

## LERF를 어떻게 정의할 것인가

### How do we define LERF

김명기, 서미로

한국전력공사 전력연구원  
대전광역시 유성구 문지동 103-16

#### 요약

원자력발전소는 안전성과 경제성의 두 가지 요소를 충족시키는 방향으로 운영이 되어야 할 것이다. 이를 위해 미국에서는 위험도정보를 기준으로 원전 규제 방향을 설정하고 있으며 이를 위해 관련 Reg. Guide를 발표하였다. 국내에서도 위험도 정보규제에 대한 연구를 각 관련 사에서 시작하고 있으며 조만 간에 규제방향이 확립될 전망이다. 본 논문에서는 위험도 정보로 사용되고 있는 LERF에 대한 기준을 제시하였다. 제시된 LERF 분석방법은 위험도에 대한 정보를 충분히 제시하면서 간단하게 LERF를 구할 수 있기 때문에 위험도 정보 규제 시 LERF를 계산하는 데 사용할 수 있다.

#### Abstract

It is necessary to satisfy both safety and economic at the same time in operating nuclear power plants. In order to implement it, USNRC encourages probabilistic risk assessment techniques to implement safety decision making and enhance regulatory efficiency and issues related regulatory guidelines. In domestic nuclear institutes and industries have started risk-informed regulations researches and regulation guidelines will be issued in short time. The paper provides the rationals and analysis method of LERF, large early release frequency used in risk-informed regulation as a safety parameter. The proposed method for LERF is simple so that it is adaptable to risk-informed regulation while providing sufficient information on risk induced from severe accidents.

#### 1. 개요

미국 TMI-2 원전사고 이후 원전의 안전성 확보 측면에서 확률론적안전성평가 (PSA: Probabilistic Safety Assessment)를 수행하였으며 중대사고에 대한 발전소의 취약점을 도출하고 이에 대한 보강 및 절차서 개발을 수행하여 원전의 안전성을 확보하고 있다. 미국 NRC는 위험도 정보를 원전의 운영에 활용하는 방안을 천명하였으며 그후로 발전소의 현행 인허가 기준을 변경하는 데 위험도 정보 사용 기법을 Reg. Guide로 발간하였다. 원자력 계는 최근에 이것에 힘입어 위험도정보를 활용하여 원전의 운영에 적용하는 연구를 활발히 진행하고 있으며 가장 각광을 받고 있는 분야로서는 “위험도 정보를 활용한 배관 비파괴 검사부위선정” 및 “기술지침서의 허용정지시간 연장”이며 그 이외의 분야에서는 대표 원전 프로젝트 수행을 통하여 적용가능성을 판단할 계획에 있다. 위험도 정보의 적용 방법을 제시한 Reg. Guide 1.174를 보면 위험도 인자로서 노심손상빈도(CDF: Core Damage Frequency)와 대량 조기 방사성물질 방출빈도(LERF: Large early release frequency)를 거론하고 있다. 이런 값은 이미 수행한 IPE(Individual Plant Examinations)

를 통하여 얻을 수 있는 정보로 알려졌으나 LERF는 다소 재분석이 필요하다. 이는 LERF의 개념이 IPE를 수행할 때에 도입되지 않았고 IPE 수행 완료 후 위험도 규제 기준에서 그 개념이 들어왔기 때문이다. 미국 원자력발전소에서는 각 발전소의 IPE 결과를 바탕으로 매우 간단한 방법으로 LERF를 도출해내고 있으며 이를 위험도 정보 규제의 여러 분야에 사용하고 있다.

국내의 경우를 보면 건설 원전에 대해서는 PSA level 1, 2를 수행하여 왔으며 가동원전에 대해서는 향후 6년 이내에 완료할 목표로 수행 중에 있다. 그리고 위험도 정보 규제의 적용기술 분야에서는 올진 4호기를 대상으로 “위험도 정보를 활용한 배관 비파괴 검사부위선정”연구를 수행 중에 있다. 이상과 같이 국내에서는 PSA 및 관련기술이 꾸준히 개발되어 왔으며 현 단계로서 위험도 정보 규제 적용에 대한 기본 체계는 구축되어 있다고 볼 수 있다. 그러나 LERF에 대한 기준은 국내에서는 아직 마련되어 있지 않기 때문에 미국에서 정의 한 LERF 배경을 살펴보고 국내의 PSA 결과를 바탕으로 위험도 정보 규제에 알맞은 LERF의 분석방법을 논의하고자 한다.

