

A Revisit to the Recent Human Error Events in Nuclear Power Plants Focused to the Organizational and Safety Culture

Yong-Hee Lee

I&C and Human Factors Division, Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI),
1042 Daedeok-Daero, Yuseong-Gu, DaeJeon, 305-353

ABSTRACT

Objective: This paper presents additional considerations related to organization and safety culture extracted from recent human error incidents in Korea, such as station blackout(i.e., SBO) in Kori#1. **Background:** Safety culture has been already highlighted as a major cause of human errors after 1986 Chernobyl accident. After Fukushima accident in Japan, the public acceptance for nuclear energy has taken its toll. Organizational characteristics and culture became elucidated as a major contributor again. Therefore many nuclear countries are re-evaluating their safety culture, and discussing any preparedness and its improvement. On top of that, there was an SBO in 2012 in the Kori#1. Korean public feels frustrated due to the similar human errors causing to a catastrophe like Fukushima accident. **Method:** This paper reassesses Japan's incidents, and revisits Korea's recent incidents. It focuses on the analysis of the hazards rather than the causes of human errors, the derivation of countermeasures, and their implementation. The preceding incidents and conclusions from Japanese experience are also re-analyzed. The Fukushima accident was an SBO due to the natural disaster such as earthquakes and a successive tsunami. Unlike the Fukushima accident, the Kori#1 incident itself was simple and restored without any loss and radioactive release. However, the fact that the incident was deliberately concealed led to massive distrust. Moreover, the continued violation of rules and organized concealment of the accident are serious signs of a new distorted type of human errors, blatantly revealing the cultural and fundamental weakness of the current organization. **Result:** We should learn from Japanese experiences who had taken pride in its safety technology and fairly high confidence in safety culture. Japan's first criticality accident in JCO facility splashed cold water on that confidence. It has turned out to be a typical case revealing the problems in the organization and safety culture. Since Japan has failed to gain lessons and countermeasure, the issue persists to the Fukushima incident. **Conclusion:** Safety culture is not a specific independent element, which makes it difficult to either evaluate it properly or establish countermeasures from the lessons. It may continue to expose similar human errors such as concealment of incident and manipulation of bad data. **Application:** Not only will this work establish the course of research for organization and safety culture, but this work will also contribute to the revitalization of Korea's nuclear industry from the disappointment after the export contract to UAE.

Keywords: Organizational factor, Safety culture, Kori #1, Human error, Station black-out, Nuclear power plants

Corresponding Author: Yong-Hee Lee. I&C and Human Factors Division, Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI), 1042 Daedeok-Daero, Yuseong-Gu, DaeJeon, 305-353.

Phone: +82-42-868-2941, E-mail: yhlee@kaeri.re.kr

Copyright©2013 by Ergonomics Society of Korea(pISSN:1229-1684 eISSN:2093-8462). All right reserved.

©This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. <http://www.esk.or.kr>

1. A Brief Background for the Safety Culture Issue in NPPs

시스템의 발전 과정에서 대형 복합(large-complex) 시스템은 수많은 혜택을 주었지만, 그 혜택만큼이나 큰 위험을 내포하고 있다. 타이타닉 여객선 사고 이후 20세기에는 수많은 대형시스템 사고로 인류의 기술적 자부심에 상처를 입었으며, 그 중에서도 원자력 분야의 사례가 두드러진다. 원자력 분야에서는 1979년 TMI 원전과 1986년 체르노빌 원전 사고로 세계를 충격에 빠뜨린 경험이 있고, 이는 후쿠시마 원전 사고로 21세기에도 다시 반복되고 있다.

그런데 이러한 대표적 사건을 인재로 보고 새로운 기술적 도전과제로 삼아온 관행은 인간공학의 기술 발전 촉진에 기여한 바가 크다. TMI 사고는 인터페이스의 문제로 인한 인적오류로 인식한 결과, 종사자에게 적절한 정보를 제공하고 최적의 표시방법을 통해 첨단 인터페이스를 제공하는 인간공학 기술의 획기적인 발전을 달성했다. 이는 전산기 및 첨단 전자 기술의 발전과 결합하여 이때까지 자동차 및 항공 우주 분야를 통해 발전해오던 작업환경 및 설비에 대해 전 산업에서 획기적인 발전을 달성하는데 기여했다. 이어진 체르노빌 사고는 같은 인적오류이지만 조직과 문화적 문제로 인해 발생한 것임을 새롭게 인식하여, 인간공학의 새로운 과제로 안전문화(safety culture)를 부각하였다.

그러나 이후 원전에서 발생한 인적오류의 70%가 조직적 문제라는 통계가 계속되고 있었으며, 결정적으로 2011년 후쿠시마 사고를 통해서 체르노빌 사고의 교훈에서 도출된 과제가 아직 기술적으로 미결 상태임이 드러났다(Figure 1). 이는 후쿠시마 사고에 연이어 발생한 원전사건으로 대중수용도(public acceptance)가 심각하게 악화된 상황에서 안전문화 문제가 국내 원자력계에 큰 과제로 부각되고 있어, 일본의 인적오류 사고 경험을 통해 해결방안을 모색하였다. 일본은 자체 분석에서 후쿠시마 사고를 "Made-in-Japan"이라고 설명하면서, 고유한 조직 및 문화적 특성이 사고의 확산에 결정적인 요소로 작용했음을 자인하였다.

