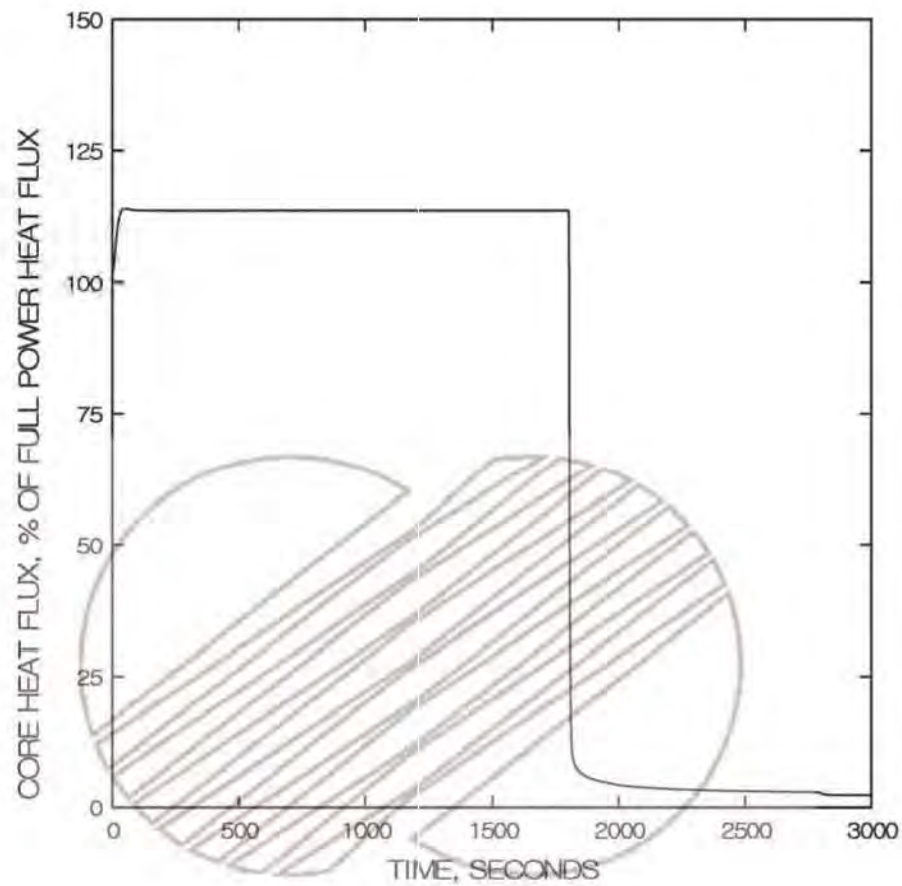


한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

증기발생기 대기방출밸브의 부주의한 개방사건
: 시간에 따른 노심 출력 변화

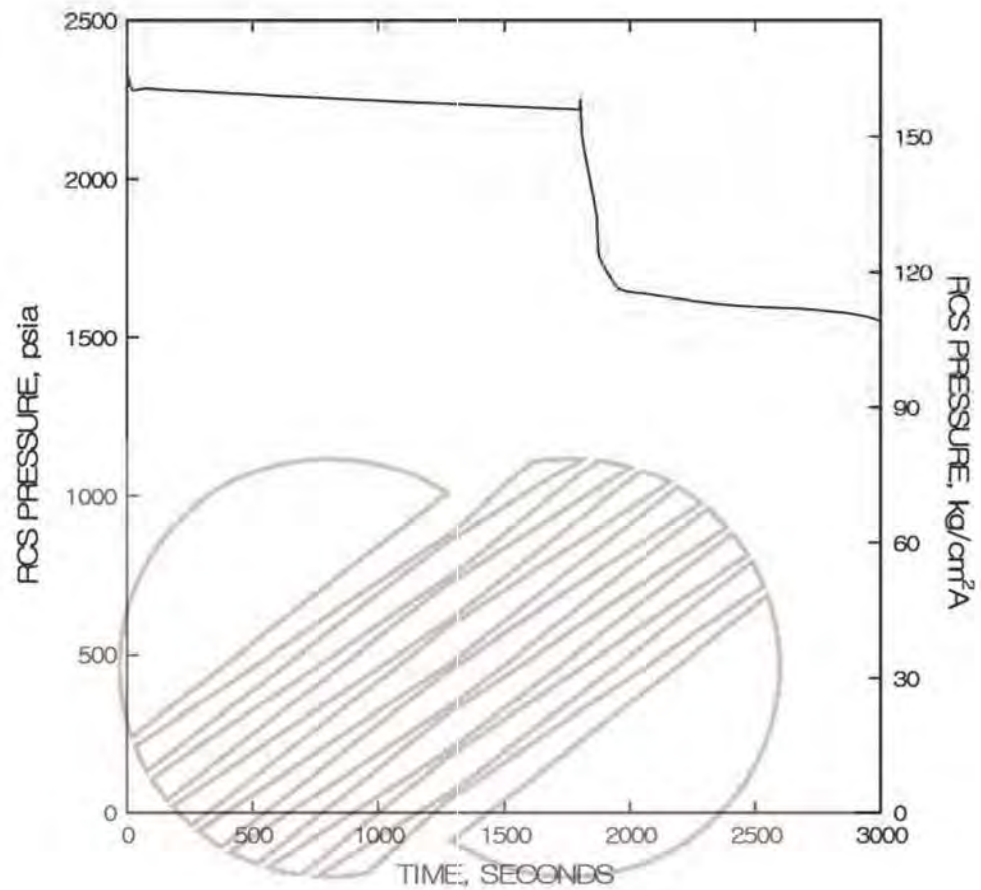
그림 15.1.4-1



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

증기발생기 대기방출밸브의 부주의한 개방사건
: 시간에 따른 노심 열속 변화

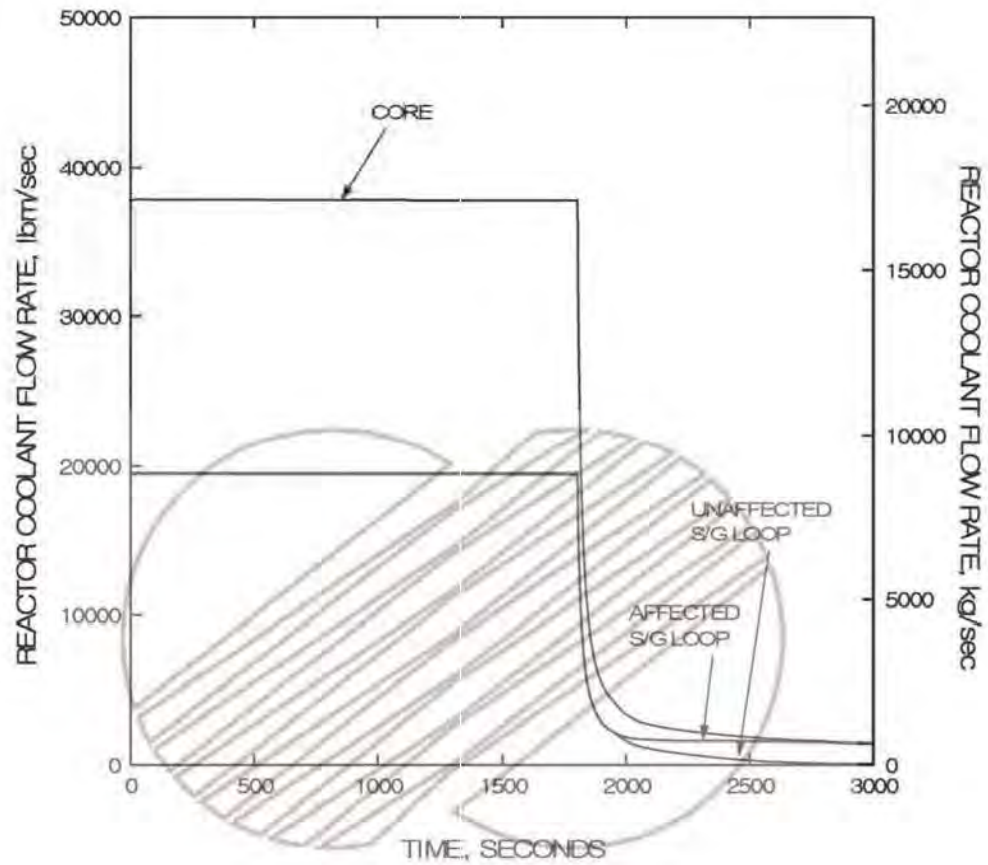
그림 15.1.4-2



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

증기발생기 대기방출밸브의 부주의한 개방사건
: 시간에 따른 원자로냉각재계통 압력 변화

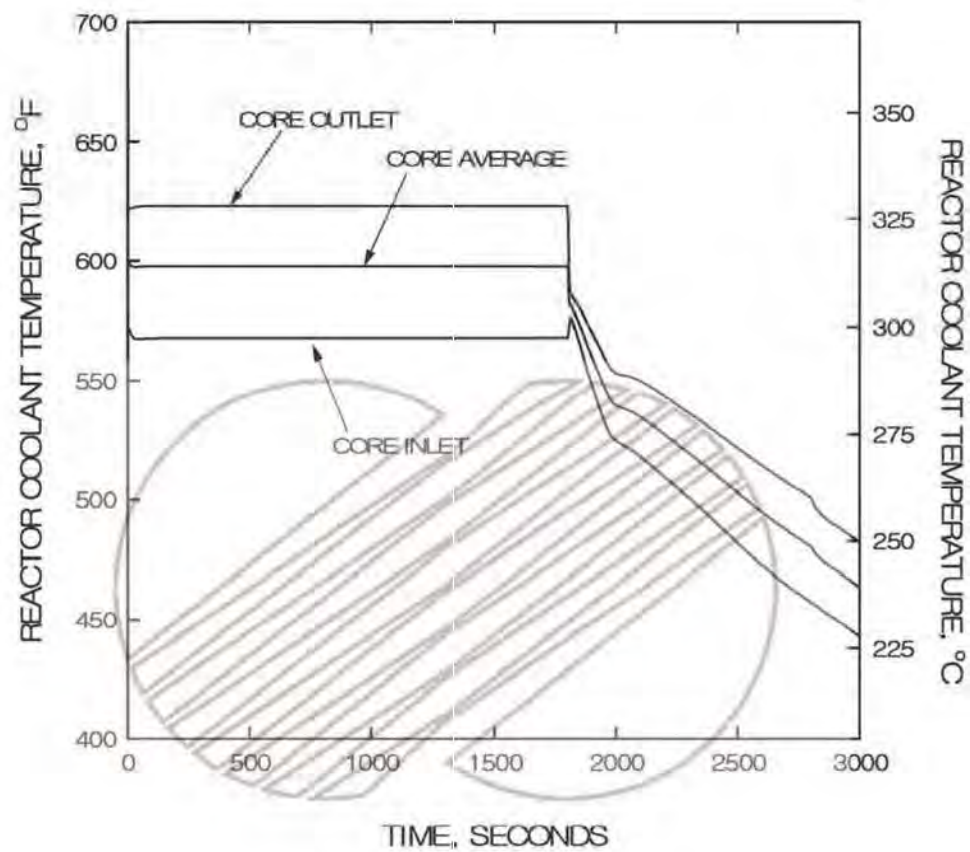
그림 15.14-3



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

증기발생기 대기방출밸브의 부주의한 개방사건
: 시간에 따른 원자로냉각재 유량 변화

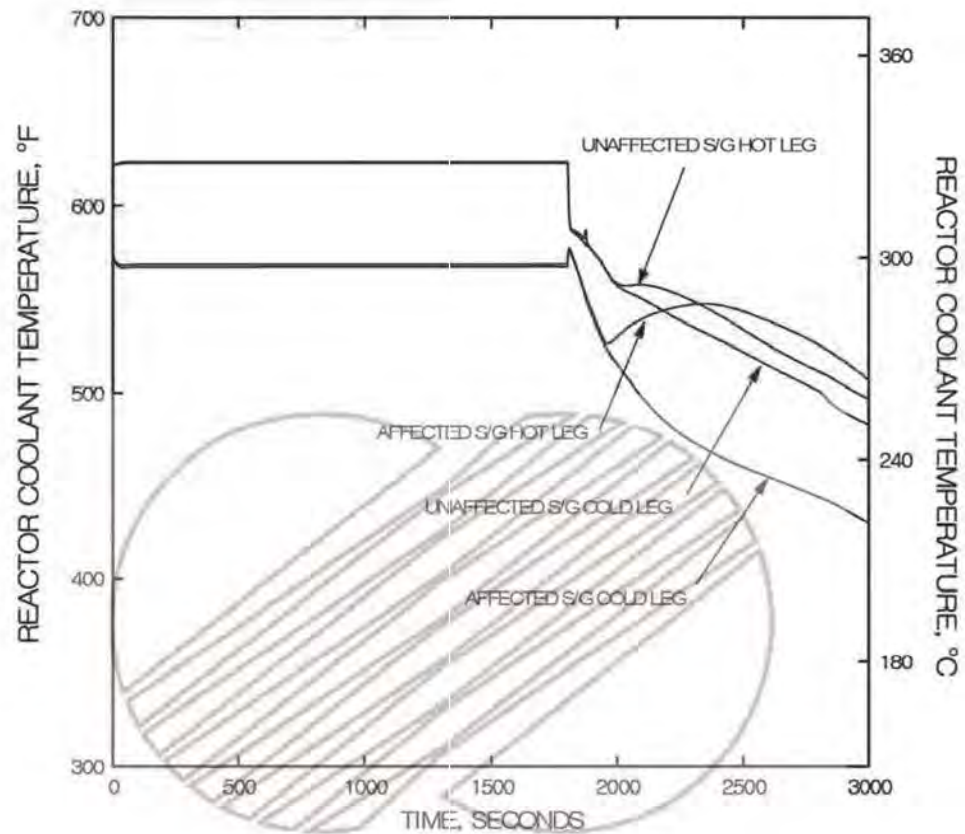
그림 15.1.4-4



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

증기발생기 대기방출밸브의 부주의한 개방사건
: 시간에 따른 원자로냉각재 온도 변화(1)

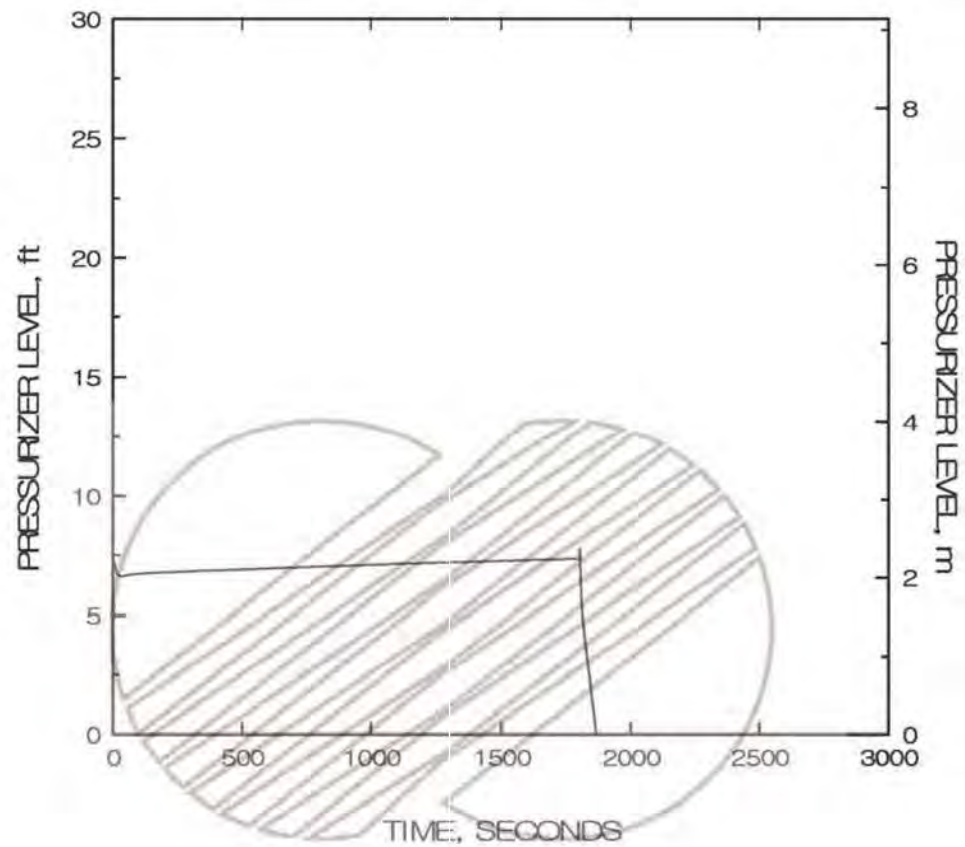
그림 15.1.4-5



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

증기발생기 대기방출밸브의 부주의한 개방사건
: 시간에 따른 원자로냉각재 온도 변화(2)

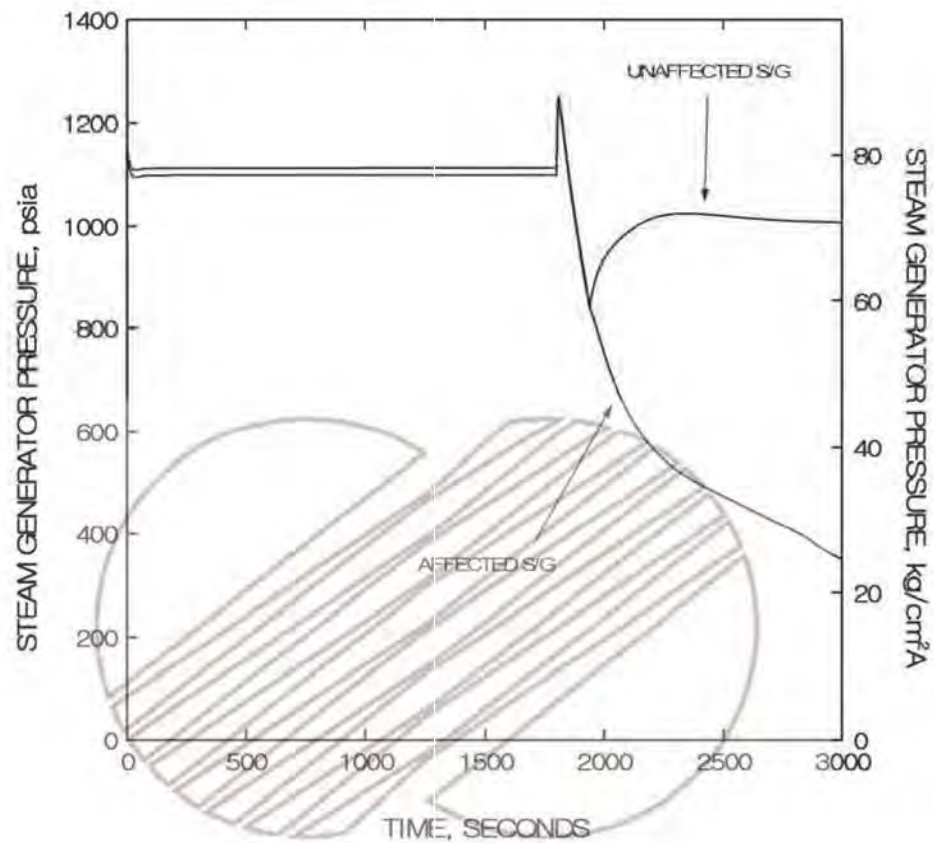
그림 15.1.4-6




한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

증기발생기 대기방출밸브의 부주의한 개방사건
: 시간에 따른 가압기 수위 변화

그림 15.1.4-7

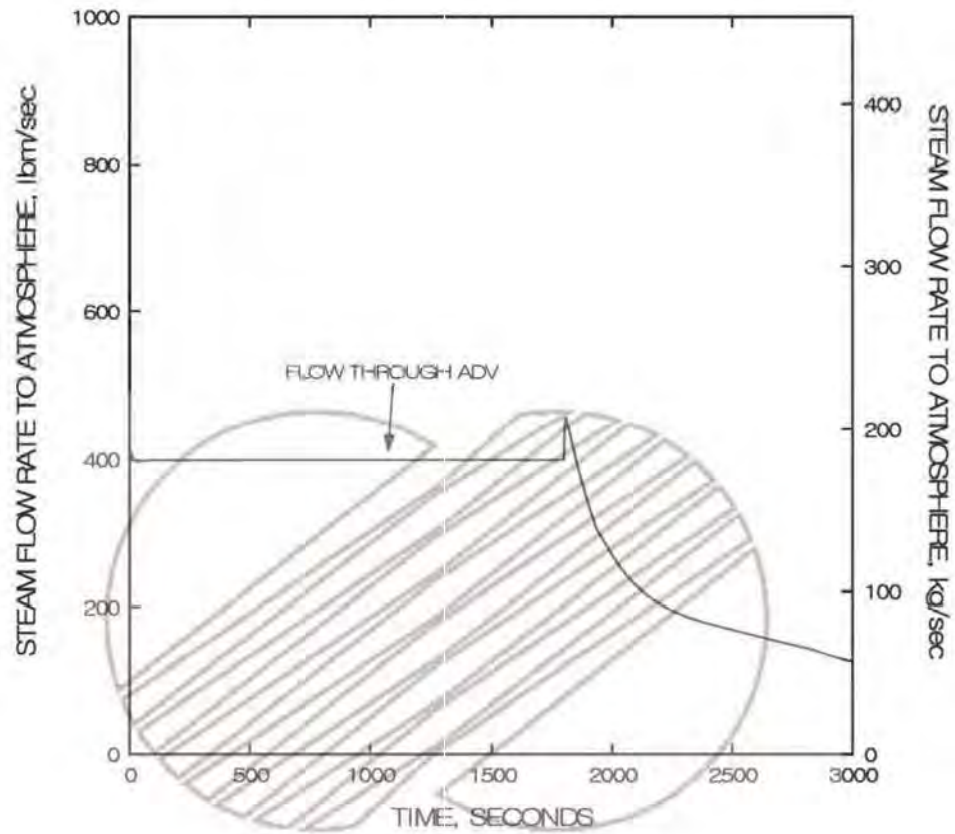




한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

증기발생기 대기방출밸브의 부주의한 개방사건
: 시간에 따른 증기발생기 압력 변화

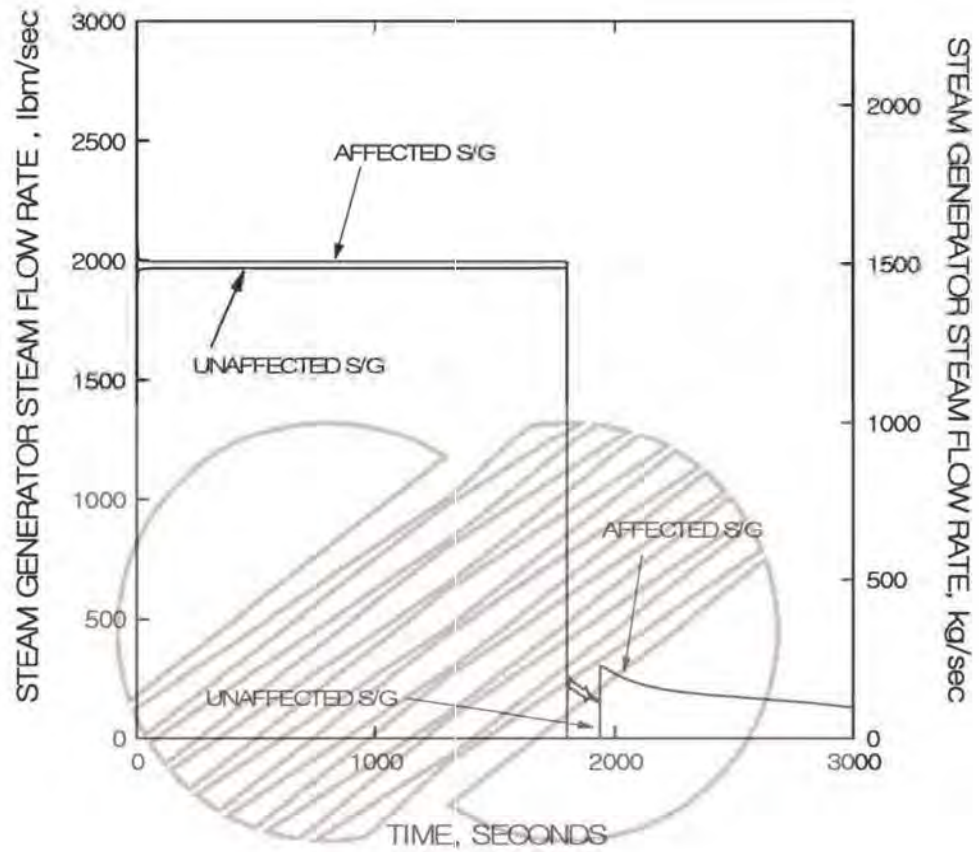
그림 15.1.4-8



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

증기발생기 대기방출밸브의 부주의한 개방사건
: 시간에 따른 대기로의 증기 방출 유량 변화

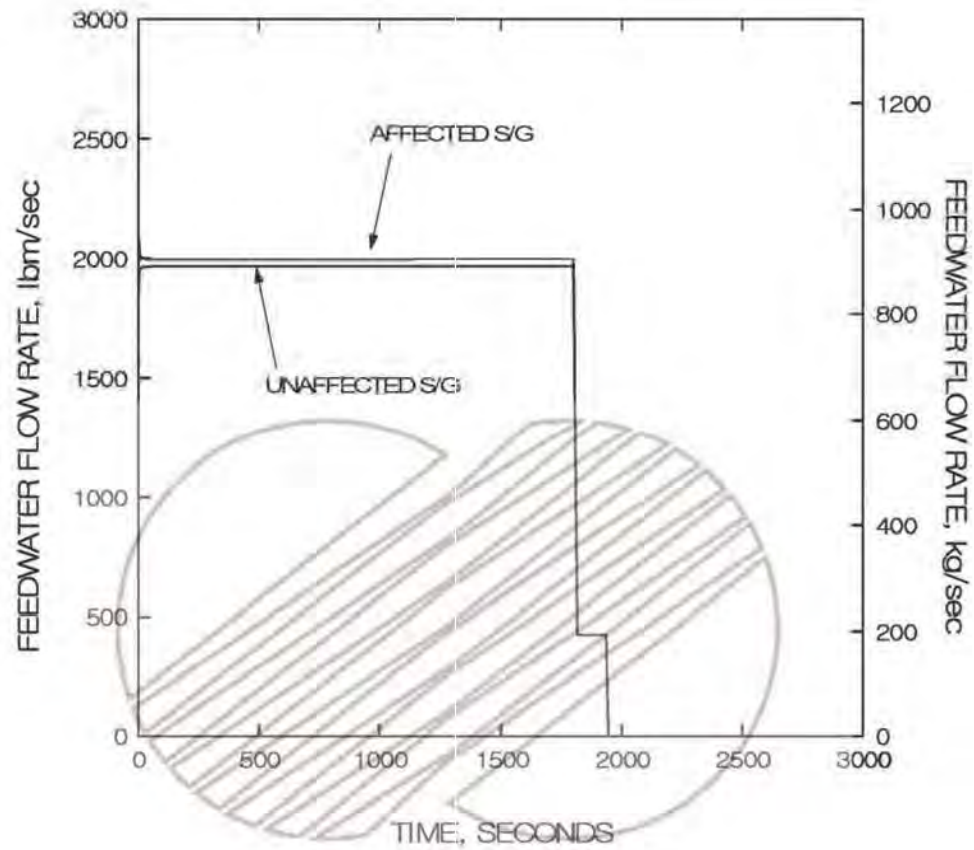
그림 15.14-9



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

증기발생기 대기방출밸브의 부주의한 개방사건
: 시간에 따른 증기발생기 증기 유량 변화

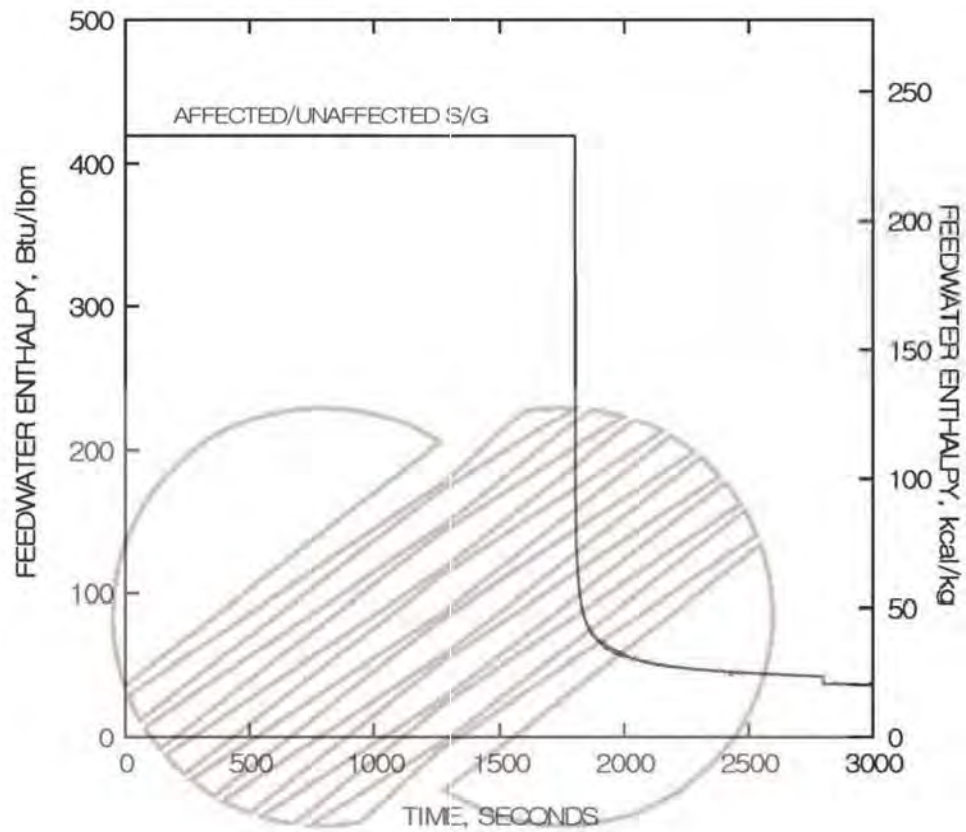
그림 15.1.4-10



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

증기발생기 대기방출밸브의 부주의한 개방사건
: 시간에 따른 급수 유량 변화

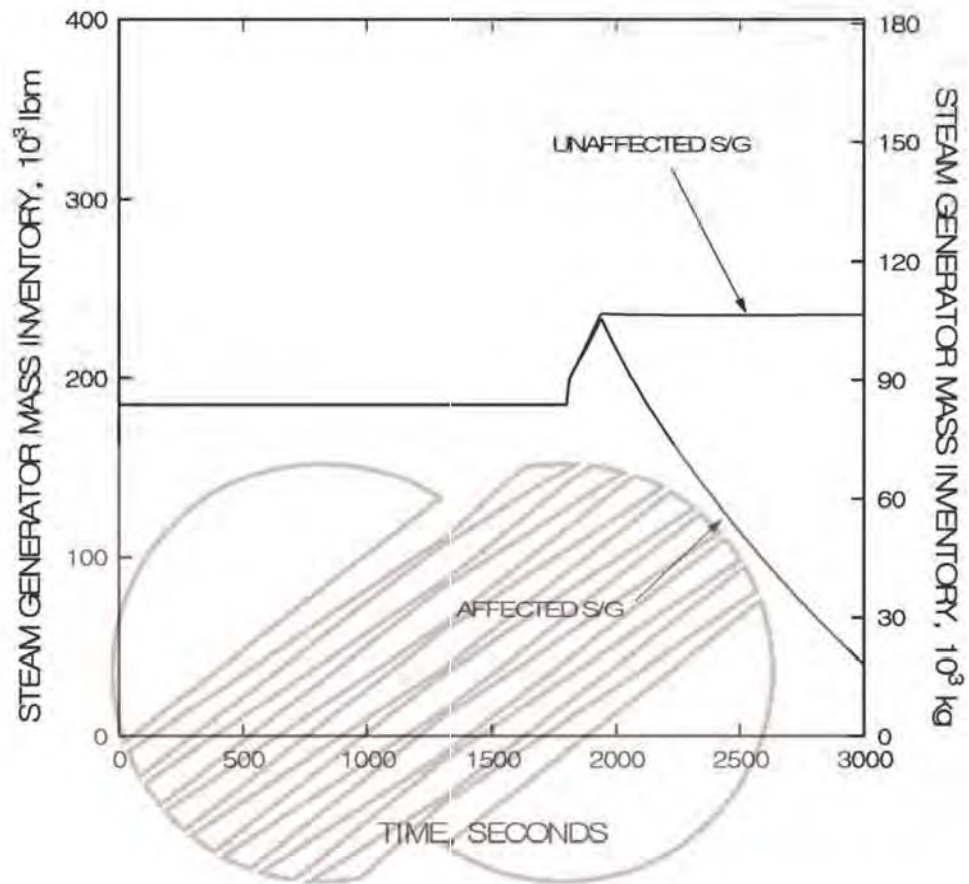
그림 15.1.4-11



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

증기발생기 대기방출밸브의 부주의한 개방사건
: 시간에 따른 급수 엔탈피 변화

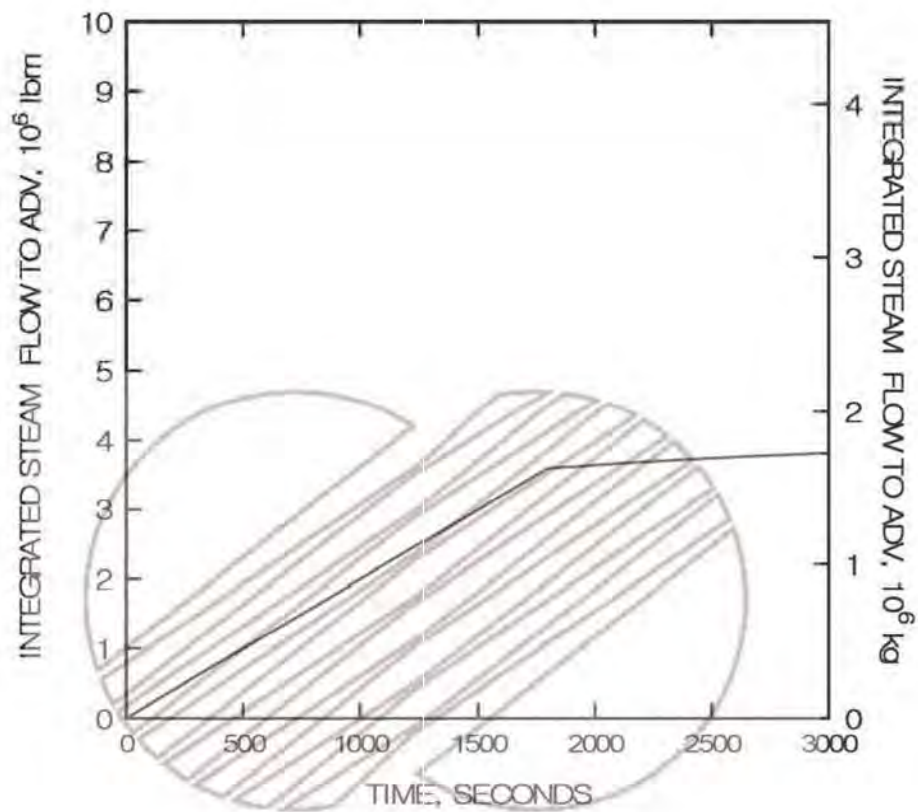
그림 15.1.4-12



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

증기발생기 대기방출밸브의 부주의한 개방사건
: 시간에 따른 증기발생기 재고량 변화

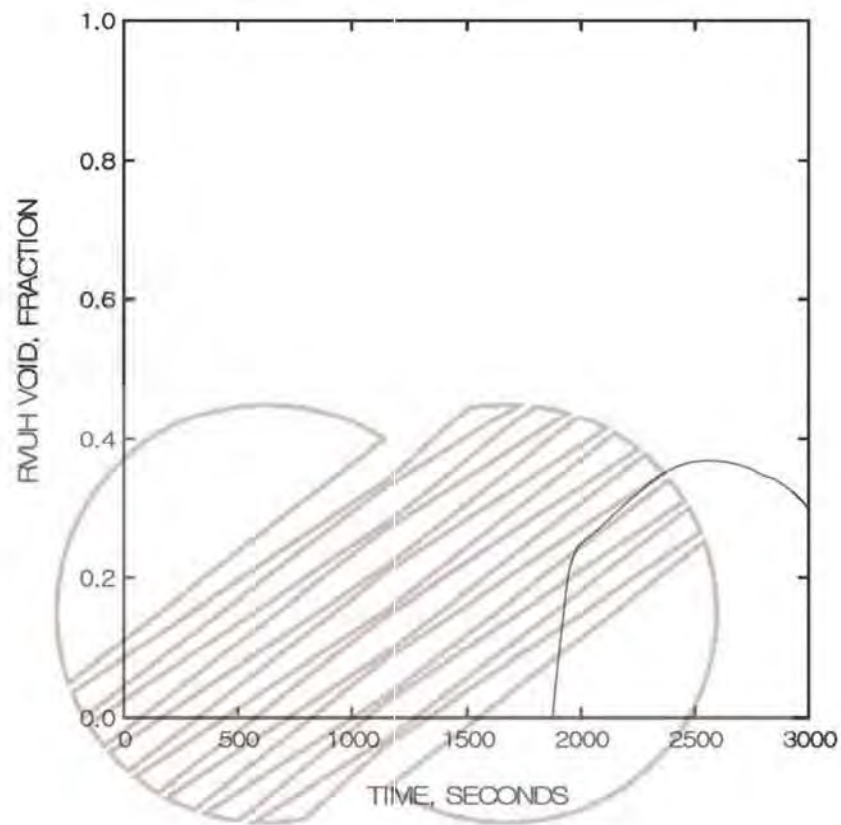
그림 15.1.4-13



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

증기발생기 대기방출밸브의 부주의한 개방사건
: 시간에 따른 대기로의 총증기량 변화

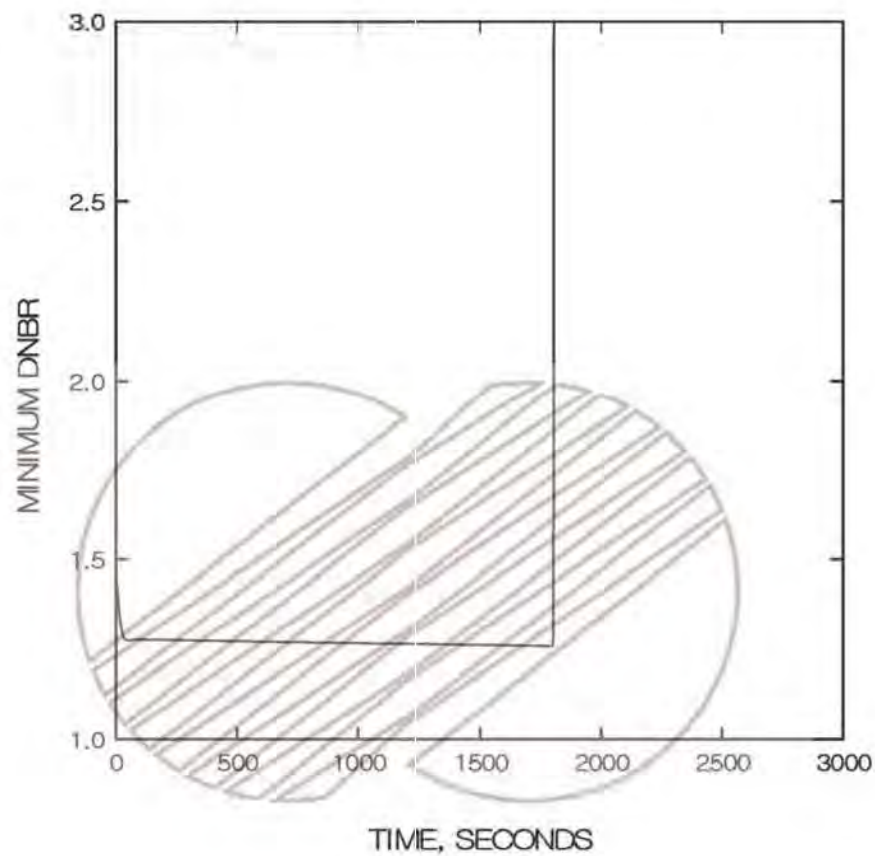
그림 15.1.4-14



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

증기발생기 대기방출밸브의 부주의한 개방사건
: 시간에 따른 원자로용기 상부헤드 기포분률
변화

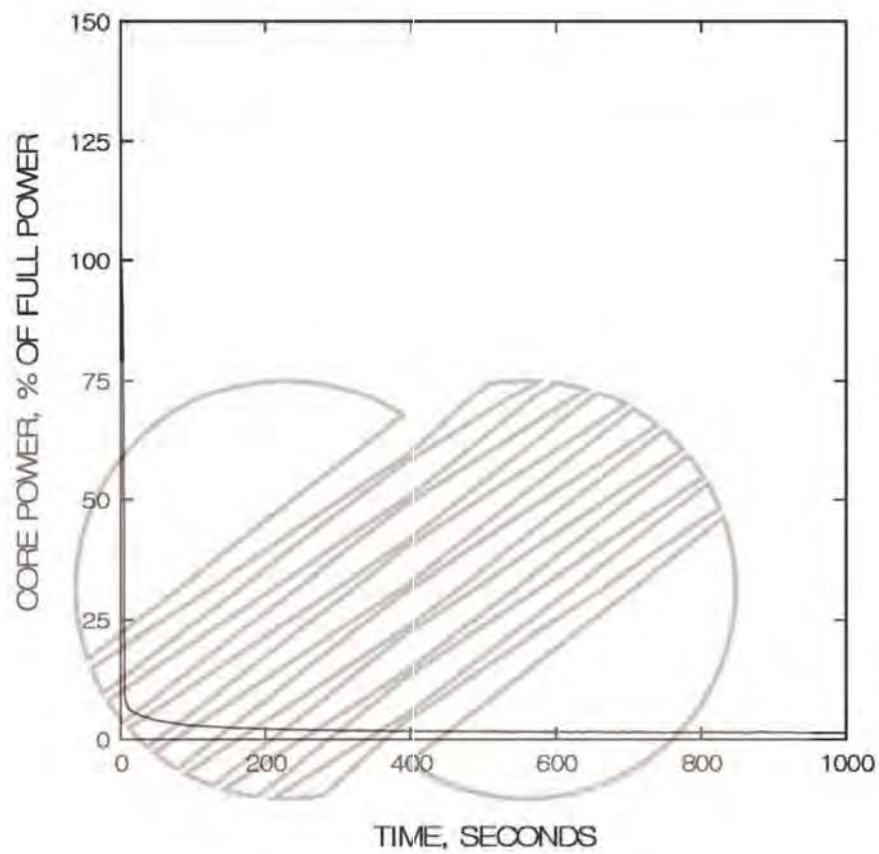
그림 15.1.4-15



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

증기발생기 대기방출밸브의 부주의한 개방사건
: 시간에 따른 최소 핵비등이탈률 변화

그림 15.1.4-16



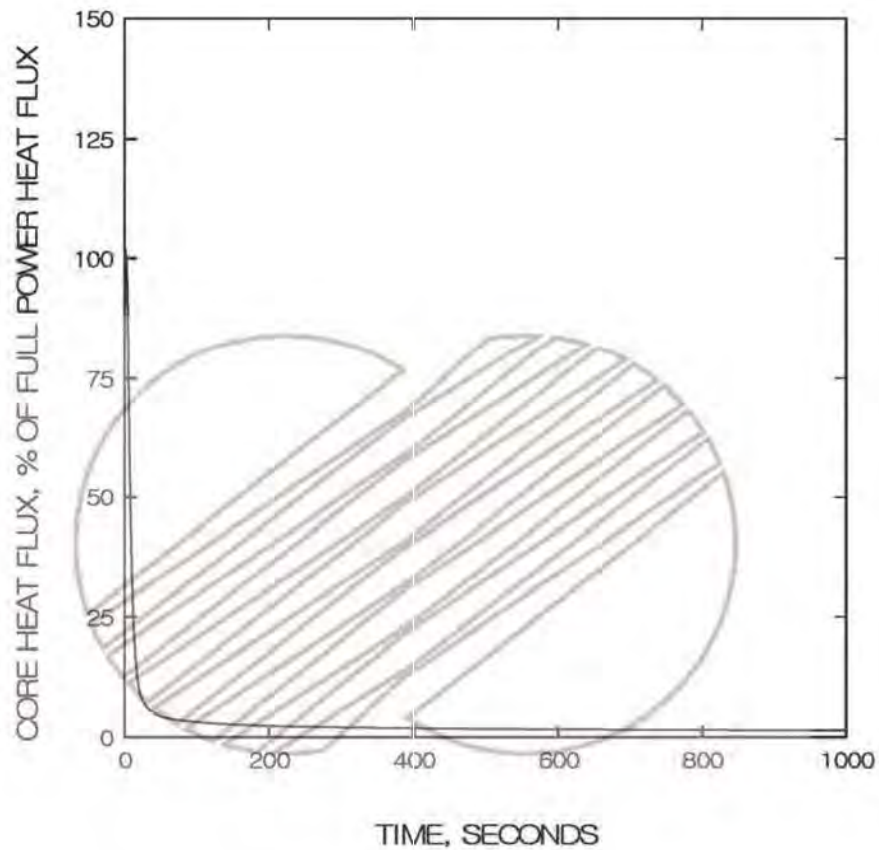
33
115



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원상실을 수반한
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 노심출력 변화

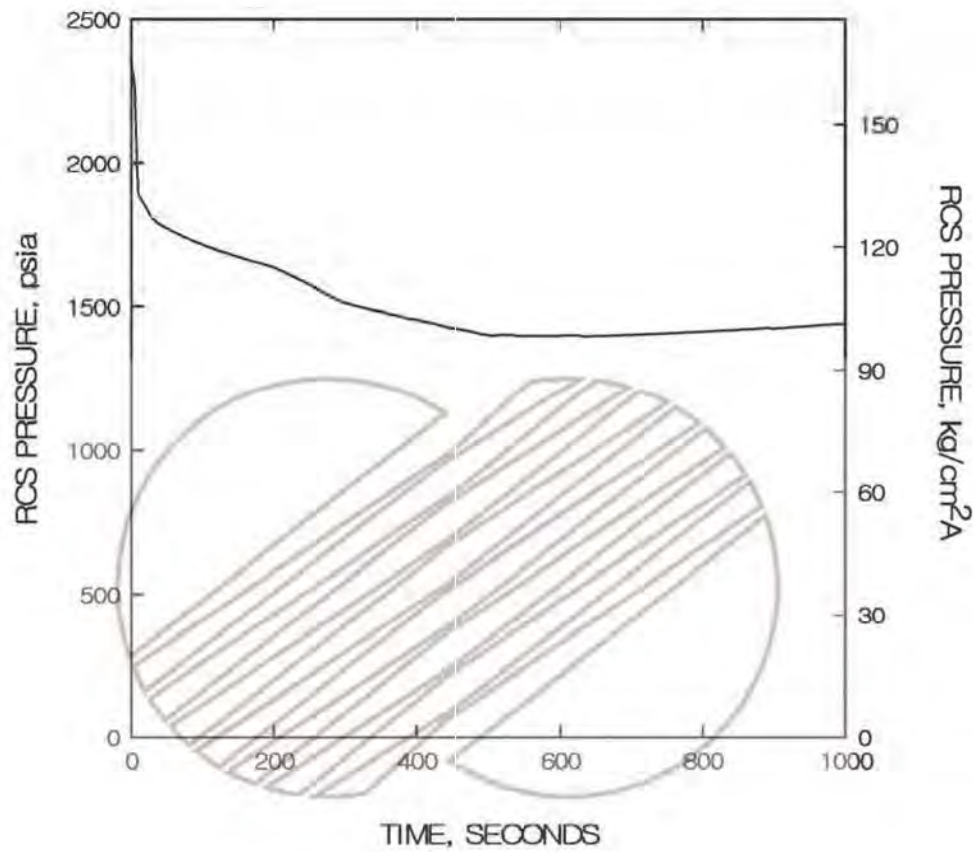
그림 15.15-1



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원상실을 수반한
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 노심열속 변화

그림 15.15-2



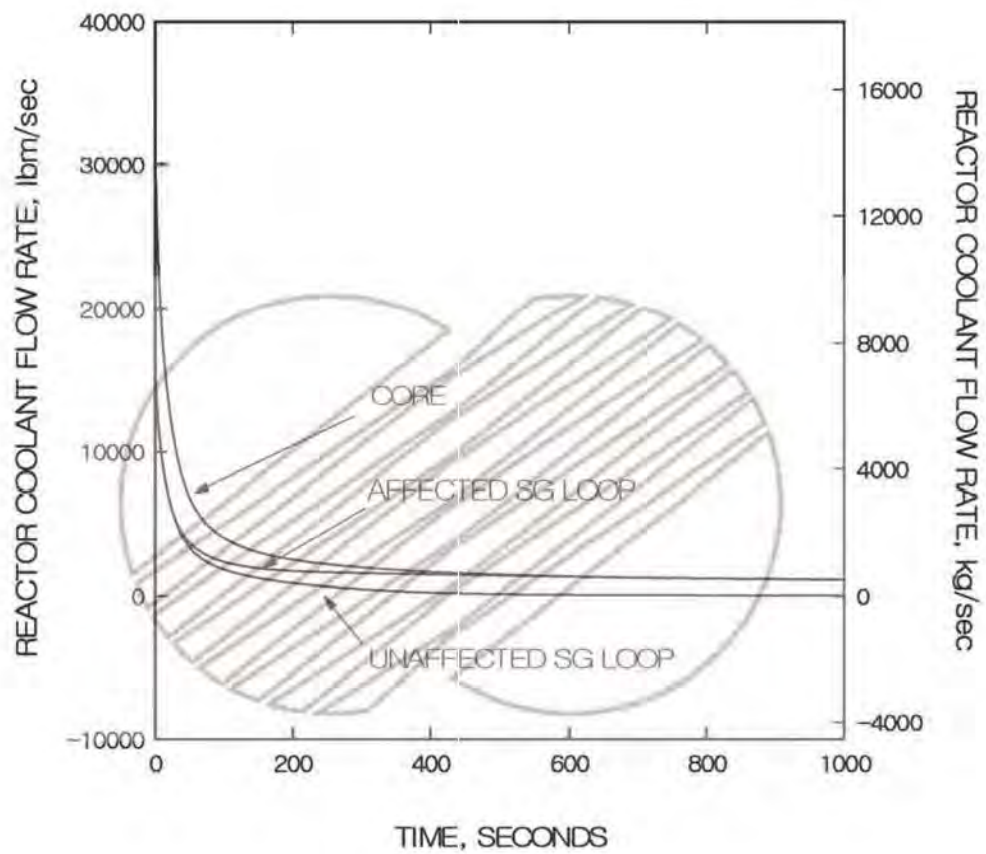
33
115



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원상실을 수반한
대형증기관파단사고 : 시간에 따른
원자로냉각제계통 압력 변화

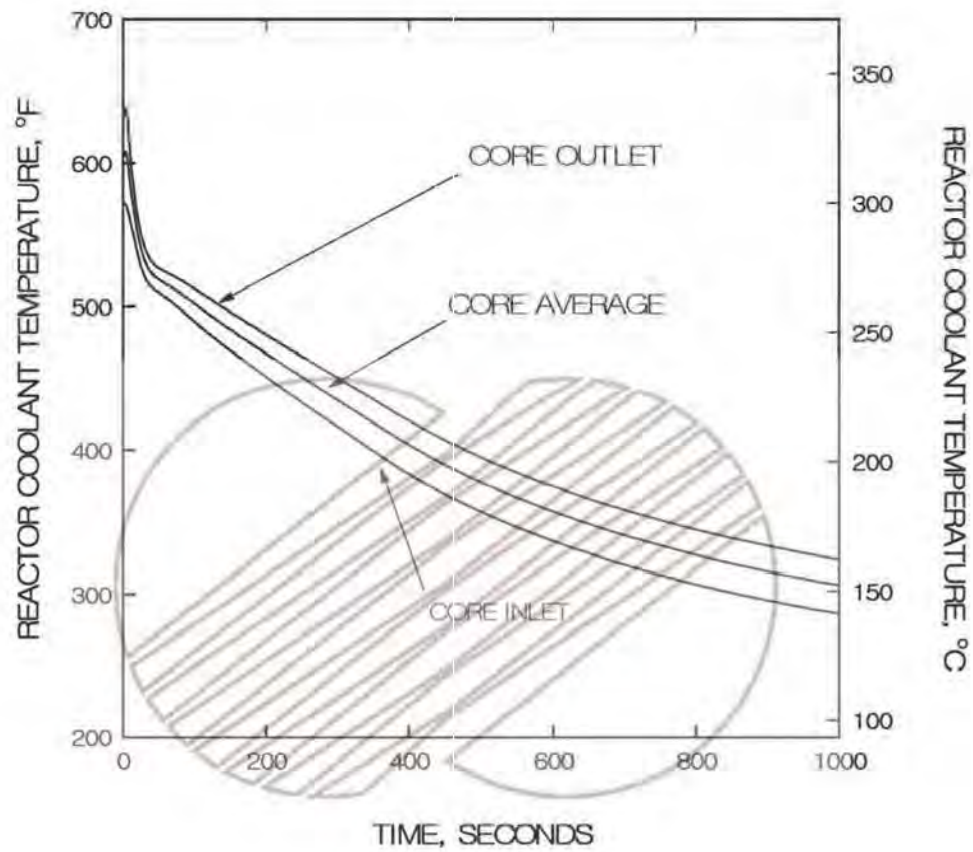
그림 15.15-3



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원상실을 수반한
대형증기관파단사고 : 시간에 따른
원자로냉각재 유량 변화

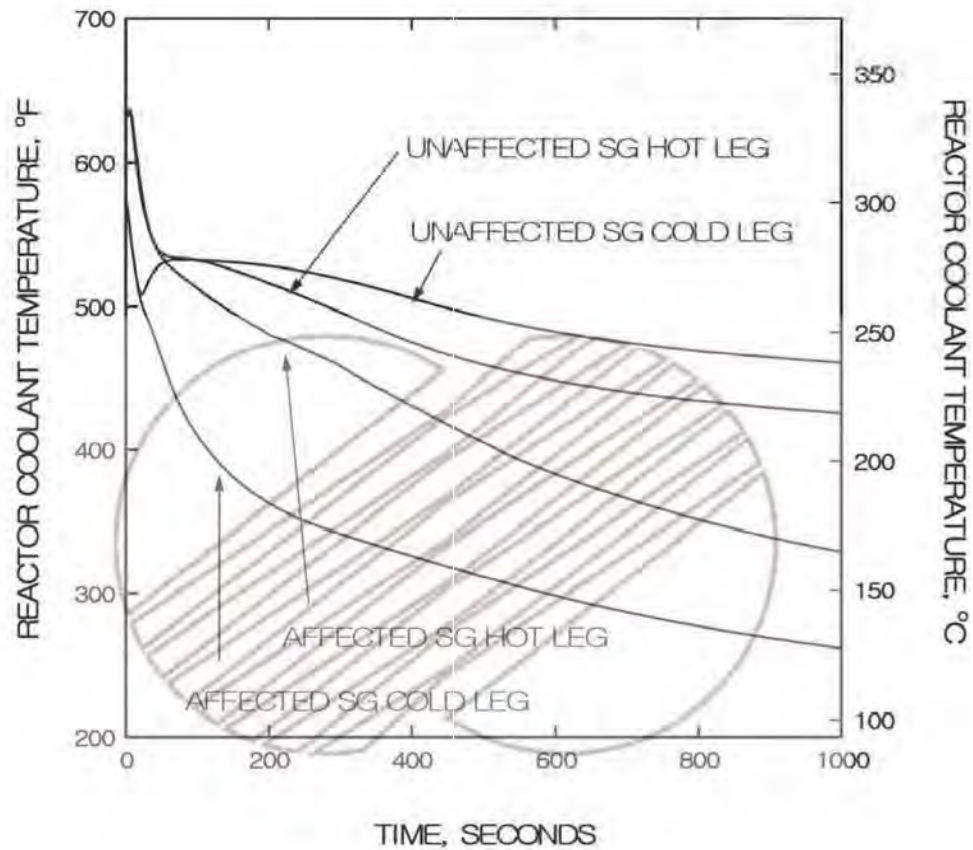
그림 15.1.5-4



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원상실을 수반한
대형증기관파단사고 : 시간에 따른
원자로냉각재 온도 변화(1)

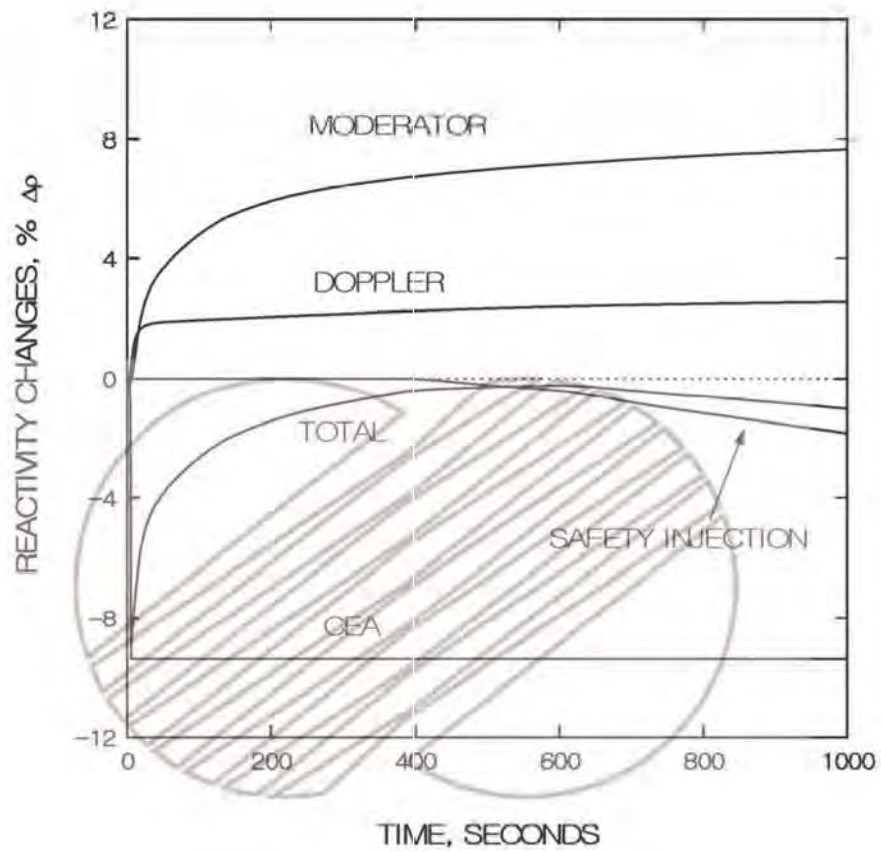
그림 15.1.5-5



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원상실을 수반한
대형증기관파단사고 : 시간에 따른
원자로냉각재 온도 변화(2)

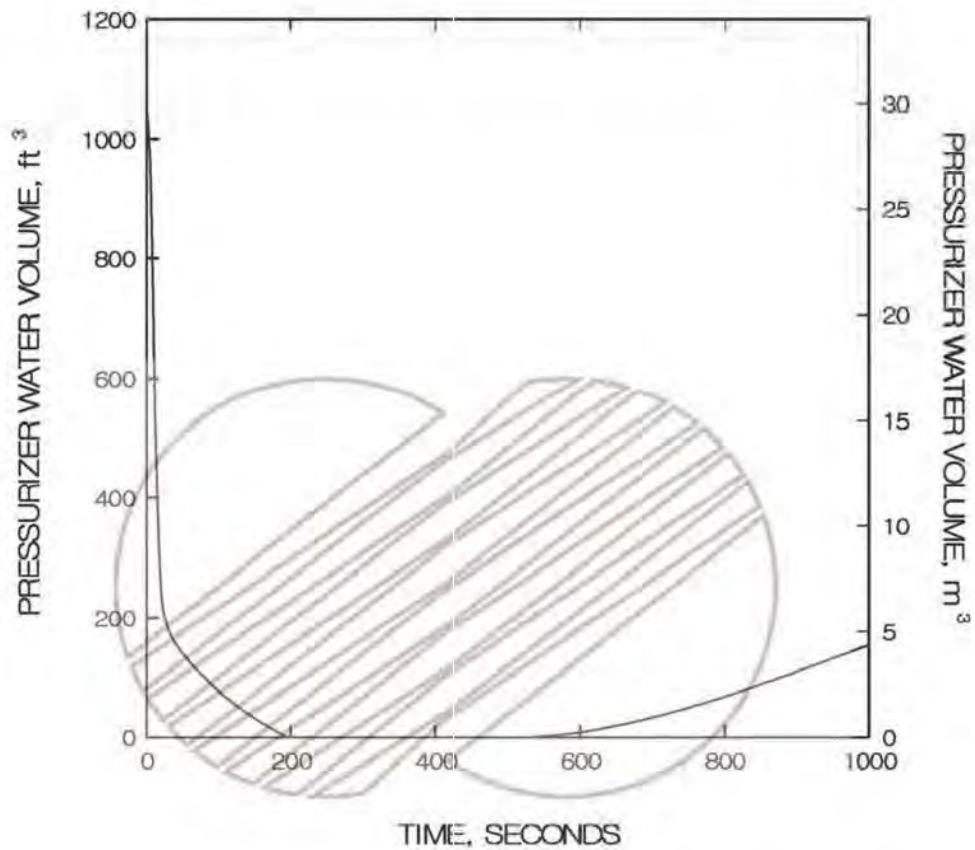
그림 15.15-6



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원상실을 수반한
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 각종 반응도 변화

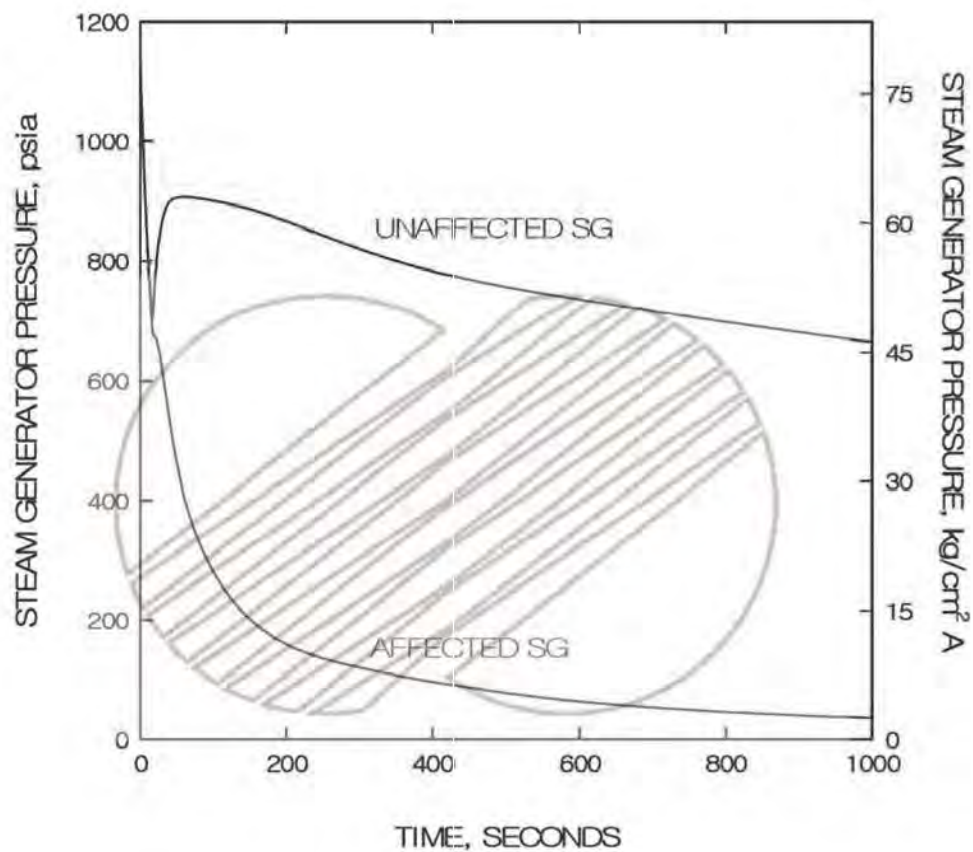
그림 15.1.5-7



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원상실을 수반한
대형증기관파단사고 : 시간에 따른 가압기
냉각재 제적 변화

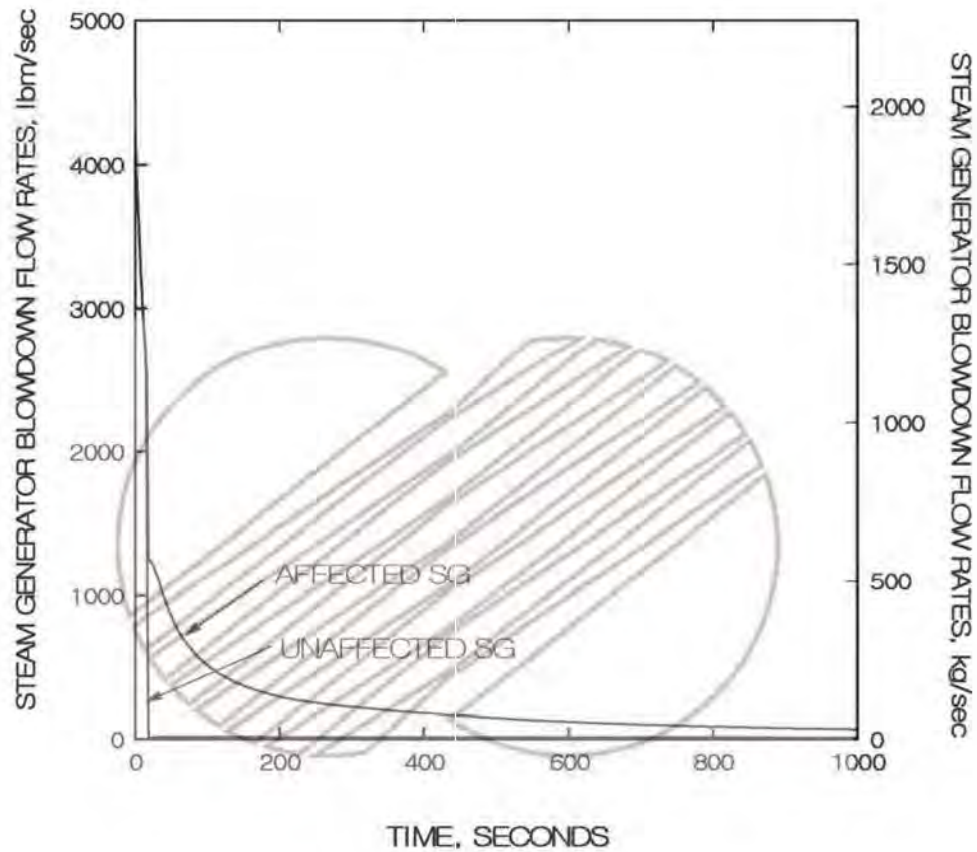
그림 15.1.5-8



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원상실을 수반한
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 증기발생기 압력 변화

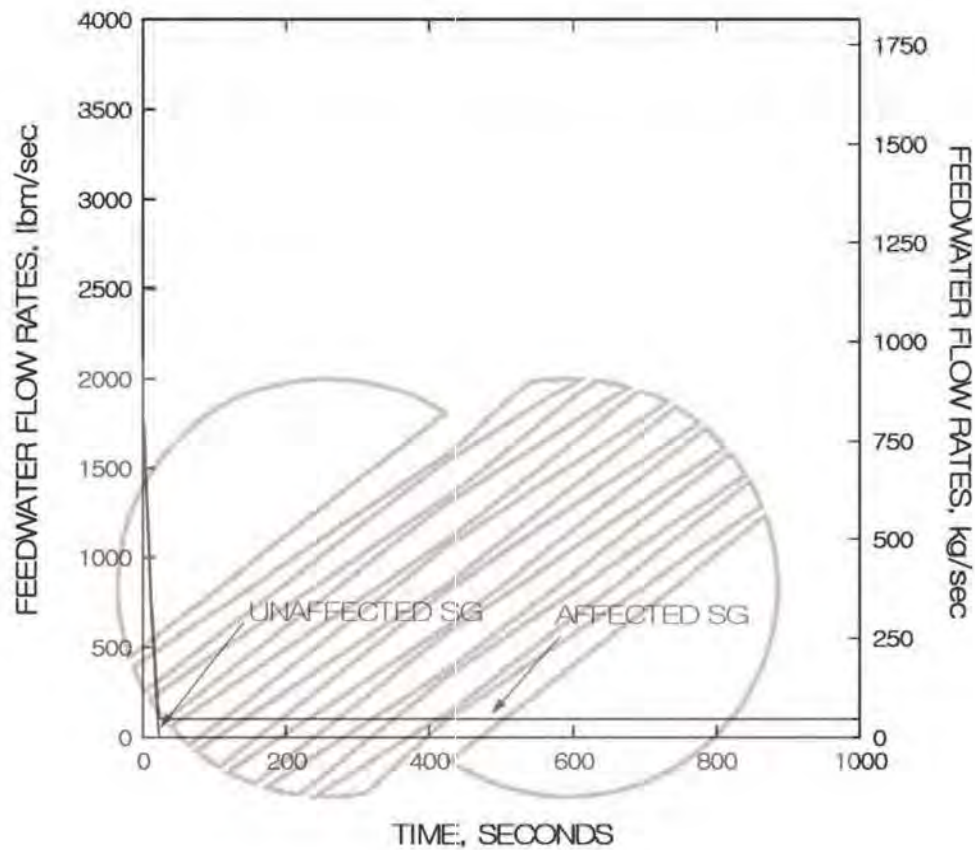
그림 15.15-9



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원상실을 수반한
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 증기발생기 방출유량 변화

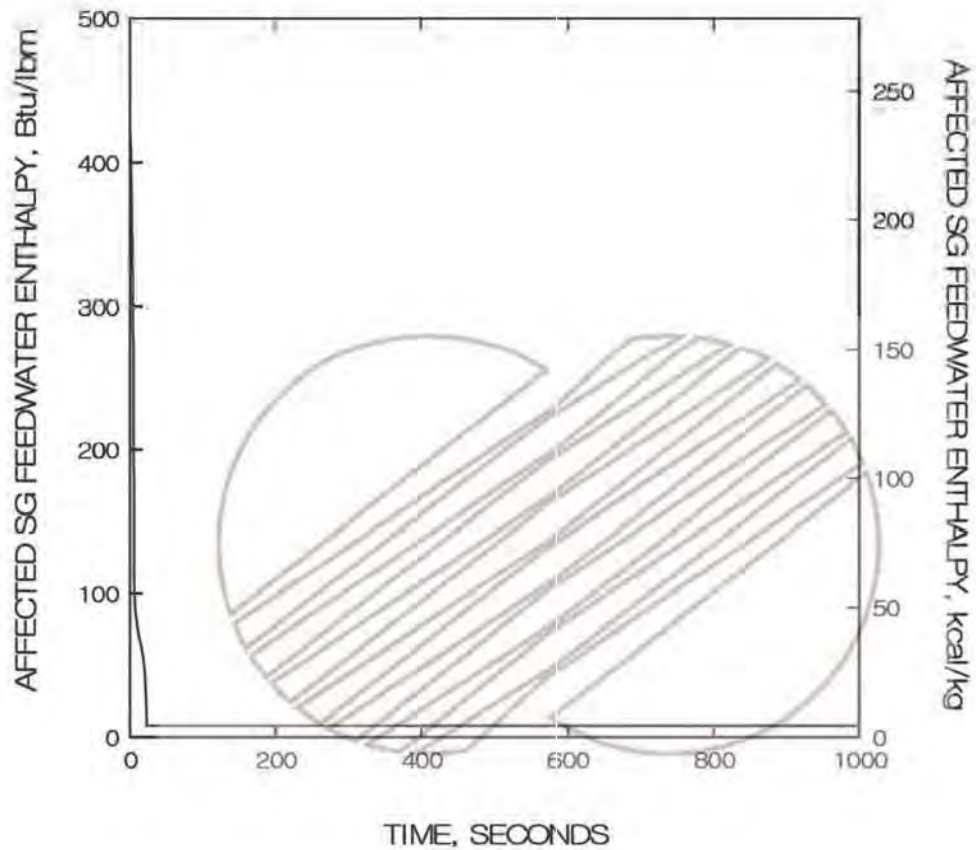
그림 15.15-10



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원상실을 수반한
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 급수유량 변화

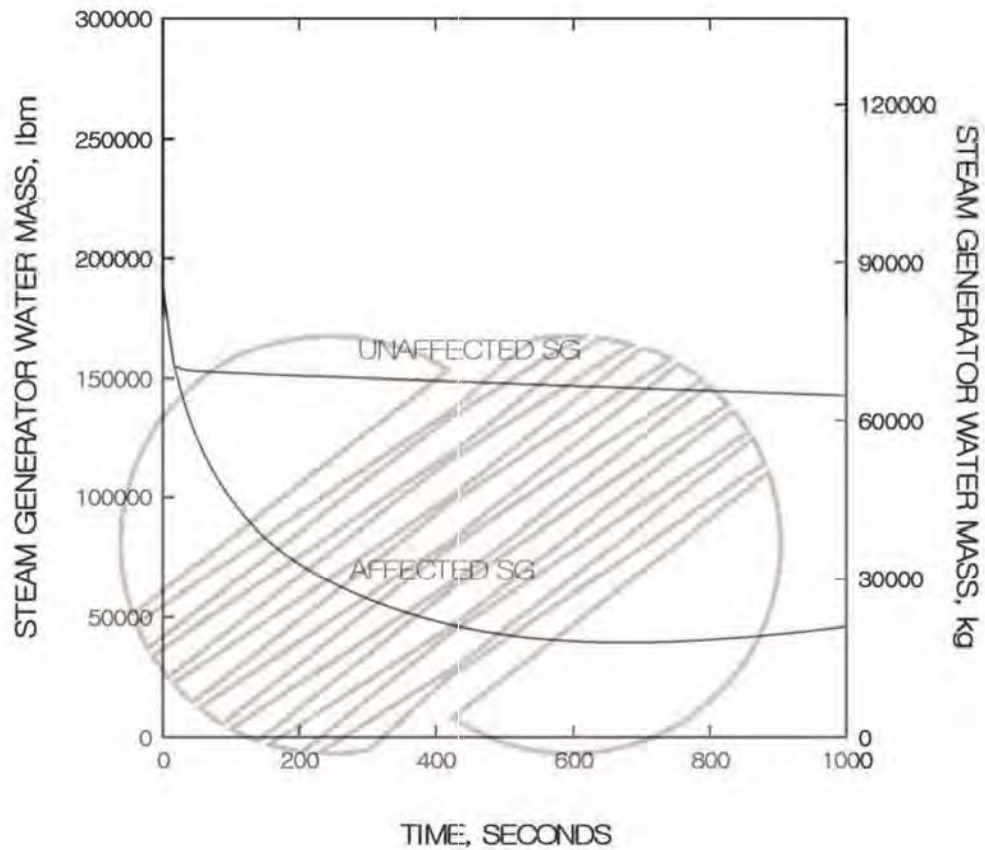
그림 15.15-11



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원상실을 수반한
대형증기관파단사고 ;
시간에 따른 급수 엔탈피 변화

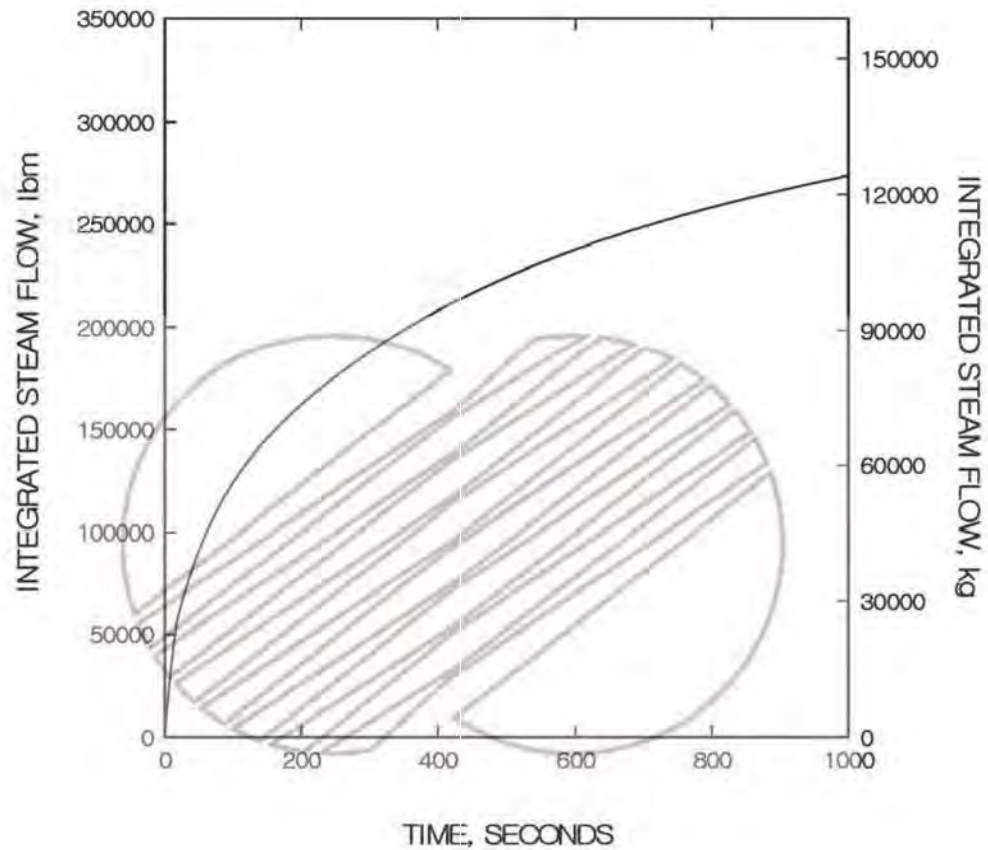
그림 15.1.5-12



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원상실을 수반한
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 증기발생기 재고량 변화

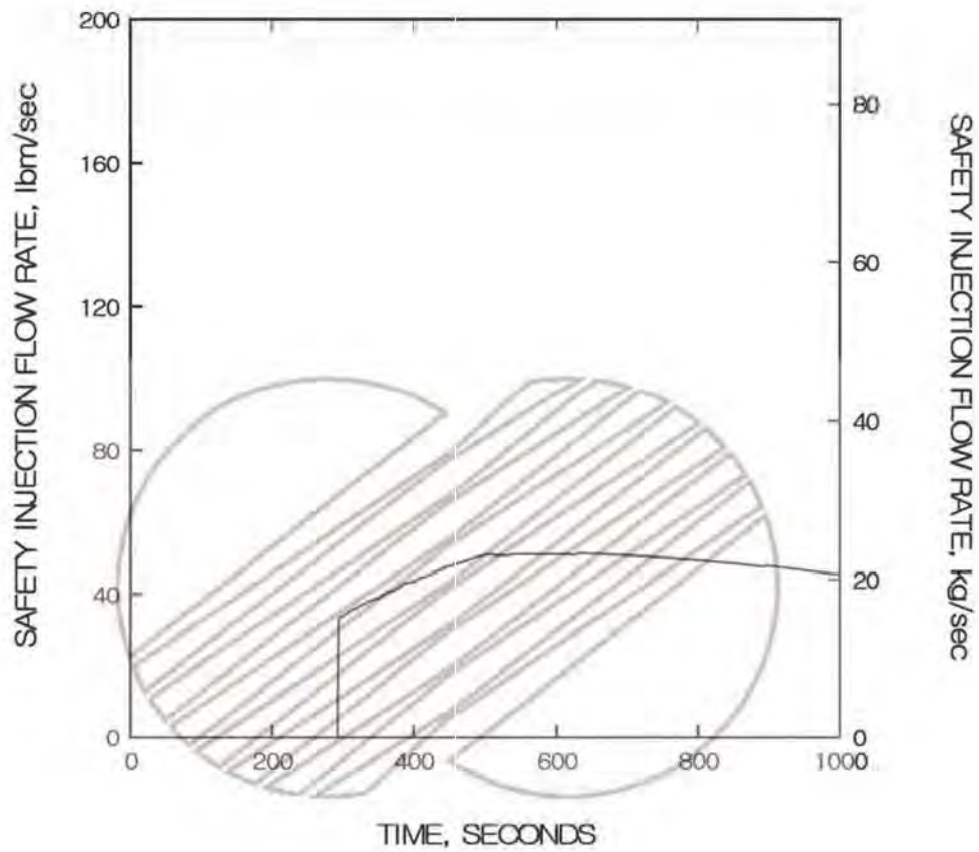
그림 15.15-13



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원상실을 수반한
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 누적 증기방출량 변화

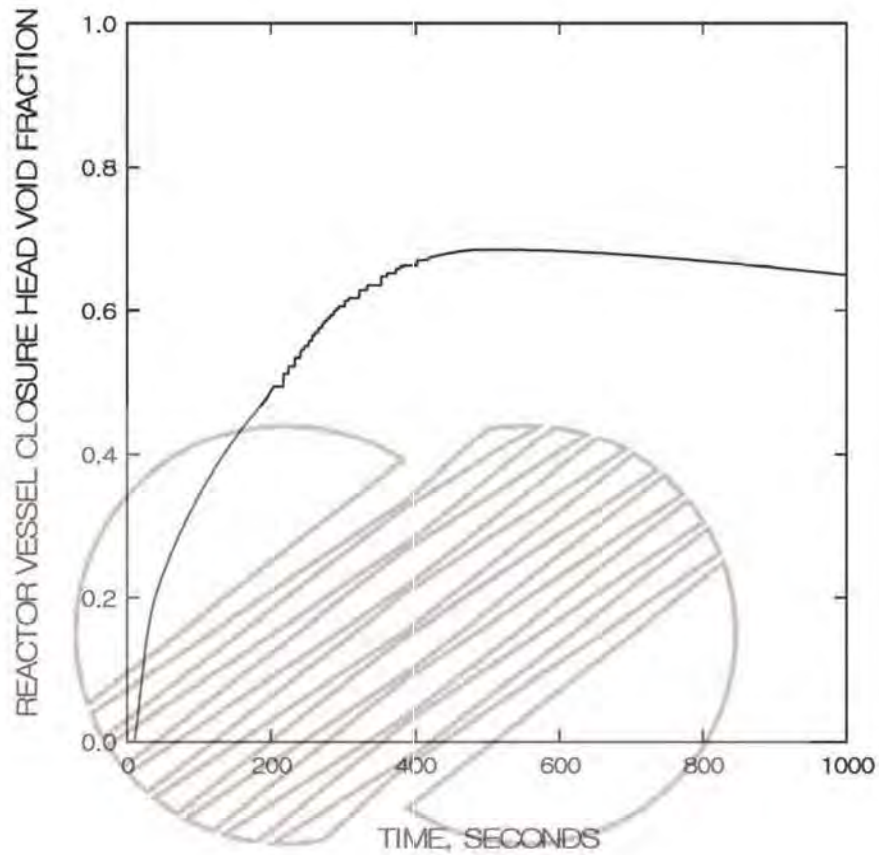
그림 15.15-14



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원상실을 수반한
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 안전주입유량 변화

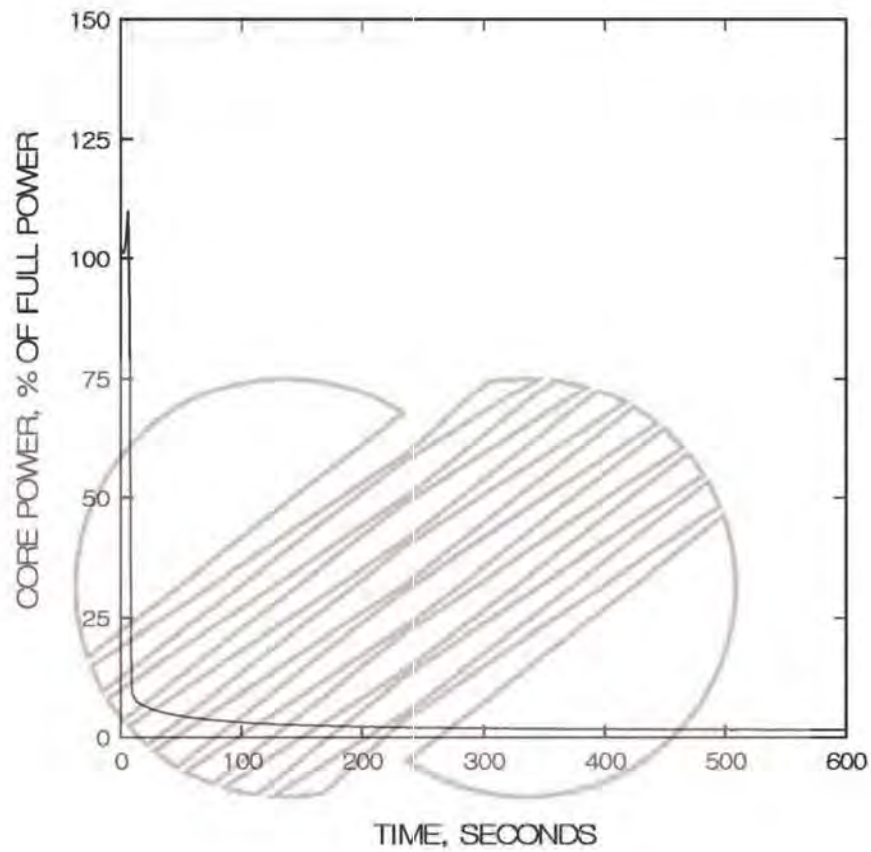
그림 15.1.5-15



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원상실을 수반한
대형증기관파단사고 : 시간에 따른
원자로용기상부헤드 기포분률 변화

그림 15.1.5-16



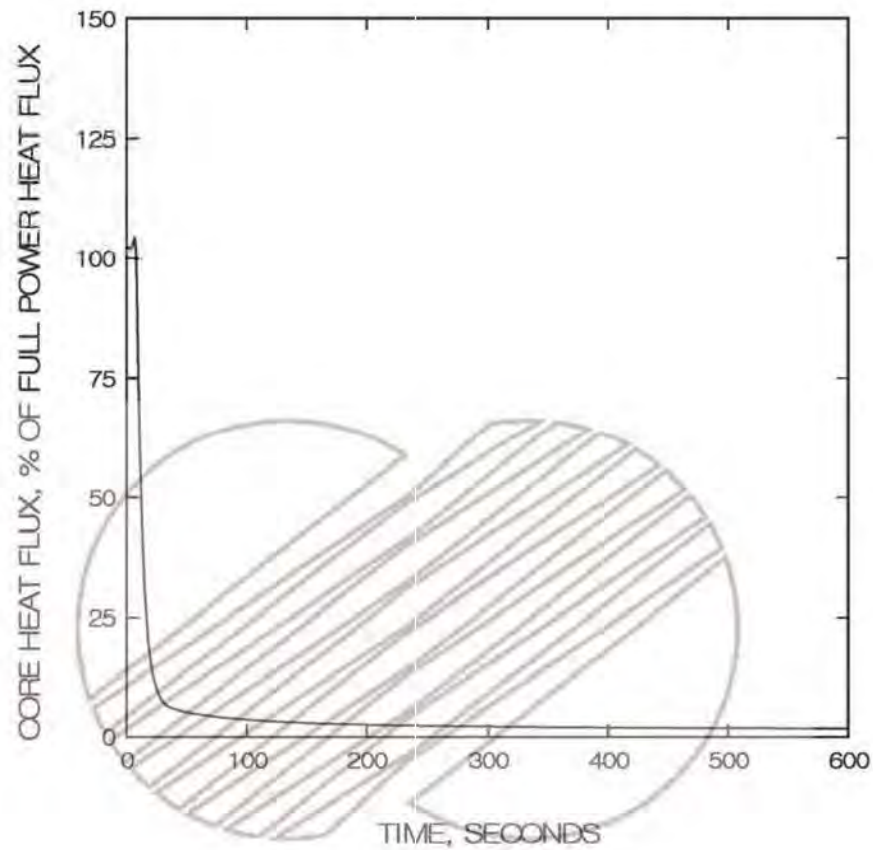
33
115



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 노심 출력 변화

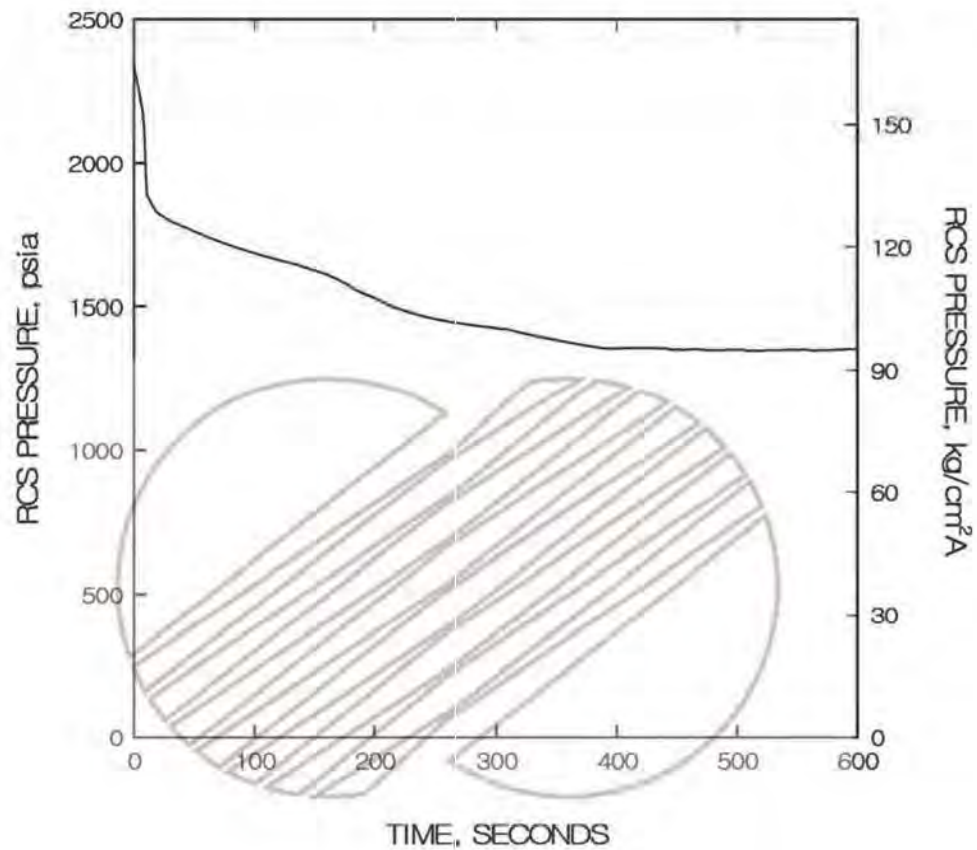
그림 15.15-17



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 노심 열속 변화

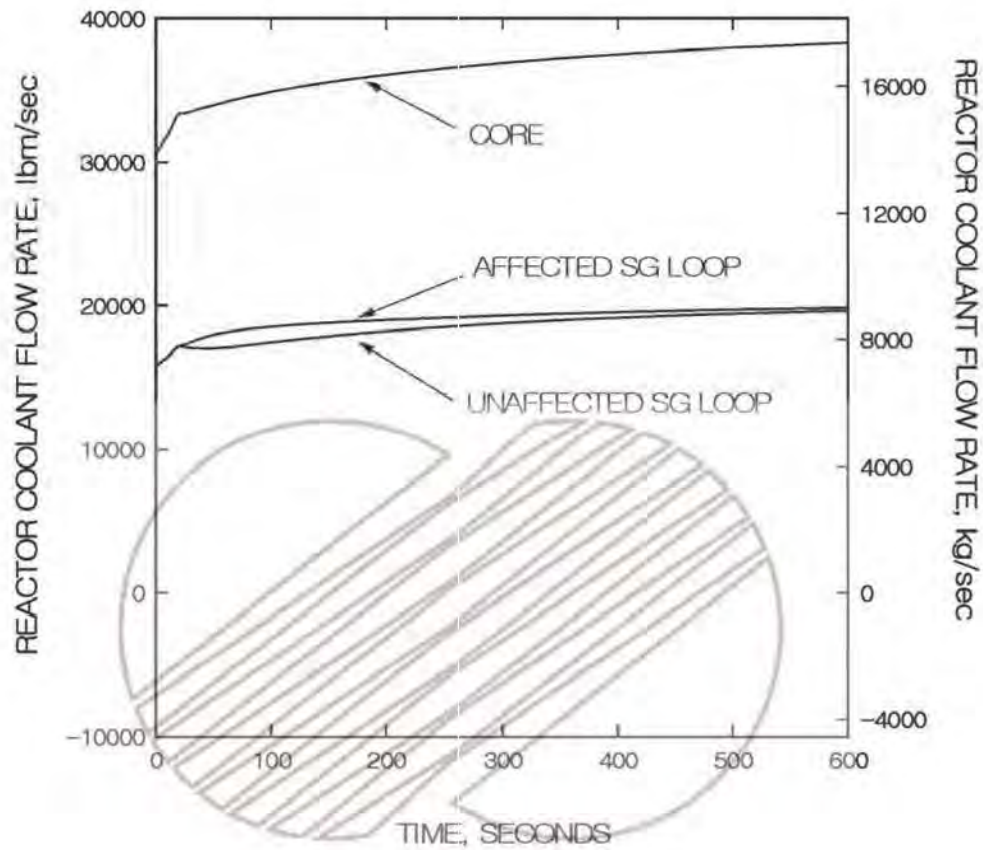
그림 15.1.5-18



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관과단사고 : 시간에 따른
원자로냉각재계통 압력 변화

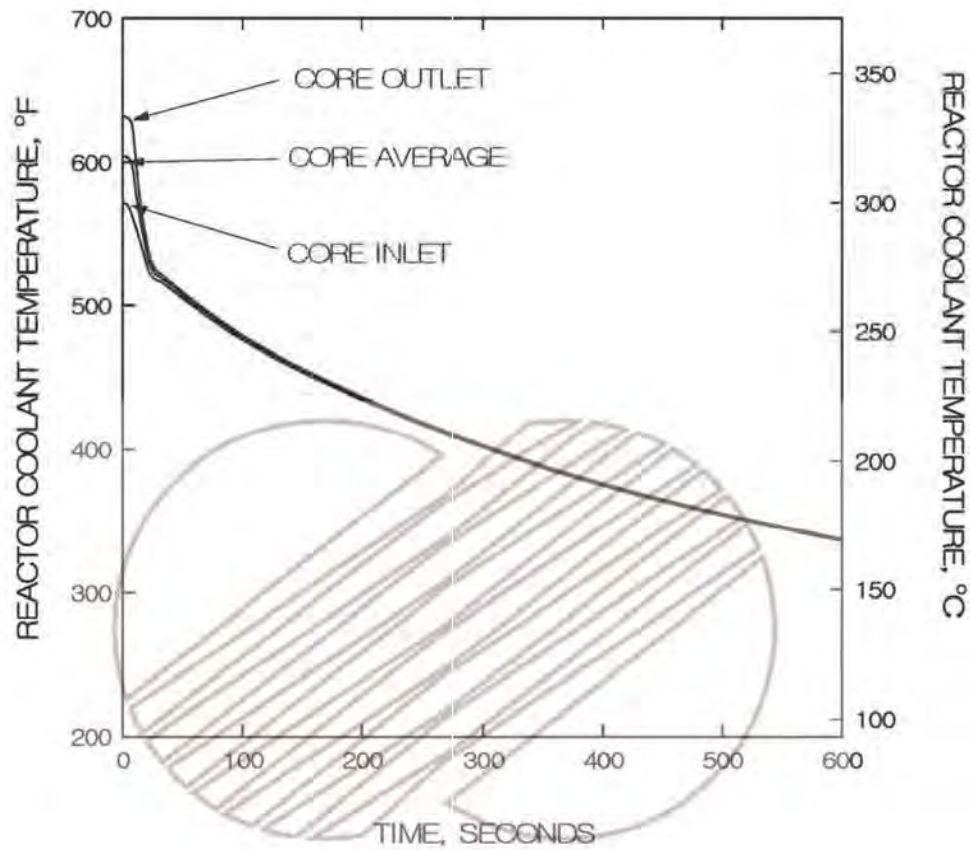
그림 15.15-19



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관파단사고 : 시간에 따른
원자로냉각재 유량 변화

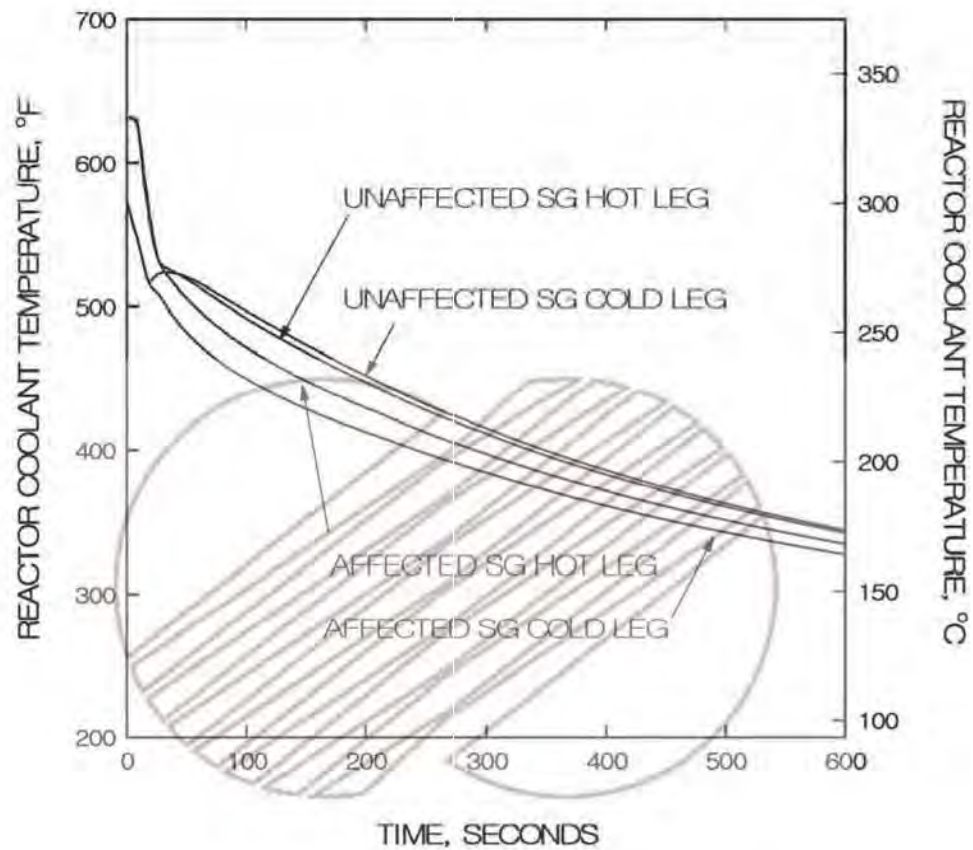
그림 15.1.5-20



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관파단사고 : 시간에 따른
원자로냉각재 온도 변화(1)

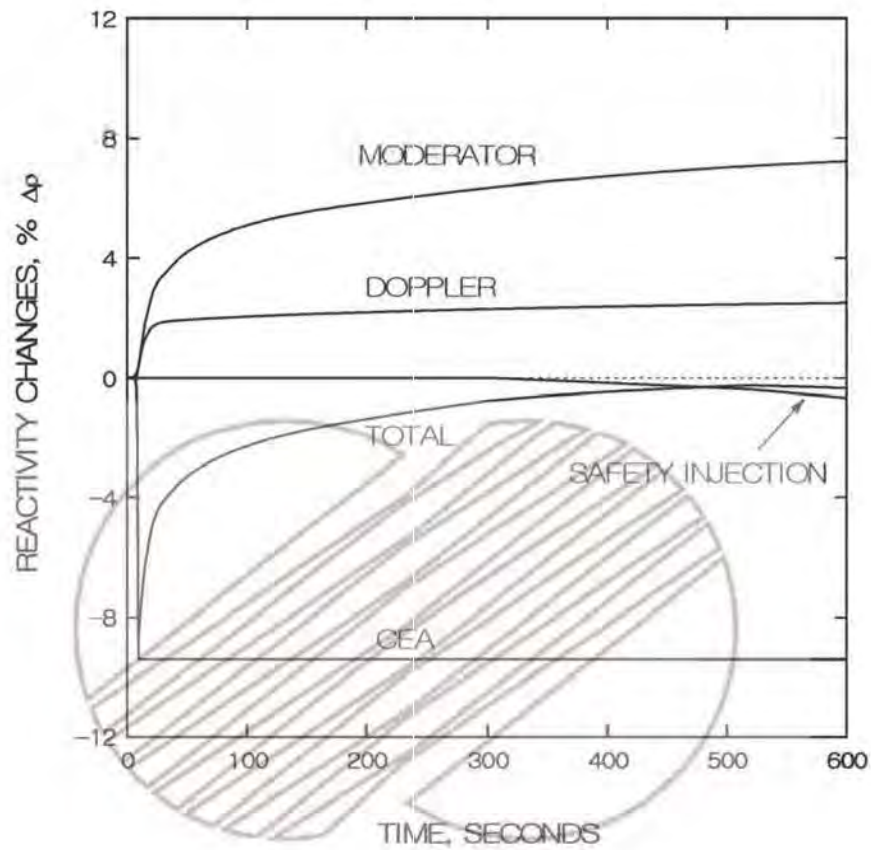
그림 15.15-21



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관파단사고 : 시간에 따른
원자로냉각재 온도 변화(2)

