2002 추계학술발표회 논문집
한국원자력학회

원전 설계에 대한 IAEA 요건과 국내 기술기준의 비교·분석

Evaluation of Korean Technical Standards compared to IAEA Requirements on Design of Reactor Facilities

안형준, 오병주, 유선오, 강석철, 김효정
한국원자력안전기술원
대전광역시 유성구 구성동 19번지

이경우
과학기술부
경기도 과천시 중앙동 정부과천청사

요 약

원자로시설에 대한 IAEA 설계요건과 원자로규칙의 기술기준을 비교·검토하고 차이점을 도출하였다. IAEA 설계요건은 크게 원전설계요건과 원전계통설계요건으로 구성된다. 원전설계요건중에서 설비환경검증, 노화, 중대사고 등이 IAEA 설계요건에는 포함되어 있으나 원자로규칙의 기술기준에는 포함되어 있지 않다. 원전계통설계요건에 대해서는 IAEA 설계요건과 원자로규칙의 기술기준에서 계통별로 기본적인 요건을 규정하고 있으나 일부 상이한 부분이 있다. IAEA 설계요건과 원자로규칙의 기술기준과 차이나는 요건을 도출하고 그 세부 내용을 항목별로 분석하였다.

Abstract

Korean technical standards and IAEA requirements on design of reactor facilities were compared each other and the differences were reviewed. IAEA Requirements consist of requirements for plant design and requirements for design of plant system. In requirements for plant design, the items which are not reflected in the technical standards are equipment qualification, ageing, severe accidents and so on. In requirements for design of plant system, basic requirements in each system are described both, but some differences were found in detail requirements. These differences and their contends were evaluated.

1. 서 론

국제원자력기구(IAEA)는 안전기준(Safety Standards)의 체계적인 개발을 위하여 안전기준위원회(Commission on Safety Standards)와 그 산하에 원자력안전기준위원회(Nuclear Safety Standards Committee) 등 4개의 전문기준분과위원회를 설치하여 IAEA 안전기준을 개발하고 있다. 이들 안전기준위원회와 전문기준분과위원회는 IAEA 안전기준 프로그램을 수립하여 종합적인 안전기준체계를 재구성하고, 기존에 개발되었던 안전기준을 토대로 요건 및 안전지침의 통합 또는 보완과 신규요건의 개발을 추진 중에 있다.

IAEA 안전기준 프로그램에 따르면 원자력 기술요건체계는 원자력안전, 방사선안전, 방사성폐기물안전, 운반안전으로 분류하고 있다[1]. 원자력안전분야에는 원전의 설계, 운영, 부지평가와 연구로안전 및 핵주기시설안전으로 분류되어 있으며, 각각에 대하여 요건과 안전지침으로 구성되어 있다. 설계에 관한 요건은 2000년도에 No. 50-SG-D에서 No. NS-R-1로 개정되었다. 개정 설계요건은 기존의 설계요건에 비하여 발전소상태의 세분화, 심층방어의 강화, 노화 등에 대하여 보강되었다[2].

원전의 설계에 관한 안전기준은 설계요건(No. NS-R-1)과 안전에 중요한 전산기반계통의 소프트웨어(No. NS-G-1.1), 원전 안전성평가 및 검증(No. NS-G-1.2, 2001), 원전의 안전에 중요한 계측 및 제어 계통(No. NS-G-1.3, 2001) 등 15건의 안전지침으로 구성되어 있다.

안전요건은 필수요건으로서 국내 기술기준체계와 비교해 볼 때 "원자로시설등의기술기준에관한규칙"(이하 "원자로규칙"이라 한다)의 기술기준 또는 고시수준으로 볼 수 있다[3]. IAEA의 안전기준들은 법적인 구속력을 가지는 것은 아니지만 회원국의 선택에 따라 자국의 법령 및 기준으로 사용할 수도 있다.

국내의 원자로규칙은 그간의 차세대원자로 규제요건개발의 결과 등을 반영하고 운영관련 시행령 요건의 부령 이관등 2001년에 대폭적으로 개정되었다[4]. 그러나 이 개정에서는 미국의 일반설계기준등 각국의 요건을 검토 및 반영하였으나 설계에 관한 IAEA 요건은 개정 이전의 안전기준이 참조가 되었다.

원자력안전기술원에서는 원자로규칙의 기술기준체계를 개선하기 위한 연구를 수행하고 있으며 그에 따른 기술기준의 적합성을 IAEA 안전기준 등을 모델로 하여 비교·분석하고 외국의 기술기준을 참고하여 기술기준의 개선을 추진하고 있다[5,6].

본 연구에서는 IAEA 안전기준중 원자로시설의 설계요건(No. NS-R-1)[7]을 중심으로 하여 이에 상응하는 원자로규칙 기술기준의 내용을 비교 분석하였다. IAEA 설계요건은 안전목표 및 개념, 안전관리요건, 주요 기술적 요건, 원전설계요건, 원전계통설계요건 등으로 구성되어 있으나 원자로규칙의 기술기준의 범위에 해당되는 원전설계요건, 원전계통설계요건에 대하여 분석하고 이와 원자로규칙의 “원자로시설의 구조·설비 및 성능” 기술기준을 비교·분석하였다. 이에 대한 내용을 항목별로 소개하고자 한다.

2. IAEA 설계요건 대비 원자로규칙 기술기준의 분석

IAEA 설계요건과 국내 원자로규칙의 기술기준을 비교하면 체계상으로 IAEA 설계요건은 기술기준의 구조·설비 및 성능에 대응되며, IAEA 운영요건은 기술기준의 운영에 대응된다. IAEA 설계요건은 안전목표 및 개념, 안전관리요건, 기본기술요건, 원전설계요건, 원전계통설계요건 등으로 분류하고 있으나 국내 기술기준에는 이러한 대분류가 없이 단순 나열식으로 요건이 규정되어 있다. 미국의 일반설계기준도 IAEA와 유사하게 대분류로 구분하고 있다. IAEA 설계요건(이하 “IAEA 요건” 이라 한다)과 원자로규칙의 기술기준에서 규정하는 구조·설비 및 성능 기술기준(이하 “원자로규칙” 이라 한다)을 개괄적으로 대비하면 표 1과 같다.

