



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2021년 2월
석사학위 논문

인적오류사건 분석을 통한 인적오류 저감 방안 고찰

조선대학교 대학원

원자력공학과

심 재 경

인적오류사건 분석을 통한 인적오류 저감 방안 고찰

A study on ways to reduce human error through analysis
of human error cases.

2021년 2월 25일

조선대학교 대학원

원자력공학과

심 재 경

인적오류사건 분석을 통한 인적오류 저감 방안 고찰

지도교수 이 경 진

이 논문을 원자력공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2020년 10월

조선대학교 대학원

원자력공학과

심 재 경

심재경의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 송종순 (인)

위원 조선대학교 교수 나만균 (인)

위원 조선대학교 교수 이경진 (인)

2020년 11월

조선대학교 대학원

<목 차>

List of Tables	i
List of Figures	iii
ABSTRACT	iv
제1장 서론	1
제1절 연구 배경 및 목적	1
1. 연구 배경	1
2. 연구 방법 및 목적	2
제2장 이론적 배경	4
제1절 인적행위(HU) 정의 및 관리	4
1. 인적행위(HU) 정의 및 인적오류의 분류	4
2. 인적행위향상 시스템 K-HPES	6
3. 인적행위사건 분석 워크시트(Worksheet)	7
제2절 인적오류예방기법	30
1. 기본적 인적오류예방기법	30
2. 조건부 인적오류예방기법	33
제3장 원자력발전소 고장·정지 사건 분석	35
제1절 국내 원자력발전소 운전 현황	35
제2절 국내 원자력발전소 고장·정지 현황	36
1. 인적실수에 의한 고장사건 분석	37

2. 노형별 주요 유형 분석	47
3. 수행자별 주요 유형 분석	54
제4장 결론	58
제1절 인적실수 사건 분석 요약	58
1. 노형·수행자별 주요 유형 분석	58
제2절 개선방안 고찰	62
1. 인적오류예방기법 내재화	62
2. 운전원 기본수칙 강화	62
3. 운전경험 활용 활성화	63
【참고문헌】	64

List of Tables

- [표 2-1] 유형별 분류
- [표 2-2] 원인별 분류
- [표 2-3] 모드별 분류
- [표 2-4] 유발시점별 분류
- [표 2-5] 국내원전과 미국원전 프로세스 비교
- [표 2-6] 인적행위사건 분석 워크시트(개요 및 세부내용)
- [표 2-7] 인적행위사건 분석 워크시트(오류 유발인자 확인)
- [표 2-8] 오류 유발인자(업무요구:Task Demand)
- [표 2-9] 오류 유발인자(작업환경:Work Environment)
- [표 2-10] 오류 유발인자(개인역량:Individual Capabilities)
- [표 2-11] 오류 유발인자(인간본성:Human Nature)
- [표 2-12] 인적행위사건 분석 워크시트(인적오류예방기법 활용 분석)
- [표 2-13] 인적행위사건 분석 워크시트(방어(방벽)수단 분석)
- [표 2-14] 물리적 방벽(인간-기계 연계)
- [표 2-15] 행정적 방벽(감독방법)1
- [표 2-16] 행정적 방벽(감독방법)2
- [표 2-17] 행정적 방벽(관리방법)1
- [표 2-18] 행정적 방벽(관리방법)2
- [표 2-19] 행정적 방벽(절차서/프로그램)1
- [표 2-20] 행정적 방벽(절차서/프로그램)2
- [표 2-21] 인적행위사건 분석 워크시트(인적오류 행동 분석)
- [표 2-22] 인적행위사건 분석 워크시트(부적절한 행동 분석)
- [표 2-23] 개인/조직요인 선별 분석 가이드(Q1, Q3, Q6, Q8)
- [표 2-24] 개인/조직요인 선별 분석 가이드(Q2, Q4, Q5, Q7)
- [표 2-25] 개인/조직요인 선별 분석 가이드(개인요인 C1, C2, C5)
- [표 2-26] 개인/조직요인 선별 분석 가이드(조직요인 C3, C4, C6, C7, C8)
- [표 2-27] 개인/조직요인 선별 분석 가이드(평가요인 E)
- [표 2-28] 인적행위사건 분석 워크시트(분석요약)

- [표 2-29] 인적오류 예방기법 종류
- [표 2-30] 알파벳 음표문자 종류
- [표 2-31] 숫자 음표문자 종류
- [표 3-1] 최근 10년간 국내 원자력발전소의 원인별 고장 현황(출처. OPIS)
- [표 3-2] 최근 10년간 인적실수사건 목록(출처. OPIS)
- [표 3-3] 노형별 인적실수 사건 현황
- [표 3-4] 노형 VS 발생시점/직무별 분석결과
- [표 3-5] 노형 VS 발생시점/수행자별 분석결과
- [표 3-6] 노형 VS 오류 유발인자
- [표 3-7] 노형 VS 오류 유발인자(2건 이상 항목)
- [표 3-8] 노형 VS 방벽 취약점
- [표 3-9] 노형 VS 방벽 취약점(2건 이상 항목)
- [표 3-10] 노형 VS 인적오류예방기법 미활용
- [표 3-11] 노형 VS 오류 모드(부적절한 행위 원인)
- [표 3-12] 수행자 VS 오류 유발인자
- [표 3-13] 수행자 VS 오류 유발인자(2건 이상 항목)
- [표 3-14] 수행자 VS 방벽 취약점
- [표 3-15] 수행자 VS 방벽 취약점(2건 이상 항목)
- [표 3-16] 수행자 VS 인적오류예방기법 미활용
- [표 3-17] 수행자 VS 오류 모드(부적절한 행위 원인)

List of Figures

- [그림 1-1] 전 세계 국가별 원전운영현황
- [그림 2-1] 인적행위사건 분석 워크시트(개인/조직요인 선별 흐름도)
- [그림 3-1] 국내 원자력발전소 운전 현황
- [그림 3-2] 최근 10년간 국내 원자력발전소의 원인별 고장·정지 현황
- [그림 3-3] 최근 10년간 인적실수에 의한 국내 원자력발전소의 고장 현황

ABSTRACT

A study on ways to reduce human error through analysis of human error cases.

Sim JaeKyung

Advisor : Prof. Lee, Goung Jin, Ph.D.

Department of Nuclear Engineering,

Graduate School of Chosun University

Law of 1:29:300. There is Heinrich Law. Heinrich of the United States discovered that a major accident does not happen suddenly without any warning, but it is said that there are 29 common accidents and 300 minor accidents until one major accident occurs.

Currently, the operating status of nuclear power plants in each country in the world is a total of 441 nuclear power plants in 38 countries around the world, including 95 in the United States, 57 in France, 48 in China, 38 in Russia, 33 in Japan, and 22 in India.

However, Historically major accidents such as the TMI nuclear power plant accident(1979. 3.), Chernobyl nuclear power plant accident(1986. 4.), and Fukushima nuclear power plant accident(2011. 3.) have created a negative image of the nuclear power plant.

The probability of human error occurring during human behavior includes errors of about 0.1% (function-based behavior 0.01%, rule-based behavior 0.1%, knowledge-based behavior 1% error occurrence) and The causes of sudden power plant shutdown due to human error are due to insufficient application of the ergonomic design principles of the main control room and on-site equipment, mis-operation, judgement errors, poor communication between operators, etc. It can be classified into three categories, such as the aspect of power plant operation depending on the lack of reflection of experience.

This paper studies the use of human behavior improvement systems and human error prevention techniques used in the field to reduce human error in domestic nuclear power plants, and analyzes failure and shutdown incidents caused by human errors, leading to major error factors and barrier weaknesses. In addition, we will look into the non-use of human error prevention techniques, and consider ways to prevent recurrence and safe operation of nuclear power plants.

In the last 10 years(2010-2019), the number of large and small failures in domestic nuclear power plants is 124, among them 19 failure cases were due to human error.

If classified them by reactor type, there were 7 WH type, 6 standard nuclear power plants, 5 CANDU type, and 1 Framatome type. The major error-causing factors are divided into 4 categories, such as work requirements, work environment, Individual Capabilities, and human nature, and among the major error-causing factors for each type that contributed to human error cases, unskilled work, repetitive work, unclear work goal, multitasking, etc.

Defensive(barrier) means includes physical barriers of human-machine connection and administrative barriers including supervisory methods, management methods, and procedures/programs. Looking at the vulnerability of defense(barrier), the causes of manager's requirements and inconsistency, lack of on-site attendance, and unskilled workers were identified.

Looking at the non-use of human error prevention techniques, it was confirmed that a number of basic human error prevention techniques such as self-diagnosis, use and compliance of procedures, and preliminary work review were not used during pre-working meetings, independent verification, and peer inspection among human error prevention techniques.

More than 50% of the error factors that caused human error cases were contributed by the operator. Therefore, customization of human error prevention techniques can be regarded as 'essential' for operators who operate directly circuit breakers, valves, and hand switches in the main control room and on-site.

The educational goal of human error prevention techniques is to internalize techniques through repeated training. To do so, it is necessary to adjust the ratio of current theoretical and practical training hours. In addition, by

increasing the proportion of practical training required for field operators, it is deemed necessary to improve the education culture not based on theory but based on practice.

Operator Fundamentals include thorough monitoring of plant operating variables and conditions, precise control according to plant condition changes, plant operation according to conservative bias, effective teamwork, and a clear understanding of plant design and engineering principles.

Recently, through WANO GL 2016-02, WANO SOER 2013-1, etc. the Operator Fundamentals are said to be important and reinforced. Together with the human error prevention technique, it has established itself as the most important rule that operators must follow. However, it is a reality that there is still a lack of training time for Operator Fundamentals and a lot of instructors.

Therefore, by reinforcing the effectiveness of education, we cultivate professional instructors for human error prevention techniques and Operator Fundamentals.

We conclude that long-term investment and efforts are needed to improve the capabilities of operators who will be in charge of the nuclear power plant industry in the future, including current operators.

제1장 서론

제1절 연구 배경 및 목적

1. 연구 배경

1:29:300의 법칙. 일명 하인리히 법칙이 있다. 미국의 하인리히(H. W. Heinrich)가 발견한 것으로 큰 사고는 어떠한 전조도 없이 갑자기 일어나는 것이 아니라 1건의 큰 사고가 일어나기까지 29건의 보통 사고가 있고 300건의 사소한 사고가 있다고 하는 것으로 사소한 사고라고 무시하면 안된다고 말하고 있다.[27]

국내 원자력발전소는 총 24기가 가동중에 있으며 국내 전력의 약 26.7%(2019년 말 기준)를 생산하고 있다.[12]

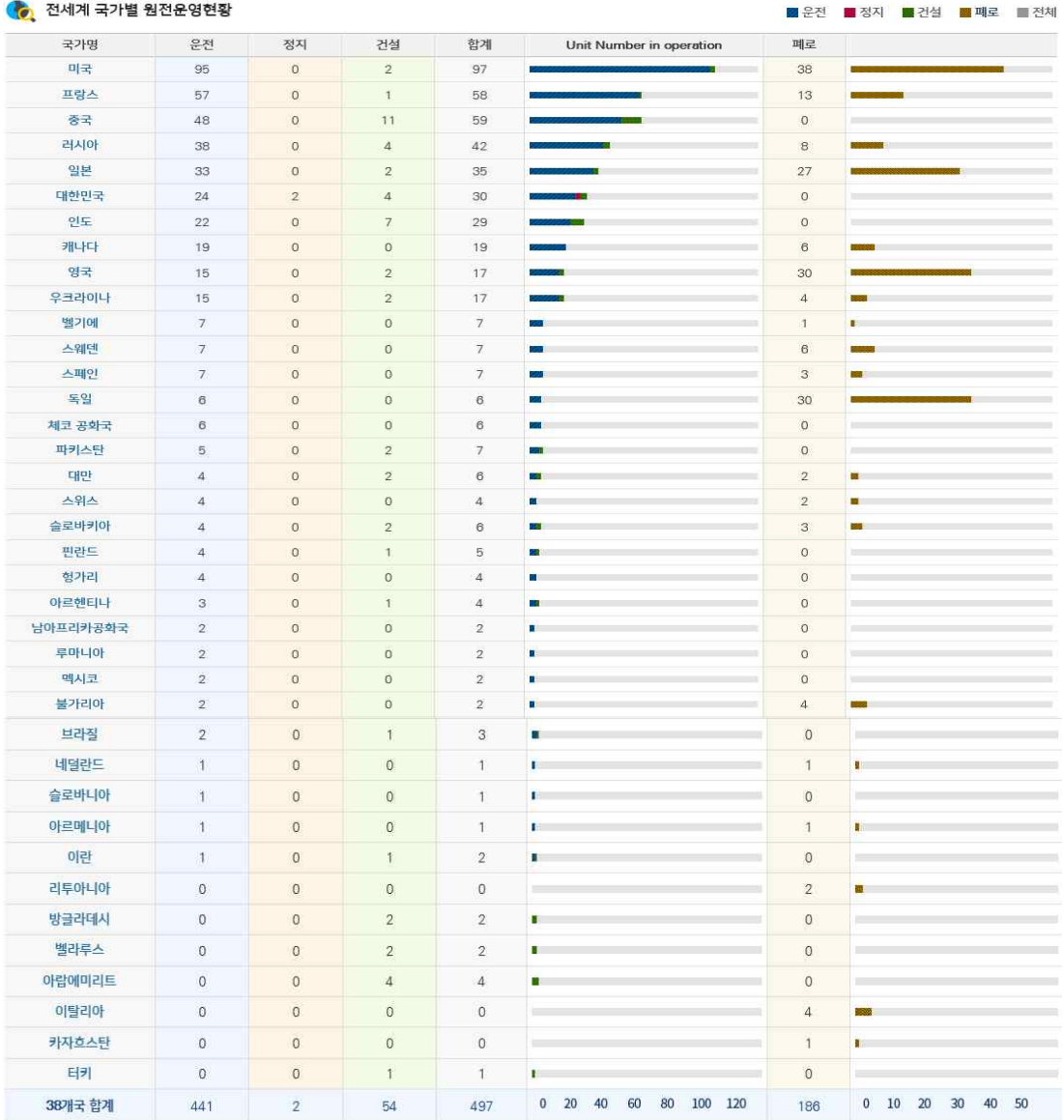
세계 국가별 원전운영현황을 살펴보면 미국 95기 운전, 프랑스 57기 운전, 중국 48기 운전, 러시아 38기 운전, 일본 33기 운전, 인도 22기 운전 등 전 세계 38개국에서 총 441기의 원전이 가동 되고 있다.

그러나 과거 TMI 원전사고(1979. 3.), 체르노빌 원전사고(1986. 4.), 후쿠시마 원전 사고(2011. 3.) 등 큰 사고로 인하여 원자력발전소에 대한 부정적인 이미지가 생겨났으며 원전안전에 대하여 우려의 목소리가 높아지고 있다.

부적절한 인적행위는 더 큰 사고를 유발시킬 수 있는데, 특히 항공, 철도, 원자력발전소 등의 산업계에서는 작은 인적실수가 감당할 수 없는 규모의 손실을 유발하는 사고가 될 수도 있다.[3] 국제원자력기구(IAEA)에서는 사고·고장 사건원인 중 인적실수 비중이 절대적이라고 보고하였으며 한국원자력안전기술원도 국내 원자력발전소 불시정지 사건 중 약 24%가 인적오류에 의한 정지사건이라 보고한 바 있다.[3][5]

최근 ‘신월성2호기 증기발생기 저수위에 따른 원자로 자동정지(2019. 9.)’, ‘한빛1호기 부주의한 제어봉인출로 보조급수계통 동작 및 원자로 수동정지(2019. 5.)’, ‘한빛2호기 증기발생기 C 저수위에 의한 원자로 자동정지(2019. 1.)’ 등 국내 원자력발전소의 고장·정지 원인이 인적실수로 결정되면서 원전에 대한 국내여론은 좋지 않으며 원자력발전소 운영사인 한국수력원자력(KHNP)은 인적오류를 저감할 수 있는 방안을 꾸준히 개발하고 현장에 활용되도록 노력하고 있지만 인적오류 사건이 재발되는 문제는 여전히 풀어야 할 숙제이다.

전세계 국가별 원전운영현황



[그림 1-1] 전 세계 국가별 원전운영현황(출처. OPIS)[10]

2. 연구 방법 및 목적

인적행위 중 발생하는 인적오류 확률은 의도적이든, 의도적이지 않던 0.1% 정도의 실수가 포함되어 있으며 인적실수로 인한 발전소 불시정지 원인은 주제어실과 현장기기의 인간공학 설계원칙 적용 미흡으로 인한 ‘시스템 설계측면’, 오조작, 판단실수, 운전원간 의사소통 미흡과 같은 ‘운전원 직무수행 및 관리부실’, 운전경험 반영 미

흡 등에 따른 ‘발전소 운영측면’ 등 세 가지로 분류할 수 있다.[5][7]

본 논문주제의 연구방법은 먼저 인적오류에 의한 발생원인 중 하나인 발전소 운영프로세스에 대해서 알아보겠다. 국내 원자력발전소에서 인적오류 저감을 위한 운영프로세스 중 하나인 인적행위향상 시스템 및 인적행위 관리방안에 대해서 누가, 언제, 어떤 방법으로 프로세스를 적용하고 활용하는지에 대해 살펴보고자 한다.

두 번째로는 실제 원자력발전소 현장에서 적용 및 활용되고 있는 기본적 인적오류예방기법과 조건부 인적오류예방기법의 구분 및 정의, 사용 시기, 사용대상, 사용범위 등 인적오류예방기법의 활용에 대하여 알아보하고자 한다.

세 번째로 인적실수에 의한 고장·정지 사건을 분석하여 주요 오류유발인자, 방벽(방어) 취약점, 인적오류예방기법 미활용 등 취약점에 대하여 알아보도록 하려 한다.

본 연구를 통해 인적오류 저감을 위해 시행하고 있는 국내 원자력발전소의 프로세스를 알아보고 최근 10년간 인적실수에 의한 고장·정지 사건의 분석을 통해 취약점을 분석하고 개선 방안을 연구하여 원자력발전소의 사건 재발방지 및 안전운동을 위한 방안을 고찰해보도자 한다.

