

## KALIMER의 안전성 증진을 위한 설계개념 및 설계기준사건 선정

권영민, 한도희  
한국원자력연구소

### Design Concept and Selection of Safety Related Design Bases Events for Improving Safety of KALIMER

Young Min Kwon, Dohee Hahn  
Korea Atomic Energy Research Institute

#### 1. 서론

한국원자력연구소에서 개념설계 중인 KALIMER (Korea Advanced Liquid Metal Reactor)는 기존의 액체금속로에 비해서 안전성이 획기적으로 향상된 신형원자로이다. KALIMER는 금속핵연료를 사용하는 150 MWe (392 MWt) 출력의 소듐-냉각재 풀형 원자로이며 고유안전성과 피동특성에 의하여 안전성을 확보하고 있다. KALIMER 개념설계의 최상위 요건은 노심 및 원자로계통의 안정성, 신개념 도입에 의한 경제성, 핵확산 저항성, 핵폐기물 연소를 통한 환경친화성의 향상 등이다[1]. 특히, KALIMER 설계는 피동성과 고유안전성을 통하여 기존의 심층방어(defense in depth) 개념을 강화시킴으로써 최소한 US ALWR에서 요구하는 이상의 안전성을 확보하는 것을 목표로 하고 있다.

본 논문에서는 KALIMER의 안전성 확보를 위한 향상된 설계개념에 대하여 논의하였다. 또한 KALIMER 개념설계의 특성을 고려하여 안전성 분석과 평가를 위한 발전소 사건분류 및 안전성 관련 설계에서 고려해야할 기준사고를 선정하였다. 사고해석 방법론과 안전성 허용기준에 대하여서는 US NRC의 신형원자로 관련 규제요건과 지침들을 검토하여 KALIMER 설계에 적용함으로써 향후 신형 액체금속로 설계의 안전성 평가를 위한 사고해석에서 제기될 수 있는 안전현안들을 사전에 검토하였다.

#### 2. KALIMER 개념설계

KALIMER 원자로 모듈은 높이 19 m, 직경 7.37 m이며, 원자로 용기, 상부덮개, 격납용기, 내부 구조물, 내부 기기 및 원자로 노심으로 구성되어 있다. 노심은 379개의 집합체가 반경방향 두 농축영역으로 구성된 비균질 노심으로 U-Pu-10%Zr의 금속연료를 사용한다. 노심 중앙에 정상적인 원자로정지계통의 고장시 피동적으로 원자로를 비상정지 시키는 SASS (Self-actuated Shutdown System)가 설치되어 있으며, 특히 6개의 가스팽창모듈(GEM)은 연료집합체의 외곽 경계선에 위치하여 사고시 노내 중성자 누출을 유도함으로써 피동적으로 노심에 음의 반응도를 삽입한다. 원자로 내부에는 각 4대의 중간열교환기(IHX)와 전자식 일차펌프(EMP)가 대칭으로 설치되어 있으며, 중간열전달계통(IHTS)은 전자펌프와 헬리컬튜브형 증기발생기(SG)로 구성되어 있다. 일차계통 전자펌프는 관성운전(coastdown)을 확보하기 위하여 관성동기장치(synchronous machine)를 각 펌프에 연결하고 있다. 노심붕괴열은 격납용기에서 복사와 자연대류 열전달을 통하여 주변 공기유동에 전달되는 피동안전잔열제거계통(Passive Safety Decay Heat Removal System, PSDRS)에 의하여 제거된다. PSDRS는 정상운전 중에도 항상 운전되므로 사고 발생시 운전원의 조작없이 노심붕괴열을 제거할 수 있다. 비안전계통인 증기발생기 보조냉각계통(SGACS)도 노심열

제거기능을 갖고 있다.

## 2.1 KALIMER 설계의 안전특성

KALIMER는 안전성 관련 설계측면에서 기존 원자력발전소와는 상당한 차이를 보여주고 있다. KALIMER는 획기적인 안전성 증진을 위해 다양한 물리적 고유특성 및 피동적 자연현상을 이용하여 계통을 단순화하고 강화된 심층방어 개념을 도입하여 설계 안전성을 향상시킴으로서 정상상태뿐만 아니라 비정상상태 하에서도 운전원의 조치가 용이하고, 운전원의 인적실수 및 안전계통/기기의 기능상실에 민감하지 않고 스스로 융통성 있게 대처할 수 있도록 설계되어 있다. 또한 만약의 사고시에도 장시간 동안 운전원의 조치가 필요 없도록 하여 궁극적으로는 발전소 인근 주민과 환경을 잠재적 방사선 재해로부터 강화 보호하고 있다.

