

조직인자의 PSA 반영을 위한 정량적 방법론

A Framework for Incorporating Organizational Factors into PSA

박상준, 제무성

한양대학교

서울시 성동구 행당동 산 17

요 약

조직인자의 정량화 방법론을 개발하기 위해 기존 조직인자의 정성적/정량적인 평가 방법론에 대하여 검토하였고 이것을 토대로 국내원전에 대한 조직인자의 PSA 반영방안 연구를 수행하였다. 이에 따라, 조직인자의 정량화 방법론을 개발하였고, 이 정량화 방법론을 실제 원전에 적용하였다. 이 방법론의 구성은 첫째, 조직인자와 수행특성인자 정의, 둘째, 해석적인 계층적 방법을 이용하여 인간행동에 대한 조직인자와 수행특성인자의 가중치 결정, 셋째, 성공률지수 방법론을 이용하여 각 인간행동에 대한 성공률 지수 산출, 넷째, 성공률 지수에 따른 적절한 인자를 기존의 인간오류확률에 적용하여 새로운 인간오류 확률 계산, 마지막으로 고장수목 분석코드를 이용하여 새로운 계통 불이용도를 계산하는 요소들로 구성되어있다.

Abstract

The state of the art on qualitative and quantitative methodology to incorporate organizational factors into safety has been surveyed. Based on this survey, a framework for incorporating organizational factors into probabilistic safety assessments has been developed and applied to a reference plant. This framework involves five steps as follows. First, organizational factors (OFs) as well as performance shaping factors (PSFs) are defined. Second, weighting values of organizational factors with respect to PSFs are determined using the method of AHP (Analytical Hierarchy Process). Third, successive likelihood indices for human actions are evaluated using the method of SLIM (Successive Likelihood Index Methodology). Fourth, using the index values obtained from SLIM, human error probabilities for the human actions are quantitatively calculated. Finally a measure of system unavailability is quantified by the reliability analysis code such as KIRAP.

1. 서론

원자력 발전소의 안전성을 확보하고 운전의 효율성을 증대시키기 위하여 원전의 주기적 안전성 평가가 필요하다. 주기적 안전성 평가의 11가지 요소 중 한 요소에 해당하는 조직 인자의 평가는 인적오류의 발생배경으로서 매우 중요하다. 지금까지 가장 널리 사용되는 원전의 주기적 안전성 평가는 설비고장이나 인간오류평가에 제한되어 있었다. 최근에 와서 동일한 유형의 원전에 서로 다른 안전성 평가 결과를 통해서 조직의 질이 설비의 신뢰도와 인적오류정도에 영향을 주고 있으며, 원전의 안전성에 전반적인 영향을 끼친다는 것을 고려하지 않고 있다는 사실이 지적되기 시작하였다. 지난 수년간 조직인자가 원전의 인적 성능과 나아가서 원전의 안전성에 어떻게 영향을 끼치는가에 대한 이슈가 세계적으로 주목을 받고있는 연구의 대상이 되고 있으며 최근에는 원전의 주기적 안전성 평가에 조직인자의 PSA 반영방안 연구가 매우 중요한 요소로 부각되었으므로 이 시점에서 매우 필요한 연구이다.

본 연구에서는 원전안전성 향상에 기여하는 조직인자의 영향을 정성적, 정량적인 방법론으로 분석하는 방법을 살펴보고, 이에 기초하여 확률론적 안전성 평가에 조직인자의 영향을 어떻게 정량적으로 반영할 수 있을지 대해 새로운 방법론을 제시하였다. 또한 이 방법론을 참조원전에 적용하였다.

