

국내 원자력발전소 불시정지 이력에 근거한 PSA 초기사건 빈도 분석

Analysis of Initiating Event Frequencies for PSA Based on the Unexpected Reactor Trip Events in KOREA

이 윤 환* · 정 원 대*

Yoon-Hwan Lee · Won-Dea Jung

(1998년 11월 6일 접수, 1998년 12월 23일 채택)

ABSTRACT

PSA(Probabilistic Safety Assessment) methodology is widely used on assessing the safety of Nuclear Power Plants(NPPs) quantitatively in the domestic nuclear field. Initiating event frequencies are absolutely needed to conduct PSA, and they considerably affect PSA results. There is no domestic database where domestic trip event cases are reflected, so they are used to assess the safety of NPPs that are from the foreign database. In this paper, operating experience data from the Korean NPPs was collected and analyzed for the trip event cases, which are necessary to determine the initiating events and their frequencies. Korean NPPs have experienced five of 16 initiating events, which are LOFW, LOCV, LOCCW, LOOP and GTRN as a result of analyzing the trip event cases. Initiating frequencies based on the domestic trip event cases are analyzed, and they are similar to that from the foreign database.

1. 서 론

원자력발전소(이하 원전)는 안전이 특별히 강조되는 설비로서 다양하고 중복적인 안전설비와 운전체계를 갖추고 있다. 이런 설계 및 운전개념으로 인하여 조그마한 이상 징후에도 보수적 관점에서 원자로를 정지시키게 된다. 따라서 원

자로의 정지는 원전의 안전조치 중 가장 기본적인 반응 결과라 할 수 있다.

원자력발전소의 안전성을 정량적이고도 종합적으로 평가할 수 있는 한 방안으로 그 중요성이 크게 부각되고 있는 확률론적 안전성평가(Probabilistic Safety Assessment:PSA) 방법은 일반적으로 사고 특성, 사고 범위 및 해석 방법에

* 한국원자력연구소

따라 노심손상 사고경위 분석(1단계 PSA), 격납 건물 및 방사선원 분석(2단계 PSA), 그리고 대기 중으로 방출된 방사성 물질의 환경영향 및 사고결과 분석(3단계 PSA) 등의 뚜렷하고도 밀접한 세가지 단계로 구성된다¹⁾. 1단계 PSA 과정 중 하나로서 노심 손상을 초래하는 모든 중요 사고 시나리오를 파악하고 그 발생빈도를 추정하는 단계가 있다. 이를 위해서는 원자로 정지를 유발하는 초기사건과 그 발생빈도를 알아야 하는데, 이제까지는 국내 설계 중인 원전의 PSA를 위해서 주로 ALWR URD²⁾, NUREG³⁾ 자료 등 국외 데이터베이스를 사용하였다. 그러나 초기사건빈도가 안전성평가 결과에 미치는 영향이 매우 크기 때문에 국내 원전의 고장이력을 사용한 분석이 시급한 형편이었다⁴⁾.

본 논문에서는 1978년 4월부터 상업운전을 개시한 국내 최초의 원자력발전소인 고리 원자력 1호기를 포함하여 97년말까지 가동 중인 12기의 원전에서 발생한 총 발전정지 자료를 수집하였으며, 이 중 가압중수로형인 월성1,2호기는 초기사건 분석에서 제외하였다. 총 319건의 발전소 정지이력 중 정지 원인 및 관련 계통, 조치 내용 등의 분석을 통하여 5개의 초기사건으로 분류하였다.

