

해외 JIT에 수록된 운전경험 분석

이상훈[†] · 김제현* · 송태영**

An Analysis of Operating Experience Reports on the Foreign JIT

Sang-Hoon Lee[†], Jae-Hun Kim* and Tae-Young Song**

(Received 13 June 2014, Revised 10 July 2014, Accepted 16 July 2014)

ABSTRACT

An Operating Experience Report(OER) has written about events and accidents 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. In this paper, it is analysed that the foreign NPPs' OERs on JIT published by the International Nuclear Agency(WANO, INPO, COG, BE). The analysis introduced in this paper is performed along with the various factors such as type of work, root-cause, and equipment. The root-cause analysis about the OERs shows that the Human-error is the major factor in foreign NPPs, but on the other hand equipment problem is the main part of the Domestic NPPs. The ratio of the foreign NPP's OERs on JIT according to the type of work was applied to KHNP-JIT developed nowadays for the first time in KOREA.

Key Words : Operating Experience Report(OER)(운전경험보고서), Nuclear Power Plant(NPP)(원자력발전소), JIT (Just-In-Time)(인적오류 방지용 운전경험 가공 콘텐츠), WANO(World Associated of Nuclear Operator)(세계원전 사업자협회), INPO(Institute of Nuclear Power Operations)(원자력발전운전협회), COG (CANDU Owners Group)(중수로형 원전 소유자그룹), BE(British Energy)(영연방 전력그룹), Domestic NPPs(국내원전), Foreign NPPs(해외원전), Human-error(인적오류), The Root-Cause Analysis(근본원인 분석)

1. 서론

원자력발전소는 사건·사고 발생시 사회에 미치는 영향이 매우 크며 발전정지시 금전적인 피해도 막대하다.

그래서 원자력분야는 사건·사고를 사전에 예방하고자 총력을 기울이고 있으며 기기의 신뢰도 및 인적행위 향상을 위한 각종 프로그램을 개발·시행하고 있다.

인적오류 예방을 위한 중요 기법의 하나로 중요사건에 대하여 운전경험을 발행하고 이것을 전파하여

동일·유사한 사건의 재발을 최소화하고 있다. 이와 더불어 액티비티(작업 및 정기시험 등)별로 동일 분야에서 발행된 유사한 운전경험을 모으고, 공통 주의사항을 정리한 운전경험 가공 콘텐츠인 JIT(Just-In-Time, 주제별 사건·사고 분석보고서)를 주요 해외기관(WANO, INPO, COG, BE)별로 독립적으로 개발하여 원전사업자에 배포/사용하고 있다.

JIT는 중요작업전에 시행되는 작업전회의의 교육 자료로 활용되고 있다.

최근 한수원 중앙연구원은 국내운전경험에 기반한 국내 JIT 307종을 개발하였으며, 본 논문은 충실한 국내 JIT 개발을 위해서 해외 JIT에 수록된 해외 운전경험 1,858건을 번역하는 과정에서 국내 JIT 개발에 적용하고자 해외운전경험 1,858건을 작업행위

[†] 책임저자, 회원, 한국수력원자력(주) 중앙연구원

E-mail: lee@khnp.co.kr

TEL: (042)870-5691 FAX: (042)870-5187

* 한국수력원자력(주) 중앙연구원

** 한국수력원자력(주) 중앙연구원

별, 근본원인별, 기기별 등으로 유형별 점유율을 분석한 내용이다.

또한 국내·외 운전경험을 근본원인분석 방법으로 분류하여 국내운전경험 발행, 관리 분야의 문제점을 발굴하고 개선사항을 도출하고자 하는 의도로 작성하였다.

2. 분석대상 해외운전경험 선정

2.1 분석대상

WANO, INPO, COG, BE 등의 해외기관에서 발행한 JIT 최신판을 모두 합치면 447건이며, 이 가운데 내용 중복, BWR 노형 등 국내와 상이한 노형에 대한 항목을 제외한 414건에 대하여 분석을 수행하였다. 해외기관 JIT 447건의 기관별 분포도는 Table.1에 요약하였다.

