

Development Requirements of Indicators to monitor Nuclear Safety Culture

Young Gab Kim¹, Nam Young Hur¹, Hyeon Jong Jung¹

¹ KHNP Central Research Institute, 25-1 Jang-Dong, Yuseung, Daejeon, Korea

ABSTRACT

The aim of this study is to propose requirements of safety culture indicators development in domestic nuclear power plants after reviewing safety culture indicators operating in worldwide. So far, there were not safety culture indicators in domestic nuclear power plants. However, there is a common understanding that attitudes and cultural factors have an impact on safety performance. Therefore, safety culture indicators are necessary to achieve the safety of NPPs. Basic safety attributes for safety operation in NPPs are defined at first. Then safety culture indicators measuring these attributes are developed. Indicators measured are analyzed by synthetically concept and they are used in reasoning safety culture. Safety culture indicators are necessary because employees' attitudes and cultural factors have an important impact on the safety performance. Therefore, design requirements for them were suggested. The safety culture indicators will be used in nuclear power plants and they will be applied for the purpose of enhancement than evaluation.

Keywords: safety performance, safety culture indicators, monitoring, attitude, attributes

1. Introduction

원전에서 안전은 중요한 목표이지만 정의하기가 매우 어렵다. 그러나 안전 수준의 명확한 정의를 수립하는 것이 어려움에도 불구하고 원전을 안전하게 운영하기 위한 필수 속성에 대해서는 일반적으로 이해되고 통용되는 것이 있다. 높은 수준의 안전은 완벽한 설계, 안전한 운전 그리고 인적 성능이 복합적으로 상호작용하면서 달성될 수 있다. 우리는 전체 숲을 보지 못하고 단편적인 단일 성능에만 집중하는 것은 비효율적이고 잘못된 곳으로 이끌 수 있다는 것을 수많은 시행착오를 거치면서 경험하였다. 모든 운영 안전 성능을 모니터링 하도록 설계된 지표들로 표현되는 전체적인 그림이 더 유효하다. 측정되는 지표의 값이 안전을 직접적으로 측정하는 것이 아니다. 개별 지표의 값은 그것이 독립적으로 다루어지지 않으며 다른 지표들과 더불어 문맥적으로 고려하여 안전성을 추론해야 한다. 본 논문에서는 발전소 안전문화 지표를 개발하기 위한 요건을 제시하고자 안전 운영과 관련이 있는 속성들과 성능지표를 검토하였다.

2. Safety Attributes in Nuclear Power Plant

IAEA에서는 발전소 안전 속성을 정의하기에 앞서 안전하게 운영하는 발전소와 연관된 세가지 주요 요소들을 결정하였다. 이는 원전의 정상 운전, 원전의 비상운전, 원전 종사자들의 안전태도와 관련된 것으로 '발전소가 원활하게 운전 된다', '발전소가 낮은 위험도를 가지고 운전 된다' 및 '발전소는 긍정적인 안전태도를 가지고 운전 된다' 이다. 이러한 속성들은 직접적으로 측정될 수 없어 지표 구조는 쉽게 정량화할 수 있거나 직접 측정할 수 있는 지표들이 확인될 수 있는 수준까지 확장되었다. IAEA에서는 각 속성들을 기준으로 종합 지표, 전략 지표 그리고 마지막으로 각 전략지표는 특정지표들의 합으로 구성된 프레임워크를 개발하였다(그림). 특정지표들은 적절한 검사후에 성능저하를 방지하는 시정조치가 취해질 수 있도록 감소하는 성능 추세 혹은 문제영역을 빠르게 확인할 수 있도록 선정되었다. 지표의 선정은 안전 속성을 모니터링 하기 위해 각 발전소의 특성을 반영한 가장 적합한 변수들이 고려되어야

하며 직원들의 추가적인 노력을 요구하면 안된다.

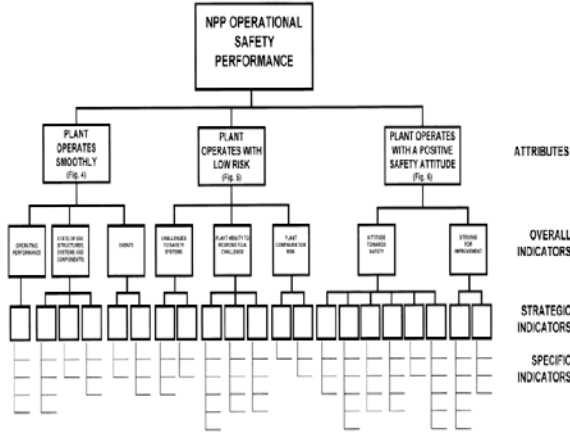


Figure 1. Operational safety performance indicator framework

각 속성별로 주요 종합지표는 아래 표와 같으며, 이러한 종합지표를 기준으로 특정지표를 설계하고 성능의 정량적 측정, 성능 저하 혹은 문제영역을 확인하게 된다.

