

신규 핵연료가공시설의 안전심사 현황과 방향

Status and Future Aspect of Safety Review on New Fuel Fabrication Facility

방영석, 김길수, 손문규, 김현균, 이승혁
한국원자력안전기술원

국문요약

본 논문은 현재까지 수행된 신규 핵연료가공시설의 안전성 평가 내용, 안전심사의 경험을 통해 도출된 문제과 해결 현황 등을 제시한다. 이를 위해 신규 핵연료가공시설의 인허가에 관련된 국내의 관련 원자력법령체계의 특성을 고찰하고, 관련되는 국내의 규제요건 및 기술기준과의 비교를 통해 적용가능한 규제기준을 도출하여, 본 적용 기준에 따른 신규 핵연료가공시설의 안전설계 특성 평가 결과를 제시한다. 이러한 과정에서 도출된 주요 문제점과 그 해결을 위한 개선방향을 제안한다.

1. 서론

국내 전력수급 계획에 의해 신규 건설되고 운전개시되는 원전의 수가 증대함에 따라 요구되는 핵연료 수량이 늘어나게 되었으며 핵연료 생산시설의 증설이 불가피하게 되었다. 이에 따라 한국원전연료(주)는 1998년 1월 상업생산 가동을 목표로 기존 생산시설 인근 부지에 경수로핵연료 200 MTU (건물 400 MTU), 중수로핵연료 400 MTU (건물 800 MTU) 규모의 신규생산시설의 건설을 추진하여 왔으며, 한국원자력안전기술원은 당시시설의 대한 인허가 안전규제업무를 위탁받아 현재까지 수행해 오고 있다.

핵연료가공시설에 대해서는 국내는 물론 국제적으로도 일반 원자력발전소의 경우와 같이 명확한 규제요건이 설정되어 있지 않다.

최근 미국에서 플루토늄 취급시설에 주로 적용되어 왔던 10 CFR 70[1]의 내용을 대폭 수정하여 가공시설에 적합한 형태로 하는 개정을 추진중에 있으나[2] 현재까지 완전한 개정이 이루어진 것은 아니다. 본 시설의 주요 공정설비의 도입국인 불란서 및 캐나다에 있어서도 명확한 규제요건이 정해져 있지 않다. 안전기술원으로서도 신규 시설이 건식 재변환공정을 채택하는 등 기존 시설과 여러가지 기술적인 차이를 가질 뿐만 아니라[3], 기존 시설의 규제경험만으로는 체계적인 평가가 곤란한 점이 있어, 본 시설의 인허가 규제평가를 위한 입장을 정립할 필요가 있었다.

본 논문은 현재까지 수행된 신규 핵연료가공시설의 안전성 평가 내용, 안전심사의 경험을 통해 도출된 문제와 해결 현황 등을 제시하는 데 목적을 두고 있다. 이를 위해 신

규 핵연료가공시설의 인허가에 관련된 국내의 관련 원자력법령체계의 특성을 고찰하고, 관련되는 국외 규제요건 및 기술기준과의 비교를 통해 적용가능한 규제기준을 도출하여, 본 적용 규제기준에 따른 신규 핵연료가공시설의 안전설계 특성 평가 결과를 제시한다. 이러한 과정에서 도출된 주요 문제점과 그 해결을 위한 개선방향을 제언한다. 본 논문에서는 주로 시설의 안전성을 기술하며, 환경영향에 관한 사항은 제외한다.

2. 본 론

2.1 국내 인허가 절차요건 특성 평가

그림 1은 국내 원자력법령에 따른 신규 핵연료가공시설 건설에 관련된 인허가절차를 보여주고 있다. 이에 의하면 신규 핵연료가공시설의 인허가 안전심사는 크게 사업허가(법 43 조), 설계 및 공사방법의 승인(령 127 조), 그리고 계량관리규정 및 안전관리규정 승인(령 26 조 2 및 령 124 조), 가공 품질보증계획 제출(령 139 조) 등으로 구성된다. (1995년 개정된 원자력법 44조에 따르면 사업허가신청서 건설 및 가공 모두에 대한 품질보증계획서를 제출하도록 되어 있고, 령 139조는 삭제되었으나, 사업허가 신청시점에서는 구법이 적용된다.) 또한 실제 핵연료집합체를 생산에는 령 141조에 따른 별도의 설계승인이 필요하다.

