

최근 5년간 국내원전 운전경험보고서 분석

이상훈[†] · 김제현* · 허남용*

An Analysis of Operating Experience Reports Published in the Domestic Nuclear Power Plants for Resent 5 Years

Sang-Hoon Lee[†], Je-Hun Kim* and Nam-Young Hur*

(Received 29 July 2013, Revised 11 August 2013, Accepted 20 August 2013)

ABSTRACT

The Operating Experience Report(OER) has written about the event and accident happened at a Nuclear Power Plant(NPP). The purpose of publishing the OER is to prevent the similar event or accident repeatedly by spreading the experience of a single plant to other plants personnel. Before initiating the analysis mentioned in this paper, 2,298 review reports for the same number of OER published from 2007 to June 2012 have been written to achieve the correct and objective statistics. The analysis introduced in this paper is performed with the various factors such as year, plant type, equipment, type of work, root-cause. The root-cause analysis is showed that the equipment problem is the major factor in domestic NPPs, but on the other hand human-error is the main part of the foreign NPPs. Moreover, while the number of the man-made event is decreasing, the equipment-made event is rapidly increasing in domestic NPPs.

Key Words : Operating Experience Report(OER)(운전경험보고서), Nuclear Power Plant(NPP)(원자력발전소), Root-cause(근본원인), Domestic NPPs(국내원전), Foreign NPPs(해외원전), Human-error(인적오류), The event and accident(사건, 사고)

1. 서론

도로·교통 분야는 발생한 사건/사고에 대한 주기적인 분석을 통하여 발생장소, 시간, 인적 정보, 도로, 신호 여건 등 다양한 인자별로 분류하는 작업을 수행하고 있다. 이런 분석 결과는 유사 사고 재발방지를 위한 사고다발구역 안내표지판 설치, 신호체계 및 도로 곡률 개선 등의 피드백 자료로 활용된다.

원자력발전소도 주요 사건, 사고에 대해서는 운전경험보고서를 작성하여 관리하고 있다. 단일원전에서 작

성된 운전경험보고서는 전원전의 관련종사자에게 전파되어 유사 사건·사고의 예방에 총력을 기울이고 있다.

국내 원자력발전소는 연평균 400건 이상의 운전경험보고서가 작성되고 있으며, 이번 논문은 국내원전에서 '07년부터 '12년 6월말까지 약 5.5년간 작성, 발행된 2,298건에 대한 분석결과를 서술하였다.

운전경험보고서를 연도, 발전소, 설비, 작업, 계통, 고장요소, 근본원인 등 다양한 인자별로 분류/분석하여 국내원전의 사건, 사고를 저감하고자 하는 의도로 작성하였다.

본격적인 분석에 앞서, 정확하고 객관적인 품질확보를 위하여 국내원전의 국내운전경험보고서 2,298건을 요약·정리한 검토보고서 2,298건을 작성하였으며, 본 보고서는 검토보고서를 토대로 작성되었다.

[†] 이상훈, 회원, 한국수력원자력(주) 중앙연구원
E-mail : lee@khnp.co.kr
TEL : (042)870-5863 FAX : (042)870-5649

* 한국수력원자력(주) 중앙연구원

2. 국내 운전경험보고서 발행 현황 및 분석

2.1 국내 운전경험 보고서 발행 현황

'11년에 작성, 발행된 운전경험보고서는 498건이었으며 이는 이전 3년간 평균인 392건에 비해 106건이 증가한 것이다. 전년과 비교해도 9.6% 증가하였다. 이와 같은 작성 편수의 증가는 신고리 1호기가 '11년 연료장전부터 운전경험보고서 발행을 시작하는 등 운전호기의 지속적 증가와 운전경험 중요성에 대한 인식 개선에 기인한다.

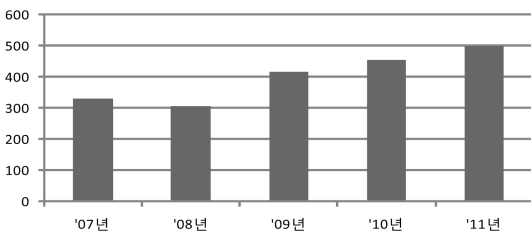


Fig. 1 Number of the Published OER per Year

2.2 국내의 근본원인 비교

해외 운전경험보고서와 국내 운전경험보고서의 근본원인을 직접 비교하기 위해서 해외의 표준 분류기준 기법(WANO 운전경험 프로그램(WANO OE Manual))을 사용하여 국내 운전경험을 분석하였다. Fig. 2와 같이 '07년 이후 기기관련 사건은 증가하고, 인적행위 관련 사건은 감소하다가 '11년에는 인적행위가 다시 증가하는 추세로 조사되었다.

