Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 15, No.1, 1996

국내 원자력발전소 인적오류사례의 추이 분석

Analysis of Human Errors Involved in Korean Nuclear Power Plant Trips

이 정 운* · 이 용 희* · 박 근 옥*

ABSTRACT

A total of 77 unanticipated trip cases induced by human errors in Korean nuclear power plants were collected from the nuclear power plant trip event reports and analyzed to investigate the areas of high priority for human error reduction. Prior to this analysis, a classification system was made on the four task-related categories including plant systems, work situations, task types, and error types. The erroneous actions affecting the unanticipated plant trips were indentified by reviewing carefully the description of trip events. Then, the events with erroneous actions were analyzed by using the classification system. Based on the results for the individual cases, human error occurrences were counted for each of the four categories, also for the selected pairs of categories, to find out the relationships between the two categories in aspects of human errors. As a result, the plant systems, work situations, and task types, and error types which are dominant in human error occurrences were identified.

1. 서 론

주요 원자력발전국에서 30%~50%에 달하는 원자력발전소 사건이 인적오류의 개입으로 발생하고 있는 것으로 보고된 바 있다[1, 2]. 이는, 인적오류가 원자력발전소의 안정성과 가동성에 영향을 미치는 매우 중요한 요소임을 의미한다. 미국 TMI-2 원전과 구소련의 체르노빌 원전에서 발생한 사고에 인적오류가 개입되었다는 사실이

* 한국원자력연구소 인간공학연구팀
본 연구는 과학기술처에서 시행한 원자력연구개발 중 · 장기사업으로 수행되었음

밝혀지고 나서, 원자력발전 선진국에서는 1980년대 초반부터 인간공학연구가 매우 활발해졌다. 운전중인 원자력발전소의 제어실 설계 검토 및 개선, 운전지원시스템의 개발, 신형제어실의 설계, 인간공학적 규제요건의 강화, 인적오류의 인지공학적 연구 등, 다방면으로 노력이 이루어져 왔다. 이러한 노력들은 공통적으로, 원자력발전소에서의 인적오류를 줄인다는 목적을 가지고 있다.

원자력발전소에서 발생하는 인적오류를 줄이기 위한 노력에서 중요한 점은, 원자력발전소에서 이루어지는 작업의 특성이 충분히 고려되어야만 효과를 발휘할 수 있다는 점이다. 그러나, 원자력발전소가 대규모의 시스템이고 다양한 작업이 이루어지고 있기 때문에 작업 특성을 충분히 파악하기란 상당히 어려운 일이다. 그동안 개발된 많은 작업지원시스템들이 인적오류 저감을 위해 주목할 만한 결과를 얻지 못한 것은, 원자력발전소에서 이루어지는 실제적인 작업의 분석이 충분치 못했기 때문인 것으로 해석된다. 그리고, 인간이 가지는 작업수행의 다양성, 또한 인적오류를 효과적으로 줄이기 힘든 이유로 작용한다. 비록 원자력발전소 작업을 잘 파악하여 인적오류 저감연구를 수행하였다 하더라도, 작업수행의 다양성으로 인해, 인적오류 저감을 위한 연구가 기대치에 못미친 적용결과를 얻을 가능성이 높다. 이렇듯, 효과적인 인적오류의 저감이 힘들기 때문에, 일반적으로 원자력발전소 상위 관리자들은 종사자들의 지배적 관리와 교육훈련의 강화에 의존하는 경향이 있다. 하지만, 인적오류의 저감을 위해서는, Rasmussen[3]이 언급한 바와 같이, 인적오류는 작업자와 기계, 또는 작업자와 작업간의 불일치에 기인한다는 논리와, Reason[1]이주장한, 인적오류만으로 사건이 발생하는 것이 아니라 이미 잠재적으로 존재하고 있는 잠재적 결함(latent failures)-예를 들면, 잘못 선정된 상위목표, 작업관리체계에서의 결함, 등-과 인적오류가 연계되어 사건에 이른다는 논리에 주목할 필요가 있다. 따라서, 불일치가 일어날 수 있는 작업수행여건, 즉, 작업공간, 인간-기계 interface, 작업절차, 훈련, 작업관리, 작업지원도구, 등에서의 문제점을 발견하여 해결하는 것이 보다 효과적인 인적오류 저감책이라 할 수 있다. 작업수행시의 인적오류 유발 문제점을 파악하기 위해서는 과거에 발생한 인적오류 사례의 분석이 필수적이다.

