

## 원자력발전소 안전목표 설정을 위한 고찰

### A Study on the Establishment of Safety Goal for Nuclear Power Plants

김한철, 이창주, 류용호, 신원기

한국원자력안전기술원  
대전광역시 유성구 구성동 19

#### 요 약

국내 원전에 대한 정량적 안전목표의 체계와 설정 방법론을 확립하기 위해 외국의 현황과 관련 연구결과 및 PSA 정보가 불충분한 상황에서 정량적 안전목표를 고려할 수 있는 방법을 조사하였다. 안전목표는 공중의 위험도에 대한 보건목표와 보조적인 원전 성능목표의 체계로 설정하되, 보건목표는 원전 주위 주민 개인이 원전 운전과 사고로부터 받을 수 있는 초기사망 및 암사망 위험도가 각각 기타 사고 및 암 사망률의 0.1 %를 넘지 않도록 정하는 것이 합리적이며, 원전 성능목표로서는 노심손상빈도(CDF)와 조건부 격납실패 확률(CCFP)이나 초기대량누출빈도(LERF)로 정의하는 것이 적절한 것으로 평가되었다. 국내 통계자료를 분석한 결과, 개인의 초기사망 위험도 목표치는  $7E-07/ry$ , 암 사망 위험도 목표치는  $1E-06/ry$  정도로 평가되었다. 제시한 보건목표와 대등한 원전 성능목표에 대한 예비검토결과, CDF와 LERF가 국제적 수준의 안전목표와 비슷한 정도임을 알 수 있었다. 차후 사회적 위험도와 불확실성, 외부사건의 고려방안, 안전목표의 규제적용 정도, PSA 수행범위 등에 대한 연구가 더 필요하다.

#### Abstract

In order to establish a framework and a methodology for developing the quantitative safety goal for the nuclear power plants, the current status of foreign countries was studied and the results have been evaluated. A method for developing the safety goal without sufficient PSA information has been also examined. It is recommended that the safety goal should consist of health objectives concerning public risk and subsidiary plant-performance objectives. As for health objectives, it is reasonable that the individual risks of early fatality and cancer due to plant accident and operation should not exceed 0.1 % of total risks from other accidents or other causes of cancer. It seems appropriate that plant performance objectives be defined in terms of core damage frequency (CDF) and conditional containment failure probability (CCFP) or large, early release frequency (LERF). Domestic statistical data shows that the individual early fatality risk objective is about  $7E-07/ry$  and the cancer risk is about  $1E-06/ry$ . A preliminary review of plant performance objectives showed that the CDF and the LERF equivalent to the proposed health objectives are similar to the corresponding objectives internationally well-acknowledged. Further studies are required on the treatment methodology of societal risks, uncertainties, and external events, and regarding the extent of regulatory application of the safety goal and PSA scope, etc.

## 1. 서론

원자력 산업은 다른 산업에 비해 높은 수준의 안전기술을 도입하여 안전성을 추구해 왔다. 그러나 미국의 TMI(Three Mile Island)나 구 소련의 체르노빌 원자력발전소(이하 '원전') 사고 등을 통해 원전에서 사고가 발생할 경우 사회적, 경제적 영향이 매우 심각한 것으로 나타났으며, 일반 인들은 원전이 매우 위험하다는 인식을 갖게 되었다. 또한 이러한 과정을 통해 원전이 "얼마나 안전하면 충분히 안전한가" 하는 철학적 명제가 논의되어 왔다. 이러한 안전도에 대한 목표는 사회적 수용성에 근거하여 설정하는 것이 타당하므로 각 나라별로 세부적용사항은 차이가 있으나 대의에 있어서는 이미 국제적으로 보편적인 수준이 제시되어 있다. 그리고 원자력시설에 대해 지향해야 할 안전목표는 주로 확률론적인 지표를 사용하여 표현하고 있다.