가. 원전설계요건

원전설계요건에는 표 2에 나타낸 바와 같이 안전등급, 일반설계기준, 구조물·계통·기기 신뢰성 설계 등으로 구성되어 있다. 그 중 원자로규칙과 비교하여 차이가 나는 주요항목을 정리하면 다음과 같다.

표 1. IAEA 설계요건과 원자로규칙 기술기준 비교표

IAEA 요건		원자로규칙
제1장 서론	• 배경, 제정목적, 적용범위, 구성	• 제11조 (적용범위)
제2장 안전 목표 및 개념	• 안전목표, 심층방어 개념	-
제3장 안전 관리요건	• 관리책임, 설계관리, 입증된 공학관행, 운전경험 및 안전연구, 안전성평가, 안전성평가의 독립적 검증, 품질보증	-
제4장 기본 기술요건	• 심층방어요건, 안전기능, 사고예방 및 원전안전특성, 방사선방호 및 허용기준	-
제5장 원전 설계요건	• 안전등급	• 제12조 (안전등급 및 규격)
	• 일반설계기준	• 제13조 (외적 요인에 관한 설계기준) • 제14조 (화재방호에 관한 설계기준등) • 제15조 (환경영향 등에 관한 설계기준) • 제39조 (급경사지의 붕괴방지 등) • 제42조 (설계기준사고) • 제43조 (기동·정지 및 저출력 운전의 보호설계) • 제48조 (운전제한조건의 설정·조정 등)
	• 구조물·계통·기기 신뢰성 설계	• 제44조 (신뢰성)
	• 가동중시험·정비·수리·검사·감시 요건	• 제41조 (시험·감시·검사 및 보수)
	• 설비환경검증	-
	• 노화	-
	• 인적요소	• 제45조 (인적 요소)
	• 기타 설계고려사항	• 제16조 (설비의 공유)
	• 안전성분석	-
제6장 원전 계통설계요건	• 원자로 노심 및 관련 설비특성	• 제17조 (원자로의 설계) • 제18조 (원자로의 고유보호) • 제19조 (원자로출력 및 출력분포 진동 제어) • 제35조 (원자로의 노심 등) • 제36조 (제어재구동장치)
	• 원자로냉각재 계통	• 제21조 (원자로냉각재압력경계) • 제22조 (원자로냉각계통 등) • 제29조 (잔열제거설비) • 제30조 (비상노심냉각장치) • 제31조 (최종 열제거설비) • 제37조 (과압방지)
	• 격납계통	• 제23조 (원자로격납건물 등)
	• 계측 및 제어	• 제20조 (계측 및 제어장치) • 제25조 (원자로제어실 등) • 제26조 (원자로보호계통) • 제27조 (다양성보호계통) • 제28조 (반응도 제어계통) • 제38조 (경보장치 등)
	• 비상제어센터	• 제47조 (비상대응시설 및 설비)
	• 비상전력공급	• 제24조 (전력공급설비)
	• 폐기물처리 및 관리 계통	• 제32조 (방사성폐기물의 처리 및 저장시설 등)
	• 연료취급 및 저장 계통	• 제33조 (연료취급장치 및 저장설비)
	• 방사선 방호	• 제34조 (방사선방호설비) • 제46조 (방사선방호의 최적화)

1) 안전등급

IAEA 설계요건에서는 계측제어계통의 소프트웨어를 등급분류에 포함하고 있으나 원자로규칙에서는 이에 대한 사항을 규정하고 있지 않다.

IAEA의 등급분류는 구조물, 계통 및 기기의 기능과 안전의 중요도에 따라 분류하는데 안전의 중요도를 분류하는 방법을 일차적으로는 결정론적인 방법에 근거하며 확률론적인 방법과 공학적인 판단에 의해 보완된다. 그러나 원자로규칙에서는 안전기능의 중요도 분류방법에 대해서는 규정하고 있지 않다.

원자로규칙에서는 등급별 규격을 과학기술부 고시로 정하도록 하고 있으나[8] IAEA 요건에서는 규격에 대한 내용은 없다. 고시에서는 ANSI 51.1을 근간으로 등급분류기준을 규정하고 있는데 확률론적인 개념은 포함되어 있지 않다.

IAEA 요건에서 기술하고 있는 등급간의 상호연관성(interfaces)에 대한 요건은 고시에 반영되어 있다.

2) 설비환경검증

설비환경검증에 대하여는 국내 원자로규칙에서 명확히 규정하고 있지 않다.

IAEA 요건에서는 검증절차서가 수립되어, 안전에 중요한 설비들이 그들의 설계수명기간동안 진동, 온도, 압력, 분사충격, 전자기의 간섭, 방사선조사, 습도 또는 그 밖의 가능한 이들의 조합등의 환경조건에 대하여 필요한 시기에 그 기능이 수행됨을 확인되도록 요구하고 있다. 고려해야 할 환경조건은 정상운전, 예상운전과도, 설계기준사고에서의 상태를 포함하여야 한다. 검증프로그램에 있어서는, 기대되는 기기의 수명기간에 걸쳐서, 여러 가지의 환경인자(예, 진동, 방사선조사 및 극심한 온도변화 등)에 의해서 발생되는 노화영향이 고려되어야 한다. 기기들이 외부적인 자연사건 발생시, 그러한 사고중에 또는 사고후에 안전기능을 수행하는 것이 필요할 경우에는, 검증프로그램은 실용가능한 범위내에서 자연현상에 의해 그 기기에 부과된 조건을 시험이나 분석, 또는 시험, 분석 두 가지의 조합을 통해서 반드시 확인하여야 한다. 특히 중대사고시에 운전되어야 하는 계측장비와 같은 기기들은 합리적인 신뢰성를 가지고 설계에서 의도한 바와 같은 능력을 발휘할 수 있도록 규정하고 있다.

3) 노화

원자로규칙에서는 노화와 관련된 명확한 규정은 없는 상태이다. 이는 IAEA 요건에서도 개정후에 반영된 사항이다. 안전에 중요한 모든 구조물, 계통 및 기기의 설계에는 설계수명기간 필요한 안전기능 수행 능력을 보장하기 위하여 노화를 고려하여 적절한 여유도가 반드시 고려되어야 하며, 설계단계에서 감시, 시험, 시료채취, 검사, 노화기구의 예측을 평가하는 것, 가동중에 발생될 수 있는 예기치 못한 거동이나 성능저하를 확인하는 것 등을 위한 조치가 반드시 마련되도록 규정하고 있다.

