Title

Suggestions for More Reliable Measurement of Korean Nuclear Power Industry Safety Culture

ABSTRACT

Objective: The aim of this study is to suggest some improvement ideas based on the validity and reliability analysis of the current safety culture measurement method applied to Korean nuclear power industry.

Background: Wrong safety culture is known as one of the major causes of the disasters such as the Columbia space shuttle or the Fukushima nuclear power plant accidents. Assessment of safety culture of an organization is important to build a safer organizational environment as well as to identify the risks hidden in the organization.

Method: A face validity of the current safety culture measurement method was analyzed by comparison of the key factors of safety culture in Korean nuclear power industry with those factors reviewed in the previous studies. The current interview method was analyzed to identify the problems which degrade the consistency of evaluation.

Results: Most of safety culture factors reviewed in the literatures are covered in the list of the Korean nuclear power industry safety culture factors. However the unstructured questions used in the interview may result in inconsistency of safety culture evaluation among interviewers.

Conclusion: This study suggests some examples which might improve the inconsistency of interviewers' evaluation on safety culture such as a post interview evaluation form.

Application: An extended post interview evaluation form might help to increase the accuracy of the interviewing method for Korean nuclear industry safety culture evaluation.

Keywords

Nuclear power, Safety culture, Safety culture factor, Interview, Face validity, Reliability

1. Introduction

안전문화는 개인과 조직의 안전과 관련된 태도(습관, 행동, 생각)를 말한다. 최근에 각종 대형 재해의 근본적 원인의 하나로 잘못된 안전문화를 지적하는 사례가 많아졌다. 대표적인 사례로 챌린저와 컬럼비아 우주 왕복선 사고가 있다 (Stanton et al., 2010). 원자력발전소에서 발생하는 각종 사고의 경우에도 잘못된 안전문화는 주요 요인으로 인정된다. 후쿠시마 (Fukushima) 원전 사고나 고리 원전 SBO 사고가 대표적이다 (Lee, 2013).

조직의 건전한 안전문화가 사고예방에 중요한 역할을 하는 것으로 인식함에 따라서 조직의 안전문화를 평가 (evaluation) 하려는 노력도 활발해졌다. 안전문화 평가의 중요성은 조직이 적절한 수준의 안전문화를 유지하는가를 확인하는데 있다. 조직의 전사적 문제점을 지적하는 방법으로 경영진단 기법이 활용되기도 하지만 안전문화 평가 역시 효과적이다. 안전문화는 개인과 조직의 안전에 대한 생각과 말과 행동이므로 이를 측정하는 가장 효과적인 방법은 인터뷰이다.

한국원자력산업 (Korean nuclear power industry) 안전문화를 평가하기 위한 질문은 Table 1 의 예와 같이 한국원자력산업 안전문화 주요요소 (Korean Nuclear Industry Safety Culture Factor; KNISCF)와 주요요소를 수반하는 세부항목으로 구성되어 있다. KNISCF 는 안전문화 평가 시 변화된 경영 환경을 반영하여 주기적으로 개정된 버전(version)을 사용한다(KHNP-CRI, 2015). Table 1 의 예는 2013 년도에 수행된 안전문화평가에서 사용된 버전에 기반을 두고 있다(KHNP-CRI, 2013).

Table 1 . An example of Korean nuclear power industry safety culture key factors (KNISCF)

Key factor	Sub factors based on the key factor
Responsibility for safety	Safety first Awareness of responsibility for safety Keeping rules and regulations Entrepreneur mindset
Initiative to secure safety	Leadership Communication Participating in safety campaign Control of safety issues
Identification of all the risk factors	Special care for tasks Preparation for crisis Open mind to all kind of opinions Query and report about safety related issues
Safety first organization	Trustiness Tolerance to report accidents and incidents Tolerance to raise safety issues Compensation for safety activities
Continuous learning and improvement	Periodic education for tasks Proper safety education for level of employees

	Utilization of case studies Continuous business process reengineering
Safety management system	Safety policy Investment plan based on safety first Periodic evaluation of safety culture Feedback of safety evaluation

각 원자력 발전소마다 다양한 계층의 조직 구성원들이 표본 응답자(sample interviewees)로 동원된다. 표본 응답자 집단(group)에는 발전소장과 같은 고위 경영진, 중간 관리자 및 협력업체 직원 등이 포함된다. 질문자 (interviewer) 집단은 발전소 운영에 관한 유경험자와 전문가들로 구성된다.