본 연구는, 국내 원자력발전소에서 발생한 인적오류 사례를 개별적으로 분석하여 문제점을 파악하기 앞서, 인적오류 저감의 우선순위가 높은 대상 작업 및 분야를 모색하기 위해 수행되었다. 우선, 국내 원자력발전소에서 발생한 발전정지사례를 수록한 원자력발전소 발전정지사례집[4]을 검토하여 인적오류가 개입된 불시정지사례를 추출하였다. 작업과 관련된 계통, 작업상황, 작업유형, 인적오류 유형 등의 네가지 범주에 대한 분류체계를 작성하고, 이를 이용하여 인적오류가 개입된 사례에 대한 분석을 수행하였다.

2. 인적오류사례의 추이분석

2.1 인적오류가 개입된 불시정지사례 검출

1984년부터 1993년까지 발간된 원자력발전소 발전정지사례집에 수록된 1978년부터 1992년까지의 사례중 불시정지에 해당하는 255건을 추출하였다. 일반적으로 발전정지에는 연차보수와 같이 계획에 따라 발전정지를 시킨 계획정지와, 그외 기기고장 등에 의해 계획치 않은 발전정지가 발생한 불시정지가 포함된다. 그리고, 일부 초기에 발간된 발전정지사례집에는 발전정지에는 이르지 않고 기기의 비정상상태에 머문 사례들도 수록되어 있다. 따라서, 본 연구에서는 일단 분석대상을 불시정지사례로 국한

하였다. 국내 원자력발전에 관한 통계치를 수록하고 있는 원자력발전년보[5]에 따르면 불시정시사례중 과실에 의한 사례는 34건으로 전체 불시정지사례수의 13% 정도이다. 여기에서는 오조작 등 명백한 과실로 간주되는 경우에만 인적오류로 구분한 것으로 간주된다. 그러나, 본 연구에서는 부적합한 인적행위에 의해 발전소의 정상운전에 저해가 초래된 경우를 인적오류로 정의하고, 이를 기준으로 77건의 불시정지사례가 인적오류가 개입되어 발생한 것으로 판단하였다. 따라서, 본 연구에서의 총 불시정지사례에 대한 인적오류 개입사례 발생률은 30% 정도인 것으로 산출되었다. 그림 1은 본 연구에서 추출한 불시정지사례와 인적오류가 개입된 사례의 연도별 발생건수를 보여주며, 그림 2는 총 불시정지사례중 인적오류가 개입되어 발생한 불시정지 사례의 비율을 연도별로 보여준다.

