Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 31, No. 5, pp. 177-186, October 2016
Copyright@2016 by The Korean Society of Safety (pISSN 1738-3803, eISSN 2383-9953) *All right reserved.* *http://dx.doi.org/10.14346/JKOSOS.2016.31.5.177*

원전 사고근접사례의 보고체계 현황 및 현안분석

정윤형 · 김동진†

한국원자력안전기술원

(2016. 6. 28. 접수 / 2016. 8. 17. 수정 / 2016. 9. 9. 채택)

Analysis on Management Status and Issues for Near Miss Reporting in Nuclear Power Industry

Yun-Hyung Chung · Dong Jin Kim†

Department of Instrument, Control and Electrical System, Korea Institute of Nuclear Safety

(Received June 28, 2016 / Revised August 17, 2016 / Accepted September 9, 2016)

Abstract : When an event is occurred in a nuclear power plant (NPP), the NPP operator reports it referred by the regulation on reporting and public announcement of accidents and incidents. Some of the events do not need to be reported because they are not included in the reporting criteria of the regulation. However, it is necessary that they should be managed effectively because the accident can be occurred by the recurrence of a lot of them as precursors. Among the events not included in the reporting criteria of the regulation, near miss is the event that is not occurred but can generate a significant consequence. This can provide the cause of the event which does not result an accident. So, it is able to offer insightful knowledges to prevent higher level events about the function and process of NPP. The objective of this study is to analyze the issues of near miss events, prepare the defence against the risk, and improve the management process of NPP. To achieve it, this study performed to analyze the management structure and status of near miss events as well as the accident reporting system of the domestic and foreign regulation bodies. In case of Korea, the status was analyzed by quantitative data, licensee event reports and procedures. Based on these, we could find the causes that near miss events were not managed effectively. Then, systematic alternatives that reflected the perspective of man, technology and organization were drawn.

Key Words : near miss, operating experience review, accident reporting criteria

1. 서 론

국제 원자력 사고 · 고장 등급(International Nuclear and Radiological Event Scale; INES)은 원자력관계시설에서 발생한 사건을 안전성 중요도에 따라 1~7등급으로 분류하고 있으며, 1~3등급 사건을 고장, 4등급 이상의 사건을 사고로 정의한다. 안전에 중요하지 않은 사건은 등급 이하(0등급)라 하여 경미한 고장으로 분류하고 등급 외 사건으로 규정하고 있다. 국내의 사건 보고규정은 INES 등급을 기반으로 국내 실정에 적합한 보고대상을 분류하여 제시하고 있다. 현재, 총 14회의 개정과정을 거친 원자력안전위원회 고시(제2014-17호)에 따라 사건 보고가 이루어지고 있다.

등급 외 사건에 포함되지 않는 원자력발전소에서의 사건은 보고대상에 포함되지 않으며 사업자가 안전성 및 생산성 향상을 위해 자체적으로 관리하고 있다. 여기에는 사고근접사례(Near Miss), 기기고장 등이 포함되는데 사고근접사례란 실제로 발생하지 않았으나 심각한 사고로 이어질 가능성이 있는 사건을 의미한다[1,2]. 사고근접사례 발생시 적절한 방호 조치가 수행되지 않을 경우, 이는 사고로 귀결될 수 있기 때문에 사고근접사례 관련 정보의 수집 및 분석은 사고를 예방하고 전반적 프로세스의 품질을 높이는 장점을 갖는다. 실제로 정유 · 화학 · 항공 등 다방면의 산업계에서는 사고근접사례의 효과적 활용을 통해 프로세스를 개선한 많은 사례들이 보고되고 있다.

항공 업계에서는 오래전부터 이와 관련된 중요성을 체감하고 공식적 보고체계를 수립하였다. 1974년, 미국

† Corresponding Author : Dong Jin Kim, Tel : +82-42-868-0849, E-mail : danielkim@kins.re.kr
Department of Instrument, Control and Electrical System, Korea Institute of Nuclear Safety, 62, Gwahak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34142, Korea

에서는 항공기 조종사와 관제탑 간의 잘못된 의사소통으로 인해 조종사가 너무 일찍 고도를 낮추어 산과 충돌한 사건이 발생하였다. 의도와는 달리 발생한 이 사고의 원인을 조사하던 중 사고 발생 6주전 동일한 상황에서 가까스로 사고를 피한 사례가 있음을 확인하였다. 해당 사례를 전파하고 공유한 항공사와 달리, 사고가 발생한 다른 항공사는 승무원들에게 해당 사례를 알리지 않은 것으로 확인되었다. 이로 인해 항공 업계 및 정부는 Near Miss에 대한 보고체계를 요구하기에 이른다. 그 결과 미국 연방항공청(Federal Aviation Administration; FAA)과 항공우주국(National Aeronautics and Space Administration; NASA)은 자발적이고 익명이 보장되며 처벌이 없는 항공안전보고체계(Aviation Safety Reporting System; ASRS)를 구축하였다. 이후 ASRS에는 항공기 조종사, 관제사, 승무원, 유지 · 보수 기술자로부터 약 580,000건에 이르는 보고서가 취합되었다[3]. 이는 항공 안전 향상에 기여했을 뿐 아니라 국제적으로 전파되어 그 가치를 인정받고 있다.

원자력 업계의 경우 IAEA를 비롯한 다수의 국제기구들이 사고근접사례 관리 프로세스를 확립할 것을 권고하고 있으나, 효과적으로 관리되지 않고 있는 사례들이 많은 것으로 확인된다. 2006년에서 2010년까지 IAEA OSART(Operational Safety Review Team)는 약 70%의 회원국에서 near miss 프로세스의 취약점을 확인하였다. 국내의 경우 역시, Table 1과 같이 최근 5년 동안의 사고근접사례의 보고 건수가 급격히 감소하는 특이한 양상이 나타났다[4,5]. 이는 사고근접사례의 관리가 갖는 장점에도 불구하고 그 관리가 적절히 이루어지지 않고 있는 것으로 판단된다.

Table 1. The yearly number of reporting near miss in domestic NPP

Year	The number of NPP in operation	The number of incident	The number of near miss
2004	19	53	134
2005	20	64	160
2006	20	62	62
2007	20	57	54
2008	20	51	54
2009	20	29	9
2010	20	30	4
2011	21	28	4
2012	23	27	2
2013	23	37	1
2014	23	36	2

따라서 본 연구는 국내 원자력발전소에서 사고근접사례의 체계적 관리를 가능케 하는 방안을 마련코자 하였다. 이를 위해 사고근접사례의 정의를 파악하고 국내외 관리 현황을 조사한 후, 사고근접사례가 효과적으로 관리되지 않는 원인을 분석하였다. 이를 기반으로 사고근접사례 관리의 개선 및 활성화 방안을 제시하였다.