인터뷰에 사용되는 질문은 Table 1 의 안전문화 주요 요소에 기반을 두고 응답자의 직위에 적합하게 수정한 비구조적 질문(unstructured questionnaire)으로 구성된다. 8 명의 질문자 집단과 100-200 여명의 표본 응답자 집단으로부터 질문자-응답자 쌍(Pair)을 구성하여 인터뷰를 진행한다. 각 질문자-응답자 쌍에게는 30-40 분의 질의 응답시간이 주어진다. 인터뷰 중에는 Table 1 의 주요 요소 (key factor) 중 하나를 주제로 하여 심층적 질의응답이 이루어진다. 안전문화 점수로는 KNISCF 에 대한 구체적인 긍정적 사례가 있는 경우 1 점, 없으면 -1 점으로 기록한다. 한국원자력산업에 적용하는 안전문화평가 기법의 예를 요약하면 Table 2 와 같다.

Table 2. An example of the Interview method used to measure safety culture of Korean nuclear power industry

Dimensions	Methods
Interviewers	A group of experienced retired managers or experts
Interviewees	A group of employees sampled from all levels of managers and field workers
Match making method	A planned (not random) assignment of one interviewer to one interviewee from each group
Questionnaires	Unstructured questions based on KNISCF
Interview period	30-40 minute
Scoring method	1, if there is one or more concrete evidence cases building positive safety culture -1, otherwise

본 연구에서는 한국원자력산업 안전문화 측정에 사용되는 기법의 타당도와 신뢰도 측면을 검토하고 문제점을 지적하여 이에 대한 개선 방향을 제시하였다.

2. Face validity of KNISCF

안전문화를 측정하는데 사용되는 척도의 표면 타당도(face validity)는 인터뷰에 사용된 질문이 안전문화의 정도를 정확하게 예측하는 능력과 관련이 있다 (Schultz and Schultz, 1986).

Stanton et al.(2010)은 안전문화 요소를 지적한 이전의 연구를 검토하고 이들의 공통적인 요소로서 조직의 위험 요소에 대한 경계태도, 전사적인 안전에 대한 천명(commitment to safety), 안전관리체계 구비, 안전현안에 대한 개방적인 토의와 보고, 사고(accident)로부터의 학습을 제시하였다. 안전문화의 개념은 다양하게 정의되고 있어서 의견의 일치를 보기 어려운 분야이지만 대략 Table 3 과 같이 요약될 수 있다.

Table 3. Key factors in safety culture reviewed by Stanton et al. (2010)

Authors	Key safety culture factors (code)
Pidgeon and O'Leary (1994)	Commitment to safety (PO1) Shared care and concern for hazards (PO2) Realistic and flexible norms and rules (PO3) Organizational learning (PO4)
Reason (1997)	Reporting culture (R1) Just culture (R2) Flexible culture (R3) Learning culture (R4)
Ball and Scotney (1998)	Leadership (BS1) Training (BS2) Human resource management (BS3) Self-assessment (BS4) Communication (BS5) Risk perception (BS6) Safety behavior (BS7) Rule and procedure (BS8) Safety organization (BS9) Quality management (BS10) Stress management (BS11) Employee involvement (BS12)
Hale and Hovden (1998)	Commitment to safety (HH1) Safety training system (HH2) Communication channel (HH3) Stable work force (HH4) Learning system (HH5) Leadership style (HH6) Openness to criticism (HH7)
HSE (2005)	Leadership (HSE1) Communication (HSE2) Employee involvement (HSE3) Learning culture (HSE4) Attitude toward blame (HSE5)
Olive et al. (2005)	Commitment to safety (O1) Communication (O2) Resilience and flexibility (O3) Vigilance (O4)

