

# AHP 기법을 이용한 수행영향인자 평가에 관한 연구

정경희 · 변승남 · 김정호 · 허은미 · 박홍준

경희대학교 산업경영공학과

## An Empirical Study on Evaluation of Performance Shaping Factors on AHP

KyungHee Jung, SeongNam Byun, JungHo Kim, EunMee Heo, HongJoon Park

Department of Industrial & Management System Engineering, The University of KyungHee, Yonin, 446-701

### ABSTRACT

Almost all companies have paid much attention to the safety management ranging from maintenance to operation even at the stage of designing in order to prevent accidents, but fatal accidents continue to increase throughout the world. In particular, it is essential to systematically prevent such fatal accidents as fire, explosion or leakage of toxic gas at factories in order to not only protect the workers and neighbors but also prevent economic losses and environmental pollution. Though it is well known that accident probability is very low in NPP(Nuclear Power Plants), the reason why many researches are still being performed about the accidents is the results may be so severe. HRA is the main process to make preparation for possibility of human error in designing of the NPP. But those techniques have some problems and limitation as follows; the evaluation sensitivity of those techniques are out of date. And the evaluation of human error is not coupled with the design process. Additionally, the scope of the human error which has to be included in reliability assessment should be expanded. This work focuses on the coincidence of human error and mechanical failure for some important performance shaping factors to propose a method for improving safety effectively of the process industries. In order to apply in these purposes into the thesis, I found 63 critical Performance Shaping Factors of the eight dimensions throughout studies that I executed earlier. In this study, various analysis of opinion of specialists(Personal Factors, Training, Knowledge or Experience, Procedures and Documentation, Information, Communications, HMI, Workplace Design, Quality of Environment, Team Factors) and the guideline for construction of PSF were accomplished. The selected method was AHP which simplifies objective conclusions by maintaining consistency. This research focused on the implementation process of PSF to evaluate the process of PSF at each phase. As a result, we propose an evaluation model of PSF as a tool to find critical problem at each phase and improve on how to resolve the problems found at each phase. This evaluation model makes it possible to extraction of PSF successfully by presenting the basis of assessment which will be used by enterprises to minimize the trial and error of construction process of PSF.

Keywords: Human Reliability Analysis(HRA), Human Error(HE), Performance Shaping Factors(PSFs), Analytic Hierarchy Process(AHP)

## 1. 연구배경 및 필요성

APR-1400은 기계, 전기, 계측 및 제어 등 다양한 시스템이 유기적으로 결합하여 운영되는 대규모의 첨단제어 시스템이다. 기존의 전통적인 아날로그(analog) 제어방식인 Knob & Dial 방식에서 최근에는 모든 운전방식이 디지털(digital)화되어 설계방식이 변경되었다.

디지털화된 운전방식에서는 기존의 아날로그 제어방식과는 다른 양상의 환경 및 사용조건들이 나타날 수 있고, 또한 운전원들에게 다양하고 복잡한 형태의 감시와 감시 및 제어활동 등을 요구하여, 운전원들의 육체적, 인지적인 부담을 초래할 수 있다.

따라서, 시스템 운영상에 사소한 문제점으로도 안전상에 심각한 문제를 야기시킬 수 있으므로 개발 및 설계단계, 운영과정에서 철저한 분석과 시험이 필요하다고 판단된다.

APR-1400에 영향을 미치는 수행영향인자는 여러 가지 인자들이 존재하고, 또한 영향인자간의 관계가 상당히 복잡하다. 따라서 수행영향인자 선정을 쉽도록 간편한 의사결정 시스템을 구축하는 것이 중요한 과제로 떠오르고 있다.

본 연구에서는 디지털화된 운전방식을 고려하여 수행영향인자를 추출하고, 이를 근거로 HRA(Human Reliability Analysis) 분석 시 객관적이고 합리적인 평가에 활용할 수 있는 자료를 제시하는 것을 목적으로 하고 있다.

기존에 수행영향인자 분석방법은 설문지나 사례를 통한 정성적인 평가방식을 통해 중요도를 분석한 연구들은 존재하지만 분석자의 주관에 크게 영향을 미쳐 객관적 타당성을 결여할 수 있다는 문제점을 보완해야 한다.

따라서 본 연구는 수행영향인자의 영향력을 분석하기 위해서 각 인자간의 비교와 같은 정성적인 문제를 분석하기 위해 일관성 있는 정량적 수치로 측정변환하고 일대일 비교를 통하여 상대적 우선순위를 파악할 수 있는 AHP(Analytic Hierarchy Process)기법을 적용하였다.

## 2. AHP에 관한 고찰

### 2.1 AHP의 개념

AHP는 의사결정 문제가 다수의 평가기준으로 이루어져 있을 때, 우선 평가기준들을 계층화한 후 계층에 따라 중요도를 정해가는 다기준 의사결정기법이다. 이는 Saaty에 의해 1970년대 초에 개발된 것으로, 복잡한 의사결정 문제를 효율적으로 해석하는 시스템적 과정(Saaty & Vargas, 1982)으로서, 의사결정이나 계획수립에 매우 유용한 방법

으로 인식되고 있다(Harker & Vargas, 1987). 계층화 의사결정법의 응용분야는 여러 의사결정대안이 고려되는 경우, 각 대안의 효율성 평가 또는 대안 간의 우선순위를 결정하는 데에 효과적으로 활용되고 있다.