2. 사고근접사례(Near Miss) 정의 및 개요

하인리히의 법칙에 따르면 중대한 사고는 우연한 순간 갑작스럽게 발생하는 것이 아니라 그 이전에 전조 신호 역할을 하는 수많은 경미한 사건들이 반복되는 과정에서 발생한다. 이러한 경미한 사건들은 사고를 야기하거나 사고의 전조가 되는 특징을 가지며, 일반적으로 Near Miss라 불리운다[1].

이러한 Near Miss는 교통, 정유 · 화학 등 다양한 분야에서 많은 사례들이 보고되어 왔다. 정유 · 화학 분야에서의 사건은 단일 요인에 의해 발생되는 것이 아니라 인적, 조직적, 기술적 요인의 결합에 의해 발생되는 것으로 알려져 있다[6]. Fig. 1과 같이 각 요인들에 의해 프로세스의 실패가 발생하면 이 중 일부가 안전 기준을 벗어나는 위험 상황으로 전이되며 만약 적절한 방호 조치가 수행된다면 정상 상황으로 복귀하게 된다. 적절한 방호 조치가 수행되지 않는 경우, 해당 사고의 회복은 대개 인적 조치에 의존하게 된다. 운전원 또는 발전소 운영 업무 종사자가 초기 사건을 발견하고 그 상태를 적절히 진단하여 적시에 회복 조치를 취하게

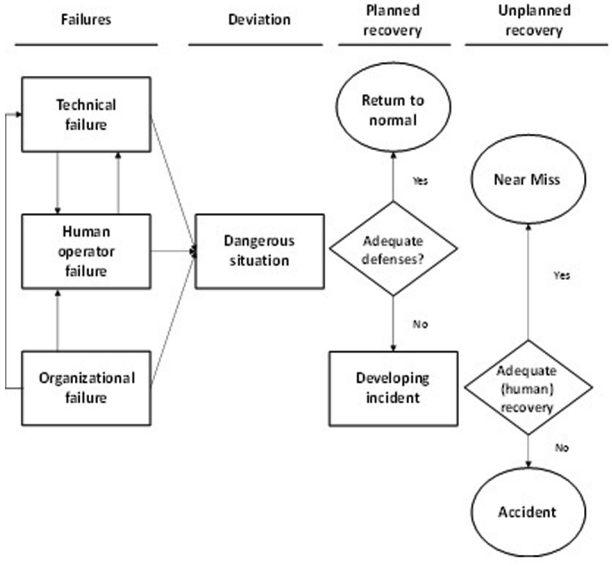

Fig. 1. Incident causation model[6].

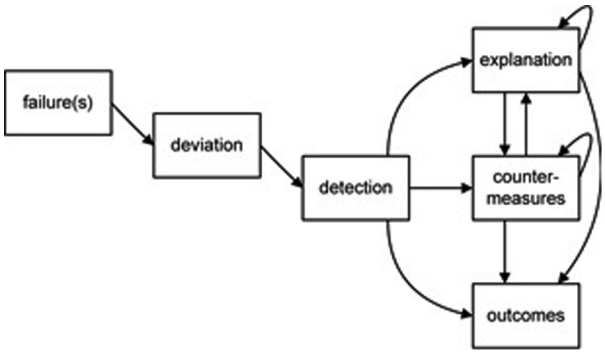

Fig. 2. Recovery process model.

되면, 해당 사건은 Near Miss 상태로 회복되어 사고를 방지할 수 있다. 이는 Fig. 2와 같은 회복 절차 모델을 통해서도 유사하게 설명된다[7].

IAEA는 Near Miss를 실제 발생하지는 않았으나 중대한 사고로 연결될 수 있는 가능성이 내재하는 사건으로 정의하였다[2]. 더불어 심층방호 개념의 방호벽으로 인하여 실제 발생하지는 않았으나 예상치 못한 사건을 야기할 수 있는 취약점을 저수준 사건(Low Level Event; LLE)으로 정의하였다[2]. 즉, Near Miss는 그 자체로는 경미한 사건이지만 여러 사례들이 반복적으로 발생하거나 다른 문제점과 결합될 때, 발생가능한 중대한 사고의 전조가 되는 특징을 가지며 이는 본 절의 서두에서 언급한 Near Miss의 의미와 일치하는 것으로 간주된다. 원자력 산업계에 알려진 Near Miss 및 LLE에는 다음과 같은 사례들이 있다:

· 증기발생기 수위 제어의 상실과 복구 : 원자로정지 상태에서 보조급수는 가동 중이었다. 운전원은 3개 증기발생기의 수위를 조정하고 커피를 마시러 갔다. 마침 다른 엔지니어가 수위가 천천히 움직이는 것을 보고 운전원을 불렀다. 운전원이 수위를 조정하려 뛰어왔을 때 자동 정지 경계에 거의 도달해 있었다[8].

· 밸브 스템 인출 위험성이 있는 가압 계통에서의 밸브 정비 : 밸브 스템의 손상으로 인한 고장 이후에 동력구동 급수격리밸브에 대해서 작업이 수행된다. 정비는 가압된 계통에서 동력구동기를 제거하는 것이다. 밸브 스템은 파손될 수 있으므로 스템이 제자리를 유지하도록 스템을 지지하는 장치가 설치되었다. 스템을 지지하는 동력구동기 너트에 과도한 힘이 가해졌을 때 선임 정비원은 문제점을 예상하여 동력구동기 제거 노력을 중단하고 상급자에게 보고하였다. 스템을 지지하는 장치가 설치되었으나 너트가 풀리면서 스템이 압력을 받아 인출된 것으로 밝혀졌다[9].

중대사고는 지역 및 환경에 치명적인 손실을 야기하기 때문에 원자력발전소 보고체계에 따라 검토가 이루

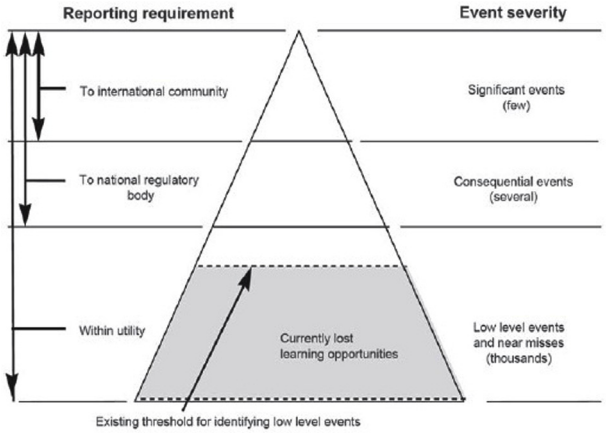

Fig. 3. Relationship between events that affect nuclear safety and other; less significant event.