제2장 이론적 배경

제1절 인적행위(HU) 정의 및 관리

1. 인적행위(HU) 정의 및 인적오류의 분류

인적행위(Human Performance, HU)는 특정 직무나 성과를 달성하기 위한 일련의 행동(Action)으로 작업현장의 실수를 예방·도출·복구하고 인적오류 유발 또는 방어수단의 기능을 저하시키는 잠재적 취약점을 제거하는데 목표를 두고 있다. 인적행위는 행동(Behavior) + 결과(Result)로 표현할 수 있으며 프로세스·가치기준·업무조건·개인행동·발전소 성과와 밀접하게 연계되어 있다.[19]

인적오류(Human Error, HE)는 기기·계통·시스템 등이 정상적인 기능을 발휘하지 못하거나 부적절한 반응으로 안전성·효율성·성능 등을 감소시키는 인간의 결정이나 행동을 의미한다. 인적오류를 크게 분류하면 유형별, 원인별, 모드별, 유발 시점별 등으로 분류를 할 수 있으며 유형별로 분류하면 인적실수와 위반(Violation)으로, 원인별로 분류하면 비의도적 오류(Unintentional Errors)와 의도적 오류(Intentional Errors), 모드별로 분류하면 숙련기반 오류(Skill Based Error)와 규칙기반 오류(Rule Based Error) 그리고 지식기반 오류(Knowledge Based Error), 유발 시점별로 분류하면 즉발 오류(Active Error)와 지발오류(Latent Error)로 분류 된다.[19]

[표 2-1] 유형별 분류[19]

인적실수	
과실(Slip)	• 부주의로 의도와는 다른 행동을 하는 경우
망각(Lapse)	• 기억실패, 깜빡함, 순서나 절차 생략으로 발생
착오(Mistake)	• 상황해석을 잘못하거나 목표를 잘못 이해, 착각하는 경우
위반(Violation)	
일상적 위반	• 시간과 절차를 단축하거나 과도한 규정으로 준수하기 어렵거나 또는 통제가 부족할 경우 발생
상황적 위반	• 시간 등이 부족하지만 특정 목표를 완수하려는 의지가 크거나 주변으로부터 압박을 받을 경우 발생
예외적 위반	• 작업이 잘못되고 있는 상황에서 정상복구를 위해 조치하는 과정에서 발생

[표 2-2] 원인별 분류[19]

비의도적 오류(Unintentional Errors)
<ul style="list-style-type: none"> • 실수, 주의부족, 잘못된 기억, 의도는 옳았으나 잘못된 행동을 하거나 또는 계획된 행동을 누락한 경우 • 작업과정, 절차, 규정 등에 대한지식이나 이해 부족으로 바람직하지 못한 행동을 한 경우
의도적 오류(Intentional Errors)
<ul style="list-style-type: none"> • 작업자 편의, 시간 단축을 위해 개인적 판단으로 절차를 생략하는 등 임의로 수행하는 과정에서 발생 • 프로세스나 절차서 등을 충분히 잘 알고 있다고 생각하고 있는 경험 많은 직원에게서 주로 발생

[표 2-3] 모드별 분류[19]

숙련기반 오류(Skill Based Error)
<ul style="list-style-type: none"> • 일상적인 익숙한 업무 수행과정에서 과실, 망각, 착오에 의해 발생되며 대부분의 작업은 숙련기반이며, 인적오류의 약 25%가 숙련기반 오류임 • 밸브조작, 기록, 시료분석, 반복적 계산, 점퍼선 연결, 차단기 조작, 캐비닛 개방, 정기 부품교체, 꼬리표 부착, 도구·기구 사용 등이 해당
규칙기반 오류(Rule Based Error)
<ul style="list-style-type: none"> • 절차서나 지침서에 따라 업무를 수행하는 과정에서 해석을 잘못하여 발생되며 인적오류의 약 60%가 규칙기반 오류임 • 검사, 정비 중 일상적이지 않은 부품 교체여부 결정, 경보대응, 방사능 측정, 비상운전절차서 사용, 작업계획서 및 절차서 개발 등이 해당됨
지식기반 오류(Knowledge Based Error)
<ul style="list-style-type: none"> • 숙련, 규칙기반이 아닌 낯선 상황에서 부정확 또는 불충분한 지식과 정보에 의해 발생되며 인적오류의 약 15%가 지식기반 오류임 • 고장수리, 공학적 평가, 현안해결 회의, 과도상태 대응, 사업계획 수립, 근본원인 분석, 경향분석, 설계변경 등이 해당됨

[표 2-4] 유발시점별 분류[19]

즉발오류(Active Error)
<ul style="list-style-type: none"> • 설비나 계통 상태를 잘못 변경시켜 잘못된 결과를 초래한 오류로 대부분 설비와 직접 접촉하는 운전원이나 정비원에 의하여 즉시 나타나는 오류
지발오류(Latent Error)
<ul style="list-style-type: none"> • 잠복되어 있던 오류로 대부분 관리자·엔지니어·작업자의 잘못된 결정, 잘못된 설계, 잘못된 이전 작업에 의해 유발되며 즉발오류보다 비중이 크다.

2. 인적행위향상 시스템 K-HPES

국내 원자력발전소는 한국형 인적행위향상시스템(K-HPES, Korean version Human Performance Enhancement System)을 1993년도에 도입하여 절차서 기반 K-HPES를 운영을 시작하였다. 이후 1998년에 전산화 CAS-HPES를 개발하였으며 2007년도에는 Web 기반 K-HPES를 운영하였다.

K-HPES는 인적실수 사건에 대한 신고(무기명) → 원인분석 → 시정조치 → 타발전소 전파 → 활용 프로세스를 통해 유사사건의 재발을 방지할 수 있다는 특징을 지녔으며 Big Data 관리를 통한 주기적인 경향분석 및 피드백이 가능한 시스템으로 활용되었다.

그러나 K-HPES는 원전 종사자 모두가 사용하기에는 편의성이 부족하였다. 주 사용자는 발전팀, HPES 실무 담당자, 시정조치 담당부서 등으로 한정되었으며 원자력발전소에서 사용하고 있는 운영개선 프로그램(CAP, Corrective Action Program)과 운전경험 관리(OE, Operating Experience) 등의 프로세스와 중복되는 문제가 발견되었다.

美 원전 대부분은 중요사건에 대한 원인분석을 강화하면서 설비고장, 인적행위에 대한 모든 원인분석을 CAP으로 일원화하고 있었으며 INPO에서는 CAP 시스템과 기능중복 등의 이유로 HPES를 공식적으로 폐기(2015. 8.)하는 등의 선진원전 프로세스를 반영하여 국내 원전에서도 K-HPES → CAP으로 기능을 통합 및 개선하였다.

[표 2-5] 국내원전과 미국원전 프로세스 비교

구분		KHNP	Energy	Duke Energy	PVNGS
원인 분석	목적	인적오류사건 원인분석 및 시정조치	인적오류사건 원인분석 및 시정조치	인적행위 프로그램에 의한 사건 조사	사건조사 및 이슈사항에 대한 변화 검토
	대상	K-HPES 에 신고서를 작성한 사건	RCE, ACE 대상사건 중 인적오류가 개입된 사건	RCE, ACE, QCE 대상사건 중 인적오류가 개입된 사건	RCE, CAE 대상사건 중 인적오류가 개입된 사건
	시기	신고서 접수	사건 발생시	사건 발생시	사건 발생시
	Tool	K-HPES	Human Performance Evaluation	HURB Charter	Performance Worksheet
	담당	사건유발자 또는 해당 부서	원인분석팀	인적행위검토 위원회	사건담당 부서장
시정 조치	계획	K-HPES	CAP	CAP	CAP
	시행	K-HPES	CAP	CAP	CAP
경험 공유	사내	K-HPES KONIS(조회)	CAP	CAP	CAP
	산업계	WANO	INPO ICES	INPO ICES	INPO ICES
경향 분석	인적 오류	K-HPES	CAP	CAP	CAP

3. 인적행위사건 분석 워크시트(Worksheet)

인적행위향상 시스템(K-HPES)을 운영개선 프로그램(CAP)으로 기능을 통합 후 인적행위사건 원인분석방법에 대한 개선 필요성이 대두되었고 인적오류 기본분석 Tool을 제공하여 분석시트를 개발하였다.

근본원인분석 및 표면원인분석 수행시 인적행위분석 워크시트를 사용하여 1차적인

사건을 분석할 수 있으며 조직의 취약점 및 개인적 요인을 선별 분석하여 효과적인 시정조치를 도출할 수 있게 되었다. 더불어 워크시트를 사용함으로써 원인분석이 용이하게 수행되며 체크리스트 분석기법을 적용하여 다각적인 측면에서 분석 가능하였고, 사용자 접근성 강화 및 사건 Data 활용성을 증대시켜 인적오류 사건 저감 및 유사사례 재발 방지에 기여하였다.

인적행위사건 분석 워크시트는 개요, 세부내용, 오류유발인자 확인, 인적오류예방기법 활용 분석, 방어(방벽)수단 분석, 인적오류 또는 부적절한 행동 분석, 개인/조직 선별, 분석요약, 원인, 시정조치, 경향코드 등의 내용으로 구성되어 있으며 순차적으로 분석시트를 채움으로써 인적행위를 분석할 수 있다.

‘개요’ 부분은 육하원칙 작성 원칙에 따라 발생 시점, 계통, 설비, 행위에 따른 영향 등을 체계적으로 간략히 기술하며 결과는 발전소 출력, 인명손상, 안전계통 동작, 방사선 누출, 운영기술지침 적용 여부에 대하여 기술한다.[19]

‘세부내용’ 부분은 면담, 서류, 현장 확인 등을 통해 파악한 데이터를 기반으로 부적합 행위, 사건발생에 영향을 준 요인 등을 시간대별(Time Line)로 기술하며 제3자도 쉽게 이해될 수 있도록 세부적으로 기술되어야 하며 가급적 사진이나 도면 또는 그림 등이 포함될 수 있도록 작성한다.[19]

[표 2-6] 인적행위사건 분석 워크시트(개요 및 세부내용)[19]

개 요
<i>6하 원칙에 의거하여 발생한 사건의 간략사항을 이해할 수 있도록 기술</i>
세부내용
<i>사건조사 결과, 면담 및 서류검토 결과를 바탕으로 아래의 사항을 포함하여 작성 발생일시: 발전소 출력:(사건 전, 후) 경위: 결과:(사건결과, 복구결과)</i>

‘오류유발인자 확인’ 부분은 인적행위 분석 준비과정에서 수집된 정보(면담, 물리적 증거 등)를 통하여 오류유발인자(TWIN)를 사실관계에 기반을 두어 신중히 선정하고 취약 요소가 사건 발생에 미친 영향과 사건방지를 위한 조치사항을 시정조치 관점에서 기술하며 오류유발인자는 제시된 취약 요소 중 분야별 다수 선정되거나 선정되지 않은 분야가 있을 수 있음을 인지하며 작성한다.[19]

[표 2-7] 인적행위사건 분석 워크시트(오류 유발인자 확인)[19]

업무 요구사항	작업환경	개인역량	인간본성
<input type="checkbox"/> 시간압박(서두름) <input type="checkbox"/> 과도한 집중력 요구 <input type="checkbox"/> 다중 작업 <input type="checkbox"/> 반복 업무 <input type="checkbox"/> 원상태로 복구 불가능 행위 <input type="checkbox"/> 해석이 필요한 요건 <input type="checkbox"/> 작업 기준 불명확 <input type="checkbox"/> 목표(역할, 책임) 불명확 <input type="checkbox"/> 기타()	<input type="checkbox"/> 주의산만/간섭 <input type="checkbox"/> 작업환경의 무계획적 변경 <input type="checkbox"/> 혼동되는 표시/제어장치 <input type="checkbox"/> 대체지시 수단 부재 <input type="checkbox"/> 확인이 어려운 계통반응 <input type="checkbox"/> 의견 충돌(갈등) <input type="checkbox"/> 예상과 다른 설비상태 <input type="checkbox"/> 작동되지 않는 설비 <input type="checkbox"/> 기타()	<input type="checkbox"/> 업무미숙/처음수행 <input type="checkbox"/> 직무지식 부족 <input type="checkbox"/> 처음 활용한 신기술 <input type="checkbox"/> 의사소통 습관 부정확 <input type="checkbox"/> 숙련도 부족/무경험 <input type="checkbox"/> 문제해결능력 미숙 <input type="checkbox"/> 중요업무에 대한 안전불감증 <input type="checkbox"/> 질병/피로 <input type="checkbox"/> 기타()	<input type="checkbox"/> 스트레스(주의력한계) <input type="checkbox"/> 습관적 태도 <input type="checkbox"/> 가정(추측) <input type="checkbox"/> 자기만족/과신 <input type="checkbox"/> 고정관념(선입견) <input type="checkbox"/> 부정확한 위험도 인식 <input type="checkbox"/> 쉽게 조치하려는 정신자세 <input type="checkbox"/> 단기기억력 한계 <input type="checkbox"/> 기타()
오류유발인자	오류유발인자가 사건발생에 어떻게 기여하였는가?	오류 유발인자를 제거하기 위해서 사전에 어떤 조치를 수행해야 했었는가?	

오류 유발인자(TWIN)에는 업무 요구사항(T), 작업환경(W), 개인역량(I), 인간본성(N) 등 크게 4가지로 구분되며 사건에 대한 수집된 정보를 바탕으로 해당항목의 유무를 체크리스트 형식으로 찾아볼 수 있다.[19]

[표 2-8] 오류 유발인자(업무요구:Task Demand)[19]

업무요구(Task Demand)	
시간압박(서두름)	<ul style="list-style-type: none"> • 행동이나 업무를 위해 요구되는 긴급성 또는 과도한 업무 진행 속도 • 손쉬운 방법(지름길), 서두름, 마지못해 작업을 수락하거나 타인을 지원하는 경우 • 정비공정, 발전소기동, 운전, 인수인계시 작업의 종료 등 여유 시간이 부족한 상태
과도한 집중력 요구	<ul style="list-style-type: none"> • 작업에 필요한 집중력을 유지하기 위해 작업자가 받게 되는 정신적 부담감
다중 작업	<ul style="list-style-type: none"> • 여러 업무로 주의력이 분산되거나 정신적 과부하 또는 긴장감을 떨어뜨리게 만드는 두 가지 이상의 정신적, 육체적 활동 • 중요 업무를 수행하면서 여러 보고서를 동시에 작성하는 경우도 해당
반복 업무 (단조로움)	<ul style="list-style-type: none"> • 반복적인 직무 수행에 따른 단조로운 정신적 활동 • 주의를 기울이기 위한 정보교환 등과 같은 적절한 긴장감 조성 실패 • 장기간 동일 보직에서의 근무, 단순 반복적인 업무 연속 수행
원상태로 복구 불가능 행위	<ul style="list-style-type: none"> • 조작(작업)의 결과가 예상과 달라 수습과정에서 추가적 실수 발생 • 한번 조작되면 상당시간동안 회복이 어려운 행위
해석이 필요한 요건	<ul style="list-style-type: none"> • 해석(판단)하는데 오류의 소지로 잘못된 규칙이나 절차를 적용할 수 있는 상황 • 도면, 절차서, 설계변경 및 개선 내용에 대하여 충분한 이해 부족으로 초래
작업 기준 불명확	<ul style="list-style-type: none"> • 작업수행을 위한 행위나 결과를 잘못 알고 있거나 불분명한 상황 • 업무분장이 불명확하거나 달성해야 하는 목표나 기준을 잘 모름
목표(역할, 책임) 불명확	<ul style="list-style-type: none"> • 작업 목적이나 요구사항이 분명하지 않으며 세부내용이나 지침이 없음 • 다른 사람들과 공동으로 수행하는 경우 책임 분야가 확실하지 않음 • 인계자로부터 명확한 설명이나 현장 파악이 미흡한 상태에서 업무 수행

[표 2-9] 오류 유발인자(작업환경:Work Environment)[19]

작업환경(Work Environment)	
주의산만/간섭	<ul style="list-style-type: none"> 유사 작업과 주위 상황으로 인한 혼동, 시스템에 의한 혼란, 작업 집중방해 행위 등으로 업무 주의력이 분산됨 업무 중단과 재개를 반복, 다른 상황으로 주의전환, 여러 부서 공동참여 작업 중 지시감독 분산 등
작업환경의 무계획적 변경	<ul style="list-style-type: none"> 계획되지 않은 작업환경(인원, 작업범위, 작업 기간, 부서 등)의 변화 친숙하지 않거나 예측하지 못한 작업 환경으로 작업자의 업무, 설비상태 파악을 방해받는 상황이나 조건
혼동되는 표시/제어장치	<ul style="list-style-type: none"> 설비상황의 누락, 내용의 모호함 또는 특정 변수가 전혀 지시되지 않음 표시장치의 비논리적 배치 설치된 MMI나 제어장치, 라벨 등이 서로 인접해 있거나 구분이 어려워 작업자에게 혼란을 유발하는 상태
대체지시(측정) 수단 부재	<ul style="list-style-type: none"> 측정 설비가 없어 계통이나 설비의 상태에 대한 정보 확인, 비교가 불가능함
확인이 어려운 계통반응	<ul style="list-style-type: none"> 소리 등을 통한 설비나 계통의 상태 확인이 불가능한 상황, 어떠한 조작이후 계통의 반응을 작업자가 확인할 수 없음 작업의 결과(이전의 행위)로 설비나 계통에 영향을 주었음을 확인할 수 있는 정보의 부재
의견충돌(갈등)	<ul style="list-style-type: none"> 작업자 또는 관련자간 의견이나 성격 불일치 등 상호 인간관계 악화 냉소적 관계로 2인 이상의 작업자들 사이에서 발생하는 불화
예상과 다른 설비상태	<ul style="list-style-type: none"> 평상시 또는 교육훈련시 접해보지 못한 계통이나 설비의 상태, 작업자가 평상시 친숙하지 않은 업무 환경이나 상황
작동되지 않는 설비	<ul style="list-style-type: none"> 초기조건이나 어떠한 기준으로부터 벗어나 있는 설비상태로 평상시 설비결함이나 관리차원에서의 결함으로 인해 조치되지 않은 설비상태 어떠한 사건 발생 시 설비가 정상동작하지 않은 상황

[표 2-10] 오류 유발인자(개인역량:Individual Capabilities)[19]

개인역량(Individual Capabilities)	
업무미숙/ 최초수행	<ul style="list-style-type: none"> • 작업의 평상시 수행 빈도는 높으나, 처음 수행하거나 수행경험이 없거나 적어서 미숙한 상태 또는 절차서 변경으로 인한 최초 경험
직무지식 부족	<ul style="list-style-type: none"> • 업무완수를 위해 필요한 실무지식, 작업방법, 설비특성, 초기 조건 등에 대한 숙지 미흡 • 업무수행 관련 실무 지식 부족
처음 활용한 신기술	<ul style="list-style-type: none"> • 처음으로 업무에 적용해본 최신기술 혹은 지식(응용기술 등)
의사소통 습관 부정확	<ul style="list-style-type: none"> • 동료 및 상하간 소통기술 부족 • 작업관련 정보 공유를 할 때 모든 작업자가 이해하도록 해야 하나, 개인적인 습관이나 조직적인 문화의 영향으로 정보의 정확한 전달이나 이해를 시키지 못하게 된 상황
숙련도 부족/무경험	<ul style="list-style-type: none"> • 작업의 수행 빈도가 낮아서 업무관련 지식이나 기술이 부족한 상태
문제해결 능력 미숙	<ul style="list-style-type: none"> • 익숙하지 못한 상황에서 체계적이지 못하거나 자신만의 관행적 방법으로 조치 • 시행착오 반복, 과거 행동방법에 의지, 문제해결 전략 개발 능력 또는 의지 부재로 작업조건 변화나 문제 유발시 효과적 대응 어려움
중요업무에 대한 안전 불감증	<ul style="list-style-type: none"> • 업무완료에만 중요하게 여겨, 작업에 따른 위험성을 고려하지 않은 상황 • 업무 수행에 있어 오류발생 가능성을 배제하는 인식, 자만심/낙천성 등
질병/피로	<ul style="list-style-type: none"> • 질병 또는 상해 등으로 인한 정신적, 신체적 기능 저하 • 충분한 신체적 휴식 부족은 식곤증, 하루 중 생체리듬 저점에 주로 영향을 받는 것으로 나타남

[표 2-11] 오류 유발인자(인간본성:Human Nature)[19]

인간본성(Human Nature)	
스트레스	<ul style="list-style-type: none"> • 개인의 건강, 안전, 자존심이나 업무가 계획대로 진행되지 않을 가능성을 의식한 심리적인 상태 • 주의력 저하, 기억력 감소, 잘못된 의사결정, 정확하게 보다 빠르게 업무수행하려는 경향 등이 발생 가능함
습관적 태도	<ul style="list-style-type: none"> • 항상 잘 수행되었다는 기억과 답습으로 몸에 배어있는 자동화된 행동 패턴 • 과거 또는 최근의 업무 경험과 유사성 때문에 생긴 자신만의 업무 수행 태도
가정, 추측	<ul style="list-style-type: none"> • 사실 확인 없이 이루어지며 대개 최근에 경험에 근거한 부정확한 정신적 상태 • 사실이라고 믿거나 결정에 필요한 사실을 모르고 있는 인간 사고방식의 한계
자기만족/과신	<ul style="list-style-type: none"> • 모든 일이 잘되고 있으며 예상대로 잘 진행될 것이라고 하는 지나친 낙관 • 실제 위험요소나 위험성을 깨닫지 못하는 상황에서 과거경험, 업무 과소평가 등 자기과신, 자기만족에 의하여 업무경력 7~9년 후 주로 나타남
고정관념(선입견)	<ul style="list-style-type: none"> • 보려고 생각했던 것만 찾는 경향, 사고방식에 맞는 정보는 주의를 기울이지 않음 • 예상치 못한 상황에 대한 정보를 얻지 못하며 자신의 실수를 감지하는데 어려움
부정확한 위험도 인식	<ul style="list-style-type: none"> • 불완전한 정보나 가정에 근거하여 위험요소와 불확실성을 개인적으로 평가하여 업무 수행 • 잠재적인 결과나 위험성을 인식하지 못하거나 부정확하게 인식
쉽게 조치하려는 정신자세	<ul style="list-style-type: none"> • 익숙하지 못한 상황에도 불구하고 자신이 익숙한 패턴을 찾으려고 하는 경향 • 자신의 주관적 경험에 의한 실용적인 방법이나 습관적 사고방식
단기 기억력 한계	<ul style="list-style-type: none"> • 인간은 보통 2~3개 이상의 정보 채널에 동시에 정확히 집중하기 어려움

‘인적오류예방기법 활용 분석’ 부분은 인적행위 분석 준비과정에서 수집된 정보(면담, 절차서 등)를 통하여 인적오류예방기법 활용 여부를 사실관계에 기반하여 신중하게 선정하며 교훈을 발굴해본다. 즉, 사건방지를 위해 어떤 인적오류예방기법이 필요했으며 정확히 활용되지 못한 이유를 기술하며 활용되지 못한 요인(시간압박, 인력부족, 기법이해 부족, 관리자 리더십 등)을 파악하는데 중점을 두어서 분석한다.[19]

[표 2-12] 인적행위사건 분석 워크시트(인적오류예방기법 활용 분석)[19]

<input type="checkbox"/> 사전업무검토 <input type="checkbox"/> 사전점검 <input type="checkbox"/> 동료점검 <input type="checkbox"/> 음표문자 <input type="checkbox"/> 불확실시 중지 <input type="checkbox"/> 인식표 및 운전방벽 설치 <input type="checkbox"/> 의문을 갖는 태도 <input type="checkbox"/> 작업전회의 <input type="checkbox"/> 수행단계 표시 <input type="checkbox"/> 절차서 활용 및 준수 <input type="checkbox"/> 작업후평가 <input type="checkbox"/> 인수인계 <input type="checkbox"/> 자기진단(STAR) <input type="checkbox"/> 동시확인 <input type="checkbox"/> 의사소통 재확인기법 <input type="checkbox"/> 독립확인		
인적오류 예방기법	인적오류예방기법을 어떻게 사용 했다면 사건을 예방할 수 있었 는가?	인적오류예방기법 미활용 또는 활용이 미흡한 이유는 무엇인가?

