2003 추계 학술발표회 논문집
한국원자력학회

국내 원전 초기사건 성능지표의 경계치 설정 연구

A Study on the Determination of Threshold Values for the Initiating Event Performance Indicators of Domestic Nuclear Power Plants

강대일*, 박진희*, 김길유*, 황미정*, 양준언*, 성계용**
*한국원자력연구소, **한국안전기술원

요 약

본 논문에서는 국내의 초기사건 성능지표인 원자로 비계획정지 경계치를 국내 원전의 데이터와 표준원전 PSA 모델을 이용하여 설정하였다. 또한 초기사건에 대한 RBPI 시범연구도 수행하였다. 연구결과 비계획정지의 녹색/남색 경계치는 3, 남색/노랑색은 6, 노랑색/주황색은 30으로 나타났다. 표준원전 PSA 모델을 사용한 RBPI 시범연구 결과, 급수상실, 과도사건, 기기냉각수상실 사건이 위험도기반 초기사건 성능지표로 선정되었다.

Abstract

In this paper, we determine the threshold values of unplanned reactor scram, domestic initiating event performance indicator, using data of domestic unplanned reactor scram and probabilistic safety assessment model of Korea Standard Nuclear Power Plant(KSNP). We also perform a pilot study of initiating event risk based performance indicator(RBPI) for KSNP. Study results for unplanned reactor scram show that the threshold value of between green and blue color is 3, that of between blue and yellow color is 6, and that of between yellow and orange color is 30. Pilot study results of initiating event RBPI show that loss of feedwater, transient, and loss of component cooling water events are selected as initiating event RBPI for KSNP.

1. 서론

원전의 성능과 안전성을 정량적으로 나타내는 성능지표는 초기에 단순히 원전 운영과 효율성, 그리고 안전성에 초점 맞추어져 사업자 주도로 사용해왔다. 그러나, 국내.외적으로 위험도 정보를 활용한 원전의 운영.규제 업무가 활성화됨에 따라 성능지표를 위험도 정보활용 규제의 한 수단으로 사용하려는 경향이 높아가고 있다. 한편, 기존의 발전소 성능지표가 개별 원전의 설계나 운전경험을 제대로 반영하지 못한다는 단점이 나타나자 개별 발전소의 특성을 반영할 수 있는 위험도기반 성능지표(risk based performance indicator: RBPI) 연구가 미국 NRC와 유럽연합에서 활발하게 수행 중에 있다[1, 2].

국내의 안전기술원에서는 WANO(world association of nuclear operators)의 성능지표와 미국 NRC의 원자로감독과정(reactor oversight process: ROP) 성능지표를 토대로 개발된 성능지표를 사용 중이다. 국내 성능지표의 성능등급은 일반인이 손쉽게 이해할 수 있도록 성능등급을 4단계인 녹색, 남색, 노란색, 주황색으로 나누어 표시하고 있다[3].

성능지표 등급을 구분하는 경계치(threshold value)를 설정하는 방법은 기본적으로

성능지표 사용자의 사용 철학과 밀접한 관련이 있다. 규제업무에 성능지표를 적극적으로 사용하고 있는 미국 NRC는 성능지표 경계치를 확률론적 안전성평가(probabilistic safety assessment: PSA)의 결과물인 노심손상빈도(core damage frequency: CDF) 변화량과 연계하여 설정하고 있다[1, 4]. 안전기술원에서 발간된 성능지표 현황보고서에서도 장기적으로 국내 원전 성능지표 경계치 설정에 PSA를 이용할 것이라고 언급을 하였다[3].

이에 본 논문에서는 국내의 초기사건 성능지표인 원자로 비계획정지(unplanned reactor scram: URS) 경계치를 국내 원전의 데이터와 PSA결과를 이용하여 설정하였다. 또한 초기사건에 대한 RBPI 시범 연구도 수행하였다. 2장에서는 비계획정지 초기사건 경계치 설정 결과를, 3장에서는 표준원전을 대상으로 한 초기사건 RBPI 시범연구결과를 기술하였다. 끝으로 4장에서는 결론을 기술하였다