어지고 경영진 및 규제기관에서 많은 관심을 갖지만 사고근접사례나 저수준사건의 경우 사건으로 인한 손실이 발생하지 않기 때문에 효과적으로 관리되지 않기도 한다[2](Fig. 3 참조). 그 결과 중대사고 또는 안전에 심각한 영향을 미치는 사건들의 예방에 필요한 통찰력 및 안전 개선 기회를 제공받지 못하게 된다.

전세계 각국의 원자력발전소 운전경험을 검토한 결과, 즉각적인 피해로 이어지지 않는 많은 수의 사고근접사례 및 저수준사건이 대다수의 중대사고에서 발견됨을 확인할 수 있었다. Near Miss 전조가 관찰되었으나 효과적으로 관리되지 않은 사례들은 다음과 같다.

· 1979년 스리마일 섬(Three Mile Island) 원전사고[2] : 이 사고에서는 동력구동 압력방출 밸브(PORV)가 개방된 것을 확인하지 못한 운전원이 비상노심냉각계통을 중단시켰고 이는 1차 계통 냉각재 상실, 원자로 노심의 부분적 노출 및 방사선 노출로 연결되었다. 사고 후 대통령직속으로 구성된 케메니 위원회(Kemeny Commission)의 보고서에 의하면, 이 사고가 발생하기 이전 Davis Besse 원전을 포함한 유사설계 발전소에서 PORV 관련한 문제를 이미 9차례나 경험한 바가 있는 것으로 드러났다. 그러나 원자로 공급업체인 Babcock & Wilcox 뿐 아니라 NRC도 이를 TMI-2를 포함한 다수의 발전소에 전파하지 않았다. 따라서 이로 인한 운전원들의 교육·훈련도 제공되지 않았다.

· 2002년 데이비스 베시(Davis-Besse) 원전 1차 냉각재 유출사고[2] : 원자로압력용기 헤드(head)에 심각한 부식이 발생, 0.25인치 스테인리스강 라이너가 유일한 원자로 냉각재 압력경계가 되었다. 원자로 압력용기 내 뚜렷한 누수 현상, 격납건물 공기냉각기 오염 빈도 증가, 붕산 침전물의 색상을 띤 부식물로 인해 원자로 건물 대기 방사선 감시 필터의 빈번한 막힘 현상, 정상

수치를 상회하는 1차 냉각재 보충율과 같이 수차례에 걸쳐 감지된 저수준 사건들이 Near Miss 및 LLE 프로세스에 의해 적절히 검토되거나 평가되지 않았다. 이로 말미암아 상당시간 원자로가 정지되었고, 발전소에 막대한 재정적인 악영향을 끼치게 되었으며, 원전업계 전반적으로 광범위한 영향을 미치게 되었다.

· 2011년 후쿠시마 원전사고[10] : 노심 냉각이 장시간 이루어지지 않아 많은 양의 핵연료가 용융하는 단계에서 다량의 수소가스가 생성되었다. 질소가스 주입으로 격납용기 내에서 수소폭발은 억제되었으나, 취약한 부분이 일부 손상되면서 수소 농도 제어를 위한 설비가 전무한 밀폐공간인 원자로 건물 상부에 수소가스가 축적되었다. 결국 수소가스 농도 증가는 원자로건물의 폭발을 일으켰다. TMI 후속조치에서 배기계통의 강화를 요구하였으나, 운전원들은 배기밸브의 설치 위치를 찾지 못하여 작동에 많은 시간을 소모했으며, 전력공급이 차단된 상황에서 배기시스템 작동에 관한 비상절차서는 준비되지 않았다.

이와 같은 사례들에서 알 수 있듯이, 결함을 수정하고 해결하기 위해 사고근접사례 및 저수준사건 정보를 제대로 활용하지 못한다면 매우 심각한 참사가 야기될 수 있다.

3. 사고근접사례의 관리

원자력 관련 국제기구 및 세계 각국은 중대사고 발생 확률을 줄이고 원전운영성과 및 안전 개선을 위해 운전경험 분야 내에서의 사고근접사례에 대한 효과적 관리를 촉구하고 있다. 이를 위해 IAEA는 관련 안전기준을 통해 사고근접사례 관리를 권고하고 있고, 미국, 프랑스, 한국에서는 다음과 같이 사고근접사례를 관리하고 있다.

3.1 사고근접사례 관리 기준 – IAEA

IAEA는 "Low Level Event and Near Miss Process for Nuclear Power Plants: Best Practices"[2]를 통해 사고근접사례 및 저수준사건 관련 안전기준을 제시하고 이를 관리토록 권고하고 있다. Near miss 및 LLE는 다음과 같은 절차 및 체계를 통해 관리된다.

- 사건 선별
- Near miss, LLE 코드화 및 추이 분석
- Near miss, LLE 정보 공유
- Near miss, LLE 프로세스 효과성 확인

안전과 관련된 모든 사건을 관리함에 있어 우선순위 확립을 위해 사건을 선별하며 발전소의 경우 보통 4단계의 우선순위 체계를 사용한다(높은, 중간, 보통, 낮은 우선순위). 높은 또는 중간 우선순위 사건의 경우 원인분석이 필요한 것과 달리, 보통 또는 낮은 우선순위 사건에 해당되는 사고근접사례의 경우 단순 개선활동 및 경향분석을 위한 데이터베이스 입력만이 요구된다.

사건의 코드화는 일반적 사건 정보를 추가 분석에 사용할 수 있는 소수의 특수정보로 변화시키며, Near Miss 및 LLE 프로세스에 의해 생산된 대량의 데이터가 효과적으로 처리될 수 있도록 한다. 이를 위해 적절한 코드화 규칙이 필요하다. 예를 들어, 상대적으로 중요성이 덜한 보고에 많은 코드가 연관되어 있다면 더욱 중요한 추이 확인을 지연시킬 수 있으며, 중요성이 높은 보고에 적은 코드가 연관될 경우 추이 분석을 어렵게 만들 수 있기 때문이다.

코드화된 사건들을 대상으로 발생 빈도, 공통 원인, 외부 운전경험 등을 고려한 추이 분석이 실시된다. 분석 결과 사건이 주기적인 빈도로 발생되거나 특정 기간내 발생 빈도가 지속적으로 증가하는 등의 추이가 발견될 경우 그 원인을 파악하여 적절한 운영개선 조치가 수행되어야 한다.