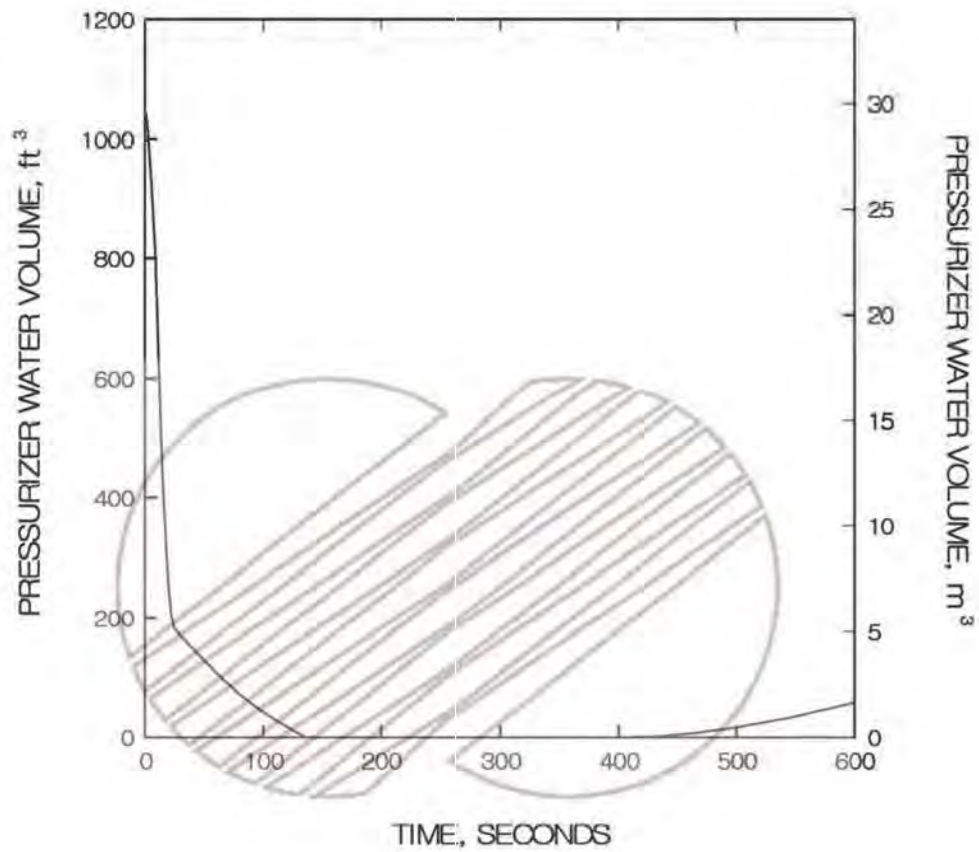
그림 15.15-22



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 각종 반응도 변화

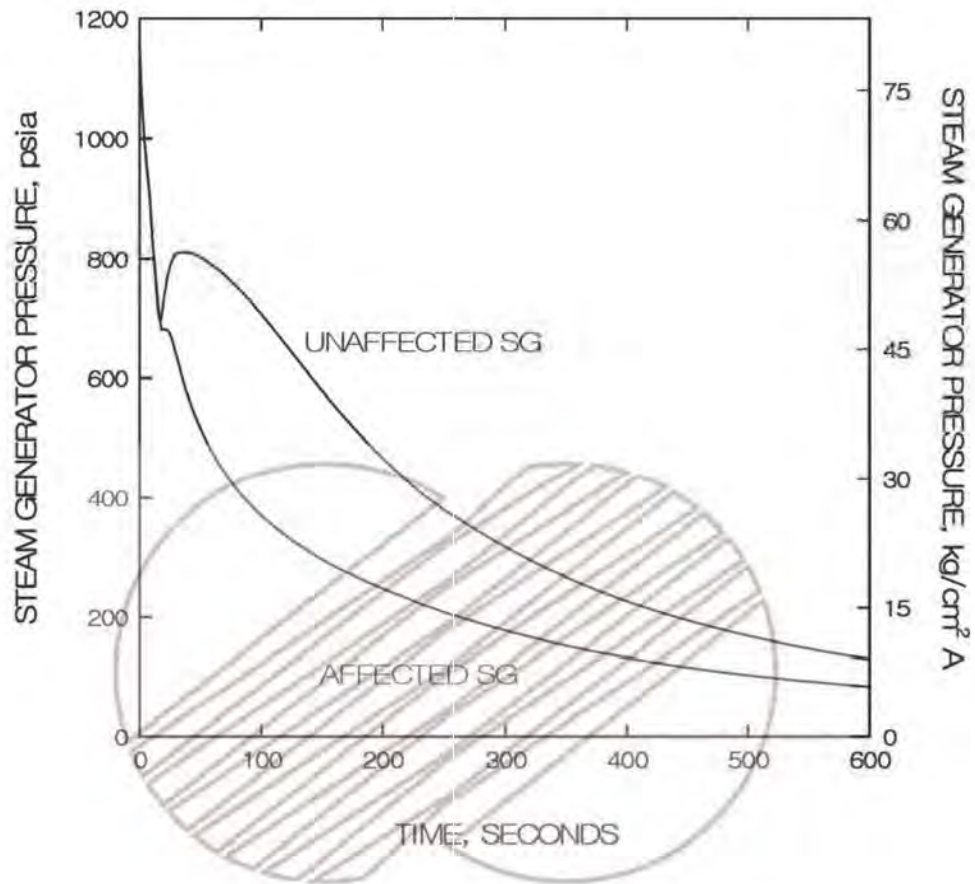
그림 15.15-23



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관과단사고 : 시간에 따른 가압기
냉각재 체적 변화

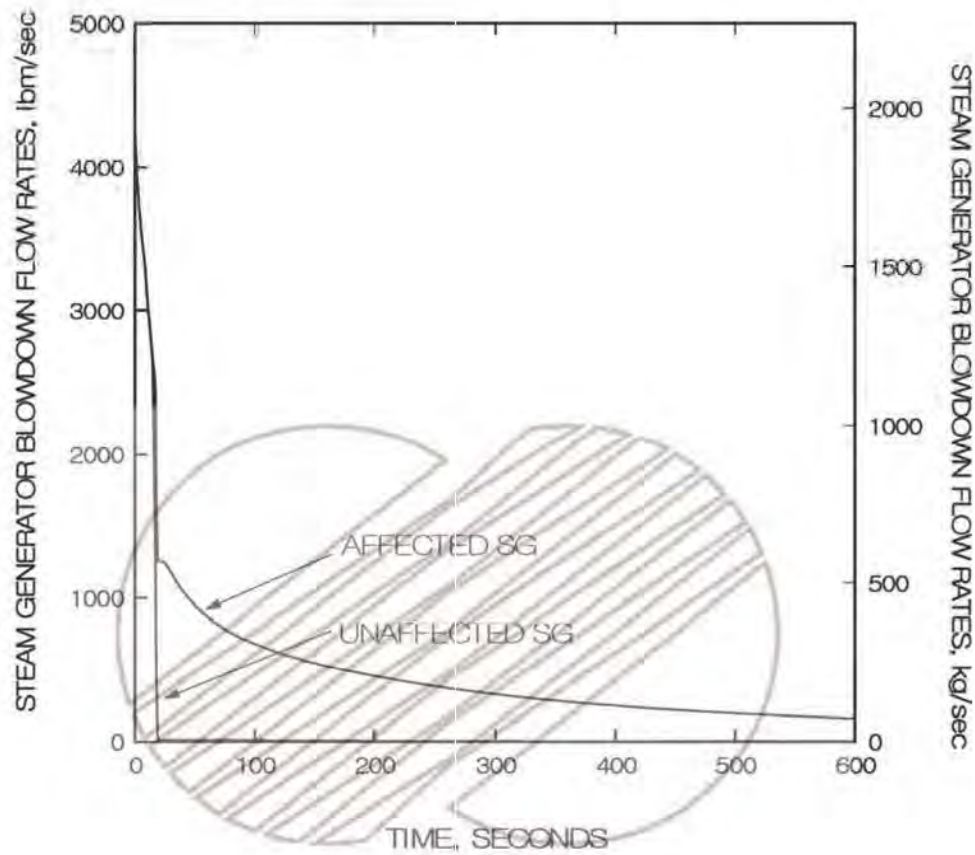
그림 15.15-24



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 증기발생기 압력 변화

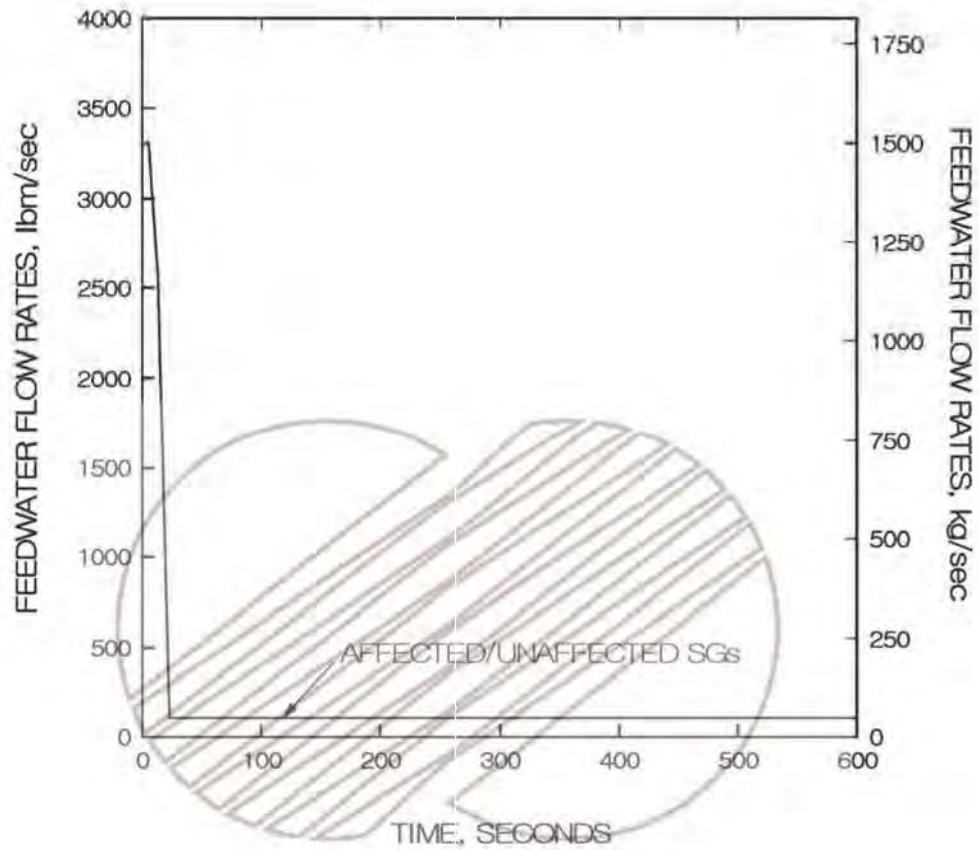
그림 15.1.5-25



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 증기발생기 방출유량 변화

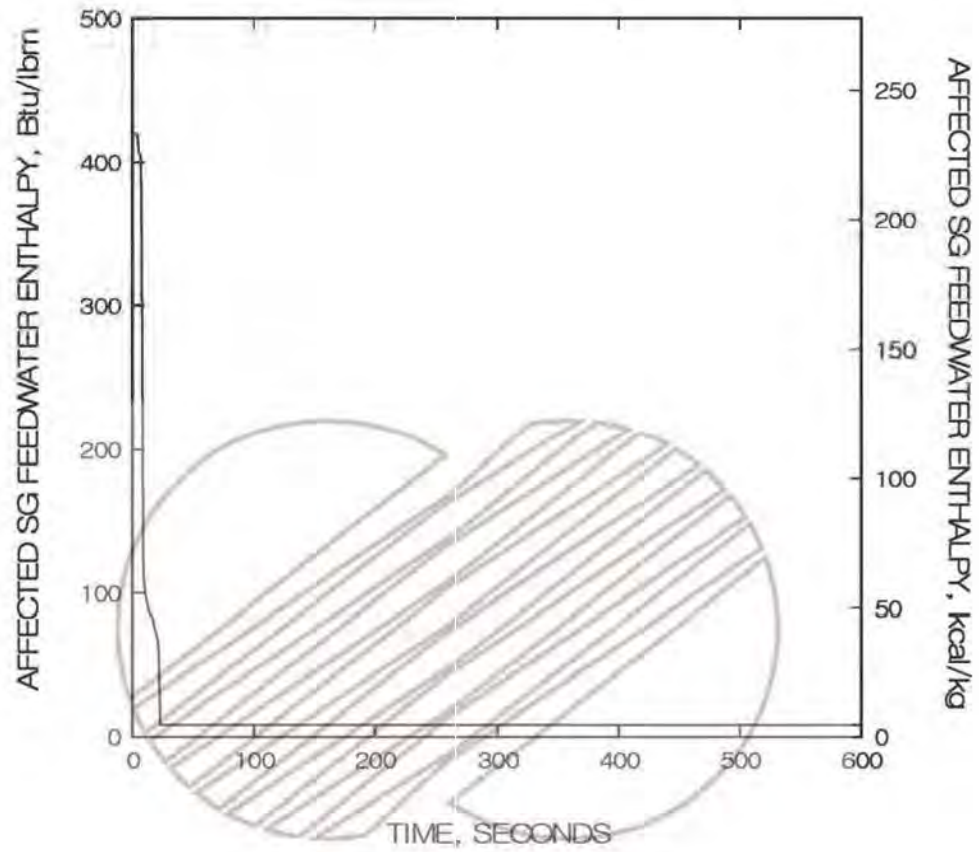
그림 15.1.5-26



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 급수유량 변화

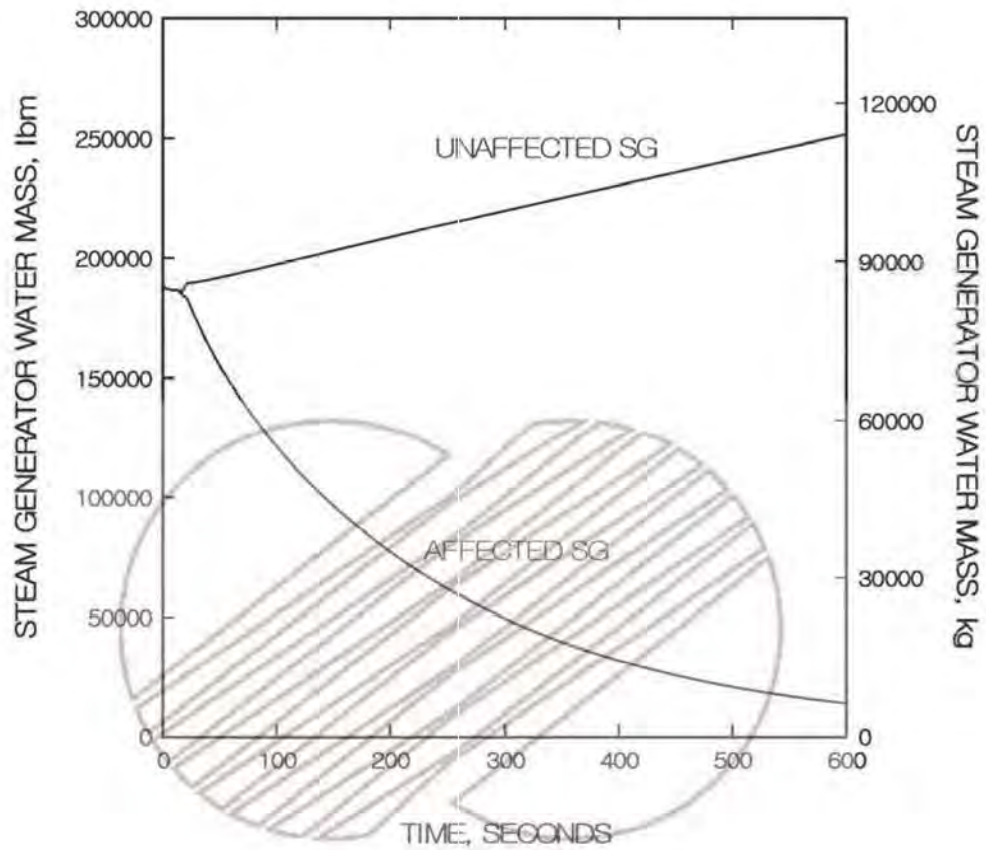
그림 15.15-27



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 급수 엔탈피 변화

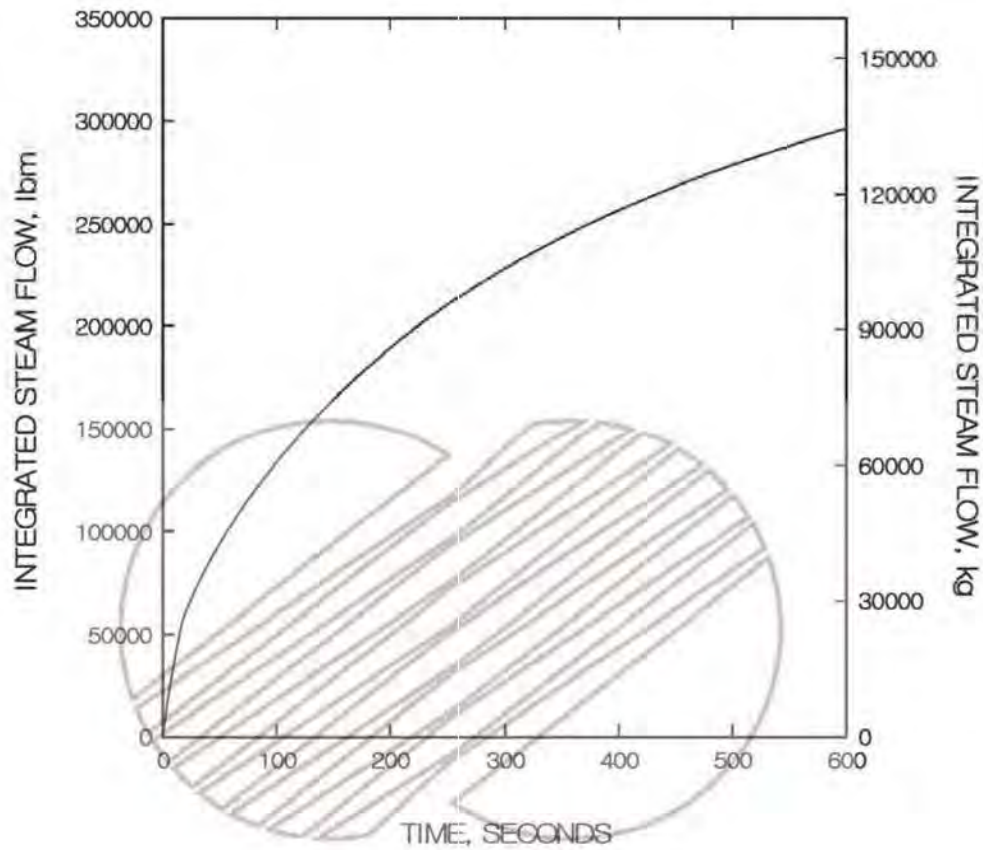
그림 15.15-28



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 증기발생기 재고량 변화

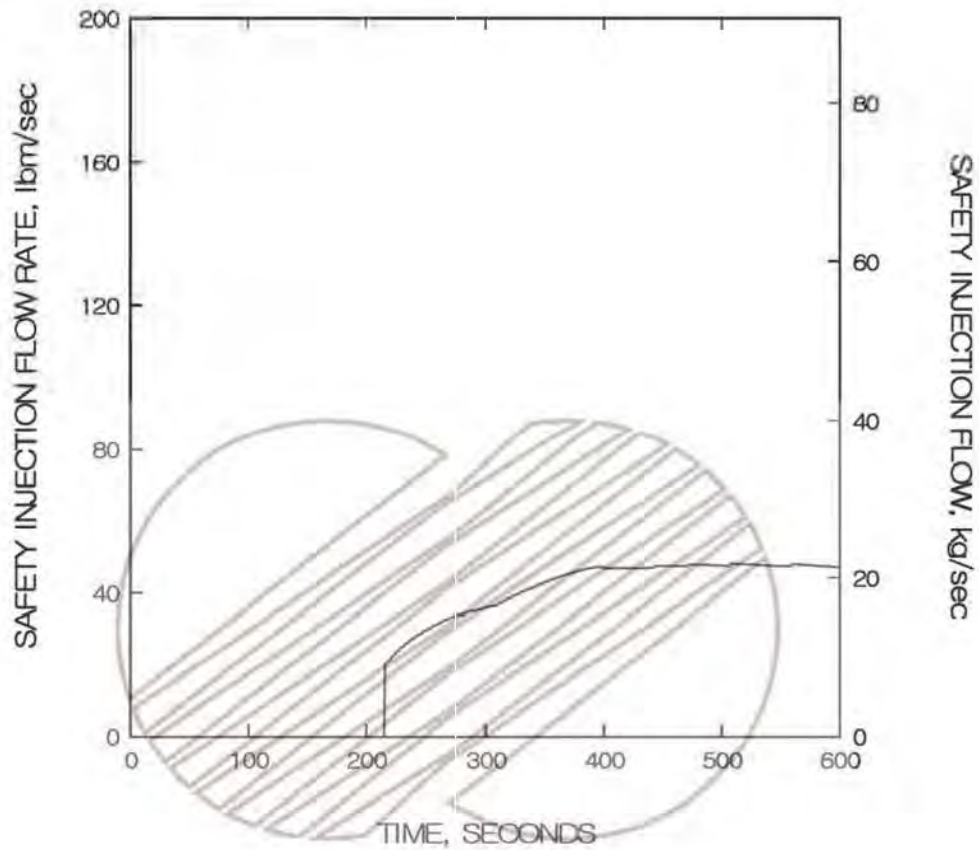
그림 15.1.5-29

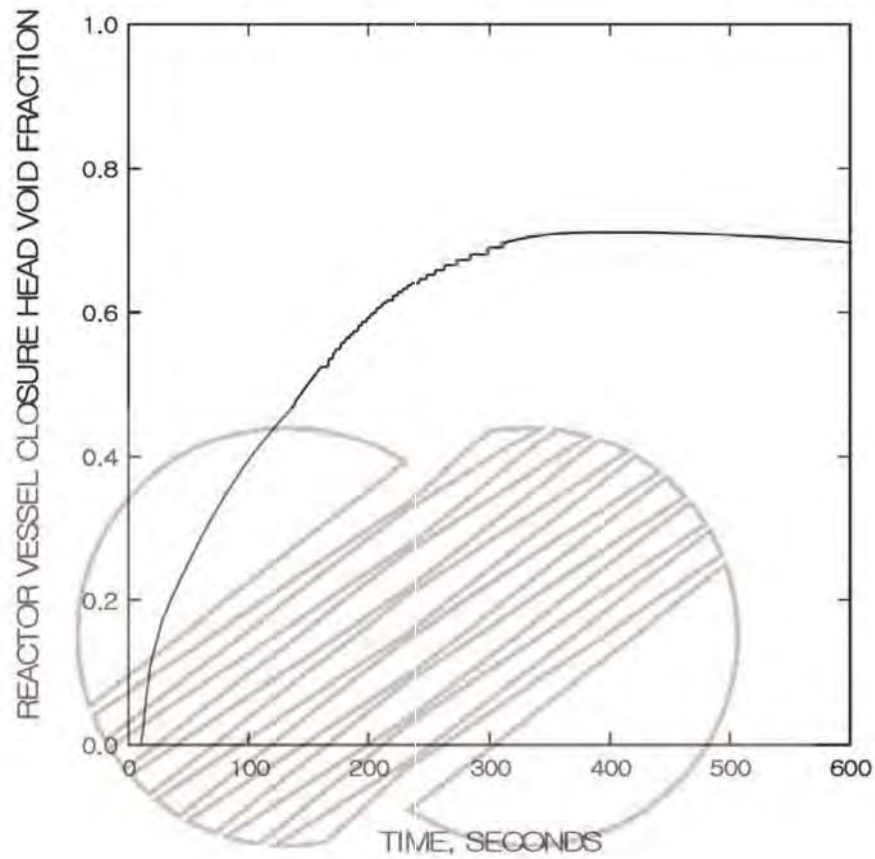


한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 누적 증기방출량 변화

그림 15.1.5-30

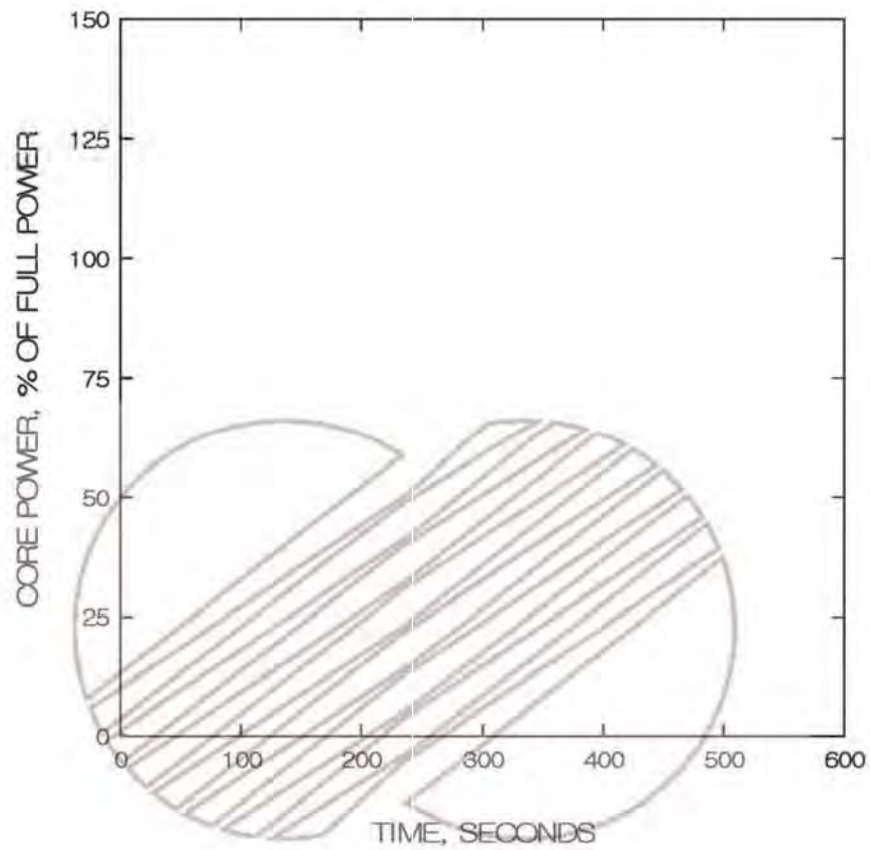




한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관파단사고 :시간에 따른
원자로용기상부헤드 기포분률 변화

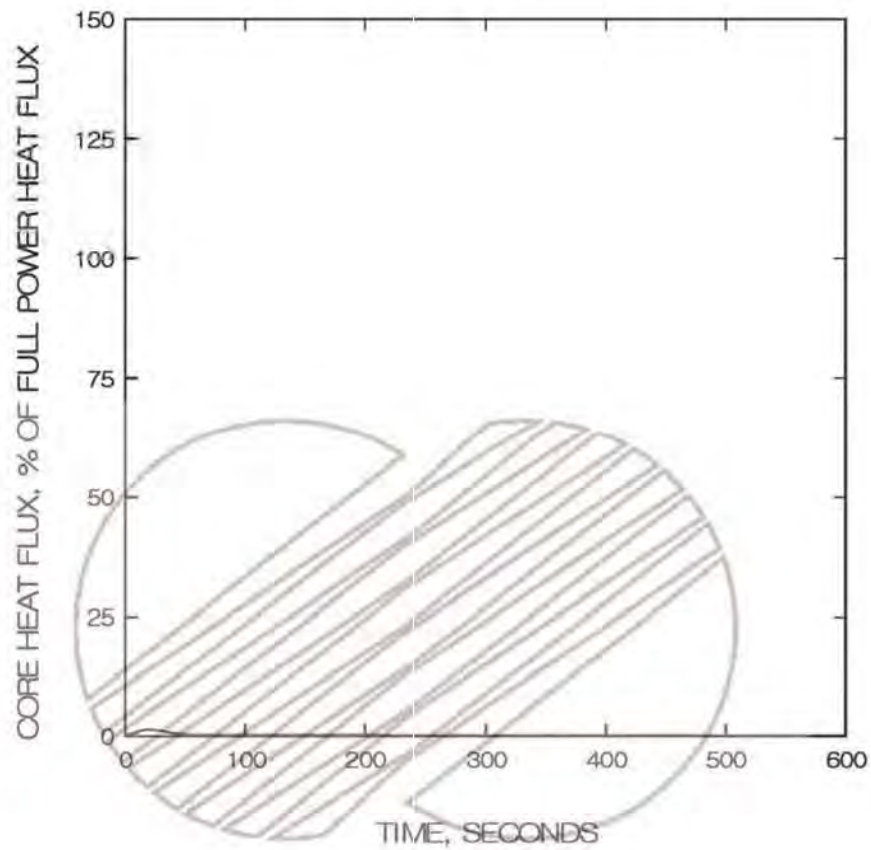
그림 15.1.5-32



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

영출력 운전중 소외전원상실을 수반한
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 노심출력 변화

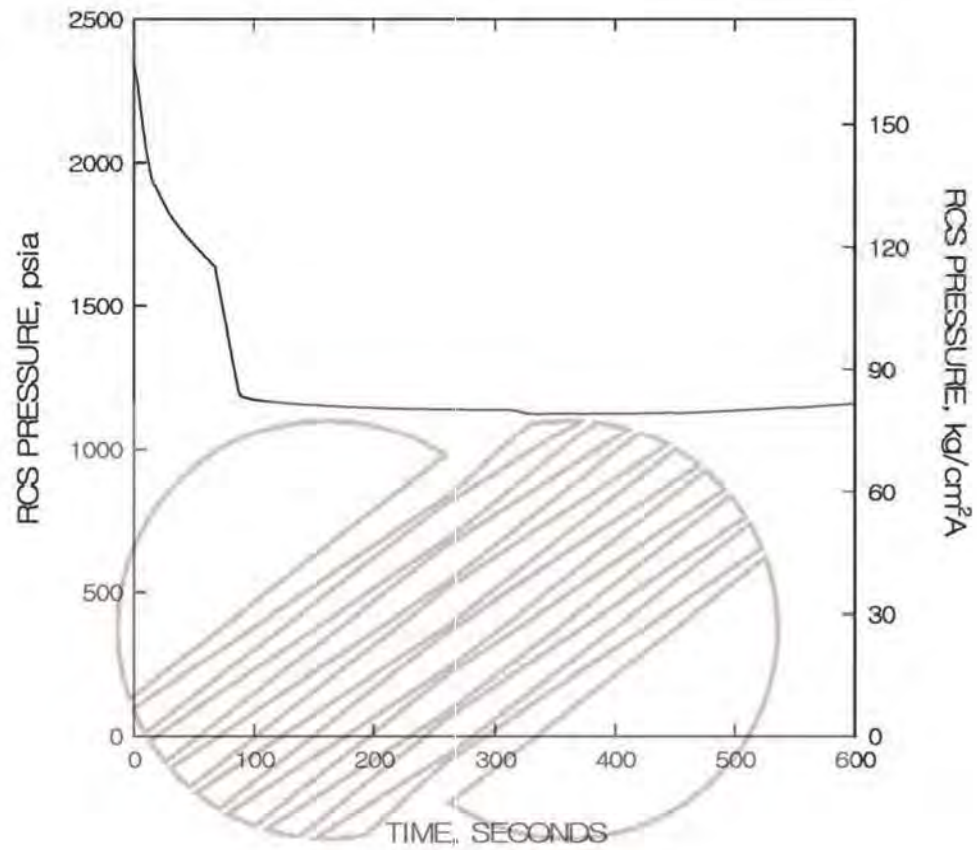
그림 15.1.5-33



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

영출력 운전중 소외전원상실을 수반한
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 노심 열속 변화

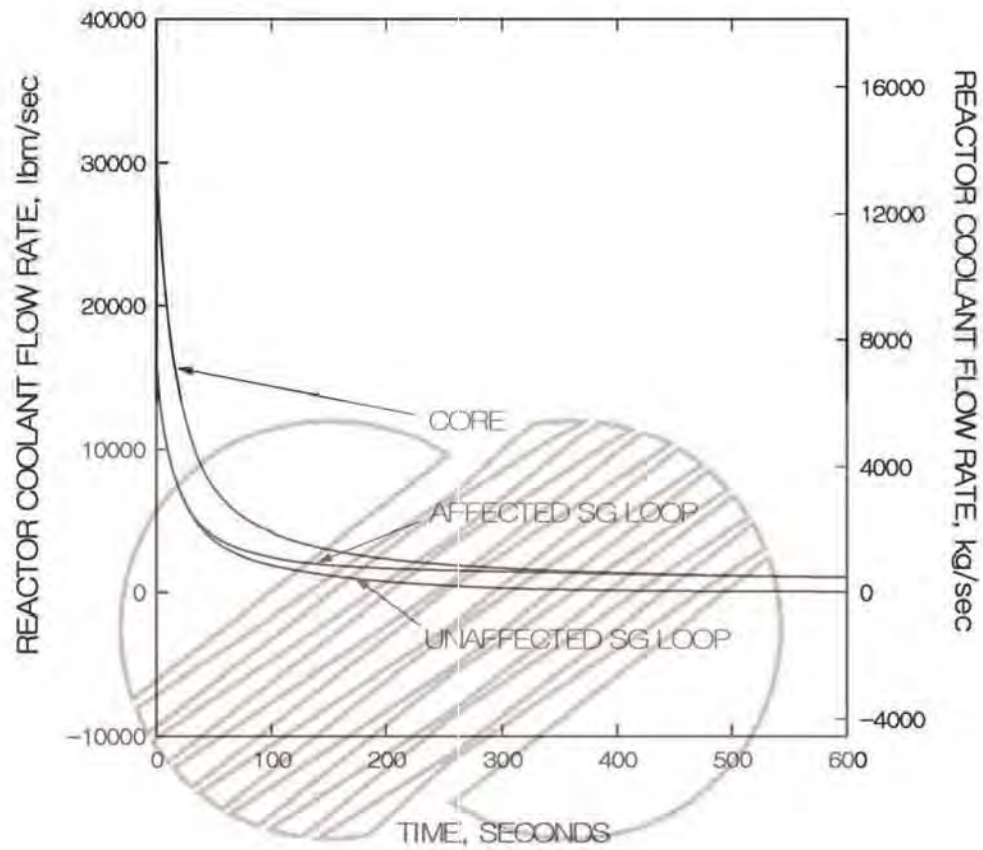
그림 15.15-34



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

영출력 운전중 소외전원상실을 수반한
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 원자로냉각계통 압력 변화

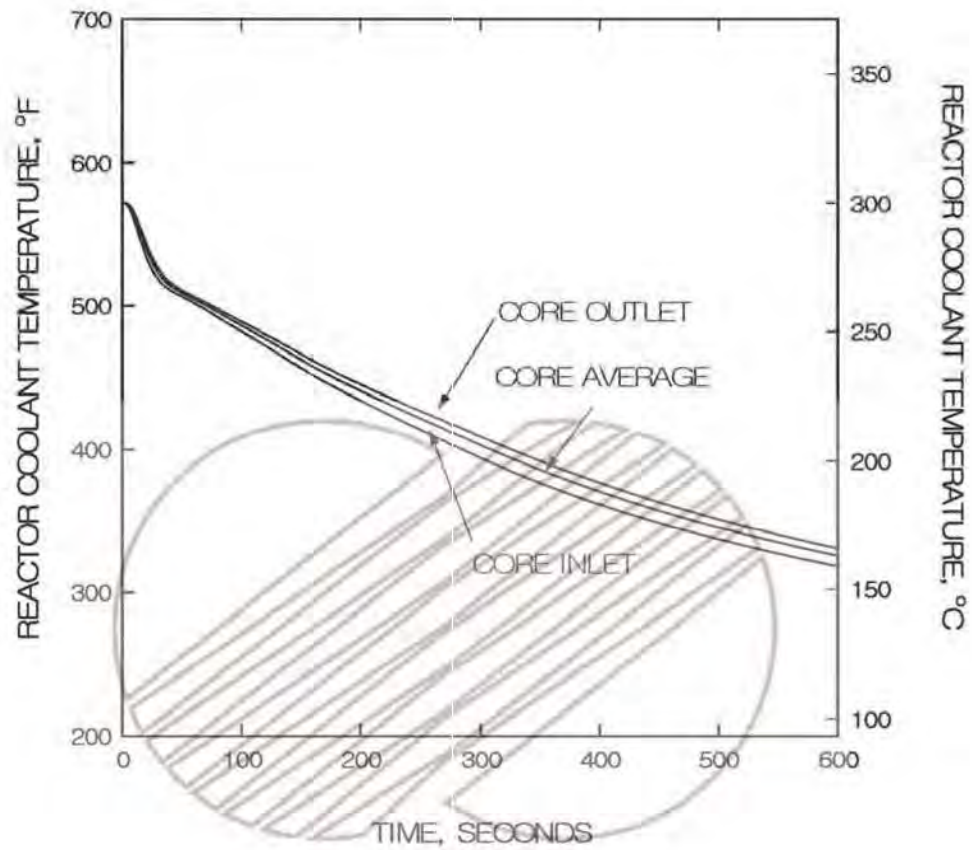
그림 15.15-35



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

영출력 운전중 소외전원상실을 수반한
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 원자로냉각재 유량 변화

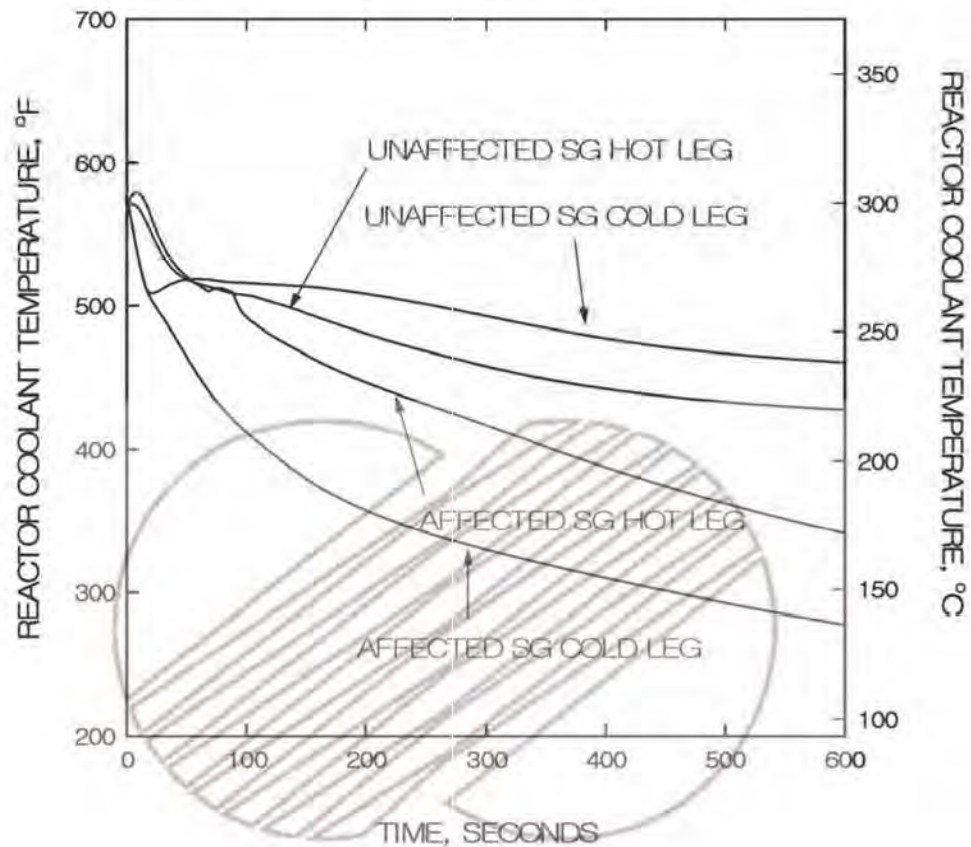
그림 15.15-36



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

영출력 운전중 소외전원상실을 수반한
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 원자로냉각재 온도 변화(1)

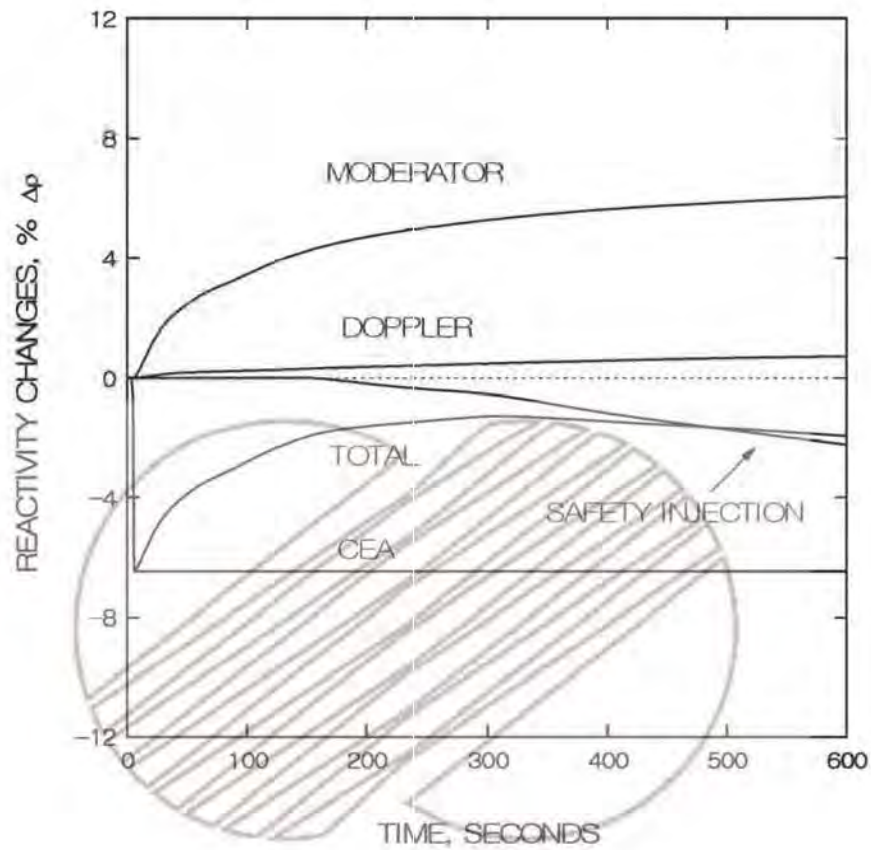
그림 15.15-37



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

영출력 운전중 소외전원상실을 수반한
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 원자로냉각재 온도 변화(2)

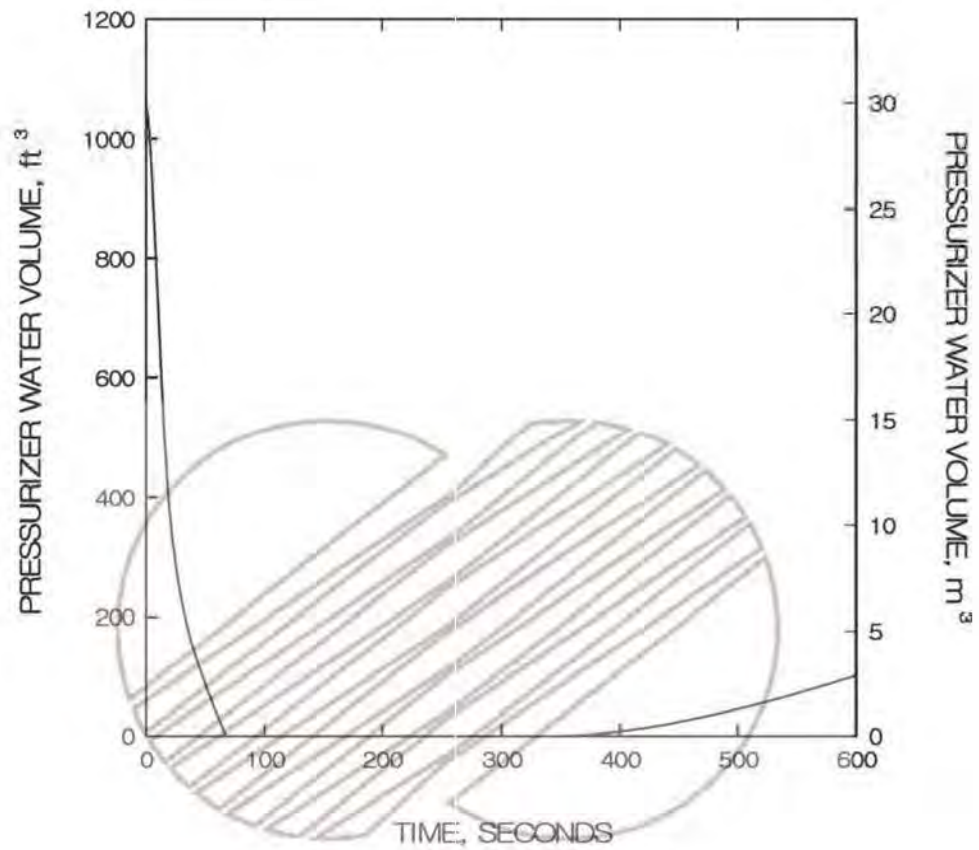
그림 15.15-38



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

영출력 운전중 소외전원상실을 수반한
대형증기관파단사고 ;
시간에 따른 각종 반응도 변화

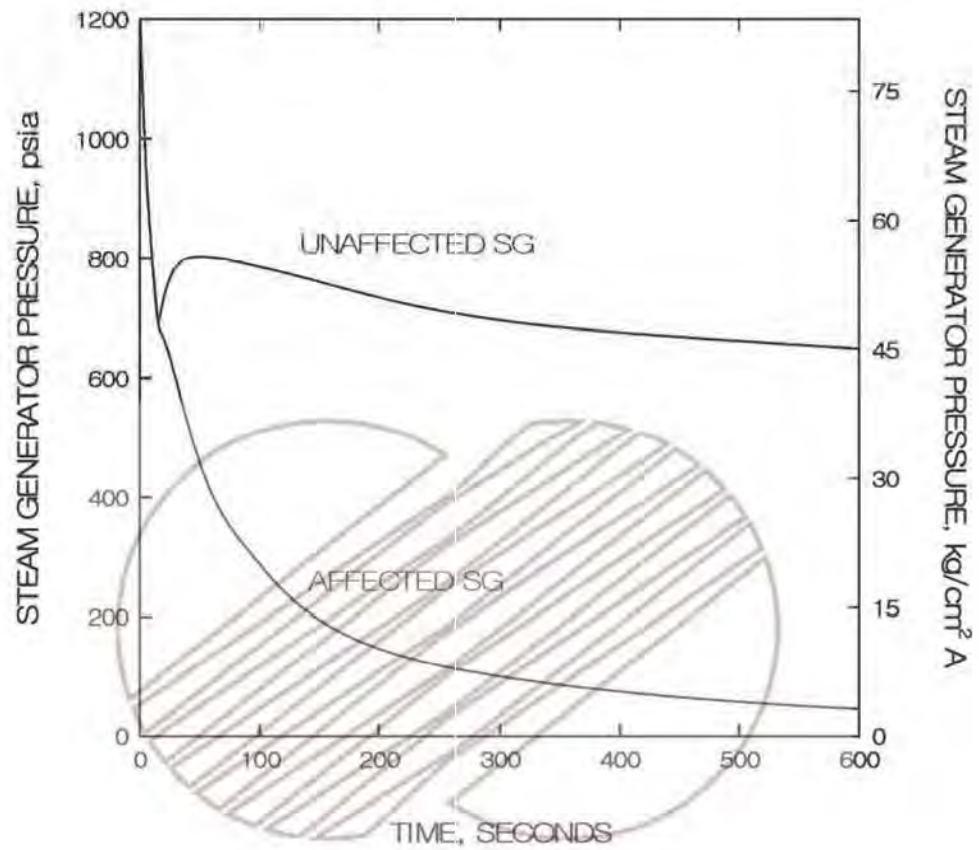
그림 15.1.5-39



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

영출력 운전중 소외전원상실을 수반한
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 가압기 냉각재 체적 변화

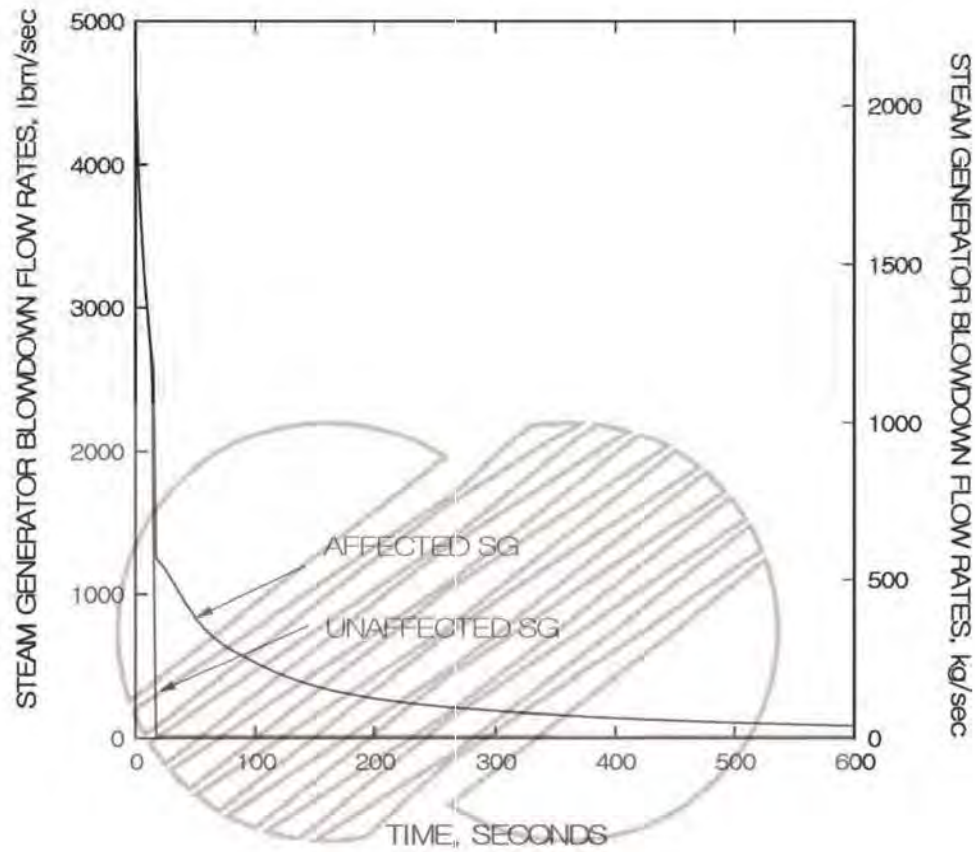
그림 15.15-40



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

영출력 운전중 소외전원상실을 수반한
대형증기관파단사고 ;
시간에 따른 증기발생기 압력 변화

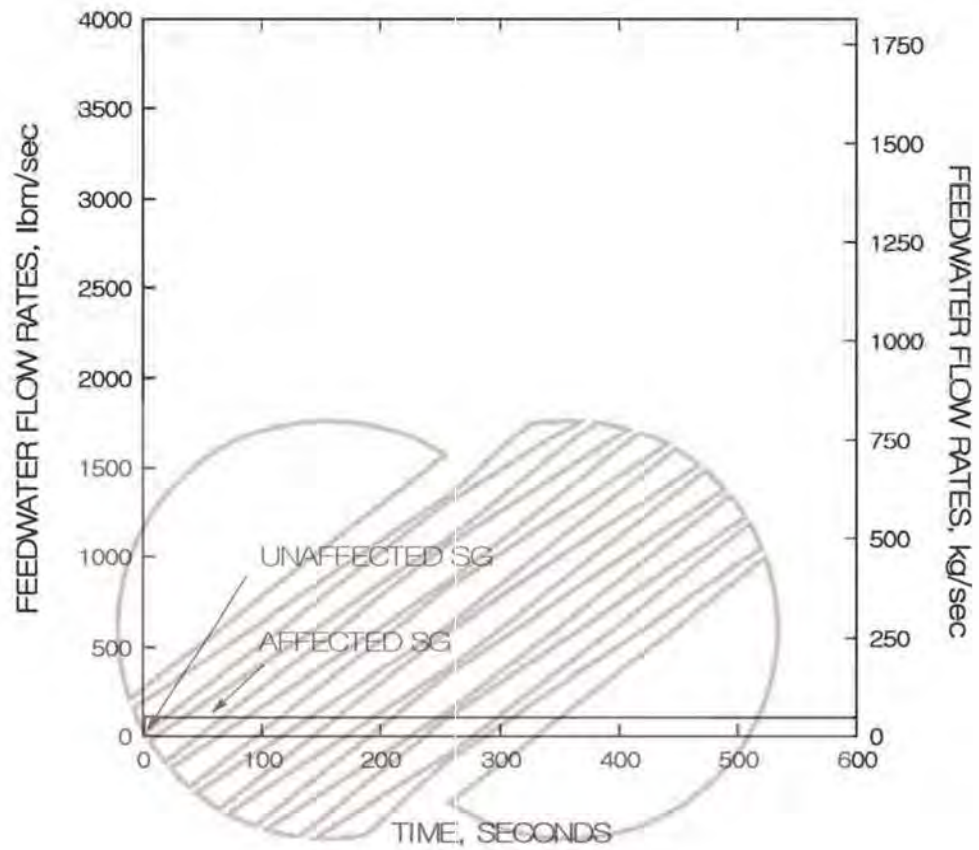
그림 15.1.5-41



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

영출력 운전중 소외전원상실을 수반한
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 증기발생기 방출유량 변화

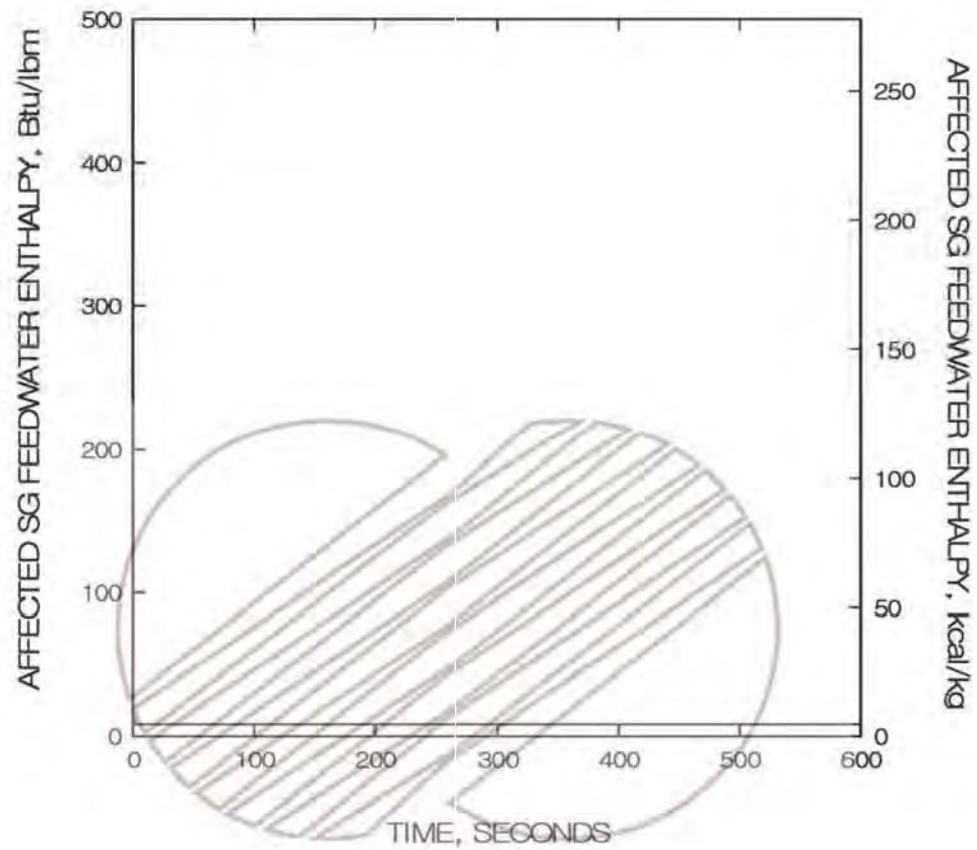
그림 15.15-42



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

영출력 운전중 소외전원상실을 수반한
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 급수유량 변화

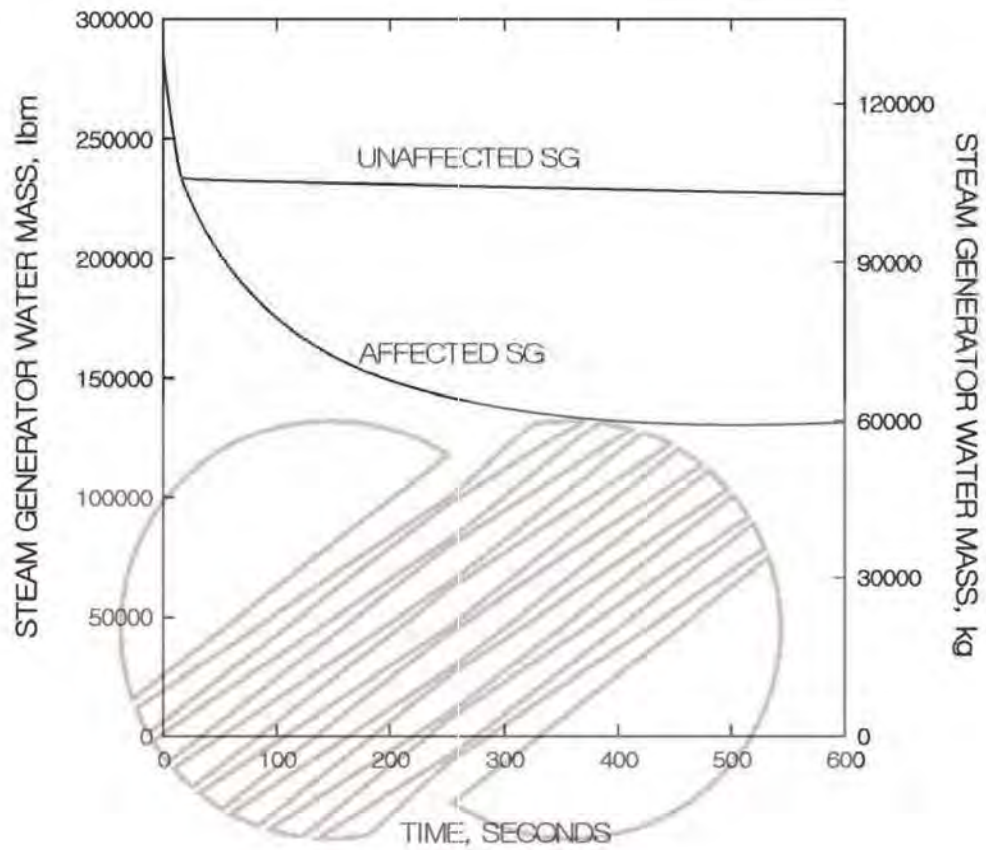
그림 15.15-43



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

영출력 운전중 소외전원상실을 수반한
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 급수 엔탈피 변화

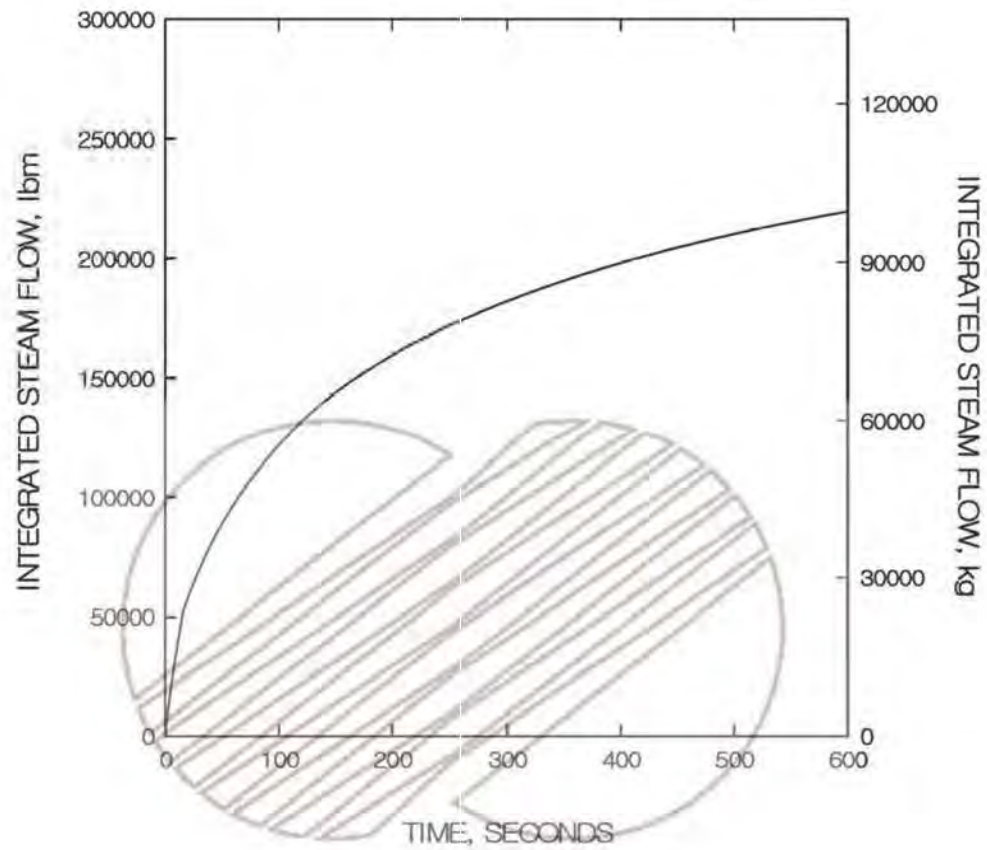
그림 15.15-44



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

영출력 운전중 소외전원상실을 수반한
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 증기발생기 재고량 변화

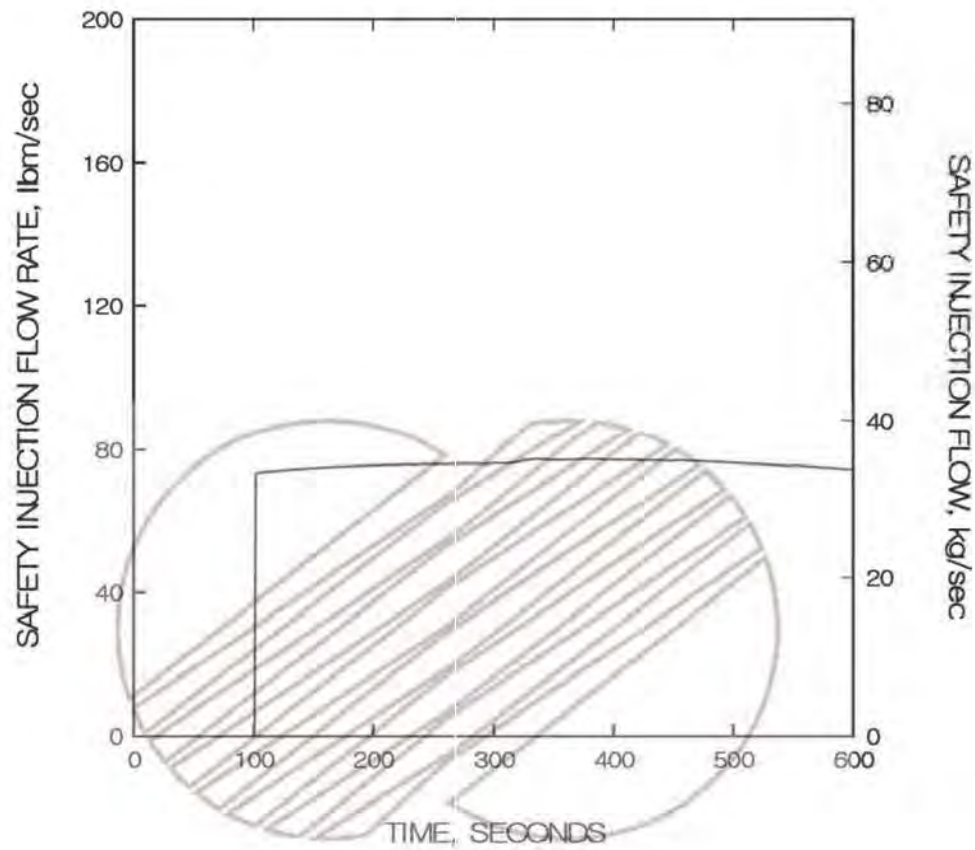
그림 15.15-45

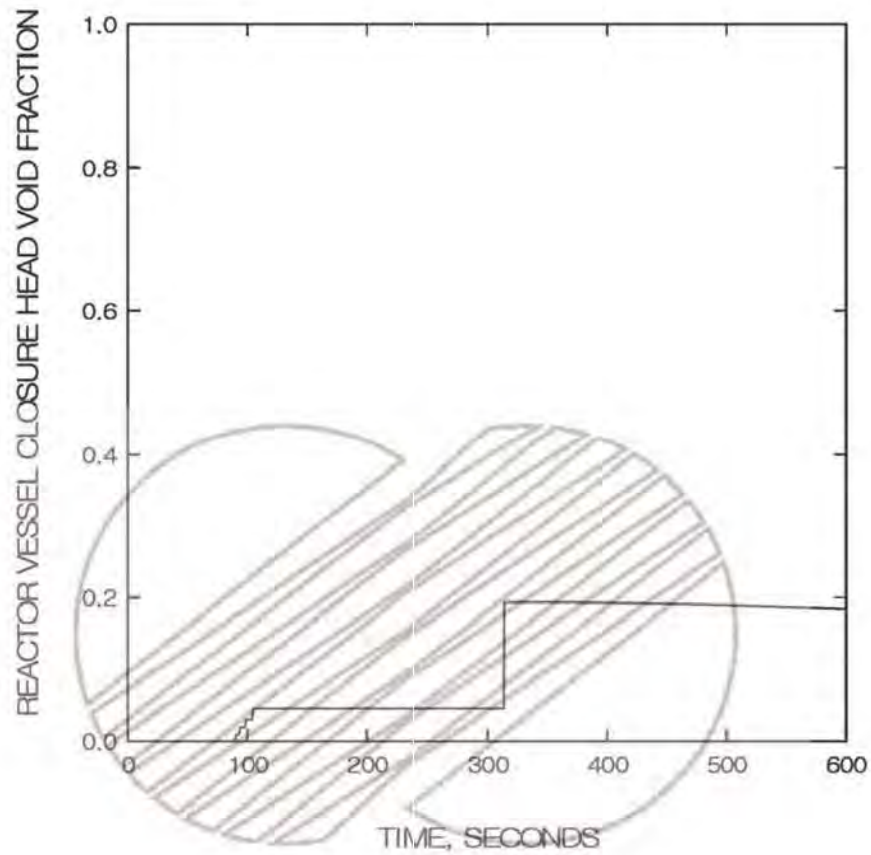


한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

영출력 운전중 소외전원상실을 수반한
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 누적 증기방출량 변화

그림 15.15-46

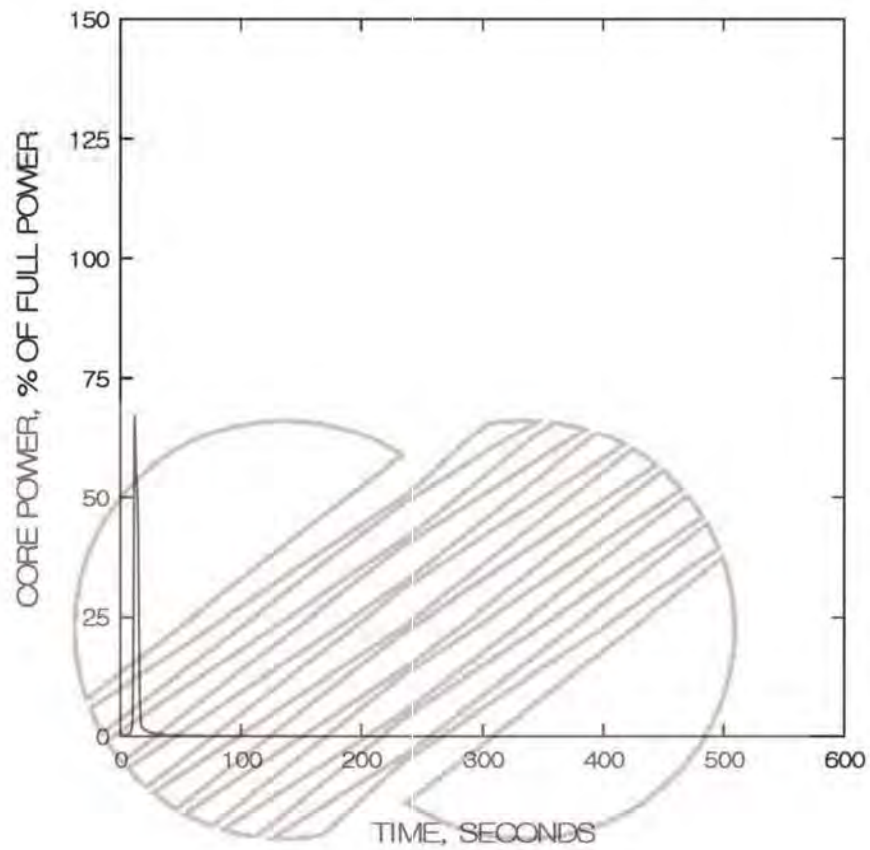




한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

영출력 운전중 소외전원상실을 수반한
대형증기관파단사고 : 시간에 따른
원자로용기상부헤드 기포분률 변화

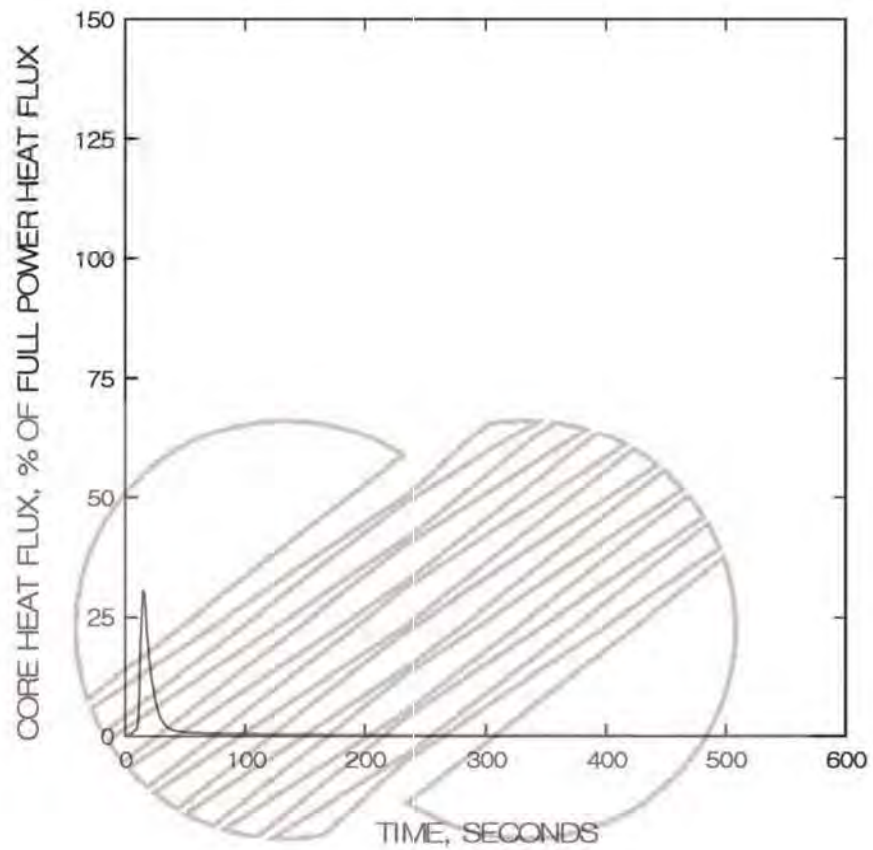
그림 15.1.5-48



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

영출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 노심출력 변화

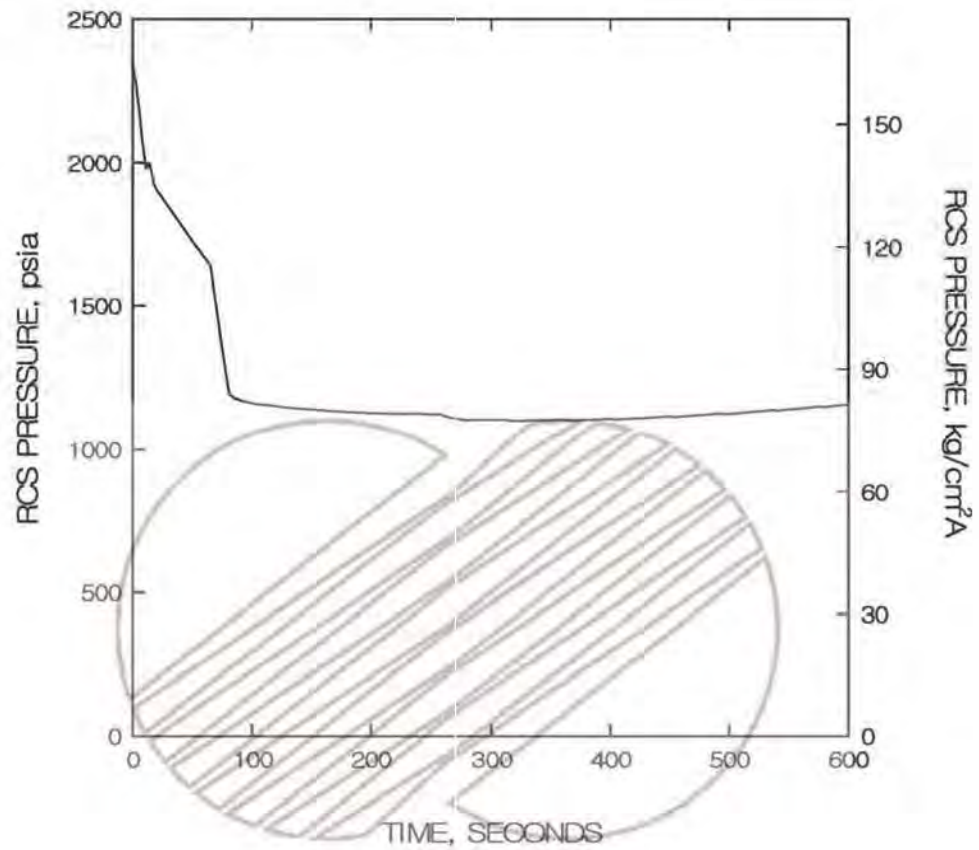
그림 15.1.5-49



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

영출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 노심열속 변화

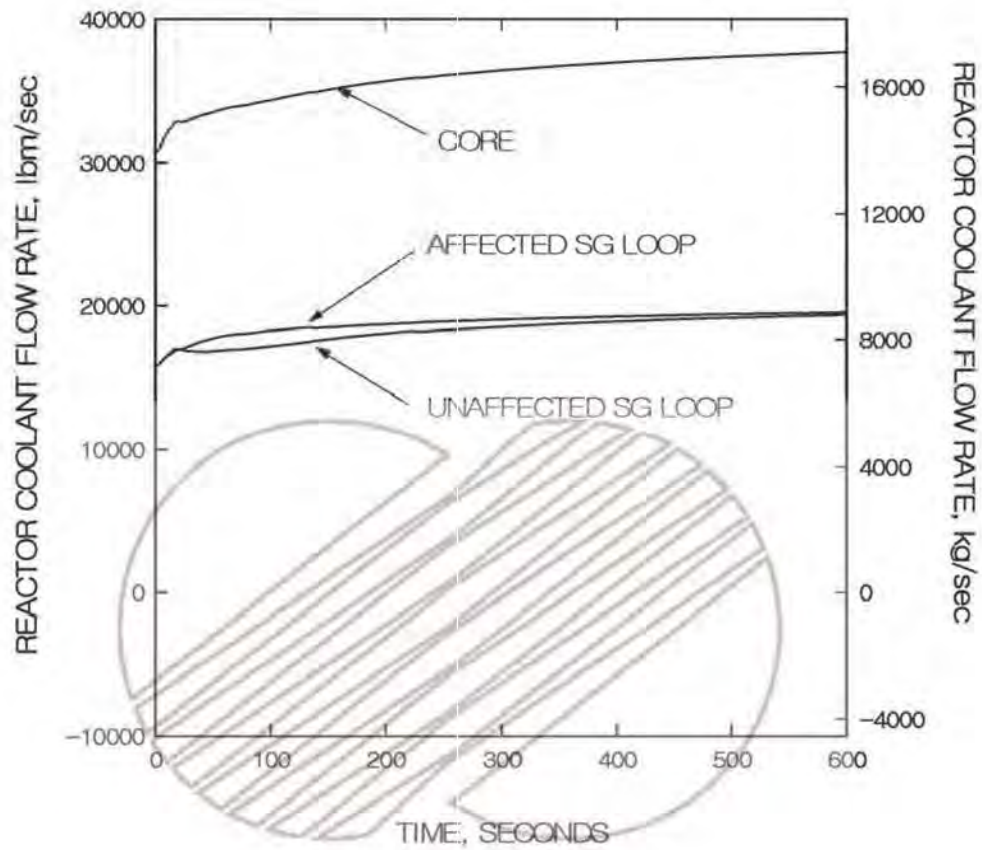
그림 15.1.5-50



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

영출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 원자로냉각계통 압력 변화

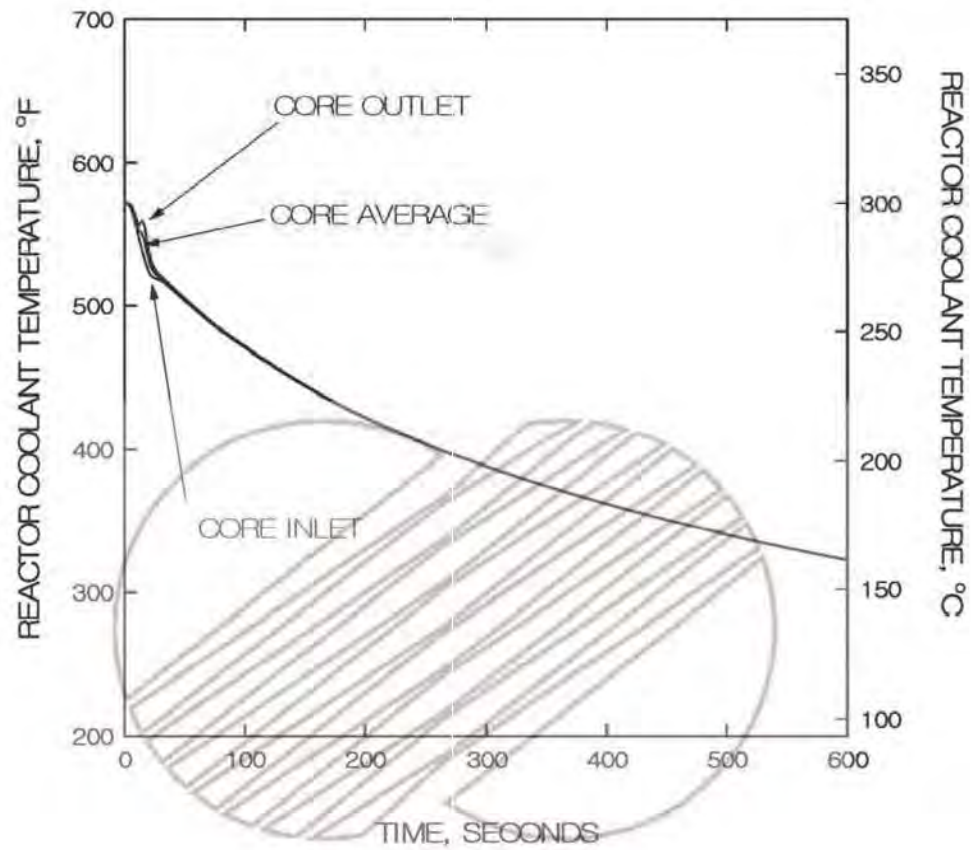
그림 15.1.5-51



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

영출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 원자로냉각재 유량 변화

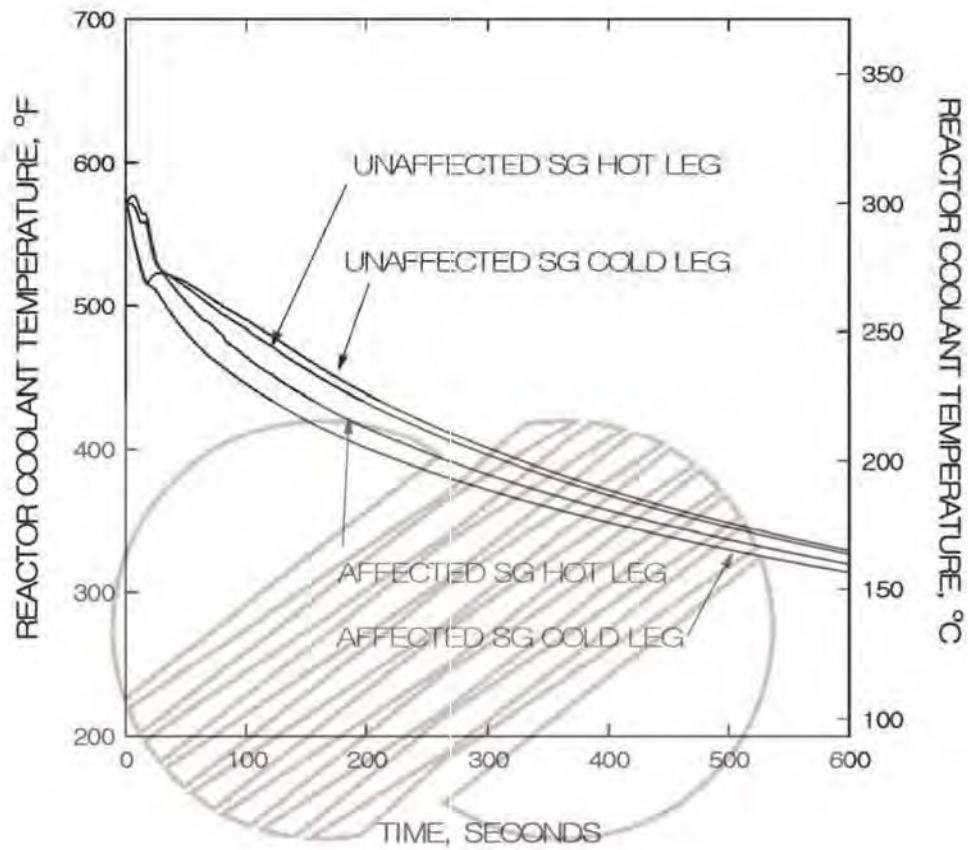
그림 15.1.5-52



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

영출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 원자로냉각재 온도 변화(1)

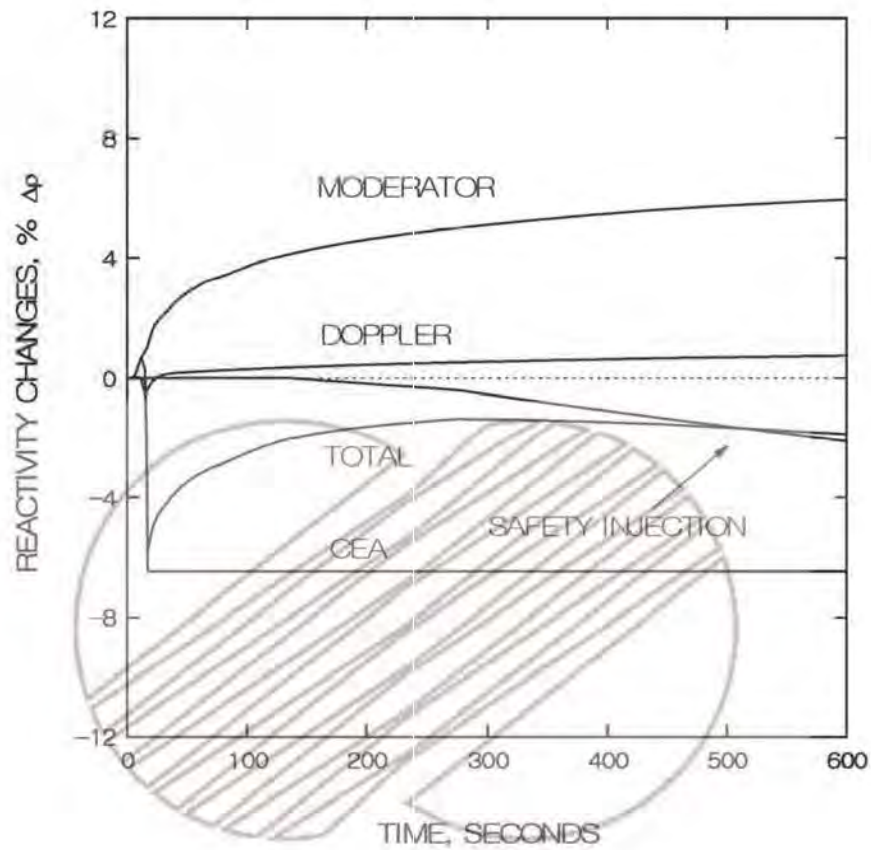
그림 15.1.5-53



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

영율력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관파단사고 : 시간에 따른
원자로냉각재 온도 변화(2)

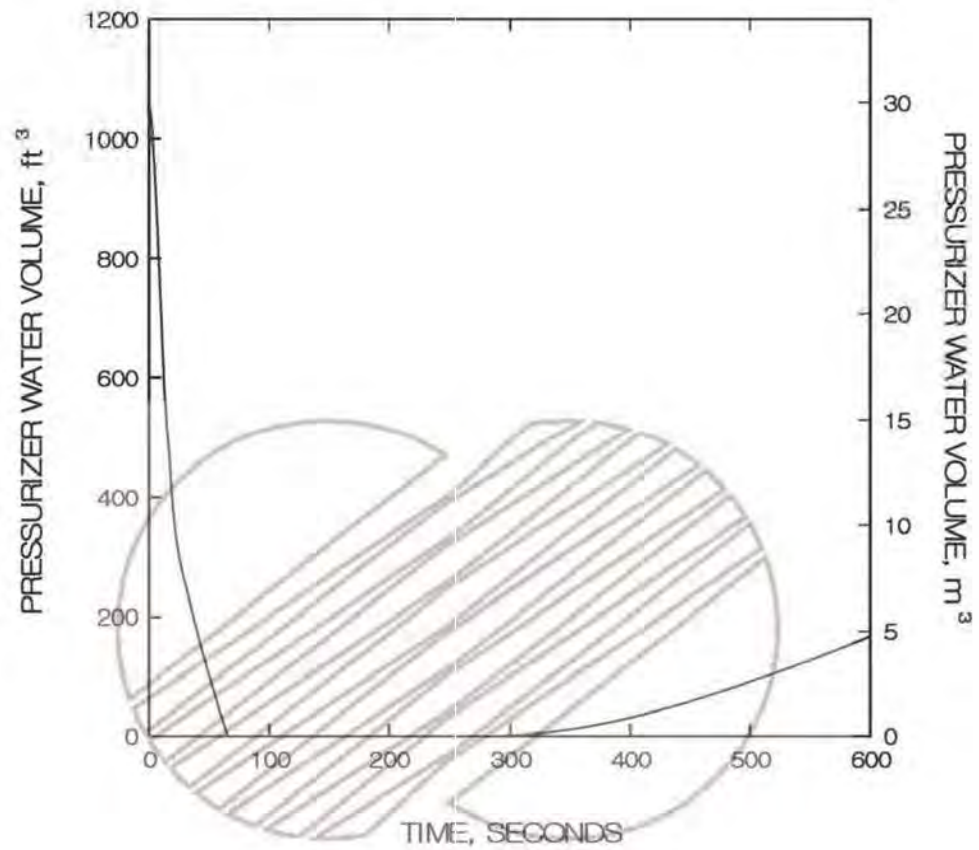
그림 15.1.5-54



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

영출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 각종 반응도 변화

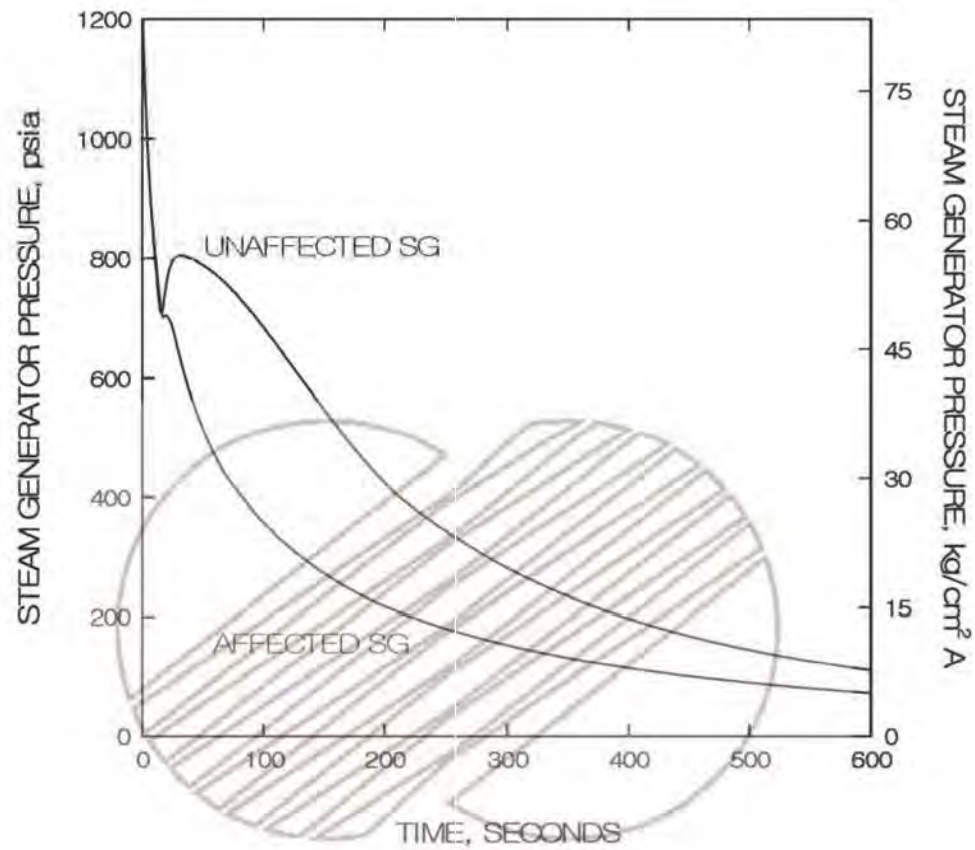
그림 15.1.5-55



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

영출력 운전 중 소외전원이 공급되는
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 가압기 냉각제 체적 변화

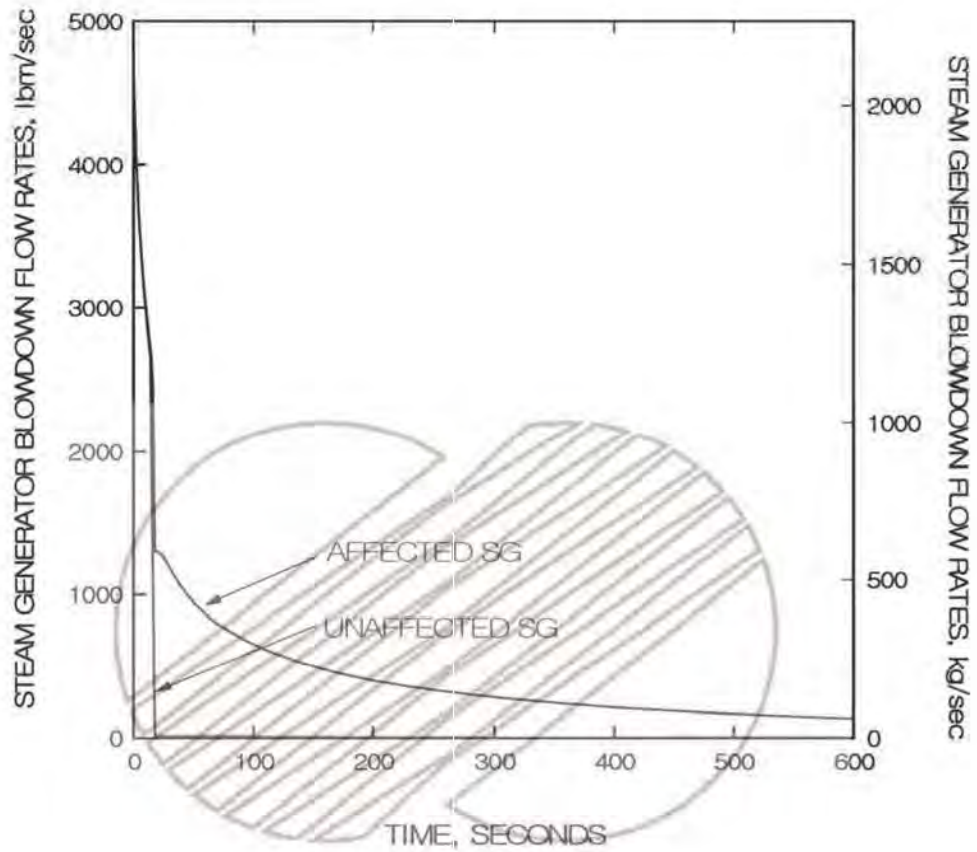
그림 15.1.5-56



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

영출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 증기발생기 압력 변화

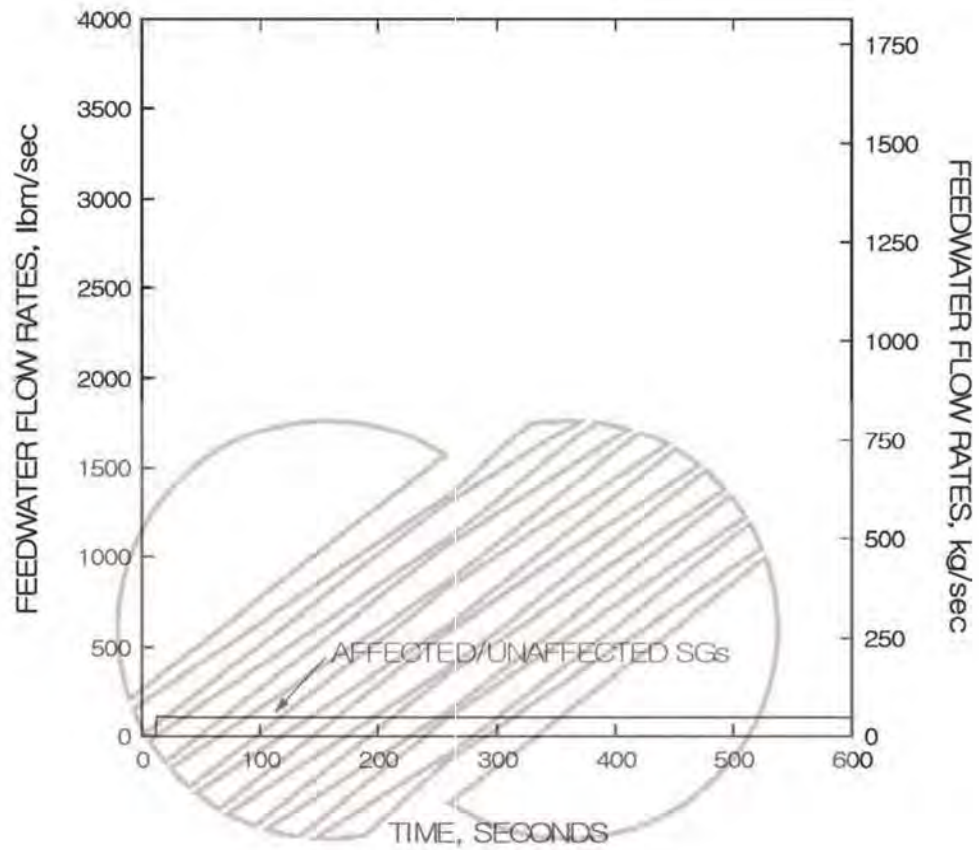
그림 15.1.5-57



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

영출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 증기발생기 방출유량 변화

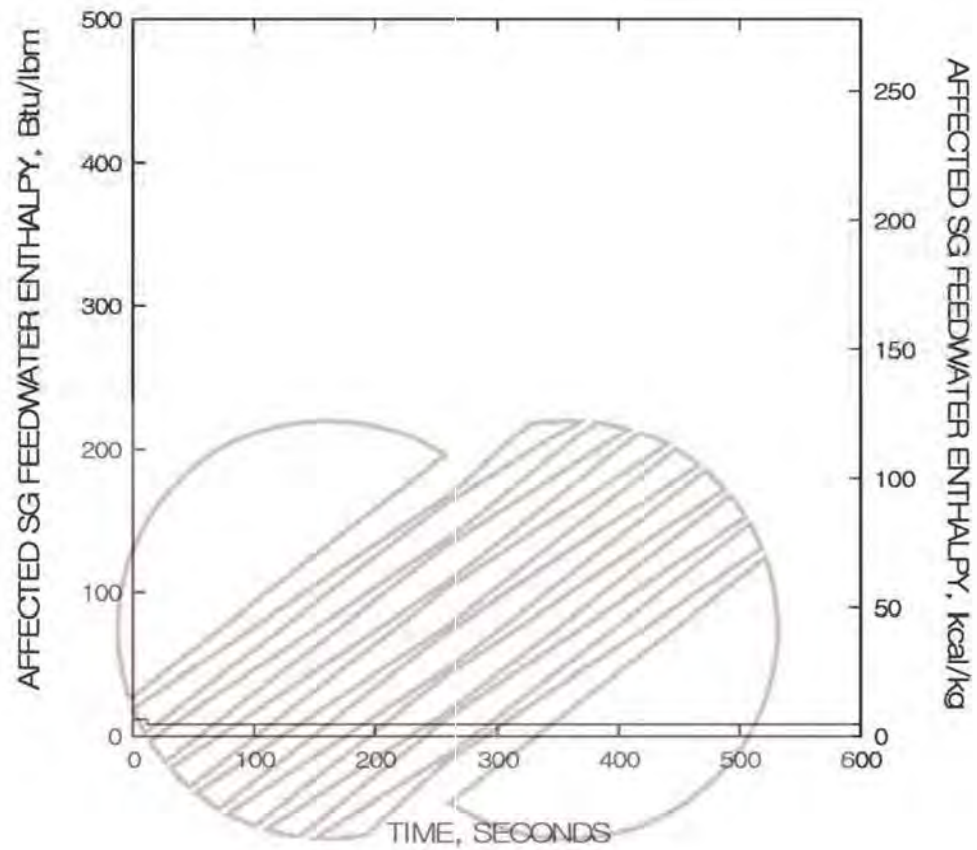
그림 15.1.5-58



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

영출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 급수유량 변화

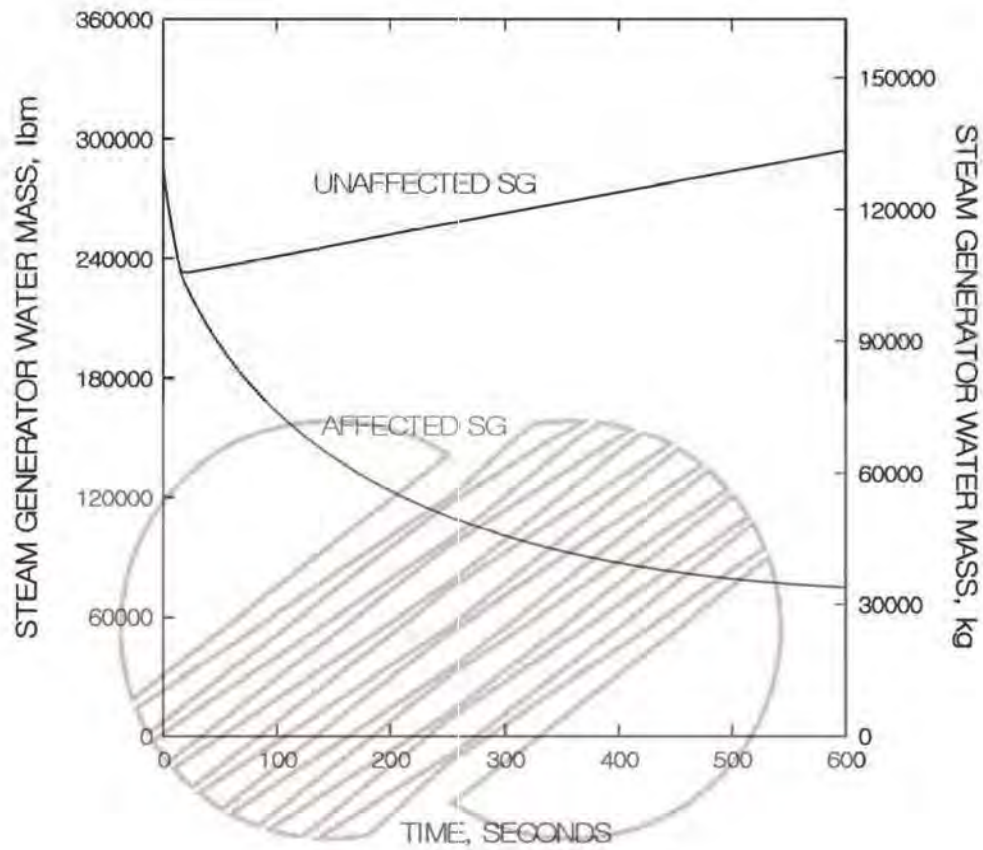
그림 15.1.5-59



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

영출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 급수 엔탈피 변화

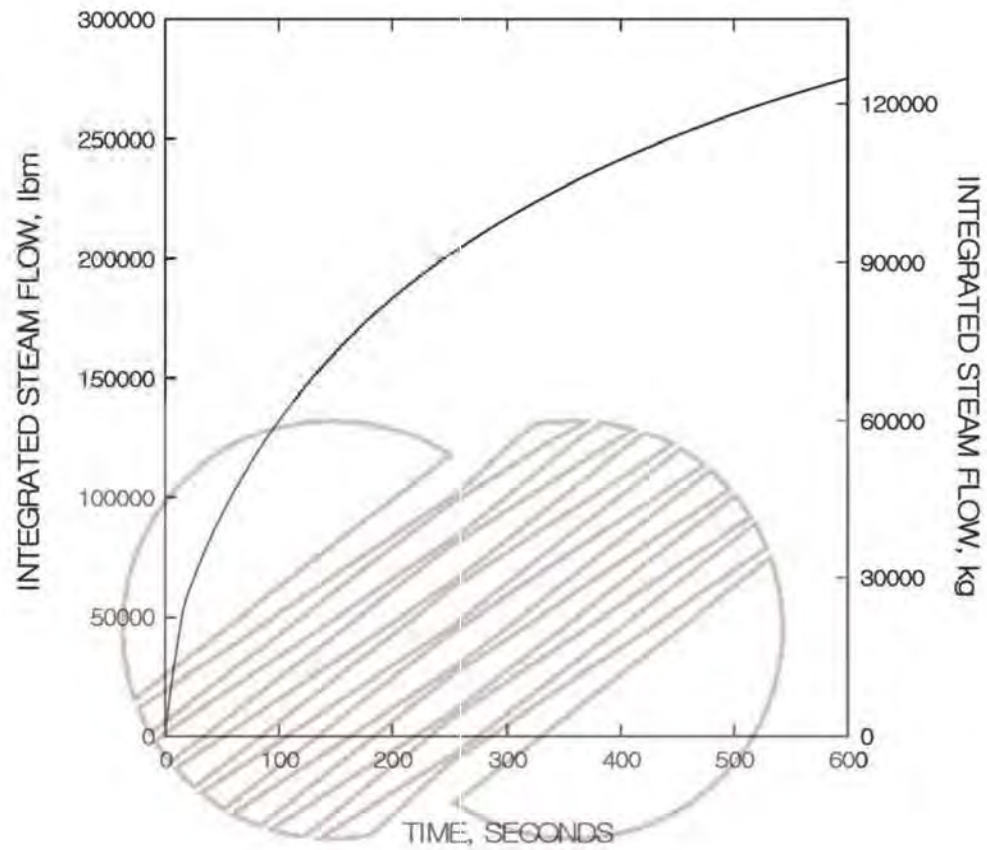
그림 15.1.5-60



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

영출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 증기발생기 재고량 변화

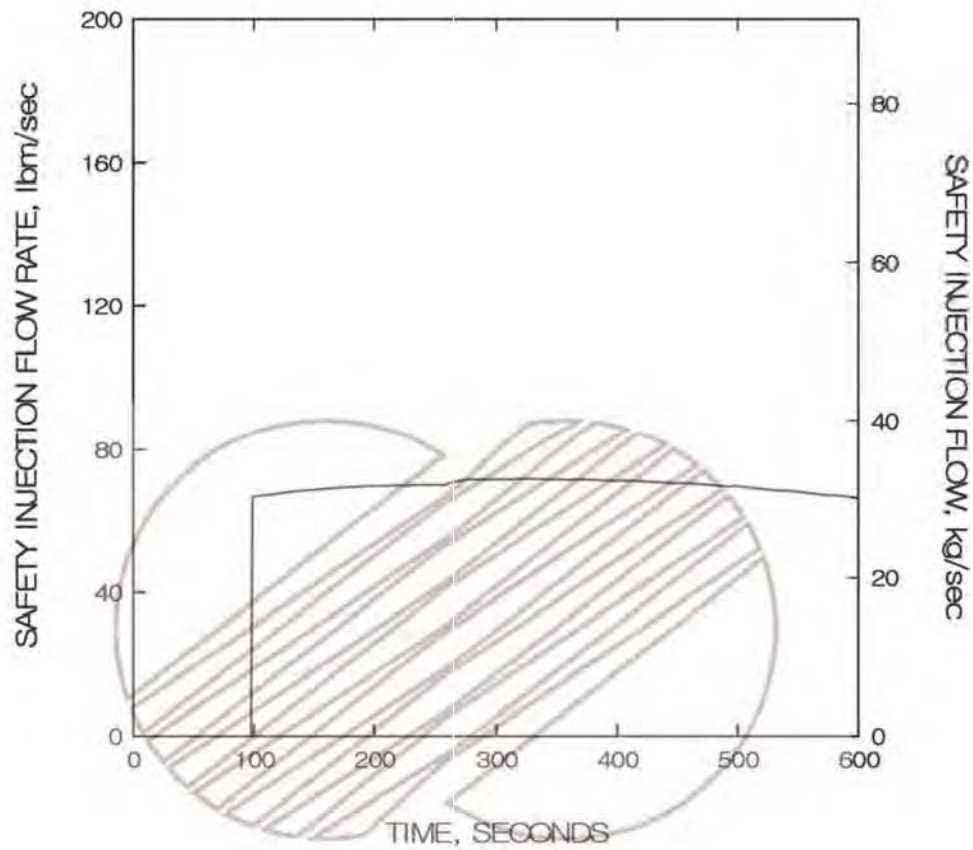
그림 15.1.5-61

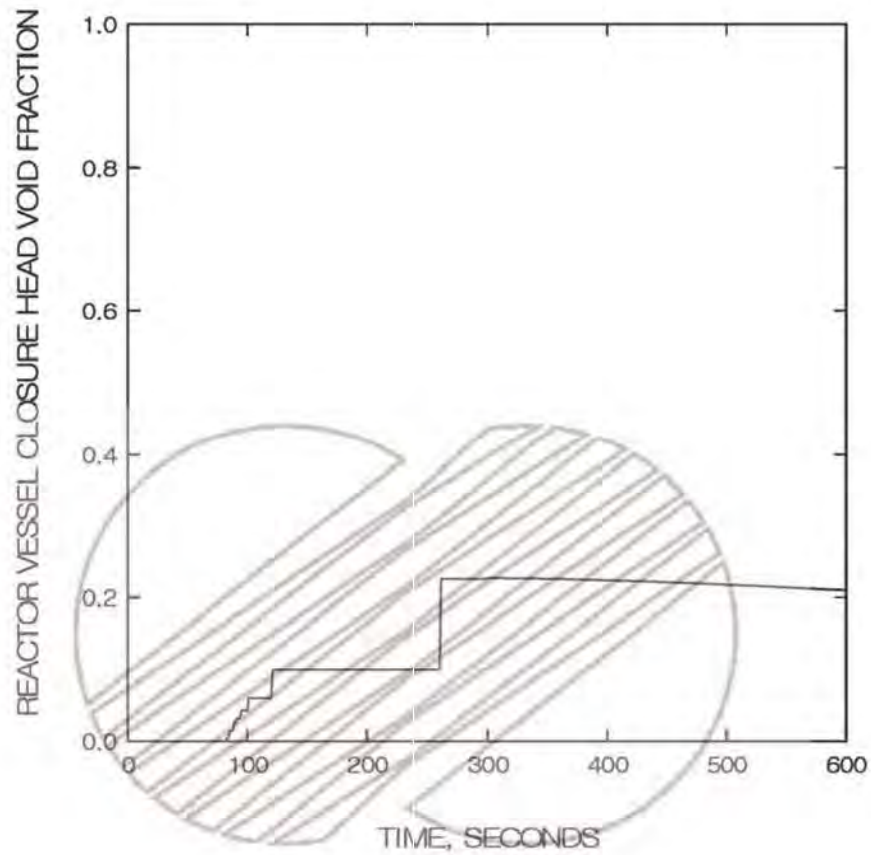


한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

영출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 누적 증기방출량 변화

그림 15.1.5-62

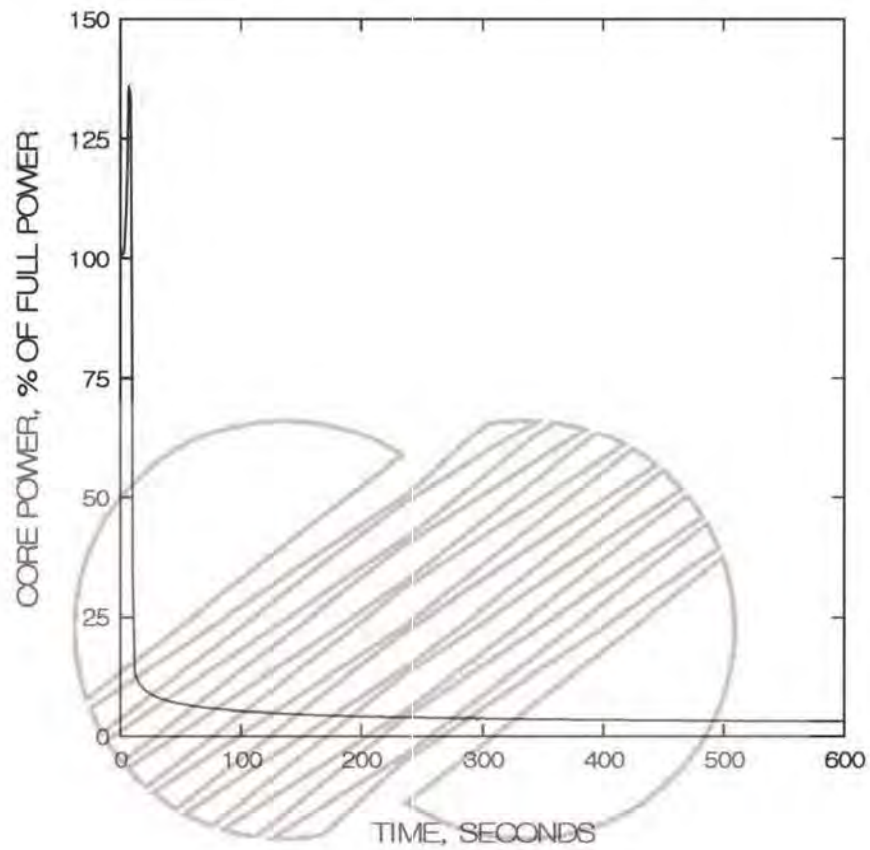




한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

영출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관 파단사고 : 시간에 따른
원자로용기상부헤드 기포분률 변화

