

Identification of Good Practices for Safety Culture through the Analysis of Successful Work Cases based on Safety-II Concept

Ji Han Lim¹, Young Sung Choi¹, Yun Hyung Chung²

¹Korea Institute of Nuclear Safety, Safety Policy Department, Daejeon, 34142

²Korea Institute of Nuclear Safety, Department of Instrumentation, Controls, and Electrical System, Daejeon, 34142

Safety-II 개념에 기반한 성공사례 분석과 안전문화 모범관행의 도출

임지한¹, 최영성¹, 정윤형²

¹한국원자력안전기술원 안전정책실

²한국원자력안전기술원 계측제어평가실

Corresponding Author

Young Sung Choi

Korea Institute of Nuclear Safety, Safety Policy Department, Daejeon, 34142

Email : cys@kins.re.kr

Received : February 28, 2020

Revised : March 04, 2020

Accepted : June 04, 2020

Objective: This study aims to develop a process for identifying good practices for safety culture through the analysis of successful work cases, to apply it to domestic nuclear power plants (NPPs), and to review its effectiveness for workers' learning of safety culture.

Background: While most studies on safety culture focuses on assessment and improvement, it is necessary to present good practices that are tangible to catch the meanings in actual worksites rather than to impose abstract safety culture concepts on workers.

Method: Based on safety culture framework (Choi et al., 2016) and Safety-II concept (Hollnagel, 2018), an integrated process was proposed including four steps of screening and selecting work cases, clarifying success types, identifying good practices, and evaluating the effectiveness for learning. The process was applied to operational works of NPPs.

Results: Case studies for applying the process showed that it could effectively identify good practices and that it had a potential to reinforce safety culture through the process implementation as well as the identified good practices. Good practices from successful work cases were evaluated to be worthy of workers' learning since there would be no chances to derive them from failure cases.

Conclusion: Applying the process for identifying and sharing good practices for safety culture will contribute to the internalization of safety culture in the field workers in NPPs and help the organization find valuable insights to improve safety culture in the reality of operational works. If efforts are continued to learn from successes, interests in safety culture will be maintained and ultimately nuclear safety will be ensured.

Application: The process to identify good practices can be applied not only to NPPs but also to other safety fields such as the radiation use and aviation industry.

Keywords: Safety-II, Safety culture, Behavior pattern, Good practice, Learning from success

1. Introduction

후쿠시마 원자력 발전소(이하 원전) 사고 이후 원전 운영조직의 안전문화를 강화하기 위한 논의가 국내외 학계, 산업계, 규제기관, 국제기구 등에서 진행되고 있다. 한국원자력학회(Korean Nuclear Society, KNS)는 모든 원자력 관련 기관의 종사자에 안전문화 정착을 강조하면서 안전문화의 독립적인 측정과 같은 실질적인 확산 방안을 마련할 것을 촉구하였고(KNS, 2013), 미국 원전운영자협회(Institute of Nuclear Power Operations, INPO)는 후쿠시마 사고에 내포된 안전문화 결여현상을 각국 원전 운영 관행과 비교하고 안전문화 원칙을 준수할 것을 주문하였으며(INPO, 2012), 국내 규제기관에서는 원전 운영조직의 안전문화에 대한 규제감독 방법론을 제시하고 제도화를 추진하고 있으며(Choi et al., 2016), 국제원자력기구(International Atomic Energy Agency, IAEA)는 개인-기술-조직(Individual-Technology-Organization, ITO)간의 상호관계를 고려한 시스템 접근과 리더십 및 경영시스템을 통한 안전문화 증진을 강조하고 있다(IAEA, 2016).

후쿠시마 사고 이후 새로이 안전문화가 강조되고 있는 만큼 국제기구를 중심으로 안전문화를 위한 다양한 방법의 적용을 시도하고 있다(IAEA, 2019). 세계원자력운영자협회(World Association of Nuclear Operators, WANO)가 개발한 안전문화 원칙과 요소의 전 세계 원전에 공통 적용(WANO, 2013), 안전문화 자체평가 방법론의 개발과 활용(IAEA, 2016b), 사회 시스템 속에서 다양한 이해관계자들과의 연계를 통한 상호견제(IAEA, 2017) 등이 몇 가지 사례들이다. 그러나 이러한 노력들이 실제 원전 현장에서 종사자들이 안전문화에 대한 구체적인 의미를 이해하고 실제 행동하는데 도움이 되고 있는지에 대해서는 불확실하다. 더군다나 현재 안전문화에 대한 접근법은 조직의 안전문화 수준을 평가하고 시정할 것을 요구하는 방식에 집중되어 있고, 구체적으로 어떤 행동이 안전문화에 적합한 것인지, 안전문화 원칙이나 요소가 어떻게 실제 작업과정에서 발현되고 있는지에 대해서는 연구나 조사의 진전이 없어 보인다. 또한 안전문화와 관련된 실제 사례 조사 혹은 경험에 대한 분석은 대부분 실패한 사건을 대상으로 이루어지기 때문에 "하지 않아야 할 행동"이나 "피해야 할 조직 내외부의 상호관계"를 이해하는 데는 유용하지만 "어떤 행동을 하고 어떤 상호관계를 지향해야 하는지"에 대해서는 알려주지 않는다(Strauch, 2015). 국제원자력기구(IAEA, 2009) 혹은 미국 원자력규제위원회(The U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC), 2014)가 제시하는 안전문화 원칙이나 지침이 그러한 기능을 할 수 있지만 이들은 대부분 규범적인(normative) 내용을 추상적인 수준에서 바람직한 행동양식(desirable behavior pattern)으로 제시하는 것이어서 현실의 상황이나 맥락에 따른 상호작용과 연계되지 않는 경우가 많고, 이런 경우 구체적인 사례로 명료화(tangible manifestation)되지 않아 현장에서 간과되기 쉽다(Choi and Choi, 2014). 이 때문에 IAEA (2016b)는 안전문화를 평가하는 과정에서 규범적인(normative) 접근과 함께 기술적인(descriptive) 접근을 동시에 취해야 한다는 점을 강조하고 있다.