2. 정량적인 방법론

본 연구에서 제시하는 조직인자의 PSA 반영을 위한 정량적인 방법론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 조직인자와 수행특성인자의 정의
- 2) 해석적인 계층 방법론을 이용하여 인간행동에 대한 각 조직인자와 수행특성인자의 가중치 산출
- 3) 성공률 지수 방법론에 가중치와 등급을 적용하여 각 인간행동에 대한 성공률 지수 산출
- 4) 성공률 지수에 대한 인자값을 적용하여 원전 내 계통의 새로운 인간오류확률 산출
- 5) 새로운 인간오류확률을 계통의 불이용도를 계산할 수 있는 고장수목 분석코드에 대입하여 원전 내 계통의 새로운 불이용도 산출

2.1 조직인자와 수행특성인자

인간오류에 영향을 주므로 원전의 안전성에 영향을 미치는 조직적인 요인을 조직인자라고 하며, 본 연구에서는 다음과 같이 5가지 조직인자를 제시하였다.

표 1. 조직인자

조직인자	설 명
운용목표의 선정	상위의 조직 즉, 최고 경영자가 원전의 운용목표를 경제성과 안전성 확보 중 어느 쪽에 더 치중하느냐에 따라 운전원의 판단과 처치에 직접적인 영향을 준다.
의사소통	명확한 책임과 의사소통라인의 구성은 원전 안전운전에 매우 중요하다.
안전지식	운전원은 원전의 각종 계통설비의 기능을 이해, 중요한 Tech. Spec 즉 Safety Limit 초과시의 예상결과 등에 대한 훈련을 통한 숙지가 필요하다.
작업태도	태만하고 부주의한 자세를 가진 운전원 그룹은 사고 원전을 정상 상태로 환원하기 힘든 상황을 초래한다.
작업환경	다른 조직과 구별되는 원전 내에서 직원들이 공유하는 작업환경에 관한 인식을 의미한다. 인원, 업무량, 근무시간 등의 특성을 포함한다.

수행특성인자는 조직 내의 구성원들에 대한 특성을 반영하는 인자로서 조직인자에 영향을 주므로 결과적으로 원전의 안전성에 영향을 준다. 수행특성인자를 다음과 같이 7개의 요소를 선정하여 제시하였다.

표 2. 수행특성인자

수행특성인자	설 명
스트레스	작업의 중요도에 따라 작업자가 느끼는 책임감이나 긴장감을 의미한다.
훈련	안전하고 효과적으로 업무를 수행하기 위한 필수적인 지식과 기술이 발전소 직원에게 제공되어지는 정도를 의미한다.
작업량	작업자에 주어지는 작업의 많고·적음을 의미한다.
사기	작업을 하고자 하는 작업자의 의욕이나 상태를 의미한다.
작업지식	발전소 설계와 계통, 발전소 안전성에 영향을 주는 현상이나 사건을 고찰하는 발전소 직원의 필수적인 이해도를 의미한다.
절차서의 질	작업을 하는데 있어서 필요한 절차서의 명확성, 정보성을 의미한다.
상호 부서간의 의사소통	상호 부서간의 의사소통은 발전소 내의 다른 부서 사이의 (비)공식적인 정보의 교환을 의미한다. 위에서 아래로, 아래에서 위로의 의사소통 네트워크 모두 포함한다.

2.2 해석적인 계층 방법론의 적용

참조원전 내의 비상급수계통에는 9가지 인간행동이 존재한다[KEPRI, Technical Report]. 그림 1과 같이 조직인자와 수행특성인자는 서로 다른 가중치를 가지고 인간행동에 영향을 주게 되므로, 이 가중치들을 정량적으로 산출해야 할 필요성이 있다. 이를 위해, 해석적인 계층 방법론을 이용하였고, 표 3은 인간행동에 대한 조직인자들의 가중치를 정량적으로 계산한 결과이다. 조직인자 중 운용목표의 선정이 인간행동에 가장 많은 영향을 주는 인자이며, 작업태도가 가장 적은 영향을 주는 인자임을 확인할 수 있다.