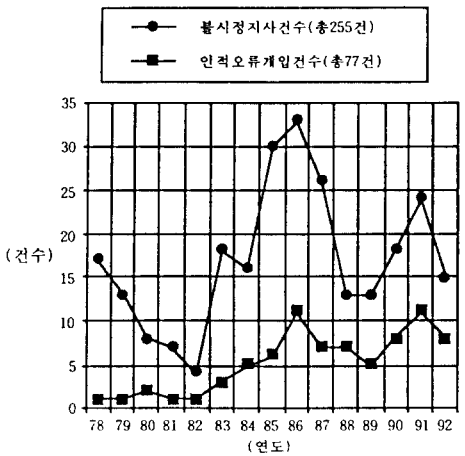

그림 1. 연도별 불시정지건수 및 인적오류가 개입된 불시정지건수

그림 2에서는, 인적오류가 개입되어 발생하는 불시정지의 발생률이 점차 증가하는 경향을 보이고 있다. 이 현상을 좀 더 자세히 파악할 목적으로 원자로 1기당 발생건수를 산출하였다. 그림 3은 원자로 1기당의 불시정지건수와 인적오류 개입건수를 연도별로 나타낸 것이다. 그림 3에서 볼 수 있는 바와 같이, 원자로 1기당 불시정지건수는 줄어드는 경향이 있으나 인적오류 개입사례의 건수는 줄어드는 경향을 보이고 있지 않다. 따라서, 기기제작기술의 발달로 기기고장 등에 의한 불시정지사례수는 줄어드는 반면, 인적오류에 의한 사례수는 줄어드는 추세를 보이고 있지 않아 상대적으로 인적오류에 의한 불시정지사례의 발생률이 증가하는 것으로 해석된다. 이러한 현상은 일본 등, 다른 나라의 경우에도 유사하게 나타난다[6].

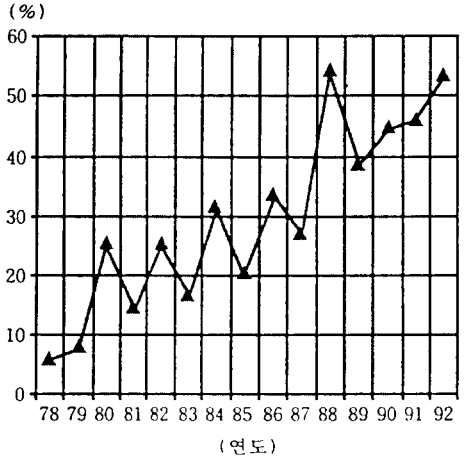

그림 2. 연도별 총 불시정지사례 중 인적오류개입 불시정지사례 발생율

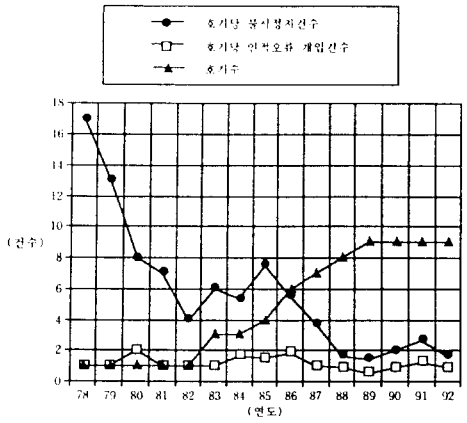

그림 3. 원자로 1기당 연도별 불시정지건수 및 인적오류 개입건수

2.2 분류체계의 작성

위와 같이 추출한 77건의 사례를 원자력 발전소 작업과 관련하여 분석하기 위해, 작업 관련 발전소 계통, 작업유형, 오류유형 등, 네가지 범주에 대한 분류체계를 작성하였다. 표 1은 본 연구에서 작성한 분류체계를 보여준다.

표 1. 오류사례분석에 사용된 분류체계

주계통분류	1차계통	원자로 제어 및 보호계통, 원자로 냉각재 계통, 가압기 제어 및 보호계통, 증기발생기 제어 및 보호계통, 잔열제거계통, 화학체적제어계통, 핵계측계통, 격납용기 진공계통, 공학적 안전설비계통, 일차기기냉각수 계통	
	2차계통	주증기 공급 및 덤프계통, 증기재열 및 추기계통, 보조증기계통, 터빈제어 및 보호계통, 터빈보조계통, 발전기제어 및 보호계통, 발전기 보조계통, 주급수계통, 보조급수계통, 응축 및 복수계통, 순환수계통, 이차냉각수계통, 소내전원공급계통, 전력전송계통	
	기타계통	압축공기계통, 핵연료취급계통, 폐기물처리계통, 공기조화계통, 방사선감시계통, 기타 설비계통	
작업상황분류		정상운전, 정기/주기점검, 긴급유지보수, 계획유지보수, 연차보수	
작업유형분류		제어실 운전, 현장기기운전, 계측제어작업, 기계작업, 전기작업, 기타	
오류유형분류		작업시간상의 잘못	Too Early, Too Late
		작업수행 방식 잘못	Too Fast, Too slow Wrong direction
		작업대상 잘못	train, similar, unrelated
		잘못된 작업순서	순서바꿈
		작업누락	일상점검소홀, 상태표시 확인누락, 경보/비정상태의 원인제거누락, 선행조치누락/다음작업착수, 마무리조치누락, 성능시험누락, 일부대상에 대한 조치누락, 작업전체누락
		작업수행의 정량적 결함	Too much, Too little
		작업수행의 질적결함	청결불량, 기준미달작업, 기준미달자재사용
		잘못된 작업의 수행	영향간과한 잘못된 조치, 의도되지 않은 동작, 불필요한 조치
		기타 작업미숙	운전미숙