해외 JIT는 통상 4, 5건 정도의 운전경험(사건, 사고사례)을 수록하고 있으며, 분석대상인 414건의 해외 JIT에는 1,858건의 해외운전경험이 수록되어 있다. 이번 분석을 위하여 1,858건의 내용을 번역·요약하여 작업성격별, 근본원인별, 기기별 등으로 분류하여 분석을 수행하였으며 이 결과를 국내의 운전경험 발행 방식과 비교하여 개선점을 발굴하고자 하였다.

Table. 1 Numbers of JITs published by the International Nuclear Agency

Foreign Agency	COG	INPO	WANO	BE	Total
Number of Publication	172	100	152	23	447

3. 작업 행위별 현황

원자력발전소 중요작업 및 시험은 착수전에 작업 전 회의를 시행하도록 절차화 되어있으며, JIT는 작업전회의용 교육자료로 활용된다. 즉 과거의 동일작업시 발생하였던 중요사건·사고를 미리 숙지하고 작업을 시행하여서 작업중의 실수를 최소화 하도록 고안된 운전경험 콘텐츠 이다. 그러므로 JIT에 수록된 운전경험이 많은 분야는 인적오류의 개연성이 높은 분야라고 할 수 있다. Fig. 1에 작업성격/행위별 점유현황을 도시하였다.

1,858건의 해외 운전경험을 원전 운영에 필수적인 작업 행위(정비, 발전, 방사선, 노심·연료·화학, 정기시험, 공통)로 분류해 보면, 정비분야가 503건으로 가장 많은 비중을 차지하였다.

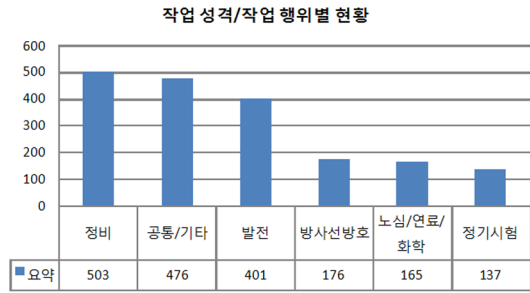


Fig. 1 Numbers of events according to type of work on JIT reported by the International Nuclear Agency

이것은 원전이 기계, 전기, 계측분야 등 수많은 장비로 구성된 장치산업이고, 정비절차가 복잡하고 방사선 등 작업환경이 열악한 경우가 많아서 인적오류 발생 개연성이 큰 것에 기인한다.

두 번째로 비중이 큰 항목은 공통/기타분야이다. 이 항목으로 분류한 사건은 정비, 발전, 방사선, 화학/연료 등으로 분류가 불가능한 안전사고(추락, 안전, 화재, 차량), 환경(기후 등), 안전문화 등과 관련된 항목 이다.

세 번째로 많은 항목은 발전·운전분야로 401건이다. 또한, 137건을 차지한 정기시험의 대부분이 발전·운전분야로서 발전·운전분야 또한 정비와 마찬가지로 인적오류에 대한 위험성이 높은 분야로 인식하고 있음을 알 수 있다.

4. 정비관련 사건 근본원인 분석

WANO Experience Program Reference Manual의 운전경험 분류기준은 국제적으로 공인된 분류방법으로 운전경험을 크게 기기분야, 관리분야, 인적오류 분야의 세가지로 분류하도록 되어있다.

기기관련 운전경험은 구성품 열화, 기기부식, 정비, 시험 미흡, 규격서 오류, 설계문제 등 이다.

관리분야는 조직/안전문화, 변경관리, 자원분배, 의사결정 프로세스 문제 등 이다.

인적행위로 분류되는 사건은 계통 격리 미확인, 절차서 등 참고문서 미사용, 훈련 및 자격 미흡, 작업조건 미확인, 불완전 작업 관행 등 이다.