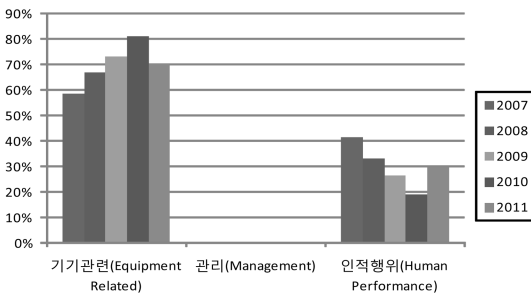


Fig. 2 Percentage of the OER according to Root Cause Analysis at the Domestic NPPs

동일기간 WANO에 의해서 조사된 해외원전의 근본원인 분포를 보면 해외원전은 인적행위와 관련된 운전경험이 가장 큰 분포를 차지하였으며, 국내원전에서

없는 관리부분(management) 또한 약 10% 분포를 차지하였다.

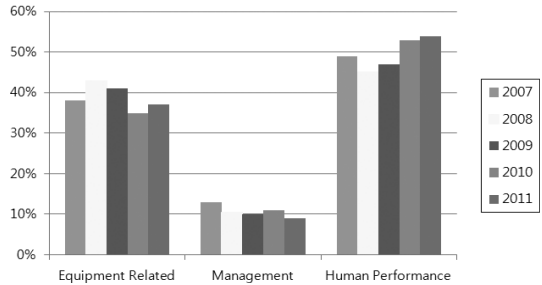


Fig. 3 Percentage of the OER according to Root Cause Analysis at the Foreign NPPs (WANO '11 Annual Report)

2.3 연도별 분석

2.3.1 작업그룹별 분석

발전소의 주요 작업그룹(부서)인 발전, 계측제어, 전기, 기계, 엔지니어링, 방사선, 연료 등에서 발행된 운전경험보고서를 연도별로 도식화 하면 Fig. 4와 같다.

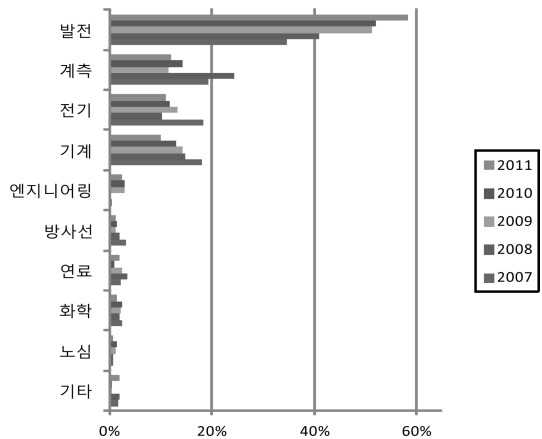


Fig. 4 Percentage of the OER according to Working Group

발전분야는 지속적으로 증가하고 있고 '09년 이후에는 50% 이상을 차지하고 있다. 또한 기계, 전기, 계측 분야를 포함한 상위 4개 분야가 전체 사건의 90% 이상을 차지하고 있다.

2.3.2 계통 분석

발전소는 수많은 시스템으로 구성되며, 이것을 표준

분류기준에 의해서 6개의 주요 시스템으로 통합하여 계통(시스템)별로 운전경험보고서 점유율을 분석하였다. 6개의 주요계통은 1차(원자로관련), 주급수(주증기, 터빈, 주급수, 복수, 순환수 등), 원자로보조(보조급수, 독물질 주입, 잔열제거, 비상노심, 공기정화 등), 계측제어(아날로그, 디지털제어 등), 전력(소내외 전력 등)이다.

분석결과, 가장 많은 기기를 보유하고 있는 주급수 계통이 전체 35% 이상으로 가장 큰 분포를 차지하였으며 중요설비인 원자로관련계통 또한 많이 발행되었다. 연도별로 큰 변화는 없었으나, 1차계통 및 계측제어계통은 지속적으로 감소되고 있는 것으로 분석되었다.