### 2.2 AHP의 적용절차

AHP는 의사결정을 내려야 할 문제를 상호관련된 의사결정 요소들의 계층으로 나눔으로써 의사결정 계층을 형성하는데, 이 과정이 계층분석기법에서 가장 중요한 절차이다. 즉, 최상위 계층에는 의사결정의 최종 목적이 위치하고, 최하위 계층에는 의사결정대안이 자리 잡게 되며, 그 중간의 각 계층에는 상위단계 요소의 영향력 또는 공헌도에 따라 요소들을 구조화시킨다.

### 2.3 AHP의 평가방법

AHP를 적용하는데 있어서 중요한 문제는 크게 두 가지로 볼 수 있다. 첫째는 계층구조를 문제에 적합하도록 만드는 것과 둘째는 우선도(가중치 및 상대점수)를 부여하는 것이다. 두 가지 모두 의사결정자의 주관적 판단에 의해서 결정되며, 이러한 주관적 판단을 합리적으로 표현 또는 계량화하는 것이 AHP의 적용에 있어서 중요한 요소이다.

계층구조를 구성함에 있어서 일정한 규칙은 존재하지 않으며, 주어진 의사결정 문제의 특성과 의사결정자의 경험 등에 의해서 적합한 계층구조를 만들어내는 것이다. 우선도를 부여하는 방법은 쌍대 비교를 통한 고유 벡터방법이 사용되는데, 그 대상이 기준들의 가중치이건 대안들의 상대점수이건 상관없이 같은 방법을 사용할 수 있다.

AHP를 이용하여 의사결정 문제를 해결하고자 할 경우에는 다음과 같이 5단계를 거친다(Saaty, 1980).

- ① 의사결정 문제의 계층화(Decision Hierarchy)
- ② 각 요소들 간의 쌍대 비교(Pairwise Comparison)
- ③ 상대적 가중치의 추정(Estimation of Relative Weights)
- ④ 의사결정 요소들의 상대적 가중치 종합(Aggregation of Relative Weights)
- ⑤ 일관성 검증(Verification of Consistency)

AHP는 의사결정자가 수행하는 일련의 쌍대 비교 활동에 대한 일관성 지수(Consistency Index: CI)를 측정하는 방법을 제공하고, 이 수치를 이용하여 일관성 비율(Consistency Ratio: CR)을 계산하여 의사결정자가 행한 판단의 일관성을 측정한다.

일관성에 대한 편차는 일관성 지수  $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$  로 나타낸

다. AHP비교행렬에 대해서  $\lambda_{max} \geq n$ 의 관계가 항상 성립하는데 완벽한 일관성을 갖는 비교행렬에 대해서는  $\lambda_{max} = n$ 이며, 일관성이 클수록  $\lambda_{max}$ 가  $n$ 에 가까워진다. 따라서 다음과 같은 CR을 사용하여 일관성의 정도를 측정할 수 있다(Saaty & Vargas, 1982).

$$CR = \frac{CI}{RI} = \left( \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \right) \left( \frac{1}{RI} \right)$$

일반적으로 CR은 그 값이 작을수록 판단의 일관성이 크다고 볼 수 있으며 Saaty는 CR이 0.2보다 큰 경우에는 그 판단이 일관성이 없는 것이라고 주장하였다(Saaty, 1982).

### 3. 수행영향인자에 관한 고찰

#### 3.1 수행영향인자 분류체계의 개발절차

본 연구의 수행영향인자 분류절차를 Figure 1과 같이 적용하려고 한다. 첫째, 기존에 사용되고 있는 수행영향인자를 수집 및 분석하였으며, 둘째, 효과적이고 효율적인 인간실패도분석 수행을 위해 적절한 수준으로 수행영향인자가 선정될 수 있도록 선정 기준을 설정한다. 셋째, 선정된 기준에 따라서 수행영향인자를 분류한 후에 단계별 수행영향인자 항목을 도출한다. 넷째, 단계별로 선정된 수행영향인자를 인간공학 전문가들과 10년 이상 경력의 원자력 운전 전문가를 통해 평가 및 검증 실시한다. 최종적으로 수행영향인자 분류체계가 개발된다.

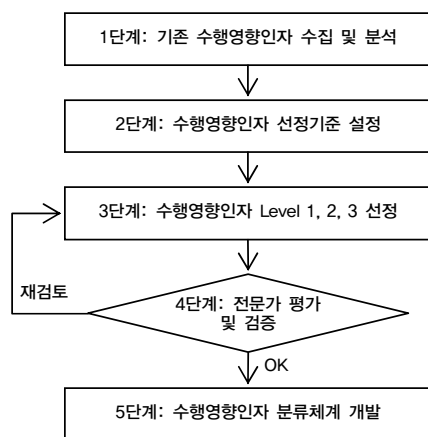


Figure 1. PSFs classification method

#### 3.2 기존 수행영향인자 분류체계

인간의 행위는 일반적으로 많은 요인들, 예를 들어 육체적, 심리적, 생리적, 환경적 요인 등에 의하여 영향을 받는데, 이들 요인들을 수행영향인자(Performance Shaping Factors: PSFs)라 부른다.