이런 상황에서 안전성을 증진시키기 위한 새로운 관점으로 Safety-II 이론(Hollnagel, 2018)을 원용하여 원전 운영에서 안전문화 모범관행(good practices)을 도출하고 확산하는 방법이 하나의 대안이 될 수 있다. 'Safety-I'은 사건이나 사고의 인과 사슬을 추적하여 실패와 오류를 발견하고 이를 시정하는 방식으로 안전성을 증진하는 반면, 'Safety-II'는 일상적 운영에서 교훈을 발견함으로써 다양한 상황과 조건에서도 지속적으로 시스템이 올바르게 작동할 수 있도록 모범관행을 내재화하여 안전성을 확보하려는 시도라고 할 수 있다. 이는 현장에서 안전에 기여한 행동이 인정되지 않거나 심지어 무시될 경우 올바른 보고문화(Reporting Culture)의 형성을 기대할 수 없다는 관찰과도 연계된다.

본 논문은 이러한 관점에 근거하여 원전에서 성공사례의 분석을 통해 안전문화 모범관행을 발굴하는 프로세스를 개발하여 실제 원전 운영현장에 적용해 보고 그 의미를 검토하기 위한 것이다. 이와 함께 원전에 적용하는 과정 및 결과에서 도출한 시사점과 향후 과제를 제시한다.

2. Method

사례분석으로부터 안전문화에 대한 의미를 도출하고 현장의 상황과 환경에 맞는 모범관행(good practice)을 발굴하기 위해서는 다음 4가지를 고려해야 한다. 첫째, 어떤 사례를 분석 대상으로 선정할 것인가를 결정해야 한다. 현장의 수많은 단위 작업들이 실패하지 않았다는 관점에서 모두 분석 대상이 될 수는 있지만 좀더 안전문화를 잘 나타낼 수 있는 사례를 선정하는 것이 바람직하다. 둘째, 성공한 사례로부터 안전문화를 명료화(tangible manifestation)하는 접근법을 취한다고 할 때 무엇을 성공으로 볼 것인가의 문제가 있다. 성공의 유형을 분류함으로써 성공에 대한 다양한 정의와 특징을 살펴볼 필요가 있다. 셋째, 사례분석의 목적은 안전문화 모범관행을 발

굴하는 것이지만 개인 및 조직에 적합한 고유의 행동양식(adaptive performance behaviors) 유형이 존재할 수 있기 때문에 이를 감안하는 것이 필요하다. 넷째, 성공을 통한 학습이 갖는 이점을 살펴보고 현장에 적용하기에 적합한 것인지를 판단해 보는 것도 필요하다. 이들에 대해 차례로 살펴보면서 어떤 방법과 절차로 사례분석을 수행하는지 설명한다.

2.1 Safety culture framework to select cases

특정 사례가 분석에 적합한 성공사례인지, 안전문화 관점의 의미를 명료화하기에 적합한지를 판단하기 위해 안전문화 관점에서 사례를 평가할 수 있는 분석틀이 필요하다. 이러한 분석틀은 원자력 산업의 특성을 반영한 안전문화 요소를 포함하고, 안전문화에 대한 일관된 평가를 수행할 수 있도록 명확한 기준을 제공하며, 단계적 발전방향 혹은 목표를 수립할 수 있는 지침을 제시한다. 이를 위해 본 연구에서는 Choi et al. (2016)에서 제시하고 있는 안전문화 구성요소와 기대 수준으로 표현되는 목표를 활용하였다. Table 1은 본 연구에서 활용한 4가지 분야 13가지 항목을 보여준다.

Table 1. Safety culture components used in collecting cases (excerpted from Choi et al. (2016))

Area	Expectation
Human Performance Management (HP)	Decision Making (DM): Individuals use decision making-practices that design, work (operation, test, maintenance and changes), and actions taken to abnormal events are judged, assessed, and accomplished in a conservative manner.
	Work Management (WM): The organization implements a systematic process of planning, review, coordination and execution associated with work important to safety. Individuals communicate and coordinate their activities within and across organizational boundaries.
	Work Practice (WP): The organization builds environment for procedure adherence, and strives to reduce human errors using appropriate program/techniques, to accomplish work important to safety completely.
	Resource Management (RM): The organization ensures that personnel, document, equipment, working environment, and other resources are available and adequate to support the work important to safety.
Management for Improvement (MI)	Operating Experience Feedback (OEF): The organization systematically and effectively collects, evaluates, implements, and shares relevant internal and external operating experience in a timely manner.
	Problem Identification and Resolution (PIR): The organization implements a corrective action program to identify potential safety issues, to evaluate their safety significance systematically, and to ensure that corrective actions are taken in a timely manner.
	Diagnosis and Improvement (DI): The organization implements a review mechanism to do in-depth analysis of safety-significant events in the aggregate to identify programmatic and common cause issues of program, system, and practices. The organization ensures that resolutions address common causes and their causal factors in advance.
Safety Conscious Working Environment (SCWE)	Employee Protection (EP): The organization implements a policy that supports individuals' rights and responsibilities to raise safety concerns, and internal regulation and supervision not to give disadvantages to people who raise safety concerns. Managers consider the potential chilling effects of personnel actions.
	Information Sharing (IS): The organization builds working environment in which workers communicate safety information actively, and safety concerns or issues are raised freely. The organization manages alternative path for raising safety concerns that is independent of line management influence.
	Just Culture (JC): The organization implements a policy that evaluation and decision of disciplinary action for workers involved in accident, incident, or error in the workplace are made based on fairness principle.

Table 1. Safety culture components used in collecting cases (excerpted from Choi et al. (2016)) (Continued)

Area	Expectation
Leadership and Organizational Control (LOC)	Leadership for Safety (LS): Top management ensures that personnel, equipment, and other resources are available and appropriate to support all activities of individuals in the organization to ensure nuclear safety as overriding priority. Leaders demonstrate a commitment to safety in their decisions and behaviors.
	Organizational Competency (OC): The organization implements learning, personal management, and performance evaluation systems which value nuclear safety competency of the organization and safety performance of NPP. Incentives, sanctions, and rewards correspond to safety competency of individuals. Individuals have clear role and responsibility.
	Change Management (CM): The organization implements systematic process for environmental, organizational, institutional, procedural changes that could affect safety so that changes to be classified and managed according to their safety significance.