국내에서는 '90년대 초 원자력안전기술원에서 중대사고대책(안)[1]을 마련하는 과정에서 안전목표에 대해 수많은 토의가 있었으며 관련 분야의 연구도 있었다. 그러나 당시에는 원전 중대사고에 대한 구체적 기술정보가 태부족한 상황이었기 때문에 이 대책(안)에서는 국내 안전목표를 정량화하기 보다 국제 수준의 안전성을 추구한다는 방향을 제시하였다. 그러나 이 대책(안)은 규제 정책으로 채택되지는 못했다. 과학기술부에서는 1994년에 공포한 원자력안전 정책성명[2]을 통해 '원자력안전규제에 있어서 정량적인 안전목표를 설정'한다는 원자력안전규제 정책방향을 제시한 바 있다. 1998년부터 원자력안전기술원에서는 중대사고에 대하여 원자력 산업계가 장기적인 전망을 가지고 대책을 수립하여 설계, 건설 및 운영에 반영하는 것을 촉진하기 위해, 규제 입장을 명문화하고자 중대사고대책(안)[3]을 제작성하고 수차에 걸쳐 국내 산,학,연 관계자와 논의를 거쳐 보완한 후 현재 최종적인 검토과정을 거치고 있다. 여기에서는 원자력안전 정책성명의 이행을 위해 정량적 안전목표를 설정하는 것에 기초한 확률론적 안전성평가의 수행 및 취약점 보완대책 수립, 중대사고 예방 및 완화 성능의 확보, 중대사고관리 이행 체계의 정립 등을 주요 요소로 제시하고 있다.

본 연구에서는 최근 원자력안전기술원의 중대사고대책(안)의 작성 과정에서 많은 논의를 유발한 정량적 안전목표의 설정에 대한 과거의 국내·외 연구결과 및 국제적 기준을 검토하는 한편, 국내 원전에 대한 확률론적 안전성 평가 정보가 그 대상 원전이나 수행범위에 있어서 불충분한 상황에서 공중 보건 및 원전 성능에 관한 목표를 고려할 수 있는 방안을 조사하였으며, 그 설정방향으로서 정량적인 안전목표를 지향하고자 하였다.

## 2. 외국의 안전목표 설정 현황 및 국내 관련 연구

### 2.1. 외국의 주요 설정사례

확률론적 안전목표에 대해서는 원자로의 개발 이후 캐나다의 NRX 연구용 원자로 사고(1952) 등을 겪으면서부터 논의되었다고 볼 수 있다. 1967년 영국의 Farmer는  $^{131}\text{I}$ 의 방출량과 그 방출사고빈도를 위험도곡선의 형태로 나타냈고 1970년대에 미국 AEC의 위험도 관련 연구결과 안전목표에 대한 여러 제안이 있었으며 특히 1975년 WASH-1400에 의해 초기사망과 지연 암사망에 대한 CCDF(Complementary cumulative distribution function)를 제시하는 정량적 방법론이 확립되었다.

미국 NRC는 TMI 사고 (1979년) 후 안전목표에 대한 활발한 논의를 거쳐 1986년 규제체계의 전반적 효율성을 판단하기 위한 수준으로서 전체 위험도의 형태로 기술한 안전목표 정책성명[4]을 공포하였다. 이 정책성명은 정성적 안전목표(Qualitative safety goals)와 정량적 보건목표(Quantitative health objectives: QHO)로 구성되어 있으며, 각 목표는 원전 운전에 따른 공중 개인의 위험도와 사회적 위험도에 관해 다루고 있다. 정책성명을 뒷받침하고 있는 SECY-90-016 등의 보고서에서는 보조목표(Subsidiary objectives)로서 노심손상빈도(CDF) 및 조건부 격납실패 확률(CCFP) (또는 초기대량누출빈도(LERF))를 제시하고 있다. SECY-89-102 및 NUREG-1560 등에

