Regulatory Oversight of Nuclear Safety Culture and the Validation Study on the Oversight Model Components

Young Sung Choi[1], Su Jin Jung[1], Yun Hyung Chung[2]

[1]Safety Policy Department, Korea Institute of Nuclear Safety, Daejeon
[2]Human Factors Group, Department of Instrumentation, Controls, and Electrical System, Korea Institute of Nuclear Safety, Daejeon

ABSTRACT

Background: The oversight of nuclear licensee's safety culture has been an important regulatory issue in the international community of nuclear safety regulation. Concurrent with the significant events that started to occur in the early 2000s and that had implications about safety culture of the operating organizations, it has been natural for regulators to pay attention to appropriate methods and even philosophy for intervening the licensee's safety culture. Although safety culture has been emphasized for last 30 years as a prerequisite to ensuring high level of nuclear safety, it has not been of regulatory scope and has a unique dilemma between external oversight and the voluntary nature of culture. Safety culture oversight is a new regulatory challenge that needs to be approached taking into consideration of the uncontrollable aspects of cultural changes and the impacts on licensee's safety culture. Although researchers and industrial practitioners still struggle with measuring, evaluating, managing and changing safety culture, it was recognized that efforts to observe and influence licensees' safety culture should not be delayed. **Objective:** This paper introduces the regulatory oversight approaches and issues to consider in the course of safety culture oversight model development in nuclear field. Common understanding on regulatory oversight and present practices of international communities are briefly reviewed. Nuclear safety culture oversight model of Korea is explained focusing on the development of safety culture definition and components, and its basic meanings. Oversight components are identified to represent the multiple human and organizational elements which can affect and re-enforce defense-in-depth of nuclear safety. Result of validation study on safety culture components is briefly introduced also. Finally, the effectiveness of the oversight model is investigated through actual application in the nuclear operating organization. **Method:** Safety culture components to which the oversight will have to focus on are developed by benchmarking and introducing the defence in depth philosophy. Therefore, this paper begins with review of international regulatory oversight approaches and issues on nuclear safety culture. Based on the survey on NPP employees in Korea, and statistical analysis with the survey result, the content, construct, and criterion validities of the safety culture model components are confirmed. Developed safety culture oversight model and components are used in the "safety culture inspection" activities of the Korean regulatory body to verify the actual applicability in nuclear operating organization. **Conclusion:** The pilot application of the nuclear safety culture oversight model to operating organizations of NPPs showed promising results for regulatory tools to require the organizations to improve their safety culture. **Application:** The developed oversight model components might be used in the inspection activities and regulatory oversight of NPP operating organization's safety culture.

Keywords: Safety culture, Validation study, Regulatory oversight, safety culture components, Defence in depth

1. Introduction

원자력 안전문화는 원자력 운영조직이 그 조직의 경영목표에 원자력 안전을 어느 정도로 결합하여 운영하고 있는지에 대한 총체적인 모습이라고 할 수 있다. 그동안 개념적 모호성에 대한 비판이나 실제적 효용성에 대한 의구심 속에서도 계속해서 중요성이 강조되고 연구가 수행되는 것은

안전문화가 안전성 확보를 위한 기본개념과 연계되어 있기 때문이다. Reason 교수의 주장처럼 "다단계 안전방벽"의 건전성을 보장하기 위해서는 안전방벽을 유지, 관리하는, 또한 그 방벽의 일부이기도 한 사람과 조직을 종합적으로 다루는 수단이 필요한데 이를 위한 가능성은 오직 안전문화에서 찾을 수밖에 없다(INSAG-10, "Defence in Depth in Nuclear Safety"에서는 심층방어의 전제조건이 안전문화라고 명시하면서 심층방어의 모든 레벨에 영향을 줄 수 있는 조직과 사람에 대한 주의를 요구하고 있다). 또한 초창기 안전문화에 대한 시도로부터 경험과 시행착오들이 쌓이면서 이제는 연구 차원을 넘어 실제 조직에 적용되면서 모호성과 효용성은 극복되어 가고 있다.

본 글은 여기에서 한걸음 더 나아가 원자력 분야에서 최근 시도되고 있는 원자력발전소 운영조직의 안전문화에 대한 규제감독을 소개하고자 한다. 체르노빌 사고에서 안전문화가 제창된 이래 안전문화에 대한 연구, 실제 현장에의 적용은 운영조직이 주체가 되어 자신의 안전문화를 어떻게 진단, 평가, 관리, 변화시킬 것인가를 중심으로 이루어졌다. 즉, 안전문화를 구체화하는 개념들로서 안전문화의 구성요소, 계층적 모델, 단계적 발전과정 등이 제안되었고 이를 통해 조직문화의 하나로 안전문화를 접근하는 것이 기본적인 방향으로 자리 잡았으며, 운영조직이 자신의 안전문화를 증진하기 위해 이들을 종합적으로 다루는 것까지 진행되었다.

그러나 운영조직의 안전문화에 대해 외부 즉, 규제기관의 감독은 자신의 안전문화에 대한 접근법에 추가하여 고려해야 할 요소들이 더욱 다양하게 나타난다(제한적 정보를 갖는 규제기관이 안전문화의 어떤 측면을 어떤 방식으로 관찰하고 평가해야 하는지, 비정량적 데이터를 어떻게 수집하고 분석해야 하는지, 분석결과의 신뢰성을 어떻게 검증하고 활용할 것인지 등). 특히, 조직문화의 변화방향은 의도했던 것과 다르게 나타나는 경우가 많으며, 스스로 변하고자 하는 노력이 외부의 개입에 의해 역효과를 일으킬 수도 있고, 더욱 심각한 현상은 이로 인해 안전에 대한 책임감이 희석될 수 있다는 점이다. 따라서 안전문화가 조직에 미치는 포괄적인 영향을 고려하여 핵심적인 구성요소를 선정해야 하며, 문화의 비가시적 영역에 접근하기 위한 방법과 수단을 개발해야 하고, 조직 외부의 감독과 조직 내부의 자발적인 노력 사이의 균형을 제시할 수 있는 방법론을 마련해야 한다. 이를 통해 규제감독 활동이 안전성 유지·증진에 기여하는지 등과 같은 추가적인 논점이 해소될 수 있다.