## 2. LERF 배경

LERF는 대량 조기 방사성물질 방출빈도로 노심이 손상된 후 방사선물질이 외부로 누출되어 주민에게 피해를 줄만한 사고의 발생빈도를 의미한다. 다시 말하면 원자력발전소 사고가 발생하면 주민들은 방사선 방호계획에 의해 소개되는 데 소개되기 전에 대량으로 방출된 방사선이 주민에게 피해를 입혀 조기사망을 일으키는 사고빈도를 말한다. 이를 분석하기 위해서는 다음 두 가지를 알아야 한다. 첫째로 조기사망이 일어나기 위해서 얼마나 많은 방사성 물질이 누출되어야 하는가를 알아야 하며 두 번째로는 얼마 동안 주민이 방사성 물질에 노출되어 방사선 피폭을 입는가에 대한 있는가에 대한 사항이다. LERF는 이런 자료를 가지고 Level 3 PSA 분석을 수행하여 얻는다. 위험도 정보 규제에 대한 기본 방향을 제시하고 있는 Reg. guide 1.174에서는 CDF와 LERF를 위험도 정보 규제를 결정하는 매트릭스의 인자로 기술하고 있으며 LERF에 대해서는 다음과 같이 언급하고 있다. LERF는 조기 치사 정성적 목표(Early Fatality QHO)에 대한 Surrogate (어떤 것이 평가하기가 어려울 때에는 그 효과가 같은 다른 것을 선택하여 평가하는 방법)로서 발전소 인근 주민이 대피하기 전에 대량으로 방사선이 누출되어 조기사망을 일으키는 방출빈도로 언급하고 있다. 즉 Early health effects 영향을 주는 사고의 빈도를 말한다.

NRC의 Safety Goal Policy에 따르면 조기 치사 정성적 목표를 다음과 같이 정의하고 있다: “원자력발전소 인근 주민의 즉시치사(prompt fatality)에 대한 위험도는 일반 주민이 모든 사고로부터 받을 수 있는 위험도의 0.1%를 넘지 않아야 한다.” 이를 원자력발전소의 위험도로 환원하기 위하여 다음과 같은 개략적인 수식을 통하여 발전소의 LERF의 한계치를 도출하고 있다. 미국의 재해는 다양하지만 자동차에 의한 사고를 예를 들어 위험도를 계산하면 다음과 같다. 미국의 자동차사고의 빈도는  $5 \times 10^{-4}$ /년이며 이 값의 0.1%는  $5 \times 10^{-7}$ /년이다. 즉 원자력발전소로 인해서 발생할 수 있는 모든 위험은 이 값보다 커서는 안 된다는 것이 안전성의 목표이다.

원자력발전소의 사고로 인해 피해를 입을 주민을 발전소 인근 1mile이내에 거주하는 주민으로 한정하여 보면 평균 위험도는 다음과 같다.

$$IREF = \sum F_i * (PWRF)_i$$

단 IREF : 개인 조기 치사 위험도

$F_i$  : i번째 방사능 물질 방출 빈도

$(PWRF)_i$  : i번째 방사능 물질 방출 시 가중된 위험도 (1 mile 이내의 인구 평균 위험도)

MACCS 코드를 사용하여 Level 3 PSA를 수행한 선행 연구결과를 보면 조기(Early)를 사고 발생 후 4시간으로 간주할 때 여러 핵종 중 I, Te이 약 노심 초기 재고량의 2.5% 및 3%가 방출되면 1 mile 내에 주민 1명이 사망(조기치사)하는 것으로 나타났다. 또 다른 연구 결과에 따르면 사고시 방사능 물질이 퍼져나가는 지역을 살펴보면 방사선 물질은 원주방향의  $1/(16 \times 3)$ 으로 퍼져나가는

것으로 나타났다. 이상의 두 연구 결과를 보면 인구평균을 고려한 가중된 위험도 PWRF는 0.02가 된다. 그리고 LERF를 대량으로 방출된 방사선의 빈도라고 하면 IREF는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\text{IREF} = \text{LERF} * \text{PWRF}$$