원자로규칙에서는 다만 운영단계에 시간의 경과에 따라 재질의 취약화, 성능확인을 위한 시험, 감시, 검사 및 보수 등에 대하여 계획을 수립하고 과학기술부 고시에 따라 적절한 조치를 취하도록 규정하고 있다.

4) 중대사고

원자로규칙에는 중대사고에 대한 언급이 없다. IAEA 요건에 따르면 중대사고에 대하여는 공학

적인 판단과 확률론적 방법을 사용하여, 합리적으로 실용성 있는 예방 또는 완화 조치들이 확인될 수 있도록 고려되어야 한다. 허용될 수 있는 조치에는 확률론적 방법, 결정론적 방법과 확실한 공학적인 판단의 적절한 조합을 통하여 확인되어야 한다. 아울러 사고관리절차서는 대표적인 중대사고 시나리오를 고려하여 수립되어야 한다.

중대사고에 대하여는 실질적으로는 중대사고정책 등을 통하여 이에 대한 내용을 부분적으로 다루고 있으며 규정화 하는데는 많은 논의가 필요할 것으로 판단된다.

5) 발전소상태의 분류

발전소상태는 발생빈도에 따라서 일정 수로 분류되고 확인되어야 한다. 발전소상태는 일반적으로 정상운전, 예상운전과도, 설계기준사고 및 중대사고로 분류된다. 가끔 발생하는 가상초기사건(Postulated Initiating Events)들은 미미한 영향을 미치고 방사선영향을 주지 않으며, 중대한 영향을 주는 사건은 대단히 낮은 확률이어야 한다는 요건을 고려하여, 허용기준이 각 상태에 설정되어야 한다.

원자로규칙에는 정상운전, 예상운전과도, 설계기준사고에 대한 정성적인 정의는 되어 있으나 발생빈도를 고려한 상태구분은 규정하고 있지 않다.

표 2. 원전설계요건에 관한 IAEA 요건과 원자로규칙 비교표

	IAEA 요건	원자로규칙	비고
1) 안전등급	• I&C S/W를 포함한 구조물, 계통 및 기기에 대하여 등급분류	• 제12조 (안전등급 및 규격) -구조물, 계통 및 기기에 대하여 등급분류	
	• 기능 및 안전의 중요도에 따라 등급분류	-안전 기능의 중요도에 따라 분류	
	• 등급분류에 따른 품질과 신뢰도가 만족되도록 설계, 건설 및 유지(안전기능 수행확률도 고려)	-등급별 적용규격	적용규격: 고시에서 규정
	• 안전의 중요도 결정에는 결정론적 방법 우선, 확률론적 방법 및 공학적 판단으로 보완	-	
	• 다른 등급간의 상호연관성 고려	-	고시에서 규정
	-		
2) 일반설계 기준	• 발생빈도에 따른 발전소상태 구분 -운전상태(정상운전, 예상운전과도) -사고상태(설계기준미달사고, 설계기준사고, 설계기준초과사고, 중대사고) -각 상태별 허용기준 설정	• 제2조 (정의) -정상운전 -예상운전과도 -설계기준사고 -각 상태별 허용기준 미설정	규칙: 중대사고 미포함
	• 기상초기사건	-	
	• 내부 사건 -안전에 영향을 줄 수 있는 내부사건 고려 -화재 및 폭발 화재위험도분석, 화재진압계통 -기타의 내부 위해요소(홍수, 비산물 발생, 배관 휩, 제트충격, 유체의 방출)	• 제14조 (화재방호에 관한 설계기준등) -화재위험도 분석 고시 • 제15조 (환경영향등에 관한 설계기준) -정상운전, 예상운전과도, 설계기준사고의 환경조건에 적합하고 그 영향을 수용 -비산물, 배관 휩, 방출유체에 의한 동적 영향, 내부홍수	
	• 외부사건 -자연 또는 인위적 설계기준 -자연: 지진, 홍수, 강풍, 토네이도, 쓰나미 등 극한 기상조건 -인위적: 부지특성, 설계기준	• 제13조 (외적 요인에 관한 설계기준) -자연현상: 지진, 태풍, 홍수, 해일 등 -인위적사건: 항공기 충돌, 폭발 등	
	• 부지관련특성 -인구, 기후, 수문, 지질, 지진 등의 환경을 고려	• 제5조 (위치제한) • 제6조 (기상조건) • 제7조 (수문 및 해양) • 제4조 (지질 및 지진) • 제39조 (급경사지의 붕괴방지 등)	
	-전력공급, 화재방호 등 부지외 사항을 고려 -특정부지에 대해서는 특별한 설계특성을 고려	- -	
	• 사건의 조합	-	
	• 설계원칙	• 제42조 (설계기준사고)	
	• 설계한계	• 제48조 (운전제한조건의 설정·조정 등)	
	• 운전상태	• 제43조 (기동·정지 및 저출력 운전의 보호설계)	
	• 설계기준사고	-	
	• 중대사고	-	

표 2. 원전설계요건에 관한 IAEA 요건과 원자로규칙 비교표 - 계속

	IAEA 요건	원자로규칙	
3) 구조물·계통·기기 신뢰성 설계	• 충분한 신뢰도를 가지고 설정된 PIE에 대처 • 공통원인고장 고려 -다중성, 다양성, 독립성의 원칙 적용 • 단일고장기준 • 고장안전설계 • 보조서비스 • 기기의 정지기간	• 제44조 (신뢰성) -안전기능의 중요도에 따른 신뢰성 확보 및 유지 -다중성, 다양성, 독립성 및 물리적 격리 -단일전력·단일고장시에도 안전기능 달성	
4) 가동중시험·정비·수리·검사·감시 요건	• 신뢰도 목표달성을 위하여 수명기간동안 교정, 시험, 정비, 수리, 교체, 검사, 감시 • 시험 및 감시될 수 없다면 대안 제시 및 보수적인 안전여유 확보, 예방책 마련	• 제41조 (시험·감시·검사 및 보수) -안전기능의 중요도에 따른 시험·감시·검사 및 보수 -주기적인 검사 또는 보수 불가능시 고장에 대처할 수 있도록 설계 -압력용기, 배관 등은 내압시험 누설기준에 적합	
5) 설비환경 검증	• 진동, 온도, 압력, 전자기파, 방사선, 습도등의 환경조건하에서 기능유지를 위하여 환경검증 절차 적용	-	
6) 노화	• 수명기간동안 안전기능유지를 위하여 노화 및 열화를 고려한 설계여유도 확보	-	
7) 인적요소	• 운전자성능을 위한 최적설계 -인간·기계 상호간섭을 설계시 반영	• 제45조 (인적 요소) -설계에 인적요소 반영 -인적오류 최소화 방안	
8) 기타 설계 고려사항	• 설비 공유, 방사성물질 포함계통 • 폐열·열사용·담수화 발전소 • 연료 및 폐기물 포장 및 운반 • 대피통로 및 통신수단, 발전소 출입관리, 계통상호작용 • 전력그리드와 발전소간의 상호작용 • 해체	• 제16조 (설비의 공유)	
9) 안전성분석	• 결정론적 접근, 확률론적 접근	-	