본 절차에서는 다음의 사실을 알 수 있다.

- (1) 설계 및 공사방법 승인신청서의 내용에 관한 규정이 하위법으로 설정되어 있음에 비해 사업허가시 허가기준 만족을 입증하는 서류의 형태 및 내용에 관한 구체적인 하위 규정은 불분명하다.
- (2) 사업허가 기준 만족 입증서류, 설계 및 공사방법 승인신청서, 안전관리규정 등의 구체적인 내용의 차이점이 규정화가 필요하다.

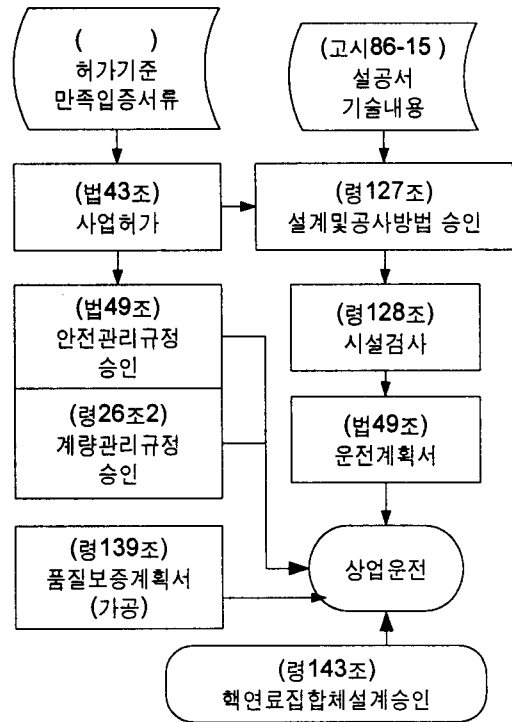


그림 1 국내 원자력법령에 따른 인허가 절차

2.2 국내 규제요건 특성 평가

사업허가의 기준은 시설의 위치, 구조 및 설비의 적용 기술기준과의 적합성 평가를 통한 환경 영향 최소화 및 방사선 우려 최소화에 있다. 사업허가에 적용되는 규제요건은 다음의 표 1에 제시되어 있다. 본 평가에서 다음의 사실을 알 수 있다.

- (1) 시설의 구조 및 설비에 대한 규제요건들에 대해서는 위치에 대한 요건들에 비해 기술적인 규제지침이라고 할 수 있는 고시가 제정되어 있지 않다. 특히 본 시설의 안전성에 특히 중요한 책임제도 안전, 방사선 방호, 내진설계, 환기설비, 사고해석, 화재방호 등에 대해서는 구체적인 규제지침이 필요하다.
- (2) 령 제 159 조 및 160 조는 핵연료집합체 관련 설비에만 적용되나, 당 시설의 특성상 가공시설 전체에 걸쳐 임계도 안전이 적용되어야 한다.

표 1 국내 안전규제요건 및 준용요건

구분	시행령	고시	준용 요건	SAR 절
법 44 조 (위 치)	51 (지질 및 지진)	83-5	10 CFR 100 App.A RG 1.60, 1.132, 1.138,	3.6, 5.1, 5.2
	52 (위치제한)	83-5	10 CFR 100.11	3.1
	53 (기상조건)	83-5	RG 1.4, 1.145	3.3
	54 (수문)	83-5	RG 1.59, 1.192, 1.113 1.132, 1.135	3.4
	55 (인위적사건)	83-5	RG 1.78, 1.91, 1.95	3.2
	56 (자연현상)	83-5	RG 1.59, 1.76, IAEA 50-SG-S11A, 50-SG-S1	3.3, 5.1, 5.2
	57 (다수기건설)			
법 44 조 구조 및 설비)	157 (폐기물처리설비)	94-7	10 CFR 50 App.A, App I	7
	158 (폐기물저장설비)			7.2, 7.4
	159 (연료저장설비)		RG 3.43, ANSI/ANS 8.1 *	4.3.
	160 (연료등취급장치)		RG 3.43, ANSI/ANS 8.1 *	4.3
	161 (비상전원등)		IEEE 241, IEC 623 *	5.4
	162 (재료 및 구조)			4.4
	59 (방호시설의 설치)			4.3, 5.1
	60 (화재에 의한 손상방지)		NFPS 90.A, ERDA 76-21 *	4.3., 5.5
	61 (내진성)	83-5	RG 1.60, 1.61, ACI-349 *	4.4, 5.1
	63 (올타리등의설치)			5.1
	87 (생체차폐장치)			4.3
	88 (환기설비)		NFPS 90.A, ERDA 76-21, RG 1.21*	4.3, 7.3
	89 (방사설물질에 의한 오염방지)			4.3,
령 169 조 (준용규정)	103 (관리구역등에의 출입제한)			3, 4
	103-2 (제한구역의 설정범위등)	83-5	10 CFR 100.11	1, 3, 4
	104 (피폭방사선량 등에관한 조치)	94-5		8, 9
	111 (환경보전)	92-8, 92-9		ER
기 타	사고해석	94-07	10 CFR 100.11, RG 3.34	9