PWRF = 0.02일 때 IREF가  $5 \times 10^{-7}$ /년 이하가 되기 위해서는 LERF는  $2.5 \times 10^{-5}$ /년이 되어야 하며 불확실성을 고려하여 LERF를  $1 \times 10^{-5}$ /년으로 간주한다. 따라서 Reg. 1.174에서는 허용기준을 CDF는  $10^{-4}$ /년 그리고 LERF는  $10^{-5}$ /년으로 Risk-Informed Decision Making 의 기본 값으로 사용하고 있다. 이 값은 조기 치사 정성적 목표를 기준으로 도출된 값이므로 전출력 PSA(내부 및 외부사건), 정지/저출력 PSA 모두를 포함한 값이 되며 만약 정지/저출력 PSA를 수행하지 않았을 경우에는 정성적으로 안전성이 확보된다는 것을 보여야 한다.

이상과 같이 발전소의 LERF는 주민의 피해를 기반으로 두기 때문에 주민의 위험도 관점에서 출발하여야 정확하게 알 수 있으며 이런 정보는 발전소의 방사선 비상계획(몇 시간만에 주민을 대피시킬 것인가) 및 대량으로 방사선을 누출시킬만한 격납건물 파손 크기를 가지고 Level 3 PSA를 수행하여야 얻을 수 있다. 그러나 미국 대부분의 원자력발전소에서는 Level 3 PSA를 수행하지 않아 정확한 LERF를 얻을 수 없으므로 IPE 혹은 Level 2 PSA의 정보를 갖고 LERF를 도출하여 위험도정보규제에 사용하고 있으며 NRC에서는 이를 인정하고 있다. 이런 이유는 원자력발전소의 위험도는 노심손상빈도로도 충분히 볼 수가 있기 때문이다.

#### LERF 분석 방법

미국에서는 기존의 IPE 결과와 PSA 연구 결과를 바탕으로 LERF를 계산 할 때 다음과 같은 4가지 방법이 제안되고 있다.

1. 조기 격납건물 고장 혹은 격납건물 우회 시 일어나는 모든 방사성 물질 방출빈도
2. 조기 격납건물 고장 혹은 격납건물 우회 사건 시 관계되는 방사성 물질 방출빈도의 합으로 방사성 물질 I, Ce, Te가 노심 초기 재고량의 2.5%, 3%, 3% 이상 방출 사고
3. 두 번째 방법과 같으나 방사성 물질 방출 양이 10% 이상인 사고를 고려
4. 간략한 사건수목(Headings: RCS 압력, Core Damage Arrested w/o VB, No Induced SGTR, No CV Failure at VB, No Potential for Early Fatalities)을 통한 LERF 분석

이상의 4가지 방법이 제안되고 있으며 각 방법에 대해서 미국의 대표 원전에 대하여 LERF를 분석한 결과 Large Dry Containment 형태의 원전에서는 방법 1과 4의 결과가 보수적인 것으로 나타났으나 그 차이는 크지 않는 것으로 나타났다.

### **3. 국내 LERF 기준 제시**

국내 원전의 LERF를 정의하기 위하여 Large 및 Early에 대하여 다음과 같이 검토를 실시하여 LERF의 기준을 제시하고자 한다.

#### Large 기준

PSA Application Guide (EPRI TR-105396, page 2-5)에서는 "large"를 "involving the rapid, unscrubbed release of airborne aerosol fission products to the environment"로 정의하고 있으며 Large를 격납건물 파손 크기로 표현할 수 있다고 언급하고 있다. 이 크기는 1시간 안에 격납건물 자유체적의 변화를 야기시킬 수 있는 파손크기로 말하고 있다. 이런 크기는 대량으로 방사성 물질이 누출될 만한 크기여서 사고 시 주민에게 조기치사를 유발시키기에 충분하다는 것이다. 이런 파손 크기는 발전소에서 수행하고 있는 격납건물 누설 시험을 통하여 알 수 있다. 그러나 격납건물

의 누설량은 격납건물 압력에 따라 변하므로 파손크기를 정하는 데 있어서 분석 기준이 되는 압력이 필요하다. 격납건물의 압력은 사고의 종류에 따라 다르고 같은 사고라도 사고진행과정에 따라 다르므로 격납건물 압력을 정한다는 것은 어려운 일이다. 미국의 원자력발전소 운영자의 모임에서는 Large에 해당하는 격납건물 누설율을 계산할 때에 격납건물 압력은 설계압력으로 정하는 것이 바람직하다는 결론을 내렸다. 즉 Large의 크기는 격납건물 설계압력상태에서 1시간동안 격납건물 자유체적에 해당하는 양이 누설되는 크기를 말한다.