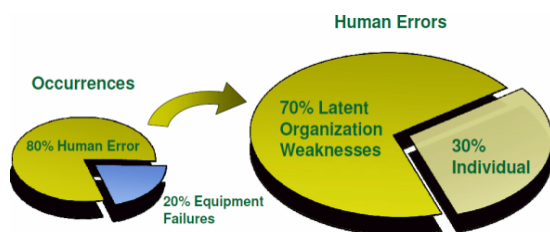


Figure 1. Composition of human error hazards in trip events

이러한 분석 결과는 안전문화의 중요성을 새롭게 불러일으켜 전세계 원자력 국가들이 안전문화에 대한 재평가 및 조직 및 문화적 결함으로 인해 발생할 수 있는 인적오류에 대해 포착 및 대응방안 마련에 부심하게 하였다. 또 안전에 관한 우월감을 가지고 있던 일본이 근본적인 반성에 나서게 되었다.

그러나 조직 및 문화적 요소를 의미하는 안전문화는 그 정의(definition)부터 불확실하여, 안전성 확보 여부는 물론 문제점 포착이나 개선대책 마련이 추상적인 수준에 머물러 있어서 기술적인 접근이 어려운 상황이다. 본 논문은 안전문화와 관련된 일본의 원자력 사고 경험을 추적하여, 국내 고리 1호기 전원상실(SBO: Station Black-Out) 사건과 비교하였다. 특히 인적오류 분석 및 대응방안 도출 과정에서 안전문화를 보다 효과적으로 다룰 수 있는 방안을 검토하였다.

2. Revisit to the Human Error Cases in Korea

원전은 고신뢰도의 기기, 설계 및 운영을 따르기 때문에 사고의 발생 빈도가 매우 낮다. 이러한 희귀 사고(rare event) 특성은 발생한 사례로부터 문제점의 상대적 빈도를 파악하거나 우선적 개선사항을 결정하는 일반적인 분석기법을 적용하기가 근본적으로 어렵다. 따라서 본 논문에서는 국내에서 발생한 몇 가지 사건에서 인적오류의 특성을 도출하였다. 분석 대상은 일반에 공개된 운전정보(OPIS)에서 인적요소와 관련하여 발생한 것으로 명시된 것이다. 이는 1996년 수행된 Lee(1996) 등의 선행 연구와 달리 인적오류 여부 및 원인에 대한 독자적 판단을 적용하지 않았으며, 원인이 아니라 각 사례의 고유한 특성에 따른 위험요소를 파악하는 재분석 과정을 거쳤다.

2.1 Station black-out and its concealment in Kori #1

고리 1호기에서 계획된 정비작업의 한 가지 항목인 전원 장치의 시험 과정에서 시험작업자의 인적오류가 발생하였다(Figure 2). 고리 1호기 원전은 국내 최초의 원전이자 설계 수명을 넘어 2008년에 계속 운영을 허가를 받아 운전하고 있었다. 시험을 맡은 협력회사 직원의 단순한 시험오류에서 시작된 기능적인 실패였지만, 오류의 배경에 관리적 문제가 내포되어 있다. 특히 단순한 시험오류가 전원상실로 확산되었으며, 전원상실 상태를 해결하기 위한 후속조치에서 몇 가지 위반 및 은폐 등 다른 왜곡된 유형의 오류로 파급되었다. 단순실수가 전체 시스템 상황에 따라 중대한 사건으로 변화

되는 과정을 보여주는 전형적인 사례로 분석된다.

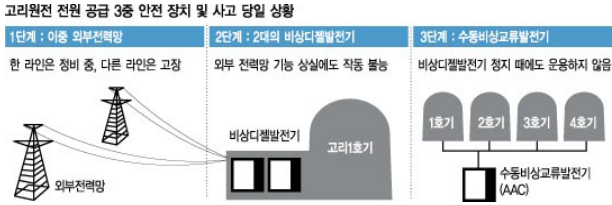


Figure 2. A Brief on Kori #1 SBO event

이 사건에서 단순한 실수가 사회적 현안으로 급격히 비화 된 것은 사건의 발생을 보고하지 않고 내부적으로 목살한 기간이 상당한 기간 동안 지속되었다가 나중에 밝혀졌다는 점 때문이었다. 특히 후쿠시마 사태 이후에 최고의 관심을 받고 있는 원전의 전원상실(SBO: Station Black-Out) 사건이었다는 점에서 매우 큰 우려를 불러일으켰다(Figure 3). 또 설계수명 30년을 넘어 국내 최초로 10년간의 계속 운영을 허가 받음으로써, 후쿠시마와 유사한 노후화 원전의 대표격이었다는 점이 주목되었다. 따라서 비교적 단순한 종사자의 조작실수 유형의 인적오류가 조직 내외의 다른 관리적 결함 때문에 그 중요도가 급격히 확대되는 것을 보여주는 전형적인 사례일 뿐만 아니라, 상황에 따른 중요도의 급격한 변화 및 이어지는 위반, 조작, 은폐 등을 일으킨 전형적인 파급형 인적오류의 사례로 분석된다.