여기서는 안전문화 규제감독에 대한 국제적인 동향, 규제감독 관점에서 안전문화의 규정, 규제감독과 관련한 이슈들, 감독모델과 이에 대한 타당성 검증, 규제감독 모델의 적용에 대해 살펴보고자 한다.

2. Regulatory Oversight Approaches and Issues on Nuclear Safety Culture

2.1 Safety Culture Oversight Concept Development in Nuclear Field

원자력 산업계에 안전문화라는 개념이 도입되어 확산되고, 안전문화의 평가 및 향상을 위한 수단들이 도입, 적용되는 데에 IAEA의 노력이 컸음이 분명하다. 그러나 IAEA가 제안한 평가방법론이 원전 사업자나 규제기관에서 활발히 활용되지 않은 데에는 몇 가지 이유가 있는 것으로 보인다. 첫째, 안전문화라는 정성적이고 내면적이며 포괄적인 개념을 정량화·객관화하고 분석하는 것이 여러모로 어렵다는 것, 둘째, 안전문화의 수준을 객관적으로 측정 및 평가할 수 있는 방법론이 제대로 정립되지 않았던 점, 셋째, 안전문화와 원자력발전소의 실제 안전성과의 관계에 대한 검증이 어렵다는 점 등이다. 즉 안전성 향상을 위한 매개체로서 안전문화의 역할에 대한 인식과 활용 동기가 부족했다고 볼 수 있다.

2000년대 들어서 주요 원자력 운영국에서 발생하기 시작한 여러 사건들 즉, 일본의 JCO 임계사고, 동경전력의 검사부정사건, 미국의 데이비쓰-베씨 원전 원자로헤드 부식사건, 독일의 필립스버그 원전 은폐사건 등은 안전문화의 중요성을 일깨우는 계기가 되었지만, IAEA 차원에서 주된 관심사가 되지는 못하였다. 그보다는 경제협력개발기구/원자력기구(OECD/NEA)가 중심이 되어 규제기관이 바라보는 관점의 안전문화에 대한 논의를 시작하는 계기가 되었다(OECD/NEA 산하에 설치된 인적·조직인자에 관한 실무그룹(WGHOF: Working Group on Human & Organizational Factors)은 원자력발전소의 안전에 있어 인적 및 조직인자에 관한 규제자간 정보교환을 주도하고 있다. WGHOF는 2006년부터 사업자 안전관리에 관한 규제 접근법에 관심을 갖고 이와 관련된 회의를 통해 "State of Art Report on Safety Management" 보고서(CSNI/R(2006)1)를 발간한 바 있다. 동 보고서에서 WGHOF는 안전관리와 안전문화의 밀접한 관련성에 주목하고 안전관리와 달리 안전문화에 대해 어떤 규제접근법을 취해야 하는지 검토할 것을 권고하였다. 또한 NEA 산하의 검사관행에 관한 실무그룹(WGIP: Working Group on Inspection Practice)은 안전문화와 관련된 검사를 회원국이 어떻게 수행하는지 조사한 바 있으며 여기서 WGHOF와 함께 안전문화의 검사방법에 대해 보

다 체계적으로 접근할 필요가 있음을 지적하였다. 이를 바탕으로 OECD/NEA는 2007년 “Maintaining Oversight of Licensee Safety Culture - Methods & Approaches" 워크샵을 IAEA와 공동으로 개최하면서 규제감독에 관한 논의를 본격화 하였다. 2011년에는 후속 회의가 개최되었다). OECD/NEA는 사업자 관점에서의 안전문화가 아니라 규제기관 관점에서 사업자들이 놓치고 있는 안전문화 노력을 다시 활성화하기 위한 방안에 집중하여 논의하였으며 안전문화에 대한 규제감독(regulatory oversight)에 관한 국제적인 컨센서스를 모으는 노력을 2007년부터 경주하였다.

2011년 후쿠시마 사고로 인해 안전문화에 대한 논의가 새롭게 활성화되면서 OECD/NEA 뿐만 아니라 IAEA에서도 안전문화 프로그램이 새로 시작되었으며 최근에는 안전문화 규제감독에 관한 기술문서(IAEA-TECDOC-1707, Regulatory Oversight of Safety Culture in Nuclear Installations, March 2013)를 발간하는 등 두 국제기구는 안전문화에 대한 새로운 접근법을 시도하고 있다. OECD/NEA의 경우에는 사업자의 안전문화에 대한 규제감독, 그리고 사업자의 안전문화에 영향을 주는 규제기관의 안전문화에 중점을 두고 있는 반면, IAEA는 이들을 포괄하여 사업자, 규제기관 심지어 사회전반의 상호작용을 안전문화와 연계하여 풀어내기 위한 시스테믹 접근(systemic approach)을 대상으로 작업을 전개해 나가고 있다.

이처럼 사업자의 안전문화에 대한 규제감독은 이미 정립된 개념과 방법론으로 무장되어 있다기 보다는 현재 진행형의 분야이다. 원자력 안전규제의 측면에서 나라마다 다른 제도와 규제관행에 따라 입장이 조금씩 상이한 경우도 있으며 이미 검증된 방법론을 기존 규제체계에서 접목할 수 없는 경우도 있는 등 각국 상황에 따라 규제감독의 진행속도는 차이를 보이고 있다. 그러나 IAEA의 안전기준 체계에서 각 회원국들이 받아들여야 하는 안전요건으로 안전문화가 규정될 예정(IAEA는 Safety Standards Series, GSR Part 2, “Leadership and Management for Safety”를 발간할 예정)이어서 안전문화에 대한 규제감독은 대체적으로 방향성을 갖고 있다고 판단된다. 더군다나 안전문화에 대한 규제의 경험은 계속적으로 축적되고 있다. 이미 해상 플랫폼 영역에서 노르웨이는 2002년 안전문화에 대한 규제를 시작하였고 2011년에는 개정된 규제요건과 지침을 발간하기도 하였다. 노르웨이의 규제도입이 주는 시사점은 규제활동을 통해 현장의 관행에 영향을 주었고 변화의 중요한 원동력이 되었다는 점(물론 노르웨이의 안전문화 규제도입에 대해 비판적인 시각을 갖는 학자들도 있다. GudelaGrote and Johann (2013)는 “Why regulators should stay away from safety culture and stick to rules instead"에서 다른 유형의 규제체제, 다른 유형의 리스크, 다른 유형의 관리방법이 혼재하는 상황에서 특정한 방식의 규제개입은 제대로 된 문화적 요인을 도출해 내지 못함을 지적하고 있다. 그러나 저자들의 주장을 되짚으면 안전문화에 대해 규제기관이 무엇을 해야 하는지를 제시하는 것으로 볼 수도 있다)이다(Mark and Natasha).