나. 원전 계통설계요건

1) 원자로 노심 및 관련설비

원자로 노심 및 관련설비에 관한 요건으로는 표 3에 나타낸 바와 같이 여유도를 가진 설계, 원자로 출력분포제어, 검사 및 시험 가능 설계, 안전정지 능력보장 등으로 구성된다.

IAEA 요건에서는 노심 및 부속설비의 검사 및 시험가능 설계를, 원자로규칙에서는 안전에 중요한 구조물·계통 및 기기의 시험 검사를 규정하고 있다.

원자로규칙에서는 규정하지 않으나 IAEA 요건에서는 핵연료봉 및 집합체에 대한 요건을 기술하고 있다. 즉, 정상운전, 예상운전과도시 예상되는 방사선조사와 환경조건을 극복하며 열화를 고려하여 설계하고, 계산 및 제작시 데이터의 불확실성에 대한 허용오차를 고려하며, 핵분열생성물의 누설이 제한치내로 유지될 것을 규정하고 있다.

2) 원자로냉각계통

원자로냉각계통에 관한 요건으로는 표 4에 나타낸 바와 같이 원자로냉각재계통의 설계, 잔열제거, 비상노심냉각, 최종열제거원 등으로 구성된다.

IAEA 요건에서는 설계기준사고시, 원자로규칙에서는 정상운전 및 예상운전과도 동안 설계조건이 유지되어야 함을 규정하고 있다.

원자로규칙에는 과압방지에 대한 사항을 고시로 상세히 정하도록 규정하고 있으나 IAEA 요건에는 과압방지에 대한 명시적인 기술보다는 원자로냉각재압력경계의 설계조건이 초과되지 않도록 여유를 가진 설계이어야 함을 규정하고 있다. 또한 원자로규칙에는 감시시험편에 대한 사항을 고시로 상세히 정하도록 규정하고 있다.

특히 IAEA 요건에서는 중대사고시에도 최종열제거원으로의 열전달기능을 고려하도록 요구하고 있다.

3) 격납계통

격납계통에 관한 요건으로는 표 5에 나타낸 바와 같이 격납건물 설계, 구조적 건전성유지, 격납건물 누설, 격납건물 격리, 열제거, 대기 제어 및 정화 등으로 구성된다.

IAEA 요건에는 선정된 중대사고 영향의 완화를 위한 설비를 고려하나 원자로규칙에서는 설계에 고려되는 모든 사고 조건으로 규정되어 있어 중대사고의 포함여부가 명확하지 않다.

IAEA 요건에는 격납건물 구조물 강도, 격납건물 누설, 격납건물관통부, 격납건물 격리, 공기차폐식 출입문, 내부 컴파트먼트, 열제거, 대기 제어 및 정화에 대하여 중대사고시 그 기능유지를 요구하고 있다.

4) 계측 및 제어계통

계측 및 제어계통에 관한 요건으로는 표 6에 나타낸 바와 같이 계측 및 제어계통의 일반요건, 제어실, 보조제어실, 반응도 제어계통, 원자로보호계통, 경보장치 등으로 구성된다.

계측제어계통에 사용되는 소프트웨어의 품질과 기능수행유지에 대해서는 양쪽 공통으로 규정하고 있다.

발전소 주요 변수 감시기능을 IAEA 요건에서는 정상운전, 예상운전과도, 설계기준사고, 중대사고시 유지되도록 하고 있으나 원자로규칙에서는 사고조건시 라고 규정되어 있어 중대사고의 포함여부가 명확하지 않다. 원자로제어실의 경우에도 IAEA 요건에서는 정상운전, 예상운전과도, 설계기준사고, 중대사고시 기능이 유지되도록 하고 있으나 원자로규칙에서는 운전 또는 사고조건에 대한 언급이 없다.

반응도 제어계통은 원자로규칙에서는 서로 다른 두 개의 독립된 제어계통을 요구하고 있으며 이에 대한 내용은 IAEA 요건에서는 “원자로 노심 및 관련설비”항목에서 다루고 있다.

제어실에 대한 인간공학적 인자에 대하여 IAEA 요건에서는 고려하도록 하고 있으나 원자로규칙 동 조항에서는 이에 대한 언급이 없고 별도의 인적 요소 조항에서 포괄적으로 규정하고 있다.

반면에 방사성물질의 농도 또는 방사선량률의 검출 및 자동경보장치에 대하여는 IAEA 요건에는 없으나 원자로규칙에서는 규정하고 있다.

5) 비상제어센터

비상제어센터에 관한 요건으로는 표 7에 나타낸 바와 같이 IAEA 요건에서 특히 중대사고시 위

험으로부터 종사자 보호수단을 요구하고 있다. 원자로규칙에서는 방사선비상대응시설의 위치, 크기, 구조, 거주성 및 관련설비를 고시로 별도 정하도록 규정하고 있다.

6) 비상전력공급계통

비상전력공급에 관한 요건으로는 표 8에 나타낸 바와 같이 설계기준시의 기능확보, 단일고장 가정, 시험가능 설계 등으로 구성된다.

IAEA 요건에는 기술되어 있지 않으나 원자로규칙에서는 소내외 전력계통의 특성변화에 따른 계통 안전성분석 수행, 신뢰성 있는 대체교류전원 확보 및 성능입증을 규정하고 있다.

