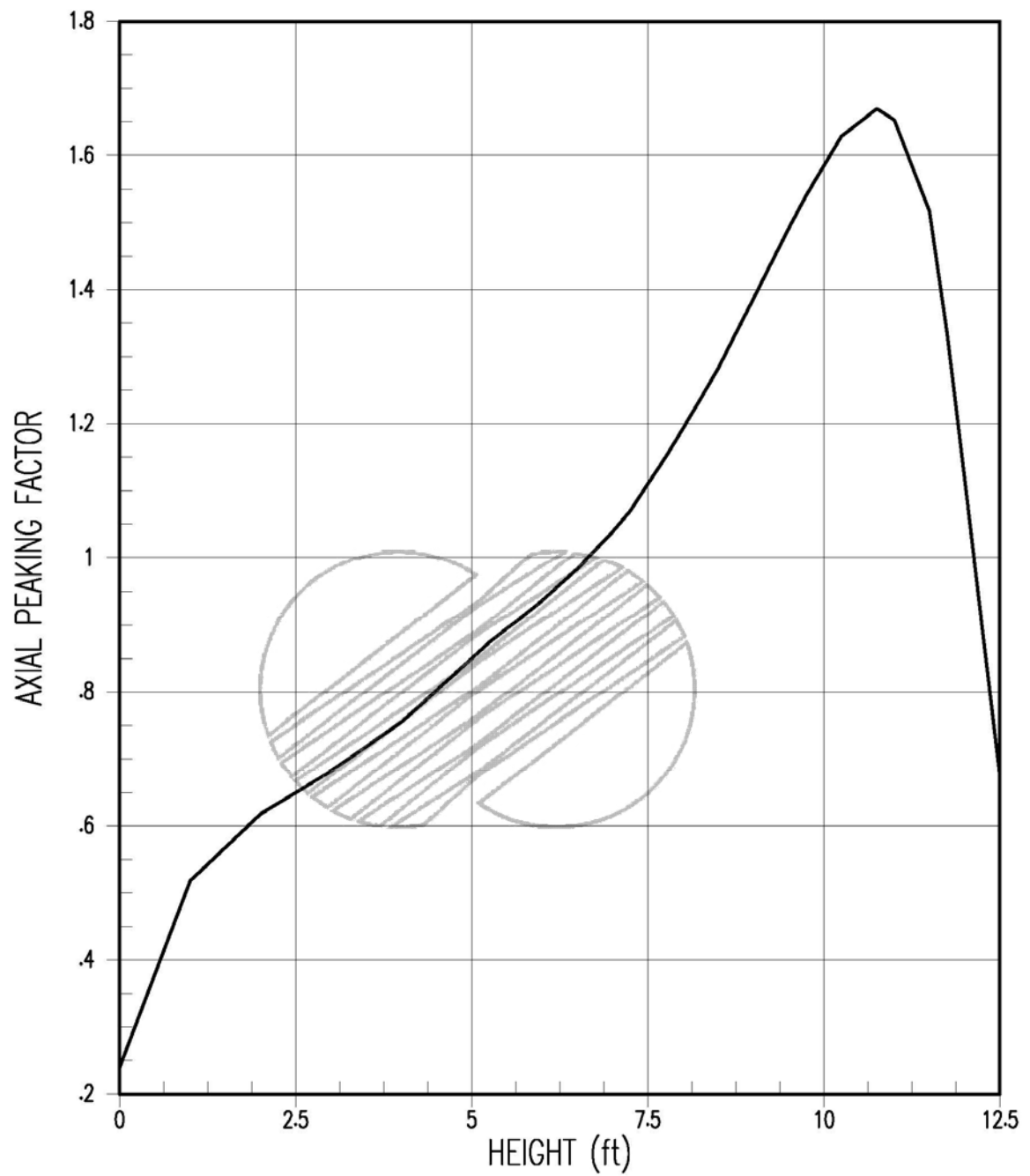
그림 6.3-16 (7 중 7)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