KALIMER 안전의 기본개념인 고유 안전성은 다음과 같은 특성을 설계 및 운전에 반영하고 있다: (1) 원자로에서 부적절한 출력 및 온도의 증가가 발생할 경우 음의 반응도계수에 의한 핵분열반응의 종결 (2) 자연순환과 같은 원자로 안전정지를 위한 피동형 제어 (3) 원자로 냉각재의 대규모 재고량에 의한 열적관성 증대 (4) 냉각재의 상실 및 유출을 제한하기 위한 배관 혹은 기기의 제거. KALIMER의 안전계통은 사고를 예방하기 위한 효과적 수단으로서 단일고장개념을 만족하도록 설계되며 사고시 요구되는 안전기능은 자동으로 수행된다. KALIMER 안전계통의 특성은 다음과 같다: (1) 주원자로정지계통과 독립적인 피동형 비상원자로정지계통의 채택 (2) 독립적인 비상붕괴열제거계통의 설치 (3) 자연순환에 의해 냉각되는 원자로 노심의 피동안전 특성 (4) 피동원리에 의하여 장기간 동안 원자로의 안전상태 유지 (5) 중대사고 및 방사능 유출을 야기하는 노심손상 원인의 제거 또는 그 가능성의 획기적 감소. 그 외에 KALIMER의 안전특성은 소듐의 높은 비등점으로 인한 안전여유도의 증대, 강화된 심층방어개념에 의한 방사능 유출의 극소화 및 주요 초기사건 및 사고원인의 사전 제거 및 제한 등이다.

## 2.2 KALIMER의 심층방어 설계

심층방어(Defense-in-depth)개념은 원자력 발전소의 안전성 확보의 근간으로서 원자력 기술의 발달과 함께 점진적으로 발전되어 왔다. 심층방어 개념은 다중의 연속적인 단계로 구성되어 있는 다단계 보호개념으로서 한 단계의 기능상실로 인한 사건의 전개가 다음 단계로 진전되지 않도록 단계별 독립적인 보호기능을 수행함으로써 원자력 발전소의 운전으로 인한 방사성 물질의 잠재적인 누출로부터 작업 종사자와 일반대중을 보호하는 것이 궁극적인 목표이다. KALIMER 설계는 기존의 전통적인 심층방어 개념의 적용과 더불어 추가적으로 심각한 노심손상 확률의 감소와 사고발생시 방사성물질 감금기능의 강화 등을 통해 발전소의 안전성을 향상시키고 있다. 즉, 결정론적 해석방법을 통하여 대량의 방사능이 유출되는 가상적인 중대사고 경위들을 신뢰성 있게 배제 (확률론적 해석방법의 보완이 필요)할 수 있음을 입증하고, 노심 용융이 없는 사고상황 하에서는 발전소 주변 주민들에 대한 대피 또는 이주 등의 보호조치가 필요 없도록 고려하고 있다. 이외에도 심층방어 전 단계에 걸쳐 공통적으로 고장을 유발할 수 있는 인적오류 및 외적요인 등의 발생 가능성을 저감하거나 배제시킬 수 있는 방안을 도입하였다.

KALIMER의 심층방어는 사고저항성의 증대, 노심손상의 방지, 사고완화 대책의 확보라는 세 측면에서 설계에 구현되고 있다. 사고저항성 증대는 계통의 단순화, 안전여유도 증대, 고유안전성을 가지는 반응도 제어계통의 설계, 면진 설계 등을 통하여 확보되며, 노심손상 방지는 피동안전계통의 사용, 원자로정지계통의 신뢰도 향상, 이상사고시 반응도궤환효과로 인한 고유안전성 확보, 향상된 붕괴열제거계통, 핵연료집합체 내의 유로폐쇄 및 손상된 핵연료의 전파 방지 설계, 기기 및 제어기능 외에 공급되는 안전등급의 교류전원 제거, 향상된

운전원의 사고대처 시간 등을 통하여 구현된다. 마지막으로 사고완화 대책으로서는 강화된 규제요건을 만족하는 격납용기 개념, 보다 실제적인 기계론적인 선원항 계산, 화재 및 소음 반응 방호 및 격납용기의 성능을 향상시킴으로써 확보하고 있다.