따라서 안전문화에 대한 규제감독의 문제는 안전문화를 자율의 영역에 둘 것인가, 아니면 규제기관이 수행하는 감독 대상의 하나로 지정할 것인가 중 어느 것이 더욱 효과적일 수 있는지를 정책적으로 결정하는 문제라고 볼 수 있다. 현재까지 충분히 많은 상반된 논의와 증거들이 존재하며 또한 이미 무엇에 집중해야 하는지에 대해서도 많은 논의가 이루어진 상태이다. 원자력 분야에서 규제감독과 관련되어 공통적으로 받아들여지고 있는 사항을 살펴보면 다음과 같다.

2.2 Common Understanding on Regulatory oversight of Safety Culture

안전문화 규제감독의 목적은 안전성능 저하를 일으킬 수 있는 사업자 원자력시설 내의 잠재적 취약점들을 고려하여 이들을 중요하게 조치하고 관리하는 조직차원의 문화적 특성을 갖추도록 하는 것이다. 사업자가 이러한 예방적 관점을 내재화하고 공유함으로써 사업자는 미래의 잠재적 성능 저하를 방지할 수 있고, 다양한 개선점을 발굴하여 기관 내 전반적인 안전성을 향상시키는 조치를 수행할 수 있다. 안전문화 규제감독은 선제적 관리 활동을 통해 규정준수 기반의 규제활동을 보완하는 역할을 하게 된다. 규정준수 기반의 규제는 현재 상태의 안전기준 확보 여부에 중점을 두어 문화의 표층적 수준을 대상으로 하고 심층적 수준에 영향을 주는 것을 목표로 하지는 않는다. 반면 안전문화 규제감독은 조직이 선제적 관리를 위한 문화를 갖도록 방향성을 제시하는 역할을 하는 목표를 갖고 있다.

여기서 규제감독이란 무엇인가? 하는 물음에 접하게 된다. 안전기준 준수 여부를 확인하고 강제하는 규정준수형 규제의 개념과는 다르기 때문이다. 좋은 안전문화를 이루기 위해서는 원전 운영자의 역할과 책임이 우선시 되어야 하며, 안전문화에 대한 규제감독은 원전 운영자의 안전문화 활동에 직

접 개입하여 강제하는 것이 아니라 운영자의 안전문화 활동에 대해 독립적으로 모니터하고 규제기관의 기대치를 제시하여 이를 향해 독려하는 것을 목표로 한다. 다시 말해 규제감독은 “국민과 기업의 활동에 일정한 한도를 정하거나 정한 한도를 넘지 못하게 막는” 제한적 의미를 갖는 ‘규제’라는 협의적 개념이 아니라 “개인이나 조직의 행위가 잘못되지 않도록 모니터하고, 필요한 경우에는 명령이나 제재를 가하는” 독려적 의미를 갖는 ‘감독’의 개념을 바탕으로 한다. 안전문화에 대한 감독은 사업자 스스로도 수행해야 하며 이를 확인하기 위하여 규제기관 차원에서 독립적으로 수행하는 것이 규제감독의 개념이다.

안전문화 규제감독을 논의할 때 유의해야 하는 점들이 공통적으로 제시되어 있다. 첫 번째, 안전문화의 개념적 성격상 규정준수 기반의 지시-통제적(command and control) 관리와는 별개의 방식으로 다루어져야 한다는 점이다. 이는 가시적인 현상에 대한 관찰과 기록물에 대한 검토만으로는 타 조직이 갖고 있는 문화적 근원을 밝히기 힘들다는 사실에 기인한다. 어느 조직의 문화를 관찰하고 변화시키기 위한 목적 그 자체만으로도 이미 그 조직의 문화에 영향을 주게 된다는 E. Schein 박사의 지적처럼 규제감독을 위한 평가, 측정 혹은 검토 행위로는 현재 조직의 문화적 특성이라고 파악한 것은 이미 과거의 것이 되어 버리므로 지시-통제적 접근은 유효할 수 없다. 따라서 특정 시점의 조직에 대한 지시-통제가 아니라 조직 변화의 방향성에 대해 개입하는 것이 필요하고 이를 위해서는 별도의 방법이 필요한 것이다.

두 번째, 안전문화에 대한 정확한 이해를 얻기 위해서는 사업자와 규제요원 간의 소통이 필수적이다. 소통은 안전성 측면에서 안전문화의 중요성을 상호 인식하고 발전시켜 나갈 수 있는 공통의 언어와 체계를 구축하는 것에서 시작한다. 어떤 방향으로 조직이 변화되어야 하는지에 대한 공통의 이해가 전제되어야 소통을 통해 규제측면의 개입이 효과적으로 전달되고 이행될 수 있다. 소통은 사업자와 규제요원으로 하여금 각자의 역할에 대한 존중을 포함한 개방적인 논의를 가능하게 하고 지속적인 안전관련 개선사항을 도출하기 위한 방안을 찾을 수 있도록 돕는다.

세 번째, 안전문화의 변화는 장기간이 소요되는 활동이기 때문에 사업자가 지속적인 관심과 동기를 가질 수 있도록 하는 장치가 필요하다. 원전 현장에서 경영진의 임기는 통상적으로 안전문화의 변화가 이루어지는 기간보다 짧은 경우가 많다. 따라서 조직 구성원의 지속적인 관여와 참여를 위해서는 이에 맞는 규제방안이 강구되어야 한다.

네 번째, 사업자의 안전문화에 대한 규제기관의 개입이 사업자의 안전에 대한 책임을 감소시키는 방향으로 영향을 주거나 규제기관이 행동하는 것은 반드시 피해야 한다. 안전문화에 접근하는 것은 그 조직이 안전에 대한 책임을 높이는 방향으로 작용하여야 하며 자칫 사업자 조직의 모든 것에 대한 관여로 비춰져서는 안된다. 안전성 향상을 위한 지속적인 개선이 조직의 관행이 되기 위해서는 조직 스스로 이를 달성하도록 하여야 하며, 개선을 요구하는 규제기관이 존재하기 때문에 자신의 역할이 아니라고 인식하게 되는 역전현상에 유의해야 한다.