표 3. 인간행동에 대한 조직인자의 가중치

인간행동	운용목표의 선정	의사 소통	안전 지식	작업환경	작업태도
HA 1	0.4821	0.0138	0.4802	0.0200	0.0039
HA 2	0.4832	0.0135	0.4802	0.0192	0.0039
HA 3	0.4817	0.0136	0.4819	0.0189	0.0038
HA 4	0.4827	0.0135	0.4812	0.0188	0.0038
HA 5	0.4844	0.0133	0.4797	0.0188	0.0038
HA 6	0.4804	0.0138	0.4828	0.0191	0.0029
HA 7	0.4753	0.0132	0.4740	0.0187	0.0189
HA 8	0.4756	0.0139	0.4865	0.0200	0.0039
HA 9	0.4791	0.0138	0.4832	0.0201	0.0039

HA 1 : OEWS1, 1시간 내 원전원의 비상급수계통 기동

HA 2 : OEWS1B, 40분 내 원전원의 비상급수계통 기동

HA 3 : OEWS1C, 운전원의 비상급수계통 기동

HA 4 : OEWS1D, 운전원의 비상급수계통 기동

HA 5 : OEWS1E, 운전원의 비상급수계통 기동

HA 6 : OEWS2, 3461-PV7/41의 개방 실패

HA 7 : OEWS2B, 3461-PV7/41의 개방 실패

HA 8 : OEWS4, 원전원의 비상급수계통 펌프 기동

HA 9 : OEWS4B, 원전원의 비상급수계통 펌프 기동

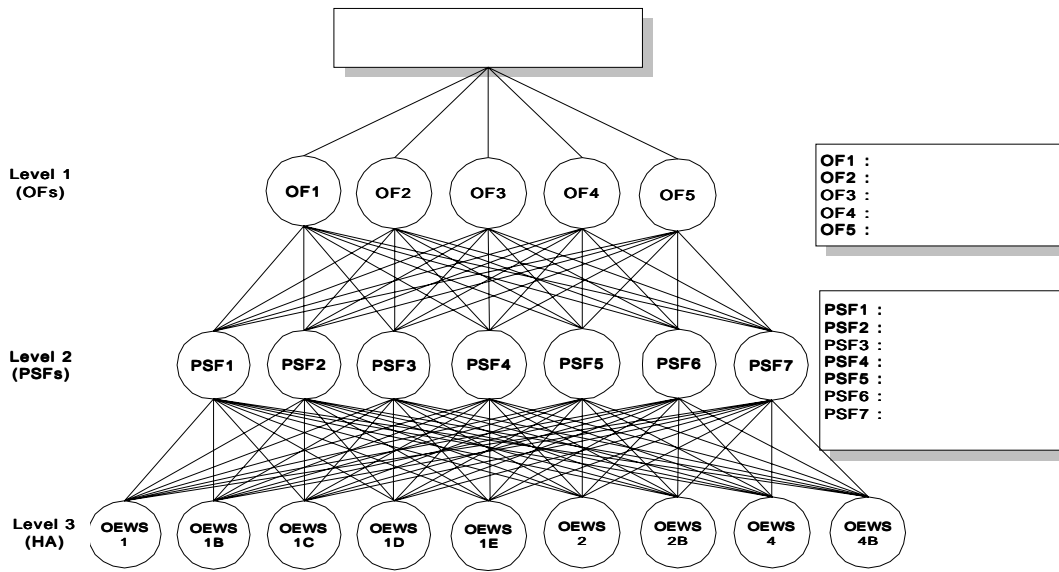


그림 1. 해석적인 계층 방법론 체계

2.3 성공률 지수 방법론의 적용

해석적인 계층 방법론을 통해 조직인자의 가중치가 결정이 되면, 표 4와 같은 설문서를 통해 조직인자의 등급을 결정한다. 여기서 조직인자의 등급이란 조직인자의 질(Quality)을 의미한다. 설문서를 통해 설문자가 속해 있는 조직의 질이 파악되면, 이것을 정량적으로 환산하여 등급을 1 에서 10 까지의 값으로 할당한다. 5 이상의 등급은 조직인자의 질이 평균보다 좋음을 의미하고, 5 이하는 평균보다 좋지 않음을 의미한다.