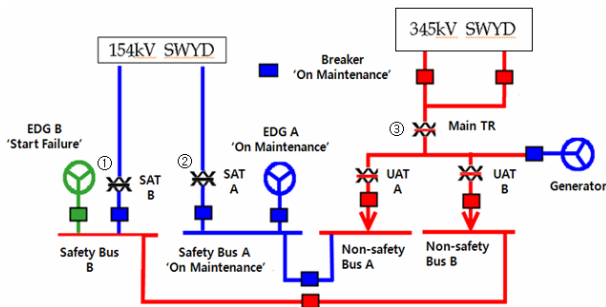


Figure 3. A scheme for Kori#1 station black-out event

2.2 A safety injection occurred in Shin-Kori #1

원전에서 예기치 않은 기기의 조합이 발생하여 사고와 비상시를 위해 준비해놓은 안전기능을 작동하는 인적오류 사건이 발생하였다. 장시간에 걸쳐 다양하게 벌어진 현장 및 제어실의 시험작업 과정에서 기기들의 조합이 예기치 않게 원자로 건물 살수 상태로 진행함으로써 불가피하게 안전기

능을 작동한 사건이다(Figure 4).

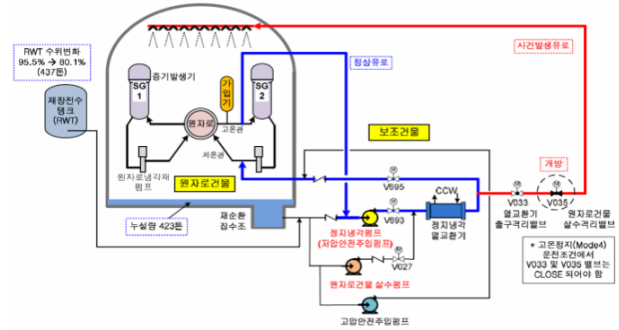


Figure 4. Overview of safety injection event in Shin-Kori #1

안전주입 및 백색비상 등의 모든 조치는 적절했지만, 전혀 예상치 않은 불필요한 조작이 필요했다는 점에서 새로운 인적오류로 파악된다. Figure 5에서 보는 바와 같이 그 배경에는 설계 변경의 파급, 몇 번의 교대근무 과정에서의 사소한 간과, 시험자의 확인 누락, 종사자의 파악능력, 훈련 등 다양한 요소들이 상당히 긴 시간에 걸쳐 결합되어 발생한 사건임을 알 수 있다. 특히 해당 원전(신고리 1호기)은 국내에서 자립된 설계건설 기술의 최종 단계를 실증한 것이므로, 이러한 관리적 요소들의 결합이 구조적으로 작용한 체계적 오류의 특성을 보였기 때문에 시사하는 바가 크다.

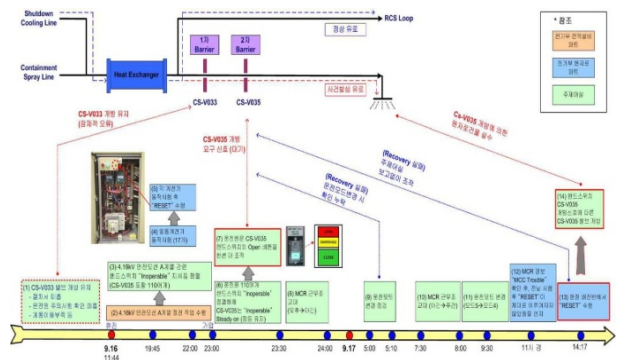


Figure 5. A schematic diagram of safety injection event

2.3 A human error due to the digital technology

국내 원전은 발전소의 2차측 핵심 기기인 터빈 조속기와 관련된 다수의 기기를 디지털화하면서 제어반을 획기적으로 간소화하였다. 기존 원전의 계측제어 계통에 PC급 컴퓨터 기반의 디지털 기기를 활용함으로써, 30~50가지 이상의 감

시 및 제어기능을 통합 관리하도록 설계를 개선한 것이다.

그러나 컴퓨터 기기에서 드물지 않은 비정상적인 표시 또는 고착의 문제, 신호전송에서 발생하는 통신오류, 사용자의 습관적인 reset 조작, S/W 설계상의 설정치 불확실 등의 문제로 인해, 불시정지가 유발되었다.

이 사례는 운전원이 디지털 기기를 활용하여 실제 상태를 판단하는 과정에서 일어날 수 있는 상황을 잘 보여주었다. 또 종사자가 인적오류를 피하기 위해 관련 기술부서와 상당히 적극적인 협의를 거쳤음에도 불구하고 초기 설정치와 현재 운전 상황의 불일치와 같은 사소한 문제까지 고려할 수 없었다는 점에서 디지털화의 인적오류 위험성이 어떤 영역으로 변화되는가를 보여주는 사례다.