2. 비계획정지 경계치 설정

비계획정지란 말 그대로 원자로가 예상치 못하게 정지되는 사건으로 자동정지와 수동정지 사건 모두를 포함한다. 국내 성능지표에서 사용하고 있는 비계획정지사건의 정의는 다음과 같다[3]:

비계획 원자로정지(unplanned reactor scram: URS)

=원자로 불시 정지횟수 x 7000(시간) / 원자로 임계(운전)시간(시간)

= 연간 평균 불시정지횟수 x 0.799.....(식1)

경계치를 설정하는 방법에는 여러 가지가 있을 수 있으나 현재 등급 경계치에 대해 승인된 방법론이 뚜렷하게 없기 때문에 본 연구에서는 미국의 SECY 99-007[4]에서 제시하는 방법을 사용하여 경계치를 설정하였다. SECY 99-007에서는 국내 안전기술원과 마찬가지로 성능지표 등급을 4가지인 Green, White, Yellow, Red로 나누어 사용하고 있다. SECY 99-007의 방법은 기본적으로 Green/White 경계치는 데이터분석을 이용하여 설정하고, 다른 경계치는 PSA를 이용하는 방법이다. 다음은 SECY 99-007의 경계치 설정방법이다 [4]:

- Green/White 경계치:Green/white 경계치는 달성 가능한 성능으로 전 원전에 나타나는 사건 데이터들의 random 성질에서 생기는 통계적 변동성을 고려하여 설정한다. 데이터 값의 95% 값이나 평균 값에 2*표준편차를 더한 값을 이용하여 설정한다. 경계치의 타당성 여부를 확인하기 위해 Green/White의 경계치를 PSA 모델에 대입하여 계산한 노심손상빈도 변화가 1.0E-5/yr보다 작은지를 확인한다.
- White/Yellow 경계치: 성능 저하를 숫자로 나타내는 규제기관의 명확한 지침이 없기 때문에 CDF 변화가 1.0E-5/yr로 정한다. 이 경계치가 의미가 있기 위해서는 성능지표 변동 값이 통계적인 변동 값보다 커야 한다.
- Yellow/Red 경계치:White/Yellow와 마찬가지 방식으로 CDF 변화를 1.0E-4/yr로 설정하였다.

2.1 국내 원전 불시정지사건 추이

2000년 12월 31일 현재 국내 원전은 모두 16개 호기가 가동 중이며 총 운전연수는 약 135 Reactor-Years이다. 1978년부터 2000년까지의 국내 원전에 대한 연도별 불시정지 횟수와 임계 운전시간이 표 1에 나타나 있다[5]. 그림 1은 연도별 불시정지빈도를 그래프로 나타낸 것이다. 표 1과 그림 1에 나타나 있듯이 국내 원전의 연간 불시정지 횟수는 점차 낮아지고 있다.

표 1. 국내 원전 연도별 불시정지 횟수와 임계운전시간 (1/2)

연도	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
정지 횟수	18.000	13.000	9.000	7.000	4.000	22.000	18.000	37.000	28.000	32.000	16.000	19.000
임계시간(연)	0.423	0.765	0.784	0.696	0.788	1.591	2.212	2.497	4.013	5.615	5.428	6.365
임계시간(누적)	0.423	1.188	1.972	2.668	3.456	5.047	7.259	9.756	13.769	19.384	24.812	31.177
연간빈도(임계)	42.559	16.997	11.484	10.059	5.075	13.830	8.138	14.818	6.977	5.699	2.948	2.985
URS	34.004	13.581	9.176	8.037	4.055	11.050	6.503	11.840	5.575	4.554	2.355	2.385

표 1. 국내 원전 연도별 불시정지 횟수와 임계운전시간 (2/2)

연도	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
정지 횟수	22.000	32.000	15.000	18.000	10.000	11.000	13.000	19.000	8.000	18.000	13.000
임계시간(연)	7.263	7.859	7.519	7.923	7.787	8.494	9.416	9.991	10.761	11.739	14.155
임계시간(누적)	38.440	46.299	53.818	61.741	69.528	78.022	87.438	97.429	108.190	119.929	134.084
연간빈도(임계)	3.029	4.072	1.995	2.272	1.284	1.295	1.381	1.902	0.743	1.533	0.918
URS	2.420	3.253	1.594	1.815	1.026	1.035	1.103	1.519	0.594	1.225	0.734

