

원자력안전의 개념과 측정방법에 대한 고찰 A Study on the Concept of Nuclear Safety and its Measurement

최광식¹⁾, 최영성
한국원자력안전기술원
대전광역시 유성구 구성동 19

요 약

원자력안전성을 어떻게 측정할 것인가 하는 것은 원전사업자와 규제자의 공통관심사항이다. 본 논문에서는 일반적인 안전과 위험, 리스크의 정의와 왜 안전성을 추구하는지를 논하고 원자력안전의 정의와 본질 그리고 특성에 대해 고찰하였으며 원자력 안전성확보 방법론에 대해 논의하였다. 안전성을 측정하는 방법을 고찰하기 위하여 안전성능지표 개발 관련 국제 동향을 분석하고 IAEA의 운전안전성능지표, 안전문화지표 및 이들간의 관계를 검토하였으며 국내현황을 소개하고 향후과제를 제시하였다.

Abstract

How to measure nuclear safety is the common subject of utility and regulator. This paper reviews the basic concept and definition of safety, hazard and risk and examines the reason why people pursue safety. Based on these general understanding, the meaning and characteristics of nuclear safety are discussed and methods to assure nuclear safety are addressed. International activities to develop safety performance indicators are analyzed and operational safety performance indicators, safety culture indicators developed by IAEA are explained and their relations are examined. Performance indicators in Korea are also explained with improvement plan and areas for future studies are suggested.

1. 서 언

원전을 안전하게 운전하고 이를 확인하는 것은 원자력 사업자나 규제자들의 임무이며 또한 대중과 언론의 관심의 대상이기도 하다. 사업자들은 자신들이 운전하는 원전의 안전성을 확보하기 위하여 원전의 안전성을 나타내는 지표나 그것에 영향을 미치는 요소들과의 관계를 알고 싶어 한다. 그리고 규제자는 그 나라의 원자력시설 안전수준이 그 사회가 수용 가능한 수준으로 확보·유지되고 있는지, 안전성 향상을 위해 필요한 것이 무엇인지에 근거하여 규제업무를 수행하고자 규제대상이 되는 원자력시설의 현재의 안전수준을 알고 싶어하며 국민과 NGO들도 그들이 불안과 우려를 갖고있는 원전의 안전에 대해서 과학자들의 전문용어가 아닌 이해하기 쉬운 말로 설명을 듣기를 원한다.

이같은 필요성으로 인해 원전안전의 수준을 어떤 형태로든 종합하여 나타내어 보고자 각국들이 노력해 왔는데 근래에 IAEA가 그러한 여러 노력들을 결집하여 운전안전성능지표

1) E-mail: choi@kins.re.kr, Tel: 042-868-0124

(operational safety performance indicator)를 개발하였다. 미국의 경우는 이미 안전성 초석 (Cornerstones of Safe Operation)별 성능지표와 검사지적사항을 종합하여 규제의 강도를 차등화하는 제도를 시행하고 있다.

본고에서는 안전의 정의, 안전과 리스크와의 관계 등 안전에 대한 본질적인 내용과 개념을 정리하고, 원자력안전의 특성과 확보방법론 등을 살펴 원자력안전을 종합적으로 나타내기 위한 지표를 설정하는데 유념할 사항들을 설명하고, 원자력안전을 나타내기 위해 관심의 대상이 되어야 할 국내외 안전성능 및 안전문화 지표들에 대해 논의하고자 한다.

2. 안전의 개념과 제 논점

가. 안전, 위험 및 리스크

안전의 사전적 의미는 ‘위험으로부터 벗어나 있는 것’이며, 일반적으로 위험의 정도를 리스크라는 개념으로 객관화하여 사용하므로 ‘리스크가 적은 상태’를 안전이라고 정의할 수 있다. 사회 여러 분야 예컨대 경제나 경영에서도 리스크라는 말이 사용되나 여기서는 인명과 재산의 피해에 관련된 리스크만을 논하기로 한다. 리스크란 공학에서 사건의 발생확률에 결과의 심각성을 곱한 것으로 정의된다²⁾. 즉 리스크를 말하는 것은 그 일어나기 쉬움 (Likelihood)과 유해한 영향의 결과(Consequence)를 기술하는 것이다. 유해한 영향은 예컨대 매년 상실되는 인명 수, 단축되는 수명의 평균, 기능 상실의 정도, 유전자의 변이 등 여러 가지로 표현할 수 있다.

여기서 리스크는 위험의 정도를 객관화한 것이지 위험의 모든 것을 나타내는 것은 아님을 이해할 필요가 있다. 공학적으로 계산해 낸 리스크의 높고 낮음에 따라 일반국민이 이를 수용하지 않는다는 것은 리스크로 표현되지 않는 위험의 정성적 측면이 있음을 알려준다. 특히, 리스크는 그 당시 최선의 과학적 지식과 통계자료내에서 계산되는 것으로 여러 가지 불확실성이 내포되고 또한 새로운 과학지식, 새로운 통계자료 등의 축적에 따라 변할 수도 있는 불안정한 것이므로 이를 계산할 때는 보수적인 가정과 민감도 분석 등 여러 가지 기법을 통하여 불확실성을 극복하려고 노력한다. 또한 리스크의 계산과정에서도 어떤 시나리오를 포함하고, 어떤 데이터를 사용하는지에 대한 주관성이 곳곳에서 개입되기도 한다. 따라서 리스크 계산 결과가 완전한 것이 아니고 리스크가 위험의 모든 것을 나타내는 것이 아니므로 위험을 리스크로 대표하여 리스크에만 근거한 위험수용을 논해서는 유용한 결과를 얻을 수 없다. 리스크로 대표되는 위험이 수용되기 위해서는 리스크의 객관성을 주장하는 것은 소용없으며, 리스크 계산의 절차적 투명성, 정보공개, 이해당사자의 참여 등이 제공되어야 리스크로 대표되는 위험을 일반국민이 수용하게 된다.

본고에서는 이러한 리스크와 위험의 관계를 염두에 두고 폭넓은 개념이 필요할 때는 위험이라는 용어를, 그렇지 않아도 될 경우에는 리스크라는 용어를 사용하기로 한다.

나. 안전 혹은 위험의 수용

우리가 어떤 것이 안전하다고 이야기하는 것은 그것의 안전 수준이 ‘개인 혹은 사회가

2) 최근 미국 원자력규제위원회는 “리스크”를 다음과 같은 3가지 근원적인 질문에 대한 답으로 구성되는 개념으로 재정의하여 전통적인 “확률X심각도”의 개념을 확장하고 있다(SECY-98-144). (1) “무엇이 잘못될 수 있는가? (What can go wrong?)” 이에 대한 대답은 “일어날 가능성이 있는 사건 또는 상태의 조합인 시나리오”로 주어질 수 있다. (2) “그 가능성은 얼마나 되는가? (How likely is it?)” 이에 대한 대답은 가능성을 정량화하기 위한 증거들, 즉 특정 고장모드 빈도, 노심손상확률 등으로 주어질 수 있다. (3) “그 결과(영향)는 어떠한가? (What are the consequences?)” 이에 대한 대답은 원자력의 경우 일반대중에 미치는 피폭선량으로 주어질 수 있다.

수용 가능한' 수준임을 의미한다. 바꾸어 말하면, 절대적으로 안전하다는 말은 비현실적인 것으로서 예컨대 자동차의 절대적 안전은 자동차가 운행되고 있지 않을 때 달성된다. 수용 가능한 안전, 혹은 수용 가능한 위험을 명확히 정의하기는 어려우나 개인, 사회, 국가의 경제여건 및 전반적인 가치 순위에 따라 다르다. 따라서 원자력안전도 그 사회가 요구(수용)하는 수준을 정하는 것이 중요하며 그것을 가지고 논의되어야 한다.