7) 폐기물처리 및 관리계통

폐기물처리 및 관리계통에 관한 요건은 표 9에 나타낸 바와 같다. IAEA 요건에는 방사성폐기물 처리에 ALARA 원칙을 적용토록 요구하고 있으나 원자로규칙에서는 이에 대하여 명시적으로 규정하고 있지 않다. 방사성물질의 제어에 대하여 IAEA 요건에서는 정상운전, 예상운전과도, 설계기준사고시 제한치이내 유지를 요구하고 있으나 원자로규칙에서는 설계기준사고가 포함되지 않는다.

원자로규칙에서는 제한구역경계에서의 방사성물질 농도가 과기부고시로 정하는 배출관리기준 이하로 유지되도록 하고 있다.

IAEA 요건에서는 고체 방사성폐기물 처리시설, 방사성폐기물 저장시설에 대한 언급이 없다.

8) 연료취급 및 저장계통

연료취급 및 저장계통에 대하여는 표 10에 나타내었다. IAEA 요건에서는 미조사 및 조사후 연료로 구분하고 있으나 규칙에서는 연료 취급장치 및 저장설비로 구분하고 있다.
최적감속조건하에서도 임계도달 방지, 붕괴열 제거능력, 충격에 의한 손상 방지 등을 규정하고 있다.

9) 방사선방호

방사선방호에 대하여는 표 11에 나타낸 바와 같이 피폭선량이 가능한 한 낮게 유지할 것과 방사선방호 설비에 대한 사항을 규정하고 있다.

IAEA 요건에서는 특히 방사선 감시수단으로서 운전상태, 설계기준사고, 중대사고시 방사선감시 보장과 발전소 주변의 방사선학적 영향 평가계획을 요구하고 있다.

표 3. 원자로 노심 및 관련설비에 관한 IAEA 요건과 원자로규칙 비교표

I A E A 요 건	원 자 로 규 칙	비 고
• 일반설계 -적절한 여유도를 가진 설계 운전상태, 설계기준사고, 외부사건시 원자로의 안전정지, 미임계 유지, 노심냉각, 정적 및 동적하중에 견디도록 설계 운전상태, 설계기준시 정반응도와 최대증가율을 제한하여 원자로압력경계의 손상 발생 방지	• 제17조 (원자로의 설계) -정상운전, 예상운전과도시 연료허용손상한계를 초과하지 않도록 여유도를 가진 설계 압력용기 물성 저하방지를 위한 열차폐 설치	• 공통: 여유도 • IAEA: 원자로압력경계의 손상 발생 방지 • 규칙: 연료허용손상한계를 초과 방지
• 원자로 노심관리 노심은 모든운전상태에서 플럭스세잎, 레벨 및 안전성이 규정치내 유지되도록 설계 -부식생성물 등 비방사성물질 제거를 위한 조치 -제임계 또는 반응도폭주 최소화	• 제19조 (원자로출력 및 출력분포 진동제어) -연료허용손상한계를 초과할 수 있는 출력 및 출력분포진동 발생방지, 또는 이의 탐지 및 제어 • 제18조 (원자로의 고유보호) -원자로의 급격한 반응도 증가 자연 억제	• 공통: 노심출력, 반응도
노심 및 부속설비는 수명기간에 걸쳐 검사 및 시험 가능 설계	• 제41조(시험·감시·검사 및 보수) -안전에 중요한 구조물·계통 및 기기 -압력용기, 배관 등의 내압시험 누설기준 - 고시	• 공통: 검사 및 시험
• 핵연료봉 및 집합체 -정상운전, 예상운전과도시 예상되는 방사선조사와 환경조건을 극복하도록 설계 -열화 고려, 계산 및 제작시 데이터의 불확실성에 대한 허용오차 고려 -핵분열생성물의 누설의 제한치내 유지	-	• IAEA: 핵연료봉 및 집합체
-	• 제36조 (제어재구동장치) -원자로특성에 적합한 속도로 제어재 구동 -제어재 구동 동력원 상실시 반응도 증가 방지 -고체제어봉 구동장치의 경우 제어봉의 낙하 등 충격방지	• 규칙: 제어재구동장치
• 원자로 정지 운전상태, 설계기준사고시 원자로 정지능력 보장 -최소한 2개의 다양한 정지방법 -2개중 하나는 단일고장 가정하에 미임계 유지능력	• 제35조 (원자로의 노심 등) 노심 및 내부구조물은 정상운전, 예상운전과도, 설계기준사고시 각종조건과 지진하에서도 안전정지 및 노심냉각 보장	• 공통: 안전정지 • IAEA: 2개의 다양한 정지방법 (규칙 제28조에서 규정)