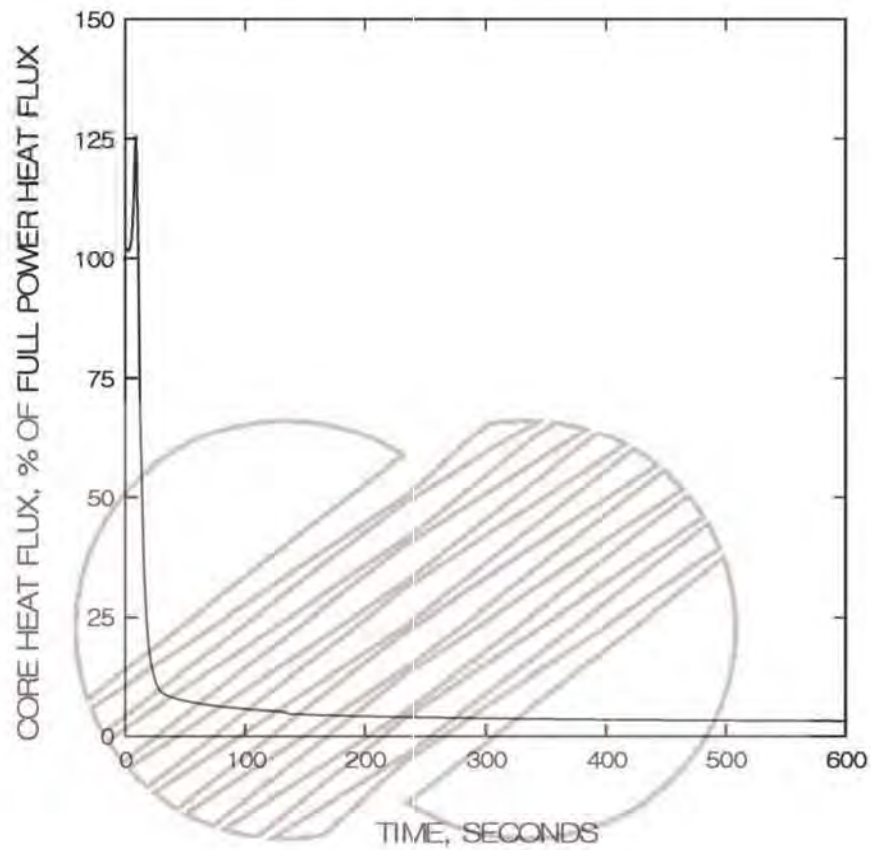
그림 15.1.5-64



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관과단사고 :
시간에 따른 노심출력 변화

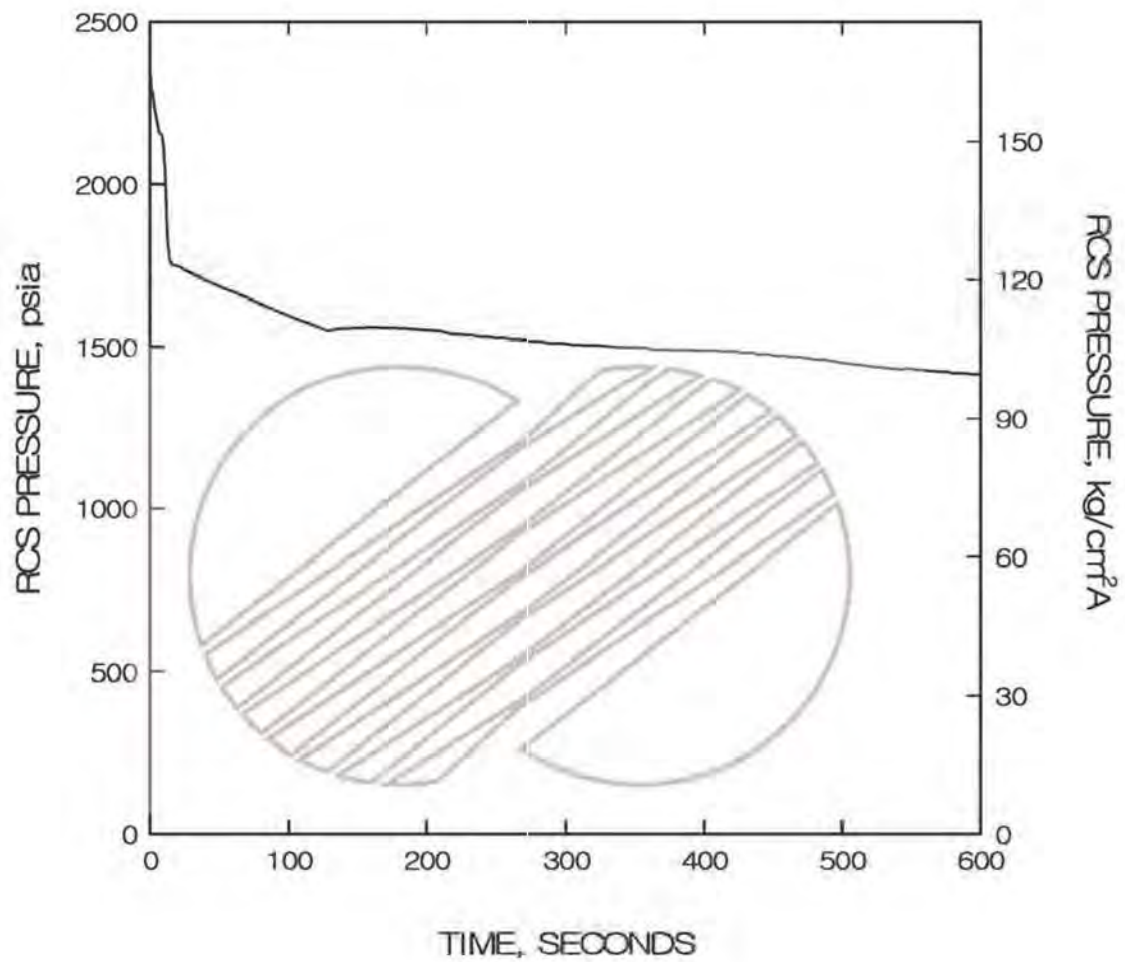
그림 15.15-65




한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 노심열속 변화

그림 15.15-66

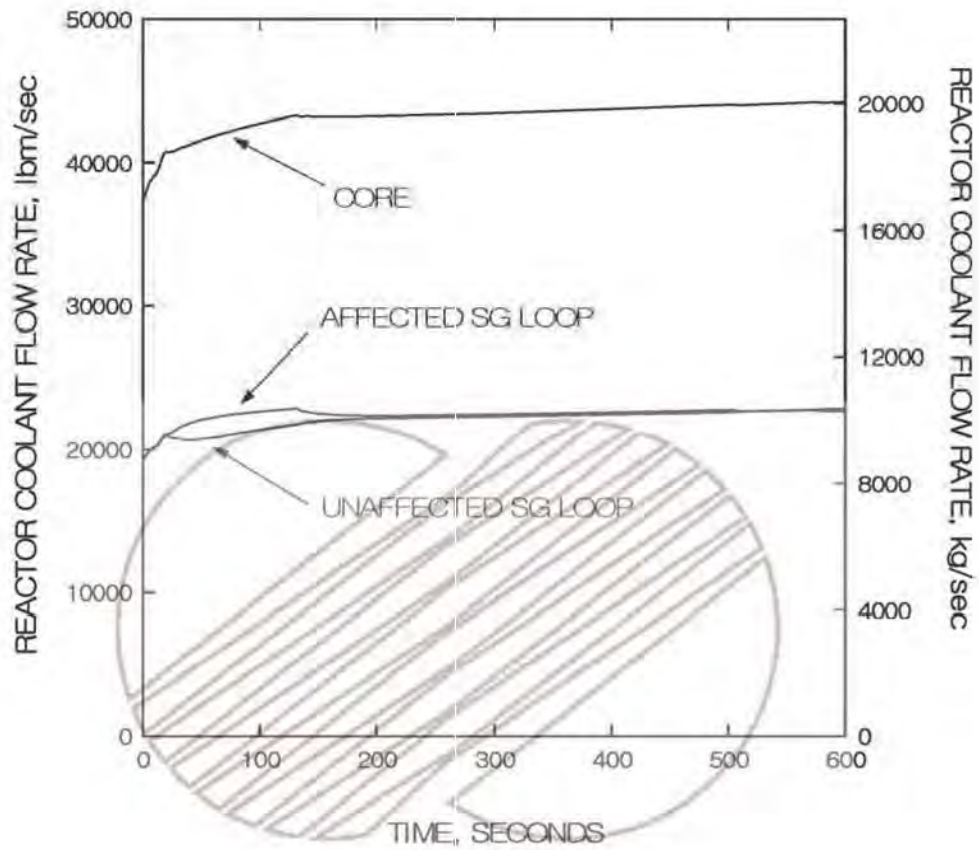




한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 원자로냉각계통 압력 변화

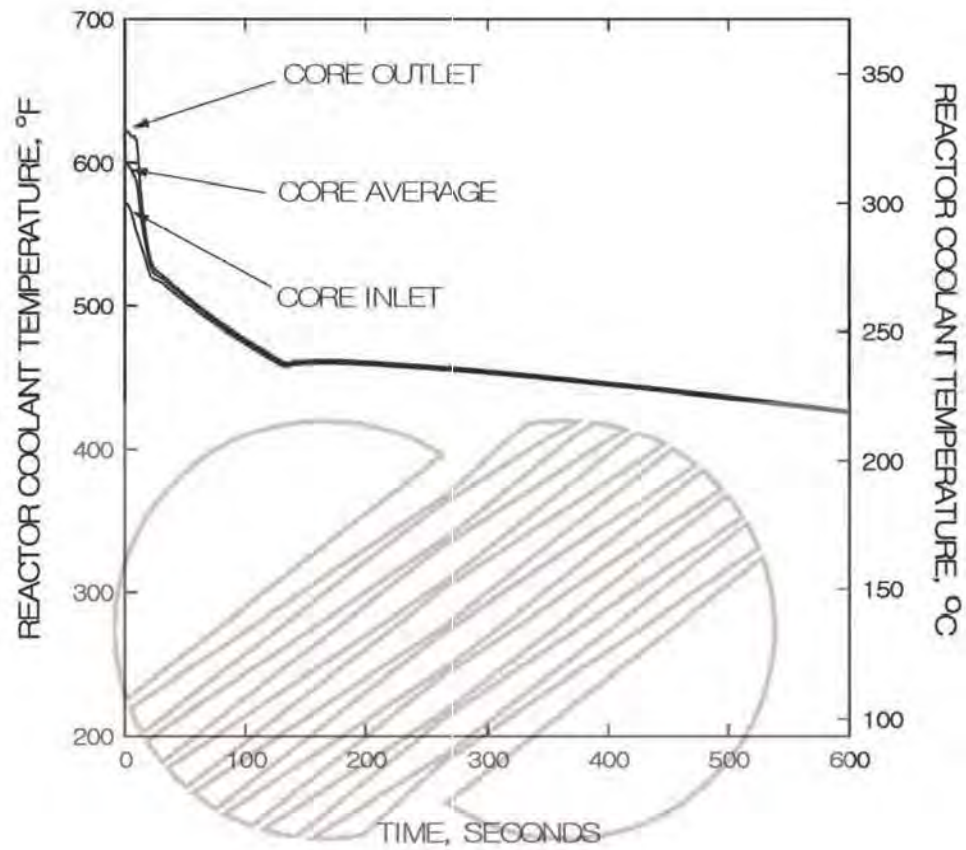
그림 15.15-67



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 원자로냉각재 유량 변화

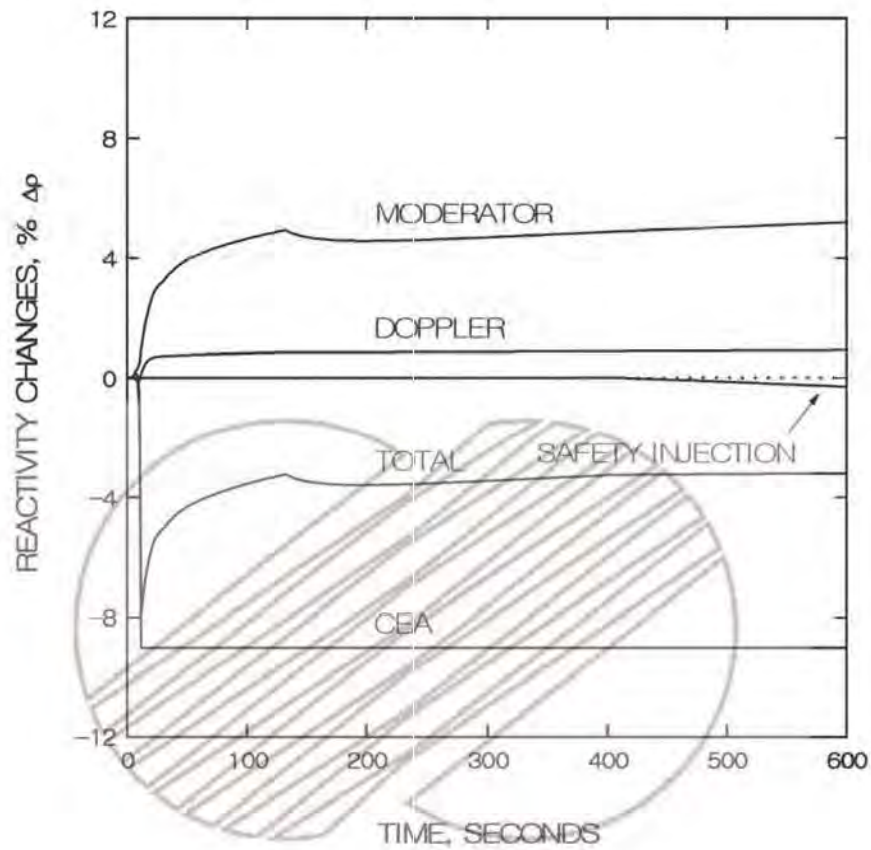
그림 15.1.5-68



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 원자로냉각재 온도 변화

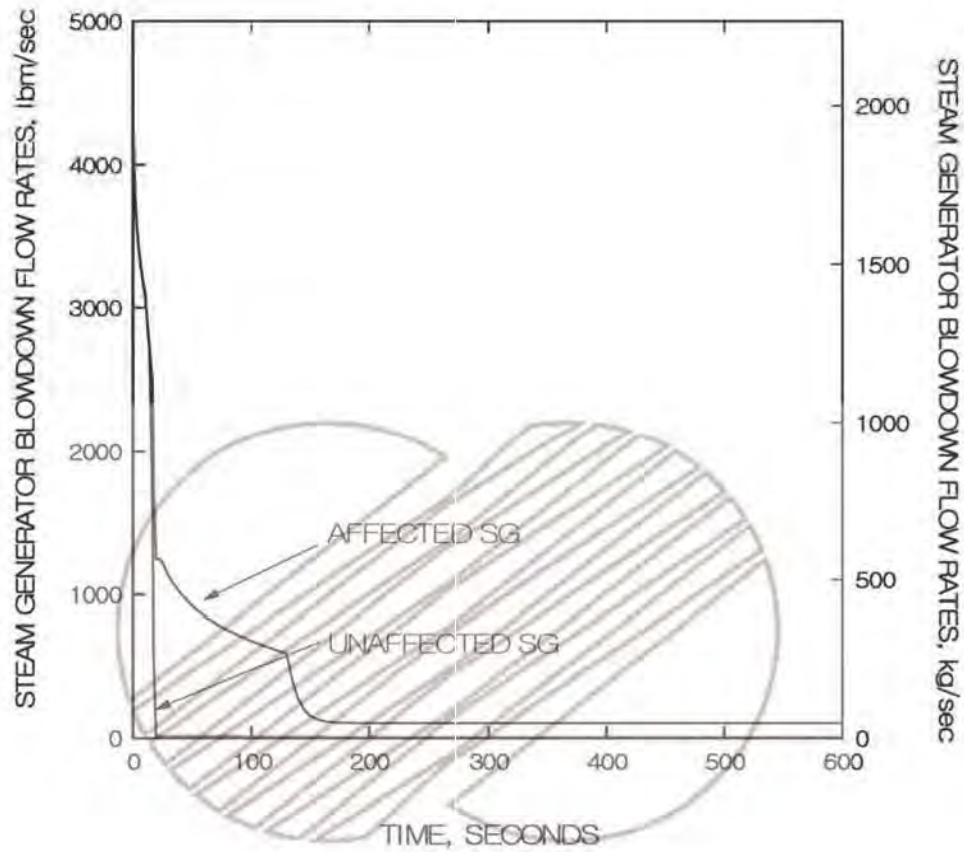
그림 15.1.5-69



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 각종 반응도 변화

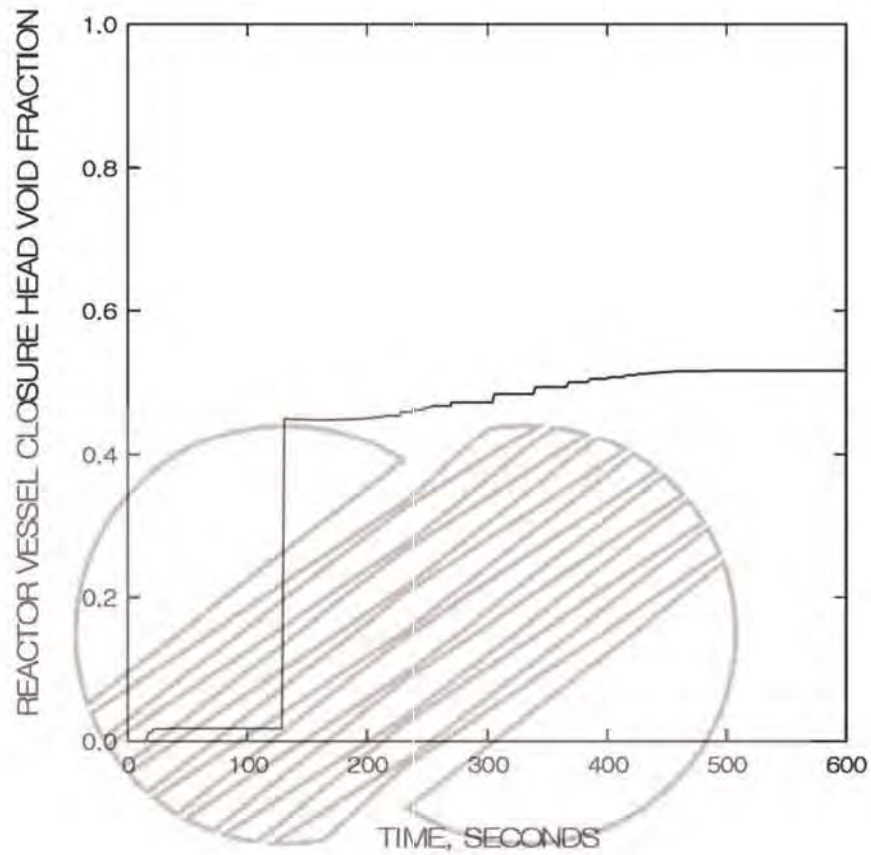
그림 15.15-70



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관파단사고 :
시간에 따른 증기발생기 방출유량 변화

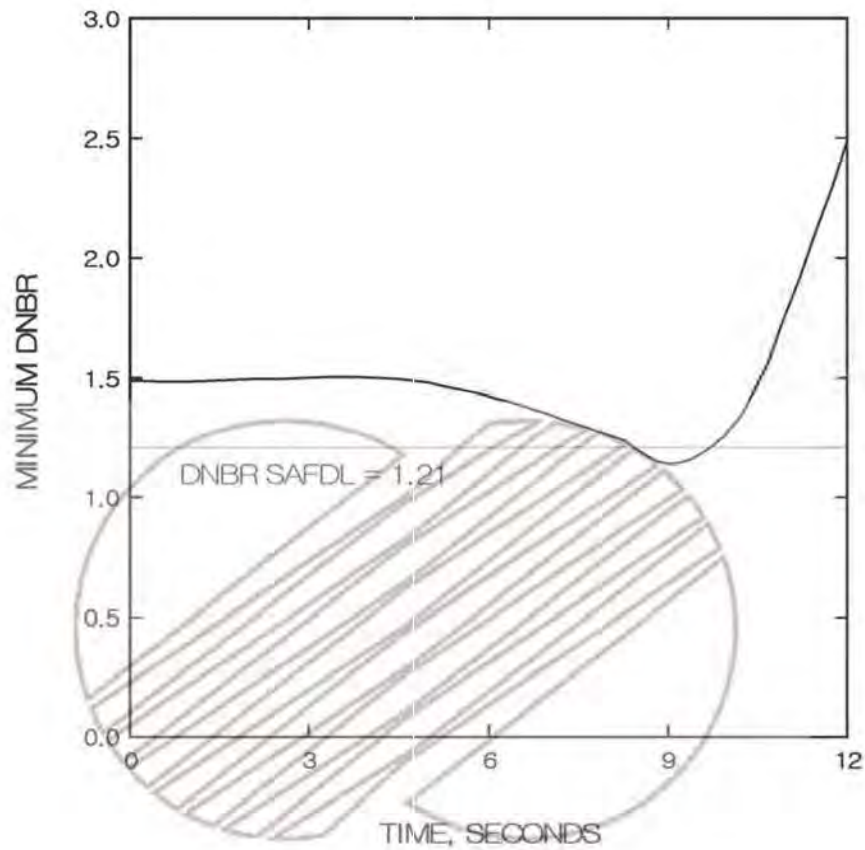
그림 15.15-71



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원이 공급되는
원자로건물 외부 대형증기관파단사고 : 시간에
따른 원자로용기상부헤드 기포분률 변화

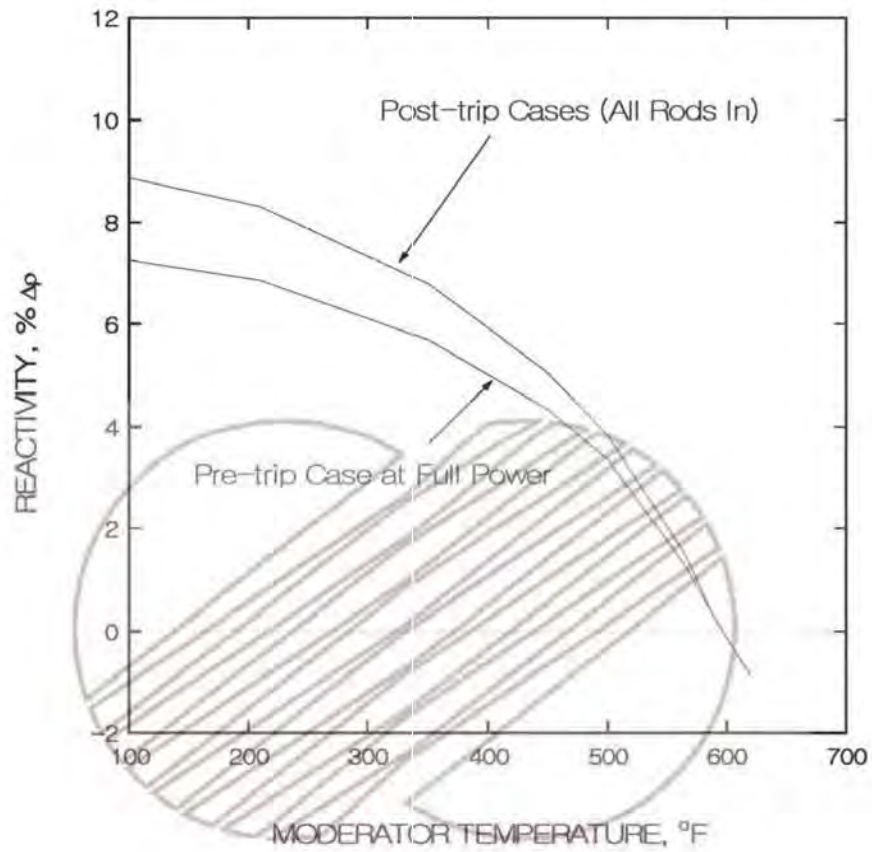
그림 15.1.5-72



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

전출력 운전중 소외전원이 공급되는
대형증기관파단사고 ;
시간에 따른 최소 핵비등이탈률 변화

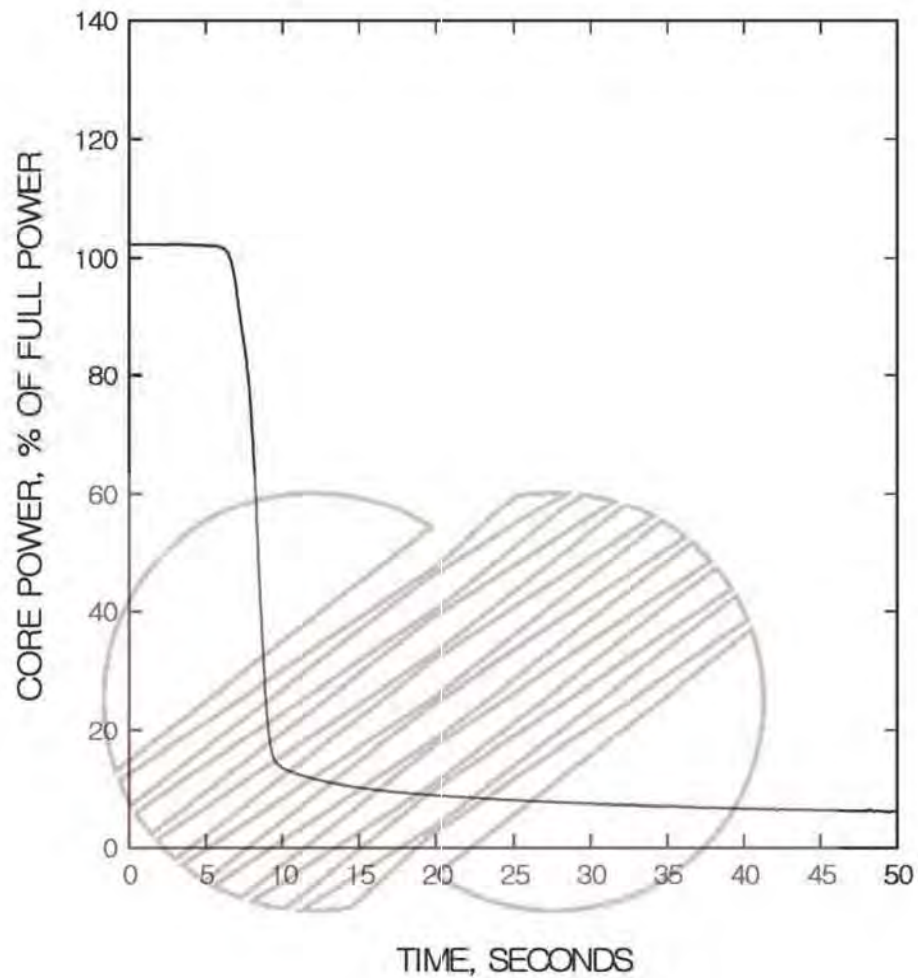
그림 15.15-73



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

신고리 1,2호기 1주기
냉각제온도에 따른 감속제반응도

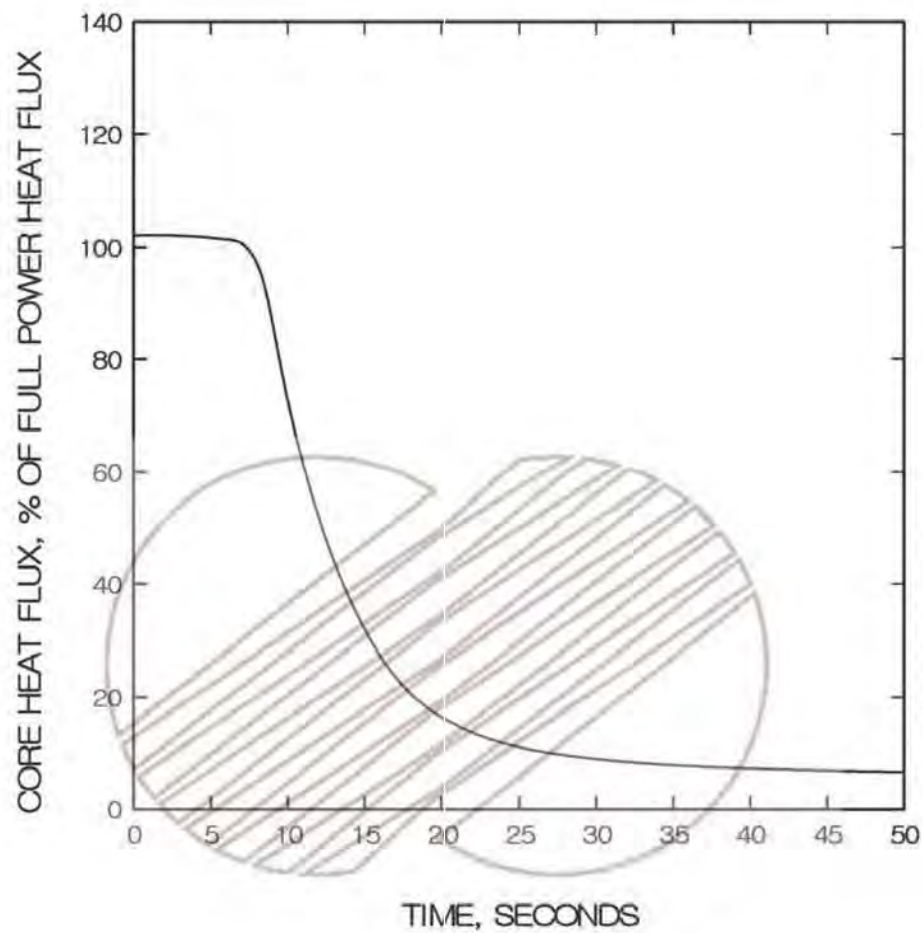
그림 15.15-74



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

복수기진공 상실사건 :
시간에 따른 노심 출력 변화

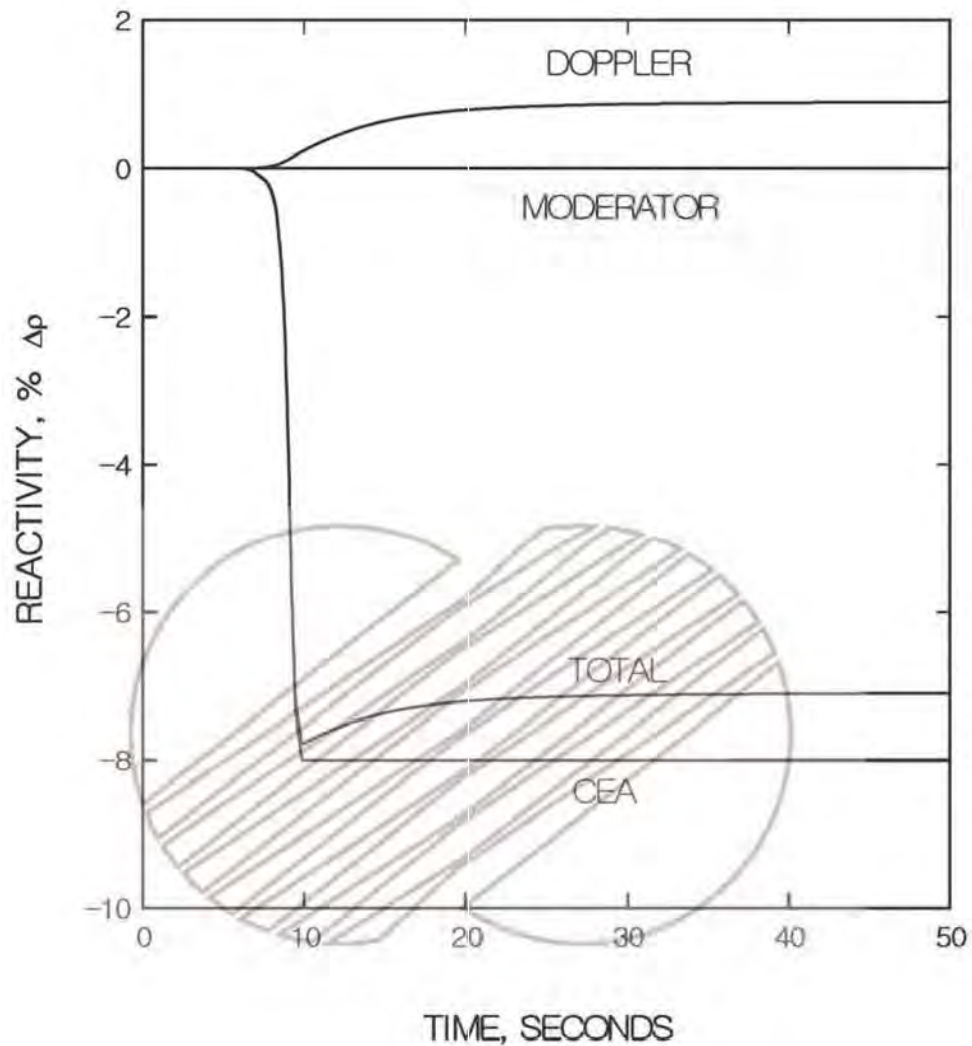
그림 15.2.3-1



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

복수기진공 상실사건 :
시간에 따른 노심 열속 변화

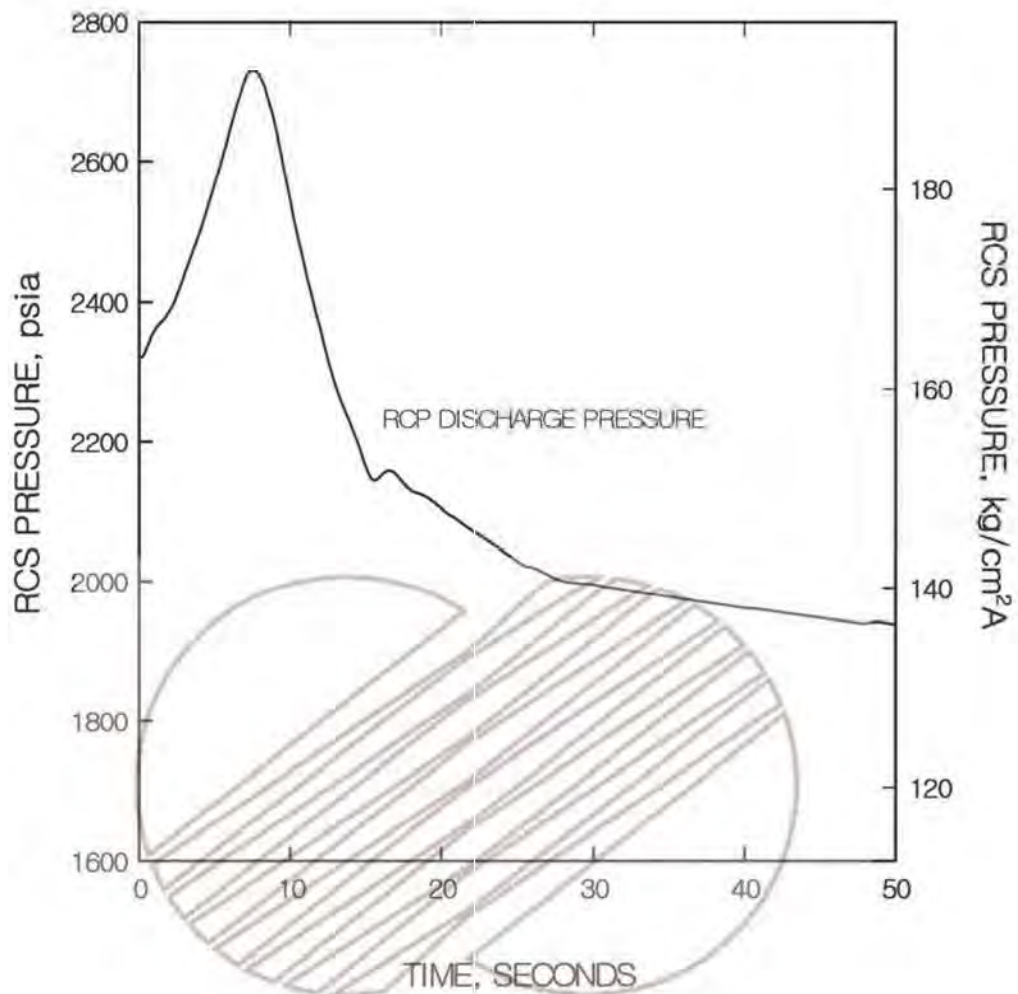
그림 15.2.3-2



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

복수기진공 상실사건 :
시간에 따른 반응도 변화

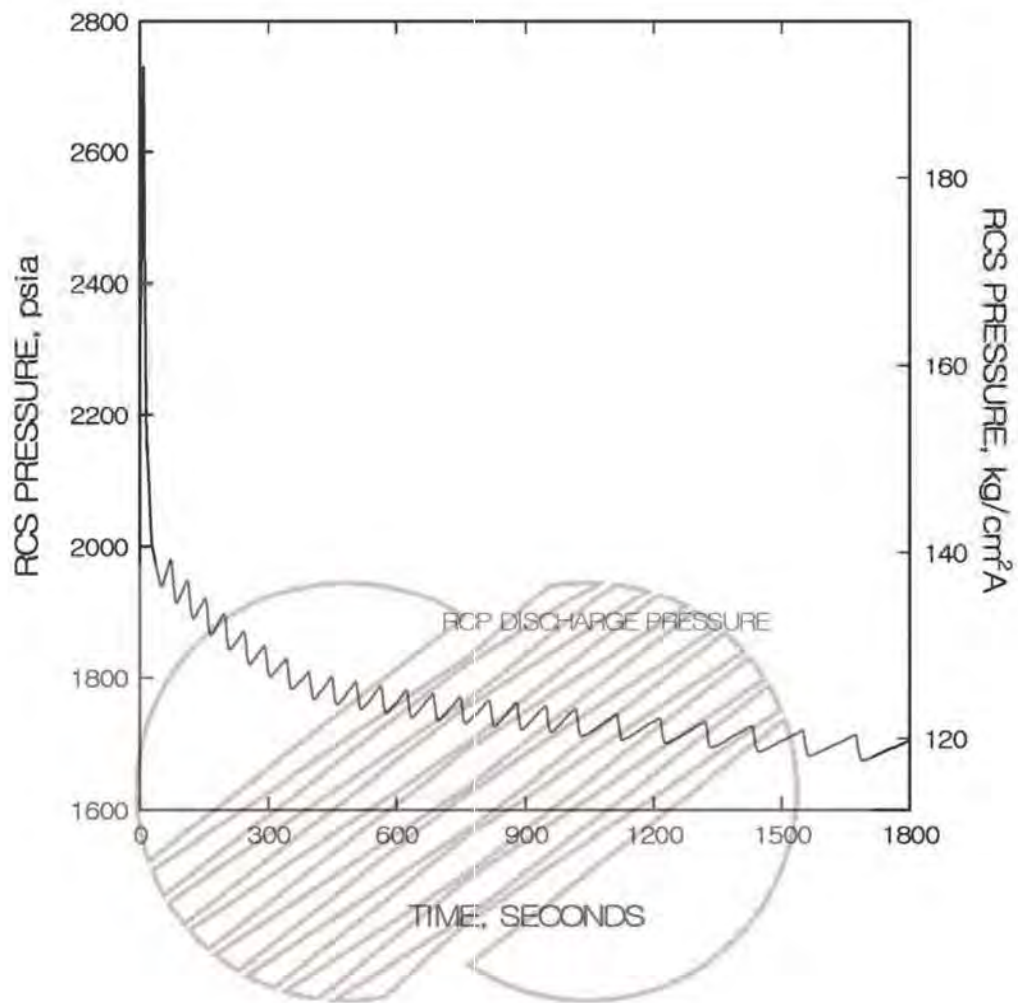
그림 15.2.3-3



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

복수기진공 상실사건 :
시간에 따른 원자로냉각계통 압력 변화(1)

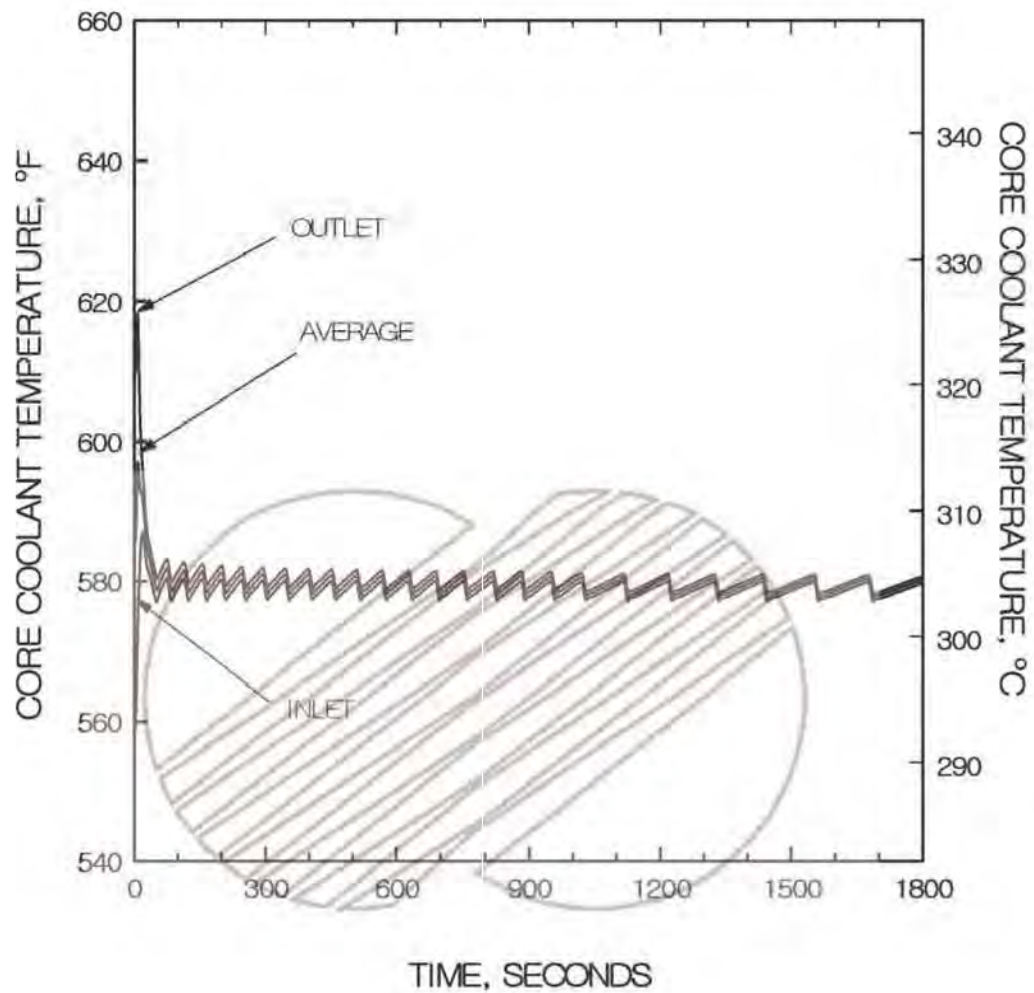
그림 15.2.3-4



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

복수기진공 상실사건 :
시간에 따른 원자로냉각재계통 압력 변화(2)

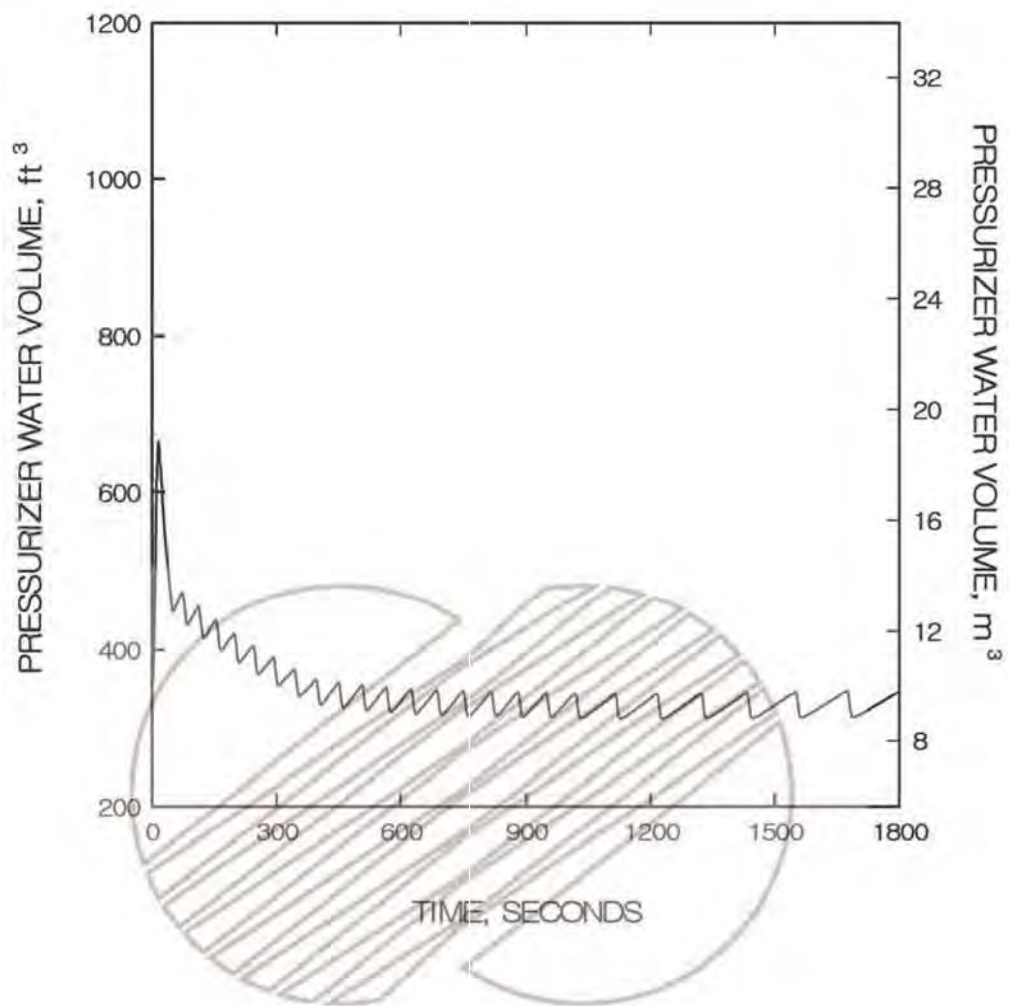
그림 15.2.3-5



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

복수기진공 상실사건 : 시간에 따른
원자로냉각재계통 온도 변화

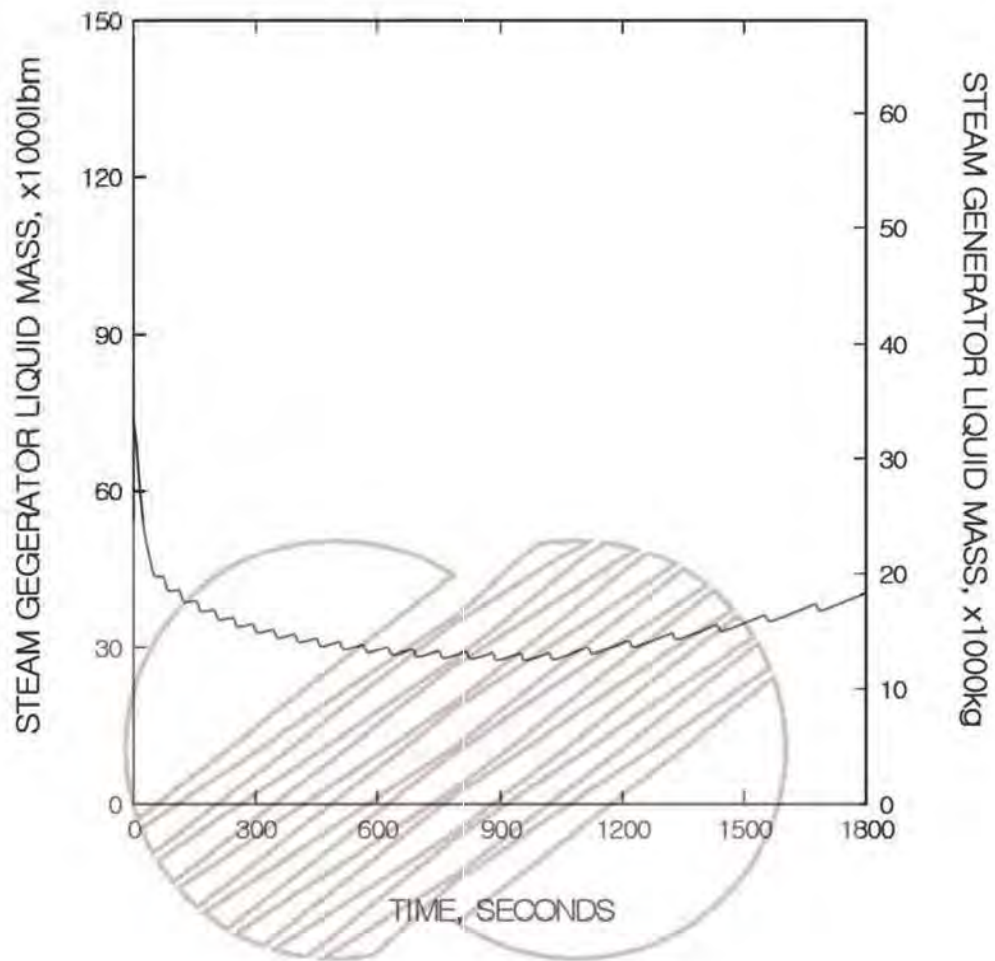
그림 15.2.3-6



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

복수기진공 상실사건 : 시간에 따른
가압기냉각제 체적 변화

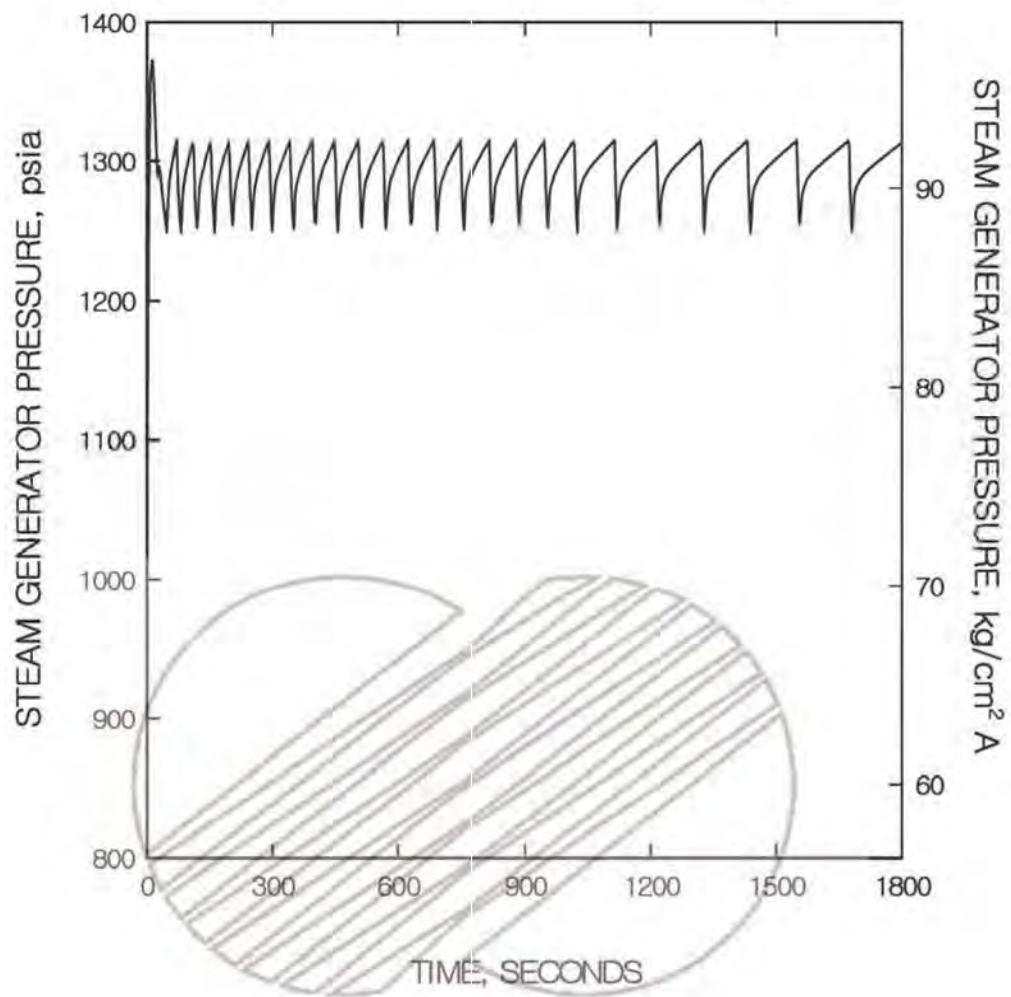
그림 15.2.3-7



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

복수기진공 상실사건 : 시간에 따른 증기발생기
재고량 변화

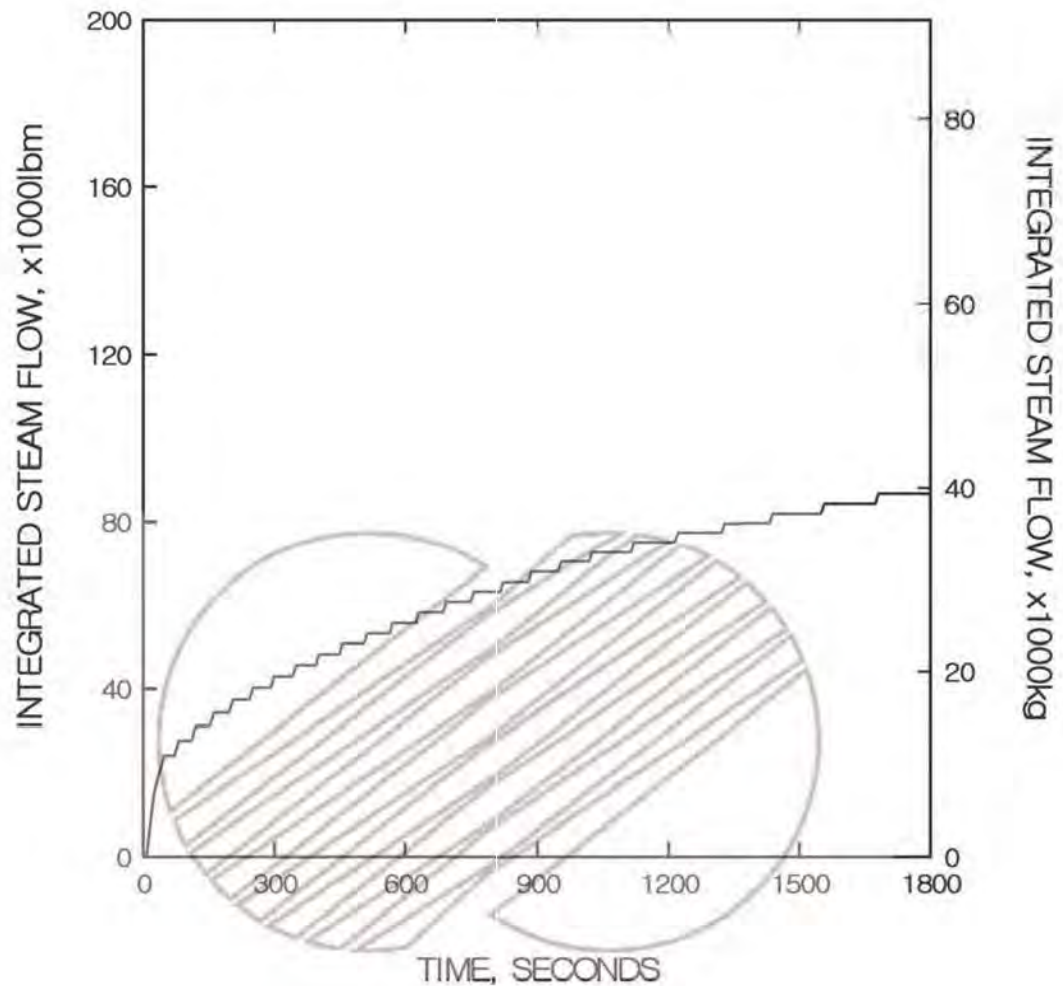
그림 15.2.3-8




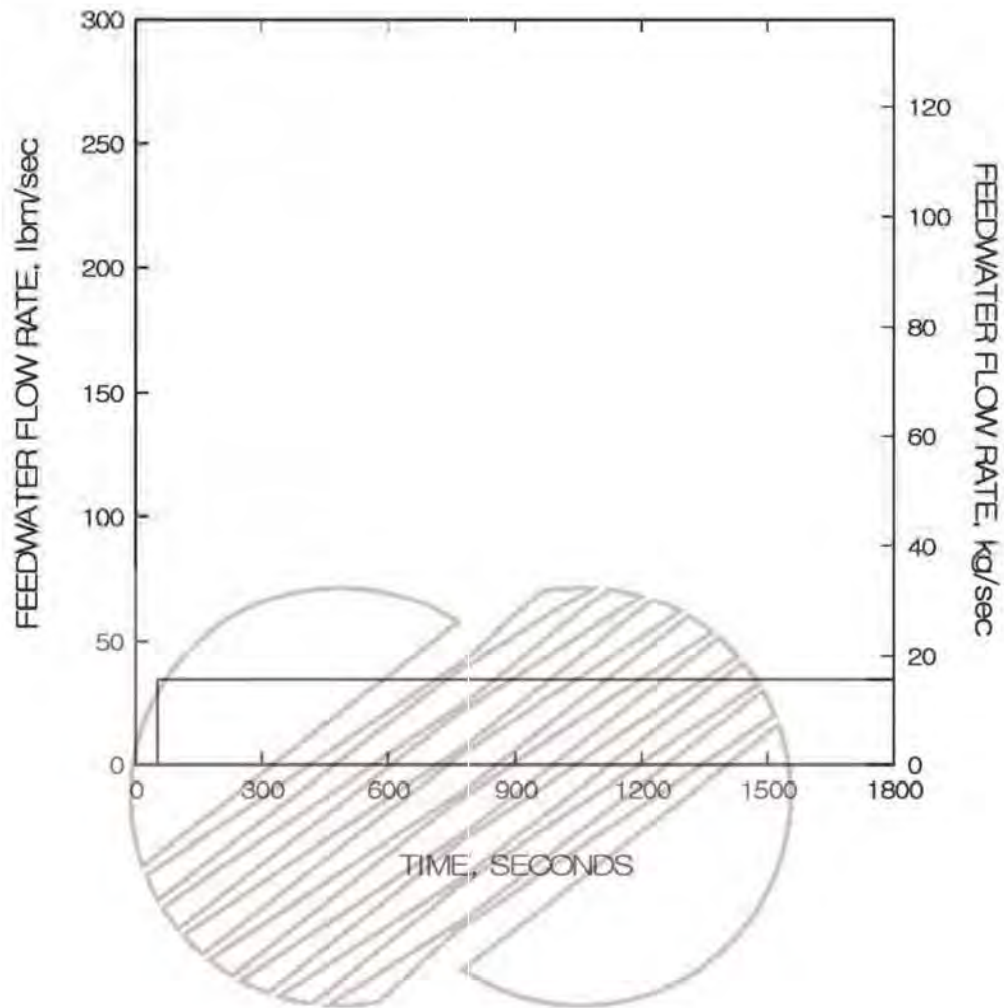
한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

복수기진공 상실사건 : 시간에 따른 증기발생기
압력 변화

그림 15.2.3-9



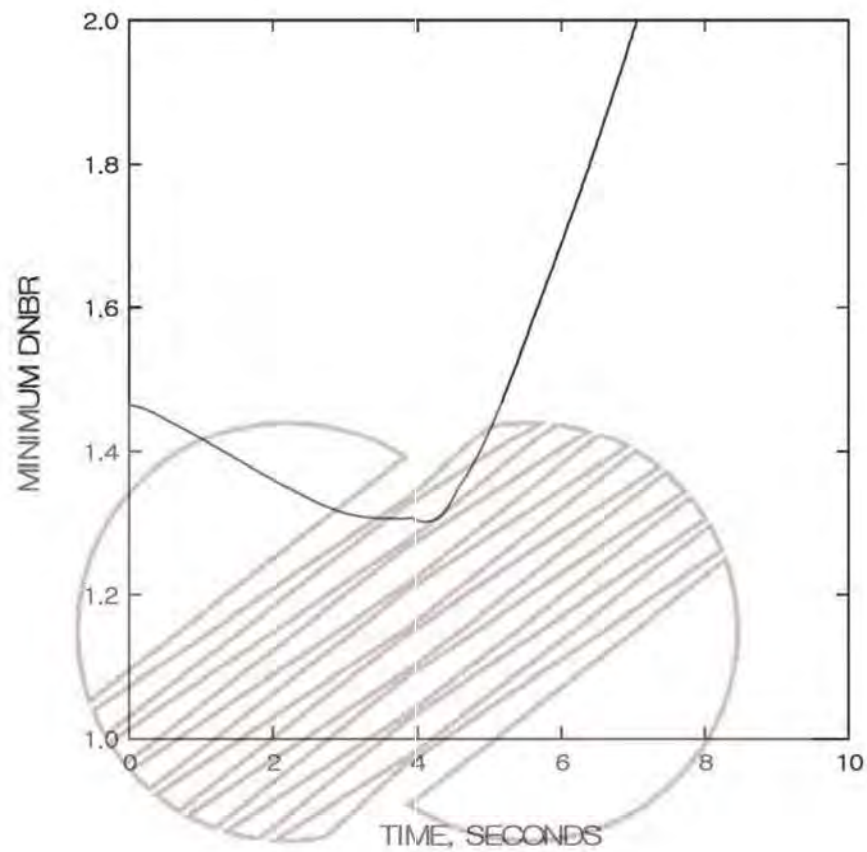
	한국수력원자력주식회사
	신고리 1,2호기
	최종안전성분석보고서
복수기진공 상실사건 : 시간에 따른 증기발생기 총 증기유량 변화	
그림 15.2.3-10	



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

복수기진공 상실사건 : 시간에 따른 급수유량
변화

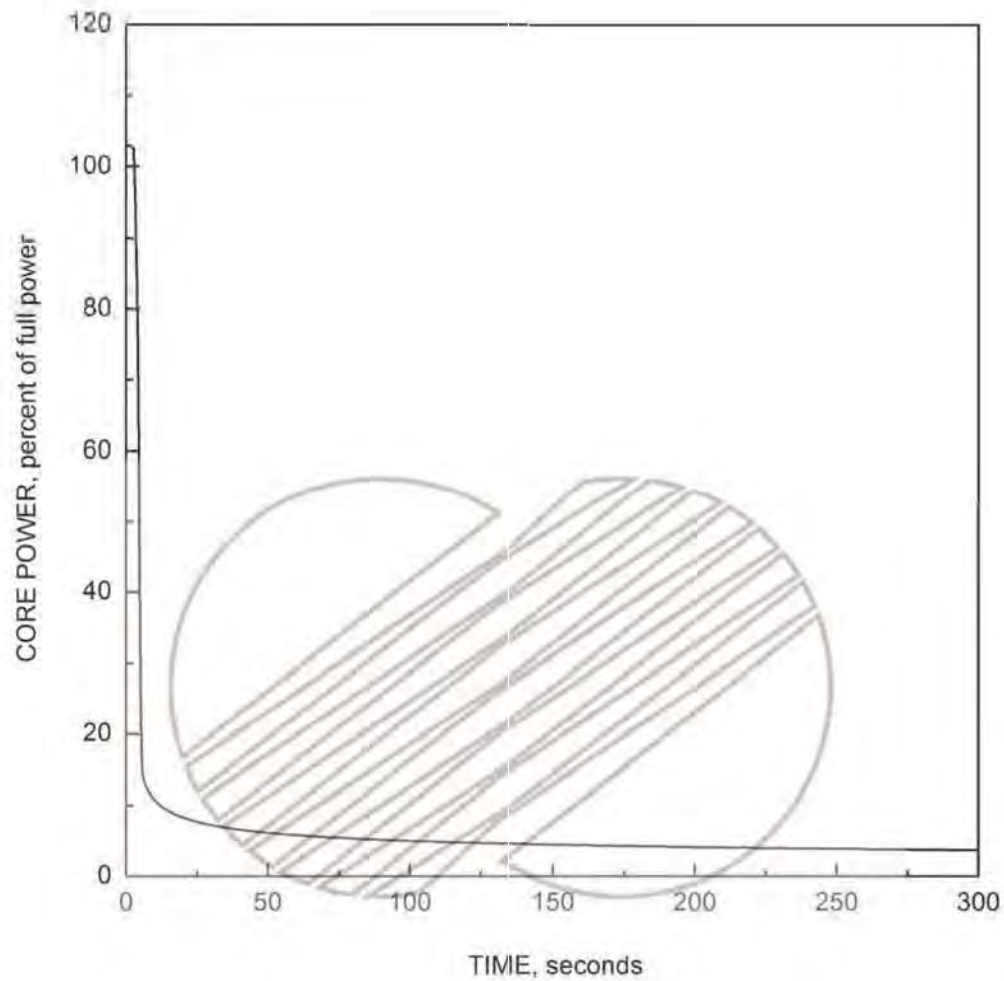
그림 15.2.3-11



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

복수기진공 상실사건 : 시간에 따른 최소
핵비등이탈률 변화

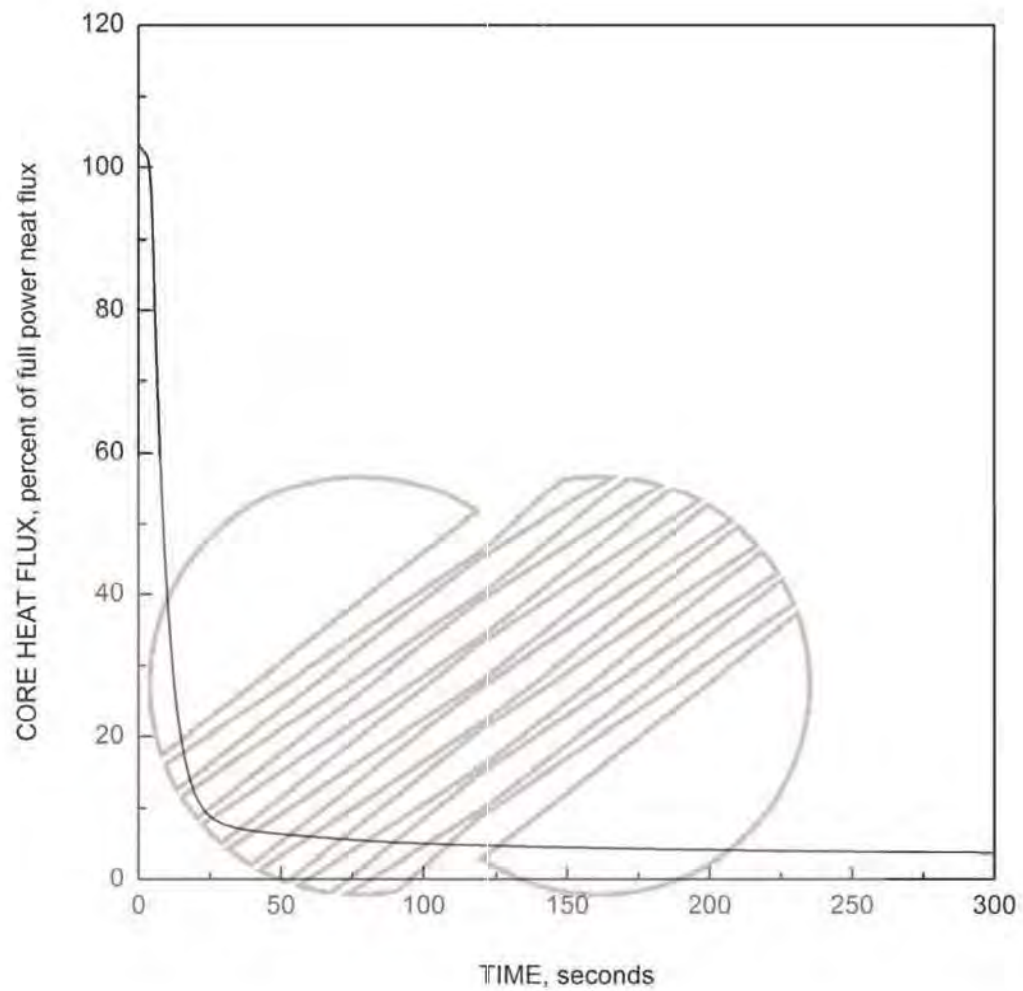
그림 15.2.3-12



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

원자로냉각재 유량 완전상실 :
노심 출력 대 시간

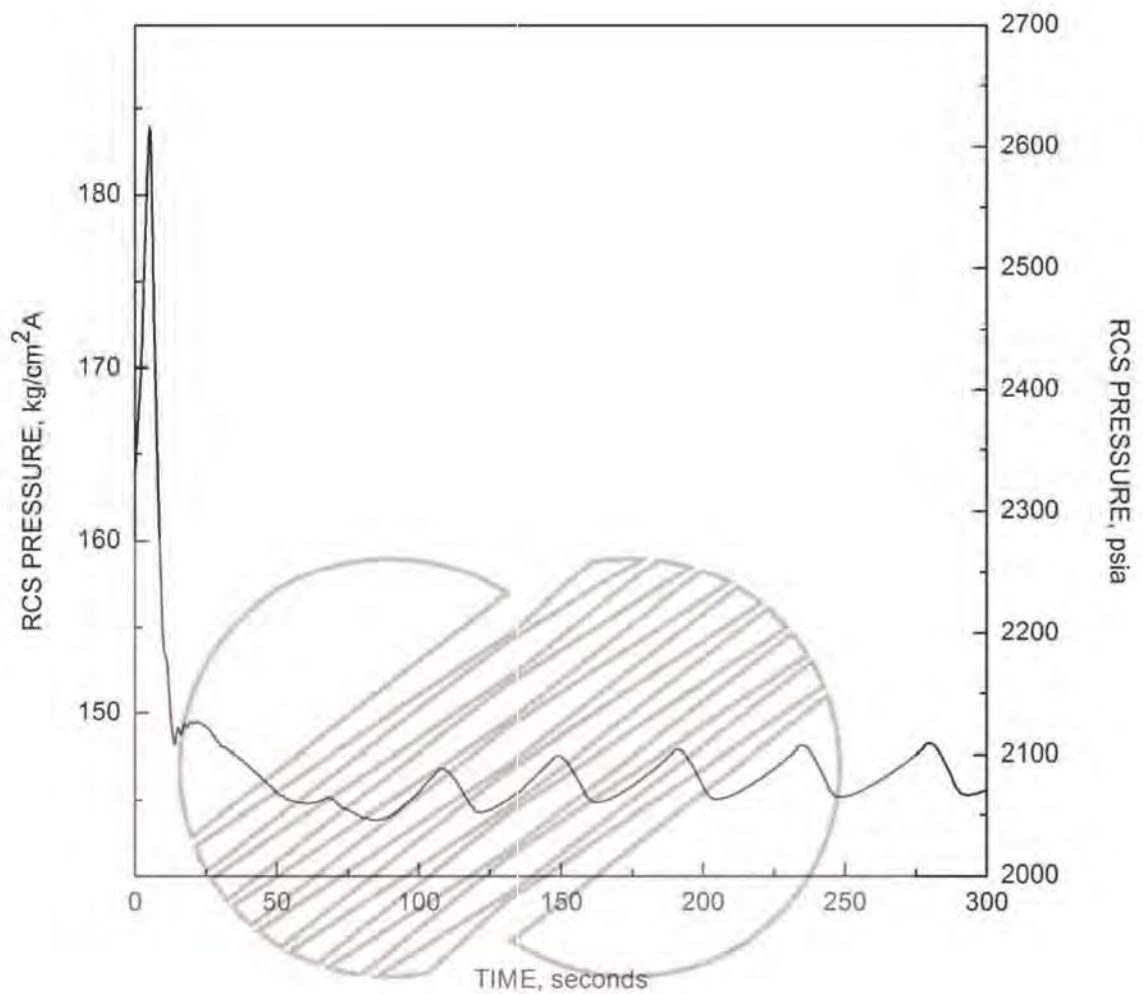
그림 15.3.1-1



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

원자로냉각재 유량 완전상실 :
노심 평균열속 대 시간

그림 15.3.1-2



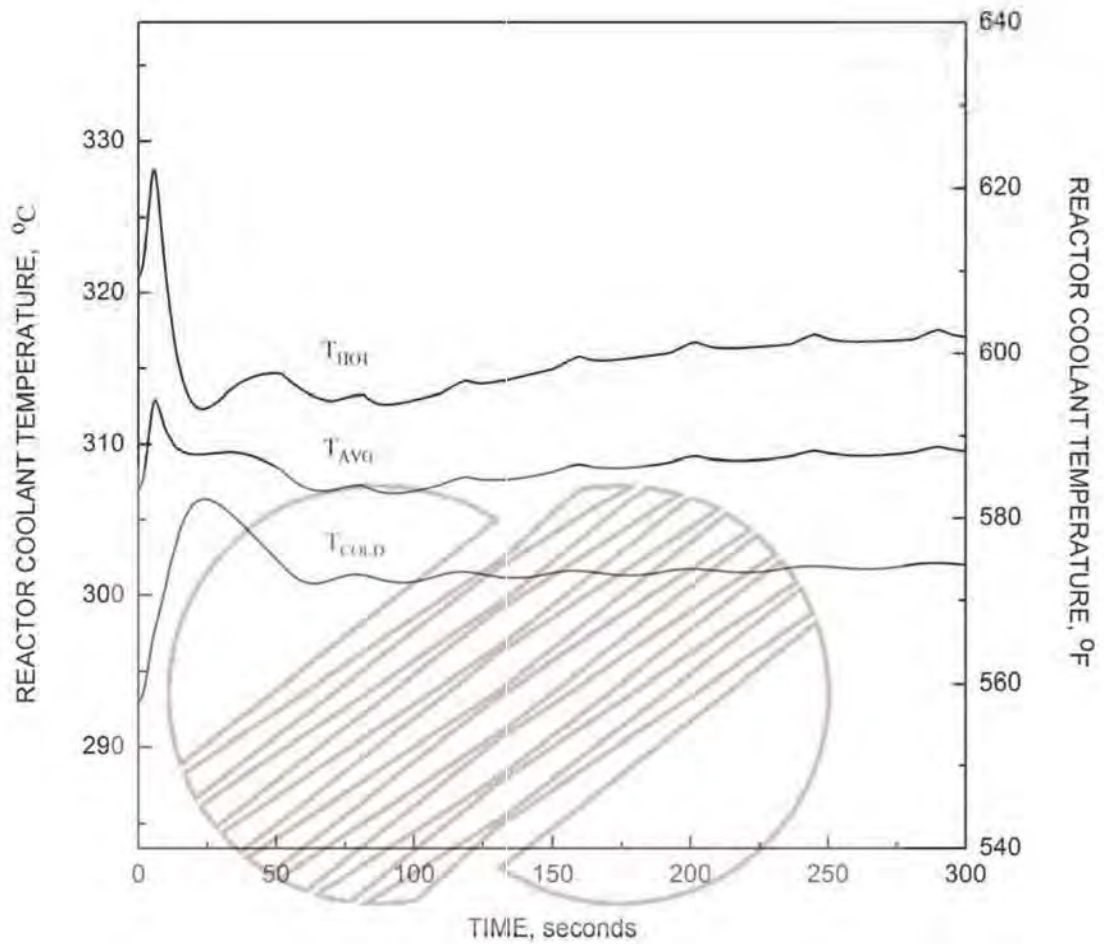
* DOES NOT INCLUDE ELEVATION OR REACTOR COOLANT PUMP HEADS



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

원자로냉각재 유량 완전상실 :
원자로냉각재계통 압력 대 시간

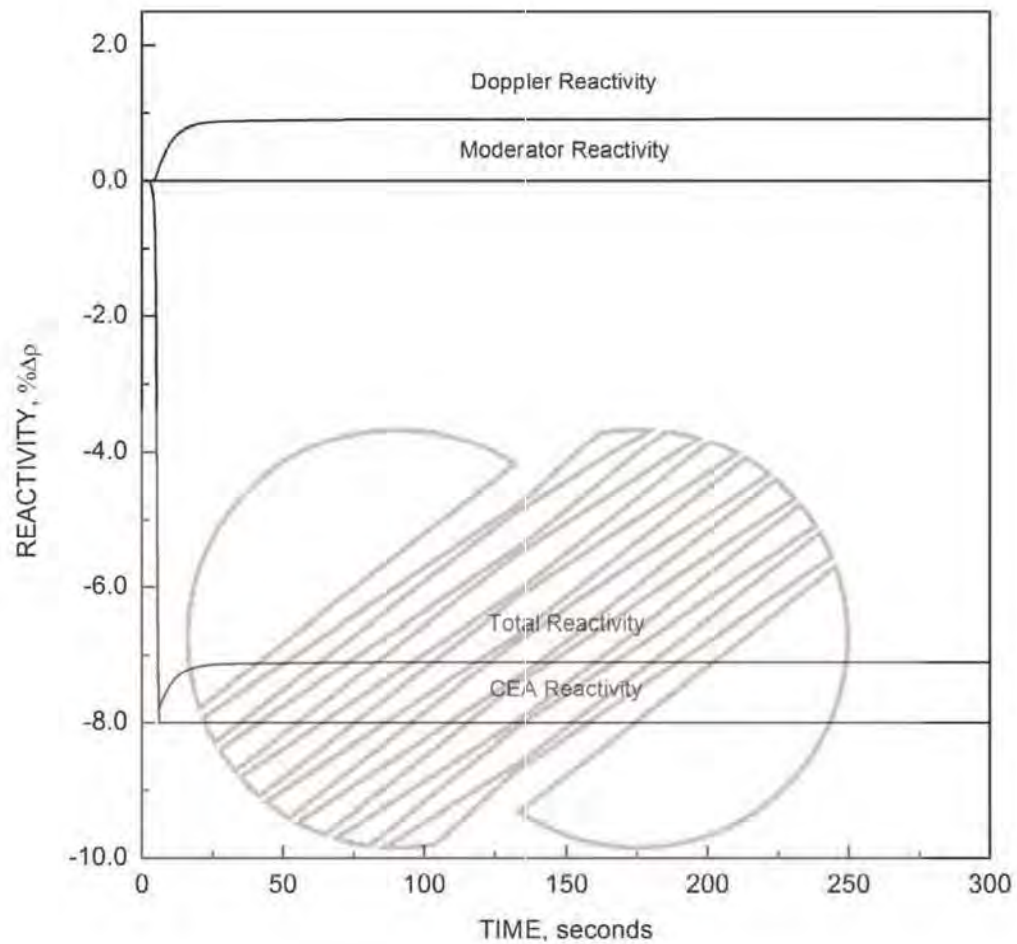
그림 15.3.1-3



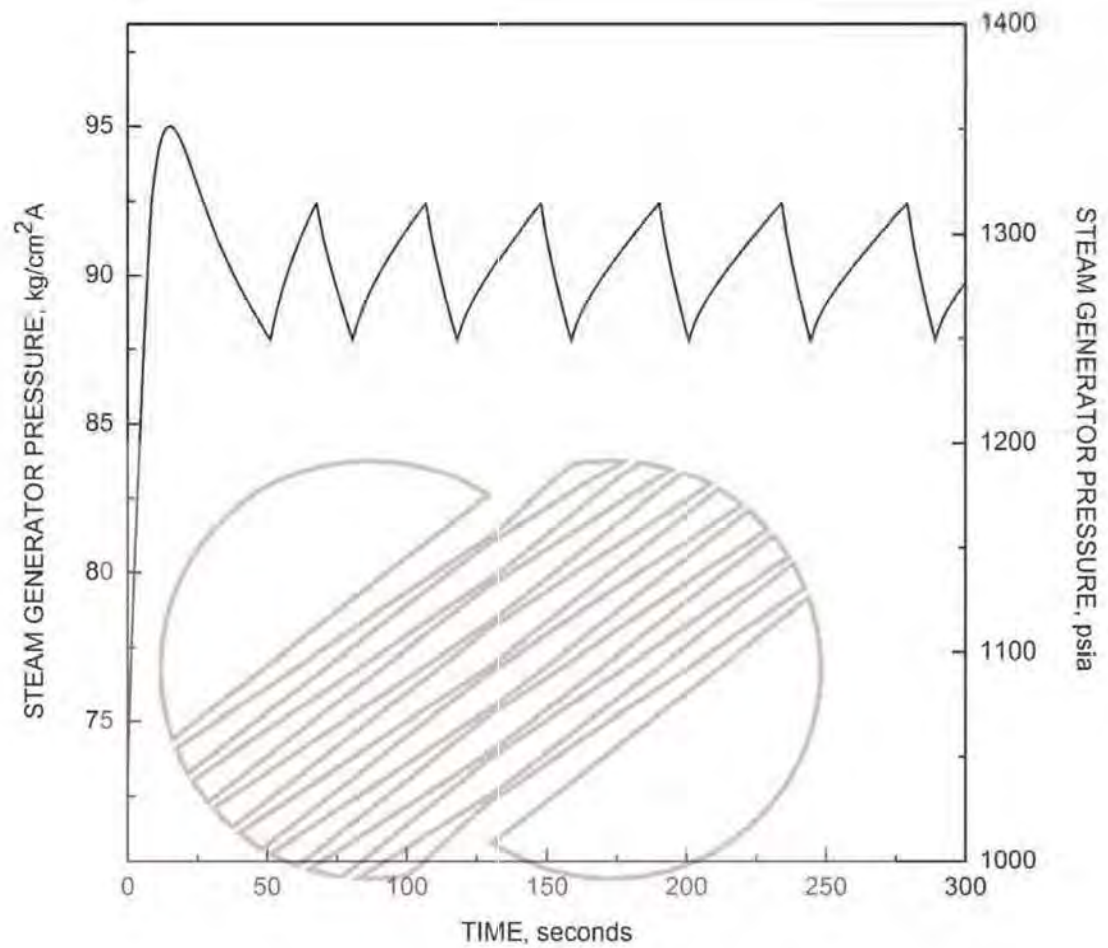
한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

원자로냉각재 유량 완전상실 :
노심 평균 냉각재 온도 대 시간

그림 15.3.1-1



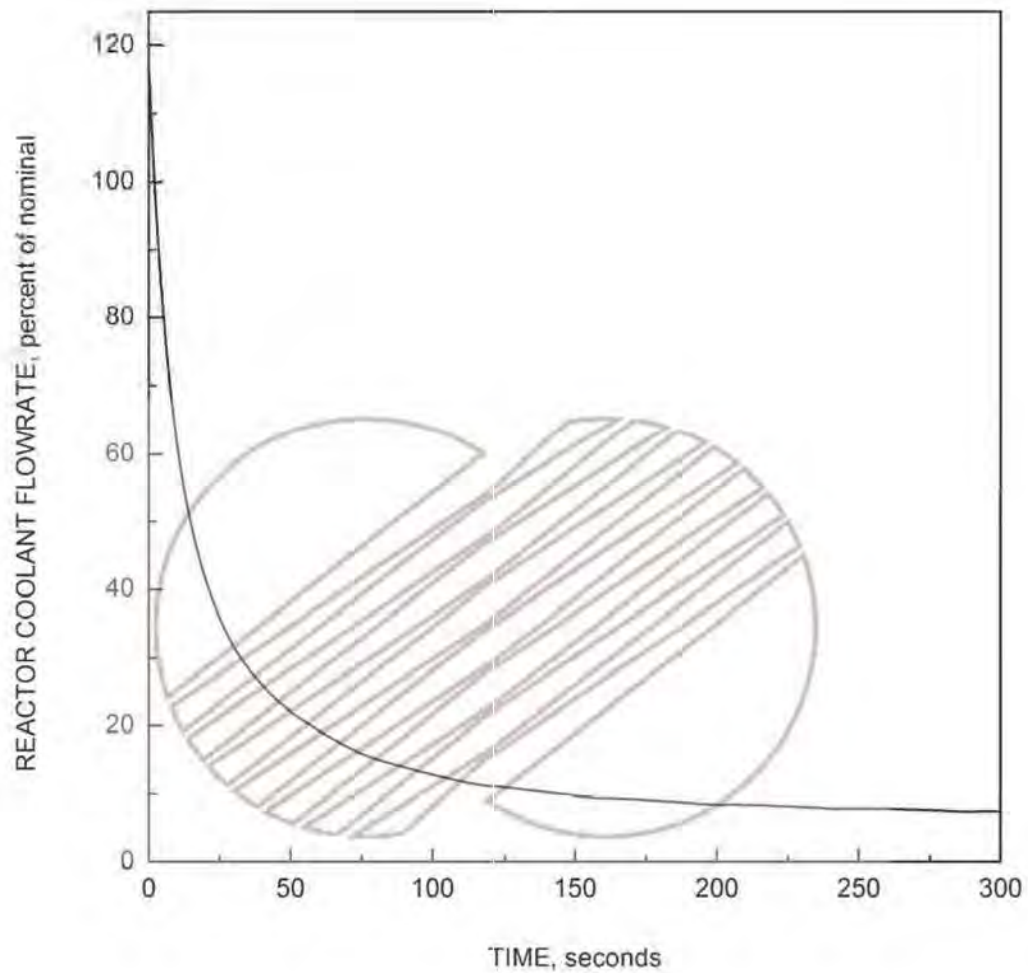
	한국수력원자력주식회사 신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서
	원자로냉각재 유량 완전상실 : 반응도 대 시간
	그림 15.3.1-5



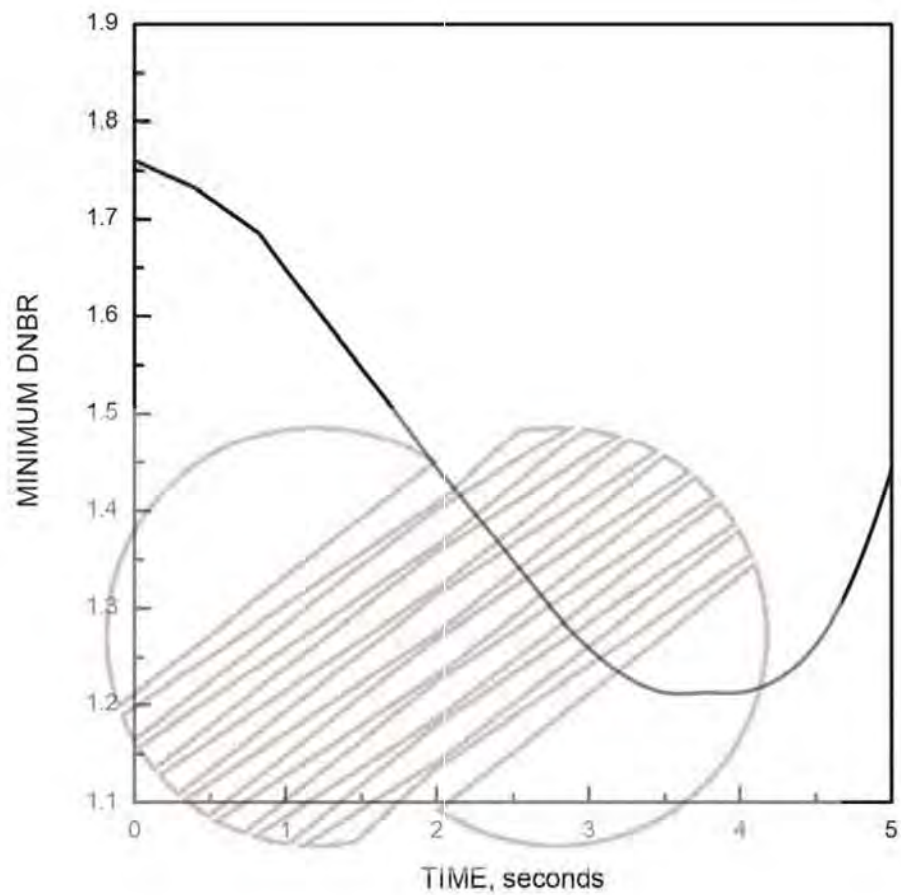
한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

원자로냉각재 유량 완전상실 :
증기발생기 압력 대 시간

그림 15.3.1-6



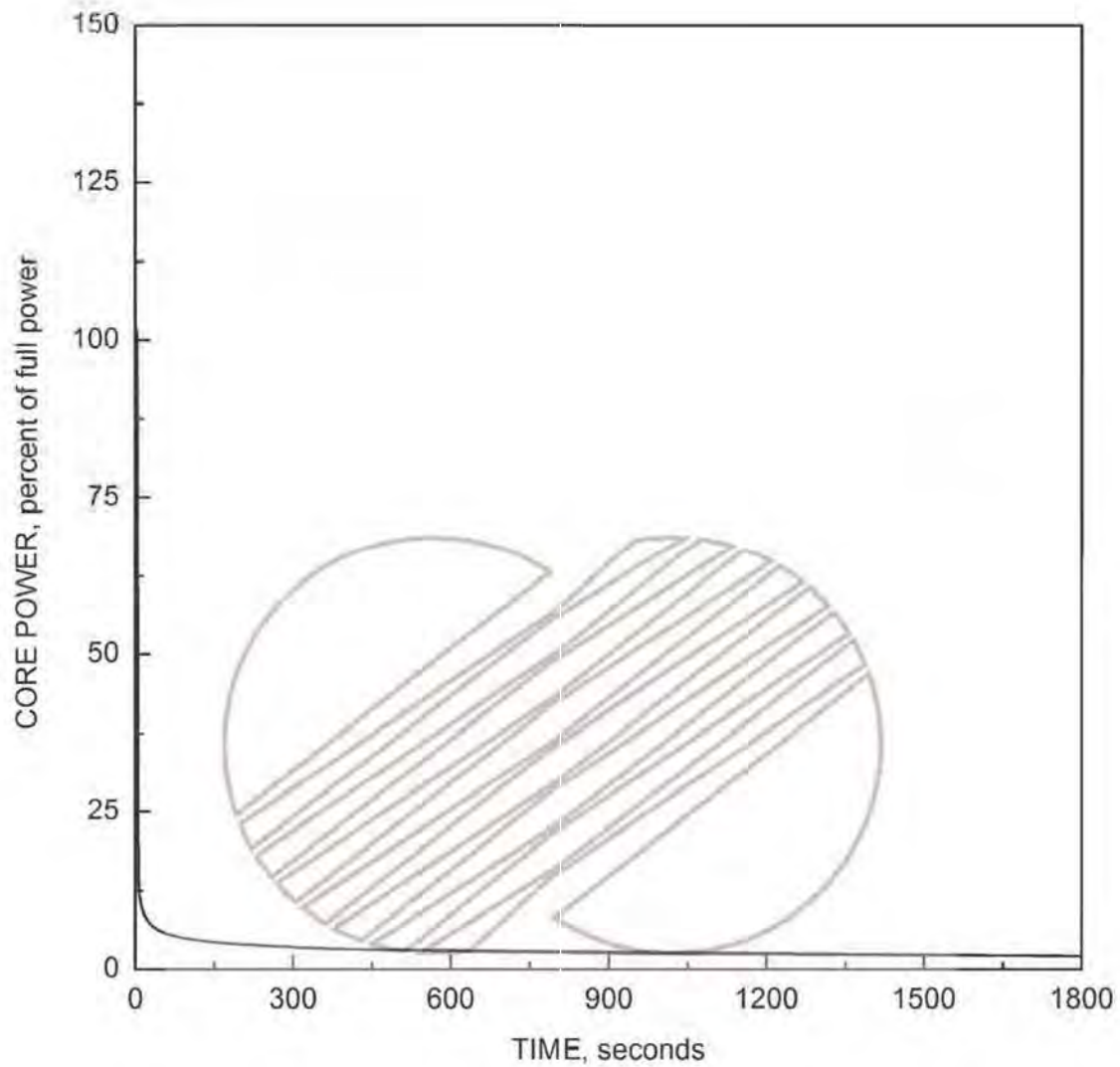
	한국수력원자력주식회사 신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서
원자로냉각재 유량 완전장실 : 원자로냉각재 유량 대 시간	
그림 15.3.1-7	



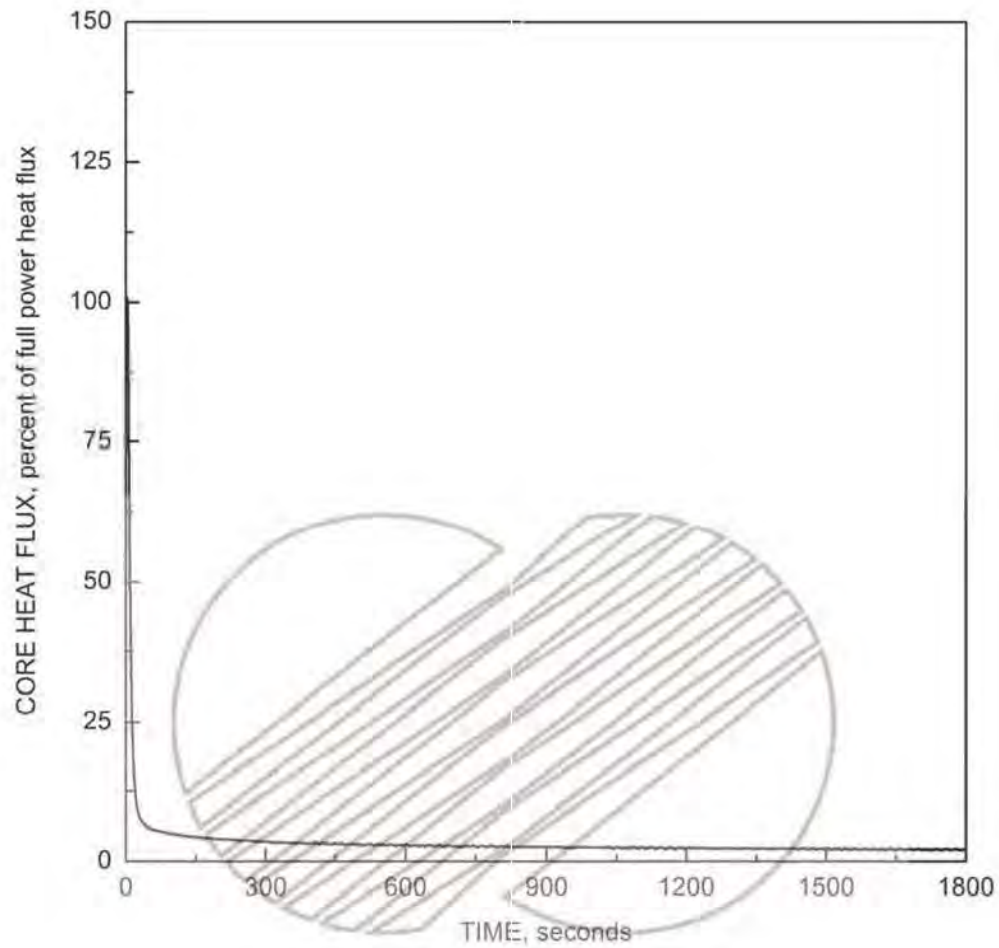
한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

원자로냉각재 유량 완전상실 :
최소 핵비등이탈률 대 시간

그림 15.3.1-8



	한국수력원자력주식회사 신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서
	터빈트립으로 인한 소외전원상실을 수반한 단일 원자로냉각재펌프 회전자 고착 : 노심 출력 대 시간
그림 15.3.3-1	