Near miss 및 LLE 프로세스를 관리하는 것은 발전소 운영 실적을 향상시킬 수 있으며 이를 위해 관련 지표를 이용하여 주기적으로 프로세스를 평가할 수 있다. 예를 들면, 내부 확인 현안 대 외부 확인 현안간 비율, 추이 평가 수, 추이 평가 완료에 소요된 시간, 중대사건 대비 Near miss 및 LLE 비율 등을 통해 프로세스의 효과를 평가할 수 있다.

이와 같은 Near Miss 및 LLE 프로세스를 효과적으로 관리하기 위한 조직의 역할은 다음과 같다.

- Near miss 및 LLE 프로세스 구축 및 지속적 관리
- Near miss 및 LLE 프로세스 수행을 위한 조직 구성원간 책임과 의무의 명확화
- 공정하고 비난 없는 조직 문화 조성 및 촉진, 바람직한 보고 환경 유지
- Near miss 및 LLE 확인과 보고를 위한 적절한 기준 수립
- Near miss 및 LLE 보고 장애 제거 및 사용자 친화적 시스템 구축
- Near miss 및 LLE 보고에 대한 보상전략 수립
- Near miss 및 LLE 프로세스의 장기적 목표 유지
- 운전경험 프로그램 활동을 이해하고 수행할 수 있는 직원채용 및 임직원들의 교육 · 훈련

3.2 사고근접사례 관리 기준 – Excelon Nuclear(US)

엑셀론사가 운영하는 원자력발전소에서는 Near Miss

를 포함한 모든 결함 및 장비의 고장이 운영개선프로그램(Corrective Action Program, CAP)내에서 관리된다[2]. 조직 관리자들은 이 중 낮은 수준의 현안들이 추이분석에 활용되어 엑셀론사의 원전 운영 성과 향상에 중요한 역할을 하는 것으로 인식하고 있다. 또한 Near Miss 보고를 강화하기 위해서 성과지표로서 이를 관리하며 감사를 통해 보고량을 측정한다. 사내 감독 조직은 기업의 가치 향상을 목적으로 2년 주기로 CAP 활동에 대한 감사를 실시한다. 더불어 규제기관인 NRC (Nuclear Regulatory Commission)에서도 CAP 활동에 대한 확인을 통해 규제 활동을 수행한다.

발전소 내 결함 발생시 보고자는 현안 보고서(Issue Report, IR)를 작성하고 SOC(Station Ownership Committee) 위원들이 이를 검토한다. SOC는 각 영업일마다 IR을 검사하며 여기에는 원자로조종감독자(Senior Reactor Operator, SRO), 엔지니어링 및 유지보수 부서원, 방사능 방호 및 화학기술 부서원 등이 참여해야 한다. 회의를 통해 각 IR별로 심각도 및 우선순위를 고려하여 등급이 부여된다. 또한 현안 보고자의 권고사항에 의거하여 시정조치가 제안되거나 장비 고장에 대한 작업요청이 이루어지기도 한다. 각 IR별 시정조치가 할당된 이후 MRC(Management Review Committee)가 IR들을 검토하며, CAP 프로세스에 의한 각 IR별 조치에 따른 최종 책임은 MRC가 지게 된다.

2010년 엑셀론사에서 운영하는 원자력발전소 전체에서 약 95,000건의 IR이 발행되었는데 이들은 등급 1 현안부터 등급 5 현안까지 구성된다. 이 중 등급 3의 현안에 해당하는 Near Miss는 약 2,000여건이, 등급 4의 현안에 해당하는 LLE는 약 86,000여건이 보고되었다.

3.3 사고근접사례 관리 기준 – EDF(France)

EDF(Électricité de France)의 경우 Near Miss 또는 LLE 대신 weak signal이라는 명칭으로 관련 사건들을 관리하고 있다[11]. Weak signal은 발전소의 운영성과(안전, 방사선 방호 등)에 주요한 영향을 미치지 않으나 반복될 경우 중대사고를 일으킬 수 있는 정보, 이상, 고장 등으로 정의된다. Weak signal 절차의 목적은 운영성과가 저하되기 이전에 중대사고를 야기할 수 있는 주요 전조들을 확인하고 이에 기반한 개선조치를 수행하여 그 효과를 모니터함으로써 사고를 사전에 예측하고 예방하는 것이다. Weak signal은 다음과 같은 절차를 통해 관리된다.

- 관찰 결과 수집
- 관찰 결과의 분석 및 추이 확인
- 확인된 weak signal의 처리

관찰 결과는 작업자, 관리자, 안전 엔지니어에 의해 보고된 결과로 데이터베이스에 저장된다. 저장된 결과들을 이용하여 부서 수준의 단기 주기(loop) 및 발전소 수준의 장기 주기(loop)의 추이를 분석하여 weak signal 여부를 파악한다. 장기 주기 추이 분석은 3개월에서 6개월 사이의 기간을 대상으로 하며, 이 단계에서는 인간공학 컨설턴트가 주된 역할을 수행한다. 추이 분석 결과 weak signal이 발견되면 그 원인을 분석하여 개선조치를 도출한다.

이러한 weak signal 프로세스는 다음과 같은 요인들로 인해 성공적으로 구축될 수 있었다[12].

- 인적 요인 및 조직 특성을 고려한 작업 상황 및 데이터 수집
- 인적 요인이 고려된 데이터를 활용한 체계적(전반적) 분석 실시
- Weak signal 프로세스 시행 협력 및 이를 위한 인적 요인 담당자들의 기여
- 안전관리 시스템으로의 통합 및 정보공유 수단으로서의 역할

3.4 사고근접사례 관리 기준 – 한국수력원자력

한국수력원자력(이하 한수원)은 원전에서의 인적요소 관리를 위해 미국 INPO에서 개발한 HPES(Human Performance Enhancement System)를 기반으로 국내 환경을 고려한 한국형 인적행위 개선관리 시스템(K-HPES)을 개발하였다.

K-HPES는 인간의 행위에 영향을 주어 원치않는 결과를 야기하거나 야기할 수 있는 요인들을 분석하여 관리하는 체계를 의미한다. 이는 인간의 행위로 인해 발생된 사건에 대해 원인을 분석하고 대처 방안을 제시하여 타 발전소에 전파함으로써 사건의 재발을 방지하고 유사 사건의 발생을 사전에 예방하여 원자력발전소의 안전성을 향상시키는 데 그 목적이 있다.