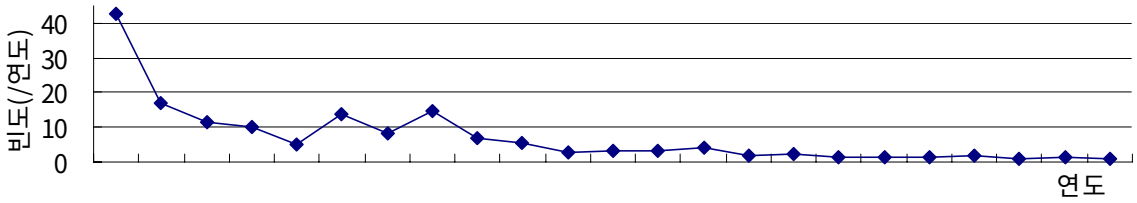

그림 1. 국내 원전 연간 불시정지빈도 추이

2.2 녹색/남색 경계치

본 절에서는 SECY 99-007에 따라 비계획정지 녹색/남색 경계치를 불시정지빈도 데이터 분석을 통해 설정하였다. 경계치 설정은 불시정지빈도 평균 값과 회귀분석 방법을 이용하였다.

가) 평균치 사용

2000년도까지의 모든 원전의 임계 운전시간 동안 발생한 불시정지사건 수를 고려한 평균 불시정지빈도는 2.99/reactor-year이다. (식1)를 이용하여 비계획정지 사건 수를 계산하면 2.389가 된다. 각 원전 부지(site)별로 불시정지빈도와 비계획정지 성능지표를 평가하면 표 2와 같다. SECY 99-007에서는 Green/White 경계치를 불시정지빈도에 대한 최근의 미국 산업계 평균(연간 3회미만)과 NRC의 AEOD 보고서(2.1/reactor-year)를 근거로 3으로 설정하였다[4]. SECY 99-007에서는 Green/White 경계치를 데이터 분석을 통해 설정한다고 했지만 비계획정지 성능지표는 공학적 판단을 통해 설정한 것으로 판단된다. SECY 99-007의 경계치 설정 방식대로 할 경우 국내 원전의 비계획정지 녹색/남색 경계치는 3이 적정한 것으로 판단된다.

표 2. 국내 원전 부지별 불시정지빈도와 비계획정지

원전부지*	K1	K2	K3	K4
평균 불시정지빈도	1.929	4.1	2.917	1.568
URS	1.54	3.28	2.33	1.253

*: 여기서의 부지이름은 저자가 편의상 부여한 이름임

나) 회귀분석

그림 1에 나타나 있듯이 불시정지 사건 수는 연도별로 감소하고 있다. 이러한 변동 데이터를 분석하는데 사용되는 방법에는 대표적으로 회귀분석 방법이 있다. 회귀분석은 현재 미국의 초기사건 추이 분석시 사용하고 있는데 대부분 선형대수모델(log linear model)을 사용하고 있다[6]. 본 연구에서도 선형대수 모델을 사용하여 표 1의 연도별 불시정지빈도에 대해 단순 회귀분석을 수행하였다. 선형대수 모델을 사용한 단순 회귀분석은 다음과 같다[7]:

$$\ln \lambda(t_i) = a + bt_i + \varepsilon_i \quad \text{.....(식2)}$$

여기서, $\lambda(t_i)$: 종속변수, 반응변수로 본 연구에서는 불시정지빈도

t_i : 독립변수, 설명변수로 본 연구에서는 임계운전시간

a, b: 미지의 모수

ε_i : 오차 또는 잔차

i: i 번째 관측

미지의 모수 a와 b를 추정하는 방법은 잔차를 최소화하는 최소자승법과 우도함수를 이용하는 최대우도법이 있다. 미지의 모수 a, b의 분포가 정규분포시 두 방법은 동일한 결과를 얻게된다[7]. $\lambda(t_i)$가 정규분포 NOR($a + bt_i$, δ^2)에 따르고, 오차 ε_i는 표준정규분포 NOR(0, δ^2)에 가정시, 최소자승법을 이용한 $\ln \lambda(t)$의 (1- α) 신뢰구간 추정치는 다음과 같다:

$$a+bt \pm [\, t_{(1-\alpha/2),\, n-2} Se(a+bt) \,] \quad \text{.....(식 3)}$$

여기서, $t_{(1-\alpha/2),\, n-2}$는 t분포의 자유도 n-2인 (1- α/2) 값,

α= 10일 경우, (1- α/2)는 95%

Se(a+ bt): a+bt의 표준오차

앞의 (식3)은 특정 시간 t에서 구해진 것으로 모든 시간 t에서 동시에 성립하는 것은

아니다. 모든 시간 t에서 동시에 성립하는 것을 고려하는 것은 구해진 신뢰구간 추정치의 통계적 변동성을 고려한 것이다. 모든 시간 t에서 동시에 성립한다고 가정시 ln $\lambda(t) = a+bt$에 대한 90% 쉐페(Scheffe) 신뢰구간 추정치는 다음과 같다[7]:

$$a+bt \pm [(2F_{(0.9)}(r,d))^{1/2} Se(a+bt)] \ldots\ldots\ldots\ldots (식4)$$

r: 미지 모수 수, d: 자유도(n-r)

표 1의 데이터를 회귀분석하여 얻은 결과는 다음과 같다:

- 2000년도 시점에서의 불시정지빈도 95퍼센타일 값: 1.395, 비계획정지: 1.114
- 90% 동시영역 가정시 불시정지빈도: 1.8673, 비계획정지: 1.492

따라서, 연도별 불시정지빈도를 사용한 경계치는 2가 적절한 것으로 판단된다.

한편, 불시정지빈도를 핵연료 재장전 주기 별로 정리하여 회귀분석 할 경우에는 다른 결과를 얻게 된다[8]. 표 3은 1999년까지의 불시정지빈도를 핵연료재장전 주기별로 정리한 데이터를 이용하여 분석한 결과이다. 국내 원전의 경우 미국과는 다르게 신규로 가동되는 원전이 많아 정지빈도 데이터의 변동성이 미국보다 클 것으로 판단된다. 주기별로 정지빈도 데이터를 정리하면 발전소의 운전 특성이 동일주기에 반영되어 데이터의 변동성이 작아질 것으로 판단된다. 표 3의 결과로 경계치를 설정할 경우에는 경계치는 3이 적정한 것으로 판단된다.

표 3. 주기별 불시정지빈도 분석 결과

	불시정지빈도	URS	예상 경계치
전체 임계시간대비 정지횟수	3.247	2.594	3
95 퍼센타일 값	2.18	1.6779	2
90% 동시영역	2.585	2.065	3

연도별 데이터와 주기별 데이터의 수집기간 차이가 1년 밖에 안되지만 회귀분석 결과가 이렇게 차이나는 주된 원인은 국내 원전의 경우 신규로 가동되는 원전이 많아 연도별로 수집된 정지빈도 데이터의 변동성이 주기별로 수집된 데이터 변동성보다 크기 때문인 것으로 판단된다. 또 다른 원인으로는 회귀분석 방법일 수 있다. 본 연구에서는 회귀분석 수행시 분산이 일정하다는 가정아래 회귀분석을 수행하지만 분산이 일정하지 않을 수 있다. 이 경우에는 분산이 다르다고 가정하여 가중 평균법 등을 사용하여 분석을 해야 한다[7]. 하지만 본 연구에서 회귀분석 수행시 얻은 회귀계수, (식2)에서의 a,b, 값에 대한 유의성 검정 결과는 회귀계수들 모두가 유의한 것으로 나타났기 때문에 회귀분석 방법에 대한 영향은 작은 것으로 판단된다.

다) 녹색/남색 경계치 설정과 타당성 검토

앞의 가)와 나)의 분석결과를 토대로 비계획정지 녹색/남색 경계치를 3으로 설정한다. SECY 99-007의 방법에 따르면 설정 경계치의 타당성은 설정된 경계치와 PSA 모델을 이용한 CDF 평가결과인 CDF 증가치가 1.0E-5/yr보다 작다는 것을 보여야 한다. 표준원전의 PSA 모델에 고려되어 있는 초기사건빈도의 합이 연간 4.01이고 비계획정지 사건수는 3이기에 CDF 증가치는 1.0E-5/yr보다 작게될 것이다.