2. 국내 원전의 발전정지 현황

1978년 4월 국내 최초의 원전인 고리1호기가 상업운전을 개시한 이래 21년째인 1998년 현재 울진3호기 및 월성 2호기를 포함하여 총 13기의 원전이 상업운전 중에 있으며, 가압중수로형 11기 및 가압중수로형 2기로 구성되어 있다. 1997년 말까지 가압중수로형 10호기의 운전이력을 보면, 405건의 발전정지가 있었으며 이를 유형별로 보면 정기 계획예방정비를 위한 정지가 77건, 운전 중 발생한 기기 등의 결함을 정비하기 위한 계획간이정비가 35건, 급전계획정지 1건, 그리고 운전 중 발생한 불시 정지가 292건이었다⁵⁾. 여기서 계획예방정비를 위한 정지는 원전의 연차 예방정비, 정기검사 및 핵연료 장전을 위해 연초에 계획하여 원자로를 정지한 것을 말한다. 불시정지는 다시 자동정지와 수동정

지로 나눌 수 있다. 자동정지는 운전 중 발전설비 및 원자로 설비의 자체 고장이나 오조작 등으로 인해 원자로보호계통 및 정지계통이 자동으로 동작하여 정지한 경우이며, 수동정지는 발전설비 및 원자로설비를 보호하기 위해 또는 원자로 안전성을 확보하기 위해 절차서에 따라 원자로를 정지한 경우이다.

정기 계획예방정비를 위한 원자로 정지를 제외한 연도별 발전정지 건수는 Table 1에 나타난 바와 같다. 연도별로 불시 발전정지 건수와 평균 불시 발전정지 건수를 정리하였으며, 연평균 정지횟수는 실제 발전소가 운전된 시간만을 고려한 값이다. 전체적으로 감소 추세에 있으며, 다른 나라의 평균 불시 발전정지 건수가 년 3회 정도임을 감안할 때 90년대 이후 국내 원전의 정지 건수는 상대적으로 적음을 알 수 있다. 이는 원전의 기술 축적과 계획예방정비시 철저한 품질관리 활동 및 지속적인 설비 개선으로서 기기 및 설비의 신뢰도를 향상시킴으로서 기기 고장 횟수를 감소시켰으며, 운전원에 대한 교육을 통하여 인적 요인으로 인한 발전 정지를 감소시킨 것에 기인한 것으로 판단된다. 불시정지는 상업운전 초기에 상대적으로 많이 발생한 것으로 나타났는데, 이는 상업운전 초기에는 설비의 불완전 상태 및 새로운 설비에 대한 미숙한 운영 등 경험 부족으로 인해 원자로 정지가 많이 발생한 것이다. 1978년 4월 국내 최초의 원전인 고리1호기가 상업운전을 개시하였으며, 국내 최초의 원자력발전소의 가동인 만큼 운전 경험 부족, 기기 고장 등으로 인해 상당히 많은 원자로 불시정지가 발생하였다. Fig. 1에서 알 수 있듯이 1985년 평균 원자로 정지 횟수가 예년에 비해 크게 증가된 것은 고리2호기의 원자로 정지 횟수가 크게 증가한 것에 기인한다. 1985년 고리2호기의 경우 원자로 정지가 15회 발생되었으며, 이 중 대부분이 불시정지로 나타났다. 원자로 정지 횟수가 예년에 비해 상당히 증가된 이유는 발전소 출력 운전 중에 원자로 출력영역 중성자속 고감소율 신호에 의해 원자로가 자동정지 되었기 때문이며, 발생횟수는 11회에 달한다. 실제로 중성자속 고감소율 신호는 제어봉의 일부가 낙하됨에 따라 발생하는 것으로

Table 1 Number of unexpected reactor trips of PWR

호 기	연 도 별																	계			
	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94		95	96	97
고리 1	19	12	8	7	4	9	7	9	4	3	1	3	2	11	5	1	2	1	0	0	108
고리 2						5	5	15	4	5	0	4	0	1	1	2	1	3	0	0	47
고리 3								6	9	6	1	1	3	3	0	3	0	1	1	0	34
고리 4									5	7	3	2	4	2	4	3	2	0	0	0	32
영광 1									8	6	3	1	2	1	1	0	1	1	1	1	26
영광 2										3	2	4	3	2	3	3	0	1	1	2	24
영광 3																		3	1	1	5
영광 4																			4	3	7
울진 1											2	0	3	6	1	1	0	1	2	4	20
울진 2												2	4	1	0	1	1	1	1	5	16
합 계	19	12	8	7	4	14	12	30	30	30	12	17	21	27	15	14	7	12	11	16	319
운전년수	0.5	0.8	0.9	0.7	0.8	1.3	1.6	1.9	3.5	4.8	4.8	6.0	6.7	7.0	6.8	6.9	7.0	7.8	8.8	8.1	86.7
평균	39	14.7	8.7	9.6	5.0	10.9	7.4	15.9	8.6	6.2	2.5	2.8	3.1	3.9	2.2	2.0	1.0	1.5	1.3	2.0	3.7