서는 미국의 경우 원전 인근 주민의 원자로사고에 의한 초기 사망 위험도를  $5E-7/ry$ 로, 원전 주변 인구의 원자로사고에 의한 암 사망 위험도를  $2E-6/ry$ 로 보고 있다. 또한 보조목표로서 전체 CDF는  $1E-4/ry$ , 전체 CCRP는 0.1 또는 LERF는  $1E-5/ry$ 로 정의되고 있다. 정책성명에서는 정량적 목표(QHO) 적용에는 평균치를 사용하며, 위험도 평가 및 현상에 관련된 불확실성에 대해서는 편차 범위를 표시함으로써 신뢰도를 고려한 규제결정이 이루어져야 한다고 기술하였다.[5,6] 최근 NRC는 정책성명이 모든 NRC의 규제활동에 적용할 수 있는 목표와 방법론을 포괄할 수 있도록 개정하기 위해 검토중이다.[7] 검토대상 중에는 다음과 같은 것들이 있다.

- CDF를 정량적 보조목표(QHO)와 함께 기본 안전목표로 상향 조정
- LERF 또는 격납건물 초기손상 빈도 등의 원전별 안전목표 설정 추진
- 종래 2-Region(목표치)에서 3-Region 설정 추진
- 불확실성 취급의 구체화
- 사회적 위험도의 척도를 환경 오염 및 사망자 수로 고려

한편 국제원자력기구(IAEA)에서는 원자력발전소의 방사선 장해로부터 개인, 공중 및 환경을 보호하기 위한 일반 안전목표와 정상운전 및 사고시 방사선방호목표, 중대사고를 포함한 사고의 예방 및 완화를 위한 기술적 안전목표를 제시하였다.[8,9] 기술적 안전목표로서, 원전의 노심손상 빈도를 가동년 당 약  $10^4$  미만, 향후 원전에 대해서는 가동년 당 약  $10^5$  이하로, 사고의 예방 및 완화조치에 의해 소외초기대량누출확률을 1/10 이하로 감소시킬 것을 제시하였다.

## 2.2. 국내 관련 연구

원자력안전기술원에서는 1991년부터 확률론적 안전기준 설정방안에 대한 연구[10,11]를 통해 각국의 기준을 조사하고 기준 설정에 따른 제반 문제점을 도출하며 우리나라의 확률론적 안전기준의 설정을 위한 대안을 제시하고자 하였다. 왕원국 등은 확률론적 안전기준의 설정은 공학적 접근방법만으로 결정할 것이 아니라 정책적 측면에서 수용 가능한 위험도 수준의 결정이 선행되어야 하며, 안전기준의 설정방법은 노심용융확률 및 격납건물 건전성에 대한 안전기준을 선정하고, 관련 연구의 진행에 따라 상위 기준, 즉 개인 및 사회적 위험도를 고려하되 시험기간을 설정하는 것도 바람직하다고 보았다. 정성적 또는 정량적 안전목표 및 안전계통/안전기능의 기준 등 하위 기준을 설정하는 여러 대안 중에서 정성적 안전성 목표를 설정하고 노심손상 확률 ( $10^4/ry$ ; 원전 수 증가에 따라  $10^5/ry$  또는 그 이하) 및 조건부 격납실패 확률 ( $0.1/demand$ )의 설정, 비용-편익 기준의 설정을 포함하는 안을 예시적으로 제시하였다. 또한 확률론적 안전기준을 설정할 경우 공식적 분석, 전문가의 판단 및 정책적 과정 등 접근방안을 적절히 복합하여 적용하는 것이 바람직하다고 보았다. 이를 위한 권의사항으로서 국내 표준발전소를 선정하여 총체적 확률론적 위험도 평가를 실시하고 전체 원자력발전소에 대하여 노심용융확률 및 격납건물 건전성 등에 대한 제한적 신뢰도분석 수행을 제안하였다.