표 4. 원자로냉각계통에 관한 IAEA 요건과 원자로규칙 비교표

I A E A 요 건	원 자 로 규 칙	비 고
• 원자로냉각재계통 설계 -설계기준사고시에도 원자로냉각재 압력경계의 설계조건이 초과되지 않도록 여유를 가진 설계 -방사성물질의 누설방지를 위한 설계 -정적 및 동적하중 대비 설계 -압력용기는 최고의 품질로 설계 및 제작 -결함 및 취성 거동 대비 설계 -수명말기에 예상되는 재료의 조건을 고려 -모든 운전상태 및 설계기준사고시 열화 및 고장확률 최소화	• 제22조 (원자로냉각계통 등) -정상운전 및 예상운전과도 동안 설계조건 유지 • 제21조 (원자로냉각재압력경계) -파손 및 파단 확률이 낮도록 설계, 설치 및 시험 -누설탐지설비 -감시시험계획 -감시시험편-고시 • 제37조 (과압방지) -안전 또는 방출밸브 설치-고시	• 공통: 설계조건 유지, 누설방지 • 규칙: 정상운전 및 예상운전과도 동안 설계조건 유지 • IAEA: 설계기준사고시 설계조건 유지 • 규칙: 감시시험편(고시) • 규칙: 과압방지(고시)
• 일차압력경계 가동중검사 -재료감시프로그램 -압력경계의 건전성확인을 위한 누설감시	• 제41조(시험・감시・검사 및 보수)	• 공통: 검사
• 원자로냉각재 재고량 -냉각재 용량과 압력 제어 조치	• 제22조 (원자로냉각계통 등) -냉각재의 압력과 양을 유지	• 공통: 냉각재 재고량
• 원자로냉각재 정화 -방사성물질의 제거설비	-냉각재중의 방사성물질 농도 및 수질 조건 유지 -역류방지 및 격리가능	• 공통: 냉각재 정화
• 노심 잔열제거, - 핵연료설계제한치 및 원자로냉각재압력경계설계조건이 초과되지 않도록 잔열제거설비를 설치 -연결 및 격리기능, 누설탐지 기능을 갖추고 다중성, 다양성, 독립성을 유지하여 단일고장과 소외전력 상실시에도 기능유지	• 제29조 (잔열제거설비) -핵연료설계제한치 및 원자로냉각재압력경계설계조건이 초과되지 않도록 잔열제거설비를 설치 -다중성, 누설탐지, 격리기능을 갖추어 단일전력・단일고장시에도 안전기능 수행	• 공통: 잔열제거
• 비상노심냉각 -냉각재상실사고 대비 비상노심냉각설비 설계 -키능(제한변수의 허용치, 화학반응, 핵연료 및 구조물의 변형영향, 충분한 시간동안 노심냉각) -단일고장하에도 누설탐지, 연결 및 격리기능, 다중성 다양성 유지 -비상노심냉각계통 검사 및 시험	• 제30조 (비상노심냉각장치) -잔열제거기능상실 또는 원자로냉각재 상실사고 대비 비상노심냉각장치 설치 -허용기준은 고시에서 규정 -설치기준 (피복재온도, 피복재산화 및 수소발생, 핵연료 및 구조물의 변형영향, 충분한 시간동안 노심냉각) -다중성, 누설탐지, 격리 및 격납기능을 갖추어 단일전력-단일고장시에도 안전기능 수행 • 제41조(시험・감시・검사 및 보수)	• 공통: 비상노심냉각
• 최종열제거원으로 열전달 -정상운전 및 사고조건하에서 열전달 -다중성, 다양성, 상호연결, 격리능력 -자연현상 및 인위적사건을 설계에 고려 -중대사고시 열전달기능 유지 고려	• 제31조 (최종 열제거설비) -정상운전 및 사고조건하에서 열전달 -다중성, 상호연결, 격리능력을 갖추어 단일전력-단일고장시에도 안전기능 수행	• 공통: 최종열제거 • IAEA: 중대사고시 열전달기능 유지 고려

표 5. 격납계통에 관한 IAEA 요건과 원자로규칙 비교표

I A E A 요 건	원 자 로 규 칙	비 고
• 격납계통설계 -설계기준사고시 방사성물질의 방출제한치 유지 -누설밀봉, 압력온도제어, 격리설비, 핵분열생성물 관리 -모든 확인된 설계기준사고 고려, 선정된 중대사고 영향의 완화를 위한 설비 고려	• 제23조 (원자로격납건물 등) -설계에 고려되는 모든 사고 조건에서 누설밀봉 방호벽기능을 가지도록 설치	• IAEA: 선정된 중대사고 영향의 완화를 위한 설비 고려 • 규칙: 설계에 고려되는 모든 사고 조건 고려
• 격납건물 구조물 강도 -과압, 동적영향, 화학반응, 자연형상, 인적요소 고려 -중대사고시에도 건전성 유지 • 격납건물 압력시험능력 • 격납건물 누설 -누설률 초과 방지 -중대사고시 방사성물질 제거기능 고려 • 격납건물관통부 -격납건물 구조물과 같은 설계요건 만족 -누설시험 가능설계 -중대사고시 관통부 기능유지 고려	-설계기준사고시 구조적 건전성유지, 설계누설률 초과방지 -설계기준사고시 예상압력에서 시험 고시 -격납용기등의 누설기준 고시	• IAEA: 격납건물 구조물 강도, 격납건물 누설, 격납건물관통부, 격납건물 격리, 공기차폐식 출입문, 내부 컴파트먼트, 열제거, 대기제어 및 정화에 대한 중대사고시 기능 유지
• 격납건물 격리 -방사성물질 방출방지를 위한 관통부 등의 격리 -중대사고시 격리기능유지 고려 • 격납건물 공기차폐식 출입문 -종사자 출입 -중대사고시 기능유지 고려 • 격납건물 내부구조물, -내부 컴파트먼트 사이의 유동통로 유지 -중대사고시 기능유지 고려	-격납건물을 외부로부터 격리	
• 격납건물 열제거 -설계기준사고시 기능유지 고려 -중대사고시 기능유지 고려	-설계기준사고후 열제거수단 구비	
• 격납건물 대기 제어 및 정화 -핵분열생성물, 수소, 산소 등 제어기능 -다중성 확보 -중대사고시 기능유지 고려	-설계기준사고시 핵분열생성물의 농도 저감수단, 가연성기체 제어수단 구비	
• 덮개 및 코팅 -안전기능 유지를 위한 선정	-	
-	-재료 특성	