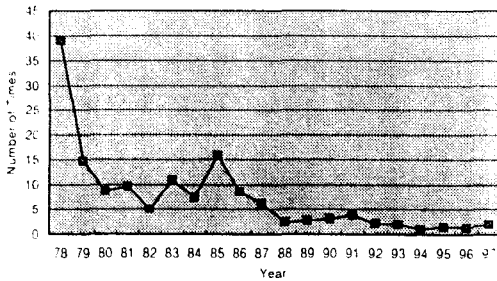


Fig. 1 Average unexpected reactor trip of PWR by year

확인되었으며, 낙하된 제어봉의 갯수 및 위치는 불규칙한 것으로 나타났다. 다행히 원자로보호 계통은 정상 기능이 유지되어 원자로가 안전 정지되고 있는 점으로 보아 출력운전 중 위와 같은 현상이 재발하더라도 발전소 안전 정지에는 지장이 없는 것으로 판단된다. 1991년 울진1호기의 경우 울진1호기의 평균 정지 횟수 2.0보다 3배에 해당하는 6회가 발생하였으며, 이는 주로 기기 보수를 위한 수동정지가 대부분이었다. 고리1호기의 경우에는 10회의 원자로 정지가 발생하였는데, 대부분이 기기고장이었고 이차측 계통, 특히 전기 및 제어계통의 문제가 주류를 이루었다. 1992년에는 원자로 정지가 6회로 감소되어 전년도와 비교할 때 크게 향상되었으며, 전기 및 제어계통의 문제가 많이 감소된 것으로

나타났다. 1997년에는 총 16회의 원자로 정지가 발생되었으며, 이는 예년에 비하여 증가된 수치이다. 1997년 원자로 정지율의 증가는 동해안 새우떼의 취수구 유입 및 강풍을 동반한 폭설 등으로 인한 원자로 정지가 울진 원전에서만 7회 발생하였으며, 가동 초기 연도에 해당하는 영광 4호기의 3회 정지 등이 큰 영향을 미친 것으로 분석된다.

3. 초기사건 분석

초기사건이란 정상 운전 중인 발전소의 불시적인 원자로 정지를 초래하는 기기 혹은 계통의 이상이나 인간행위를 의미한다. 따라서 초기사건이 발생하면 원자로의 보호 및 사고 방지를 위하여 안전기능을 수행하는 계통이 작동하여 원자로를 정지시키고, 노심잔열을 제거하여 원자로를 안전하게 유지한다. 여기서 안전기능이란 초기사건이 발생하였을 때, 노심 손상에 이르기 전에 비정상 상황을 종료시키거나 보호기능의 상실이 동반될 때 사고의 영향을 완화하기 위한 기능을 말한다⁶⁾.