K-HPES는 인적오류가 개입되어 발생된 '인적실수사례'와 인적오류가 개입되거나 개입될 수 있는 '사고근접사례'를 대상으로 한다. K-HPES의 사고근접사례는 실제로 어떤 의도하지 않은 결과가 발생하지는 않았으나 부적절한 인적행위가 포함된 사례 또는 인적실수 유발이 가능한 사례로 정의된다[13].

이는 한수원에서 자발적으로 운영.관리하고 있었으나 2001년 개정된 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 제57조 "인적 요소의 관리"는 규제 차원에서도 적절한 관리를 규정하였다. 한수원의 K-HPES 세부 관리 절차는 Fig. 4와 같다[13].

2006년 웹 기반의 K-HPES 구축이 완료됨으로써 인

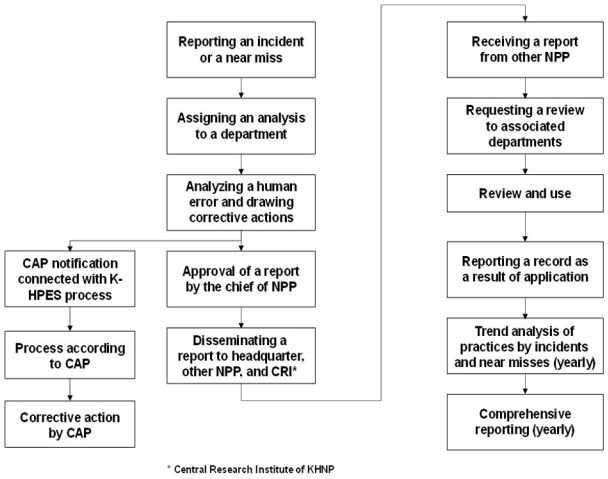

Fig. 4. Management process for enhancing human actions.

적오류 사례 신고, 분석, 개선 활동 관리 및 타 발전소 전파 등을 효과적으로 지원할 수 있게 되었다. 보고서 작성 및 전파의 적시성을 확보하기 위해서, K-HPES 보고서 작성과 전파 및 타 발전소로부터 전파된 보고서 기술 검토는 명시된 기한 내 완료토록 하였다. 또한 사례를 신고한 당사자의 익명을 유지토록 하여 보고를 저해할 수 있는 요인을 제거하였다.

지금까지 살펴본 미국, 프랑스, 한국의 사고근접사례의 관리 목적 및 특징은 Table 2와 같다.

Table 2. The objective and feature of managing near miss

	US	France	Korea*
Objective	To improve operational performance and NPP safety as all deficiencies and equipment failures are managed within CAP	Observation of precursors that may result in serious consequences and performing corrective actions to predict and prevent accidents	To improve NPP safety by preventing the accidents and similar events as the cause of event by human action is analyzed and corrective actions are recommended
feature	Integrative management by CAP	"long" loop analysis by human factors consultants	Focus to human actions

(*The objective of K-HPES including near miss)

4. 국내 사고근접사례 관리 현황 분석

2001년 "원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙" 제57조에 의거하여 관리된 사고근접사례는 서론에서 언급한 바와 같이 적절히 관리되지 않고 있는 것으로 판단된다. 본 절에서는 사고근접사례 관리를 위해 IAEA가 권고하고 있는 항목 및 체계를 활용하여 그 원인을 파악하였다(Fig. 5 참조). 그 결과 필수관리사항, 사건 확인 및 보고를 위한 기준 수립(사건 선별 포함), 직원

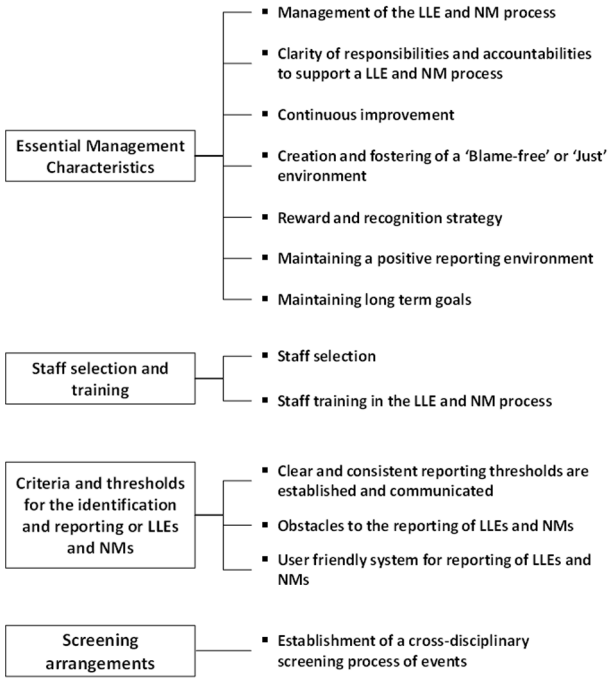

Fig. 5. Recommendations for near miss process from IAEA[2].

구성 및 교육 측면에서 취약점을 발견할 수 있었다.

필수관리사항과 관련하여, IAEA는 발전사업자가 사고근접사례 관리 체계의 장기적 이익을 인지할 수 있도록 장기목표를 설정하고 유지할 것과 보고문턱을 낮추는 수단으로서 보상 체계를 권고하고 있다. 그러나 한수원에서 관리하는 사고근접사례의 우선순위는 시행 초기 대비 낮아졌다. 이는 발전소별로 운영개선프로그램의 CAP 통지 발행건수의 증대에 주력한 결과, 상대적으로 사고근접사례 관리의 우선순위가 낮아졌기 때문이다. 일례로 2008년~2011년 동안 10개 발전소의 발전소당 연평균 CAP 통지 건수는 약 3,000건 → 약 6,000건 → 약 9,000건 → 약 15,000건으로 증가하였다(그림 6 참조).

발행된 CAP 통지 처리에 소요되는 인력 역시 비례하여 증가하게 되고 그에 따라 CAP 통지 발행과 조치

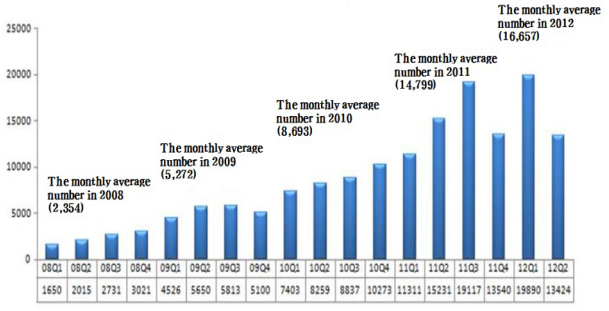

Fig. 6. The monthly average number of CAP notifications[14].