이들을 고려하여 규제감독을 실제로 이행하기 위한 방법과 체제를 갖추는 것이 필요하다. 현재까지 안전문화 규제감독을 위해 채택되었거나 활용하고 있는 방법론을 살펴보면 다음과 같다.

2.3 Basic Regulatory Oversight Approach in Nuclear Field

안전문화 규제감독은 기본적인 사항에 대해서는 컨센서스가 이루어지고 있으나 이를 실제 이행에 옮기는 방법론 및 제도화 과정에서는 각국의 상황과 현실에 맞게 각자의 방법론을 개발하여 활용하고 있다. 이에 따라 규제감독에 대한 관련요건, 기술기준, 지침서, 검사방법, 검사결과에 따른 시정조치, 검사원 교육, 규제감독의 일관성 및 객관성 확보 방법, 감독결과의 공개 등은 나라마다 차이를 보인다(Choi et al., 2015). 그렇지만 한 가지 공통적인 점은 사업자의 안전관리 시스템에 대한 접근에서부터 시작한다는 점이다. IAEA(1999)는 일찍이 사업자의 안전관리 시스템에 관한 논의를 통해 사업자 스스로 규정준수 기반의 안전성 확보를 넘어서는 체계를 갖출 것을 제시하였다. 사업자의 안전관리 시스템에 대한 규제기관의 역할로 “규제기관은 (사업자 조직 내에서) 비판적인 자체평가와 시정활동이 작동하고 있음을 보장함으로써 운영 조직의 안전관리 시스템을 효과적으로 활성화시켜야 한다.”라고 하였고, “이러한 규제기관의 역할은 사업자의 안전에 대한 책임을 감소시키는 방향으로 행동하는 것을 피해야 한다.”라고 강조하였다. 이와 함께 “규제기관은 운영조직의 성능을 감시하며 만약 안전관리 시스템이 비효과적이거나 조직의 안전성능이 저하되는 경우에는 조치를 취해야 한다.”라고 하면서 안전관리 시스템에 대한 접근을 제시한 바 있다. 이를 바탕으로 IAEA(2006)는 안전기준의 하나로 안전관리 시스템 요건을 규정하면서 안전관리 시스템을

통해 안전문화를 강화할 것을 요구하고 있다. 이러한 안전관리 시스템을 통한 안전문화 규제감독에 대한 기반은 각국이 우선적으로 취해야 하는 최소한의 규제행위로 인식되고 있다.

여기에서 한 걸음 더 나아가 어느 시점에 규제기관이 조치를 취해야 하는지를 어떻게 확인할 것인가는 크게 3가지 접근법으로 구분할 수 있다. 첫째는 현장의 취약점을 모니터링하는 접근법이다. 이는 발전소의 성능 저하 혹은 업무 미비점에 대해 안전문화 원인을 분석하여 안전문화 측면의 취약점을 밝혀내고 이에 대해 안전관리 시스템 혹은 안전문화 그 자체에 대한 시정을 요구하는 접근법이라고 할 수 있다. 이러한 접근법을 채택하는 대표적인 국가로는 미국을 들 수 있다. 미국의 원자력 안전규제 당국인 원자력규제위원회(NRC)는 원전에 대한 규제감독 체제로 원자로감독절차(ROP: reactor Oversight Process)를 운영하고 있는데 NRC는 이를 통해 현장의 문제점에 대한 안전 중요도를 평가하면서 공통현안으로 안전문화 관련 요소들을 모니터링한다. 그러한 모니터링 결과를 바탕으로 심각한 안전문화 저하가 발생할 경우 차등적인 규제조치를 이행하게 된다.

두 번째 접근법은 규범적 평가에 대한 검토이다. 이는 안전문화에 대해 규범적 평가방법을 표준화하여 사업자에 제시하고 사업자는 이를 기반으로 안전문화에 대한 자체평가를 실시하여 규제기관에 제출하면 규제기관이 이에 대해 검토하여 평가의 적절성, 시정조치 계획의 적합성 등을 검토하는 접근법이다. 대표적으로 캐나다가 계획하고 있는 안전문화 감독법이라 할 수 있다. 또한 우리나라도 주기적안전성평가(PSR: Periodic Safety Review) 제도에 따라 10년마다 사업자들이 각 원전 조직의 안전문화에 대해 평가하고 규제기관은 이를 검토하여 안전성 증진사항을 확인하고 있다.

세 번째는 안전문화 지표를 활용하는 방법이다. 이는 안전문화의 특성이 발현된다고 가정하는 지표를 설정하여 이를 관찰, 평가하여 점수화한 후 지표값이 저하되는 경우 안전문화 점검을 수행하는 접근법이다. 대표적으로 독일이 활용하는 KOMFORT(Catalogue for recording organisational and human factors during on-site inspections) 및 핀란드가 한때 활용하던 KOTKA(Tool to collect and analyse inspection findings) 점검표에 따른 감독법이라 할 수 있다. 이러한 안전문화 지표는 안전문화 전체를 대표하지 않고 일종의 대용물(proxy)로 기능하기 때문에 이것이 안전문화 수준을 나타내는 것이라고 오해하지 않도록 해야 한다.

3. Nuclear Safety Culture Oversight Model of Korea

지금까지 원자력 안전문화에 대한 규제기관의 역할 및 감독활동에 대한 국제적인 전개양상, 주요 개념 및 방법론을 살펴보았다. 이러한 배경을 바탕으로 후쿠시마 원전사고 이후 국내에서도 원자력발전소 운영자에 대한 안전문화 규제감독을 위한 노력이 전개되고 있다. 이를 위해 어떻게 규제감독 모델을 구축하였는지 우선 살펴보고 다음 장에서 이에 대한 타당성 검증, 시범적용 결과를 소개한다.