초기사건에는 내부적 요인에 의한 것과 지진, 홍수 등과 같은 외부적 요인에 의한 것이 있으나, 본 연구에서는 내부적 요인에 의한 초기사

건만을 대상으로 하였다. 내부적 요인에 의해 발전소의 불시적인 원자로 정지를 초래하는 초기사건은 기본적으로 원자로냉각재상실과 과도사건으로 구분할 수 있다. 원자로 냉각재 상실 사고는 원자로 냉각재 계통의 냉각수 상실을 초래하는 일차 계통의 파손이나 파단사고로서, 파손 부위의 크기나 위치 혹은 방사성 물질의 격납건물 밖으로의 누출 가능성에 따라서 원자로 냉각재 상실사고는 다시 몇 가지 세분화된 초기사건으로 구분된다. 과도사건은 원자로 냉각재 상실사고가 아니면서 원자로 정지를 초래하고 노심의 건전성을 유지하기 위해 관련 안전계통의 작동을 필요로 하는 사건으로서, 이차측 혹은 보조계통의 사용여부에 따라 몇 개의 보다 세분화된 초기사건으로 구분된다⁷⁾.

세부적인 초기사건은 다음과 같은 세 단계의 수행 절차에 따라 결정되었다. 첫째, 발전소의 안전 기능을 저해할 수 있는 사고 유형들을 논리적으로 추적하기 위해 주논리도를 개발하였다. 둘째 단계에서는 주논리도를 통해 개념적인 내부 초기사건의 범주를 결정하고, 이들 일반 범주 각각에 대해서 가능한 모든 초기사건을 도출하여 총 58개의 초기사건 유발인자 목록을 개발하였다. 초기사건 유발인자 목록 작성에는 국내 및 국외 원전의 PSA 보고서, 안전성분석 보고서 등을 기초 자료로 사용되었다. 마지막 단계에서는 초기사건 유발인자 목록 중 해당 발전소의 설계 특성에 비추어 분석 대상에서 제외될 수 있는 유발인자는 제외하고, 나머지 초기사건 유발인자에 대하여 발전소의 거동과 원자로를 안전하게 정지시키기 위해 필요한 안전계통의 기능적 대응에 근거하여 유사한 패턴을 보이는 초기사건을 그룹화하였다.

예를 들어 복수기 진공상실이라는 초기사건이 결정되기 까지의 과정을 살펴 보면 다음과 같다. 주논리도를 통해 일차계통 냉각재상실, 증기발생기 세관 파단, 냉각재계통 유량상실, 주급수 유량상실, 터빈 정지 등 개념적인 내부 초기사건의 범주를 결정하였다. 상기 초기사건의 범주 중 터빈정지를 일으킬 수 있는 유발인자에는 복수기 진공상실, 복수기 누설, 순환수 상실, 터빈조절밸브 및 정지밸브 고장, 터빈 및 발전기

정지 등이 있다. 이 중 복수기 진공상실, 복수기 누설, 순환수 상실 등의 초기사건 유발인자는 모두 복수기 진공상실을 유발하므로 복수기 진공상실이라는 최종 초기사건으로, 나머지 초기사건 유발인자인 터빈조절밸브 및 정지밸브 고장, 터빈 및 발전기 정지 등은 모두 터빈 정지를 유발하므로 일반 과도사건으로 결정하였다. 이와 같은 과정을 통해 국내 설계 중인 원전 PSA를 위해서 Table 2와 같이 총 16개의 초기사건이 선정되었다⁴⁾.

Table 2 List of initiating events

분류	초기사건 목록
원자로 냉각재 상실 (LOCA)	대형냉각재상실 (Large LOCA)
	중형냉각재상실 (Medium LOCA)
	소형냉각재상실 (Small LOCA)
	원자로용기 파손 (Reactor Vessel Rupture)
	증기발생기 세관 파단 (Steam Generator Tube Rupture)
과도사건 (Transient)	저압경계부 냉각재상실 (Interfacing System LOCA)
	대형이차측 파단 (Large Secondary Side Break)
	주급수상실 (Loss of Main Feedwater)
	복수기 진공상실 (Loss of Condenser Vacuum)
	기기냉각수상실 (Loss of Component Cooling water)
	4.16KV 교류모선상실 (Loss of 4.16KV AC Bus)
	125V 직류모선상실 (Loss of 125V DC Bus)
	소외전원상실 (Loss of Offsite Power)
	발전소정전 (Station Blackout)
	일반과도사건 (General Transient)
정지불능 과도사건 (Anticipated Transient Without Scram)	