다. 위험의 종류와 특성

사람이 살아가는 사회에는 여러 종류의 위험들이 존재한다. 무엇이 위험한 것으로 간주되는가. 작고, 큰 위험의 차이는 무엇인가. 기대 편익에 비추어 감수할 가치가 있는 위험과 기대되는 피해에도 불구하고 감수해야 하는 위험은 무엇인가. 이런 질문들에 대한 대답은 궁극적으로 그 사회의 가치체계와 관련된다. 여기서는 우리가 흔히 리스크 관점에서 동일시 하지만 위험이라는 개념에서 보면 실제로 엄연한 차이가 있는 것들을 살펴보기로 한다.

리스크에는 그에 따른 편익이 있기 때문에 자신이 수용하고 선택하는 자발적 리스크가 있고 자신의 의사와 상관없이 노출되는 비자발적 리스크가 있다. 자동차를 운전하는 사람이 겪게 되는 리스크와 발전소 주변에 거주함으로써 인해 겪는 리스크에는 엄연한 차이가 있다. 비자발적인 리스크들은 다른 사람들이나 기업들의 소비나 생산행위로부터 초래되는 소위 외부성(externality)의 성격을 가지며 이를 시장기능에만 맡겨놓을 경우 그 리스크는 그 사회가 수용가능한 적정 수준으로 저감, 유지되지 않게 되는 것이 일반적인 특성이므로 이를 통제하기 위한 여러 가지 국가적인 수단이 필요하다.

개인적 리스크(Individual Health Risk)와 사회적 리스크(Societal Risk)의 고려도 중요하다. IAEA Safety Series No.110에서는 이들의 의미를 명확히 하고 있는데 개인적 리스크는 개인이 겪게 되는 치명적 상해 혹은 질병을 가리키며, 사회적 리스크는 이들 외에 잠재적으로 겪게 될 수 있는 모든 사망과 상해, 장기간의 토지사용제한, 정상적인 생활의 붕괴, 재산상의 손실, 생산성의 저하 등을 포함한다(IAEA, 1993).

사고확률은 적지만 일단 발생하면 심각성이 큰 리스크와 사고확률은 크지만 심각성이 작은 리스크도 구별되어야 한다. 예를 들어, 인구 4천만명이 사망하는 사건이 발생할 확률이 1/4천만인 리스크와 100명이 사망하는 사건이 발생할 확률이 1/100인 리스크는 크기는 같아도 달리 취급될 필요가 있다.

또한 위험의 형평성도 중요하게 논의되어야 하는데 특정한 개인 혹은 집단의 리스크가 높아지는 것은 사회 전체적으로 용납되지 않을 것이다.

라. 안전의 추구

인간이 안전에 대해 논의하고 안전을 추구하는 이유를 크게 다음과 같이 생각해 볼 수 있다. 첫째, 안전에의 추구는 동물의 생존 및 개체유지 종족보존의 본능의 발로라는 관점이다. 이 세상에서 생명을 가진 생물이라면 말할 필요도 없이 그 존재 및 생명을 유지하려고 한다. 생명체는 자신의 생명에 위험요소가 되는 것은 본능적으로 피하려고 하며, 인간 역시 동물이므로 그것에서 벗어날 수 없다. 이것이 곧 인간이 안전성을 추구하는 기본근거가 된다³⁾. 그러나 안전을 추구하는데 있어서 무조건적인 위험회피를 하는 것은 아니며 감수해야 할 리스크와 편익의 비교형량을 하게 된다. 초식동물들이 생명유지를 위하여 물을 마시기 위해 위험을 감수하고 사자가 있는 물가로 다가오듯이 인간도 생존을 위해서 그리고 다른 편익을 위해서는 일정수준의 위험을 감수하게 된다. 그러한 개개인들의 판단이 사회적으로 집적되어 그 사회가 수용 가능한 수준의 안전성에 대한 합의로 나타난다.

둘째, 경제학적인 관점에서 안전성의 추구는 개인이나 사회가 예상외의 비용의 초래를 막으려는 행동이다. 개인 입장에서 사고를 당하거나 생명을 잃게되는 것은 그 가정의 큰 경

제적 손실로 연결되며 어떤 기업에서 사고가 발생하면 생산능력의 감소, 치료비부담의 증가 등의 비용이 발생하고 공공시설 등에서 큰 사고가 발생할 경우 역시 국가가 그 사고에 대한 조치, 대책을 마련하여야 하므로 사회적 비용이 발생하게 된다. 그러므로 이러한 비용의 발생을 막기 위해서도 개인과 기업 그리고 국가는 안전성을 추구한다고 볼 수 있다.

셋째, 위의 본능적이고 실제적인 이유들 외에 안전이란 쾌적하고 평온한 사회의 추구라는 인간들의 보편적 가치와 합치한다. 사고를 당하여 본인이 고통을 당하거나 가족, 친지들이 비탄에 잠기는 것은 인간들에게 불행감을 준다. 또한 그게 자신이 직접 당한 일이 아니라 하더라도 그러한 모습들을 우리 주위에서 보는 것은 유쾌한 일이 아닌 것이다. 따라서 인간 사회에서는 사회의 중요한 가치로서 여러 가지 재해로부터의 안전을 추구하게 된다.

3. 원자력안전의 정의와 특성

가. 원자력안전의 정의

원자력안전의 정의에 대해서는 여러 문서에서 기술되어 있으나 가장 종합적으로 잘 정리된 것을 근래 IAEA의 문서에서 발견할 수 있다. IAEA의 정의에 의하면 '원자력안전이란 부적절한 방사선 위해로부터 작업자들, 대중 및 환경을 보호하는 적절한 운전조건의 성취, 사고의 방지 혹은 사고결과의 완화를 가져오는 적절한 운전상태, 사고의 방지 및 사고결과의 완화의 성취를 지칭한다⁴⁾(IAEA, 2000a).

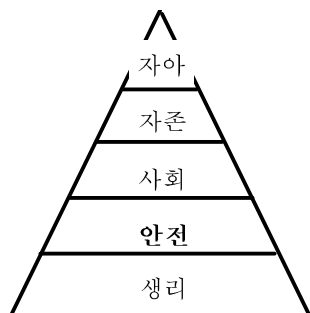
원전을 안전하게 운전하기 위하여 필요한 요소들(attributes)에 대해서는 공통된 이해가 이루어져 있다고 볼 수 있는데 문제는 그것들을 측정하는 방법에 관한 것이다. 높은 수준의 안전성은 좋은 설계, 운전안전성, 인적 성능(human performance)의 복합적 작용의 결과이다. 또한 원자력안전의 목적은 방사성물질의 사용과 관련된 위해(hazards)로부터 사람과 재산을 보호하는 것이라고 기술(Libmann, 1996)하고 있기도 하다.

나. 원자력안전의 본질과 특성

원자력의 이용에 따른 위험은 방사성물질 혹은 방사선 발생장치가 발생하는 방사선에 기인한다. 방사선은 생명체에 작용하여 조직 세포를 사멸시키거나 돌연변이를 일으켜서 여러 종류의 방사선 장해를 유발할 수 있다. 방사선은 인간의 감각으로 느낄 수 없고 또한 방사

3) Maslow의 계층적욕구이론(theory of need hierarchy)

Maslow(1908~1970)에 의하면 인간은 다섯 가지 종류의 기본적인 욕구를 가지고 있다고 한다. 이는 (1)생리적욕구(physiological needs), (2)안전 욕구(safety needs), (3)사회적 욕구(social needs), (4)자존의 욕구(self-esteem), (5)자아실현의욕구(self-actualization)이다.