가중치와 등급이 결정되면, 식 (1)의 성공률 지수방법론을 이용하여 표 5에서 보여지듯이 각 인간행동에 대한 성공률 지수를 구한다. 성공률 지수란 어떤 인간행동을 하게 되는 작업자가 그 행동을 성공할 확률을 의미한다. 즉 성공률 지수가 0.5 이상인 경우, 작업자가 그 행동을 성공할 확률이 평균보다 높다는 것을 의미하며, 0.5 이하인 경우는 그 반대임을 의미한다.

$$\text{성공률 지수} = \sum_i [(r_i / \sum_i r_i) \times q_i] \dots \dots \dots (1)$$

여기서,

r_i : i 번째 조직인자의 가중치

q_i : i 번째 조직인자의 질(Quality)

표 4. 조직인자의 등급 결정을 위한 설문서의 예

성명()	소속 부서()
1. 원전 내의 각 부서 사이에 (비)공식적인 정보의 교류가 원활하다고 생각하십니까?	
매우 좋음.....	()
좋음.....	()
보통.....	()
나쁨.....	()
매우 나쁨.....	()
2. 본인에게 제공되어지는 지식이나 기술습득 등이 실제 업무 수행에 있어 적합하며 효과적이라고 생각하십니까?	
매우 좋음.....	()
좋음.....	()
보통.....	()
나쁨.....	()
매우 나쁨.....	()
3. 본인에게 할당된 작업에 대한 목적, 목표에 대한 이해 정도가 어떻다고 생각하십니까	
매우 좋음.....	()
좋음.....	()
보통.....	()
나쁨.....	()
매우 나쁨.....	()
4. 원전 내에서 실제 행해지는 작업들의 여러 상호작용에 관한 이해 정도는 어떻다고 생각하십니까?	
매우 좋음.....	()
좋음.....	()
보통.....	()
나쁨.....	()
매우 나쁨.....	()
5. 현재 자신에게 주어진 업무들로 인한 스트레스(시간, 업무량 등등)는 적절하다고 생각하십니까?	
매우 좋음.....	()
좋음.....	()
보통.....	()
나쁨.....	()
매우 나쁨.....	()

표 5. 인간행동의 성공률 지수 산출

	운용목표의 선정		의사 소통		안전 지식		작업환경		작업태도		성공률 지수
	가중치	등급	가중치	등급	가중치	등급	가중치	등급	가중치	등급	
HA 1	0.4821	0.6	0.0138	0.6	0.4802	0.7	0.0200	0.7	0.0039	0.7	0.6504
HA 2	0.4832	0.7	0.0135	0.8	0.4802	0.6	0.0192	0.8	0.0039	0.7	0.65525
HA 3	0.4817	0.5	0.0136	0.3	0.4819	0.7	0.0189	0.4	0.0038	0.5	0.59178
HA 4	0.4827	0.5	0.0135	0.7	0.4812	0.9	0.0188	0.9	0.0038	0.5	0.7027
HA 5	0.4844	0.7	0.0133	0.6	0.4797	0.5	0.0188	0.5	0.0038	0.5	0.59821
HA 6	0.4804	0.6	0.0138	0.6	0.4828	0.7	0.0191	0.6	0.0039	0.7	0.64867
HA 7	0.4753	0.6	0.0132	0.7	0.4740	0.6	0.0187	0.6	0.0189	0.6	0.60132
HA 8	0.4756	0.5	0.0139	0.5	0.4865	0.5	0.0200	0.6	0.0039	0.5	0.502
HA 9	0.4791	0.6	0.0138	0.6	0.4832	0.5	0.0201	0.4	0.0039	0.6	0.54767

3. 결과

식 (1)에 의하여 인간행동에 대한 성공률 지수가 산출되면, 각 성공률 지수에 따라 표 6에서 제시된 인자값을 적용하므로 새로운 인간오류확률을 얻을 수 있다. 성공률 지수가 낮은 경우 인자값을 크게 할당하므로 인간오류확률이 높아지게 되며 반대의 경우는 낮아지게 된다. 예를 들어, 성공률 지수가 0.35 인 경우에는 인자값으로 5를 적용하므로 인간오류확률이 높아지게 된다. 성공률 지수가 0.5 이하이므로 작업자가 인간행동을 성공할 확률이 평균보다 낮음을 의미하므로, 인간오류가 일어날 확률은 높아진 것이다.