2.3 PSA를 이용한 상위수준 경계치 설정

SECY 99-007에서는 PSA를 이용한 상위수준 경계치, 즉, White/Yellow, Yellow/Red의 경계치, 설정은 발생가능한 초기사건의 빈도를 증가시켜 수행하였다. 노심손상빈도 증가치를 ΔCDF라고 할 경우, ΔCDF는 다음과 같이 표시될 수 있다:

$\Delta CDF = \sum \Delta IE * CCDP_{IE}$.....(식5)

IE: 초기사건빈도,

$CCDP_{IE}$: 초기사건에 따른 조건부 노심손상확률

ΔCDF 값은 경계치마다 다르다. 미국의 경우, White/Yellow와 Yellow/Red의 경계치는 각각 1.0E-5/yr, 1.0E-4/yr이다[4].

(식5)는 결국 조건부 노심손상 확률은 일정하고 초기사건만이 증가한다고 보고 증가된 초기사건을 구해 경계치를 설정하는 것이다. SECY 99-007에서는 발생가능성이 적지만 위험도에 중요한 냉각재상실사고(LOCA), 증기발생기세관사고(SGTR), 소외전원상실사고(LOOP), 보조계통의 고장 초기사건 변동은 없다고 가정하였다.

표 4. 표준원전 초기사건 별 노심손상빈도

초기사건	빈도(/yr)	각 초기사건에 대한 CDF*	전체 CDF에 대한 초기사건 기여율(퍼센트)	각 초기사건에 대한 조건부 노심손상확률
ILL	1.70E-04	1.05E-06	12.7	6.18E-03
IML	1.70E-04	6.33E-07	7.7	3.72E-03
ISL	3.00E-03	1.86E-06	22.5	6.20E-04
ISGTR	4.50E-03	1.14E-06	13.8	2.53E-04
ILSSB	1.50E-03	1.46E-07	1.8	9.73E-05
ILOOP	6.15E-02	3.97E-07	4.8	6.46E-06
ISBO	1.11E-05	4.80E-07	5.8	4.32E-02
ILOFW	5.40E-01	1.14E-06	13.8	2.11E-06
ILOCV	2.36E-01	2.53E-08	0.3	1.07E-07
ITRSN	3.00E+00	3.59E-07	4.4	1.20E-07
IATWS	2.07E-05	3.15E-07	3.8	1.52E-02
ILOKV	1.75E-03	5.48E-10	<0.1	3.13E-07
ILODC	3.54E-03	3.17E-07	3.8	8.95E-05
ILOCCW	1.53E-01	1.25E-07	1.5	8.17E-07
IIL	1.20E-09	1.77E-09	<0.1	1.48E+00
IRVR	2.66E-07	2.66E-07	3.2	1.00E+00
합계	4.01	8.26E-6	100	

*: 점 추정치 기준

본 연구에서는 시범적으로 위에서 언급한 SECY 99-007의 방법을 표준원전에 적용하여 경계치를 설정하였다. 표 4에 표준원전의 초기사건 빈도와 그에 따른 노심손상빈도, 그리고 조건부 노심손상확률이 나타나 있다[9]. (식 5)를 이용하여 노심손상빈도 증가치에 대한 초기사건빈도 증가치를 구하고 기본 초기사건빈도를 고려하여 비계획정지 경계치를 구하였다. 전체 초기사건빈도 변화 모두를 고려시 1.0E-5/yr의 변화에 해당되는 전체 초기사건빈도 합은 8.85로, 1.0E-4/yr의 변화에 해당되는

초기사건빈도는 52.5로 나타났다. SECY 99-007과 같이 일부 초기사건 변화를 고려하지 않을 경우의 결과가 표 5에 비교되어 나타나 있다.

국내에는 여러 가지 노형의 원전이 있기 때문에 국내 원전 전체에 적용되는 경계치를 설정하기 위해서는 서로 다른 노형의 PSA 모델에 대한 민감도분석 수행 결과를 이용하여 경계치를 설정해야 한다. 최종적인 경계치는 통계적인 분석 결과나 위험도 평가 결과뿐만 아니라 각 경계치 사이의 값 차이와 성능지표 사용자의 성능지표 사용에 대한 철학과 의지가 반영되어 설정되어야 한다고 판단된다.