이와 같은 다섯 가지의 욕구는 그 강도와 충족에 있어서 계층적구조를 형성하고 있다고 Maslow는 주장한다. 즉, 인간은 가장 기초적인 욕구인 생리적 욕구를 먼저 충족시키려 하고, 그 욕구가 충족되면 상위단계의 욕구충족을 시도하게 된다고 한다. Maslow에 따르면 생리적 욕구가 충족되지 않으면 자존의 욕구나 자아실현의 욕구가 생길 수 없다는 것이다. 안전욕구는 2번째 기본적인 욕구로써 상위 단계 욕구 충족의 전제조건이 되기에 안전의 추구가 중요하게 인식된다고 하겠다.

4) "The achievement of proper operating conditions, prevention of accidents or mitigation of accident consequences, resulting in protection of workers, the public and the environment from undue radiation hazards"

선을 직접 제어할 수 없기 때문에 방사선을 방출하는 선원(source)이 자연환경으로 나오지 않도록 관리하는 것이 필요하다. 방사성물질은 원자력발전소에서 원자로가 가동·운전됨에 따라 원자로 내에 생성·축적되는데 이렇게 생성된 방사성물질은 정상적인 경우 핵연료봉 내에 가두어져 외부로 유출되지 않으나, 만약 원자로의 노심이 적절히 냉각되지 않는 사고가 발생하여 원자로 내에 방사성물질을 가두고 있는 다중의 물리적 방벽(Multiple Barrier)들이 모두 손상될 경우 방사성물질이 외부로 누출될 수 있으며 이때 외부로 누출된 방사성물질은 주위 환경과 인간에게 외부, 내부 방사선 피폭을 일으키게 된다. 따라서 원자력의 위험이란 '방사성물질 즉 방사선의 방출원을 격납하고 차폐하는 시스템이 실패할 위험도 혹은 그 가능성'이라고 할 수 있다.

발전용 원자로와 같은 대형 원자로 내에서 생성되는 방사성물질이 외부로 다량 방출될 경우 주위 환경과 인간에 미치는 피해의 범위는 매우 크며 이러한 대규모 피해가능성 때문에 원자력 시설의 안전은 작업자의 안전보다는 일반공중의 안전에 중요성이 부여된다. 일반 산업재해와 원자력사고는 그 특성이 다른데 특히 피해대상이 다수의 일반대중이 될 수 있다는 점과 피해의 범위가 광범위하다는 점은 원자력 안전이 작업자는 물론 일반공중에 더욱 초점이 맞추어져야 함을 보여준다.

요약해 본다면 원자력 리스크의 본질은 거대과학기술의 산업적 이용 상에서 발생하는 것이며 그 리스크는 원자력의 이용과정에서 발생하는 방사성물질이 부적절한 관리로 인하여 원자력 관련시설의 외부로 유출될 때 피해로서 현실화된다. 그러므로 이러한 원자력의 리스크를 그 사회가 수용할 수 있는 수준으로 저감시키고 또 유지하는 것을 원자력의 안전성을 확보하는 것이라고 할 수 있다.

4. 원자력안전성확보 방법론

원자력의 리스크를 사회가 수용 가능한 수준으로 저감 유지하는 것은 안전성을 확보하는 것이라고 할 수 있으며 그 방법론을 제도적, 기술적, 관리적 측면으로 설명해 보기로 한다.

가. 제도적 측면

원자력시설에서 발생 가능한 방사성물질의 누출과 이로 인한 재산 및 인명 피해 등의 사회적 리스크는 그러한 피해가 자주 발생하지 않고 가시적이지 않은 까닭에 단기적으로는 리스크가 크게 부각되지 않아 그것을 발생시키는 회사나 사람에게 그 책임이 사회적, 법적으로 명확하게 부여되어 있지 않다. 그러므로 사적 안전재화와 달리 원자력안전과 같은 공적 안전재화는 시장 기능에만 맡겨놓을 경우 사업자가 적절한 수준으로 생산하지 않게 된다⁵⁾. 다시 말해 원자력사업자의 전력생산 행위에 의해 발생하는 방사성물질의 누출 리스크는 사업자의 전력생산행위에 따라 의도하지는 않았지만 국민들에게 피해를 끼친다는 측면에서 외부불경제(external diseconomy)에 해당된다. 시장 메카니즘에만 맡겨놓을 경우 이 외부불경제를 저감시키기 위한 비용을 사업자가 자발적으로 투입하지 않으려 하기 때문에, 국가 전체적으로 볼 때 원자력안전이라는 공공재화는 적정수준보다 과소 공급되며 원자력에 의한 전력생산은 국가적으로 과잉 생산된다. 그러므로 규제는 이러한 원자력 안전비용을 전력생산비에 적정수준으로 반영되도록 강제하는 과정이다.

원자력사업자에 대한 안전규제는 전력생산의 수단으로 원자력을 선택한 전력사업자들의 원자력시설의 건설, 운영 및 폐로에 이르는 안전성관련활동에 대해 정부가 개입하는 행위로서 사업자 자발적으로나 국민들이 스스로 조직화하여 사업자에게 영향력을 행사하여 달성할

5) 최영성 등, 원자력안전의 경제학적 의미와 비용편익분석, 원자력학회 춘계학술발표회 (2001) 참조

수 없는 원자력안전성의 확보라는 공익의 실현이 그 목적이다. 규제기관은 원자력시설의 건설 및 운영 과정에서 안전성을 확인하고 안전성에 불만족사항이 발견될 경우 그 시정을 강제하게 되는데 이것은 곧 원자력시설의 운영에 의한 방사선 관련 리스크를 기준치 이내로 유지하기 위한 정부의 직접적인 개입이라고 할 수 있으며 이러한 것들이 규제제도로 구체화되어 안전성을 확보하게 된다.

나. 기술적 측면

원자력 발전소가 갖추어야 할 안전 수준과 그 확보 방법은 각 국의 원자력안전 규제기관이나 국제기구 또는 전문가 그룹 등에 의해 활발하게 논의되어 왔는데 TMI 사고나 체르노빌 사고 이후에는 이에 대한 국제적인 논의가 더욱 활발하게 진행되어 전 세계적으로 통용될 수 있는 정성적 및 정량적 안전성 목표가 도출되고, 이를 달성하기 위한 안전성 원칙들이 체계적으로 정리되었으며 여기에 가장 큰 기여를 한 것이 국제원자력안전자문단(INSAG)의 1998년 문서(1988년 INSAG-3 개정판) "INSAG-12: 원자력 발전소의 기본 안전 원칙"이다. 여기에서는 원자력 발전소의 안전성 목표와 이 목표를 이루기 위한 안전원칙을 제시하고 있다.

이중에서 심층방어 전략은 원자력 안전성확보를 위한 기술의 근간으로서 기본 원칙들 중에서도 특히 중요하며 기기 고장이나 운전원 실수가 발생하더라도 개인이나 공중에 큰 피해를 가져오지 않고 시정될 수 있도록 안전 조치가 중첩되어 수행되는 다단계 방호(Multiple Levels of Protection) 개념은 심층 방어의 기본적인 특성이다. 심층방어와 더불어 최근에는 확률론적 안전성평가기법 (Probabilistic Safety Assessment)의 발달에 힘입어 PSA 결과에 따른, 위험도에 근거한 발전소 운영이 이루어지고 있으며 일부 분야에서는 위험도에 기반한 규제(Risk-Informed Regulation)가 도입되고 있다. 이렇듯 원자력사고의 리스크와 안전성에 대한 기술적인 지식과 그에 근거하여 사고를 막기 위한 설계, 운영기술 등이 개발, 확보되면 그에 의해 운전자와 규제기관이 각각의 업무를 통하여 원자력안전성을 확보하는 것이다.