‘방어(방벽)수단 분석’ 은 인적행위 분석 준비과정에서 수집된 정보(면담, 문서 등)를 통하여 방어체계에 어떠한 취약요소가 있었는지 사실 관계에 기반을 두어 선정하며 교훈을 발굴한다. 사건이 발생하는데 방어수단이 어떻게 무너졌는지 그 원인에 대해서 기술하며 인적오류 사건이 발생되지 않도록 방어할 수 있는 마지막 수단으로서 조직, 프로세스 측면의 문제점을 파악하는데 중점을 두며 행정적 방벽 중 감독방법·관리방법의 경우 작업자·감독자·관리자 등 관계자간 책임소재 등 이해관계로 사실이 왜곡되지 않도록 분석되어야 한다.[19]

[표 2-13] 인적행위사건 분석 워크시트(방어(방벽)수단 분석)[19]

물리적 방벽	행정적 방벽		
인간-기계연계	감독방법	관리방법	절차서/프로그램
<input type="checkbox"/> 명패(Labeling) <input type="checkbox"/> 바리케이드/방벽 <input type="checkbox"/> 상태인식표(Flagging) <input type="checkbox"/> 조명 <input type="checkbox"/> 꼬리표(Tagging) <input type="checkbox"/> 계통연동장치(Inter lock) <input type="checkbox"/> 기계적 방호장치 <input type="checkbox"/> 기타()	<input type="checkbox"/> 훈련된/유자격 작업자 <input type="checkbox"/> 우선사항/중점분야 선정 <input type="checkbox"/> 관리자 요구사항과 부합 <input type="checkbox"/> 현장 입회 <input type="checkbox"/> 코칭(지도) <input type="checkbox"/> 역할/책임감 <input type="checkbox"/> 책임감 <input type="checkbox"/> 명확한 성과기준 <input type="checkbox"/> 모범적 감독행위 <input type="checkbox"/> 우발사고 대비책 <input type="checkbox"/> 기타()	<input type="checkbox"/> 충분히 공유된 계획 <input type="checkbox"/> 명확하고 일관된 우선순위 <input type="checkbox"/> 명확하고 잘 공유된 요구사항 <input type="checkbox"/> 오류저감/위험도관리 장려 <input type="checkbox"/> 인적자원관리 <input type="checkbox"/> 학습풍토 <input type="checkbox"/> 자기비판 문화 장려 <input type="checkbox"/> 불필요한 방벽 제거 <input type="checkbox"/> 변화관리 <input type="checkbox"/> 기타()	<input type="checkbox"/> 위험도관리 <input type="checkbox"/> 중단기준 <input type="checkbox"/> 교육훈련 <input type="checkbox"/> 운전경험 활용 <input type="checkbox"/> 현장점검 <input type="checkbox"/> 작업일정 <input type="checkbox"/> 작업계획 <input type="checkbox"/> 절차서 품질 <input type="checkbox"/> 중요단계 <input type="checkbox"/> 기타()
방어(방벽)수단	방어(방벽)수단이 어떻게 무너졌는가?		방어(방벽)수단이 무너진 원인은?

방어(방벽)수단에는 크게 물리적 방벽, 행정적 방벽으로 구분되며 물리적 방벽에는 인간-기계연계가 있으며 행정적 방벽에는 감독방법, 관리방법, 절차서/프로그램 등으로 구분되며 사건에 대한 수집된 정보를 바탕으로 해당항목의 유무를 체크리스트 형식으로 분석할 수 있다.[19]

[표 2-14] 물리적 방벽(인간·기계 연계)[19]

물리적 방벽 - 인간·기계 연계	
명패	<ul style="list-style-type: none"> 경보, 상태등, 밸브, 기기, 계측기 등의 식별 및 조작이 용이하도록 고유번호, 명칭 및 각종 사양들을 기록하여 주제어실과 현장기기에 부착 명패설치는 식별이 용이하고 훼손 가능성이 적으며, 미관이 양호하고, 기름과 분진이 적은 곳이 적합하며 주기적 점검으로 미부착 또는 훼손상태를 확인, 조치해야 함
바리케이드/방벽	<ul style="list-style-type: none"> 작업자 부주의 등 불안전 행동이나 불안전 환경에서 사람과 설비를 보호하기 위해 물리적으로 격리할 수 있도록 설치한 접근 차단용 울타리나 방책 인접 설비와 식별이 용이한 색상이나 구조로 되어 있어야 함
상태인식표	<ul style="list-style-type: none"> 주의부족 등에 의해 기기나 설비를 잘못 조작(작업)하는 것을 예방하기 위함 접촉금지 표시나 식별이 용이하도록 색상구분 방식이 필요함
조명	<ul style="list-style-type: none"> 정상, 필수, 비상조명으로 구분되어 있으며 적절한 조도 유지 상태 및 조명 유효범위 확보가 보증되도록 점검해야 함 조명은 작업환경의 중요한 요소로 조도 부적절시 작업자 피로 증가 등 인적오류 유발요인이 될 수 있으며 작업능률 및 작업 품질도 떨어짐
꼬리표	<ul style="list-style-type: none"> 용도별 꼬리표 목적에 따라 정확히 사용해야 하며 승인없이 임의로 부착 또는 제거할 수 없음 꼬리표 번호부여, 관리대장 기록 관리는 관련 절차에 따라 철저히 수행해야 하며 부착상태는 주기적으로 점검해야 함
계통 연동장치	<ul style="list-style-type: none"> 계통, 설비간 상호 종속되어 원하지 않는 상태로 전환되는 것을 방지하는 메커니즘으로 전기, 전자, 기계적, 시스템적으로 구성됨 연동장치 신뢰도 확보를 위한 정기시험과 실무자 교육이 수행되어야 함
기계적 방호장치	<ul style="list-style-type: none"> 기계 및 설비안전과 인명보호를 위해 설치한 방호 장치로써 외부로 노출된 구동부와 동력전달장치, 회전체의 돌출부 등 위험요인 제거를 위한 장치 방호장치 상태, 건전성 등 정기 유지보수와 실무자 대한 교육이 수행되어야 함

[표 2-15] 행정적 방벽(감독방법)1[19]

행정적 방벽 - 감독방법	
<p>훈련된/유자격 작업자</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 직무를 능숙하고 성공적으로 완수할 수 있도록 훈련받고 관련된 자격 조건을 갖춘 작업자 • 감독자는 작업자의 정신적, 육체적 직무요건과 작업 환경요소가 작업자의 역량이나 한계에 배치되는지 감독하고 빈도가 적은 작업일 경우 모니터링 강화 필요
<p>우선사항/ 중점분야 선정</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 긴급 상황 시 개인태도, 효과적이지 못한 계획, 공동 작업시 서두르는 경향을 고려하여 계획과 일정은 인적오류 예방 측면이 최우선 되도록 수립해야 함 • 공식회의라든가 출판물 발간 또는 다양한 방법으로 작업 우선 순위나 중점사항을 공유하고 관리, 감독자는 작업자에게 수시로 행동과 지시를 강조해야 함
<p>관리자 요구사항과 부합</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 감독자의 말과 행동은 작업자에게 동기를 부여하고 적절한 가이드와 지시를 하는데 있어서 발전소나 전사 차원의 관리 요구 사항과 우선순위가 일치해야 함 • 관리자는 현장의 작업자를 조직적으로 지원해야 하며, 사건예방에 높은 가치를 두는 한편 문화, 방벽강화, 오류유발 상황 차단, 학습문화 환경을 조성해야 함
<p>현장 입회</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 설비와 접촉하는 현장에서의 인적활동은 인적오류 유발에 취약하다는 인식필요 • 현장의 사건·사고는 단 하나의 인적오류로는 거의 일어나지 않음에 따라 오류유발 조건을 확인·시정조치 하여 즉발오류 발생을 최소화 시키는데 도움을 주어야 함.
<p>코칭(지도)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 인적행위 개선과 사건예방을 위한 중요한 툴로서, 행위관찰, 행위지표를 통해 피드백을 제공하며 우수행위는 강화하고 요구사항에 부족한 행동은 시정하는데 활용 • 직원 모두는 방사선안전, 산업안전, 행위개선을 위해 상호 코칭의 대상이 될 수 있으며 CAP, 품질보고서 등 서류상 오류에 대해서도 코칭을 시행할 수 있음

[표 2-16] 행정적 방벽(감독방법)2[19]

행정적 방벽 - 감독방법	
역할/책임감	<ul style="list-style-type: none"> • 개인별 역할을 구체적으로 전달하고 달성 목표와 결과를 정확히 규정하여 작업자나 조직간 책임과 역할의 범위를 분명히 해야 함 • 개인별 구체적이고 명확한 책임을 부여할 경우 업무과중, 주의력 산만, 모호한 작업 지침, 다중작업, 정신적 스트레스를 피할 수 있게 됨
책임감(주인의식)	<ul style="list-style-type: none"> • 각자의 행동과 그 결과에 책임을 지는 일종의 주인의식으로 인적행위와 원전 안전성을 최적화시키기 위한 기본 요소 • 일상의 작업에서 감독자는 작업자와 밀접하고 전문적인 대화를 통해 작업에 임하는 작업자가 주인의식을 가지고 책임감 있게 업무를 수행하도록 유도함
명확한 성과기준	<ul style="list-style-type: none"> • 감독자는 작업자가 절차서를 사용하고 작업 유형별 적절한 의사소통과 의문을 갖는 태도 등 행위 개선을 위해 필요한 명확한 요구사항을 작업자에게 주지시켜야 함 • 기준이 명확하면 지침이 모호해지거나 다중으로 작업되는 것을 피할 수 있으며 감독자는 높은 기준을 견지하여 작업을 지시하고 적기에 피드백 시킬 의무가 있음
모범적 감독행위	<ul style="list-style-type: none"> • 감독자는 모범적인 행동을 보여야 함. 즉, 작업자의 인적행위 향상을 위해 조직임무, 작업 목표, 안전 요구사항을 강조하여 준수해야 할 가치와 신념 및 올바른 행위가 장려 될 수 있도록 먼저 솔선수범해야 함
우발사고에 대비한 계획	<ul style="list-style-type: none"> • 계획대로 작업이 진행되지 않을 경우를 고려하여 중요 작업의 경우 작업 전에 관련 계획을 수립하여 작업전 회의(PJB)에서 논의되어야 함 • 특히 빈번하게 일어났거나 발생 가능성이 있는 상황에 대비할 수 있는 계획이어야 하며 예기치 못한 상황에 직면 시 작업 중단 기준도 마련되어야 함

[표 2-17] 행정적 방벽(관리방법)1[19]

행정적 방벽 - 관리방법(1)	
충분히 공유된 계획	<ul style="list-style-type: none"> • 조직 내 모든 상하, 수평간 효과적인 의사소통은 생산성 향상과 사건예방 등 분야를 가리지 않고 성공적으로 성과를 완수할 수 있는 절대적으로 중요한 요소 • 특히 작업계획, 변경, 조정 등 정상적이거나 일상적이지 않은 상황이 계획되거나 발생할 경우 신속하게 관련 정보를 공유하는 것은 필수적이며 매우 중요함
명확하고 일관된 우선순위	<ul style="list-style-type: none"> • 직무 중요성에 따라 작업오더 우선순위를 명확하게 설정해야 하는 것은 작업자가 다중직무 수행에 따른 시간압박에 의한 인적오류 사건을 크게 줄여줄 수 있음 • 관리, 감독자는 부서, 발전소, 전사적 목표에 근거하여 우선적으로 수행해야 할 작업항목과 작업방향, 작업 기간을 명확히 설정하여 작업자에게 전달해야 함
명확하고 잘 공유된 요구사항	<ul style="list-style-type: none"> • 관리 감독자는 간결·일관성·지속적 측면에서 명확한 요구사항을 제시하여 작업자가 무엇을, 어떻게 작업할지 구체적으로 방향을 갖게 하며, 올바른 행동과 책임 등 자신의 행위를 정확히 인식하게 해야 함 • 기준과 요구사항이 명확히 설정되면 혼동될 수 있는 혼합된 메시지를 보내는 행위가 있을 수 없으며 요구사항을 벗어난 행위는 피드백 하여 개선되도록 해야 함
오류저감/위험도 관리 장려	<ul style="list-style-type: none"> • 관리자는 인적행위 원칙을 말이 아닌 행동으로, 특히 중요하게 여겨야 되는 모범적인 조치나 행위를 작업자에게 보여줄 수 있는 자세를 가져야 함 • 인적행위 절차서, 예방기법 활용을 장려하고 관리자는 인적행위 원칙을 지원하기 위해 교육훈련, 코칭, 계획, 프로세스 개선 등 가시적 활동에도 적극 참여해야 함

[표 2-18] 행정적 방벽(관리방법)2[19]

행정적 방벽 - 관리방법(2)	
인적자원 관리	<ul style="list-style-type: none"> • 작업자는 작업 수행중 확인된 안전성, 작업품질, 효과적 작업 수행을 위해 필요한 인적자원 사항을 관리감독자에게 작업후 피드백 해야 함 • 인적자원의 질적·양적 판별은 작업시간 및 인력 부족 등 개선 필요요건과 안전·품질·스케줄 등 문제가 없었던 정상적 요건의 직무에 대해서도 일상적으로 분석하여 관리·개선되도록 해야 함
학습풍토	<ul style="list-style-type: none"> • 관리자는 오류로부터 얻은 교훈을 상시 학습하는 조직 및 작업 문화를 장려하여 인적행위가 지속적으로 향상될 수 있도록 해야 함 • 효과적인 운전경험 활용, 코칭결과에 대한 주기적 검토, 우수 사례 공유, 기타 인적행위 개선관련 보고서 확인 등이 있음
자기비판 문화 장려	<ul style="list-style-type: none"> • 우수한 조직은 바람직하지 못한 행위나 프로세스 문제로 인해 인적오류나 사건으로 발전되기 전에 자체적으로 또 선제적으로 찾아내는데 적극적이어야 함 • 관리자는 자기비판 문화를 전개해야 함. 즉, 최소요건을 만족치 못한 작업 승인불가, 저수준 사건 분석/활용 장려, 코칭결과와 자체진단 등 모니터링 강화 등이 있음
불필요한 방벽 제거	<ul style="list-style-type: none"> • 작업자가 효과적이지 못한 프로세스나 해결방법을 반복적으로 요구받을 경우 불편, 불만으로 스트레스를 받게 되어 인간본성 오류유발 상황에 놓이게 됨 • 관리자는 이러한 생산적이지 못한 인적오류 유발 요인이 작업 프로세스에 존재하고 있는지 주기적으로 모니터링 하여 확인되면 이를 제거하도록 해야 함
변화관리	<ul style="list-style-type: none"> • 계획수립, 커뮤니케이션, 변화시행(설계변경, 설비개선 등)이 성공적으로 수행되도록 지휘하는 관리 툴/기법을 적용하는 관리 수단 • 인적오류 예방기법으로서 특히 형상관리 등 잠재적 오류요소에 대한 체계적인 변화관리 미비에 의한 발전소 사건사고도 자주 발생되고 있는 것으로 나타남

[표 2-19] 행정적 방벽(절차서/프로그램)1[19]

행정적 방벽 - 절차서/프로그램(1)	
위험도 관리	<ul style="list-style-type: none"> 발전소 배열변화가 있는 경우 리스크 변화에 대한 감시기능과 관리도구로서 원전 신뢰도와 안정성을 제고하는데 활용됨 리스크 정보를 활용한 정비계획 관리, 기기 불시고장 또는 이용 불능시 리스크 평가, PSA 결과와 RIMS 및 MR 연계를 통한 관리방안 수립과 이행이 필요함
중단기준	<ul style="list-style-type: none"> 업무수행 중 발생될 수 있는 변수의 제한치 범위, 비정상상황 등을 절차서 또는 작업계획서 등에 명시하여 작업자 또는 그룹이 업무수행 중 이상상황을 인지하고 이상상황 감지 시 작업 종단을 할 수 있는 기준을 수립해야 함
교육훈련	<ul style="list-style-type: none"> 발전소 안전성과 신뢰성을 지원하기 위한 지식과 능력을 유지, 발전시키기 위하여 필요한 개인 또는 조직은 기본 또는 필수과정을 균등하게 받도록 해야 함 경험과 판단력 배양을 위해 필요한 공통, 리더십, 원인분석, 커뮤니케이션 등 다양한 훈련이 있어야 하며 교육유효성, 품질, 효과성에 대한 주기적평가가 필요함
운전경험 활용	<ul style="list-style-type: none"> 유사사건 재발 방지를 위해 필요한 개인, 조직, 프로세스의 역할과 기능에 대한 통찰력과 사전 조치를 수행할 수 있는 원전 안전성과 신뢰성 증진 필수 요건 효과적 활용을 위해서는 리더십이 절대적으로 필요하며 교육훈련, 토론회, PJB, 코칭, 관리감독 등 운전경험 활용은 발전소 모든 활동에서 일상화되고 강조되어야 함
현장점검	<ul style="list-style-type: none"> 직무범위에 대한 검증, 확인 및 업무에 필요한 자재와 도구도 점검에 포함됨 특히 필수단계시 부적절한 행위 등 직무실행을 방해할 수 있는 환경이나 작업요소에 대한 관찰기회를 가지게 되며 현장점검 결과는 단위작업이나 절차서에 반영될 수 있도록 해야 함.