주 * 본 심사에서 설정한 기술기준

(3) 령 제 162 조 (재료 및 구조) 에 따라 고시 의 설정이 필요하다.
 로 제정된 94-10 은 원자로 시설에 적용되도록 (4) 령 제 163 조에서 준용되는 령 제 60 조 또
 되어 있어, 당 시설에 적용가능한 안전성 등급 한 원자로 시설에 적용되도록 되어 있어 당

시설 적용시 많은 고려가 있어야 한다.

(5) 령 제 163 조에서 준용되는 제 61 조 (내진성) 에 대해서도 별도의 적용규정이 필요하다.

(6) 종합적인 안전성 확인을 위하여 사고해석에 대한 규제요건의 설정이 필요하다.

2.3 적용 규제요건 설정

이상에 언급한 사항 외에도 많은 사항들의 구체적인 규제지침이 설정되어 있지 않으므로 외국의 규제기술요건중 적용가능한 규제기술요건을 참조하여 본 시설에 대한 규제요건을 새롭게 설정할 필요가 있다. 본 연구에서 검토한 외국의 규제요건에 대해서는

(1) 미국의 10 CFR 70 및 관련 Regulatory Guide 등은 주로 플루토늄 관련 시설에 적용되고 있어, UF₆ 및 저농축 UO₂ (5% 이하) 를 사용하는 본 시설에 적용하기에는 곤란하다. 이에 따라 저장시설의 핵임계도 평가에 적용되는 RG 3.42 [4]만을 준용하기로 하고 10 CFR 70 내의 타 규제요건은 제외한다.

(2) 경수로 핵연료 가공설비 도입국인 불란서에서는 핵임계도 계산, 화재방호 등에 대한 규제 사례가 있으나 구체적인 규제요건 참조에는 어려움이 있다.

(3) 중수로 핵연료 설비 도입국인 캐나다에는 R-26[5], R-27[6] 등 우라늄 핵연료 시설의 연간 및 분기별 보건물리 보고서에 관련된 요건을 참조할 수 있으며 이는 국내법과 유사하다.

이상의 검토를 통해 참조하고 도출된 규제기준은 표 1 의 “준용요건”에 기술하고 있다.

이들중에서 중요한 사항으로서

(1) 비상전원에는 IEEE 241 의 일반산업기준 등을 적용한다.

(2) 화재방호에는 NFPA 90.A 의 산업기준 등을 적용한다.

(3) 내진설계방법에는 미국 RG 1.60 [7] 등 보수적인 방법론을 적용한다.

(4) 재료 및 구조의 안전등급에 대해서는 불란

서 및 캐나다 도입시설의 설계를 참조하여 주 시설동 건물은 내진등급 II 로 보수적으로 하고, 다른 모든 설비 및 구조물에 대해서는 안전등급을 적용하지 않는다.

(5) 환기설비에는 RG 1.21[8]의 보수적인 기준을 적용하고 상세설계에는 NFPA 90.A 등의 산업기준을 적용한다.

(6) 사고해석에는 10 CFR 100.11[9], RG-3.34[10] 등 보수적인 가정과 방법론을 사용한다.