표 6. 새로운 인간오류확률 산출

성공률지수	설 명	인자값	새로운 인간오류확률
0.0 - 0.2	매우 나쁨	10	인자값 × 기존 인간오류확률
0.2 - 0.4	나쁨	5	인자값 × 기존 인간오류확률
0.4 - 0.6	보통	1	인자값 × 기존 인간오류확률
0.6 - 0.8	좋음	1/5	인자값 × 기존 인간오류확률
0.8 - 1.0	매우 좋음	1/10	인자값 × 기존 인간오류확률

인간오류확률이 성공률 지수에 따른 인자값에 따라 변화되었음을 표 7을 통해 확인할 수 있다. 본 연구에서는 조직의 등급을 평균보다 좋게 할당하였기 때문에, 성공률 지수가 대부분 평균보다 높게 산출되었고, 그로 인해 인간오류가 발생할 확률은 낮아졌음을 확인하였다.

표 7. 조직인자의 영향으로 인한 인간오류확률의 변화

인간행동	기존 확률	새로운 확률
HA 1	4.19E-03	8.38E-04
HA 2	5.55E-03	1.11E-03
HA 3	4.19E-03	4.19E-03
HA 4	2.83E-02	5.66E-03
HA 5	2.87E-01	2.87E-01
HA 6	5.55E-03	1.11E-03
HA 7	9.48E-02	1.90E-02
HA 8	7.46E-04	7.46E-04
HA 9	8.90E-04	8.90E-04

새로운 인간오류확률을 그림 2에서 보여지는 고장수목 분석코드에 입력하여 산출된, 비상급수계통의 새로운 불이용도가 표 8에 제시된다. 인간오류확률이 낮아졌으므로 그 인간오류가 포함된 계통의 불이용도도 낮아짐을 그림 3을 통해 확인할 수 있다.

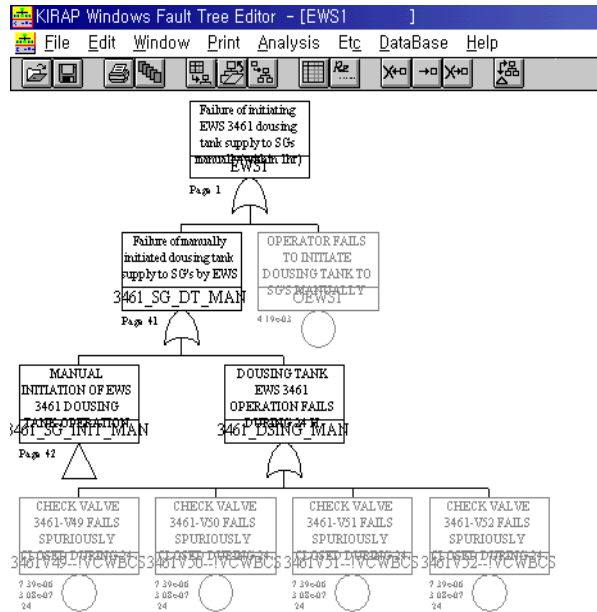


그림 2. 고장수목 분석코드를 이용한 계통의 불이용도 산출

표 8. 조직인자의 영향으로 인한 계통의 불이용도 변화

계 통	기존 불이용도	새로운 불이용도	불이용도 변화
EWS1	9.63E-03	6.28E-03	35 % ↓
EWS1B	1.10E-02	6.55E-03	40 % ↓
EWS1C	9.63E-03	9.63E-03	0 % ↓
EWS1D	3.37E-02	1.11E-02	67 % ↓
EWS1E	2.92E-01	2.92E-01	0 % ↓
EWS2	7.32E-03	7.27E-03	1 % ↓
EWS2B	8.46E-03	7.49E-03	12 % ↓
EWS4	3.51E-03	3.51E-03	0 % ↓
EWS4B	3.65E-03	3.65E-03	0 % ↓
		평 균	17 % ↓