[표 2-20] 행정적 방벽(절차서/프로그램)2[19]

행정적 방벽 - 절차서/프로그램(2)	
작업일정	<ul style="list-style-type: none"> 정기시험, 고장정비, 시정조치, 계획예방정비, 설계변경 등 작업수행에 필요한 직무범위, 수행기간, 모니터링, 수행결과, 보고 활동을 체계적으로 수행하기 위함
작업계획	<ul style="list-style-type: none"> CAP 성능저하 항목, 사건유발 고장설비, 비효율적 작업관리 분야, 인적행위 개선 잠재 항목, 수검 대비 항목 등 체계적 작업관리, 반영, 피드백 될 수 있어야 함
절차서 품질	<ul style="list-style-type: none"> 내용, 정확성, 유효성 등 필요기준과 정보가 충분히 반영되어 있으며 내용은 작업자의 혼동을 주거나 주관적 해석이나 판정을 요구하지 않도록 기술적, 형식적으로 품질이 높아야 함 절차서 유효성평가를 통해 항상 최신본으로 관리되어야 하며 사용편의성, 정확성, 신뢰성이 낮을 경우 절차서 불신으로 절차서를 준수하지 않고 작업자 경험에 의한 절차서 미준수, 절차 위반 행위가 지속적으로 전개될 수 있음
중요단계	<ul style="list-style-type: none"> 부적절하게 수행할 경우 설비나 개인 또는 환경에 되돌릴 수 없는 중요한 위험이나 부정적인 영향을 끼칠 수 있는 단계, 절차 또는 조치

‘인적오류 또는 부적절한 행동 분석’은 작업이 어떤 인적행위 오류모드(숙련, 규칙, 지식)에 해당되며 원인은 어떤 유형에 해당되는지 양식에 따라 선정하고 오류모드별 공통 추정원인을 발굴하고 개인/조직 선별 흐름도 작성과 오류모드별 개선방안 수립을 지원하는데 있다. 오류모드가 지식기반일 경우 규칙기반 행위로 개선될 수 있도록 하고 규칙·숙련기반 오류일 경우 절차서 개정이나 교육훈련 등이 개선될 수 있도록 한다.[19]

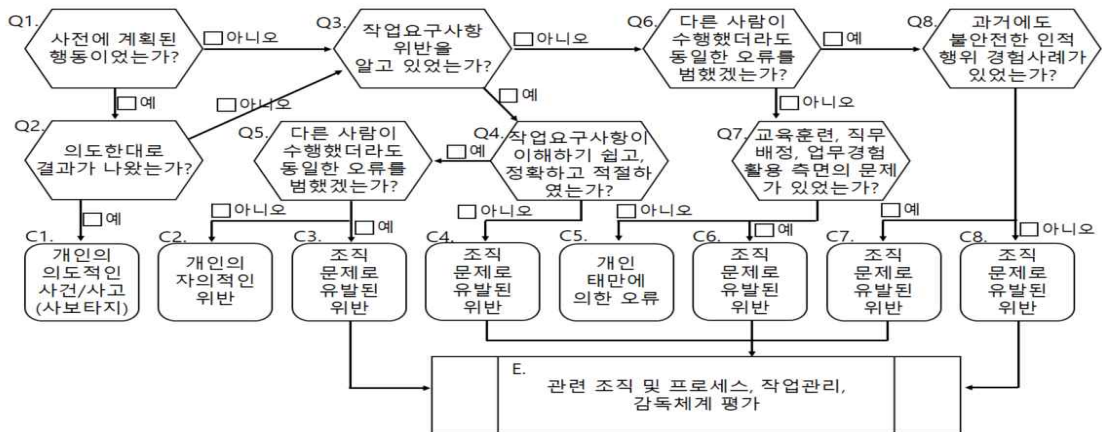
[표 2-21] 인적행위사건 분석 워크시트(인적오류 행동 분석)[19]

오류 모드(Failure Mode)	추정원인(Possible Cause)	
세부사항 부주의(숙련기반오류)	원인유형	
<input type="checkbox"/> 인식하지 못함	<input type="checkbox"/> 작업일정 미흡 <input type="checkbox"/> 의사소통 미흡(구두/서면)	<input type="checkbox"/> 작업방법 미흡 <input type="checkbox"/> 기타()
<input type="checkbox"/> 업무완료에 대한 압박감	<input type="checkbox"/> 작업계획 미흡 <input type="checkbox"/> 의사소통 미흡(구두/서면)	<input type="checkbox"/> 감독방법 미흡 <input type="checkbox"/> 기타()
<input type="checkbox"/> 지나치게 복잡한 업무	<input type="checkbox"/> 감독방법 미흡 <input type="checkbox"/> 기타()	<input type="checkbox"/> 작업계획 미흡
<input type="checkbox"/> 집중방해/간섭	<input type="checkbox"/> 작업환경 미흡 <input type="checkbox"/> 작업계획 미흡	<input type="checkbox"/> 감독방법 미흡 <input type="checkbox"/> 기타()
잘못된 판단(규칙기반오류)	원인유형	
<input type="checkbox"/> 인지 과부하	<input type="checkbox"/> 의사소통 미흡(구두/서면) <input type="checkbox"/> 기타()	<input type="checkbox"/> 작업계획 미흡
<input type="checkbox"/> 습관	<input type="checkbox"/> 교육 미흡 <input type="checkbox"/> 기타()	<input type="checkbox"/> 작업방법 미흡
<input type="checkbox"/> 공간 인지 오류	<input type="checkbox"/> 인간-기계연계(MMI) 미흡 <input type="checkbox"/> 의사소통 미흡(구두/서면)	<input type="checkbox"/> 작업방법 미흡 <input type="checkbox"/> 기타()
<input type="checkbox"/> 사고방식(고정관념)	<input type="checkbox"/> 교육 미흡 <input type="checkbox"/> 감독방법 미흡	<input type="checkbox"/> 작업방법 미흡 <input type="checkbox"/> 기타()
<input type="checkbox"/> 잘못된 가정	<input type="checkbox"/> 인간-기계연계(MMI) 미흡 <input type="checkbox"/> 기타()	<input type="checkbox"/> 교육 미흡
<input type="checkbox"/> 정보 검증/확인 미흡	<input type="checkbox"/> 의사소통 미흡(구두/서면) <input type="checkbox"/> 기타()	<input type="checkbox"/> 감독방법 미흡
<input type="checkbox"/> 정보해석 오류	<input type="checkbox"/> 의사소통 미흡(구두/서면) <input type="checkbox"/> 기타()	<input type="checkbox"/> 인간-기계연계(MMI) 미흡
규정된 작업 미수행(규칙기반오류)	원인유형	
<input type="checkbox"/> 지름길 선택	<input type="checkbox"/> 작업방법 미흡	<input type="checkbox"/> 기타()
<input type="checkbox"/> 지나치게 복잡한 업무	<input type="checkbox"/> 감독방법 미흡 <input type="checkbox"/> 기타()	<input type="checkbox"/> 작업계획 미흡
<input type="checkbox"/> 부적절한 작업지시	<input type="checkbox"/> 감독방법 미흡	<input type="checkbox"/> 기타()
<input type="checkbox"/> 집중방해/간섭	<input type="checkbox"/> 작업환경 미흡 <input type="checkbox"/> 작업계획 미흡	<input type="checkbox"/> 감독방법 미흡 <input type="checkbox"/> 기타()
<input type="checkbox"/> 부적절한 추적관리	<input type="checkbox"/> 추적관리프로그램 미흡	<input type="checkbox"/> 기타()
기술/지식 미흡(지식기반오류)	원인유형	
<input type="checkbox"/> 짧은 시야	<input type="checkbox"/> 작업방법 미흡	<input type="checkbox"/> 기타()
<input type="checkbox"/> 교육훈련 미흡	<input type="checkbox"/> 관리방법 미흡	<input type="checkbox"/> 기타()
<input type="checkbox"/> 직무수행기준 미숙	<input type="checkbox"/> 인간-기계연계(MMI) 미흡	<input type="checkbox"/> 기타()
<input type="checkbox"/> 업무수행 능력 미숙	<input type="checkbox"/> 교육 미흡 <input type="checkbox"/> 작업방법 미흡	<input type="checkbox"/> 의사소통 미흡(구두/서면) <input type="checkbox"/> 기타()
<input type="checkbox"/> 정보 활용 능력 부족	<input type="checkbox"/> 교육 미흡 <input type="checkbox"/> 기타()	<input type="checkbox"/> 작업방법 미흡

[표 2-22] 인적행위사건 분석 워크시트(부적절한 행동 분석)[19]

오류 모드(Failure Mode)	추정원인(Possible Cause)
부적절한 의식상태	원인유형
<input type="checkbox"/> 지루함	<input type="checkbox"/> 감독방법 미흡 <input type="checkbox"/> 작업계획 미흡 <input type="checkbox"/> 기타()
<input type="checkbox"/> 망각(기억 실패)	<input type="checkbox"/> 작업환경 미흡 <input type="checkbox"/> 작업일정 미흡 <input type="checkbox"/> 기타()
<input type="checkbox"/> 무의식적인 행동	<input type="checkbox"/> 인간-기계연계(MMI) 미흡 <input type="checkbox"/> 작업방법 미흡 <input type="checkbox"/> 기타()
<input type="checkbox"/> 실패에 대한 두려움	<input type="checkbox"/> 감독방법 미흡 <input type="checkbox"/> 기타()
<input type="checkbox"/> 병, 피로, 부상 등	<input type="checkbox"/> 작업환경 미흡 <input type="checkbox"/> 기타()
<input type="checkbox"/> 자만	<input type="checkbox"/> 작업방법 미흡 <input type="checkbox"/> 기타()
<input type="checkbox"/> 동기부여 미흡	<input type="checkbox"/> 기타()

‘개인/조직 선별’은 분석양식의 흐름도에 따라 도출된 결과가 개인적인지 조직적인지 취약요소를 선별한다. 인적오류 사건 발생 원인이 개인 또는 조직 중 어디에 그 비중이 큰지 파악하여 효과적인 맞춤형 시정조치 계획수립을 지원하는데 그 목적이 있으며 인적오류사건이 여러 사람과 관련이 있을 경우(의사소통 또는 인계인수 미흡, 무리한 공기단축 요구 등) 작업자간, 작업자-감독자간, 작업자-관리자등 해당 관계자 개개인을 대상으로 선별도를 추가 생성하여 분석하며 조직에 잠재되어 있는 취약요소는 해당 분야에 대한 자체진단, 관리자 관찰, 벤치마킹, 안전문화 진단 등을 통하여 근본적인 시정조치 계획을 수립할 수 있는 도구로 활용될 수 있어야 한다.[19]



[그림 2-1] 인적행위사건 분석 워크시트(개인/조직요인 선별 흐름도)[19]

[표 2-23] 개인/조직요인 선별 분석 가이드(Q1, Q3, Q6, Q8)[19]

Q1.	<p>사전에 의도한 행동이었는가?</p> <ul style="list-style-type: none"> • 작업자의 행동이 사전에 의도한, 계획도니 행동이었는지 판단한다. 분석자는 아래의 사항을 고려하여 작업자의 의도적인 행동여부를 판단한다. • 분석대상 행동, 목표와 실제 실행된 행동이 어떠한 관계를 가지고 있는지 여부, 작업자가 계획했던 행동과 그 결과가 예상과 동일하게 나타난 정도 ※ 아니오: 작업자가 의도하지 않았다면 행위는 오류에 해당되는 것으로 볼 수 있으며 따라서 이는 숙련기반 오류가 될 수 있으며 어떠한 것이 오류를 유발하였는지 추가 분석이 필요함
Q3.	<p>작업요구사항 위반을 알고 있었는가?</p> <ul style="list-style-type: none"> • 작업자가 작업수행과정에서 발생한 오류가 관리자의 일반적인 요구사항(절차서, 작업계획서, 지침, 오더, 작업자 수칙, 안전표어 및 수칙 등)에 어긋나는 것을 알면서도 작업을 수행했었는지를 평가한다.
Q6.	<p>다른 사람이 수행했더라도 동일한 오류를 범했겠는가?</p> <ul style="list-style-type: none"> • 유사한 교육수준이나 경력, 자격 보유자인 다른 사람이 동일한 상황에서 동일한 오류를 범했는지에 대해 동일직무 수행자나 유사한 환경에 있는 동료들로부터 의견을 수렴하여 평가한다. 본 질문을 통해서 이러한 오류가 조직차원에서 관행적으로 이루어지거나 묵인하는 문화가 조성되어 있는지를 확인한다.
Q8.	<p>과거에도 불안정한 인적행위 경험사례가 있었는가?</p> <ul style="list-style-type: none"> • 해당 작업자의 과거에 인적행위관련 오류경험이 있는지 확인한다.

[표 2-24] 개인/조직요인 선별 분석 가이드(Q2, Q4, Q5, Q7)[19]

Q2.	<p>의도했던 대로 결과가 나왔는가?</p> <ul style="list-style-type: none"> • 분석자는 아래의 사항을 파악하여 작업자가 사전에 의도한, 계획한 대로 결과를 달성하였는지에 대해 판단한다. • 목표를 달성하기 위해서 계획된 사항, 작업자의 행동이 계획된 목표를 달성하기 위해 적절했는지 여부, 예상결과, 실제결과, 예상과 다르게 발생한 실제 결과 및 작업자 또는 작업그룹이 그 결과를 고려하고 감안하였는지 여부 <p>※ 아니오: 발생한 오류는 착오 또는 위반일 가능성이 크고 이때 발생한 오류는 규칙 또는 지식기반오류로 볼 수 있음</p>
Q4.	<p>작업 요구사항이 이해하기 쉽고, 정확하고 적절하였는가?</p> <ul style="list-style-type: none"> • 작업자가 요구사항에 반하는 행위임을 알고 있었음에도 업무를 계속 진행하다가 발생한 위반이다. 하지만 작업 요구사항이 불합리하거나 제도상의 취약점 등으로 인해 정확성이나 적절성에 문제가 있다면 이는 조직의 문제로 유발된 것으로 볼 수 있으므로 이러한 요구사항의 문제점을 평가한다.
Q5.	<p>다른 사람이 수행했다라도 동일한 오류를 범했겠는가?</p> <ul style="list-style-type: none"> • 유사한 교육수준이나 경력, 자격 보유자인 다른 사람이 동일한 상황에서 동일한 오류를 범했는지에 대해 동일직무 수행자나 유사한 환경에 있는 동료들로부터 의견을 수렴하여 평가한다.(본 질문에서의 '다른 사람'은 해당 조직 내에서의 동일한 환경(관리자/상급자의 성향, 작업자 본인의 성향, 팀/조직 내 문화 등)을 충분히 고려하여 판단하여야 한다.) 이를 통해서 이러한 위반이 조직차원에서 관행적으로 이루어지거나 묵인하는 문화가 조성되어 있는지를 확인하여 조직문화를 판단한다.
Q7.	<p>교육훈련, 직무배정, 업무경험활용 측면의 문제는 있었는가?</p> <ul style="list-style-type: none"> • 아래의 각 항목별로 취약점이 존재하는지 평가한다. • 교육훈련: 작업자들이 각자의 업무수행에 필요한 기술, 지식, 태도 • 업무배치: 작업자들에게 특정한 책임과 직무를 배정할 때 고려해야 할 사항 및 절차 • 직무경험: 과거 작업수행 경험 및 관찰, 참여를 통해서 습득된 실무 지식이나 기술

[표 2-25] 개인/조직요인 선별 분석 가이드(개인요인 C1, C2, C5)[19]

C1.	개인의 의도적인 사건/사고(사보타지)
	<ul style="list-style-type: none"> • 작업자의 사전 계획에 의한 행동으로 계획된 결과가 나타나 사건분석이 필요한 사건의 경우 작업자가 의도적으로 사건(사고)을 일으킨 경우이다. 이 경우는 오류가 아니므로 다른 측면에서의 사건조사가 필요하다.
C2.	개인의 자의적인 위반
	<ul style="list-style-type: none"> • 이러한 형태의 위반은 조직에서 제공하는 적절한 요구사항의 위반을 사전에 인지하고 있었으며, 다른 사람이 동일한 상황에서 동일한 행위를 하지 않았을 것이기 때문에 작업자의 자의적인 위반으로 볼 수 있다. 이러한 위반을 하게 된 경위와 배경에 대해서는 다른 환경적인 요인이 있는지 추가적으로 원인조사를 할 수 있다.
C5.	개인의 태만에 의한 오류
	<ul style="list-style-type: none"> • 다른 사람이라면 오류를 예측하거나 회피할 수 있었던 경우로 볼 수 있으므로 작업자의 부주의, 태만, 무관심으로 발생된 오류이다. 다만 작업자가 문제의 잠재적인 영향을 인지하지 못하거나 그러한 행동을 하게 된 배경에 대해서는 추가적인 분석을 할 수도 있다.

[표 2-26] 개인/조직요인 선별 분석 가이드(조직요인 C3, C4, C6, C7, C8)[19]

C3.	조직문제로 유발된 위반
	<ul style="list-style-type: none"> • 작업자가 요구사항에 반하는 행위임을 알고 있었고, 요구사항의 이해도나 적절성에도 문제가 없었으나, 위반 행위가 조직 내에서 관행적으로 이루어지거나 조직관리 미흡 등으로 인해 발생한 것으로 이는 조직문제로 유발된 위반이다. 따라서 조직 내 관행이나 조직관리, 작업감독 등에 대한 문제점을 찾아 개선이 필요하다.
C4.	조직문제로 유발된 위반
	<ul style="list-style-type: none"> • 작업자가 요구사항에 반하는 행위임을 알고 있었으나, 그 요구사항이 불합리하거나 부적절 및 제도상의 취약점으로 발생한 위반이다. 따라서 조직에서 설정한 요구사항의 오류개선 등 조직차원에 대해 원인분석 및 개선이 요구된다.
C6.	조직문제로 유발된 오류
	<ul style="list-style-type: none"> • 다른 사람이라면 동일한 오류가 발생되지 않았지만, 작업자의 업무와 관련된 조직상의 문제점으로 인한 오류로 교육/직무배치, 경력관리 등의 측면에서의 원인분석이 필요하다.
C7.	조직문제로 유발된 오류(재교육 등 조치 필요)
	<ul style="list-style-type: none"> • 오류로 인해 발생되었지만 작업자 개인의 오류로 인한 사례로 보기는 어렵다. 다만 작업자의 과거 인적행위문제 경력이 존재하므로 이에 대한 조직차원에서의 재교육 등의 교정활동, 직무전환, 유사작업 수행시 동료점검 수행 등의 활동이 필요하다. 또한 관리/감독차원에서의 오류를 찾기 위한 조직차원에서의 분석이 필요하다.
C8.	조직문제로 유발된 오류
	<ul style="list-style-type: none"> • 작업자 개인의 과거 인적행위 문제도 없었던 경우 발생한 사례로 개인의 오류보다는 조직차원의 오류로 접근이 필요하다. 오류를 유발한 상태와 오류의 영향을 저감시키지 못한 조직차원의 방벽(절차, 감독, 관리 등)의 취약점 분석이 필요하다.

[표 2-27] 개인/조직요인 선별 분석 가이드(평가요인 E)[19]

E.	관련된 조직프로세스, 작업관리, 감독체계 평가
	<ul style="list-style-type: none"> 조직문제로 귀결된 사례에 대해서 조직의 프로세스, 작업관리, 감독체계, 절차 등에 대한 재평가가 요구된다. 오류의 원인을 개인보다는 조직에 초점을 맞추고 조직차원의 자체진단, 관리자관찰, 코칭, 교육체계 개선 등을 통해 원인분석 및 해결책을 강구할 수 있다.

‘분석요약’ 작성 시 오류 유발인자, 인적오류 예방기법 및 방어(방벽)수단은 확인된 원인요소를 기술하며 분석 시트내용을 인용하며 인적오류/부적절한 행위는 오류모드와 원인유형을 서술식으로 요약하고 개인/조직요인 선별은 흐름도에서 확인된 요소도 서술식으로 요약하여 작성한다.[19]

[표 2-28] 인적행위사건 분석 워크시트(분석요약)[19]

<input type="checkbox"/> 오류유발인자, 인적오류예방기법, 방벽분석 결과 <input type="checkbox"/> 부적절한 행위 분석 결과 <input type="checkbox"/> 개인/조직요인 선별결과

제2절 인적오류예방기법

운전, 정비, 시험 등의 업무 수행 시 인적오류를 예측하고 방지 및 관리를 위해 적용하는 행위기법으로 크게 기본적 인적오류예방기법과 조건부 인적오류예방기법 두 가지로 구분되어 활용된다.