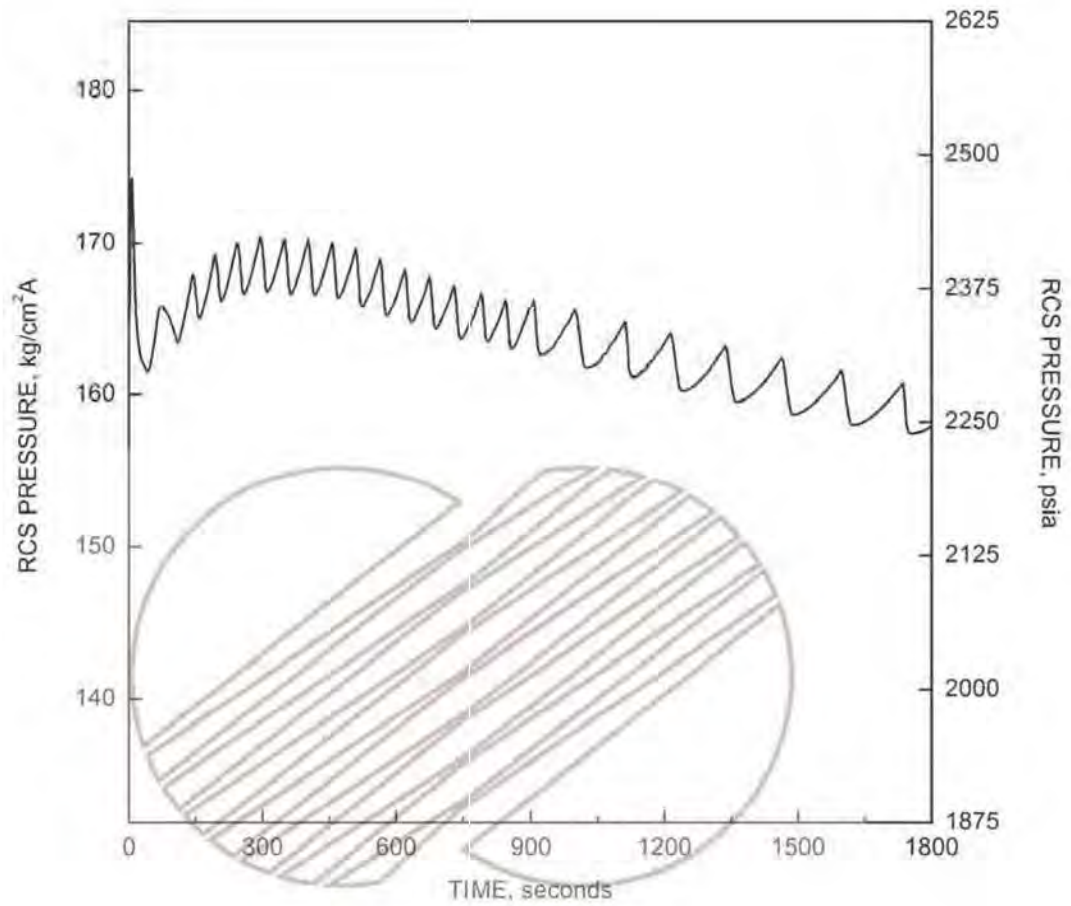
33
115



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

터빈트립으로 인한 소외전원상실을 수반한
단일 원자로냉각재펌프 회전자 고착 :
노심 평균열속 대 시간

그림 15.3.3-2



33
115

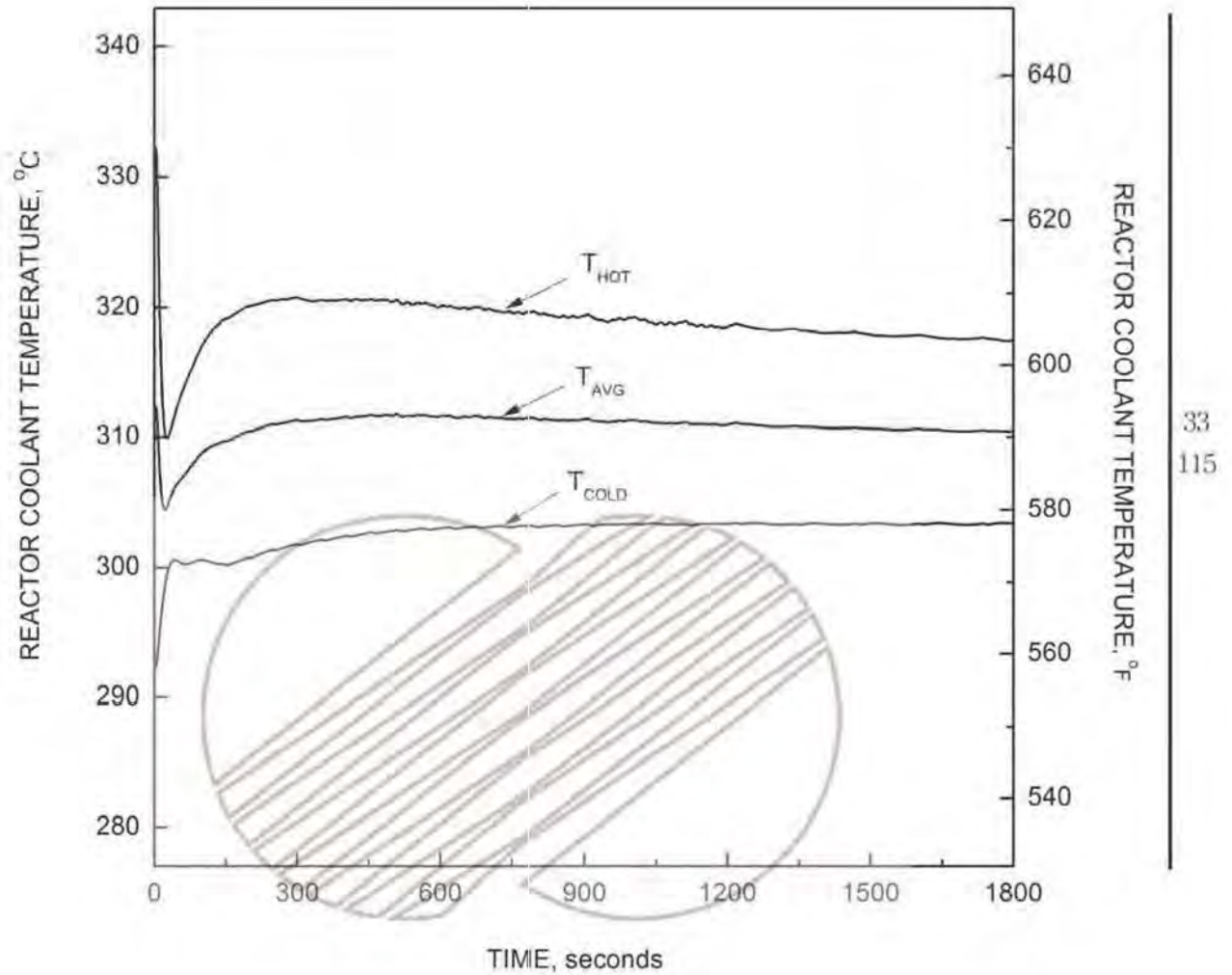
* DOES NOT INCLUDE ELEVATION OR REACTOR COOLANT PUMP HEADS



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

터빈트립으로 인한 소외전원상실을 수반한
단일 원자로냉각재펌프 회전자 고착 :
원자로냉각재계통 압력 대 시간

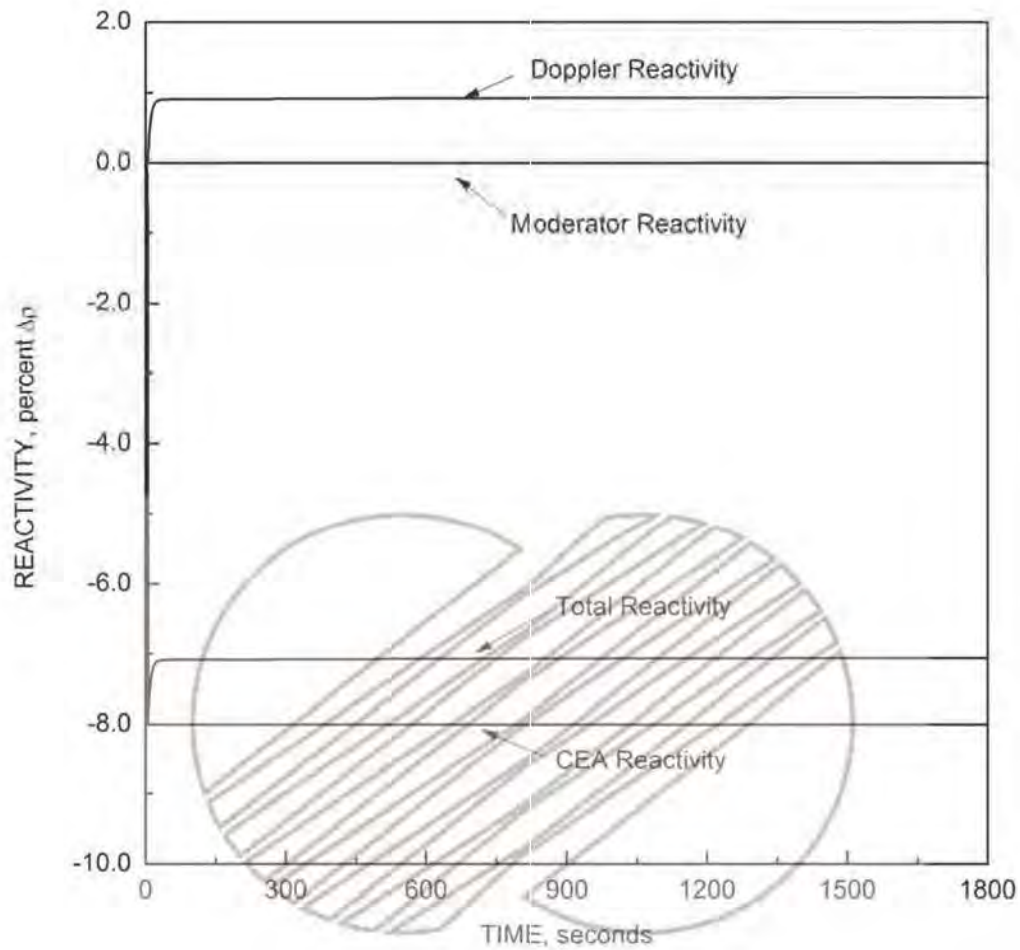
그림 15.3.3-3



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

터빈트립으로 인한 소외전원상실을 수반한
단일 원자로냉각재펌프 회전자 고착 : 노심
냉각재 온도 대 시간

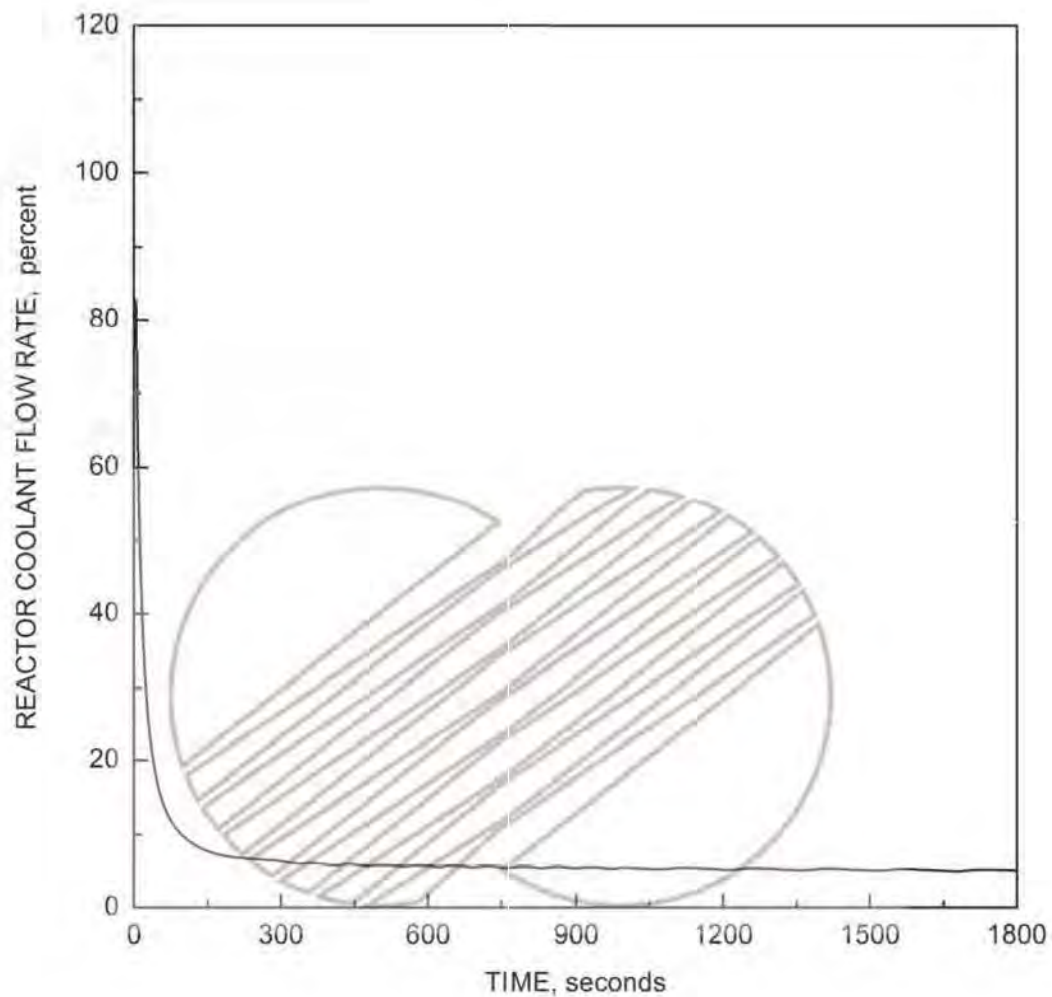
그림 15.3.3-4



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

터빈트립으로 인한 소외전원상실을 수반한
단일 원자로냉각재펌프 회전자 고착 :
반응도 대 시간

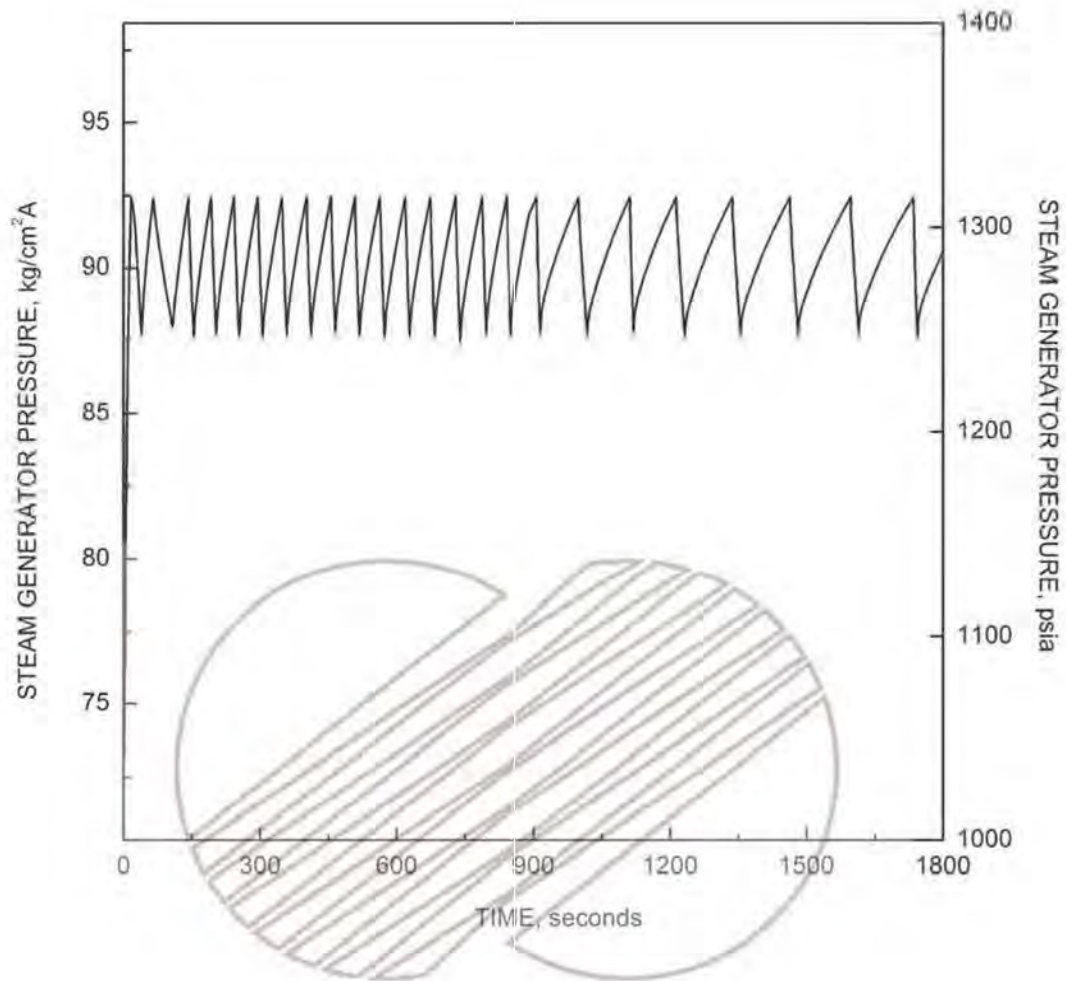
그림 15.3.3-5



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

터빈트립으로 인한 소외전원상실을 수반한
단일 원자로냉각재펌프 회전자 고착 :
원자로냉각재 유량 대 시간

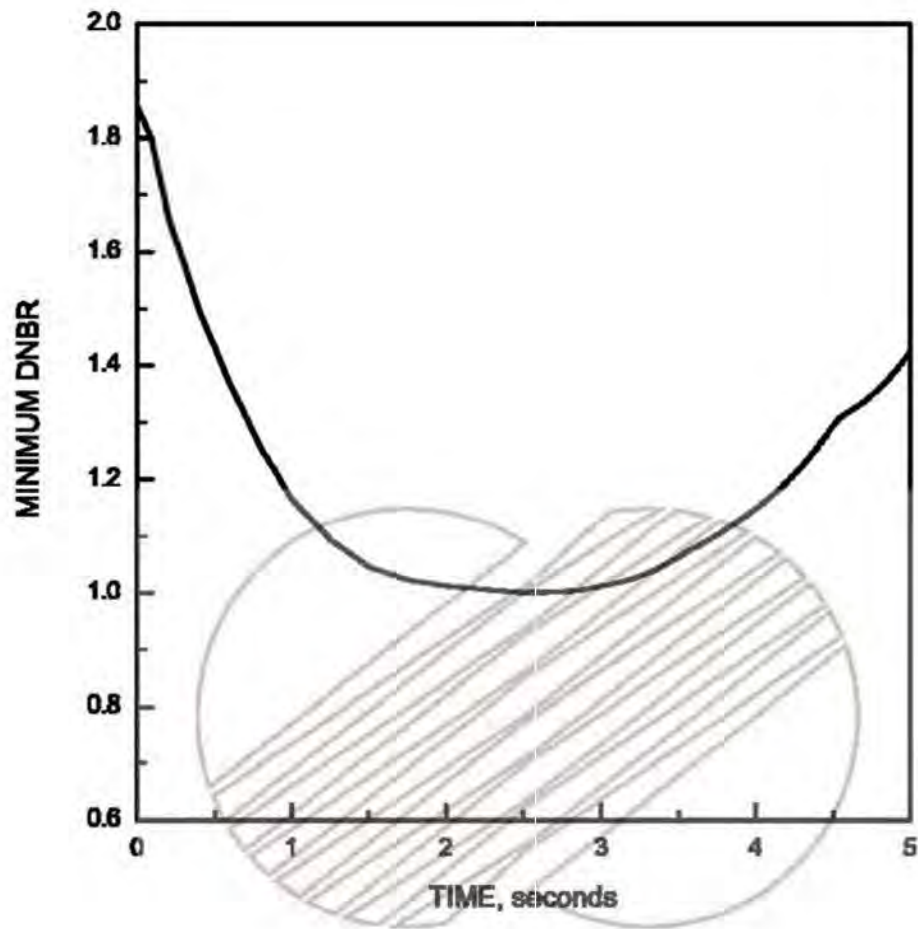
그림 15.3.3-6



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

터빈트립으로 인한 소외전원상실을 수반한
단일 원자로냉각재펌프 회전자 고착 :
증기발생기 압력 대 시간

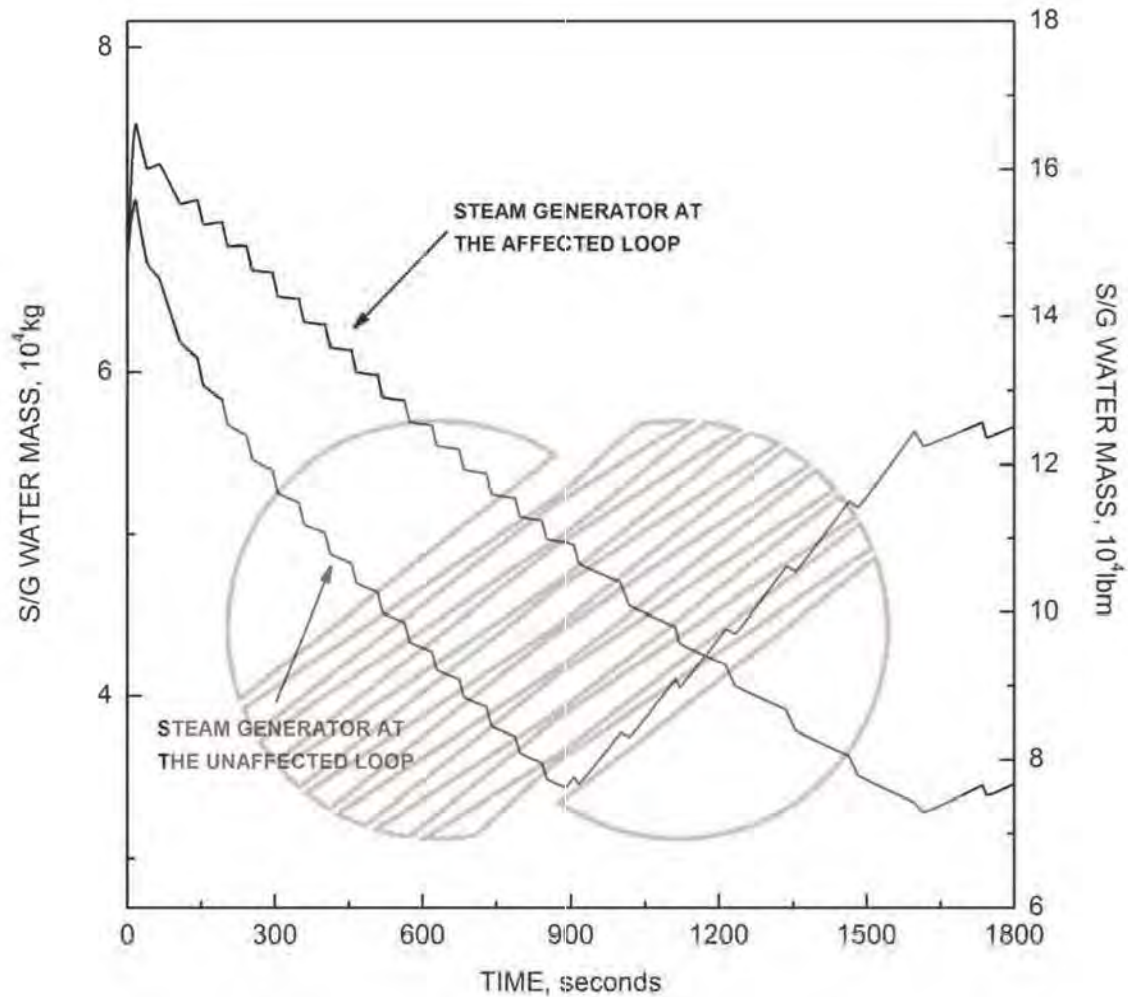
그림 15.3.3-7



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

터빈트립으로 인한 소외전원상실을 수반한
단일 원자로냉각재펌프 회전자 고착 :
최소 핵비등이탈률 대 시간

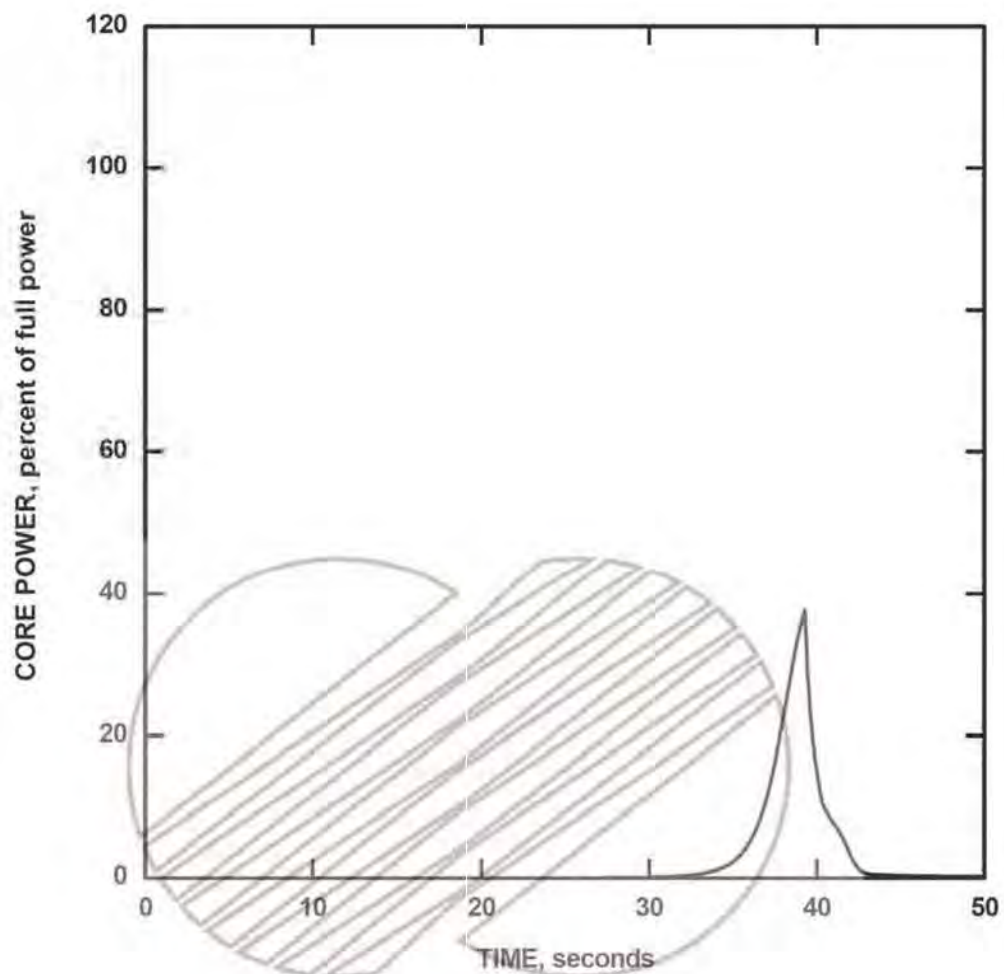
그림 15.3.3-8



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

터빈트립으로 인한 소외전원상실을 수반한
단일 원자로냉각재펌프 회전자 고착 :
증기발생기 액체 재고량 대 시간

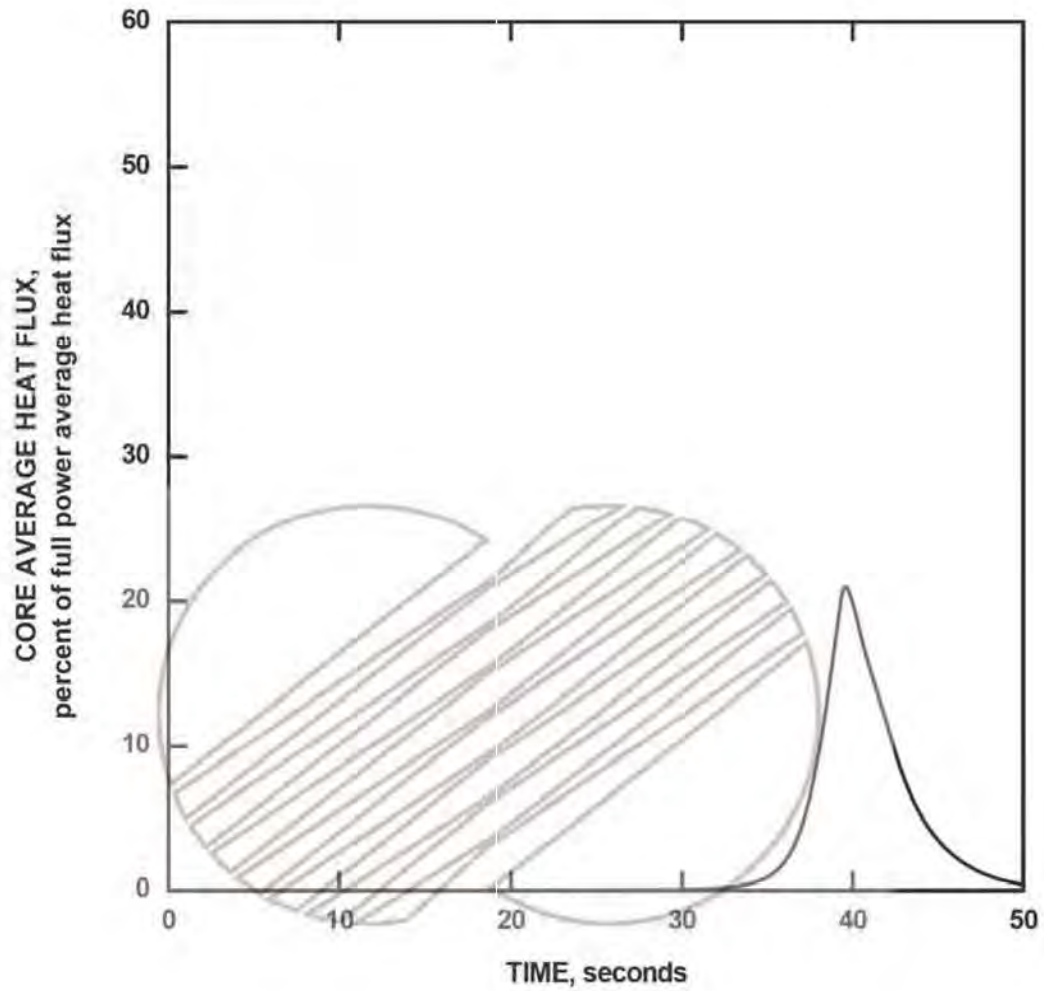
그림 15.3.3-9



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

저출력 기동상태하에서 제어되지 않은
제어봉집합체 인출 : 노심 출력 대 시간

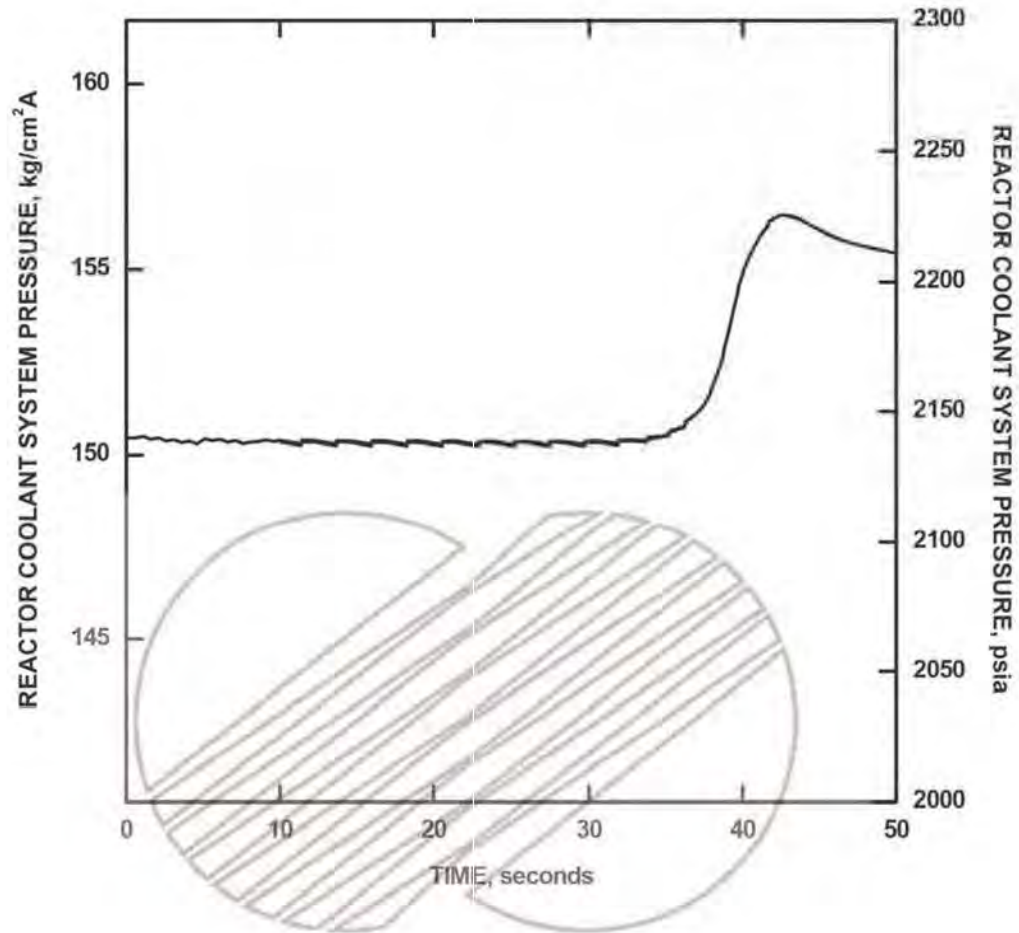
그림 15.4.1-1



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

저출력 기동상태하에서 제어되지 않은
제어봉집합체 인출 :
노심 평균열속 대 시간

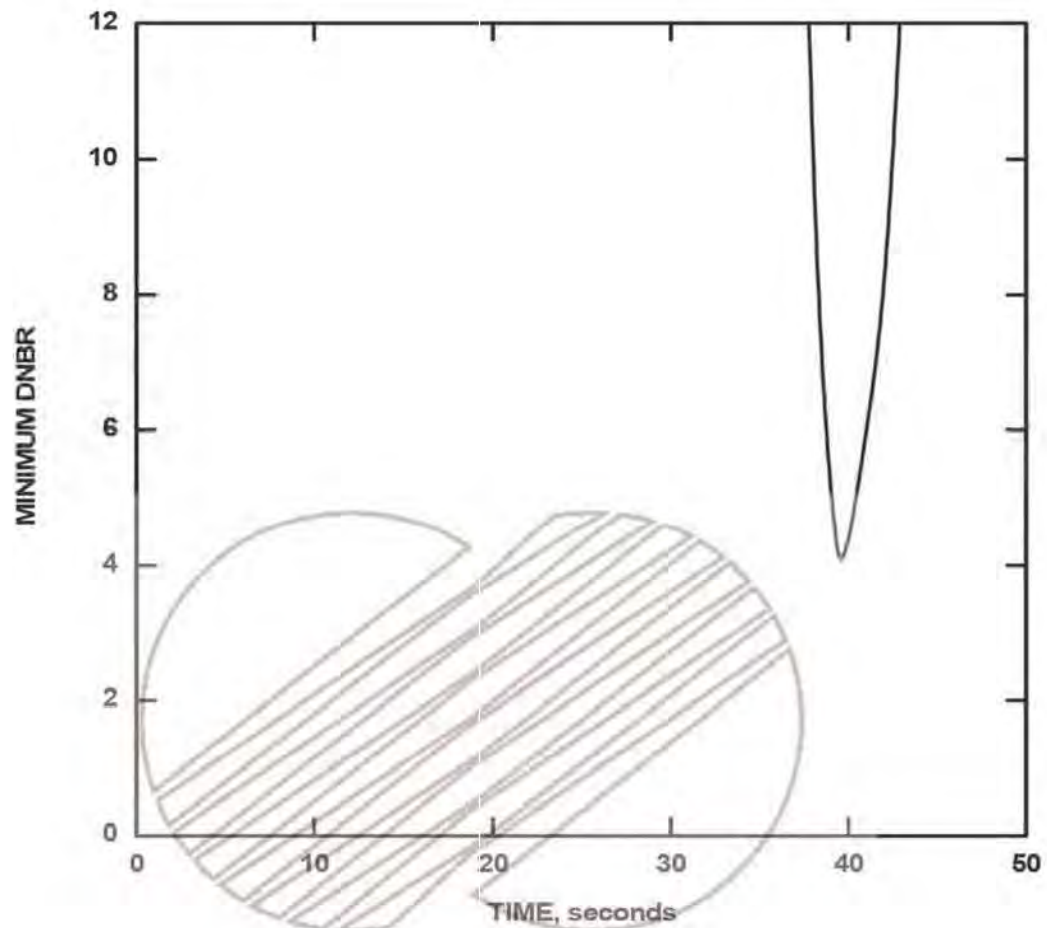
그림 15.4.1-2



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

저출력 기동상태하에서 제어되지 않은
제어봉집합체 인출 :
원자로냉각재계통 압력 대 시간

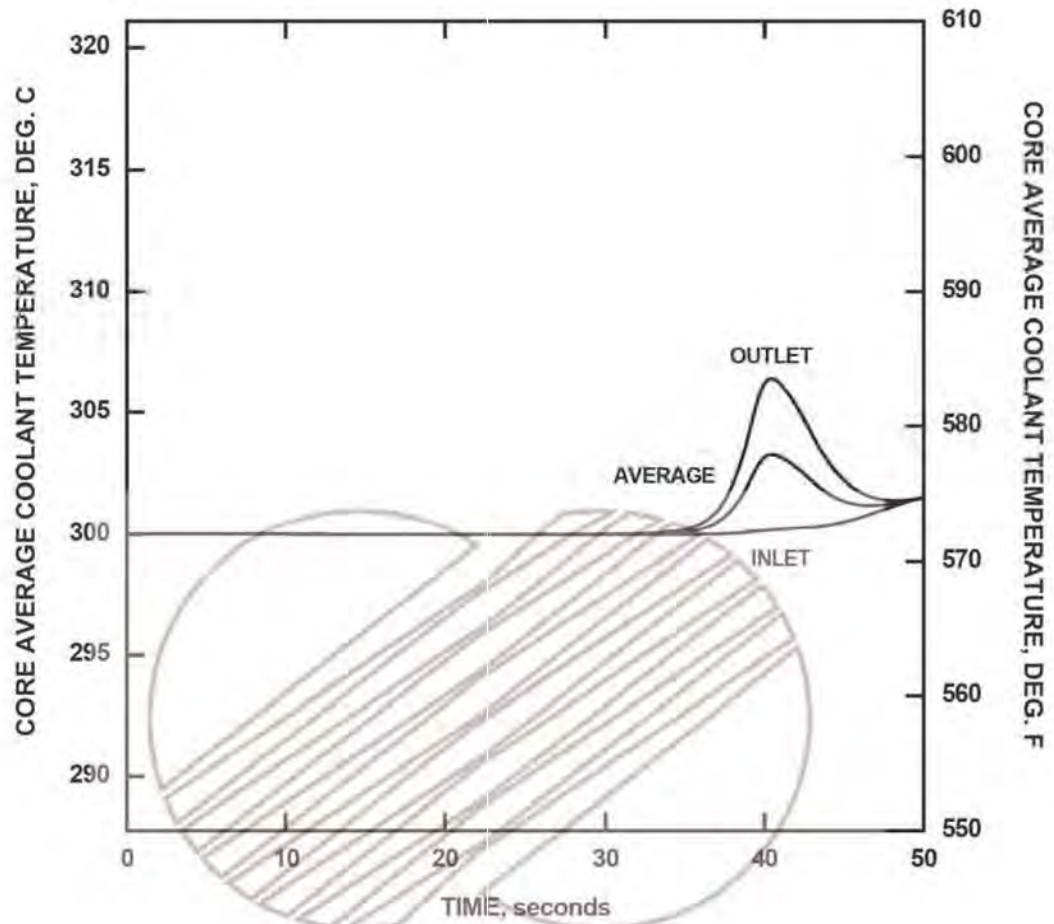
그림 15.4.1-3



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

저출력 기동상태하에서 제어되지 않은
제어봉집합체 인출 :
최소핵비등이탈률 대 시간

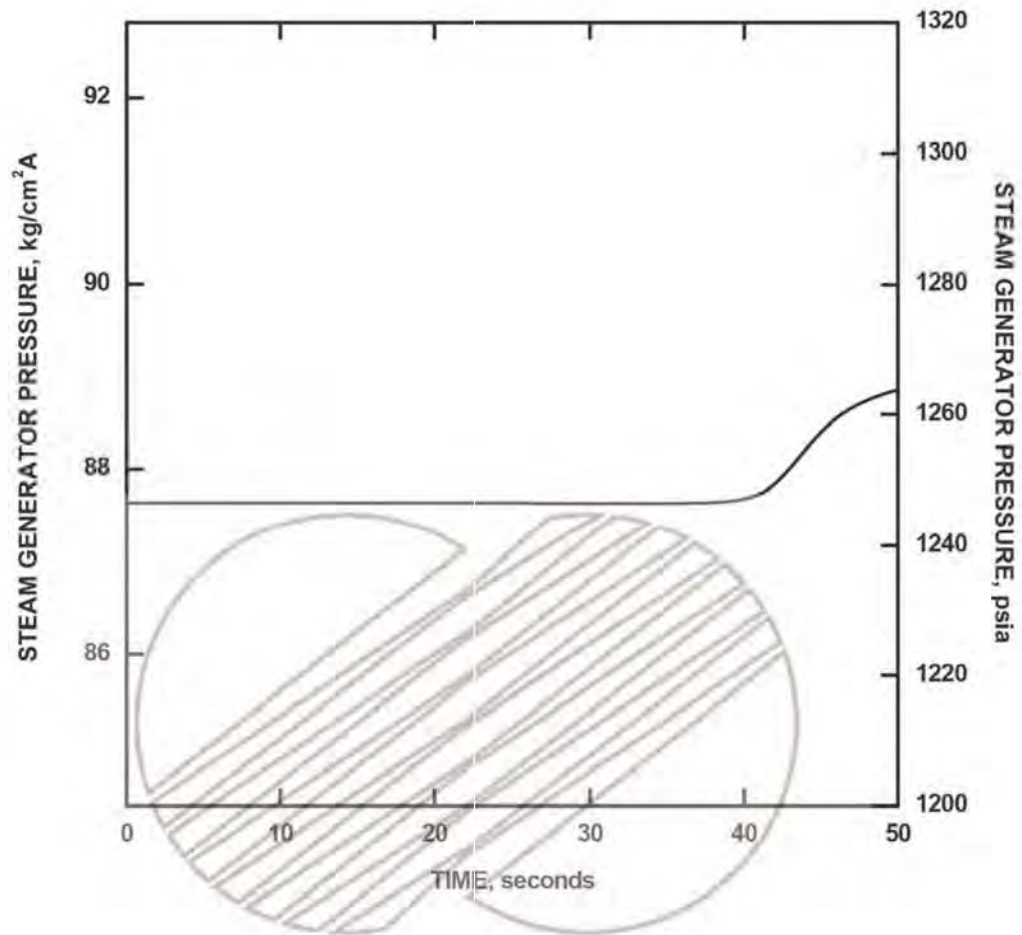
그림 15.4.1-4



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

저출력 기동상태하에서 제어되지 않은
제어봉집합체 인출 :
노심 평균 냉각재 온도 대 시간

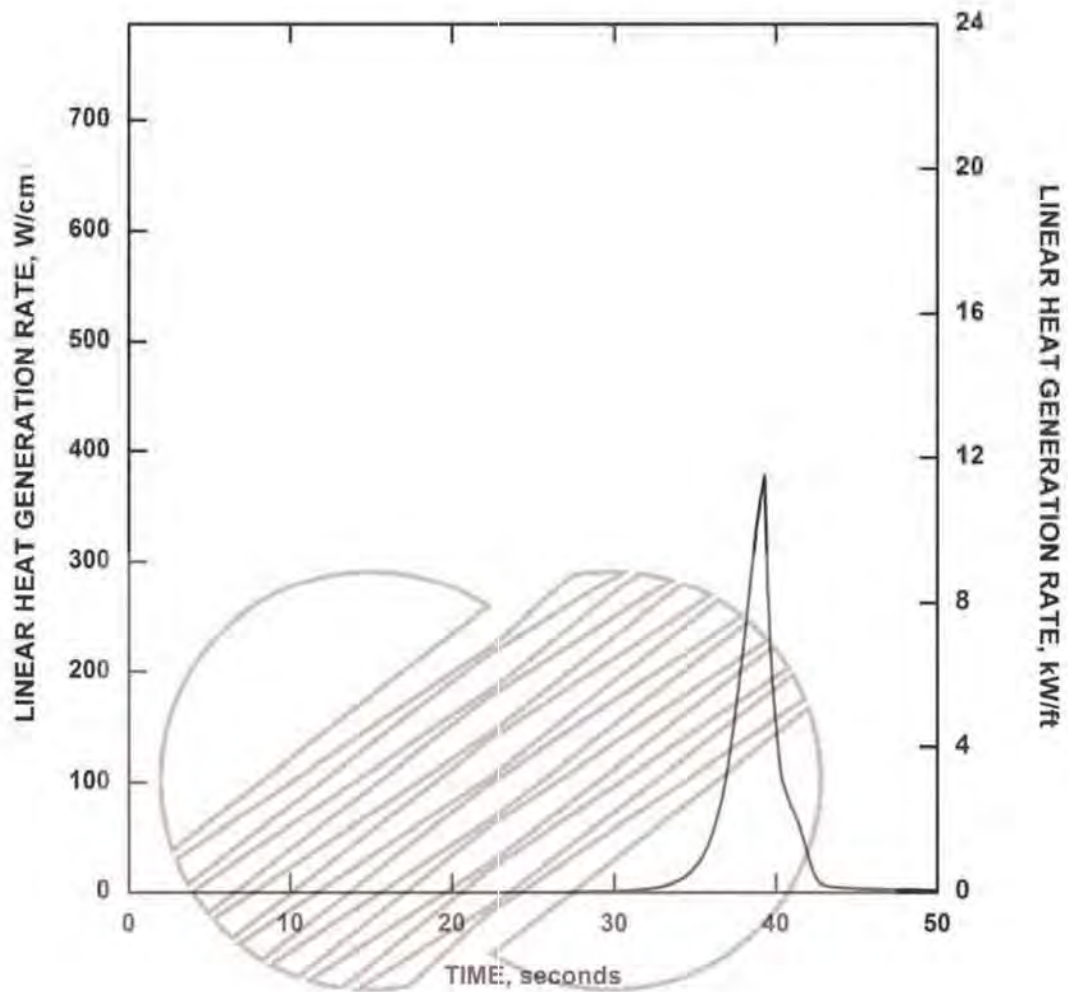
그림 15.4.1-5



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

저출력 기동상태하에서 제어되지 않은
제어봉집합체 인출 :
증기발생기 압력 대 시간

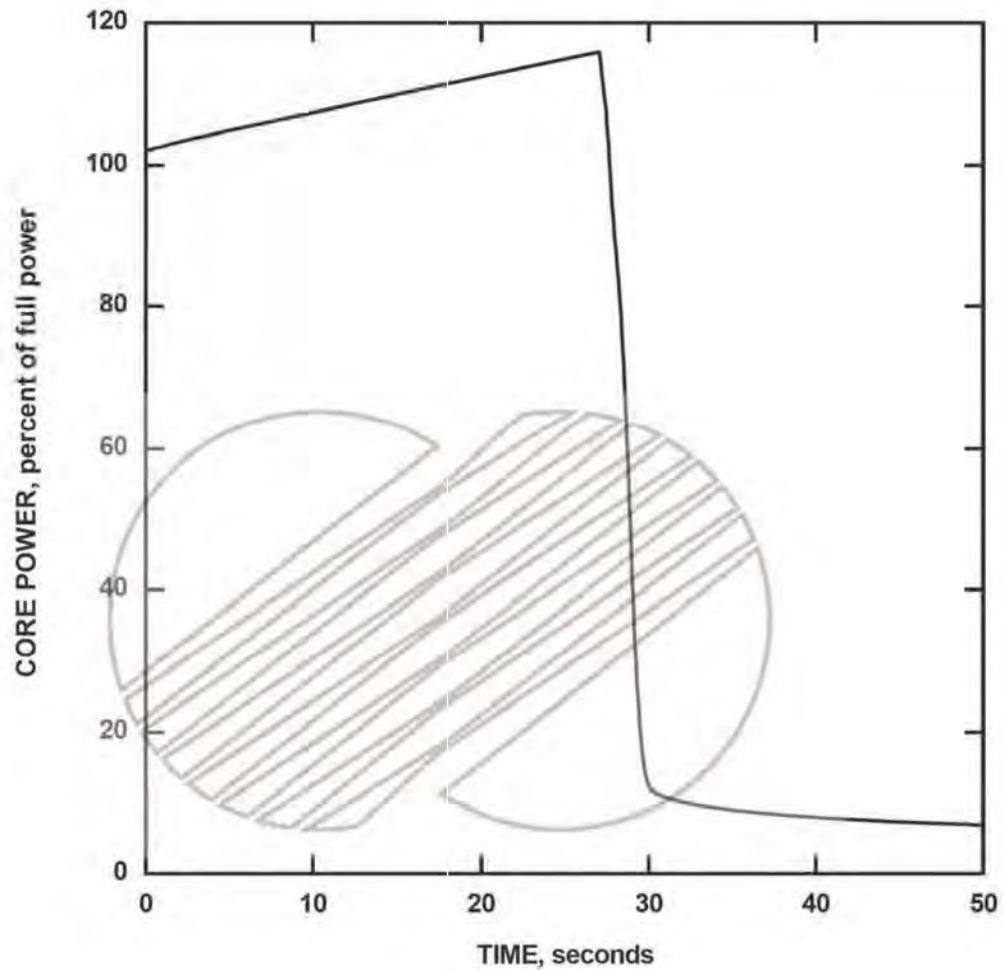
그림 15.4.1-6



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

저출력 기동상태하에서 제어되지 않은
제어봉집합체 인출 :
선형 열 생성률 대 시간

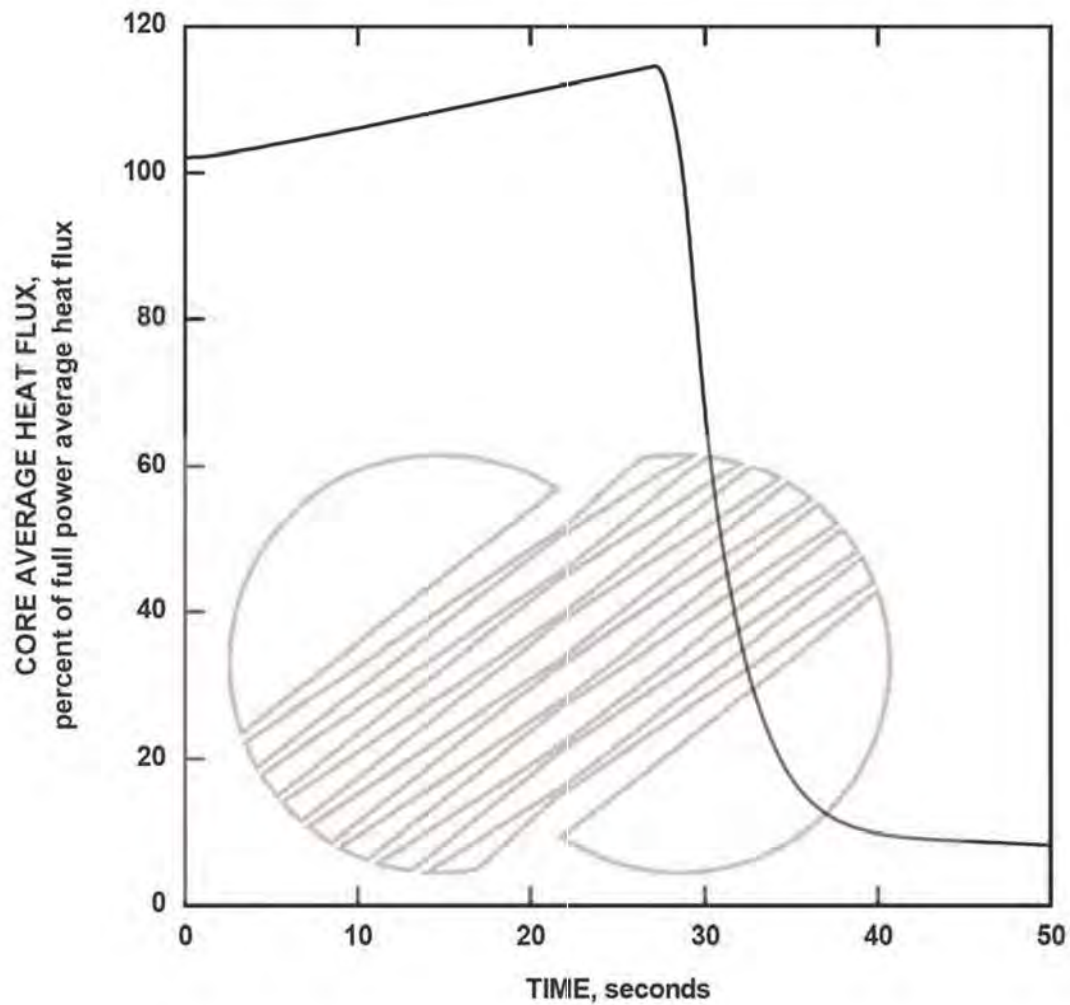
그림 15.4.1-7



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

출력상태에서 제어되지 않은
제어봉집합체 인출 :
노심 출력 대 시간

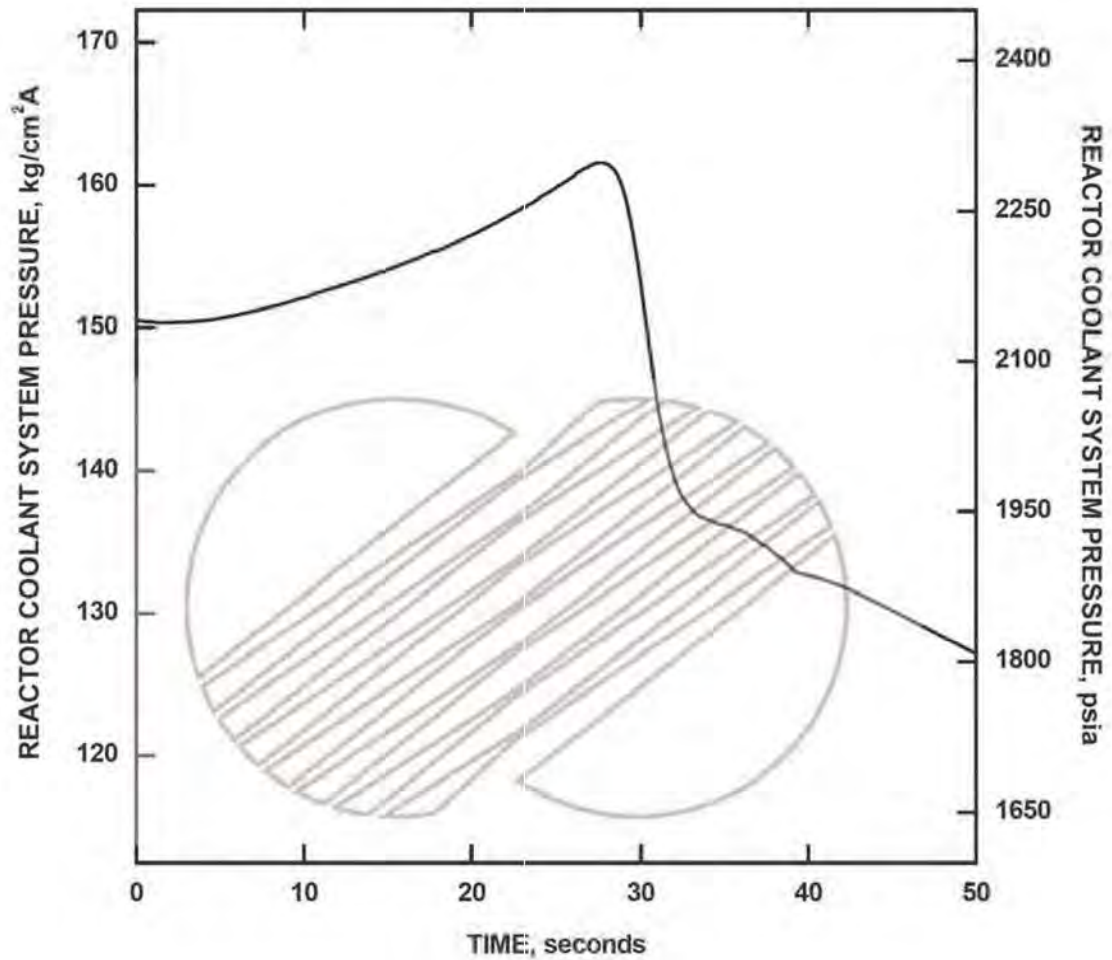
그림 15.4.2-1



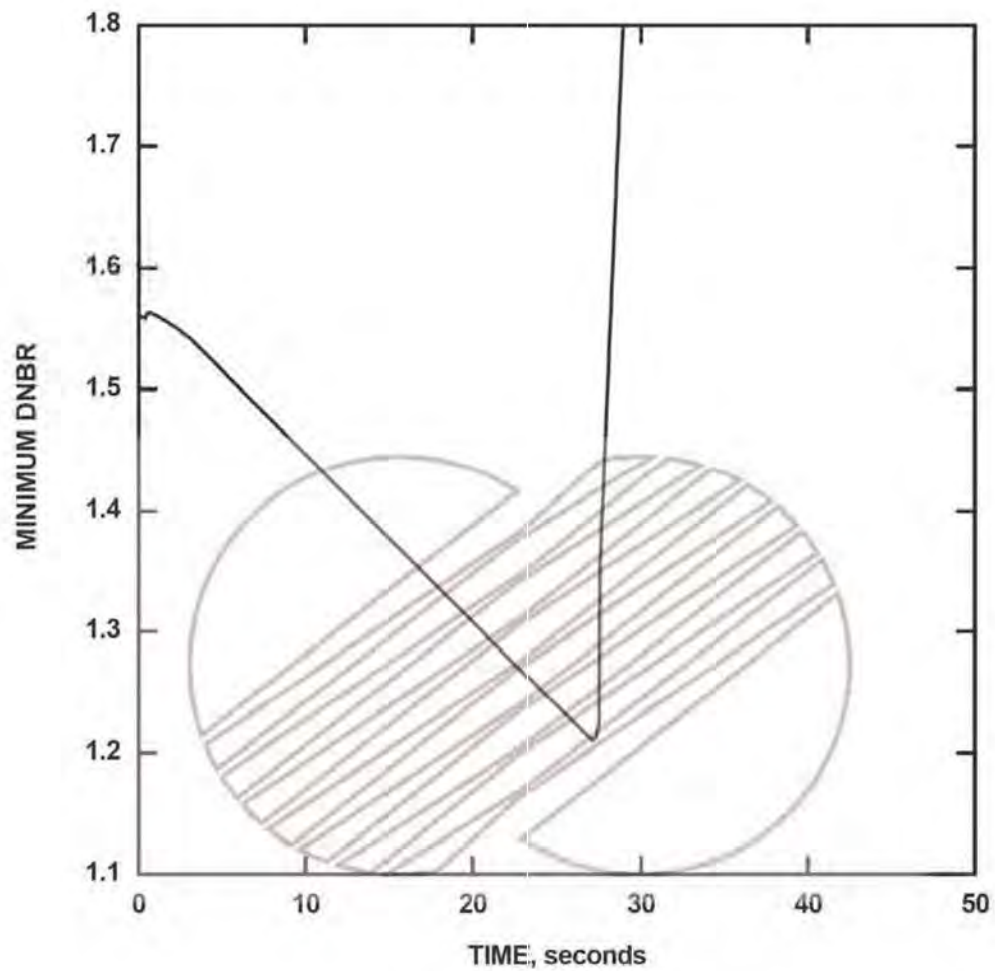
한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

출력상태에서 제어되지 않은
제어봉집합체 인출 :
노심 평균열속 대 시간

그림 15.4.2-2



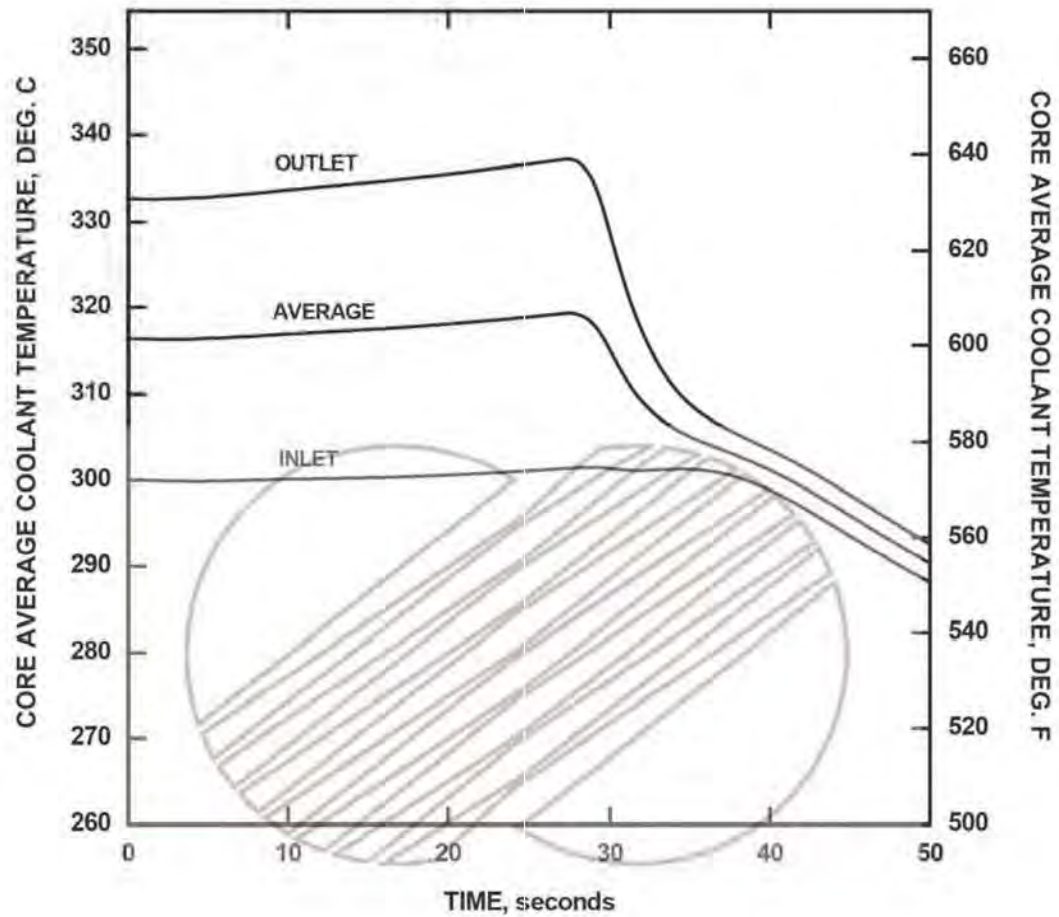
	한국수력원자력주식회사 신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서
	출력상태에서 제어되지 않은 제어봉집합체 인출 : 원자로냉각재계통 압력 대 시간
그림 15.4.2-3	