Table 1. Main safety attributes in NPPs

| 안전속성 | 종합지표 | | |
|-----------------------|-----------|-------------------|------------|
| 발전소는 원활하게 운전된다. | 운전성능 | 구조물, 계통 및 기기들의 상태 | 발생 사건 |
| 발전소는 낮은 위험도로 운전된다. | 안전계통의 위험도 | 위험도에 대처하는 발전소의 능력 | 발전소 위험도 관리 |
| 발전소는 긍정적인 안전태도로 운전된다. | 안전 태도 | 향상을 위한 노력 | |

3. Operation Status of Safety Indicators

WANO는 모든 원전에 의해 사용되는 10개 성능지표들을 개발하여 운영중이다. 이러한 지표들은 어디서나 가능한 특정 지표들로서 제안되었다. 그것들은 발전소에서 이미 사용중이고 직원들에게 추가적인 노력을 요구하지 않는다. 각 국가별로 권고되는 지표들은 발전소 전반의 안전성능을 관측하고, 발전소간 비교, 우수한 성능을 드러내기 위해 사용된다. WANO 지표들은 많은 원전들이

가입하고 운영하고 있으며, 이러한 지표들은 참조되는 실제기간보다 훨씬 나중임에도 주기적으로 보고되는 “후행-관측”의 높은 수준 지표들이다. 따라서 실시간 발전소 안전 관리에 사용성이 적다. 그러나, 전세계 모든 기관에 의해 보고되고 소개된 이후 거의 동일하게 유지되기 때문에 가장 “성공적”으로 평가되고 있다. 그러나 이것은 전적으로 발전소의 성능에 집중되어 있으며, 안전문화를 다루는 지표는 포함되어 있지 않다. 따라서 안전문화 지표 개발은 IAEA의 프레임워크를 참조하였다.

Table 2. WANO performance indicators

| 지표 명 | 지표 정의 | |
|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| 1. 발전가능지수(%) | 기준 발전량 대비 실적 발전량 | |
| 2. 비계획 이용손실률(%) | 비계획 원자로 자동정지 횟수 | |
| 3. 전력계통에 의한 에너지 손실률(%) | 기준 발전량 대비 비계획손실량 | |
| 4. 비계획 정지 or 출력감발로 인한 에너지 손실률(%) | | |
| 5. 7,000 일계시간당 비계획 원자로 자동정지 횟수 | 비계획 원자로 자동정지 횟수 | |
| 6. 안전계통 성능지표 | 안전주입계통 | 안전계통의 (비)계획, 고장으로 인한 계통의 불능시간 |
| | 비상발전계통 | |
| | 보조급수계통 | |
| 7. 화학물질지표 | 증기발생기 및 급수내 불순물, 부식생성물 농도 | |
| 8. 방사선 집적선량 | 종사자, 협력회사 직원, 임시출입자 피폭선량 | |
| 9. 핵연료 신뢰도 | RCS 핵분열생성물 방사능 농도 | |
| 10. 산업안전 사고율 | 200,000 man-hour당 산업안전 상해시간과 심각도 | |
| 11. 계약근로자 산업안전 사고율 | | |

IAEA에서 제안하는 안전문화 지표의 계층구조는 아래 표와 같다.

Table 3. Example of specific indicators according to ‘attitude toward safety’