다. 관리적 측면

과거 원전의 안전성 확보는 주로 원전 구성 기기, 부품의 기술적 요건을 중심으로 이루어져 왔다고 볼 수 있다. 그러나 TMI, 체르노빌과 같은 인적요소의 중요성을 제기한 사고가 발생하고 세계적으로 건설보다는 운전중인 발전소가 많아짐에 따라 안전성 확보의 중심이 원전을 어떻게 설계하고 건설해야 안전하게 될 것인가에서부터 어떻게 운전해야 안전하게 될 것인가로 옮겨가고 있는 중이다. 1990년대에 들어서면서 INPO는 '인적성능향상시스템(Human Performance Enhancement System)' 계획을 1990년 시작하였고, IAEA는 안전문화에 관한 문헌을 발간하였으며(1991년), NRC는 1995년 PSA에서 인적신뢰도(Human Reliability)를 고려하는 방법에 관한 연구를 시작하였으며 INSAG-13(1999)에서는 안전성향상과 안전문화 강화를 위한 안전관리시스템의 중요성을 기술하고 있다. 이러한 움직임의 공통점은 원자력발전소를 단순한 기계덩어리로 보고 이에 대한 위험평가(risk estimate)가 중요하다는 시각에서부터 원자력발전소를 인간-기계가 조화를 이루고 있는 시스템으로 보고 이의 위험관리(risk management)가 중요하다는 시각으로 이동하였다는 점이다. 여기에서 위험을 관리하는 주체가 바로 인간이고 이를 어떻게 조직, 관리하느냐에 따라 안전성능이 차이를 가진다는 인식이 확산되면서 안전성 향상을 위한 인지행동적 접근, 조직관리적 접근, 안전문화적 접근 등이 연구되고 있는 것이다.

5. 원자력안전성 지표

지금까지 안전의 여러 측면과 원자력안전의 특성 등을 살펴보고 원자력안전을 확보하기 위한 방법론적 측면도 살펴보았다. 그러나 지금까지 원자력안전에서 다루기 힘들었던 것은 바로 그 안전의 수준을 어떻게 측정하는가였다. 원자력, 좁게는, 원전의 안전수준을 측정하기 위한 시도는 1970년대 초반부터 원자력 외부로부터 요구되어 시작되었다. 미국 상원의원 John Pastore는 70년대 초반 원자력발전소의 종합적 안전성에 대한 평가를 원자력위원회(AEC)에 요구한 바 있으며, 1972년에서 1974년에 걸쳐서는 미국에서 원자력손해배상에 관한 법률을 개정하기 위해 원자력발전소의 위험도를 정량적으로 평가하는 것이 필요하였다. 이로부터 Norman Rasmussen과 Saul Levine의 지휘 하에 '원자로 안전성 연구(Reactor Safety Study)'가 수행되었으며, 확률론적 안전성 평가기법(PSA)으로 알려진 방법론이 적용되어 원자력발전소의 종합적인 위험도가 처음 정량화되었다. 이후 PSA가 발전되면서 원전의 종합적 안전수준을 측정하는데 많은 관심과 연구가 수행되었지만 PSA만으로는 원전의 안전수준에 대한 만족할 만한 전체 그림을 그리는데 미흡하였는데 그 이유는 PSA에 내재되어 있는 불확실성, 사용하는 모델의 임의성, 사용하는 데이터의 신뢰성, 현재 원전 상태에 대한 반영 문제 등이었다.

원자력안전을 나타내는 지표개발이 필요한 것은 우선 사업자나 정부규제기관이 운전하는 혹은 규제하는 원자력시설의 안전성이 어느 정도인지 알아내어서 만약 안전성이 적정수준에 도달했다고 판단되면 더 이상 안전성 확보에 비용을 들이지 않아도 되기 때문이다. 또한 각각의 원전들에 대한 안전도가 측정된다면 사업자들은 그것을 비교하여 자신이 보유한 여러 원전의 안전비용과 재원 배분의 기준으로 삼을 수 있다. 또한 규제기관도 자신이 수행한 규제활동의 효과성을 알 수 있고 그에 따라 안전규제자원도 적절히 배분할 수 있다.

원전의 안전도를 어떻게 해서든 나타내어 보고자 하는 국가적 노력들이 IAEA를 중심으로 결집되어 '운전안전성능지표'라는 이름으로 논의가 이루어지고 있는데 이에 의하면 높은 수준의 안전성은 좋은 설계, 운전안전성, 인적 성능(human performance)의 복합적 상호작용의 결과이다. 이중 하나에만 초점을 맞추는 것은 비효율적이며 사람들을 오도할 수 있는데 실제 중요한 것은 운전안전성능의 모든 측면을 감시하도록 설계된 지표들의 전체 세트에 나타나는 총체적 그림이라고 할 수 있다.

IAEA의 '운전안전성능지표' 및 미국 NRC의 '안전성 초석별 성능지표'의 개념이 대두되기 전에도 발전소 성능지표에 관한 개념이 없었던 것은 아니다. WANO는 일찌기 10여 개의 성능지표를 개발하여 전 세계 회원 발전소에서 보고를 받아 전 세계 원전의 성능수준을 가늠하고 이들의 추이를 분석하여 기준치 등과 비교를 통해 발전소 성능수준의 향상을 꾀하는데 이용하여 왔다. 그러나 WANO 등이 개발한 지표와 일부 사업자들이 사용하는 지표는 안전과의 연관성이 뚜렷하지 않으며 단순한 추이정보만을 제공할 뿐이라는 한계가 있다. 근래에 들어 확률론적 안전성 분석법이 개발되어 개별 발전소 안전성 분석이 활발히 수행되는 단계에 이른 지금, 발전소의 종합적인 안전성과 안전 취약점을 파악할 수 있게 되었으며 이를 이용하여 위험도에 근거한 규제전략이 활발히 논의되고 있다. 이에 따라 위험도 개념을 반영한 지표 개발이 시도되고 이를 직접 규제에 적용하려는 노력이 진행되고 있는데 미국의 경우 이미 안전성 초석별 성능지표와 검사지적사항을 종합하여 규제의 강도를 차등화하는 제도를 시행하고 있다.

여기서는 운전안전성능지표와 관련된 국제동향을 살펴보고, IAEA에서 최근 발간한 보고서에서 제시하는 운전안전성능지표를 소개한 후 이의 활용에 필요한 고려사항을 살펴보고 국내현황 및 전망을 기술하고 향후과제를 제시한다.

가. 안전성능지표⁶⁾의 국제동향

1998년 IAEA 주관의 원자력안전 국제회의(International Conference on Topical Issues in

Nuclear, Radiation and Radioactive Safety)에서 Safety management 분야에서 '지표를 사용한 안전성능의 감시'를 권고한 바 있다. 이에 따라 IAEA는 사업자 차원의 PI 개발을 위하여 4개 pilot plant 지정을 포함한 국제공동연구 (CRP)를 수행하여 2000년에 그 결과에 대한 보고서 (IAEA, 2000b)를 발간하였으며 2001년부터는 규제기관용 지표개발을 위한 CRP를 진행 중이다. 또한, OECD/NEA/CNRA 산하의 검사관행에 관한 실무그룹(Working Group on Inspection Practices)은 1998년 규제기관이 사업자의 안전성능을 평가하기 위해 사용하는 성능지표에 관한 조사보고서(OECD/NEA/CNRA, 1998)를 발간한 바 있으며, 이후 국제공동 PI개발을 위한 Working Group을 구성하여 2002년부터 연차보고서를 발간하고 일반에 공개할 예정이다.

한편, 2001년 9월 IAEA는 원전안전과 관련한 국제회의를 개최하였는데 여기에서 5개 주제중 하나로 안전성능지표를 선정할 정도로 이 분야에 대한 관심이 커지고 있다(Dahlgren et al., 2001). 이 회의에서는 안전성능지표를 통한 운전안전 속성 규정, 발전소·국가·국제 수준의 지표, 지표를 통한 안전성 평가, 안전성능지표를 통한 국민홍보 및 안전성능지표 이용의 이득과 한계 등이 다루어졌는데 특히 안전성능지표를 원자력 안전협약에 의한 국가보고서에 포함시키는 문제가 거론되기도 하였다.