PSFs는 Swain & Guttman(1983)에 의하여 처음으로 구체화되고 체계적으로 분류되었는데, Gertman & Blackman (1994)는 작업수행의 성공여부에 영향을 주는 요인들과 그들의 적합성 여부를 평가할 수 있는 구분하여 PSFs가 인적 오류의 발생에 중요한 영향을 준다는 사실을 주장하였다.

특히, Swain & Guttman(1983)은 PSFs가 HEP의 주요한 결정자들이기 때문에 인적오류 분석에서 반드시 고려되어야 한다고 주장하였다. 그리고 Dhillon(1987)은 인적오류 발생의 몇 가지 이유로써 작업분야에서의 부적당한 조명, 관련된 인력의 부적당한 훈련이나 기술, 잘못된 장비설계, 작업장에서의 높은 소음수준, 부적당한 작업배치, 동기결여, 부적절한 도구, 작업복잡성 등 부적절하게 설계된 PSFs들을 언급하였다.

기존의 PSFs를 살펴보면 다음과 같다.

CSNI PSFs는 인적오류에 영향을 미치는 인자들을 Performance Shaping Factors와 Situation Factors로 나누어 제시하고 있다. 수행영향인자(PSFs)는 Subjective Goals and Intentions, Mental Load, Resources, Affective Factors로 분류하였고, 상황인자(SF)는 Task Characteristics, Physical Environment, Work Time Characteristics로 분류하였다(Rasmussen, 1981).

THERP PSFs는 2단계로 분류하여 제시하고 있다. 1단계 PSFs에서는 Exteranal PSFs, Internal PSFs, Stressor PSFs로 분류하였으며, 2단계로 External PSFs를 Situational Characteristics, Task and Equipment Characteristics, Job and Task Characteristic, Stressor PSFs를 Psychological Stressors, Physiological Stressors, Internal PSFs를 Organismic Factors로 분류하였다(Swain & Guttman, 1983).

PHECA PSFs는 직무의 인적오류 유발시키는 설계요소를 파악하기 위해 활용되고 있다. PSFs를 2단계로 분류하여 1단계에서는 Process, Personnel, Ergonomic으로 크게 분류하였으며, 2단계에서는 Company Accident Reports, Medical Department Records, Incident Reports, Plant Log Books, Supervisor Records, Computer Printout로 분류하고 있다(Whalley, 1987).

HEART(Human Error Assessment and Reduction Technique)는 38개의 EPC(Error-Producing Conditions)를 제시하고 있다. 제시된 EPC는 Nominal Probability를

수정하여 Human Error Probability를 도출하게 된다 (Williams, 1988).

Bellamy는 PSFs를 8가지 요소로 구분하여 Individual Factors, Man-Machine Interface Characteristics (Displays and Controls), Task Demands, Task Characteristics, Instructions and Procedures, Stresses, Environment, Socio-Technical Factors로 분류하고 있다(Bellamy, 1991).

CORE-DATA는 5가지 PSFs 요소 External Error Mode, Psychological Error Mechanism, Performance Shaping Factors, Task-Equipment Taxonomy, Human Action Taxonomy로 분류하고 있다(Taylor-Adams, 1995).

Hollnagel은 PSFs를 9개의 CPCs(Common Performance Conditions)로 제시하고 있다. Adequacy of Organization, Working Conditions, Availability of Procedures/Plans, Adequacy of HSI and Operational Support, Available Time, Number of Simulation Goals, Time of Day(Circadian Rhythm), Adequacy of Training and Experience, Crew Collaboration Quality로 분류하였다(Hollnagel, 1997).

SPAR-H는 8가지 PSFs 요소 Available Time, Complexity, Procedures, Fitness for Duty (Fitness for Duty), Stress/Stressors, Xperience/Training, Ergonomics/HSI, Work Process를 PSFs로 분류하고 있다(Boring & Blackman, 2007).

IDAC는 10가지 PSFs 요소 Cognitive Modes and Tendencies, Emotional Arousal, Strains and Feelings, Perception and Appraisal, Memorized Information, Intrinsic Characteristic, Environmental Factors, Conditioning Events, Organizational Factors, Team Related Factors로 구분하고 있다(Chang & Mosleh, 2007).

### 3.3 수행영향인자 Level 선정

PSFs는 운전원 특성, 시스템 특성, 직무 특성, 운전환경 특성, 팀 및 조직 특성으로 크게 5가지의 그룹으로 나눌 수 있다. 첫째, 운전원 특성은 운전원의 개인의 특성 및 작업 능력에 관련된 인자들을 말한다. 둘째, 시스템 특성은 발전소의 H/W 시스템과 물리적인 특성에 관련된 인자들을 말한다. 셋째, 직무 특성은 운전원에게 요구되는 직무의 특성과 관련된 인자들을 말한다. 넷째, 운전환경 특성은 물리적인 작업환경과 관련된 인자들을 말한다. 다섯째, 팀 및 조직 특성은 팀워크 및 의사소통, 조직에 관련된 인자들을 말한다. 각 그룹별로 포함되는 PSFs를 Figure 2와 같이 분류하였다.