3.1 Development of Safety Culture Definition and Components

앞에서 서술한 바와 같이 안전문화 규제감독은 원전 운영자의 안전문화 활동에 대해 독립적으로 모니터하고 규제기관의 기대치를 제시하여 이를 향해 독려하는 것을 목표로 하는 활동이다. 따라서 규제감독은 안전문화에 대한 규제기관의 기대치를 제시하는 것에서 출발한다. 규제감독에서 목표로 하는 안전문화에 대해 규제자, 원전 운영자, 이해관계자 사이에 공통의 인식(common understanding)을 형성하는 것이 필수적인데 이를 위해 우선 안전문화에 대한 정의부터 출발할 필요가 있다. 규제감독 모델에서는 안전문화를 “원자력 안전의 중요성에 대해 조직의 구성원들이 공유하는 행동양식, 핵심가치와 기본신념”으로 정의하고 있다. 이러한 정의가 갖는 의미는 다음과 같다. 첫째, IAEA 및 여러 해외 규제기관이 주로 사용하는 ‘안전문화(safety culture)’의 정의는 ‘안전성을 최우선으로 하는(IAEA)’, ‘안전성을 우선적으로 강조하는(NRC)’ 등의 표현을 사용함으로써 사실상 ‘좋은 안전문화’에 대해 정의하고 있다. 여기서는 안전문화가 여러 관련 문서에서 자주 사용하는 좋은(흔히 positive, healthy, or robust 등으로 표현) 안전문화와 취약한(weak, poor or deteriorated 등으로 표현) 안전문화의 연속선상의 어느 부분에 위치한다고 보고 ‘안전의 중요성에 대해 공유하는’이라는 가치중립적인 표현으로 정의하는 방식을 취하였다. 이렇게 함으로써 좋은 안전문화의 요소는 장려하고 취약한 안전문화의 원인은 개선하는 안전문화의 변화에 대해 논의할 수 있는 기반을 제공하고 있다.

둘째, IAEA 및 해외 규제기관에서 채택하고 있는

E. Schein(2010)의 조직문화 3계층 모델이 제시하는 유형물(artefacts), 기대가치(espoused values) 및 기본가정(basic assumptions)의 주요 요소를 포함할 수 있도록 안전문화의 정의를 행동양식(behavioral patterns), 핵심가치(core values) 및 기본신념(basic beliefs)으로 구성하고 있다. 이러한 구성은 J. Reason(1997)이 제시하는 '행동규범(behavioral norms: the way we do things around here)', '가치(values: what is important)', '믿음(beliefs: how things work)'과도 연계된다.

셋째, IAEA의 INSAG-4(Safety Culture, Safety Series No.75-INSAG-4, IAEA, Vienna (1991))는 안전문화가 조직과 개인에 연계됨을 강조하였고, J. Reason(1997, 2008)은 개인의 오류뿐만 아니라 조직차원의 취약점을 개선할 중요성을 일깨웠으며, E. Schein(2010)은 조직문화의 생성 및 변화에서 리더의 역할을 강조하였다. 따라서 종사자 개인과 조직 모두를 안전문화에서 다루며, '조직의 구성원들'에 경영진, 관리자, 리더 및 직원을 포괄하는 것으로 정의한다.

넷째, E. Schein(2010)에 의하면 조직문화는 "환경적응(external adaptation)과 조직통합(internal integration)의 문제를 해결하기 위해 조직이 습득하여 공유하고 있는 기본가정(basic assumptions)의 패턴(pattern)"으로 정의된다. 따라서 조직의 안전문화는 조직의 구성원들 사이에서 공유되는 것이며, 공유 과정을 통해 강화 혹은 약화되거나 변화할 가능성을 가진다. 안전문화 규제감독에서는 구성원이 보유하는 특성과 함께 구성원이 공유하는 특성을 강조함으로써 개인 차원의 역량과 업무에 관한 책임성뿐만 아니라 조직 차원에서 갖고 있는 조직관리 및 안전문화에 대한 이해와 공유의 책임까지 포괄한다. 이러한 관점은 종래의 개인에 문제의 근원을 집중하던 것에서 개인 간의 상호작용에 의해 개인의 행동이 평가되고 수용되거나 거부되는 문화적 형성과정을 거치는 역동적인 개념을 채택하는 의미를 갖는다.

다섯째, '행동양식'이란 조직의 구성원들이 조직의 목표를 달성하기 위해 수행하는 모든 활동(의사결정, 작업, 대화 등)의 과정 및 결과에서 드러나는 가시적인 상징(象徵), 의식(儀式), 행위(行爲)들의 유형을 의미하며, '핵심가치'란 조직의 내외부에서 강조하는 원칙, 규율, 정책 등에 대해 구성원들이 채택하거나 지지함으로써 가장 중요한 것으로 인정받는 가치를 의미하고, '기본신념'이란 조직의 구성원들이 무의식적으로 당연하게 받아들이는 기본적인 생각과 믿음을 뜻한다.

이러한 안전문화의 개념적(conceptual) 정의(definition)로부터 조작적(operational) 구체화를 위한 안전문화 구성요소를 설정하여야 한다. 원전 운영자는 자신에 적합한 구성요소를 개발.채택하여 안전문화 증진을 위해 활용하는 반면, 규제기관이 제시하는 구성요소는 규제기관의 감독에 활용하는 안전문화와 관련된 기대치를 구체화한 것이다. 원전 운영자가 자신의 정의로부터 도출하는 구성요소가 규제기관의 것과 일치하지 않을 수도 있는데 이는 전자가 후자보다 구성요소를 더욱 구체적으로 설정함으로써 규제기관이 관여하지 않는, 그리고 관여하더라도 비효율적인 부분까지도 운영자는 적극적으로 대응할 필요가 있다. Table 1(각각의 항목에 대한 구체적인 의미를 연계하고 안전문화 관련 행동기준 혹은 저하경향을 표현하는 문헌들과의 비교분석 결과는 KINS 안전문화 규제감독 기반구축 및 시스템 개발 연구과제 보고서(Choi et al., 2015)를 참조)은 규제감독 모델에서 제시하는 구성요소 및 각 구성요소의 기대수준이다. 구성요소는 다음과 같은 내용으로 구성되어 있다. 첫째, IAEA GSR Part 2의 내용을 반영하여 안전문화 관리시스템, 안전 리더십, 변화관리를 포함하고 있다. 둘째, 미국 원자력규제위원회(NRC)에서 중점적으로 관리하고 있는 문제식별과 해결, 진단과 개선을 포함한다. 셋째, NRC가 1980년대부터 강조하고 있으며, 항공분야 안전문화 핵심요소로 자리잡고 있는 J. Reason의 보고문화와 관련하여 안전중시 업무환경을 포함한다. 넷째, 현장에서 발전소 안전과 직결되는 종사자의 인적수행도와 관련하여 IAEA 뿐만 아니라 미국의 NRC, 에너지부(DOE), 사업자협회(INPO) 등에서 제시하는 의사결정, 작업관행, 작업관리를 포함한다. 다섯째, 지속적 안전성 향상을 위한 요소로서 사후적(reactive) 관점의 운전경험반영, 선제적(proactive) 관점의 진단과 개선 항목을 포함하고 있다. 여섯째, 보고문화의 기초가 되는 공정문화(just culture)를 포함함으로써 국내 인적오류 보고를 활성화할 수 있도록 한다. 일곱째, 고리 1호기 정전은폐 사건의 원인이었던 경제성 위주의 성과평가 제도를 개선하고 안전성 위주의 평가, 승진, 포상 등을 유도하기 위해 조직역량 항목을 포함하고 있다.