### 2.3 KALIMER의 피동형 안전설비

KALIMER는 미국의 신형원자로 정책성명 (51 FR 24643)에 의하면 피동계통에 의존하여 안전기능을 수행하는 원자로이다. 피동계통은 일반적으로 자연적인 구동력, 즉 자연대류, 중력 혹은 저장 에너지를 이용하여 계통을 작동시키는 것을 의미한다. 피동개념의 채택은 안전계통의 혁신적인 단순화, 사고 잠재성의 제거, 용이한 운전 및 높은 신뢰성으로 인하여 원자로의 안전성을 증진시킨다. KALIMER는 원자로냉각재계통 및 안전계통에 많은 피동개념을 채택하고 있다. KALIMER 설계에서는 원자로 냉각재의 자연순환에 의한 노심냉각, 원자로 용기 주변에서 공기의 자연순환을 통한 잔열제거계통, 노심 출구의 냉각재가 설정치인 큐리온도(quiet point)이상으로 올라가면 중력에 의하여 자동으로 낙하하는 비상원자로정지계통 등이 피동개념을 이용한 안전설비이다. 그러나 관련된 피동 계통 및 기기의 성능 확인과 계통 상호간의 영향을 확인하기 위해서는 향후 많은 연구/개발이 요구된다.

### 3. KALIMER 사건분류

일반적으로 발전소에서 발생 가능한 사건은 발생확률 및 사건 결과의 심각성에 따라 분류되며 각 사건범주별로 서로 다른 안전기준 및 허용기준이 정의된다. 기존 발전소의 사건분류(event categorization)는 정상운전, 예상과도운전, 설계기준사고 및 설계기준초과사고로 구분되며, 이러한 사건분류는 부지선정 및 비상계획의 설정뿐만 아니라 격납계통 및 안전계통과 같은 원자로 계통설계, 심층방어 설비 및 안전성 평가에 활용된다. KALIMER 설계는 새로운 설계개념에 따라 기존 발전용 원자로와 다른 운전조건을 가지고 있으므로 KALIMER의 설계특성에 따라 기존 발전소의 설계기준사고 중에서 일부 사고가 배제되거나 또는 새로운 사고가 추가될 수 있다 [2]. 특히 KALIMER는 부지선정 및 비상계획에 있어 기존의 접근방법과는 매우 다르다.

기존 안전규제요건에서 사용되고 있는 여러 가지의 발전소 조건 분류가 표 1에 비교 제시되어 있으며, 이를 근거로 발전소 안전성 확보를 위해 사건별로 다양한 규제요건을 설정하고 있다. 1983년 미국원자력학회(ANS)에서는 원자력 발전소 안전설계를 위해 ANSI/ANS-51.1-1983을 통해 종합적이고 체계적인 정량적 원전 조건분류법을 제시하였으며, 최근에는 신형원자로 설계 및 안전성 평가에서 확률론적 발생빈도에 근거한 사건분류법을 채택하여 정량적 안전성 평가에 활용하고 있다.

KALIMER에서는 안전성 증진을 위해 낮은 발생확률을 가지는 사건이라 할지라도 그 사고의 방사선학적 영향이 크다면 위험도 측면에서 대처방안을 고려하고 있다. 그러나 너무 낮은 발생확률 사건을 고려하는 것은 경제적 측면에서 상당한 부담을 초래하므로 기존의 설계기준사고의 범위는 대략  $1 \times 10^{-4}$ 에서  $1 \times 10^{-5}$  /RY 이상의 발생확률을 가지는 초기사건을 고려하고 있다. KALIMER에서는 이보다 낮은 발생빈도의 사고들, 즉, 기존 원자로에서 고려하는 설계기준사고 범위를 초과하는 사고유형을 설계에서 고려하고 있다. 이는 설계를 통해 발전소 외부로 유출되는 방사성 물질의 양 및 가능성을 최소화함으로써 인근 주민의 피폭수준을 기존의 방사능 보호조치를 요구하는 수준 이하로 낮게 제한하기 위함이다.