국내에서도 Large에 대한 크기의 결정을 하기 위하여 Level 3 PSA를 통하여 조기치사를 일으키는 크기를 정하는 것은 거의 불가능하므로 현재의 기술과 지식을 바탕으로 Large에 대한 기준을 격납건물 설계압력상태에서 1시간동안 격납건물 자유체적에 해당하는 양의 누설을 야기하는 등가 파단 크기로 정하는 것이 타당하다 하겠다.

### Large 크기 분석

앞에서 언급한 대로 Large의 크기를 격납건물 설계압력상태에서 24시간동안 격납건물의 1 volume에 해당하는 누설을 야기하는 크기이다. 국내 표준원전인 울진 3,4호기의 경우 Large에 대한 파단크기는 다음과 같다.

- 울진 3,4 격납건물 설계 압력: 57 psig
- 격납건물 자유 체적: 2.727 E6 (ft<sup>3</sup>)

CV broken diameter (in)	2	4	6	8	Remark
Leakage volume (SCFM)	4310.03	17240.11	38790.25	68960.44	-
x 60 min(SCF)	2.586 E5	1.034 E6	<b>2.327 E6</b>	4.138 E6	Leakage amount during 60 min

따라서 울진3,4 (한국표준형)에서는 LERF시 Large는 보수적으로 6 인치가 된다. 국내 전 원전에 대한 LERF를 고려할 경우 격납건물 용량이 상이하기 때문에 각 원전의 격납건물 용량에 따라 등가 배관 파단 크기를 구하고 보수적인 관점에서 최소의 배관 크기를 국내 원전 기준 LERF로 사용할 수도 있고 각 원전별로 배관 파단 크기를 계산하여 사용할 수도 있다. 미국에서는 발전소마다 발전소 고유의 분석을 통해 배관크기를 정의하여 사용하고 있으므로 국내에서도 원전별로 파단 크기를 계산하여 사용함이 바람직하다 할 수 있다.

### Early 기준

Early는 정의에 의하면 격납건물 파손 즉시 대량으로 방사선이 방출되어 조기치사를 일으키는 사고 시에 주민이 소개되지 않아 방사선에 노출되는 시간을 말한다. PSA Application Guide에서는 Early를 발전소 비상발령(비상계획)이 일어나기 전까지의 시간으로 보고 있다. 보고서에서는 노심이 용융이 되고 원자로 용기가 파손되고 난 후 4시간을 제시하고 있으며 이 보다 적은 값을 사용할 때에는 발전소에서 소외방사선 비상계획이 있어 이를 정당화 할 수 있으면 새로운 값을 사용할 수 있다고 하고 있다. 웨스팅하우스 사업운영자회의에서는 비상발령 즉 “Implementing the offsite emergency plan”을 “Declaration of a general emergency”로 해석하고 있다. 또한 보고서에서는 사고가 후기 노심손상으로 인한 방사선누출(Late Core Damage)사고는 사고진행이 느리므로 Early Release에 포함되지 않는다고 언급하고 있다. 미국 원자력발전소에서는 LERF 분석시 Early를 4시간으로 간주하고 있다.