대형 파단 축방향 출력형상

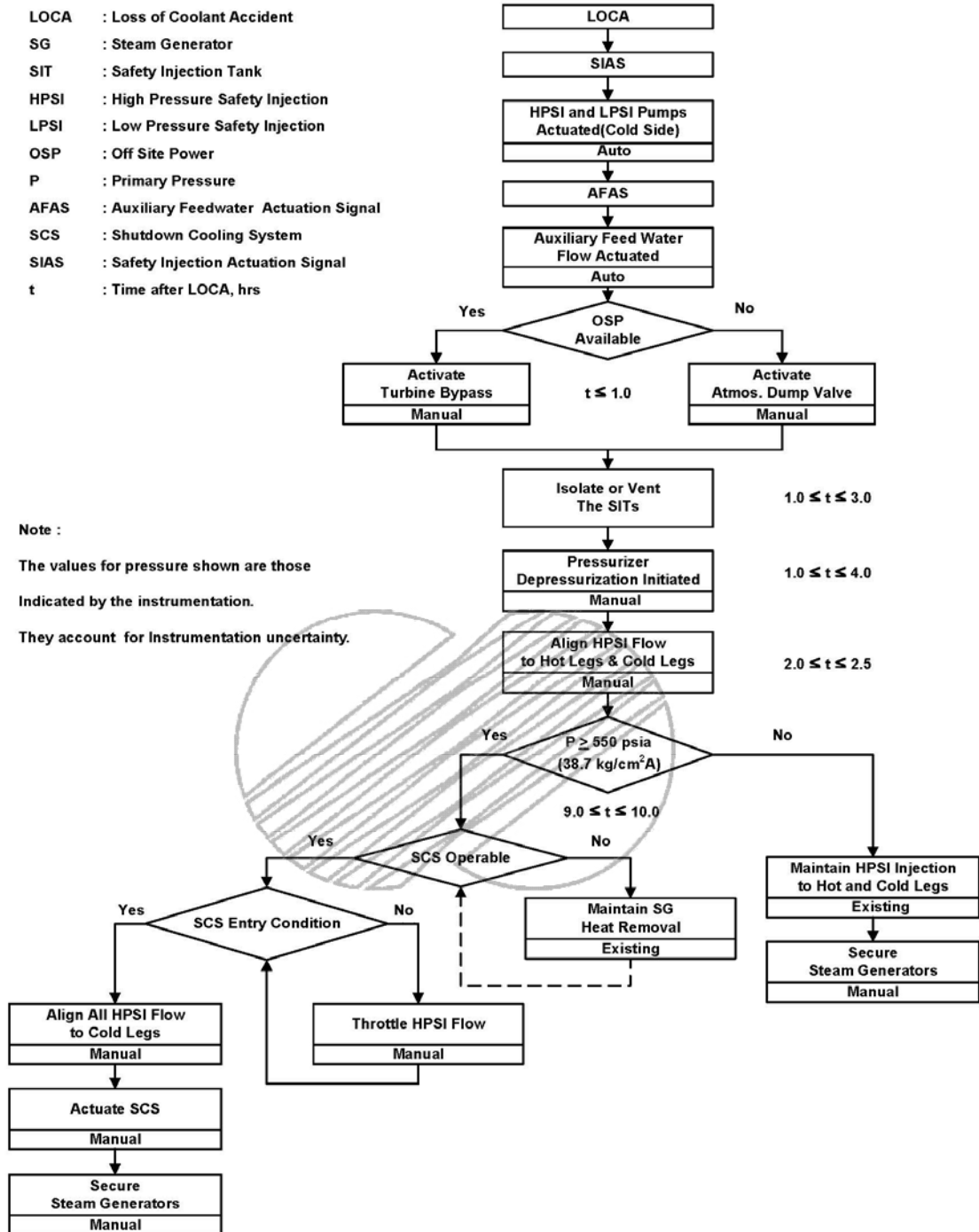
그림 6.3-17

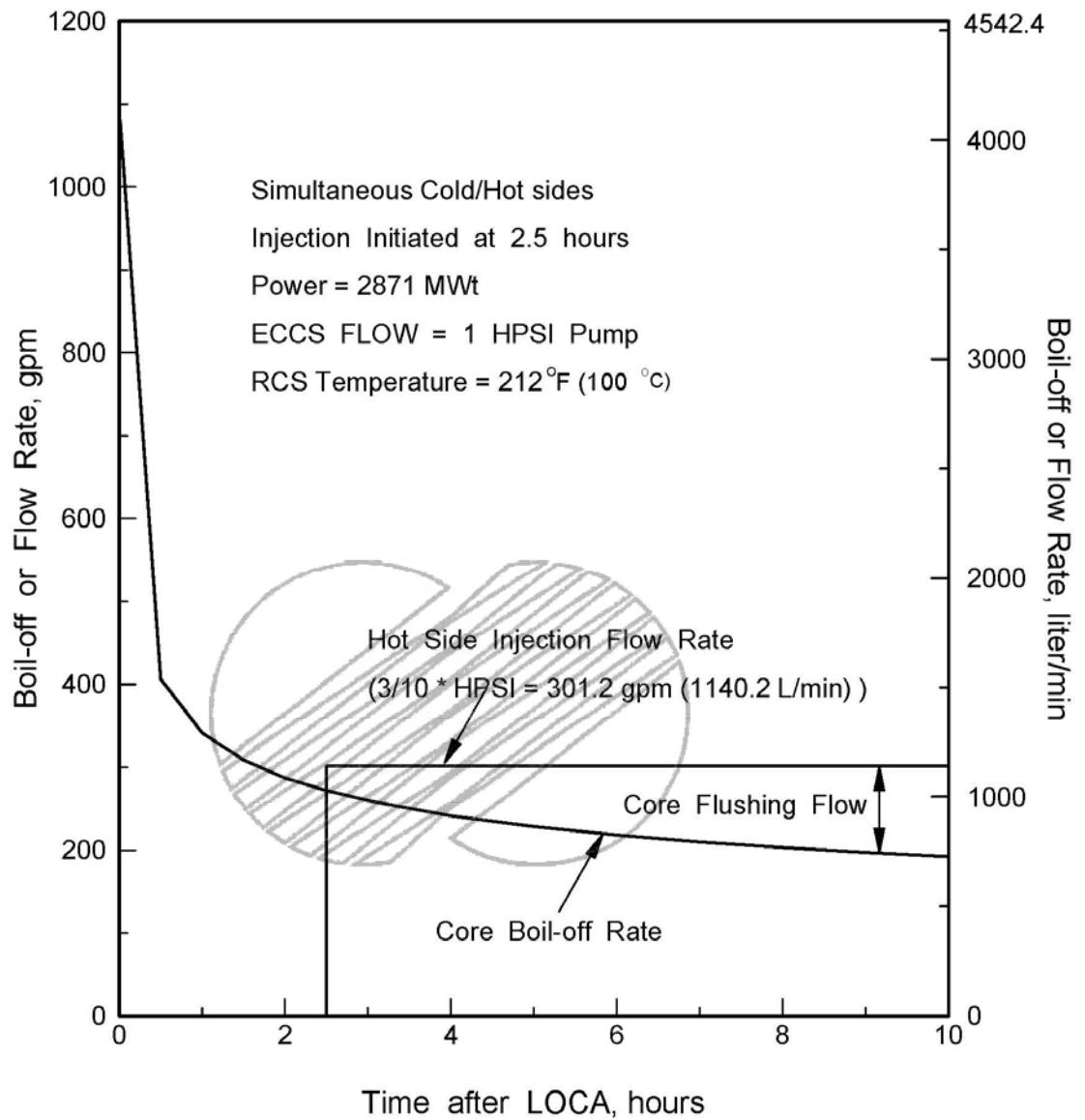


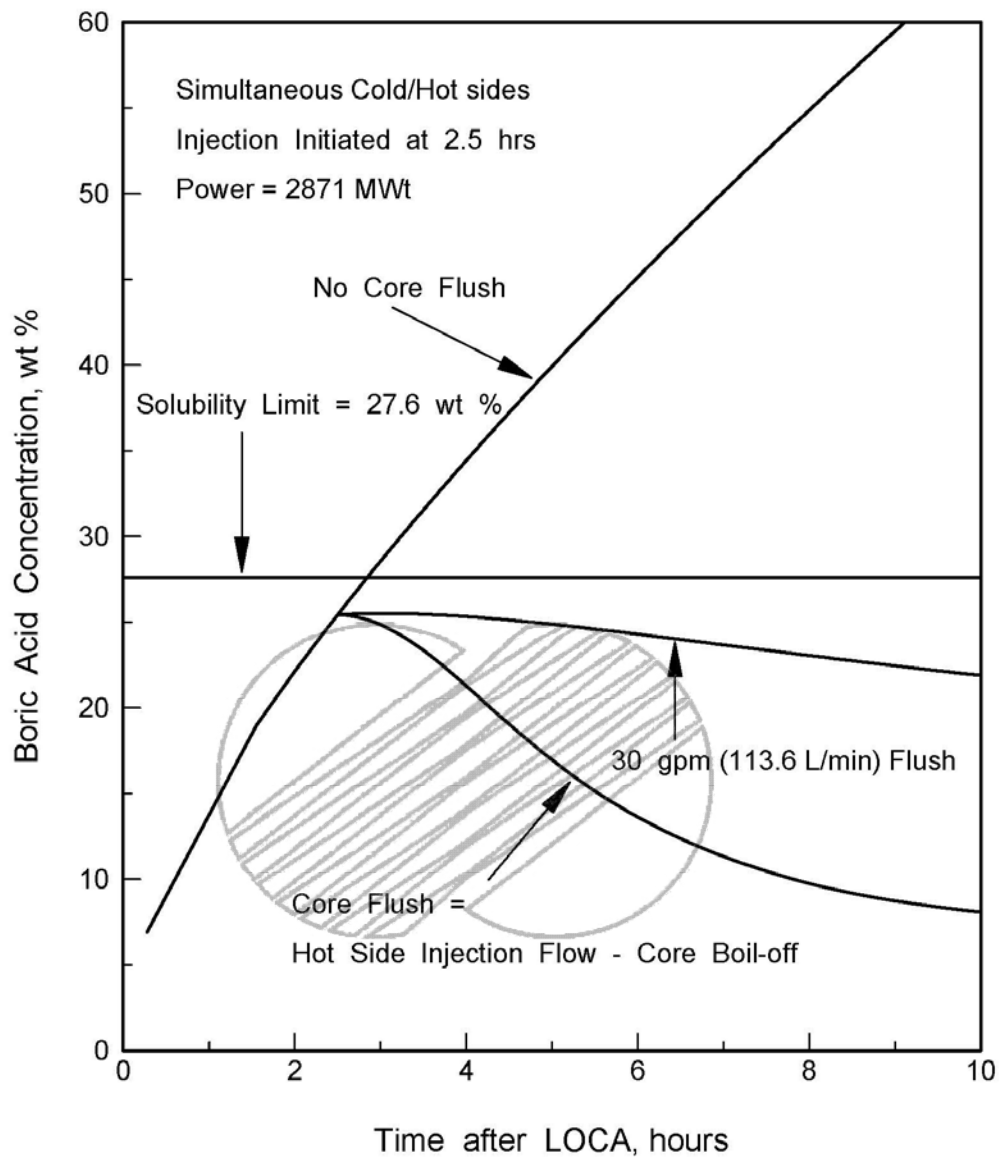
한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

소형 파단 축방향 출력형상

그림 6.3-18



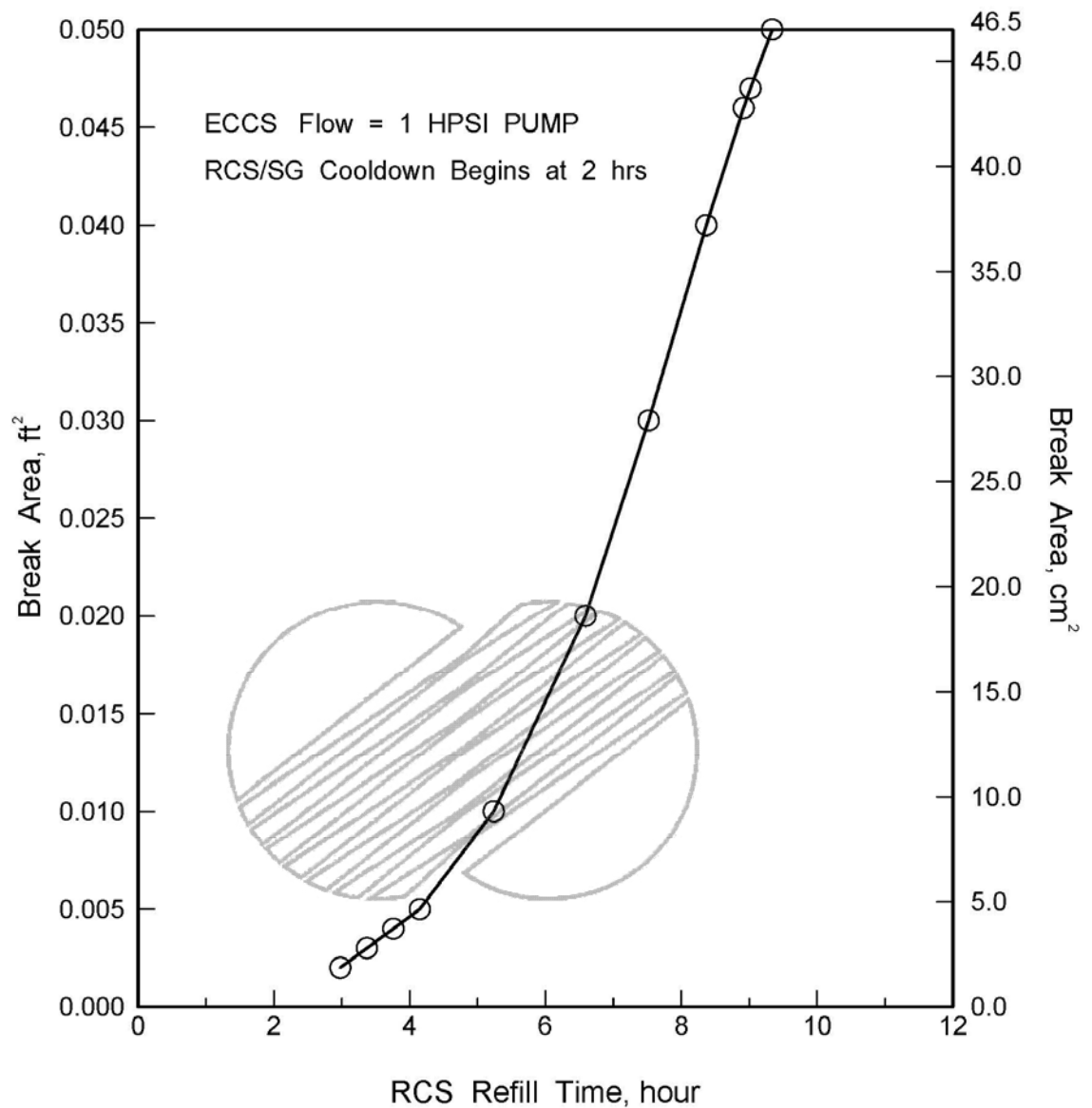




한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

원자로 내부용기 붕산농도 대 시간

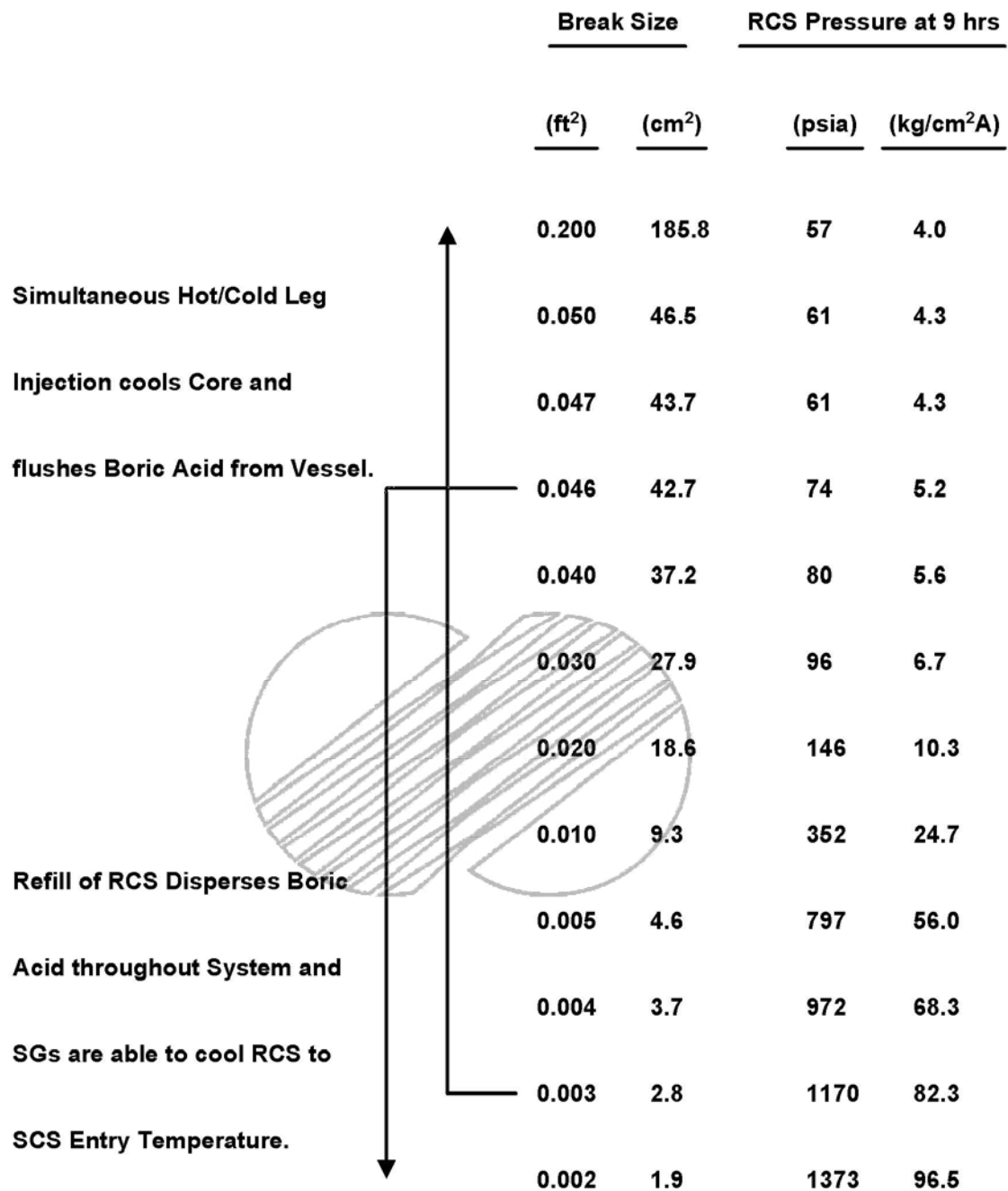
그림 6.3-21



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

원자로냉각재계통 재충수 시간 대 파단 면적

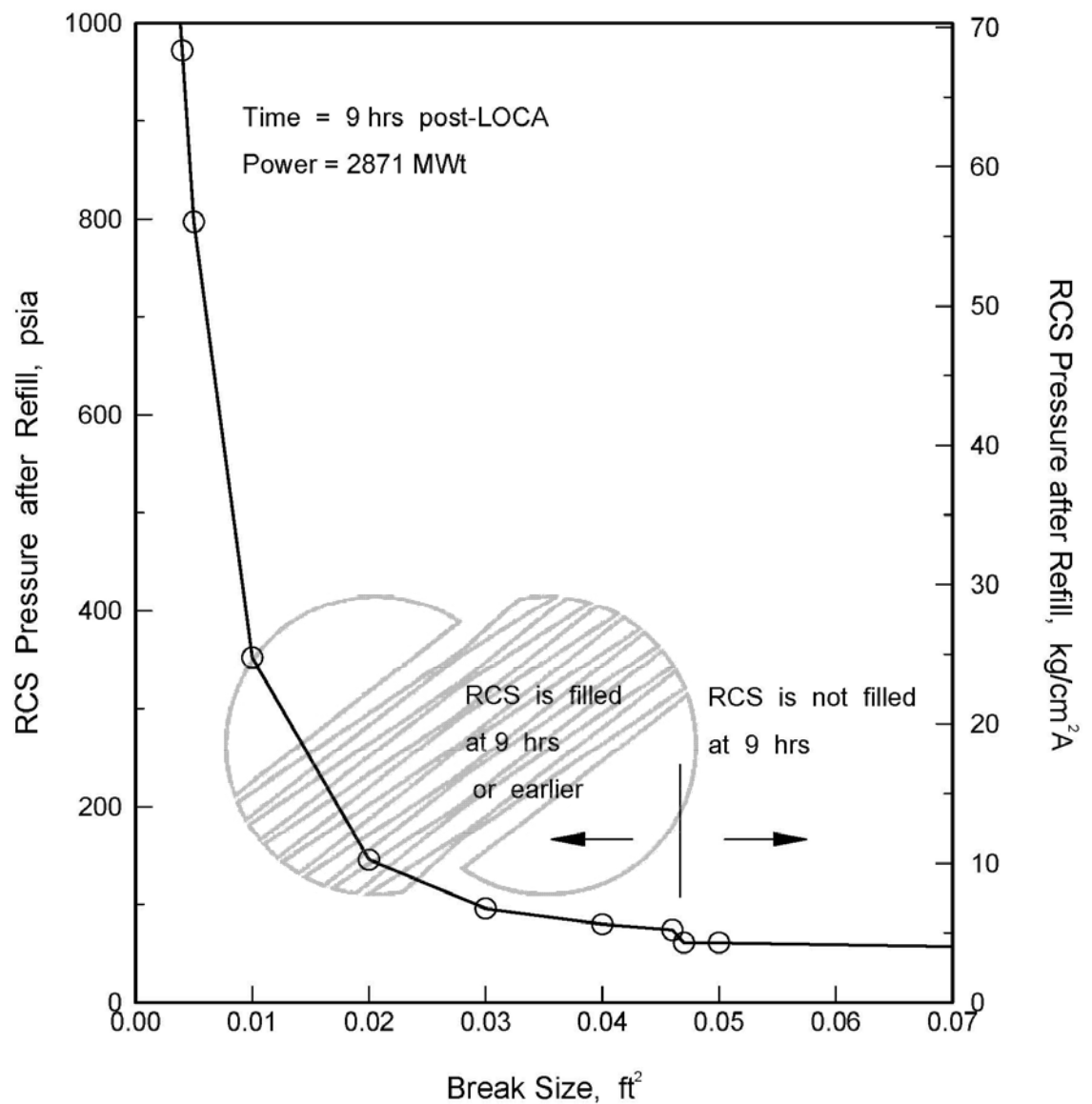
그림 6.3-22



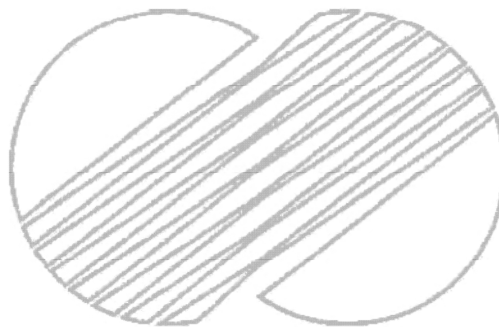
한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