2.4 안전성분석보고서 양식

전술한 바와 같이 사업허가 기준 만족 입증서류의 형식 및 내용의 결정이 문제가 되어왔다. 이에 따라 사업자 및 관계기관과의 협의를 통해 안전성분석보고서 (Safety Analysis Report, SAR) 및 환경영향평가서 (Environmental Assessment Report, ER) 의 형태로 결정하였다. SAR 에 대해서는 미국 핵규제위원회의 규제지침 (Regulatory Guide, RG)으로서 플루토늄 및 핵연료 재처리 시설에 적용되는 RG 3.39[11]의 형태를 따르되, 내용은 인허가시설의 인허가 갱신에 적용되는 RG 3.52 [12] 를 준용하기로 하였다. 이에 따라 작성된 SAR 의 구성은 다음과 같다.

1 장 서론 및 시설 일반 설명

2 장 안전성평가 요약

3 장 부지특성

4 장 주요 설계 기준

5 장 시설의 설계

6 장 공정계통

7 장 폐기물 저장 및 처분

8 장 방사선 방어

9 장 사고해석

10 장 운전

11 장 운전제한 및 한계

12 장 품질보증

Regulatory Guide 3.39 와 3.52 간에는 플루토늄의 방사선학적인 특성때문에 SAR 기술내용에

있어서도 다음 사항에 대해서는 현저한 차이가 있다.

- (1) 방사선 방호
- (2) 사고해석
- (3) 책임계도 안전
- (4) 폐기물 격리 및 관리
- (5) 내진설계
- (6) 품질보증

이들 내용에 대해서는 본 시설에 보다 적합한 RG 3.52의 관련내용에 따라 기술하되 전절에서 설정된 규제요건에 따르도록 결정하였다.

2.5 안전성평가 결과

이상에서 설정한 규제요건 및 작성방향에 따른 SAR은 1994.12 제출되어 심사되었다. 주요 평가결과는 다음과 같다.

- (1) 제한구역은 50 m로 설정되어 가장 심각한 필터뱅크 화재사고시 유효선량은 221 mSv로 평가되어 기준선량(250 mSv)을 만족한다.
- (2) 부지인접 하천을 고려한 최대홍수시에도 정지표고에 미달하여 홍수의 위험은 없으며 지질조사 결과 활성단층의 우려는 없다..
- (3) UF₆ 가스 및 UO₂ 분말 누출방지 기밀성, 부유분말제거장치, 건물내 부압유지, 방사선 오염 구역 구분, 환기설비, 방사선 측정장치, 출입통제, 책임계감시 등 안전방호설계기준이 해당 규제요건에 적합하게 제시되어 있다.
- (4) 다중방호벽, 기기선정, 책임계안전, 방사선 방호, 화재 및 폭발방호, 연료물질의 취급 저장, 건물 및 구조물 등급분류, 등에 대한 기준과 근거가 제시되어 있다. 특히 주시설동 건물은 내진등급 II급 구조물로 하여 안전정지지진(Safe Shutdown Earthquake)에 견디도록 하고 지진하중으로 0.2G를 고려한 것은 타당하다.
- (5) 내화구조 방화 구획, CO₂ 분말소화기, 급속 분말소화기의 사용은 화재폭발방지 설계개념에 적절하며, 3가지 구역설정 및 구역별 부압 조건 설정도 적절하다.

(6) 액체 폐기물의 저장 처분시설 설계는 최대 배수구허용농도 이하에서 배출되도록 되어 있으며 고체 및 기체폐기물의 처분에 관한 설계 내용은 타당하다.

(7) 작업자 등에 대한 방사선 방어의 개념이 적절하게 반영되어 있다.

(8) 시설에서 발생할 수 있는 책임계사고, 폭발 및 화재 동시사고, 필터화재사고, UF₆ 누출사고, 및 기타사고(공급계통사고 등)가 고려되었고 정량적인 해석을 통해 사고선량기준 만족를 입증하였다.

(9) 기타사항은 추후 인허가 심사에서 평가될 것이다.

이 결과에 의하면 당시설의 설계는 설정된 규제요건에 적합하여 위치, 구조 및 설비의 관련 기술기준을 만족하므로 방사선 등에 의한 재해의 우려는 없으나, 본 심사 과정에서 도출된 다음 사항에 대해서는 추가적인 조치가 요구되었다.