본 연구에서는 Table 1의 구성요소를 사용하여 이에 해당되는 사례를 1차적으로 수집하는 것에서 시작하였다. 1차 사례 선정 이후에는 안전문화 발전 모델에 따라 일정 수준 이상의 안전문화 발전단계에 해당하는 사례를 분석 대상으로 선정하였다. 안전문화 발전 모델은 대표적으로 IAEA (1998)가 도입한 3단계 모델과 Hudson (2001)의 5단계 모델이 있다. 본 연구에서는 Hudson의 5단계 모델을 변형한 4단계 모델을 사용하였다. 4단계 모델은 5 단계의 최하위 단계인 병적(pathological) 단계와 반응적(reactive) 단계를 통합한 것인데, 이는 국내 조직문화의 특성에 의해 각 발전소는 개별 특성과는 무관하게 일정 수준의 안전관리체계가 형성되어 있기 때문이다.

이에 따라 1차적으로 수집된 안전문화 사례들을 1~4단계의 발전상태로 재분류하였고 그 중에서 전향적(proactive)이고, 창발체화적(generative)인 사례에 해당하는 사례들을 분석 대상으로 선정하였다. 국내 원전의 1~4단계 발전상태는 한국원자력안전기술원(Korea Institute of Nuclear Safety, KINS)의 연구보고서(KINS, 2016, p.272-293)에서 제시하는 안전문화 발전단계별 특성 매트릭스를 활용할 수 있다.

2.2 Types and definition of successes

사례로부터 모범관행을 추출하기 위해서는 개인 및 조직의 특정 행위에 대한 성공 여부를 판단해야 하기 때문에 "성공" 개념에 대한 명료화가 요구된다. 성공이라는 용어는 여러 가지 분야에서 다양하고 빈번하게 사용되고 있지만, 현재까지 국내외에서 인정하고 있는 성공에 대한 단일 모델이나 정의는 존재하지 않은 상황이다. 사례에 내재된 성공의 특징에 따라 교훈 반영 등의 후속 조치가 달라질 수 있기 때문에 효과적인 모범관행 발굴을 위해서는 이에 대한 고찰이 필요하다. Viitanen et al. (2016)은 성공의 유형을 크게 5가지로 구분하였다. 실패하지 않은 결과로서의 성공, 다양한 기대치를 충족한 것으로서의 성공, 객관적인 목표 달성으로서의 성공, 안전성 측면의 성공, 상황적응적/구성주의적 접근에 의한 성공. 이러한 성공 유형 중에서 "실패하지 않은 결과로서의 성공"은 다른 유형의 성공에 비하여 작업의 기간이나 목표, 초점 등을 비교적 자유롭게 설정하여 작업의 성공 여부를 폭넓게 인정하는 특징을 갖는다. 본 연구에서는 가능한 한 안전한 행위에 대한 인정을 넓게 한다는 측면에서 "실패하지 않은 결과로서의 성공"에 초점을 두어 사례를 분석하였다.

이처럼 실패하지 않은 결과로 사례를 바라보면, 원전 시스템의 경우에는, 더욱 다양한 사례들이 학습 대상으로 포함될 가능성이 높아진다는 장점이 있다. 즉, 원전 시스템의 경우 연간 10E-4 이하의 확률로 중대한 실패가 발생한다고 보는데 이런 정도의 실패 확률을 유지하기 위해서는 실제 현장에서 끊임없는 성공사례의 연속이 존재한다고 추측할 수 있다. 따라서 다양한 성공사례를 통해 지속적으로 변화하는 환경에서 그 조직과 개인에 적합한 고유의 행동양식(adaptive performance behaviors)을 파악할 수 있을 것이다. 다만, 성공사례를 강조할 경우 조직에 자만심이 자리잡을 수 있으므로 이를 경계하기 위해 안전문화 원칙이 지켜지도록 유의해야 한다(Choi et al., 2020). 한편, 실패한 사례에 대해서는 대부분의 경우 기존의 사건조사 과정에서 분석하고 있으므로 성공사례 분석과 함께 보완되면 좋을 것이다.

2.3 Behavior patterns and good practices

성공적인 작업에 대한 전파 및 공유가 효과적으로 이루어지기 위해서는 해당 작업을 성공으로 이끈 개인 및 조직의 행동양식(Behavior Pattern)을 구체적으로 도출할 수 있어야 한다. 높은 수준의 안전문화가 형성된 개인 및 조직의 경우, 관행대로 이루어지는 행위로 작업을 성공으로 이끄는 경우가 빈번하기 때문에, 성공적 행동양식이 간과되기 쉬우므로 분석 과정에서 이러한 부분을 찾는 것이 중요하다. 국내 원자력 산업 환경에서 표준화된 바람직한 행동양식을 집대성한 자료는 존재하지 않지만 본 연구에서는 KINS (2016b)에서 제시하고 있는 국내 원전 운영조직에 적용 가능한 대표적인 안전문화 행동의 예시를 활용하였다. KINS (2016b)가 제시하는 예시는 NRC (2014)와 같이 미국의 규제기관과 전체 원전 사업자들이 함께 개발한 예시(examples)는 아니라는 한계를 갖기에 사례분석에서 작업자의 행위를 평가하는데 제한적으로 사용되었다. 바람직한 행동양식의 예시를 염두에 두고 사례에 대한 분석과 자료 조사, 개인별 면담을 수행하면서 이와 유사한 행동양식을 파악하기 위해 노력함으로써 평소의 관행이라도 성공에 이끄는 역할에 기여할 경우 이를 모범관행(good practice)으로 도출할 수 있었다.

이처럼 바람직한 것으로 가정하는 행동양식에 근거하여 안전문화 사례를 분석하면 발전소 현장에 적합한 모범관행을 발굴하는 것을 쉽게 수행할 수 있다. 다만, 주의할 점은 이러한 접근법은 실제 현장의 모든 성공적인 행동양식을 포함하는 것은 아니라는 점이다. 연역적으로 설정된 행동양식은 귀납적 사례를 통해 도출된 모범관행을 반영하여 점진적으로 확장되어야 한다. 또한 이러한 방식으로 발굴된 모범관행은 모든 상황에서 동일하게 좋은 결과를 유도하는 상황 독립적인 모범은 아니라는 점도 유의해야 한다. 바람직한 행동양식이 특정의 상황과 작업 환경에 적합한 모범관행으로 발현된(adaptively performed) 것이기 때문에 특정한 관행이 상황과 환경에 따라 다른 결과에 이를 수 있음을 인식하는 것이 필요하다.