3. Experience of Safety Culture Event in Japan

3.1 Safety culture accidents prior to Fukushima in Japan

1986년 체르노빌 원전 사고는 설계개념의 결함은 물론 종사자의 원자력 위험에 대한 근본적인 무지 등이 지적되면서 구 소련의 기술적 자존심을 무너뜨린 사건이었다. 이로써 인적오류가 보다 근본적으로 조직 및 문화적 배경에서도 발생할 수 있음을 인식하는 계기가 되었다. 따라서 IAEA는 INSAG 활동을 통해 안전문화(safety culture)라는 과제를 정의하고 전세계적인 안전문화 평가를 주도했는데, 이러한 활동의 배경에는 당시 IAEA를 주도하던 일본의 의견이 크게 작용하였다. 산업안전의 전반에 걸쳐 기술적 자부심을 가지고 있는 일본은 원자력의 안전문화에 관한 우월적 자신감을 드러내고 있었다.

하지만 이러한 자신감은 1999년 JCO 핵연료 가공공장에서 일본 최초의 임계 사고가 발생하면서 주민들을 소개하는 등 사회적으로 큰 타격을 입었다. 특히 사고의 원인이 근본적으로 조직 및 문화적 문제라는 것이 밝혀지면서 의심을 받게 되었다. 그런데도 JCO 사고 이후에도 조직 및 문화 관련 문제가 해결되지 않고, 몬주로 화재 사고와 동경전력의 거듭된 허위 보고 및 은폐 등으로 문제가 계속 잠복되었다가, 2011년 후쿠시마 사고를 통해 드러남으로써 원자력에 대한 근본적인 불신에 봉착하게 된 셈이다.

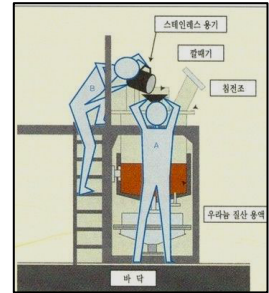
원자력 분야에서는 대부분의 사고를 근본적으로 인적오류로 보는 관점을 유지하고 있을 뿐만 아니라, 체르노빌 이후에는 그 원인이 조직적 문제까지 확대하고 있다. 그럼에도 불구하고 일본은 체르노빌 사고에서 제기된 안전문화 문제를 JCO 사고를 통해서 직접 겪었음에도, 이후 조직 및 문화적 문제를 반복하면서도 후쿠시마 사고에 이르기까지 적절

한 대응방안을 확립하지 못하고 있었다.

3.2 A revisit to the JCO criticality accidents in Japan

1) JCO 사고의 원인과 대응

JCO 사고는 작업자가 임계가 발생하지 않도록 정해진 규칙을 위반하면서 과도한 양의 우라늄을 처리하려고 했기 때문에 발생한 것으로, 단순한 작업자 위반(violation) 유형의 인적오류 사고로 해석되었다(일본원자력 안전위원회보고서 기준). 또 이어지는 비상대응 과정에서도 일



부 실수가 추가로 지적되었다. 그 결과 피폭된 종사자를 포함한 JCO 직원 6명에 대한 벌금형 및 형사처벌로 이어졌으며, 후속조치로는 사고 후의 문제를 중심으로 방사선 사고에 대한 일본 정부의 비상대응 계획을 보완하는 것이 고착이었다.

그러나 작업자가 그런 치명적인 위반을 저지르게 된 이유에 대한 의문이 제기되어, 공정 및 절차의 무단 변경과 위반을 지속해온 관행은 물론 임계의 위험에 대한 종사자의 무지와, 적절한 위험지식을 제공하지 못한 관리가 직접적인 원인으로 지적되었다. 또 그런 원인의 배경에는 JCO 경영자, 주문을 주도한 PNC 및 원자력 규제 당국의 전문가적 과신과 잘못된 판단이 있으며, 이들은 모두가 일본의 고유한 조직 및 문화적 특성으로 인해 문제점으로 작용한 것으로 지적되었다.

Figure 6은 JCO 사고에 대한 최초의 공식 보고서 원인분석 결과에, 이외에도 언론과 논문 등 15가지 국내외 문헌에서 제기된 원인 및 영향요소들을 사건 발생 전후로 나누고 관련 주체들을 구분하여 구조적으로 재구성한 것이다.

우선 의도치 않은 임계를 야기한 작업자의 위반작업은 작업자 개인이 알려진 위험을 무시한 위반 행위가 아니었다. 작업자들은 임계 위험에 대해서 전혀 알지 못했을 뿐만 아니라, 그런 위험 상황이 발생할 수 있는 잘못된 공정 및 절차가 있었다. 잘못된 공정 및 절차는 JCO에 의해 이미 사고 5년 전에 임의 변경되었다.