에 인력이 투입된 것으로 추정된다. 이로 인해 더 이상 사업소 평가 항목에 포함되지 않아 상대적으로 우선순위가 낮아진 사고근접사례 보고 건수는 전무한 상태에 이르렀다고 판단된다.

사건확인 및 보고를 위한 기준 수립과 관련하여, IAEA는 명확하고 일관성 있는 보고기준을 수립하고, 사건 보고시 장애를 고려해야 하며, 사용자 친화적 시스템을 구축할 것을 권고하고 있다. 이에 반해, 현재 한수원에서 운영중인 K-HPES에서는 사고근접사례를 유발하는 요인의 범위가 제한되어 있다. 3.4절에서 언급한 바와 같이 한수원의 원전인적행위개선관리 표준절차서(표준운영-2035B)에는 사고근접 사례를 “실제로 어떤 의도하지 않은 결과가 발생하지는 않았으나, 부적절한 인적행위가 포함된 사례 또는 인적실수 유발이 가능한 사례”로 정의하고 있다[13]. 이와 같은 정의는 Near Miss가 인적행위라는 조건에 한정되어 있으며, 인적 요인 이외에 기술적 또는 조직적 요인에 의해 야기될 수 있다는 점이 간과된 것이라 할 수 있다. 따라서 Near Miss의 발생 요인에 기술적, 조직적 요인이 포함되어야할 필요가 있다.

더불어 Near Miss 관리 규정상 상호 연계된 항목에 대한 관계 설정이 미비하다. 현재 Near Miss는 ‘원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙’의 제57조 ‘인적요소의 관리’ 외에도 한수원의 표준 절차인 원전인적행위개선관리(표준운영-2035B, K-HPES) 및 운영개선프로그램(표준운영-2036, CAP)에 따라 관리되고 있다. 운영개선프로그램에서 사고근접사례는 중요도 2등급으로 분류되며 발전소 안전성 및 신뢰성에 영향을 미치는 사건을 의미한다[15]. 그러나 원전인적행위개선관리 표준절차에서 사고근접사례는 의도하지 않은 결과가 발생하지 않은 사례를 의미한다. 즉, CAP내 사고근접사례의 정의는 K-HPES의 그것과는 다른 의미를 내포하고 있어 규정간 상호 연계 관계에 대한 재설정이 필요하다.

또한, 사고근접사례가 그 중요도에 비해 지나치게 상세한 분석 도구를 사용하고 있다. 발전소별 아차사례 경진대회가 개최되고 사고근접사례 보고 건수가 사업소 평가항목에 포함되었던 2000년대 초기에는 연평균 100건 이상의 Near Miss가 보고되었다. 그러나 2000년대 중반에 이르러 1페이지 요약으로 관리되던 사고근접사례는 사업소 평가항목에서 제외되고 K-HPES체계 내에 포함되었다. 그 결과 인적실수 사례와 유사한 상세분석이 요구되면서 보고에 이전보다 많은 자원이 소요되었다(Table 3 참조). 이는 보고자 뿐만 아니라 사고근접사례 분석 담당자의 작업량을 증가시켰다. 따라서 사건의 중요도가 낮은 사고근접사례의 경우 분석 및 보고 방법의 개선이 필요하다고 판단된다.

Table 3. The contents of near miss report[13]

1. The overview of event
2. Event details and tracking root cause
3. Categorizing the cause in detail and drawing corrective actions
4. Implementation plan of corrective actions
5. E&CF chart
6. Categorizing the cause element
7. Attachment
8. Implementation result of corrective actions (Addition automatically according to the status of implementing corrective actions)
9. Use of examples from other NPPs (Addition automatically according to the use of examples from other NPPs)

직원구성 및 훈련과 관련하여 IAEA는 사고근접사례의 관리를 위해 자격이 있는 직원을 임명하고 담당자에 대한 교육을 강조한다. 그에 비해, 한수원 내에서 인적오류의 원인을 분석하는 K-HPES 담당자는 빈번히 교체되고 있는 실정이다. K-HPES 담당자로는 원전 근무 경험이나 역량이 있는 안전팀 내 조사파트 차장이 배정되었는데 2012년 고리 1호기 발전소 정지 은폐 사건으로 인한 부정 및 비리 방지 차원에서 장기 근속자 강제 순환이 실시되면서 조사파트 차장이 자주 교체되었다. 더불어 2013년 한울 5호기 증기발생기 고수위에 의한 원자로 정지 후 재가동 승인 과정에서 원자력안전위원회가 조치 요구한 '인적오류 방지 관련 시스템 유효성 평가'이행에 따라 K-HPES 담당부서 및 업무가 안전팀 조사파트에서 운영실 교육훈련파트로 이관되었다. 그 결과 10여년 전부터 Near Miss가 관리되기 시작했음에도 불구하고 K-HPES는 관련 실무 경험이 부족한 담당자가 업무를 맡고 있으며 전문가가 배출되기 어려운 구조로 운영되고 있다.

5. 원전 사건의 보고 활성화 방안

원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 제 57조는 원자력 발전소 운영에 있어 인적 오류를 낮출 수 있도록 인적 요소에 의한 사고근접사례를 설비 및 절차서에 반영할 것을 명시하고 있다. 단, 이를 위한 세부적 시행방안 또는 조치는 발전소 운영자가 결정할 영역이다. 그럼에도 불구하고, 발전 사업자가 아닌 3자의 관점에서 사고근접사례 관리 품질을 향상을 위한 제안 역시 필요할 것으로 판단된다. 이를 위해 4장에서 분석한 결과들을 기반으로 2장에서 언급한 인적, 기술적, 조직적 측면을 고려한 사고근접사례 관리 활성화 방안을 제안하였다.

5.1 Human(종사자) 측면

원전 종사자에게 사고근접사례는 자신의 역량이 부족하여 발생한 인적오류를 공개적으로 시인하는 것으로 인식되어 있었다. 즉, 사고근접사례를 대하는 조직과 개인의 인식이 왜곡되어 있었으며, 또 사례를 관리하는 담당자는 대부분 저경력자로 전문성이나 관리 역량이 부족한 상태이다. 따라서 종사자 측면에서는 사고근접사례 관리 담당자의 역량을 배양할 수 있는 교육 · 훈련 및 조직 구성원들의 자발적 보고를 이끌어내는 분위기를 조성하는 것이 필요하다.