2.4 Effectiveness of learning from success

아직까지 많은 분야에서 안전성 증진을 위한 접근 방식으로 사건 발생 후 실패의 원인을 분석하여 제거 혹은 개선하는 방법 즉, Safety-I 접근을 택하고 있다. 이 방법은 기존의 연구를 통해 구체적이고 다양한 분석틀이 개발되어 있고, 충분히 누적된 사례로 다른 시스템과의 비교분석이 가능하여 실재하는 시스템의 약점을 확인, 개선하는 강력한 방법이라고 할 수 있다.

이와 달리 Safety-II 접근법은 성공적인 작업에 주목하여 그로부터 교훈을 발견, 학습함으로써 다양한 상황과 조건에서도 지속적으로 시스템이 올바르게 작동하게끔 하려는 시도이다. 일반적으로 원전 시스템의 경우 노심손상 사고 확률이 10E-4/year 이하인 점을 감안하면 대부분의 작업은(비록 실수가 발생하더라도 감지되어 회복되는 경우까지 포함하면) 성공적으로 수행되고 있으며, 동일한 유형의 실패가 일어나는 경우도 드물다는 점에서 이러한 접근법의 의미를 찾을 수 있다. 또한 성공적인 작업에 대한 원인을 작업자 스스로 인지하지 못하는 경우도 많으며 이로 인해 다른 작업자에게 교훈을 공유하지 않게 되어 모범관행이 강화되지 않기 때문에 성공사례의 분석이 보충적으로 필요하다고 볼 수 있다.

문헌(Viitanen et al., 2016)에서는 다음과 같은 조건의 시스템에서 성공을 통한 학습이 효과적이라고 보고 있다. 첫째, 실패가 거의 발생하지 않아 실패로부터 학습할 기회가 적은 시스템이다. 일정 수준 이상의 안전성이 충분히 확보되어 실패 발생 확률이 지극히 낮은 경우 실패로부터 학습할 수 있는 기회가 많지 않은 시스템에서는 성공에 대한 학습이 유일한 현실적 투영이라고 할 수 있다. 둘째, 시스템의 거동이 복잡하고 예측 가능하지 않으며 지속적으로 변하는 특징을 갖고 있는 시스템에서는 실패에 기반한 개선 방안은 또 다른 변동을 불러일으킬 수 있어 효율적이지 못하다. 셋째, 실패에 따른 비용이 큰 시스템에서는 시행착오를 통한 학습이나 실험 등과 같은 변화보다는 성공적인 결과를 반복적으로 보장하는 방식을 채택하는 것이 효과적이다. 넷째, 사건 이면의 원인이 명확하게 밝혀져서 실패를 정확하게 개선할 수 있는 상황이라면 실패로부터의 개선이 효과적이지만 그렇지 못한 경우 즉, 원인 규명이 불확실한 시스템에서는 실패의 개선을 위한 행동양식이 학습자에게 수용되지 않는 경우가 많다.

원자력 발전소는 강건하고 신뢰할 만한 시스템을 구축하고 있어 실패보다는 일상적 성공이 다양하게 이루어지고 있으며, 다양한 행위자와 시스템 요소들이 서로 복합적으로 연결되어 있어 성공요인을 강화하는 것이 전체 시스템 측면에서 바람직하며, 비난이나 처벌보다는 인정과 격려를 활성화 할 수 있는 성공을 통한 학습이 효과적이라 예상된다. 따라서 모범관행을 도출한 후 학습으로 연결되는 가능성을 탐색하고 조직 차원의 학습에 효과적인지 확인하는 것이 필요한데 앞서의 4가지 관점 즉, 실패로부터 학습할 가능성, 실패

에 기반한 개선의 비효율성, 성공사례의 반복 가능성, 행동양식의 수용 가능성을 통해 학습의 효과성을 확인할 수 있다.

2.5 Process for learning from success

앞서 설명한 4가지 고려사항을 감안하여 사례분석과 모범관행 도출을 위한 수행 절차를 Figure 1과 같이 제시하였다. Figure 1에는 단계별 결과물과 이를 위해 필요한 활동 그리고 이론적 배경이 되는 2.1~2.4의 소절을 표시하고 있다. 순서대로 살펴보면, 해당 조직의 협조를 얻어 최근의 업무수행 사례를 수집하고 이에 대한 문서검토를 통해 현장에서 심층적으로 분석할 사례를 선정한다. 사례를 선정할 때에는 2.1절에서 설명한 바와 같이 Table 1의 안전문화 기대 수준에 부합하면서 전향적(proactive)이고, 창발체화적(generative) 단계에 해당할 것으로 예상되는 사례를 선정한다.

사례가 선정되면 각각의 사례에 대해 직접 현장을 방문하여 그 사례와 관련된 작업자, 상급자 및 동료들에 대한 인터뷰를 실시하고 현장 상황을 확인한다. 인터뷰의 주된 목적은 해당 사례에 대한 상세 확인, 성공적 결과의 기반이 되는 행위분석, 다양한 성공요인의 파악, 사례에 대한 시스템적 검토를 위한 것이다. 이때 2.2절에서 논의한 바와 같이 성공에 대한 정의와 유형에 따라 사례를 검토한다. 또한 작업자로부터는 실제 업무수행 과정에 대한 상세 내용을 확인하면서 성공으로 이끌게 한 바람직한 행동양식을 탐색하고 상급자 및 동료들에게는 다양한 상호작용 속에 내포된 성공요인을 탐색한다. 이러한 행동양식의 탐색 과정에서는 2.3절에서 논의된 사항을 참조한다. 또한 인터뷰를 위해 기본 질문, 상황파악 질문, 성공요인 탐색 질문, 학습 및 교훈반영 질문의 구조화된 질의서를 작성하여 활용하는 것이 바람직하다. 이를 활용하여 인터뷰 대상자와 친밀감을 형성하면서 사례에 접근하고, 구체적인 과정을 탐색할 때에는 개방형 질문 위주로 인터뷰를 진행한다.