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

출력상태에서 제어되지 않은
제어봉집합체 인출 :
최소 핵비등이탈률 대 시간

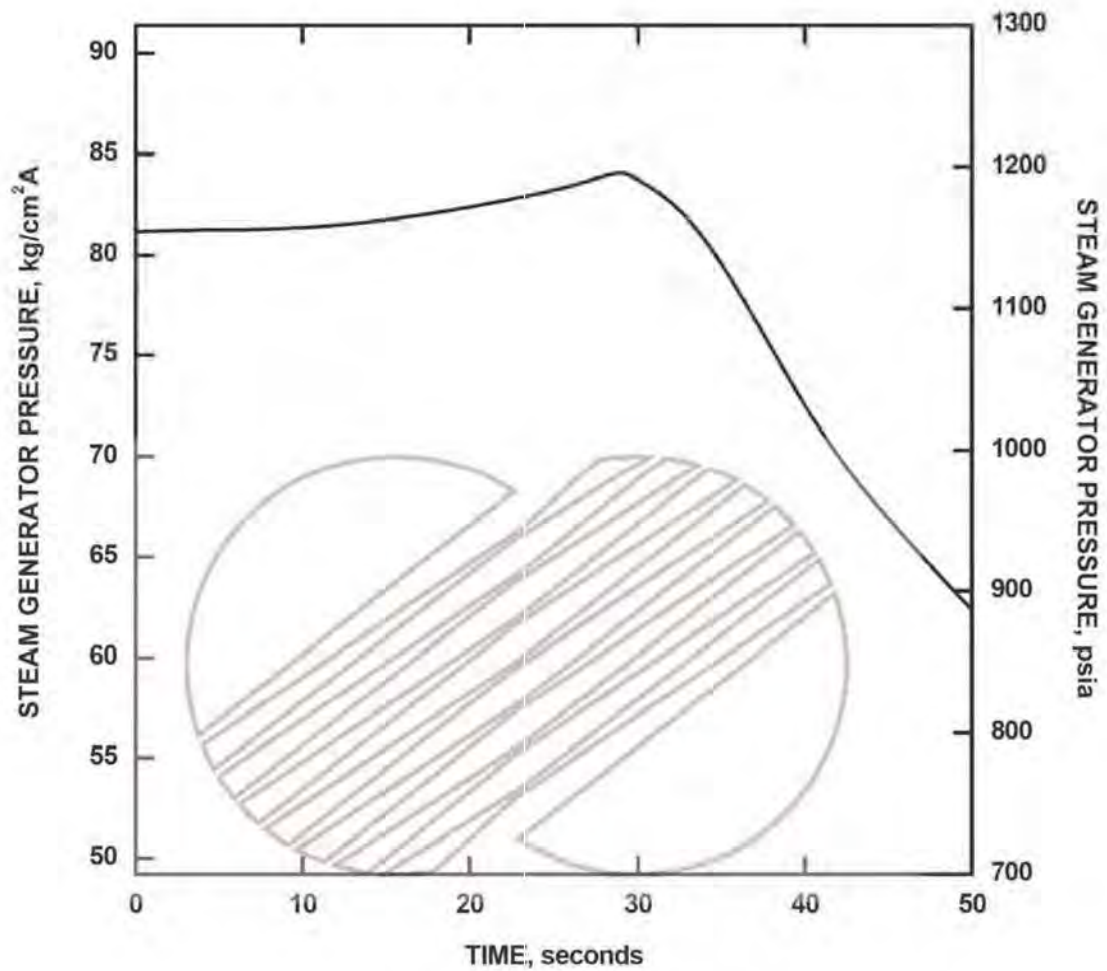
그림 15.4.2-4



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

출력상태에서 제어되지 않은
제어봉집합체 인출 :
노심 평균 냉각재 온도 대 시간

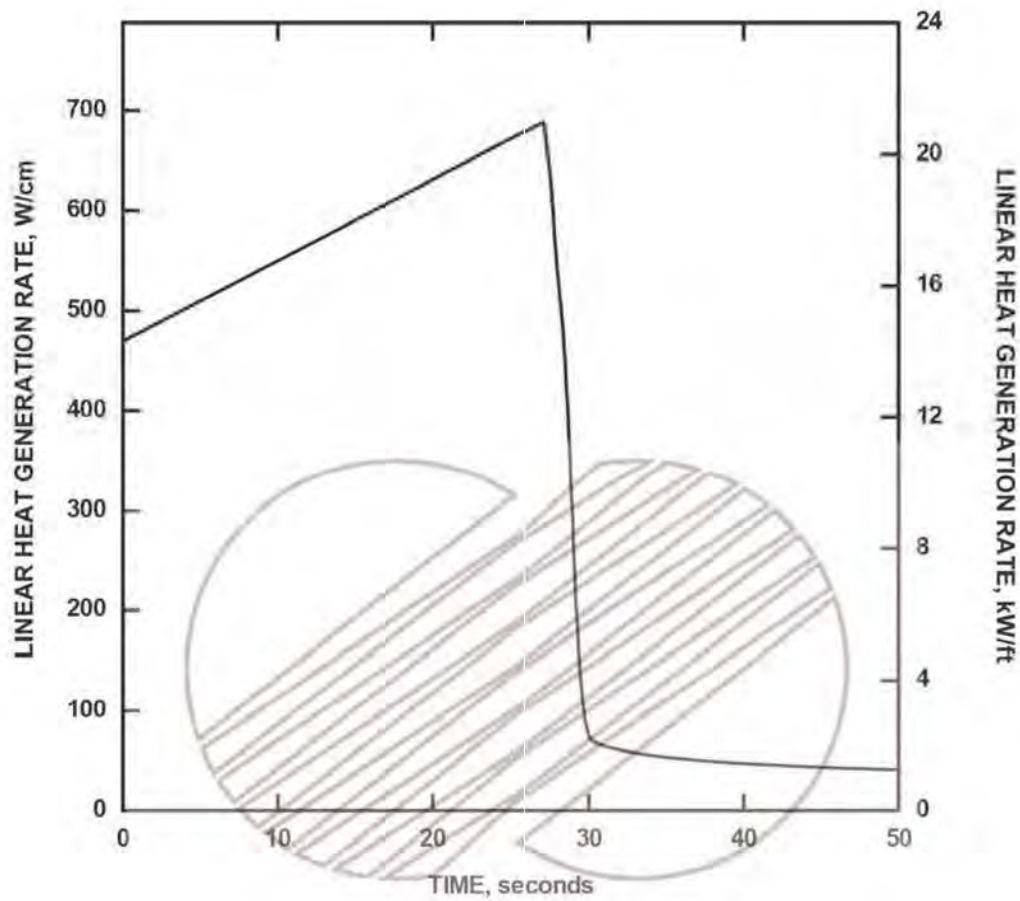
그림 15.4.2-5



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

출력상태에서 제어되지 않은
제어봉집합체 인출 :
증기발생기 압력 대 시간

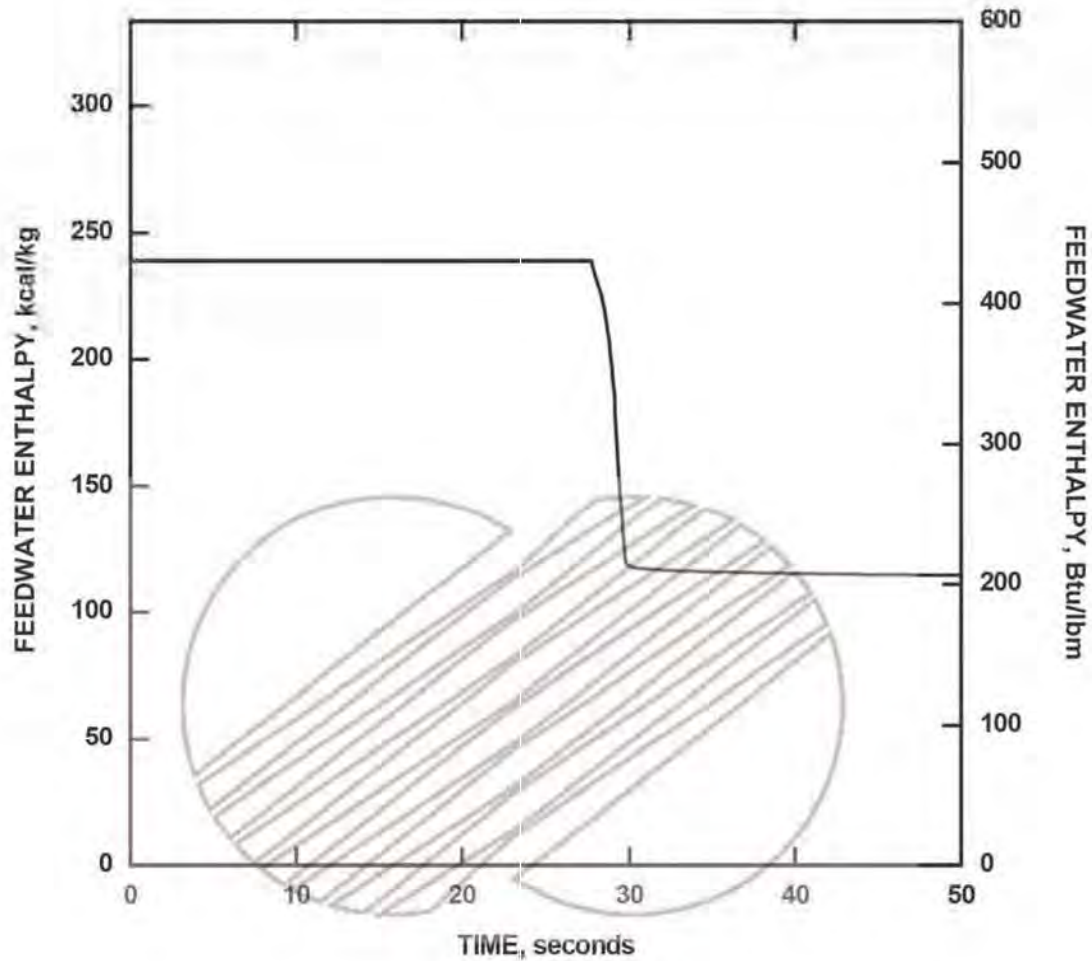
그림 15.4.2-6



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

출력상태에서 제어되지 않은
제어봉집합체 인출 :
선형 열 생성률 대 시간

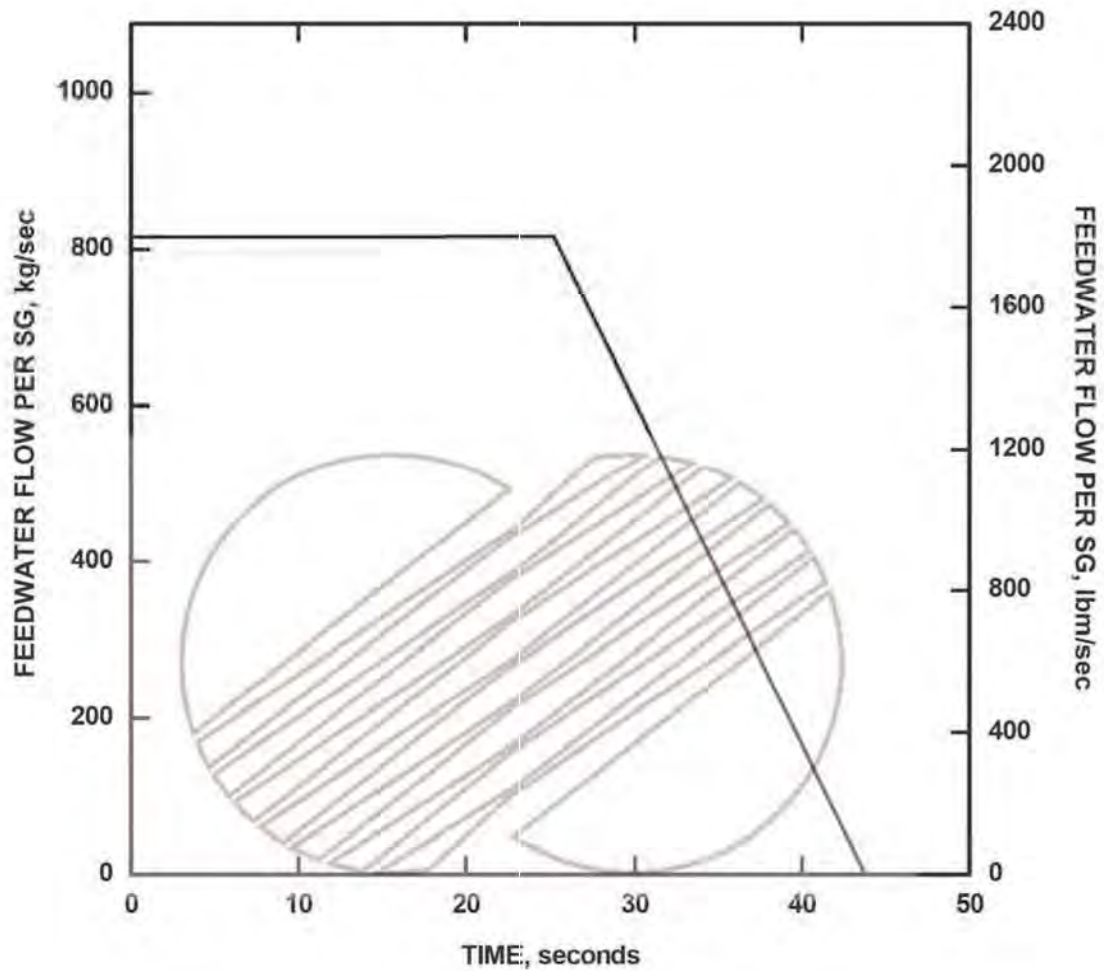
그림 15.4.2-7



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

출력상태에서 제어되지 않은
제어봉집합체 인출 :
주급수 엔탈피 대 시간

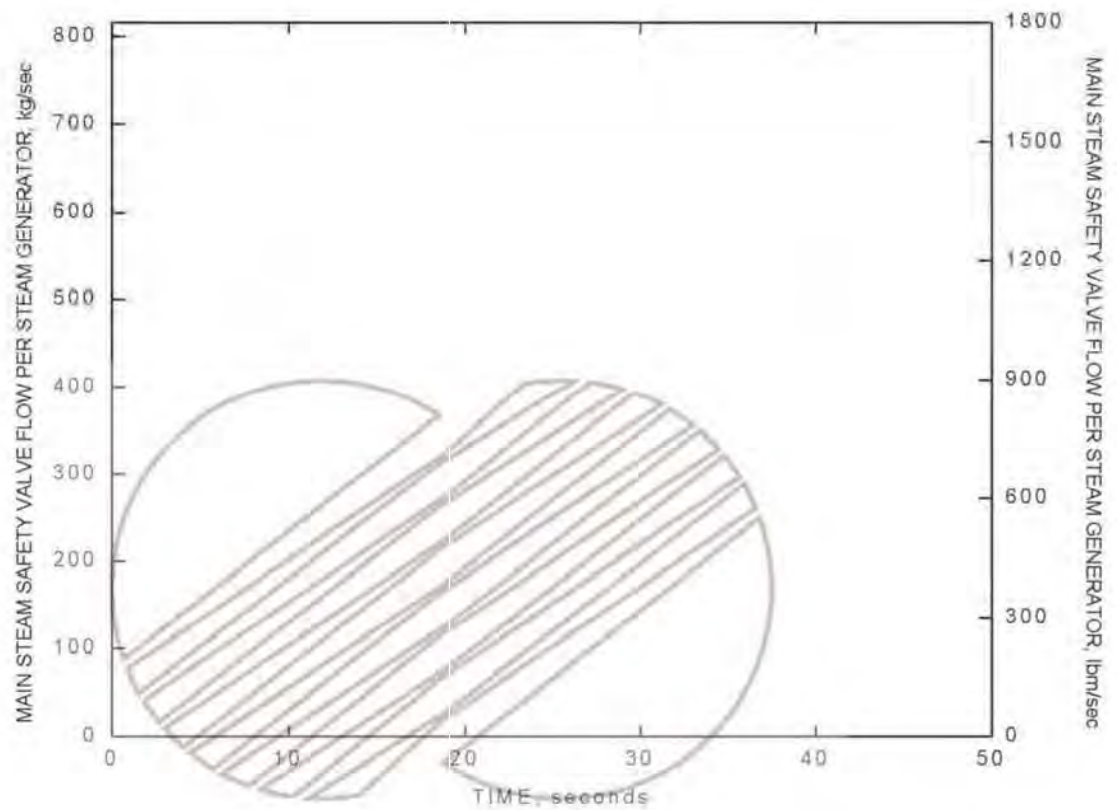
그림 15.4.2-8



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

출력상태에서 제어되지 않은
제어봉집합체 인출 :
주급수 유량 대 시간

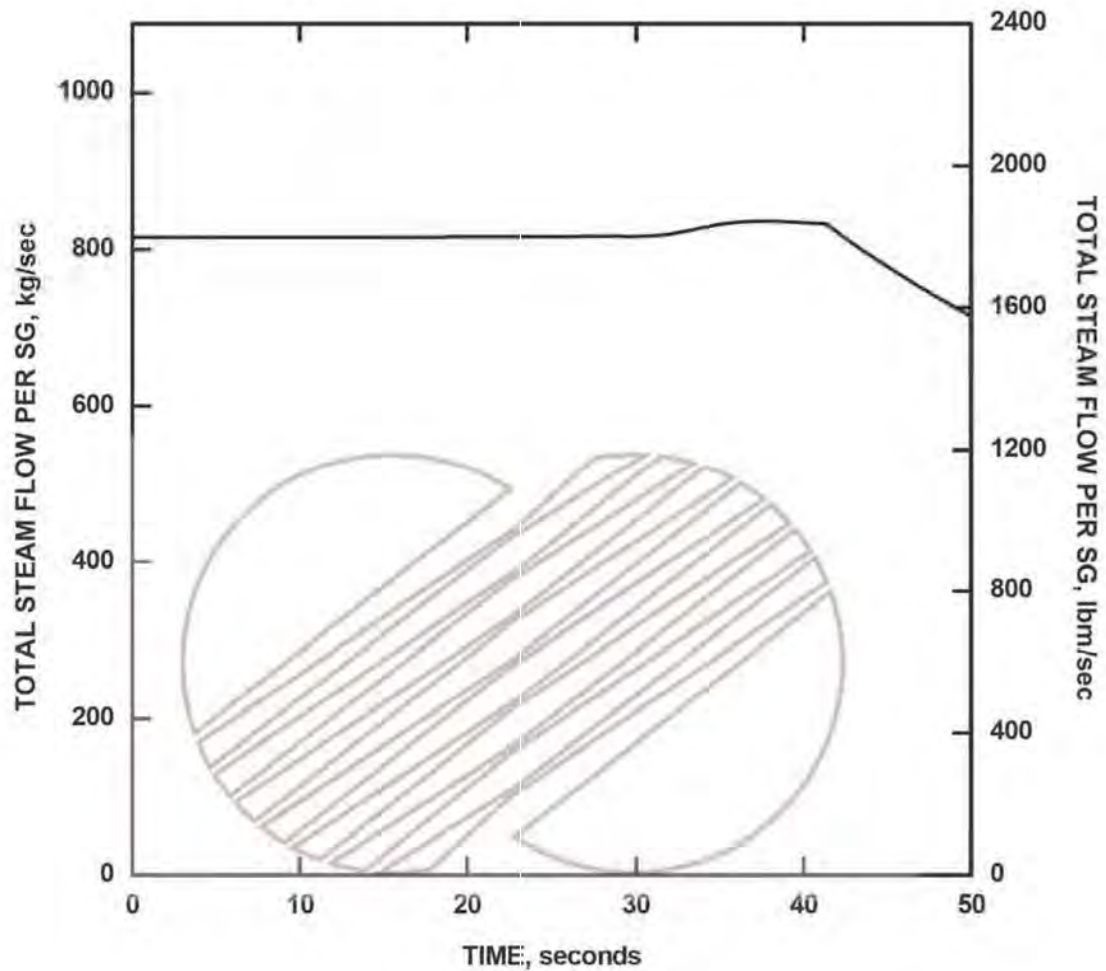
그림 15.4.2-9



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

출력상태에서 제어되지 않은
제어봉집합체 인출 :
주증기안전밸브 방출유량 대 시간

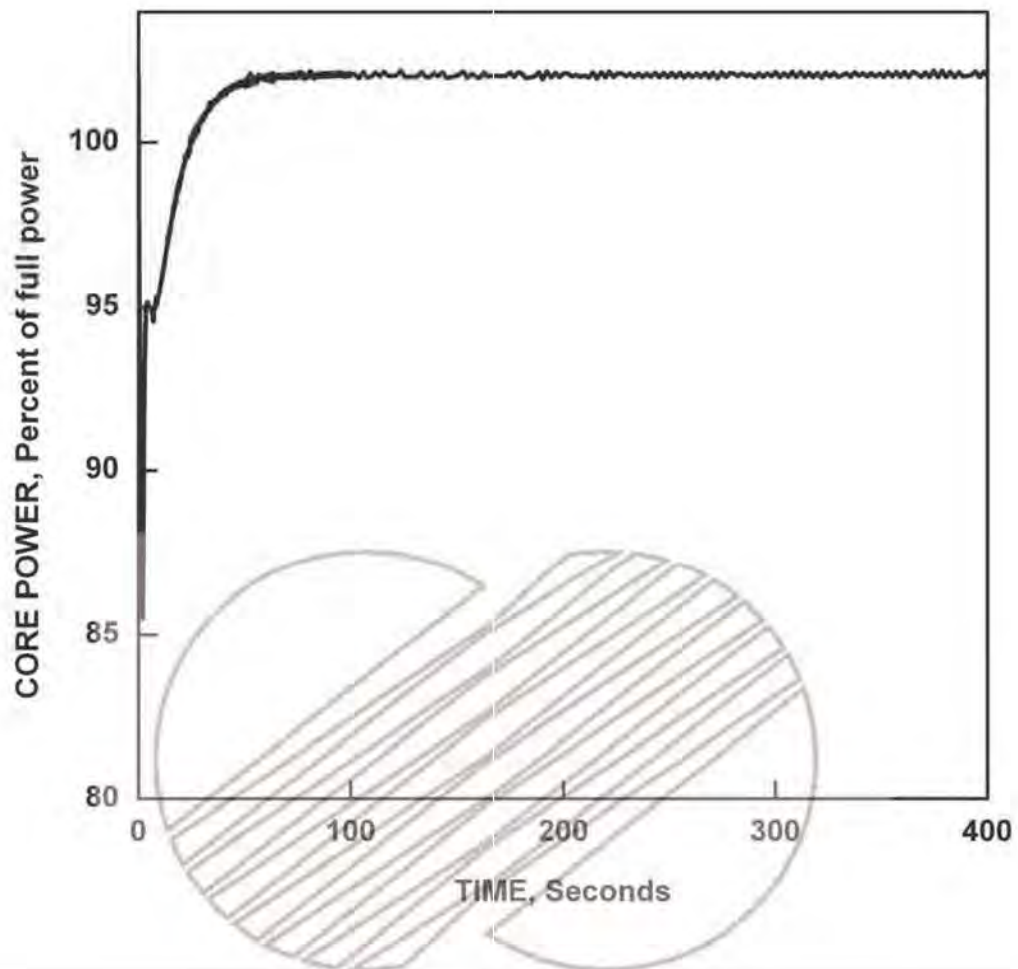
그림 15.4.2-10



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

출력상태에서 제어되지 않은
제어봉집합체 인출 :
총 증기유량 대 시간

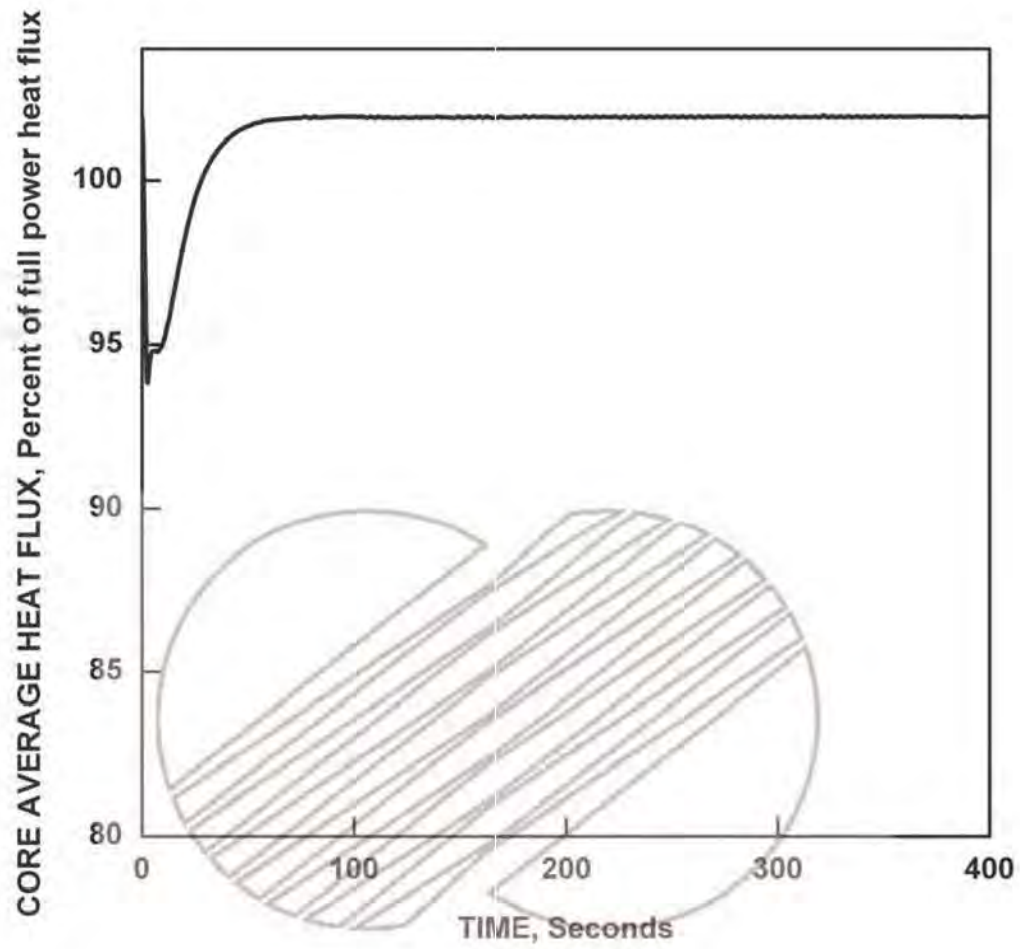
그림 15.4.2-11



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

단일 제어봉집합체 낙하 : 노심 출력 대 시간

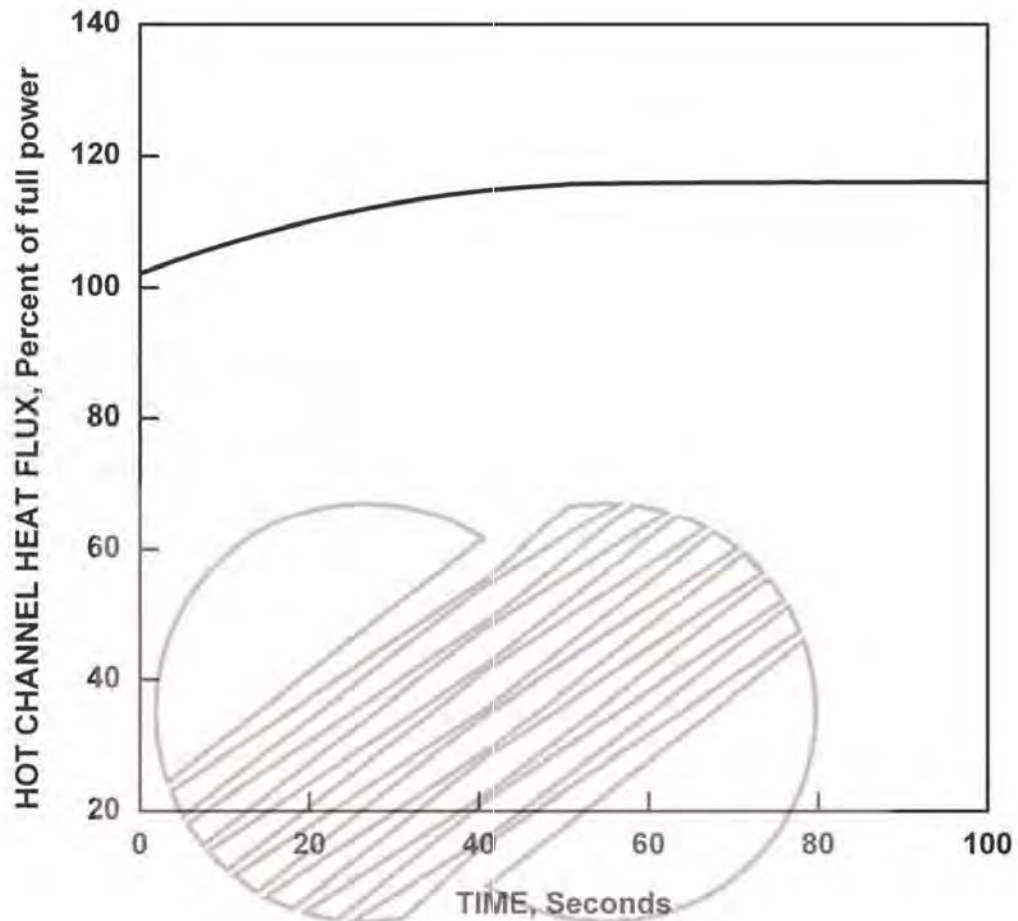
그림 15.4.3-1



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

단일 제어봉집합체 낙하 :
노심 평균열속 대 시간

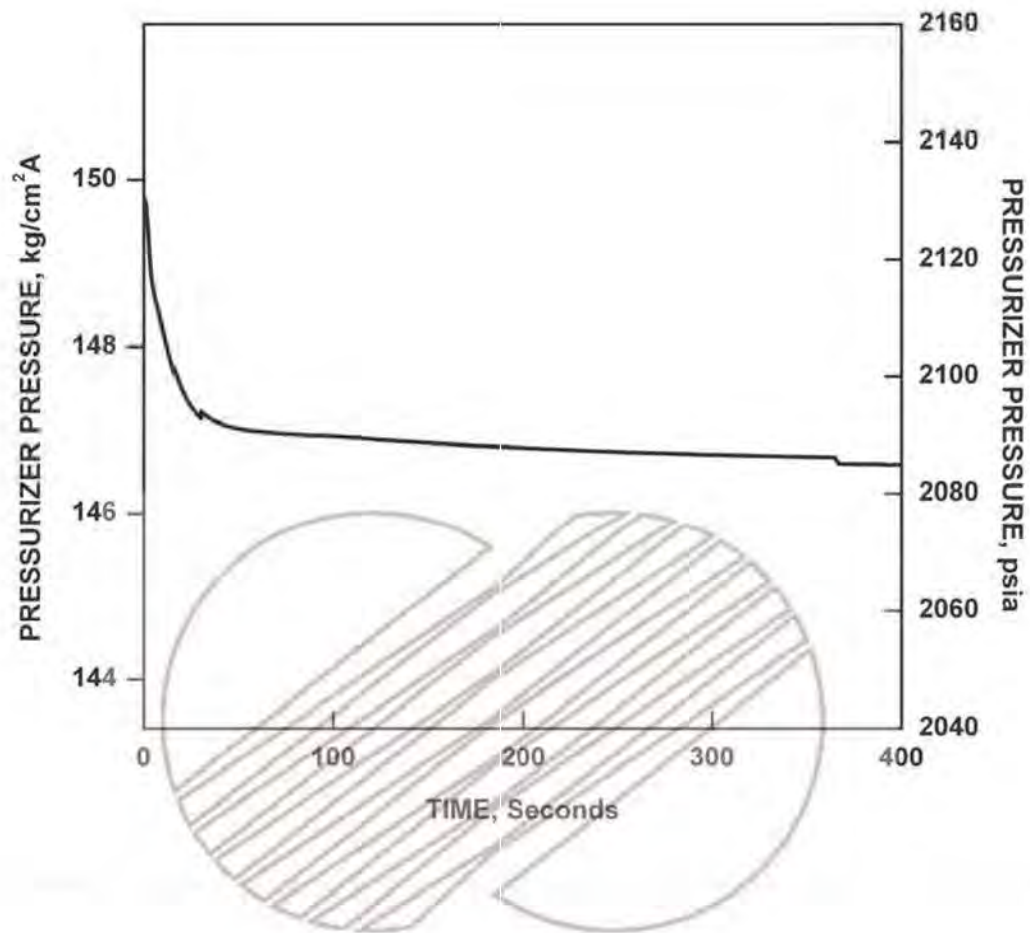
그림 15.4.3-2



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

단일 제어봉집합체 낙하 :
고온수로 열속 대 시간

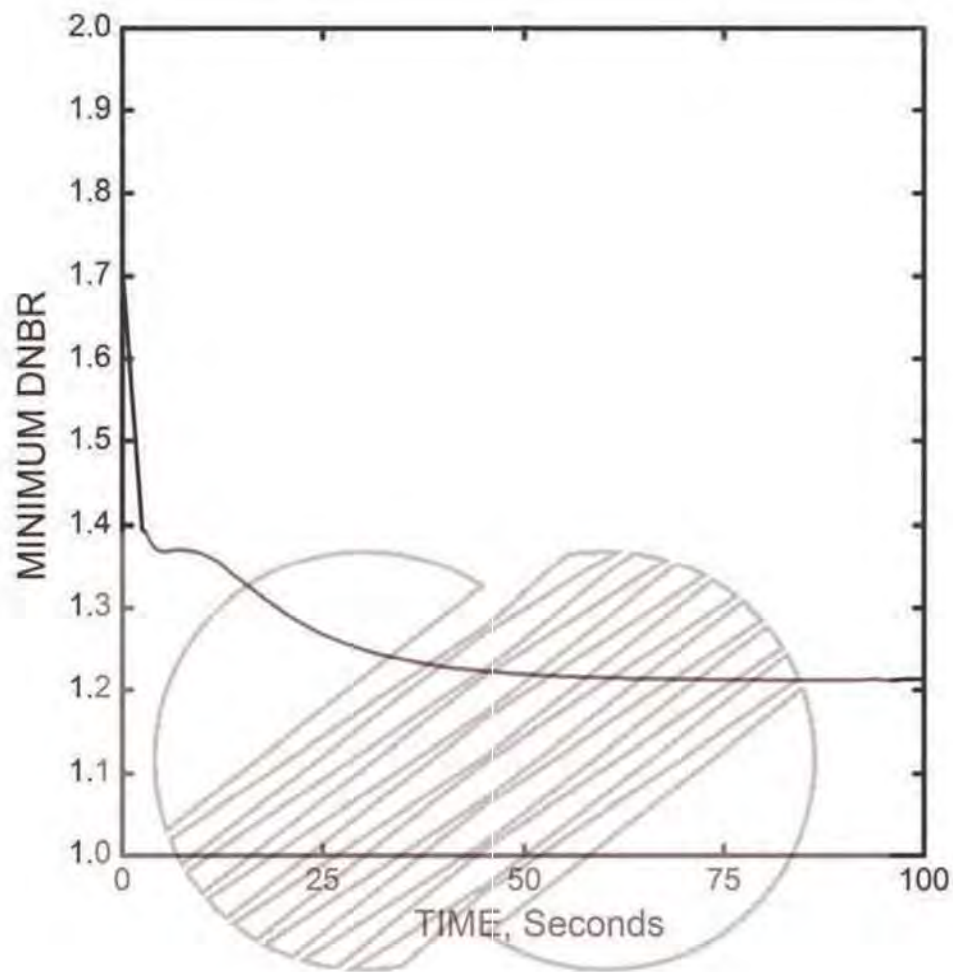
그림 15.4.3-3



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

단일 제어봉집합체 낙하 :
가압기 압력 대 시간

그림 15.4.3-4



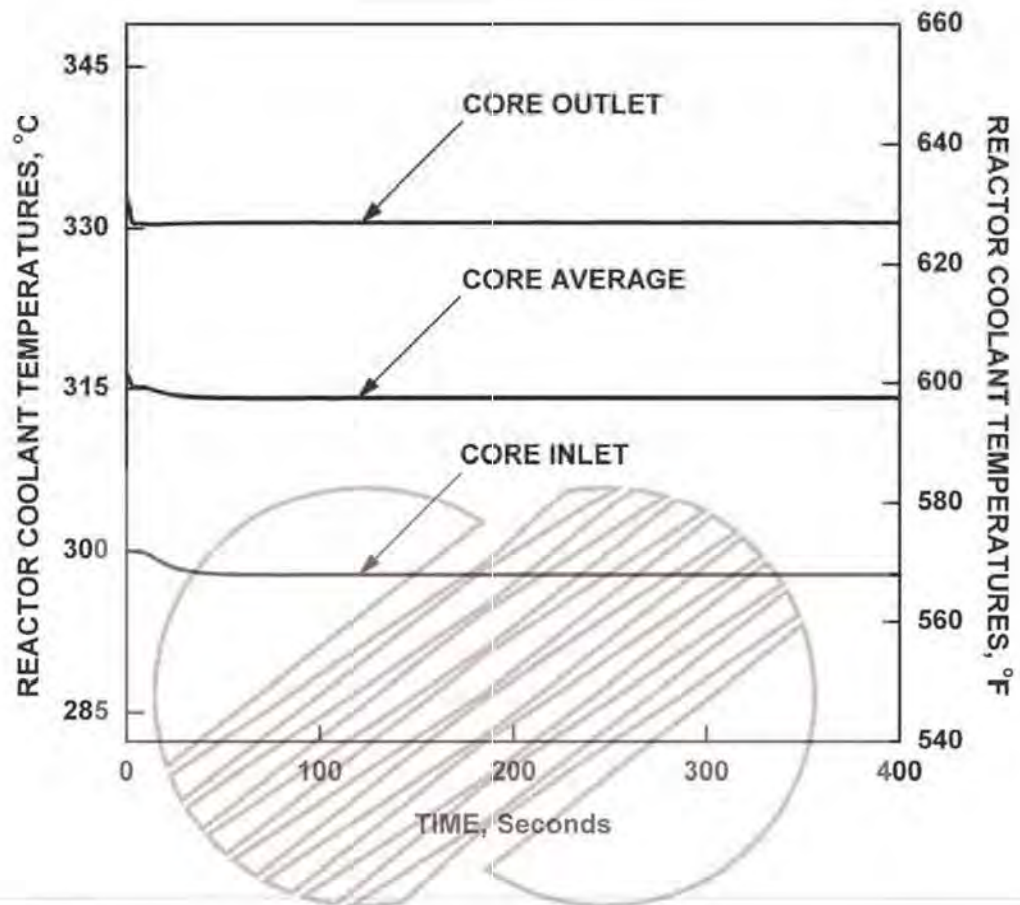
33, 63



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

단일 제어봉집합체 낙하 :
최소 핵비등이탈률 대 시간

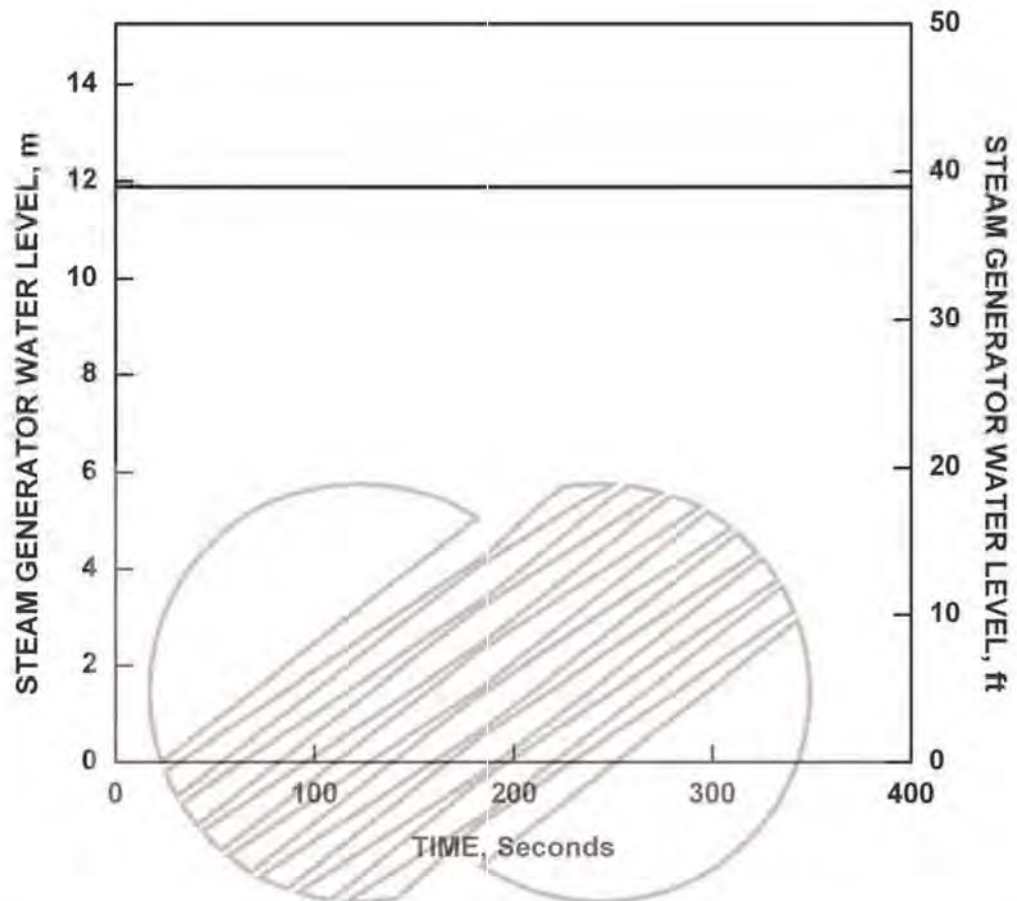
그림 15.4.3-5



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

단일 제어봉집합체 낙하 :
노심 냉각재 온도 대 시간

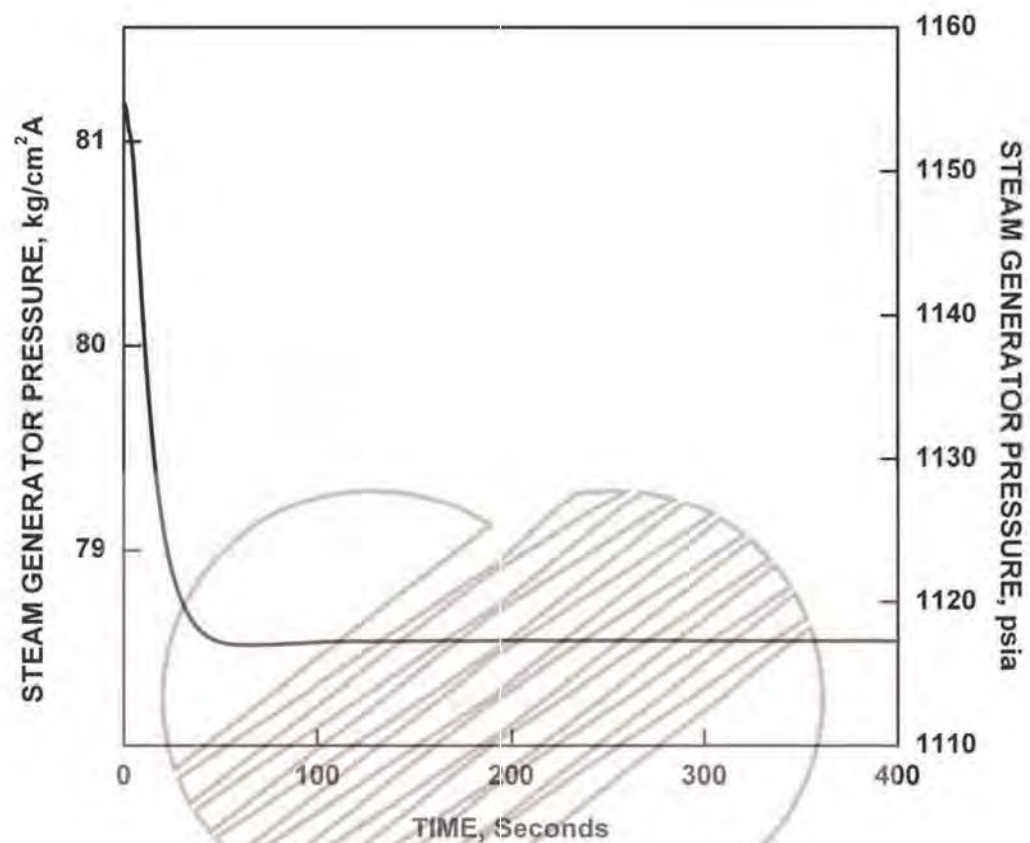
그림 15.4.3-6



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

단일 제어봉집합체 낙하 :
증기발생기 수위 대 시간

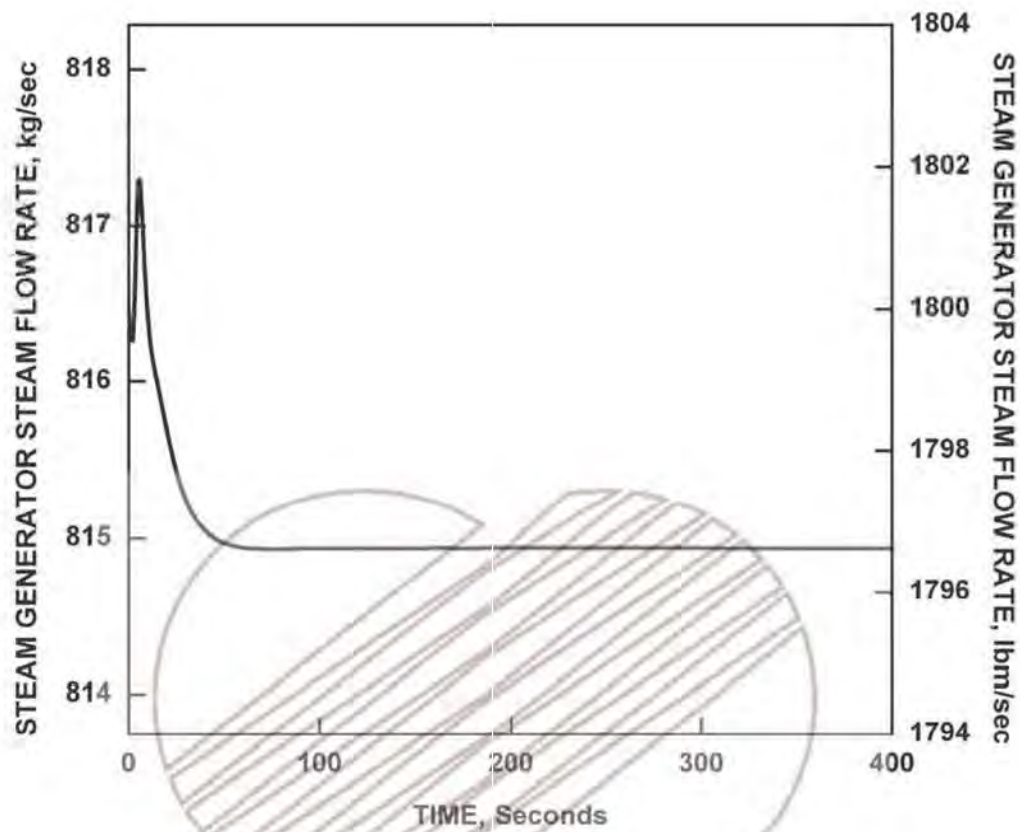
그림 15.4.3-7



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

단일 제어봉집합체 낙하 :
증기발생기 압력 대 시간

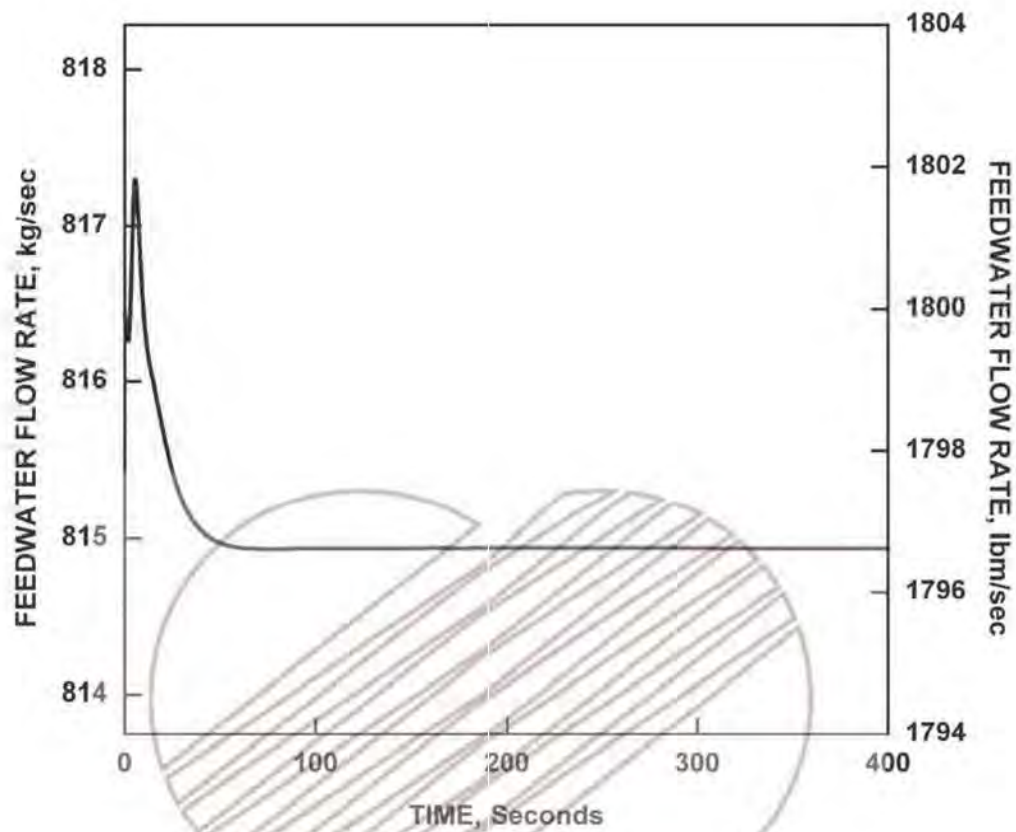
그림 15.4.3-8



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

단일 제어봉집합체 낙하 ;
총 증기유량 대 시간

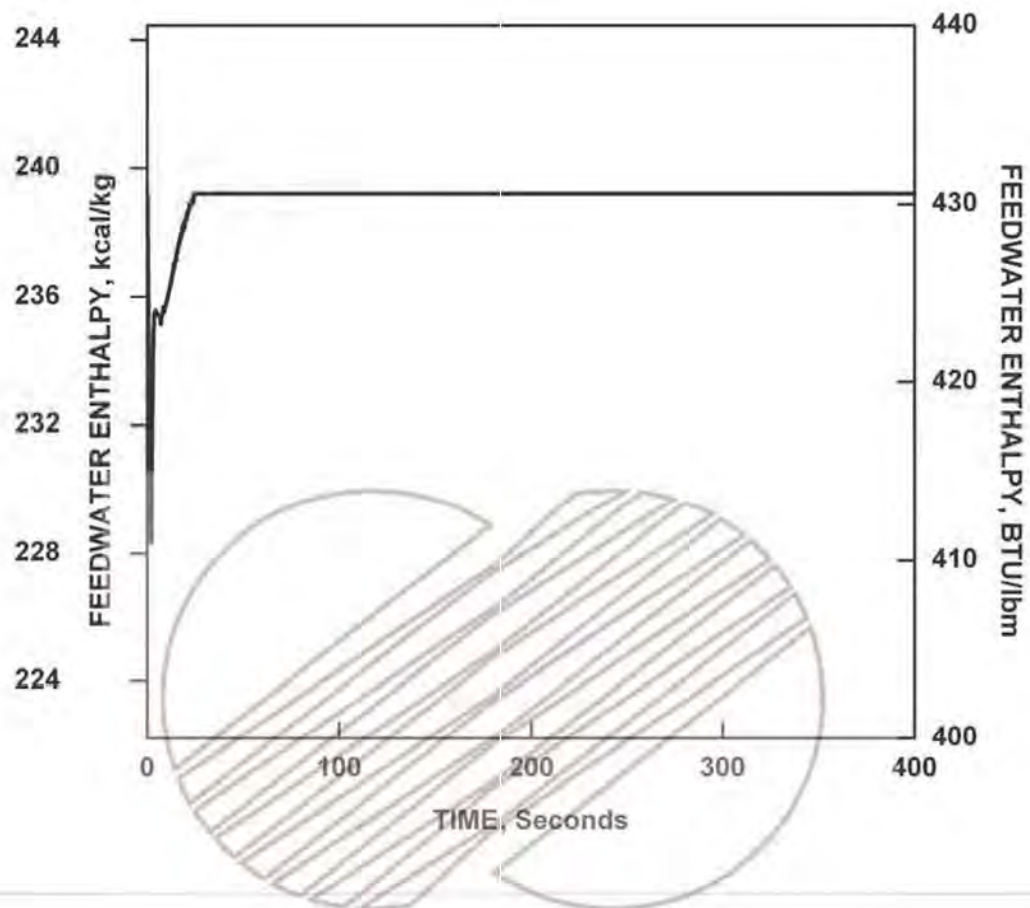
그림 15.4.3-9



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

단일 제어봉집합체 낙하 :
주급수 유량 대 시간

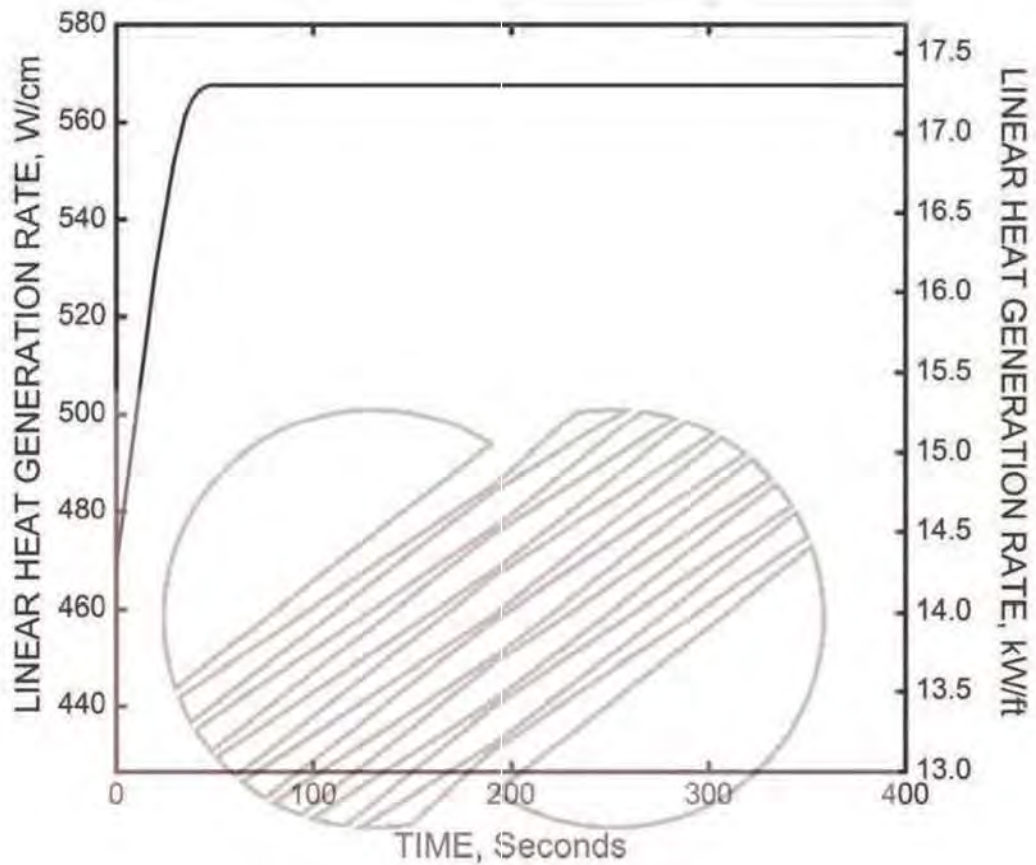
그림 15.4.3-10



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

단일 제어봉집합체 낙하 :
주급수 엔탈피 대 시간

그림 15.4.3-11



33, 63

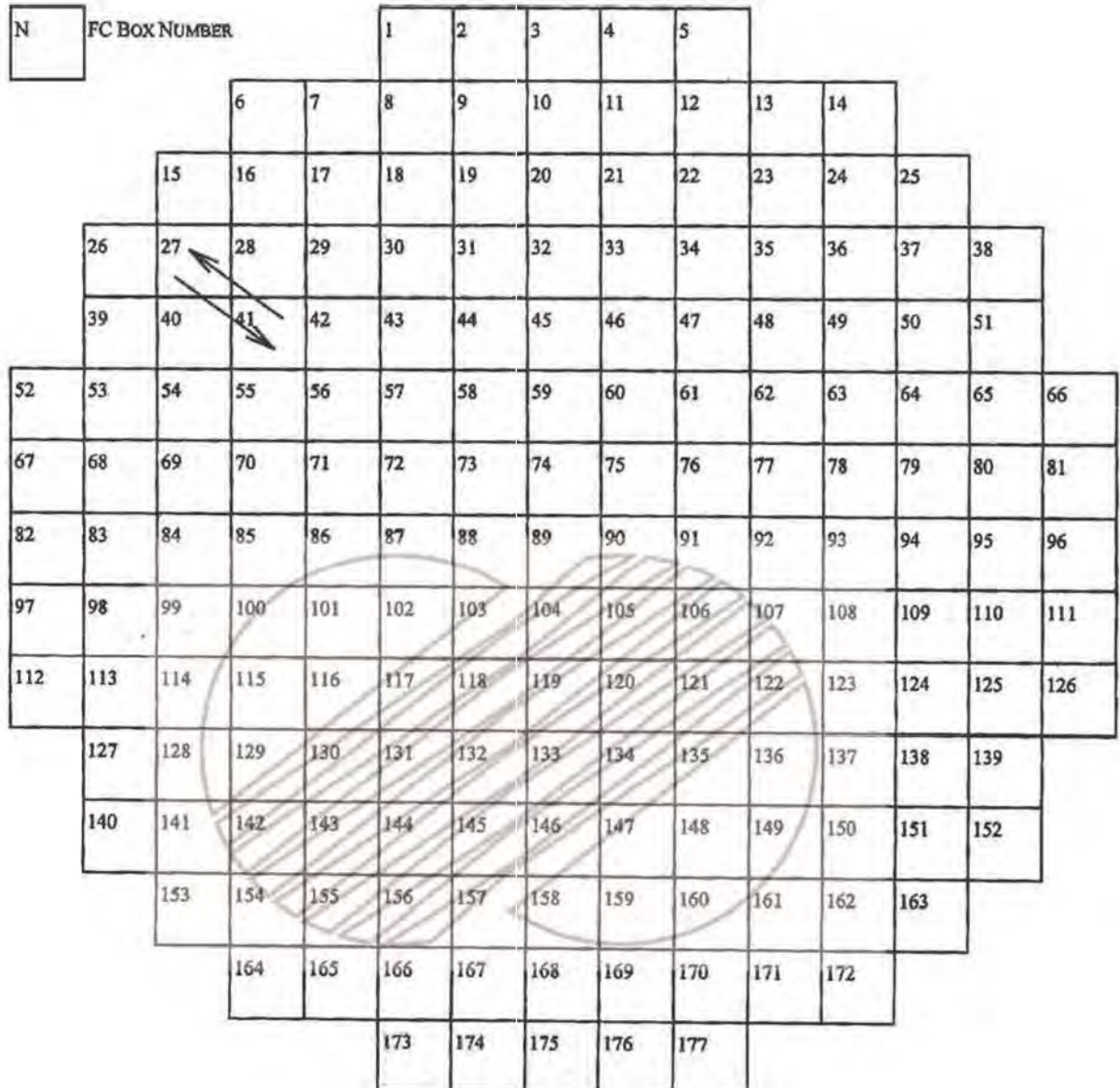


한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

단일 제어봉집합체 낙하 : 선출력밀도 대 시간

그림 15.4.3-12

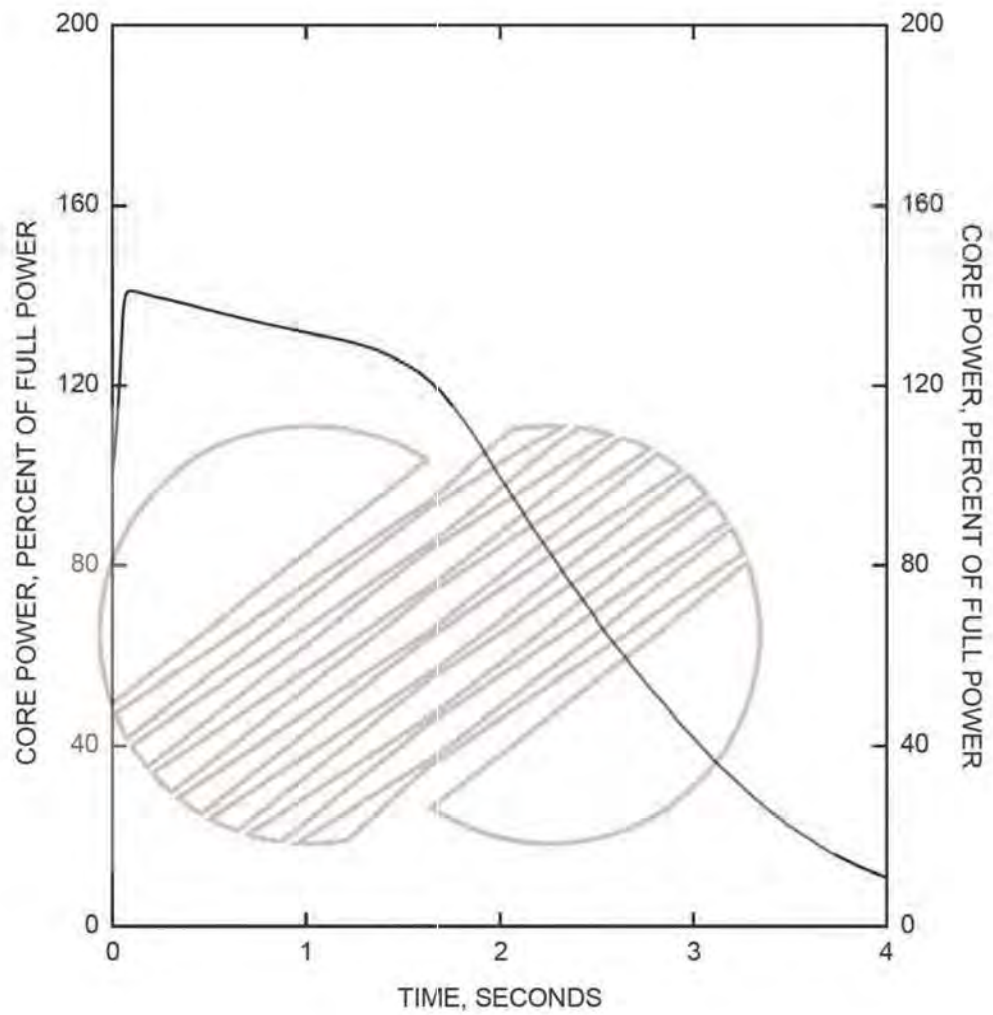
본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

부적절한 위치로의 부주의한 핵연료집합체
장전 : 최악의 오장전 위치

그림 15.4.7-1



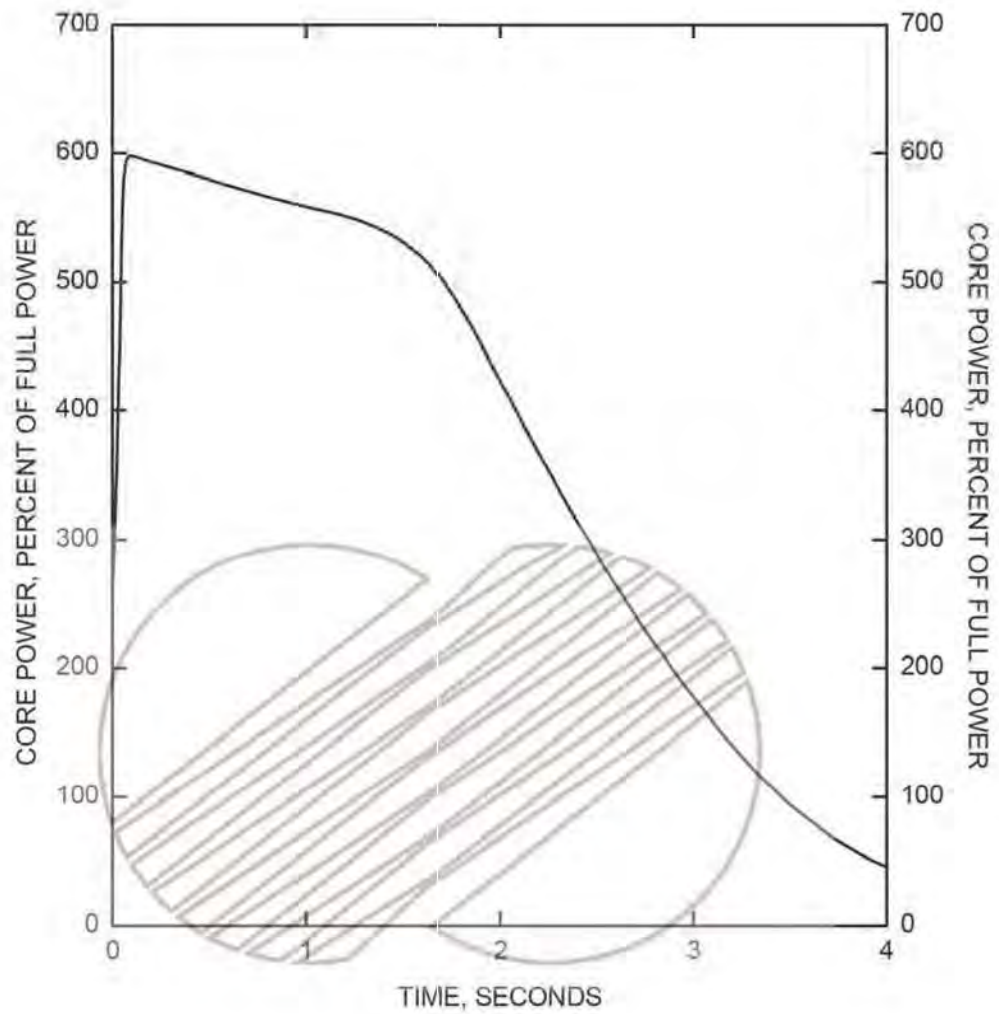
33



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

제어봉 이탈 :
노심 출력 대 시간

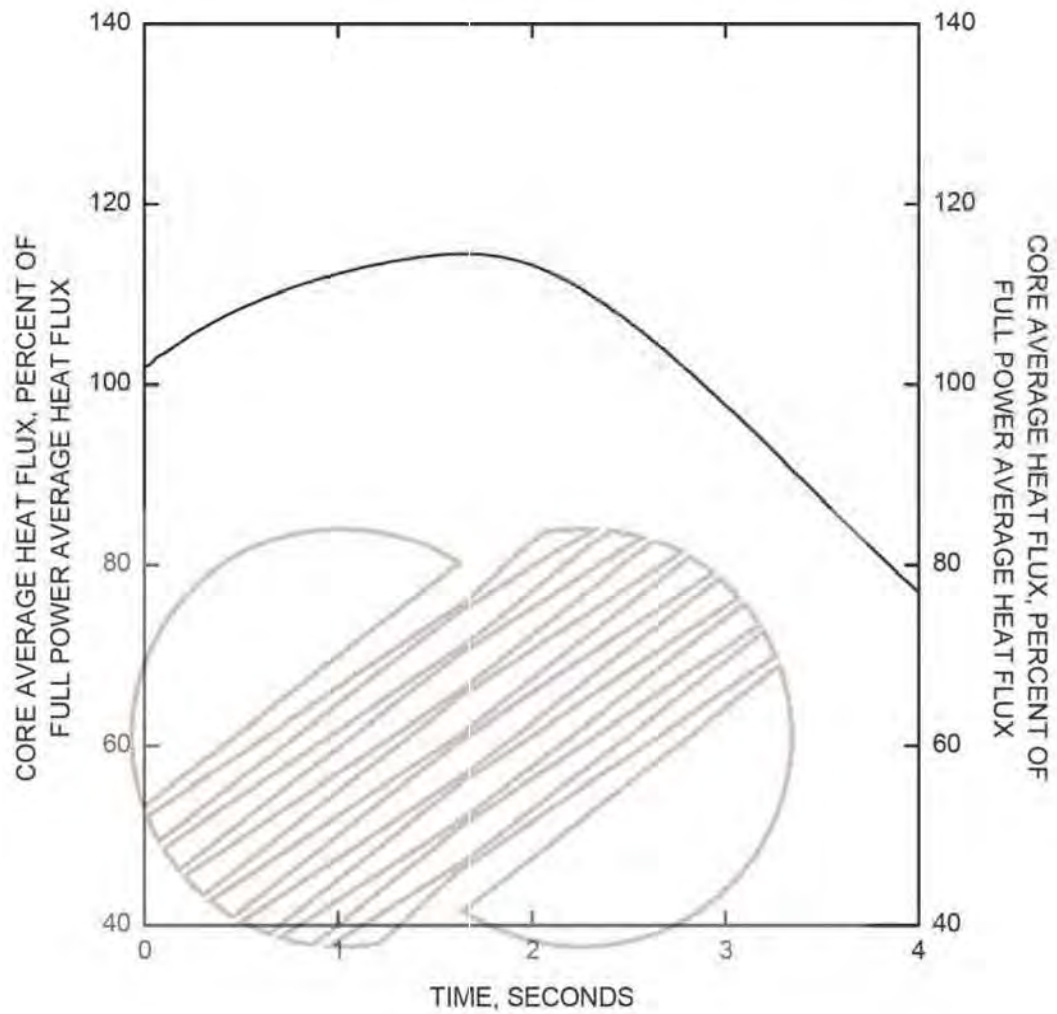
그림 15.4.8-1



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

제어봉 이탈 :
첨두 노심 출력 대 시간

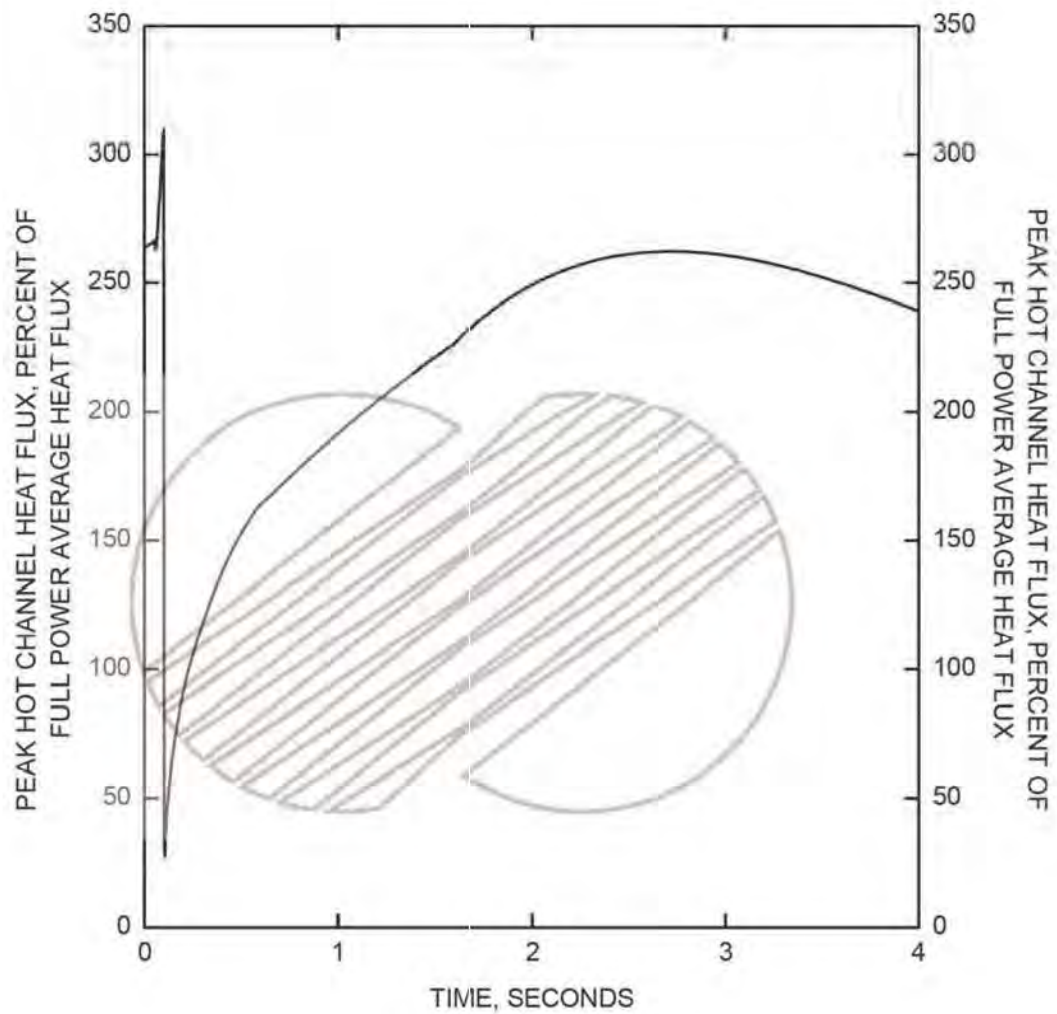
그림 15.4.8-2



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

제어봉 이탈 :
노심 평균열속 대 시간

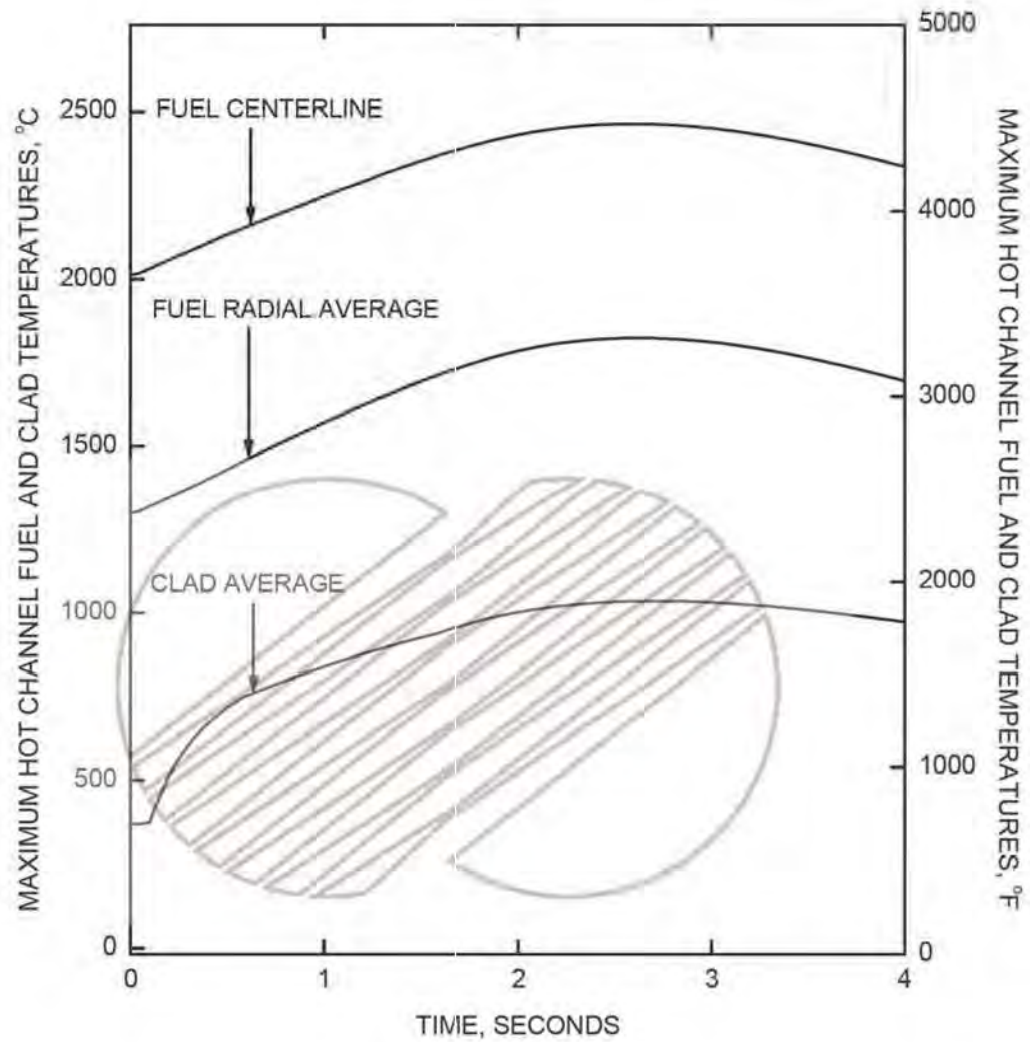
그림 15.4.8-3



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

제어봉 이탈 :
첨두 고온수로 열속 대 시간

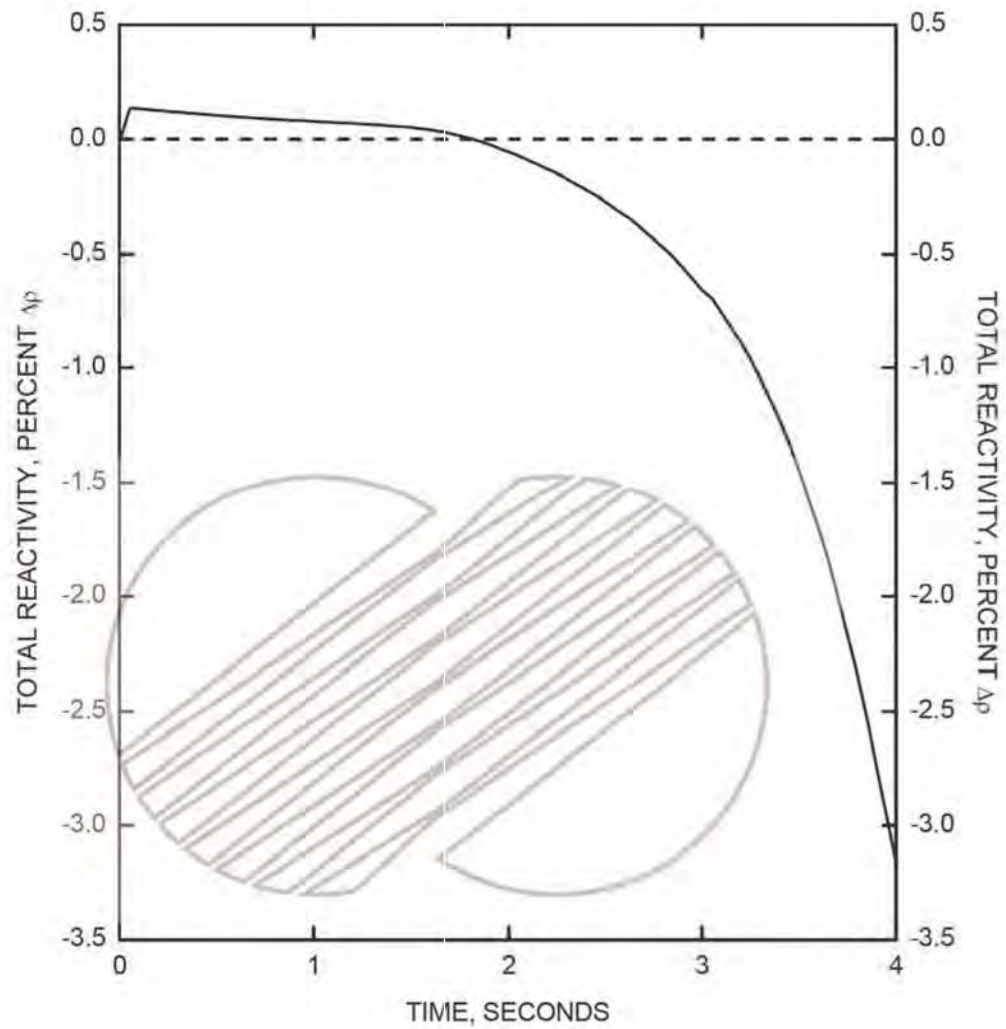
그림 15.4.8-4



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

제어봉 이탈 :
고온수로의 핵연료 및
피복재 온도 대 시간

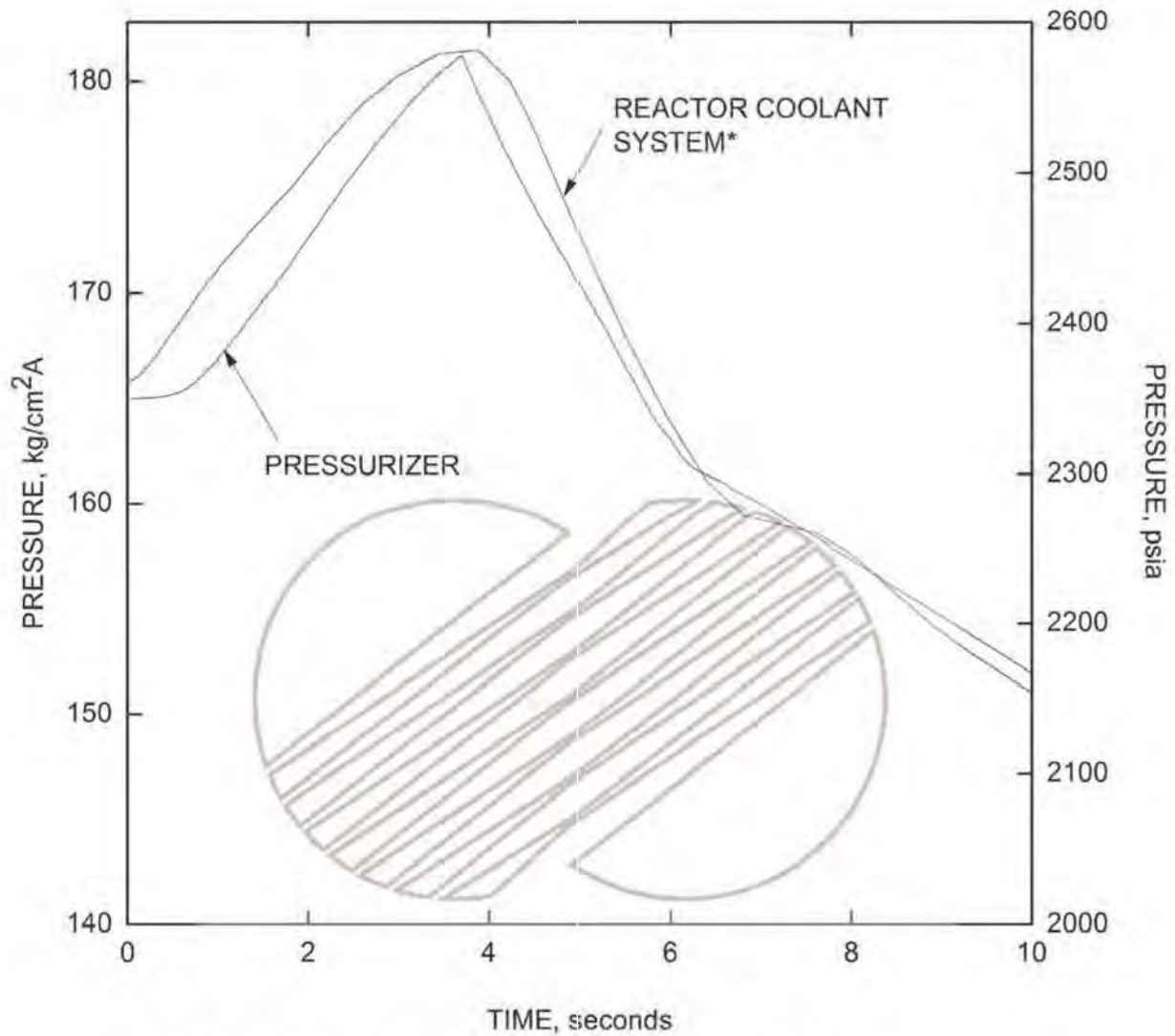
그림 15.4.8-5



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

제어봉 이탈 :
반응도 대 시간

그림 15.4.8-6



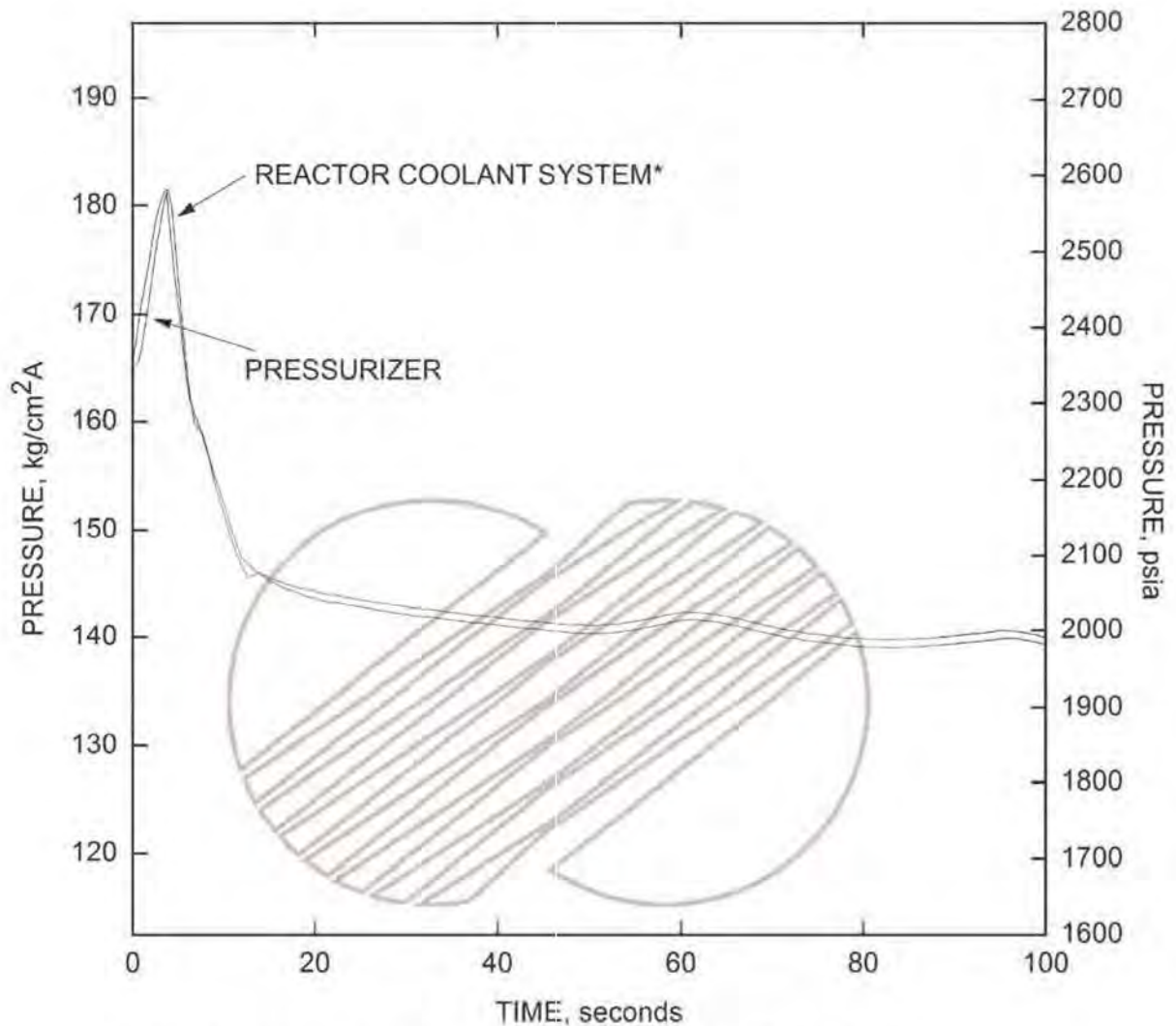
* DOES NOT INCLUDE ELEVATION OR REACTOR COOLANT PUMP HEADS



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

제이봉 이탈 :
원자로냉각재계통 및 가압기 압력 대 시간

그림 15.4.8-7



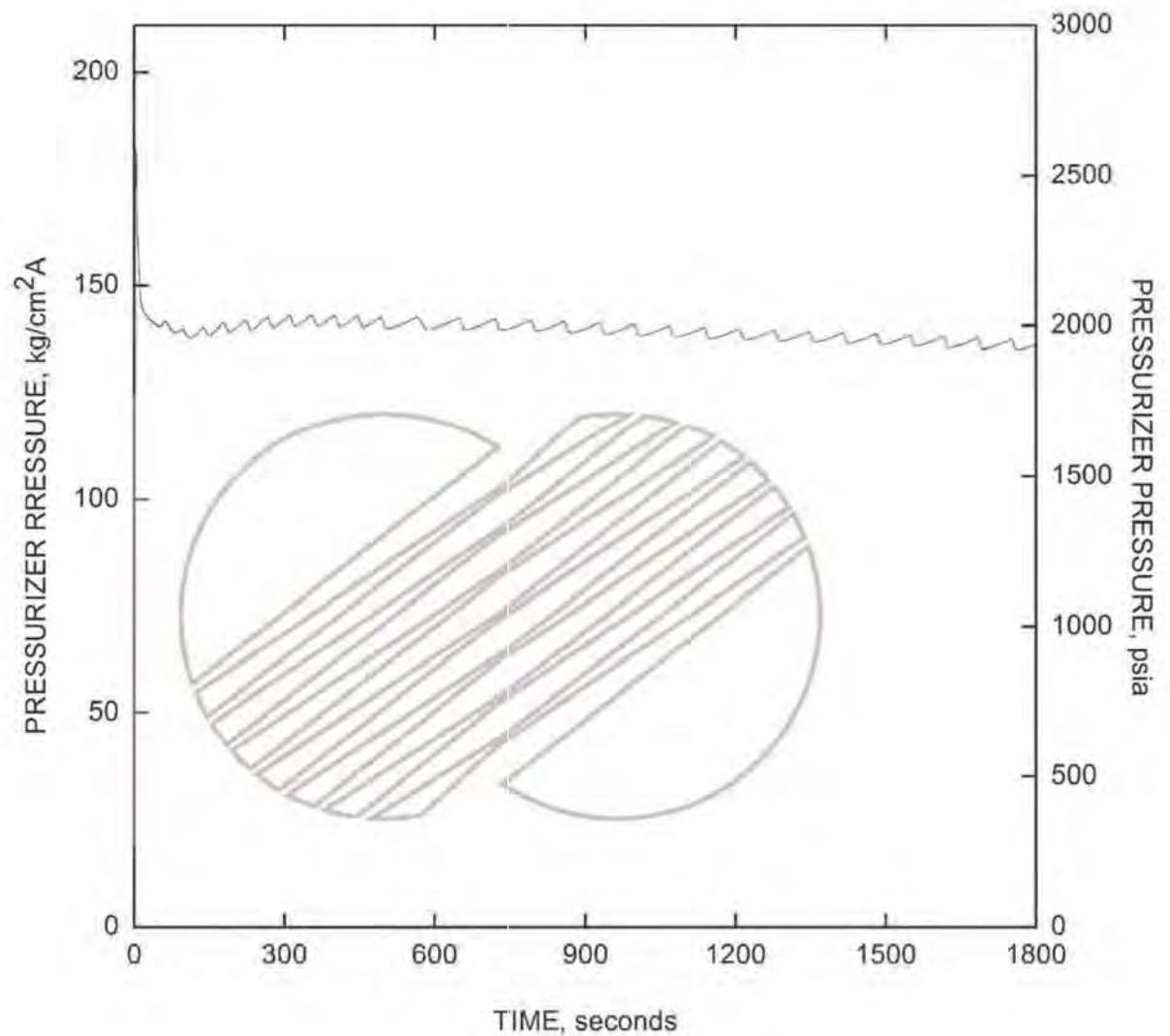
* DOES NOT INCLUDE ELEVATION OR REACTOR COOLANT PUMP HEADS



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

제어봉 이탈 :
원자로냉각재계통 및 가압기 압력 대 시간

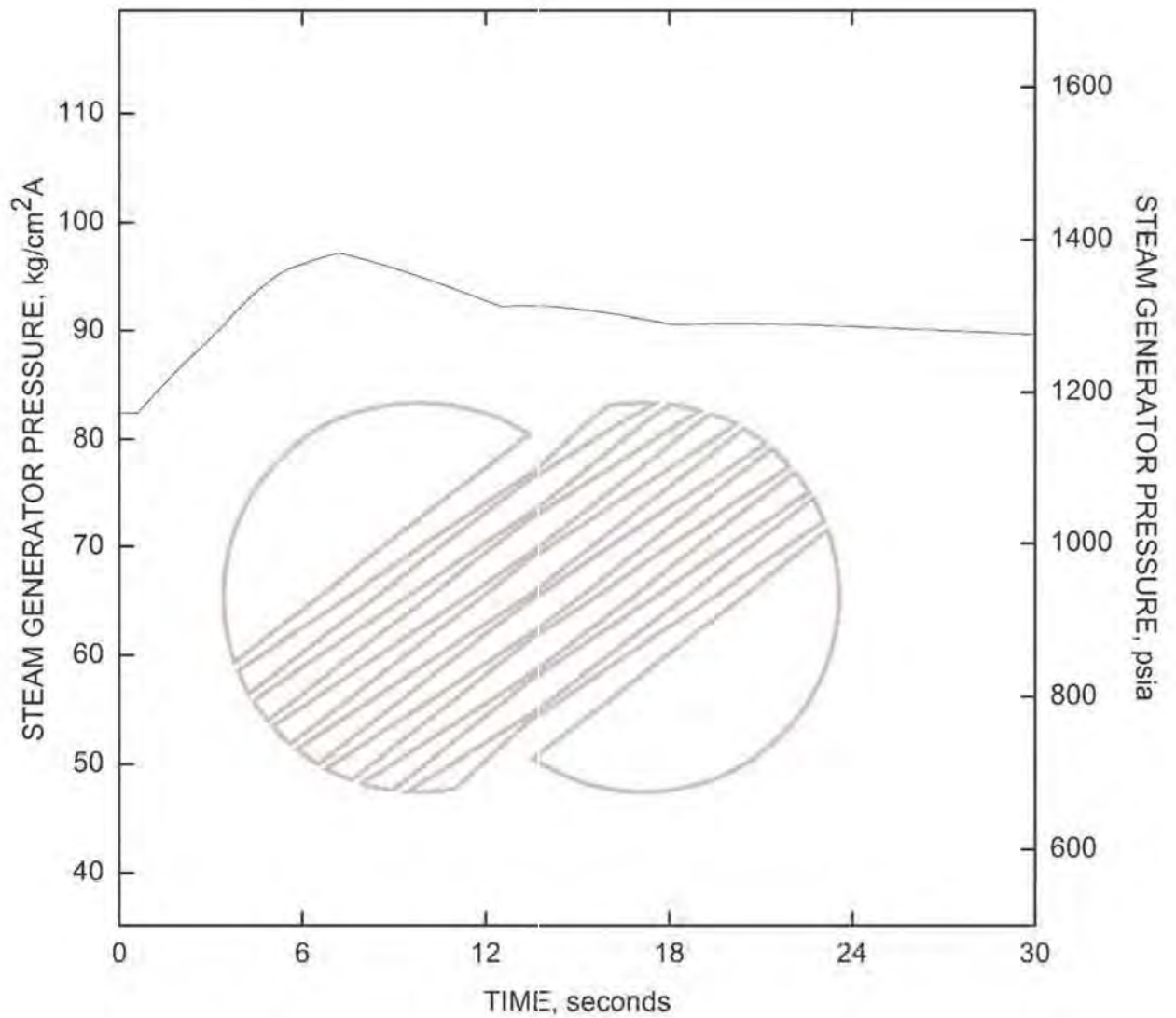
그림 15.4.8-8



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

제어봉 이탈 :
가압기 압력 대 시간

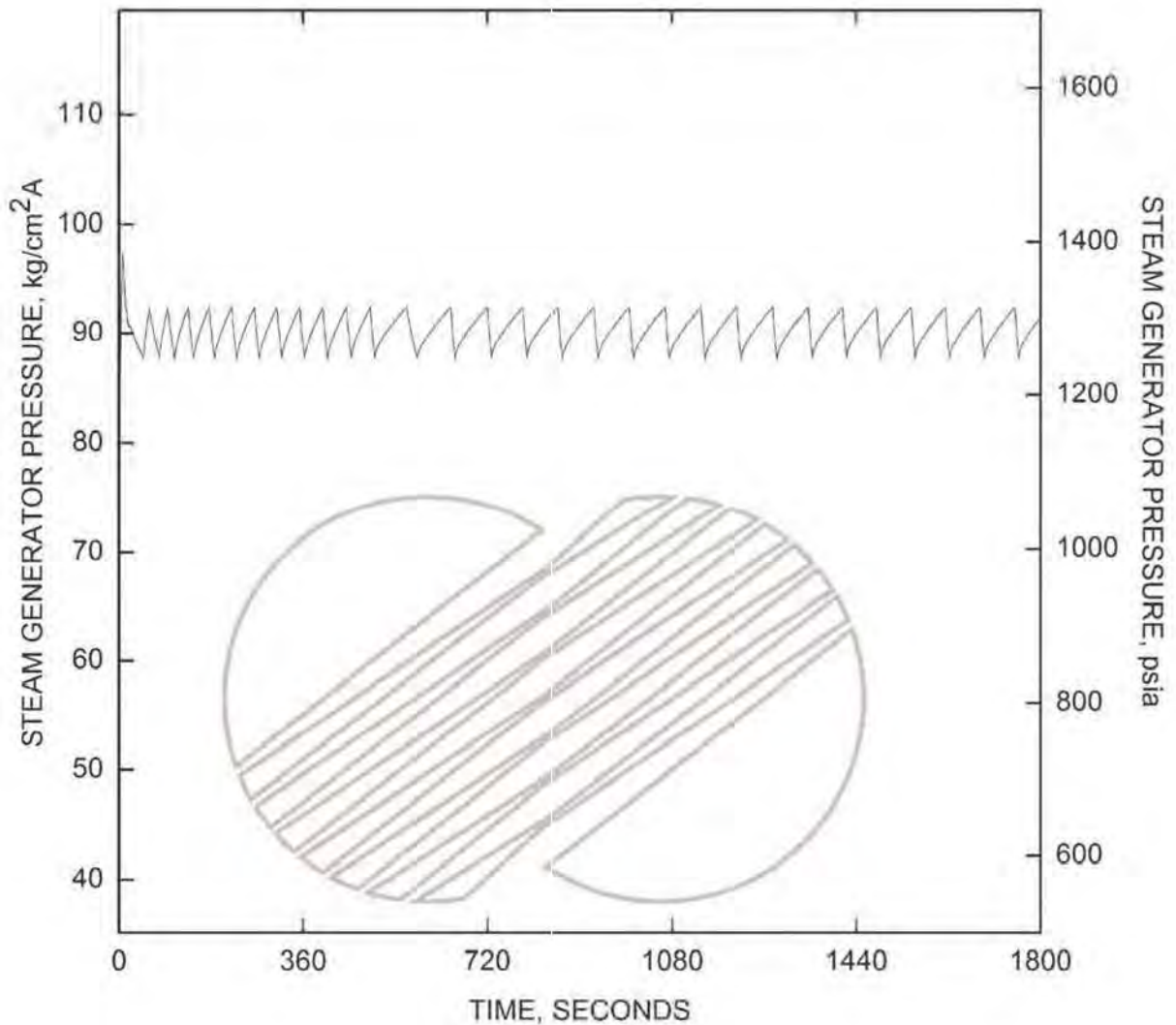
그림 15.4.8-9



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

제어봉 이탈 :
증기발생기 압력 대 시간

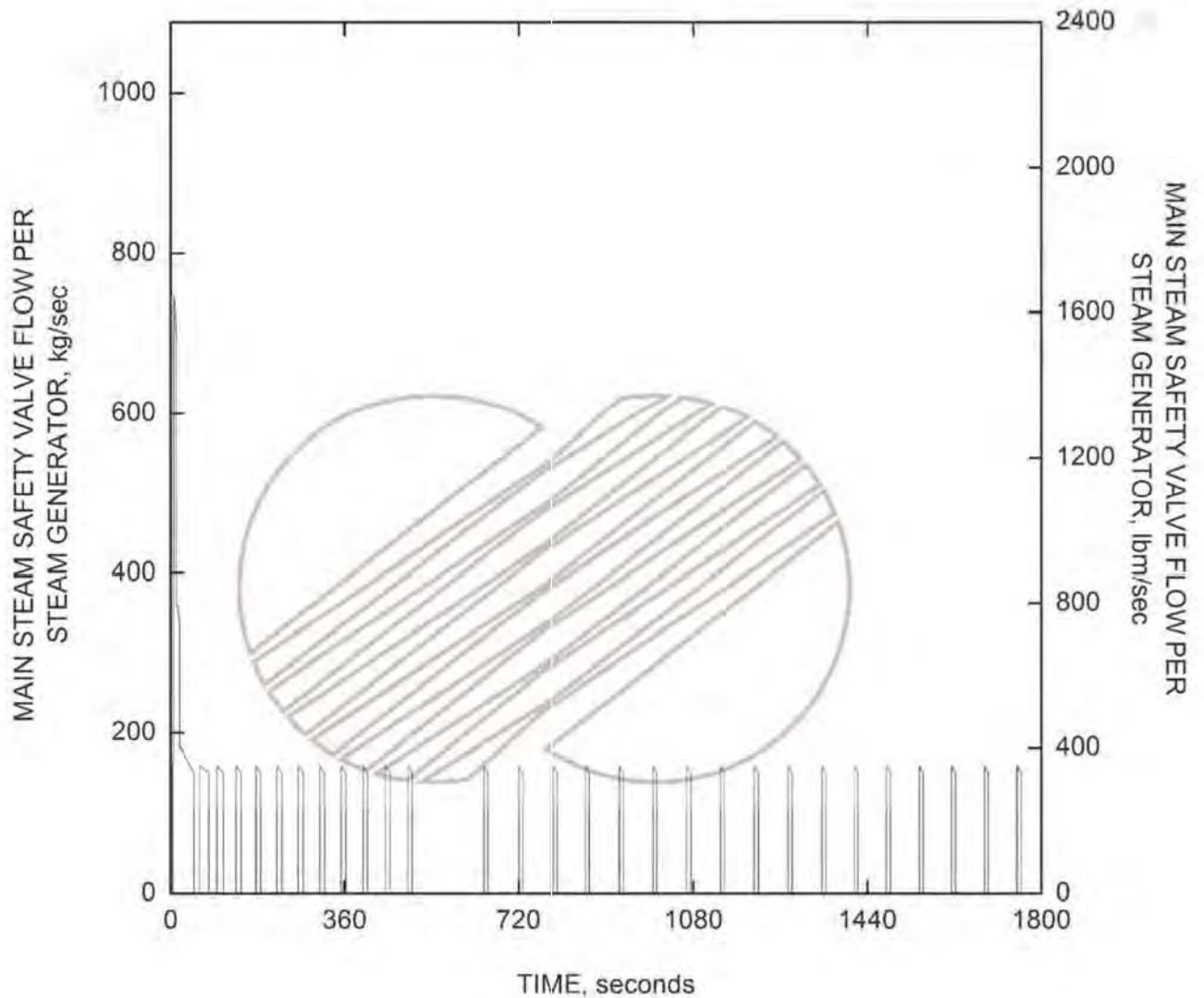
그림 15.4.8-10



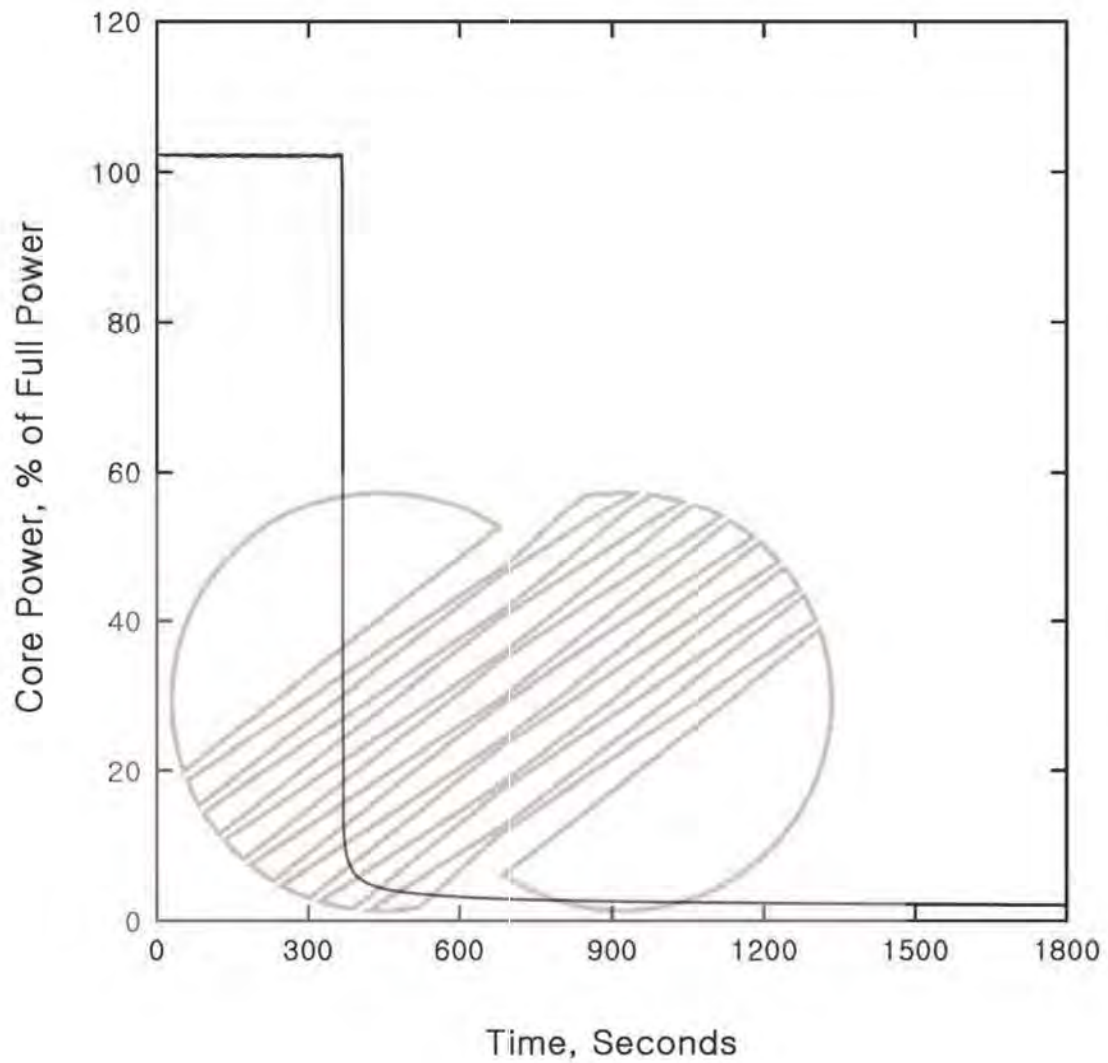
한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

제어봉 이탈 :
증기발생기 압력 대 시간

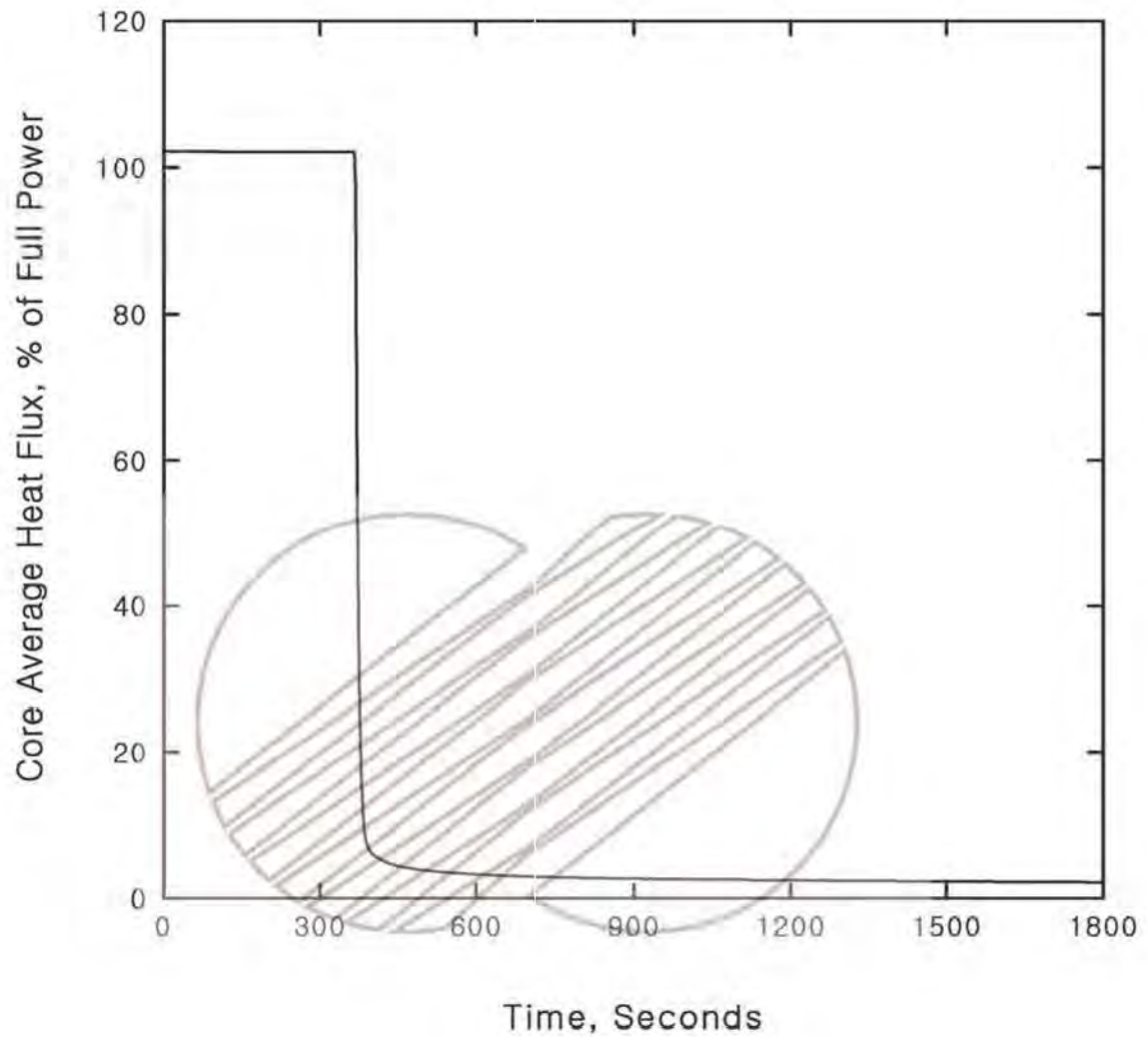
그림 15.4.8-11



	한국수력원자력주식회사 신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서
	제어봉 이탈 : 주증기안전밸브 유량 대 시간
	그림 15.4.8-12



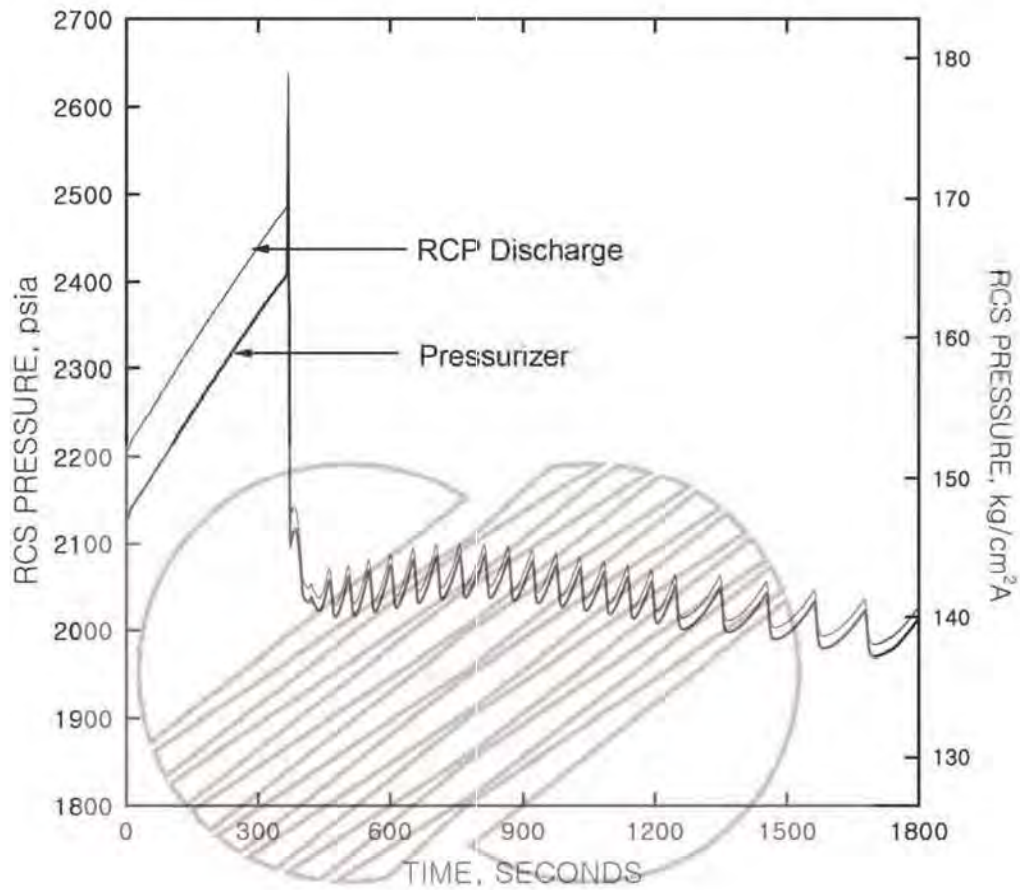
	한국수력원자력주식회사
	신고리 1,2호기
	최종안전성분석보고서
가압기수위제어계통의 오작동 : 시간에 따른 노심 출력 변화	
그림 15.5.2-1	