[표 2-29] 인적오류예방기법 종류

기본적 인적오류예방기법		조건부 인적오류예방기법	
□ 상황인식	○ 사전업무검토	□ 작업 전 회의	
	○ 사전점검	□ 확인기법	○ 동시확인
	○ 의문을 갖는 태도		○ 독립확인
	○ 불확실 시 중지	□ 동료점검	
□ 자기진단		□ 운전방벽 및 인식표 설치	
□ 효과적인 의사소통	○ 의사소통 재확인기법	□ 수행단계 표시	
	○ 음표문자	□ 인수인계	
□ 절차서 사용 및 준수		□ 작업 후 평가	

1. 기본적 인적오류예방기법

업무의 복잡성, 위험도 및 긴급성에 상관없이 모든 업무에 사용되는 기본적인 인적오류예방기법으로 자기진단, 효과적인 의사소통, 상황인식, 절차서 사용 및 준수 등이 있다.[18]

가. 상황인식

- (1) 주어진 업무의 시간과 조건을 실제와 같이 비교하여 정확한 정보 제공을 통해 작업자의 올바른 결정 및 행위를 이끌어내는 기법으로 사전점검, 의문을 갖는 태도, 사전업무검토, 불확실 시 중지 등이 있다.[18]
- (2) ‘사전업무검토’를 통해 작업 전 회의, 실제작업을 수행하기 이전 작업내용 및 흐름, 핵심적 단계를 숙지하고자 절차서, 도면 등의 관련 자료를 검토하여 작업자의 행동이 안전과 생산성에 어떠한 영향을 주게 될지 고려할 수 있으며 작업자가 업무를 정확하게 수행할 수 있도록 도와준다.[18]
- (3) 중요단계를 요약하고 중요단계에서 발생할 수 있는 오류와 사전 징후를 예측하며 오류가 발생했을 경우 예상되는 최악의 결과를 예견하고 오류예방·복구·결과

를 감소시키고자 비상대책을 평가한다. 또한, 중요단계 및 특정 업무에 관한 경험사례를 검토하는 방법으로 활용한다.[18]

- (4) ‘사전점검’은 작업수행자가 현장에 도착하여 상황인식을 향상시키기 위한 기법이며 작업현장을 사전 점검함으로써 작업의 중요사항, 계통설비 조건, 작업 환경, 주요 위험요소 등에 대한 정확한 이해를 가질 수 있으며 사전점검을 통한 취득한 정보를 지시자 또는 동료에게 통보하여 인적오류 방지에 도움을 준다.[18]
- (5) ‘의문을 갖는 태도’를 활용하여 의문을 통하여 잘못된 가정 또는 발생 가능한 오류를 도출할 수 있도록 하는 기법으로 업무수행 전 안전을 고려하도록 유도하고 주어진 상황에서 업무의 정확한 이해를 도와 작업계획 또는 작업환경에 내포된 위험인자와 경고신호, 불확실성 등을 작업자에게 환기시킬 수 있는 효과가 있다.[6][18]
- (6) ‘불확실 시 중지’ 기법은 작업자가 익숙하지 않은 상황에 직면하여 당황하거나 불확실성을 느꼈을 때 즉시 작업을 중단하고, 다른 동료들로부터 도움을 받을 수 있는 것을 말하며 이를 통해 관련지식을 가진 동료들로부터 정확한 정보와 노하우를 얻어 업무재개 전 문제점에 대하여 토의하고 해결할 수 있도록 도와 준다.[18]

나. 자기진단

- (1) 직원 개개인이 시험 및 정비 작업등의 세부항목에 주의력을 집중시키기 위하여 분명하고 정확한 판단 후 기기를 조작하도록 Stop(멈추고), Think(자문하여), Act(조작하고), Review(예상결과 리뷰)하는 일명 STAR 기법이라고 한다.[18]
- (2) 원자력발전소의 운전, 시험, 정비관련 작업에 적용되며 주의를 집중한 상태로 조작하고자 하는 대상기기 앞에 멈춘 다음, 수행하고자 하는 행위가 올바른 방법인지를 자문한 다음 기기조작을 수행하고 예상한 운전변수 변화 등에 대하여 이해하고 있는지 생각하고 불확실 시 의문을 갖는 태도를 가지며 조작대상 기기명패에 손을 떼지 말고 시각적으로 집중한 상태에서 기기를 조작 후 실제 응답과 예상 응답의 일치여부를 확인하는 단계까지가 STAR 기법이라 칭하는 자기진단 기법 활용방법이다.[18]

다. 효과적인 의사소통

- (1) 구두로 정보전달하는 형태는 의사전달 방법으로 많이 사용되고 있으나 문서전달

보다 인적실수 발생의 큰 위험을 가진다. 그래서 의사전달의 명확화를 통한 이해도 및 신뢰성의 증진이 요구되기에 ‘의사소통 재확인기법’과 ‘음표문자’를 활용하여 인적오류 예방에 도움이 되고자 한다.[18]

- (2) ‘의사소통 재확인기법’은 3 Way Communication 이라 칭하며 작업 중 직접대면하거나 전화 등을 이용해 발전소 기기에 대한 정보교환 시 명확하게 전달하고자 전달자(Sender)와 수신자(Receiver) 사이에 세 번의 음성교환을 요구하는 기법으로 수신자가 내용을 정확히 이해하지 못했을 경우, 내용의 설명을 반복 요구하여야 한다.[18]
- (3) ‘음표문자’는 영문 알파벳과 숫자는 경우에 따라서 유사한 발음으로 인해 작업자에게 혼란을 줄 수 있어 별도의 약속된 단어나 표현을 이용함으로써 보다 정확한 정보와 의미를 전달한다.[18]

[표 2-30] 알파벳 음표문자 종류[18]

A-알파	B-브라보	C-찰리	D-델타
E-에코	F-폭스트럿	G-골프	H-호텔
I-인디아	J-줄리엣	K-킬로	L-리마
M-마이크	N-노뎀버	O-오스카	P-파파
Q-퀘벡	R-로미오	S-시에라	T-탱고
U-유니폼	V-빅터	W-위스키	X-엑스레이
Y-양키	Z-줄루		

[표 2-31] 숫자 음표문자 종류[18]

1-하나	2-둘	3-삼	4-넷
5-오	6-여섯	7-칠	8-팔
9-아홉	0-공		

라. 절차서 사용 및 준수

- (1) 절차를 준수하는 것은 절차의 목적과 목표를 이해하고 지시에 따르는 것을 의미하며, 사용자는 서술된 절차에 따라 모든 작업을 수행하며 만약 절차서에 기술된 대로 작업할 수 없는 경우 작업을 멈추고 계속 진행하기 전에 절차서가 정확하게 개정되어야 하며, 절차서는 보이지 않는 결점을 포함하고 있으므로 문제의식을 가지고 절차서를 수행해야 한다.[18]

- (2) 절차서 사용은 전반적인 작업절차의 목표와 전략을 이해하고 좀 더 안전한 결과를 이끌어 낼 수 있으며, 절차서 준수는 절차서의 목적, 범위 및 내용을 이해하고 그 지시사항을 따르는 행위이다.[18]

2. 조건부 인적오류예방기법

업무의 위험성, 복잡성, 수행 빈도, 다른 근무자와의 연관 있는 작업여부, 완료업무에 대해 관리상의 필요성 등의 조건에 따라 적용되는 인적오류 예방기법으로 작업 전 회의, 확인기법(동시확인, 독립확인), 동료점검, 인식표 및 운전방벽 설치, 수행단계 표시, 인수인계, 작업 후 평가 등이 있다.[18]

가. 작업 전 회의

- (1) 발전소 안전 또는 출력운전에 영향을 미치는 시험, 운전 및 정비작업 시 업무를 수행하는 전원이 참여하여 수행하는 업무목적과 주요항목, 역할과 책임 그리고 인적오류 발생요소 및 방지수단을 설명하고 토의함으로써 성공적으로 수행하는 업무가 완수되도록 하는 기법이다.[18]

나. 확인기법

- (1) 발전소 안전운전에 영향을 미칠 수 있는 시험·정비 작업항목에 적용하며 사전에 수행절차서 및 작업계획서 등에 확인기법 적용항목이 명시되도록 한다.[18]
- (2) ‘동시확인’은 잘못된 기기조작 때문에 돌이킬 수 없는 상황이 발생할 수 있는 경우에, 두 사람이 같은 시공간에서 기기의 상태를 각자 독립적으로 확인하기 위한 일련의 행동이며 수행자가 중요 안전관련 기기의 변경에 대해 적절한 관리를 할 수 있도록 도움을 주며 절차서 단계에 대해 개인별 서명확인을 함으로써 기기상태가 절차서와 일치함을 보증해 주는 역할을 한다.[18]
- (3) ‘독립확인’은 기기의 배열상태를 점검하기 위해 두 사람이 기기의 배열을 독립적으로 확인하는 일련의 작업이며 작업이 완료된 후에 잘못된 사항을 발견하는 것이기 때문에 작업자의 오류가 즉각적으로 나타나지 않는 경우에 사용되는 기법이다. 확인자는 작업자에게 구두확인이나 관찰에 의존하지 않고 기기상태를 직접 점검함으로써 작업자와 관련된 작업에 직접적으로 관련하지 않는 것이 좋다.[18]

다. 동료점검

- (1) 동료점검은 작업 수행자의 실수를 예방하고자 정확한 행위 수행여부를 검증해

주는 기법으로 동료는 새로운 시각으로 조작자가 업무에 집착하여 함정에 빠지는 것을 막을 수 있으며 동료는 조작자가 볼 수 없는 위험을 볼 수 있다. 형식에 얽매이지 않고 모든 작업에서 언제나 동료점검을 적용할 수 있으며 동시확인인 설비의 상태를 제어하는데 중점을 둔다면 동료점검은 행위의 결과보다 행위 자체에 중점을 두는 기법이다.[18]

라. 인식표 및 운전방벽 설치

- (1) 인식표는 작업 대상(조작대상) 스위치 및 기기의 명확한 구분과 식별이 용이하도록 표식을 부착하고, 운전방벽은 조작대상(작업 대상) 기기 주변 인접한 위치에 동일한 기능 및 모습이 비슷한 기기가 있는 경우 물리적 격리를 통하여 오조작을 방지하기 위해 설치하는 커버, 로프, 안전펜스 등이 있다.[18]
- (2) 자기진단을 사용하여 대상기기를 확인하고 조작대상 기기에 인식표를 부착하고 조작방지 기기에는 물리적으로 접근이 용이하지 않도록 운전방벽을 설치한 후 기기조작이나 작업을 실시하는 방법을 활용한다.[18]

마. 수행단계 표시

- (1) 절차서나 지침서 등에서 중요 절차에 물리적으로 단계를 표시하는 것으로 효과적인 절차의 수행여부 확인을 통해 절차의 누락 및 중복을 방지하고 특히, 기술적인 내용의 절차수행 시 단계가 여러 단계로 나누어졌거나 결정단계가 많은 경우에 수행하는 절차의 누락이나 잘못된 절차수행을 방지할 수 있다.[18]

바. 인수인계

- (1) 업무와 관련된 임무, 정보, 교대자간 책임사항의 전달을 뜻하며 인수인계는 업무를 시작하는 개인에게 정확하고 명확한 상황인식을 하는 시간을 제공한다. 이를 통하여 근무동안 주의를 기울여야 하는 주요사항과 예측되는 상황을 이해하는데 도움을 줄 수 있다.[18]
- (2) 인수인계 시 가장 일반적인 실수는 중요한 정보의 누락이다. 그러므로 점검표를 이용한 문서전달이 안전한 작업진행을 위해 중요하며 의사소통 재확인 기법을 사용하여 정보전달이 왜곡되거나 잊어버리지 않도록 주의한다.[18]

사. 작업 후 평가

- (1) 작업완료 후 작업 준비·진행과정, 상위 프로그램 및 방침 등의 취약점을 발견하여 개선하기 위한 것이다. 간결하고 명료하게 문제점에 집중하여 작업 참여자들의 의견을 검토한다.[18]

제3장 원자력발전소 고장·정지 사건 분석

제1절 국내 원자력발전소 운전 현황

국내 원자력발전소는 고리1 ~ 4호기, 신고리1 ~ 4호기, 월성1 ~ 4호기, 신월성1 ~ 2호기, 한빛1 ~ 6호기, 한울1 ~ 6호기 총 26기가 있으며 고리1호기(2017. 6.), 월성1호기(2019. 12.)가 폐로 및 영구정지를 위해 정지해 있으며 현재 24기가 가동 중에 있다. 그리고 신고리5, 6호기, 신한울1,2호기는 건설 중에 있다.[10]

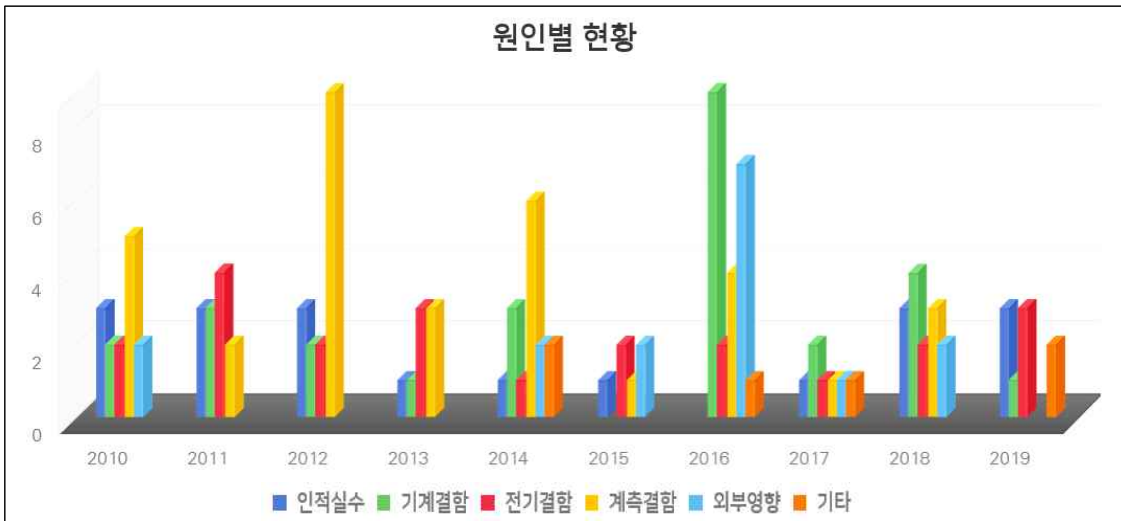
Status	Station Name	Reactor Type	Design Capacity (MWe)	Main Contractor	Construction Permit	Initial Criticality	Commercial Operation	
In Operation (24Units)	Kori	Unit 1*	PWR	587	Westinghouse	5/31/72	6/19/77	4/29/78
		Unit 2	PWR	650	Westinghouse	11/18/78	4/9/83	7/25/83
		Unit 3	PWR	950	Westinghouse	12/24/79	1/1/85	9/30/85
		Unit 4	PWR	950	Westinghouse	12/24/79	10/26/85	4/29/86
	Wolsong	Unit 1*	PHWR	679	AECL	2/15/78	11/21/82	4/22/83
		Unit 2	PHWR	700	AECL	8/28/92	1/27/97	7/1/97
		Unit 3	PHWR	700	AECL	2/26/94	2/15/98	7/1/98
		Unit 4	PHWR	700	AECL	2/26/94	4/10/99	10/1/99
	Hanbit	Unit 1	PWR	950	Westinghouse	12/17/81	1/31/86	8/25/86
		Unit 2	PWR	950	Westinghouse	12/17/81	10/14/86	6/10/87
		Unit 3	PWR	1000	Hanjung	12/21/89	10/13/94	3/31/95
		Unit 4	PWR	1000	Hanjung	12/21/89	7/7/95	1/1/96
		Unit 5	PWR	1000	Hanjung	6/14/97	11/24/01	5/21/02
		Unit 6	PWR	1000	Hanjung	6/14/97	9/1/02	12/24/02
	Hanul	Unit 1	PWR	950	Framatome	1/25/83	2/25/88	9/10/88
		Unit 2	PWR	950	Framatome	1/25/83	2/25/89	9/30/89
		Unit 3	PWR	1000	Hanjung	7/16/93	12/21/97	8/11/98
		Unit 4	PWR	1000	Hanjung	7/16/93	12/14/98	12/31/99
		Unit 5	PWR	1000	Hanjung	5/17/99	11/28/03	7/29/04
		Unit 6	PWR	1000	Hanjung	5/17/99	12/16/04	4/22/05
	Shin-Kori	Unit 1	PWR	1000	DOOSAN	7/1/05	7/15/10	2/28/11
		Unit 2	PWR	1000	DOOSAN	7/1/05	12/27/11	7/20/12
		Unit 3	PWR	1400	DOOSAN	4/15/08	12/29/15	12/20/16
		Unit 4	PWR	1400	DOOSAN	4/15/08	4/8/19	8/29/19
Shin-Wolsong	Unit 1	PWR	1000	DOOSAN	6/4/07	1/7/12	7/31/12	
	Unit 2	PWR	1000	DOOSAN	6/4/07	2/8/15	7/24/15	
Under Construction (4 Unit)s	Shin-Kori	Unit 5	PWR	1400	DOOSAN	6/27/16	-	-
		Unit 6	PWR	1400	DOOSAN	6/27/16	-	-
	Shin-Hanul	Unit 1	PWR	1400	DOOSAN	12/2/11	-	-
		Unit 2	PWR	1400	DOOSAN	12/2/11	-	-

* Note: Kori Unit 1 and Wolsong Unit 1 have permanently shut down from June 18, 2017 and December 24, 2019, for each.

[그림 3-1] 국내 원자력발전소 운전 현황(출처. OPIS)[10]

제2절 국내 원자력발전소 고장·정지 현황

최근 10년간(2010년~2019년) 국내 원자력발전소의 크고 작은 고장건수는 124건(시운전 포함)이다. 고장원인은 인적실수, 기계·전기·계측 결함, 외부영향 및 기타 등의 원인이 있으며 인적실수 19건(15.3%), 기계결함 27건(21.8%), 전기결함 22건(17.7%), 계측결함 34건(27.4%), 외부영향 16건(12.9%) 및 기타 6건(4.8%) 등의 비율로 확인된다.[10]



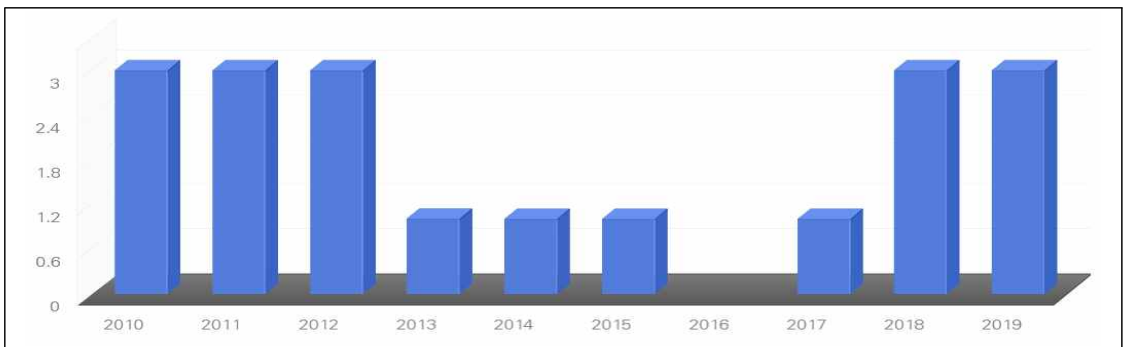
[그림 3-2] 최근 10년간 국내 원자력발전소의 원인별 고장·정지 현황(출처. OPIS)[10]

[표 3-1] 최근 10년간 국내 원자력발전소의 원인별 고장 현황(출처. OPIS)[10]

고장원인	인적실수	기계결함	전기결함	계측결함	외부영향	기타	합계(건)
2010년	3 (21.4%)	2 (14.3%)	2 (14.3%)	5 (35.7%)	2 (14.3%)	0 (0.0%)	14
2011년	3 (25.0%)	3 (25.0%)	4 (33.3%)	2 (16.7%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	12
2012년	3 (18.8%)	2 (12.5%)	2 (12.5%)	9 (56.3%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	16
2013년	1 (12.5%)	1 (12.5%)	3 (37.5%)	3 (37.5%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	8
2014년	1 (6.7%)	3 (20.0%)	1 (6.7%)	6 (40.0%)	2 (13.3%)	2 (13.3%)	15
2015년	1 (16.7%)	0 (0.0%)	2 (33.3%)	1 (16.7%)	2 (33.3%)	0 (0.0%)	6
2016년	0 (0.0%)	9 (39.1%)	2 (8.7%)	4 (17.4%)	7 (30.4%)	1 (4.3%)	23
2017년	1 (14.3%)	2 (28.6%)	1 (14.3%)	1 (14.3%)	1 (14.3%)	1 (14.3%)	7
2018년	3 (21.4%)	4 (28.6%)	2 (14.3%)	3 (21.4%)	2 (14.3%)	0 (0.0%)	14
2019년	3 (33.3%)	1 (11.1%)	3 (33.3%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	2 (22.2%)	9
총 발생건수	19 (15.3%)	27 (21.8%)	22 (17.7%)	34 (27.4%)	16 (12.9%)	6 (4.8%)	124

1. 인적실수에 의한 고장사건 분석

최근 10년간(2010년~2019년) 인적실수에 의한 고장건수는 총 19건(15.3%)이며 연평균 약 1.9건이 발생하고 있으며, 매년 1건 이상(2016년 제외)의 인적실수사건이 발생하고 있다.