이를 통해 최종적으로 모범관행이 도출되고 나면 2.4절에서 언급한 바와 같이 해당 사례와 그 사례에 포함된 모범관행이 학습에 유용한지 평가하는 것이 필요하다. 평가에는 2.4절에서 제시한 4가지 관점(실패로부터 학습할 기회가 적음, 실패에 기반한 개선이 비효율적임, 성공사례의 반복이 가능함, 행동양식의 수용 가능성이 높음)을 통해 정성적으로 평가할 수 있으며, 유용한 것으로 평가되면 이에 대한 교육자료를 개발하여 배포하는 것으로 절차는 종결된다. 실제 학습자료의 효과성은 교육 이후 교육생들의 정량적 평가를 통해 파악할 수 있을 것이며, 향후 명료화가 필요한 안전문화 관행에 대한 교육생들의 의견을 사례선정 단계에 피드백할 수 있을 것이다.

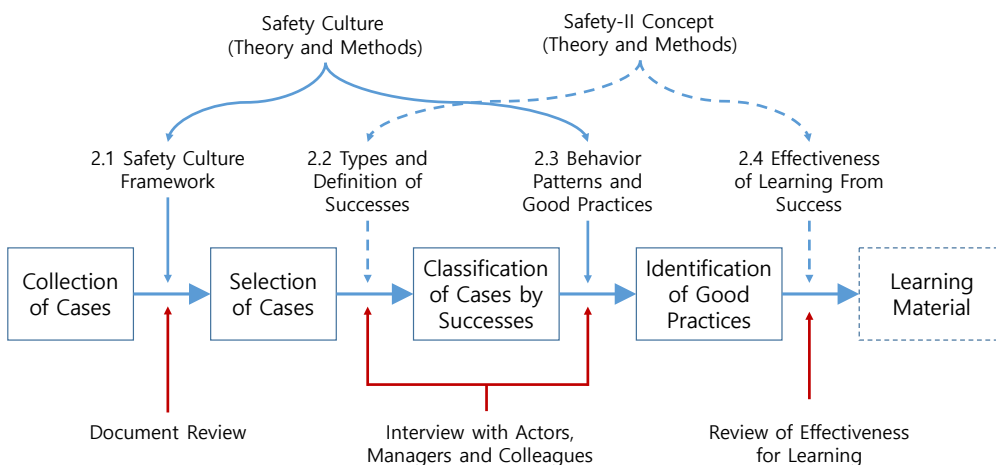


Figure 1. Schematic diagram of flow chart for the application of learning from success to operational works of nuclear power plants

3. Case Studies to Operational Works of Nuclear Power Plants

2017~2018년 국내 4개 원전에 대해 2.5절에서 제시하는 프로세스를 적용하여 8건의 사례를 분석하였다. 이 중에서 2건의 사례를 소

개함으로써 성공으로부터의 학습을 위한 프로세스를 구체적으로 설명한다(나머지 사례에 대해서는 KINS (2019)를 참조). 프로세스는 원전 운영회사의 협조를 얻어 최근 1년간의 업무수행 사례를 수집하는 것에서 시작된다. 수집할 수 있는 사례는 분석 대상 조직의 특성에 따라 운전 및 정비 우수사례, 포상내역, 안전문화 보고서 등이 될 수 있다. 수집된 사례에 대해 2.1절에서 설명한 대로 문서검토 등의 작업을 거쳐 사례를 선정한다. 이후 절차는 각 사례의 내용과 함께 아래에 기술한다.

3.1 Case 1: Walk-down to identify material degradation

Case 1은 모 원전에서 배관 용접부에서 누설이 발생하여 계통수가 미세하게 비산하였으나 이를 초기에 발견하고 조치한 사례이다. 현장 운전원이 담당구역 현장점검을 수행하던 중 미세하게 비산하는 계통수를 발견하고, 적절한 시간에 임시 조치를 하여 사건이 악화되지 않도록 조치하였는데, 운전원과 관련하여 Table 1의 안전문화 요소 중에서 작업관행(WP)에 해당되는 사례로 판단하여 분석 대상으로 선정되었다. 특히, 발견과 조치가 전향적(proactive)으로 수행되었다는 점에서 안전문화 발전단계에도 부합하였다.

현장 확인 및 관련자 인터뷰를 실시하면서 성공요인, 행동양식 등을 구체적으로 탐색하였다. 통상적인 경우 이 사례에서 보여준 현장 운전원의 조치는 담당자로서 당연히 수행할 일이라고 할 수 있으나 상급자의 인터뷰에 따르면 누설이 거의 확인하기 어려운 정도로 미세하였고 구석진 곳이라 이를 발견한 것 자체가 대단하다고 평가하였다. 따라서 성공사례로 분류하는데 적절하다고 평가되었으며, 성공유형 중에서도 시스템의 성능이 저하되었다가 상태를 회복한 성공(recovery success)에 해당하는 것으로 평가되었다. 이러한 성공적인 작업수행을 가능하게 한 개인 및 조직의 모범관행(Good Practice)이 무엇이었는지를 해당자 및 주변자들로부터 탐색한 결과 다음 2가지를 확인할 수 있었다.

첫째, 기존의 현장점검 관행으로 수행하였다면 발견하기 어려웠을 미세한 누설을 현장 운전원은 책임감을 갖고 점검 지침과 절차 이상의 확인을 위해 꼼꼼하게 해당 계통을 확인하였다. 운전원의 이같은 자세는 안전에 있어서 중요한 요소이며 안전문화 관점에서 보면 책임의식, 자만심 경계 등을 강조하는 Table 1의 작업관행(WP)에 해당한다. 둘째, 조직의 리더가 구성원 각자에게 자신의 업무에 특별한 관심을 갖도록 유도하고 소속 구성원 간의 활기찬 토론 분위기를 조성하였던 것도 성공에 기여한 요인으로 평가되었다. 특히 구성원들이 상황을 공유하고 질문을 하기 쉽게 만든 사무실 분위기도 중요한 요소였다. 이러한 환경적 요인은 Table 1의 안전문화 요소 중에서 정보공유(IS) 및 안전리더십(LS)에 해당한다.

Case 1에서 도출한 2가지 모범관행(책임감 있는 업무수행, 리더의 근무환경 조성)은 이와 관련된 3가지 안전문화 요소(Table 1의 WP, IS, LS)가 무엇을 의미하는지 구체적으로 나타낸다고 평가되었으며, 안전문화 학습자료로 활용될 수 있는지 2.4절의 4가지 관점에서 보다 구체적으로 평가해 보았다.