신형원자로에서 실제적인 사고 선원항의 결정과 격납기능 및 소외 비상계획의 적절성에 대한 판단 근거를 위해서 고려해야 할 사고 범위의 선정에 대해서 US NRC는 기존 경수형 원자로의 설계기준사고 범위를 초과하는 사고범위를 적절히 선정하여 다음과 같은 사항을 설계에서 만족하도록 요구하고 있다: (1) 원자로 설계가 US NRC의 안전목표 및 중대사고

정책의 준수 (2) 부지 선정과 격납기능 및 비상소개 계획과 관련하여 실제적 선원항의 사용 (3) 기존 경수형 원자로와 비교하여 심층방어개념 적용에 있어서 사고완화로부터 사고예방에 중점을 두어 최소한 기존 경수형 원자로 설계와 동등한 안전성 확보. 이를 위하여 설계와 부지 선정 및 격납용기 성능과 비상계획 목적 등에 고려되어야 하는 여러 사건들의 체계적 분류가 요구된다. 이때 분류된 사건범위에 포함되는 개개의 사건은 PSA 결과를 활용하여 결정론적 방법으로 선정한다. US NRC의 신형원자로 설계에 대하여 다음과 같은 사건분류를 제안하고 있으며 KALIMER는 이를 준용하여 표 1과 같이 분류하고 있다.

- ① 사건범주 I (EC-I): 기존의 경수형 원자로에 고려되는 예상운전과도사건 (AOO)의 등급과 동등하며 발전소 수명 기간동안 한번 혹은 그 이상의 발생이 예상되는 사건에 대응한다. 이러한 사건은 10 CFR 50, App. I 와 40 CFR 190을 준수하는 기존 경수형 원자로에서와 같은 방법으로 해석된다. KALIMER의 보통빈도사건(Moderate Frequency Events)과 낮은빈도고장 (Infrequent Events)은 여기에 해당된다.
- ② 사건범주 II (EC-II): 기존의 경수형 원자로에서 고려하고 있는 설계기준사고 등급과 동등하며,  $10^{-4}$  /RY의 기준은 발전소 수명을 넘어선 기간에 발생이 예상되는 사건에 해당된다. 공학적 판단을 사용하고 PRA 방법론을 보완하여 사건을 선정하며. 단일고장기준 (single failure criterion) 및 기존의 보수적 방법론을 적용하여 해석을 수행한다.
- ③ 사건범주 III (EC-III): 기존의 설계기준사고를 초과하는 심각한 사건에 대응되며 발생빈도 측면에서 기존 경수로의 중대사고 범주에 속한다. 이 사고 범주를 신형원자로 설계에서 고려하는 이유는 US NRC의 중대사고 정책을 준수하기 위함이며, 특히 실제적 선원항의 사용 및 사고예방 측면의 심층방어 적용과 일관성을 유지한다. 공학적 판단 및 결정론적 해석을 보완하기 위하여 PRA 방법론을 사용하여 사건을 선정한다. 사건 발생빈도  $10^{-7}$  /RY의 기준은  $10^{-6}$  /RY 이하 사건의 누적된 영향으로 인하여 환경으로 방사성 물질의 다량 유출빈도가  $10^{-6}$  /RY 보다 작아야 한다는 US NRC의 성능 지침을 준수하기 위함이다. EC-III 사건은 보수적인 방법보다는 최적평가 방법론에 근거하여 평가한다. EC-III에 포함되는 사건을 선정하는데 있어서 다량의 방사능 유출, 노심용융 혹은

표 1. 발전소 사건분류 비교

US NRC			ANSI			신형원자로	
10 CFR	RG 1.48	RG 1.70	발생빈도(/ry)	ANSI/ANS-51.1	ANSI N18.2	US NRC	KALIMER
정상 (Normal)	정상운전 (Normal)	정상운전 (Normal)	10 <sup>-1</sup>	Plant Condition 1 (PC-1)	Condition I	Normal Operation	Moderate Frequency
예상운전과도 (Anticipated Operational Occurrences)	이상운전 (Upset)	낮은 빈도 고장 (Incidents of Moderate Freq.)		Plant Condition 2 (PC-2)	Condition II	EC-I Anticipated Events	Inferquent Events
		보통 빈도 고장 (Infrequent Incidents)	10 <sup>-2</sup>	Plant Condition 3 (PC-3)	Condition III	EC-II Unlikely Events	Unlikely Events
사고 (Accidents)	비상운전 (Emergency)	제한 빈도 고장 (Limiting Faults)	10 <sup>-3</sup>	Plant Condition 4 (PC-4)	Condition IV		
			10 <sup>-4</sup>				
	10 <sup>-5</sup>		Plant Condition 5 (PC-5)				
	10 <sup>-6</sup>						
고장운전 (Faulted)	10 <sup>-7</sup>	고려 안함	EC-IV Residual Events	Residual Risk Events			

반응도 폭주의 가능성이 있는 사건들을 구체적으로 한계사건 (bounding events)으로 정의하고, 이러한 사건들에 대해 적절한 사고방지 및 보호설계의 타당성이 검토되어야 한다. 특히 혁신적인 발전소 설계와 피동안전계통의 성능에 포함된 불확실성을 고려하여 한계사고는 보수적인 방법으로 해석을 수행한다.