Table 1. Nuclear Safety Culture Oversight Model and Components

Safety Culture Components	
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 systematic and 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 coaching, 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, work 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 disadvantage 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 workers involved in accident, incident, or error in the workplace are not punished by their unintended mistakes. The evaluation and decision of disciplinary action are based on fairness principle and clear criteria of unacceptable behaviour in the organization.
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. Leaders from all levels are involved in oversight of resource availability to keep safety as a priority.
	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.
Safety Culture Management System (SCMS)	Management System: The organization establishes and implements a management system to promote a strong safety culture which corresponds to global safety standard. The management system includes definition, model, and implementation framework for continuous improvement of safety culture.
	Implementation Organization: The organization cultivates safety culture specialists. The organization shall have a team with exclusive charge on the implementation of safety culture management system.
	Implementation Framework: The organization establishes an implementation framework including regular assessments of safety culture using state-of-the-art methods, monitoring to detect early signs of decline in safety culture and analysis of trends, causal factors analysis to identify potential safety culture problems within major issues, and corrective actions with effectiveness evaluation of cultural change.

3.2 Safety Culture Oversight Framework

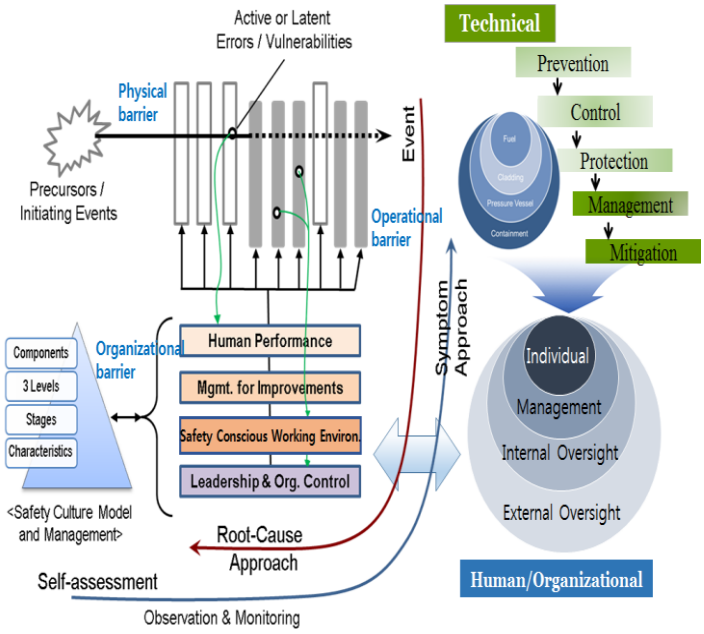
앞에서 기술한 바와 같이 안전문화 규제감독은 크게 3가지 접근법으로 구성해 볼 수 있으며 이를 원전 시스템의 심층방어 개념과 접목하여 도시화하면 Figure 1과 같다. 원전의 안전성은 심층방어 개념으로 설명될 수 있다. 다중의 물리적 방벽과 다단계의 방어전략으로 구성되는 심층방어를 통해 원전 시설에서 발생하는 기기고장이나 인적실수를 보완

하게 된다. 물리적 방벽이나 안전설비들은 일종의 하드웨어 측면의 방벽이라고 할 수 있고 운전 및 정비 프로그램, 절차서 등은 소프트웨어 측면의 방벽으로 생각할 수 있다. 이러한 방벽들은 규제체계 하에서 반드시 성능이나 운영능력이 법령이나 기술기준의 요건을 만족해야 하는 사항이다. 방벽들 간에는 독립성이 확보되어 있어야 하며 독립적이지 않을 경우 하나의 방벽이 실패할 경우 후속의 방벽이 보완한다는 심층방어의 기본적인 원칙이 지켜지지 못한다. Figure 1에서 취약점 원인분석에 의한 안전문화 개선 접근법(Root-cause Approach)은 각종 방벽에서 드러난 혹은 내재되어 있는 취약점의 원인이 안전문화의 어느 부분과 관계되는지 파악하고 안전문화 차원에서 개선할 부분을 조치하는 것을 표현하고 있으며, Symptom-approach는 안전문화에 대한 규범적 모델을 출발점으로 하여 안전문화의 핵심적인 사항을 향상시키는 활동을 표현하고 있다. 이는 시설, 운영, 조직 등의 영역에서 측정할 수 있는 지표들을 뽑아내고 이를 통해서 평가 및 점검하는 것을 포함한다.

원전 안전성 확보의 근간인 심층방어 개념을 접목하여 원전 운영 조직의 인적 조직적 건전성을 확보하는 4가지 조직방벽과, 각 방벽의 핵심활동들을 구성요소로 설정하는 방식을 취하였다.