Table 2에 요약한 바와 같이 "책임감 있는 업무수행"은 책임소재를 밝히는 실패사례 분석이 많지 않고, 책임의 실패에 기반한 개선은 조직의 역할과 책임을 변경하는 경우가 많으며, 해당 사례의 구체적인 현장 운전원의 행위는 성공적으로 반복될 수 있으며, 타 운전원의 수용 가능성도 높을 것으로 평가되었다. "리더의 근무환경 조성"은 마찬가지로 실패사례에서 도출해 내기 쉽지 않고, 조직(혹은

Table 2. Summary of the evaluation for learning effectiveness of the two good practices identified from case 1

Criteria	Identified practices	Operator's responsible work performance	Leader's contribution to working environment
The possibility to learn the practice from failure cases is quite low.		Very likely	Very likely
Improvements based on the corrective actions against failures are inefficient.		Very likely	Likely
The practice can be repeated to produce successes.		Likely	Likely
The practice can be willingly accepted by other persons.		Likely	Unlikely

팀, 그룹)의 근무 환경은 변동성이 많으며, 리더십 사례로서 반복도 가능한 것으로 평가되는 반면 다른 리더의 수용 가능성은 높지 않을 것으로 판단되었다. 따라서 일부 미흡한 부분도 있지만 Case 1은 실패사례로부터는 배우기 힘든 안전문화 모범관행을 학습하는 자료로 유용할 것으로 평가하였다.

3.2 Case 2: Preventive maintenance of large components

Case 2는 타 원전에서 발견된 대형 기기의 부품 손상에 따른 후속 조치를 위해 해당 원전의 4개 기기 전량의 분해점검이 계획예방정비 기간에 수행되었던 사례이다. 해당 사례는 기간 내 작업 완료가 도전적인 과제였지만 사전준비를 치밀하게 계획하여 일정대로 작업을 완료할 수 있었는데 이러한 사전준비는 Table 1의 안전문화 요소 중 작업관리(WM)에 해당하고 사전에 계획하고 실행하였다는 점에서 안전문화의 전향적(proactive) 발전단계로 판단하여 분석 대상으로 선정하였다.

현장 확인 및 관련자 인터뷰를 실시하면서 성공요인, 행동양식 등을 구체적으로 탐색하였는데, 제한된 작업공간에서 많은 인원(약 80여명)이 장시간 사전 계획에 따라 업무를 진행하면서 어떠한 사고도 없이 기기의 성능을 성공적으로 확보한 작업이었던 것으로 평가되었다. 따라서 상태의 변동이 없이 시스템의 성능이 지속되었다는 점에서 "실패하지 않은 사례"로서 성공으로 평가되었으며, 성능의 저하가 발생하지 않고 중립적 상태를 유지한 측면에서 중립적 성공(neutral success)으로 분류하였다.

담당자 및 주변인들 특히 인터뷰 대상을 협력업체로까지 넓혀서 파악한 결과, 성공에 이끈 요소는 구체적인 작업 계획의 사전 수립과 타 부서 및 협력업체와의 협업으로 탐색되었다. 담당 부서의 직원들은 3달에 걸쳐 수립한 시간 단위의 작업 계획과 철저한 사전준비를 핵심적인 성공요인으로 꼽았다. 또한 현장에서 직접 기기 분해점검을 수행하는 협력업체 직원들과 협업하여 요건을 검토하고 계획을 공유하며 작업을 진행한 것도 중요한 요인으로 제시하였다. 이로부터 다음과 같은 모범관행 2가지를 도출할 수 있었다.

첫째, 작업의 검토단계부터 관리자, 감독자, 협력업체와 함께 작업 현장의 특성을 논의하고 세부 계획을 선제적으로 수립하여 업무를 진행하였던 점이다. 이는 Table 1의 안전문화 요소 중에서 작업관리(WM)에 해당한다. 둘째, 부서간 일정 조율 등 협업이 필요하였는데 이를 위해 업무분장을 명확하게 했을 뿐만 아니라 직원간에 편안하게 의사소통할 수 있는 분위기를 조성하였다. 감독자는 안전한 작업을 위해 현장에서 많은 시간을 보내며 협력업체 직원들의 의견을 수용하고 상호보완하기 위해 노력한 점이 성공적 작업에 기여하였다. 업무분장과 협업, 의사소통은 Table 1의 안전문화 요소 중에서 마찬가지로 작업관리(WM)에 해당하며, 특히 협력업체가 제시하는 의견과 우려사항을 적극적으로 의사소통하고 이를 위한 분위기를 조성한 것은 종사자 보호(EP)에 해당한다.

Case 2에서 도출한 2가지 모범관행(선제적 계획 수립과 이행, 협업과 의사소통)은 이와 관련된 2가지 안전문화 요소(Table 1의 WM, EP)가 무엇을 의미하는지 구체적으로 나타내고 있으므로 효과적인 학습자료로 활용될 수 있다고 평가되었다. Table 3은 4가지 관점에 따른 학습의 효과성을 정성적으로 평가한 것을 보여 준다. "선제적 계획 수립과 이행"은 실패사례에서도 배울 수 있는 기회가 있다고 보여지지만, 대규모 작업을 시행착오로 개선하기에는 무리가 있으며 반복적으로 시행될 수 있고 다른 종사자들에게도 충분히 수용되는 것으로 평가된다. "협업과 의사소통"의 경우 실패사례에서 잘 드러나지 않는 경우가 많고, 긍정강화(Positive Enforcement)를 통해 개선

Table 3. Summary of the evaluation for learning effectiveness of the two good practices identified from case 2

Criteria	Identified practices	Proactive planning and implementation	Collaboration and active communication
The possibility to learn the practice from failure cases is quite low.		Unlikely	Likely
Improvements based on the corrective actions against failures are inefficient.		Very Likely	Very Likely
The practice can be repeated to produce successes.		Very Likely	Likely
The practice can be willingly accepted by other persons.		Likely	Unlikely

하는 것이 효과적이며, 반복될 수 있지만, 개인에 따라 수용성은 약할 수 있다. 따라서 일부 미흡한 부분도 있지만 Case 2도 실패사례로부터 배우기 힘든 안전문화 모범관행을 학습하는 자료로 유용할 것으로 평가하였다.