저온관 파단 크기에 대한
장기냉각 모드의 중복

그림 6.3-23



삭제

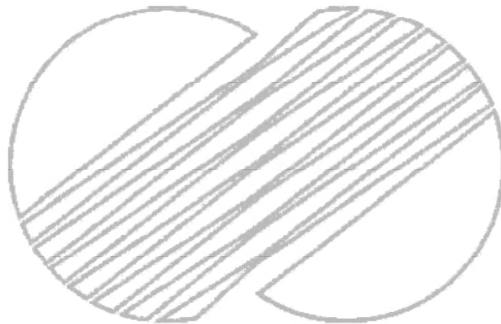


한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

그림 6.3-25

삭제

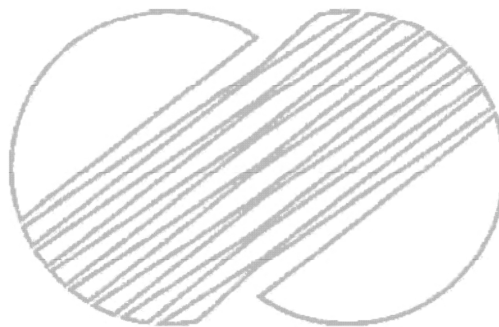


한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

그림 6.3-26

삭제



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

삭 제

그림 6.3-27

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

6.4 주제어실 거주성

주제어실거주성계통은 10 CFR 50, 부록 A의 일반설계기준 19에 따라 독성 및 방사성기체 유출사고의 영향에 대하여 주제어실 공기조화계통을 통해 주제어실 구역 내의 운전원을 적절히 보호하도록 설계되었다. 주제어실거주성계통은 비상보충 공기정화기를 갖춘 주제어실 공기조화계통, 차폐체, 방사선감시기 및 매연감지와 배출장치 등을 포함한다. 또한 적당량의 음식물, 식수, 호흡공기, 위생설비 및 의약품들이 사고 후 또는 사고 기간 동안 운전원의 상주요건을 충족하기 위하여 공급되며, 비상기술지원실의 거주성계통은 9.4.8절에 기술되어 있다.

6.4.1 설계기준

주제어실거주성계통의 설계기준은 아래와 같다.

- 가. 주제어실거주성계통은 지진, 태풍, 내부 및 외부비산물과 같은 자연현상의 영향에 전달수 있는 구조물 내에 설치된다.
- 나. 주제어실거주성계통은 모든 정상 및 사고 운전조건하에서 적어도 30일 동안 주제어실 구역 내에서 최소한 5명의 운전원이 거주하도록 설계된다.
- 다. 비상 시 주제어실 내 운전원에게는 최소 8시간 체류분의 음식이 제공되어야 하며, 무제한의 식수공급 및 소내 응급구조설비를 구비해야 한다.
- 라. 주제어실 구역 내에 주제어실 운전원을 위한 위생설비가 설치된다.
- 마. 자체 완비된 호흡장구가 주제어실 구역 내에 구비된다. 운전원에 대해서는 안면마스크호흡기와 6시간용 공기저장용기가 공급된다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

- 바. 사고 시 주제어실 운전원이 받는 선량은 10 CFR 50, 부록 A의 일반설계기준 19에 따라 전신기준 50 mSv 또는 신체의 어느 부분에 대하여 그에 상당하는 방사선량을 초과하지 않도록 한다.
- 사. 주제어실 비상공기조화계통은 수동으로 선택하는 2개의 외기흡입구에서 유입된 외기를 여과시켜 주제어실 구역에 급기하여 정압을 유지한다. 비상조건 시 주제어실 구역에 공급되는 급기는 여과된 보충외기 및 재순환공기로 구성되며, 재순환공기 일부는 여과된다.
- 아. 주제어실 공기조화계통은 3.11절에 기술된 주제어실 구역의 환경조건을 유지할 수 있도록 설계된다. 공기조화기기는 다중으로 설치되며, 주제어실 공기조화계통에 관련된 상세 설명은 9.4.1절에 기술되어 있다.
- 자. 규제지침서 1.78에 따라 주제어실 외기흡입구의 독성가스농도를 결정하기 위한 평가작업이 수행되며 발전소 내부와 외부의 독성가스원이 고려된다.
- 차. 주제어실 공기조화계통은 냉각재상실사고와 같은 설계기준사고와 안전정지진진 및 소외전원상실이 동시에 발생했을 때 사고기간 동안 및 사고 후에 효과적으로 운전할 수 있도록 설계되며, 설계기준사고와 동시에 단일고장이 고려된다.
- 카. 외기 흡입구에 방사선감시기 및 연기감지기를 설치하며 주제어실 공기조화계통에 공급되는 외기를 계속 감시하도록 한다. 주제어실에는 지역방사선감시기가 설치되며, 주제어실 급기 및 환기덕트에 연기감지기가 설치된다. 고방사선 또는 연소물질이 감지되면 주제어실에 경보가 발생되며, 관련 보호기능이 자동 또는 수동으로 작동하도록 한다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

6.4.2 계통설계

6.4.2.1 주제어실 구역의 정의

주제어실 구역은 주제어실, 전기기기실 A 및 B, 주제어실 공기조화기기실 A 및 B, 주제어실 사무실, 전산실, 사무실, 부엌 및 화장실로 구성된다.

6.4.2.2 환기계통 설계

주제어실 공기조화계통은 9.4.1절에 상세히 기술되어 있으며 계통도는 그림 9.4-1에 제시되어 있다. 표 9.4-1은 주제어실 공기조화계통 주요 기기들의 목록이다. 주제어실 공기조화계통 기기들의 안전등급 및 내진범주는 3.2절에 기술되어 있다.

계통의 모든 기기들은 내부 및 외부에서 발생하는 비산물로부터 보호된다.

그림 6.4-1의 주제어실 구역의 배치도는 문, 복도, 계단, 차폐벽 및 기기의 배치와 종류를 보여준다.

연기감지기 및 방사선감시기들을 포함하는, 주제어실 공기조화계통의 제척설비는 6.4.6절 및 7.3절에 기술되어 있다.

주제어실 공기조화계통 보충 공기정화기에 대해서는 6.5.1절에 상세히 기술되어 있다.

6.4.2.3 누설방지

주제어실 구역은 저누설형 구조로 설계되며 모든 전선관, 케이블트레이 및 기타 관통물들

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

의 관통부들은 밀봉되었다. 주제어실 구역으로 정상출입에 사용되는 모든 출입구는 전실을 가지며, 모든 격리댐퍼들은 급속 닫힘 및 누설방지형으로 설계되었다. 약 $113.3 \text{ m}^3/\text{min}$ (4,000 cfm)의 외기가 도입되어 주제어실 구역을 주변구역 보다 최소 3.175 mm wg (0.125 in wg) 이상의 정압으로 유지하고 또한 화장실 및 주방으로부터의 배기를 보충한다. 외부로부터의 독성가스 또는 연기감지로 인한 주제어실 외부와의 격리 시, 보충공기 격리댐퍼는 수동으로 닫히고, 이 신호에 의해 화장실 및 주방용 배기 격리댐퍼는 자동으로 닫히며, 화장실 및 주방용 배기송풍기는 수동으로 정지된다.

6.4.2.4 다른 구역 및 압력기기와의 상호작용

주제어실 공기조화계통은 주제어실 구역에 공기조화를 공급하고, 화장실 및 주방의 공기를 보조건물 HVAC 덕트샤프트를 통하여 대기로 배기하며, 주방 및 화장실 배기덕트에는 누설방지형 격리댐퍼가 설치되었다.

주제어실 구역에 인접한 보조건물 구역은 언제나 주제어실 구역 압력에 비해 낮게 유지된다.

고에너지배관은 주제어실 구역 주변에 설치되지 않으며 배연송풍기는 주제어실 구역의 어떠한 단일 방화지역으로부터의 연기도 제거할 수 있도록 별도의 배연 덕트 및 배연격리 댐퍼와 함께 설치되었다.

파손 시 위험물질을 주제어실 구역으로 유입시킬 우려가 있는 가압탱크들은 주변에 없다.

6.4.2.5 차폐설계

주제어실 구역 차폐에 대한 설계기준사고는 원자로건물 내의 원자로냉각재계통의 대구경 배관 파단에 의한 대형 냉각재상실사고이다. 주제어실 차폐는 발생 가능한 모든 사고원

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

으로부터 주제어실 요원에 대한 방사선량이 10 CFR 50, 부록 A의 일반설계기준 19에 규정한 허용치 이내가 되도록 설계되었다.

6.4.3 계통 운전

6.4.3.1 정상운전조건

주제어실 공기조화 급기 및 배기계통은 정상운전 시 작동되며 주제어실에 설치된 제어스위치로 기동된다.

6.4.3.2 비상운전조건

주제어실 비상환기작동신호 또는 안전주입작동신호 발생 시, 관련 비상보충공기정화기가 자동으로 기동하여 주제어실 공기조화계통으로 공급되는 보충외기로부터 방사성요오드 및 입자들을 제거한다. 주제어실 구역 운전원들이 비상보충공기정화계통을 통한 제어실 구역 가압 시 필요한 보충외기를 청정 외기흡입구에서 선택해 공급할 수 있는 능력을 증대시키기 위해 2개의 분리된 외기흡입구와 각 외기흡입구에 2개의 방사선감시기가 설치되었다.

6.4.3.3 독성기체 감지 시 운전조건

운전원 감각에 의한 독성기체 감지 시 운전원은 주제어실 내에 설치된 병입식 호흡장구를 착용하고 주제어실 공기조화계통을 외기유입 없는 격리모드로 수동전환한다. 독성기체 방호에 대한 사항은 6.4.4.2절에 기술되어 있다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

6.4.3.4 연기감지 시 운전조건

연기감지기는 보충 외기흡입구, 주제어실 급기와 재순환공기 덕트에 설치되었다. 보충 외기흡입구에서 연기가 감지되면, 운전원은 운전 중인 기기들을 중지시키고 다른 공기 흡입구로 외기를 유입하기 위하여 대기 중인 기기들을 기동시킨다. 주제어실 급기 덕트에서 연기가 감지되면, 관련 방연댐퍼는 주제어실 거주성을 보장하기 위하여 자동으로 닫힌다. 또한 주제어실 재순환공기 덕트에서 연기가 감지되면 주제어실 전체구역으로 연기 확산을 방지하기 위하여 관련 방연댐퍼들이 자동으로 닫힌다.

6.4.4 안전성 평가

주제어실 공기조화계통은 거주할 수 없는 화재 시를 제외하고는 모든 발전소 운전상태하에서 주제어실 내에 설치된 안전성관련 기기들의 운전에 적합한 상주환경을 유지하도록 설계되었다. 주제어실 화재 시, 안전정지를 위한 제어는 원격정지반에서 수행되며, 본 계통은 단일고장기준을 만족하기 위하여 다중의 기기계열로 구성되어 있다. 이 기기계열은 다중의 안전성관련 전기모선으로부터 전원을 공급받으며 소외전원상실 시에도 운전이 가능하다.

모든 주제어실 공기조화계통 기기(배기계통 제외) 및 관련 구조물은 내진범주 I급으로 설계되었다.