5.1.1 사고근접사례 관리담당자의 전문성 확보/배양

담당자의 인간공학 전문성이 확보되고 배양되어야 한다. 단순한 보고 · 분석 · 활용 실적의 수치적 관리에 국한되지 않고 목적에 부합하는 업무를 수행하기 위해서는 담당자의 전문 역량이 필수적이기 때문이다. 구체적으로 사고근접사례의 분석 및 활용은 전체 운전경험 활용 맥락에서의 전문화를 요구하므로 이에 상응하는 조치가 요구된다.

5.1.2 종사자의 자발적 보고 실천

발전소 종사자 개개인은 사고근접사례의 보고가 안전성 향상에 기여함을 인식하고 자발적으로 이를 이행하여야 한다. 일반적으로 종사자가 보고를 기피하는 데는 여러 가지 원인이 있으나 핵심적인 이유는 업무 증가에 대한 우려이다. 그러나 종사자 개개인은 발전소 안전성 향상과 동료의 안전을 확보함에 있어 스스로의 역할이 매우 중요하다는 인식을 가져야 한다.

5.2 Technology(기술) 측면

사고근접사례는 K-HPES 내에서 분석,관리되고 있다. 이는 사건의 심각성 관점에서 불필요한 수준까지 분석이 요구되어 관리시스템이 부적절한 상태이다. 또한 보고의 익명성이나 용이성이 고려되지 않은 상태로 관리되고 있다. 따라서 기술적 측면에서는 관리하는 사건들을 선별할 수 있도록 명확하고 일관성있는 보고기준을 수립하고 익명성을 유지하는 등의 바람직한 보고문화를 수립하는 것이 필요하다.

5.2.1 K-HPES에서 사고근접사례 분석을 분리

K-HPES에서 분리된 별도의 사고근접사례 분석 및 전파 도구가 필요하다. K-HPES를 이용하여 사고근접사례를 분석하는 것은 불필요한 수준의 상세 분석이 불가피하기 때문이다. 또한, 사고에 이르지 않도록 성공적으로 대처할 수 있었는지를 파악할 수 있게 하고 사례들을 거시적으로 분석할 수 있는 도구가 개발되어야 한다.

5.2.2 보고자의 익명성 보장

사고근접사례의 보고 및 조치가 다른 시스템(예. 운영개선프로그램 등)을 이용할 경우에도 보고자의 익명성은 보장되어야 한다. 현재 비공개 통지 발행기능이 종사자 안전건의제도(Employee Concerns Program, ECP) 운영을 위해 허용되고 있으며 K-HPES 이외의 시스템에서 사고근접사례를 분석할 경우 동일한 방식이 적용되어야 할 것이다.

5.3 Organization(조직) 측면

대부분의 원전 관리자와 직원은 사고근접사례에 대한 개념이나 이해가 부족한 상태이다. 이는 개념적 오해와 교육 부족이 원인으로 꼽을 수 있다. 또 사례관리의 중요성이 인식되어 보고가 장려되는 문화가 정착되지 않은 상태이며, 보고 절차와 분석방법 등의 제도에 있어 개선의 여지를 보인다. 특히 사고근접사례의 특성을 고려하여 원전에서 운영되는 다른 프로그램(예, CAP)과의 연계관리와 활용이 필요하지만 독립적으로 운영되고 있다. 특히 보고대상 사건 등과의 운전경험 연계가 바람직하다. 사례보고 제도와 관련한 보상 시스템도 현재는 거의 없는 상태이다. 따라서 조직적 측면에서는 공정하고 비난없는 조직문화 조성 및 촉진, 사고근접사례 개념 재정립을 위한 명확하고 일관성있는 보고기준 수립 및 직원 교육, 절차 개정을 통한 사건보고의 장애 제거, 유사 시스템과의 통합 관리를 통한 사용자 친화적 시스템 구축, 보상을 인정하는 시스템 전략 수립 등이 필요하다.

5.3.1 사고근접사례 보고문화 구축

사고근접사례의 보고가 원활하게 이루어지기 위해서 관리자는 보고자에 대한 비난을 금지하고 적극적으로 보고를 독려해야 한다. 현재 대부분의 관리자들에 있어 사고근접사례에 대한 개념 및 효용에 대한 이해가 부족한 상태로 간주된다. 따라서 관리자 교육을 통해 바람직한 보고문화를 구출할 수 있어야 하며 관리자들은 사고근접사례 보고시 책임자 확인보다 사건이 발생한 원인에 초점을 맞추어야 한다. 이를 통해 공정문화(Just Culture) 관점에서 비난이나 불이익의 여지가 없음을 발전소 종사자들에게 보여주어야 한다. 또한 경영진도 안전관련 정보 보고 및 조치가 선순환될 수 있는 문화가 정착되도록 노력해야 한다.

5.3.2 사고근접사례 개념 재정립 및 직원 교육

사고근접사례 보고 및 분석의 가장 심각한 장애물은

사례를 바라보는 인식에 있다. 사고근접사례를 인적 오류로 간주하고 K-HPES라는 도구로 심층 분석해야 할 대상으로 인식하기 때문이다. 그러나 이는 인적, 기술적, 조직적 요인에 의해 발생하고 적절한 복구 조치에 의해 의도하지 않은 결과를 방지한 사건으로 개념이 재정립되어야 하고 전 종사자들에게 공유되어야 한다. 즉, 사고근접사례가 무엇인지, 왜 관리하려 하는지, 지금까지와 다른 접근이 필요한 이유는 무엇인지, 관리자는 어떻게 행동할 것인지, 보고자의 자발적 참여가 왜 중요한지 등 개념과 제도 전반에 걸친 교육이 필요하다.

5.3.3 절차와 제도 개정

보고자가 손쉽게 본인의 경험이나 관찰 결과를 등록할 수 있도록 사고근접사례의 보고 절차가 간소화되어야 한다. 현재와 같이 복잡하고 세부적인 내용을 요구한다면 보고 자체를 방해하는 요인이 되기 때문이다. 또한 등록된 사례는 보고자가 아닌 제 3자가 심층적으로 분석하여 개선사항을 도출하는 것이 적절할 것으로 판단된다. 관련하여 사고근접사례를 기술한 표준절차서(표준운영-2036 운영개선프로그램, 표준운영-2035B 원전인적행위개선관리)는 이를 반영하여 개정되어야 한다.

5.3.4 운영개선프로그램과의 통합 관리

사고근접사례의 관리를 새로이 시도할 경우 운영개선프로그램과 통합하여 운영방안을 수립하는 것이 바람직하다. 운영개선프로그램을 전 원전에 전면 도입한 2008년 이후 인적수행도 및 발전소 운영성과 개선을 위해 적용한 제도(예. 인적오류예방기법 적용, 관리자 관찰, Pre Job Briefing, Post Job Check, 안전문화 진단 및 개선 등)는 종사자들의 업무 부담을 가중시켰다. 이로 인해 특정 활동의 비중이 커지는 만큼 다른 활동이 위축되는 현상이 나타났다. 때문에 사고근접사례의 보고 및 분석이 새롭게 정착되기 위해서는 기존 활동과 융화되어야 한다.