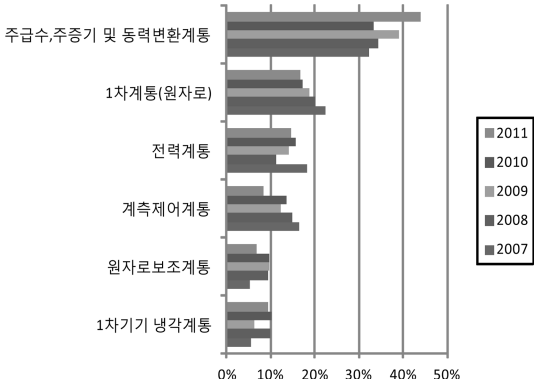


Fig. 5 Percentage of the OER according to NPP System

2.3.3 출력별 분석

발전소 출력상태에 따라 무관련, 원자로 정지, 계획예방정비, 원자로 운전 중 등 4개의 발전소 출력상태에 따라 2,003건의 운전경험을 분석하였으며, 운전 중 발생한 사건이 정비기간에 비하여 많았다.

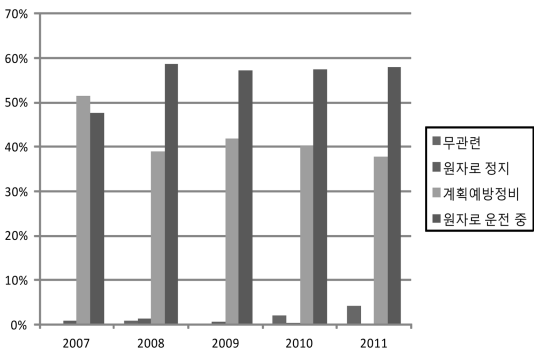


Fig. 6 Percentage of the OER according to Out-put power

2.3.4 사건 근본원인별 상세 분석

근본원인별로 분류 가능한 1,995건에 대하여 인적요소, 기계고장, 전기고장, 화학/노물리고장, 환경요소, 수력/공압고장, 기타 등의 인자로 분류하여 분석하였다. 기계, 인적, 전기, 전기의 순으로 점유율이 높았으며 특이할 사항으로는 인적요소의 경우 발행 건수가 '07년 이후 지속적으로 감소하다가 '11년에 급속하게 증가하였다. 이와 같은 인적행위관련 운전경험보고서 발행 건수의 증가는 후쿠시마원전 사고 이후에 인적행위에 대한 관심증가 현상이 반영된 것으로 보인다. 연도별 상세분석 결과는 Fig. 7에 도식화 하였다.

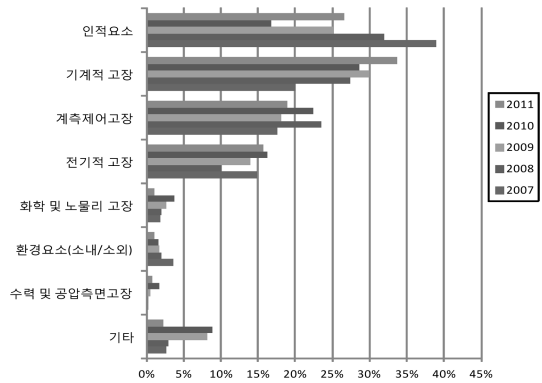


Fig. 7 Percentage of the OER according to Root-Cause

3. 발전소 및 노형별 운전경험보고서 분석

3.1 발전소별 주요기기 분석

발전소별로 기계, 계측, 전기, 전산 등 주요기기에 대한 발행건수를 분석하면 Fig. 8과 같으며, 설비가 가장 많은 기계분야의 운전경험이 가장 많았으며, 울진 2발(한울 2발) 및 영광 2발(한빛 2발)의 경우는 상대적으로 4개분야간의 격차가 적은 것으로 분석되었다.