따라서 종사자에 대한 교육훈련 부적절, 형상관리 부재 등의 조직적 결함을 넘어, JCO 운영의 결함과 이를 지속한 관행이 진정한 원인이다. 나아가 JCO의 운영에 근본적인 결함이 생기고 사고가 발생할 때까지 지속된 것은, 영리기업인 JCO의 운영에 걸맞지 않는 핵연료공단(PNC)의 무리한 주문(고농도의 균질화된 액상 우라늄)과 상업조직과 유착된 일본 규제기관의 부적절한 승인체계 및 승인 후에는 책임은

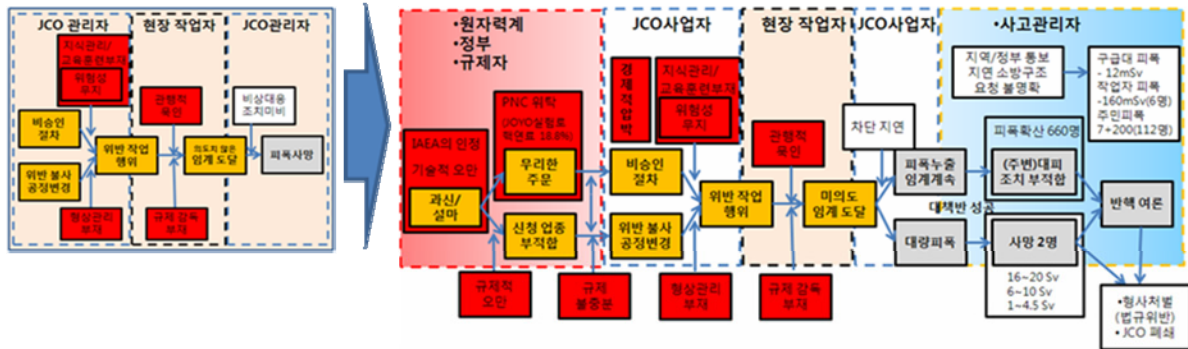


Figure 6. A restructuring of the JCO accident according to the related reports

위임하는 관리감독의 소홀 등이 근본원인이었다.

물론 이들의 배경에는 일본 원자력계의 기술적 자만심에서 출발한 '설마 의식'과 IAEA로부터 핵연료주기기술 전반을 인정받아 채처리까지 이행하게 된 데 따른 '자기과신(자만심)'이 자리잡고 있는 것으로 재분석된다. 이들은 JCO만의 문제가 아니라 일본 원자력계의 근원적인 문제에 해당하는 포괄적인 항목들이다.

이러한 조직 및 문화적 문제는 사건의 발생 후 대처 과정에서도 동일하게 작용했다. 20시간 동안 임계를 종식시키지 못한 것은 기술능력의 부족 이외에도 기술적 의사소통 능력의 결함을 드러낸 사건이었다. 방사선 시설에서 비상계획의 미비 및 피폭 사고에 대한 의사소통 실패 등도 피해 확산의 원인이었다. 구조반/대책반에서 불필요한 피폭이 지속되고 신속한 대처 및 비상대응 능력 부족으로 사회적 혼란 및 반핵 여론을 촉발한 것은 여전한 일본식 폐쇄적 문화와 조직 문제 때문이었다. 이는 체르노빌 사고와 동일하게 JCO 사고에서도 안전 의사결정 및 의사소통의 부족과 같은 조직 및 문화적 문제를 드러낸 것이다. JCO 사고를 분석하면서 일본도 이러한 문제를 원인으로 지적하고, 대응조치의 필요성을 심각하게 제기한 것으로 보인다.

2) JCO 사고의 원인 재구성 및 대응방안의 재검토

JCO 사고와 관련하여 다수의 문헌에서 조직 및 문화 측면과 관련된 대부분의 요인들이 심각한 원인으로 파악되고 반복적으로 제기되었지만, 대응방안과는 상당한 거리가 있었다. JCO 운영조직의 안전 불감증과 그로 인한 공정 및 절차의 무단 변경이나 이를 방관한 규제기관의 문제를 인정하였음에도 불구하고, JCO 사고의 후속조치는 제한적이었다. 예를 들면 일본의 안전문화 문제나 규제기관과 원자력계의 기술적 유착성 문제에 대해서는 아무런 실제적인 조치가 없었다. 대신에 JCO 종사자를 개인적으로 처벌하는 책임추궁 방식의 전형적으로 잘못된 인적오류 대응방안과 문제의 원천인

JCO 공장을 아예 폐쇄하여 논란을 회피하는 방식의 회피형 대응조치만을 실행하였다.

4. Safety Culture Lessons Learned from the Recent Human Error Cases in NPPs

사고를 설명하는 전통적인 모델인 Casual Sequence 모델에 따르면, 모든 사고는 여러 요소들이 연쇄적으로 연결되어 일어나는 것으로 설명하고 있다. 한 가지 원인만으로 사고가 일어나는 경우는 없으며, 개별적으로는 건전할 수도 있는 여러 요소들이 연쇄 반응의 구조로 연결되어 최종적으로 종사자의 불안전 행위(Unsafe Act)를 유발시키고, 종사자의 불안전 행위가 직접 인적오류는 아니더라도 시스템의 거동과 결합되어 손실(loss)이 있는 결말(consequence)로 발전함으로써 사고가 발생한다는 것이다. 이는 Reason의 '스위치 모델'에서 보다 구체적으로 설명되어, HFACS에서는 1) 불안전 행위, 2) 불안전 행위의 전제조건, 3) 불안전 감독, 4) 조직의 영향 등 4가지 수준과 17가지 유형의 원인으로 구조로 발전하였다(Shappell & Wiegmann, 1997). 그러나 몇 가지 요소들의 고정된 구조로 다양한 인적오류의 형태 및 안전문화 요소를 설명하기에는 충분하지 않다.