4. 국내 원전의 정지이력에 근거한 초기사건 빈도

4.1 초기사건 분류

총 319건의 발전소 정지이력 중 정지 원인 및 관련 계통, 조치 내용 등의 분석을 통하여 초기사건을 분류하였다. 319건의 정지이력에는 계획 예방정지를 제외한 자동 및 수동 원자로 정지 등 모든 원자로 정지이력이 포함된다. 여기에는 원자로의 전출력 운전시 발생한 원자로 정지만이 해당하며, 원자로 저출력 운전시 발생한 원자로 정지는 전출력 PSA에 해당되지 않으므로

제외하였다. 여기서 자동 및 수동 원자로 정지는 계획된 것이 아닌 불시정지라 할 수 있으며, 이는 기기 혹은 계통의 이상이나 인간행위 등으로 인해 정상 운전 중인 발전소가 불시에 정지되는 것을 말한다. 불시정지란 계통이나 기기 이상시 원자로의 보호 및 방사능 누출과 같은 큰 사고를 미연에 방지하기 위한 기본적 안전조치이다.

앞에서 언급한 것처럼 58개의 초기사건 유발 인자가 정의되어 있다. 즉 모든 원자로 정지사건은 이 58개 유형 중 하나로 분류할 수 있으며, 이는 최종적으로 16개 초기사건의 하나로 정의된다. 총 319개 불시정지이력을 분석한 결과, PSA를 위해 정의된 16개의 초기사건 중 국내에서는 주급수상실, 복수기진공상실, 기기냉각수상실, 소외전원상실, 일반과도사건 등 5개 초기사건이 발생하였다. 나머지 11개 초기사건은 국외 데이터베이스에 나타난 바와 같이 그 발생빈도가 매우 작아 원전의 운전이력이 약 90년 밖에 안되는 국내의 원전에서는 발생한 적이 없는 사고에 해당한다. ALWR URD에서 조사된 운전이력이 660년인 경우에도 대형 및 중형 냉각재 상실사고는 발생한 적이 없을 정도로 매우 발생빈도가 작다. 따라서 사고경위 정량화에 상당한 영향을 미치는 상기 5개의 초기사건을 국내 원전의 정지이력에 근거하여 발생빈도를 산출하여 얻음으로서, 보다 의미있는 PSA 결과를 기대할 수 있다. 참고로 이제까지 국내 설계 중인 원전의 PSA를 위해서 주로 ALWR URD²⁾, NUREG³⁾ 자료 등 국외 데이터베이스를 사용하였다.

4.2 초기사건 빈도

초기사건빈도를 산출하기 위해서는 운전시간이 필요하다. 1997년말까지 운전되고 있는 총 12호기의 원자력발전소 중 가압중수로형 월성 1,2호기를 제외한 총 10호기 가압중수로형 원전의 운전이력을 조사한 결과, 계획예방 정지시간을 제외한 총 10호기의 실제 운전시간은 31,650 시간으로 총 운전년수(reactor year)는 86.7년에 달한다. 1998년 현재 가동 중인 울진3호기 및 본 분석에서 제외한 가압중수로를 포함하면 거

의 90년에 달할 것이다.