해외 JIT의 작업 행위별 분석 결과 가장 많은 점유율을 보인 정비분야 운전경험 503건을 WANO의 근본원인 분석기준에 따라 분석을 수행하였다. Fig.2와 같이 정비작업 과정에서 인적행위에 의한 사건이 55%로 가장 많은 부분을 차지하고 있으며, 순수한 정비문제가 23%, 관리시스템 결여 사건이 21%를 차지하였다.

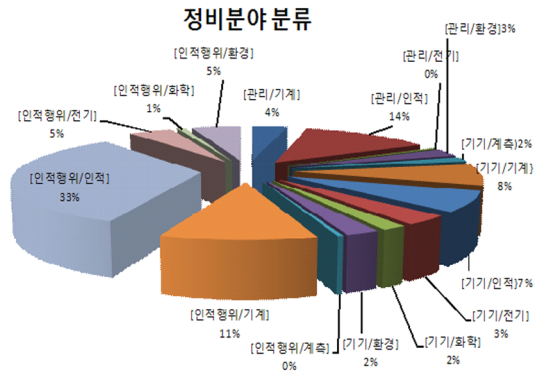


Fig. 2 Percentage of the Maintenance Part according to Root Cause Analysis

정비분야 운전경험이라 하여도 순수한 기기문제에 기인한 사건은 23%이내 이며 정비작업 과정의 인적오류 또는 관리시스템 부재로 발생한 사건이 76%로 기기문제 보다는 인적문제에 높은 관심을 갖고 대처방안을 개발해야 될 것으로 분석되었다.

5. 공통/기타분야 사건 근본원인 분석

작업 행위별 분류에서 두 번째로 많이 발행된 공통/기타분야 476건에 대하여 WANO의 근본원인 분석방법에 따라 분석한 결과는 아래 Fig.3와 같다.

공통/기타분야는 주로 산업안전, 환경, 이물질 유입 방지 등 기기별로 분류가 힘든 항목으로 구성되어 있으며, 인적행위에 기인한 사건과 관리 취약성에 기인한 사건의 합이 75%로 순수하게 기기문제와 관련된 사건보다 훨씬 많은 운전경험이 있었다.

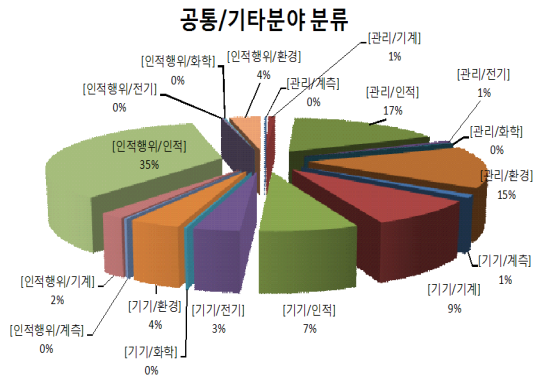


Fig. 3 Percentage of the Common Part according to Root Cause Analysis

6. 근본원인 분석 종합

WANO 발행 자료(2011.11, INPO 10-006, Operating Experience Program and Construction Experience Program Descriptions)에서 07년~'11년 5년간 해외에서 발행된 모든 운전경험을 WANO 근본원인 분석법으로 분석한 결과는 Fig 4와 같다.

또한 이번 논문을 위하여 동일기간(07년~'11년)에 국내에서 발행된 운전경험 2,298건의 분석 결과는 Fig 5와 같다.

WANO에서 분석한 해외운전경험 근본원인 분석결과 인적오류(50%) 및 관리분야(10%)의 운전경험이 다수를 차지하였으며, 동일기간의 국내에서 발행된 국내 운전경험의 경우 기기분야의 운전경험(70%)이 다수를 차지하고 있다. 또한, 관리분야는 전무하였다.

이 결과는 해외가 국내에 비하여 인적오류 문제와 및 관리 취약성 문제를 쉽게 공문화 할 수 있는 문화가 조성되어 있음을 증명하며, 양질의 운전경험의 취득을 위해서는 국내 원전의 관리문화 개선이 시급하다고 하겠다.