6.4.4.1 방사선방호

주제어실의 전체적인 방사선방호 설계는 설계기준사고로 인한 방사선이 10 CFR 50, 부록 A의 일반설계기준 19 요건을 만족하도록 설계되어 있으며, 방사선량 평가 시 고려되는 방사선원은 표 6.4-1에 제시되어 있다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

주제어실 구역을 주위공간보다 다소 정압으로 유지하기 위하여 최소량의 외기공급이 요구된다. 주제어실의 부유 방사성물질의 양을 최소화하기 위하여, 주제어실 공기조화계통은 수동으로 외기흡입구를 선택할 수 있는 장치를 갖춘 분리된 2개의 외기흡입구를 구비하고 있으며, 각 외기흡입구 내에는 다중의 방사선감시기가 설치되었다.

외기흡입구를 통해 유입되는 보충외기는 고효율입자여과기 및 활성탄흡착기를 통하여 여과되며 방사성요오드 및 입자를 99% 제거한다. 또한 주제어실 내 재순환공기도 고효율입자여과기 및 활성탄흡착기를 통하여 여과된다. 주제어실 거주성에 대한 상세내용은 6.4.1절 및 6.4.2절에 기술되어 있다.

6.4.4.2 독성기체 방호

2.2.3절에 기술된 바와 같이 다량의 유해한 화학물질이 발전소 부지반경 8km (5mile) 이내에 저장 또는 운송되는 일은 예상되지 않는다. 따라서 독성기체에 대한 주제어실 거주성 평가는 발전소 부지 내에 저장되는 화학물질에 대하여 규제지침서 1.78 및 1.95에 따라 수행하였다.

발전소 부지 내에 존재하는 대표적인 독성 화학물질은 황산, 수산화나트륨이다. 그밖에 독성물질로서 염소가스가 고려될 수 있으나 부지 내에는 염소가스를 직접 유발시키는 화학물질은 없으며, 다만 염소기를 포함하는 화학물질로서 순환수계통 또는 기타 보조계통의 수처리설비에 사용되는 차아염소산나트륨 용액이 있지만 이는 독성 위험이 없는 것으로 평가되었다. 하지만 상기 독성화학물질은 비등점이 매우 높아 기화될 가능성이 없으므로 주제어실에 영향을 주지 않는다.

한편, 비등점이 낮아 탱크 외부로 방출시 기체상태를 유지하여 독성은 없지만 산소를 부족하게 하여 질식작용을 할 수 있는 대표적 물질로는 질소, 수소, 이산화탄소가 있다. 그러나 주제어실내 산소농도 분석결과, 최소 산소요구농도 이상을 유지하므로 주제어실 거주성에 영향을 주지 않는다. 그리고, 주제어실 운전원은 주제어실 내에 설

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

치된 병입식 호흡장구를 착용하고 주제어실 공기조화계통을 외기 공급없는 격리모드로 수동전환시킴으로써 독성기체로부터의 방호가 가능하다. | 41

독성기체와 마찬가지로, 연기와 같은 유해기체의 유입 시에도 운전원은 주제어실을 수동으로 외기와 격리시킬 수 있다.

발전소 비상계획 및 절차서에 따라 주제어실에는 병입식 호흡장구와 별도로 위에 언급한 사고발생 시 운전원의 거주성을 보장하기 위하여 최소 5인의 운전원이 6시간 동안 호흡 가능한 용량의 보조공기공급 및 호흡장비가 제공된다.

6.4.4.3 고에너지배관 파단 방호

주증기 및 급수배관은 원자로건물에서 보조건물의 외부 모서리를 따라 높이 EL. 161'에 위치한 주증기관 배치구역을 지나 터빈건물까지 설치된다. 발전소의 물리적 배열 때문에 주증기관 배치구역의 일부분은 직접 주제어실 압력경계의 일부분 위에 있다. 주증기관 배치구역 내에 설치된 주증기관 또는 급수관의 가상 고에너지배관파단에 대해 주제어실 거주성을 확보하기 위하여 다음의 설비를 설계에 고려하였다.

가. 주증기관 밀폐부의 바닥슬래브는 1.37 m (4' -6") (15.24 cm (6") 채움슬래브 포함) 두께의 철근콘크리트 슬래브이다.

나. 바닥슬래브는 최악의 위치 및 파단방향을 가진 가상 주증기 및 급수 고에너지 배관파단의 동적 영향(배관휨에 의한 영향 및 분사충격하중)을 수용하도록 설계되어 있다.

다. 고에너지배관파단 영향 및 하중에 대한 바닥슬래브는 구조적 건전성 확보를 위해 콘크리트의 과도응력, 관통 또는 파쇄가 발생되지 않도록 설계하였다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

라. 주제어실공간 아래로 물 또는 증기가 유입되지 않도록 주증기관 배치구역의 바닥슬래브 전체는 기초 및 채움슬래브 사이에 침수방호 방수재를 첨가하였다.

6.4.4.4 압력용기파손 방호

주제어실 하부층 화재방호계통에 공급되는 청정소화약제 저장용기는 주제어실 구역 외부의 접근통로에 격리 배치하였다. 따라서 용기의 파열은 주제어실 거주성에 영향을 미치지 않는다. 이산화탄소 및 분말소화기는 주제어실 범주 내에 위치하나, 소화기의 부주의한 방출은 주제어실 거주성에 영향을 미치지 않는다. 그 밖에 손상 시 위해물질이 주제어실 범주 내에 전달될 수 있는 다른 가압탱크는 없다.

6.4.5 시험 및 검사

주제어실 공기조화계통 및 기기들은 아래의 내용으로 구성된 계획에 따라 철저히 시험되어야 한다.

가. 공장시험 및 기기검증시험

나. 소내 가동전시험

다. 후속 소내 정기시험 및 운영기술지침서에 따른 공기정화기시험

시운전 시험절차서들은 모든 시험들에 대한 최소한의 허용기준을 내포하고 있으며, 시험 결과를 기록하여 성능미달 여부를 조기에 인지할 수 있도록 해야 한다.

초기시험 계획은 14장에 기술된 법규 및 품질보증요건에 따라서 공장검사 및 시험이 수

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

행되어야 한다. 건설시험은 모든 기기들에 대하여 수행되며, 적절한 설계풍량, 냉수량 및 계통운전압력이 되도록 계통을 조정한다. 적절한 격리수단을 보증하기 위해 방사선감시기 및 연기감지기의 응답시간 및 댐퍼 닫힘시간이 검사 및 시험되어야 하며, 각 계통의 계측설비, 연동장치 및 안전설비들은 적절한 순서로 작동됨을 보증하기 위해 검사, 교정, 조정 및 시험된다.

주제어실 공기조화계통은 설계기준사고 후에 부유 방사능의 유입을 방지하기 위하여 주제어실 구역 내부를 정압으로 유지할 수 있는 능력을 보여주어야 한다. 주제어실 공기조화계통 구역으로부터 외부누설 허용기준은 약 3.175 mm wg (0.125 in wg)의 설계정압이 유지된 상태에서 설계보충풍량을 초과해서는 안 된다.

6.4.6 계측설비

주제어실 공기조화계통을 위한 모든 계측제어설비는 전기식 및 공기식으로 설계되어 있다. 상세한 사항은 아래와 같다.



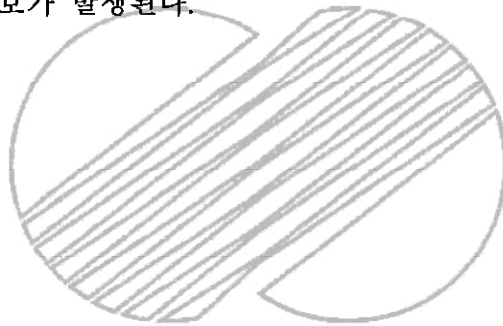
가. 각 다중 주제어실 공기조화계통에는 현장제어반이 있고 각각 독립적으로 제어된다. 중요한 운전기능들은 주제어실에서 제어되고 감시된다.

나. 정상 및 비정상상태와 관련된 중요한 변수를 감시하기 위해서 계측제어설비가 제공되며 비정상 시에는 주제어반에 경보가 발생된다.

다. 주제어실 공기흡입구 A 및 B에 방사선을 감시하기 위한 방사선감시기가 제공된다. 이 감시기는 비상보충 공기정화기와 연동되어 있고 주제어실 외부공기 흡입구 댐퍼와도 연동되어 있다. ‘교’ 방사선이 검출되었을때, 외부공기 흡입구 댐퍼는 자동적으로 차단되고 공기는 비상보충 공기정화기를 통해서 순환되며, 주제어실에 ‘교’ 방사선 경보가 발생된다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

- 라. 송풍기의 수동기동과 자동환경조절이 가능하도록 주제어실 공기조화시스템이 설계되어 있다.
- 마. 활성탄흡착기를 위한 화재방호소방수 연결구가 설치되어 있다.
- 바. 제어시스템의 계측기에 대해서는 7.3절에 상세히 기술되어 있다.
- 사. 공기정화기 필터 양단의 '고' 차압 시에는 주제어반에 경보가 발생된다. 공기정화기를 통한 공기유량은 주제어반에 지시되고 '저' 및 '고' 공기유량 시에는 주제어반에 경보가 발생된다.

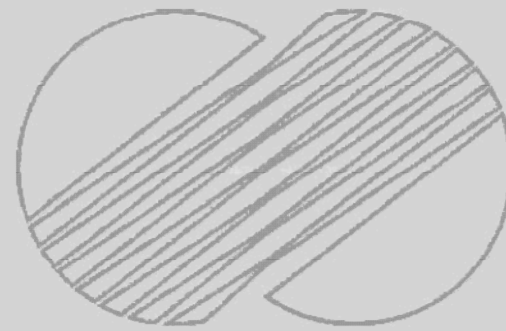


신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.4-1

주제어실 방사선방호 설계 시 고려되는 대형 냉각재상실사고 방사선원

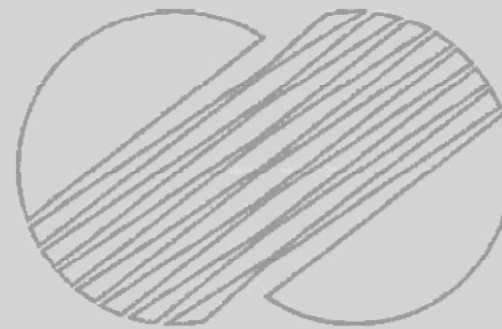
- 가. 대형 냉각재상실사고 후 원자로건물 내 방사선원
- 나. 원자로건물 누설에 의한 주제어실 외부 방사선원
- 다. 대형 냉각재상실사고 후 주제어실 내부 부유 방사선원
- 라. 대형 냉각재상실사고 후 보조건물 내 부유 방사선원
- 마. 대형 냉각재상실사고 후 작동되는 공기정화기에 누적된 방사선원
 - 1) 비상노심냉각계통기기실 배기 공기정화기
 - 2) 주제어실 보충 공기정화기
- 바. 대형 냉각재상실사고 후 보조건물 내 배관 및 기기 내의 방사선원



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

주제어실 구역 배치도

그림 6.4-1 (2 중 1)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

주제어실 구역 배치도

그림 6.4-1 (2 중 2)

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

6.5 핵분열생성물 제거 및 제어계통

6.5.1 공학적안전설비 공기정화계통

공학적안전설비 공기정화기는 설계기준사고 후 안전기능이 요구되는 아래와 같은 계통들에 설치된다.

가. 주제어실 비상보충공기정화계통

이 계통은 주제어실 공기조화계통의 일부이며 냉각재상실사고 시 주제어실 공기조화계통으로 공급되는 보충외기에 포함된 요오드와 입자들을 정화하는 데 사용된다(9.4.1절 참조).

나. 비상노심냉각계통기기실 배기계통

이 계통은 비상노심냉각계통기기실 공기조화계통의 일부이며 이 계통은 설계기준사고 후 비상노심냉각계통기기실들로부터 배기되는 공기에 포함될 수 있는 요오드와 입자들을 여과하기 위하여 사용된다(9.4.5.3절 참조).

다. 핵연료건물 비상배기계통

이 계통은 핵연료건물 공기조화계통의 일부이며 핵연료취급사고 후 핵연료건물로부터 배기되는 공기에 함유될 수 있는 요오드와 입자들의 농도를 줄이기 위하여 사용된다(9.4.2절 참조).

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

6.5.1.1 설계기준

6.5.1.1.1 주 제어실 비상보충공기정화계통

가. 이 계통은 주 제어실 공기조화계통의 일부이며 주 제어실로 여과된 보충공기를 공급하도록 설계된다.

이 계통은 아래의 신호 중 어느 하나의 신호에 의하여 기동하게 된다.

- 1) 안전주입작동신호 - 자동기동
- 2) 주 제어실 비상환기작동신호 - 자동기동
- 3) 주 제어반의 핸드스위치 - 수동기동

나. 비상보충공기정화기의 용량은 아래 항목을 만족하기 위하여 요구되는 공기 요구량을 기준으로 한다.