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

가압기수위제어계통 오작동 : 시간에 따른
노심 평균열속 변화

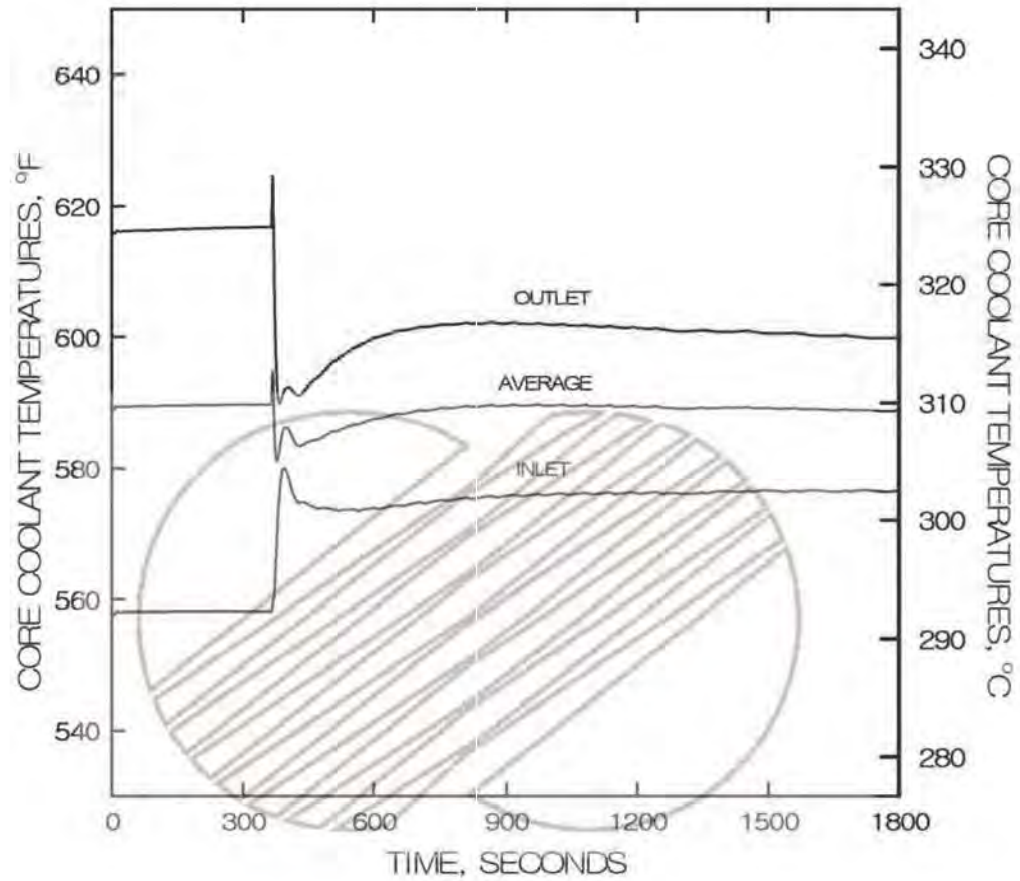
그림 15.5.2-2



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

가압기수위제어시스템의 오작동 : 시간에 따른
가압기 압력 변화

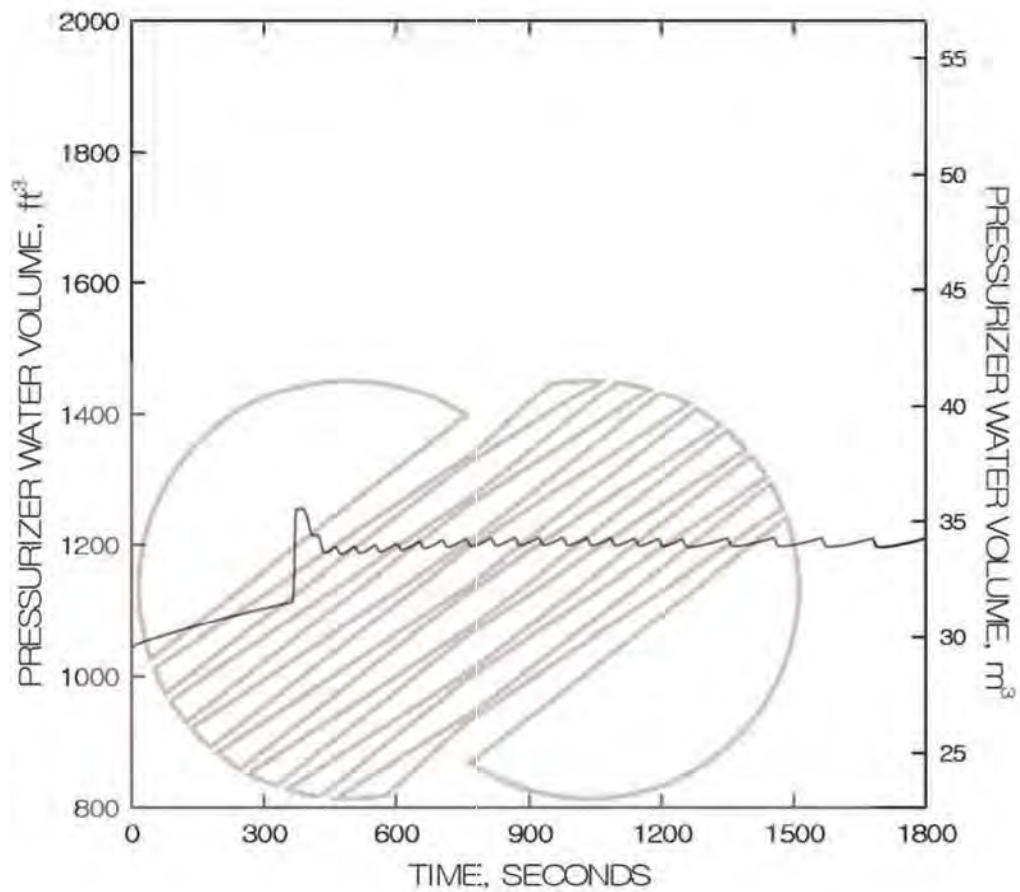
그림 15.5.2-3



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

가압기수위제어시스템의 오작동 : 시간에 따른
원자로냉각재 온도 변화

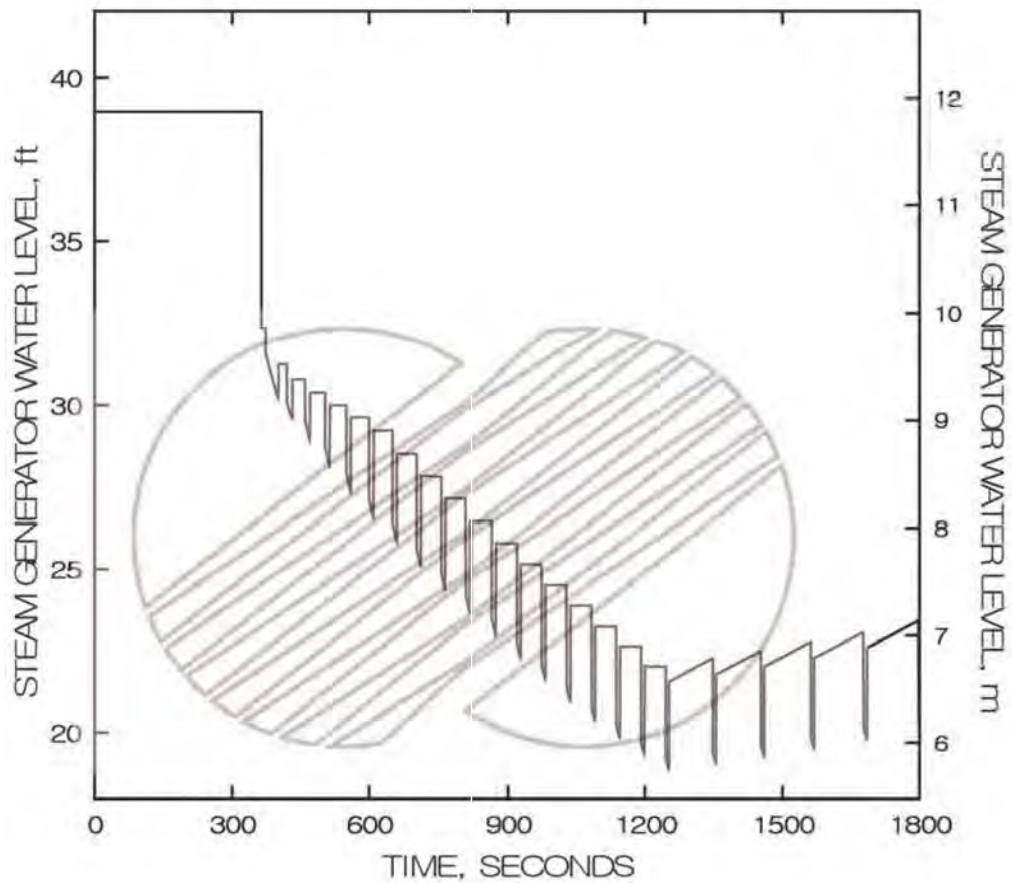
그림 15.5.2-4



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

가압기수위제어제통의 오작동 : 시간에 따른
가압기 냉각재 체적 변화

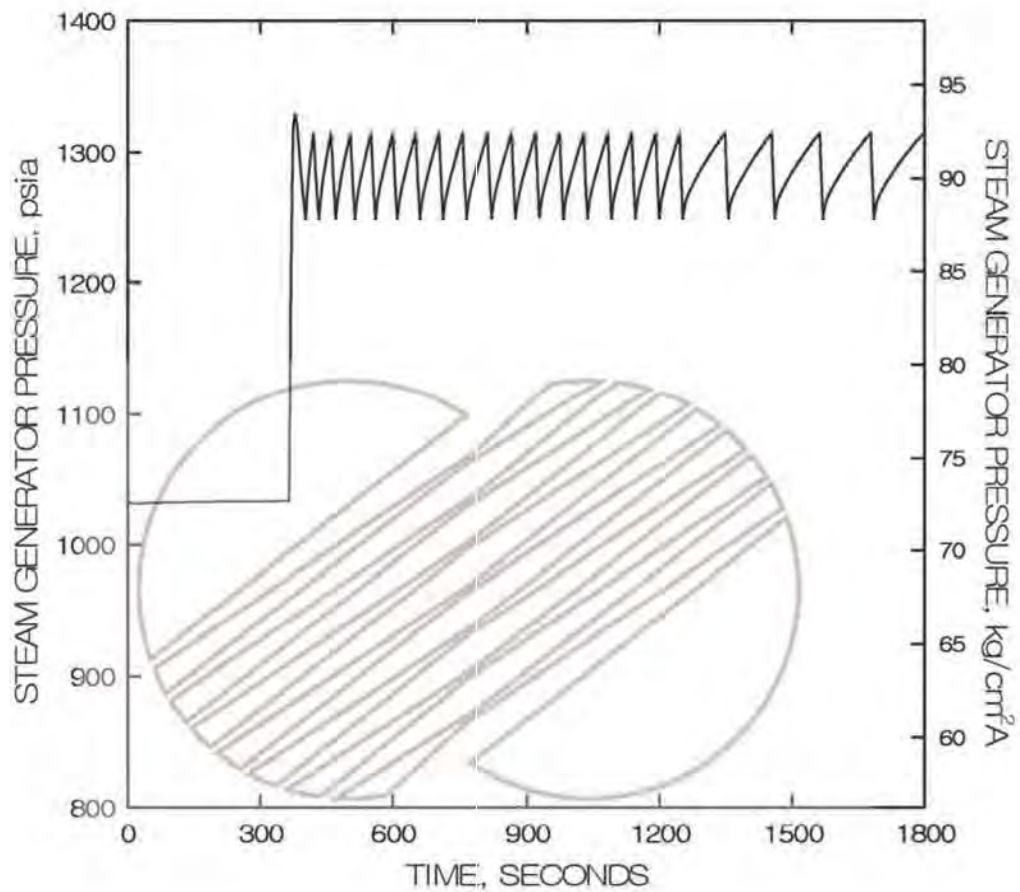
그림 15.5.2-5



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

가압기수위제어시스템의 오작동 : 시간에 따른
증기발생기 수위 변화

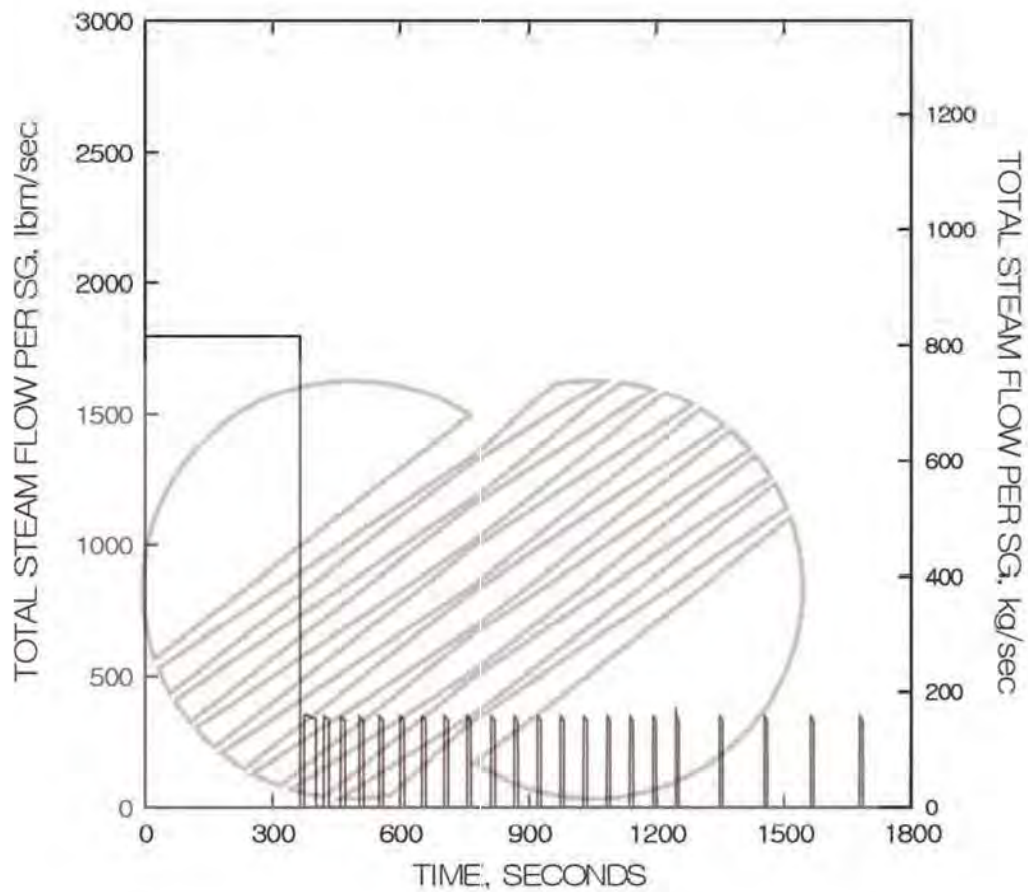
그림 15.5.2-6



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

가압기수위제어계통의 오작동 : 시간에 따른
증기발생기 압력 변화

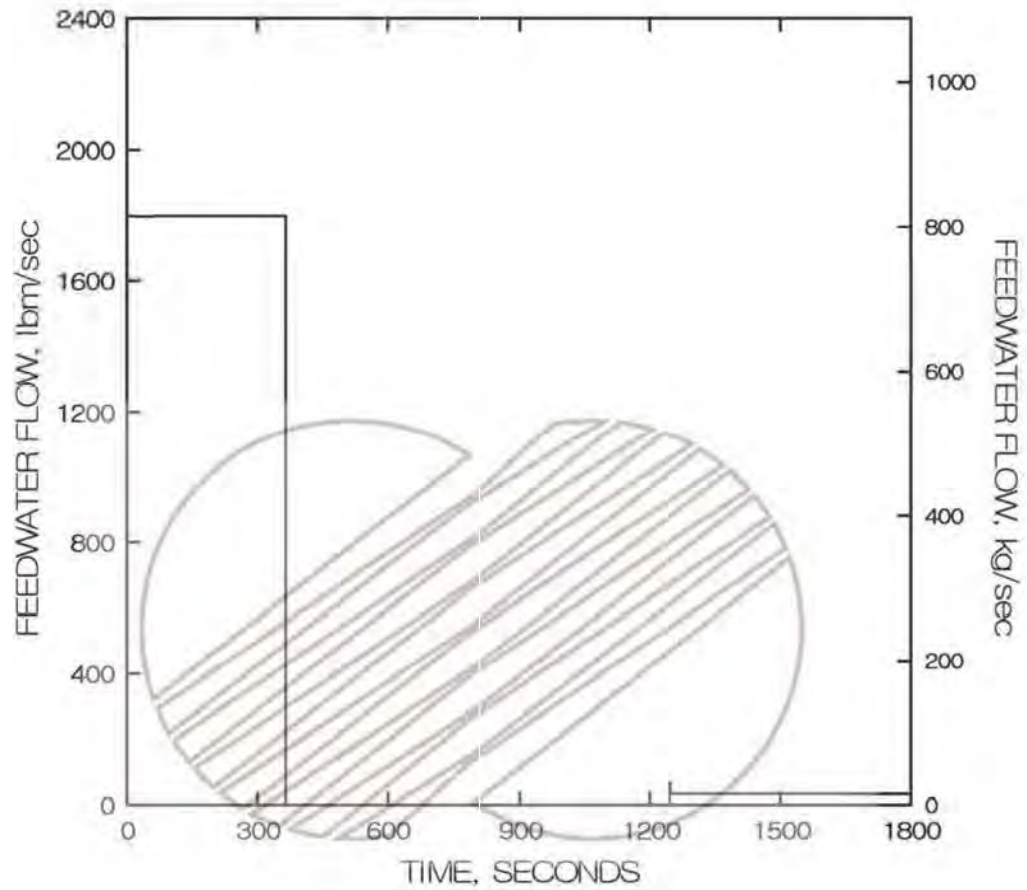
그림 15.5.2-7



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

가압기수위 제어제통의 오작동 : 시간에 따른 총
증기유량 변화

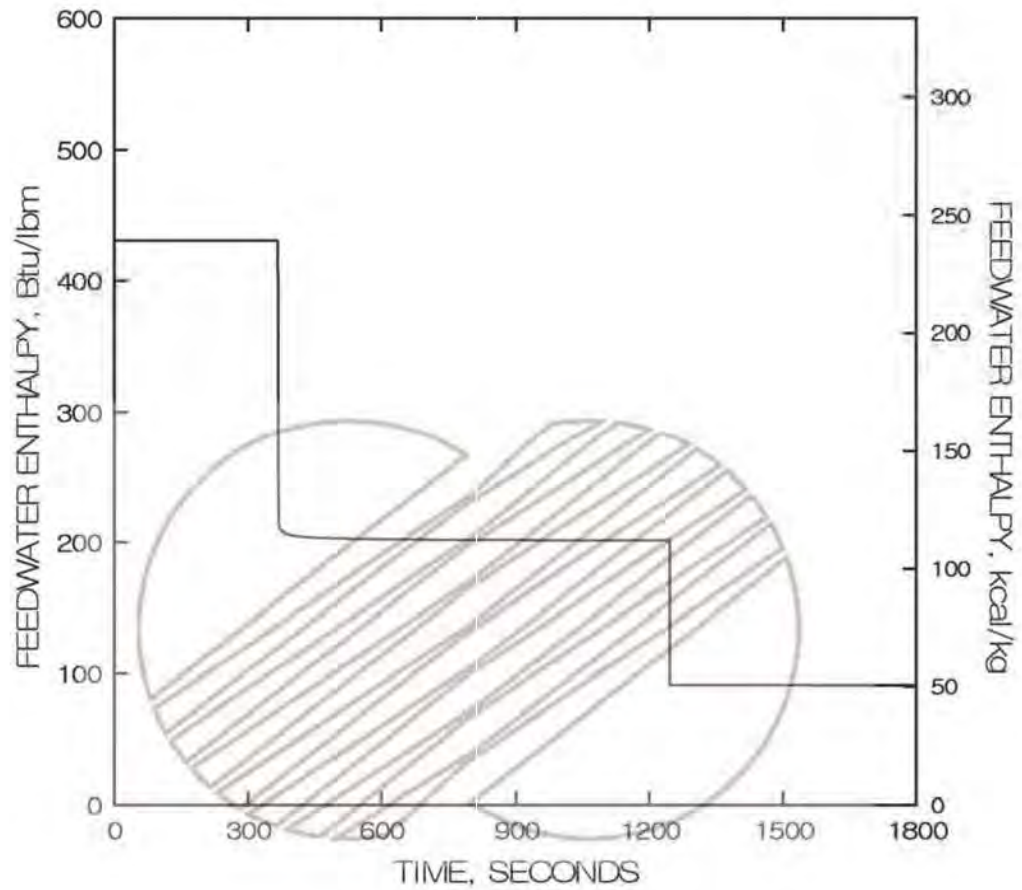
그림 15.5.2-8



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

가압기수위제어계통의 오작동 : 시간에 따른
급수유량 변화

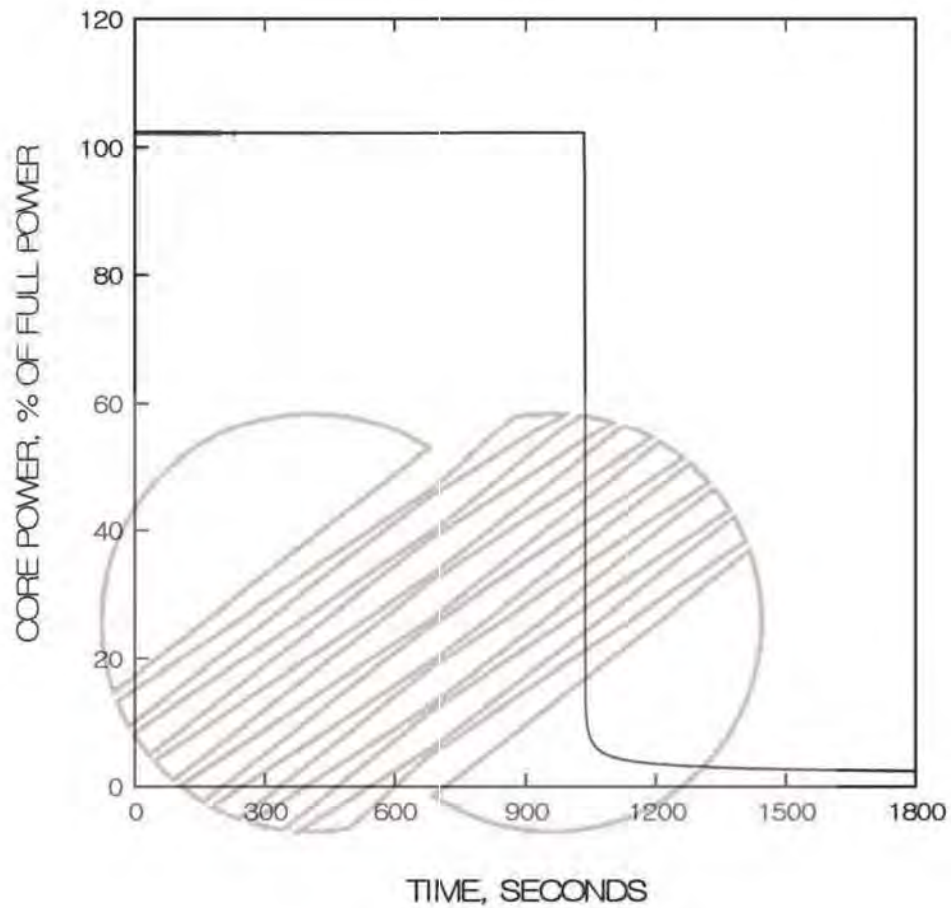
그림 15.5.2-9



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

가압기수위제어시스템의 오작동 : 시간에 따른
급수 엔탈피 변화

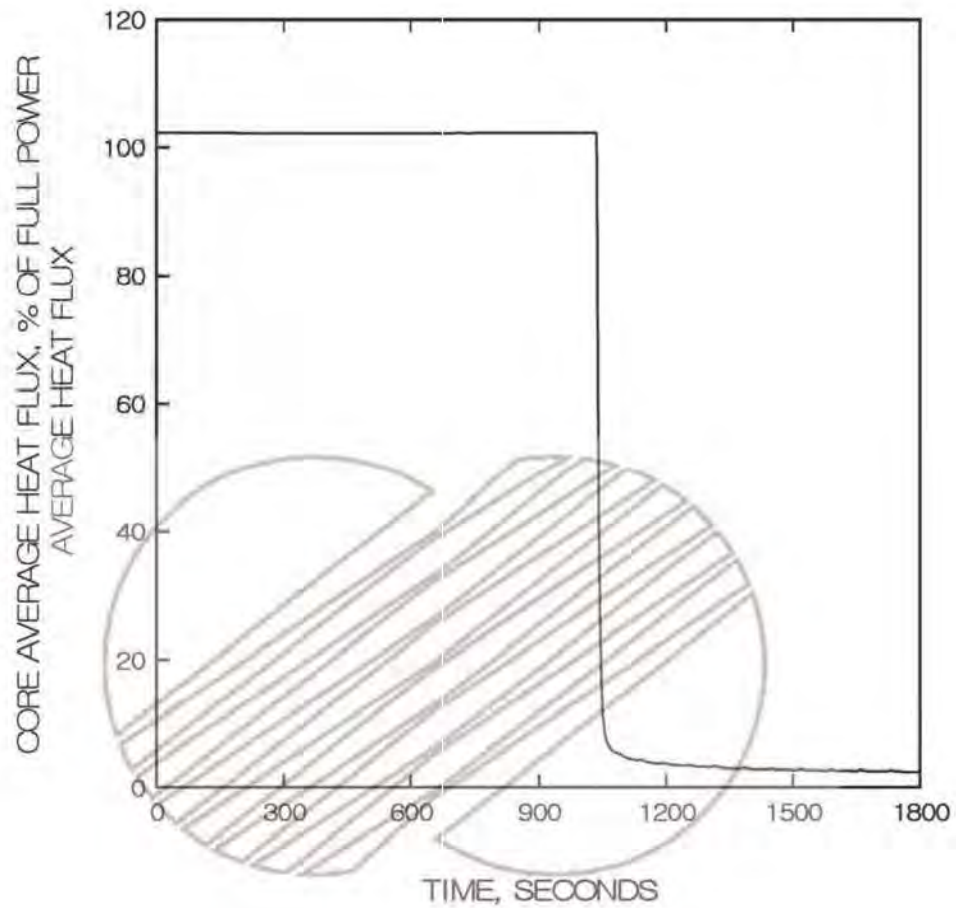
그림 15.5.2-10



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

원자로건물 외부 유출오리피스 상류에서의
유출관 양단 파단 : 시간에 따른 노심 출력 변화

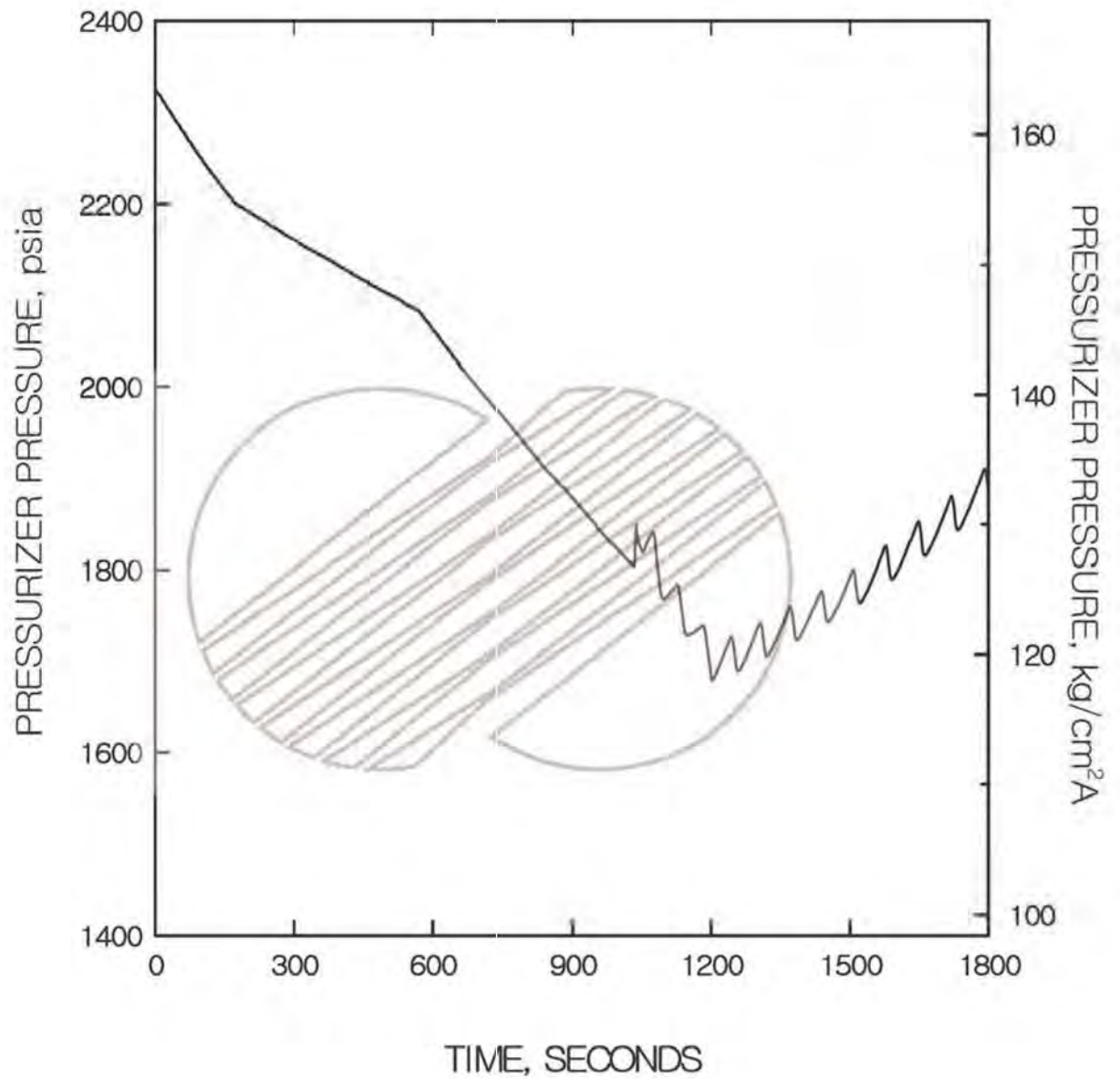
그림 15.6.2-1



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

원자로건물 외부 유출오리피스 상류에서의
유출관 양단 파단 : 시간에 따른 노심
평균열속 변화

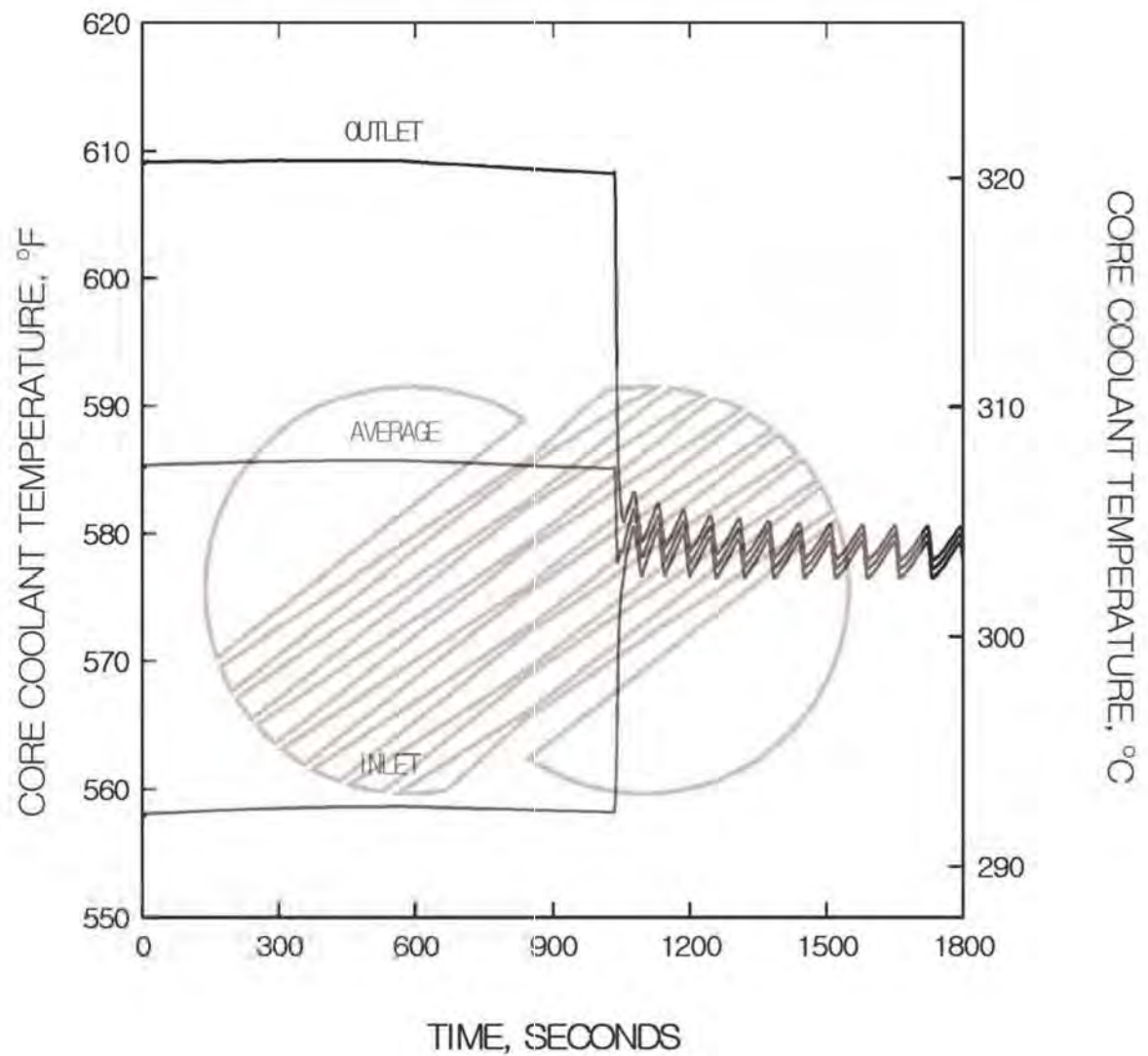
그림 15.6.2-2



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

원자로건물 외부 유출오리피스 상류에서의
유출관 양단 파단 : 시간에 따른 가압기 압력
변화

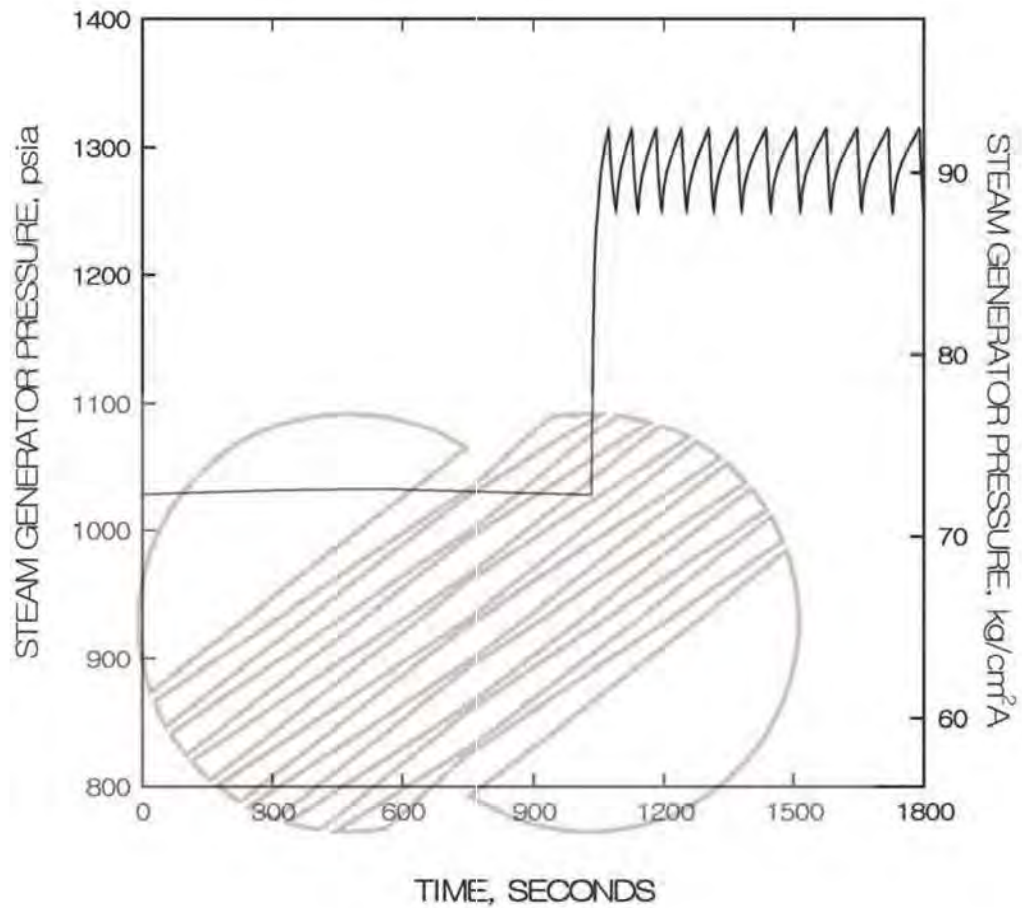
그림 15.6.2-3



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

원자로건물 외부 유출오리피스 상류에서의
유출관 양단 파단 : 시간에 따른 원자로냉각재
온도 변화

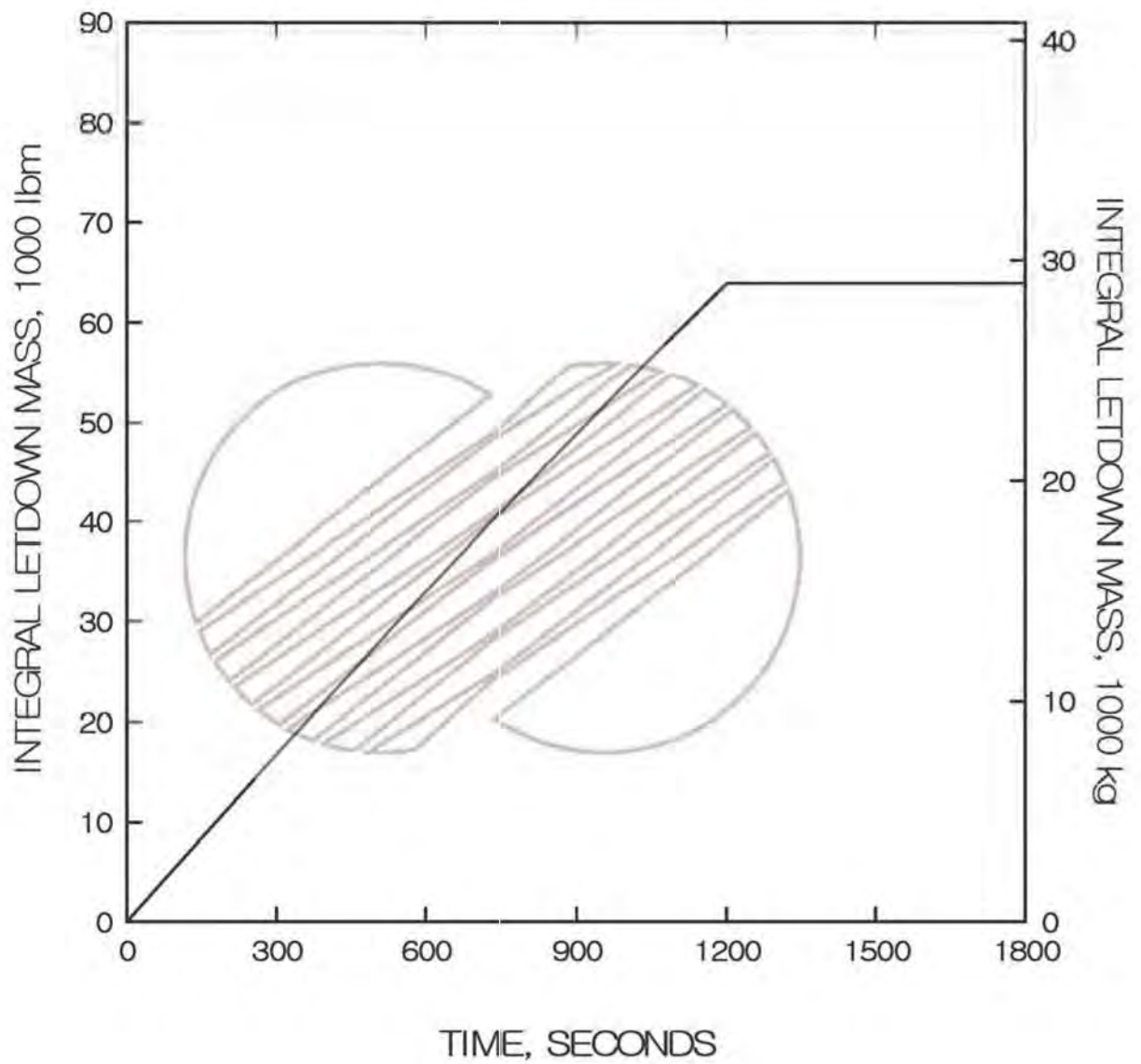
그림 15.6.2-4



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

원자로건물 외부 유출오리피스 상류에서의
유출관 양단 파단 : 시간에 따른 증기발생기
압력 변화

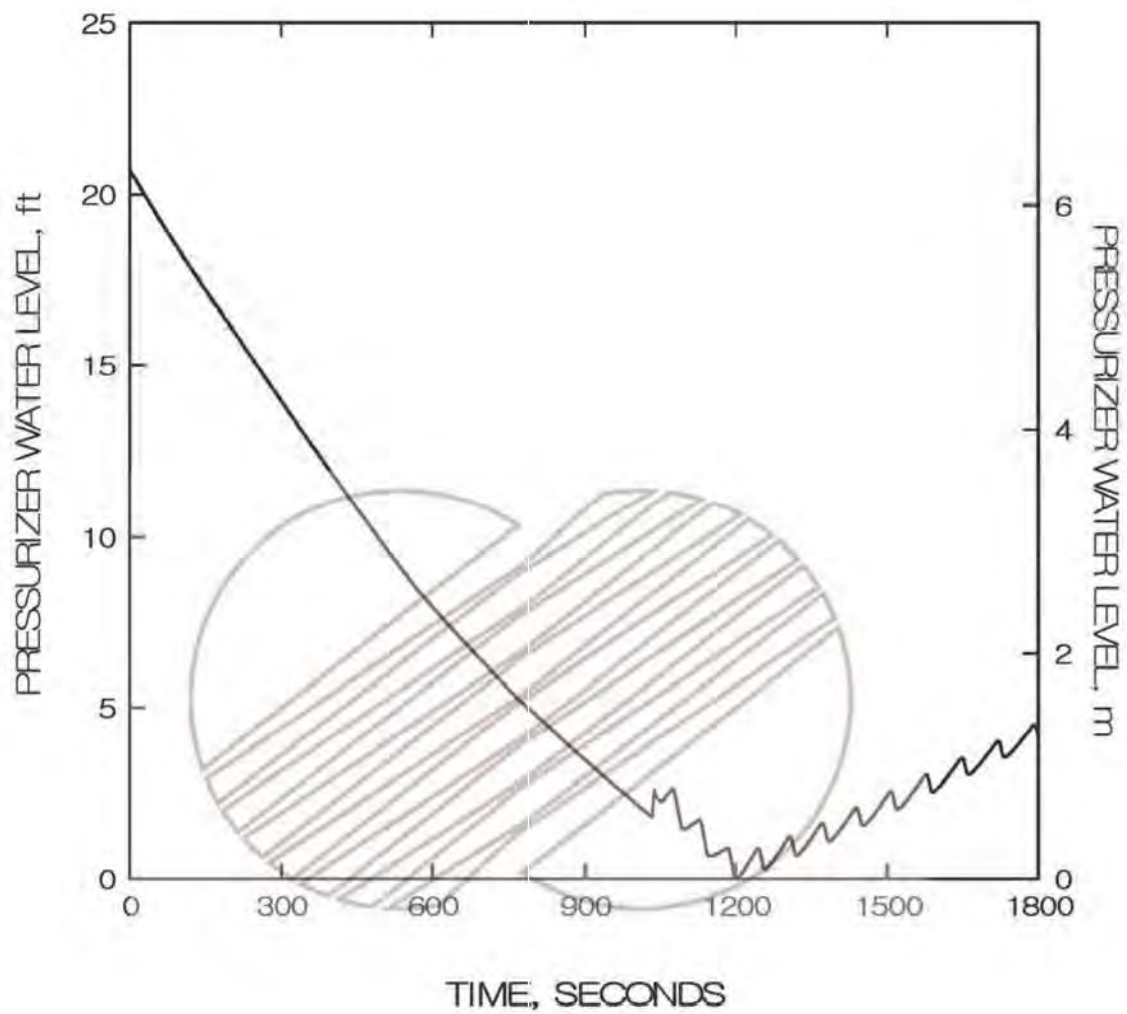
그림 15.6.2-5



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

원자로건물 외부 유출오리피스 상류에서의
유출관 양단 파단 : 시간에 따른 누적
원자로냉각재 방출량

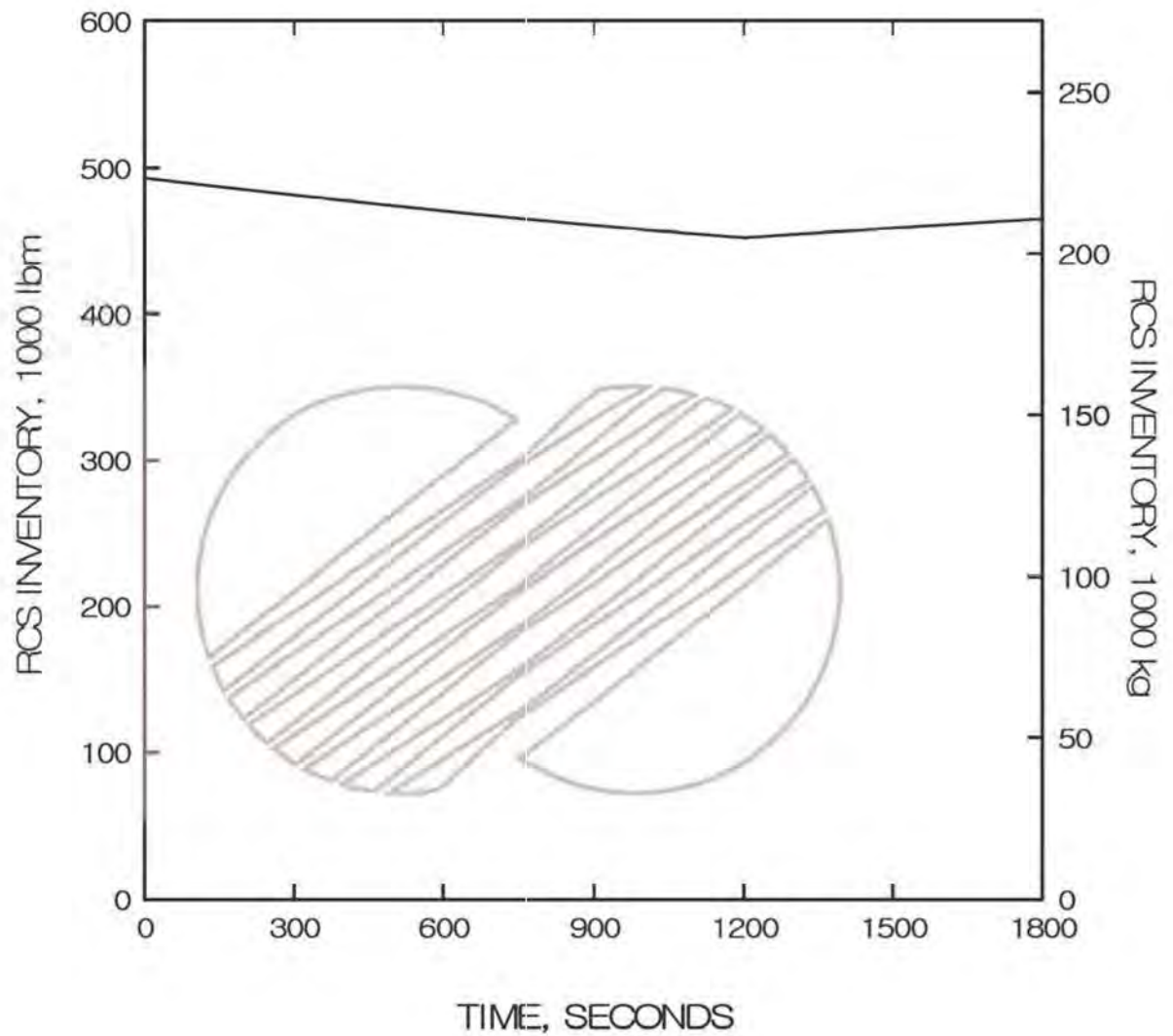
그림 15.6.2-6



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

원자로건물 외부 유출오리피스 상류에서의
유출관 양단 파단 : 시간에 따른 가압기 수위
변화

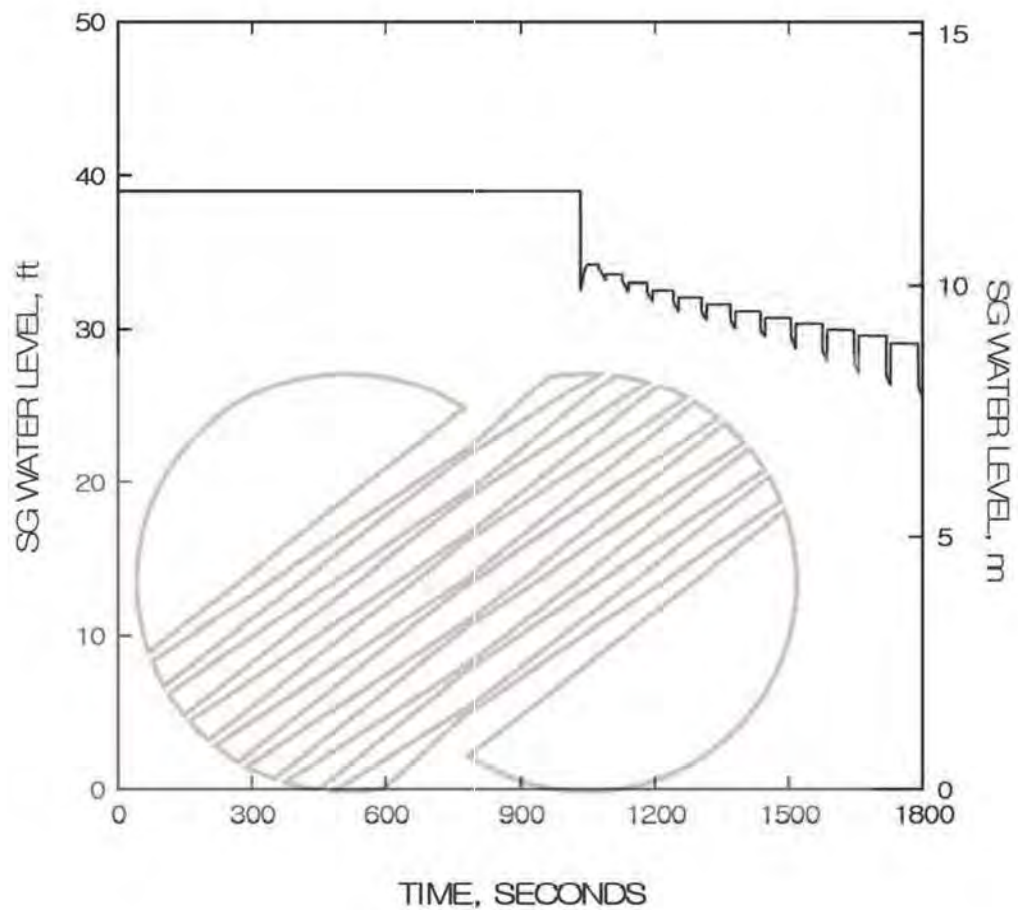
그림 15.6.2-7



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

원자로건물 외부 유출오리피스 상류에서의
유출관 양단 파단 : 시간에 따른 원자로냉각재
재고량 변화

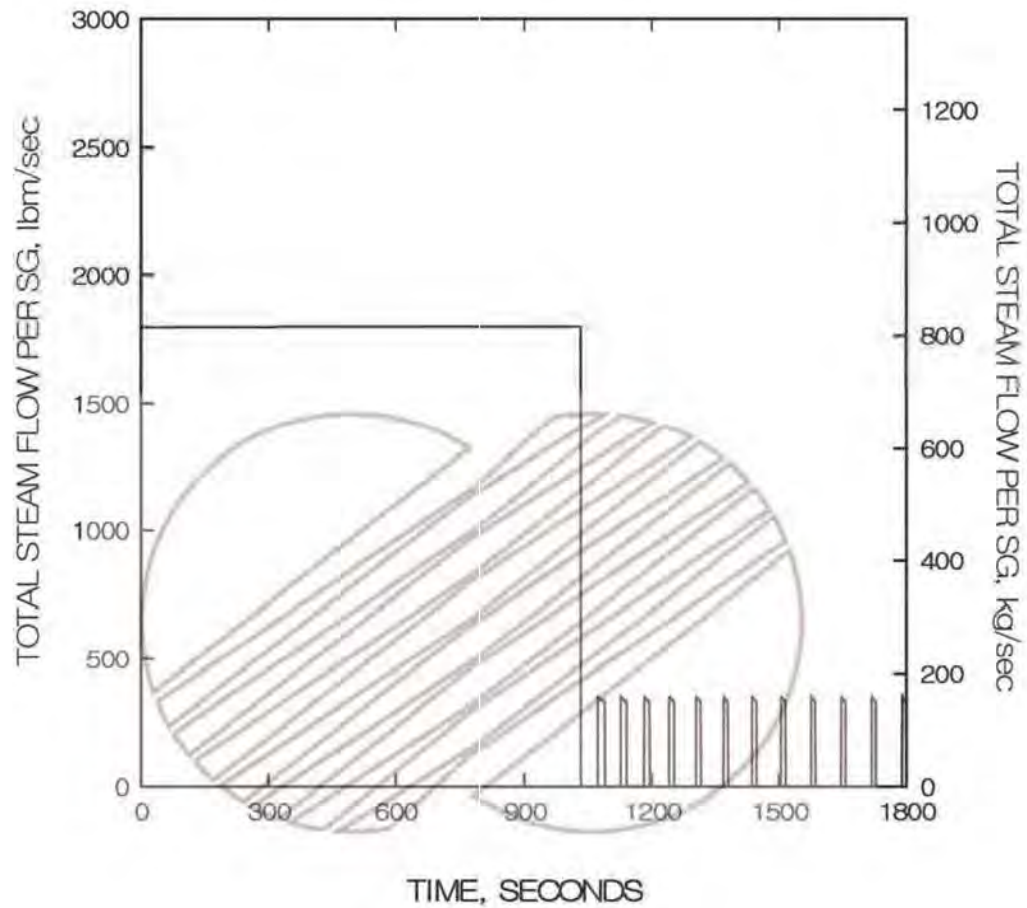
그림 15.6.2-8



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

원자로건물 외부 유출오리피스 상류에서의
유출관 양단 파단 : 시간에 따른 증기발생기
수위 변화

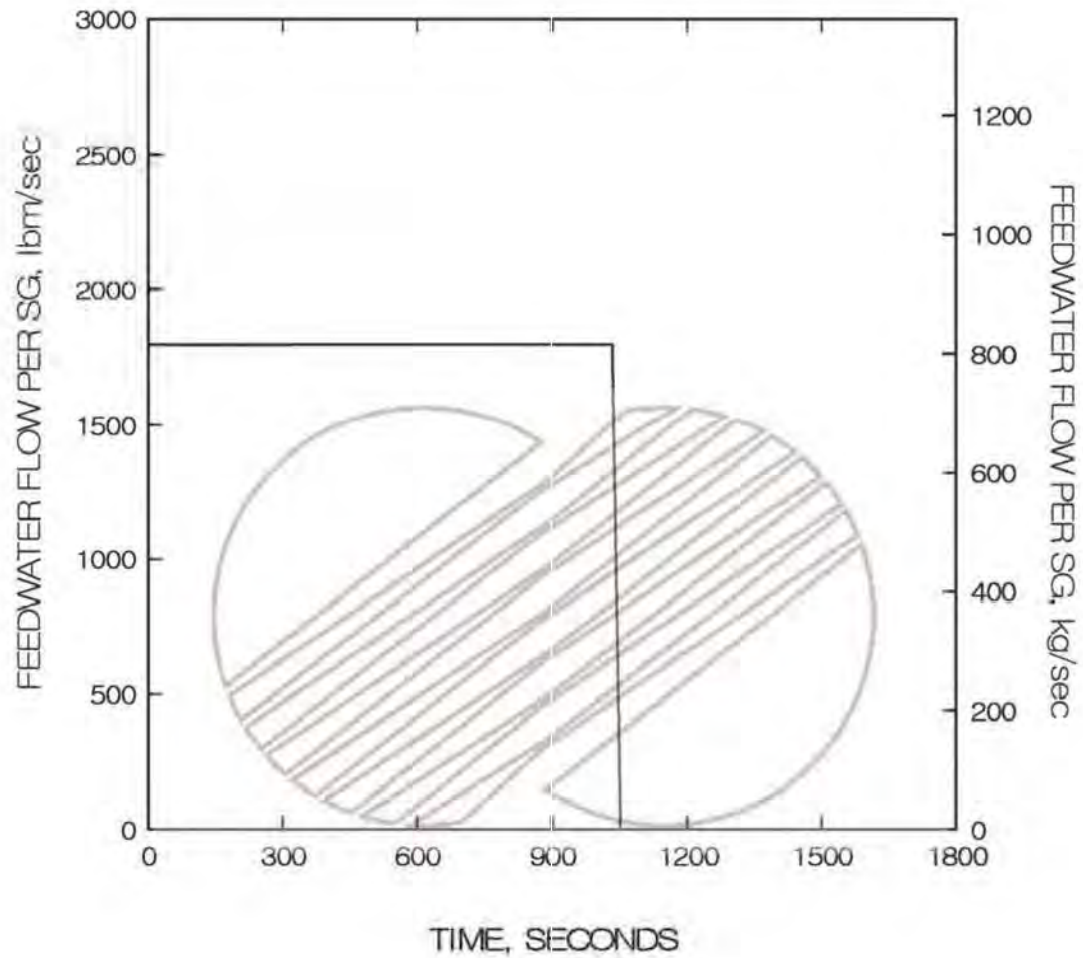
그림 15.6.2-9



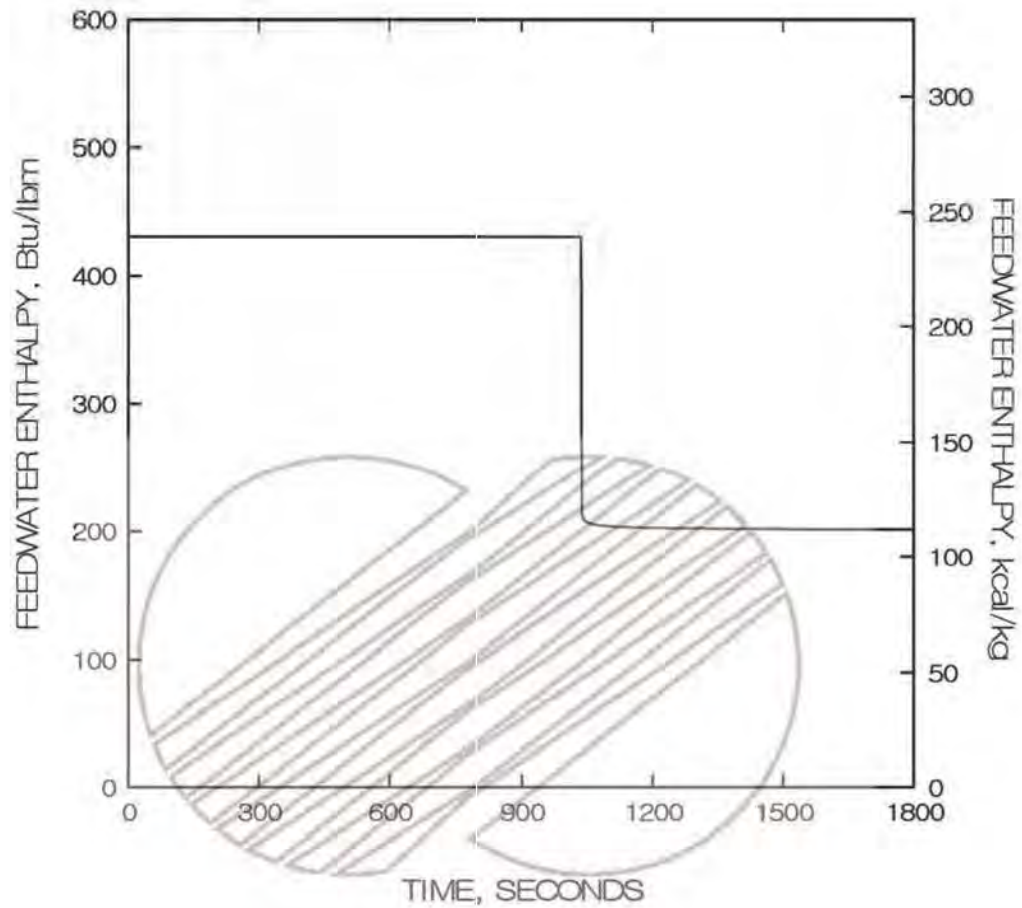
한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

원자로건물 외부 유출오리피스 상류에서의
유출관 양단 파단 : 시간에 따른 총 증기유량
변화

그림 15.6.2-10



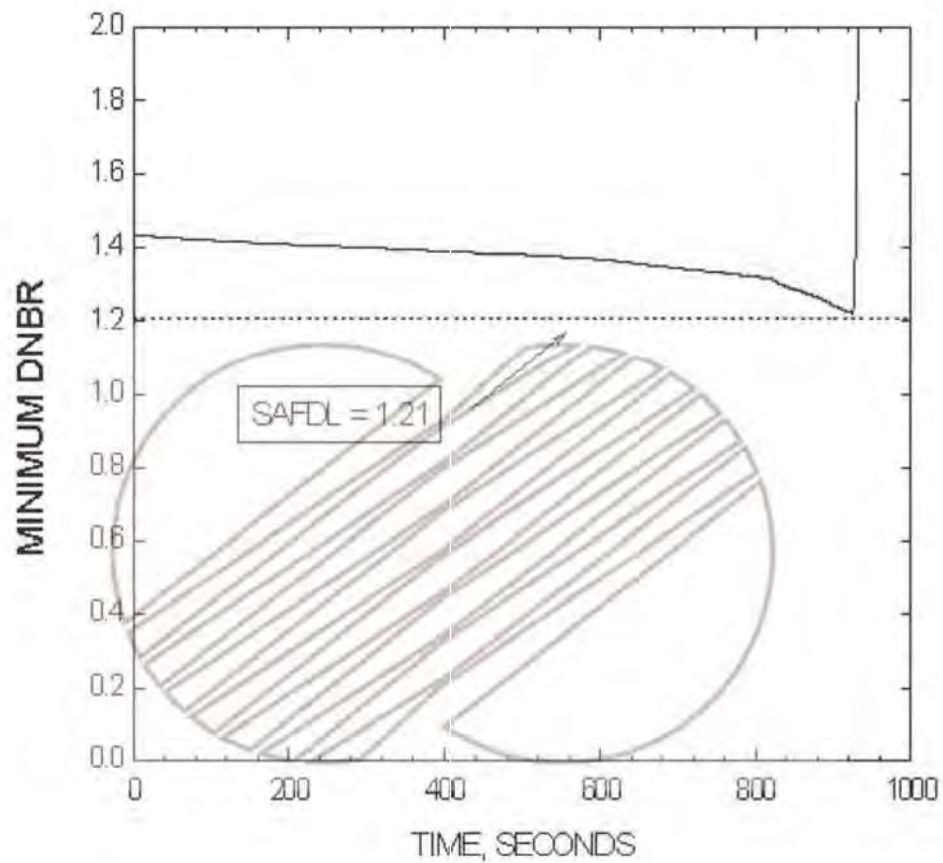
	한국수력원자력주식회사 신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서
	원자로건물 외부 유출오리피스 상류에서의 유출관 양단 파단 : 시간에 따른 급수유량 변화
	그림 15.6.2-11



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

원자로건물 외부 유출오리피스 상류에서의
유출관 양단 파단 : 시간에 따른 급수 엔탈피
변화

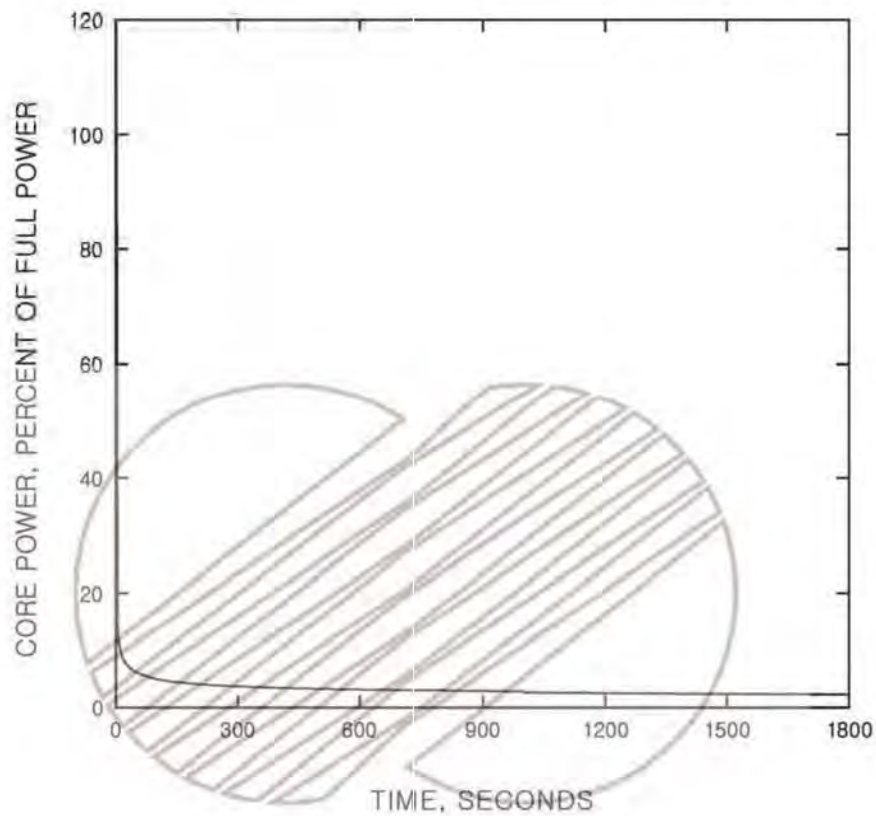
그림 15.6.2-12



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

원자로건물 외부 유출오리피스 상류에서의
유출관 양단 파단 : 시간에 따른 최소
핵비등이탈률 변화

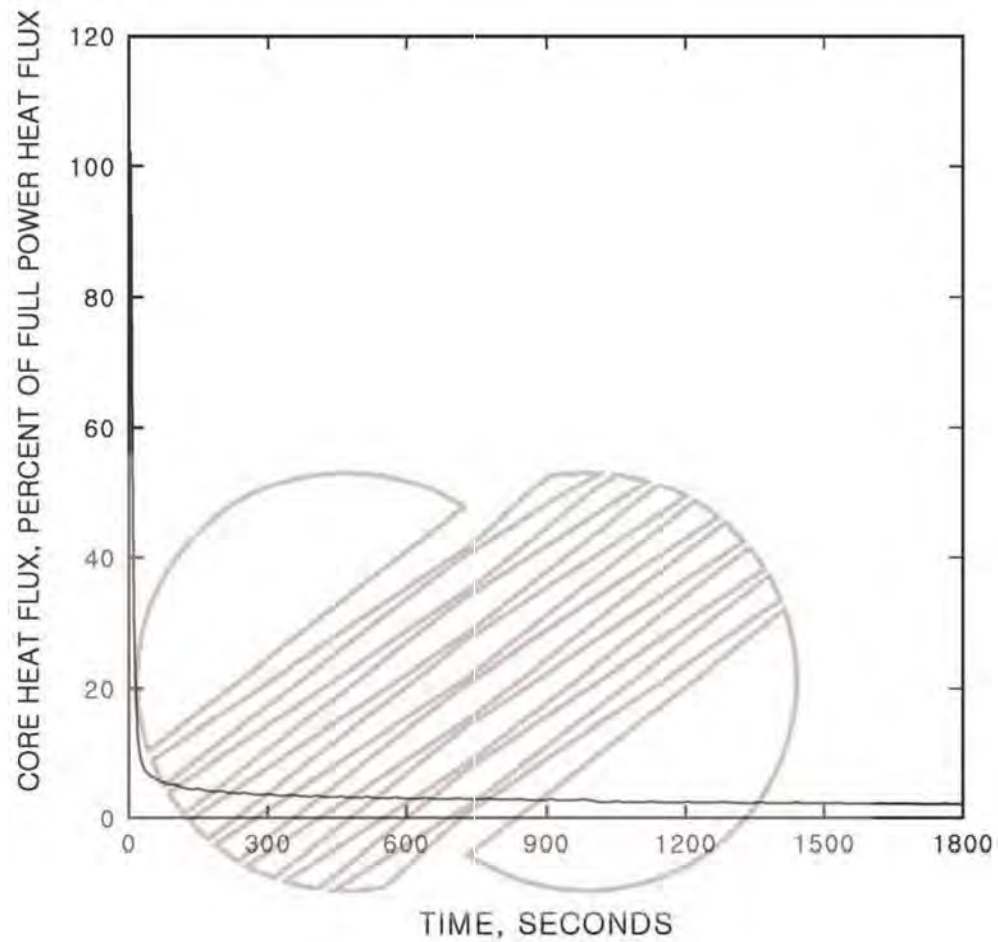
그림 15.6.2-13



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

소외전원상실을 수반하지 않은 증기발생기
전열관파열사고 : 시간에 따른 노심 출력 변화

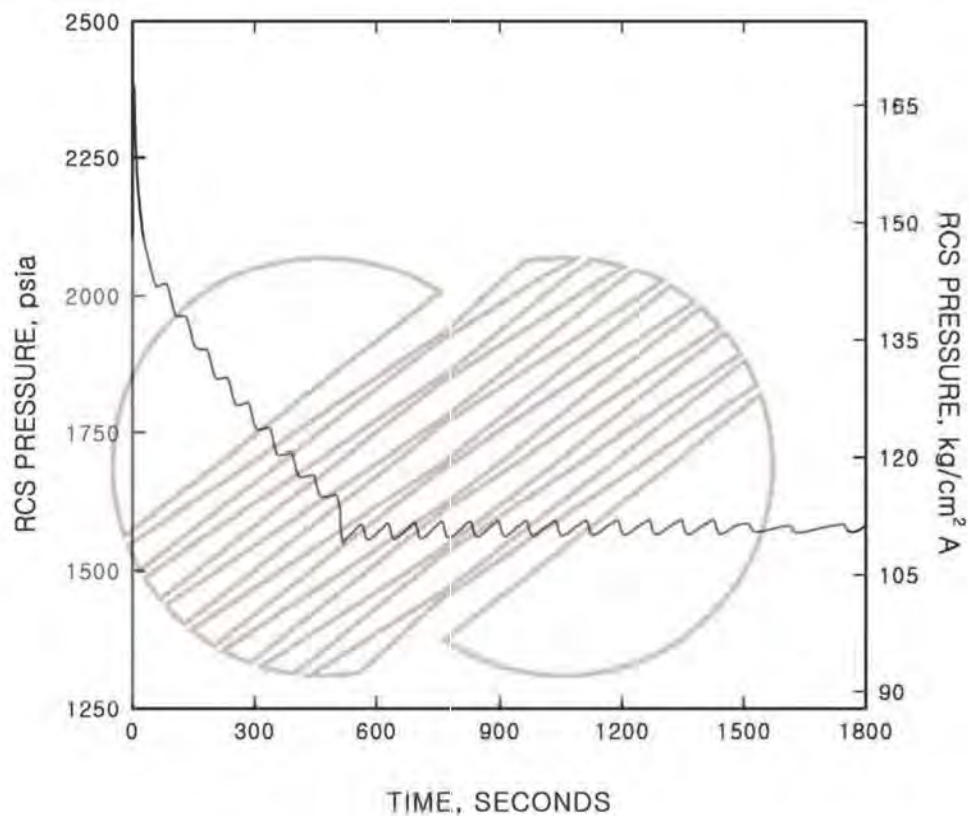
그림 15.6.3-1



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

소외전원상실을 수반하지 않은 증기발생기
전열관파열사고 : 시간에 따른 노심 열속 변화

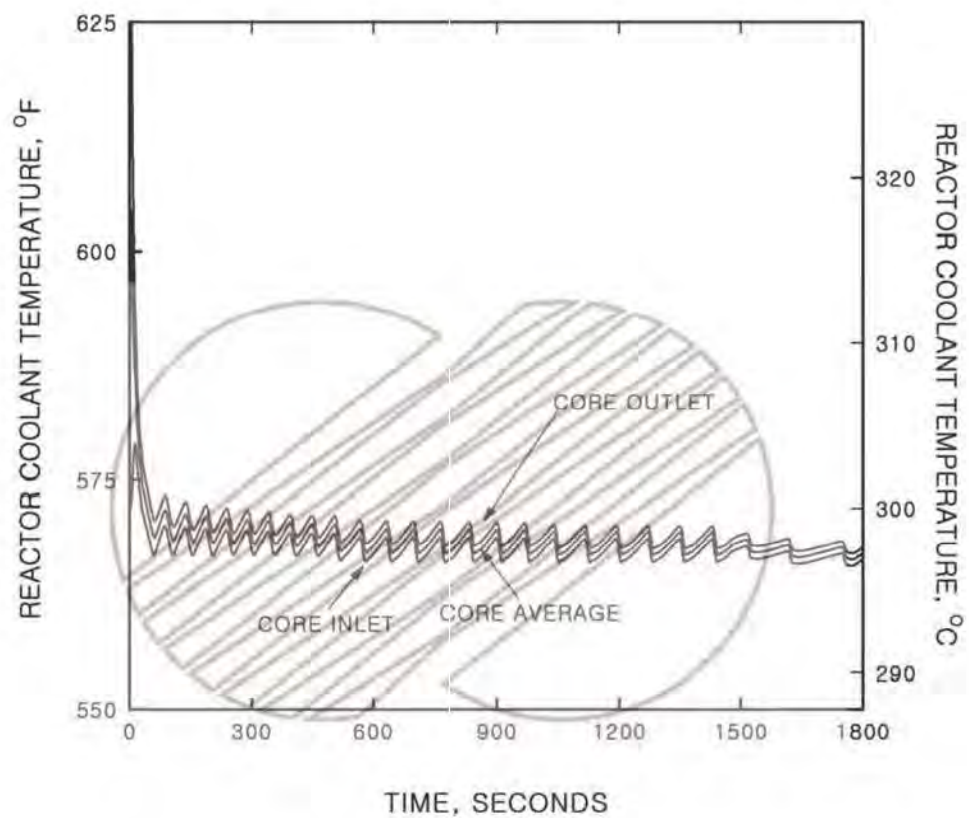
그림 15.6.3-2



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

소외전원상실을 수반하지 않은 증기발생기
전열관파열사고 : 시간에 따른
원자로냉각재계통 압력 변화

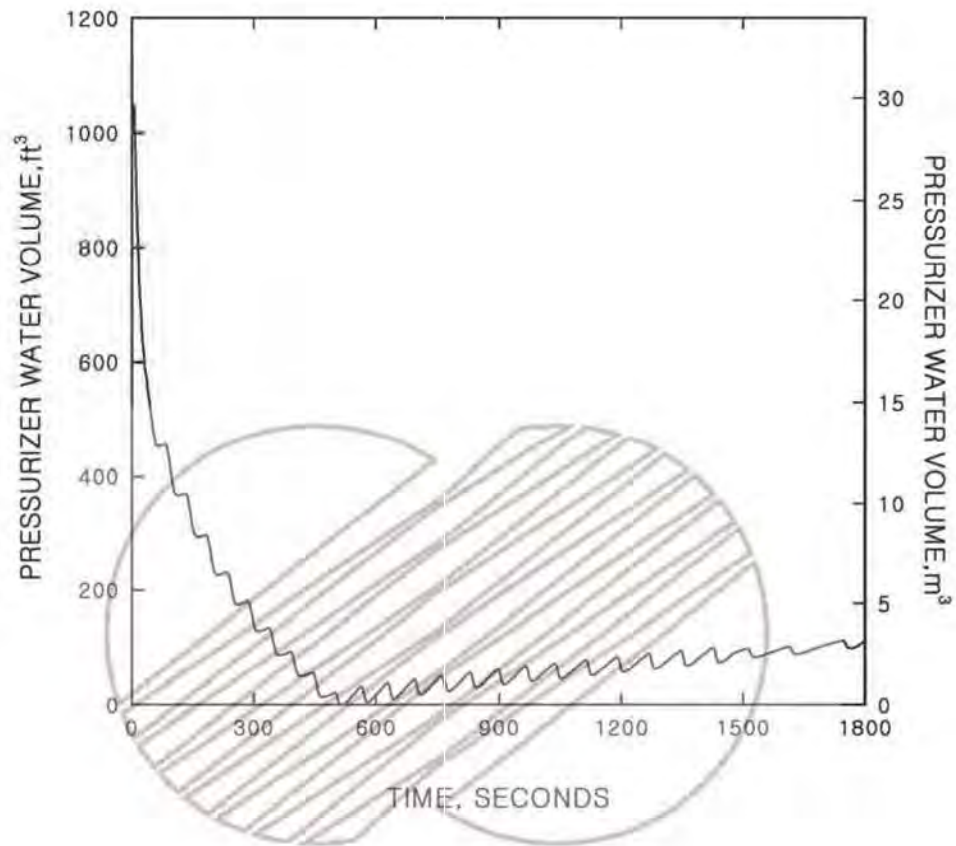
그림 15.6.3-3



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

소외전원상실을 수반하지 않은 증기발생기
전열관파열사고 : 시간에 따른 원자로냉각재
온도 변화

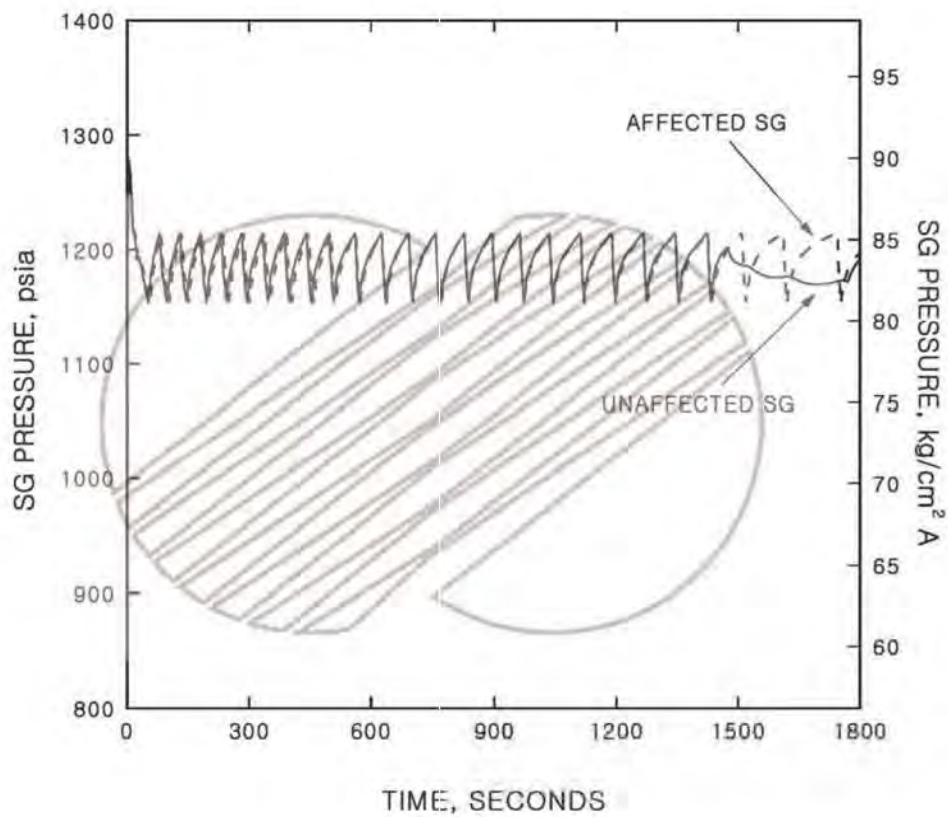
그림 15.6.3-4



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

소외전원상실을 수반하지 않은 증기발생기
전열관파열사고 : 시간에 따른 가압기 냉각제
체적 변화

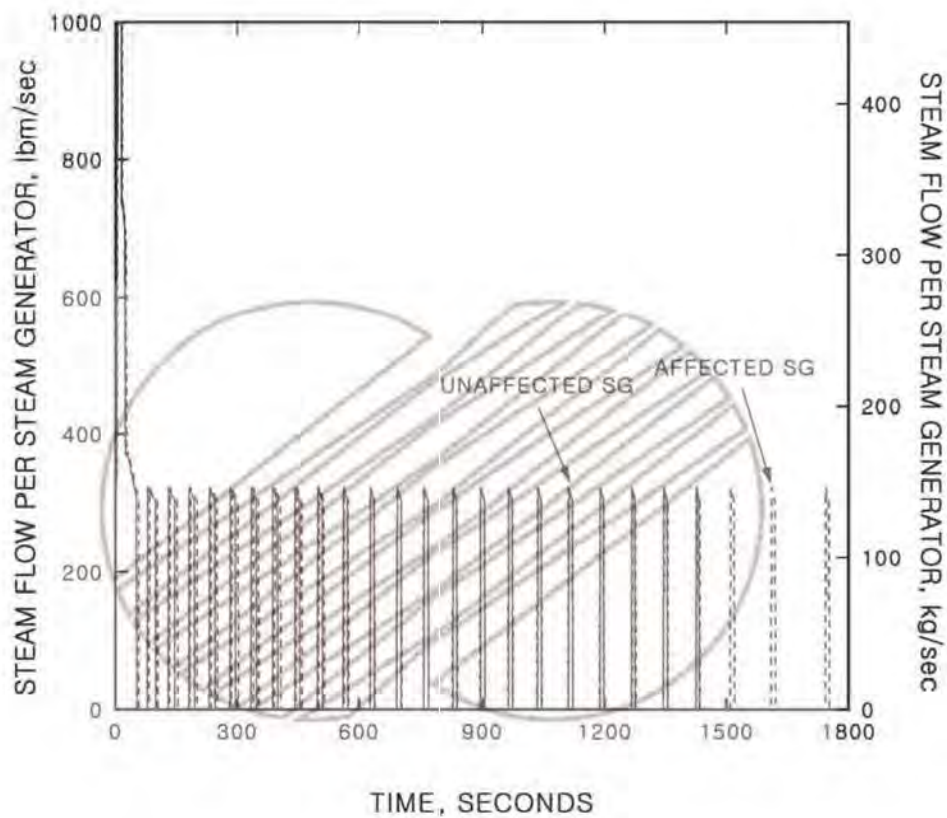
그림 15.6.3-5



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

소외전원상실을 수반하지 않은 증기발생기
전열관파열사고 : 시간에 따른 증기발생기 압력
변화

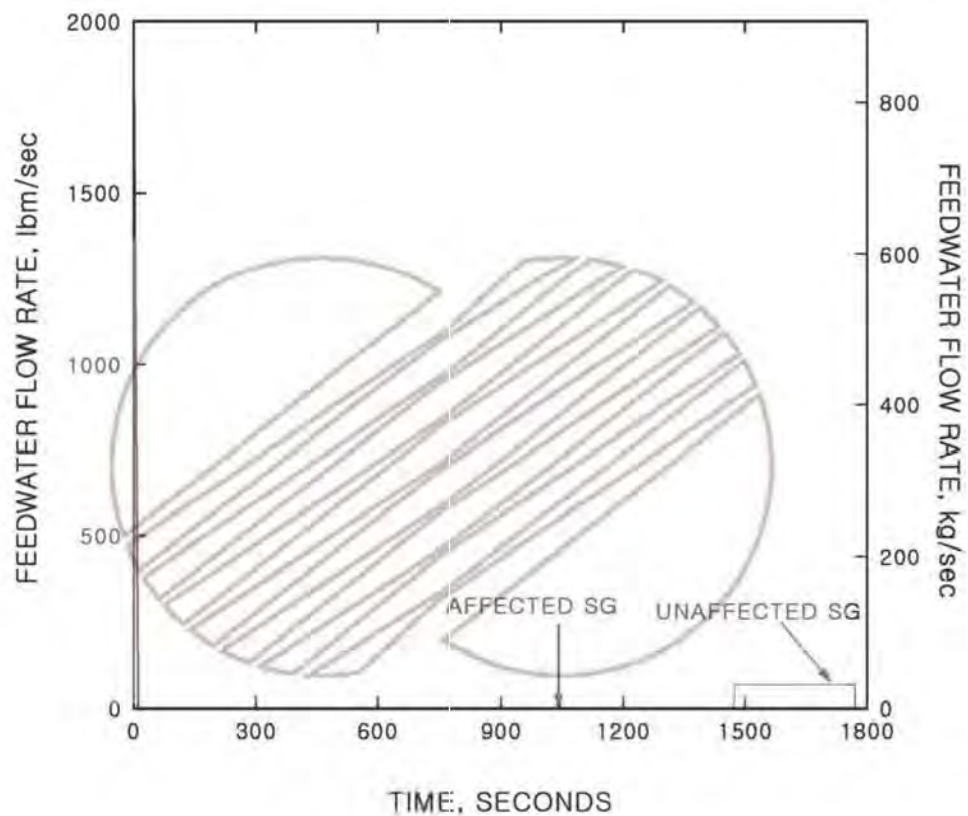
그림 15.6.3-6



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

소외전원상실을 수반하지 않은 증기발생기
전열관파열사고 : 시간에 따른 증기 유량 변화

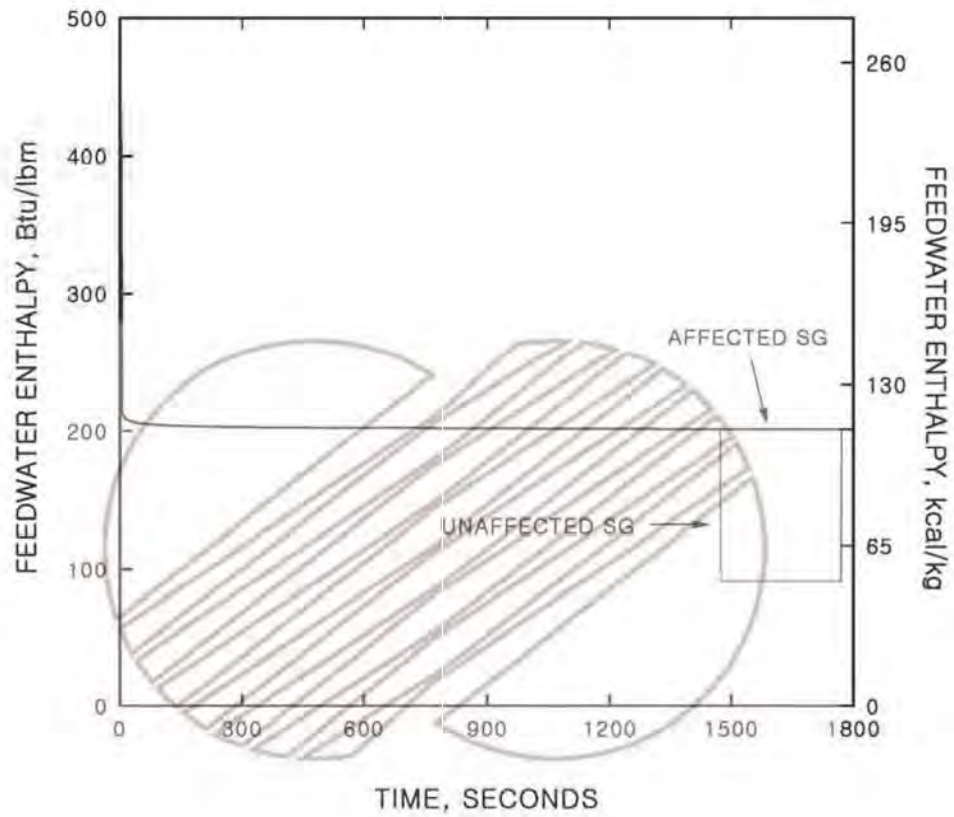
그림 15.6.3-7



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

소외전원상실을 수반하지 않은 증기발생기
전열관파열사고 : 시간에 따른 급수 유량 변화

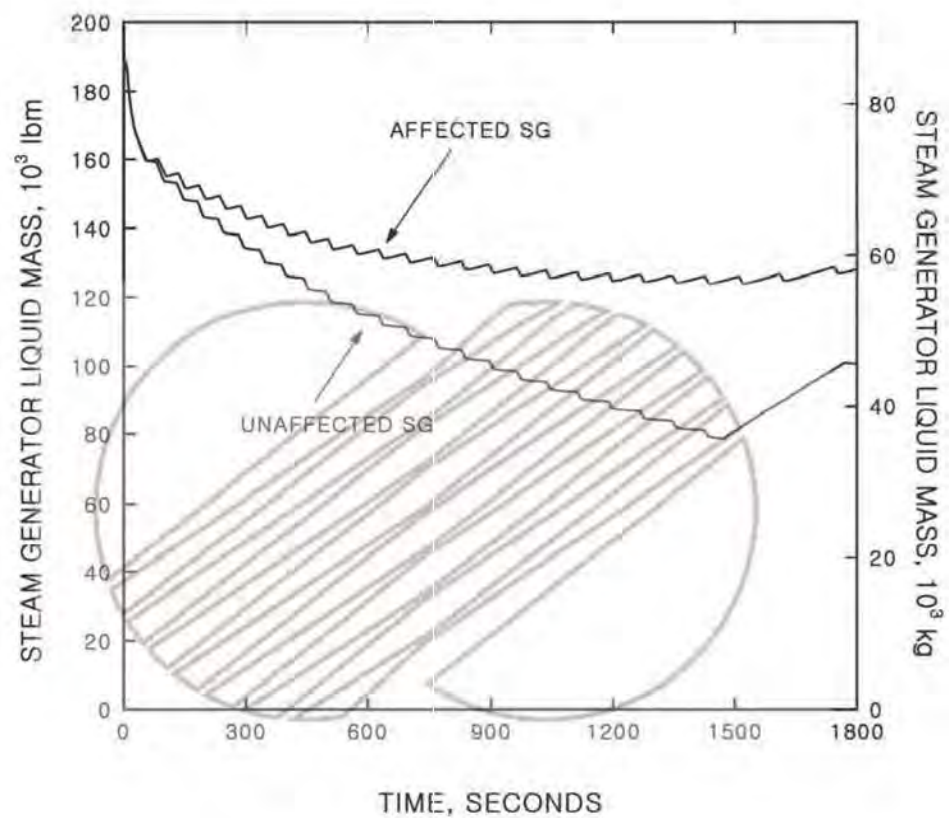
그림 15.6.3-8



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

소외전원상실을 수반하지 않은 증기발생기
전열관파열사고 : 시간에 따른 급수 엔탈피
변화

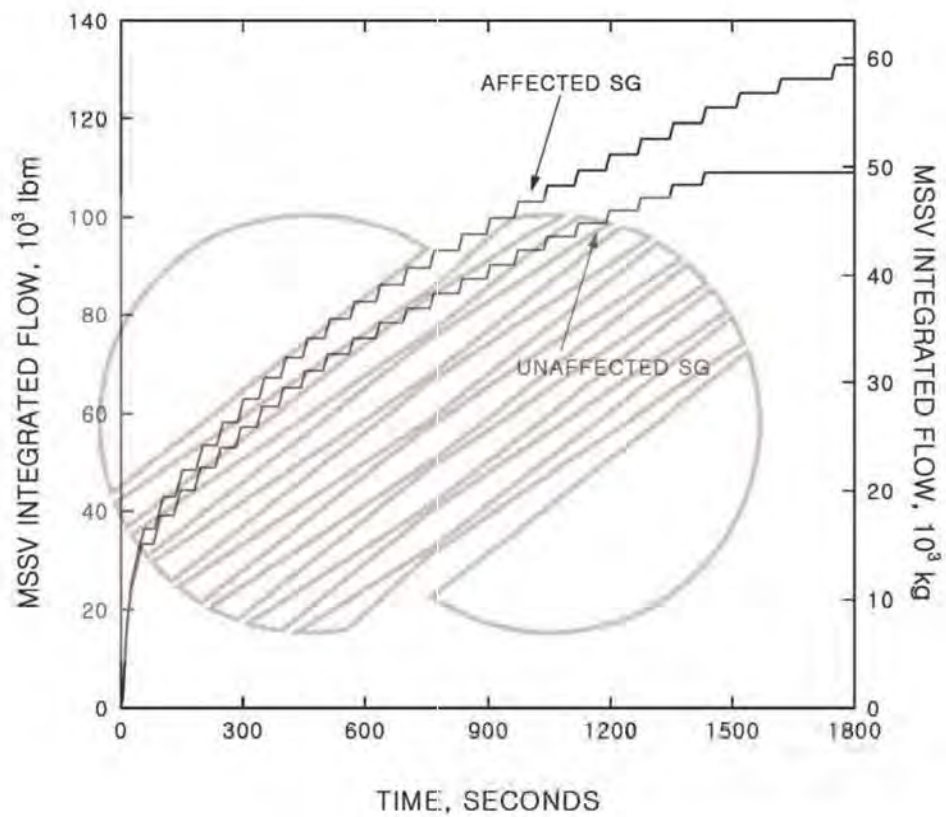
그림 15.6.3-9



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

소외전원상실을 수반하지 않은 증기발생기
전열관파열사고 : 시간에 따른 증기발생기
재고량 변화

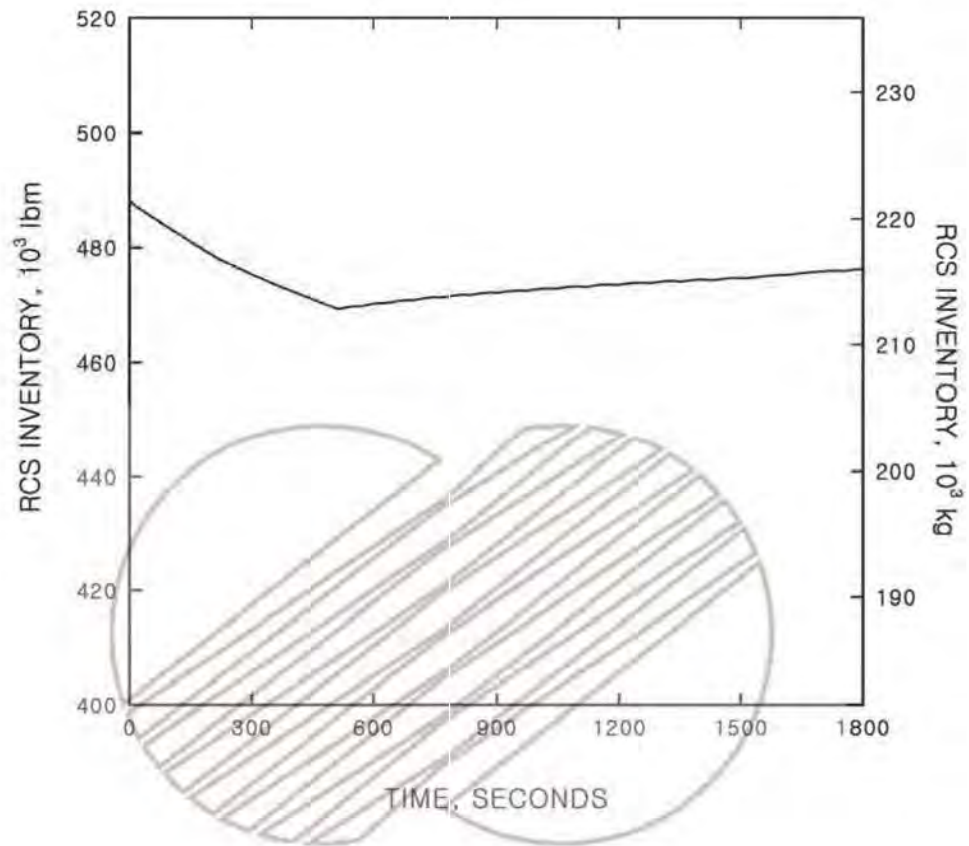
그림 15.6.3-10



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

소외전원상실을 수반하지 않은 증기발생기
전열관파열사고 : 시간에 따른
주증기안전밸브를 통한 총 증기유량 변화

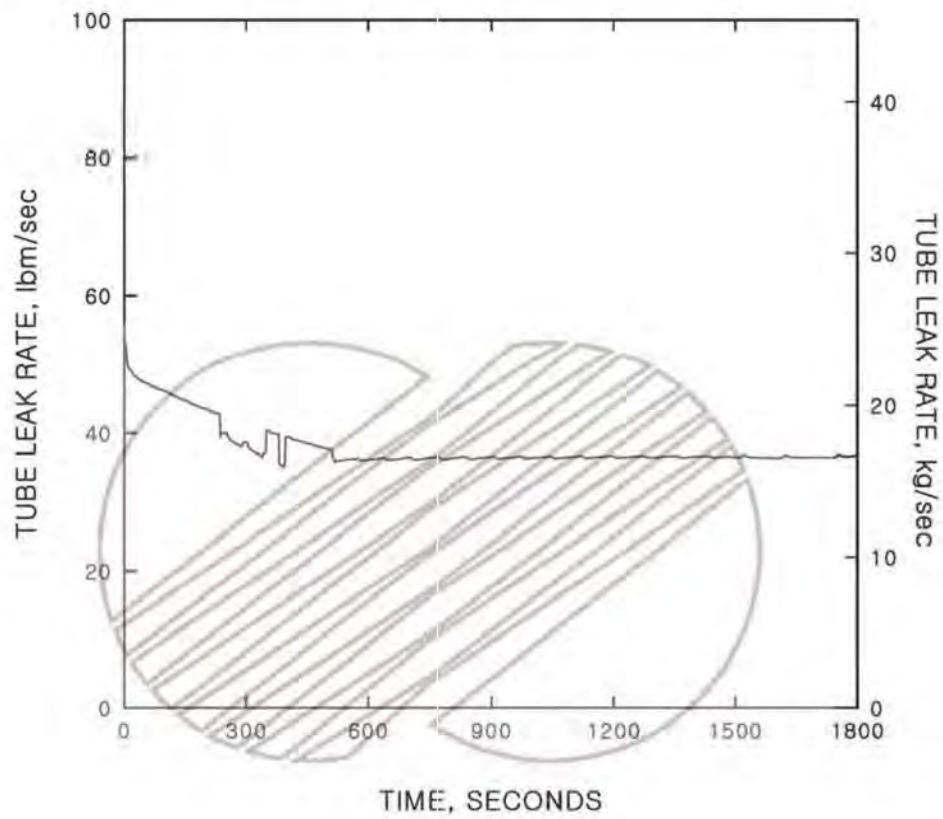
그림 15.6.3-11



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

소외전원상실을 수반하지 않은 증기발생기
전열관파열사고 : 시간에 따른
원자로냉각재계통 재고량 변화

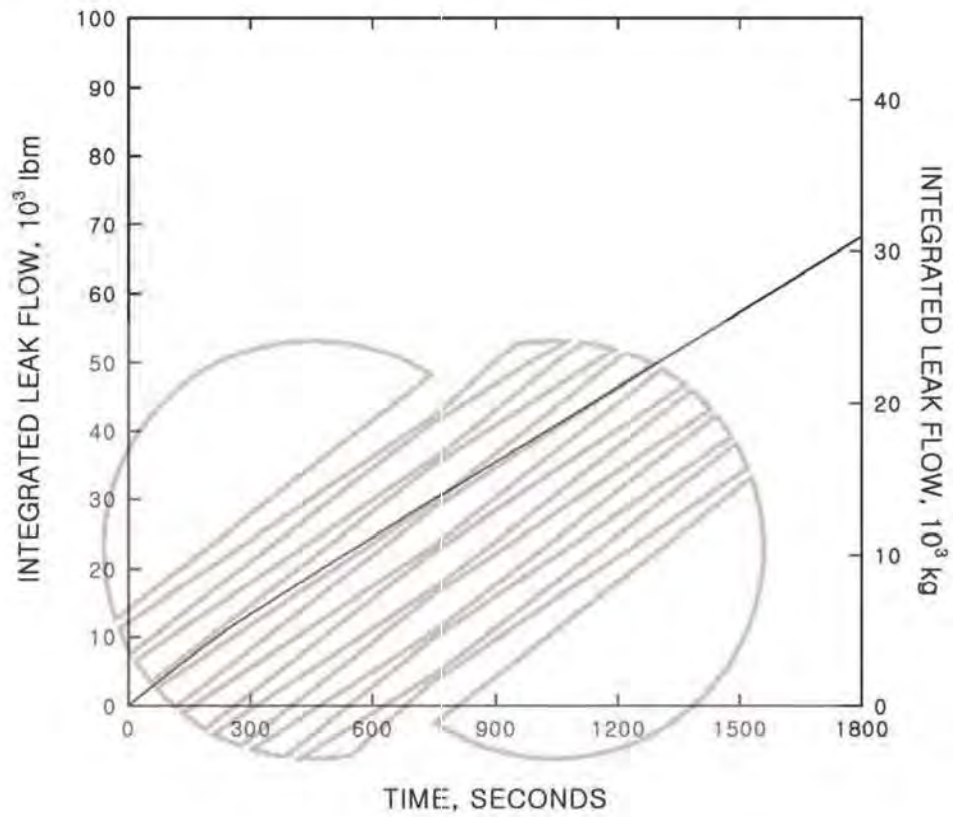
그림 15.6.3-12



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

소외전원상실을 수반하지 않은 증기발생기
전열관파열사고 : 시간에 따른 전열관 누출
유량 변화

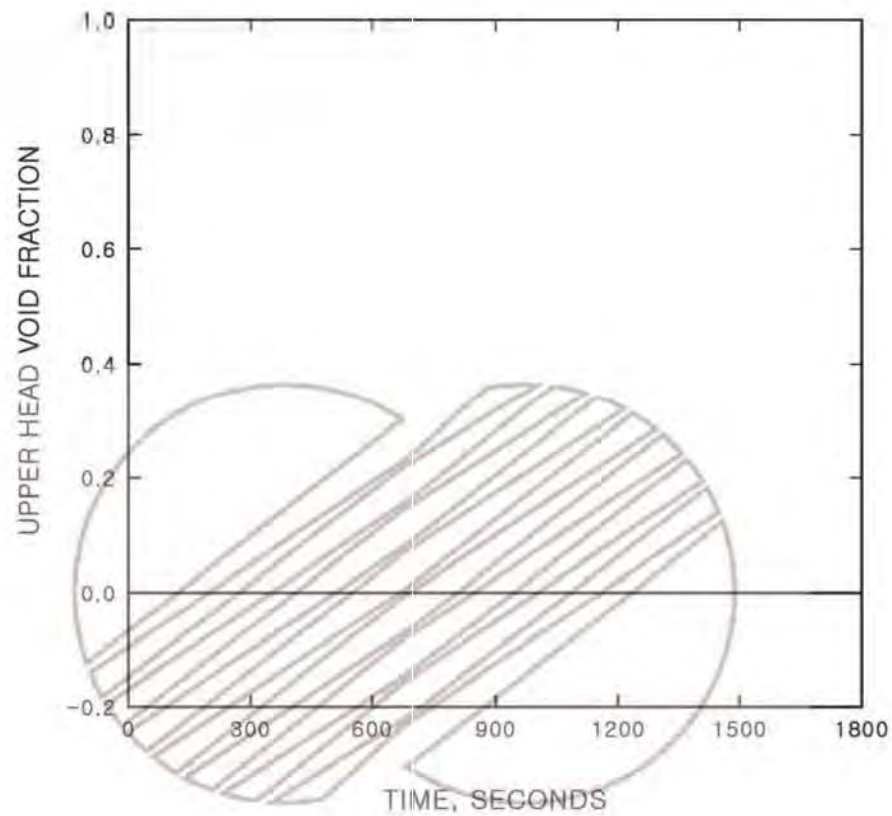
그림 15.6.3-13



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

소외전원상실을 수반하지 않은 증기발생기
전열관파열사고 : 시간에 따른 총 누출량 변화

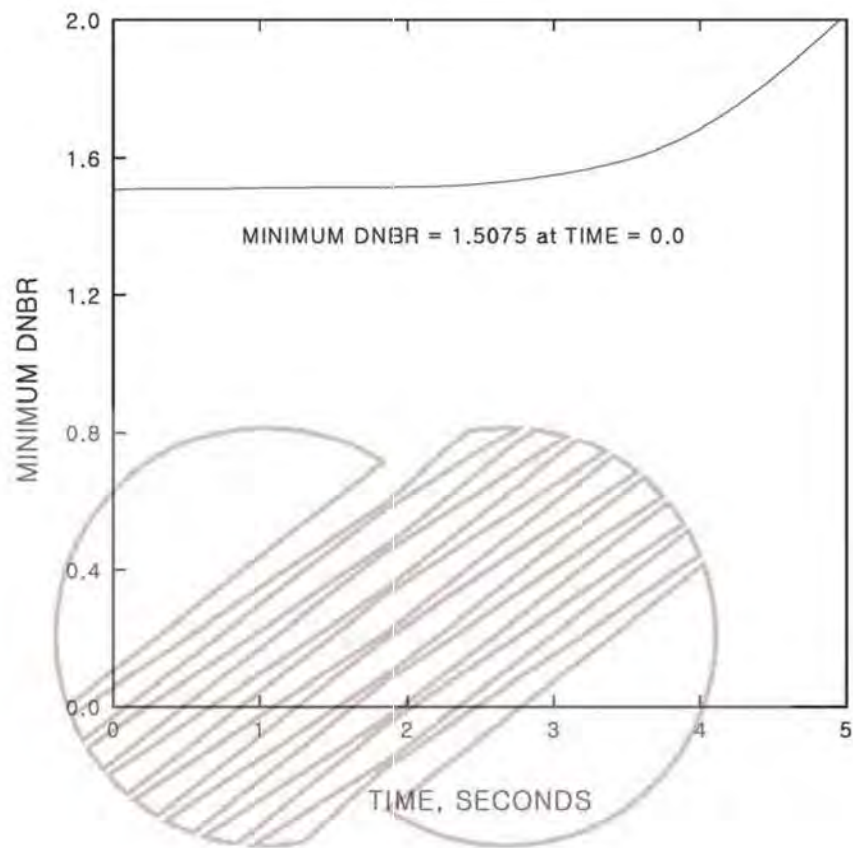
그림 15.6.3-I4



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

소외전원상실을 수반하지 않은 증기발생기
전열관파열사고 : 시간에 따른
원자로용기상부헤드 기포분률 변화

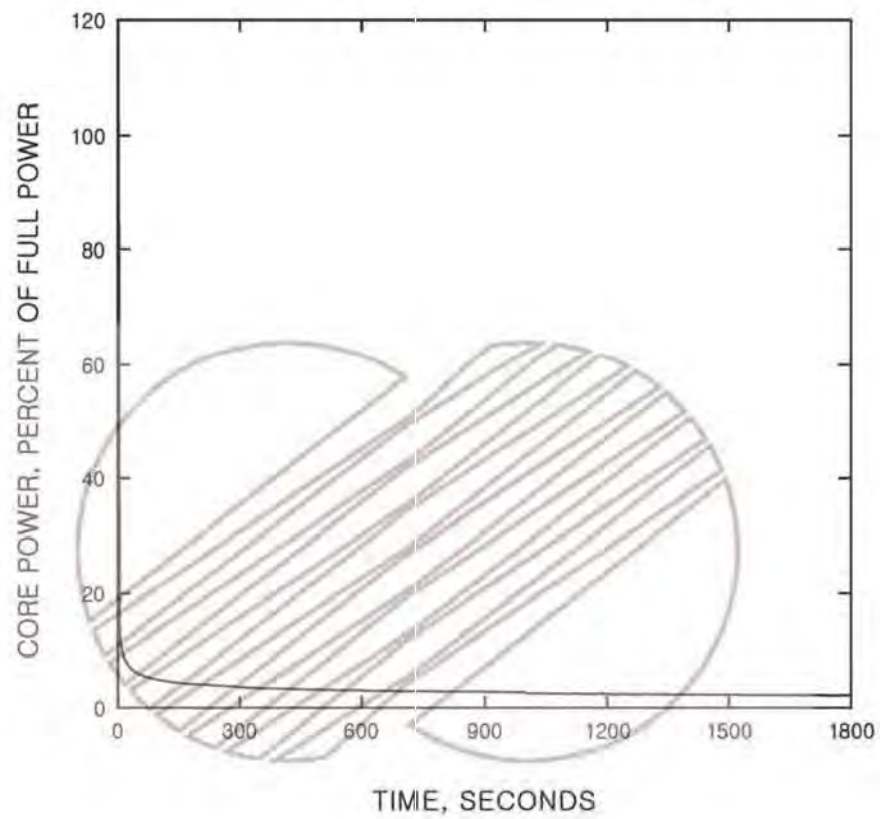
그림 15.6.3-15



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

소외전원상실을 수반하지 않은 증기발생기
전열관파열사고 : 시간에 따른 최소
핵비등이탈률 변화

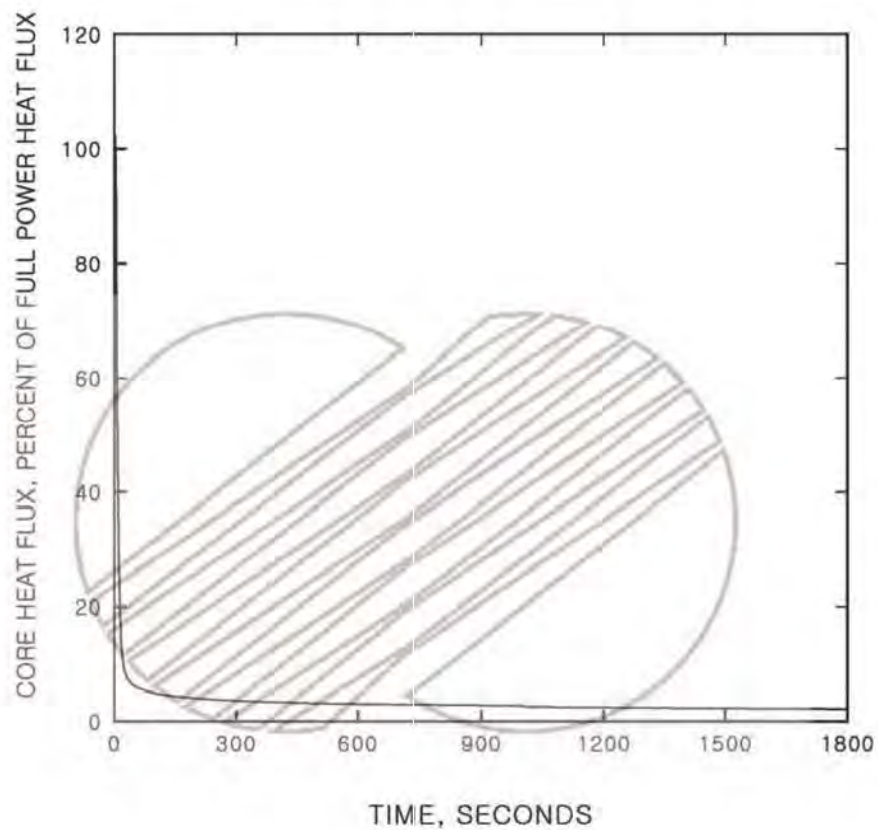
그림 15.6.3-16



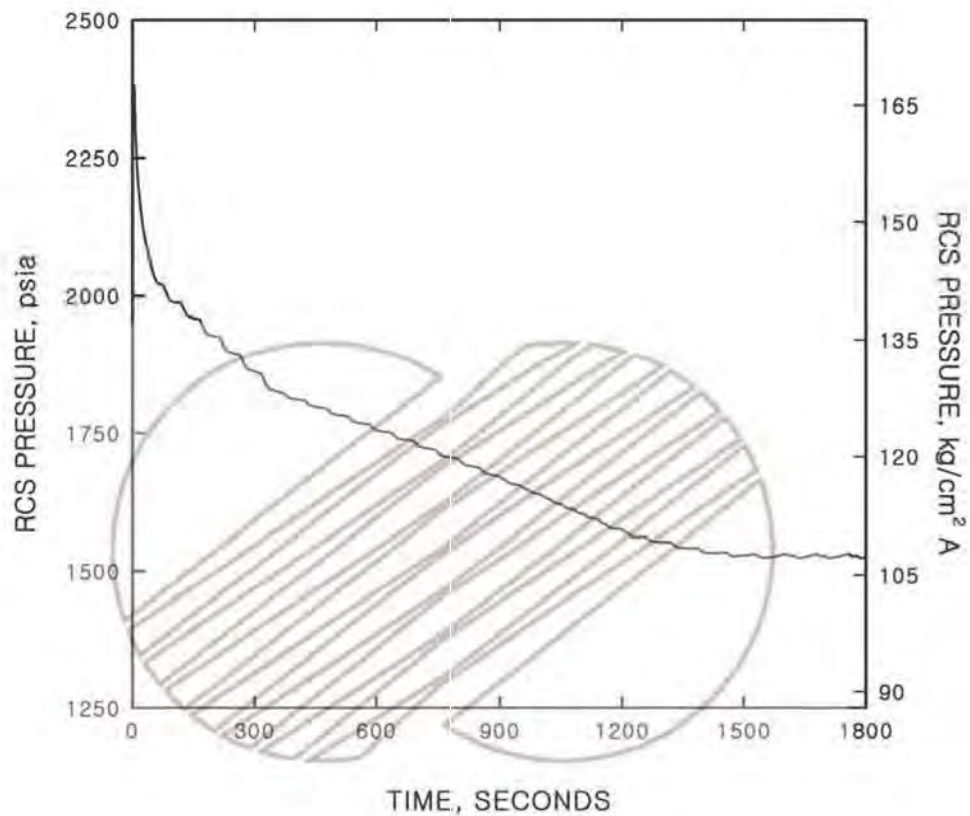
한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

소외전원상실을 수반한 증기발생기
전열관파열사고 : 시간에 따른 노심 출력 변화

그림 15.6.3-17



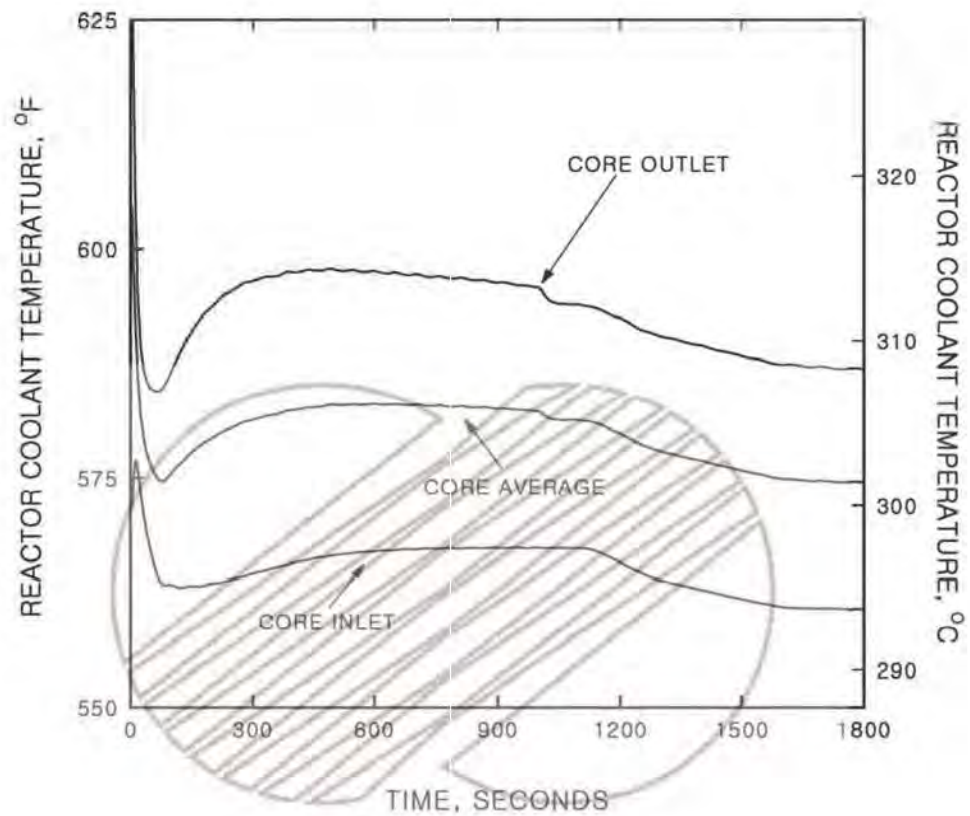
	한국수력원자력주식회사 신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서
소외전원상실을 수반한 증기발생기 전열관파열사고 : 시간에 따른 노심 열속 변화	
그림 15.6.3-18	