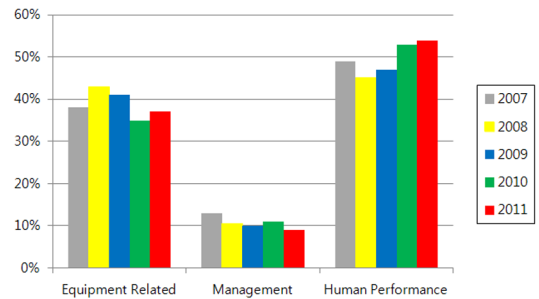


Fig. 4 Percentage of OERs according to Root Cause Analysis at the Foreign NPPs(WANO '11 Annual Report)

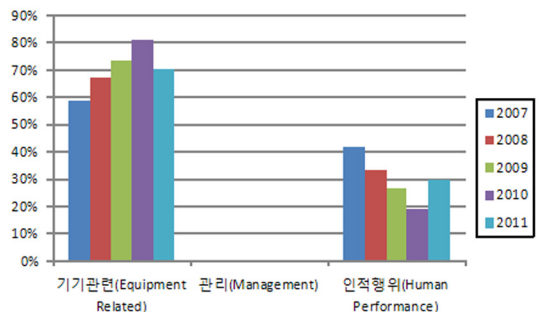


Fig. 5 Percentage of the OER according to Root Cause Analysis at the Domestic NPPs

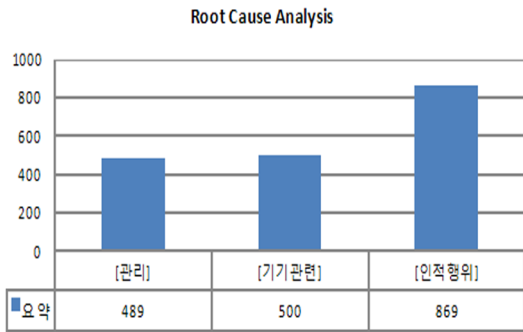


Fig. 6 Numbers of OERs in Foreign JIT according to Root Cause Analysis

이번 국내 JIT를 위하여 해외기관 JIT에 수록된 1,858건 전체의 운전경험을 WANO 분류기준에 의거하여 분석한 결과는 Fig. 6과 같다.

WANO에서 제시한 해외운전경험 분포도(Fig. 4)는 인적행위 40%, 기기 50%, 관리 10%로 구성되어 있다.

반면, 금번 연구를 통하여 분석한 결과, 해외 JIT에 사용된 운전경험은 인적행위 47%, 기기 27%, 관리 분야 26%로 구성되어 있다.

해외운전경험과 비교하여 JIT에 수록된 해외운전경험은 인적행위와 관리분야는 7%, 16% 높고, 기기 분야는 23% 적음을 알 수 있다.

특히, 해외 JIT는 개발시 관리분야 운전경험을 집중적으로 선택하여 사용하고 있으며, 그만큼 해외에서도 관리분야 개선에 힘을 쓰고 있는 것으로 분석되었다.

7. 기기별 분석

해외 JIT에 수록된 운전경험을 대상 기기별로 분류해 보면 아래의 Fig. 7과 같이 특정기기에 속하지 않는 기타분야(예를 들어 산업안전에 관련된 JIT는 기기로 분류할 수가 없으므로 기타로 분류)가 가장 많았으며 두 번째로 기계, 전기, 계측제어 기기의 순으로 나타났다.

JIT는 인적오류의 저감을 위해 만들어진 기법으로, 기기로 분류가 가능한 항목 가운데 기계분야가 가장 많은 JIT를 차지하고 있는 것은 원자력발전소에서 가장 많은 설비가 기계분야이며, 해당분야의 인적오류를 저감 하고자하는 노력의 일환이라고 분석된다.