관련 분야에 대한 또 다른 연구로서 조남진 등이 수행한 확률론적 안전기준과 원전 설계·운전개선에 관한 연구에서는 원자력발전소의 성능기준에 관하여 상부단계인 노심손상빈도와 초기 사망 및 지연 사망에 대한 안전목표로부터 계통이나 계통 기능의 이용불능도와 같은 중간단계 기준 및 부품의 이용불능도 및 인간 오류 등의 하부단계 기준을 도출하는 방법론을 제시하였다. 특히 안전목표는 위험도나 안전성 측면에서 정량화하기 쉬운 개념이어야 한다고 보았다. 또한 그 설정을 위한 접근방법으로서 “방사선에 의한 개인 사망 위험도는 다른 모든 영향으로 인한 위험도의 일정 비율을 초과하지 않아야 한다”는 방향과 “단일 피폭 방사선원으로부터의 사망에 대한 개인 위험도는  $10^6/ry$ 를 초과하지 않아야 한다”는 통용되는 목표치 사례를 제시하고 있다.

### 3. 안전목표 설정을 위한 고려사항

#### 3.1 안전목표의 체계 및 포함할 요소

앞에서 살펴 본 바와 같이 원전의 안전목표를 설정하는 것은 종종 보건 및 수용 가능한 수준의 원전 설계, 운영 안전도의 추구 등을 위해 필요하며, 이 안전목표는 확립되어 있는 방법론에 근거하여 정량화하는 것이 실제적이다. 또한 국내 원전에 대한 안전목표를 설정하려고 할 때 상부단계의 보건목표와 이를 만족시키기 위한 보조적인 원전의 성능목표를 고려하는 것이 바람직하다.

공중 개인에 대한 보건목표에는 원전 인근 주민의 원자로사고에 의한 초기 사망 위험도와 원전 주변 인구의 원자로사고에 의한 발암 사망 위험도를 고려하는 것이 적절하다. 또한 사회에 대한 안전목표로서는 총 사망자 수나 정치, 경제적 요소뿐만 아니라 체르노빌 원전에서 나타난 토양 오염 등 환경에 미치는 영향을 고려하는 것이 타당하다고 판단되나 본 연구에서는 공중 개인의 방사선 보호를 위한 보건목표로 연구범위를 국한하고자 한다. 미국은 이 보건목표를 원전 주위 평균 주민 개인이 원전 운전과 사고로부터 받을 수 있는 초기사망 및 암 사망 위험도가 각각 기타 사고나 발암에 의한 사망 위험도의 0.1 %를 초과하지 않도록 규정함으로써 공중의 수용성을 고려하여 합리적으로 설정했다고 판단된다. 국내에서도 보건목표를 이런 방법으로 설정할 경우 국내 사고 사망 및 암 사망 위험도를 조사하여 목표치를 결정할 수 있다.

보조적인 원전 성능목표로서는 원자로심의 전전성에 관한 노심손상빈도(CDF)와 격납건물의 전전성에 관한 조건부 격납실패 확률 (CCFP) 또는 초기대량누출빈도(LERF)로 정의하는 것이 타당하다. 그런데 LERF에 대해서는 초기 사망을 유발할 수 있는 경우를 다루어야 할지 기존 설계 기준 이상의 소외피폭을 유발할 수 있는 경우를 다루어야 할지 등에 따라 정의가 다를 수 있으며 보건목표와 중복되는 개념이 될 수 있어 CCFP를 사용하는 것이 바람직한 측면이 있다. 원전 성능목표를 국내에 설정할 경우 이미 국제적으로 통용되는 값을 적용할 수 있겠으나 보건목표를 보조할 수 있도록 대등한 수준으로 결정하는 것이 필요하다.