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

소의 전원상실을 수반한 증기발생기
전열관파열사고 : 시간에 따른
원자로냉각재계통 압력 변화

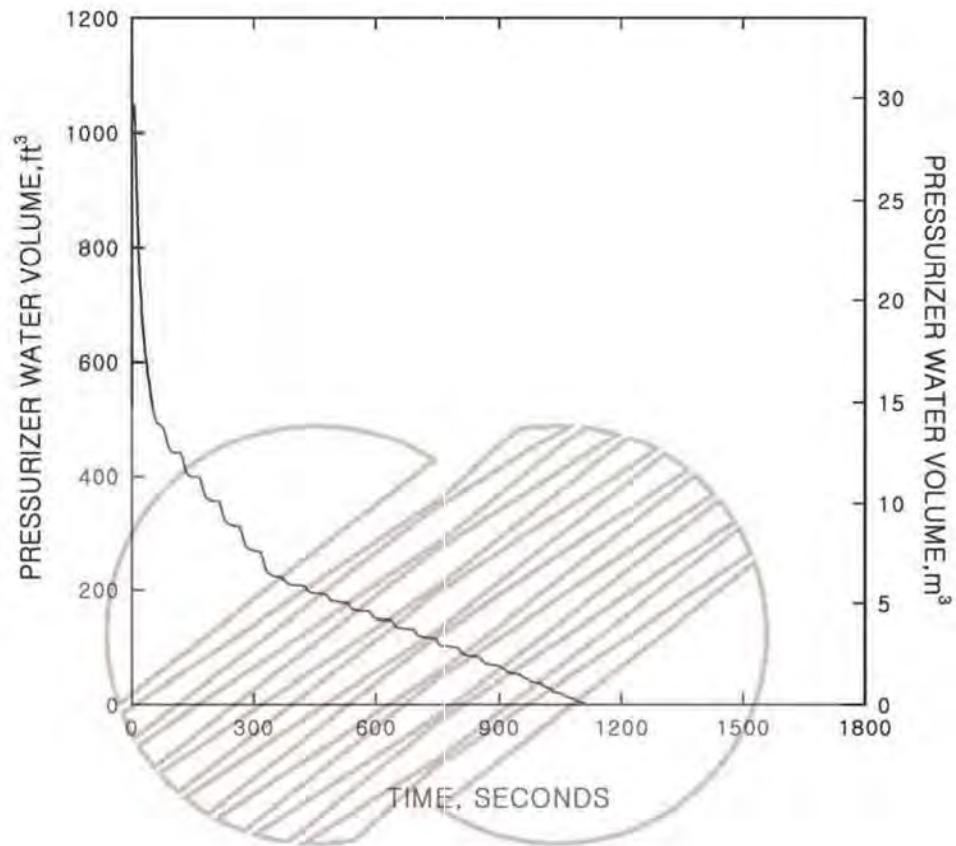
그림 15.6.3-19



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

소외전원상실을 수반한 증기발생기
전열관파열사고 : 시간에 따른 원자로냉각재
온도 변화

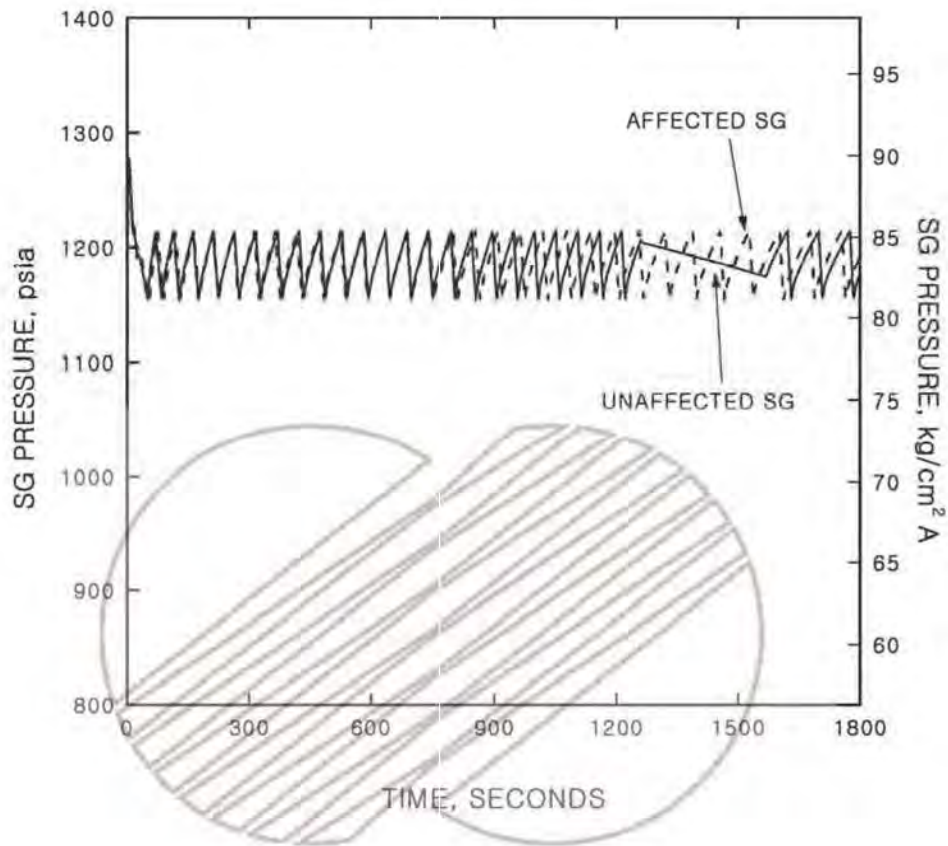
그림 15.6.3-20



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

소외전원상실을 수반한 증기발생기
전열관파열사고 : 시간에 따른 가압기 냉각재
체적 변화

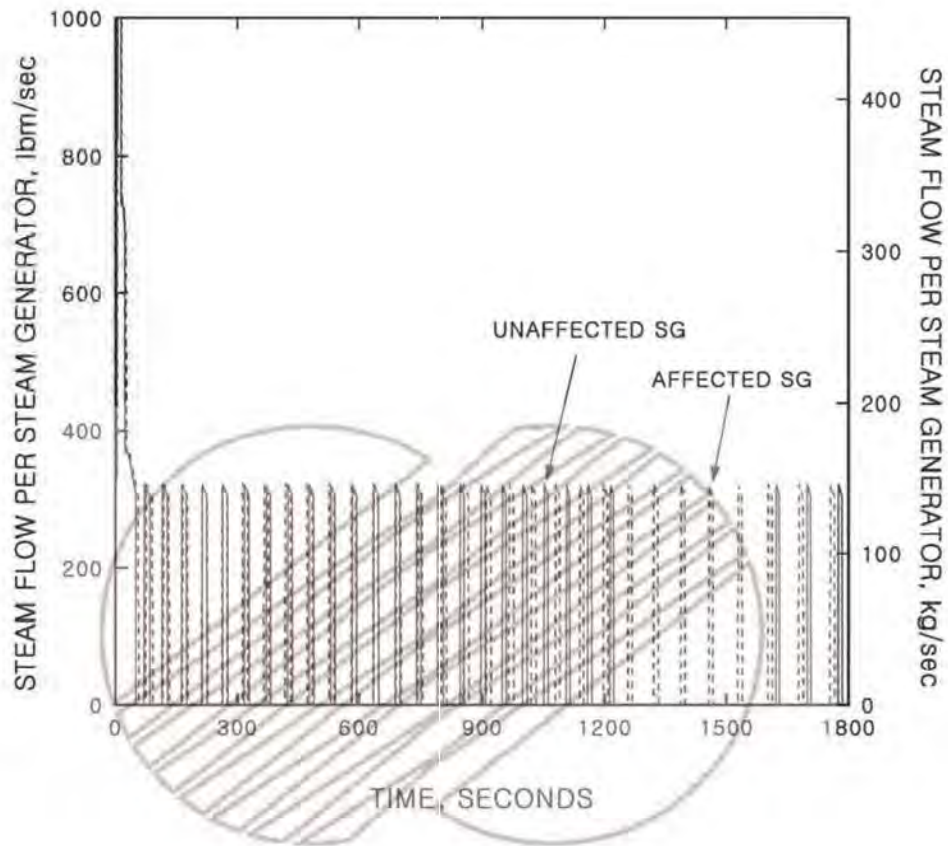
그림 15.6.3-21



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

소의전원상실을 수반한 증기발생기
전열관파열사고 : 시간에 따른 증기발생기
압력 변화

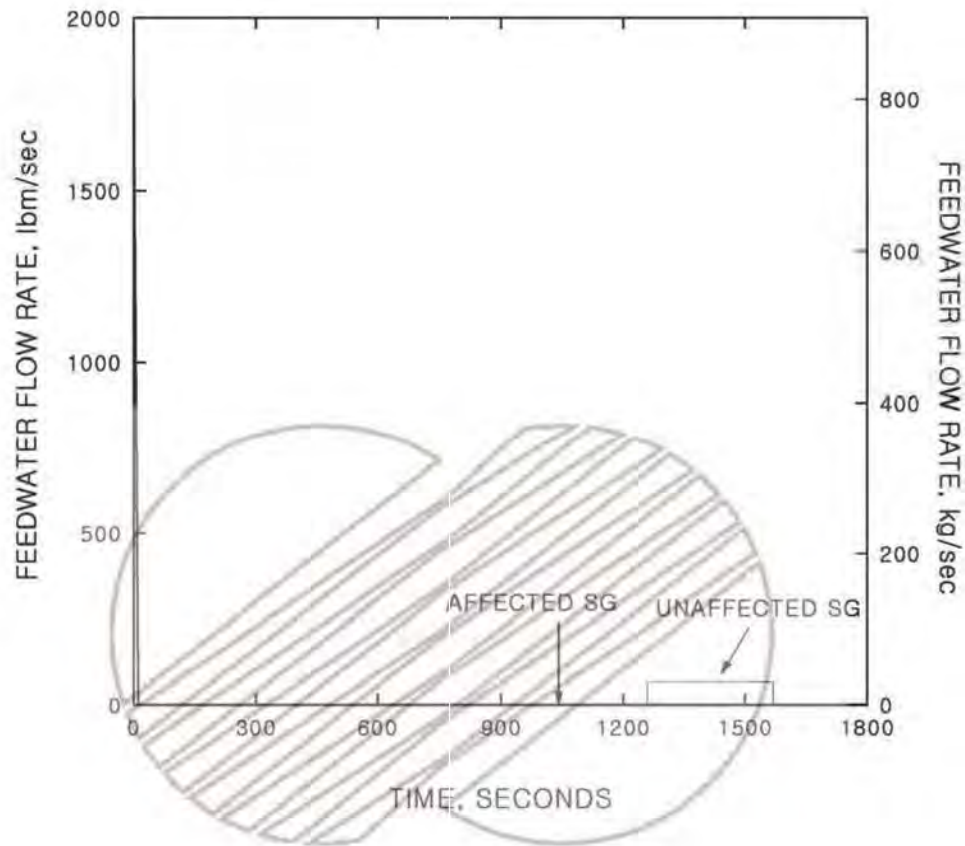
그림 15.6.3-22



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

소외전원상실을 수반한 증기발생기
전열관파열사고 : 시간에 따른 증기유량 변화

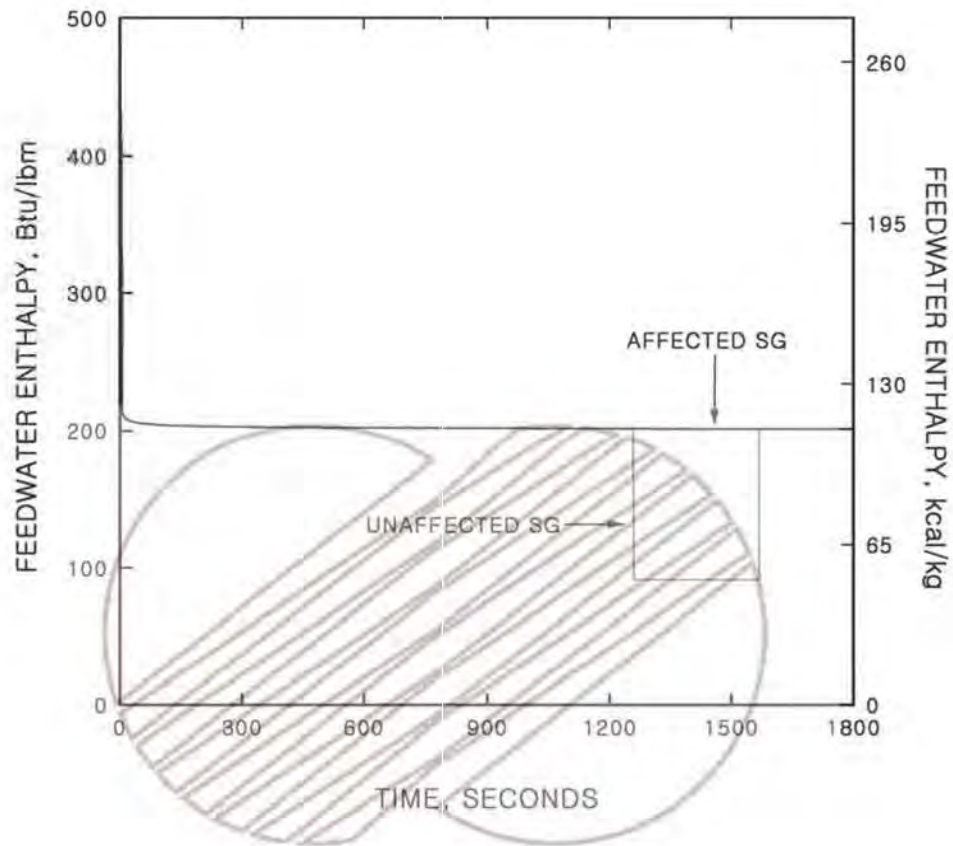
그림 15.6.3-23



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

소외전원상실을 수반한 증기발생기
전열관파열사고 : 시간에 따른 급수유량 변화

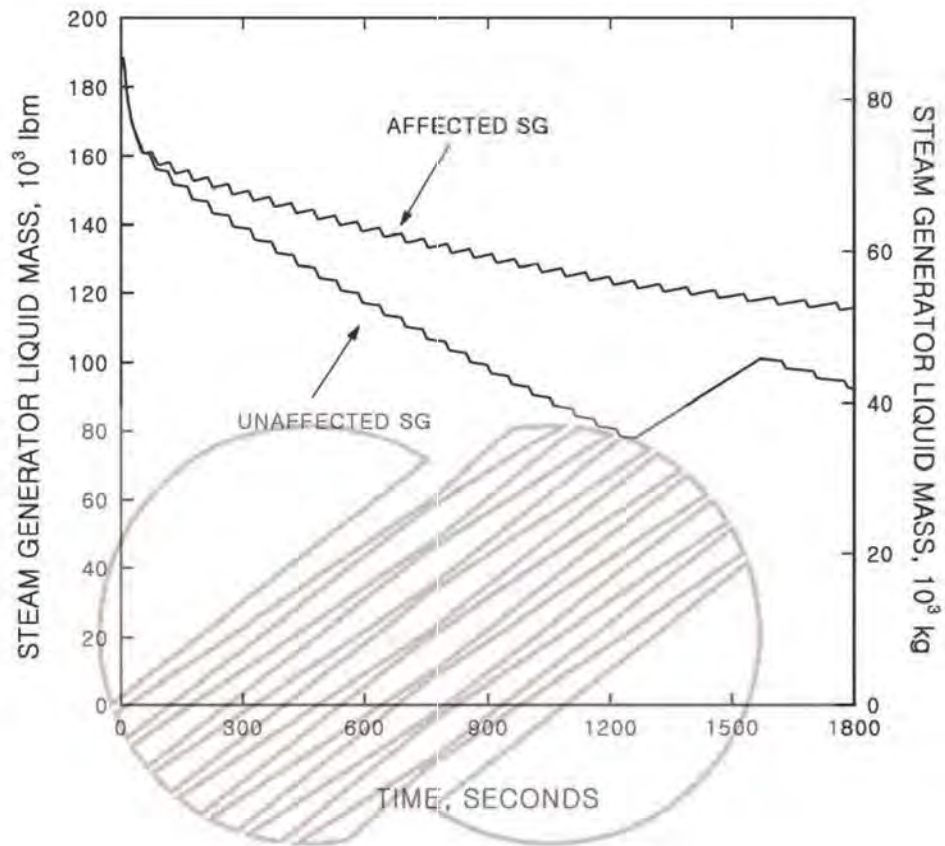
그림 15.6.3-24



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

소의전원상실을 수반한 증기발생기
전열관파열사고 : 시간에 따른 급수 엔탈피
변화

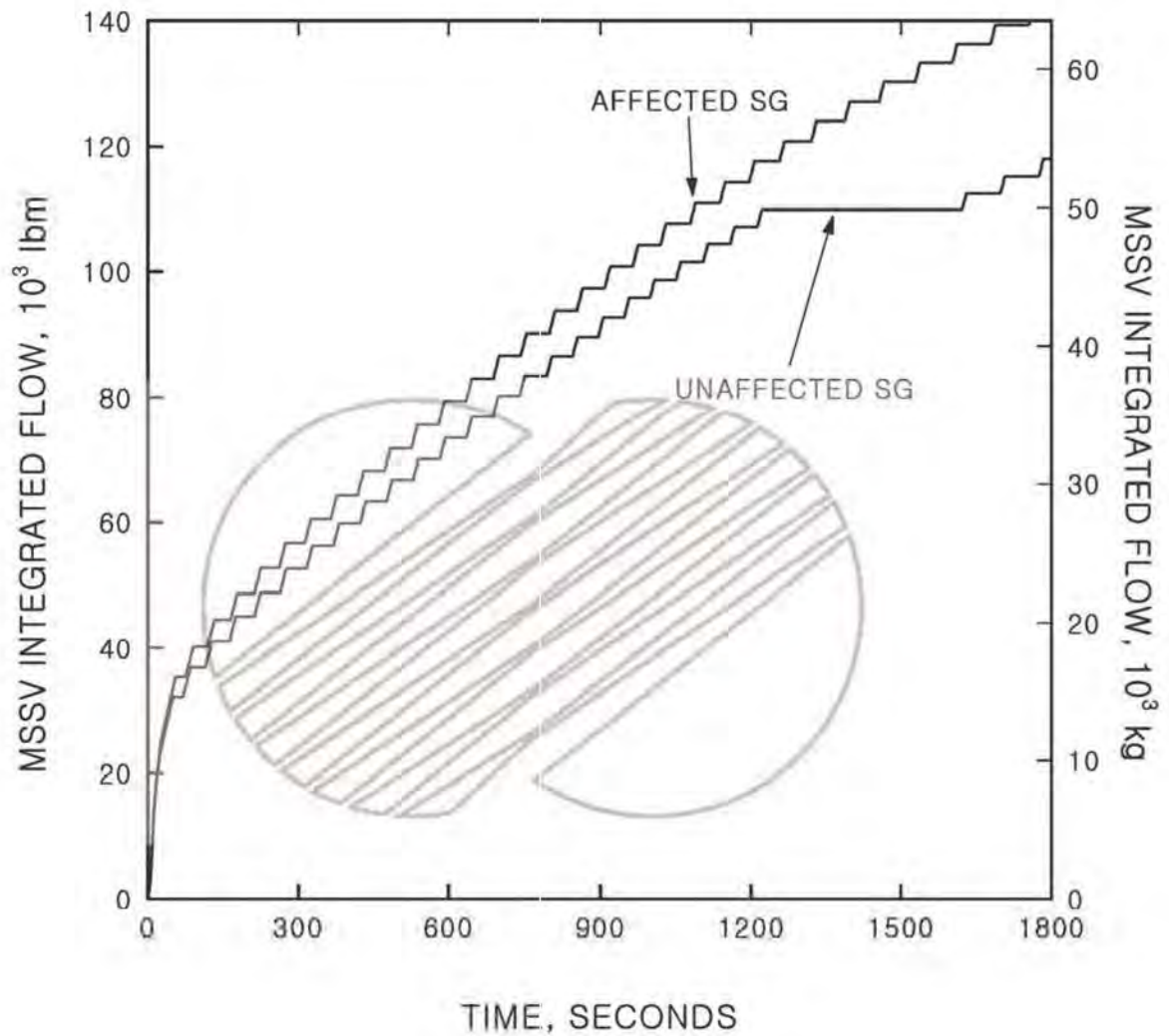
그림 15.6.3-25



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

소외전원상실을 수반한 증기발생기
전열관파열사고 : 시간에 따른 증기발생기
재고량 변화

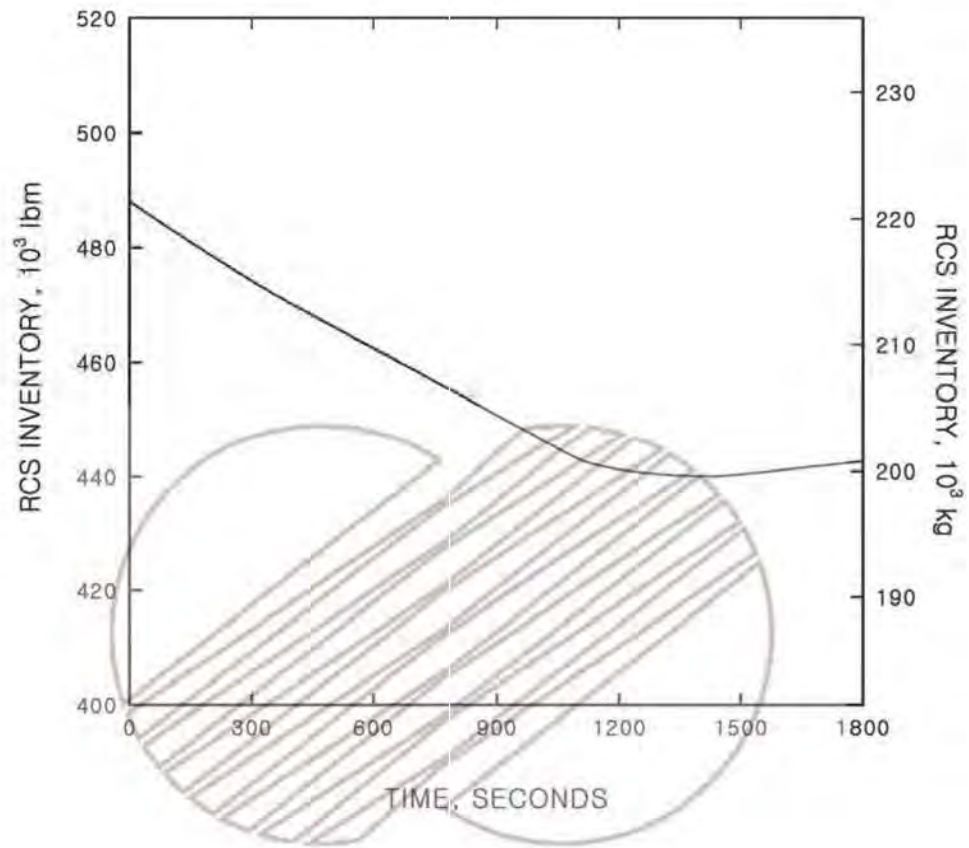
그림 15.6.3-26



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

소외전원상실을 수반한 증기발생기
전열관파열사고 : 시간에 따른
주증기안전밸브를 통한 총 증기유량 변화

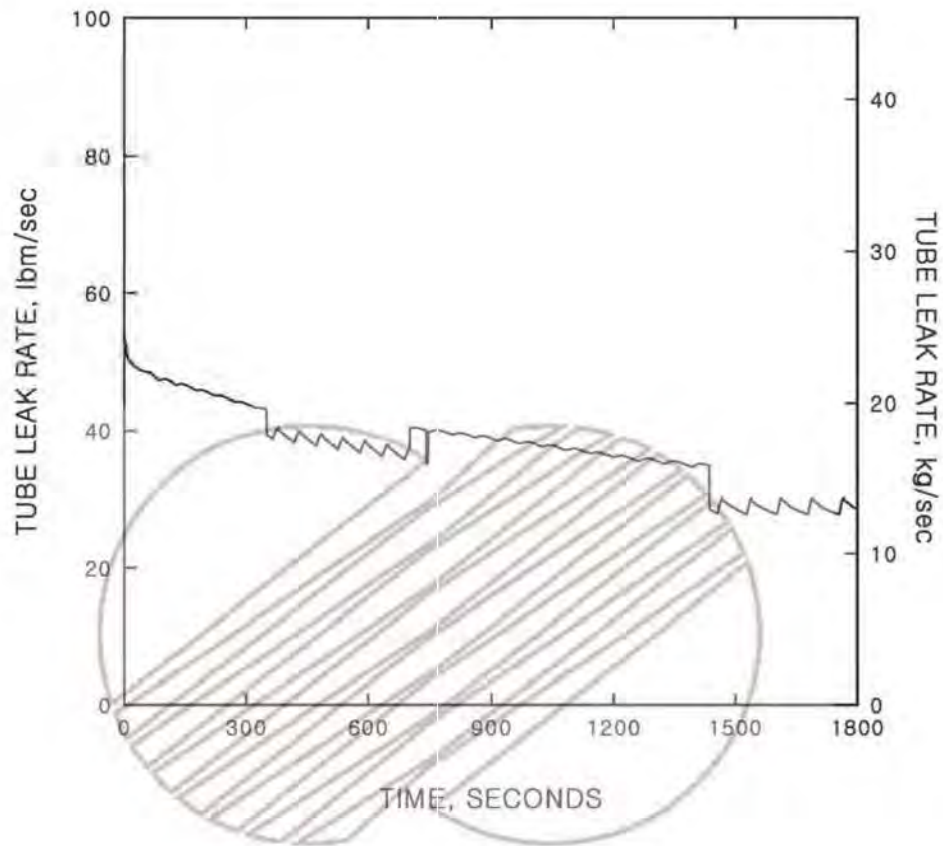
그림 15.6.3-27



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

소의전원상실을 수반한 증기발생기
전열관파열사고 : 시간에 따른
원자로냉각재계통 재고량 변화

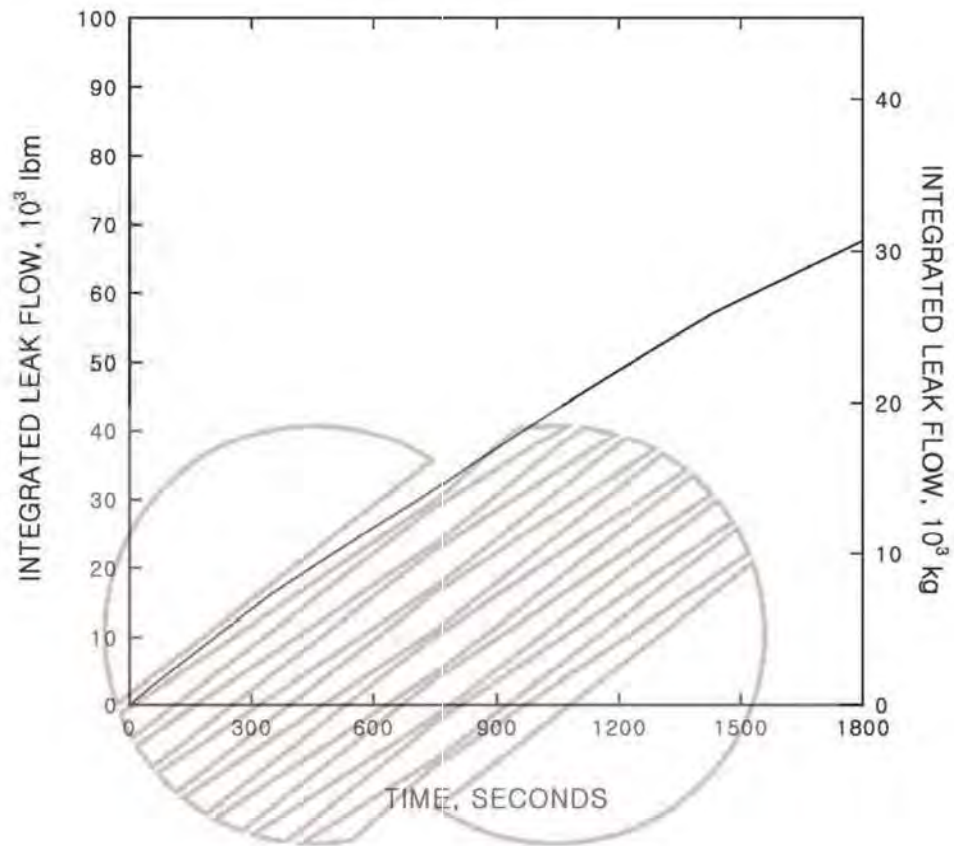
그림 15.6.3-28



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

소위 전원상실을 수반한 증기발생기
전열관파열사고 : 시간에 따른 전열관 누출
유량 변화

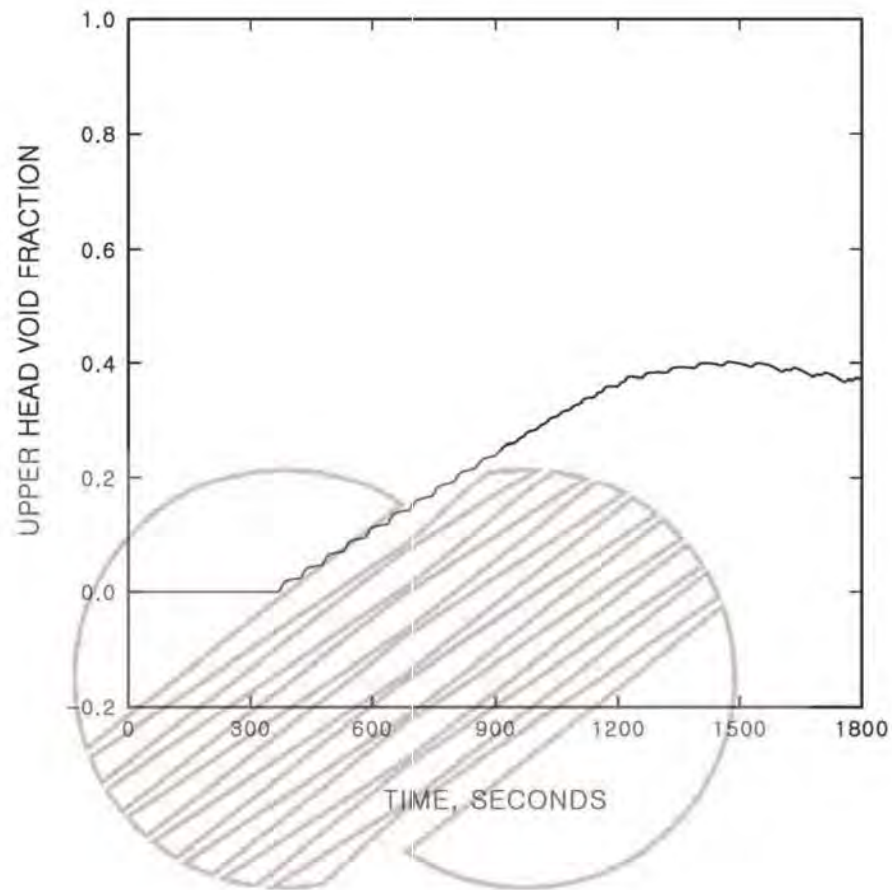
그림 15.6.3-29



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

소외전원상실을 수반한 증기발생기
전열관파열사고 : 시간에 따른 총 누출량 변화

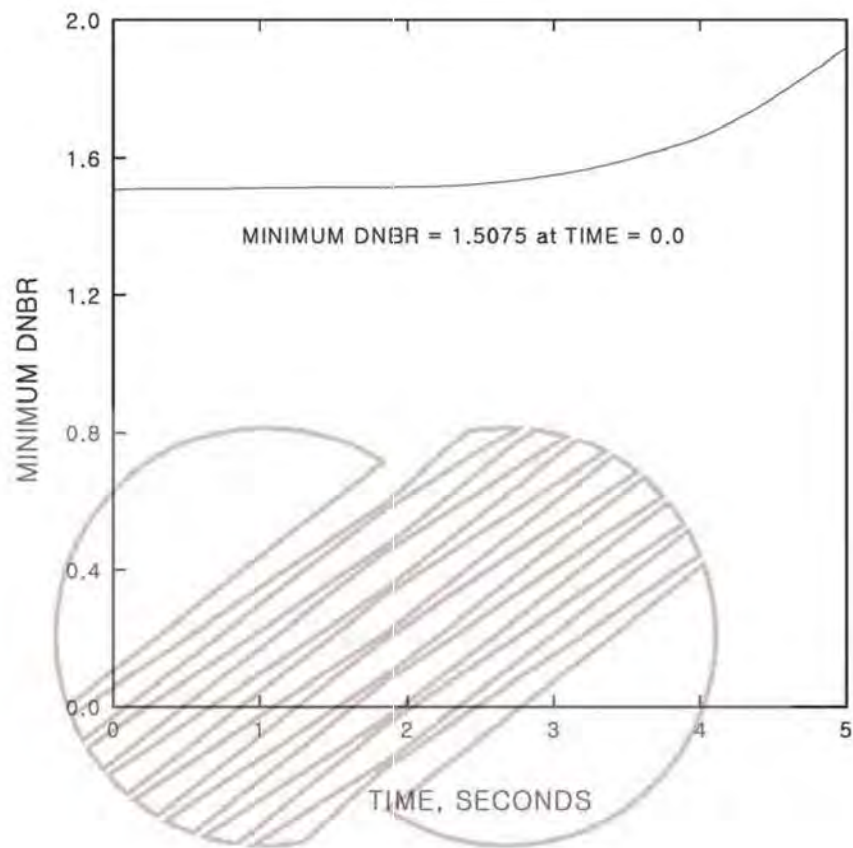
그림 15.6.3-30



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

소외전원상실을 수반한 증기발생기
전열관파열사고 : 시간에 따른
원자로용기상부헤드 기포분률 변화

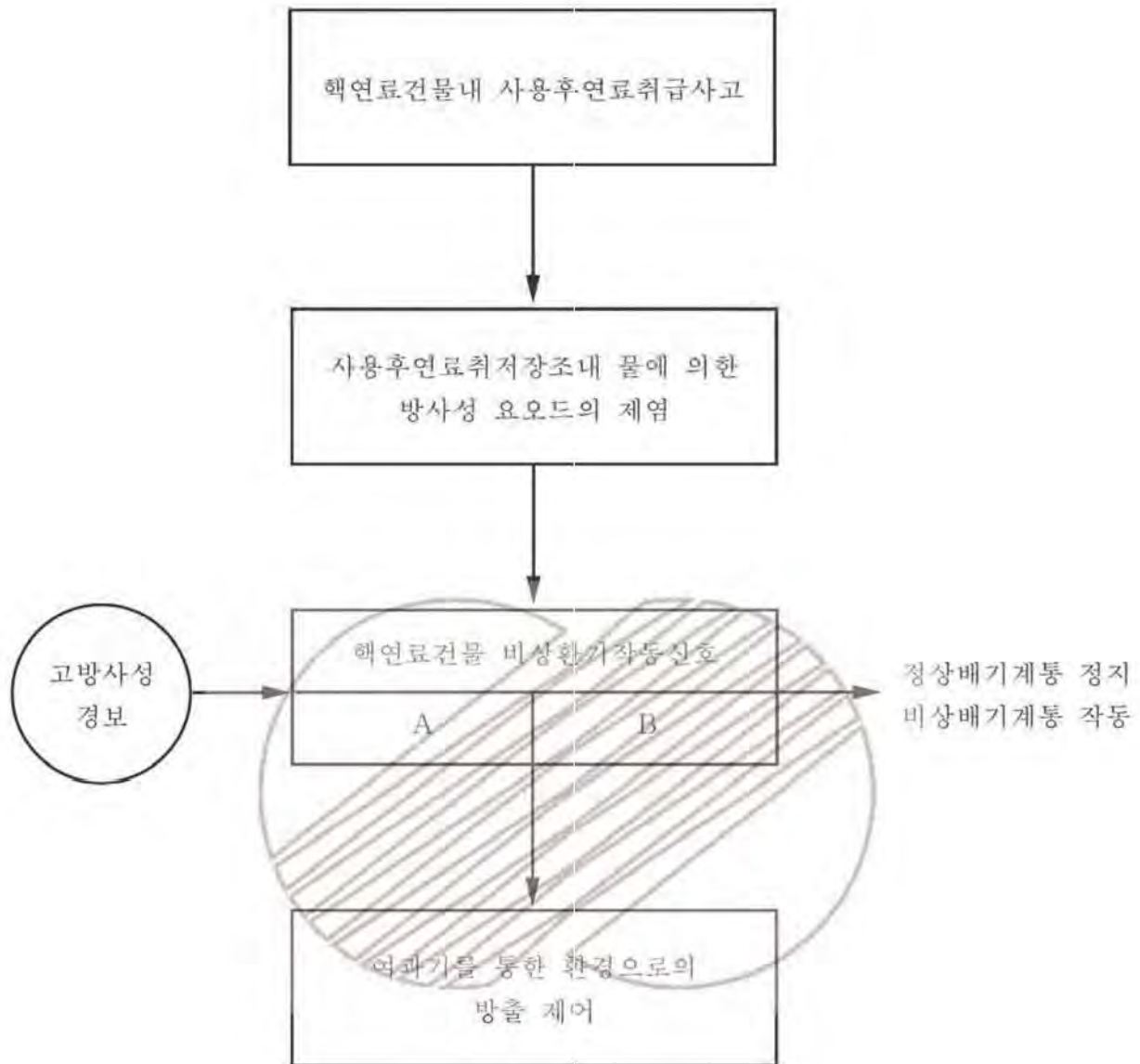
그림 15.6.3-31

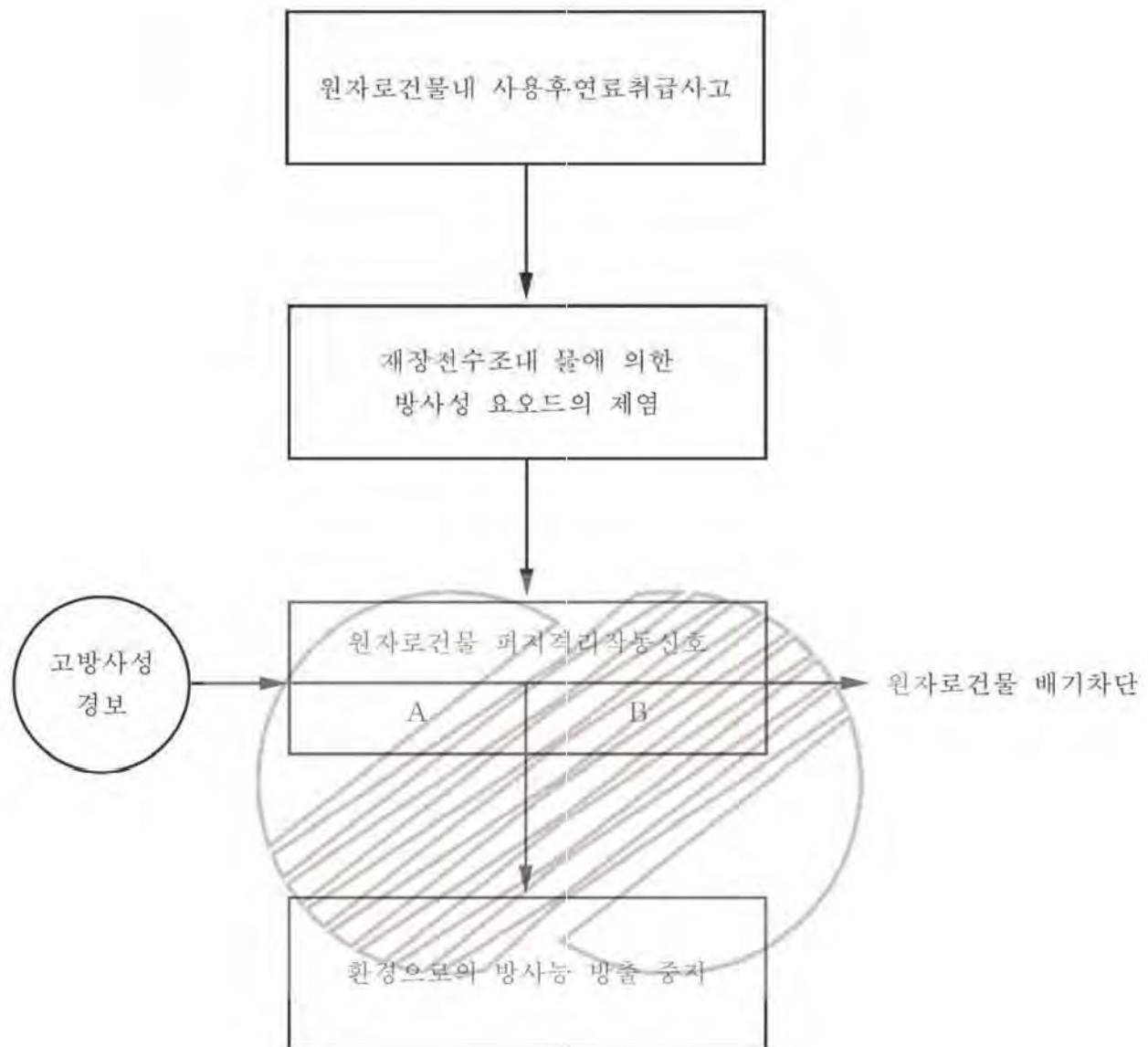


한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

소외전원상실을 수반한 증기발생기
전열관파열사고 : 시간에 따른 최소
핵비등이탈률 변화

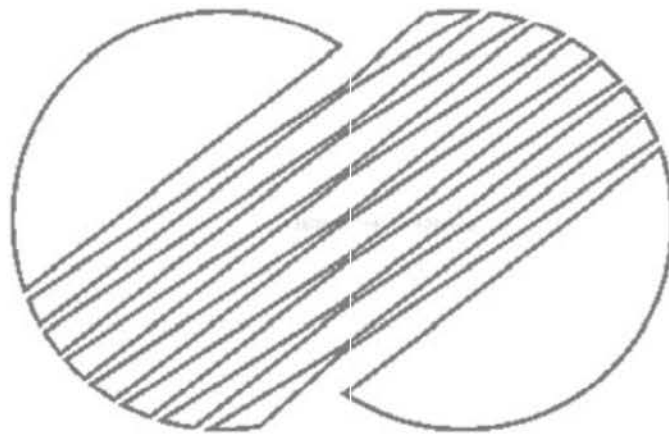
그림 15.6.3-32





부록 15A

주급수계통 배관파단사고에 대한 해석방법



신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

부록 15A - 주급수계통 배관파단사고에 대한 해석방법

목 차

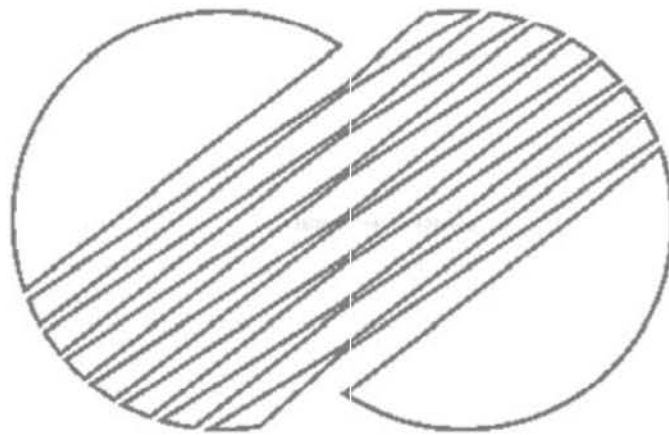
<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
15A	<u>주급수계통 배관파단사고에 대한 해석방법</u>	15A-1
15A.1	<u>개요</u>	15A-1
15A.2	<u>논의</u>	15A-1
15A.3	<u>해석방법</u>	15A-3
15A.3.1	수학적 모델 및 가정	15A-3
15A.3.2	원자로냉각재계통 가압 관점의 영향 평가	15A-5
15A.3.3	핵비등이탈률 관점의 영향 평가	15A-9
15A.4	<u>결과</u>	15A-11
15A.5	<u>결론</u>	15A-13
15A.6	<u>참고문헌</u>	15A-14

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

부록 15A - 주급수계통 배관파단사고에 대한 해석방법

표 목 차

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
15A-1	주급수계통 배관파단사고에 대한 가정	15A-15
15A-2	주급수계통 배관파단사고에 대한 사건경위	15A-16
15A-3	주급수계통 배관파단사고에 대한 방사능영향 평가결과	15A-18



신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

부록 15A - 주급수계통 배관파단사고에 대한 해석방법

그림 목차

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>
15A-1	주급수계통 배관파단사고 : 초기 가압기압력에 따른 원자로냉각재계통 침두압력
15A-2	주급수계통 배관파단사고 : 초기 증기발생기 수위에 따른 원자로냉각재계통 침두압력
15A-3	주급수계통 배관파단사고 : 초기 노심입구온도 및 초기 증기발생기 수위에 따른 핵비등이탈률
15A-4	주급수계통 배관파단사고 : 시간에 따른 노심 출력 변화
15A-5	주급수계통 배관파단사고 : 시간에 따른 노심 열속 변화
15A-6	주급수계통 배관파단사고 : 시간에 따른 각종 반응도 변화
15A-7	주급수계통 배관파단사고 : 시간에 따른 원자로냉각재 온도 변화
15A-8	주급수계통 배관파단사고 : 시간에 따른 원자로냉각재 유량 변화
15A-9	주급수계통 배관파단사고 : 시간에 따른 원자로냉각재계통 압력 변화
15A-10	주급수계통 배관파단사고 : 시간에 따른 가압기 압력 변화
15A-11	주급수계통 배관파단사고 : 시간에 따른 가압기 밀림관 유량 변화
15A-12	주급수계통 배관파단사고 : 시간에 따른 가압기 냉각재 체적 변화
15A-13	주급수계통 배관파단사고 : 시간에 따른 가압기안전밸브 유량 변화
15A-14	주급수계통 배관파단사고 : 시간에 따른 증기발생기 압력 변화
15A-15	주급수계통 배관파단사고 : 시간에 따른 총 증기유량 변화
15A-16	주급수계통 배관파단사고 : 시간에 따른 방출유량 변화
15A-17	주급수계통 배관파단사고 : 시간에 따른 증기발생기 재고량 변화

33

33

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

그림 목차 (계속)

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>
15A-18	주급수계통 배관파단사고 : 시간에 따른 증기발생기 수위 변화
15A-19	주급수계통 배관파단사고 : 시간에 따른 최소 핵비등이탈률 변화
15A-20	주급수계통 배관파단사고(w/o LOOP) : 시간에 따른 원자로냉각재 온도 변화
15A-21	주급수계통 배관파단사고(w/o LOOP) : 시간에 따른 원자로냉각재계통 압력 변화
15A-22	주급수계통 배관파단사고(w/o LOOP) : 시간에 따른 가압기 밀림관 유량 변화
15A-23	주급수계통 배관파단사고(w/o LOOP) : 시간에 따른 가압기 냉각재 체적 변화
15A-24	주급수계통 배관파단사고(w/o LOOP) : 시간에 따른 증기발생기 압력 변화
15A-25	주급수계통 배관파단사고(w/o LOOP) : 시간에 따른 총 증기유량 변화

33

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

부록 15A 주급수계통 배관파단사고에 대한 해석방법

본 부록은 주급수계통 배관파단사고를 분석하기 위하여 사용된 분석방법 및 결과를 기술하고 있다. 15A.1절부터 15A.3절까지는 신고리 1,2호기 설계에 사용한 해석방법을 기술하였다. (삭제)

15A.4절부터 15A.6절까지는 신고리 1,2호기에 대한 주급수계통 배관파단사고의 분석결과를 기술하였다.

15A.1 개요

본 부록에서는 주급수계통 배관파단으로 인한 원자로냉각재계통 가압 및 핵연료피복재의 손상 가능성을 해석하기 위해 사용된 15장 과도사건 분석 방법론 및 그 결과를 기술하였다. 이 방법은 주급수관 파단사 질량 및 에너지 방출률과 증기발생기 수위 변화 및 그에 따른 열전달 거동에 대한 단순하고도 보수적인 모델을 가정하고 있다. 이러한 가정과 함께 주요 운전변수에 대한 민감도 분석을 수행하여 가장 보수적인 초기조건을 결정한다. 이 해석방법은 참고문헌 1에 정의되어 있는 가장 제한적인 주급수계통 배관파단사고를 기준으로 기술되었다. 참고문헌 1에는 가장 보수적인 운전조건하에서 가능한 모든 파단 면적과 위치를 고려하고, 가장 보수적인 시간에서의 소외전원상실, 가장 심각한 단일능동 고장 및 원자로정지신호 발생 후 반응도가 가장 큰 제어봉집합체의 완전인출 위치에서의 고착 등을 고려하도록 되어 있다.

15A.2 논의

주급수계통 배관파단사고에 있어서 배관파단에 따른 영향은 배관파단의 크기와 위치, 주급수계통의 반응에 따라서 핵증기공급계통을 급속가열 또는 급속냉각시키게 된다. 주급수관은 하향유로쪽 배관과 이코노마이저쪽 배관이 있으며 어느쪽 배관에서나 파단을 가정할 수 있다. 주급수유량 및 증기발생기 재고량 등의 상실을 고려할 때 가장 심각한 파

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

단은 이코노마이저쪽 배관파단이다. 파단위치는 증기발생기 급수노즐과 원자로건물 관통부 사이에 있는 역류방지밸브를 고려하여 결정한다. 만약 파단이 역류방지밸브의 상류에 위치하면 역류방지밸브가 닫혔을 때 증기발생기의 건전성은 유지된다.

역류방지밸브 상류의 배관파단은 다음과 같은 과도상태중 한 가지를 유발할 수 있다. 배관파단후 주급수계통이 작동되지 않으면 정상급수유량의 완전상실을 초래한다. 주급수계통이 운전가능하다면 소형파단인 경우는 주급수 유량의 감소가 발생하지 않지만 대형파단인 경우는 파단부를 통한 방출량이 주급수펌프의 전체용량보다 클 때 정상급수유량의 부분적 상실 또는 완전상실을 초래한다.

부분 또는 완전 정상급수유량상실의 가능성 외에도 역류방지밸브의 하류의 배관파단인 경우에는 파단부에 근접한 증기발생기(파단측 증기발생기)에서 파단부로 역류가 형성될 가능성이 있다. 배관파단시 주급수계통이 운전불능상태이거나 주급수계통이 운전가능하더라도 파단부의 압력이 증기발생기 압력보다 높게 유지되지 않으면 역류가 발생된다. 이 해석에서 관심이 있는 파단은 역류가 발생되는 경우이다.

역류의 엔탈피와 파단측 증기발생기의 열전달 특성에 따라서 원자로냉각재계통은 가열되거나 냉각될 수 있다. 그러나 원자로냉각재계통의 냉각 가능성이 주증기관 파단사고보다 적기 때문에 파단부를 통한 과도한 열제거는 본 해석에 고려되지 않았다. 주급수계통 배관파단사고시 최대 파단면적이 주증기관 파단사고시의 최대 파단면적보다 작다. 또한, 증기발생기내에서 증기관이 급수관보다 위에 설치되어 있기 때문에 주증기관 파단사고시 높은 엔탈피를 가진 유체가 방출될 확률이 높다. 더구나 주급수계통 배관파단사고 때는 주증기관 파단사고 때와는 달리 주급수유량이 급격히 감소하게 되고 이로 인해서 증기발생기의 재고량이 감소하게 되어 열제거용량이 감소하게 된다. 주급수계통 배관파단사고가 발생하면 파단측 증기발생기의 급격한 재고량 감소로 인해 열전달 능력이 감소되어 원자로냉각재계통이 급격히 가열 및 가압이 되기 때문에 본 해석에서는 원자로냉각재계통 가압 및 핵비등이탈률 관점에서 기술하였다.

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

다음은 주급수계통의 운전이 불가능하고 파단부로 낮은 엔탈피의 유량이 방출되며 역류 방지밸브 하류에서 배관파단이 발생했다고 가정할 때의 일반적인 주급수계통 배관파단사고에 대한 기술이다.

양쪽 증기발생기로 주입되던 과냉각상태의 주급수가 상실되면 증기발생기의 온도가 상승되고 재고량 및 수위가 감소하게 된다.

증기발생기의 온도가 상승되면 1차측에서 2차측으로의 열전달이 감소하여 원자로냉각재계통이 가열되고 가압된다. 파단부로 방출이 계속됨에 따라 파단측 증기발생기의 재고량이 불충분하여 열전달 능력이 더욱 감소하게 되어 일차계통의 가열이 가속된다. 이러한 초기사건 진행은 가압기 고압력, 증기발생기 저수위 또는 원자로건물 고압력에 의해 원자로가 정지하게 되면 중단된다. 파단측 증기발생기가 고갈되면 증기발생기의 열전달 능력이 완전히 상실되어 원자로정지 후에도 원자로냉각재계통은 계속 가열될 수 있다. 그러나 결국에는 원자로정지 후에 노심출력이 감소되어 노심 열발생률이 건전한 측 증기발생기의 열제거 용량 이내로 감소하게 된다.

본 해석방법에서는 네 가지 주요 변수, 즉, 방출 엔탈피, 방출유량, 파단측 증기발생기 저수위 원자로정지, 파단측 증기발생기의 열전달 특성의 영향에 대해서 기술하고 있다.

15A.3 해석방법

15A.3.1 수학적 모델 및 가정

주급수계통 배관파단사고 해석은 CESEC-III 전산프로그램을 이용하여 수행되는데 15.0.3 절에 기술된 CESEC-III 전산프로그램에 대한 사항외에도 여러가지 단순화된 모델을 가정하고 있다. 이러한 단순화된 모델은 파단부로 방출되는 유량 및 엔탈피, 파단측 증기발생기 수위와 열전달 등인데 원자로냉각재계통의 가압 관점에서 보수적으로 모델되어

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

있다. 또한, 주급수계통 배관파단사고시 가장 보수적인 초기조건을 결정하기 위하여 여러가지 운전변수의 초기조건을 변경하면서 원자로냉각재계통의 가압 및 핵비등이탈률 관점에서 민감도 분석을 수행한다.

주급수관 파단부에 근접해 있는 증기발생기의 방출유량은 Henry-Fauske 상관식(참고문헌 2)을 이용하여 마찰이 없는 임계유동(frictionless critical flow)을 가정하여 계산된다. 방출유량의 엔탈피는 파단측 증기발생기의 유체조건과 관련되어 파단위치에 직접적으로 영향을 받지만 파단측 증기발생기가 고갈될 때까지는 포화액체가 방출되고 그 이후에는 포화증기가 방출된다고 가정한다. 이러한 가정은 파단부로 많은 질량과 낮은 에너지가 방출되도록 함으로써 파단측 증기발생기의 열제거 용량을 최소화시키기 때문에 원자로냉각재계통의 가압 관점에서 보수적이다.

(삭제)

소외전원상실을 수반하는 경우에는 파단측 증기발생기가 완전히 고갈될 때까지 파단측 증기발생기의 저수위에 의한 원자로정지는 신뢰하지 않는다. 이와 같이 원자로정지 시간을 보수적으로 지연시킴으로써 원자로냉각재계통의 가열과 가압이 오래 지속된다. 원자로건물 고압력에 의한 원자로정지는 증기발생기 저수위나 가압기 고압력에 의한 원자로정지보다 늦게 발생할 수 있기 때문에 고려하지 않았다.

33

보조급수가 양쪽 증기발생기로 주입되어야 하지만, 보수적으로 파단측 증기발생기로 공급되는 보조급수에 의한 열제거는 없다고 가정하였다. 이 가정은 장기 붕괴열 제거능력을 최소화시킨다. 또한, 원자로가 정지될 때 터빈정지밸브가 순간적으로 닫힌다고 가정한다. 빠른 터빈정지는 주증기압력을 증가시켜서 원자로냉각재계통을 가열하게 된다. 터빈정지가 발생하면 3초 후에 소외전원이 상실된다고 가정한다.

33

(삭제)

소외전원이 상실되면 원자로냉각재펌프가 감속하여 1차측에서 2차측으로의 열전달이 감소하게 되므로 원자로냉각재계통을 가압하게 된

33

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

다.

소외전원상실을 수반한 주급수계통 배관파단사고에 대한 제한적인 단일고장을 결정하기 위하여 표 15.0.1-1을 사용하였다. 이 표를 기초로 할 때 주급수계통 배관파단사고와 관련하여 원자로냉각재계통 가압에 심각한 영향을 줄 수 있는 단일고장은 없다.

주급수계통 배관파단사고에 적용된 해석방법의 결과로서 원자로냉각재계통의 가압을 완화시킬 수 있는 요인은 가압기안전밸브 또는 주증기안전밸브의 용량, 원자로냉각재 유량, 1차측에서 2차측으로의 열전달률이다. 가압기안전밸브나 주증기안전밸브의 용량을 저하시킬 수 있는 고장 가능성은 없고 파단측 증기발생기로의 증기유량을 감소시킬 가능성이 있는 고장도 없다. 원자로냉각재유량 감소로 인한 1차측에서 2차측으로의 열전달 감소는 터빈정지에 따른 소외전원상실에만 기인된다. 그런데, 소외전원상실은 이미 가정하였으므로 장기 붕괴열 제거능력을 감소시키기 위해서 한 대의 보조급수펌프의 작동실패를 이 사고의 단일고장으로 가정하였다.

소외전원상실을 수반하지 않는 경우는 파단 측 증기발생기의 수위가 원자로 보호계통의 가혹한 환경 분석 설정치에 도달한 수위에서 증기발생기 저수위 원자로정지가 발생가능하다고 가정하였다.

증기발생기 저수위 원자로정지는 각각의 증기발생기에 장치되어 있는 발전소보호계통 원자로정지 기능의 하나이다. 증기발생기 광역 수위감지기는 3.7절과 3.11절에 기술되어 있는 방법론에 따라 내진 및 내환경적인 시험을 거쳐 적합한 판정을 받으며, 증기발생기 저수위 원자로정지는 증기발생기 광역 수위감지기를 이용한 것이다.

원자로가 정지되는 시점과 원자로냉각재계통의 압력이 최고에 이르는 시점까지 그리고 그 이후에도 증기발생기 압력이 증가하기 때문에, 증기발생기 저수위 원자로정지를 신뢰하지 못할 정도로 증기발생기 수위 팽창은 발생하지 않으므로 계측기에 나쁜 영향을 미칠 수 있는 수위 변동은 없다. 그러므로 원자로보호계통의 최소 분석설정치에 해당하는 28 % 광역 수위는 주급수계통 배관파단사고에 대하여 보수적인 원자로정지 설정치이다.

소외전원상실을 수반하지 않은 주급수계통 배관 파단사고에 대한 단일 고장 가정은 소외전원상실을 수반한 경우와 같다.

15A.3.2 원자로냉각재계통 가압 관점의 영향 평가

소외전원상실을 수반하는 경우의 원자로냉각재계통 가압 관점에서 가장 보수적인 초기조건 및 운전변수를 설정하기 위하여 민감도 분석을 수행하였다. 민감도 분석에 고려될 수 있는 운전변수는 초기 가압기 압력, 파단면적, 파단측 증기발생기의 열전달 감소, 초기 노심출력, 초기 원자로냉각재유량, 초기 가압기 냉각재 체적, 가압기안전밸브의 정격유량, 핵연료봉 간극의 열전달계수, 초기 주급수 엔탈피, 초기 노심입구온도 및 초기 증기발생기 수위이다. 본 해석에서는 이 중 초기 가압기 압력, 초기 노심 입구온도 및 초기 증기발생기 수위에 대한 민감도 분석을 수행하였다.

파단측 증기발생기가 고갈될 때 저수위 원자로정지가 발생하도록 보수적으로 원자로정지 시간을 지연시켰을 때 원자로냉각재계통의 첨두압력이 가장 높게 나타났다. 또한, 파단

33

33

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

측 증기발생기가 고갈될 때까지 증기발생기를 통한 열전달이 일정하다고 가정할 때 원자로냉각재계의 압력이 가장 높게 나타났다. 따라서, 증기발생기가 고갈될 때 파단측 증기발생기의 열전달이 순간적으로 영이 된다고 가정하였다. 이 가정에 대한 타당성은 영광 3,4호기 최종안전성분석보고서(참고문헌 3)의 민감도분석 결과에 입증되어 있다.

원자로냉각재계의 침투압력은 여러가지 파단면적과 열전달 특성의 조합에 의해 결정된다. 최대 파단면적은 증기발생기 이코노마이저(economizer) 부분에 있는 유동 분배구멍(flow distribution holes) 면적의 합으로 제한된다. 따라서 가정할 수 있는 파단면적의 범위는 0부터 최대 0.11427 m^2 (1.23 ft^2)까지 이다. 파단측 증기발생기 열전달 특성에 있어서는 상세한 증기발생기 모델 대신에 증기발생기 재고량이 어떤 선별된 값에서 영(zer o)으로 감소할 때 유효 열전달 면적도 설계값으로부터 영까지 선형적으로 감소한다고 가정하여, 열전달 면적이 선형적으로 감소하기 시작할 때부터 영으로 되는 재고량 질량구간을 “ ΔM ”이라고 정의한다. 따라서 ΔM 이 감소하면 파단측 증기발생기의 열전달이 더욱 급격히 감소함을 의미한다.

파단측 증기발생기의 열전달 면적이 감소하는 질량구간인 ΔM 은 영광 3,4호기 최종안전성분석보고서(참고문헌 3)의 민감도분석 결과를 적용하여 0 kg (0 lbm)을 보수적으로 사용하였다. 파단면적이 작을 때는 건전한 측 증기발생기의 저수위 원자로정지가 파단측 증기발생기 고갈보다 훨씬 먼저 발생되기 때문에 가압기 고압력 원자로정지와 건전한 측 증기발생기의 저수위 원자로정지가 동시에 발생되도록 초기 가압기 압력을 조정하였다. 파단면적이 큰 경우에는, 파단측 증기발생기 고갈에 의한 증기발생기 저수위 원자로정지 조건과 가압기 고압력 원자로정지로 인한 터빈정지가 가능한 한 거의 동시에 발생되도록 초기 가압기 압력을 조정하였다.

영광 3,4호기 최종안전성분석보고서의 민감도분석 결과와 같이 원자로냉각재계통 과압 관점에서는 가장 제한적인 침투압력을 야기하는 파단면적(0.01858 m^2 또는 0.2 ft^2)을 적용하여 분석하였다.

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

참고문헌 3에 기술된 바와 같이 초기 노심출력에 대한 원자로냉각재계통의 첨두압력은 노심출력이 낮을수록 낮게 나타나며 또한, 초기 원자로냉각재 유량의 영향은 무시할 정도로 작다. 초기 가압기냉각재 체적의 영향도 크지 않다. 초기 가압기냉각재 체적이 클수록 원자로냉각재계통 가압이 더 빠르지만 원자로냉각재계통 가압률이나 가열에 의한 체적 밀립유량(volumetric insurge flow) 형성에 필요한 압력 등에는 큰 영향이 없다. 본 분석에서는 최대 가압기 냉각재 체적을 초기조건으로 사용하였는데 그 이유는 사고진행 과정중에 가압기를 완전히 충전시킬 가능성이 크기 때문이다.

가압기안전밸브 한 개의 정격유량은 최소 208,652 kg/hr/valve (460,000 lbm/hr/valve), 최대 285,763 kg/hr/valve (630,000 lbm/hr/valve) 이다. 원자로냉각재계통 압력은 가압기안전밸브의 개방 이후에 첨두치에 도달한다. 참고문헌 3에 따르면 밸브의 최소 정격유량에서 원자로냉각재계통 첨두압력이 최대가 됨을 알 수 있다.

민감도분석의 수행에서는 주급수계통 배관파단시 참고문헌 3의 영광 3,4호기 설계에서 적용된 가장 제한적인 조합인 ΔM 이 영(zero)이고 파단면적이 0.01858 m^2 (0.2 ft^2)인 경우를 가정하여 원자로냉각재계통 첨두압력에 대한 초기 가압기압력의 민감도 분석을 수행하였다. 정상상태 전출력조건에서 원자로냉각재계통 압력을 증가시키기 위해 초기조건 변수들을 선정하였다. 원자로냉각재계통 첨두압력에 대한 초기 가압기압력의 민감도 분석결과는 그림 15A-1과 같다.

그림 15A-1에서, 초기 가압기압력이 $149.75 \text{ kg/cm}^2\text{A}$ ($2,130 \text{ psia}$)부터 약 $153.97 \text{ kg/cm}^2\text{A}$ ($2,190 \text{ psia}$)까지는 원자로냉각재계통의 첨두압력이 증가한다. 이는 파단측 증기발생기가 고갈된 후에 가압기 고압력에 의해 원자로가 정지되고 가압기안전밸브가 개방되기 때문에 초기 가압기압력이 증가할수록 원자로정지가 빨라져서 증기발생기 고갈시점에 가깝게 되므로 원자로냉각재계통 첨두압력이 증가하게 된다. 그러나, 초기 가압기압력이 약 $153.97 \text{ kg/cm}^2\text{A}$ ($2,190 \text{ psia}$)보다 큰 경우에는 파단측 증기발생기가 고갈되기 전에 가압기안전밸브와 주증기안전밸브가 개방되어 원자로냉각재계통 첨두압력이 높게 올라가지

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

않았다. 초기 가압기압력이 약 $153.97 \text{ kg/cm}^2\text{A}$ ($2,190 \text{ psia}$) 이하에서 가압기 고압력 원자로정지로 인한 터빈정지와 파단측 증기발생기의 고갈에 의한 증기발생기 저수위 원자로정지조건이 동시에 발생되도록 초기 가압기압력을 조정했을 때 가장 높은 원자로냉각재계통 침투압력이 나타났다. 따라서, 나머지 변수들에 대한 민감도 분석에서도 가능한 이러한 조건이 발생되도록 초기조건을 조정하였다.

그림 15A-2는 여러가지 초기 증기발생기 수위에 대해 전술한 과정에 따라 초기 가압기압력을 조정하여 가장 제한적인 원자로냉각재 침투압력을 나타낸 것이다. 초기 증기발생기 수위가 60% 광역수위 이하에서는 증기발생기 저수위에 의한 원자로정지가 일찍 발생하므로 침투압력이 낮게 나타난다. 또한 초기 증기발생기 수위가 80% 광역수위 이상에서는 원자로정지에 이은 2차측 압력상승 속도가 빨라져서 주증기안전밸브가 일찍 개방되므로 이 밸브를 통한 증기방출이 증가하여 원자로냉각재계통 침투압력이 낮게 나타난다.

핵연료봉 간극의 열전달계수는 초기핵연료 온도와 핵연료대에 저장된 에너지에 영향을 미친다. 주급수계통 배관파단사고시 저장된 에너지는 원자로정지 후 노심열속을 증가시키므로 원자로냉각재계통을 가열하게 된다. 따라서, 원자로냉각재계통 침투압력은 핵연료봉 간극의 열전달계수가 최소(저온, 주기초의 값)일 때에 가장 높게 나타난다(참고문헌 3의 그림 15B-7).

초기 주급수 엔탈피가 작을수록 주급수가 중단되었을 때의 원자로냉각재계통 가열률이 증가한다. 따라서, 초기 주급수 엔탈피를 감소시킬수록 원자로냉각재계통의 가압이 약간 증가하게 된다.

초기 노심입구온도는 원자로냉각재계통 압력에 약간의 영향을 미치지만 온도가 변함에 따라서 여러가지 상쇄효과가 발생된다. 초기 노심입구온도를 낮추면 2차측 온도도 감소하게 되어 급수의 과냉각도를 감소시킨다. 급수의 과냉각도가 감소하면 증기발생기의 압력이 감소하여 파단부로 방출되는 유량이 감소하게 되어서 원자로정지 이전에 주증기안

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

전밸브는 개방되지 않게 된다. 이러한 복합적인 상호작용을 고려하여 초기 노심입구온도의 민감도 분석을 수행한 결과 가장 제한적인 온도는 295℃ (563°F)로 나타났다.

원자로냉각재계통 가압 관점에서 가장 보수적인 초기조건과 운전변수들의 조합은 민감도 분석을 통하여 결정되며 이상의 민감도분석 결과를 종합하면 다음과 같다.

1. 가압기 고압력 원자로정지로 인한 터빈정지와 파단측 증기발생기의 저수위 원자로정지조건이 동시에 발생되도록 하는 초기 가압기압력
2. 파단면적 : 0.01858 m² (0.2 ft²)
3. 파단측 증기발생기의 급격한 열전달 상실($\Delta M=0$)
4. 원자로냉각재 유량 : 원자로냉각재계통 설계유량의 95%
5. 최대 초기 노심출력
6. 최대 초기 가압기냉각재 체적
7. 최소 가압기안전밸브 정격유량
8. 최소 부반응도 도플러계수
9. 최대 정반응도 감속재온도계수
10. 최소 핵연료봉 간극의 열전달계수
11. 초기 증기발생기 재고량 : 70% 광역수위
12. 최소 초기 주급수 엔탈피
13. 초기 노심입구온도 : 295℃ (563°F)

115

소외전원상실을 수반하지 않는 경우의 원자로냉각재계통 가압관점에서 가장 보수적인 초기조건과 운전변수들의 민감도분석 결과는 다음의 세 가지 조건을 제외하고, 모두 소외전원상실을 수반하는 경우와 같다.

115

1. 가압기 고압력 원자로정지로 인한 터빈정지와 파단측 증기발생기의 저수위 원자로정지조건이 동시에 발생되도록 하는 초기 가압기압력
2. 초기 원자로냉각재 유량 : 원자로냉각재계통 설계유량의 100%
3. 초기 증기발생기 재고량 : 100% 광역수위

33

115

위 세 가지 초기조건들은 파단측 증기발생기의 저수위 원자로정지를 신뢰함에 따라 변경되었다.

15A.3.3 핵비등이탈률관점의 영향 평가

핵비등이탈률 관점에서는 울진 5,6호기 최종안전성분석보고서의 결과와 같이 가장 제한적인 결과를 나타내는 파단면적인 0.00929 m² (0.1 ft²)를 민감도분석의 파단면적으로 사용하였다. 초기 노심입구온도 및 초기 증기발생기 수위에 따른 핵비등이탈률에 대한 민감도 분석결과는 참고문헌 4의 그림 15A-3에 제시되어 있다. 그림 15A-3에서 핵비등이탈

33

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

물에 대한 초기노심 입구온도의 민감도분석 결과는 초기 노심입구온도가 높을수록 노심의 냉각재온도가 높아지므로 초기 노심입구온도가 최대값일 때 최소 핵비등이탈률이 가장 낮게 나타났다.

초기 증기발생기 수위에 대한 민감도분석 결과는 그림 15A-3에서 보는 것처럼, 60% 광역수위일 때 초기 노심입구온도와 관계없이 최소 핵비등이탈률이 가장 보수적으로 나타났다. 핵비등이탈률의 변화는 원자로냉각재계통 압력변화에 의해 주된 영향을 받는다. 사고발생 직후 원자로냉각재계통 압력이 증가함에 따라 핵비등이탈률도 같이 증가하고 가압기안전밸브가 열리면 계통압력과 같이 감소하여 밸브가 닫힐 때의 가장 낮은 압력에서 최소 핵비등이탈률이 발생한다. 낮은 압력에서 최소 핵비등이탈률을 계산하기 위해 가압기안전밸브 개방시점에서 일어날 수 있는 가압기 고압력에 의한 원자로정지는 보수적으로 발생하지 않는다고 가정하였다. 초기 증기발생기 수위가 60% 광역수위 이하이면 증기발생기 저수위 원자로정지가 일찍 발생하여 가압기압력이 가압기안전밸브 폐쇄설정치에 도달하기 전에, 상대적으로 높은 압력에서 최소 핵비등이탈률이 계산되므로 높은 값을 갖게된다. 초기 증기발생기 수위가 60% 광역수위 이상일 때에는 가압기안전밸브가 폐쇄된 후 증기발생기 저수위 원자로정지가 발생하므로 가압기압력이 가압기안전밸브 폐쇄설정치일 때 최소 핵비등이탈률이 발생한다. 따라서 이 구간에서 초기 증기발생기 수위에 따른 최소 핵비등이탈률은 거의 같은 값을 갖는다.

핵비등이탈률 관점에서 가장 보수적인 초기조건 및 운전변수들에 대한 조합은 원자로냉각재계통 가압관점의 조건과 유사하며, 서로 다른 조건은 다음과 같다.

1. 파단면적 : 0.00929 m^2 (0.1 ft^2)
2. 원자로냉각재 유량 : 원자로냉각재계통 설계유량의 116%
3. 최대 가압기안전밸브 정격유량
4. 초기 증기발생기 재고량 : 60% 광역수위
5. 초기 노심입구온도 : 300°C (572°F)
6. 최대 초기 가압기 압력 : $163.45 \text{ kg/cm}^2\text{A}$ ($2,325 \text{ psia}$)
7. 가압기 안전밸브 개방설정치 : $170.49 \text{ kg/cm}^2\text{A}$ ($2,425 \text{ psia}$)

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

15A.4 결과

앞 절에서 논의된 바와 같이, 가장 심각한 초기조건과 운전변수들을 사용하여 보수적인 방법으로 주급수계통 배관파단사고 해석을 수행하였다. 소외전원상실을 수반한 경우의 원자로냉각재계통의 가압 관점에서 가장 보수적인 가정들은 표 15A-1에 제시되어 있다. 사건진행과정과 주요 핵증기공급계통 변수들의 동적 반응은 표 15A-2와 그림 15A-4부터 그림 15A-18에 각각 제시되어 있다.

33

33

0.01858 m² (0.2 ft²)의 파열이 주급수관에 발생할 때 양쪽 증기발생기로 주입되는 주급수가 순간적으로 모두 중단되고, 파단부에 인접한 증기발생기로부터 임계유량이 약 907 kg/sec (2,000 lbm/sec)인 포화액체가 방출된다고 가정한다. 증기발생기내의 냉각수 상실과 압력증가는 가압기압력을 증가시켜서 28.80초에 가압기 고압력 원자로정지 조건에 도달하게 된다. 원자로정지차단기는 29.65초에 개방된다. 이 시간에 터빈정지밸브가 순간적으로 닫히고 3초후 소외전원상실이 발생한다고 가정한다. 터빈정지밸브가 닫히면 증기발생기가 고갈될 때까지 2차측 압력증가를 가속시켜서 원자로냉각재계통이 더욱 가압된다. 소외전원이 상실되면 원자로냉각재펌프가 감속하기 시작하여 원자로냉각재 유량이 감소하므로 1차측에서 2차측으로의 열전달률이 감소하게 된다.

33

115

31.35초에 파단측 증기발생기는 비등과 파단부로의 방출로 인하여 완전히 고갈되어서 순간적으로 열전달 능력이 완전히 상실된다고 가정한다. 이러한 가정은 원자로냉각재계통의 가열과 가압을 급격히 가속시킨다. 원자로냉각재계통이 가압되면, 가압기내로 유입되는 높은 유량으로 인해 가압기내의 증기가 압축되므로 압력이 증가하여 31.75초에 가압기안전밸브의 개방설정치에 도달한다. 가압기안전밸브가 열린 후에는 가압기안전밸브의 유량 방출률이 밀림관을 통해 유입되는 유입률보다 크기 때문에 유입된 유량을 수용할 수 있다.

115

33

115

원자로냉각재계통의 압력은 계속 증가하여 32.40초에 최대압력인 194.31 kg/cm²A (2,763.7

33

115

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

psia)에 도달한다.

노심열속이 감소하면 가열률이 떨어져서 일차계통의 압력이 감소된다. 31.70초에 건전한 측 증기발생기의 주증기안전밸브가 개방되어 이차계통의 온도가 유지되면 원자로냉각재 계통의 온도는 증가하고 있으므로 건전한 측 증기발생기로 열전달이 많아진다. 열전달이 감소되기 전에 건전한 측 증기발생기의 압력은 최대로 94.34 kg/cm²A (1,341.9 psia)까지 증가한다. 열전달이 이루어짐에 따라 노심과 증기발생기간의 열생성 및 열제거율의 불균형이 점차 감소하여 39.10초에 가압기안전밸브가 닫히게 되고 원자로냉각재계통은 냉각되기 시작한다. 건전한 측 증기발생기의 증기가 파단측 증기발생기를 통하여 파단부로 계속 방출되기 때문에 46.75초에 주증기안전밸브가 닫힌 후에도 냉각이 계속된다.

33 | 115 | 1

33 | 115 | 1

33 | 115 | 1

33 | 115 | 1

증기발생기 저압력에 의하여 주증기격리밸브 작동신호가 발생하면, 210.35초에 주증기격리밸브가 완전히 닫혀서 건전한 측 증기발생기를 파단측 증기발생기로부터 격리시킨다.

33 | 115 | 1

따라서 건전한 증기발생기는 다시 가압되고 열전달이 감소되어 원자로냉각재계통을 가열하게 된다. 455.0초에 주증기안전밸브가 다시 열리면 일차계통과 이차계통의 열적 불균형이 없어지게 된다. 이후에는 노심 붕괴열의 감소, 주증기안전밸브의 여닫힘, 열제거에 필요한 건전한 증기발생기의 적절한 재고량 유지를 위하여 98.05초에 주입되기 시작한 보조급수 유량 등에 의해서 매우 완만한 원자로냉각재계통의 냉각과 감압이 이루어져 핵증기공급계통은 준정상상태(quasi-steady state)로 된다. 1,800초에 운전원이 대기방출밸브를 이용하여 정지냉각 진입조건까지 냉각을 시작한다.

33 | 115 | 1

33 | 115 | 1

소외전원상실을 수반하지 않고 파단 측 증기발생기에서의 수위가 원자로보호계통의 가혹 환경 분석설정치에 도달한 수위에서 증기발생기 저수위 원자로정지가 발생 가능하다고 가정하고 민감도 분석을 수행하면, 0.01858 m²(0.2 ft²)파단면적을 가진 주급수계통 배관파단사고가 제한적인 결과를 보인다.

33

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

소외전원이 이용가능하며, 파단측 증기발생기의 가혹환경 증기발생기 저수위 원자로정지 설정치를 신뢰한 경우를 증기발생기 저수위정지를 신뢰하지 않은 경우와 비교할 때, 원자로냉각재계통의 최대압력은 $194.31 \text{ kg/cm}^2\text{A}$ ($2,763.7 \text{ psia}$)에서 $188.38 \text{ kg/cm}^2\text{A}$ ($2,679.4 \text{ psia}$)로 상당히 줄어들며, 증기발생기 최대압력은 $94.34 \text{ kg/cm}^2\text{A}$ ($1,341.9 \text{ psia}$)에서 $95.58 \text{ kg/cm}^2\text{A}$ ($1,359.5 \text{ psia}$)로 증가한다. 두 가지 효과는 원자로냉각재계통에서는 강제순환이 계속되고, 파단 측 증기발생기의 고갈이 지연되기 때문이다. 증기발생기의 고갈의 지연은 원자로정지에 의해 노심출력이 줄어드는 이후까지 파단측 증기발생기로부터 건전한 측 증기발생기로의 증기역류도 지연시킨다.

115

소외전원이 이용 가능한 경우에 대한 그림 15A-20부터 그림 15A-25까지는 소외전원상실을 수반한 경우에 비하여 원자로냉각재계통의 압력과 주요변수의 반응에 상당한 변화가 있음을 보여준다.

$0.01858 \text{ m}^2(0.2 \text{ ft}^2)$ 의 파열이 주급수관에 발생할 때 양쪽 증기발생기로 주입되는 주급수가 순간적으로 모두 중단되면 증기발생기 재고량이 끓으면서 증기발생기 압력이 증가한다. 파열각된 재고량이 없고 증기발생기의 가압으로 인하여 1차계통부터 2차계통으로의 열전달이 감소하므로 1차계통의 온도와 압력이 증가된다.

33

원자로정지와 동시에 터빈정지밸브가 닫히면 증기발생기의 압력과 원자로냉각재계통의 압력과 온도를 더욱 빠르게 상승시켜 32.15초에는 가압기안전밸브가, 그리고 32.90초에는 주증기안전밸브가 열리게 된다. 원자로냉각재 계통은 32.45초에 최대 압력인 $188.38 \text{ kg/cm}^2\text{A}$ ($2,679.4 \text{ psia}$)에 도달하고, 증기발생기도 35.95초에 최대 압력인 $95.58 \text{ kg/cm}^2\text{A}$ ($1,359.5 \text{ psia}$)에 도달한다.

115

이후에는 원자로출력이 감소함에 따라 압력과 온도도 감소한다. 파단 측 증기발생기가 완전히 고갈되는 52.40초에는 원자로냉각재계통의 온도와 압력이 순간적으로 증가한다. 그러나 이 시점에서 원자로출력이 낮기 때문에 파단 측 증기발생기에서의 열전달 손실은 별로 중요하지 않다.

115

한편, 주증기계통 침투압력 관점에서 가장 제한적인 경우의 증기발생기 최대 압력은 $97.89 \text{ kg/cm}^2\text{A}$ ($1,392.33 \text{ psia}$)이며, 이 값은 설계압력의 120%보다 작다.

115

핵비등이탈률 관점에서 가장 제한적인 파단면적은 0.00929 m^2 (0.1 ft^2)로 가정하였다. 시간에 따른 최소 핵비등이탈률은 그림 15A-19에 제시된 바와 같이 20.80초에 1.2344이며 허용핵연료설계제한치인 1.21보다 크므로 핵연료 손상이 발생하지 않았다.

33

핵비등이탈률 관점에서 주급수계통 배관파단사고 발생 후 30분 동안에 계통에서 방출된

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

질량은 가압기안전밸브에서 원자로배수탱크로 방출된 증기 1,892 kg (4,170 lbm), 건전환
측 증기발생기의 주증기안전밸브에서 대기로 방출된 증기 344,278 kg (758,990 lbm), 파단
측 증기발생기의 주증기안전밸브에서 대기로 방출된 증기 94,662 kg (208,690 lbm), 그리
고 주급수관 파단부에서 원자로건물로 방출된 냉각수 81,376 kg (179,400 lbm) 이다.

33
115

주급수계통 배관파단사고동안 소외에 기여하는 방사선원은 3.7 kBq/g의 증기발생기 내
이차측 냉각재와 2% 핵연료 손상을 가정한 원자로냉각재이다.
제한구역경계에서의 2시간 동안 갑상선선량 및 전신선량과 저인구지대 외곽 경계에서의
갑상선선량과 전신선량은 표 15A-3에 제시되어 있다.

33
54
115



15A.5 결 론

(삭제)

소외전원상실을 수반한 주급수계통 배관 파단의 제한적인 가압관점의 경우 핵증기공급계
통의 최대압력이 설계압력의 110 % (193.34 kg/cm²A (2,750 psia))를 초과하였으나, 설계
압력의 120 % (210.92 kg/cm²A (3,000 psia))는 넘지 않는 것으로 나타났다. 또한, 증기발
생기의 압력은 설계압력의 120 % (107.14 kg/cm²A (1,524 psia))를 초과하지 않았다. 이
러한 결과는 아주 낮은 확률의 사고에 대한 가압 요건을 만족시킨다. 소외전원이 이용 가
능한 경우 원자로냉각재계통과 증기발생기의 최대압력이 모두 각각 설계압력의 110 %
(193.34 kg/cm²A (2,750 psia) 및 98.22 kg/cm²A (1,397 psia))를 초과하지 않았다.

115
33

(삭제)

핵비등이탈률 관점에서 수행된 민감도 분석에서 핵연료 손상이 발생하지 않았고, 보수적
으로 2 %의 핵연료 손상을 가정하여 평가한 방사선량은 10 CFR 100.11의 선량한도를 만
족시키는 충분히 작은 값이다.

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

15A.6 참고문헌

1. "USNRC Standard Review Plan, Section 15.2.8, Feedwater System Pipe Breaks Inside and Outside Containment (PWR)," NUREG-0800.
2. R. E. Henry and H. K. Fauske, "The Two Phase Critical Flow of One Component Mixtures in Nozzles, Orifices, and Short Tubes," Journal of Heat Transfer, Transactions of the ASME, May 1971.
3. "Yonggwang Nuclear Power Plant Units 3 and 4 Final Safety Analysis Report," Korea Hydro & Nuclear Power Co., Ltd.

(삭제)

4. "Ulchin Nuclear Power Plant Units 5 and 6 Final Safety Analysis Report," Korea Hydro & Nuclear Power Co., Ltd.

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 15A-1

주급수계통 배관파단사고에 대한 가정

변 수	가정된 값	
초기 노심출력, MWt	2,871.3	
초기 노심입구 냉각재 온도, °C (°F)	295.0 (563.0)	
초기 원자로용기 입구 냉각재 유량, L/min (gpm)	1.19×10^6 (313,500)	115
초기 가압기 압력, kg/cm ² A (psia)	153.76 (2,187)	
핵연료봉 간극의 열전달계수, kcal/hr-m ² -°C (Btu/hr-ft ² -°F)	2,712.81 (556.00)	33
가압기안전밸브 정격유량, kg/hr (lbm/hr)	208,652 (460,000)	138
초기 가압기 냉각재 체적, m ³ (ft ³)	29.62 (1,046)	
초기 증기발생기 재고량, kg (lbm)	64,596 (142,409)	
초기 주급수 엔탈피, kcal/kg (Btu/lbm)	233.0 (419.5)	
증기우회제어계통	수동	
터빈정지후 소외전원 가용여부	사용불능	
급수관 파단면적, m ² (ft ²)	0.01858 (0.2)	
제어봉집합체의 정지반응도가, %Δρ	-8.0	33

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 15A-2 (2 중 1)

주급수계통 배관파단사고에 대한 사건경위

시간(초)	사	건	설정치 또는 값	
0.0	주급수관 파단 발생, m^2 (ft^2)		0.0186 (0.2)	
0.0	양쪽 증기발생기의 순간적인 주급수 유량 완전상실		-	
0.0	파단측 증기발생기에서 파단부로의 순간적인 임계유동 형성		-	
28.80	가압기 압력이 원자로정지 분석 설정치에 도달, kg/cm^2A (psia)		173 (2,460)	
29.55	가압기 고압력 원자로정지신호 발생		-	
29.65	원자로정지차단기 개방		-	
29.65	순간적인 터민정차밸브 폐쇄		-	
31.35	파단측 증기발생기로의 순간적인 열전달 상실		-	
31.70	주증기안전밸브 개방(건전한 측 증기발생기), kg/cm^2A (psia)		92.43 (1,314.70)	1 33
31.75	가압기안전밸브 개방, kg/cm^2A (psia)		181.04 (2,575)	33
32.40	원자로냉각재계통 침투압력, kg/cm^2A (psia)		194.31 (2,763.7)	
32.65	소외전원상실		-	
32.95	최대 가압기 밀림관 유량, kg/sec (lbm/sec)		833.7 (1,838)	
33.25	주증기안전밸브 개방(파단측 증기발생기), kg/cm^2A (psia)		92.43 (1,314.70)	
35.85	최대 증기발생기 압력(건전한 측 증기발생기), kg/cm^2A (psia)		94.34 (1,341.9)	33

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 15A-2 (2 중 2)

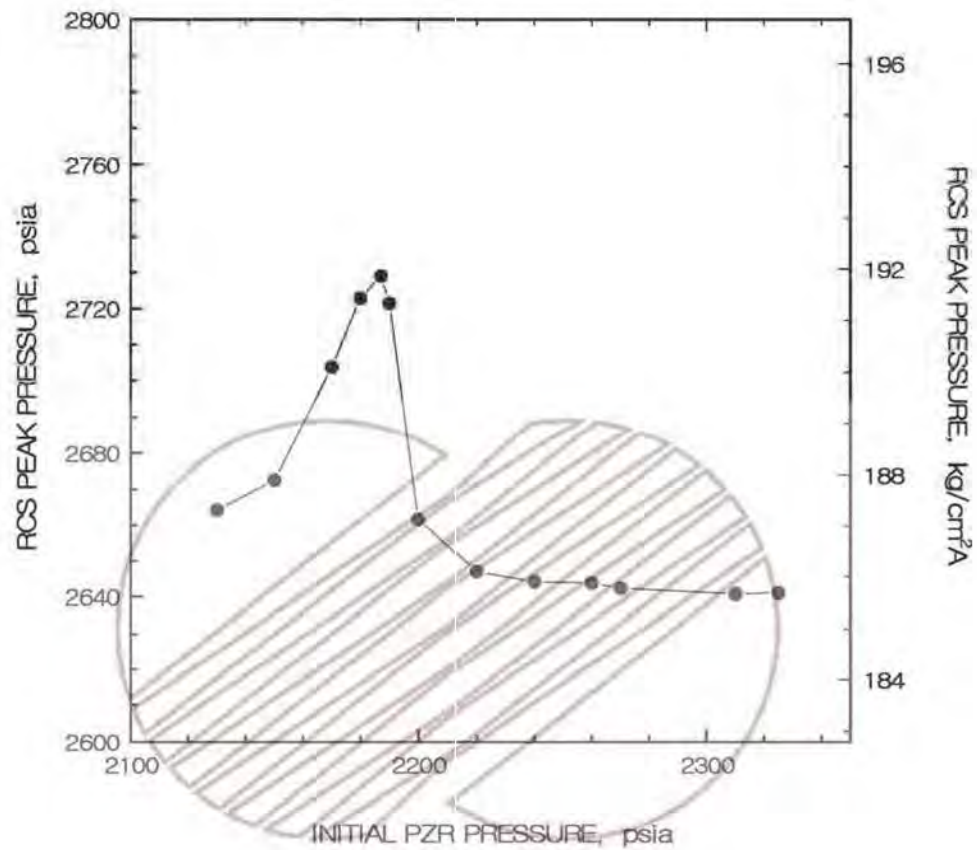
시간(초)	사	건	설정치 또는 값	
39.10	가압기안전밸브 폐쇄, $\text{kg/cm}^2\text{A}$ (psia)		147.73 (2,101.20)	33
46.75	주증기안전밸브 폐쇄(건전한 측 증기발생기), $\text{kg/cm}^2\text{A}$ (psia)		87.81 (1,248.96)	
50.70	주증기안전밸브 폐쇄(파단 측 증기발생기), $\text{kg/cm}^2\text{A}$ (psia)		87.81 (1,248.96)	33
51.60	건전한 측 증기발생기 수위의 보조급수작동신호 분석설정치 도달, % 광역수위		5	33
98.05	건전한 측 증기발생기로 보조급수 유량 주입 시작, L/min (gpm)		757.1 (200)	
204.0	증기발생기 압력의 주증기격리신호 분석설정치 도달, $\text{kg/cm}^2\text{A}$ (psia)		55.5 (789)	33 1 115
210.35	주증기격리밸브 폐쇄		-	33
231.60	양측 증기발생기 사이의 압력차이가 파단측 증기발생기로의 보조급수를 차단하기 위한 설정치에 도달, kg/cm^2 (psid)		25.31 (360)	
231.60	건전한 측 증기발생기 최소 재고량, kg (lbm)		909.45 (2,005.0)	33
232.75	파단측 증기발생기의 보조급수 완전 차단, 모든 가능한 보조급수는 건전한 측 증기발생기로 유입, L/min (gpm)		1,892.7 (500)	
455.0	주증기안전밸브 재개방, $\text{kg/cm}^2\text{A}$ (psia)		92.43 (1,314.70)	33
1,800.0	정지냉각 조건까지의 발전소 냉각을 위한 운전원의 조치시작		-	


신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 15A-3

주급수계통 배관파단사고에 대한 방사능영향 평가결과

<u>구 분</u>		<u>피폭선량(mSv)</u>	
1. 제한구역경계			
(0~2 시간) 선량			
갑상선	1.80E+02	33	1
전 신	1.95E+00		
2. 저인구지역 외곽경계			
(0~8 시간) 선량			
갑상선	9.51E+00	33	1
전 신	2.87E-01		

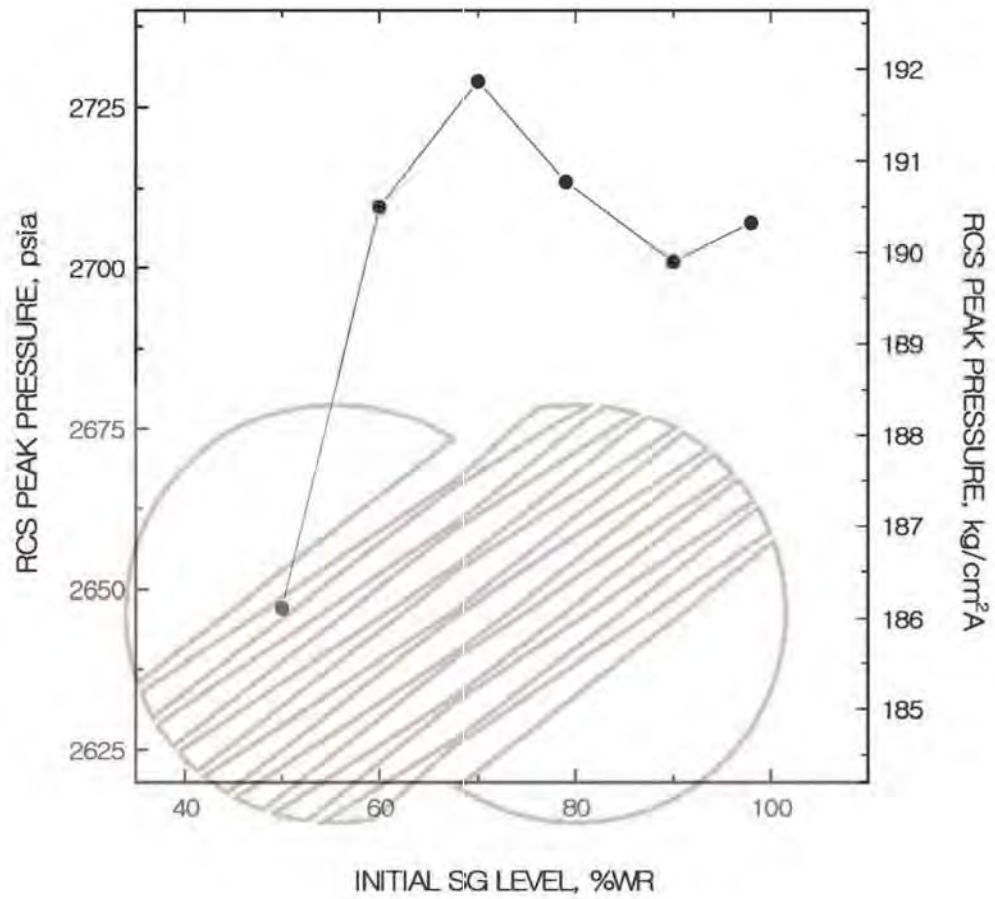




한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

주급수계통 배관파단사고 : 초기 가압기 압력에
따른 원자로냉각재계통 침투압력

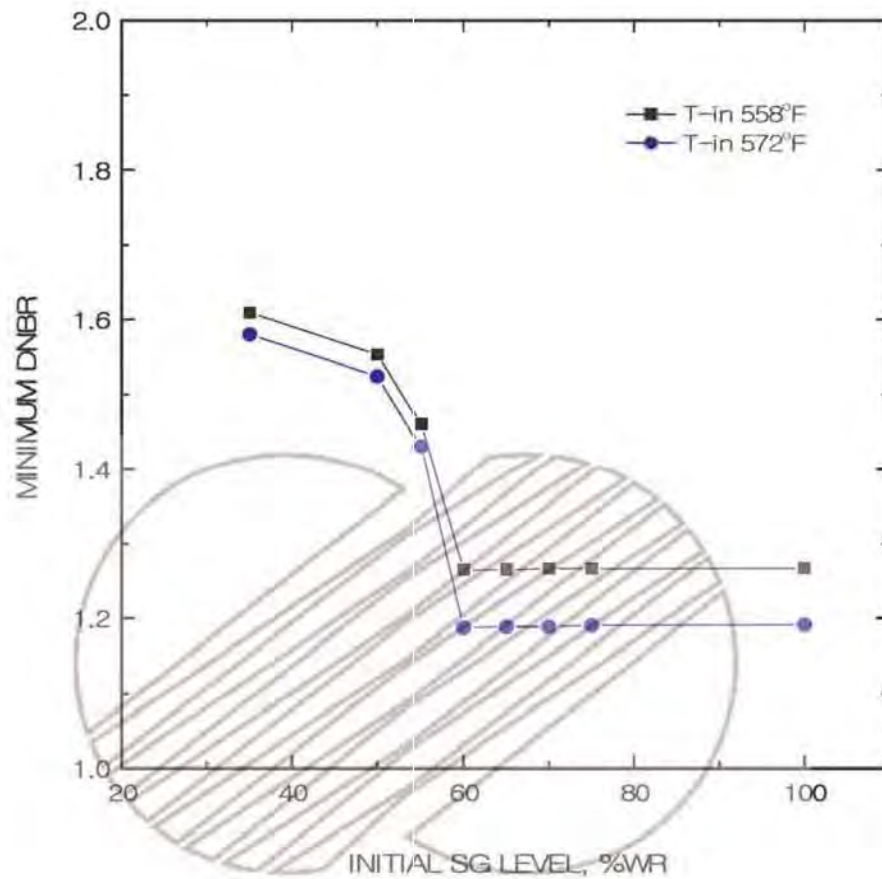
그림 15A-1



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

주급수계통 배관과단사고 : 초기 증기발생기
수위에 따른 원자로냉각재계통 침투압력

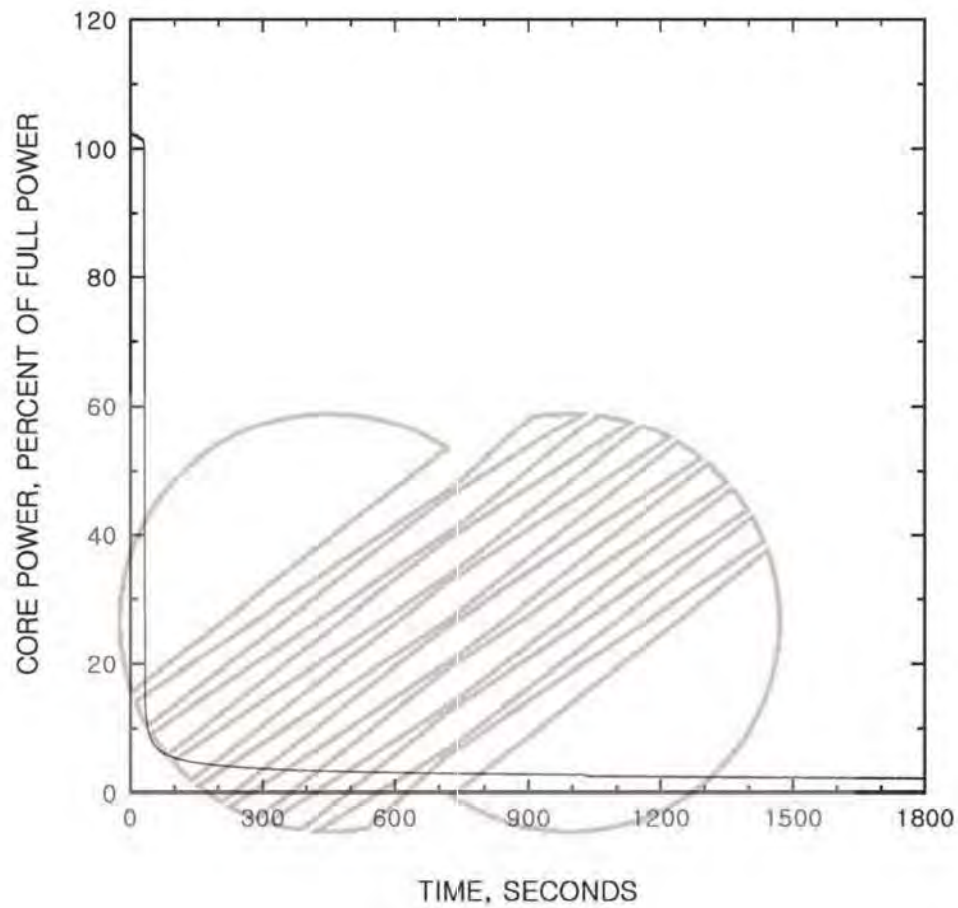
그림 15A-2



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

주급수계통 배관파단사고 : 초기 노심입구온도
및 초기 증기발생기 수위에 따른 핵비등이탈률

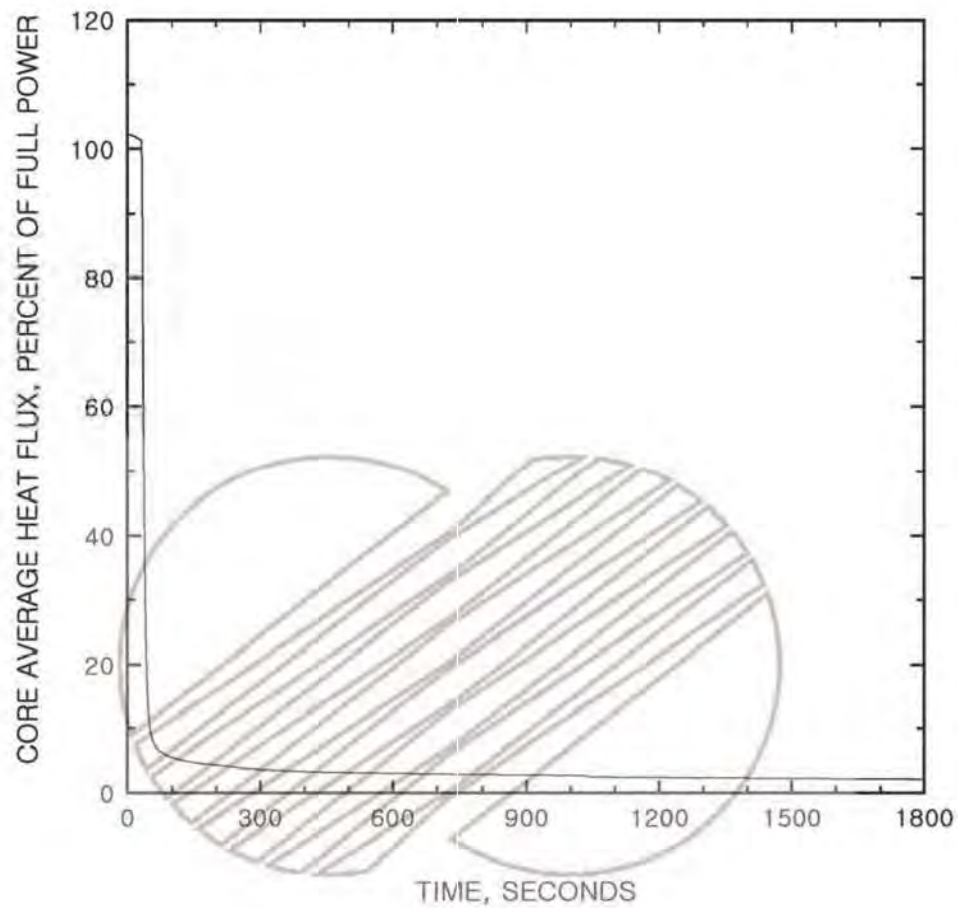
그림 15A-3



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

주급수계통 배관파단사고 : 시간에 따른
노심 출력 변화

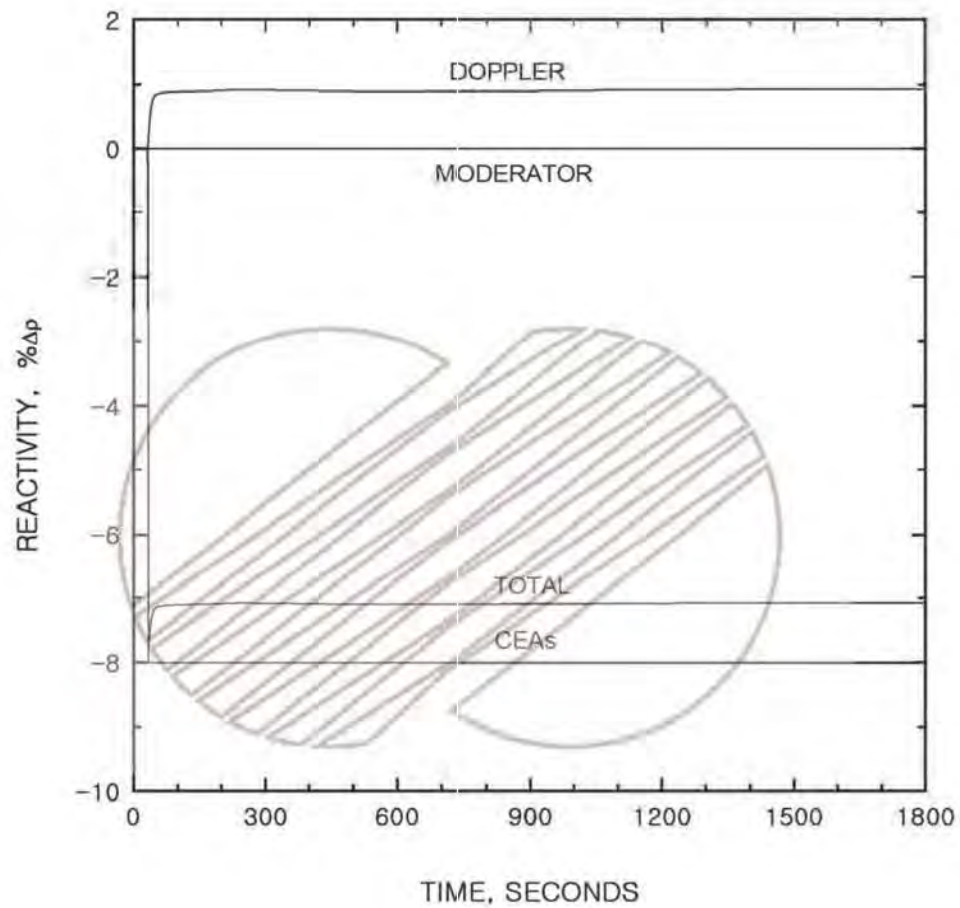
그림 15A-4



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

주급수계통 배관파단사고 : 시간에 따른
노심 평균열속 변화

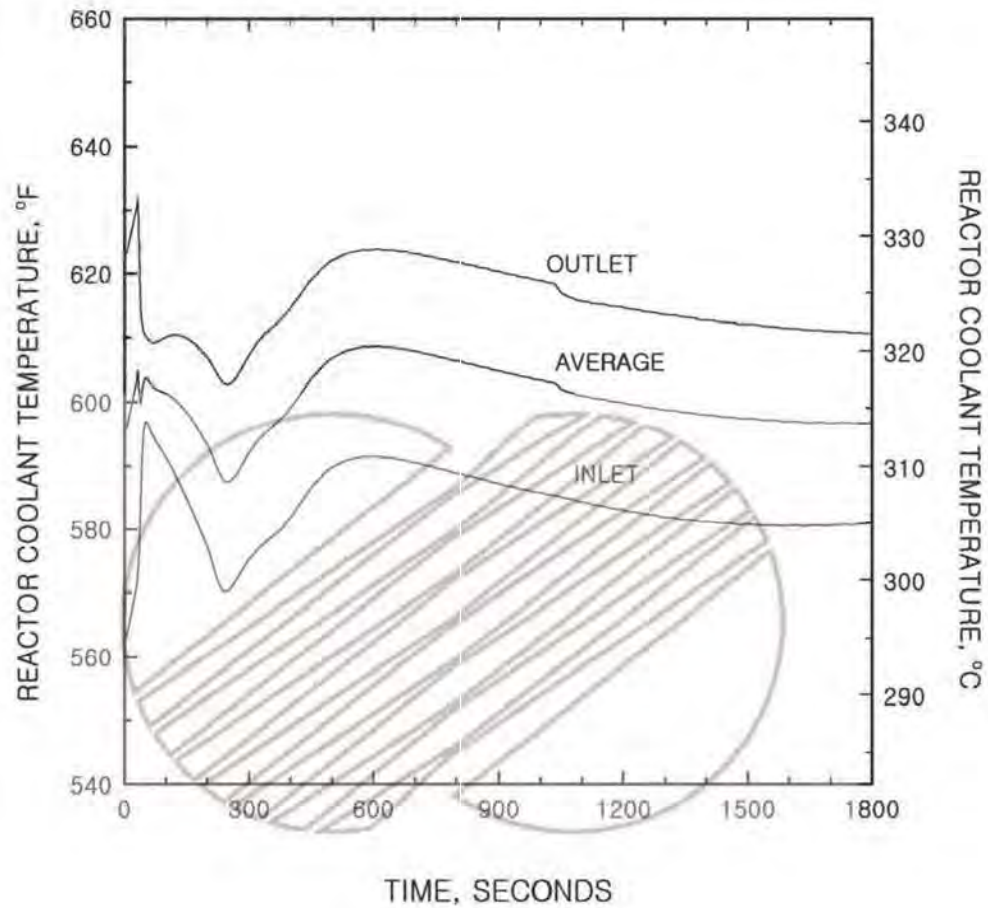
그림 15A-5



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

주급수계통 배관파단사고 : 시간에 따른
반응도 변화

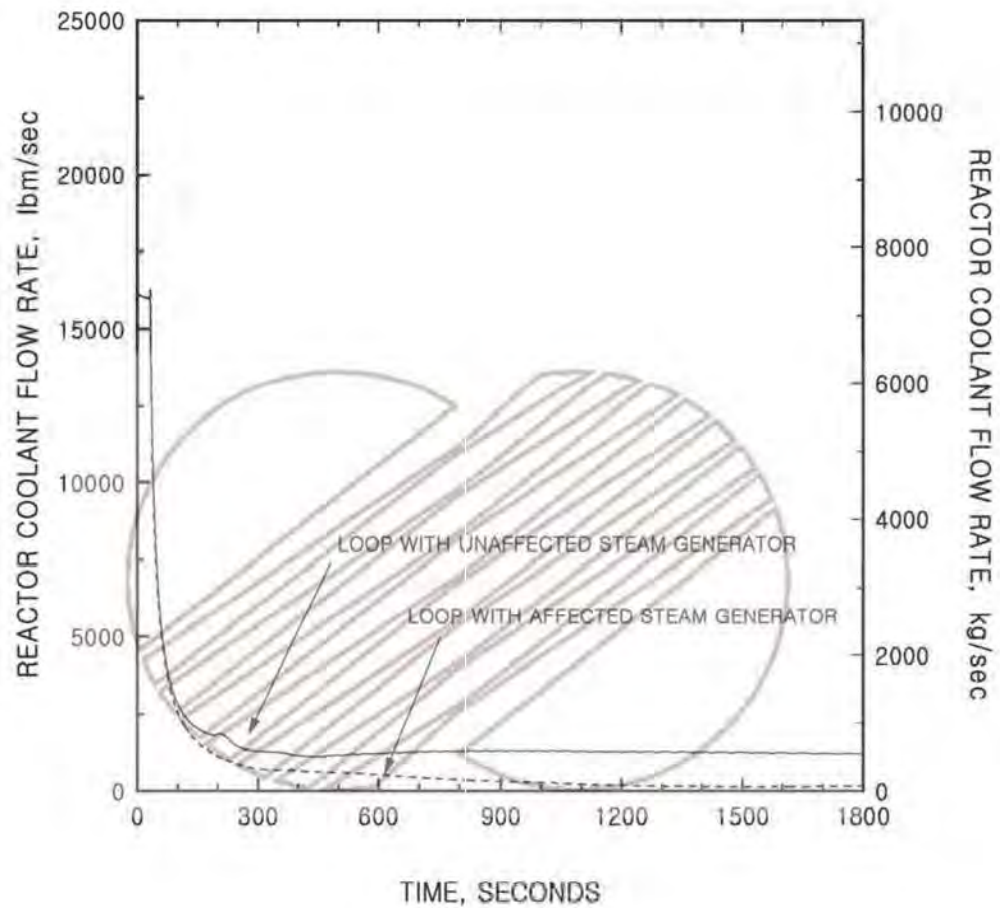
그림 15A-6



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

주급수계통 배관과단사고 : 시간에 따른
노심 냉각제온도 변화

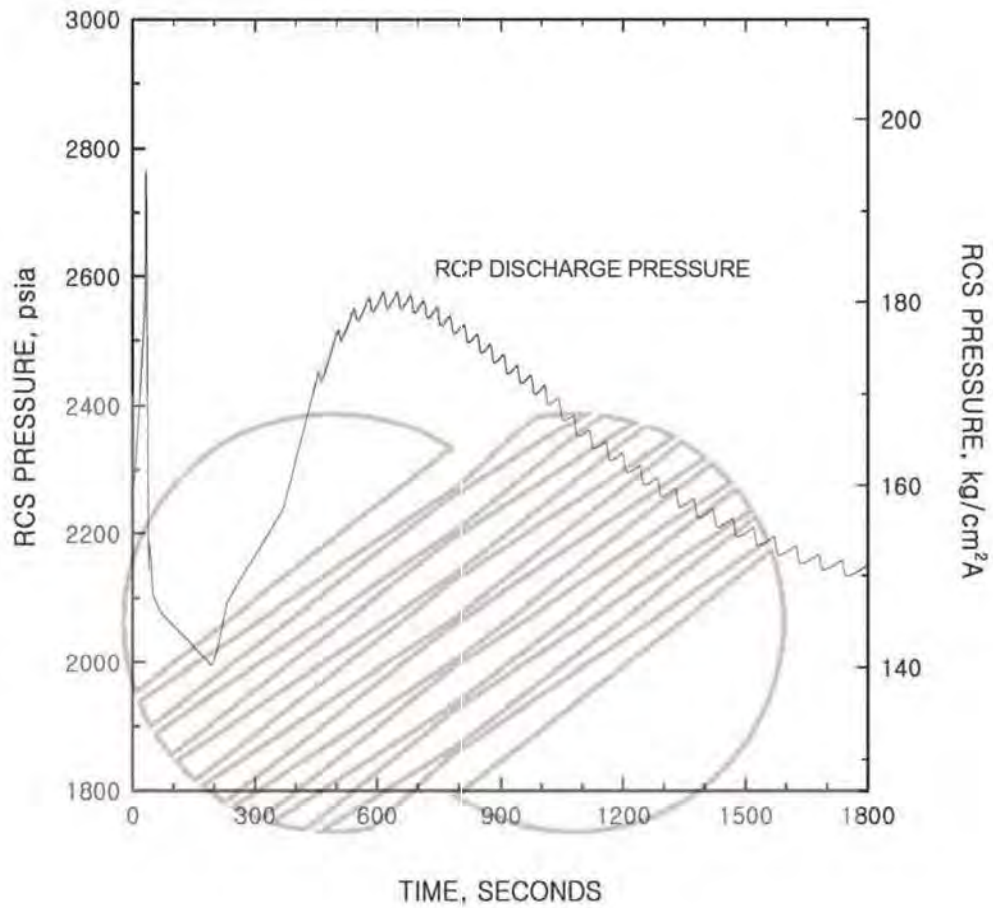
그림 15A-7



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

주급수계통 배관과단사고 : 시간에 따른
원자로냉각재 유량 변화

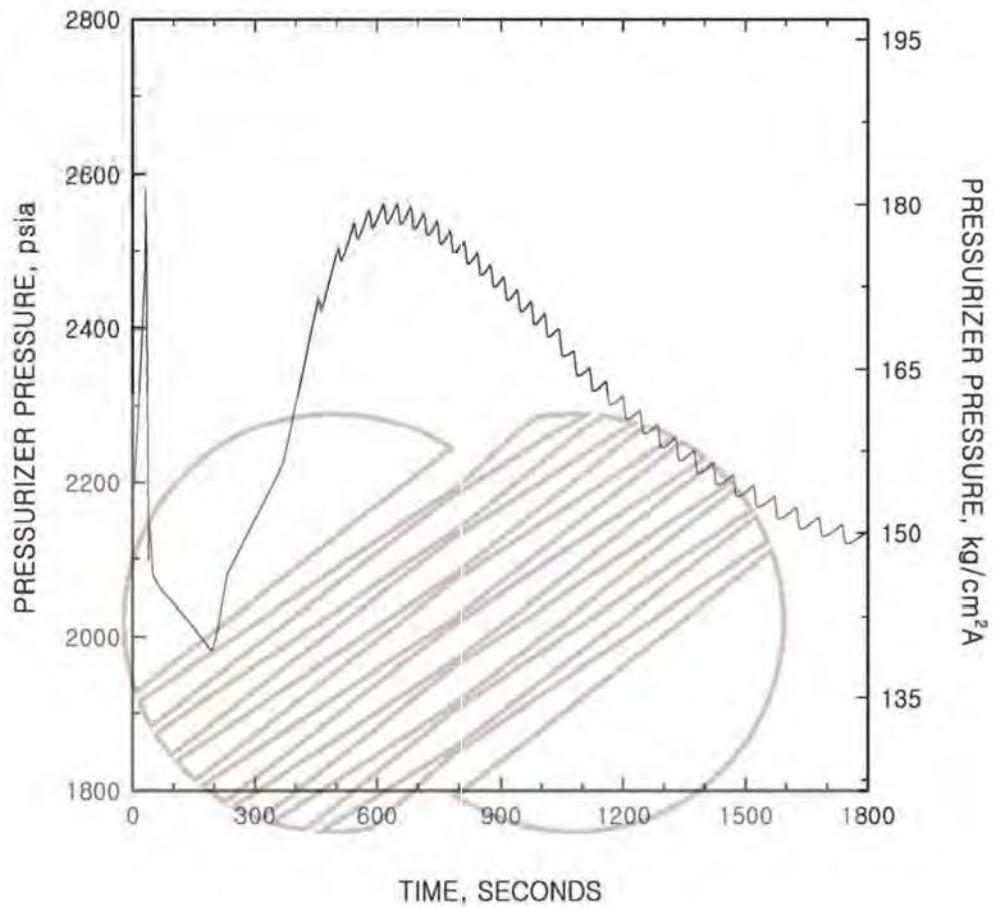
그림 15A-8



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

주급수계통 배관파단사고 : 시간에 따른
원자로냉각재계통 압력 변화

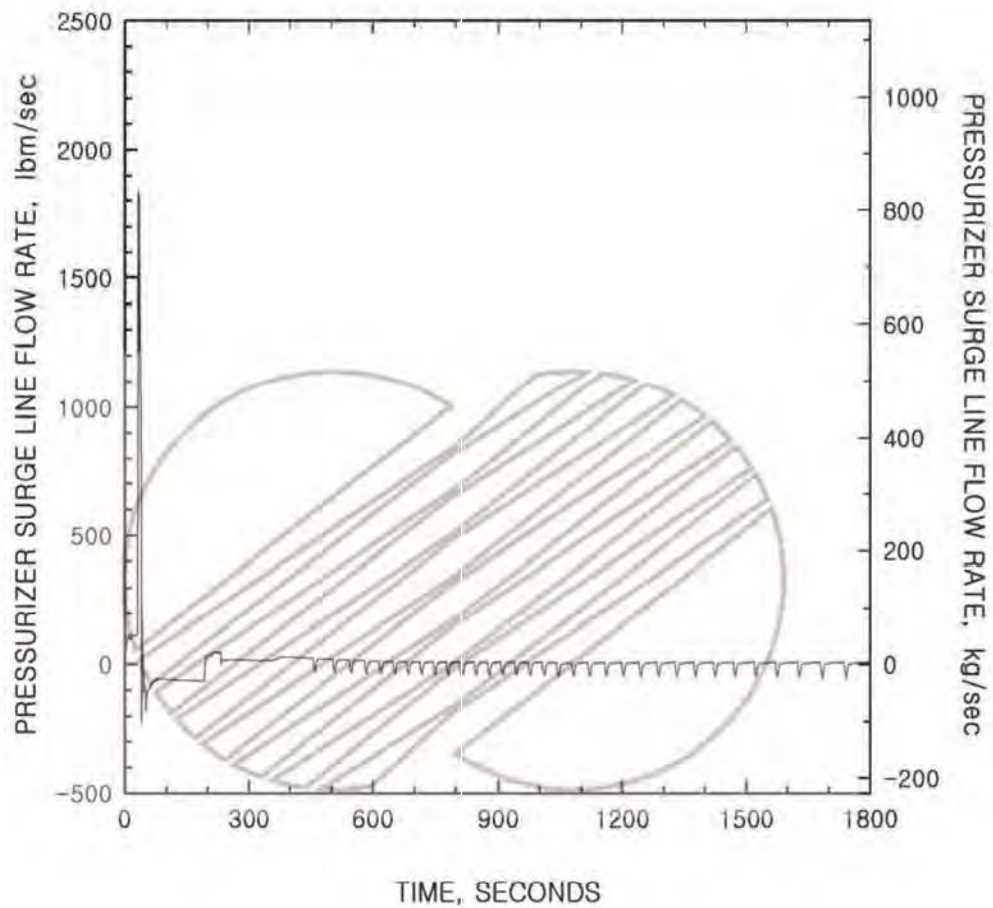
그림 15A-9



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

주급수계통 배관파단사고 : 시간에 따른
가압기 압력 변화

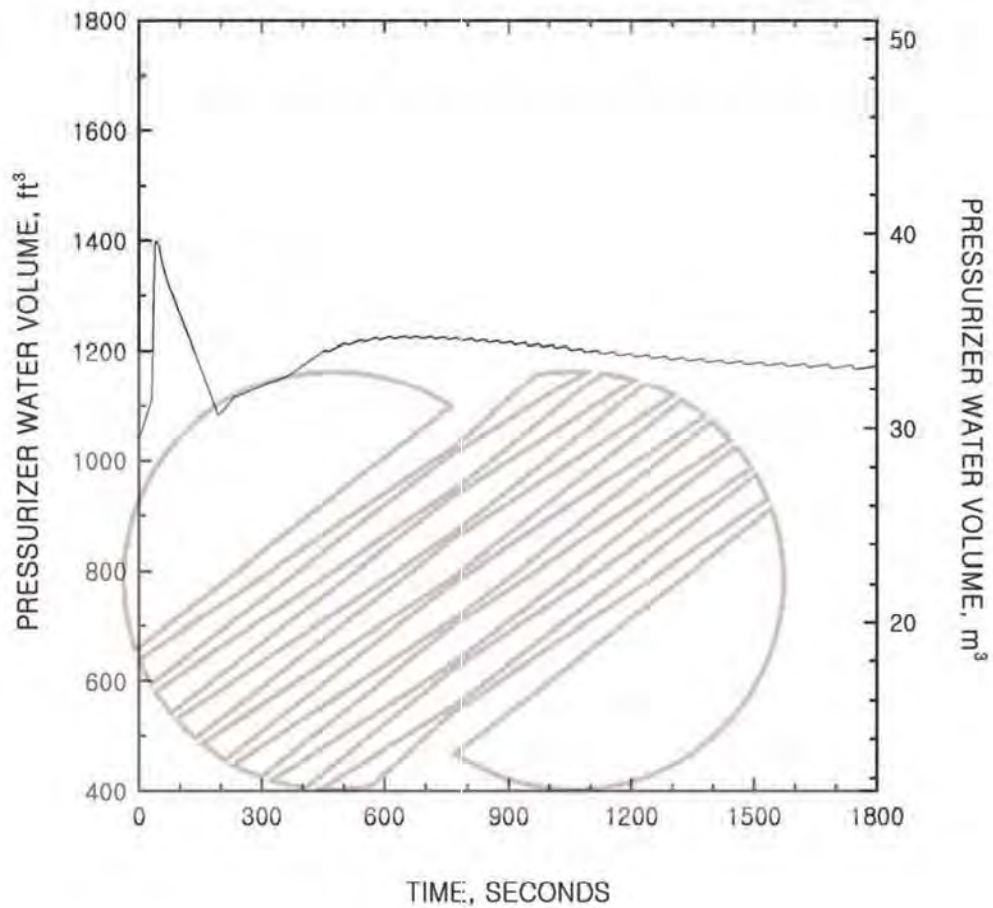
그림 15A-10



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

주급수계통 배관파단사고 : 시간에 따른
가압기 밀립관 유량 변화

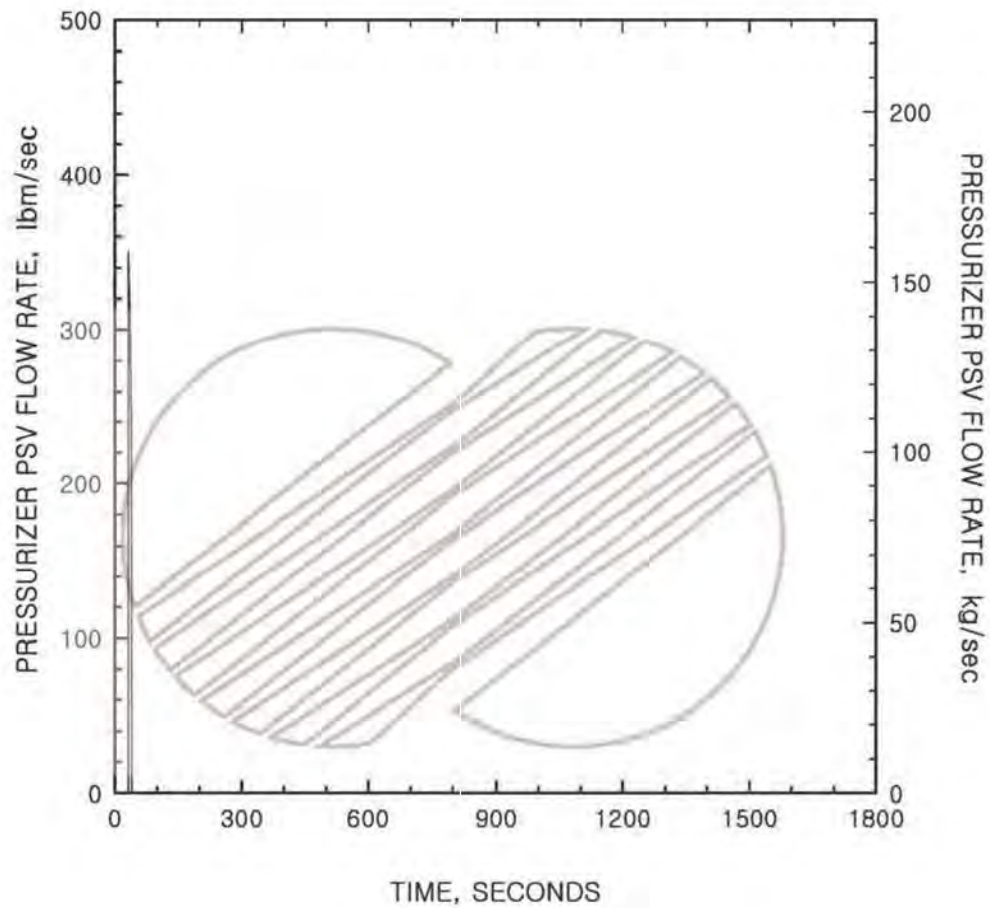
그림 15A-11




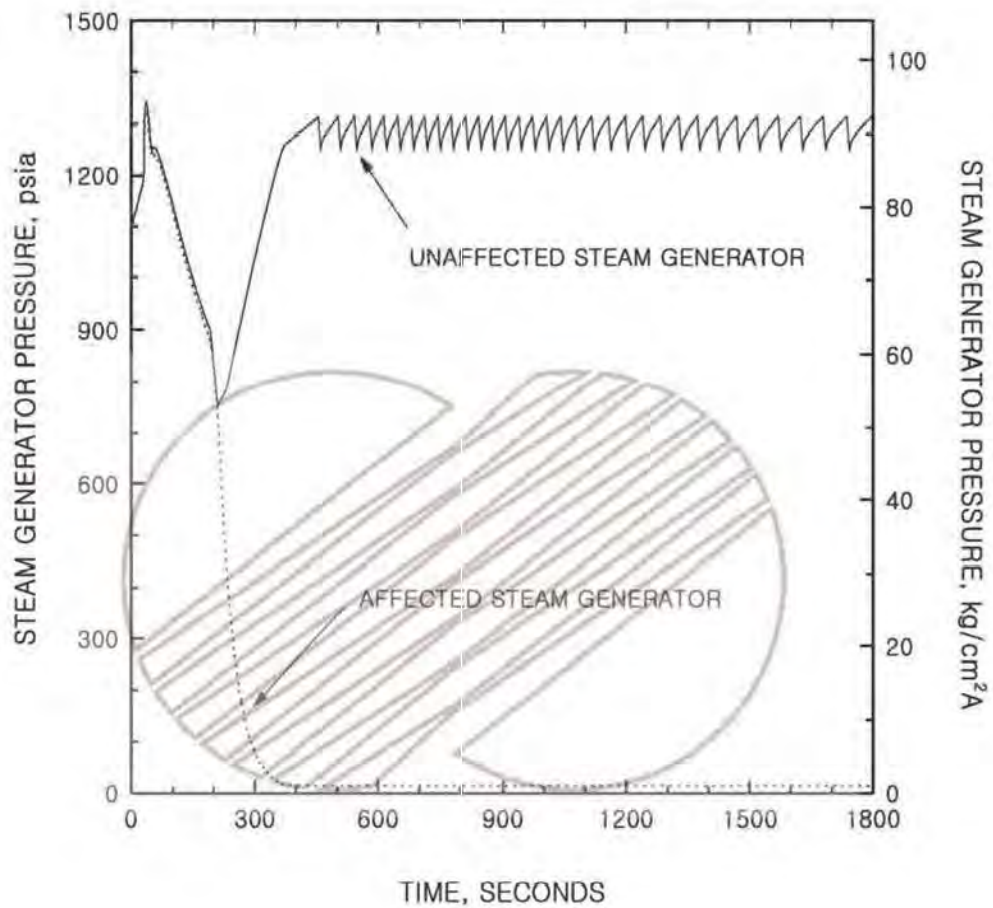
한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