표 5에서 전체 초기사건빈도 변화 고려시의 결과를 토대로 국내 표준원전 계열의 원전에 적용할 수 있는 경계치를 다음과 같이 설정한다:

- 남색/노랑색 경계치: 6
- 노랑색/주황색 경계치: 30

표 5. 비계획정지 사건에 대한 경계치

경계치	불시정지 빈도와 URS	전체 초기사건빈도 변화	CDF 기여 5%이상, 초기사건빈도 5.0E-3/yr 미만 초기사건 (LOCA, SBO, SGTR)제외	LOCA, SGTR, LOOP, 보조계통 초기사건 제외
남색/노랑색	불시정지 빈도	8.85	16.9	20.5
	URS	7.07	13.5	16.38
노랑색/주황색	불시정지 빈도	52.5	133	169
	URS	41.95	106.27	135.03

3. 위험도기반 초기사건 성능지표

본 장에서는 RBPI에 대한 선도적인 연구결과인 NUREG-1753[1]를 토대로 표준원전의 초기사건 RBPI를 선정하고 선정된 초기사건에 대해 경계치를 설정하였다.

RBPI는 위험도 척도(risk measures)인 CDF나 대량초기누출빈도(large early release frequency: LERF)와 연관시켜 성능척도를 파악할 수 있는 성능지표이다. NUREG-1753에서는 RBPI 초기사건 성능지표를 조건부 노심손상확률(CCDP)이 1.0E-6이상이면서 CDF에 1%이상 기여하는 초기사건으로 선정하였다. 초기사건은 3가지 방식인 산업계 전체, PWR, BWR 그룹으로 나누어 분석하였다. 산업계 수준에서는 경향을 추적할 수 있지만 발전소 고유 수준에서의 경향 파악이 힘든 초기사건이다. NUREG-1753에서 파악된 초기사건은 General Transient, Loss of feedwater, Loss of heat sink이고 전출력 운전시 산업계 전체 추이를 파악하는 초기사건은 앞의 3가지 초기사건 이외에 LOOP, LOCA등을 선정하였다.

SECY 99-007이 전체 원전에 적용하는 통일적인 경계치를 사용하는 반면에 RBPI에서는 개별 발전소의 설계 특성을 반영한 경계치를 사용하고 있다. 기본적으로 위험도 평가 결과에 근거해 경계치를 다음과 같이 설정한다:

- Green/White 경계치: $\Delta CDF \geq 1.0E\text{-}6/yr$
- White/Yellow 경계치: $\Delta CDF \geq 1.0E\text{-}5/yr$
- Yellow/Red 경계치: $\Delta CDF \geq 1.0E\text{-}4/yr$

NUREG-1753 방법대로 표준원전 PSA 결과에서 조건부노심손상확률이 1.0E-6이상이면서 CDF 기여율이 1%이상인 초기사건을 초기사건 RBPI로 선정하였다. 선정된 초기사건의 RBPI가 표 4에 나타나 있다. 선정 초기사건 RBPI 중 데이터를 추적할 수 있는 초기사건과 국내 원전 산업계 전체 추이를 파악할 수 있는 초기사건으로 분류하였다.

표 4. 표준원전의 위험도기반 초기사건 성능지표 선정

초기사건	빈도(/yr)	전체 CDF 기여율(퍼센트)	각 초기사건에 대한 조건부 노심손상확률	RBPI 선정 여부	데이터 추적 가능성과 산업계 추세 확인
ILL	1.70E-04	12.7	6.18E-03	Yes	산업계
IML	1.70E-04	7.7	3.72E-03	Yes	산업계
ISL	3.00E-03	22.5	6.20E-04	Yes	산업계
ISGTR	4.50E-03	13.8	2.53E-04	Yes	산업계
ILSSB	1.50E-03	1.8	9.73E-05	Yes	산업계
ILOOP	6.15E-02	4.8	6.46E-06	Yes	산업계
ISBO	1.11E-05	5.8	4.32E-02	Yes	산업계
ILOFW	5.40E-01	13.8	2.11E-06	Yes	추적 가능
ILOCV	2.36E-01	0.3	1.07E-07	Yes	N/A
ITRSN	3.00E+00	4.4	1.20E-07	Yes	추적 가능
IATWS	2.07E-05	3.8	1.52E-02	Yes	산업계
ILOKV	1.75E-03	<0.1	3.13E-07	No	N/A
ILODC	3.54E-03	3.8	8.95E-05	Yes	산업계
ILOCCW	1.53E-01	1.5	8.17E-07	Yes	추적 가능
IIL	1.20E-09	<0.1	1.48E+00	No	N/A
IRVR	2.66E-07	3.2	1.00E+00	Yes	산업계