[그림 3-3] 최근 10년간 인적실수에 의한 국내 원자력발전소의 고장 현황(출처. OPIS)[10]

[표 3-2] 최근 10년간 인적실수사건 목록(출처. OPIS)[10]

순번	발생일	사건제목
1	2019.09.06.	신월성2호기 증기발생기(#1) 저수위에 따른 원자로 자동정지
2	2019.05.10.	한빛1호기 부주의한 제어봉인출에 따른 보조급수계통 작동 및 원자로 수동정지
3	2019.01.24.	한빛2호기 증기발생기 C 저수위에 따른 원자로 자동정지
4	2018.06.11.	월성3호기 계획예방정비 중 가압기 배수밸브 오조작에 의한 원자로냉각재 누설
5	2018.03.06.	한빛2호기 4.16 kV 안전모선 B 계열 저전압에 의한 비상디젤발전기 B 자동기동
6	2018.01.24.	월성4호기 원자로정지 후 발전소 냉각 중 비상급수계통 격리밸브 개방
7	2017.03.27.	월성4호기 신연료 취급 중 핵연료다발 낙하
8	2015.05.14.	월성4호기 사용후핵연료 저장조내 핵연료다발 수중 취급 중 연료봉 이탈 및 낙하
9	2014.10.01.	한빛2호기 계획예방정비 중 교체 고압차단기반의 부적절한 작업관리에 기인한 한빛 1,2호기 안전모선 저전압 및 비상디젤발전기 기동
10	2013.04.14.	고리4호기 원자로냉각재계통 냉각감압중 증기관 저압력으로인한 안전주입
11	2012.11.26.	한울6호기 계획예방정비 중 부적절한 안전주입
12	2012.10.29.	월성1호기 안전모선 저전압 및 발전기 정비를 위한 원자로 수동정지
13	2012.02.09.	고리1호기 계획예방정비 중 소외전원상실 및 비상디젤발전기 기동실패에 의한 교류전원 완전상실
14	2011.12.13.	한울1호기 복수기 진공상실에 의한 터빈 발전기 및 원자로 자동정지
15	2011.04.19.	고리3호기 계획예방정비 중 인적오류로 인한 지락으로 고리3,4호기 안전모선 저전압 및 비상디젤발전기 기동
16	2011.01.25.	신고리1호기 원자로 영출력 노물리 시험중 핵비등이탈률저신호에 의한 원자로 정지
17	2010.12.29.	한빛5호기 계획예방정비 중 안전모선 저전압에 의한 비상디젤발전기 자동기동
18	2010.09.17.	신고리1호기 시운전중 원자로냉각재의 원자로건물 살수
19	2010.08.27.	신고리1호기 시운전중 증기발생기 저수위로 인한 원자로정지

가. 신월성2호기 증기발생기(#1) 저수위에 따른 원자로 자동 정지

- (1) 2019년 9월 6일(금) 21시 44분경, 신월성2호기가 원자로출력 약 29.9% 유지 중, 증기발생기 #1 “저 수위” 원자로 보호신호로 인하여해 자동 정지되었다.[9][10]
- (2) 사건 보고서에 의하면 계획예방정비 기간 중 수행한 주급수펌프 제어유압력 관련 발전소제어계통 제어로직 임시변경 작업 시, 통신정보 다운로드가 일부 누락되었고, 복구 과정에서 동일유형 오류로 인해 작업 중 주급수 승압펌프 #4 정지신호가 발생되었음을 확인하였다. 주급수 승압펌프 #4 정지에 따라 후단의 주급수펌프 #1이 순차적으로 정지되어 증기발생기 급수 공급이 차단되었고, 이에 따른 증기발생기 저수위(설정치: 광역 44.6%) 원자로 보호신호로 원자로가 자동 정지되었다.[9][10]
- (3) 사건발생 원인 관련 작업 설계 및 수행내용 상세 분석 결과, 제어로직 임시변경서 작성/검토 미흡, 작업 수행 중 작업자의 판단오류(통신정보 다운로드 범위)와 동일노형/설비 정비관련 정보공유 미흡 등이 주요원인으로 파악되었다.[9][10]

나. 한빛1호기 부주의한 제어봉 인출에 따른 보조급수계통 작동 및 원자로 수동 정지

- (1) 2019년 5월 10일(금) 10:31경 한빛1호기 원자로 특성시험 중, 원자로 출력(노외 핵계측기 출력)이 최대 18.06%까지 증가하였으며, 2차측 으로의 열전달 증가로 증기발생기 수위가 증가하였고, 증기발생기 고-고 수위 및 이에 따른 연동 신호에 의해 전동기 구동 보조 급수펌프가 자동 기동(10:32)되었다.[9][10]
- (2) 사건발생 원인과 관련하여 제어봉의 과도한 인출은 제어봉 편차 발생 시 정비작업 처리절차 미준 수 및 원자로차장의 반응도 계산오류로 인해 발생하였고, 운영기술지침서 미이행 사항은 근무 교대시 작업 전 회의 재수행 절차 미준수 등 작업사항의 인수인계가 부적절한데 기인한 것으로 확인되었다. 안전문화 점검 결과, 부적절한 작업 관행, 비정상 상황에 대한 보수적 대응 미흡, 안전문화 결여 사건 경험반영 미흡 등 다수의 문제점이 파악되었다.[9][10]

다. 한빛2호기 증기발생기 C 저수위에 따른 원자로 자동정지

- (1) 2019년 1월 24일(목) 12시 23분, 한빛2호기 원자로출력 약 17% 유지 중, 증기발생기 C 에서 “수위 저-저 신호” 가 발생하여 원자로가 자동 정지되었다.[9][10]
- (2) 사건 보고서에 의하면 원자로 자동정지 약 40분 전 발전기 부하탈락시험이 수행되었고, 이 후 계통과도 과정에서 증기발생기 A 수위가 점진적으로 증가하는 현

상에 대응하기 위해 운전원이 수동 운전을 수행하였는데, 이 과정에서, 증기발생기 A “수위 고-고(Hi-Hi)” 신호로 인한 터빈정지 및 주급수 차단밸브 닫힘이 발생하였고, 이에 따른 영향으로 증기발생기 C “수위 저-저(Lo-Lo)” 신호가 발생되어 원자로가 자동 정지되었다.[9][10]

- (3) 사건발생 원인 관련 발전기 부하탈락시험 직후 증기발생기 A의 수위가 다른 2대의 증기발생기에 비해 일시적으로 낮은 상태가 유발되었고, 증기발생기 수위 자동제어시스템 응동으로 이를 제어하는 중이었으나, 운전원이 이 과정에 수동으로 개입하여 원자로 정지에 이르는 과도가 발생하였음을 확인하였다.[9][10]

라. 월성3호기 계획예방정비 중 가압기 배수밸브 오조작에 의한 원자로냉각재 누설

- (1) 2018년 6월 11일 18시 43분경, 월성3호기에서 계획예방정비를 위해 원자로를 정지하고 원자로냉각재 계통 냉각 및 감압을 수행하던 중 닫혀있던 가압기 배수밸브를 수동 개방하였고, 이에 따른 누설로 원자로건물 내 누설검출기(비틀) 경보가 발생하였다.[10]
- (2) 사건 보고서에 의하면 누설은 현장운전원이 가압기 격리를 위한 운전조치 수행 과정에서 가압기 배수밸브를 가압기 격리밸브의 균압밸브로 오인하여 개방함에 따라 발생한 것으로 확인되었다.[9][10]
- (3) 사건발생 원인과 관련하여 배수밸브 오개방 원인은 밸브 명패관리 미흡, 주요 밸브 잠금장치 관리 미흡, 인적오류예방기법 적용 미흡 등으로 확인되었고, 인적실수 발생의 구체적인 원인은 운전원 교육훈련과정에서 기본수칙 준수, 인적오류예방기법 체화, 현장기기 위치 확인 및 조작을 위한 교육훈련 활동이 미흡하였기 때문인 것으로 확인되었다.[9][10]

마. 한빛2호기 4.16 kV 안전모선 B계열 저전압에 의한 비상디젤발전기 B 자동 기동

- (1) 2018년 3월 6일(화) 17시 30분, 전 출력 운전 중이던 한빛2호기의 4.16kV 안전모선 B계열에 저전압이 발생하여 비상디젤발전기 B가 자동 기동되었다.[9][10]
- (2) 사건 보고서에 의하면 4.16kV 비안전모선의 부하인 중앙냉동기 교체운전 과정에서 정지하려던 중앙냉동기의 전원공급차단기가 개방되지 않아 발생한 고장전류로 해당 비안전모선에 저전압이 발생하였다. 운전원은 고장 원인이 해소되지 않은 상태에서 비안전모선 전원 복구를 시도하였고, 이로 인해 고장전류가 반복

발생함에 따라 기동용변압기 보호계전기가 작동, 스위치야드 차단기 개방 및 4.16kV 안전모선 B계열 저전압이 발생하였으며, 이에 따라 비상디젤발전기 B가 자동 기동되어 해당모선에 전원을 공급하였음을 확인하였다.[9][10]

- (3) 사건발생 원인 관련하여 중앙냉동기 차단기 미개방 원인은 차단기 구동부의 윤활관리 미흡으로 분석되었으며, 4.16kV 안전모선 B 계열 저전압 원인은 고장전류의 원인이 해소되지 않은 상태에서 해당 4.16kV 비안전모선의 전원복구를 시도하여 발생한 것을 확인하였다.[9][10]

바. 월성4호기 원자로정지 후 발전소 냉각 중 비상급수계통 격리밸브 개방

- (1) 2018년 1월 24일(수) 19시 15분경 월성4호기에서 제15차 계획예방정비를 위해 원자로를 수동 정지한 후 냉각운전을 수행하던 중, 2차측 압력이 비상급수계통 격리밸브 개방 설정치인 345 kPa(g) 이하로 감소하여 비상급수계통 격리밸브가 개방되었다.[9][10]
- (2) 사건발생 원인 관련하여 증기발생기 압력제어 프로그램의 냉각운전에 사용되는 제어용 압력전송기가 압력을 오계측하여 2차측 압력이 비상급수계통 격리밸브 개방 설정치인 345 kPa(g) 이하로 감소한 것을 확인하였다. 해당 압력전송기가 압력을 오계측한 원인은 과거 계획예방정비 중 압력계 교정 과정에서 단위를 혼동하여 오교정 하였고, 이후 재기동 과정에서 해당 압력전송기와 정상적인 압력 전송기 간에 압력 편차가 발생하자 이의 해소를 위해 해당 압력전송기를 오보정 하였기 때문인 것으로 확인되었다. 또한, 현행 발전소 정지 종합운전 절차서가 운영기술지침서 운전제한조건에 불가피하게 진입하여야 하는 경우를 유발할 수 있게 작성되어 있었음이 확인되었다.[9][10]

사. 월성4호기 신연료 취급 중 핵연료다발 낙하

- (1) 2017년 3월 27일(월) 14:40분경, 월성4호기 원자로건물 신연료 장전실에서 이송 중이던 핵연료다발이 바닥으로 낙하되었다. 바닥으로 낙하된 핵연료다발은 신연료 장전을 위해 작업자가 수동으로 이송하던 것이다.[9][10]
- (2) 사건발생 원인과 관련하여 핵연료다발 취급중 낙하는 작업절차 및 작업환경 미흡 등이 복합적으로 작용하여 발생한 것으로 판단한다.[9][10]

아. 월성4호기 사용후 핵연료 저장조내 핵연료다발 수중 취급 중 연료봉 이탈 및 낙하

- (1) 2015년 5월 14일(목) 17:06분경, 월성4호기 사용후 핵연료 습식저장조 수중 내

에서 건식저장 내부밀봉용기(이후, 바스켓)에 사용후 핵연료를 장전하기 위해 작업자가 사용후 핵연료 인양공구를 조작하여 핵연료다발 잡음 작업을 수행하던 중 해당 핵연료 다발에서 연료봉 2개가 분리되었으며, 이중 한 개는 핵연료 다발에서 이탈되어 작업장 낙하방지용 쇠 그물망 위로 낙하하였다.[9][10]

- (2) 연료봉 이탈·낙하 원인과 관련하여 고방사선에 노출되었던 핵연료다발의 용접부가 악화 되었으며, 사용후 핵연료저장조 수조내 핵연료다발 취급과 관련 작업 환경 열악, 작업자 인증절차 없음, 작업절차 미비 등이 사건을 유발한 원인이라고 판단한다.[9][10]

자. 한빛2호기 계획예방정비 중 교체 고압차단기반의 부적절한 작업관리에 기인한 한빛1,2호기 안전모선 저전압 및 비상디젤발전기 기동

- (1) 2014년 10월 1일 13:57분, 한빛2호기 계획예방정비 중 13.8kV 비안전모선 고압 차단기반 교체 후 개체시험 과정에서 기동용 변압기 보호계전기 작동으로 스위치야드 차단기가 개방되어 소외전원이 상실되었고, 1,2호기 4.16kV 안전모선 저전압에 의해 비상디젤발전기가 자동 기동되었다.[9][10]
- (2) 사건 보고서에 의하면 고압차단기반 교체후 안전모선 저전압 유발 가능 작업으로 분류되지 않아, 기동용 변압기가 가압된 작업환경에서 보호계전기 작동 가능성에 대한 원전운영자의 사전 작업검토 미흡으로 인해 차단기반 개체시험 과정 중 보호계전기 작동으로 4.16kV 안전모선 저전압이 발생하여 사건이 발생한 것으로 확인되었다.[9][10]

차. 고리4호기 원자로냉각재계통 냉각감압 중 증기관 저압력으로 인한 안전주입

- (1) 2013년 4월 14일(일) 09시 22분, 고리4호기는 출력을 상승하는 과정 중 증기발생기 2차측에서 발생한 금속충격 감시계통 경보신호에 대한 원인점검을 위해 원자로를 수동으로 정지하였다. 이후 원자로 냉각재계통을 냉각하는 과정 중 증기발생기 C 주증기관 저압력 신호로 안전주입이 발생하였고, 이 과도상태에서 가압기 압력방출탱크 파열판이 파열되어 원자로냉각재 일부가 격납건물 내부로 방출되었다.[9][10]
- (2) 사건 조사결과 보고서에 의하면 금속충격감시계통 경보신호는 증기발생기 A의 관관 상부 환형공간부에서 회수된 단추 형태 금속 이물질이 원인으로, 이는 2011년도 계획예방정비의 증기발생기 습분분리기 교체 작업에서 사용된 조명등

거치용 자석인 것으로 평가되었다. 이와 함께 안전주입은 정지후 냉각과정에서 운전미속에 의한 과도한 증기 방출 및 절차서 단계 미준수 등의 인적오류 영향으로 증기발생기 C 주증기관의 압력이 저하되어 발생하였다.[9][10]

타. 한울6호기 계획예방정비 중 부적절한 안전주입

- (1) 2012년 11월 26일(월) 01:03분, 계획예방정비 중인 한울6호기에서 가압기 저압력 안전주입 작동신호가 발생하여 안전주입계통 A, B 계열 및 비상디젤발전기 A, B 계열이 자동기동 되었다.[9][10]
- (2) 사건 보고서에 의하면 계획예방정비 기간 중 수행한 정기시험인 발전소보호계통 교정 작업 과정에서 정비원이 교정 및 기능시험 완료 후 계통 복귀 절차를 누락하여 가압기 저압력 설정치가 부적절하게(111kg/cm²) 설정되어 있었으며, 사건 당일에 주제어실 운전원도 가압기 저압력 설정치 확인 절차를 누락하여, 종합운전 절차에 따라 원자로 운전모드 4에서 원자로냉각재계통을 승압하는 과정 중 안전주입 우회신호가 해제되는 가압기 압력 35kg/cm²에 도달하는 즉시 부적절한 안전주입이 발생한 것으로 확인되었다.[9][10]
- (3) 안전주입 발생 직후, 주제어실 운전원은 가압기 수위와 압력이 증가되었고, 격납용기 압력의 변동이 없는 것을 확인하여 부적절한 안전주입으로 진단하고 발전소 안정화를 위해 안전주입계통 및 비상디젤발전기 수동정지 등 비정상절차서(SIAS 오동작)에 따라 필요한 조치를 수행하였다. 그러나 발전소를 안정화하는 과정에서 비정상절차서 내 조치사항의 비순차적 수행 및 이에 따른 운영 기술지침서 운전제한조건 적용 등 일부 부적절한 사항이 확인되었다.[9][10]

카. 월성1호기 안전모션 저전압 및 발전기 정비를 위한 원자로 수동정지

- (1) 2012년 10월 29일(월) 21:29분, 월성1호기 정상출력 운전 중 등급 3 모션 E계열 저전압에 의해 예비디젤발전기 #1이 자동기동 되었고, 약 10분후 발전기 보호계전기 동작으로 터빈-발전기가 정지되었으며, 원자로는 60% 상태로 유지되었다. 이후 발전기 정비를 위해 10월 30일 21:00분에 원자로를 수동 정지하였다.[9][10]
- (2) 사건 보고서에 의하면 등급 3 모션 저전압은 인적오류 즉, 예비디젤발전기 공급측 차단기의 계전기 상태확인을 지시받은 운전원이 확인대상이 아닌 가압되어 운전 중인 인입 차단기반의 계기용 변성기를 인출하여 발생하였다. 등급 3 모션 저전압에 의해 해당 모션의 예비디젤발전기가 기동하였으며, 해당 모션에 연결되었

던 발전기 고정자냉각수펌프가 정지되었고, 대기 중인 펌프는 냉각수 유량스위치 작동불량으로 자동기동에 실패, 약 5분간 발전기 고정자 냉각기능이 상실되었다. 그 결과, 고정자 권선지락에 의한 보호계전기 작동으로 발전기가 정지된 것으로 확인되었다. 발전기 점검 결과, 발전기 B상의 고정자 권선 절연 손상과 냉각수실 균열 및 고정자 권선 절연테이프 용융흔적이 확인되었다.[9][10]

파. 고리1호기 계획예방정비 중 소외전원상실 및 비상디젤발전기 기동실패에 의한 교류전원 완전상실

- (1) 2012년 2월 9일(목) 20:34분, 고리1호기 발전기 보호계전기 시험 중 외부전원의 상실 및 비상발전기 기동실패로 발전소 전력공급이 중단되었고, 대기중인 외부전원으로 전력공급이 재개될 때까지 12분간 전력공급 중단상황 지속되었다.[9][10]
- (2) 사건 보고서에 따르면 정전사건 당시 외부전원 1개 회선과 1개의 비상디젤발전기 B, 대체수동발전기가 전력공급이 가능한 상태였으며 3개의 외부전원 회선 중 ①·②번 회선이 정비 중이고, ③번 회선이 보호계전기 시험 중 시험원의 인적오류로 시험 중 2개 채널이 동시에 개방되어 외부전원 차단 차단되어 외부전원이 상실되었다. 이후 12분 만에 정비중이던 외부전원 ①번을 연결하여 전력공급 재개하였다.[9][10]