5.3.5 원전 사건의 연계성 관리

사고근접사례는 상위 등급의 사건(보고대상 사건 포함)이나 운전경험과 서로 연계성을 지닌다. 때문에 개별 사건 분석과 경험반영 활동이 분리된 상태로 운영되지 않도록 연계하여 관리되어야 한다. 우선, 사업자 자체적으로 관리하는 기기고장 보고서, 운전경험 보고서 등과의 연계성을 유지하려는 관리방안이 수립되어야 한다. 2014년 한수원이 개발한 사건재발방지대책 관리시스템에는 보고대상 사건이 등록되는데 점차적으로 사고근접사례와 연계되는 운전경험 정보를 포함시킬 필요가 있다.

5.3.6 보상을 제공하는 전략 수립

보상의 첫 단계는 보고된 사고근접사례가 적절하게 활용되고 있음을 보여주는 것이다. 이를 통해 보고자는 의미있는 활동에 참여한다는 인식을 갖게되어 매우 중요하다. 종사자들로 하여금 사고근접사례 보고에 동기부여가 될 수 있도록 보상을 제공하는 것이 바람직하다. 보고 대상자 이외에 보고자가 포함된 조직 단위로 보상을 제공한다면 5.3.1절에서 언급한 조직문화 달성에도 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

6. 결론 및 고찰

원자력시설의 사건 중 등급에 포함되지 않는 0등급 미만의 사건은 실제 발생하지 않았거나 발생했더라도 그 손실이 미약하기 때문에 효과적으로 관리되지 않기도 한다. 그러나 중대한 사고는 우연히 발생되는 것이 아니며 그 이전에 사고의 전조 역할을 하는 수많은 경미한 사건들이 반복되는 과정에 의해 발생되기 때문에 등급 외 사건이라도 체계적으로 관리할 필요가 있다.

본 연구에서는 IAEA, 프랑스, 한국의 사고근접사례 관리 체계를 파악하였고 한국의 경우 관리 현황까지도 파악하였다. 원전 사업자는 사고근접사례가 인적요인 외 기술적, 조직적 요인에 의해 야기될 수 있음을 간과하고 있으며 분석에 적합하지 않은 도구를 사용하고 있었다. 더불어 CAP과 K-HPES간 사고근접사례의 의미에 있어서 일관성이 부족함을 파악할 수 있었다.

인적, 기술적, 조직적 측면에서 사고근접사례 관리 프로세스를 활성화하기 위해 다음과 같은 방안들이 제시되었다. 첫째, 종사자(Human) 측면에서 사례를 바라보는 인식의 전환이 필요하다. 관리자는 전문 역량을 배양하여 실적관리가 아닌 수행 목적을 달성토록 노력해야 한다. 보고자의 경우 시설과 개인의 안전성 개선에 기여하겠다는 인식 전환이 필요하다. 둘째, 기술적(Technology) 측면에서 사고근접사례 관리 성격에 부합하는 도구를 갖추고 익명성 보장을 포함한 보고자 관점을 수용하여 시스템을 개선해야 한다. 마지막으로 조직(Organization) 측면에서 사고근접사례 관리 활성화의 기반이 구축되어야 한다. 관리자의 사고근접사례에 대한 수용적 태도 교육, 재정립된 사고근접사례 개념의 직원 교육, 절차와 제도 정비, 사고근접사례 관리 활동과 기존 업무(예. 운영개선프로그램)과의 통합 및

연계 운영방안 수립 등이 필요하다. 이와 함께 사고근접사례가 원자력 발전소와 동료의 안전을 향상시킬 수 있는 적절한 도구라는 인식과 문화가 조성되어야 한다.

감사의 글: 이 논문은 원자력안전위원회 재원으로 한국원자력안전재단의 지원을 받은 원자력안전연구사업의 일환으로(과제고유번호: 1403004-0114-SB110) 수행한 결과입니다.

References

1) J. Reasons, “Managing the Risks of Organizational Accidents”, Ashgate, 1997.
2) IAEA, “Low Level Event and Near Miss Process for Nuclear Power Plants: Best Practices”, IAEA Safety Reports Series No. 73, 2012.
3) IAEA, “Human Performance Improvement in Organizations: Potential Application for the Nuclear Industry”, IAEA-TECDOC-1479, 2005.
4) Korea Hydraulic Nuclear Power, “Yearly Trend Analysis Report for K-HPES”, 2008-2014.
5) Korea Hydraulic Nuclear Power, “Yearly Trend Analysis Report for CAP”, 2008-2014.
6) T. van der Schaaf, “Near Miss Reporting in the Chemical Process Industry: An Overview”, Microelectronics Reliability, Vol. 35, pp. 1233-1243, 1995.
7) L. Kanse, T. van der Schaaf, and H. van Mirelo, “Comparing Two Approaches to Failure Recovery: Medication Preparation versus Chemical Plants”, Proceedings of the European Association of Cognitive Ergonomics, pp. 175-181, 2005.
8) IAEA, “Trending of Low Level Events and Near Misses to Enhance Safety Performance in Nuclear Power Plants”, IAEA-TECDOC-1477, 2005.
9) IAEA, “Best Practices in Identifying, Reporting and Screening Operating Experience at Nuclear Power Plants”, IAEA-TECDOC-1581, 2008.
10) Korean Nuclear Society, “Fukushima Nuclear Power Plant Accident Analysis”, Final Report, 2013.
11) V. Bringaud, S. Pierlot, and P. Laine, “Communication: Design and Implementation of a “Weak Signal” Approach at a Nuclear Power Plant”, 16th Conference on Risk Management Dependability, 2008.
12) S. Pierlot, G. Saliou, and P. Laine, “Weak Signals for Improving Safety in the Nuclear Safety”, Organizations, Near Misses, Alarms and Early Warnings, 2009.
13) Korea Hydraulic Nuclear Power, “Korea Version of Human Performance Enhancement System”, Standard Operation-2035B, Rev.0, 2012.
14) Korea Hydraulic Nuclear Power, “Quarterly Operation Status Report for CAP, 2008 1st Quarter～2012 4th Quarter”, 2008-2012.
15) Korea Hydraulic Nuclear Power, “Corrective Action Program”, Standard Operation-2036, Rev.1, 2012.