선정된 초기사건 RBPI 중 데이터가 추적 가능한 초기사건은 급수상실(ILOFW), 과도사건(ITRSN), 기기냉각수상실(ILOCCW) 상실사건이다. 선정된 초기사건 RBPI 중 급수상실과 과도사건에 대한 경계치를 구하였다. 2.3절의 (식2)를 이용하여, ΔCDF가 1.0E-6/yr, 1.0E-5/yr, 1.0E-4/yr로 변경시의 초기사건빈도 증가치를 구하였다. 표 5에 과도사건과 급수상실 초기사건에 대한 경계치가 나타나 있다. 표 5의 과도사건에 대한 노랑색/주황색 경계치 668은 비현실적인 값이다. 이러한 비현실적인 경계치 값이 얻어지는 것을 방지하는 방법이 참고문헌에 제시되었으나 본 연구에서는 수행하지 않았다.

표 5. 표준원전의 위험도기반 초기사건 성능지표 경계치

초기사건	녹색/ 남색 경계치	남색/ 노랑색 경계치	노랑색/ 주황색 경계치
과도사건	9.05	68.97	668.2
급수상실	0.807	4.18	38.27

4. 결론

본 논문에서는 국내의 초기사건 성능지표인 원자로 비계획정지 경계치를 국내 원전의 데이터와 PSA 모델을 이용하여 설정하였다. 또한 초기사건에 대한 RBPI 시범 연구도

수행하였다.

비계획정지 기본 경계치인 녹색/남색 경계치를 설정하기 위해 국내 불시정지 빈도 평균 값과 회귀분석을 수행하였다. 표준원전 PSA 모델을 사용하여 노심손상빈도 증가치에 따른 초기사건빈도 증가치를 구하고 남색/노랑색 경계치와 노랑색/주황색 경계치 설정을 하였다. 비계획정지사건의 녹색/남색 경계치는 3, 남색/노랑색은 6, 노랑색/주황색은 30으로 설정하였다. 표준원전 PSA 모델을 사용하여 위험도기반 초기사건 성능지표를 선정하고 선정된 초기사건 성능지표에 대해 경계치를 설정하였다. 선정된 위험도기반 초기사건 성능지표는 급수상실, 과도사건, 기기냉각수상실 사건으로 나타났다.

본 연구에서 설정한 비계획정지사건 경계치는 표준원전 PSA 모델만을 사용했기 때문에 표준원전 계열의 원전들에만 적용되는 한계점이 있다. 국내 모든 원전에 적용 가능한 경계치를 설정하기 위해서는 국내의 서로 다른 노형의 원전 PSA 모델을 이용한 추가 연구가 필요하다. 또한 의미있는 RBPI 경계치 설정 방안에 대한 연구도 수행될 필요성이 있다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발 사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. NUREG-1753, Risk-Based Performance Indicators: Results of Phase I Development, NRC, 2002
2. Risk-based Safety Performance Indicators for Nuclear Power Plants, SMIRT17, 2003
3. KINS-AR/802 국내 원전 성능지표 분석, KINS, 2002
4. SECY-99-007, Recommendations For Reactor Oversight Process Improvements", SECY-99-007, Jan. 8, 1999
5. 박진희 외, KAERI-TR/2131-2002 국내 원자력발전소의 정지사건 데이터베이스 시스템의 구축에 관한 연구
6. FY 2002 Results Of The Industry Trends Program For Operating Power Reactors and Status Of Ongoing Development
7. 강근석, 김충락, 회귀분석, 교우사, 2001
8. 강대일 외, 국내 원자력발전소의 비계획정지 성능지표연구, 춘계산업안전학회, 2003
9. Ulchin Units 3&4 Final Probabilistic Safety Assessment, Korea Hydro and Nuclear Power Company, 1995