| 안전속성 | 발전소는 긍정적인 안전태도로 운전된다. | | | | | |
|------|-----------------------|-------------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|
| 종합지표 | 안전 태도 | | | | | |
| 전략지표 | 절차, 규정 및 면허 요건준수 | 절차, 정책 및 규정 관련태도 | 방사선 보호프로그램 유효성 | 인적 성능 | 안전현안 미처리 업무(Ba cklog) | 안전인식 |
| 특징지표 | 면허요건 수 | 주제어실 발생 Annunciators의 수 | 선량제한 피폭 종사자 수 | 인적 오류 사건비율 | 미처리 상태(분 석단계) 안전현안의 수 | 안전 관리/ 안전문화 훈련된 직원들의 비율 |
| | TS 예외 사항 | 일시변경 의 수 | 직접 방사선 노출(WANO 지표) | 훈련결핍에 의한 사건비율 | 미처리 상태(실 행단계) 안전현안의 수 | 안전문제에 대한 세미나 수 |
| | TS 위반 수 | 허용 OH 기간의 비가동율 | 오염된 관리구역 비율 | 절차결핍에 의한 사건비율 | | 안전세미나 참석율 |
| | | 형상관리에서 발견된 문제점 수 | 허용제한 대비 유출 방사선 | 시험 및 복구동안 인건관련 사건의 수 | | 외부의 안전 검토, 감사, 평가 수 |
| | 절차 미 | | | | | 발전소 |

| | | | | | | |
|--|--|---------------------|--|--|--|------------------------|
| | | 준수 수 (QA 감사서) | | | | 안전위원 및 경영위원 수 |
|--|--|---------------------|--|--|--|------------------------|

Table4. Example of specific indicators according to ‘striving for improvement’

| | | |
|--------------|------------------------------|------------------------|
| 안전 속성 | 발전소는 긍정적인 안전태도로 운전된다 | |
| 종합 지표 | 향상을 위한 노력 | |
| 전략 지표 | 자체평가 | 운전경험 피드백 |
| 특정 지표 | 독립된 내부 안전/품질 검사 혹은 감사의 수 | 유사 혹은 반복되는 실재의 수 |
| | 안전/품질 검토 혹은 감사를 통한 발견사항의 수 | 근본원인 분석을 수행하는 자체 사건의 수 |
| | 안전 검토 혹은 감사를 통해 발견된 평균 시간 | 타 발전소 사건의 검토 분석의 수 |
| | 내부 검토에 의해 발견되지 못한 외부 발견사항의 수 | |
| | 내부 검토/감사에서 반복해서 발견되는 사항의 수 | |

4. Requirements of Safety Culture Indicators

안전성능 지표는 다음 목적을 달성하기 위해 개발된다.

- 공공안전 관련된 원전 안전성능의 객관적 측정 제공
- 전문가와 비전문가에게 이해 가능한 안전성능 정보 제공
- 유효하고 효과적인 방법으로 안전성능의 주요한 영역에서의 추세와 행동을 평가할 수 있는 지표를 제공
- 규제자와 사업자의 의사소통을 촉진, 다른 정보와 조합하여 최퇴의 조기징후의 지시를 가능케 함
- 적절한 국제 혹은 국가 비교를 통해 자신의 안전성능을 향상시키는 노력을 촉진하고 원전의 안전을 공공에 공개

또한, 발전소의 안전성능 지표를 운영함으로써 달성할 수 있는 이득은 아래와 같다.

- 객관적이고 논쟁여지가 없는 일련의 안전변수를 확인
- 안전에 중요한 통찰력을 제공
- 모든 이해관계자에게 이해가능한 정보를 제공
- 시정조치와 자체평가를 위한 추가적인 근거를 제공

- 규제자에 의한 검사를 위한 추가적인 근거를 제공
- 국제적으로 동의된 안전지표의 구조에서 비교가 가능
- 특정지표를 사용하여 사업자는 성능을 모니터링 가능
- 사업자 자신의 프로세스 향상을 촉진

안전성능 지표를 운영함에 따른 이득은 모든 이해관계자에게 이해 가능한 정보를 제공함으로써 안전에 중요한 통찰력을 제공한다는 것이다. 또한, 객관적이고 논쟁의 여지가 없는 일련의 안전 변수를 확인하여 성능을 모니터링하며, 적절한 시정조치와 자체평가를 위한 추가적인 근거를 제공할 수 있다는 것이다. 이를 통해 발전소의 프로세스 향상을 촉진시킬 수 있다. 그러나 이러한 안전지표를 사용함에 있어서 경계해야 할 점을 명심해야 한다.