4. Results and Discussions

본 연구는 현장에서 안전문화 모범관행의 도출과 학습을 위한 사례분석의 유용성을 확인하기 위해 수행되었다. 국내 원전 4곳에 적용하여 8건의 사례를 선정하여 분석하였으며 이 중에서 2건의 사례를 예시로 소개하였다. 제한적인 숫자의 사례분석으로 효과성을 평가하는 것은 선부를 수 있지만 사례 분석의 과정에서 얻은 결과는 다음과 같다.

첫째, 2.5절에서 제시한 프로세스를 통해 원전 현장의 업무수행 사례 중에서 안전문화 관점의 사례를 선정하고 현장 확인 및 관련자 인터뷰를 실시함으로써 안전문화 요소의 의미를 명료화하는 모범관행을 파악하는 것이 가능하였다. 또한 각각의 사례는 하나 이상의 안전문화 요소를 포함하고 있음을 알 수 있었고 관련자 인터뷰를 폭넓게 수행할 경우 문서검토에서 확인되지 않은 요소들을 탐색할 수 있었다.

둘째, 하나 이상의 안전문화 모범관행을 포함하는 개별사례들은 해당 조직과 개인, 특정 상황에 고유한 특성을 가지고 있기 때문에 사례와 분리되는 모범관행은 의미가 없음을 알 수 있었다. 예를 들어 Case 2의 작업관리(WM) 요소는 두 가지 모범관행에 모두 해당되지만 그 구체적인 내용은 차이가 있음을 알 수 있다. 따라서 안전문화의 학습은 규범적인 특성(trait)과 요소(attribute)를 제시하는 것으로는 효과적이지 않으며 구체적인 사례를 통해 해당 내용을 명료화함으로써 전달되어야 한다.

셋째, 각각의 사례 속에 내재된 모범관행을 학습의 효과성 측면에서 4가지 관점에서 평가할 수 있었다. 이를 통해 Safety-I의 영역에서는 학습할 수 없거나 비효율적인 학습내용을 확인할 수 있었고 이는 곧 Safety-II의 관점에서 안전문화를 학습해 나가야 하는 당위성을 보여 주었다.

넷째, 사례분석 프로세스를 수행하는 과정에서 조직 외부로 드러나지 않는 성공적인 작업수행의 사례를 확인할 수 있었고 해당 조직에서도 내부에서 겪은 사례에 대해 다시 한번 성찰하고 평가하여 공유하는 기회로 작용하였다. 외부로 알려지는 소식 대부분은 원전의 사건, 사고에 관한 내용이 주가 되므로 성공에 관한 경험은 내부에서도 잘 공유되지 않을 수 있다. 따라서 이러한 사례분석은 현장에서의 행동양식을 찾아내고 사업자의 안전문화를 내재화하는 것뿐만 아니라 외부의 이해관계자에게도 원전 현장의 작업에 대해 이해하는 기회를 제공할 수 있다.

본 연구의 한계점은 성공사례에 대한 교육의 효과를 기존 교육과 대비하여 살펴볼 수 못한 점이다. 사례분석의 내용과 이로부터 도출한 모범관행, 이의 안전문화 관점에서의 의미 등을 담은 분석보고서가 현장에 전달되었으나 이를 학습자료로 활용하는 것은 해당 원전에 일임하였다. 따라서 동일한 안전문화 요소에 대해 실패사례에 기반한 교육과 성공사례에 기반한 교육의 효과를 실증적으로 비교하는 연구가 향후 수행될 필요가 있다. 다만 2.4절에서 제시한 바와 같이 원전과 같이 실패 확률이 적은 시스템에서는 실패사례에서 학습할 수 없는, 하지만 성공적인 결과에 기여하는 다양한 행동양식들이 분명히 존재하므로, 2.5절에서 제시하는 프로세스와 4가지 관점의 효과성 평가기준은 일차적으로 사례를 평가하는데 기여할 수 있다.

5. Conclusions

원자력 분야에서는 원자력 안전성 확보와 증진을 위해 안전문화의 중요성이 강조되어 왔다. 그러나 대부분의 안전문화에 대한 논의와 연구는 평가와 개선에 머물고 있고 실제 현장에서는 추상적이고 포괄적인 안전문화의 개념을 현장에 필요한 형태로 명료화할 것을 요구하고 있다. 따라서 조직 활동의 새로운 방안으로써 Safety-II의 개념에 기반하여 성공으로부터의 학습에 관한 방법을 안전문화 이론과 연계하여 성공사례로부터 모범관행을 도출하고 이를 학습에 이르도록 하는 프로세스를 제안하고 실제 현장에 적용하여 보았다. 원전 운영업무에 적용한 결과, 성공사례 분석을 통한 모범관행 도출 프로세스는 체감하기 쉬운 학습자료를 효과적으로 생산할 수 있는 것으로 파악되었다. 또한 이러한 프로세스는 다음과 같은 긍정적인 효과를 기대할 수 있다.

첫째, 체감하기 쉬운 모범관행을 도출하는 것은 그러한 과정 자체로 조직 내에서 안전문화 체화에 많은 도움이 되고, 안전 측면의 성공 사례 발굴 및 공유는 해당 개인과 조직에 대한 격려 효과를 낳아 안전문화에 대한 지속적인 관심을 유도하는 효과도 기대할 수 있다.

둘째, 사례분석 프로세스는 조직 내에서 안전문화를 개선할 가능성을 폭넓게 탐색할 수 있는 도구로도 유용하게 활용할 수 있다. 예를 들어, 사례들을 분석한 결과, 일부 사례들은 해당 조직이 안전문화 구성요소를 전부 충족해서 나타난 결과가 아니라는 사실을 확인할 수 있었다. 즉, 한 개인이 보여주는 하나의 바람직한 행동양식이라도 전체적으로 큰 효과를 발휘하는 것을 알 수 있었다. 또한 성공한 것으로 평가할 수 있는 행동 및 작업일지라도 분석의 시간적 범위 혹은 업무의 범위를 어떻게 보느냐에 따라 성공과 실패의 평가가 달라지며, 따라서 어떤 사례라도 실패의 양면이 존재함을 확인할 수 있었다. 따라서 조직 차원에서 실패요인을 줄여나가면서 성공요인을 확산시켜 나가는 도구로 가치가 있으며 이러한 노력을 통해 심층방어 기반이 강화될 수 있다는 사실을 인식하는데 도움이 된다.