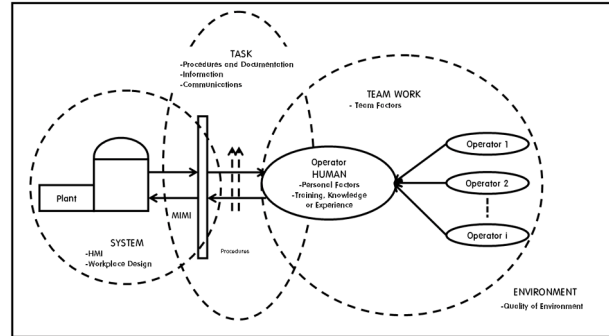


Figure 2. PSFs characteristics classification

### 3.4 수행영향인자 분류체계 개발

PSFs는 각각의 오류발생에 영향을 주는 구체적인 원인 및 상황적 요소를 파악하는 것으로 회고적(Retrospective) 접근방식을 취하고 있는 것이다. Table 1의 PSFs는 기존 수행영향인자에서 분류된 항목들을 바탕으로 첨단주제어실 직무와 연관된 항목들이 있도록 재구성하였다.

Table 1의 분류체계는 PSFs의 특성 분류인 Figure 2를 기반으로 Level 1을 다섯 가지의 범주로 나뉘었다. Level 2는 각 범주별 수행영향인자들을 보여준다.

Table 1. PSFs level 1, 2

Level 1	Level 2
Human	Personal Factors
	Training, Knowledge or Experience
Task	Procedures and Documentation
	Information
	Communications
System	HMI Workplace Design
Environment	Quality of Environment
Teamwork	Team Factors

본 연구에서 재구성된 Table 1에 따라 Level 3의 PSFs는 Table 2와 같다.

Table 2. PSFs classification

Level 2	Level 3
Personal Factors	Motivation/Attitudes
	Emotional State (Anxiety/Panic/Anger/Depression)
	Concentration

**Table 2.** PSFs classification (Continued)

Level 2	Level 3
Personal Factors	Confidence
	Fatigue
	Time Stress
	Load Stress
	Time Sharing
	Duration of Stress
Training, Knowledge or Experience	Team Morale (Preventing Conflict/Resolving Conflict)
	Team Leadership(Maintaining Standards/Monitoring Performance/Promoting Participation)
	Team Cooperation (Assisting Others/Positive Atmosphere)
	Team Adaptability (Cross-Checking/Prioritizing Action/Flexibility)
	Team Risk Management (Managing Pressure/Planning for Threats)
	Allocation of Function and Responsibility
Procedures and Documentation	Procedure Structure
	Recency in Use
	Procedure Availability
	Procedure Access
	Procedure Location
	Procedure Accuracy
	Procedure Clarity
	Procedure Complexity
	Procedure Comprehensiveness/Completeness
	Procedure Format(Electronic)
	Procedure Up-to-Date
Information	Structure of Information
	Information Clarity
	Information Complexity
	Information Correctness/Completeness
Communications	Information Availability
	Arousal
	Accent
	Dialect
	Communication Protocol
	Communication Tool
	Communication Clarity
	Communication Accuracy
Communication Correctness/Completeness	
HMI, Workplace Design	Interface Elements(icon, Symbol, Label, Table, List)
	Interaction Elements (Menu, Push-Buttons, Direct Manipulation)
	Visual Coding(Color Coding, Brightness, Special Symbols, Shape, Type, Styles)

**Table 2.** PSFs classification (Continued)

Level 2	Level 3
HMI, Workplace Design	Alphanumeric Characters
	Screen Layout
	Sequence of Screen
	Feedback
	Conspicuity
	Consistency of Displays
	Work Space Allocation
	Spatial/Movement Incompatibility
	Location of Control
	Control Design(Shape/Coding/Labeling)
Quality of Environment	Control Resistance
	Control-Display Ratio
	Vibration
	Lighting(Illuminance, Glare)
	Noise
Team Factors	Housekeeping
	Reverberation
	Suitability of Training and Education
	Operator Experience
	Task Knowledge
Recency of Training	

**3.5 수행영향인자 평가모형**

본 연구에서는 인적오류 요인과 수행영향인자를 평가하고 전문가들의 주관적인 판단을 정량화 시키기 위하여 Saaty의 AHP를 원전 인적오류 평가모델에 적용하였다.

AHP는 목표값들 사이의 중요도를 계층적으로 나누어 파악함으로써 각 대안의 중요도를 도출하는 기법으로, 주어진 의사결정 문제를 계층화한 후, 상위 계층에 있는 한 요소의 관점에서 직계 하위 계층에 있는 요소들을 쌍대 비교하여 상대적 중요도 또는 가중치를 구함으로써 최하위 계층에 있는 대안의 우선순위(Priority)를 결정하는 것이다.