#### 3.2 보건목표와 원전 성능목표와의 관계

원전 소외 주민의 보건목표는 NUREG-1150[12]과 같은 소외 보건 위험도 분석이 이루어져야 비교 가능한 반면에, 원전 성능목표는 일반적으로 수행되는 안전성 점검(Individual plant examination: IPE)이나 Level 2 PSA 수준의 분석결과로 비교될 수 있다. 보건목표와 원전 성능목표는 일관성이 있게 설정되어야 하므로 본 연구에서는 보건목표로부터 원전 성능목표를 추정하는 방법론을 조사하였다. IPE 결과보고서[6]에서 IPE를 통해 결정된 CDF, CCFP로부터 NUREG-1150 결과를 준용하여 미국의 안전목표(QHO)와 비교하기 위해 사용한 방법론은 지나치게 단순화한 제한점이 있으나 안전목표 설정을 위한 기초연구에 참조할 수 있다. 이 방법론에서는 NUREG-1150 결과를 토대로 하여, 초기사망위험도 목표가 암사망 목표보다 여유도가 적으므로 초기사망위험도에 대해서만 검토할 수 있는 방법을 제시하고 있다. 이를 정리하면 다음과 같다.

개인의 초기사망 위험도(Individual risk of early fatality: IREF)는, 초기 사망이 초기 격납건물 손상 또는 우회 사고전개과정에서 초래된다는 가정으로부터 다음 식과 같이 정의할 수 있다.

$$IREF = \sum_j (ECF/B \text{ 빈도})_j \times \frac{(ECF/B)_j \text{에 의한 1 마일 이내 초기 사망자수}}{1\text{마일 이내 인구}} \dots\dots\dots (1)$$

여기서,

(ECF/B)<sub>j</sub>: 특정 Plant damage state (PDS)<sub>i</sub> 중 초기 격납건물 손상 또는 우회 누출을 유발하는 사고추이

$$IREF = \sum_j (PDS \text{ 빈도})_j \times \sum_j CF(RCEF/B)_j \times \frac{(RCEF/B)_j \text{에 의한 1 마일 이내 초기 사망자수}}{1\text{마일 이내 인구}} \dots (2)$$

여기서,

CF : 주어진 PDS 발생시 조건부 발생빈도

$(RCEF/B)_j$  : 특정 PDS<sub>i</sub> 중 초기 격납건물 손상 또는 우회 누출 등급 j

또한 사고결말분석이 없는 경우 아래 사항을 가정하여 위 세 번째 항을 단순화한다.

- 1) 모든 누출 등급의 누출시점은 소개 개시하도록 경고한 시간 이전이다.
- 2) 취발성/반 취발성 방사성 핵종 (I, Cs, Te)의 방출분율이 0.03 이상인 초기 격납건물 손상/우회 누출 등급의 방사선원항이 원전 1 마일 이내에서 초기 사망을 유발할 수 있다.
- 3) 중립에서부터 안정에 이르기까지 대부분의 대기조건에서 플룸(Plume)은 1마일 내 22.5° 구역 (사방 16개 구역의 하나)의 1/3 정도까지 수평으로 확산된다.
- 4) 인구는 16개 구역에 균일하게 분포한다.

즉,

$$\frac{(RCEF/B)_j \text{에 의한 1 마일 이내 초기 사망자수}}{\text{1마일 이내 인구}} \approx 1/3 \times 1/16 \approx 1/50 \approx 0.02 \quad \dots\dots\dots (3)$$

따라서 (1)식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$IREF = \sum_j (PDS \text{ 빈도})_j \times \sum_i \text{Conditional Frequency of } (RCEF/B)_j \times 0.02 \quad \dots\dots\dots (4)$$

단, 여기서  $\sum_j$ 는 I, Cs, Te의 방출분율이 0.03 이상인 초기 격납건물 손상/우회 누출 등급의 방사선원항의 합을 뜻한다.