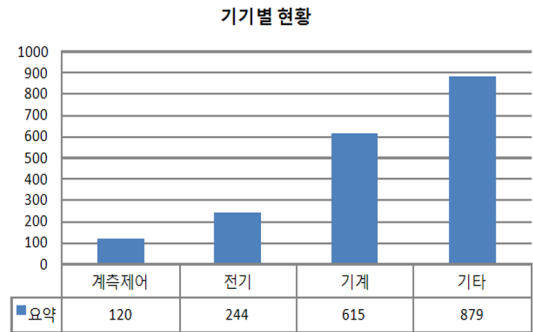


Fig. 7 Numbers of the OERs in Foreign JIT according to the Equipment

8. 결론

해외기관(WANO, INPO, COG, BE 등)에서 발행된 JIT 414건에 수록된 해외원전의 주요사건(운전경험) 1,858건을 분석한 결과, 작업성격별로는 정비분야의 사건이 약 27%로 가장 많은 부분을 차지하였으며, 근본원인 측면에서는 인적행위 실수에 기인한 사건이 47%로 가장 큰 비중을 차지하였다.

또한 기기별로 분석한 결과로 분류가 불가능한 경험을 제외하면 기계분야가 33%로 가장 높은 점유율을 차지하였다.

‘07년부터 ‘12년까지 발행된 국내와 해외의 운전경험을 WANO 분류법을 사용하여 분류하면 인적오류에 기인한 사건이 해외가 우리나라 보다 20% 정도 높은 점유율로 발행되고 있음을 알 수 있으며, 해외 운전경험에 10%를 차지하고 있는 관리분야는 국내에서는 찾아볼 수 없었다.

운전경험의 발행 목적은 동일한 실수를 반복하지 않기 위하여 발행하는 것임을 감안할 때 국내의 운전경험 발행이 기기문제에 기인한 사건이 70% 발행되는 것은 시정되어야 할 것이다.

이의 개선을 위해서는 인적오류 발생 대상자에게 징계를 부여하는 경직된 문화를 완화하여야 하며, 외국처럼 실수에 대하여 자유롭게 토론할 수 있는 안전문화 구축이 필수적이다.

작업행위별 분석결과(정비 27%, 공통 26%, 발전 22%, 방사선 9%, 노심 9%, 시험 7%)는 국내 JIT 개발시 표준 모델로하여 활용하였다.

중앙연구원이 개발한 국내 JIT 총 307건은 정비 42%, 공통 19%, 발전 21%, 방사선 5%, 노심 6%, 시

험 7% 등의 비율로 구성하였다.

이번 논문을 통해 도출된 분석자료를 국내 JIT 개발에 적용하였다.

첫째, 국내 JIT는 해외 JIT와 비교하여 산업안전과 같은 범용적인 주제(공통분야)를 줄이고 인적오류가 많이 발생하는 정비분야를 집중 보강하였다. 즉 정비 빈도가 높은 모든 작업에 대한 JIT를 작성하였다.

두번째로 발전 및 정기시험 분야는 세 개의 노형(중수로형, 웨스팅하우스형, 한국형)을 보유한 국내 현실을 반영하여 노형별로 구분하여 작성하였다.

마지막으로 관리분야의 국내 운전경험 발행건수가 미미하여 관리분야는 해외 운전경험을 보완·사용하였다.

예를들어 개발한 국내 JIT는 국내 운전경험을 위주로 작성하는 것이 일반적이나 “작업중 사고방지 기구(Event Free Tools for Every Job)”, 문제의식(Fostering

a questioning attitude) 등의 JIT는 해외 운전경험만으로 작성되었다.

관리분야 운전경험의 발행을 유도하는 대책이 필요하며, 국내 JIT 개정시마다 신규로 발행되는 관리분야 운전경험을 보강하여야 할 것이다.

참고문헌

1. 2003.5, WANO GL 2003-01, Guidelines for Operating Experience at Nuclear Power Plants
2. 2011.11, INPO 10-006, Operating Experience(OE) Program and Construction Experience(CE) Program Descriptions
3. 2006.5, IAEA NS-G-2.11, A System for the Feedback of Experience from Events in Nuclear Installations