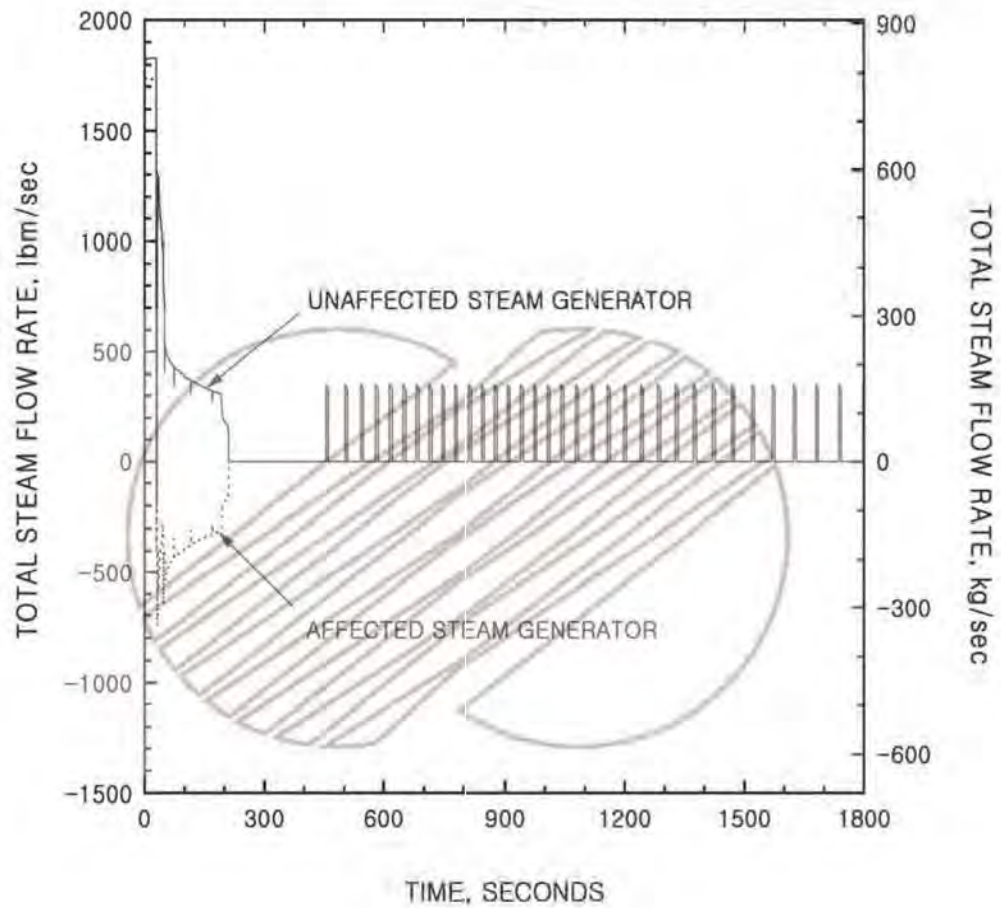
주급수계통 배관파단사고 : 시간에 따른
가압기 냉각제 체적 변화

그림 15A-12




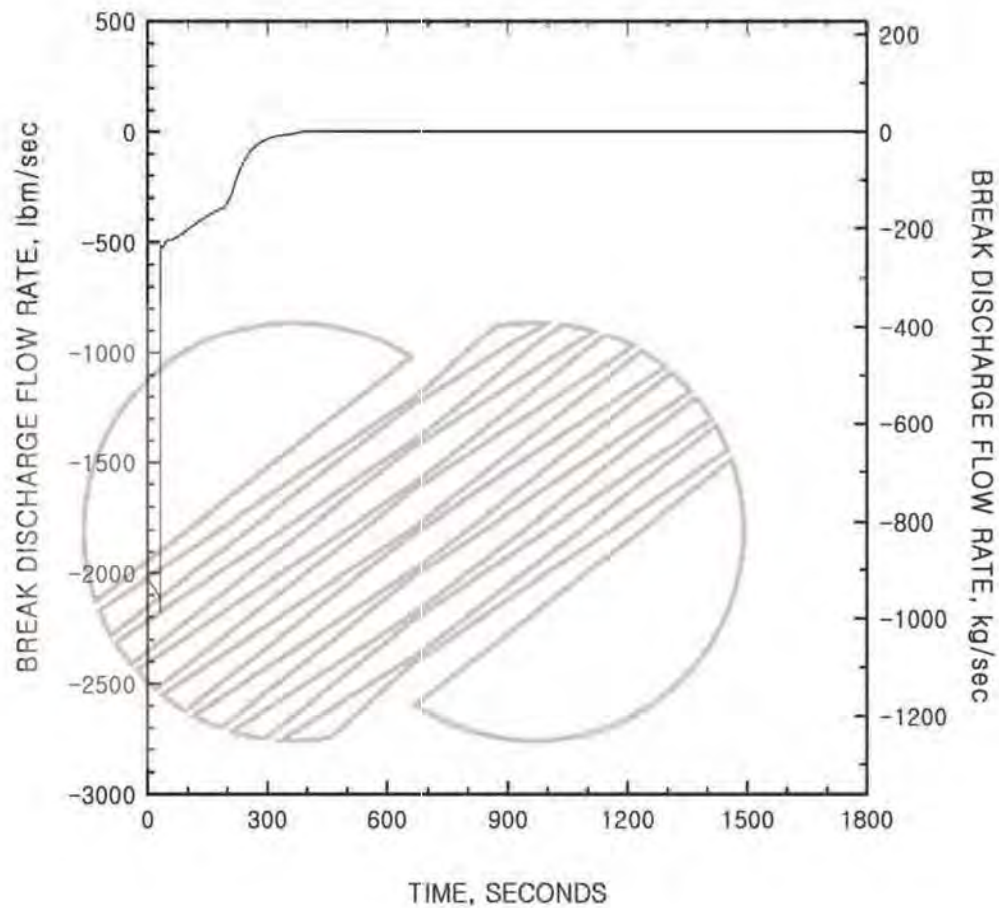
	한국수력원자력주식회사 신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서
	주급수계통 배관파단사고 : 시간에 따른 가압기안전밸브 유량 변화
그림 15A-13	





33
115

	한국수력원자력주식회사
	신고리 1,2호기
	최종안전성분석보고서
주급수계통 배관파단사고 : 시간에 따른 주증기유량 변화	
그림 15A-15	



33
115

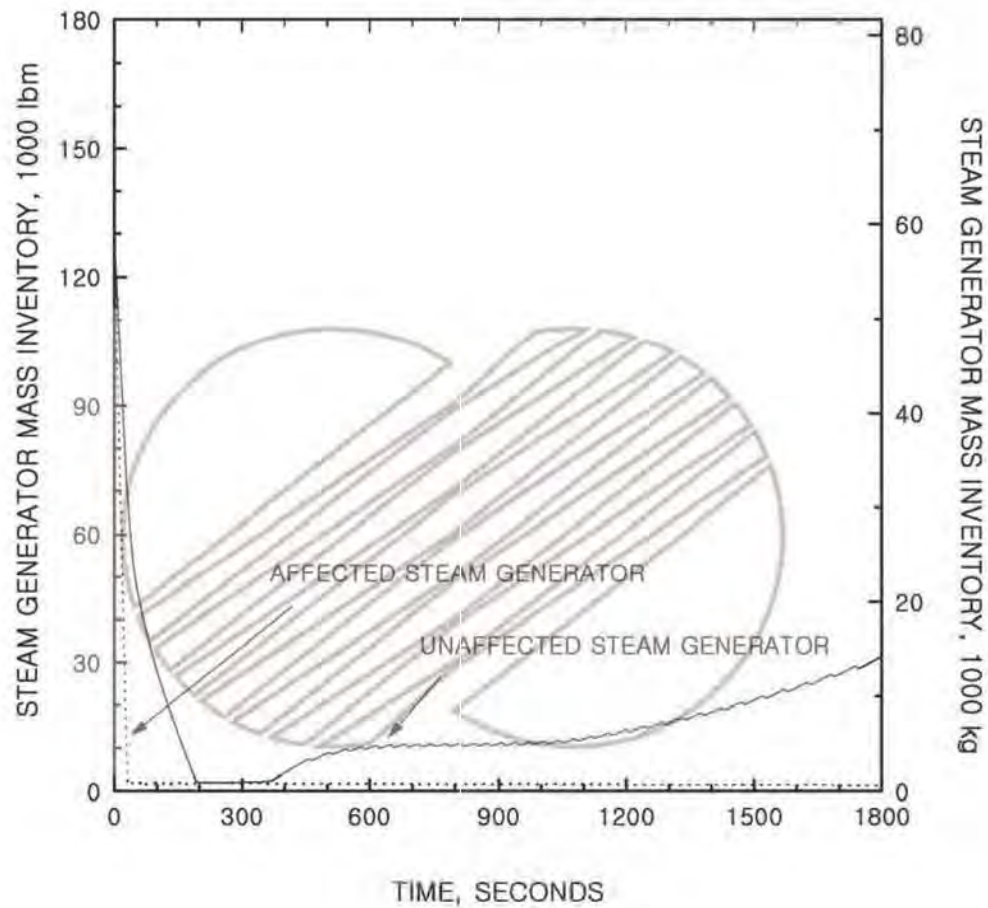


한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

주급수계통 배관파단사고 : 시간에 따른
방출유량 변화

그림 15A-16

33



33
115

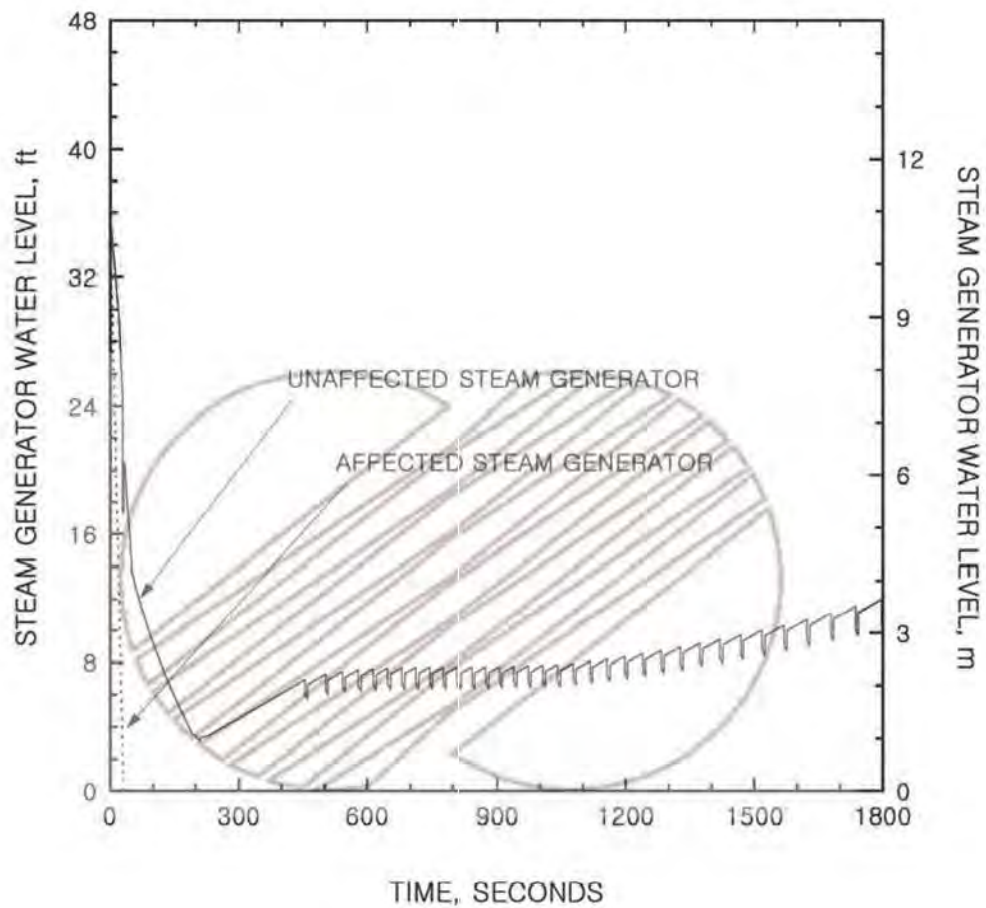


한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

주급수계통 배관파단사고 : 시간에 따른
증기발생기 재고량 변화

그림 15A-17

33



33
115

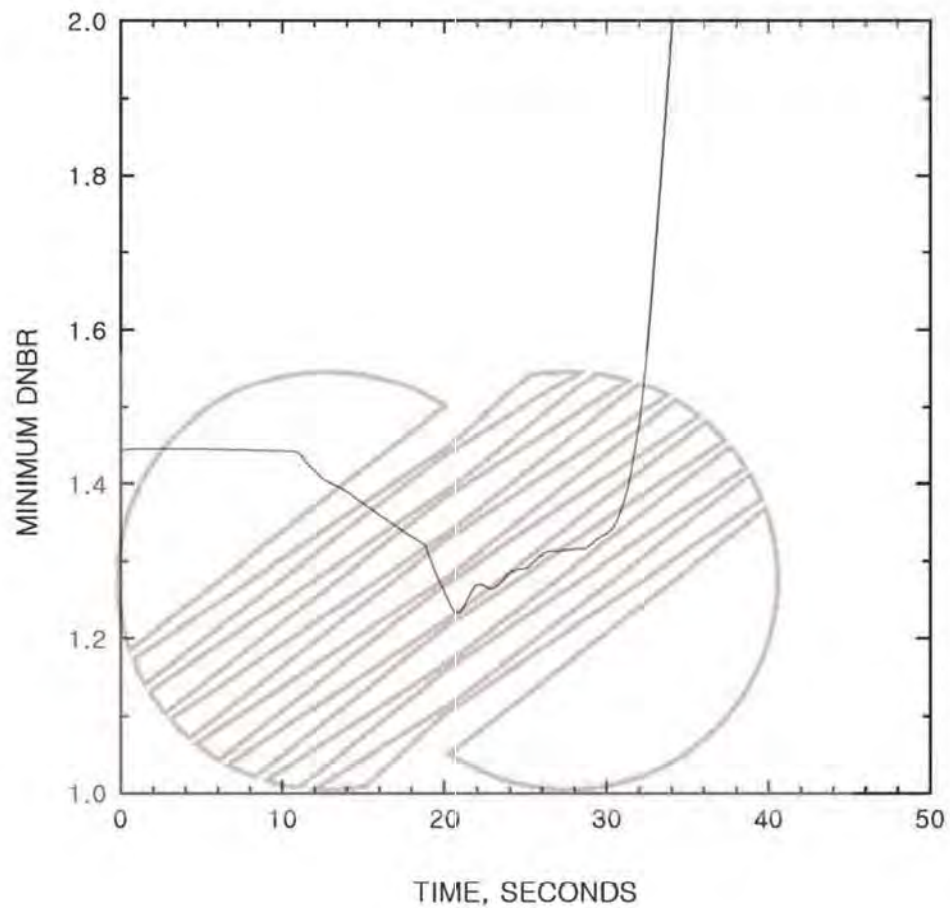


한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

주급수계통 배관과단사고 : 시간에 따른
증기발생기 수위 변화

그림 15A-18

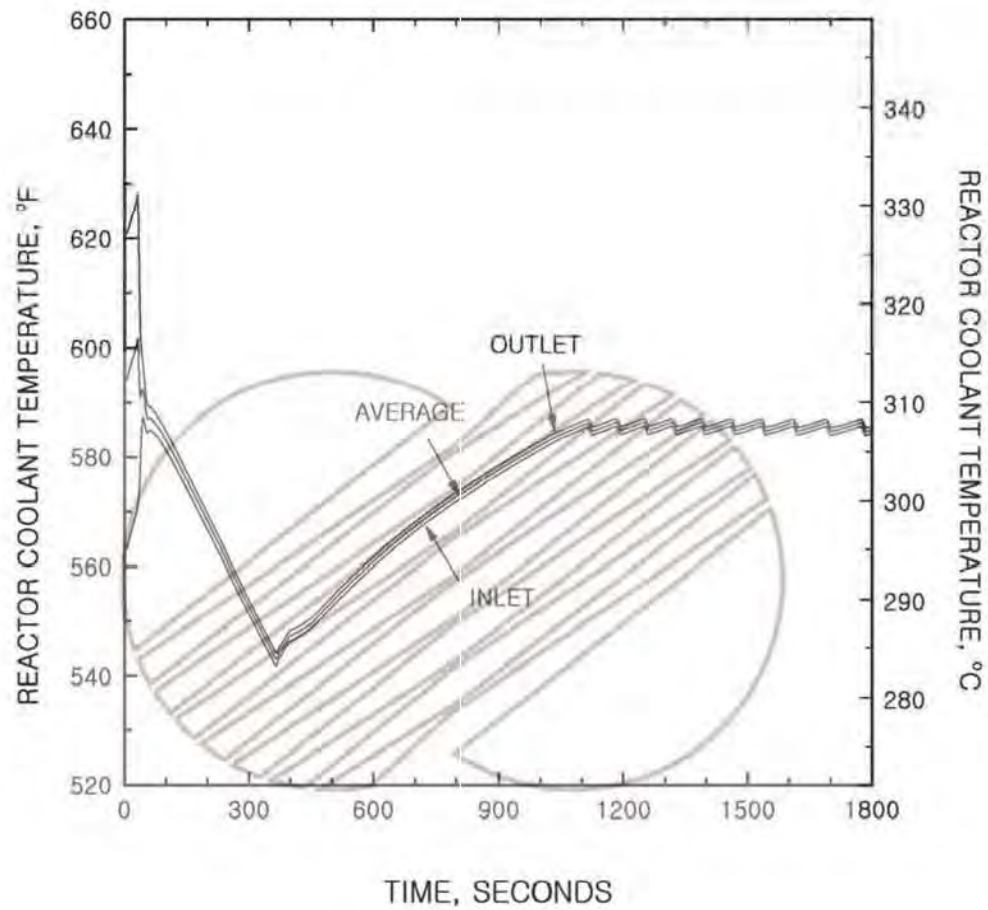
33




33
115

	<p>한국수력원자력주식회사 신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서</p>
<p>주급수계통 배관파단사고 : 시간에 따른 최소 핵비등이탈률 변화</p>	
<p>그림 15A-19</p>	

33



33
115

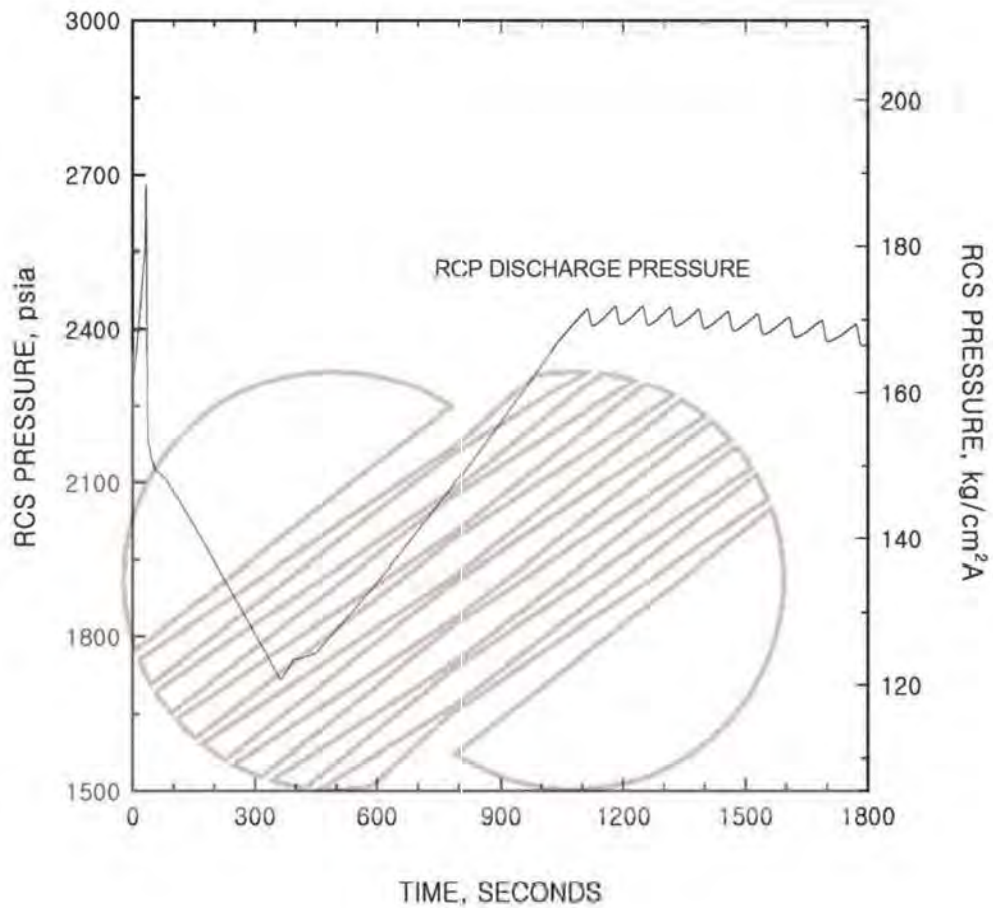


한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서


주급수계통 배관파단사고 (w/o LOOP):
시간에 따른 원자로냉각재 온도 변화

그림 15A-20

33



33
115

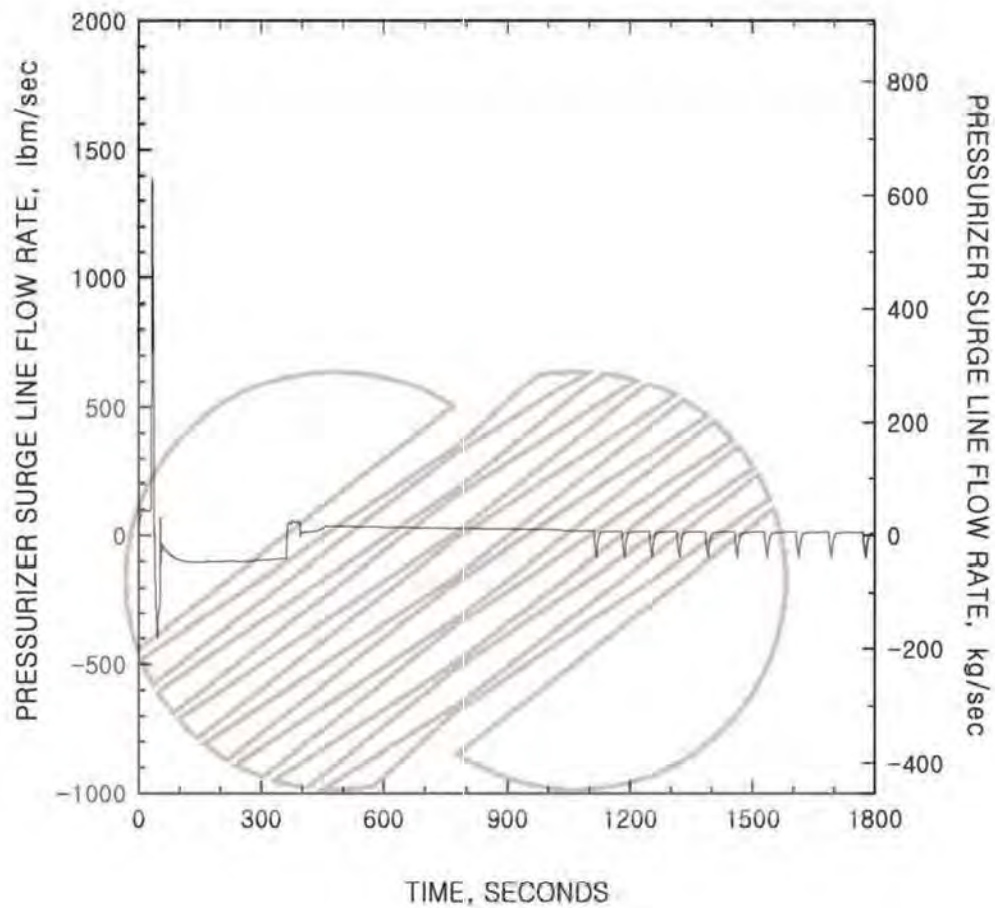


한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

주급수계통 배관파단사고 (w/o LOOP):
시간에 따른 원자로냉각재계통 압력 변화

그림 15A-21

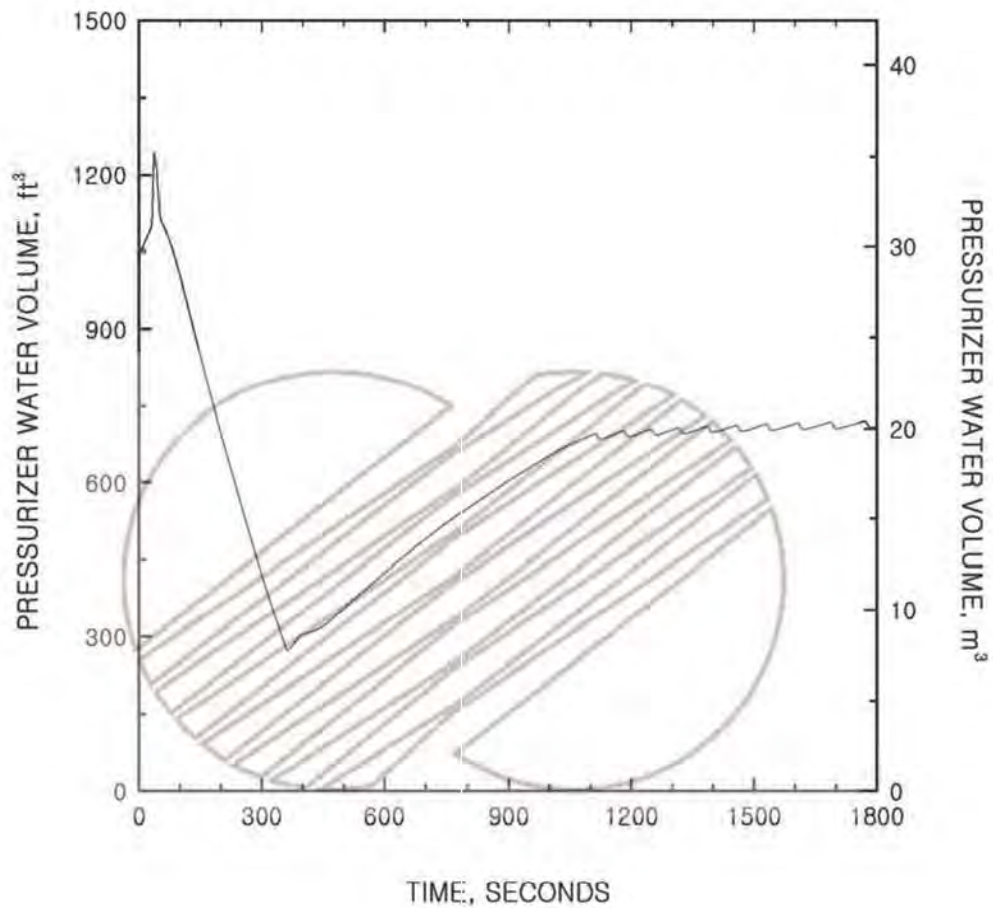
33



한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

주급수계통 배관파단사고 (w/o LOOP):
시간에 따른 가압기 밀림관 유량 변화

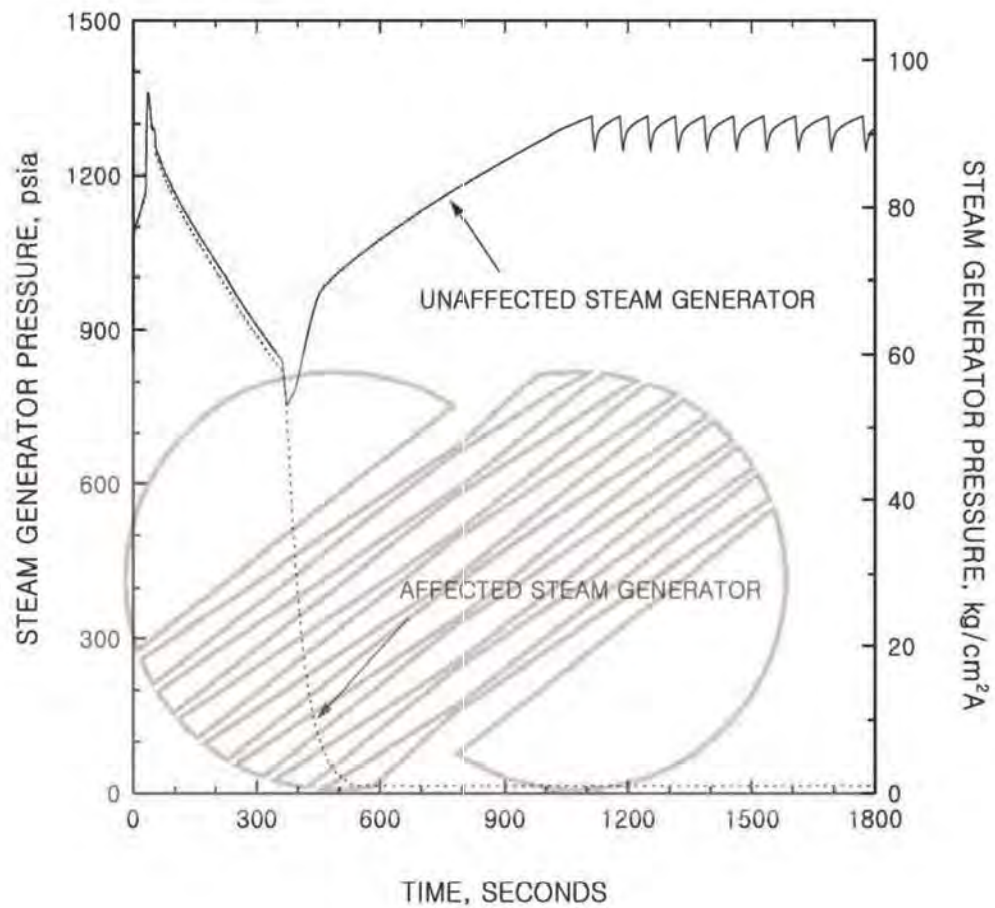
그림 15A-22

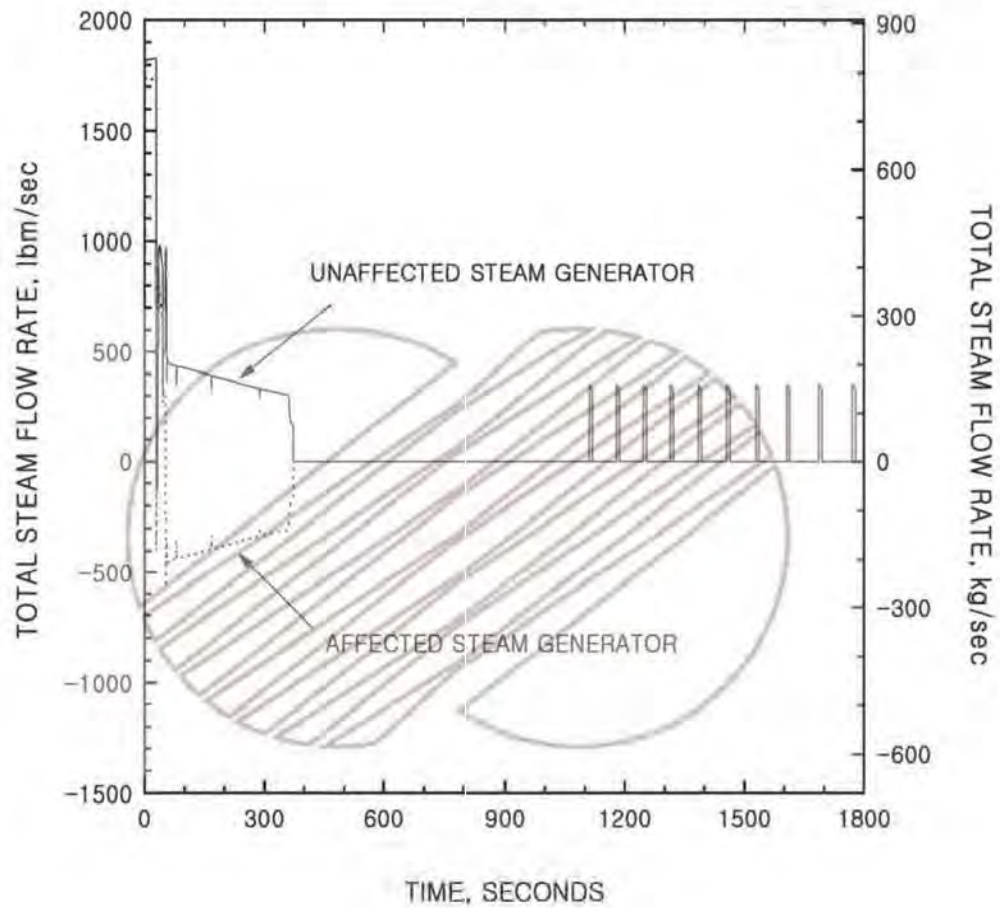


한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

주급수계통 배관파단사고 (w/o LOOP):
시간에 따른 가압기 냉각제 체적 변화

그림 15A-23





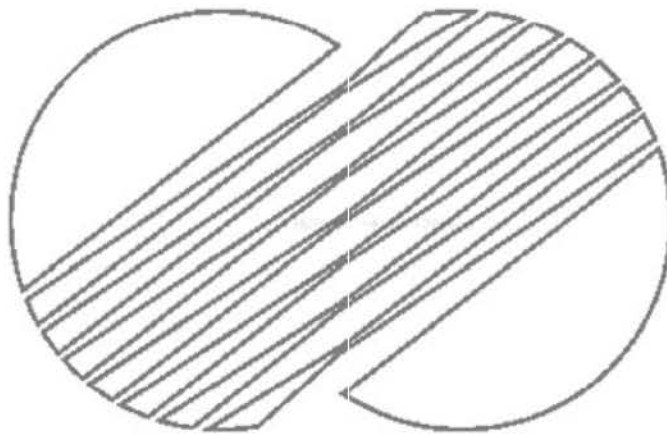
한국수력원자력주식회사
신고리 1,2호기
최종안전성분석보고서

주급수계통 배관파단사고 (w/o LOOP): 시간에
따른 총 증기 유량 변화

그림 15A-25

부록 15B

주증기관파단사고에 대한 해석방법



신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

부 록 15B - 주증기관파단사고에 대한 해석방법

목 차

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
15B.1	<u>서 론</u>	15B-1
15B.2	<u>수학적 모델</u>	15B-1
15B.2.1	원자로냉각재계통 및 주증기계통의 열수력학적 모델	15B-1
15B.2.2	핵적 모델	15B-3
15B.2.3	핵비등이탈률 계산방법론	15B-4
15B.3	<u>입력변수 및 초기조건</u>	15B-5
15B.3.1	일반사항	15B-5
15B.3.2	원자로정지 전의 핵연료성능 저하가 가장 큰 변수 및 초기조건	15B-7
15B.3.3	원자로정지 후의 핵연료성능 저하가 가장 큰 변수 및 초기조건	15B-10
15B.3.3.1	배경	15B-10
15B.3.3.2	초기조건	15B-11
15B.3.3.3	해석가정	15B-13
15B.3.3.4	단일고장	15B-15
15B.3.4	주증기계통에 대한 방사능 누출이 가장 큰 변수 및 초기조건	15B-16
15B.4	<u>참고문헌</u>	15B-17

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

부록 15B 주증기관파단사고에 대한 해석방법

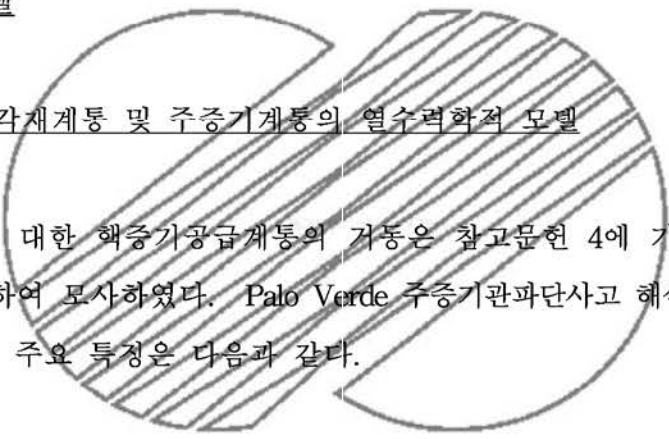
15B.1 서론

본 부록에서는 15.1.5절에 기술된 주증기관파단사고에 대한 핵증기공급시스템의 거동 해석에 사용된 해석방법론에 대하여 기술한다. 해석에 사용된 전산프로그램과 계산방법은 15B.2절에 기술하고, 핵연료피복재 성능 저하 및 이에 따른 방사능 누출을 최대화시키기 위하여 사용된 가정은 15B.3절에 기술한다.

15B.2 수학적 모델

15B.2.1 원자로냉각재계통 및 주증기계통의 열수력학적 모델

주증기관파단사고에 대한 핵증기공급시스템의 거동은 참고문헌 4에 기술된 CESEC-III 전산프로그램을 사용하여 모사하였다. Palo Verde 주증기관파단사고 해석에도 사용된 CESEC-III 전산프로그램의 주요 특징은 다음과 같다.

- 
- (1) 비대칭 사고시 원자로 노심에서의 반경방향 온도구배 효과를 모사하기 위한 상세한 원자로냉각재계통의 열수력학적 모델 및 독립된 원자로용기상부헤드의 모델
 - (2) 원자로냉각재계통 루프 운동량 모델과 함께 시간에 따른 원자로냉각재 유량을 독립적으로 계산하는 원자로냉각재펌프 모델
 - (3) 안전주입탱크 모델
 - (4) 원자로냉각재계통 금속 열전달 모델
 - (5) 3차원 반응도궤환 모델
 - (6) 붕소주입 및 혼합 모델

원자로용기 냉각재 전체유량의 약 1%만이 유입된다고 가정하는 원자로용기상부헤드 영

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

역의 독립된 모델은 원자로용기내에 기포를 발생시킬 수 있는 사고에 대해서 원자로냉각재계의 압력을 정확히 계산할 수 있다. 원자로냉각재계의 금속 열전달 모델은 상부헤드 영역의 유체와 금속(원자로용기 벽과 피복재, 상부안내구조물 및 제어봉집합체 안내관 슈라우드를 포함) 사이의 열전달을 모사한다.

원자로냉각재계의 압력이 증가 또는 감소하는 경우 원자로용기상부헤드 영역의 기포발생을 다루는 수학적 모델은 기포의 거동을 사실적으로 모사할 수 있다. 원자로냉각재계의 압력이 감소하는 동안 원자로용기상부헤드 영역의 기포는 서서히 증가하며 이 모델은 이 기간 동안에 기포의 거동을 상세히 모사한다. 그러나 사용된 전산프로그램에는 원자로용기상부헤드 영역의 비평형 상태가 모델되어 있지 않으므로 원자로용기상부헤드 영역에서의 기포의 소멸은 원자로냉각재계의 압력이 증가할 때 상대적으로 급격히 감소한다. 실제로는 기포는 압력이 증가함에 따라 압축되어 서서히 없어진다. 기포가 상대적으로 빨리 없어지면 원자로냉각재계의 압력은 원자로용기상부헤드 영역에 비평형모델을 사용하는 경우보다 낮을 것이다. 원자로용기상부헤드의 수학적 모델은 이와 같은 문제를 원자로용기상부헤드 영역의 기포가 응축될 때 이 영역의 증기 기포 체적을 가압기에 포함시킴으로써 해결한다. 가압기 증기 체적은 이에 따라 증가하게 된다. 이와 같이 원자로용기상부헤드 영역을 모사하면 사고진행중 원자로냉각재계의 압력이 상대적으로 높게 유지되며 따라서 붕소가 포함된 안전주입유량이 적게 유입된다. 붕소반응도의 삽입이 적을수록 재임계 도달 및 최소 핵비등이탈률 관점에서 보수적인 결과를 얻는다.

재장전수탱크와 원자로냉각재계통 저온관 사이의 붕소전달 현상을 모사한 붕소주입모델은 두 가지 효과를 고려한다. 첫째는 고압 및 저압 안전주입펌프와 저온관 사이의 안전주입 유로에서 초기 붕소농도가 불균일하게 분포될 수 있는 가능성을 고려하여 이 영역의 노드를 모사한다. 둘째는 붕소가 안전주입과 함께 주입될 때 붕소주입 노즐과 노심 사이 영역에서의 붕소의 혼합과 관련된 효과이다. 새로 주입된 붕소는 해당되는 열수력학적 노드의 하류로만 혼합되거나 주입되는 노드 전체에서 혼합된다고 가정할 수 있다. 15.1.5절에서 다루는 주증기관파단사고의 경우, 저온관 노드 중에서 혼합된 붕소농도에 영

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

향을 주는 영역의 비율을 보수적으로 1.0으로 가정한다.

주증기관파단사고중 원자로용기 하향유로(downcomer)를 흐르는 냉각재의 온도가 감소할 때 노외중성자속계측기 응답에 미치는 영향을 모사하기 위해 CESEC-III 전산프로그램에서는 역보정계수(dec calibration factor)를 사용한다. 중성자감쇠의 증가에 의한 노외중성자속계측기 역보정은 주증기관파단사고시 노심 고출력 정지신호 발생을 지연시킨다.

노심 고출력 이외에 주증기관파단사고시 일어날 수 있는 원자로정지 기능 중에서 CESEC-III 전산프로그램에 직접 모사되어 있는 정지기능에는 증기발생기 저압력, 가압기 저압력(참고 문헌 4의 17절), 원자로냉각재펌프측 저속도와 가변과출력제한치(variable overpower ceiling) 등에 의한 노심보호연산기(core protection calculator) 정지기능이 있다. 주증기관 파단사고와 동시에 소외전원상실을 가정한 경우, 소외전원상실에 의한 원자로냉각재펌프의 감속에 의해 노심보호연산기에 의한 원자로정지신호가 발생하여 원자로가 정지된다.

15B.2.2 핵적 모델

시간에 따른 노심출력은 CESEC-III 전산프로그램에서 6개의 지발군을 가지는 점 동특성(six delayed group point kinetics)모델을 이용하여 계산하며, 감속재, 도플러, 붕소 및 정지제어봉집합체에 의한 반응도가 각각 모사되어 있다. 감속재 및 도플러 반응도함수는 3차원 ANC(4.3.4절에 기술되어 있음)전산프로그램을 사용하여 계산하며, CESEC-III 전산프로그램의 입력으로 사용하기 위해 평균 감속재밀도 및 유효 핵연료온도의 함수로 각각 계산된다. 정지제어봉집합체 삽입에 따른 제어봉집합체의 정지반응도(하나의 제어봉집합체가 고착된 경우)와 역 붕소가(reciprocal boron worth)에 사용되는 값도 ANC 전산프로그램을 사용하여 계산한다. 15.1.5절에 기술된 주증기관파단사고 해석에서는 원자로정지 후 반응도 삽입이 가장 큰 주기말 운전에서의 반응도계수를 사용한다.

CESEC-III 전산프로그램에서는 3차원 반응도궤환 모델로 노심입구 온도 분포, 제어봉집

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

합체 고착 및 노심출력 분포의 변화와 관련된 3차원 반응도궤환 효과를 고려할 수 (삭제) 있지만 (삭제) 15.1.5절에 기술된 주증기관파단사고 해석에서는 사용되지 않는다.

33

15B.2.3 핵비등이탈률 계산방법론

전출력 주증기관파단사고의 경우, 고온수로에서의 원자로정지전 핵비등이탈률은 15.0.3.1.6절에 기술된 CETOP 전산프로그램 및 15.0.5절에 기술된 KCE-1 임계열속상관식을 이용하여 계산한다. 초기 축방향 노심출력 분포는 정상상태 조건하에서 노심운전제한치감시계통에서 허용하는 축방향 출력편차중 가장 보수적인 값을 이용하여 결정된다. (삭제)

33

33

초기 출력분포는 사고가 시작되어 원자로가 정지될 때까지 사용된다. 핵비등이탈률을 계산하기 위해 평균노심열유속, 원자로냉각재유량, 원자로냉각재계통 압력 및 노심입구 온도를 CESEC-III 전산프로그램에서 계산하여 CETOP 전산프로그램의 입력으로 제공된다. CETOP 전산프로그램의 입력으로 사용되는 반경방향 침투계수는 출력운전한계를 벗어나지 않는 축방향 출력편차 중에서 가장 보수적인(15B.3.2절 참조) 값에 해당되는 계수이다.

원자로정지 후 주증기관파단사고에서의 핵비등이탈률을 계산하는 방법은 위에서 설명한 원자로정지 전 경우의 방법론과 다르다. 그 이유는 원자로정지 전의 경우에 사용되는 KCE-1 상관식의 범위가 낮은 압력과 낮은 유량조건을 포함하지 못하기 때문이다. 따라서 MacBeth 핵비등이탈률 상관식(참고문헌 1과 2)이 원자로정지 후 재임계 도달 기간중의 핵비등이탈률의 여유도를 보여주기 위해 사용된다.

33

MacBeth 상관식은 질량유속, 노심입구 과냉각, 압력, 가열되는 지름 및 수로 길이와 임

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

계열속과의 관계를 나타낸다. 이 상관식은 수로 열평형을 적용하여 국부조건 형태로 변환된다. 이러한 국부조건 형태의 상관식을 이용하여 참고문헌 3에 기술되어 있는 방법인 비평형 축방향 열전달 효과를 고려하여 고온수로(고착된 제어봉집합체 근처)의 높이의 함수로 임계열속을 계산한다. MacBeth 상관식 및 비평형 축방향 열전달 효과를 고려한 고온수로에 대한 임계열속 및 핵비등이탈률의 계산은 HRISE 전산프로그램(15.0.3.1.8 절 참조)을 사용한다.

주증기관파단사고시 원자로정지 후 재임계 도달에서의 개방된 노심에 대한 고온수로의 국부건도는 핵분열에 의한 출력이나 노심의 평균질량유속에 관계없이 작은 값으로 계산된다. 이러한 현상은 집합체 교차유동(assembly cross flow)에 의한 효과 때문에 일어난다. 고온수로의 상부에 낮은 밀도의 액상의 냉각재나 기포가 존재하면 원자로정지 후 출력생성이 노심하부에서 일어난다. 재임계 도달 후 핵비등이탈률 계산에서는 (삭제)

33

모든 가능한 출력분포를 포함하기 위해 보수적인 3차원 침투계수를 사용한다. HRISE 전산프로그램에서는 폐쇄수로 열평형 모델을 사용하여 고온수로 높이의 함수인 엔탈피를 보수적으로 계산한다. 고온수로의 입구 엔탈피는 파단측 증기발생기가 있는 쪽 루프의 노심입구의 유체에 대해 CESEC-III 전산프로그램이 예측한 평균엔탈피와 같은 값을 취한다. 최대 엔탈피는 교차유동효과를 고려하기 위해 계통압력에서 25% 건도에 해당되는 값으로 제한된다. 재임계도달 기간 중에 계통의 압력 및/또는 질량 유속이 Macbeth 상관식의 승인된 범위를 벗어나는 경우에는 최소 핵비등이탈률 평가결과에 0.83의 보정계수를 곱하여 핵비등이탈률을 보수적으로 평가한다 (참고문헌 5).

33

15B.3 입력변수 및 초기조건

15B.3.1 일반사항

주증기관파단사고의 결과는 다음 기준에 대하여 평가된다.

가. 과압

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

나. 핵연료 성능

다. 방사능 누출

주증기관파단사고는 초기에 압력이 감소하는 사고이다. 증기발생기가 고갈된 후 운전원이 개입하기 전까지의 사고기간 중에 안전주입펌프유량, 붕괴열 그리고 고온의 원자로냉각재계의 벽과 구조물로부터 냉각재로의 열전달에 의해 재가압이 일어날 수 있다. 그러나 보조급수계통과 가압기 및 주증기안전밸브들은 원자로냉각재계통과 주증기계통 압력을 설계압력 이하로 유지하면서 이러한 열원으로부터의 과도한 에너지를 방출하기 위해 설계되어 있다. 따라서 입력변수 및 초기조건을 주증기관 파단으로 인한 사고해석에서 과압을 최대한 하도록 선택하지 않는다.

주증기관파단사고에서 핵연료성능의 저하는 원자로정지전 또는 원자로정지중에 발생할 수도 있고(이후부터 ‘원자로정지 전’ 경우라고 칭함) 원자로정지 후 재임계 도달 기간이나 임계로 접근하는 기간동안에서도 발생할 수 있다(이후부터 ‘원자로정지 후’ 경우라고 칭함). 원자로정지 전 핵연료성능 저하를 최대화하는 입력변수와 초기조건은 15B.3.2절에 기술되어 있고, 원자로정지 후 핵연료성능 저하를 최대화하는 입력변수와 초기조건은 15B.3.3절에 기술되어 있다. 핵연료성능 평가는 핵비등이탈률을 통하여 이루어진다. 따라서 핵연료성능 저하의 가능성은 가압경수형 원자로의 주증기관파단사고시 국부 핵비등이탈률을 감소시킬 수 있는 즉, 핵연료성능을 저하시킬 수 있는 다음과 같은 변수들에 의해 결정된다.

가. 국부열속의 증가

나. 원자로냉각재유량의 감소

다. 원자로냉각재계통 압력의 감소

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

라. 원자로냉각재온도의 증가

만약 노심내 핵연료봉의 극히 일부분(0.1% 정도)의 손상보다 많은 핵연료가 손상되어 핵연료성능이 저하될 가능성이 있다면, 소외선량은 주로 원자로냉각재계통의 방사능에 의해서 영향을 받으므로 핵연료성능 저하 및 방사능 누출을 가장 크게하는 입력변수를 선택하여야 한다. 만약 노심내 핵연료봉의 극히 일부분(0.1% 정도)의 손상보다 더 적은 핵연료가 손상될 가능성이 있다면, 소외선량은 주로 주증기계통의 방사능에 의해서 영향을 받으므로 소외선량과 관련된 주증기계통의 방사능에 영향이 가장 큰 입력변수를 선택하여야 한다. 소외선량과 관련하여 주증기계통에 의한 방사능 방출이 가장 큰 입력변수 및 초기조건은 15B.3.4절에 기술한다.

15B.3.2 원자로정지 전의 핵연료성능 저하가 가장 큰 변수 및 초기조건

원자로건물 외부의 전출력 주증기관파단사고시 노심출력이 최대 분석설정치인 115%에 도달하면 노심보호연산기(7.2.1.1.1절 참조)가 가변과출력 정지신호를 발생시킨다. 또한 주증기관파단사고시 원자로냉각재계통의 온도가 급격히 감소하므로 노외중성자속계측기가 원자로냉각재계통의 온도감소를 충분히 빨리 보상해 주지 못하는 현상을 고려하기 위해 추가로 6%의 출력을 최대 분석설정치에 더한 값을 사용한다. 따라서 원자로정지 전의 노심성능저하 해석에 사용되는 노심보호연산기 가변과출력 원자로정지 분석설정치는 121%이다.

노심보호연산기는 핵비등이탈률을 계산하여 핵비등이탈률이 허용핵연료설계제한치(SAFDL) 이하로 감소하기 전에 정지신호를 발생시킨다. 노심보호연산기에 제공되는 입력에 대한 내용은 7.2.2.2.4절에 기술되어 있다. 중성자속 출력과 가압기압력이 주증기관파단사고시 산출되는 핵비등이탈률의 감소에 가장 큰 영향을 미친다. 둘 중 중성자속 출력에 의한 영향이 더 크며 파단면적이 작을수록 가압기압력에 의한 영향이 더욱 감소한다.

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

또한 노심보호연산기는 원자로냉각재계통 고온관이 포화상태로 접근하면 원자로정지신호를 발생시키며, 노심보호연산기가 포화상태를 계산하는데 사용되는 입력은 가압기압력과 고온관온도이다. 대부분의 주증기관파단사고시 이러한 원자로정지 기능은 늦은 응답시간 때문에 노심보호연산기 가변과출력 원자로정지신호가 발생한 후에 작동한다.

원자로건물 외부의 주증기관파단사고 진행중 최소 핵비등이탈률은 파단면적이 가장 큰 주증기관파단사고에서 허용핵연료설계제한치 이하로 감소할 수 있으나, 최소 핵비등이탈률은 노심보호연산기 가변과출력 정지기능에 의해 제한되므로 핵비등이탈을 겪는 핵연료봉의 수가 제한된다. 15.1.5절에서 다루어지는 원자로정지 전 핵연료성능 저하에 대한 주증기관파단사고 해석에서(경우 5), 노심보호연산기의 정지기능은 노심출력이 노심보호연산기 가변과출력 원자로정지 분석설정치인 121%에 도달하면 작동된다. 원자로냉각재계통의 압력 및 온도, 노심유량, 그리고 출력에 대한 초기조건들은 첫째 초기상태가 해석에 사용된 축방향 출력편차 및 반경방향 침투계수(F_r)에 대해 출력운전한계(POL) 근처에 있도록 하고, 둘째 사고진행중 핵비등이탈률이 최소가 되도록 선택한다.

축방향 출력편차 및 반경방향 침투계수의 값들은 계산된 최소 핵비등이탈률에 대해 보다 많은 핵연료봉이 핵비등이탈을 일으키도록 선택된다. 이러한 변수들의 조합은 사고시작 후 핵비등이탈률의 감소율이 가장 큰 조건에서의 원자로정지 전 핵연료성능 저하의 가능성을 가장 크게 한다. 가장 큰 음의 감속재온도계수와 가장 작은 음의 도플러 반응도계수를 해석에 사용하면 출력을 가장 빨리 증가시켜 원자로정지 전 핵비등이탈률의 감소가 가장 크다. 신고리 1,2호기 해석에서 사용된 원자로정지 전 핵연료성능에 영향을 미치는 보수적인 가정들은 다음과 같다.

가. 가장 큰 음의 감속재온도계수에 해당되는 주기말 노심조건 사용

나. 정상 전출력상태의 평균온도인 312.2°C (594°F)에서 불확실도를 포함한 가장 큰 음의 값을 가진 운영기술지침서 감속재온도계수인 $-6.84 \times 10^{-4} \Delta p / ^\circ\text{C}$ (-3.8×10^{-4}

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

를 사용하여 계산된 냉각재온도에 대한 감속재 반응도를 사용(15.0.3.3.2절 참조). 또한, 운영기술지침서의 감속재온도계수를 근거로 하여 원자로냉각재계통의 감압을 고려한 감속재 반응도를 사용하며, 전출력시의 주증기관파단사고에서는 최소 핵비등이탈률이 생기는 시점의 정지제어봉 위치를 고려한 감속재 반응도를 사용. 감속재 반응도의 변화는 그림 15.1.5-74 참조.

다. 핵연료온도에 대한 가장 작은 음의 값을 가지는 도플러 반응도를 사용
(15.0.3.3.1절 참조)

라. 원자로냉각재계통의 냉각률을 가장 크게 하기 위해 증기발생기로부터 수분을 전혀 함유하지 않은 포화증기의 방출을 가정

마. 원자로정지 전, 증기발생기의 초기 감압률을 최대로 하여 원자로냉각재계통의 초기 냉각률을 가장 크게 하기 위해 최소 초기 증기발생기 수위를 사용

바. 원자로냉각재계통의 냉각률을 가장 크게 하기 위해 최대 초기 노심유량을 사용. 원자로냉각재유량이 증가할수록 1차측으로부터 2차측으로의 열전달이 증가하여 원자로냉각재계통이 더욱 빨리 냉각된다. 이 경우 음의 감속재온도계수에 의한 정반응도 삽입으로 원자로 출력이 급격히 증가하여 핵연료성능 저하를 가속시킨다.

그 외에 주증기관파단사고 해석에 사용되지만 원자로정지 전의 핵연료성능에 미치는 영향이 매우 작은 가정들은 다음과 같다.

사. 가장 큰 반응도가의 제어봉집합체가 원자로정지 후 완전인출 위치에 고착되어 있음

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

아. 최대 가압기수위, 15B.3.3.3절의 아, 자 및 차.항과 같은 열전달면적, 감속재반응도 계산에 관한 가정

주증기관파단사고와 동시에 소외전원이 상실된 경우, 원자로냉각재펌프측 저속도에 의한 노심보호연산기 원자로정지가 발생한다. 따라서 노심보호연산기에 의한 원자로정지가 소외전원이 공급되는 경우보다 소외전원이 상실된 경우가 훨씬 빨리 일어난다. 주증기관파단사고와 동시에 소외전원상실이 발생한 경우, 원자로냉각재펌프의 감속에 의한 노심유량상실은 핵비등이탈률의 감소율을 보다 크게 만들지만 출력운전한계는 노심보호연산기 정지기능에 의해 노심유량상실로 인한 과도 최소 핵비등이탈률이 허용핵연료설계제한치 이하로 내려가지 않도록 정해진다. 노심유량상실사고의 경우와 비교할 때, 주증기관파단사고가 과도 최소 핵비등이탈률 발생시점까지 핵비등이탈률에 미치는 유일한 추가적인 효과는 원자로냉각재계통의 압력감소 뿐이다. 소외전원이 공급되는 전출력시 주증기관파단사고에서는 원자로가 정지할 때까지 노심출력이 크게 증가하고 원자로냉각재계통의 압력이 보다 빨리 감소하여 핵비등이탈률이 빨리 감소하게 된다. 따라서, 주증기관파단사고와 동시에 소외전원이 상실된 경우의 최소 핵비등이탈률은 15.1.5절의 경우 5에 기술된 소외전원이 공급되는 경우의 값보다 크다.

15B.3.3 원자로정지 후의 핵연료성능 저하가 가장 큰 변수 및 초기조건

15B.3.3.1 배경

주증기관파단사고시 원자로정지 후의 핵연료성능 저하는 재임계에 도달했을 때만 발생한다. 따라서 원자로정지 후의 핵연료성능 저하를 최대화하기 위해서 고려하여야 할 가장 주된 것은 재임계 도달의 가능성을 가장 크게 하는 변수 및 조건들을 선택하는 것이다. 재임계 도달의 가능성 및 출력 재상승의 크기는 주로 원자로정지 후 최대반응도, 최대반응도가 발생하는 시점, 재임계 유지기간에 의해서 결정된다(지발중성자분율과 같은 재임계 도달에 영향을 미칠 수 있는 다른 변수들은 해석에 사용되는 값의 범위 안에서 재임

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

계 도달에 큰 영향을 미치지 못하므로, 주증기관파단사고시 원자로정지 후 총반응도 증가를 가장 크게 하는 노심연소 조건에서의 값을 선택하여 해석에 사용한다). 원자로정지 후 최대반응도가 발생하는 시점은 재임계 도달에 큰 영향을 미친다. 즉, 원자로정지 후, 같은 반응도값이 삽입되었을 때 최대반응도의 발생시점이 늦을수록 재임계 도달의 영향이 적다. 그 이유는 발생시점이 늦을수록 1) 재임계 도달 전까지의 핵분열에 의한 출력의 감소가 더 크기 때문에 재임계 도달시 같은 출력에 도달하기 위해서는 더 많은 증배가 필요하고 2) 지발중성자가 더 감소하여 같은 출력증가율을 얻기 위해 더 많은 반응도를 요구하기 때문이다. 만약 재임계에 도달한다면, 재임계 유지기간은 반응도가 감소하기 전까지 원자로정지 후 출력이 증가하는 기간을 결정하기 때문에 출력 재상승의 크기에 중요한 역할을 한다.

재임계 도달이 발생하는 주증기관파단사고시 원자로정지 후의 핵연료성능 저하(핵비등이탈률로 계산)는 재임계 도달시의 노심유량에 의해 많은 영향을 받는다. 재임계 도달시의 노심유량은 주로 원자로냉각재펌프의 감속시점에 대한 가정에 따라 다르며, 노심유량은 초기조건과 단일고장의 영향을 거의 받지 않는다. 사고시 원자로냉각재계통 압력과 온도 범위 내에서 원자로정지 후 핵비등이탈률에 대한 압력과 온도의 직접적인 영향은 반응도 계환을 통한 압력과 온도가 재임계 도달에 미치는 영향과 비교할 때 매우 작다.

재임계 도달에 영향을 미치는 초기조건들은 15B.3.3.2절에, 재임계 도달에 영향을 미치는 가정들과 재임계 도달 시점에서의 노심유량은 15B.3.3.3절에 기술되어 있으며, 재임계 도달에 영향을 미칠 수 있는 단일고장들에 대한 내용은 15B.3.3.4절에 각각 기술되어 있다.

15B.3.3.2 초기조건

원자로정지 후 핵연료성능 저하의 가능성에 대한 초기조건들의 영향은 원자로정지 후의 첨두반응도 크기, 시점 및 재임계 유지기간에 대한 초기조건들의 영향으로 나타난다. 이러한 영향은 초기조건들이 감속재 반응도, 도플러 반응도 및 안전주입 봉소반응도에 미치

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

는 정도로 나타난다.

재임계 도달에 대하여 가장 심각한 영향을 미치는 초기 발전소 상태를 설정하기 위하여 표 15.0.3-1에 주어진 변수들의 범위가 고려되었다. 신고리 1,2호기에서 재임계 도달에 가장 심각한 영향을 미치는 발전소 초기조건들은 최대 노심출력, 가장 큰 양의 값의 축방향 출력편차, 최소 노심유량, 최대 가압기수위, 최대 노심입구 냉각재온도, 최대 원자로냉각재계통 압력 및 최대 증기발생기수위로 나타났다.

노심출력 및 노심입구 냉각재온도를 최대로 하고 노심유량을 최소로 하면 원자로냉각재계통의 평균온도 및 노심출구 냉각재온도가 최대로 되어 재임계 도달 측면에서 심각한 영향을 미친다. 원자로냉각재계통의 평균온도를 최대로 하면 증기발생기 압력이 최대로 되기 때문에 냉각률을 최대화시킨다. 또한, 원자로냉각재계통 또는 노심 평균온도가 클수록 냉각재온도에 따른 감속재 반응도중 온도감소에 의한 반응도 증가율이 가장 큰 범위에서 원자로냉각재계통의 냉각이 발생하게 한다.

가장 큰 양의 값의 축방향 출력편차를 사용하면 원자로정지 후 제어봉집합체 반응도의 삽입지연이 최대로 된다. 이 초기조건이 재임계 도달에 미치는 영향은 거의 없다. 가압기수위와 압력을 크게 하면 할수록 가압기에 저장된 에너지가 많아진다. 초기에 가압기에 저장된 에너지가 많을수록 과도상태시 원자로냉각재계통 압력이 크게 되며 안전주입을 지연시키고 안전주입 유량의 공급을 방해한다.

건전한 측 증기발생기의 초기수위가 높을수록 증기방출로 인한 증기발생기의 압력강하가 적어지고 따라서 증기방출량의 감소율이 적어지므로 초기수위가 높을수록 주증기격리신평호 발생 전에 건전한 측 증기발생기로부터 방출되는 증기의 양이 많아진다. 따라서 건전한 측 증기발생기의 초기수위를 증가시키면 증기방출에 의한 원자로냉각재계통의 냉각이 증가하여 감속재 반응도회전이 커진다. 15B.3.3.3절에 기술된 것처럼, 증기발생기 수위가 보조급수 작동설정치보다 높게 유지될 수 있지만 소외전원이 공급되는 경우에는 보조급

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

수가 공급 가능하다고 보수적으로 가정한다.

15B.3.3.3 해석가정

원자로정지 후 핵연료성능 저하의 가능성에 대한 해석가정의 영향은 재임계 도달 시점에서의 노심유량과 재임계 도달에 대한 원자로정지 후 최대반응도의 크기, 시점 그리고 재임계 유지기간의 효과를 통하여 나타난다.

재임계 도달시 노심유량에 영향을 미치는 해석가정으로 원자로냉각재펌프의 정지시점을 들 수 있다. 원자로냉각재펌프의 정지시점이 빠를수록 재임계 도달시점에서의 노심유량이 적고 따라서 최소 핵비등이탈률이 적어진다. 원자로냉각재펌프의 정지시점(4대의 펌프가 감속을 시작하는 시점)은 또한 원자로정지 후 최대반응도의 발생시점 및 크기에 영향을 미치므로 재임계 도달의 정도에 큰 영향을 미친다. 따라서 주증기관파단사고와 동시에 일어나는 소외전원상실은 사고시작과 동시에 원자로냉각재펌프가 감속을 시작하므로 원자로정지 후 핵연료성능 저하의 가능성을 가장 크게 만든다.

여러 해석가정이 재임계 도달의 가능성에 영향을 미친다. 신고리 1,2호기 주증기관파단 사고 해석에 사용된 재임계 도달에 영향을 주는 보수적인 가정들은 다음과 같다.

- 가. 가장 큰 반응도의 제어봉집합체가 원자로정지 후 완전인출위치에 고착되어 있음
- 나. 가장 큰 음의 감속계수에 해당되는 주기말 노심조건
- 다. 원자로냉각재계통의 에너지 제거를 최대화시키기 위해 증기발생기로부터 수분을 전혀 함유하지 않은 포화증기의 방출 가정
- 라. 감속재냉각에 의한 반응도증가를 보수적으로 계산하기 위하여 주기말 노심조

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

건 및 전제어봉 삽입조건에서의 냉각재온도에 대한 감속재 반응도를 사용(그림 15.1.5-74 참조)

- 마. 핵연료냉각에 의한 반응도증가를 보수적으로 계산하기 위하여 가장 큰 음의 값을 가지는 핵연료온도에 대한 도플러 반응도를 사용
- 바. 안전주입에 의한 붕소반응도 삽입을 보수적으로 계산하기 위하여 붕소농도에 대한 최소 붕소반응도가를 사용
- 사. 주증기관파단은 주증기격리밸브의 상류에서 주증기관의 양단파열로 인해서 시작된다고 가정한다. 이곳에서 파단이 일어나면 각 증기발생기로부터의 초기(주증기격리밸브가 닫힐 때까지)증기방출 면적은 두 개의 유량제한기 면적과 같다(유량제한기에서 임계유동이 발생하고 하나의 증기발생기당 두 개의 주증기관이 있음). 주증기격리밸브가 닫히면, 건전한 측 증기발생기로부터의 증기방출이 거의 중단되고 파단측 증기발생기로부터의 유효증기 방출면적이 하나의 유량제한기 면적과 보조급수터빈으로 연결되어 있는 주증기격리밸브 상류에 위치한 증기지관 단면적(branch line area)으로 제한된다(즉, 파단측 증기발생기의 다른 주증기관으로부터의 증기방출은 주증기격리밸브가 닫히면 증기지관을 통한 유량으로 제한된다). 파단면적이 작을수록 원자로정지 후 최대반응도 발생시점이 지연되므로 재임계 도달의 가능성도 감소한다.
- 아. 원자로용기상부헤드 영역의 벽과 구조물로부터 냉각재로 더해지는 열량을 보수적으로 크게하기 위해서 이 영역에서의 열전달면적을 10% 증가시킨다. 이로 인해 사고진행중 1차측 압력이 높게 유지되고 따라서 안전주입에 의한 붕소반응도 삽입이 적어진다.
- 자. 원자로용기상부헤드 영역을 제외한 원자로냉각재계통의 벽과 구조물로부터 냉

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

각재에 더해지는 열량을 보수적으로 작게하기 위해서 이 영역에서의 열전달면적을 10% 감소시킨다. 이로 인해 원자로냉각재계의 냉각이 증가된다.

차. 불균일한 온도분포의 감속재 반응도에 대한 효과를 보수적으로 고려하기 위해 가장 낮은 저온관온도의 함수로서 감속재 반응도를 사용한다. 비대칭 열제거로 인하여 원자로용기 입구에서 저온관의 냉각재 온도 차이가 생긴다. 원자로용기의 비대칭 입구온도는 원자로용기 하향유로와 하부플레넘에서의 불완전 혼합과 함께 노심입구에서의 냉각재온도분포를 결정한다. 노심의 저온측 냉각재밀도에 대한 감속재 반응도를 계산하여 이러한 온도분포에 의한 효과를 고려한다.

카. 만약 주증기관파단사고중 보조급수가 공급된다면, 보조급수의 공급은 원자로냉각재계의 냉각을 증가시키고 따라서 음의 감속재 반응도 삽입에 의해 재임계 도달의 가능성을 증가시킨다. 소외전원이 상실된 신고리 1,2호기의 주증기관파단사고 해석에서는 건전한 축 증기발생기에 의한 원자로냉각재계의 냉각을 감소시켜 안전주입에 의한 붕소주입을 지연시키기 위해 보조급수가 원자로정지와 동시에 파단축 증기발생기로만 공급된다고 가정하고, 소외전원이 공급되는 경우에는 보수적으로 양측 증기발생기로 공급된다고 가정한다. 보수적으로 최대 보조급수유량을 사용한다.

15B.3.3.4 단일고장

신고리 1,2호기 주증기관파단사고에서 발생 가능한 단일고장(표 15.0.1-1)중, 하나의 주증기격리밸브 잠김 실패와 1대의 고압안전주입펌프의 고장만이 원자로정지 전후 재임계 도달 및 이로 인한 핵연료성능 저하의 가능성에 영향을 줄 수 있다(가장 큰 반응도가의 제어봉집합체 삽입실패와 소외전원상실은 기본 가정임). 단일고장에 대한 민감도분석 결과, 모든 경우에 대하여 1대의 고압안전주입펌프가 고장 난 경우가 주증기격리밸브 잠김

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

실패의 경우보다 더 심각하게 나타났다.

15B.3.4 주증기계통에 대한 방사능 누출이 가장 큰 변수 및 초기조건

주증기계통이 방사능 누출에 미치는 영향은 파단측 증기발생기의 최대 초기 재고량, 복수기 기능상실, 그리고 사고 후 제거되는 열량이 최대일 때 가장 커진다.

- 가. 초기 증기발생기 수위가 운전가능한 최대수위에 있을 때 사고가 시작되었다고 가정하면 파단측 증기발생기로부터의 증기방출로 인한 방사능 누출이 가장 많아진다. 영출력시 주증기관파단사고의 경우가 주어진 증기발생기 수위에 대한 초기 증기발생기 재고량이 가장 크다.
- 나. 복수기 기능상실(예를 들면, 소외전원상실에 의해서)이 수반되면 발전소는 대기 방출밸브를 사용하여 냉각시켜야 한다. 대기방출밸브로 냉각을 하면 건전한 측 증기발생기로부터 증기가 대기로 방출되어 방사능 누출을 증가시킨다.
- 다. 사고 후 제거해야 하는 열량을 극대화시키면 발전소를 상온정지 상태로 만들기 위해서 건전한 측 증기발생기로부터 대기로(위에서 기술된 복수기 기능상실이 수반되었을 때)기화되어 방출되어야 하는 냉각수의 양을 증가시킨다. 사고 후 제거되어야 하는 열량은 초기온도를 최대값으로 가정하거나 제거되어야 할 붕괴열을 비록 영출력의 경우라 할지라도 전출력에 대한 값으로 가정함으로써 최대화된다.

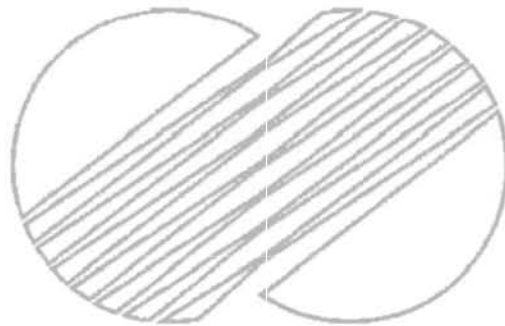
신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

15B.4 참고문헌

1. MacBeth, R.V., "An Approval of Forced Convection Burn-out Data." Proc. Instn. Mech. Engrs, Vol. 180, Pt3c, pp 37-50, 1965-66.
2. MacBeth, R.V., "Burn-out Analysis - Par 5 : Examination of Published World Data for Rod Bundles," A.E.E.W. Report R358, 1964.
3. Lee, D.H., "An Experimental Investigation of Forced Convection Burn-out in High Pressure Water-Part IV, Large Diameter Tubes at About 1600 psia," A.E.E.W. Report R479, 1966.
4. CE-CES-78-REV. 0-P, "CESEC - Digital Simulation of a Combustion Engineering Nuclear Steam Supply System," May 1987.
5. WonAn 71231-267 (dated 5/14/98), "Approval of Yonggwang 3&4 Operation Change, " Letter from Ministry of Science and Technology to Korea Electric Power Corporation.

부록 15C

사고시 방사능영향 평가 모델



신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

부록 15C - 사고시 방사능영향 평가 모델

목 차

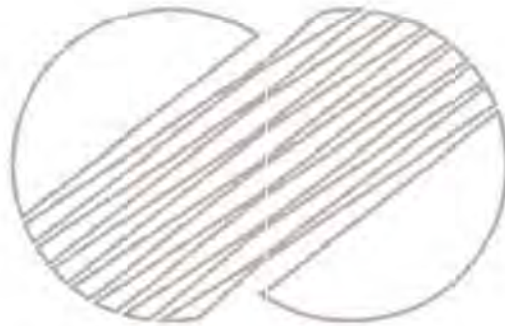
<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
15C.1	<u>개요</u>	15C-1
15C.2	<u>가정</u>	15C-1
15C.3	<u>전신 및 피부선량</u>	15C-1
15C.4	<u>갑상선선량</u>	15C-3
15C.5	<u>주제어실 선량계산 모델</u>	15C-4
15C.6	<u>소외선량 계산 모델</u>	15C-6
15C.6.1	냉각재상실사고시 원자로건물 누설	15C-6
15C.6.2	냉각재상실사고시 공학적안전설비실 누설	15C-8
15C.6.3	핵연료건물내 사용후연료 취급사고시 누출	15C-10
15C.6.4	기타 모델	15C-10
15C.7	<u>참고문헌</u>	15C-12

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

부록 15C - 사고시 방사능영향 평가 모델

표 목 차

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
15C-1	방사성핵종 자료	15C-13
15C-2	전신 및 피부선량 환산인자	15C-14
15C-3	호흡률	15C-15
15C-4	갑상선선량 환산인자	15C-16
15C-5	대기확산인자(sec/m ³)	15C-17
15C-6	주제어실 비상공기조화계통 설계변수	15C-18

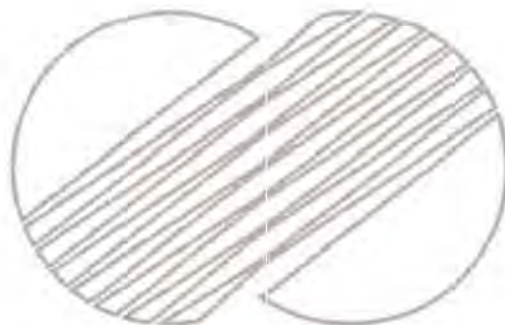


신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

부록 15C - 사고시 방사능영향 평가 모델

그림 목차

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>
15C-1	원자로건물 누설에 의한 선량평가 모델
15C-2	공학적안전설비기기실 누설에 의한 선량평가 모델
15C-3	기타사고에 의한 선량평가 모델



신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

부록 15C 사고시 방사능영향 모델

15C.1 개요

본 부록에서는 설계기준사건에 의한 방사성물질 누출시 소외주민 및 주제어실 운전원에 대한 방사선량을 계산하는 모델을 제시한다.

15C.2 가정

아래의 가정들은 방사능운에 의한 전신 및 피부선량 계산과 방사성요오드의 호흡으로 인한 갑상선선량 계산에 사용된다.

- 가. 방사선 누출은 배출지점에 무관하게 지표면 방출로 간주한다.
- 나. 피폭 대상은 국제방사선방호위원회(ICRP)에서 권고한 표준인으로 한다.
- 다. 방사능운이 제한구역경계 및 저인구지역 외곽경계로 이동하는 동안 방사성붕괴와 지표면 침적에 의한 방사능 붕괴는 없는 것으로 간주한다.
- 라. 표 15C-1에 제시된 방사성핵종의 붕괴상수 및 붕괴에너지에 관한 자료는 참고 문헌 1를 따른다.
- 마. 손상 연료봉의 방사능재고량 계산시 침투출력계수(Fr)는 1.81로 가정한다.

15C.3 전신 및 피부선량

개인 전신선량은 개인이 지표면 위에 무한하게 퍼져있는 방사능운의 중심에 있다는 가정하에 계산되며, 방사능운의 농도는 균일하며 선량을 계산하는 위치에서의 방사능농도는 방사능운 확산 중심선상의 최대 지표면농도로 가정한다.

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

사고후 제한구역경계 및 저인구지역 외곽경계에서의 감마선에 의한 개인 전신선량은 다음 식으로 계산된다.

(15C-1)

여기서,

D_{wb} : 개인전신선량, Sv

χ/Q : 해당 시간동안 제한구역경계 및 저인구지역 외곽경계에서의

대기확산인자, sec/m^3 (표 15C-5 참조)

DCF_{wbi} : 방사성핵종 i 의 개인 전신선량 환산인자, $\text{Sv}-\text{m}^3/\text{TBq}-\text{sec}$

(표 15C-2 참조)

Q_i : 해당 시간동안 방사성핵종 i 의 방사능방출량, TBq

사고 전기간 동안 주제어실 운전원에 대한 전신선량은 유한 방사능운 모델을 가정하여 다음 식으로 계산된다.

(15C-2)

여기서,

D_{wb} : 주제어실 운전원의 전신선량, Sv

CRO : 주제어실 체류인자 (≤ 1)

3600 : 시간 환산인자, sec/hr

0.02832 : 체적환산인자, m^3/ft^3

CRVOL : 주제어실 체적, ft^3

Q_i : 해당 시간동안주제어실내 방사성핵종 i 의 총 누적 방사능량 TBq-hr

DCF_{wbi} : 방사성핵종 i 의 개인전신선량 환산인자, $\text{Sv}-\text{m}^3/\text{TBq}-\text{sec}$

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

항은 무한 방사능운 선량에 대한 유한 방사능운 선량의 비를 나타내는 기하학적 보정인자이다.

주제어실 운전원의 베타선에 의한 피부선량은 피부조직의 깊이를 7 mg/cm^2 으로 가정하여 계산되며 이에 관한 계산식은 다음과 같다.

(15C-3)

여기서,

D_s : 피부선량, Sv

Q_i : 사고 전기간 동안주제어실내 방사성핵종 i 의 총 누적방사능량(TBq-hr)

CRO : 주제어실 체류인자 (≤ 1)

CRVOL : 주제어실 체적, ft^3

DCF_{si} : 방사성핵종 i 의 피부선량 환산인자, $\text{Sv-m}^3/\text{TBq-hr}$ (표 15C-2 참조)

0.02832 : 체적환산인자, m^3/ft^3

15C.4 갑상선선량

사고후 방사성 요오드의 호흡에 의한 갑상선선량은 다음 식으로 계산된다.

(15C-4)

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

여기서,

D_{in} : 갑상선 선량, Sv

λ/Q : 해당 시간동안 제한구역경계 및 저인구지역 외곽경계에서의 대기확산인자, sec/m^3

B : 호흡률, m^3/sec (표 15C-3 참조)

Q_i : 해당 시간동안 방사성핵종 i의 방사능방출량, Bq

DCF_{thi} : 방사성핵종 i의 갑상선 선량환산인자, Sv/Bq (표 15C-4 참조)

15C.5 주제어실 선량계산 모델

사고후 원자로건물로부터 누설된 방사성물질로 인하여 주제어실 운전원이 받는 피폭선량의 대부분은 사고후 주제어실 비상환기계통을 통하여 외부로부터 주제어실로 유입되는 기체방사성물질에 기인한다. 이외에 주제어실 상층에 위치한 비상환기계통 공기정화기 활성탄흡착기에 흡착된 방사성물질로 인한 피폭과 주제어실 외부 대기에 형성된 방사능 운으로 인한 피폭이 고려되며, 주제어실 운전원에 대한 사고 전기간 동안의 피폭선량은 이들의 합으로 계산된다.

가. 주제어실로 유입되는 공기중 방사선원

원자로건물로부터 누설되어 주제어실 주위에 존재하게 된 기체방사성물질이 주제어실 비상환기계통 유입구 및 구조물 틈새를 통하여 유입된다. 이 공기중 방사능은 주제어실내 운전원에게 감마선에 의한 전신선량, 호흡에 의한 갑상선 선량 및 베타선에 의한 피부선량을 야기시킨다. 주제어실 비상환기계통의 주요 설계변수는 표 15C-6에 제시되어 있다.

전신 감마선량은 15C.3절에서와 같이 유한 방사능운 모델을 사용하여 계산된다. 호흡에 의한 갑상선선량은 주제어실내의 방사성 요오드에 기인하며, 공기중 요

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

오드는 주제어실 비상환기계통의 활성탄여과기에 의해 제거된다.

나. 주제어실 비상환기계통 활성탄흡착기에 의한 직접 방사선원

원자로건물로부터 누설된 기체 방사성물질은 주제어실 비상환기계통의 작동에 의해 주제어실로 유입되는데, 기체방사성물질중 요오드핵종은 주제어실 상층에 위치한 공기정화기 고효율 활성탄흡착기에 흡착, 누적됨으로써 운전원에게 감마선에 의한 외부피폭을 야기시키게 된다.

다. 원자로건물내 방사선원 및 주제어실 외부 방사능운에 의한 직접 방사선원

원자로건물내 존재하는 기체방사성물질에 의한 주제어실내 운전원의 직접 피폭선량을 계산하기 위하여, 원자로건물내 선원은 1.22 m (4 ft) 두께의 콘크리트 원자로건물 벽체, 3.05 m (10 ft) 두께의 공기 및 0.914 m (3 ft) 두께의 콘크리트 주제어실 벽체에 의한 차폐효과가 고려된다.

원자로건물 외부 및 주제어실 외부대기에 형성된 방사능운에 의한 직접 방사선원은 방사능운에서 발생하는 감마선이 주제어실 지붕을 통과하여 운전원에게 직접 피폭을 초래하는 것으로 모델링된다.

주제어실 운전원의 피폭선량 계산에 사용되는 체류인자는 사고발생 1일까지는 1을, 이로부터 4일까지는 0.6을, 이후 사고 전기간 동안은 0.4의 값을 적용한다.

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

15C.6 소의선량 계산 모델

15C.6.1 냉각재상실사고시 원자로건물 누설

그림 15C-1은 냉각재상실사고시의 원자로건물 누설모델을 도식화한 것이다.

Q_{12} 와 Q_{21} 은 원자로건물을 살수구역과 비살수구역으로 구역화하였을 때의 구역간 공기순환율을 나타낸다.

비살수구역과 살수구역이 잘 혼합되는 것으로 가정하면, 시간 t 에서의 비살수구역과 살수구역의 방사능 $A_1(t)$ 및 $A_2(t)$ 는 미분방정식을 해석적으로 풀어 구할 수 있으며, 이 값들을 시간에 대해 적분함으로써 총 방사능량을 구할 수 있다.



여기서,

$A_1(t)$: 원자로건물의 비살수구역내 특정 핵종의 시간 $t(\text{hr})$ 에서의 방사능량, TBq

$A_2(t)$: 원자로건물의 살수구역내 동일 핵종의 시간 $t(\text{hr})$ 에서의 방사능량, TBq

Q_{12} : 비살수구역에서 살수구역으로의 공기순환율, ft^3/hr

Q_{21} : 살수구역에서 비살수 구역으로의 공기순환율, ft^3/hr

V_1 : 비살수구역의 구역의 체적, ft^3

V_2 : 살수구역의 체적, ft^3

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

λ : 방사성 붕괴 상수, hr^{-1}

L : 원자로건물 누설율, v/o/hr

S : 요오드 핵종의 형태별 (원소형, 입자형 혹은 유기형) 살수 제거율, hr^{-1}
(단, 살수종료후 $S=0$)

D : 요오드 핵종의 자연침적 제거율, hr^{-1}

P : 원자로건물 공기배기율, hr^{-1}

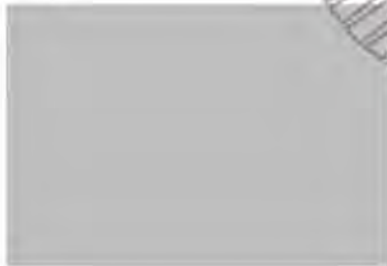
t : 냉각재상실사고 발생후 경과시간, hr

t_1 : 냉각재상실사고 발생후 특정시간, hr (단, $t_1 < t$)

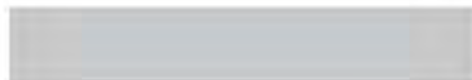
$A_I(t_1)$: t_1 에서 $A_I(t)$ 의 값 (즉, 초기조건)

상기 식 (15C-5), (15C-6)의 일차 연립미분방정식들을 조합하여 해석적으로 풀 수 있는 두개의 독립적인 이차 미분방정식을 만들 수 있다.

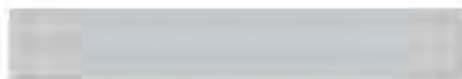
즉,



로 대치하면 식 (15C-5)와 (15C-6)는 다음과 같다.



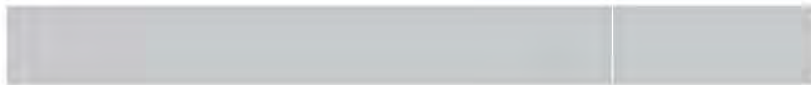
(15C-7)



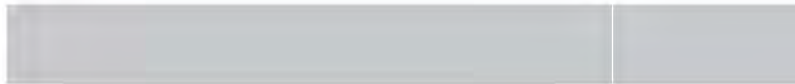
(15C-8)

식 (15C-7), (15C-8)을 다시 한번 미분하여 식(15C-9)와 (15C-10)을 얻는다.

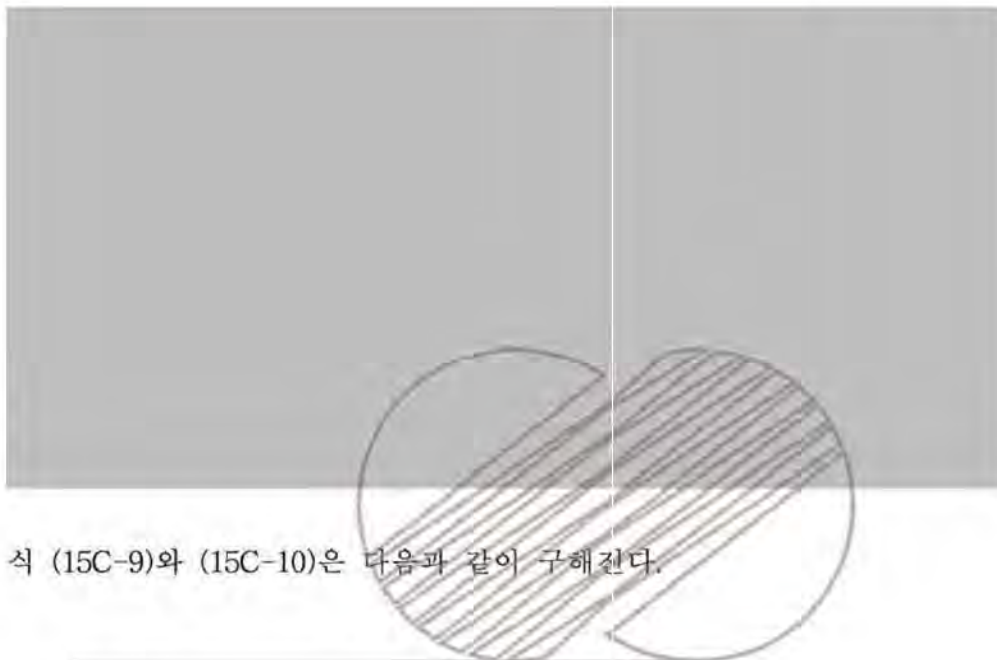
신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서



(15C-9)



(15C-10)



식 (15C-9)와 (15C-10)은 다음과 같이 구해진다.



위의 해는 시간 t_1 에서 특정 상수의 변화가 가능하도록 $t > t_1$ 인 경우에 유효하며, 해를 구성하는 변수들은 주어진 시간 t_1 동안에는 시간에 대해 일정한 값을 갖는다.

$A(t)$ 의 해를 구한 후, 각 노드를 시간에 대해 적분하여 누적 방사능량을 계산하며, 이 방사능량으로부터 15C.3절, 15C.4절 및 15C.5절에 제시된 선량계산식을 사용하여 계산한다.

15C.6.2 냉각재상실사고시 공학적안전설비설 누설

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

냉각재상실사고시 공학적안전설비실 누설 모델을 도식화하면 그림 15C-2와 같다. 냉각재상실사고시 원자로건물살수 재순환 운전단계에서 작동하는 공학적안전설비실로부터 누출되는 방사능은 다음식으로 계산된다.



여기서,

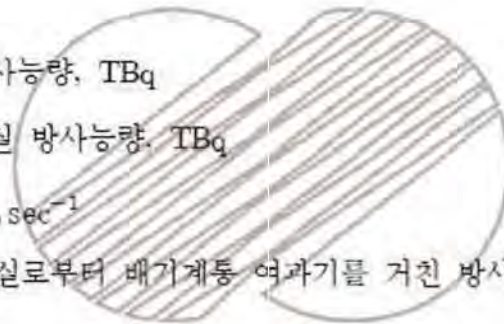
A_1 : 주변 환경의 방사능량, TBq

A_2 : 공학적안전설비실 방사능량, TBq

λ_d : 방사능 붕괴상수, sec^{-1}

L_{21} : 공학적안전설비실로부터 배기계통 여과기를 거친 방사능의 외부환경으로의
누출률, sec^{-1}

f : 공학적안전설비 배기계통 여과기의 효율



P : 요오드 분리계수

A_0 : 재순환수내 방사능량, TBq

T_c : 정상시 누출률의 2배, cm^3/sec

V_c : 재순환수 체적, cm^3

Q : 주변환경으로 방출되는 방사능, TBq

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

15C.6.3 핵연료건물내 사용후연료 취급사고시 누출

사용후연료 취급사고시 핵연료건물로부터의 방사능 누출모델은 그림 15C-3과 같이 도식화된다. 환경으로 방출되는 방사능량은 다음 식으로부터 계산된다.

$$\text{[Redacted Equation]} \quad (15C-11)$$

$$\text{[Redacted Equation]} \quad (15C-12)$$

$$\text{[Redacted Equation]} \quad (15C-13)$$

여기서,

A_1 : 주변환경에서의 방사능량, TBq

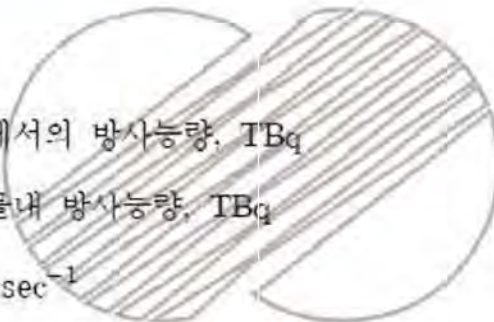
A_2 : 핵연료건물내 방사능량, TBq

λ_d : 붕괴상수, sec^{-1}

L_{2if} : 주변환경으로의 배기율, sec^{-1}

f : 배기계통 여과기의 효율

Q : 주변환경으로 누출된 방사능량, TBq



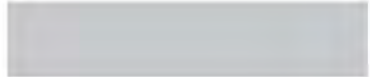
15C.6.4 기타 모델

기타 사고에 대하여는 사고발생과 동시에 방사능이 순간적으로 환경으로 전량 누출되는 것으로 모델링한다. 그림 15C-3에 계산 모델을 간략히 도식화하였으며 이를 미분방정식으로 나타내면 다음과 같다.

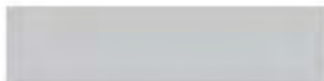
신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서



(15C-14)



(15C-15)



(15C-16)

여기서,

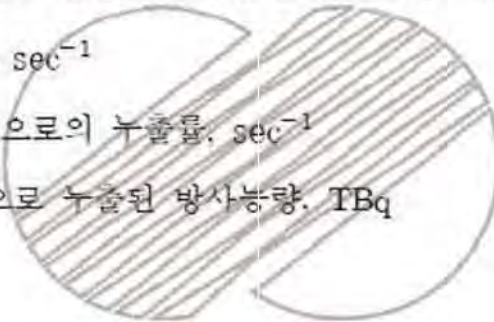
A_1 : 주변환경에서의 방사능량, TBq

A_2 : 사고로 인해 건물내에 누출된 방사능량, TBq

λ_d : 붕괴상수, sec^{-1}

L_{21} : 주변환경으로의 누출률, sec^{-1}

Q : 주변환경으로 누출된 방사능량, TBq



신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

15C.7 참고문헌

1. M. J. Martin, "Nuclear Decay Data for Selected Radionuclides," ORNL-5114, March 1976.
2. K. F Eckerman and J. C. Ryman, "External Exposure to Radionuclides in Air, Water, and Soil," Federal Guidance Report No. 12, 1993.
3. Regulatory Guide 1.195, "Methods and Assumptions for Evaluating Radiological Consequences of Design Basis Accidents at Light-Water Nuclear Power Reactors," USNRC, May 2003.
4. K. F Eckerman, A. B. Wolbarst, and A.C.B. Richardson, "Limiting Values of Radionuclides Intake and Air Concentration and Dose Conversion Factors for Inhalation, Submersion, and Ingestion," Federal Guidance Report No. 11, 1989.

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 15C-1

방사성핵종 자료

<u>방사성핵종</u>	<u>붕괴상수 (hr^{-1})</u>	<u>평균 베타에너지 (MeV/disintegration)</u>	<u>평균 감마에너지 (MeV/disintegration)</u>
I-130	0.005608	0.2862	2.139
I-131	0.003592	0.1904	0.3811
I-132	0.3014	0.4904	2.291
I-133	0.03332	0.4099	0.6067
I-134	0.7907	0.6077	2.625
I-135	0.1049	0.3689	1.575
Kr-83m	0.3788	0.0382	0.00258
Kr-85m	0.1547	0.2553	0.1578
Kr-85	7.381E-6	0.2505	0.00223
Kr-87	0.5451	1.324	0.793
Kr-88	0.2441	0.3648	1.955
Kr-89	13.16	1.362	1.834
Xe-131m	0.002439	0.1422	0.0201
Xe-133m	0.01319	0.1902	0.0415
Xe-133	0.005506	0.1355	0.0453
Xe-135m	2.708	0.0958	0.4307
Xe-135	0.07609	0.3182	0.2479
Xe-137	10.86	1.769	0.1877
Xe-138	2.943	0.6315	1.126

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 15C-2

전신 및 피부선량 환산인자*

방사성핵종	전신선량 환산인자 (Sv-m ³ /TBq-sec)	피부선량 환산인자 (Sv-m ³ /TBq-sec)
I-130	1.04E-01	1.36E-01
I-131	1.82E-02	2.98E-02
I-132	1.12E-01	1.58E-01
I-133	2.94E-02	5.83E-02
I-134	1.30E-01	1.87E-01
I-135	7.98E-02	1.11E-01
Kr-83m	1.50E-06	3.56E-05
Kr-85m	7.48E-03	2.24E-02
Kr-85	1.19E-04	1.32E-02
Kr-87	4.12E-02	1.37E-01
Kr-88	1.02E-01	1.35E-01
Kr-89	8.74E-02	2.08E-01
Xe-131m	3.89E-04	4.82E-03
Xe-133m	1.37E-03	1.04E-02
Xe-133	1.56E-03	4.97E-03
Xe-135m	2.04E-02	2.97E-02
Xe-135	1.19E-02	3.12E-02
Xe-137	8.18E-03	1.35E-01
Xe-138	5.77E-02	1.07E-01

* Federal Guidance Report No. 12(참고문헌 2) 참조

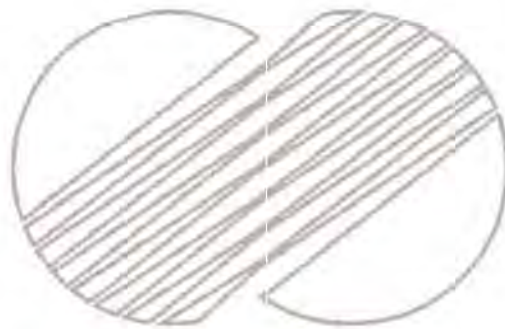
신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 15C-3

호흡률*

<u>사고후 시간</u>	<u>m³/sec</u>
0~8 시간	3.5E-04
8~24 시간	1.8E-04
1~30 일	2.3E-04

115



* 규제지침서 1.195(참고문헌 3) 참조

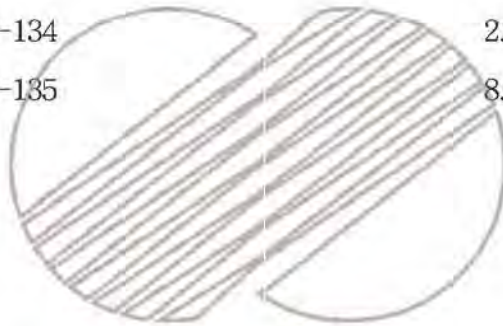
115

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 15C-4

갑상선선량 환산인자*

<u>방사성핵종</u>	<u>갑상선선량 환산인자 (Sv/Bq)</u>
I-130	1.99E-08
I-131	2.92E-07
I-132	1.74E-09
I-133	4.86E-08
I-134	2.88E-10
I-135	8.46E-09



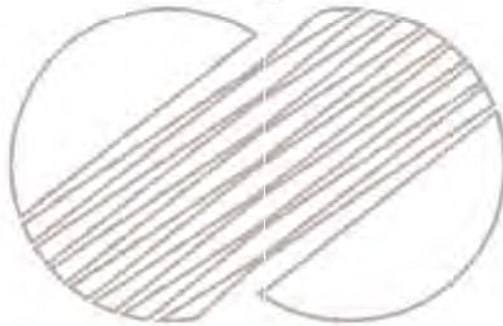
* Federal Guidance Report No.11(참고문헌 4) 참조

신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 15C-5

대기 확산인자(sec/m³)

사고후 시간 간격	제한구역경계	저인구지역 외곽경계		
0~2 시간	4.119E-04	1.966E-05	33 54	1
2~8 시간	-	1.966E-05		
8~24 시간	-	1.468E-05		
1~4 일	-	7.791E-06		
4~30일	-	3.137E-06		



신고리 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 15C-6

주제어실 비상환기계통 설계변수*

설계 변수	변수값
공기조화계통 작동유니트수	1
여과기를 거친 외부공기 유입량, m^3/min (ft^3/min)	113 (4,000)
내부순환공기 유량, m^3/min (ft^3/min)	227 (8,000)
여과기를 거치지 않는 최대 유입량, m^3/min (ft^3/min)	0.283 (10)
공기정화계통 활성탄흡착기 효율** ($340 \text{ m}^3/\text{min}$ ($12,000 \text{ ft}^3/\text{min}$)용량)	
원소형 요오드, %	99
유기형 요오드, %	99
입자형 요오드, %	99
주제어실 체적(전기기기실 포함), m^3 (ft^3)	16,344 (577,200)

* 비상시 가동되는 주제어실 비상환기계통은 2개의 서로 독립적인 환기계통으로 구성되며, 이 계통에 대한 상세 설계내용은 6.4.5절 참조

** 직렬형 다중 베드형 여과장치에 근거하여 계산