### Early 분석

국내에 Early를 결정하기 위하여 발전소 비상계획서를 살펴보면 다음과 같다. 사고 시 비상계획에 의거하면 백색발령 1시간내 비상기술지원실(운전지원실 및 운영지원실)이 설치 운영되도록 되어있

고 적색발령 1시간 이내에 발전소 비상대책본부 전 조직이 설치되어 운영되도록 되어 있다. 중대 사고가 발생하면 백색발령 및 적색발령의 조건에 도달하므로 사고발생 1시간 이내에 비상대책본부 전 조직이 구성이 되어 가동이 된다. 그리고 주민보호 조치는 IAEA Safety Series No. 72에 의거하여 전신 피폭기준으로 대피는 5 - 50 mSv, 소개는 50 - 500 mSv(이 방사선 피폭량은 조기치사를 일으킬만한 크기는 아님)으로 정해져 있어 중대사고로 대량으로 방사선이 누출되기 이전에 주민이 소개된다. 따라서 중대사고 발생 후 4시간은 주민의 소개에 충분한 시간이라고 볼 수 있다.

중대사고 중 대량으로 방사성 물질이 누출되는 사고인 격납건물 우회사고(증기발생기 전열관 파단사고(SGTR)와 저압경계부 파단사고(ISLOCA))는 사고가 발생하면 바로 발전소에서 방사능이 누출되어 방사능 물질 누출이 확인될 수 있으므로 신속히 비상계획을 발령할 수 있다. 따라서 주민의 보호 조치는 사고초기부터 가능하므로 4시간 기준 적용은 보수적으로 볼 수 있다. 이상과 같이 국내의 비상계획에 의해 Early에 대한 기준을 4시간으로 정하는 것이 타당하다 할 수 있다 (그러나 보수적으로 24시간으로 정할 수도 있다). 결론적으로는 Early에 대한 개념은 사고가 발생한 후 주민의 소개되기 전까지 4시간 (혹은 보수적으로 24시간) 동안 방사선에 의해 주민이 피폭된다는 것이다.

#### 4. LERF 분석

앞에서 설명한 LERF 분석방법을 사용하여 영광 5,6호기에 적용하면 다음과 같다.

##### LERF 분석방법 1 적용

보수적으로 방사성 물질은 격납건물 파손사고가 발생하면 대량의 방사성 물질이 외부로 누출된다고 보면 이런 사고에는 증기발생기 세관 파단 사고, 저압 경계부 냉각재 상실사고 및 노심손상시 격납건물 격리실패사고가 있다. 즉 노심손상이 발생되고 격납건물 격리가 실패되면 모두 LERF라고 보는 것이다. 여기에 고려해야 할 사항은 격납건물 격리 실패(Containment Isolation Failure)사고이다. Level 1 PSA에서는 격납건물 격리 실패 사고가 고려되지 않았으므로 LERF 분석시 이를 분석해야 한다.

LERF를 계산하기 위해서는 ISLOCA와 SGTR의 사고에 의한 CDF와 격납건물로 연결된 6" 이상의 배관 파손으로 인한 격리실패를 고려한다. 격납건물 격리 실패는 6" 이상인 배관 중에서 격납건물에 관통하는 배관의 부위가 파손되었을 때와 격납건물 격리를 위해서 설치되어 있는 MOV 격리밸브가 고장일 때 격납건물 우회 사건은 발생하게 된다. 이런 사고는 직접적으로 방사성 물질을 누출시키는 통로가 되므로 이에 의한 LERF는  $CDF_{otherIE} \times MOV$  고장 확률값(노심이 용융된 상태에서 격납건물 격리 밸브가 열리면 외부로 대량 방사능이 누출된다는 의미)이 된다. 따라서 전체 LERF는 다음과 같다.

$$LERF = CDF \times CV \text{ Isolation Failure,}$$

$$CV \text{ Isolation Failure} = (ISLOCA, SGTR) \text{ OR (Component Failure Probability),}$$

$$(Component Failure Probability) = (Pipe Failure) \text{ AND/OR (Valve Failure)}$$

$$LERF = SGTR_{cdf} + ISLOCA_{cdf} + CDF_{otherIE} \times \text{격리밸브 MOVs 고장 확률}$$

단  $SGTR_{cdf}$  : 증기발생기 세관 파단 사고로 인한 CDF

$ISLOCA_{cdf}$  : 저압경계부 냉각재 상실사고로 인한 CDF

$CDF_{otherIE}$  : 전체 CDF -  $SGTR_{cdf}$  -  $ISLOCA_{cdf}$

그러나 실제로 세 번째 있는 항은 앞의 두 항에 비해 크기가 매우 적으므로 이를 무시할 수 있다. 이를 영광 5,6호기에 적용하면 LERF는  $8.81E-7/Ry$  ( $SGTR$  CDF:  $6.79 E-7$ ,  $ISLOCA$  CDF:  $1.77 E-9$ )이 된다.