- 지표들은 안전성능 영역을 위한 결론에 단독으로 사용되어서는 안됨
- 어떤 지표들은 애매함 없이 정의하는 것이 어려움
- 성능영역의 특정측면 지시 대신에 안전수준을 측정하는 것으로 본다면 결론은 잘못될 수 있음
- 지표들은 잘못 사용되거나 조작될 수 있음
- 복합지표들을 사용할 때, 특정지표의 좋은 추세는 다른 지표의 나쁜 추세를 나타낼 수 있음
- 지표 추세는 안전성능 추세를 보여줄 필요는 없음
- 발전소 직원이 취득한 데이터는 그들의 정확성이 확인되어야 함
- 후행지표는 성능 저하를 시의 적절하게 보여주지 않을 수 있음
- 어떤 안전 지표들은 안전속성 정보를 제공하는 폴셀 지표들의 부분으로 효과적으로 사용될 수 있음
- 어떤 안전성능 영역의 정량적 지표 개발 어려움
- 발전소 특화 지표들은 발전소간 비교에는 부적절함
- 지표들은 정성적인 전문가판단으로 대체될 수 없음

안전문화 지표는 상기에서 언급한 사항들을 고려하고 전문가들의 검토를 거쳐서 그림6과 같은 절차에 의해 개발될 것이다.



Figure 2. Development process of safety culture indicators

5. Conclusion

안전문화는 종합적인 개념으로 특성상 구조적이고 태도적이며, 조직, 조직 스타일, 태도, 개인의 실행과 접근 등 조직의 모든 수준과 관련이 있다. 지금까지 조직의 안전문화와 밀접한 관계가 있는 지표가 부족했다. 통상 안전문화가 강력하다는 것은 운영 안전지표에서 보여준 결과들로부터 추론된다. 안전 성능에 태도와 문화적 요소가 영향을 미친다는 이해를 달성하기 위해서는 추가적인 안전문화 지표들이 필요하다. 동시에 안전문화는 종합적인 개념으로 그것의 상태를 측정하는 단일 지표가 없다는 것을 인식해야 한다. 다 국가의 문화와 무언의 본성(기본가정)은 측정의 어려움을 가중시킨다. 이것은 광범위한 지표, 다른 지표보다 더 주관적일 수 있는 것이 유용한 조직의 안전문화정보를 얻는데 필요하다는 것을 의미한다. 유일한 관행적인 방법은 긍정적인 안전문화의 중요 특성을 측정할 수 있는 포트폴리오 지표들을 확인하는 것이며, 안전관리와 안전문화 간의 밀접한 연결을 인식하는 것이 중요하다.

IAEA에서 제안하고 있는 안전문화 지표는 문화적인 태도를 성능의 일부로 편입하여 해석하고 개발하였지만, 상세 지표에 대한 일부 내용은 검토 후 활용할 가치가 있는 것으로 판단된다. 또한, 미국 선급협회의 안전문화 측정은 안전문화 매트릭스를 기본으로 이용하며, 이 매트릭스에 3 단계를 두어 기초, 보조, 핵심으로 구분된 항목을 두어 평가하고 있다. 이러한 매트릭스 구조에 선행 및 후행지표를 두어 안전문화를 모니터링하고 있다. 안전문화 지표는 조직의 안전문화를 모니터링 하기 위한 보조자료로 활용할 예정이며, 미국과 유럽에서 적용하고 있는 지표들의 요건을 비교 및 검토하여 한국 실정에 부합하는 지표를 개발할 예정이다. 또한, 현장에 시행하기에 앞서 지표와 관련된 이해관계자들의 검토를 통해 최종 선정할 예정이다.

References

- IAEA-TECDOC-1141, Operational Safety Performance Indicators for nuclear power plants, 2000.
- IAEA, Topical Issues in Nuclear Safety: Safety performance indicators, 2001.
- WANO, Performance Indicator Manual, 2009.
- American Bureau of Shipping, Guidance notes on safety culture and leading indicators of safety, 2012.

Author listings

Young Gab Kim: iamkygab@khnp.co.kr

Highest degree: Master, Department of Mechanical Engineering, Chungnam National University

Position title: Senior Researcher, KHNP Central Research Institute

Areas of interest: Safety Culture, Human Factors in Nuclear Power Plant

Hyeon Jong Jung: hyeonjong@khnp.co.kr

Highest degree: Master, Department of Mechanical Engineering, Chungnam National University

Position title: General Manager, KHNP Central Research Institute

Areas of interest: Safety Culture, Human Factors in Nuclear Power Plant

Nam Yong Hur: hur.namyong@khnp.co.kr

Highest degree: Master, Department of Mechanical Engineering, Chungnam National University

Position title: Senior Researcher, KHNP Central Research Institute

Areas of interest: Safety Culture, Human Factors in Nuclear Power Plant