- 1) 주 제어실 구역을 주변지역에 비하여 약 3.175 mm wg (0.125 in wg) 정압으로 유지
- 2) 주 제어실 요원들이 10 CFR 50 부록 A, 일반설계기준 19에 따라 사고 기간 동안 받는 등가선량이 전신기준 50 mSv, 또는 신체의 어느 부분에 그에 상당하는 등가선량으로 제한

다. 보충공기정화기들은 원소형요오드, 유기형요오드 및 입자에 대하여 각각 규제지침서 1.52(Rev.3)에서 요구하는 제거효율 능력을 갖추어야 한다.

| 1

라. 보충계통은 단일고장기준을 만족하고 안전성관련 및 내진범주 I급으로 설계된다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

6.5.1.1.2 비상노심냉각계통기기실 배기계통

가. 이 계통은 비상노심냉각계통기기실 공기조화계통의 일부분이며 주변지역보다 보조건물을 부압으로 유지하고, 비상노심냉각계통 기기로부터의 가상 누설을 기준으로 한 비상노심냉각계통기기실 배기공기에 포함될 수 있는 요오드와 입자를 제거하도록 설계된다.

이 계통은 아래와 같은 방법에 의하여 기동되도록 설계된다.

- 1) 주제어실에서의 수동 기동
- 2) 안전주입작동신호에 의한 자동 기동

나. 공기정화기의 용량은 주위 지역보다 보조건물을 약 3.175 mm wg (0.125 in wg) 부압으로 유지하기 위하여 요구되는 공기량을 기준으로 하고 있다.

다. 각 공기정화기는 원소형요오드, 유기형요오드 및 입자들에 대하여 규제지침서 1.52(Rev.3)에서 요구하는 제거효율 능력을 갖추어야 한다.

| 1

라. 본 계통은 단일고장기준을 만족하고 안전성관련 및 내진범주 I급으로 설계된다.

6.5.1.1.3 핵연료건물 비상배기계통

가. 이 계통은 핵연료건물 공기조화계통의 일부분이며 핵연료취급사고 후 건물로부터의 배기공기를 처리하도록 설계된다. 이 계통은 다음과 같은 방법에 의하여 기동된다.

- 1) 핵연료건물비상배기작동신호(FHBEVAS)에 의한 자동 기동

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

2) 주제어실에서의 수동 기동

나. 비상배기계통의 용량은 대기압과 비교하여 핵연료건물의 압력을 약 3.175 mm wg (0.125 in wg) 부압으로 유지하기 위하여 필요한 공기량을 기준으로 한다.

다. 배기공기정화기는 원소형요오드, 유기형요오드 및 입자들에 대하여 각각 규제지침서 1.52(Rev.3)에서 요구하는 제거효율 능력을 갖추어야 한다.

| 1

라. 핵연료건물 비상배기계통은 단일고장기준을 만족하고 안전성관련 및 내진범주 I 급으로 설계된다.

6.5.1.2 계통설명

각 공학적안전설비 공기정화기는 규제지침서 1.52(Rev.3)의 요건을 만족하도록 설계되어 있다.



| 1

가. 각 여과계통은 2개의 100 % 다중 계열로 구성되어 있으며, 각각 독립된 전원계열로부터 동력을 받는다.

나. 각 공기정화기는 습분분리기, 전기가열코일, 전단여과기, 전단 고효율입자여과기, 활성탄흡착기, 후단 고효율입자여과기, 송풍기 및 몸체로 구성되어있다. 습분분리기 부분과 활성탄흡착기 부분에는 배수장치가 설치되어 있다.

| 1

다. 각 공기정화기에는 ASME N509-1989에 따라 계측설비가 설치되어 있다.

보다 상세한 설명은 9.4.1.5절, 9.4.2.5절 및 9.4.5.3.5절에 기술되어 있다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

- 라. 각 공기정화계통은 ASME N510-1989 및 6.5.1.4절의 “라”항에 따라 계통기기들의 주기적인 시험 및 검사가 가능하도록 설계되어 있다.
- 마. 격리가 필요한 곳에는 저누설 격리댐퍼가 설치되며, 댐퍼는 ASME N509-1989 요건을 만족하도록 설계되어 있다.
- 바. 모든 공기정화기는 흡인형이고 그 안에 내장된 송풍기의 성능은 정격풍량 및 최대전압조건하에서 유지되어야 한다. 송풍기는 ASME N509-1989 요건을 만족하도록 설계되어 있다.
- 사. 습분분리기는 여과기로의 수분 침투를 최소화하기 위하여 유입되는 습기와 수분을 제거하도록 설치되어 있다. 습분분리기는 ASME N509-1989의 5.4절 요건을 만족하도록 설계되어 있다.
- 아. 안전성관련 전기식 가열기는 최악의 공기흡입 조건에서 공기의 상대습도를 70 % 이하로 낮추어 활성탄흡착기의 요오드 제거능력을 향상시킬 수 있는 용량을 갖는다. 가열기는 UL 1096 및 ASME N509-1989 요건을 만족하도록 설계되어 있다.
- 자. 전단여과기는 ASHRAE 52-1976을 기준으로 최소 85 % 이상의 효율을 가져야 하며 ASME N509-1989의 5.3절 요건을 만족하도록 설계되어 있다.
- 차. 전단 고효율입자여과기는 활성탄흡착기를 분진으로부터 보호하기 위하여 설치되며 크기 $0.3\ \mu\text{m}$ 입자에 대해 최소 제거효율이 99.97 % 이상인 능력이 있어야 하며 내수성이 있어야 한다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

모든 고효율입자여과기의 부품은 ASME N509-1989의 5.1절 요건을 만족하도록 설계되어 있다.

- 카. 활성탄흡착기는 재충전식인 III 형식이며 KEPIC MHB 2000, FE절의 요구사항을 만족시키도록 설계되어 있다. 활성탄흡착기의 수량은 활성탄 1g당 2.5mg의 요오드를 흡착 포집하는 것을 기준으로 한다.

활성탄흡착기 베드의 제원은 공기가 베드깊이 50.8mm (2 in)당 활성탄 내에서 잔류시간이 최소 0.25초 이상이 되도록 한다. 활성탄 입자를 흡착 셀에 충전 또는 제거하는 장치가 마련되어 있다. 충전절차는 KEPIC MHB 2000, FE절의 부록 FE-III에 따른다.

각 활성탄흡착기에 시험용 시료용기가 설치되며 그 수량은 예상되는 운전주기를 기준으로 한다. 이 시료용기들은 활성탄흡착기와 동일한 베드깊이를 갖고 있다. 시료용기들은 계통 내의 흡착제가 받는 동일 공기유동 조건에 노출되는 곳에 설치되어 있다.

활성탄흡착기 상부에 설치된 노즐과 소화수계통의 배관이 플랜지로 연결되어 있으며 만일의 누수를 방지하기 위해 이중의 격리밸브가 설치되어 있다. 온도감지기의 설정치에 따른 1차 경보는 주제어실에 발생되며 송풍기는 자동으로 정지된다. 2차 경보가 발생하면 발전소 소방대가 공기정화기 설치지역에 급파되어 수동으로 소화수계통을 작동시키고 그 작동상태가 주제어반에 표시된다.

- 타. 후단 고효율입자여과기는 공기흐름 속에 포함된 활성탄 입자를 여과하기 위하여 활성탄흡착기 후단에 설치되며 크기 $0.3\mu\text{m}$ 입자에 대해 최소 제거효율이 99.97% 이상이어야 하며 내수성이 있어야 한다. 고효율입자여과기의 부품은 ASME N509-1989의 5.1절 요건을 만족하도록 제작되어 있다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

파. 공기정화기 본체 내 각 기기 주요부품 주위에 출입문이 설치된다. 각 여과기 간의 간격은 유지보수를 용이하게 할 수 있도록 되어 있다. 본체는 전체가 용접구조이며, 구조적으로 보강되고 저 누출형식이다.

압력경계를 저하하거나, 공기가 여과기들을 우회하는 가능성을 줄이기 위하여 정상 개방 배수구의 갯수를 최소화 하는 것을 원칙으로 한다. 배수계통은 DOE-HDBK-1169-2003 및 ASME N509-1989에 따라 설계되어 있다.

| 1

하. 외부 점등스위치를 가진 내부 전등을 공기정화기 내부 주요기기들 사이에 설치하여 기기의 검사, 시험 및 교체가 용이하도록 한다.

거. 덕트 연결은 개스킷 플랜지, 밀봉용접 또는 맞대기용접으로 한다. 길이방향 접합부는 전체용접, 밀봉용접 또는 SMACNA의 고압 덕트 표준(Pittsburgh Lock 또는 ACME Lock Seam)에 따른 기계적 밀봉이음으로 제작한다. 덕트 제작 및 공기누설시험은 부록 1A절에 기술된 규제지침서 1.52(Rev.3)의 예외사항과 함께 ASME N509-1989에 따라 행한다.

| 1

너. 각 계통 기기들의 기기규격은 9.4.1절, 9.4.5.3절 및 9.4.2절에 기술되어 있다.

6.5.1.3 설계 평가

6.5.1.3.1 주 제어실 비상보충공기정화계통

비상보충 공기정화기는 주 제어실 공기조화계통과 연계하여 운전되어 주 제어실 내 거주성을 유지한다. 상세 계통설계평가는 6.4.4절 및 9.4.1절에 설명된다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

6.5.1.3.2 비상노심냉각계통기기실 배기계통

비상노심냉각계통기기실 배기계통은 설계기준사고 후에 보조건물로부터 오염된 공기가 여과없이 외부로 직접 유출되는 것을 방지하기 위하여 설계되었다. 상세한 계통평가는 9.4.5.3절에 설명된다.

6.5.1.3.3 핵연료건물 비상배기계통

핵연료건물 비상배기계통은 핵연료건물 내에서 비정상적인 고준위 부유 방사능을 초래하는 사고 및 비정상 운전 시 핵연료건물로부터 오염된 공기가 여과없이 외부로 직접 유출되는 것을 방지하기 위하여 설계되었다. 상세한 계통평가는 9.4.2절에 설명된다.

6.5.1.4 시험 및 검사

가. 공학적안전설비 공기정화계통과 이 계통의 기기들은 아래와 같이 구성된 프로그램에 의하여 시험되어 진다.

- 1) 공장 및 기기 검증시험
- 2) 소내 가동전시험
- 3) 소내 정기시험

기술된 시험절차서는 모든 시험에 대한 최소 허용치를 규정하고 있으며 시험 결과들은 기록되어, 성능저하 경향의 조기 발견이 가능하도록 한다.

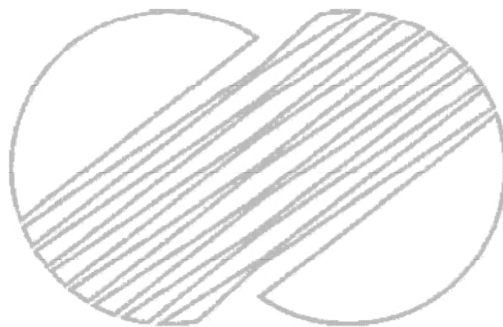
나. 공장 및 기기 검증시험은 아래와 같이 구성된다.

- 1) 기기 본체 시험

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

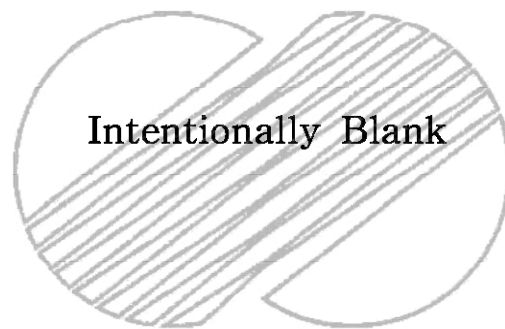
- 가) 하우징 육안시험 - ASME N510-1989의 5절
- 나) 고효율 입자여과기 및 활성탄흡착기를 용접부 검사 - ASME N510-1989의 7.3절
- 다) 고효율 입자여과기 및 활성탄흡착기를 누설시험 - ASME N510-1989의 7절
- 라) 하우징 누설시험 - ASME N510-1989의 6절
- 마) 공기유량 및 분포도 시험 - ASME N510-1989의 8절
- 바) 공기-에어로졸 혼합균일도 시험 - ASME N510-1989의 9절
- 사) 구조건전성시험 - ASME N510-1989의 6절

1



본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서



신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

2) 습분분리기 시험

ASME-N509-1989의 5.4절에 따라 검증시험 또는 규정된 설계기준에 적합함을 입증할 수 있는 객관적인 자료

3) 고효율입자여과기 시험

ASME AG-1-1997의 FC5000에서 요구하는 검증시험 및 제품시험

4) 활성탄 흡착기 시험

ASME AG-1-1997의 FE절(KEPIC MHB-2000의 FE절)

5) 흡착재 시험

ASME AG-1-1997의 FE절(KEPIC MHB-2000의 FF)

6) 송풍기 시험

ASME N509-1989의 5.7.2절

7) 가열기 시험

ASME N510-1989의 14절

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

	1
8) 전단여과기 시험	1
ASME N509-1989, 5.3.3절에 따라 ASHRAE에서 규정한 효율에 대한 인 증 또는 객관적인 자료	
9) 댐퍼 시험	1
ASME N509-1989의 5.9.7.2절 및 5.9.8절에 따라 누설밀봉, 단협시간을 입 증하기 위한 시험 또는 객관적인 자료	
다. 소내 가동전시험은 ASME N510-1989에 따라 수행되며, 각 계통별 시험은 14.2절 에 기술되어 있다.	1
라. 소내 정기시험	
운전원 및 정비원은 ASME N510-1989에 따라 정기점검을 수행하며 이를 위한 교육을 받는다. 이러한 점검들은 육안검사와 성능시험을 위한 기기의 정기적 가 동을 포함하며, 활성탄에 대한 실험실 시험의 허용기준은 운영기술지침서 4.16에 따른다. 소내정기시험은 Reg. Guide 1.52 - Rev.3(2001) 및 ASME N510-1989에 따라 수행된다.	1

6.5.2 원자로건물살수계통에 의한 핵분열생성물 제거

원자로건물살수계통은 공학적안전설비로서 냉각재상실사고 후 원자로건물 대기의 압력과 온도를 감소시키고, 원자로건물 대기로부터 방사성 핵분열생성물을 제거하는 기능을 가진다. 이러한 기능들은 원자로건물 상부와 운전층 하부에 위치한 살수 노즐을 통해 원자로건물 대기 중으로 살수되는 봉산수에 의해 이루어진다. 원자로건물살수계통에 의한 원자

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

로건물 대기의 압력과 온도 감소는 6.2.1절 및 6.2.2.1절에서 기술되어 있다.