본 논문에서도 이러한 기본 논리에 근거하여 Figure 3의 AHP 계층도와 같이 인적오류 요소를 상위 계층으로 설정하고 하위 계층으로 수행영향인자를 배치하였다. 이를 통해 각 계층간에 상호 관계를 이해하고 이를 평가하는 과정에서 계층적인 정보를 반영하여 문제를 해결하고자 한다.

인적오류 계층에서는 운전원의 에러를 조작에러, 정보확인 에러, 점검보수에러 등 3가지로 구성하였다. 수행영향인자 계층에서는 Personal Factors, Training, Knowledge or Experience, Procedures and Documentation, Information,

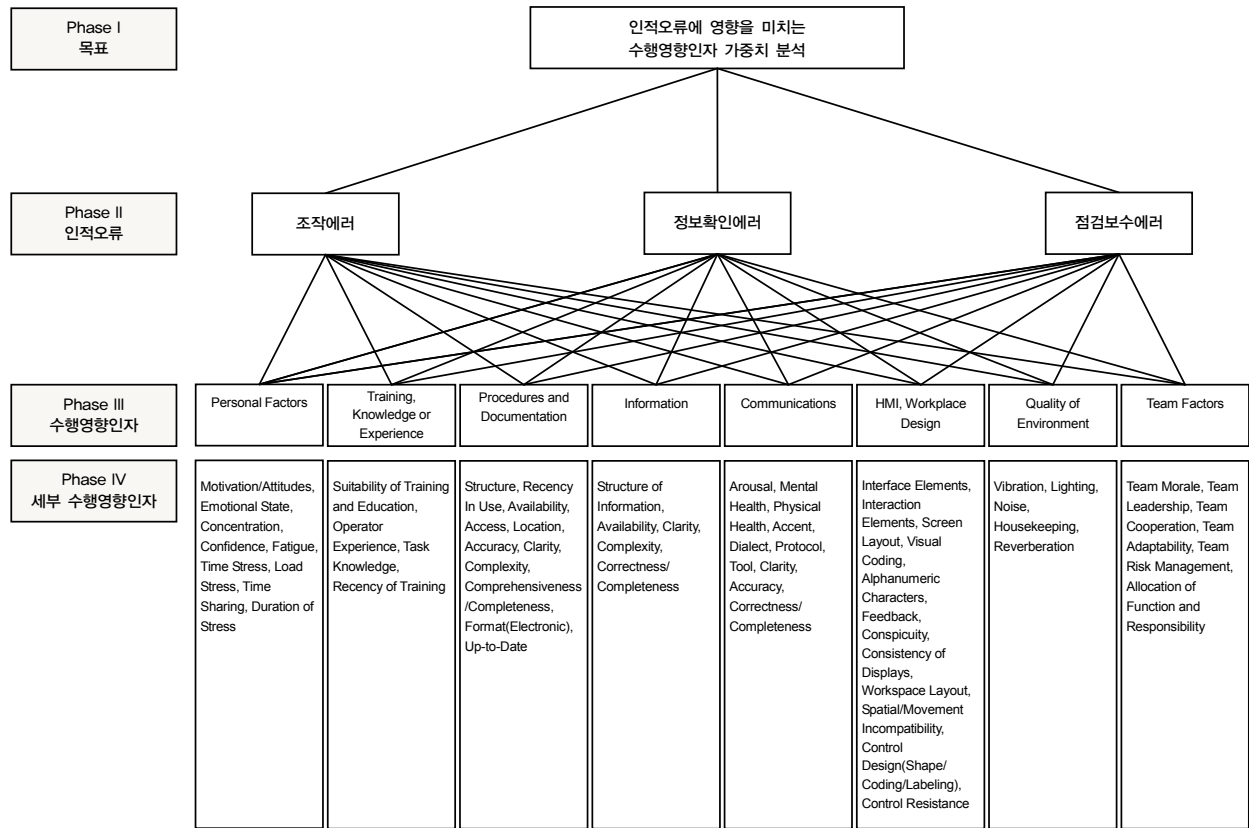


Figure 3. PSFs hierarchical model

Communications, HMI, Workplace Design, Quality of Environment, Team Factors 등으로 구성하였다. 마지막으로는 세부 수행영향인자들로 구성하였다.

## 4. 분석결과

### 4.1 AHP 분석결과

원전사고에 대한 AHP 분석을 실시하기 위해 2004~2009년까지 발생한 사례를 적용시키고자 한다.

인적원인으로 발생한 사고들의 발생빈도를 Table 3과 같

Table 3. Weight of human error factors

Phase II	인적오류 요소	발생빈도	발생률
A1	조작에러	14	64%
A2	정보확인에러	4	18%
A3	점검보수에러	4	18%
A4	총계	22	100%

이 작성하여 총 22가지에 대한 실제 발생횟수의 비율을 구하여 인적오류의 가중치를 설정하였다.