LERF 분석방법 2 적용

Early를 LERF의 분석방법 중 2번의 방법을 적용하면 대량의 방사성 물질은 I, Te는 각각 2.5% 및 3% 이상의 방출량인 경우이다.

이를 국내 영광 5,6호기 PSA연구 결과에 적용하면 다음과 같다. 영광 5,6호기 PSA 분석 결과를 보면 조기사고로 분류된 방출군은 방출군 3번, 4번 및 14번과 저압경계부 냉각재 상실사고 및 증기발생기 세관 파단 우회사고이었으며 각각의 사고 진행과정은 다음과 같다.

방출군 3번의 경우를 보면 소외전원상실사고시 안전감압밸브 개방 실패, 안전주입계통 및 살수계통 실패 시 원자로용기가 사고 후 3시간에 파손되는 것(보수적으로 원자로용기가 파손되면 격납건물이 파손되는 것으로 간주)으로 나타났다. 그러나 이때에 사고 후 36시간 동안 방출되는 방사선 분율을 보면 CsI, TeO<sub>2</sub>는 1.98%, 2%로 즉시치사의 기준인 2.5%와 3%에 훨씬 못 미치는 것으로 분석되었다. 따라서 방출군 3번은 시간적으로 보면 조기에 해당되나 즉시치사를 일으키지 못하므로 Early에서 제외된다.

다음 방출군인 방출군 4번의 경우를 보면 이는 소형냉각재상실사고시 고압안전주입계통의 재순환 운전이 실패되었을 때의 사고로 사고 후 22시간에 원자로용기 하부가 파손되는 것으로 나타났다. 이 사고는 4시간 기준에 걸리므로 Early 사고에서 제외된다. 만약 Early를 보수적으로 24시간으로 볼 때에는 Early에 해당되며 CsI, TeO<sub>2</sub>의 방사선 분율 또한 각각 28.4%, 5.4%로 조기치사 기준을 넘으므로 Early 사고가 된다. 이때 사고확률을 살펴보면 1.78E-8/Ry이며 전체 노심손상빈도의 0.2%를 차지한다.

다음으로 방출군 14번을 살펴보면 이는 격납건물 알파모드에 의한 사고경위이다. 격납건물 파손은 사고후 20시간이 지난 후 발생하므로 Early 4시간 기준에 의해 제거된다. 보수적으로 Early를 24시간으로 볼 때에 CsI, TeO<sub>2</sub>의 방사선 분율이 각각 98.6%, 82.8%로 조기치사의 기준을 넘는다. 이때의 사고빈도는 4.22E-7/Ry으로 전체 노심손상빈도의 0.1%를 차지한다.

저압경계부 냉각재 상실사고의 경우를 보면 사고 후 약 4시간에 노심이 손상되어 방사성 물질이 격납건물 외부로 누출되는 것으로 나타나 Early 사고에 포함되며 사고이 후 36시간 동안 CsI, TeO<sub>2</sub>는 50%, 32%가 누출되는 것으로 나타났다. 이때의 사고빈도는 1.77E-9/Ry으로 나타났다.

마지막으로 증기발생기 세관 파단사고의 경우를 보면 사고후 방사선 물질은 4시간 30분부터 방출되는 것으로 나타났다. 보수적으로 4시간 기준 안에 포함되는 것으로 보아 Early사고로 간주되며 사고 후 36시간 동안에 CsI, TeO<sub>2</sub>는 44%, 18%가 누출되는 것으로 나타났다. 이때의 사고빈도는 6.79E-7/Ry으로 전체 노심손상빈도의 9.1%를 차지한다. 이상을 종합하여 보면 영광5,6호기의 LERF는 다음과 같다.