하. 한울1호기 복수기 진공상실에 의한 터빈 발전기 및 원자로 자동 정지

- (1) 2011년 12월 13일 20:05분, 한울1호기 전 출력 정상운전 중, 보조보일러 주기시험 과정에서 복수기 진공 상실에 의하여 터빈-발전기/원자로가 자동 정지하였다.[9][10]
- (2) 사건 보고서에 의하면 보조보일러 주기 시험을 위한 복수기 공기 추출기 증기공급 밸브 개방 과정에서 복수기 공기배출 차단 밸브가 의도하지 않게 자동 개방되었고, 운전원이 이를 인지하지 못한 상태 시험을 종료하였으며, 복수기 공기배출 차단밸브가 개방상태로 유지됨에 따라 복수기 진공이 상실되었다. 복수기 진공 상실에 따라 터빈/원자로는 설계된 바대로 적절하게 정지하였다.[9][10]
- (3) 복수기측 밸브가 개방 상태로 유지하게 된 원인은 공기 추출기 밸브 시험 절차서의 미흡, 시험원의 시험 중 주의사항에 대한 확인누락, 기기 자동 연동 기능에 대한 운전원의 인지미흡, 취약시간대 작업, 소음 등 열악한 작업환경으로 평가한다.[9][10]

거. 고리3호기 계획예방정비 중 인적오류로 인한 지락으로 고리3,4호기 안전모선 저전압 및 비상디젤발전기 기동

- (1) 2011년 4월 19일 13:43분, 고리3호기 계획예방정비 중 터빈건물 내의 13.8kV 상비분리모선 점검과정에서 정비원의 인적오류로 인하여 순간 지락이 발생하였다. 당시 스위치야드 차단기 점검을 위하여 고리 3,4호기의 소외전원공급선로가 2개 중 1개만 운전 가능한 상태였으므로, 지락으로 인하여 4.16kV 안전모선 A/B 계열로 공급되는 모든 소외전원이 차단되어 3/4호기 안전모선에 저전압 신호가 발생하였다. 저전압신호 발생에 따라 비상디젤발전기는 자동 기동되어 안전모선에 전원을 정상 공급하였으나, 4호기 EDG-A는 자동기동 후, 전원공급기능 이상으로 약 7분 지연되어 수동으로 안전모선 A계열로 전원을 공급하였다.[10]
- (2) 사건 보고서에 의하면 계획예방정비중인 3호기와 정상운전중인 4호기의 전력계통 과도현상으로 인하여 계통/기기가 정지후 재기동하는 등의 영향을 받았으며, 기기의 작동 상태는 전반적으로 적절하여 3호기는 안정된 정지 상태, 4호기는 정상출력운전을 유지하였다.[9][10]

너. 신고리1호기 원자로 영출력 노물리 시험중 핵비등 이탈률 저신호에 의한 원자로 정지

- (1) 2011년 1월 25일(화) 07:34분, 신고리1호기 원자로특성시험 수행 중 노심보호 연산기의 핵비등이탈률-저 신호에 의하여 원자로가 자동 정지하였다.[9][10]
- (2) 사건 보고서에 의하면 제어봉제어능 측정 시험시, 시험원의 인적오류로 인하여 노심보호 연산기 트립 우회설정을 누락한 상태에서 조절제어봉-1그룹을 삽입함에 따라 원자로 정지 신호(Lo DNBR)가 발생하였다. 또한 이 사건은 원자로특성 시험과정에서 시험요원 및 감독자의 판단오류에 기인한 확인절차 이행 미흡, 그리고 후속 수행 절차서에 명시된 초기조건 절차 미준수에 기인한 인적오류가 원인인 것으로 확인되었다.[9][10]

더. 한빛5호기 계획예방정비 중 안전모선 저전압에 의한 비상디젤발전기 자동기동

- (1) 2010년 12월 29일(수) 14:09분, 계획예방정비 중인 한빛5호기에서 4.16kV 안전모선 A계열 보호계전기가 동작하여, 안전모선 A계열이 순간 정전되고 비상디젤발전기가 자동 기동되었다.[9][10]
- (2) 현장조사 결과, B계열 차단기실 13.8kV 비안전모선차단기의 보호계전기 점검 중

작업자의 인적오류로 기기를 혼동하여 안전모션 A계열 보호계전기를 오조작하였고, 이에 따라 안전모션 A계열 보호계전기가 동작하여 안전모션 A계열이 순간 정전이 되었고, 비상디젤발전기가 자동 기동된 것으로 평가되었다.[9][10]

- (3) 정비작업자가 점검 대상 기기를 혼동하여 오조작한 원인 및 기여요소는 피로 누적, 협소한 작업 환경, 주의 소홀, 낮선 작업환경, 동시에 A, B계열 차단기 점검을 함에 따른 혼동 등으로 평가되었다. 정비작업자가 안전모션 A계열 차단기 점검 후 보호계전기를 인출/삽입하는 과정에서 회로 접촉부의 순간적인 접촉 불일치로 안전모션 보호계전기가 동작하였고, 이에 따라 안전모션 A계열이 순간 정전되었으며, 안전모션 A계열의 비상디젤발전기가 자동 기동되었다.[9][10]

러. 신고리1호기 시운전중 원자로냉각재의 원자로건물 살수

- (1) 2010년 9월 17일(금) 14:17, 신고리1호기 시운전 중 원자로건물 살수격리밸브가 비정상적으로 개방되어 원자로냉각재가 원자로건물 내부로 살수되었다.[9][10]
- (2) 사건 보고서에 의하면 원자로건물 내 원자로냉각재 살수로 인해 RCS 압력과 재고량이 급격하게 감소하였고, RCS 압력과 수위의 감소를 인지함에 따라 운전원은 안전주입을 수동으로 작동하여 원자로냉각재계통을 충수하였다.[9][10]
- (3) 사건원인 관련하여 운전원과 정비원의 부적절한 인적행위와 운전절차서의 부적절성이 복합적으로 작용하여 원자로건물 살수격리밸브가 개방됨을 확인하였다.[9][10]

머. 신고리 1호기 시운전중 증기발생기 저수위로 인한 원자로정지

- (1) 2010년 8월 27일(금) 10:39분, 원자로출력 50%로 시운전중인 신고리 1호기에서 터빈/발전기 Runback 신호가 발생하여 발전기 출력이 3MWe(0.3%)까지 비정상적으로 감소하였고, 약 10분후 주급수펌프가 모두 정지하여 ‘증기발생기 저수위’가 발생하여 원자로가 자동 정지하였다.[9][10]
- (2) 사건 보고서에 의하면 발전기 냉각수 유량 조절과 관련된 운전원의 인적 오류로 인하여 터빈/발전기 출력감발(Runback) 신호가 발생하였으며, 발전기 제어계통의 부적절한 출력감발을 설정치로 인하여 발전기출력이 과도하게 감소하였고(0.3%), 과도한 발전기 출력 감발이 탈기압력 상실 및 주급수펌프 정지를 유발하였으며, 주급수펌프 정지에 따른 증기발생기 저수위로 원자로가 정지하였음을 확인하였다.[9][10]

2. 노형별 주요 유형 분석

인적실수에 의한 고장사건은 WH형 7건, 표준형 6건, CANDU형 5건, Framatome형 1건이며 인적실수사건 비율은 CANDU형(1.25/호기), WH형(1.17/호기), Framatome형(0.5/호기), 표준형원전(0.43/호기) 순으로 나타난다.

[표 3-3] 노형별 인적실수 사건 현황

	WH형	표준형	CANDU형	Framatome형
신월성 2호기		○		
한빛 1호기	○			
한빛 2호기	○			
월성 3호기			○	
한빛 2호기	○			
월성 4호기			○	
월성 4호기			○	
월성 4호기			○	
한빛 2호기	○			
고리 4호기	○			
한울 6호기		○		
월성 1호기			○	
고리 1호기	○			
한울 1호기				○
고리 3호기	○			
신고리 1호기		○		
한빛 5호기		○		
신고리 1호기		○		
신고리 1호기		○		
합계	7	6	5	1

인적실수 사건 발생 당시 수행내용을 분석해보면 정주기 시험 7건, 운전 5건, 작업 및 점검 4건, 연료이송 2건, 시운전 1건이다.

[표 3-4] 노형 VS 수행내용 분석결과

노형	오류 발생 당시 수행 작업	발생 시점	시험	운전	점검	연료 이송	시험 운전	합계
WH	13.8kV 비안전모션 고압차당기반 교체 후 개체 시험	계획예방 정비	○					7
	13.8kV 상비분리모션 점검	계획예방 정비			○			
	발전기 보호계전기 시험	계획예방 정비	○					
	냉각 운전	고온대기		○				
	원자로 특성시험	임계상태	○					
	증기발생기 수위 수동 제어	출력운전		○				
	중앙냉방기 교체 운전+비안전모션 저전압 복구운전	출력운전		○				
CAN DU	냉각 및 감압운전	계획예방 정비		○				5
	냉각 운전	고온정지		○				
	SDG(예비디젤발전기) 정기시험 후 점검	출력운전			○			
	사용후 핵연료 잡음 작업	출력운전				○		
	신연료 다발 이송 작업	출력운전				○		
Framatome	보조보일러 주기시험	출력운전	○					1
표준형	발전소보호계통 교정 작업 (정기시험)	계획예방 정비	○					6
	차단기 점검	계획예방 정비			○			
	재임계 준비단계+열적과부하 보호장치 주기시험	고온정지					○	
	원자로 영출력 시험	기동	○					
	제어로직 임시변경 작업	계획예방 정비			○			
	출력상승 시험중	출력운전	○					
합계			7	5	4	2	1	19

인적실수 사건 발생 원인분석결과에 따른 수행자를 분석해보면 운전원 8건, 정비원 4건, 운전원 및 정비원 4건, 운전원 및 정비원, 감독자 등에 의한 3건이 있다.

[표 3-5] 노형 VS 수행자별 분석결과

노형	오류 발생 당시 수행 작업	발생 시점	운전원	정비원	운전원 정비원	운전원 정비원 감독자	정비원 감독자	합계
WH	13.8kV 비안전모선 고압차당기반 교체 후 개체 시험	계획예방 정비					○	7
	13.8kV 상비분리모선 점검	계획예방 정비		○				
	발전기 보호계전기 시험	계획예방 정비		○				
	냉각 운전	고온대기			○			
	원자로 특성시험	임계상태				○		
	증기발생기 수위 수동 제어	출력운전	○					
	중앙냉방기 교체운전+비안전모선 저전압 복구운전	출력운전	○					
CANDU	냉각 및 감압운전	계획예방 정비	○					5
	냉각 운전	고온정지			○			
	SDG(예비디젤발전기) 정기시험 후 점검	출력운전	○					
	사용후 핵연료 잡음 작업	출력운전	○					
	신연료 다발 이송 작업	출력운전	○					
Framatome	보조보일러 주기시험	출력운전	○					1
표준형	발전소보호계통 교정 작업 (정기시험)	계획예방 정비			○			6
	차단기 점검	계획예방 정비		○				
	재임계 준비단계+열적과부하 보호장치 주기시험	고온정지			○			
	원자로 영출력 시험	기동				○		
	제어로직 임시변경 작업	계획예방 정비		○				
	출력상승 시험중	출력운전	○					
합계			8	4	4	2	1	19

인적실수사건에 기여한 각 노형별 주요 오류 유발인자는 작업환경(21)→업무요구사항(17)→개인역량(16)→인간본성(6) 순으로 나타나며 그 중 업무미숙, 반복 업무, 작업 목표 불명확, 다중작업 등이 두드러지는 원인이었다.

[표 3-6] 노형 VS 오류 유발인자

오류 유발인자 (TWIN)	WH	CANDU	Framatome	표준형 원전	합계
업무요구사항(T)	2 (3.3%)	7 (11.7%)	1 (1.7%)	7 (11.7%)	17 (28.3%)
작업환경(W)	4 (6.7%)	10 (16.7%)	1 (1.7%)	6 (10.0%)	21 (35.0%)
개인역량(I)	4 (6.7%)	4 (6.7%)	1 (1.7%)	7 (11.7%)	16 (26.7%)
인간본성(N)	1 (1.7%)	2 (3.3%)	-	3 (5.0%)	6 (10.0%)
합계	11 (1.7%)	23 (38.3%)	3 (5.0%)	23 (38.3%)	60 (100%)

[표 3-7] 노형 VS 오류 유발인자(2건 이상 항목)

오류 유발인자 (TWIN)	WH	CANDU	Framatome	표준형 원전
업무요구사항(T)	-	반복 업무 작업 기준 불명확	-	다중 작업 시간압박
작업환경(W)	혼동되는 표시/제어장치	열악한 작업환경 혼동되는 표시/제어장치	-	-
개인역량(I)	업무미숙/ 처음수행	-	-	숙련도 부족/ 무경험 업무미숙/ 처음수행
인간본성(N)	-	-	-	가정

인적실수사건에 기여한 각 노형별 방어(방벽) 취약점을 살펴보면 절차서/프로그램 (25)→감독방법(15)→관리방법(6)=인간-시스템 연계(6) 순으로 나타나며 그 중 관리자 요구사항과 미부합, 현장입회 미흡, 미숙련 작업자 등의 원인이 나타났으며 노형별 공통적으로 절차서 품질 미흡, 교육훈련 미흡 등을 확인하였다.

[표 3-8] 노형 VS 방어(방벽) 취약점

방어(방벽) 취약점	WH	CANDU	Framatome	표준형 원전	합계
감독방법	7 (13.5%)	4 (7.7%)	-	4 (7.7%)	15 (28.8%)
관리방법	1 (1.9%)	2 (3.8%)	-	3 (5.8%)	6 (11.5%)
인간-시스템 연계	3 (5.8%)	3 (5.8%)	-	-	6 (11.5%)
절차서/프로그램	4 (7.7%)	8 (15.4%)	1 (1.9%)	2 (23.1%)	25 (48.1%)
합계	15 (28.8%)	17 (32.7%)	1 (1.9%)	17 (36.5%)	52 (100%)

[표 3-9] 노형 VS 방어(방벽) 취약점(2건 이상 항목)

방어(방벽) 취약점	WH	CANDU	Framatome	표준형 원전
감독방법	관리자 요구사항과 부합 현장입회 미흡	-	-	훈련된/유자격 작업자
관리방법	-	-	-	충분히 공유된 계획
인간-시스템 연계	바리케이드/방벽	-	-	-
절차서/ 프로그램	-	교육 훈련 절차서 품질	-	교육훈련 작업 계획 절차서 품질

인적실수사건에 기여한 각 노형별 인적오류예방기법 미활용을 분석해 보면 기본적인적오류예방기법은 자기진단(7)→절차서 사용 및 준수(6)→사전업무검토(4)→불확실시 중지(3)→사전점검(2)→의문을 갖는 태도(1)=3-WAY Communication(1) 순으로 조건부 인적오류예방기법은 작업전 회의(3)→독립확인(2)=동료점검(2)→동시확인(1)=수행단계표시(1)=인수인계(1) 순의 미활용 되었음을 알 수 있었다.

[표 3-10] 노형 VS 인적오류예방기법 미활용

인적오류예방기법		WH	CANDU	Framatome	표준형 원전	합계
기본적 인적오류 예방 기법	3-WAY Communication	-	1	-	-	1(2.9%)
	불확실시 중지	1	2	-	-	3(8.8%)
	사전업무검토	2	-	1	1	4(11.8%)
	사전점검	-	1	-	1	2(5.9%)
	의문을 갖는 태도	-	1	-	-	1(2.9%)
	자기진단	1	2	-	4	7(20.6%)
	절차서 사용 및 준수	3	-	1	2	6(17.6%)
	총 합계(건/백분율)	7(20.6%)	7(20.6%)	2(5.9%)	8(23.5%)	24(70.6%)
조건부 인적오류 예방 기법	독립확인	-	-	-	2	2(5.9%)
	동료점검	-	-	-	2	2(5.9%)
	동시확인	-	-	-	1	1(2.9%)
	수행단계표시	-	-	1	-	1(2.9%)
	인수인계	-	-	-	1	1(2.9%)
	작업전 회의	1	-	-	2	3(8.8%)
	총 합계(건/백분율)	1(2.9%)	0(0%)	1(2.9%)	8(23.5%)	10(29.4%)
총 합계(건/백분율)		8(23.5%)	7(20.6%)	3(8.8%)	16(47.1%)	34(100%)

오류모드(부적절한 행위 원인)에서는 규칙기반오류(14)와 지식기반오류(14)가 약 80%이상을 차지하는 것으로 확인되었으며 교육훈련 미흡(6)이 가장 높은 오류모드로 분석되었다.

[표 3-11] 노형 VS 오류 모드(부적절한 행위 원인)

오류모드 (부적절한 행동 : 추정)		WH	CANDU	Framatome	표준형 원전	합계
숙련기반 오류	인지하지 못함	-	2	-	-	2(6.3%)
	집중방해/간섭	1	-	-	-	1(3.1%)
	합계	1	2	0	0	3(9.4%)
규칙기반 오류	공간인지 오류	1	-	-	1	2(6.3%)
	부적절한 작업지시	-	-	-	2	2(6.3%)
	사고방식(고정관념)	1	-	-	1	2(6.3%)
	습관	-	-	-	1	1(3.1%)
	잘못된 가정	1	-	-	1	2(6.3%)
	정보해석 오류	-	1	-	-	1(3.1%)
	지름길 선택	3	1	-	-	4(12.5%)
	합계	6	2	0	6	14(43.8%)
지식기반 오류	교육훈련 미흡	1	3	-	2	6(18.8%)
	업무수행능력 미숙	-	1	-	2	3(9.4%)
	직무수행기준 미흡	-	1	1	3	5(15.6%)
	합계	0	5	1	7	14(43.8%)
부적절한 의식상태	기억력의 착오	1	-	-	-	1(3.1%)
	합계	1	0	0	0	1(3.1%)
		9(28.1%)	9(28.1%)	1(3.1%)	13(40.6%)	32(100%)

3. 수행자별 주요 유형 분석

인적실수 사건에 기여한 오류 유발인자는 운전원(40)→정비원(19)→감독자(1) 순으로 발생하였으며 운전원의 오류 유발인자가 정비원 및 감독자의 유발인자보다 더 많은 것으로 확인되며 그 중 시간압박, 열악한 작업환경, 숙련도 부족 등이 운전원에 대한 주요 오류 유발인자이고, 작업 기준 불명확, 업무미숙 등이 정비원의 주요 오류 유발인자로 분석되었다.

[표 3-12] 수행자 VS 오류 유발인자

오류 유발인자 (TWIN)	운전원	정비원	감독자	합계(건/%)
업무요구사항(T)	9(15%)	7(11.7%)	1(1.7%)	17(28.3%)
작업환경(W)	15(25%)	6(10%)	-	21(35%)
개인역량(I)	11(18.3%)	5(8.3%)	-	16(26.7%)
인간본성(N)	5(8.3%)	1(1.7%)	-	6(10%)
합계	40(66.7%)	19(31.7%)	1(1.7%)	60(100%)

[표 3-13] 수행자 VS 오류 유발인자(2건 이상 항목)

오류 유발인자 (TWIN)	운전원	정비원	감독자
업무요구사항(T)	시간압박 작업 기준 불명확	작업 기준 불명확	-
작업환경(W)	열악한 작업환경 흔동되는 표시/제어장치	흔동되는 표시/제어장치	-
개인역량(I)	숙련도 부족/무경험 업무미숙/처음수행 안전불감증 직무지식 부족	업무미숙/처음수행	-
인간본성(N)	가정	-	-

운전원과 정비원의 공통적인 방어(방벽) 취약점은 절차서 품질인 것으로 확인되었고, 운전원과 관련된 주요 방벽 취약점은 관리자 요구사항과 미부합, 교육훈련 미흡 등이며, 정비원 관련 방벽 취약점은 현장입회 미흡, 미숙련 작업자 투입 등으로 확인되었다.

[표 3-14] 수행자 VS 방어(방벽) 취약점

방어(방벽) 분류	운전원	정비원	감독자	합계(건/%)
감독방법	7(13.5%)	7(13.5%)	1(1.9%)	15(28.8%)
관리방법	4(7.7%)	2(3.8%)	-	6(11.5%)
인간-시스템 연계	5(9.6%)	1(1.9%)	-	6(11.5%)
절차서/프로그램	13(25.0%)	11(21.2%)	1(1.9%)	25(48.1%)
합계	29(53.8%)	21(40.4%)	2(3.8%)	52(100%)

[표 3-15] 수행자 VS 방어(방벽) 취약점(2건 이상 항목)

방어(방벽) 분류	운전원	정비원	감독자
감독방법	관리자 요구사항과 부합	현장 입회 훈련된/유자격 작업자	-
관리방법	충분히 공유된 계획	-	-
인간-시스템 연계	-	-	-
절차서/프로그램	절차서 품질 교육훈련	절차서 품질 교육훈련 작업계획 작업일정	-

운전원과 정비원에 대한 활용도가 낮은 공통적인 인적오류예방기법은 자기진단, 절차서 사용 및 준수로 확인되었고, 그 외에 운전원은 불확실시 중지 기법, 정비원은 사전업무검토에 대한 활용도가 낮은 것으로 분석 되었다.