표 6. 계측 및 제어계통에 관한 IAEA 요건과 원자로규칙 비교표

I A E A 요 건	원 자 로 규 칙	비 고
• 안전에 중요한 계측 및 제어계통 일반요건 -정상운전, 예상운전과도, 설계기준사고, 중대사고시 발전소 변수 감시 -계측 및 기록장비 -신뢰성 있는 제어	• 제20조 (계측 및 제어장치) -정상운전, 예상운전과도, 사고조건시 변수 및 계통 감시를 위한 계측장치 설치 -제어설비 설치, 자동기록장치 설치	• IAEA: 정상운전, 예상운전과도, 설계기준사고, 중대사고 • 규칙: 정상운전, 예상운전과도, 사고조건
• 제어실 -모든 운전상태에서 안전운전 -예상운전과도, 설계기준사고, 중대사고 이후 안전상태로 복구 -종사자에 대한 방사선방호 조치 -내외적인 사건 -인간공학적 인자 고려 -시각적, 청각적인 지시기 • 보조제어실 -물리적, 전기적 분리된 장소	• 제25조 (원자로제어실 등) -설비조작장치, 동작상태 표시장치, 기록장치 설치 -방사선방호 및 환기설비 설치 -보조제어실 설치	• 공통: 제어실 및 보조제어실 • IAEA: 인간공학적 인자 (규칙에서는 인적요인 조항에서 규정)
• 안전에 중요한 계통에서 컴퓨터기반계통의 사용 -컴퓨터의 하드웨어 및 소프트웨어의 보증 -안전의 중요도에 상응하는 신뢰도 유지 • 자동제어 -예상운전과도, 설계기준사고시 안전계통 작동의 자동화 -감시를 위한 운전자에 정보 제공	• 제28조 (반응도 제어계통) -정상운전 및 예상운전과도시 반응도변화 제어 -서로 다른 두 개의 독립된 제어계통 -제어봉에 의한 제어계통 -액체제어제 등에 의한 제어계통 -제어재의 물리 화학적 성질	• 규칙: 두 개의 독립된 제어계통 (IAEA: 타 항목에서 규정)
• 보호계통 기능 -원자로정지계통 등의 자동 작동 -설계기준사고의 감지 및 필요계통의 운전 개시 • 보호계통의 신뢰도 및 시험성 -안전기능과 동등한 신뢰도 및 시험성, 다중성 및 독립성 -다중채널에 영향을 미치는 정상운전, 예상운전과도, 설계기준사고시 기능 유지 • 보호계통에서 컴퓨터기반계통의 사용, -하드웨어 및 소프트웨어의 최고의 품질 -개발과정의 문서화 및 검토 -독립적인 전문가에 의한 신뢰도 확인 -보호기능의 다양성 고려 • 보호계통과 제어계통의 분리	• 제26조 (원자로보호계통) -보호계통 설치(반응도제어계통 및 관련계통을 자동으로 작동) -사고조건 감지 및 안전계통 작동 -기능적 신뢰성과 고장 확인 (다중성, 독립성, 주기적 시험능력) -다중채널에 영향을 미치는 자연현상, 정상운전, 예상운전과도, 사고조건의 영향에도 기능유지 -제어계통과의 분리 -반응도제어계통의 단일 오동작시에도 연료허용손상한계의 초과방지 -예상운전과도시 안전기능 달성 -소프트웨어 사용 디지털기기 채택시 소프트웨어 공통유형고장이 발생하더라도 보호기능 수행 (심층방어 및 다양성 설계) • 제27조 (다양성보호계통) -과도상태 대비 원자로정지, 비상보조급수 작동등 별도의 보호계통 설치 -원자로보호계통과 독립된 별도 계통으로 설치	• 공통: 보호계통 기능, 신뢰성, 다중채널에 영향미치는 인자, 보호계통의 다양성 • IAEA: 소프트웨어의 품질 • 규칙: 소프트웨어 공통유형고장
-	• 제38조 (경보장치 등) -방사성물질의 농도 또는 방사선량률의 검출 및 자동경보장치 -원자로 및 1차냉각재계통 등의 작동상태 표시장치	• 규칙: 경보장치

표 7. 비상제어센터에 관한 IAEA 요건과 원자로규칙 비교표

I A E A 요 건	원 자 로 규 칙	비 고
• 비상제어센터 ㄱ제어실과는 별도의 부지내 비상제어센터 설치 ㄴ중요한 발전소 변수 및 방사선 상태에 대한 정보 가용 ㄷ제어실, 보조제어실, 발전소 중요지점, 부지외 비상대응기관과의 통신수단 확보 ㄹ중대사고시 위험으로부터 종사자 보호수단	• 제47조 (비상대응시설 및 설비) ㄱ비상대응시설 설치 ㄴ경보 및 방송장치 설치 ㄷ대피경로 ㄹ방사선비상대응시설의 위치, 크기, 구조, 거주성 및 관련설비 - 고시	• 규칙: 고시에서 세부사항 규정 • IAEA: 중대사고시 위험으로부터 종사자 보호수단

표 8. 비상전력공급계통에 관한 IAEA 요건과 원자로규칙 비교표

I A E A 요 건	원 자 로 규 칙	비 고
• 비상전력공급 ㄱ어떠한 운전상태, 설계기준사고시에도 소외전원의 동시상실 가정하에 전력공급 확보 ㄴ비상전력공급의 조합된 방법(증기 또는 개스터빈, 디젤 또는 축전지)의 신뢰성, 안전계통요건과의 일관성, 단일고장 가정하에 기능유지 ㄷ비상전력공급의 용량 시험 가능설계	• 제24조 (전력공급설비) ㄱ소내외 전력계통중 하나가 상실된 경우에도 설계조건 초과방지를 위한 용량과 능력 확보, 설계기준사고시에도 필수기능유지를 위한 용량과 능력 확보 ㄴ소내 전력공급원 및 배전계통은 단일고장사건 발생시에도 안전기능수행을 위한 독립성, 다중성 및 시험성 확보 ㄷ소외 전력공급계통의 동시고장 가능성 최소화를 위한 독립된 두 개의 회로로 구성 ㄹ소내외 전력계통의 특성변화에 따른 계통 안전성분석 수행 ㅁ주기적인 시험 및 검사 가능 설계 ㅂ신뢰성 있는 대체교류전원 확보 및 성능입증	• 공통: 설계기준사고시 기능유지 • 규칙: 계통 안전성분석 수행, 신뢰성 있는 대체교류전원 확보

표 9. 폐기물 처리 및 관리계통에 관한 IAEA 요건과 원자로규칙 비교표

I A E A 요 건	원 자 로 규 칙	비 고
• 일반 ㄱ액체 및 기체 방사성폐기물 처리, 제한치 이내유지, ALARA 적용 • 액체 방사성물질의 환경방출 관리, ㄴ방출관리 수단확보, ALARA 적용, 제한치 이내 유지 • 공기중 방사성물질 관리, ㄷ여과 및 환기계통 ㄹ정상운전, 예상운전과도, 설계기준사고시 제한치이내 유지 • 기체 방사성물질 환경방출 관리 ㅁ공기중 방사성물질 환경방출 관리를 위한 환기계통, 액체 및 기체 방사성폐기물 처리, ALARA 적용 및 제한치 이내유지 ㅂ여과계통의 신뢰성, 시험가능	• 제32조 (방사성폐기물의 처리 및 저장시설 등) ㄱ방사성물질의 처리, 부지내 저장, 환경방출 제어 ㄴ기체 및 액체 방사성폐기물 처리시설 · 정상운전 및 예상운전과도시 기체 및 액체 방사성유출물 제어 · 방사성물질 방출억제를 위한 수용능력 · 제한구역경계에서의 방사성물질 농도가 배출관리기준(고시) 이하 · 기체 방사성폐기물 처리설비의 환기 및 정화능력 · 배기구 또는 배수구 이외에서 방출 방지	• IAEA: ALARA 적용 • 규칙: 제한구역경계에서의 방사성물질 농도 배출관리기준 (고시)