- ④ 사건범주 IV (EC-IV): 이 사건범주는 소외 비상계획에 대한 필요성을 평가하는 데 사용된다. 기존 경수형 원자로의 비상계획구역 (EPZ) 요건에 의하여 고려되는 사건들과 유사한 발생빈도를 가지는 내부 사건들을 포함한다.

설계기준사고와 초과설계기준사고의 정의 및 구분은 기존의 원자로에서 얻은 경험을 기초로 하고 PRA를 수행하여 결정하지만 KALIMER는 신개념의 혁신적인 설계이므로 유사한 경험이 거의 없고, 또한 개념설계 단계에서는 계통의 신뢰도 데이터 평가가 불확실할 뿐 아니라 안전성에 궁극적으로 요구되는 피동안전계통 성능의 정량화가 곤란하므로 현재 단계에서 합리적인 PRA 결과를 기대할 수 없다. 따라서, 안전성관련 설계기준사고 선정 작업시 설계에 포함될 수 있는 모든 불확실성을 고려하여야 한다. 사건 발생빈도 측면에서 기존 발전소의 설계기준초과사고 범주에 속할지라도 KALIMER 설계요건과 관련되어서 결정론적 안전해석을 수행해야 할 사고들이 한계사고로 정의되며, 참고문헌 3에 KALIMER 설계특성을 고려하여 한계사고를 유형별로 구분하고 있다. ATWS같은 사고들은 원자로 보호계통 설계의 불확실성을 이유로 긴급 원자로정지가 실패한다는 가정을 포함한 대표적인 한계사고들이다.

#### 4. KALIMER 안전해석 허용기준

KALIMER는 개념설계가 진행 중이므로 아직 발전소의 성능 측면에서 구체적인 설계자료가 생산되지 않고 있다. 따라서 KALIMER의 성능관련 과도사건의 허용기준은 발전소 설계가 진행됨에 따라 달라질 수 있다. 그러나 설계기준사고에 대한 안전성 관련 기준은 비교적 설계에 따른 변화 폭이 작으므로 KALIMER 안전허용기준을 작성하였다. 정상운전과 설계기준 과도사고시 물리적 현상을 기반으로 한 안전허용기준은 다음과 같다: (1) 핵연료 용융금지 (2) 핵연료/피복관의 상변화를 동반하는 상호작용 금지 (3) 피복관의 변형율(strain) 및 크립파단(creep rupture)에 의한 핵연료봉 손상 금지 (4) 소듐 냉각재 비등 금지 (노심내 기포생성 금지) (5) 원자로 구조물의 건전성 확보. 한편, 한계사고(BE)에 대한 안전허용기준으로는: (1) 노심용융금지 (정반응도가 야기되지 않는 국부용융은 허용) (2) 큰 정반응도 삽입 금지 (3) 대형 방사능 물질의 방출 가능성 금지이며, 긴급 원자로정지 실패를 가정하는 비보호과도사고에 대해서는 보수적으로 다음과 같은 허용기준을 설정하였다: (1) 제한된 범위에서 피복관 손상 (손상전파 금지) (2) 일차경계 구조물의 건전성 유지 (3) 소듐 냉각재 비등 금지 (4) 핵연료 이동으로 인한 정반응도 삽입 금지.

#### 5. KALIMER 설계의 안전현안

액체금속로 설계는 일반적인 경수로의 설계기준사고 이상의 사고유형이 존재하며 안전성 관점도 다를 수 있다. 국내에는 인허가 측면에서 액체금속로 관련 연구가 미약하므로 주로 해외 액체금속로의 인허가 경험을 토대로 하였다. 1988년 US NRC는 미국 에너지성(DOE)에서 제안한 신형원자로인 MHTGR, PRISM, SAFR [4] 설계에 대한 안전성 검토를 수행한 결과 신형원자로는 새로운 설계특성에 기인하여 안전성이 향상되었으나, 실제적 방법의 선원항 계산, 혁신적인 격납계통 개념의 도입, 소외비상계획의 축소 혹은 폐기 등은 기존 원자로와는 다른 새로운 설계특성을 가지기 때문에 인허가 현안으로 제기되고 있다.