Muniz et al. (2007)	Safety policy (M1) Incentive for safety activities (M2) Provide information about the risk (M3) Plan to avoid accidents (M4) Feedback about the safety control (M5) Commitment to safety (M6) Continuous training (M7) Participating in safety campaign (M8)
Stanton et al. (2010)	Vigilant to risk (S1) Commitment to safety (S2) Available safety management system (S3) Open mind to discuss and report the safety related issues (S4) Learning from accidents and incidents (S5)

한국 원자력 산업 안전 문화 평가에 사용되는 안전문화 질문 항목의 예(Table 1)는 6 개의 항목으로 크게 분류되며 각 항목마다 4 개의 서로 연관된 항목으로 구성되어 있다. KNISCF 와 이전의 연구에서 제시한 안전문화요소를 개념적 유사성(closeness)에 따라 그룹핑하면 Table 4 와 같다.

Table 4. Conceptual closeness between KNISCF and safety culture factors reviewed in the literatures

Korean nuclear power industry safety culture key factors (Table 1)	Related safety culture factor codes reviewed in the literatures (Table 3)
Everybody in the organization is responsible for safety -safety first -aware of responsibility for safety -keep rules and regulations -with entrepreneur mindset	PO1, BS8, HH1, O1, M6, S2
Take initiative to secure safety -leadership -communication -participating in safety campaign -control safety issues	BS1, BS5, HH3, HH6, HSE2, O2, M8
Identify all the risk factors -take special care for tasks -preparation for crisis -open mind to all kind of opinions -question and report about safety related issues	PO2, BS6, BS7, BS11, BS12, R1, HSE3, O4, S1, S4, M4, M3
Safety first organization -trust each other -tolerance to report accidents and incidents -tolerance to raise safety issues -compensate for safety activities	R2, R3, BS9, HH7, HSE5, M2, S4
Continuous learning and improvement -periodic education for tasks	PO4, R4, BS2, HH2, HH5, HSE4, M7, S5

-proper safety education for level of employees -use case study -continuous process innovation	
Safety management system -safety policy -safety first investment -periodic evaluation of safety culture -feedback of safety evaluation	BS10, M1, M5, S3,

Table 4 로부터 원자력발전소 안전문화 평가에 사용되는 주요 요소가 이전의 안전문화 연구에서 제안된 주요 요소와 대부분 일치함을 보여준다. 따라서 Table 1 에서 보인 KNISCF 의 예는 안전문화 척도로서 표면타당도(face validity) 측면에서 타당하다고 할 수 있다.

3. Reliability of the interview method using KNISCF

KNISCF 는 조직의 최고 경영층으로부터 하청업체의 현장직원에 이르기까지 조직원의 모든 수준에 적용이 된다. KNISCF 를 조직의 모든 수준의 구성원에게 적용하는 인터뷰 과정은 다음과 같은 문제점을 가지고 있다.

(1) 질문항목과 응답자와의 관련성이 부족한 경우가 있다. 예를 들면 안전방침과 같은 최고 경영 목표에 관한 질문은 현장의 협력업체 직원과 직접적인 관련성이 떨어진다. 이 경우 응답자가 이에 대한 적절한 대답을 할 수 없다. 질문자는 응답자와의 관련성을 높이기 위해 질문 내용을 변경하여야 한다.

(2) 응답자-질문자 조합에 따라 응답결과가 변할 수 있다. 현행 질문 방식의 예를 들면 8명의 질문자가 100-200명의 직원을 나누어 8 그룹으로 나누어 인터뷰를 한다. 이 경우 질문자의 배경과 응답자의 직위나 업무에 따른 다양한 조합이 가능하고 어떤 조합을 구성하는 가에 따라 응답결과가 다양하게 변화될 수 있다. 응답자들의 그룹핑 방법이나 어떤 그룹을 어떤 질문자에게 배정하는가에 관한 문서화된 기준이 마련되어 있지 않다.