Fig. 3에 나타난 바와 같이 5개 초기사건의 발생 비율은 일반과도사건이 약 87%로 대부분을 차지하고 있으며, 그 다음이 주급수상실, 복수기 진공상실, 소외전원상실 그리고 기기냉각수상실의 순이다. 발전소 정지횟수 총 319회 중 279회가 일반과도사건으로 1년에 약 3.2회 정도 발생하는 것으로 나타났다. 일반 과도사건이란 급수계통의 기능에 심각한 영향을 주지 않으면서, 원자로 정지를 유발시키는 사건을 의미한다. 이 사건의 대표적인 예는 소내부하 운전이 실패하여 원자로 정지를 야기시키는 터빈 트립을 들 수 있다. 본 논문 결과에서도 마찬가지로 279회 발생한 일반과도사건 중에도 터빈 트립으로 인한 원자로 정지 건수가 상당한 부분을 차지하고 있다. 본 분석에서 주급수상실이라 함은 증기발생기로 공급되는 모든 주급수 공급이 상실됨을 의미하며, 이는 급수 펌프의 고장, 급수제어밸브 및 급수격리밸브를 포함한 급수배관의 밸브의 단힘으로 발생한다. 주급수상실로 인한 원자로 정지는 총 18회이었으며, 그 중 모든 급수펌프의 정지로 인한 주급수상실은 6건, 급수배관 밸브의 단힘으로 인한 주급수상실은 9건 등으로 분석되었다. 복수기 진공상실로 인한 원자로 정지는 총 16회이었으며, 그 중 13건이 복수기 저진공으로 인한 원자로 정지로 밝혀졌다. 물론 각 발전소별로 발전소 설계상의 차이점 등이 있을 수 있겠으나, Table 3의 호기별 초기사건 발생 이력을 보면 복수기 진공상실로 인한 원자로 정지는 동해안에 위치한 고리 및 울진 발전소에서 집중적으로 발생한 것으로 나타났다. 이는 새우떼 등의 취수구 유입이 순환수계통의 이용 불능을 초래하였으며, 그 결과로 인해 복수기 저진공이 발생하여 원자로가 정지된 것으로 밝혀졌다. 소외전원상실로 인한 원자로 정지는 총 4회이었으며, 이 역시 동해안에 위치한 고리 및 울진 발전소에서 발생한 것으로, 태풍과 폭설 등 기상과 악천후에 기인해 발생한 것이었다. Fig. 2에 나타난 바와 같이 복수기 진공상실과 소외전원상실 두 가지 초기사건의 경우 동해안에 위치한 발전소에서 발생한 것을 알 수 있다. 국내 원전의 불시정지이력에 근거한 각 초기사

Table 3 Number of times of initiating events on each NPP in KOREA

구분 호기	주급수 상실	복수기 진공상실	기기냉각수 상실	소외전원 상실	일반 과도사건	계	원자로 운전년수	연평균 정지횟수
고리 1	5	3	0	2	98	108	15.9	6.8
고리 2	2	4	0	0	41	47	12.6	3.7
고리 3	2	1	1	1	29	34	10.3	3.3
고리 4	2	2	1	0	27	32	9.9	3.2
고리 부지	11	10	2	3	195	221	48.7	4.5
영광 1	1	0	0	0	25	26	9.8	2.7
영광 2	3	0	0	0	21	24	9.0	2.7
영광 3	1	0	0	0	4	5	2.3	2.2
영광 4	1	0	0	0	6	7	1.6	4.4
영광 부지	6	0	0	0	56	62	22.7	2.7
울진 1	0	3	0	0	17	20	8.1	2.5
울진 2	1	3	0	1	11	16	7.2	2.2
울진 부지	1	6	0	1	28	36	15.3	2.4
총계	18	16	2	4	279	319	86.7	3.7

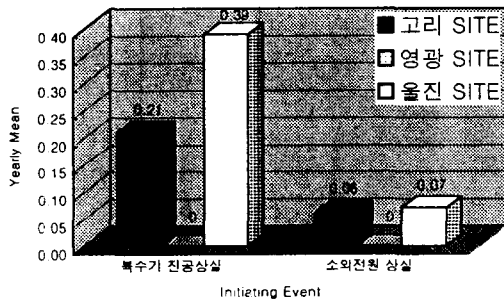


Fig. 2 Yearly mean of initiating event by site

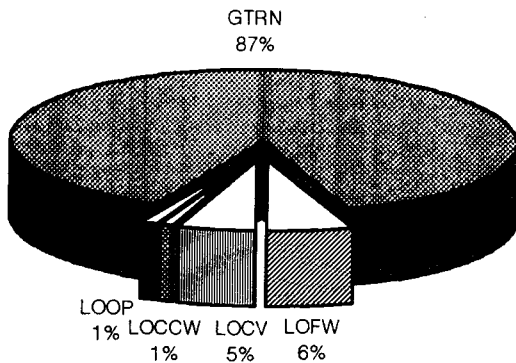


Fig. 3 Distribution ratio of initiating event (%)

건 빈도는 초기사건 발생 횟수를 원자로 운전년

수로 나눔으로서 얻었으며, 그 결과는 Table 3에 정리하였다.