### 3.3 관련 기술현안

#### 가. 불확실성

원자력시설의 안전목표를 설정하거나 안전성 평가결과를 설정치와 비교하는 데 있어서 중요한 결립들은 불확실성을 어떻게 다루어야 할 것인가 하는 문제이다. 충분한 자료가 있을 경우에는 통계적 방법을 이용할 수 있겠으나 불충분할 경우 대표치나 불확실성의 크기를 정량화하는 방법에 대해 검토해야 할 것이다. 또한 보수성을 고려한 최대치와 가장 신뢰할 수 있는 평균치 중 어떤 값으로 결정할 것인가 하는 문제가 있으나 평균치를 적용하는 것이 일반적이다. 또한 평가결과에 내포된 불확실성을 안전목표에서는 구체적으로 어떻게 고려할 것인가 하는 문제가 있다.[13]

#### 나. 외부사건

지진, 화재 등 외부사건에 대한 평가결과는 일반적으로 내부사건에 의한 위험도보다 불확실성이 크다. 따라서 이러한 외부사건에 대해서는 별도의 안전목표를 고려해야 할 것인가 하는 문제가 제기된다.

#### 다. 기타

안전목표와 비교하여 취약점을 보완하기 위한 하부 상세기준을 마련하는 것이 필요하다. 원자력안전기술원의 안전심사지침 제19장 및 NRC의 Regulatory Guide 1.174는 이에 관한 지침을 제시하고 있다. 아울러 비용-편익 분석에 관한 요건 등을 마련하는 것이 요구된다. 또한 안전목표를 목표(Target)로 간주할 것인가 아니면 기준(Criteria)으로 볼 것인가 하는 문제가 있으며, 이는 불확실성 등에 관련된 현재의 기술수준에 좌우된다고 볼 수 있다. 안전목표와 비교하기 위하여 전 범위의 확률론적 안전성 평가(PSA)를 수행해야 할 것인가 아니면 제한적인 PSA 또는 결정론적 평가를 병행할 것인가 하는 점도 논의의 여지가 있다.

### 4. 국내 안전목표의 설정방안

중대사고대책(안)에 포함되는 안전목표를 설정하는 데 있어서 산·학·연의 많은 전문가가 직접, 간접적으로 검토에 참여해 왔으며 이러한 과정을 거쳐 원자력안전기술원에서는 국내 안전목표를 위 3.1절에 제시한 방법에 따라 보건목표와 보조적인 원전 성능목표의 체계로 설정하고자

한다. 중증의 위험도에 대한 보건목표는 타 사고 및 암 사망률의 0.1% 이하로 정량화하며, 원전 성능목표는 국내 PSA 결과가 충분한 시점에서 보건목표와 동등한 수준으로 결정하는 방안을 추진한다. 신규 원전에서는 추가 건설에 따른 총 위험도 증가요인을 고려하여 원전 성능목표를 1/10 정도로 낮게 설정한다. 특히 차세대 원전에 대해서는 IAEA 안전원칙[9]에 기초하여 일반안전목표, 방사선방호목표, 기술안전목표의 체계를 가진 안전목표가 이미 설정되어 있다.[14]

국내 안전목표를 설정하기 위해서는 한국적 보건목표 값이 결정되어야 하고, 이 보건목표와 국제적으로 보편화되어 있는 원전 성능목표 간의 안전도 수준에 대한 비교 검토와 보건목표의 타당성에 대한 재평가가 필요하였다. 그 세부 절차는 다음과 같다.

- 1) 국내 (사고, 암) 사망률 조사
- 2) 보건목표와 동등한 CDF/LERF(CCFP)의 검토
- 3) 국내 원전에서의 달성 가능성도 및 중증 수용성 판단
- 4) 필요시 보건목표의 수정

#### 4.1 국내 사망률

통계청의 최근 자료[15]를 참조하면, 국내 사고사망률은 1983~1997년간 평균치가 6.60E-04/y, 최대치가 7.60E-04/y으로 계산되었으며 그 값의 0.1%는 7E-07/y 정도이므로 이를 국내 개인의 초기사망 위험도 목표치로 정할 수 있을 것이다. 이 값은 미국의 5E-7/ry에 비해 승수가 같으나 약간 크다. 장시영의 조사[16]에 따르면 국내 암 사망률은 약 1.15E-3/y로 나타나 개인의 암 사망 위험도 목표치는 1E-06/ry로 정할 수 있을 것이며, 이 값은 미국의 2E-6/ry보다 약간 작다.