4.1 Discussions on the Lessons from Kori#1 SBO case

조직 및 문화 측면과 관련된 대부분의 요인들이 이미 심각한 원인으로 제기되어 있었지만, 종사자와 관련된 조치를 제외하고 실제 안전문화 관련 문제들은 대부분 구체적인 대응방안으로 연결되지 못한 것이 특징이다. 이는 조직 및 문화적 요인을 단순히 포괄적인 '안전문화 결함'으로 치부하고, 구체적인 오류의 구조를 분석하지 않았기 때문이다. JCO 운

영조직의 안전 불감증과 그로 인한 무단 공정 및 절차 변경이나 이를 방관한 규제기관의 문제에 대하여, 규제기관의 기술적 유착성은 구체적인 조치가 불가능한 문제로 보고 대신 JCO 조직을 아예 폐쇄하는 극단적인 책임추궁으로 대처하였다. JCO 사고의 원인 중에서 종사자 및 운영회사의 위반행위에 대한 처벌은 엄격한 관리의 뉘앙스를 제공했지만, 실제로 일본 원자력 분야에서 그 효과는 거의 없었던 것으로 보인다. 특히 JCO와 같은 핵주기 시설과 원전을 분리하여 원전에 적극적인 조직문제 대응조치를 적용하지 않았기 때문이다. JCO 사고 이후에 문주 고속증식로 누출화재사고, 미하마 원전 고온증기 사망 사고, 동경전력 허위 보고 및 은폐 등이 발생하여, 보다 엄격한 관리와는 완전히 동떨어진 상태가 계속됨을 증명하는 사건들이 연이어졌기 때문이다.

더욱이 그런 조직 및 문화 문제가 배경원인으로 지속되고 있음을 인식하였음에도 불구하고 후쿠시마 사고가 발생하기까지 일본은 이 분야에 대한 적극적인 조치에 나서지 않은 것으로 추정된다.

예를 들면 JCO의 인허가 과정에서 규제기관과 사업자와의 유착관계는 후쿠시마 사고에서도 동일하게 지적되었다. 또 JCO사업자/비상조직/정부간의 의사소통 및 의사결정 실패는 후쿠시마 사고에서도 동일한 문제로 작용하여, 사고의 진행을 효과적으로 완화시킬 기회를 놓치고 전세계적인 불안감을 고조시켰다. 특히 알려진 근원적 위험에 대해 사고 이전에 조치할 수 있었다는 지적은 통렬한 것이었다. 또 상대적으로 폐쇄적인 일본의 조직문화적 특성은 후쿠시마 원전 및 동경전력의 기술적 책임감을 통해 효과적인 위험의 사소통을 차단하여, 오히려 사태를 악화시킨 전문가적 오만으로 지적되었다.

4.2 A retrospection of the JCO case for safety culture

원전 사고에 대해 인적오류 측면의 분석을 통해 효과적인 안전대책을 수립하는 것은 이제까지 유익한 결과를 도출하였다. 그러나 JCO 사고의 교훈학습과정을 살펴보면 조직 및 문화적 요인의 경우에는 인적오류 분석이나 대응방안 도출에서 효과적으로 다룰 수 있는 방안이 불확실하여, 사고의 교훈에서 직접적인 개선을 기대하기는 아직 어렵다.

일본은 JCO 사고에서 드러난 조직 및 문화적 문제에 대하여 이후 동향 및 후쿠시마 사고로 보아 적절한 기술적 반영에 결과적으로 실패한 것으로 보인다. 그런데 이러한 동향은 불행히도 국내 원자력 분야에서도 유사한 상황으로 추정되는 형편이다. 국내에서는 JCO 사고와 같은 대형피폭사고는 발생한 적이 없으나, 원전화재, 백색비상 지연발령, 벨브체제 작업 중 화상 사고 등과, 최근에는 시험 중 격납용기 살수(containment spray), 완전전원상실 및 은폐로부터 납

폼비리에 이르기까지 등 다양한 문제가 발생하여 조직적 문제에 관심이 집중되고 있다. 특히 한국형 원전이 본격 가동되기 시작한 2000년대의 불시정지 사건을 재분석한 결과 70% 이상 절대적으로 큰 비중의 사건이 조직적 문제와 관련이 있는 것으로 분석된 바 있다(Kim, S.K. et al., 2012). 이는 일본과 유사하게 조직 및 문화의 결함에 대한 구체적인 인식 및 대처에 실패한다는 의심을 피할 수 없다.