특히, US NRC는 피동안전계통의 사용과 관련하여 다음과 같은 불확실성의 평가가 필요함을 지적하였다: (1) 시험, 해석 혹은 이전의 경험에 의한 피동계통의 성능 입증 및 계통 상호간의 영향 평가 (2) 안전성 평가를 보충하기 위한 피동계통 및 기기의 신뢰성 및 작동성과 관련된 시험자료들의 확보 (3) 피동안전계통의 신뢰성 혹은 성능에 포함된 불확실성의 정량화 (4) 사고 후 72시간 동안의 운전원의 역할 및 조치와 그 이후의 장기냉각 기능의 불확실성 평가 (5) 피동안전계통과 비안전계통의 상호 연계 및 영향의 평가. 피동 개념의 설계는 신형원자로 설계를 단순화함으로써 운전을 단순화하고 안전성을 증진시키지만 피동계통 및 기기의 사용과 관련하여 성능 입증, 계통 상호간의 영향, 신뢰성 확보가 필요하다.

피동계통의 안전성 입증방법과 관련하여 US NRC는 10 CFR 52.47 (신형원자로 설계의 표준설계인증)에서 운전중인 기존의 원자로 설계와 상당히 다른 표준설계, 혹은 단순성, 고유특성, 피동성, 혹은 혁신적인 수단을 사용하여 안전기능을 수행하는 설계의 최종 승인을 위해서는 안전성 판단의 근거 자료로서 안전설비의 성능시험 혹은 원형로 시험을 통한 상세 실험자료의 제공을 요구하고 있다.

## 6. 결론

KALIMER 설계는 신형 액체금속로의 설계개념인 고유안전성과 피동안전성을 기반으로 하고 있다. 국내에서는 아직 액체금속로 인허가 관련 연구가 미약하므로 미국의 신형 액체금속로 예비안전성검토 단계에서 US NRC가 취했던 규제입장을 검토하여 KALIMER 설계에 적용하였다. KALIMER는 NRC의 안전목표 정책과 중대사고 정책을 준수하여 향상된 안전목표와 중대사고 방지 및 완화에 관한 방침들을 설계에 반영하고 있다. 확률론적 발생빈도에 근거한 KALIMER의 사고분류 체계를 정의하였으며, 사고결과의 중대성에 따라 안전허용기준과 해석방법론을 도출하였다. 그러나 KALIMER의 구체적인 안전허용기준은 KALIMER 설계가 구체화되고 충분한 금속핵연료 자료와 이를 모델링 하는 해석기술이 갖추어진 후 수행되어야 할 향후 과제이다.

KALIMER 설계는 안전성 확보를 위하여 혁신적인 설계개념을 채택하고 있으므로 기존의 안전규제요건은 물론 신형원자로와 관련된 정책과 안전목표 정책, 중대사고 정책 및 표준화 정책 등을 준수하는 것에 기반을 두어야 한다. 따라서 KALIMER 설계의 개발 단계에서 이들 안정성 관련 정책 방향을 파악하고 안전에 중요한 핵심적인 현안들의 해결방안을 위하여 관련 연구개발을 도출할 필요가 있다. KALIMER 설계의 안전성 여부를 조기에 검토함으로써 향후 인허가를 위한 설계 신청시 제기될 수 있는 쟁점현안들을 사전에 해결할 수 있다.

## 감사의 글

본 논문은 과학기술부 주관 원자력 연구개발 중장기 계획사업의 일환으로 수행되었다.

## 참고문헌

1. 한도희, 권영민의, "KALIMER 예비 개념설계 보고서," KAERI/TR-1636/2000, 한국원자력연구소 (2000, 8).
2. Young Min, Kwon, "Safety Related Design Bases Events for KALIMER," KALIMER/SA120-SB-01, Rev.1 (2000)
3. 한도희, 권영민의, "KALIMER 핵심개념 예비 안전해석 보고서," KAERI/TR-1616/2000, 한국원자력연구소 (2000, 7).
4. NUREG-1368, Preapplication Safety Evaluation Report for the Power Reactor Innovative Small Module (PRISM) Liquid-Metal Reactor, US. NRC (1994).