- (1) 구조물 기초표고 하부의 암반 분포 파악 및 연약 지반에 대한 보강 및 북쪽 경사면에 대한 사면 안전성 확인
- (2) 환기설비 설계기준에서 화재시 방사능 누출 최소화에 적합한 부압조건 설정 및 배출상태 설정
- (3) 화재시 물을 사용할 수 없는 구역의 소화에 충분한 용량 및 기능의 소화기 확보
- (4) 체내의 피폭을 모두 고려하는 피폭관리체계의 구축

이들 보완 요구 사항들에 대해서는 제시된 규제요건[13]에 따라 현재까지 모두 적절한 조치가 취해져 종결되었다.

2.6 현안 및 향후 개선사항

사업허가 심사시에 부과된 4건의 보완사항은 모두 종결되었으나 다음 사항에 대해서는 현재 진행중인 설계 및 공사방법 승인심사를 통해 해결하도록 하고 있다.

(1) 임계도 기준 만족 입증 방법론
 (2) 방사선 관리조직의 독립성 확보
 (3) 제한구역내의 일부 부지의 확보
 (4) 기타 SAR 심사시에 미비한 상세설계 내용
 본 현안들은 SAR 에서 이미 안전성 영향이 확인되었으며, 당 시설의 상세설계가 수행되면 대부분 해결될 것으로 보인다. 본 현안들은
 (1) 사업허가 서류에 관한 구체적 하위요건
 (2) 준용 기술 요건
 등의 미비라는 두가지 근본 원인에 기인된다. 이에 대해서는 전절에 기술한 바와 같이 사업 허가서 허가기준 만족을 입증하는 서류의 형태 및 내용에 관한 규정이 필요하며, 당 시설의 특성을 고려한 책임제도 안전, 방사선 방호, 내진설계, 환기설비, 사고해석, 화재방호 등에 관한 기술기준 설정이 필요하다.

3. 결 론

본 논문은 현재까지 수행된 신규 핵연료가공 시설의 안전성 평가 내용, 안전심사의 경험을 통해 도출된 문제과 해결 현황 등을 제시하였다. 결론으로서 현재의 요건체계 및 추가설정된 규제요건에 따른 신규 핵연료가공시설의 안전성이 확인되었다. 평가결과에 근거할 때 사업허가 서류요건에 관한 하위규정이 구체화되어야 하며 당 시설의 특성을 고려한 책임제도 안전, 방사선 방호, 내진설계, 환기설비, 사고해석, 화재방호 등에 관한 기술기준 설정이 필요함을 확인하였다.

참고문헌

[1] USNRC, *Code of Federal Regulation 10 Part 70, Domestic Licensing of Special Nuclear material*, 1994

[2] USNRC, *Preliminary Working Draft for 10 CFR 70*, 1995

[3] 한국원전연료(주), 원전연료 성형가공 증설 시설, 안전성분석보고서, 1994

[4] USNRC, *Regulatory Guide 3.43, Nuclear Criticality Safety in the Storage of Fissible Materials*, 1978

[5] AECB, *Regulatory Document R-26, Preparation of a Health Physics Compliance Report for a Uranium Fuel Fabrication Plant*, 1985

[6] AECB, *Regulatory Document R-27, Preparation of an Annual Compliance Report for a Uranium Fuel Fabrication Plant*, 1984

[7] USNRC, *Regulatory Guide 1.60, Design Response Spectra for Seismic Design of Nuclear Power Plant*, 1973

[8] USNRC, *Regulatory Guide 1.21, Measuring and Reporting of Effluents from Nuclear Power Plants*, 1971

[9] USNRC, *Code of Federal regulation Part 100.11, Determination of Exclusion Area, Low Population Zone, and Population Center Distance*, 1977

[10] USNRC, *Regulatory Guide 3.34, Assumptions Used for Evaluating the Potential Radiological Consequences of Accidental Nuclear Criticality in Uranium Fuel Fabrication Plant*, 1977

[11] USNRC, *Regulatory Guide 3.39, Standard Format and Content of License Applications for Plutonium Processing and Fuel Fabrication Plants*, 1976

[12] USNRC, *Regulatory Guide 3.52, Standard Format and Content for the Health and Safety Sections of License Applications for Uranium Fuel Fabrication Plants*, 1982

[13] 한국원자력안전기술원, 원전연료 성형가공 증설시설 안전성분석보고서 심사보고서, KINS/AR-308, 1995.