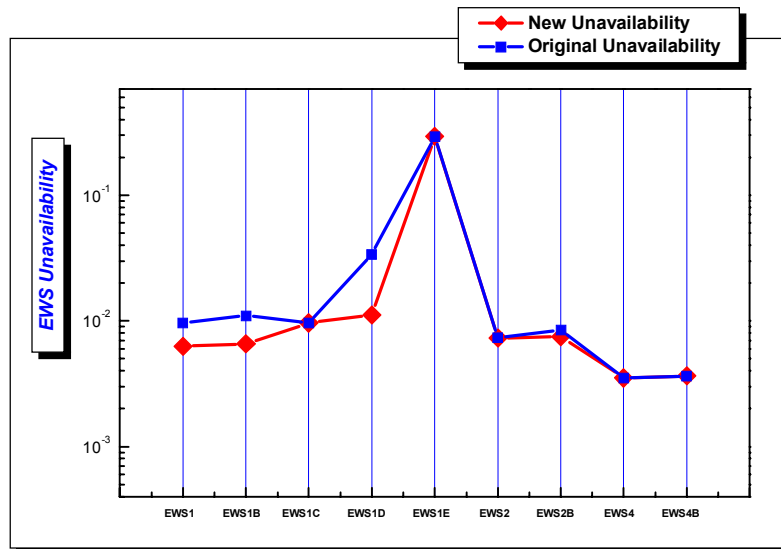


그림 3. 조직인자의 영향으로 인한 계통의 불이용도 변화

4. 결 론

원전의 안전성에 미치는 조직인자의 영향을 정량적으로 평가하는 방법론을 제시하였고 이 방법론을 참조 원전에 적용하였다. 그 결과 조직인자의 영향에 따라 원전 내의 인간오류확률의 변화로 인하여 계통의 불이용도가 변화하는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 관리를 통해 조직인자의 질(Quality)을 좋게 할 경우 인간오류확률을 줄일 수 있으며 따라서 궁극적으로 원전의 안전성이 증대될 수 있음을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한전 전력연구원과 방사선안전기술연구센터의 연구 과제의 일환으로 수행되었다.

참고 문헌

1. J. S. Wu, G. E. Apostolakis, and D. Okrent, On the Inclusion of Organizational and Managerial Influences in Probabilistic Safety Assessment of Nuclear Power Plants, in The Analysis, Communication, and Perception of Risk, B. J. Garrick and W. C. Gekler, Eds., Plenum Press, New York, 1991.

2. J. Wreathall, Organizational Factors Relevant to Safety, presented at the 2nd Annual Information Exchange Meeting on NRC Organizational Factors Research, State College, PA., May 22-24, 1991.
3. N. S. Anderson, D.L. Schurman, and J.Wreathall, A Structure of Influences of Management and Organizational Factors on Unsafe Acts at the Job Performer Level, in Proceedings of the Human Factors Society 34th Annual Meeting, pp, 881-884, Orlando, FL., Oct. 8-12, 1990, The Human Factors Society, Santa Monica, CA.
4. M. Modarres, A. Mosleh, and J. Wreathall, A Framework for Assessing Influence of Organization on Plant Safety, Reliability Engineering and System Safety, 38, 157-171, 1992.
5. M. E. Pate-Cornell, Organizational Aspects of Engineering System Safety: The Case of Offshore Platforms, Science, 250, 1210-1217, 1990.
6. E. M. Dougherty, Human Reliability Analysis, 1988.
7. M. E. Pate-Cornell and P. S. Fischbeck, PRA as a Management Tool Organizational Factors and Risk-Based Priorities for the Maintenance of the Tiles of the Space Shuttle Orbiter, Reliability Engineering and System Safety, 40, 239-257, 1993.
8. K. D. Moghaddam, The Incorporation of Organizational Performance into Probabilistic Safety Assessment (PSA) Methodology via the Work Process Analysis Model (WPAM), 1993.