각 조직방벽의 기본 개념은 다음과 같다. 원전 시스템에 가장 근접하여 작업에 대한 의사결정을 내리고 작업을 수행하는 인적수행도 향상의 측면에서 인적수행 관리를 첫 번째 방벽으로 설정하였다. 두 번째는 인적수행도 향상을 위해 필요한 노력으로 경험반영과 운영개선을 설정하였다. 시스템에 존재하는 다양한 오류들을 가능한 한 많이 찾아내고 조치하는 활동을 위한 제도, 절차, 실제 행위 등이 여기에 속하게 된다. 인적오류를 유발할 수 있는 시스템 취약점을 걸러내면 인적수행도가 향상될 수 있다. 세 번째는 경험반영 및 운영개선이 효과적으로 이행되기 위해서 필요한 안전중시 업무환경이다. 안전정보가 자유로이 제기되고 공유되며 해결되는 분위기를 갖추기 위해서는 이를 위한 정책과 제도가 수립되고 다양하고 비밀이 보장되는 보고경로가 존재해야 하며 공정문화가 확립되어 있어야 한다. 네 번째 장벽으로서 이들을 이행하고 동기를 부여하는 리더십이 필요하며, 조직 차원에서 뒷받침해야 하는 역량관리, 변화관리 등이 필요하다. 마지막으로 조직의 안전문화를 관리하기 위한 시스템과 조직, 이행체계 등 안전문화 관리시스템을 통해 지속적으로 안전문화를 증진시켜 나가는 것이 필요하다.

Figure 1. Concept and Approach for Safety Culture Oversight Model Development



4. Validation and Application of Regulatory Oversight Model

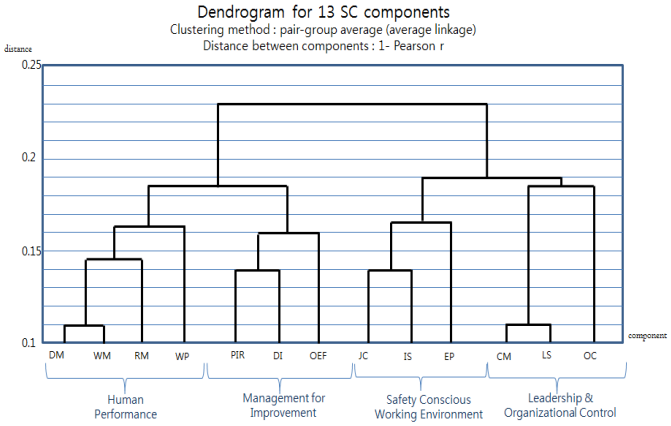
원자력 분야에서 안전문화 모델에 대한 타당성 검증 연구는 미국에서 2010년도에 수행된 것이 최초(Stephanie Morrow and Valerie Barnes (2012). “Independent evaluation of INPO's nuclear safety culture survey and construct validation study”, US NRC)이며, 아직 국내에서는 관련 연구가 부족한 실정이다. KINS는 국내 원자력발전소 운영조직에 대한 규제감독을 목적으로 개발한 안전문화 감독모델의 타당성 검증을 위해 국내외 연구결과에 대한 벤치마킹, 안전문화 정량데이터의 취득 및 통계적 분석, 국내 원전 운영조직에 실제 적용 등을 수행하였는데, 여기서는 각각의 방법과 결과를 요약하여 제시하고자 한다. 검증 범위는 안전문화 감독모델의 16개 구성요소 중에서 ‘안전문화 관리시스템’ 분야를 제외하고 안전문화 특성과 관련된 4개 분야 13개 항목에 대해 사회과학분야 연구의 타당성 척도인 내용, 구성, 기준 타당성을 검증하였다.

먼저 내용 타당성(content validity)은 측정하고자 하는 내용이 조사 대상의 주요 특징을 대표하는 정도를 나타내는 것으로 전문가들의 주관적인 지식이 판단 기준이 된다. 원자력안전문화와 관련된 주요 문헌들과 해외 원자력 규제기관 및 국제기구가 사용하는 안전문화 구성요소를 비교 분석하고, 국내 전문가 검토 결과를 반영하여 각 구성요소의 상세 내용을 수정 보완하였다.

구성 타당성(construct validity)은 측정하고자 하는 내용이 대상에 대한 이론적 구성 또는 가설과 부합하는 정도를 나타내는 것으로 집중(convergent), 판별(discriminant) 타당성 등 구성요소 체계(structure)에 대한 검증 및 개별 구성요소의 신뢰도(reliability) 확인을 통해 수행한다. 이를 위해서는 안전문화 감독모델 적용 대상인 한수원 종사자들의 안전문화 현 상태(current picture)에 대한 정량적인 데이터가 필요하다. 안전문화 정량데이터 취득을 위해 국내 원자력발전소 종사자에 대한 면대면 설문조사 방식을 사용하였으며, 설문 항목의 개발, 설문조사의 기획 및 시행 과정에서는 설문 응답의 정확성, 검증의 용이성, 설문 항목의 신뢰도를 높이기 위해 IAEA(2002)와 US NRC의 방법론(Inspection Procedure 95003-02)을 참고하였다. 설문조사지는 한 차례 예비 설문조사를 수행하여 개정하였으며, 총 59개 설문문항에 대해 운영 중인 12개 원자력발전소 종사자 1,170여명으로부터 얻은 7-point Likert 척도 응답 결과를 구성 타당성 검증에 활용하였다. 13개 구성요소 모두는 Cronbach's coefficient alpha 값이 0.8 이상으로 높은 내적 일치성을 가지고 있어 개별 요소로써 충분한 신뢰도를 가지고 있으며, 모든 구성요소를 포괄하는 '안전문화 전체' (59개 설문항목 전체 평균) 항목의 alpha 값은 0.987로 미국과 IAEA 모델을 사용한 연구에서보다 높게 나타났다. Figure 2는 집중.판별 타당성 분석을 위해 구성요소 쌍 간의 상관관계(pearson correlation coefficient)를 기반으로 관계구조를 dendrogram을 사용해 나타낸 것이다. 13개 구성요소 전반적으로 요소들 간 거리가 멀지는 않으나 그 내부에서도 동일 분야 요소간 거리는 가깝고 타 분야 구성요소와는 거리가 비교적 먼 것이 확인된다.

기준 타당성(criterion-related validity)은 측정하고자 하는 내용이 조사 대상의 성능(performance) 특성과 부합하는지 여부를 판단하는 개념이다. 앞서 구성 타당성 검증에서 사용한 안전문화 데이터와 원전 안전성능 데이터 간의 상관관계를 분석함으로써 이를 입증할 수 있다.