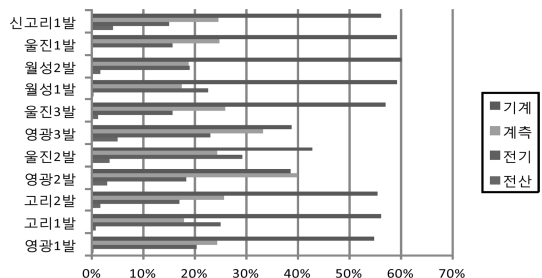


Fig. 8 Percentage of the OER according to the plant and Equipment

3.2 노형별 분석

3.2.1 주요기기별 분석

국내원전을 설계방식에 따라 나누면 웨스팅하우스형, 표준형, 중수로형, 프라마튬형 등 4개의 노형으로 분류가 가능하다. 노형별로 기계, 계측, 전기, 전산 등 주요 기기에 대한 발행건수를 분석하면 Fig. 9와 같으며 중수로형 원전은 기계 기기의 비중이 상대적으로 높았으며, 표준형 원전은 전산, 전기, 계측기기 비중이 상대적으로 높은 것으로 분석되었다. 또한 웨스팅하우스형 원전은 타 노형과 비교하여 고른 분포를 보였다.

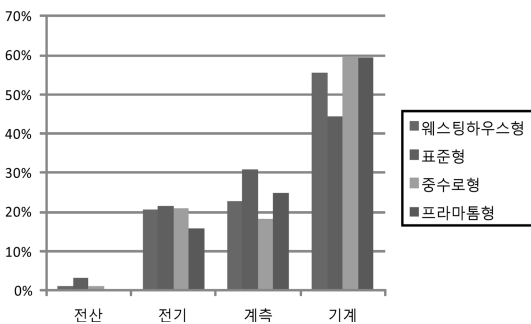


Fig. 9 Percentage of the OER according to type of the NPP and working group

3.2.2 계통별 분석

계통으로 분류 가능한 1,939건에 대한 분석결과를 아래 Fig. 10과 같다. 프라마튬형은 주급수 및 원자로 보조계통의 점유율이 높았으며 중수로형은 1차계통, 표준형은 계측계통이 압도적으로 높았다.

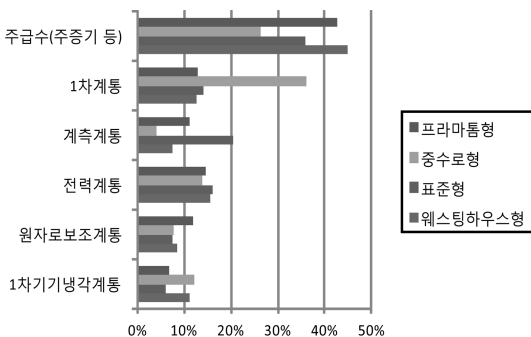


Fig. 10 Percentage of the OER according to type of the NPP and System

3.2.3 직접원인별

직접원인별로 분석을 하면, 기계적 고장은 중수로형

과 웨스팅하우스형에서 높았으며 인적요소는 프라마튬형, 계측제어 고장은 표준형에서 가장 높았다.

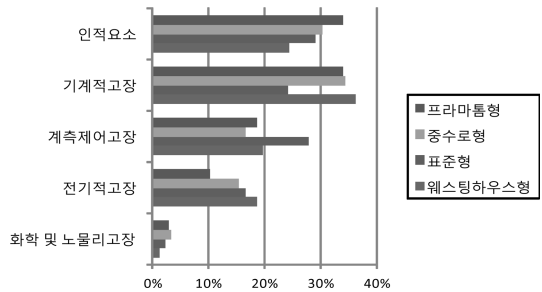


Fig. 11 Percentage of the OER according to type of the NPP and Direct Cause

3.3 기계/전기/계측기기 고장경험 분석

3.3.1 기계분야 고장경험 분석

기계분야에서 특정기기로 분류가 가능한 운전경험은 814건이었으며 Fig. 12와 같이 밸브고장이 가장 많았다. 밸브 수량이 많고 품질등급이 다양하며 고장 확률이 높은 작동기기의 특성이 반영된 것으로 보인다.