Table 4 Initiating event frequencies based on the domestic trip event cases

초기사건	발생 횟수	발생빈도(/yr)	발생횟수(%)
주급수상실	18	2.08E-01	5.6
복수기 진공상실	16	1.85E-01	5.0
기기냉각수상실	2	2.31E-02	0.6
소외전원상실	4	4.61E-02	1.3
일반과도사건	279	3.22E+00	87.5

Table 5 Comparison of initiating event frequencies

초기사건	국내 자료(빈도)	국외 자료(빈도)
주급수상실	2.08E-01	5.40E-01
복수기 진공상실	1.85E-01	2.36E-01
기기냉각수상실	2.31E-02	1.60E-01
소외전원상실	4.61E-02	6.20E-02
일반과도사건	3.22E+00	3.00E+00

4.3 기존 초기사건 빈도와 비교 평가

Table 5에 국내 발전정지 이력에 근거하여 분석된 5개의 초기사건 빈도와 국내 설계 중 원전의 PSA 수행시 사용한 초기사건 빈도를 비교

정리하였다. Table 5와 Fig. 4에 나타난 바와 같이 4개의 초기사건 빈도가 두 경우 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 기기냉각수 상실사고의 경우에만 약 10배 정도의 차이를 보이고 있으나, 기기냉각수상실로 인한 원자로 정지는 단 2건 밖에 안되므로 두 경우 중 어떠한 값이 타당하다고 결정하기에는 많은 불확실성을 갖고 있다. 일반과도사건의 경우 국내 발전정지 이력에 근거하여 분석된 값은 연당 3.2회로 국외의 데이터베이스로부터 얻은 연당 3.0회 보다 약간 높은 수치를 나타내었다. 국내 발전소 평균 운전시간이 8.7년 밖에 안되며, 국내의 발전소 가동 초기에 많은 과도사건이 발생하였으므로, 앞으로 발전소의 운전 경험 및 기기 신뢰도의 향상 등이 이루어지면 지금보다 훨씬 좋아진 결과를 얻을 수 있으리라 판단된다. 복수기 진공상실의 경우 가장 주요한 발생 원인은 새우땀 등의 취수구 유입으로 인해 복수기 저진공이 발생하여 원자로가 정지되는 것이므로 앞으로 이 점을 해결하면 복수기 진공상실로 인한 원자로 정지 횟수는 크게 감소할 것이다. 86.7년의 원전 운전년수 동안 발생한 원자로 정지건수 총 319건을 분석한 결과는 전반적으로 국외 데이터베이스의 초기사건 빈도와 매우 유사하였다. 앞으로 국내 원전의 운전시간 및 경험이 늘어나면 보다 더 의미 있는 결과를 얻을 수 있으리라 판단되며, PSA 수행시 국내의 발전정지이력이 고려된 초기사건 빈도를 사용하여 보다 의미있고 신뢰성 있는 PSA 결과를 얻을 수 있으리라 사료된다.