(3) 응답에 따라 안전문화의 정도를 판단할 판단기준(norm)이 확립되어 있지 않다. 현재는 질문자의 주관으로 판단하므로 판단기준이 질문자에 의존한다. 업무 수행 시 안전을 최우선으로 고려한다는 항목에 대한 인터뷰의 예를 들어 보자. 이에 대한 구체적인 사례가 조직 전체에서 발생한 경우를 말하는지 또는 응답자가 근무하는 담당 부서에서 발생한 사례를 말하는 것인지가 명확하지 않으므로 질문자는 주관적 판단기준을 적용할 수 밖에 없을 것이다.

(4) 응답자는 사고와 관련된 질문을 받을 경우 사고 경위를 조사받는 느낌을 가지게 된다. 이 경우 응답자는 심리적으로 긴장하게 되고 불안한 상태가 되어 방어적인 태도를 취하는 경우가

많다. 응답자의 질문에 대한 방어적 태도는 안전문화 평가를 실제 이상의 낙관적 결론으로 이끌 수 있다.

안전문화 척도의 신뢰성(reliability)은 동일한 조건에서 반복 측정된 결과의 일관성으로 정의된다. Table 5 는 KNISCF 를 사용한 인터뷰방법이 안전문화 척도로서 신뢰성에 미치는 불리한 점을 요약한다. Table 5 는 KNISCF 를 사용하는 현행 인터뷰 방법은 신뢰도 측면에서 좀 더 개선될 필요성을 암시한다.

Table 5. Disadvantages of the interview method using KNISCF on reliability

Problems in the interview using KNISCF	Consequences on reliability
The questions not related to interviewee's position	The interviewer changes the question to reflect the interviewee's position
No established rule for assignment of the interviewer-interviewee pair	A way to assign an interviewer to an interviewee may change the evaluation result (A different assignment may result in different safety culture scores)
No established norm to judge for scoring	Interviewers apply their own norms
Accident related questions give interviewees a stressful situation	Interviewees take a defensive attitude on responses related to accidents or incidents

4. Results and conclusions

신뢰도 문제 이외에 응답자의 다음과 같은 심리적 편견이 안전문화평가의 정확도(accuracy)를 저해할 수 있다 (Table 6).

이미 오래 전에 발생한 사건의 경우 기억이 정확하지 않아서 오래 전에 발생한 사건의 중요도는 작고 최근에 발생한 사건의 중요도가 큰 것으로 판단하는 오류가 발생할 수 있다 (recency bias).

응답자가 현장에서 발생한 사고에 대한 원인이나 행동의 규칙 준수 여부에 대해 판단하는 과정에서 응답자 자신도 규칙의 상세사항을 모두 기억하지 못함으로써 발생되는 판단 오류가 있을 수 있다 (judgement bias).

어떤 사고를 경험한 집단과 그 사고를 알지 못하는 집단간의 견해 차이가 발생할 수 있다 (hindsight bias).

사고 당사자와의 개인적 또는 조직적 친분 관계에 의해서 사건에 대한 응답자의 태도가 바뀌거나 응답 내용을 왜곡할 수 있다 (political bias).

응답자 계층이 최고위층부터 현장작업자에 이르기까지 폭넓은 계층에 대해 이루어져야 하지만 행정 편리성 때문에 응답자 표본이 관리자에 집중 분포하는 경향이 있다 (sampling bias). 특히 현장 작업은 하청업체의 하급직 직원 또는 임시 고용자들이 수행하는 경우가 대부분이지만 이들이 안전문화 측정 과정에서 응답자로 임하는 경우는 매우 적다.