#### 4.2 보건목표와 대등한 CDF/LERF

국내 PSA 결과가 불충분하므로 NUREG-1150 및 NUREG-1560 연구결과와 국내 원전에 대해 가용한 정보를 참고하여 보건목표로부터 원전 성능목표(CDF/LERF)를 추정하고 국제적으로 보편화된 기준과 비슷한 수준인지 예비적으로 확인하고자 하였다. 3.2절에서 언급한 바와 같이 초기사망 위험도 목표의 여유도가 적으므로 이에 대해서만 검토하였다. 그러나 아래와 같은 검토방법론은 개념적으로 정리한 것일 뿐 실제 PSA에서는 각 변수들이 상호 의존성 때문에 명료하게 분리되지 않는다는 제한점이 있다. Surry 원전에 대해 NUREG-1150 연구결과에 의해 아래 식을 검증해 보면 LERF가 1 승수 (약 4배) 정도 크게 나타났으나 오차범위로서는 고려할 만 하다고 판단된다.

(1)식과 (3)식으로부터 IREF를 단순화하면,  

$$IREF = ECF/B \text{ 빈도} \times P(X_{FP} \geq 3\%) \times frc \quad \dots \dots \dots (5)$$

여기서,  

$$ECF/B \text{ 빈도} = CDF \times CCFP' \quad \dots \dots \dots (6)$$

여기서 CCFP'은 조건부 격납건물 초기손상 확률  
 $P(X_{FP} \geq 3\%)$  : 격납건물 초기 손상시  $I, Cs, Te$ 의 방출분율이 3% 이상 방출확률  
 $frc$  : Plume characteristic factor (= 0.02)

따라서  

$$LERF = ECF/B \text{ 빈도} \times P(X_{FP} \geq 3\%) = IREF / frc \quad \dots \dots \dots (7)$$

원전 주변 면적의 50%를 바다로 간주하여 인구가 육지에 집중해 있다고 가정하면 Plume characteristic factor  $frc = 0.02 \times 2 = 0.04$ 로 볼 수 있다. 또한 울진 3A호기에서 격납건물 초기손상시  $I, Cs, Te$ 의 방출분율이 3% 이상 방출될 확률  $P(X_{FP} \geq 3\%)$ 는 0.7로 나타났다.[17]

(7)식으로부터  

$$LERF = IREF / frc$$

$$= (7E-7/ry) / 0.04$$

$$= 1.8E-5/ry$$

$$\text{ECF/B 빈도} = \text{LERF} / P(X_{FP} \geq 3\%)$$

$$= 1.8E-5/ry / 0.7 = 2.6E-5/ry$$

CCFP를 0.1 또는 0.3(미국 IPE시 최대값)으로 가정하여,

(6)식으로부터

$$\text{CDF} = \text{ECF/B 빈도} / \text{CCFP}$$

$$= 2.6E-5/ry / 0.1 = 2.6E-4/ry \text{ (CCFP 0.1일 경우)}$$

$$= 2.6E-4/ry / 0.3 = 8.7E-5/ry \text{ (CCFP 0.3일 경우)}$$

위 예비분석 결과, 방법론에 제한점은 있으나 보전목표에 해당하는 CDF와 LERF가 각각  $1E-4/ry$ ,  $1E-5/ry$  정도로 예상되어 기존 IAEA나 NRC의 가동중 원전에 대한 성능목표와 동등한 수준임을 알 수 있었다. 따라서 현재의 관례대로 내부사건에 대해서만 적용할 경우 이 성능목표는 국내 원전에서 달성 가능한 수준으로 평가되며 상위 보전목표 설정값도 적절한 것으로 판단된다.