셋째, 성공사례 분석은 효과적으로 조직의 특성을 파악할 수 있고 단순한 교육, 캠페인보다 그 조직의 특성에 맞는 안전문화 요소를 강화할 수 있다. 지금까지 주된 방식이었던 Safety-I 접근법은 실패에 기반하고 있어 조직 내부에서 적극적으로 공유되지 않을 수 있고, 해야 하는 것 보다는 하지 말아야 할 것에 집중하게 된다. 따라서 직장의 동료가 수행한 성공사례를 발굴하고 전파함으로써 모범관행을 공유하고 모방하는 긍정적 강화효과를 기대할 수 있다. 특히, IAEA (2016)는 회원국들에 대해 안전요건으로 "성공으로부터의 학습을 위한 제도를 마련할 것"을 요구하고 있으므로 본 연구에서 개발한 분석절차는 유용하게 활용될 수 있다.

본 논문에서 제시하는 프로세스를 통해 안전문화에 대한 의미를 탐구하는 것뿐만 아니라, 안전이 부정적인 요소를 제거하는 것이라고 보는 기존의 사고체계와 성공적인 작업보다 실패한 작업을 더 중요하게 간주하는 성향에서 벗어나, 의식적으로 Safety-II 접근법에 부합하는 사례를 발굴하고 확산함으로써 국내 안전개념의 폭을 넓히고 상황에 적합한 안전문화 모범관행도 계속해서 형성되길 기대해 본다.

References

- Choi, Y.S. and Choi, K.S., Reflection on Nuclear Safety Culture, *Nuclear Industry*, Monthly Magazine of Korea Atomic Industrial Forum, Issue of Nov. and Dec., 2014.
- Choi, Y.S., Jung, S.J. and Chung, Y.H., Regulatory Oversight of Nuclear Safety Culture and the Validation Study on the Oversight Model Components, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 35(4), 263-275, 2016. <http://dx.doi.org/10.5143/JESK.2016.35.4.263>
- Choi, Y.S., Kim, W.T. and Chung, Y.H., Learning from Success to Improve Nuclear Safety - Conditions and Methods for Effective Experience Feedback, *Nuclear Industry*, Monthly Magazine of Korea Atomic Industrial Forum, Issue of April, 2020.
- Hollnagel, E., *Safety-I and Safety-II: The Past and Future of Safety Management*, CRC Press, 2018.
- Hudson, P., Safety Management and Safety Culture: The Long, Hard and Winding Road. In W. Pearse, C. Gallagher and L. Bluff (Ed), *Occupational Health & Safety Management Systems: Proceedings of the first national conference*, Cleveland Printing, 3-32, 2001.
- IAEA (International Atomic Energy Agency), *Developing Safety Culture In Nuclear Activities - Practical Suggestions to Assist Progress*, Safety Reports Series No. 11, 1998.
- IAEA (International Atomic Energy Agency), *The Management System for Nuclear Installations*, IAEA Safety Standards Series, Safety Guide, No. GS-G-3.5, IAEA, Vienna, 2009.

IAEA (International Atomic Energy Agency), *Leadership and Management for Safety*, IAEA Safety Standards Series, General Safety Requirements, GSR Part 2, IAEA, Vienna, 2016.

IAEA (International Atomic Energy Agency), *Performing Safety Culture Self-assessments*, IAEA Safety Reports Series No. 83, STI/PUB/1682, IAEA, Vienna, 2016b.

IAEA (International Atomic Energy Agency), *Ensuring Robust National Nuclear Safety Systems - Institutional Strength in Depth*, INSAG-27, A report by the International Nuclear Safety Group, STI/PUB/1779, IAEA, Vienna, 2017.

IAEA (International Atomic Energy Agency), *Human and Organizational Aspects of Assuring Nuclear Safety - Exploring 30 Years of Safety Culture*, Proceedings of an International Conference Held in Vienna, Austria, 22-16 February 2016, STI/PUB/1810, IAEA, Vienna, 2019.

INPO (Institute of Nuclear Power Operations), *Lessons Learned from the Nuclear Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station*, INPO 11-005 Addendum, August 2012.

KINS (Korea Institute of Nuclear Safety), *Development of Regulatory Infrastructure for the Oversight of Safety Culture*, KINS/RR-1134 Vol.6, 2016.

KINS (Korea Institute of Nuclear Safety), *Comparative Analysis of Safety Culture Components*, KINS/RR-1134 Vol.4, 2016b.

KINS (Korea Institute of Nuclear Safety), *Development and Application of the Process for Safety Culture Analysis*, KINS/ER-404, 2019.

KNS (Korean Nuclear Society), *Final Report on the Analysis of Fukushima Nuclear Accident*, March 2013, <https://www.kns.org/boards/download/229>, (retrieved Feb. 2020).

NRC (U.S. Nuclear Regulatory Commission), *Safety Culture Common Language*, NUREG-2165, 2014.

Strauch, B., Can we examine safety culture in accident investigations, or should we?, *Safety Science*, 77, p.102-111, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2015.03.020>

Viitanen, K., Bisio, R., Axelsson, C., Koskinen, H., Liinasuo, M. and Skjerve, A.B., *Learning from Successes in Nuclear Power Plant Operation*, Intermediate Report from the NKS-R LESUN. Roskilde. NKS Reports, Vol. 354, 2016.

WANO (World Association of Nuclear Operators), *Traits of a Healthy Nuclear Safety Culture*, WANO Principles, PL 2013-1, 2013.

Author listings

Ji Han Lim: k732ljh@kins.re.kr

Highest degree: MD, Department of Nuclear Engineering, SNU

Position title: Researcher, Safety Policy Department, Korea Institute of Nuclear Safety

Areas of interest: Safety policy, Safety culture, Regulatory decision-making

Young Sung Choi: cys@kins.re.kr

Highest degree: PhD, Department of Nuclear and Quantum Engineering, KAIST

Position title: Principal Researcher, Safety Policy Department, Korea Institute of Nuclear Safety

Areas of interest: Safety policy, Safety culture, Regulatory decision-making

Yun Hyung Chung: yuchung@kins.re.kr

Highest degree: PhD, Department of Industrial Engineering, KAIST

Position title: Principle Researcher, Department of Instrumentation, Controls, and Electrical System, Korea Institute of Nuclear Safety

Areas of interest: Human Factors in Nuclear area, Safety culture