나. IAEA의 운전안전성능지표

전지전능한 현자가 있어 원전안전에 대하여 그가 직관적으로 '이 원전의 안전수준은 얼마' 하는 식으로 판정해주면 좋겠지만 그런 사람 혹은 기계는 존재하지 않는다. IAEA의 운전안전성능지표의 기본적 아이디어는 운전안전수준을 직접 측정할 수는 없다는 걸 전제로 하고 그 안전을 나타낼 수 있는 변수들을 정하여 그것을 모니터하고 측정하여 운전원들이 그걸 가지고 안전수준을 추론하도록 한다는 것이다. IAEA의 방법론은 '원자력안전성능'이라는 개념을 상징하고 원전이 안전하게 성능을 발휘하기 위하여 필요한 것들을 운전안전요소(attributes)로 정하고 그것들을 도출하였다. 2000년 5월 TECDOC-1141 문서로 발간된 '원전의 운전안전성능지표'에 의하면 원전의 운전안전성을 첫째, 원전이 원활하게(smoothly) 운전되는가 둘째, 저위험도로(with low risk) 운전되는가, 셋째 적극적 안전태도를 가지고(with a positive safety attitude) 운전되는가 하는 세 가지로 나타낼 수 있다고 가정한다. 이 세 개의 요소로부터 전반적 운전안전성능을 나타낼 수 있는 변수들을 전반지표(overall indicator)로 도출하고 그 각각에 대하여 하부의 측정이 용이한 변수들을 전략지표(strategic indicators)로, 그리고 그 각각의 전략지표에 대하여 직접모니터하고 측정할 수 있는 변수들을 세부지표(specific indicators)로 도출하였다. 그림 1~4는 그러한 지표들을 보여주고 있다.

다. 운전안전성능지표의 활용 및 감시 프로그램의 개발

운전안전성능지표를 활용하여 원전의 안전성능을 감시(monitoring)하는 프로그램을 개발 및 이행하고자 할 때에는 성능지표의 개발, 성능지표에의 의미부여, 이의 측정법, 그리고 지표에 기반한 발전소 안전관리 체계 등이 종합적으로 고려되어야 한다. IAEA가 제시하는 성능지표 개발과정에서의 지표 선정기준은 다음과 같다.

- 안전성과 직접적인 연관성이 있을 것

6) IAEA의 TECDOC에서는 운전안전성능지표(Operational Safety Performance Indicator)라는 용어를, 2001년의 국제회의에서는 안전성능지표(Safety Performance Indicator)라는 용어는 사용하고 있다. 의미상으로는 전자가 후자보다 좁은 의미의 안전성을 나타낸다고 볼 수 있지만 아직까지는 큰 차이없이 사용되고 있다. 여기서는 IAEA의 TECDOC에서 개발한 지표를 말할 때 운전안전성능지표로, 일반적인 안전성을 나타내는 지표를 말할 때는 안전성능지표를 사용한다.

- 필요한 데이터를 구할 수 있거나 유도할 수 있을 것
- 정량적 수치로 표현될 수 있을 것
- 명확한 의미를 가질 것
- 지표의 중요성이 인정될 것
- 조작 가능성이 적을 것
- 수가 너무 많지 않을 것
- (지표의 측정이) 발전소 정상 운전절차 하에서 가능할 것
- 검증 및 확인이 가능할 것
- 안전성 저하의 원인을 감지할 수 있을 것
- 개선할 수 있는 조치가 관련되어 있을 것

이와 함께, 성능지표의 선정에는 '후방지표(lagging indicator: 과거 혹은 현재의 실제 성능을 알려주는 지표)'와 '전방지표(leading indicator: 향후의 성능, 특히 안전성 저하의 징후를 알려주는 지표)'의 적절한 조화가 필요하다. 후방지표는 발전소 취약점을 파악하게 함으로써 안전설비 개선을 위한 발전소 경영진의 의사결정을 도모하고, 전방지표는 안전성 저하를 조기에 감지함으로써 사고예방을 위한 조치를 취할 수 있게 한다.

IAEA는 익명으로 pilot study에 참여한 4개국의 원전에 기 개발된 성능지표를 시범 적용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- IAEA의 운전안전성능지표는 발전소 운전안전성능 감시에 있어 훌륭한 접근법이다.
- IAEA의 성능지표를 적용하기 위해서 개별 발전소는 자신의 발전소에 적합하도록 성능지표를 조정할 필요가 있다. 즉, IAEA가 제시한 성능지표 체계는 훌륭한 출발점을 제공하지만 이의 실제 적용을 위해서는 충분한 검토와 평가가 선행되어야 하며 여기에는 발전소 특성에 맞는 지표 선정, 지표의 정의, 지표의 목표수준 설정 등의 절차가 포함되어야 한다.
- 지표의 목표수준 설정은 성능지표 감시프로그램의 효과성을 향상시키는데 있어 중요한 요소이다. 목표수준의 설정이 쉽지 않은 일이지만 과거의 데이터를 바탕으로 목표수준을 설정한다면 감시 프로그램의 유용성이 훨씬 높아질 수 있다.
- 성능 감시 프로그램의 실행에는 발전소 직원의 반대가 있을 수 있다. 4곳의 시범 원전 중 한곳을 제외하고는 이 프로그램은 '또 하나의 업무 증가' 혹은 '기존 프로그램의 재탕', '이미 충분히 많은 관리 지표에 추가되는 또 다른 지표' 등으로 인식되었다. 따라서 감시 프로그램을 이행하기 위해서는 조직 하부차원에서 지지를 이끌어 내는 일이 중요하다.
- 성능지표의 발전소간 비교는 가능하지 않다. 이는 개별 발전소에서 채택하는 세부지표의 의미, 측정법 등이 같지 않기 때문이다. 동일부지내의 동일호기간 비교도 쉽지 않을 것으로 예상된다.
- 성능지표의 결과가 추적 가능하도록 지표의 측정, 계산, 목표대비 비교 등에 관한 품질 관리 및 문서화 체계가 구축되어야 한다. 이는 성능감시 프로그램의 유용성을 위해 필요하다.

라. 국내현황 및 향후 전망과 과제

국내에서도 원전 성능지표와 관련된 연구가 진행되어 왔으며 이미 경수로 및 중수로에 대한 성능지표가 개발된 바 있다. 현재 국내 경수로형 발전소에 대한 성능지표는 '97년에 개발되어 1년 간 시범적용후 사용 중에 있으며, 개발초기 1개 호기만 가동되어 제외되었던 중수로형 성능지표는 월성 2,3,4호기의 상업가동에 따라 2000년 말 개발된 바 있다. 기존의 성능지표는 WANO 등 국제기구와 외국의 성능지표를 참고로 8개 분야 10개 지표가 선정되

었으며 전체 경수로평균치, 노형별, 용량별 평균치의 10년 간 추이를 분석한 국, 영문 연차 보고서가 발간되고 있다.

그러나 기존의 성능지표는 안전성능에 초점을 둔 것이기보다는 발전소의 성능을 알리기 위한 성격이 강하며, 안전성 혹은 안전규제업무와 직접적인 연관성은 그리 크지 않았다. 따라서 안전성능지표에 대한 국제적 관심의 증가와 지표의 규제활용 추세변화를 반영하여 활용도 제고를 위한 기존 지표의 개선사항이 도출되고 있으며 이로부터 연구과제가 추진될 전망이다. 여기에는 안전성 관련 지표의 추가, 위험도 개념의 도입을 통한 객관적 평가기준 도입으로 비교성 증진, Graphic Display를 통한 가시화, 추이분석 주기 단축 등이 포함되어 있다. 다음 표는 국내에서 사용되는 지표들을 수록하였다(원자력안전기술원, 2001).