[표 3-16] 수행자 VS 인적오류예방기법 미활용

인적오류예방기법		운전원	정비원	감독자	합계
기본적 인적오류 예방기법	3-WAY Communication	1	-	-	1(2.9%)
	불확실시 중지	3	-	-	3(8.8%)
	사전업무검토	1	3	-	4(11.8%)
	사전점검	1	1	-	2(5.9%)
	의문을 갖는 태도	1	-	-	1(2.9%)
	자기진단	3	4	-	7(20.6%)
	절차서 사용 및 준수	3	3	-	6(17.6%)
	총 합계(건/백분율)	13(38.2%)	11(32.4%)	0	24(70.6%)
조건부 인적오류 예방기법	독립확인	-	1	1	2(5.9%)
	동료점검	-	2	-	2(5.9%)
	동시확인	1	-	-	1(2.9%)
	수행단계표시	1	-	-	1(2.9%)
	인수인계	1	-	-	1(2.9%)
	작업전 회의	1	2	-	3(8.8%)
	총 합계(건/백분율)	4(11.8%)	5(14.6%)	1(3.0%)	10(29.4%)
총 합계(건/백분율)		17(50.0%)	16(47.0%)	1(3.0%)	34(100%)

[표 3-17] 수행자 VS 오류 모드(부적절한 행위 원인)

오류모드 (부적절한 행동 : 추정)		운전원	정비원	감독자	합계
숙련기반 오류	인지하지 못함	1	1	-	2(6.3%)
	집중방해/간섭	1	-	-	1(3.1%)
	합계	2	1	0	3(9.4%)
규칙기반 오류	공간인지 오류	-	2	-	2(6.3%)
	부적절한 작업지시	1	-	1	2(6.3%)
	사고방식(고정관념)	2	-	-	2(6.3%)
	습관	1	-	-	1(3.1%)
	잘못된 가정	1	1	-	2(6.3%)
	정보해석 오류	1	-	-	1(3.1%)
	지름길 선택	3	1	-	4(12.5%)
	합계	9	4	1	14(43.8%)
지식기반 오류	교육훈련 미흡	3	3	-	6(18.8%)
	업무수행능력 미숙	2	1	-	3(9.4%)
	직무수행기준 미흡	2	3	-	5(15.6%)
	합계	7	7	0	14(43.8%)
부적절한 의식상태	기억력의 착오	-	-	-	1(3.1%)
	합계	0	0	1	1(3.1%)
		18(56.3%)	12(37.5%)	2(6.3%)	32(100%)

제4장 결론

제1절 인적실수 사건 분석 요약

1. 노형·수행자별 주요 유형 분석

가. 오류 유발인자(TWIN)

앞서 노형별·수행자별 주요 유형 분석결과를 바탕으로 [표 3-6], [표 3-7], [표 3-12], [표 3-13]을 살펴보면 오류 유발인자 중 작업환경(W)이 35.0%의 비율로 가장 큰 비율을 보였으며 그 중 혼동되는 표시 및 제어장치, 열악한 작업환경이 두드러지는 원인으로 보였다.

(1) 혼동되는 표시 및 제어장치

- 설비 작동상태 확인 불가, 관련 운전변수가 지시되지 않음
- 표시장치의 비논리적 배치
- 설치된 인간-시스템 연계 장치(지시계, 기록계 등)나 제어장치, 라벨 등이 서로 인접해 있거나 구분이 어려워 정비원 혹은 운전원에서 혼란을 유발

(2) 열악한 작업환경

- 정비 혹은 운전엔 필요한 도구 부재
- 작업장 조도 및 소음으로 인한 작업 방해
- 계통 상태나 설비의 상태를 확인하기 위한 정보 부재
- 계획되지 않은 작업환경(인원, 작업범위, 작업시간, 부서 등)의 변화는 오류 발생 확률을 증가시킴

업무요구사항(T)은 28.3%의 비율로 두 번째로 높은 오류 유발인자로 보였으며 그 중 작업 기준 불명확, 다중작업/시간압박이 원인이었다.

(1) 작업 기준 불명확

- 작업 목적이나 요구사항이 분명하지 않으며 세부 내용이나 지침이 부재
- 작업 관련 명확한 설명이나 현장 파악이 미흡한 상태에서 업무 수행시 오류 발생 확률이 증가

(2) 다중작업/시간압박

- 여러 업무를 동시에 수행할 경우 주의력이 분산되고 정신적 과부하 발생
- 업무의 긴급성 및 시급성 때문에 과도하게 업무를 진행할 경우 손쉬운 방법(절차 미수행 혹은 무시)을 사용하거나 부적절한 추가 인원(작업 미숙련자 등) 투입

입 등이 발생

개인역량(I)은 26.7%의 비율로 업무미숙/처음수행, 숙련도 부족/무경험, 직무지식 부족 등을 원인으로 확인하였다.

(1) 업무미숙/처음수행

- 정비원 혹은 운전원이 업무를 처음으로 수행하거나 수행경험이 없어서 혹은 적어서 해당업무에 익숙하지 않음
- 설비, 설계, 절차서 내용 변경 등으로 인해 처음으로 경험해야 하는 상태에서 오류발행 확률 증가

(2) 숙련도 부족/무경험

- 정비 혹은 운전 수행 빈도가 낮아서(부하탈락 시험, 비상운전, 절차서에 없는 비정상 상황대응 등) 업무관련 지식이나 기술이 부족한 상태

(3) 직무지식 부족

- 업무수행에 필요한 실무지식, 작업방법, 설비특성, 초기조건 등에 대한 숙지가 미흡한 상태에서 작업수행시 오류 발생 확률이 증가

인간본성(N)은 10.0%로 오류 유발인자 중 가장 낮은 비율을 보였으며 가정/추측이 가장 큰 원인이었다.

(1) 가정/추측

- 정확한 사실 확인이 없이 부정확한 정신적 상태에서 업무 수행
- 절차나 지침 등의 확인 없이 최근 성공적인 경험에 근거하여 자의적 해석에 의한 업무수행

나. 방어(방벽) 취약점

앞서 노형별·수행자별 주요 유형 분석결과를 바탕으로 [표 3-8], [표 3-9], [표 3-14], [표 3-15]를 바탕으로 방어(방벽) 취약점 중 절차서/프로그램이 48.1%의 비율로 가장 큰 비율을 보였으며 그 중 교육훈련, 절차서 품질, 작업계획·일정 등이 두드러지는 원인으로 보였다.

(1) 교육훈련

- 경험과 판단력 배양을 위해 필요한 공통, 리더십, 원인분석, 커뮤니케이션 등 다양한 훈련이 있어야 하며 교육 유효성, 품질, 효과성에 대한 주기적평가가 필요하며 발전소 안전성과 신뢰성을 지원하기 위한 지식과 능력을 유지, 발전 시키기 위하여 필요한 개인 또는 조직은 기본 또는 필수과정을 균등하게 받도

록 해야 함

(2) 절차서 품질

- 내용, 정확성, 유효성 등 필요기준과 정보가 충분히 반영되어 있으며 내용은 작업자의 혼동을 주거나 주관적 해석이나 판정을 요구하지 않도록 기술적, 형식적으로 품질이 높아야 함
- 절차서 유효성평가를 통해 항상 최신본으로 관리되어야 하며 사용편의성, 정확성, 신뢰성이 낮을 경우 절차서 불신으로 절차서를 준수하지 않고 작업자 경험에 의한 절차서 미준수, 절차 위반 행위가 지속적으로 전개될 수 있음

(3) 작업 계획·일정

- CAP 성능저하 항목, 사건유발 고장설비, 비효율적 작업관리 분야, 인적행위 개선 잠재 항목 등 체계적 작업관리, 반영, 피드백 될 수 있어야 함
- 계획예방정비 중 동일 작업현장에 다중 작업이 동시에 진행되어 작업자들에게 작업 위치, 작업 대상 등에 대한 혼동과 작업 수행시 집중도 저하 유발
- 촉박한 작업일정으로 작업자들이 서두르게 됨에 따라 작업 준비 부족 현상이 발생

감독방법은 28.8%의 비율로 두 번째로 높은 방어(방벽) 취약점으로 확인하였으며 그 중 관리자 요구사항과 미부합, 현장 입회 미흡, 미숙련 작업자 투입이 원인이었다.

(1) 관리자 요구사항과 미부합

- 관리자 혹은 감독자는 작업자에게 적절한 절차와 지침에 따라 지시하지 않고 자의적 판단에 의하여 업무를 지시함
- 작업자가 관리자 혹은 감독자에게 보고해야 할 사항을 보고하지 않음
- 작업자가 절차서를 사용하지 않고 작업을 수행함

(2) 현장 입회 미흡

- 설비를 직접 건드리는 인적행위는 인적오류 가능성이 항상 내포되어 있으므로 이를 인식하고 적절하게 오류 유발인자를 확인 및 개선하도록 지원하기 위한 현장 입회를 하지 않거나 미흡함

(3) 미숙련 작업자 투입

- 성공적인 직무 수행을 위해 직무 훈련과 자격조건을 갖춘 작업자가 업무를 수행하지 않고, 숙련도가 떨어지거나 훈련받지 못한 작업자가 업무를 수행함

방어(방벽)취약점 중 인간-시스템 연계와 관리방법은 11.5%의 비율로 동일하였으며 인식표/운전방벽 설치 미흡, 공유되지 않은 계획이 원인이었다.

(1) 인식표/운전방벽 설치 미흡

- 주의 부족 등에 의해 기기나 설비 오조작 예방
- 기기의 식별을 위한 색상 구분
- 명패 설치 등과 같은 인식표/운전방벽이 설치되어 있지 않거나 작업전에 설치하지 않음

(2) 공유되지 않은 계획

- 작업 관련 효과적인 의사소통은 생산성 향상 및 사건 예방에 필수요소이나 작업 계획, 변경, 조정 등 작업이 시작하기 전에 작업관련 정보가 신속하고 충분하게 관련자들에게 공유되지 않은 상태에서 작업을 수행함

다. 인적오류예방기법 미활용

인적실수 사건 19건에 대해서 어떠한 인적오류예방기법이 미 활용되어 사건을 유발시켰는지에 대해 [표 3-10], [표 3-16]을 살펴보면 기본적 인적오류예방기법이 70.6%, 조건부 인적오류예방기법이 29.4%를 보였다.

기본적 인적오류예방기법 중 자기진단(20.6%), 절차서 사용 및 준수(17.6%), 사전업무 검토(11.6%) 등이 주요 원인이었으며 조건부 인적오류예방기법 중에는 작업 전회의(8.8%), 독립확인(8.8%), 동료점검(5.9%) 등이 주요 원인이었다.

제2절 개선방안 고찰

1. 인적오류예방기법 내재화

인적오류예방기법을 내재화하여 모든 운전, 정비, 시험 등을 수행할 때 적용한다면 인적실수 제로화에 한걸음 다가갈 수 있다고 본다. 인적실수 사건을 유발한 오류인자 중 50%이상이 운전원으로부터 기여된 것으로 보면 실제로 차단기, 밸브, 핸드스위치 등 발전소 주제어실 및 현장에서 직접 조작하는 운전원에게 인적오류예방기법 내재화는 ‘필수불가결’이라 볼 수 있다.

현재 운전원 대상으로 시행중인 인적오류예방기법 교육은 집합교육으로 이론, 실습 교육을 시행 중에 있으며 E-learning을 통한 교육도 시행중에 있으나 효과는 미비한 것이 현실이다.

인적오류예방기법 교육의 목표는 반복적인 교육을 통해 기법들이 체내화되어 의식하지 않더라도 인적오류예방기법이 사용되게끔 해야 한다. 지금의 이론교육시간과 실습 교육시간의 비율 조정과 현장에서 실제조작을 하는 현장운전원 대상으로 하는 실습교육 비중을 높여서 이론중심의 교육문화가 아닌 실습중심의 교육문화로의 개선이 필요하다고 본다.

2. 운전원 기본수칙 강화

운전원 기본수칙(Operator Fundamentals)에는 발전소 운전변수 및 상태에 대한 철저한 감시(Monitor), 발전소 상태변화에 따른 정확한 제어(Control), 보수적 판단에 따른 발전소 운전(Conservative Bias), 효과적인 팀워크 구축(Teamwork), 발전소 설계 및 공학적 원리에 대한 확실한 이해(Knowledge) 등 5가지로 구분되는 수칙이 있다.

위 5가지 수칙에는 운전원들이 지켜야 할 보직별 역할들이 포함되어 있으며 최근 WANO Guide Line 2016-02(Operations Fundamentals at Nuclear Power Plants), WANO SOER 2013-1(Operator Fundamentals Weaknesses) 등 세계원전사업자협회(WANO)에서 운전원 기본수칙의 중요성 및 강화를 중요하게 이야기 하면서 인적오류 예방기법과 더불어 운전원들이 지켜야할 가장 중요한 수칙으로 자리매김하고 있다.

그러나 아직 운전원 기본수칙에 대한 교육시간과 전문 강사가 부족한 것이 현실이다. 그러므로 교육 실효성을 강화하여 인적오류예방기법과 운전원 기본수칙 전문 강사를 양성하여 현재 운전원들 포함 미래 원자력발전소 운전을 담당할 운전원들의 역량향상에 장기적인 투자와 노력이 필요하다고 생각한다.

3. 운전경험 활용 활성화

최근 10년간의 고장·정지 사건을 분석해본 결과 인적실수 사건은 어느 한 발전소에 서만 집중되어 발생하거나 동일한 작업, 동일한 수행자에게만 일어나는 것이 아니다. 즉, 누구에게나 일어날 수 있고 실수할 수 있는 동일한 상황을 경험할 수 있다는 뜻이다.

지난 고장·정지 사건을 경험삼아 동일한 사건이 발생하지 않도록 재발방지를 할 수 있는 방안을 마련하는 것 또한 인적실수 사건을 줄일 수 있는 방안이라고 고려해 볼 수 있다.

국내 원자력발전소는 원자력안전위원회규칙 제17호 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 제58조 운전경험의 반영, 원자력안전위원회고시 제2018-03호 원자력 이용시설의 사고·고장 발생 시 보고·공개 규정 제13조 자료의 관리, 분석 및 평가 등을 통해 국내·외 운전경험을 활용하고 관리하는 절차가 있다.

발전소에서 경험한 내용을 작성 및 등록하고 공유할 수 있는 원자력기술정보시스템(KONIS)을 통하여 다른 노형, 다른 발전소의 경험내용을 바탕으로 교훈과 시사점을 찾아내어 동일한 상황에서의 올바른, 신속한 조치가 가능하도록 교육활용하고, 필요한 설비들은 점검 및 개선하고, 개선되어야 할 절차서는 품질향상을 통하여 개선시키는 등의 운전경험 활용 활성화를 통해 동일한 사고·고장이 발생하지 않도록 노력해야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 조원출, “원자력발전소 전기설비의 인적오류 영향인자에 관한 연구”, 송실대학교 대학원, 2016
- [2] 전달주, “인적행위에 기초한 원자력발전소 사고·고장 근본원인 분석도구 개발”, 부산대학교 대학원, 2020
- [3] 이용희, 장통일, 오연주, 강석호, 윤종훈. “가동 중 원자력발전소의 인적 오류 예방 기술 개발”, 2011.
- [4] 이용희 외, “원자력 발전소 종사자의 인적 오류 방지를 위한 행동기반 안전프로그램 개발”, 한국원자력연구원 외
- [5] 이동훈 외, “원자력 시설에서의 인적 오류 발생 최소화를 위한 인간공학적 단기대책수립에 관한 연구”, 한국원자력안전기술원 외, 2007
- [6] 김선길, “국내 원전에서 인적오류 저감을 위한 6시그마 기법 적용에 관한 연구”, 울산대학교 산업대학원, 2014
- [7] 송태영 외, “최신 정보기술을 활용한 인적행위 향상기술”, 원자력발전기술원
- [8] 이덕현 외, “원자력시설 규제정보 분석 및 반영체제 구축·운영”
- [9] 원자력안전위원회, 원자력안전정보공개센터, nsic.nssc.go.kr, 2020
- [10] 한국원자력안전기술원, 원전안전운영정보시스템(OPIS), www.opis.kins.re.kr, 2020
- [11] 국가과학기술정보센터, 원자력시설 규제정보 분석 및 반영체제 구축·운영, www.ndsl.kr, 2020
- [12] 한국수력원자력, 열린원전운영정보, npp.khnp.co.kr, 2020
- [13] WANO Performance Objectives and Criteria(PO&C), 2019-1
- [14] WANO, GL 2003-01 “Operating Experience at Nuclear Power Plants”
- [15] WANO, GL 2016-02 “Operations Fundamentals at Nuclear Power Plants”
- [16] WANO, SOER 2013-1 “Operator Fundamentals Weaknesses”
- [17] INPO, 97-011 “Guidelines for the Use of Operating Experience”
- [18] KHNP, 표준운영-2035A “인적오류 예방기법 및 활용”
- [19] KHNP, 표준운영-2035B “인적행위(HU) 관리”
- [20] KHNP, 표준운영-2035C “작업전회의 및 작업후평가”
- [21] KHNP, 표준운영-2036 “운영개선 프로그램”

- [22] KHNP, 표준운영-2038 “국내·외 운전경험 활용 및 관리”
- [23] KHNP, 표준운영-2015A “원전 운영보고 및 정보공개 절차”
- [24] KHNP, 표준행정-9084B “절차서 사용 및 준수”
- [25] KHNP, 원자력기술정보시스템(KHNP Nuclear Information System, KONIS)
- [26] KHNP, 인적행위 개선 시스템(K-HPES)
- [27] 고마츠바라 아키노리, 인적 오류(Human Error), 2016
- [28] 고마츠바라 아키노리, 안전인간공학의 이론과 기술, 2018

감사의 글

2016년 어느 날, 원자력발전소에 입사한지 불과 4년밖에 안된 저에게 조선대학교 대학원 입학이라는 감사한 기회가 찾아왔습니다. 원자력발전소에 근무하고 있지만 원자력, 방사선이라는 학문지식에 부족함을 느끼던 중 오아시스 같은 좋은 소식으로 받아들이고 학습하던 지난 4년이 빠르게 지나가고 어느덧 졸업을 앞두고 있습니다.

2016~2018년 동안 조선대학교 원자력공학과 교수님들께서 영광이라는 먼 지역까지 직접 오셔서 늦은 시간까지 열강을 해주신 덕분에 논문을 작성하는 지금 이순간이 있다고 생각합니다. 교수님들께 고개 숙여 깊은 감사의 말씀을 드립니다. 특히, 2018년 수료 후 2년이 지난 2020년 지금에서야 논문을 작성하고 싶어 논문지도를 요청하고자 오랜만에 연락드렸던 저를 따뜻한 목소리로 반겨주시고 바쁜 시간을 내주시어 논문 초기부터 꾸준히 지도해주신 이경진 교수님께 다시 한 번 깊은 감사의 말씀을 전하고자 합니다. 교수님 덕분에 막막하기만 했던 논문작성을 마무리 할 수 있었습니다.

대학원 진학이라는 좋은 기회를 통해 원자력과 방사선이라는 학문에 좀 더 다가갈 수 있었고 회사업무를 통해 인적오류, 인적행위 등의 분야에 관심을 가질 수 있었습니다. 논문을 작성하면서 더 많은 공부가 필요하다는 것을 느꼈으며 배움에서 성장할 수 있는 사람이 되도록 노력하겠습니다.

마지막으로 지난 4년 동안 제 옆에서 대학원 진학이라는 도전을 지지해주고 육아에 힘쓰면서도 묵묵히 학업을 응원하고 도와주었던 제 아내에게 고마운 마음을 전하고 논문작성을 핑계로 많이 놀아주지 못한 두 딸에게 미안한 마음을 전합니다.