## b. 결론 및 권의사항

원자력안전기술원의 중대사고대책(안)의 작성 과정에서 많은 논의를 유발한 정량적 안전목표의 설정에 대한 연구결과 및 국제 기준을 검토하여 그 필요성 및 설정 방법에 대해 검토하고, 국내 원전에 대한 PSA 정보가 불충분한 상황에서 정량적 안전목표를 고려할 수 있는 방안을 조사하여 타당한 안전목표를 제시하고자 하였다. 국내 원전에 대한 안전목표를 설정하려고 할 때 보전목표와 보조적인 원전 성능목표의 체계로 설정하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 공중의 위험도에 대한 보전목표는 미국의 정책목표와 마찬가지로 원전 주위 주민 개인이 원전 운전과 사고로부터 받을 수 있는 초기사망 및 암사망 위험도를 각각 기타 사고 및 암 사망 위험도의 0.1% 이하가 되도록 정하는 것이 합리적이며, 원전 성능목표로서는 CDF와 CCFP 또는 LERF로 정의하는 것이 타당하다. 국내 통계자료를 참고하면 개인의 초기사망 위험도 목표치를  $7E-07/ry$ 로, 암사망 위험도 목표치는  $1E-06/ry$ 로 정할 수 있을 것으로 평가되었다. 제시한 보전목표와 대등한 원전 성능목표에 대한 예비검토결과, CDF와 LERF가 각각  $1E-4/ry$ ,  $1E-5/ry$  정도로 예상되어 국제적 수준의 성능목표와 비슷한 수준임을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서 제시한 안전목표는 내부사건에 국한할 경우 국내 원전에서 달성 가능하고 공중이 수용할 수 있는 수준인 것으로 판단된다. 차후의 연구과제로서 사회적 위험도에 대한 안전목표의 고려방안과 불확실성의 취급, 외부사건의 고려, 안전목표의 규제적용 정도, PSA 수행범위 등에 대한 논의가 필요하다.

## 참 고 문 헌

1. 한국원자력안전기술원, "원전의 중대사고 대책(안)", 1991. 7.
2. 과학기술부, "원자력안전 정책성명", 1994. 9. 10.
3. 한국원자력안전기술원, "중대사고 대책(안)", 1999. 9.
4. U.S.NRC, "Policy Statement: Safety Goal," 51 FR 30028, August 1986.
5. U.S.NRC, "Implementation of safety goal," SECY-89-102, March 30, 1989.
6. U.S.NRC, "Individual Plant Examination Program: Perspectives on Reactor Safety and Plant Performance," NUREG 1560, December 1997.
7. ACRS letters, "Status of Efforts on Revising the Commission's Safety Goal Policy Statement,"

April 19, 1999.

8. IAEA, "Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants," Safety Series No.75-INSAG-3, 1988. 6.
9. IAEA, Safety Series No. 110, "Safety fundamentals," 1993.
10. 황원국 외, "우리나라의 확률론적 안전기준 설정방안에 관한 연구", 한국원자력안전기술원 KINS/HR-014, 1991. 12.
11. 조남진 외, "확률론적 안전기준과 원전 설계·운전개선에 관한 연구", 한국원자력안전기술원 KINS/HR-013, 1991. 12.
12. U.S.NRC, "Severe accident risks: An assessment for five U.S. Nuclear power plants," NUREG-1150, December 1990.
13. 아베 기요하루 외, "원자력시설의 확률론적 안전목표에 관한 연구", 한국원자력안전기술원 KINS/AR-219 (JAERI-MEMO,04-331), 1992. 12.
14. 한국원자력안전기술원, "차세대원자로 안전목표 및 안전원칙 개발", KINS/GR-, 1999.
15. 통계청, "한국 통계자료 DB", 1999. 7.
16. 장시영, "한국인의 사망 위해도 평가", 1999. 9.
17. 한국전력공사 전력연구원, "성능기반 격납건물 누설시험 주기 연장, '98 전력연-단681 (TM.C97NS02.R1998.619), '98. 9.