표 1. 국내 원전 안전성능지표

| 영역 | 범주 | 지표 |
|--------|---------|--|
| 원자로 안전 | 안전방벽 | <ul style="list-style-type: none"> ● 핵연료 건전성 ● 1차 냉각계 계통 건전성 ● 격납건물 건전성 ● 방사선 비상대책 |
| | 사고완화계통 | <ul style="list-style-type: none"> ● 안전주입계통 ● 비상발전기 ● 보조급수계통 |
| | 초기사건 | <ul style="list-style-type: none"> ● 비계획 정지 ● 비계획 출력변동 |
| 방사선 안전 | 소내방사선안전 | ● 방사선 집적선량 |
| | 소외방사선안전 | ● 환경방사능/소외방사선피폭 |
| 일반 성능 | 운전 | ● 이용율 |
| | 보수 | ● 원자로 비가동시간 |

7. 원자력안전문화 지표

가. 안전문화의 정의

1986년 체르노빌 사고이후 IAEA에 의해 안전문화라는 개념이 제창되었다. 국제원자력안전자문단(International Nuclear Safety Advisory Group: INSAG)이 발간한 보고서 INSAG-1 '체르노빌사고후 검토회의 결과요약보고서'에서 안전문화라는 말이 최초로 사용되고 1988년 INSAG-3 '원자력발전소 기본안전 원칙'에서 가장 우선적인 안전원칙으로 제시되었으며 1991년 INSAG-4로서 '안전문화'라는 책자가 IAEA에서 발간되어 안전문화의 개념이 확실하게 정립되었고 평가지표가 제시되었다.

원자력안전문화는 '원자력발전소에 있어서 안전문제가 무엇보다 최우선의 관심사임을 스스로 다짐하는 조직과 개인의 자세와 품성이 결집된 것이다(INSAG, 1991). 또한 이것은 그 기관의 기본적인 안전에 대한 가치, 안전 관련기관의 운영과 품질, 직업의식, 지속적으로 학습하고 개선하는 과정에 대한 태도와 작업자들이 문책 당할 두려움 없이 안전에 대한 우려사항 등에 대하여 문제를 제기할 수 있는 분위기를 말하는 것이다.

안전문화의 일반적 요소로는 안전성이 중요하다는 개별적인 인식, 직원에 대한 훈련이나 교육 및 자기학습을 통해 얻어지는 지식과 능력, 상위 관리층에 의한 안전성 최우선의식의 솔선수범과 각 개인들이 안전이라는 공동목표를 수용하는 마음의 자세, 지도력을 통한 동기 부여와 상벌체제의 설정 및 개인의 자발적인 태도, 의문을 제기하는 개인의 자세에 대한 대응태세를 갖춘 감독기능, 공식적인 업무분장과 임무의 명시, 그리고 각 개인의 업무이해를 통한 책임의식이 보통 이야기된다. 안전문화의 주요구성 요소는 정책차원 이행사항, 관리자

이행사항, 개인의 이행사항이라는 3단계로 나누어서 보통 설명하는데 정책차원의 이행사항으로는 안전정책 성명, 관리구조, 자원(인력, 예산), 자체규제를, 관리자 이행사항으로는 책임에 대한 규정, 안전관행의 정의와 통제, 자격인증 및 훈련, 포상 및 처벌, 감사·검토 및 비교를, 개인의 이행사항으로는 문제의식을 가지는 직무자세, 철저하고 신중한 직무접근 방법, 커뮤니케이션을 제시하고 있다.

나. IAEA의 원자력안전문화 지표

IAEA는 회원국의 안전문화 평가를 위해 ASCOT(Assessment of Safety Culture in Organization Team) 서비스를 제공하고 있다. IAEA는 ASCOT Guidelines (IAEA, 1996)을 개발하였는데 이는 INSAG-4 부록에서 안전문화 평가를 위해 제안한 기본질문을 확장하여 유도질문을 도출하고 질문과 관련되어 측정 가능하다고 판단되는 지표들을 제시하고 있다. ASCOT Guidelines에는 안전문화 평가대상기관을 4가지로 분류하는데 첫째, 정부 및 관련기관, 둘째 운전조직, 셋째, 연구기관 그리고 넷째로 설계회사이다. 이중 운전조직의 안전문화 지표(Safety Culture Indicators)는 회사차원의 지표와 사업소차원의 지표 2종류가 있는데 회사차원의 지표로 안전정책, 안전관행 등 2가지 분야가 있으며 그 산하에 총 20개의 세부핵심지표가 있다. 사업소차원의 지표로는 안전성의 강조(Highlighting Safety), 책임의 규정, 관리자의 선정, 발전소관리자와 규제자와의 관계, 안전실적검토(Review of Safety Performance), 교육훈련(Training), 현장실무, 관리자의 현장감독실태, 업무량, 관리자의 태도, 종사자의 태도(Attitude of Individuals) 등 11개 분야가 있으며 각 분야에 세부핵심지표 248개가 있어서 운전조직의 세부핵심지표들의 총합은 모두 268개이다.

다. 안전문화지표와 안전성능지표 간의 관계

원자력발전소의 안전성 확보를 위해 견고한 안전문화의 중요성을 강조하는 것만으로는 안전문화가 저절로 구축되지 않는다. 안전문화가 안전성 확보에 진정 유용한 개념이 되기 위해서는 이를 측정하고 평가하여 취약점을 파악하고 개선할 수 있는 조작 가능한 그 무엇이 있어야 한다. 안전문화의 좋고 나쁜 정도가 곧 실제 안전성의 수준이라는 식의 접근보다는 그것을 안전성 향상을 위한 매개체로서 보고 접근하여야 실제 유용성을 가질 수 있다. 그러나 아직까지는 원자력발전소의 안전문화와 실제 안전성과의 관계가 실증적으로 검증된 사례는 거의 없다. 안전문화에 대한 논의와 관심은 많지만 안전성과의 관계에 대한 검증이 여태까지 되지 않은 이유는 안전문화와 실제 안전수준을 객관적으로 측정하고 평가할 수 있는 방법론이 제대로 정립되지 않았기 때문이다. 최소한 안전문화라는 것을 측정하고 평가할 수 있어야만 시간에 따라 안전문화가 좋아지는지 혹은 나빠지는지를 파악할 수 있고, 좋은 안전문화를 가진 발전소와 그렇지 않은 발전소를 벤치마킹하여 개선작업을 수행할 수 있다. 물론 그 효과는 안전문화와 실제 안전수준과의 관계가 밝혀져야 알 수 있다.

IAEA와 세계 각 국은 안전문화를 평가할 수 있는 여러 가지 지표를 개발하여 왔다. 그 중의 하나가 위에서 설명한 IAEA의 ASCOT가 사용하는 안전문화지표이며 이 지표는 발전소 내부뿐만 아니라 규제기관 및 정부조직까지 포함하는 광범한 분야를 다루고 있다. 한편,

7) 그런 점에서 발전소 내 작업자의 안전에 대한 태도(safety attitude)를 Personal Safety Survey를 통해 정량화하고 실제 사건/사고와의 관계를 통계적으로 검증하였으며 경영진 관리스타일, 경제성 압력 등과의 관계를 밝히려고 시도한 T. Lee와 K. Harrison의 연구(Lee & Harrison, 2000)를 유념할 필요가 있다. 이들은 영국의 3개 원자력발전소에 대한 설문조사 결과를 바탕으로 안전태도와 사건/사고와의 관계에 관한 실증적 연구를 수행하였으며 이러한 방법이 안전문화 평가를 위해 여러 명의 전문가가 수주일씩 상주하며 인터뷰, 현장조사를 통해 제시하는 다분히 '주관적인' 결과보다 훨씬 비용효과적으로 '객관적' 시각에서 문제점을 도출해 낼 수 있다고 말한다.