22가지 인적오류 요소를 바탕으로 수행영향인자들의 각 계층별 쌍대 비교를 통하여 가중치를 계산하였다.

가중치 계산은 인간공학 전문가와 10년 이상 경력의 운전 전문가를 통하여 시행하였다. 전문가 설문 참여인원은 총 인간공학 전문가 5명, 운전 전문가 12명을 대상으로 실시하였다.

조사방법은 수행영향인자 8개 분야 세부 항목 중 인적오류 요소에 영향을 크게 미치는 항목을 중요한 순위로 선택하도록 하였다.

세부 항목에 대한 가중치 산정은 단일 일대일 비교행렬에 의해 구성하는 방안으로 AHP 기법 상용 프로그램인 Expert Choice를 이용하였다(조근태 외 2, 2003).

Saaty는 CR이 0.1 이내인 경우에는 일관성이 있다고 제안하였다. 이와 달리 CR이 0.1 초과하면 쌍대 비교를 다시 하거나 설문지를 수정해야 한다고 권고하고 있다. 그러나 계층의 수가 많은 경우에는 CR을 0.2까지 수용하기도 한다(Saaty, 1983).

CR 분석결과 허용범위 0.2 이하로서 논리적으로 일관성

을 유지하고 있음을 확인하였다.

수행영향인자 계층 모형에 대한 계층적 가중치 분석결과

**Table 4. PSFs weight**

Phase II	인적오류 요인	Phase III	가중치
A1	조작에러	A1B1	0.066
		A1B2	0.185
		A1B3	0.131
		A1B4	0.064
		A1B5	0.055
		A1B6	0.358
		A1B7	0.109
		A1B8	0.032
A2	정보확인에러	A2B1	0.240
		A2B2	0.050
		A2B3	0.095
		A2B4	0.162
		A2B5	0.274
		A2B6	0.118
		A2B7	0.232
		A2B8	0.046
A3	점검보수에러	A3B1	0.053
		A3B2	0.292
		A3B3	0.095
		A3B4	0.093
		A3B5	0.151
		A3B6	0.022
		A3B7	0.099
		A3B8	0.195

**Table 5. PSFs weight of human error factors**

Phase III	수행영향인자	조작에러	정보확인에러	점검보수에러	종합가중치
B1	Personal Factor	0.066	0.050	0.053	0.169
B2	Training, Knowledge or Experience	0.185	0.095	0.292	0.572
B3	Procedures and Documentation	0.131	0.162	0.095	0.388
B4	Information	0.064	0.274	0.093	0.431
B5	Communications	0.055	0.118	0.151	0.324
B6	HMI, Workplace Design	0.358	0.232	0.022	0.612
B7	Quality of Environment	0.109	0.046	0.099	0.254
B8	Team Factors	0.032	0.024	0.195	0.251

Table 4와 같이 나타났다.

인적오류 요인에 대한 수행영향인자의 가중치를 살펴보면 Table 5와 같이 나타났다. 수행영향인자의 종합적인 가중치는 조작에러, 정보확인에러, 점검보수에러 등에 대한 수행영향인자의 가중치를 합하여 계산한다.

Table 6은 인적오류 요인에 영향을 미치는 8개의 수행영향인자 항목에서 세부 인자별 간에 쌍대 비교를 실시한 결과를 보여주고 있다.

**Table 6. Specifics PSFs weigh**

Phase III	수행영향인자	Phase IV	가중치		
B1	Personal Factors	B1C1	0.105		
		B1C2	0.072		
		B1C3	0.097		
		B1C4	0.181		
		B1C5	0.085		
		B1C6	0.139		
		B1C7	0.115		
		B1C8	0.099		
		B1C9	0.108		
		B2	Training, Knowledge or Experience	B2C1	0.377
				B2C2	0.339
B2C3	0.064				
B2C4	0.221				
B3	Procedures and Documentation	B3C1	0.221		
		B3C2	0.027		
		B3C3	0.067		
		B3C4	0.063		
		B3C5	0.058		
		B3C6	0.058		
		B3C7	0.100		
		B3C8	0.088		
		B3C9	0.105		
		B3C10	0.133		
		B3C11	0.081		
B4	Information	B4C1	0.039		
		B4C2	0.166		
		B4C3	0.338		
		B4C4	0.166		
		B4C5	0.291		
B5	Communications	B5C1	0.033		
		B5C2	0.031		
		B5C3	0.027		
		B5C4	0.148		

**Table 6.** Specifics PSFs weigh (Continued)

Phase III	수행영향인자	Phase IV	가중치
B5	Communications	B5C5	0.133
		B5C6	0.131
		B5C7	0.193
		B5C8	0.305
B6	HMI, Workplace Design	B6C1	0.054
		B6C2	0.051
		B6C3	0.090
		B6C4	0.015
		B6C5	0.040
		B6C6	0.034
		B6C7	0.042
		B6C8	0.073
		B6C9	0.067
		B6C10	0.090
		B6C11	0.078
		B6C12	0.082
		B6C13	0.085
		B6C14	0.094
		B6C15	0.104
B7	Quality of Environment	B7C1	0.145
		B7C2	0.244
		B7C3	0.174
		B7C4	0.219
		B7C5	0.219
B8	Team Factors	B2C1	0.082
		B2C2	0.213
		B2C3	0.140
		B2C4	0.112
		B2C5	0.371
		B2C6	0.081