냉각재상실사고 해석 시 핵분열생성물 중 주요한 관심의 대상이 되는 다양한 형태의 방사성요오드는 원자로건물살수계통에 의해 원자로건물 대기로부터 제거된다. 따라서 살수계통이 작동되지 않는 소형냉각재상실사고에 대해서는 본 절에서 평가한 핵분열생성물 제거효과를 적용하지 않는다.

주입운전 동안 원자로건물 살수에 의한 요오드 흡수능력은 오염되지 않은 재장전수탱크의 붕산수를 공급함으로써 보장된다. 그러나 재순환운전 동안 살수용액이 핵분열생성물을 다량 포함하고 있으므로 살수용액의 pH 정도에 따라 주입운전단계에서 흡수된 요오드가 살수용액으로부터 이탈하여 원자로건물 대기 중으로 재회탈 될 수 있다. 이러한 요오드의 재회탈을 방지하고 살수용액의 지속적인 요오드 흡수능력을 보장하기 위해서는 재순환운전 동안 pH 조절이 요구된다.

본 절에서는 냉각재상실사고 후 원자로건물살수계통의 핵분열생성물 제거능력에 대해 기술하였다.

6.5.2.1 설계기준

다음은 원자로건물살수계통의 핵분열생성물 제거를 위한 설계기준이다.

가. 재순환집수조 화학첨가제인 인산삼나트륨(TSP; Tri-Sodium Phosphate)은 냉각재상실사고 후 재순환운전 이전까지 재순환집수조 pH를 7.0 이상으로 증가시키고, 이후에는 pH가 7.0과 8.5 사이를 유지하도록 설계하여야 한다.

나. 원자로건물살수계통이 요오드와 입자형 핵분열생성물을 원자로건물 대기로부터 감소시키는 능력은 설계기준 냉각재상실사고 시 소외 방사선피폭을 10 CFR 100.11의 원자로 부지에 대한 선량요건 이하로 만족시키고, 주제어실과 비상기술지원실에서의 거주성을 보장하기 위한 10 CFR 50, 부록 A의 일반설계기준

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

19를 만족하여야 한다.

원자로건물 대기로부터 열을 제거하기 위한 살수계통의 설계기준은 6.2.2.1절에 별도로 기술되어 있다.

6.5.2.2 계통 설계

6.5.2.2.1 개요

원자로건물살수계통은 봉산수인 살수용액을 원자로건물 대기로 공급하도록 설계되었으며, 원자로건물 대기로부터 요오드를 충분히 제거함으로써 설계기준 냉각재상실사고에 의한 소의 피폭선량을 10 CFR 100.11의 선량제한치 이내로 유지시키고, 주제어실과 비상기술 지원실 운전원에 대한 갑상선 피폭선량을 10 CFR 50, 부록 A의 일반설계기준 19에 명시된 제한치 이내로 유지시킨다.

원자로건물 대기 중으로 요오드 재취발을 억제하기 위해, 재순환기간 동안 재순환집수조 pH는 인산삼나트륨 첨가에 의해 7.0과 8.5사이로 엄격하게 제어된다. 수동적인 메카니즘에 의한 재순환집수조 화학첨가제의 전형으로 사용되는 인산삼나트륨 분말은 바스켓 안에 들어 있다. 바스켓은 인산삼나트륨 분말이 재순환집수조의 물과 쉽게 접촉하여 빠르게 용해가 이루어지도록 표면적이 넓게 설계되어 있으며, 2차 차폐벽 외부의 원자로건물 바닥에 위치하여 재순환집수조 물에 쉽게 잠기게 된다. 냉각재상실사고 후 재순환집수조 내 혼합된 용액은 화학적 평형조건에 도달하게 된다.

주입운전기간에는 재장전수탱크 봉산수가 원자로건물 살수의 공급원이고, 재순환운전 시는 2개의 독립된 원자로건물 재순환집수조의 물이 원자로건물살수계통 각 계열의 살수공급원이 된다. 원자로건물살수계통의 봉산수와 접하는 부분들은 오스테나이트계 스테인리스강이나 그와 동등한 내부식성을 가지는 재료로 구성되어 있다. 원자로건물 상부에 위

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

치한 주살수 모관 및 노즐 배치는 살수면적이 원자로건물 운전층 면적의 90% 이상이 되도록 설계되어 있다. 운전층 하부에 위치한 보조 살수노즐은 공기혼합을 주목적으로 설계되었으며, 이것들은 운전층 하부의 대부분 영역에 살수한다.

6.5.2.2.2 기기 설명

살수계통의 구성 기기들은 6.2.2.2절에 기술되었으며, 살수계통 기기의 설계자료는 표 6.2-60에 기술되어 있다.

6.5.2.2.3 계통 운전

계통의 유량과 모드별 운전기간에 관하여는 6.2.2절에 기술되어 있다.

원자로건물살수계통의 운전은 주입 및 재순환운전기간 동안 요오드 제거 요건이 만족됨을 보장한다. 주입운전기간 동안 원자로건물살수계통은 재장전수탱크로부터 봉산수를 공급 받는다.

주입운전기간 동안, 바스켓에 포함된 인산삼나트륨은 재순환집수조의 물에 침수되어 빠르게 용해되어 냉각재상실사고 후 재순환단계 시까지 혼합된 재순환집수조 용액의 pH를 7.0 이상으로 올리게 되며 장기간의 재순환운전 시 원자로건물 재순환집수조 pH는 7.0과 8.5 사이에서 유지된다. 냉각재상실사고 후 소외선량계산에서 고려된 원자로건물 요오드 제거 기능은 15.6절에 기술되어 있다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

6.5.2.3 설계 평가

6.5.2.3.1 집수조용액 pH 평가

원자로건물 바닥에 설치되어 있는 바스켓안의 인산삼나트륨 분말이 용해되어 재순환단계의 시작 시점에서 재순환집수조 용액의 pH를 7.0 이상으로 올리며, 재순환기간 동안 재순환집수조 용액의 pH가 7.0과 8.5사이로 유지될 수 있음을 보장하기 위해 재순환집수조 용액의 pH 분석이 수행되었다.

| 107

주입운전기간 동안에 핵분열생성물, 특히 요오드의 제거는 재장전수탱크로부터 제공되는 요오드가 함유되지 않은 살수용액에 의해 이루어진다. 재순환 운전기간 동안 재순환집수조 용액의 pH가 7.0 이상으로 유지되면 재순환집수조 용액에 용해된 방사성요오드는 원자로건물 대기로 재회발되지 않는다. 따라서 주입단계에서는 pH 조절이 필요하지 않으나, 재순환단계에서는 요오드의 재회발을 방지하기 위하여 pH 조절이 필요하다.

주입운전기간 동안 재순환집수조 내에서 용해된 인산삼나트륨은 배관파단 부위에서의 취출 및 살수에 의해 유발되는 난류로 재순환집수조 내 봉산수와 혼합되는데 재순환집수조 용액의 pH는 재순환단계 시작 이전에 최소한 7.0 이상을 유지하여야 한다. 6.2.1.1.3.9절에 기술된 바와 같이 최단 재순환 시작시점은 사고 후 약 27분이나 주입운전기간 동안의 재순환집수조 용액 pH 평가에서는 보수적으로 25분을 선정하였다. 인산삼나트륨의 용해율과 관련하여 참고문헌 4에서 수행된 실험결과는 냉각재상실사고 후 15분이 경과하면 인산삼나트륨이 충분히 용해되어 재순환집수조 용액의 pH가 7.0 이상으로 유지될 수 있음을 보여주는데 이와 같은 결과는 신월성 1,2호기에도 적용 가능하다. 재순환단계에서 재순환집수조 용액의 pH가 7.0에서 8.5 사이에서 유지됨을 보이기 위하여 6.2절의 원자로건물 온도 분석자료를 이용한 최대 및 최소 pH가 계산되었다. 재순환집수조 용액 pH를 계산하기 위하여 고려된 기본적인 수원은 원자로냉각재계통 내 냉각재량, 안전주입탱크 내 냉각수량, 재장전수탱크 내 냉각수량 및 안전주입배관 내 냉각수량이다.

| 107

| 107

| 107

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

재순환집수조 용액의 최소 pH를 7.0으로 설정하고 이를 위해 요구되는 최소량의 인산삼나트륨을 계산하기 위하여 다음과 같은 보수적인 초기조건을 가정하였으며 각각의 값은 표 6.5-1에 제시하였다. | 107

- 냉각수원별 최대체적
- 냉각수원별 최대붕산농도
- 최소 재순환집수조 용액 온도

재순환집수조 용액의 최대 pH는 위에서 결정된 인산삼나트륨의 양을 기준으로 다음의 경우 | 107
를 가정하였으며 표 6.5-1의 값을 이용하여 계산하였다.

- 냉각수원별 최소체적
- 냉각수원별 최소붕산농도
- 최대 재순환집수조 용액 온도

주입 및 재순환단계에서의 재순환집수조 용액 pH 분석에 사용된 입력변수들은 표 6.5-1 | 107
에 제시되어 있다. 액체상태에서 인산삼나트륨과 붕산사이의 화학적 반응은 산과 염기의
평형조건에서 고려된다.

최소 pH 7.0을 만족시키기 위한 인산삼나트륨의 양은 21,047 kg (46,400 lbm) 이며 동 물 | 107
량을 기준으로 계산된 재순환집수조 용액의 최대 pH는 8.0이다. 이러한 계산결과로부터
냉각재상실사고 이후 어떠한 상황에서도 재순환집수조 용액의 pH는 7.0과 8.5사이에서
유지되는 것으로 평가되었다.

6.5.2.3.2 요오드 제거효과 평가

요오드제거계수를 평가하기 위하여 원자로건물은 살수영역과 비살수영역으로 구분된다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

보조살수는 원자로건물살수계통의 요오드제거능력 및 원자로건물 대기혼합능력을 향상시킬 수 있으나 분석에는 보수적으로 고려하지 않았다.

원자로건물살수계통은 운전중 상부구역 및 증기발생기 격실에 살수를 공급한다. 살수영역의 살수특성은 표 6.5-2에 제시한 바와 같이 구역별 체적, 살수노즐 수 및 살수유량으로 나타낼 수 있다. 이 표의 값들은 단일고장기준에 의해 사고기간 중 원자로건물살수계통의 한 계열만이 작동한 경우를 기준으로 제시된 것이다.

표 6.5-3은 방사성요오드가 침적할 수 있는 원자로건물 내 각종 표면적자료와 표면도장계통을 나타낸다.

원자로건물 내에서 사용된 페인트는 비-비닐(non vinyl) 계열로 다음과 같다.

- 금속 표면에 사용된 에폭시
- 콘크리트 표면에 사용된 에폭시
- 금속 표면에 사용된 아연도금

살수영역 구분의 경우와 마찬가지로 침적표면도 살수영역과 비살수영역의 표면으로 구분된다.

6.5.2.3.2.1 분석모델 및 결과

규제지침서 1.4(참고문헌 1)에 의하면 냉각재상실사고 후 원자로건물 대기 내 요오드는 크게 원소형, 입자형 및 유기물 형태로 존재한다. 살수 및 침적에 의한 이들 요오드 제거모델이 본절에 기술된다(참고문헌 2). 유기 요오드화물은 보수적으로 살수 및 침적에 의하여 제거되지 않는 것으로 가정하였다.