표 9. 폐기물 처리 및 관리계통에 관한 IAEA 요건과 원자로규칙 비교표 - 계속

I A E A 요 건	원 자 로 규 칙	비 고
-	고체 방사성폐기물 처리시설 · 고형화 또는 안정화, 용기에 넣을 수 있는 시설 방사성폐기물 처리시설 · 방사성물질의 누설 및 확산방지 시설	• 규칙: 고체 방사성폐기물 처리시설
-	방사성폐기물 저장시설 · 정상운전 및 예상운전과도시 소내 안전 저장	• 규칙: 방사성폐기물 저장시설

표 10. 연료취급 및 저장계통에 관한 IAEA 요건과 원자로규칙 비교표

I A E A 요 건	원 자 로 규 칙	비 고
• 미조사 연료 취급 및 저장 최적감속상태에서도 임계 방지 기기의 보수 검사 및 시험 핵연료 손상확률의 최소화 • 조사후 연료 취급 및 저장 최적감속상태에서도 임계 방지 정상운전 및 설계기준사고시 열제거 조사후 연료의 검사 기기의 주기적 검사 및 시험 이동시 연료의 추락방지 연료에 가해지는 응력 방지 수송용기 등의 추락방지 손상 연료의 안전저장 방사선방호수단 취급 및 저장지역과 기기의 보수, 해체, 제염 수조 사용시 물의 수질관리, 누설탐지, 용수확보	• 제33조 (연료취급장치 및 저장설비) 핵연료집합체 및 사용후핵연료의 취급장치 · 임계도달 우려 방지 · 취급중 파손우려 방지 · 용기의 건전성 · 용기 표면의 방사선량률 핵연료집합체 및 사용후핵연료의 저장설비 · 최적감속조건하에서도 임계도달 방지 · 붕괴열 제거능력, 차폐, 격납, 제한 및 정화능력 · 열제거능력 상실 및 과도한 방사선준위 감시 및 안전조치 · 충격, 부식 등에 의한 손상 방지	• 공통: 임계방지 • IAEA: 미조사 및 조사후 연료로 구분 • 규칙: 취급 및 저장설비로 구분

표 11. 방사선방호에 관한 IAEA 요건과 원자로규칙 비교표

I A E A 요 건	원 자 로 규 칙	비 고
• 일반요건 피할수 있는 방사선 피폭 방지 및 피할수 없는 피폭을 가능한 한 낮게 유지 사람거주지역에서 방사선준위 축적, 방사성물질 발생의 최소화 고려	• 제46조 (방사선방호의 최적화) 운영중 예상피폭선량을 가능한 한 낮게 유지하기 위한 적합한 방안	• 공통: 피폭선량을 가능한 한 낮게 유지
• 방사선방호 설계 피폭과 오염 최소화를 위한 발전소 설계 및 배치 차폐설계 발전소 배치도 및 절차서 마련 제염설비	• 제34조 (방사선방호설비) 출입관리설비 차폐설비 운전 및 사고시 방사선준위 및 유출 감시, 제어실로 정보 제공 벽, 바닥 등 오염제거 용이 제염설비 환기설비, 방사성오염구역의 부압유지	• 공통: 방사선방호의 기본요건
• 방사선 감시수단 운전상태, 설계기준사고, 중대사고시 방사선감시 보장 발전소 주변의 방사선학적 영향 평가계획	-	• IAEA: 방사선 감시수단

3. 결 론

원자로시설의 기술기준 개선을 위한 한가지 방안으로 IAEA 설계요건과 원자로규칙의 기술기준을 비교·검토하고 차이점을 분석하였다. IAEA 설계요건은 크게 원전설계요건 및 원전계통설계요건으로 구성되며 이에 대응되는 원자로규칙의 기술기준은 원자로시설의 구조·설비 및 성능에 관한 기술기준이다. 분석한 주요 내용은 다음과 같다.

가. 원전설계요건 분야에 대하여는 IAEA 요건에 비하여 원자로규칙에서 미흡한 항목은 설비환경검증, 노화, 중대사고 등을 들 수 있다.

나. 원전계통설계요건 분야에 대하여는 IAEA 요건과 원자로규칙에서 공히 최소한의 요건은 규정되어 있으나, 설계기준사고 또는 중대사고시 계통별 기능유지의 포함여부와 계통별 세부 요건은 서로 상이한 점이 있다.

다. IAEA 요건과 비교하여 원자로규칙에서 미흡하거나 상이한 요건은 면밀한 분석과 적용성 평가 후 반영방안을 모색하고 향후 원자력법령상의 위상부여와 함께 적절한 방향으로 보완되어야 할 것이다.

라. 본 연구에서는 IAEA 요건 수준의 기술기준을 주로 분석하였으나 IAEA 안전지침 수준의 세부내용은 과학기술부 고시 및 국내 지침과 관련하여 추가 검토가 필요하다.

참고문헌

1. Status of IAEA Safety Standards Program, IAEA, May 2002.
2. 원자로시설의 설계 및 운영에 관한 IAEA 요건과 국내 기술기준의 비교 분석, 2002 춘계학술발표회 논문집, 한국원자력학회.
3. KINS/ER-030 Vol.2 기술기준개발, 2001.12, 한국원자력안전기술원.
4. 원자력관계법령집, 2001, 한국원자력안전기술원.
5. KINS/RR-107, 원자력안전규제 기술요건체계 분석, 2002.2, 한국원자력안전기술원.
6. KINS/ER-048 Rev.0, 원자력중장기연구 10대 중점개발 Task 세부추진계획, 2002.7.31, 한국원자력안전기술원.
7. Safety of Nuclear Power Plants: Design, Requirements IAEA Safety Standards Series No. NS-R-1, IAEA, Vienna(2000).
8. 원자력관계고시집, 2002, 한국원자력안전기술원.