**Table 7.** General weight and ranking (Continued)

세부 수행영향인자	종합가중치	순위
Information Complexity	0.146	3
Recency of Training	0.126	4
Information Availability	0.126	5
Communication Correctness/Completeness	0.099	6
Team Risk Management (Managing Pressure/Planning for Threats)	0.093	7
Procedure Structure	0.086	8
Information Clarity	0.072	9
Information Correctness/Completeness	0.071	10
Control-Display Ratio	0.064	11
Communication Accuracy	0.063	12
Lighting (Illuminance, Glare)	0.062	13
Control Resistance	0.057	14
Housekeeping	0.055	15
Reverberation	0.055	15
Visual Coding (Color Coding, Brightness, Special Symbols, Shape, Type, Styles)	0.055	17
Work Space Allocation	0.055	18
Team Leadership (Maintaining Standards/ Monitoring Performance/Promoting Participation)	0.053	19
Control Design (Shape/Coding/Labeling)	0.052	20
Procedure Format (Electronic)	0.052	21
Location of Control	0.050	22
Spatial/Movement Incompatibility	0.048	23
Communication Protocol	0.048	24
Conspicuity	0.045	25
Noise	0.044	26
Communication Tool	0.043	27
Communication Clarity	0.042	28
Consistency of Displays	0.041	29
Procedure Comprehensiveness/Completeness	0.041	30
Procedure Clarity	0.039	31
Vibration	0.037	32
Task Knowledge	0.037	33
Team Cooperation (Assisting Others/Positive Atmosphere)	0.035	34
Procedure Complexity	0.034	35
Interface Elements (Icon, Symbol, Label, Table, List)	0.033	36
Procedure Up-to-Date	0.031	37
Interaction Elements (Menu, Push-Buttons, Direct Manipulation)	0.031	38
Confidence	0.030	39

앞서 살펴본 Table 4, 5, 6을 통하여 세부 수행영향인자의 종합가중치를 계산할 수 있다. 그 결과 Table 7과 같은 결과가 나타났다. 세부 영향인자의 종합가중치는 인적오류 요인에 대한 수행영향인자의 종합가중치와 세부 수행영향인자의 가중치를 곱하여 계산된다.

**Table 7.** General weight and ranking

세부 수행영향인자	종합가중치	순위
Suitability of Training and Education	0.215	1
Operator Experience	0.194	2



**Table 7. General weight and ranking (Continued)**

세부 수행영향인자	종합가중치	순위
Team Adaptability (Cross-Checking/Prioritizing Action/Flexibility)	0.028	40
Procedure Availability	0.026	41
Feedback	0.026	42
Screen Layout	0.025	43
Procedure Access	0.024	44
Time Stress	0.023	45
Procedure Accuracy	0.022	46
Procedure Location	0.022	47
Sequence of Screen	0.021	48
Team Morale (Preventing Conflict/Resolving Conflict)	0.021	49
Allocation of Function and Responsibility	0.020	50
Load Stress	0.019	51
Duration of Stress	0.018	52
Motivation/Attitudes	0.018	53
Time Sharing	0.017	54
Structure of Information	0.017	55
Concentration	0.016	56
Fatigue	0.014	57
Emotional State (Anxiety/Panic/Anger/Depression)	0.012	58
Arousal	0.011	59
Recency in Use	0.010	60
Accent	0.010	61
Alphanumeric Characters	0.009	62
Dialect	0.009	63

세부 수행영향인자의 우선순위는 Suitability of Training and Education(0.215), Operator Experience(0.194), Information Complexity(0.146), Recency of Training(0.126), Information Availability(0.126), Communication Correctness/Completeness(0.099), Team Risk Management(Managing Pressure/Planning for Threats)(0.093), Procedure Structure(0.086), Information Clarity(0.072), Information Correctness/Completeness(0.071) 등의 순으로 나타났다.

이러한 분석결과를 토대로 향후에 인적오류 요소에 우선적으로 영향을 미치는 인자인 Training, Knowledge or Experienced(Recency of Training, Operator Experience, Suitability of Training and Education), Information (Information Correctness/Completeness, Information Clarity), Quality of Environment(Lighting(Illuminance,

Glare), Noise), Procedures and Documentation(Procedure Format(Electronic)), HMI, Workplace Design(Control Design(Shape/Coding/Labeling), Feedback), Communications(Communication Clarity)를 고려하면 더 효과적으로 인적오류 발생에 대한 원인을 규명할 수 있을 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

운전원 직무수행의 전반적인 특성을 정확하게 파악하지 못하거나 운전원의 의사결정 과정, 직무 특성 등을 완전히 밝혀지지 않은 상태에서는 운전상황에서 발생할 수 있는 인적오류의 발생가능성 및 종류에 대해서 예측하기가 매우 어렵다.