가. 살수에 의한 요오드 제거

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

1) 살수에 의한 원소형요오드 제거

사고 시 원자로건물 대기 중에 존재하는 요오드의 대부분은 원소형요오드로서 살수액적에 의해 흡수되어 빠르게 제거된다.

원소형요오드에 대한 살수제거계수($\lambda_s, \text{hr}^{-1}$)는 다음과 같이 계산한다.

(6.5-1)

여기서, K_g : 기체상 질량전달계수(m/min)

T : 살수액적의 낙하시간(min)

F : 살수유량(m^3/min)

V : 살수영역의 체적(m^3)

D : 살수액적의 평균 직경(m)

표 6.5-4는 상기 변수에 대한 계산입력치를 나타낸다. 살수액적의 평균직경은 살수노즐 공급자 원자로건물 살수노즐 자료에 기초하여 $295 \mu\text{m}$ 을 사용하였으며 펌프의 살수유량은 $0.221 \text{ m}^3/\text{sec}$ ($3,500 \text{ gpm}$)을 사용하였다. 식 (6.5-1)을 사용하여 살수영역에서의 원소형요오드에 대한 살수제거계수 계산결과는 20.6 hr^{-1} 이나, 식 (6.5-1)의 적용에 따른 제한사항으로 살수영역에 대한 살수제거계수는 최대값이 20.0 hr^{-1} 로 제한된다.

2) 살수에 의한 유기형요오드 제거

살수에 의한 유기형요오드 제거는 고려하지 않는다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

3) 살수에 의한 입자형요오드 제거

입자형요오드에 대한 살수제거계수(λ_p)는 다음과 같이 계산한다.

(6.5-2)

여기서, h : 살수액적의 낙하거리(m)

F : 살수유량(m^3/min)

V : 살수영역의 체적(m^3)

E/D : 집적효율(m^{-1})

표 6.5-5는 상기 변수에 대한 계산입력치를 나타내고 있다. 식 (6.5-2)를 이용한 살수영역에서의 입자형요오드에 대한 살수제거계수 계산결과는 $0.407 hr^{-1}$ 이다.

나. 침적에 의한 요오드 제거

1) 침적에 의한 원소형요오드 제거

침적에 의한 원소형요오드 제거계수(λ_w)는 다음과 같이 계산된다.

(6.5-3)

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

여기서, K_w : 질량전달계수(m/hr)

A: 총 침적 표면적(m^2)

V: 각 구역의 자유체적(m^3)

질량전달계수로 각종 원자로건물 도장에 대한 가장 낮은 침적속도를 반영하여 보수적으로 4.9 m/hr를 가정하며(참고문헌 2), 표 6.5-6에는 상기 변수에 대한 계산입력치를 나타내고 있다. 식 (6.5-3)에 의해 계산된 침적계수는 살수영역에서는 1.93 hr^{-1} 이며, 비살수영역에서는 7.56 hr^{-1} 이다.

2) 침적에 의한 유기형요오드 제거

침적에 의한 유기형요오드의 제거는 고려하지 않는다(참고문헌 6).

3) 침적에 의한 입자형요오드 제거

침적에 의한 입자형요오드의 제거는 고려하지 않는다(참고문헌 6).

다. 제염계수(DF)

1) 살수에 의한 원소형요오드 제염계수

원자로건물살수계통에 의한 원자로건물 대기의 최대 원소형요오드 제염계수는 다음과 같이 계산된다.

(6.5-4)

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

여기서, V_s : 원자로건물 재순환집수조 용액의 체적(m^3)

V_c : 원자로건물 자유체적(m^3)

H : 평형 요오드 분할계수(partition coefficient)

표 6.5-7은 상기 변수에 대한 계산입력치를 나타내고 있다. V_s 및 V_c 는 원자로 건물 및 재순환집수조 배치구조에 근거하여 계산되고, 요오드 분할계수(H)는 온도, pH, 가수분해 및 방사분해 정도 등 여러 인자에 따라 결정되며 참고문헌 5에 제시된 실험자료에 근거하여 250을 사용한다. 재순환집수조 용액의 장기간 pH 값을 7.0으로 가정하여 보수적으로 요오드 분할계수를 산정한다. 또한 보수적인 제염계수 계산을 위해 최소 재순환집수조 용액 체적을 가정하며 이렇게 계산된 원자로건물 살수에 의한 원소형요오드의 제염계수는 6.89 이다.

재순환집수조 용액이 재순환되기 전에 재순환집수조 용액은 원자로건물 대기로부터 제거된 핵분열생성물뿐만 아니라, 노심에서 직접 유입된 핵분열생성물을 포함하고 있다. 참고문헌 6에 의하면 재순환집수조 용액의 pH가 7보다 작은 경우에는 원소형요오드 기체가 재휘발하여 원자로건물 대기로 빠져 나간다.

결과적으로, 인산삼나트륨을 사용하여 재순환기간에 재순환집수조 용액의 pH 값을 7.0 이상으로 유지시키기 때문에 재순환집수조로부터 원소형요오드의 재휘발은 발생하지 않는다. | 107

2) 표면침적에 의한 원소형요오드 제염계수

침적에 의한 원소형요오드 제염계수는 다음과 같이 계산된다.

(1) 침적 가능한 총 요오드량을 원소별로 계산한다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

- (2) 원자로건물 내 표면에 균일하게 요오드가 침적된다는 가정하에 단위면적당 침적될 수 있는 최대 표면침적량을 계산한다.
- (3) 최대 표면침적량과 원자로건물 내에 사용된 표면도장재의 침적능력을 비교하여 제염계수를 계산한다.

표 6.5-8은 표면침적이 가능한 요오드량을 동위원소별로 나타낸 것이다.

원자로건물 내에서는 노심 내 요오드 총량의 50 %가 방출되는 것으로 가정한다(참고문헌 7). 방출된 요오드 총량이 원자로건물 내 각종 표면에 균일하게 침적되는 것으로 가정할 때, 최대 표면침적량은 0.0275 mg/cm^2 이다. 참고문헌 2에서 원자로건물 도장재인 에폭시에 대한 최소 침적용량 (0.223 mg/cm^2)을 이용할 경우 침적용량에 대한 최대 요오드 표면침적량 비율은 다음과 같이 계산된다.

$$\text{최대 요오드 표면침적량/침적용량} = \frac{0.0275}{0.223} = 0.123$$

상기 계산결과는 원자로건물 내 표면적이 노심에서 방출된 모든 원소형요오드를 침적시킬 수 있음을 의미한다. 이 결과에 따르면 무한대의 제염계수를 설정할 수도 있으나 보수적으로 침적에 의한 제염계수를 100으로 선정한다.

3) 표면침적에 의한 유기형요오드 제염계수

침적에 의한 유기형요오드의 제거가 고려되지 않으므로 적용되지 않는다.

4) 표면침적에 의한 입자형요오드 제염계수

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

침적에 의한 입자형요오드의 제거가 고려되지 않으므로 적용되지 않는다.

이 절에서 계산된 요오드 제거계수를 표 6.5-9에 종합하여 기술하였다.

6.5.2.4 시험 및 검사

원자로건물살수계통에 대한 운전전 시험은 14장에 기술된 시험방법에 따라 수행된다. 주기적인 시험은 운영기술지침서에 따라 수행된다.

6.5.2.5 계측설비

원자로건물살수계통 계측설비 요건은 6.2.2.5절에 기술되어 있다.

6.5.2.6 재질

원자로건물살수계통 재질은 6.2.2.6절에 기술되어 있다.

6.5.3 핵분열생성물 제어계통

6.5.3.1 원자로건물

원자로건물은 원통형 벽체, 반구형 돔 및 슬랩형 바닥으로 된 포스트텐션드 철근콘크리트 구조물로 구성되어 있으며, 내벽은 6.35 mm (0.25 in) 두께의 강판으로 된 라이너플레이트로 용접되어 누설밀봉 압력경계를 이루고 있다. 원자로건물의 구조설계에 대한 상세내용은 3.8절에 기술되어 있다. 원자로건물 구조물의 배치도면은 1.2절의 일반배치도에서 보여주고 있다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

원자로건물 외벽, 라이너플레이트, 기계 및 전기관통부, 격리밸브, 장비반입구 및 인원출입구 등은 가상사고 시 방사성물질의 외부방출을 제한하는 기능을 수행하도록 설계되어 궁극적으로는 이로 인한 소외 방사선량이 10 CFR 100.11에 제시된 기준치 이하가 되도록 한다. 원자로건물격리계통의 설계에 대한 내용은 6.2.4절에 기술되어 있다.

설계기준사고에 대한 장기적인 원자로건물 압력반응에 대해서는 6.2.1절에 기술되어 있다. 원자로건물 대기 중의 요오드농도 및 온도·압력을 감소시키기 위하여 원자로건물살수계통이 동작된다. 원자로건물살수계통의 작동시간에 대한 설명은 7.3.1절 및 6.2.1절에 기술되어 있다.

정상운전 중에 사용되는 원자로건물 핵분열생성물 제어계통은 소용량퍼지계통으로 구성되며, 이는 정상출력운전 중 작업자의 원자로건물 출입이 요구될 때 사전에 핵분열생성물을 제어하기 위하여 사용된다. 소용량퍼지계통에 대한 상세한 설명은 9.4.6.2.2절에 기술되어 있다.

사고 후 원자로건물 대기 중의 수소농도를 제어하기 위한 주된 수단으로서 안전성관련의 피동축매형수소재결합기가 설치된다. 상세한 설명은 6.2.5절의 가연성기체제어계통에 기술되어 있다.

사고 후 원자로건물 대기의 공기정화를 위하여 냉각재상실사고 후 수소퍼지계통이 설치된다. 이 계통은 냉각재상실사고 후에 원자로건물 대기 중의 가연성기체를 배기시키기 위하여 사용될 수 있다. 상세한 설명은 9.4.6.2.3절에 기술되어 있다.

6.5.3.2 이차 원자로건물

본 항목은 신월성 1,2호기에는 적용되지 않는다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

6.5.4 참고문헌

1. Regulatory Guide 1.4, "Assumptions Used for Evaluating the Potential Radiological Consequences of a Loss-of-Coolant Accident for Pressurized Water Reactors," U.S. NRC, 1974.
2. NUREG/CR-0009, "Technological Bases for Models of Spray Washout of Airborne Contaminates in Containment Vessels," U.S. NRC, October 1978.
3. ANSI/ANS-56.5, "PWR and BWR Containment Spray System Design Criteria," American Nuclear Society, November 1979.
4. "A Test Report for TSP Dissolution and pH Evaluation in UCN 3&4," KEPCO, February 1998.
5. NUREG/CR-4697, "Chemistry and Transport of Iodine in Containment," U.S. NRC, October 1986
6. SRP 6.5.2, Rev. 2, "Containment Spray as a Fission Product Cleanup System," U.S. NRC, 1988.
7. TID-14844, "Calculation of Distance Factors for Power and Test Reactor Sites," U.S. Atomic Energy Commission, March 1962.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.5-1

재순환집수조 pH 분석을 위한 입력변수

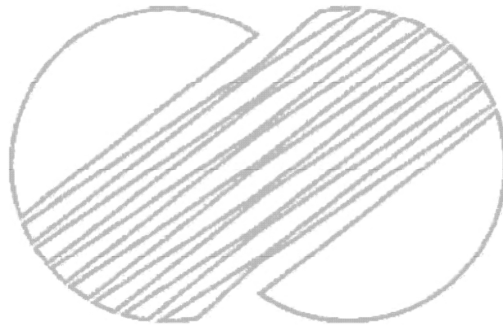
물 공급원	최소값	최대값
<u>원자로냉각재계통의 물</u>		
물의 체적, m ³ (ft ³)	280.3 (9,900)	345.5 (12,200)
붕소 농도, ppm	0	2,200
<u>안전주입탱크의 물</u>		
물의 체적, m ³ (ft ³)	201.0 (7,100)	220.9 (7,800)
붕소 농도, ppm	2,000	4,400
<u>재장전수탱크의 물</u>		
물의 체적, m ³ (ft ³)	1,784.0 (63,000)	2,831.7 (100,000)
붕소 농도, ppm	4,000	4,400
<u>안전주입 배관의 물</u>		
물의 체적, m ³ (ft ³)	76.5 (2,700)	99.1 (3,500)
붕소 농도, ppm	2,000	4,400
<u>재순환집수조 용액 온도</u>		
용액 온도, °C (°F)	48.9 (120)	148.9 (300)

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.5-2 (2 중 1)

원자로건물 살수에 대한 설계특성

영역	부피, ¹⁾ m ³ (ft ³)	노즐 수	유량, m ³ /sec (gpm)
살수영역 (주살수 영역)	60,881.1 (2.15×10 ⁶)	230	0.221 (3,500)
비살수영역 (보조살수 영역 포함)	20,246.5 (7.15×10 ⁵)	80	0.015 (240)



1) 살수영역 및 비살수영역의 체적은 원자로건물 최대 자유체적을 기준으로 계산된다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.5-2 (2 중 2)