Figure 2. Distance between SC components



원전 안전성능 연관 항목으로는 규제 검사, 원전 사건 발생 및 조사 결과, 발전소 운영 성능, KINS 안전성능 지표 등에서부터 가용한 데이터 총 16개를 사용하여 안전문화 요소-안전 성능 간의 상관관계(pearson correlation coefficient)를 분석하였다. 그 결과 규제검사 지적사항(최근3년간), 원자로 비가동률은 안전문화 요소와 강한 음의 상관관계가 있으며, 인적실수로 인한 원자로 정지 사건 수, 1등급 이상 사건 수, 비계획 원자로 정지, 소내 방사선 선량 등이 안전문화 요소와 비교적 높은 음의 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

이상의 검증은 안전문화 감독모델에 대해 내용의 폭넓음, 개별 요소 신뢰성, 구조 모형, 안전 성능과의 관계 등 측면에서 타당성을 평가한 것이며 다소 이론적이며 과학적인 방법을 사용한 것이다. 이와 함께 규제감독 대상 조직에 대한 안전문화 검사(Inspection)에서 직접 감독모델을 적용함으로써 현장 적합성을 확인하였다. 한수원에 대한 안전문화 점검은 2013년부터 2015년까지 원전 정지 기간중(Overhaul 기간) 4회, 가동중 6회 2~3일간의 발전소 현장 방문을 통해 수행되었으며, 한수원 본사에 대해서도 2014, 2015년 각 1회 3~4일간 KINS 검사원들이 수행하였다. 점검 내용은 안전문화 구성요소별로 국제적 모범관행에 따라 상세 점검항목을 도출하고, 점검과정에서 발견된 모범관행 대비 개선필요사항을 도출하였다. 점검은 안전문화 구성요소에 대해 종사자들이 갖는 인식, 제도 및 절차와 같은 행동을 위한 기반, 그리고 행동의 결과를 확인하는 방식으로 이루어졌다. 인식은 종사자 심층면담, 포커스그룹인터뷰 및 설문을 통해서, 기반 및 결과에 대해서는 서류검토와 담당자 면담 방식을 사용하였다. 각 발전소별로 2~6개, 각 구성요

소별로 1~3개의 개선필요사항이 도출되었다. 또한, 2015년도 점검에서 2014년도 점검에서 도출된 개선사항들이 적합하게 이행되고 있는지의 여부를 점검하였다. 안전문화는 단기간에 개선되거나 효과적으로 변화되지 않기 때문에 장기적인 계획에 따라 이행하고 변화의 유효성을 정기적으로 점검하여, 조직에 적합한 형태로 내재화하는 것이 필요함을 확인하였다.

5. Conclusion

과거 국내외적으로 원자력 안전문화를 규범적, 관리적 접근법으로 다룸으로써 실효성 있는 결과를 얻지 못하였다. 안전문화를 규제감독의 영역으로 가져오기 위해서는 과거의 접근법에서 탈피하여 실제 안전성능과 연계되는 분야에 집중하고 이를 확인하여 개선점을 도출할 수 있도록 하는 방법론이 요구되었다. 본 논문은 이를 위해 안전문화 규제감독에 대한 근원적인 개념에서부터 출발하여 이와 관련된 주요 이슈들을 살펴보고 해외의 규제경험을 기반으로 국내에 적합한 규제감독 모델을 개발하고 적용한 노력을 소개하였다. 개발된 모델에 대한 타당성 검증을 수행하였고 시범적용을 통해 국내 원전의 안전문화에서 개선이 필요한 사항들을 다수 도출할 수 있었다. 이로부터 규제감독 모델이 적합하게 구조화되었음을 확인할 수 있었다. 이러한 규제감독 모델은 원전의 정상상태에서 심층방어 개념을 강화하고 유지하기 위해 필요한 안전문화의 개념에서 다루어졌다. 향후 필요한 연구내용은 원전이 비정상상태에 놓이게 되었을 때 심층방어 기능을 회복하기 위해 조직이 어떤 안전문화 특성을 가져야 할 것인가이다. 이러한 상황에서 발전소 조직이 드러내는 조직의 특성을 어떻게 유형화하고 무엇을 핵심적인 요소로 관리할 것인가는 정상상태에서의 조직 특성과 다를 수 있다. 또한 각 상황에서 관여되는 조직의 구성원들 간의 역학관계 즉, 갈등과 권력구조의 변화는 올바른 사건대처를 위해 정립되어야 하는 분야이다. 앞으로 이에 대한 연구가 진전되길 기대해 본다.

Acknowledgements

This research is by the Nuclear Safety Research Program through the Korea Nuclear Safety Foundation(KORSAFe), granted financial resource from the Nuclear Safety and Security Commission(NSSC), Republic of Korea.

References

GudelaGrote & Johann Weichbrodt, Why regulators should stay away from safety culture and stick to rules instead, In book: Trapping Safety into Rules: How Desirable and Avoidable is Proceduralization of Safety?, Chapter: 13, Publisher: Ashgate, Editors: Corinne Bieder, Mathilde Bourrier, pp.225-240 (2013)

Mark Flemin and Natasha Scott, A Regulator's Guide to Safety Culture and Leadership, Technical Report prepared for Canada Nova Scotia Offshore Petroleum Board and Canada Newfoundland and Labrador Offshore Petroleum Board

Choi et al., Development of Regulatory Infrastructure for the Oversight of Safety Culture, KINS/RR-1134 Vol.3 (2015)

INTERNATIONAL NUCLEAR SAFETY GROUP, Management of Operational Safety in Nuclear Power Plants, INSAG-13, IAEA, Vienna (1999).

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Management System for Facilities and Activities, IAEA Safety Standards Series No. GS-R-3, IAEA, Vienna (2006).

Edgar Schein, Organizational Culture and Leadership, Jossey-Bass (2010)

US NRC, Inspection Procedure 95003-02. Appendix F

IAEA, Safety Culture in Nuclear Installations: Guidance for Use in the Enhancement of Safety Culture, IAEA-TECDOC-1329 (2002)Karhu, O., Kansi, P. and Kuorinka, I., Correcting working postures in industry: a practical method for analysis, *Applied Ergonomics*, 8(4), 199-201, 1977.

Author listings

Young Sung Choi: cys@kins.re.kr

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

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

Areas of interest: Safety policy, Safety culture

Su Jin Jung: sjj@kins.re.kr

Highest degree: PhD, Department of Industrial Engineering, KAIST

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

Areas of interest: Safety policy, Safety culture

Yun Hyung Chung: yuchung@kins.re.kr

Highest degree: PhD, Department of Industrial Engineering, KAIST
Nuclear Safety
Areas of interest: Human Factors in Nuclear area, Safety culture