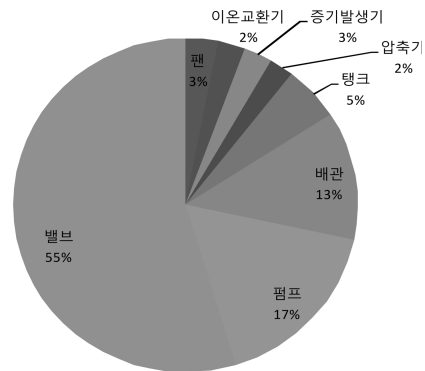


Fig. 12 Percentage of the OER according to Mechanical Equipment

3.2.2 전기분야 고장경험 분석

전기분야로 분류가 가능한 운전경험은 281건이었으며 Fig. 13과 같이 모터, 스위치야드 기기, 전원차단기 등의 점유율이 높았다.

3.2.3 계측제어분야 고장경험 분석

계측제어분야에서 특정기기로 분류가 가능한 운전경험은 344건이었으며 Fig. 14와 같이 밸브, 논리회로, 제어기 등의 고장이 큰 차이 없이 분포되었다.

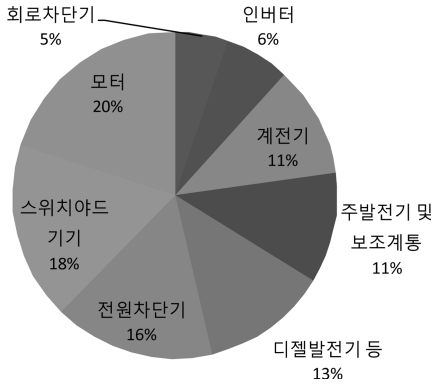


Fig. 13 Percentage of the OER according to Electric Equipment

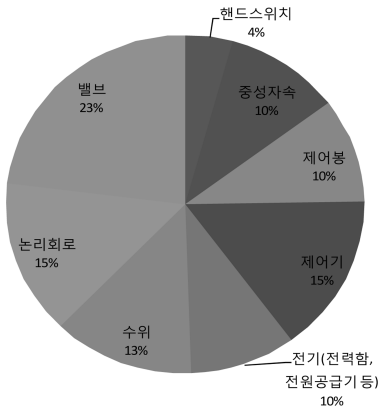


Fig. 14 Percentage of the OER according to C&I Equipment

3.2.4 발전소 상태별 분석

계획예방정비 기간 중에는 기계, 전기기기에서 발생한 사건이 높은 분포를 차지하며, 정상운전 중에는 계측, 전산기기에서 발생한 사건이 높은 분포를 차지하였다.

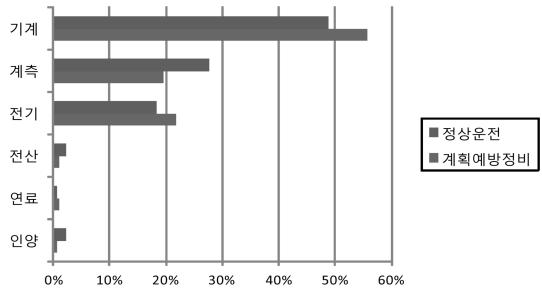


Fig. 15 Percentage of the OER according to Plant situation and working group

4. 결론

'07년~'12년도에 발행된 국내운전경험의 근본원인 분석 결과 기기관련 사건 분포는 약 70%, 인적행위관련 사건 분포는 30% 이었다.

WANO에서 발간한 운전경험분석보고서를 보면 2011년에 보고된 운전경험사건 1,292건 가운데 근본원인이 인적행위에 기인한 사건이 50%, 기기에 기인한 사건이 40%, 관리에 기인한 사건이 10%를 차지하고 있다.

이와 같은 해외사례를 교훈삼아, 우리나라도 인적행위에 기인한 사건의 경우, 사소한 사건이라도 기록하려는 노력이 더욱 필요한 것으로 분석되었다.

국내의 경우 인적행위에 기인한 사건은 줄어들고, 설비에 기인한 사건은 증가하는 추세이다. 이번의 최근 5년간 운전경험 분석결과는 유사사건 재발방지 및 발전소 취약점 보안을 위하여 활용할 예정이다.

참고문헌

- 2003.5, WANO GL 2003-01, Guidelines for Operating Experience at Nuclear Power Plants.
- 2011.11, INPO 10-006, Operating Experience (OE) Program and Construction Experience (CE) Program Descriptions.
- 2006.5, IAEA NS-G-2.11, A System for the Feedback of Experience from Events in Nuclear Installations.