따라서 인적오류의 발생가능성과 종류를 파악하기 위해서는 운전원이 어떤 인적오류를 발생시켰는지를 파악하는 것 보다는 먼저 인적오류가 발생할 수밖에 없었던 원인에 대한 규명이 더욱 중요하다.

본 연구에서는 인적오류에 영향을 미치는 수행영향인자 분류체계를 제안하였으며, 그 제안된 수행영향인자들은 향후 인적오류 발생원인을 예방할 수 있는 항목으로 활용가능할 것으로 판단된다.

또한 정성적인 문제를 일대일 비교를 통하여 정량화시킬 수 있다고 알려진 AHP 기법을 사용하였다. AHP 기법 상용 프로그램인 Expert Choice를 이용하여 8가지 수행영향인자에 대한 가중치를 구하였다. CR 분석결과 허용범위 0.2 이하로 나타났다

수행영향인자 계층 모형을 다계층적인 모형을 정립하였으며, 도출된 수행영향인자와 우선적으로 고려해야 하는 인자들의 정보를 원전설계 및 실험 시에 우선적으로 고려해야 할 대상이라고 판단된다.

인적오류 요소에 우선적으로 영향을 미치는 요인들을 살펴본 결과 Training, Knowledge or Experienced과 관련된 Suitability of Training and Education(0.215), Operator Experience(0.194)가 높게 나타났다. 즉, 지속적인 운전원 교육 및 훈련 프로그램을 통한 사고예방 교육이 실시된다면 인적오류 예방에 효과는 높아질 것이라 판단된다.

본 연구에서 따른 결과는 다음과 같다.

첫째, HRA의 경험이 있는 각 분야의 전문가 설문과 인적오류에 영향을 미치는 수행영향인자를 종합 분석하여 원전 특성에 적합한 수행영향인자 항목 8개와 세부평가항목 63개를 추출하였다.

둘째, 인간공학전문가 및 원전전문가들의 설문을 통하여

수행영향인자 항목과 세부평가항목에 대한 가중치를 원진 특성에 맞추어 설정하였다.

셋째, 인적오류 요인에 영향을 미치는 수행영향인자 선정 을 위한 주요 항목을 추출하여 인자선정 의사결정자들이 검토 시 쉽고 빠르고 객관적인 의사결정 자료로 활용할 수 있도록 제시하였다.

향후 과제로는 과거에 발생한 사고에 대해서도 AHP 방법을 적용하여 평가하고 각 사고, 사건별 영향을 보다 정량화하여 사고예방에 대한 안전관리에 활용할 수 있도록 전문 가시스템을 구축하는 것이 더 유용할 것이라 판단된다.

## 참고 문헌

- 조근태, 조용근, 강현수, 계층분석적 의사결정, 동현출판사, 2003.
- Dhillon, B. S., Human Reliability with Human Factors, Pergamon Press, 1987.
- Finan, J. S. & Hurley, W. J., Transitive calibration of the AHP verbal scale, EJOR 112, 1999.
- Gertman, D. I. & Blackman, H. S., Human Reliability and Safety Analysis Data Handbook, John Wiley & Sons, INC., New York, 1994.
- Harker, P. T. & Vargas, L. G., The Theory of Ratio Scale Estimation: Satty's AHP, Management Science, Vol.33, No.11, pp.1383-1403, 1987.
- Saaty, T. L. & Vargas, L. G., The Logic of Priorities, Kluwer-Nijhoff Publishing, London, 1982.
- Saaty, T. L., Decision Making for Leader: The AHP for Decision in a Complex World, p.5, 1982.
- Saaty, T. L., The Analytic Hierachy Process. McGraw-Hill, New York, 1980.
- Swain, A. D. & Guttman, H. E., Hand book of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications, NUREG/CR-1278, US Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C, 1983.

## Author listings



**KyungHee Jung:** khjung@khu.ac.kr

**Highest degree:** 경희대학교 산업경영공학과 박사

**Position title:** 경희대학교 산업경영공학과

**Areas of interest:** HRA, 인간공학

**SeongNam Byun:** snbyun@khu.ac.kr

**Highest degree:** The University of Michigan 산업공학과 박사

**Position title:** 경희대학교 산업경영공학과 교수

**Areas of interest:** HCI, 원자력 인간공학

**JungHo Kim:** jungho@khu.ac.kr

**Highest degree:** 경희대학교 기술경영학과 석사

**Position title:** 경희대학교 산업경영공학과 박사과정

**Areas of interest:** HCI, 산업 교육훈련, 인간공학

**EunMee Heo:** hem2040@gmail.com

**Highest degree:** 경희대학교 국제경영학과 석사

**Position title:** 경희대학교 산업경영공학과 박사과정

**Areas of interest:** HRA, HCI, 인간공학

**HongJoon Park:** groovyhong@khu.ac.kr

**Highest degree:** 경희대학교 산업경영공학과 석사

**Position title:** 경희대학교 산업경영공학과 박사과정

**Areas of interest:** HCI, 인간공학

Date Received : 2011-01-31

Date Revised : 2011-02-09

Date Accepted : 2011-02-09