Table 6. Potential biases of interviewees distorting the safety culture evaluation

Distorting factor	An example distorting the safety culture evaluation
Recency bias	Recent events are judged to be more important than the previous one
Judgement bias	Unable to retrieve correct rules and regulations from memory
Hindsight bias	Opinion differences between the groups with and without knowledge of accidents or incidents
Political bias	Opinion differences depending on personal or business closeness
Sampling bias	A response from a higher manager group is more favorable than a field work group

현행방법은 구조화된(structured) KNISCF 항목에 기반하여 비구조적 질문(unstructured questionnaire)을 인터뷰에서 사용하고 있다. 한정된 KNISCF 항목을 조직의 다양한 계층에 적용하기 어렵기 때문에 질문자는 응답자의 수준에 맞추어 즉흥적으로 응답자에 적합한 질문을 찾아내어야 한다. 질문자의 관심, 경력, 응답자에 관련된 도메인 지식 및 편견이 응답결과에 큰 영향을 주는 질문을 하게 한다. 이 경우 가장 큰 문제점은 질문의 일관성이 떨어진다는 점이다. 비구조적 질문의 단점, 특히 질문자(interviewer)의 일관성 없는 질문에 대한 보완책으로서 질문자가 응답자의 수준에 맞추어 자유로운 질문을 하되 응답에 대한 평가를 구조적으로 체크할 수 있는 체크리스트를 질문자에게 추가로 제공하는 방법이 효과적일 수 있다. Table 7 에 비구조적 질문을 보완할 응답 후 평가양식(post interview evaluation form)의 예를 나타내었다.

Table 7. An example of post interview evaluation form

Ask any free questions based on "strict observance on the safety rules and regulations" and then evaluate the following aspects of safety culture					
Safety rules are complicated	quite agree	agree	neutral	disagree	quite disagree
The interviewee had felt time pressure while doing his/her job	quite agree	agree	neutral	disagree	quite disagree
Severe intervention from supervisor.	quite agree	agree	neutral	disagree	quite disagree

응답자가 하청업체(subcontractor)의 직원인 경우라면 하청업체의 직원 입장을 반영한 Table 8 과 같은 형태의 응답 후 평가 양식을 사용하는 것이 효과적일 것이다. Table 8 과 같은 체크리스트를 조직의 경영 계층별로 작성하면 효과적이다.

Table 8. An example of post interview evaluation form for the employees from a subcontractor company

Ask any free questions based on "build the organization environment where safety comes first" and then evaluate the following aspects of safety culture					
Keeping schedule is more important than safety to the manager of a subcontractor company	quite agree	agree	neutral	disagree	quite disagree
Hiring a part time employee is more beneficial than hiring a full time employee	quite agree	agree	neutral	disagree	quite disagree
A reduced contract budget means reduced workforce	quite agree	agree	neutral	disagree	quite disagree

안전문화 측정 대상에는 개인과 조직 모두 포함된다. 인터뷰 과정에서 사용된 질문이 개인보다 조직에 우위를 두면 개개인의 세부적인 안전 태도가 간과될 위험이 있다. 또한 조직이라는 추상적인 대상에 대한 질문은 응답 결과가 애매한 형태가 될 가능성이 높다. 각 질문항목은 개인의 안전에 대한 태도나 생각을 묻는 것인지 조직의 전반적인 태도나 생각에 대한 응답자의 견해를 묻는 것인지를 명확히 하는 것이 필요하다

조직의 불합리성을 지적하기 위해서는 최근에 발생한 중대재해(critical accidents)에 대한 견해를 파악할 수 있도록 질문이 주기적으로 갱신되어야 한다. Lee (2013)가 지적했듯이 원자력 발전소에서 발생되는 사고는 희귀사고 계열에 속하며 고 신뢰도 체계(high reliability system)에서 발생되는 것이므로 사고 경험이 귀중하게 다루어져야 하고 이후의 안전문화 평가에 반영되어야 하기 때문이다. KNISCF 에 기반한 인터뷰 방법으로는 이 부분을 질문자의 판단에만 의존하므로 중대재해에 대한 조직의 태도나 견해를 체계적으로 밝혀내는 데 취약점을 가지고 있다.

발전소내의 폭넓은 계층을 대상으로 인터뷰를 진행함에도 불구하고 KNISCF 는 특정 계층, 특히 상위 의사결정자와의 관련성이 높은 반면 특히 사고 관련자의 대부분을 차지하는 현장 작업자와의 관련성은 상대적으로 부족하므로 이에 대한 보완이 필요하다.