Early 정의	LERF 유발 사고	LERF 빈도
4시간	증기발생기 세관 파단 사고	6.79E-7
	저압경계부 냉각재 상실사고	1.77E-9
	소계	<b>8.81E-7</b>
24시간	증기발생기 세관 파단 사고	6.79E-7
	저압경계부 냉각재 상실사고	1.77E-9
	방출군 4번	1.78E-8
	방출군 14번	4.72E-9
	소계	<b>9.64E-7</b>

**5. 결과 및 토의**

본 논문에서는 이상과 같이 LERF에 대한 근본 개념과 이를 구현하기 위한 LERF의 방법론에 대

하여 설명을 하였으며 국내 기준을 마련하기 위하여 영광 5,6호기에 LERF의 방법론을 적용을 하였다. 앞에서 보았듯이 LERF는 발전소 고유의 값으로 발전소의 중대사고에 대한 설계특성에 좌우 될 뿐만 아니라 발전소의 비상계획과도 연계되어 있다. 국내의 원전의 중대사고시 대처 현황을 보면 노심용융 사건이 발생된 후 4시간 안에는 발전소 비상계획에 의해 주민의 소개 선언이 확실 시되므로 Early에 대한 기준을 4시간으로 정할 수 있다. 즉 다음과 같이 발전소의 중대사고에 대한 특성 및 대처 현황을 말할 수 있다.

“한국 표준형원전은 대량 방사성 물질이 누출되는 격납건물 파손 크기는 6”이며 만일의 경우 노심손상사고가 발생한 후 4시간 안에 주민 소개 발령을 취한다.”

이런 조건에서는 상세 Level 2 PSA를 수행하여 대량방사선 누출을 기준으로 LERF를 계산하는 방법 2의 결과와 증기발생기 세관 파단 사고로 인한 노심손상빈도와 저압경계부 냉각재 상실사고로 인한 노심손상빈도의 합을 LERF로 보는 방법 1의 결과는 동일하게 나왔다. 따라서 국내 원전의 경우 LERF 분석 방법을 1의 방법을 사용하는 것이 바람직하다. 또한 위험도 정보규제는 CDF와 LERF의 두 인자를 가지고 다루고 있으므로 발전소 배열관리에 대한 위험도 정보 규제 및 운영을 시행하려면 실시간으로 CDF와 LERF를 구하여야 하는 데 실제로 방법 1이 아니고서는 이를 계산할 수 없기 때문에 더욱 방법 1이 사용되어야 만 한다. 즉 국내 원전의 LERF는 “ $SGTR_{cdf}$ 와  $ISLOCA_{cdf}$ 와  $CDF_{otherIE} \times$  격리밸브 MOVs 고장 확률의 합”으로 정할 수 있다.

## 6. 결론

본 논문에서는 국내에 도입될 위험도 정보규제인 인자로 사용되고 있는 LERF에 대하여 미국 사례와 국내 PSA 연구결과를 사용하여 그 기준 및 분석방법을 제시하였다. 제시된 LERF 기준은 “ $SGTR_{cdf}$ 와  $ISLOCA_{cdf}$ 와  $CDF_{otherIE} \times$  격리밸브 MOVs 고장 확률의 합”으로 정하였으며 이는 Level 1 PSA를 수행을 하면 쉽게 도출할 수 있는 값이다. 또한 국내 원전에 대하여 중대사고에 대한 특성 및 대처 현황을 다음과 같이 말할 수 있다는 결론을 내릴 수 있다. “한국 표준형원전은 대량 방사성 물질이 누출되는 격납건물 파손 크기는 6”이며 만일의 경우 노심손상사고가 발생한 후 4시간 안에 주민 소개 발령을 취한다.” 끝으로 위험도 정보 규제 및 운영을 시행하려면 실시간으로 CDF와 LERF를 구하여야 하는 데 본 논문에서 제시된 방법이 아니고서는 실시간으로 LERF를 구할 수 없기 때문에 제시된 LERF 방법론이 효용성이 있다 할 수 있다.

## 참고문헌

1. USNRC, "Use of Probabilistic Risk Assessment methods in Nuclear Regulatory Activities; Final Policy Statement," Federal Register: Volume 60, Number 158, August 16, 1995
2. USNRC, "An Approach for Estimating the Frequencies fo Various Containment Failure Modes and Bypass Events," NUREG/CR-6595, January 1999
3. EPRI, "PSA Application Guide," TR-105396
4. 전력연구원, "영광 5,6호기 확률론적 안전성 평가," 2000, 12