예를 들면 최근 국내에서 발행된 후쿠시마 사고 보고서에서도 안전문화 문제를 강조하고 있으며, 국내 스스로 채택한 교훈의 5가지 분야 중 안전철학 및 확보체계 강화, 안전기반 강화 등 2개 분야에서 안전문화와 관련된 문제를 제기하고 있다(KNS, 2012). 그러나 대응방안은 결과적으로 '안전문화가 체질화되고 독립적으로 평가되어야 한다'는 포괄적인 선언에 그치고 있으며, 구체적으로는 규제기관의 독립성/전문성 또는 운영기관의 책임을 다시 강조하는 수준에 머물고 있다. 상대적으로 중대사고 연구나 안전감시기능의 보강, 비상대응 체계의 강화 등에서 제시되는 구체적인 조치와는 달리, 조직 및 안전문화 관련 조치는 굳이 후쿠시마 사고와 직접적인 연관을 짓지 않아도 되는 일반적인 교훈에 그치고 있다.

인적오류의 주요 원인으로 안전문화를 빈번하게 부각하고 있으나, 안전문화는 단일한 원인요소가 아니므로 전통적인 분석방법으로는 접근이 어렵다. 인적오류는 상황중속성을 고려하여 구조적으로 정의되어야 하기 때문에, 안전문화는 별도의 원인요소로 포함되는 것이 아니라 요인간의 구조에 내재되는 성격을 가지고 있다. 또한 대응방안 도출에서도 안전문화를 포괄적으로 개선 또는 증진해야 한다는 것은 구체적인 내용을 적시할 수 없으므로 대응방안으로 유효할 수 없다. 발생한 사건으로부터 안전문화의 결함을 의미하는 구체적인 내용이 사건의 세부요소와 그들간의 구조로 나타나기 때문에, 포괄적인 안전문화 개선이 아니라 특정한 측면에 대한 조치가 대응방안으로 선별되어야 할 것이다. 마지막으로 인적오류 사건은 전형적인 대표성을 가지고 있는데, JCO와 같이 비원전 시설에서 발생한 사건이라고 하더라도 구조적으로 동일한 다른 사건의 교훈으로 포착하는 대표성 분석이 필요하다. 이는 희귀 사고(rare event)의 특성을 가지고 있어서 사고의 교훈이 귀중하게 취급되는 고신뢰도 체계의 인적오류 관리에서 반드시 적용되어야 할 기술적 주안점이다.

특히 대응방안 도출과 관련해서는 인적오류 분석자들 대부분이 신중하지 못하거나 기술적 오해로 인해 조직 및 문화 문제와 같은 미묘한 요소를 다루기에는 현저히 취약한 것으로 보인다. 우선 인적오류는 단일한 원인과 결과의 조합이 아니므로, 특정한 원인요소를 여러 사례에 걸쳐 그 빈도와 비중을 종합하는 방식으로는 인적오류에 효과적으로 대처하기 어렵다. 인적오류는 반드시 다양한 요소들의 조합

로 파악되어야 하는 하나의 사건이기 때문이며, 조직 및 문화의 결합의 경우에는 대부분 그러한 조합을 나타낼 수 있는 구조로 분석되어야 하기 때문이다. 또한 인적오류의 원인이 그대로 대응방안으로 직결되지 않는다는 점에서 현실적인 선택에서의 효과를 관리하기 어렵다. 조직 및 문화 요소의 경우에는 문제를 직접 해결하거나 통제하기 보다는 영향 관계를 통해 간접적으로 대응하는 것이 비용-효과 측면에서 더 효과적이기 때문이다.

현재로는 이러한 관점을 반영하여 인적오류를 신중하게 다루고 있는 기법은 아직 발견되지 않는다. 인적오류 분석에서 조직 및 문화 문제의 분석 및 대응이 적절하지 못했던 것은 이상과 같은 인적오류의 종속성, 구조성, 대표성 등 기본 특성을 반영하여 안전문화에 대한 바른 접근방법에 따른 분석 및 대응방안 도출 기법이 없었기 때문이다.

5. Conclusions and Discussions

본 논문에서는 국내 원자력 분야의 인적오류 방지에 필요한 고려사항을 도출하기 위하여, 1999년 JCO 핵연료 가공 공장 임계 사고를 중심으로 일본의 인적오류 교훈사례 학습 과정을 검토하고, 이를 기준으로 국내의 고리 1호기 전원상실(SBO) 사건 등을 재검토하였다. 인적오류 분석 및 대응방안 도출에서 조직 및 안전문화 문제의 분석 및 대응이 적절하지 못했던 것은 일본만의 문제가 아니었다. 이는 그동안 인적오류의 종속성, 구조성, 대표성 등 기본특성을 반영하는 기법이 미진하고, 대책 중심의 실무적 필요에 초점을 맞춘 효과적인 인적오류 분석 접근방법과 새로운 현안에 대한 분석기법의 개발이 상대적으로 미진한 상태에 머물렀기 때문이다.