앞서 살펴본 IAEA의 운전안전성능지표 상의 3번째 안전성 요소인 '적극적 안전태도를 가지고 운전되는가?'는 발전소내부에 초점을 맞추어 안전문화의 일부를 대상으로 하고 있다. 다시 말해, 여기서 제시하고 있는 8가지 전략지표 중 '절차, 규정 및 인허가 요건의 준수'와 '절차, 지침 및 규정에 대한 태도'는 ASCOT 가이드라인의 Attitude of Individuals에 해당한다고 볼 수 있고, '인적 성능'과 '안전에 대한 관심'은 Training에, '자체평가'는 Highlighting Safety에, '안전관련 미해결 이슈'와 '운전경험의 반영'은 Review of Safety Performance에 해당한다고 볼 수 있다.

또한 IAEA의 ASCOT에서 평가하는 안전문화는 변화하는데 걸리는 시간이 수개월 이상으로 생각하고 평가기간도 길게 잡고 있는 반면, 운전안전성능지표에서 측정하는 세부지표들은 단기간에도 민감하게 반응하고, 정량화하기 쉬운 것들로 구성하여 심각한 성능저하가 일어날 경우 즉각적인 조치를 취할 수 있게 되어 있다. 이는 운전안전성능지표의 궁극적 개발목표가 안전관리시스템을 위한 감시 프로그램의 개발이기 때문에 수시로 변하는 상황을 즉각적으로 관찰할 수 있는 지표에 초점을 맞추고 있기 때문인 것으로 생각된다. 또한 원전의 안전문화저하가 안전성능의 저하로 이어질 수 있으므로 안전문화지표를 모니터링하여 안전성능저하로 이어지기 전에 규제기관이 개입하는 필요성과 그 시점과 방법에 대해서도 논의되고 있다(OECD/NEA CNRA 2000). 이상에서 논하였듯이 안전문화의 지표들과 원전의 안전성능을 나타내는 지표들 간의 관계는 향후 연구하여야 할 과제이다.

8. 결 어

모든 존재는 인지된 것이며 인지되지 않으면 존재도 없다. 원전의 안전성은 추상적이므로 그것은 더욱더 국민들의 인지 없이 객관적으로 존재하지 않는다. 개인들의 안전에 대한 인식의 사회적 총화로서의 국민들의 인지 위에 원자력안전성은 정의되고 의미를 가진다. 그것을 100점 만점에 80점하는 식으로 단순하게 표현할 수 없다. 특히 노형과 운전여건이 다른 발전소간의 안전성 수준의 비교는 더욱 그러하다. 그러나 그것을 측정하여 나타내어야 할 필요성이 현실적으로 존재하는 까닭에 각국에서 그리고 IAEA는 그것의 요소(attributes)들을 도출하고 각각의 요소들을 나타낼 수 있는 성능지표들을 개발하여 안전과 관련된 제반 업무에 활용하고자 하는 노력을 경주하고 있다.

앞으로 안전성능지표는 규제효과성의 평가 등 안전규제분야에 그리고 원전 안전에 대한 대국민 홍보 등과 같은 분야에 적극 활용될 것으로 예상된다. 따라서 얼마나 정확하고 유용한 안전성능지표를 개발할 수 있는가 하는 것이 향후 안전규제의 효과성 및 신뢰성 증진을 위한 관건이라고 하겠다. 세계 각 국의 원자력사업자와 규제기관은 안전성능지표와 안전문화지표를 개발하기 위해 노력하고 있으며 본문에서 살펴본 바와 같이 지표개발을 위한 활동이 전개되고 있는데 앞으로 이들 지표는 다음과 같은 질문에 답할 수 있을 때 궁극적인 의미를 가질 수 있을 것이다.

- 안전성능지표가 실제 안전성과 얼마나 상관성이 있는가? : 안전성능지표가 실제 안전성과 관련이 있다는 것을 보일 수 있는 방법을 강구해야 한다. 실제 안전수준을 알 수 없는 상황에서 이를 보일 수 있는 방법은 소위 말하는 개념타당성(Construct Validity)의 확인이라는 방법으로 접근해야 할 것으로 보인다. 개념타당성은 사회과학에서 사용하는 용어로, 사회과학의 경우 정량화하기 힘든 여러 가지 개념들 즉, 행복 정도, 개인의 능력, 사회적 지위, 이데올로기 성향 등을 운용개념(operational concept)화하는데 이때 이들의 타당성을 검증하기 위한 절차이다. 이의 기본적인 가정은 하나의 개념을 추정하기 위해 측정한 여러 가지 변수들간에는 통계적으로 상관관계가 있어야 한다는 것이다. 만약 변수들 간에 상관관계가 없다면 이들 변수는 서로 다른 개념을 측정한 것이 된다.

아직까지 이러한 접근법이 시도되지 않은 상황에서 이에 대한 연구가 수행될 경우 적절한 안전성능지표의 선정에 관한 논의가 보다 효과적으로 진행될 수 있을 것이다.

- 안전성능지표가 보건목표로 표현되는 원자력 안전목표와 연계될 수 있는가? : 안전목표와 이를 보조하기 위한 원전 성능목표는 안전성능지표와 어떤 관계가 있어야 하는지에 대해 아직까지 뚜렷한 입장이 제시되지 않은 상태이다. 안전목표가 안전성능지표에 설정되는 목표 값으로 역할을 해야 하는지, 지표의 목표 값을 모두 만족하면 안전목표가 만족되는 것인지 등에 대한 연관성이 정리되어야 할 것이다. 이에 대한 답이 마련되면 성능지표에 대한 국민의 이해가 더욱 수월해 질 수 있다. 이런 관점에서 현재 미국 NRC에서 진행 중인 위험도기준 성능지표 개발 프로그램을 예의 주시할 필요가 있다.
- 안전문화와 원전 안전과의 관계를 정량화할 수 있는 방법론이 개발될 수 있는가? : 안전문화는 규제기관, 원자력사업자 등의 안전에 최우선을 두는 분위기, 그러한 풍토를 나타내는 지표로서 원전의 안전성과는 어떤 형태로든 관계가 있는 것은 자명하며 그러한 상호관계를 보다 명확하게 규명하는 일에 향후의 노력이 경주되어야 한다.

영국의 여류시인 크리스티나 로제티는 그녀의 시 '누가 바람을 보았는가(Who has seen the wind?)'에서 '나도 너도 바람을 본적이 없지만 가지에 달린 나뭇잎이 흔들리면 바람이 지나간 것이다' 라고 했다. 누구도 원자력안전이 무엇인지 그것을 보지 못하고 그리고 직접 표현하지 못하지만 우리는 그것을 나타내는 지표들을 보고서 원자력안전을 추론할 수 있다. 우리의 노력은 이렇게 측정할 수 있고 볼 수 있는 원자력안전성의 지표들을 연구하는 일에 경주되어야 하며 이렇게 함으로써 원자력안전성의 실체에 접근하고 그리고 한 공동체가, 그것이 국가이든 세계이든, 수용 가능한 수준의 원자력안전성을 달성할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 원자력안전기술원 (2001), 원전안전 시범평가 추진현황, 원자력안전전문위원회 제12차 보고 사항
- Dahlgren, K., et al. (2001), "Safety Performance Indicators", Int. Conf. on Topical Issues in Nuclear Safety, IAEA Vienna, Sept. 2001
- IAEA (1993), The Safety of Nuclear Installations, Safety Series No.110, IAEA Vienna
- IAEA (1996), ASCOT Guidelines - Revised 1996 Edition, TECDOC-860
- IAEA (2000a), Legal and governmental infrastructure for nuclear radiation, radioactive waste and transport safety, Safety Standard Series ST-GS-R-1, IAEA Vienna
- IAEA (2000b), Operational safety performance indicators for nuclear power plants, TECDOC-1141, 2000
- INSAG (1991), Safety Culture, Safety Series No. 75-INSAG-4, IAEA, Vienna
- Jacques Libmann (1996), Elements of Nuclear Safety, IPSN, Les Editions de Physique
- Lee, T. & K. Harrison (2000), "Assessing safety culture in nuclear power stations", Safety Science, V.34
- OECD/NEA/CNRA (1998), Performance indicators and combining assessments to evaluate the safety performance licensees, NEA/CNRA/R(98)3
- OECD/NEA/CNRA (2000), Regulatory Response Strategies for Safety Culture Problems, OECD/NEA, Paris