설명	부피	
	m ³	ft ³
(A) 원자로건물의 순자유체적(공칭) ¹⁾	79,004	2.79 × 10 ⁶
(B) 운전층(operating floor) 상부 총체적 ¹⁾ 핵연료재장전수로 체적 ¹⁾	62,863 1,994	2.22 × 10 ⁶ 7.04 × 10 ⁴
(C) 가압기격실 체적 ¹⁾ 증기발생기격실 체적 ¹⁾ IHA 및 하부영역 체적 ¹⁾ 안전주입탱크, 원자로건물송풍냉각기 및 이들의 하부영역 체적 ¹⁾	714 2,860 275 493	2.52 × 10 ⁴ 1.01 × 10 ⁵ 9.72 × 10 ³ 1.74 × 10 ⁴
순자유체적에 대한 살수영역의 체적분율 계산값 ²⁾ 요오드제거 분석에 사용된 값		76.2 % 75.0 %
비살수영역 체적분율 ³⁾		25.0 %

- 1) 살수영역의 체적분율 계산시 사용된 (A), (B), (C)항의 체적은 공칭체적을 기준으로 한다.
- 2) 살수영역 체적분율 계산은 $\frac{(B)-(C)}{(A)}$ 이다.
- 3) 보수적으로 보조살수영역은 비살수영역으로 고려된다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.5-3

원자로건물 내부 표면적에 대한 입력변수

기기/구조물	총면적		살수영역		비살수영역		표면도장재
	m ²	ft ²	m ²	ft ²	m ²	ft ²	
원자로건물 원통형 벽	5,991	64,493	3,698	39,810	2,293	24,682	에폭시
원자로건물 돔	2,996	32,246	2,996	32,246	0	0	에폭시
원자로건물 바닥 ¹⁾	1,053	11,332	0	0	1,053	11,332	에폭시
강판매설콘크리트	859	9,246	258	2,774	601	6,472	에폭시
콘크리트	8,009	86,212	2,403	25,864	5,606	60,348	에폭시
재장전 수조	1,105	11,892	1,105	11,892	0	0	-
크레인 및 브리지	3,685	39,662	3,685	39,662	0	0	에폭시
안전주입탱크	505	5,435	505	5,435	0	0	에폭시
철구조물-A	14,782	159,114	4,434	47,734	10,347	111,380	에폭시
철구조물-B	3,061	32,948	918	9,884	2,143	23,064	에폭시
철구조물-C	5,736	61,749	1,721	18,525	4,016	43,225	아연도금
철구조물-D	5,667	61,000	1,700	18,300	3,967	42,700	아연도금
철구조물-E	1,101	11,853	330	3,556	771	8,297	에폭시
철구조물-F	630	6,785	189	2,035	441	4,749	-
합계	55,180	593,967	23,942	257,717	31,238	336,249	

1) 원자로건물 바닥은 방출된 일차냉각재와 원자로건물살수에 의해 침수됨.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.5-4

살수에 의한 원소형요오드 제거계수에 대한 계산변수

기호	변수 이름	살수영역
Kg	기체상 질량전달계수(m/min)	3.00
T	살수액적의 낙하시간(min) ¹⁾	0.0258
F	살수유량, m ³ /sec (ft ³ /sec) ¹⁾	0.221 (7.80)
V	살수영역의 체적, m ³ (ft ³)	60,881 (2.15×10 ⁶)
D	살수액적의 평균직경(μm) ¹⁾	295

1) 살수노즐에서의 설계유량으로 한 계열의 원자로건물살수펌프만 작동되었다는 가정에 기초

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.5-5

살수에 의한 입자형요오드 제거계수에 대한 계산변수

기호	변수 이름	살수영역
h	살수액적의 낙하 높이, m (ft) ¹⁾	20.73 (68)
F	살수유량, m ³ /sec (ft ³ /sec) ²⁾	0.221 (7.80)
V	살수영역의 체적, m ³ (ft ³)	60,881 (2.15×10 ⁶)
E/D	평균액적 크기에 대한 집적효율의 비(m ⁻¹)	1.00



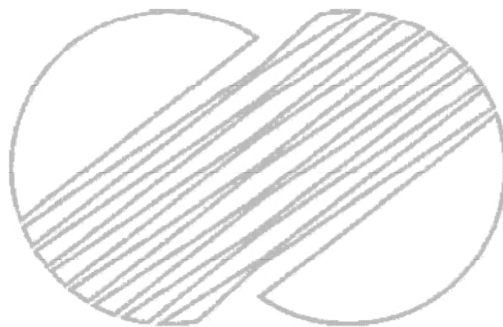
-
- 1) 최소 높이(평균높이 25.16 m (82.55 ft) B계열)
 - 2) 살수노즐에서의 설계유량으로 한 계열의 원자로건물살수펌프만 작동되었다는 가정에 기초

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.5-6

침적계수에 대한 계산변수

기호	변수 이름	살수영역	비살수영역
Kw	질량전달계수(m/hr)	4.90 ¹⁾	4.90 ¹⁾
A	총 침적 표면적, m ² (ft ²)	23,876 (2.57×10 ⁵)	31,215 (3.36×10 ⁵)
V	기체 체적, m ³ (ft ³)	60,881 (2.15×10 ⁶)	20,247 (7.15×10 ⁵)



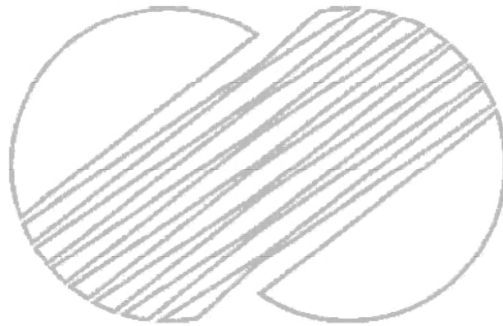
1) 보수적으로 NUREG/CR-0009에 기술되어 있는 가장 작은 질량전달계수를 가정

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.5-7

원소형요오드 제염계수에 대한 계산변수

기호	변수 이름	변수값
V _S	재순환작동 시 원자로건물 재순환집수조 내 냉각수 최소 체적 m ³ (ft ³)	1,852.0 (6.54×10 ⁴)
V _C	재순환집수조를 제외한 원자로건물 자유체적 m ³ (ft ³)	78,720.7 (2.78×10 ⁶)
H	평형요오드 분할계수	250



신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.5-8

동위원소별 침적가능한 요오드 량

동위원소	노심 내 요오드의 방사능(Bq)	노심 내 요오드의 양 (g)	노심으로부터 방출된 요오드의 양(g) ¹⁾
I-127	43.6(g-atoms)	5.54×10^3	2.77×10^3
I-129	1.58×10^{11}	2.38×10^4	1.29×10^4
I-131	3.04×10^{18}	7.34×10^2	3.62×10^2
I-132	4.42×10^{18}	1.10×10^1	5.50×10^0
I-133	6.56×10^{18}	1.52×10^2	7.60×10^1
I-134	7.69×10^{18}	7.49×10^0	3.75×10^0
I-135	6.29×10^{18}	4.62×10^1	2.31×10^1
I-137	3.32×10^{18}	2.51×10^{-2}	1.26×10^{-2}
I-138	1.67×10^{18}	3.27×10^{-3}	1.64×10^{-3}
방출 요오드 총량(g)			1.61×10^4

1) 보수적으로 노심 내 요오드의 양 중 50%가 방출되는 것으로 가정

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 6.5-9

요오드 제거계수의 요약

기호	계수구분	살수영역	비살수영역
λ_s	원소형요오드 제거계수(hr^{-1})	20.0	N/A
λ_p	입자형요오드 제거계수(hr^{-1})	0.407	N/A
λ_w	침적계수(hr^{-1}) ¹⁾	1.93	7.56
DF	원자로건물 살수에 의한 제염계수 ¹⁾	6.87	N/A
DF	침적에 의한 제염계수	100	100
DF	살수에 의한 입자형요오드의 제염계수 ²⁾	- ²⁾	N/A

1) 원소형요오드에 적용

2) 보수적으로 재순환시점에서 입자형요오드 제거가 멈춘다고 가정

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

6.6 2, 3 등급 기기의 가동중검사

이 절은 품질그룹 B와 C 기기의 가동중검사계획에 대해 기술한다.

KEPIC MN(해외 구매품목은 ASME Sec. III 적용) 2등급 및 3등급 압력용기, 배관, 펌프, 밸브, 볼트와 같은 압력지지 기기와 지지물(스너버 포함)에 대한 가동중검사는 원자력 안전위원회고시 제2016-11호(원자로시설의 가동중검사에 관한 규정) 및 KEPIC MI에 따라 수행된다. 또한 동 요건에 따라 가동전검사 및 가동중검사 계획문서를 작성하며, 이 문서에는 검사영역, 검사방법, 검사원 및 검사횟수에 대한 상세요건이 기술된다. 가동중검사 시에는 10 CFR 50.55a의 수정 및 제한사항을 적용한다.

127
141

6.6.1 검사 대상기기

품질그룹 B 및 C 기기들은 KEPIC 표 MIC 2500-1 및 MID 2500-1, 원자력안전위원회고시 제2016-11호(원자로시설의 가동중검사에 관한 규정)에 의하여 가동중검사를 수행하며 대상품목은 가능한 최대범위로 확장하여 적용코드 요건에 따라 가동중검사를 수행한다. 특별히 요구되는 검사는 가동중검사계획서에 기술된다.

127
141

6.6.2 접근성

KEPIC MN(해외 구매품목은 ASME Sec. III 적용) 2 등급 및 3 등급 계통기기는 코드에서 요구하는 검사수행을 위해 충분한 공간이 확보되도록 설계한다. 예외사항이 있으면 가동중검사계획서에 적절하게 접근할 수 있는 대체 검사방법이 기술되고 그 타당성이 제시된다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

6.6.3 검사기법 및 절차

KEPIC MI에 기술된 검사기법 및 절차를 사용한다. 예외사항이 있으면 가동중검사계획서에 대체검사기법 및 절차가 기술되고 그 타당성이 제시된다. 초음파검사 기량검증의 적용에 따른 장비 및 절차, 검사자의 자격부여는 관련 원자력안전위원회고시 제2016-11 호(원자로시설의 가동중 검사에 관한 규정)에 따른다. | 93 | 141

6.6.4 검사주기

KEPIC MN(해외 구매품목은 ASME Sec. III 적용) 2 등급 및 3 등급 계통기기의 검사주기 및 일정은 각각 KEPIC MIC 2400 및 MID 2400 검사계획 B에 따라 작성된다.

6.6.5 검사범주 및 요건

KEPIC MN(해외 구매품목은 ASME Sec. III 적용) 2 등급 및 3 등급 계통기기들의 가동중검사 범주는 KEPIC MIC 2000 및 MID 2000을 따른다.

6.6.6 검사결과 평가

KEPIC MN(해외 구매품목은 ASME Sec. III 적용) 2 등급 및 3 등급 계통기기의 검사결과 평가와 보수 절차서는 각각 KEPIC MIC 3000 및 MID 3000을 따른다.

6.6.7 계통 압력시험

KEPIC MN(해외 구매품목은 ASME Sec. III 적용) 2 등급 및 3 등급의 계통 압력시험에 대한 계획은 각각 KEPIC MIC 5000 및 MID 5000을 따른다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

6.6.8 가상 배관파단사고로부터 보호하기 위한 추가 가동중검사

파단면제 설계가 적용된 고에너지 유체계통 배관의 용접부(3.6.2절에 기술되어 있음)는 추가 가동중검사를 받는다. 이러한 배관은 보조급수펌프에 증기를 공급하는 배관 및 일부 분기관을 포함한 주증기배관, 주급수계통의 이코노마이저 및 다운커머배관, 증기발생기 취출계통배관, 그리고 화학 및 체적제어계통 유출수 배관이다. 이 배관 계통을 위해 설치된 구조물 및 보호관 같은 방호설비는 KEPIC MI에 따른 가동중검사를 수행하는 데 방해가 되지 않도록 설계한다.

각 검사주기 동안 추가 가동중검사는 원자로건물 관통부로부터 외부격리밸브를 지나 첫 번째 앵커 사이에 있는 주증기배관, 주급수계통의 이코노마이저 및 다운커머 배관, 증기발생기취출계통 배관, 그리고 화학 및 체적제어 계통 유출수 배관의 모든용접부에 대하여 100 % 체적검사를 포함한다.

6.6.9 코드 면제사항

KEPIC MIC 1220, 원자력안전위원회고시 제2016-11호(원자로시설의 가동중검사에 관한 규정) 및 10 CFR 50.55a에 허용되는 검사요건의 면제사항은 가동중검사계획서에 기록한다.

127 | 141

6.6.10 시험 및 검사 완화신청

코드요건의 완화신청은 10 CFR 50.55a 및 원자력안전위원회고시 제2016-11호(원자로시설의 가동중검사에 관한 규정)에 따른다.

141

6.6.11 참고문헌

1. KEPIC MI : 원전 가동중검사