일본의 JCO 사고 및 그 교훈학습의 실패 경험은 지구 온난화 및 환경문제와 UAE 원전 수출로 원자력 르네상스의 재래를 구가하다가, 최근 고리 1호기 전원상실 및 은폐, 원전 납품비리 등 몇 가지 사건을 통해 신뢰성에 의심을 받고 있는 국내 원자력 분야에 시사하는 바가 동일한 맥락임을 드러냈다. 안전 전반에서 우월적 자부심을 유지하던 일본이 JCO 사고에서 드러난 문제에 제대로 대처하지 못하고, 연이은 은폐와 허위 보고 등을 경험한 후에도 같은 문제로 후쿠시마 사고를 당한 점은 중요한 타산지석이다.

그러므로 인적오류 분석 및 대응방안 수립 과정에서 조직 및 안전문화라는 새로운 과제를 다루는데, 일본의 시행착오 경험을 적극 반영한 접근방법에 대한 본격적인 논의가 필요하다. 또 이를 기반으로 조직 및 문화적 문제와 관련된 인적오류의 대처를 위한 기법 개발이 시급하다. 원자력 분야에

서는 조직 및 문화적 측면에서 인적오류를 분석하고 이에 대처하기 위한 다양한 기법을 개발하기 위한 노력이 시작되고 있다.

인적오류의 대응은 사고사례와 아차사례 분석 등 회고적 분석 과정에서 분야별 유형 및 근본 배경에 대한 포착이 이루어져야 한다. 특히 배경요소인 조직 및 안전문화와 관련된 위험요소가 관련될 경우, 이러한 정보를 조직 내의 구성원들에게 적극적으로 전파하여야 하며, 이를 토대로 동일하거나 유사한 사고사례가 발생하지 않도록 하는 선순환적 접근방법이 필수적이다. 이를 위해서 조직 및 안전문화 관련 인적오류 사고는 사고조사 시 객관적인 원인분석뿐만 아니라 배경의 위험요소 포착에 집중하여, 귀중한 교훈을 도출하는 과정을 포함해야 한다. 특히 희귀사고의 특성을 가진 고신뢰도 체계에서 발생한 인적오류 사건은 조직 및 안전문화와 같은 깊숙한 위험요소의 실체를 포착하여 근본적인 신뢰감을 상실할 수 있는 대중의 인식 악화에 대비할 수 있는 값비싼 기회라고 할 수 있다.

Acknowledgements

This research was supported by the nuclear energy research and development project(Grant. 2012M2A8A-4004256) funded by the Ministry of Education, Science and Technology.

References

- Cha, J.H., *Nuclear Safety: Tokaimura JCO Criticality Accident*, KAERI, (reference source - <http://www.nuketext.org/jco.html>)
- IAEA, *Preliminary International Incident Report*, IRS# 8229, 26 April, 2012.
- IAEA, *The Management System for Facilities and Activities (Safety Requirements)*, IAEA-**GS-R-3**; 2006.
- KHNP, *Loss of Offsite Power and Emergency Diesel Engine Failure, (09 February 2012, Kori Unit 1, KHNP)*, Interim Report, 17 June 2012.
- Kim, S.K. et al., *Investigations on Human Error Hazards in Recent Unintended Trip Events of Korean NPPs*, *Transactions of KNS-2012-Fall*, 2012.
- KNS, *A Report on Fukushima Accident (summary) (in Korean)*, 2012.
- Lee, Y.H., *A Review on the Human Error Research Issues from the Recent Events in Nuclear Industry*, *Proc. ESK 2011 Spring*, 2011.
- Lee, Y.H., *A Revisit to the Japanese Cases of Nuclear Accidents for Human Error Analysis and Countermeasure Development*, *Proc. ESK 2012 Fall*, 2012.

- Lee, Y.H. et al., An approach to find countermeasures against human errors in NPPs, *Proc. NPIC&HMIT 2009*, USA, 2009.
- Lee, Y.H. et al., A Preliminary Study on the Cultural Differences between Korean and Japanese Nuclear Power Plant Organizations, *Transactions of KNS Fall*, 2011.
- NSC, *An investigation report on the accident occurred in Tokaimura Uranium Processing Facility (1999.12.24) (in Japanese)*, NSC, 1999.
- Reason, J., *Human error*. New York: Cambridge Univ. Press, 1990.
- Shappell, S. & Wiegmann, D., A human error approach to accident investigation: The taxonomy of unsafe operations. *Int. J. of Aviation Psychology*, 7, pp.269-291, 1997.
- WANO, *Loss of Offsite Power and Emergency Diesel Engine Failure (09 Feb. 2012, Kori Unit 1, KHNP)*, WANO Event Analysis Report EAR TYO 12-002, 2012.
- Web-page (http://nsc.jst.go.jp/anzen/sonota/nscnews_jcof.htm), 1999.

Author listings

Yong Hee Lee: yhlee@kaeri.re.kr

Highest degree: Ms, Department of Industrial Engineering, Seoul National University

Position title: Section Head, I&C and Human Factors Division, Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI)

Areas of interest: Human-Machine Interface, Human Error, Cognitive System Engineering

Date Received : 2013-01-24

Date Revised : 2013-01-28

Date Accepted : 2013-01-31