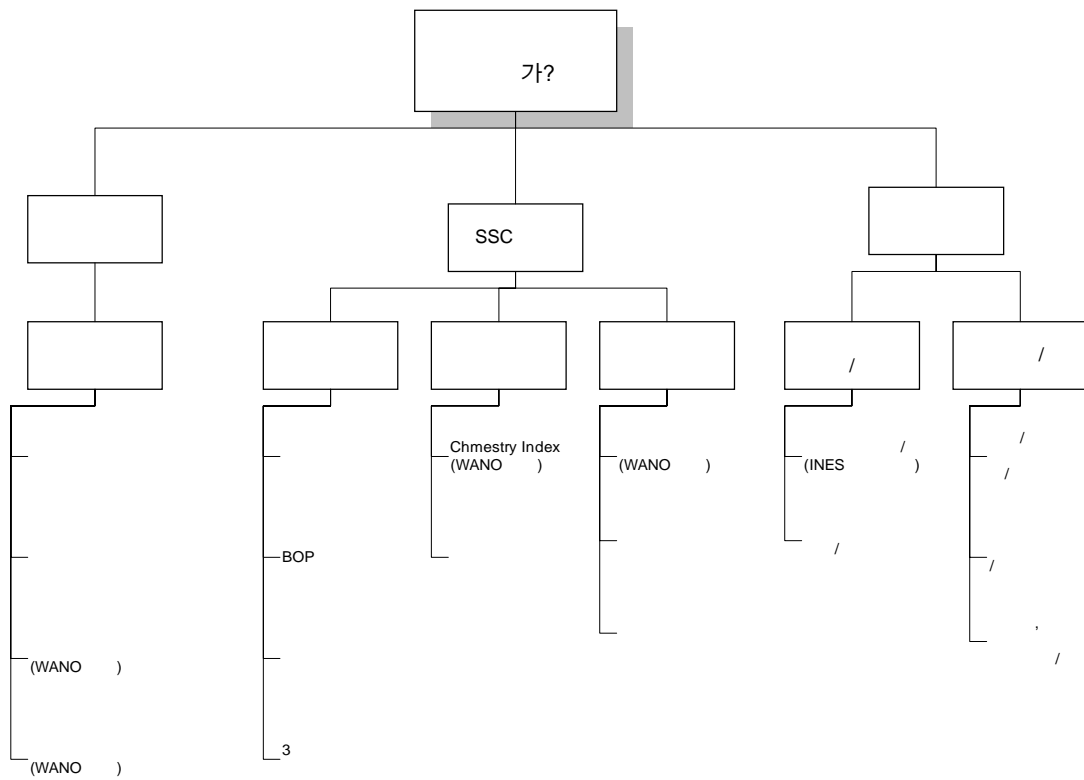


그림 1. 운전안전성능 요소 1 - '원전이 원활히 운전되는가?'

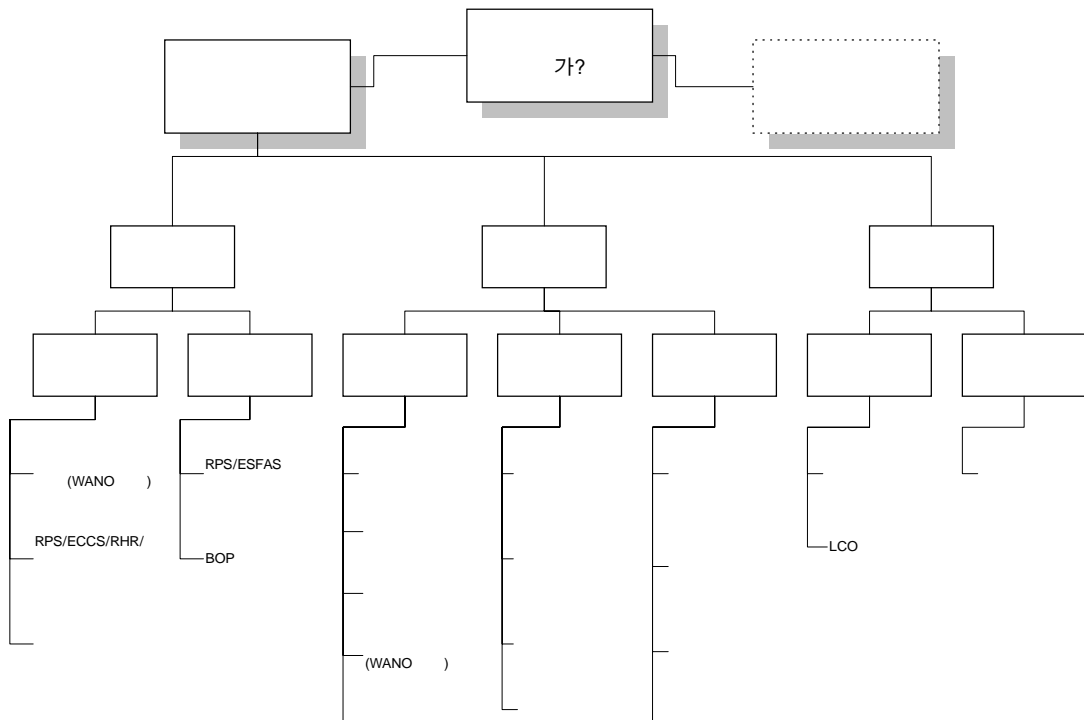


그림 2. 운전안전성능 요소2 - '저 위험도로 운전되는가?' (결정론적 접근법)

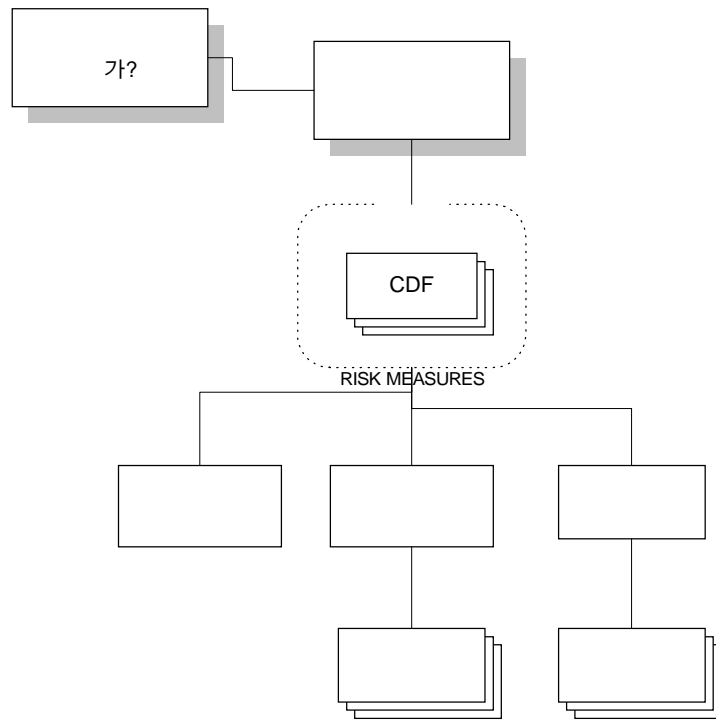


그림 3. 운전안전성능 요소2 - '저 위험도로 운전되는가?'
(확률론적 접근법)



그림 4. 운전안전성능 요소3 - '적극적인 안전태도로 운전되는가?'