안전문화 형성에 간접적이나 비중이 큰 조직은 이해관계자(stakeholder) 집단이다. 한국원자력발전소의 경우에는 산업통상자원부, 미래과학창조부, 원자력안전위원회, 원자력안전기술원 등과 같이 원전 운영의 기본적 경영 방침에 영향을 주는 의사결정자들이 포함된다. 이들의 역할과 의사결정의 결과가 안전문화에 미치는 영향력은 매우 비중이 큰 반면 안전문화 평가 질문에서 이들의 영향력 행사 결과(feedback)를 평가할 수 있는 기회가 부족하다.

본 연구에서는 한국원자력산업 안전문화 평가에 사용되는 인터뷰방법의 타당도와 신뢰도를 검토하였다. 이전의 연구에서 제시한 안전문화 요소가 KNISCF 에 대부분 포함되어 있어서 현행 방법이 타당도 측면에서 무리가 없음을 확인 하였다. 그러나 비구조적 질문을 사용하는 인터뷰 방법은 일관성 있는 결과를 도출하기가 어렵다. 본 연구에서는 안전문화 평가의 신뢰성을 향상시키기 위하여 다음 개선안을 제시하였다.

(1) 개인에 관한 질문인지 조직에 관한 질문인지를 명확히 하는 것이 좋다.

(2) 최근에 발생된 중대재해에 관한 태도나 견해를 묻는 질문이 포함되도록 질문목록을 주기적으로 갱신하는 것이 바람직하다.

(3) 응답자 집단에 현장 작업자 표본 비중을 늘려야 한다.

(4) 중요한 이해관계자 집단의 영향력이 안전문화에 미치는 영향을 평가할 수 있는 질문이 체계적으로 포함되는 것이 바람직하다.

(5) 비구조적 질문의 낮은 일관성을 보완하기 위해 구조적인 응답 후 평가 양식을 사용할 수 있다.

References

Ball, P.W. and Scotney, V., *Approaches to Safety Culture Enhancement*, Daresbury, U.K., British Nuclear Fuels, Ltd., 1998.

Hale, A. and Hovden, J., Management and Culture: the Third Age of Safety. A Review of Approaches to Organizational Aspects of Safety, Health, and Environment. In A. Feyer and A. Williamson (Eds.), *Occupational Injury: Risk Prevention, and Intervention*, Taylor & Francis, London, 129-166, 1998.

Health and Safety Executive (HSE), A Review of the Safety Culture and Safety Climate Literature for the Development of the Safety Culture Toolkit, HSE Research Report 367, London, HSE Books, 2005.

KHNP-CRI, *Nuclear Safety Culture Assessment Report for Hanul Nuclear Power Plant 3*, Korea Hydro and Nuclear Power Co., 2013.

KHNP-CRI, *Nuclear Safety Culture Assessment Report for Hanul Nuclear Power Plant 2*, Korea Hydro and Nuclear Power Co., 2015.

Lee, Y.H, A revisit to the recent human error events in nuclear power plants focused to the organizational and safety culture, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 32(1), 117-124, 2013.

Muniz, B.F., Peon, J.M.M. and Ordas, C.J.V., Safety culture: analysis and the causal relationships between its key dimensions, *Journal of Safety Research*, 38, 627-641, 2007.

Olive, C., O'Conner, M.T. and Mannan, S.M., Relationship of safety culture and process safety, *Journal of Hazardous Materials*, 130, 133-140, 2006.

Pidgeon, N.F. and O'Leary, M., Organizational Safety Culture: Implications for Aviation Practice. In N. Johnston, N. McDonald and R. Fuller (Eds.), *Aviation Psychology in Practice*, 21-43, Aldershot, Avebury, 1994.

Reason, J., *Managing the Risks of Organizational Accidents*, Burlington, VT, Ashgate, 1997.

Schultz, D.P. and Schultz, S.E., *Psychology and Industry Today*, 4th ed., Macmillan, 1986.

Stanton, N.A., Salmon, P., Jenkins, D. and Walker, G., *Human Factors in the Design and Evaluation of Central Control Room Operations*, CRC Press, 2010.