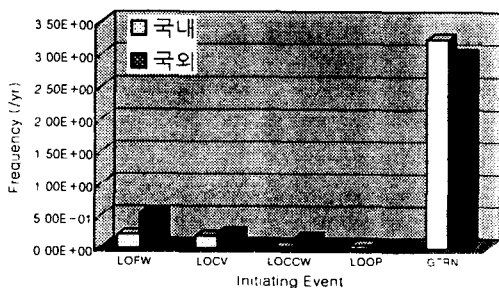


Fig. 4 Comparison of initiating event

본 논문의 결과를 보면 알 수 있듯이 국내 원

전에서는 운전년수 86.7년 동안 5개 초기사건은 경험한 것으로 나타났으나, 대형냉각재 상실사고, 중형냉각재 상실사고, 소형냉각재 상실사고, 증기발생기 세관파단, 대형 이차측 파단, 발전소 정전 등 나머지 11개 초기사건은 경험하지 못한 것으로 나타났다. 이는 원전의 운전년수가 약 90년 정도로 국외 자료의 운전년수보다 매우 짧고, 국외 자료에 나타난 바와 같이 11개 초기사건의 발생빈도가 매우 작은 것에 기인한다. 따라서 11개 초기사건 빈도는 국외의 가압경수로형 원자로의 사고 자료를 근거로 Bayesian 분석 방법⁸⁾을 사용하여 빈도값을 구하면 국내 원전의 PSA 수행시 그 값을 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 논문에서는 1997년 말까지 국내에서 가동 중인 10기의 가압경수로형 원전에서 발생된 불시정지 현황과 관련 초기사건을 분석하고 초기사건빈도를 산출하였다. 이제까지는 국내 설계 중인 원전의 PSA를 위해서 국외 데이터베이스를 사용하였으나, 초기사건 빈도가 안전성평가 결과에 미치는 영향이 매우 크기 때문에 국내 원전의 운전 자료를 사용한 초기사건 빈도 분석을 수행하였다.

총 86.7 원자로 운전년수 동안 319개 불시정지가 있었으며, 이에 대한 초기사건 분석 결과 총 16개의 초기사건 유형 중 5개 초기사건의 발생 경험이 있었다. 5개 초기사건은 주급수상실, 복수기 진공상실, 기기냉각수상실, 소외전원상실 및 일반과도사건이며, 발생빈도는 국외 데이터베이스의 초기사건 빈도와 유사한 것으로 평가되었다. 그러나 국내 발전소 평균 운전시간이 8.7년 밖에 안되며, 국내의 발전소 가동 초기에 많은 원자로 정지가 발생하였으므로, 앞으로 발전소의 운전 경험 및 기기 신뢰도의 향상 등이 이루어지면 지금보다 훨씬 좋아진 결과를 얻을 수 있으리라 판단된다.

앞으로 원전의 운전경험이 늘어나면서 국내 운전이력에 근거한 초기사건 빈도는 보다 더 의미 있는 결과를 얻을 수 있을 것이며, 원인 분석

과 경향 분석 등 다양한 운전 자료 분석이 가능할 것이다. 또한 PSA 수행시 국내의 발전정지 이력이 고려된 초기사건 빈도를 사용하여 보다 의미있고 신뢰성 있는 PSA 결과를 얻을 수 있으리라 사료된다.

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발 사업의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 1) 안광일, 진영호, 김동하, 박창규, "격납건물 사건수목 분석 방법론에 대한 고찰", 한국원자력학회지, Vol. 26, No. 4, 1994.
- 2) Advanced Light Water Reactor Requirement Document Vol. II: Utility Requirements for Evaluatory Plants Appendix A to Chapter 1; PRA Key Assumption and Ground Rules, Rev.0, EPRI, February 1990.
- 3) Development of Transient Initiating Event Frequencies for Use in Probabilistic Safety Assessment, NUREG/CR-3862, May, 1985.
- 4) Final Probabilistic Safety Assessment Report for Ulchin Units 3 and 4, KEPCO, 1998.
- 5) 원자력 발전년보, 한국전력공사, 1997.
- 6) 조남진, 정우식, "원자력발전소의 안전성 목표와 확률론적 안전 기준", 한국원자력학회지, Vol. 23, No. 2, 1991.
- 7) Procedures for Conducting Probabilistic Safety Assessment of NPPs (Level 1), IAEA, 1992.
- 8) T. Kim and C.K. Park, MPRDP User's Manual, KAERI, 1992.