발전소 계통의 분류에서는, 상위계통으로 1차, 2차 및 기타계통으로 구분하고, 이들에 대한 상세계통을 분류하였다. 작업시의 상황에 대해서는, 통상적인 원자력발전소 운전(정상운전), 규제에 따른 기기의 점검 및 시험과 기술사양에 규정된 점검 및 시험(정기/주기 점검), 돌발적으로 발생하는 비정상 기기의 보수(긴급유지보수), 발전소 운영계획에 따라 계획된 보수(계획유지보수), 계획유지보수중 연차적으로 핵연료교체시 수행하는 대규모 보수(연차보수)로 구분하였다. 작업유형의 분류에서는, 발전소 시스템에 직접적으로 행해지는 작업을 대상으로 작업자의 직무에 따라 제어실 운전, 현장기기운전, 계측제어작업, 기계작업, 전기작업으로 분류하였으며, 사례집의 내용상 구분이 불분명하거나 발전소 운전과는 관계없는 외부인의 경우를 포함하여 기타로 구분하였다. 오류유형에 대해서는, Swain의 재래식 인간공학적 접근에 의한 분류체계(표 2)[7], information processing 관점에서의 오류분류체계-GEMS(표 3)[1], Rouse의

분류체계(표 4)[8], Rasmussen이 미국 원자력발전소 사례의 분석에 적용했던 분류체계(표 5)[9]- 등의 사용가능한 오류분류체계가 있다.

표 2. Swain의 분류체계

Errors of Omission (intentional or unintentional)	Omits entire step	
	Omits a step in task	
Errors of Commission	Selection error	Selects wrong control.
		Mispositions control(includes reversal errors, loose connection, etc.),
		Issues wrong command or information(via voice or writing)
	Error of sequence	
	Time error	Too early,
		Too late
	Qualitative error	Too little,
		Too much

표 3. GEMS에서의 오류유형분류

Cognitive Control Mode	Error Type
Skill-based Performance	Recency of prior use Frequency of prior use Environmental signals Shared "schema" properties Concurrent plans
Rule-based Performance	Mind-set Knowledge availability Matching bias Oversimplification Over-confidence
Knowledge-based Performance	Selectivity errors Short term memory limitations Bounded rationality Thematic vagabonding Encystment Reasoning by analogy Errors of deductive logic Incomplete mental model Inaccurate mental model

표 4. Rouse의 분류체계

General Category	Specific Category
Observation of system states	a. exessive b. misinterpreted c. incorrect d. incomplete e. inappropriate f. lack
Choice of hypotheses	a. inconsistent with observations b. consistent, but unlikely c. consistent, but costly d. functionally irrelevant
Testing of hypotheses	a. incomplete b. false acceptance of wrong hypothesis c. false rejection of correct hypothesis d. lack
Choice of goal	a. incomplete b. incorrect c. unnecessary d. lack
Choice of procedure	a. incomplete b. incorrrect c. unnecessary d. lack
Execution of procedure	a. step omitted b. step repeated c. step added d. steps out of sequence e. inappropriate timing f. incorrect discrete position g. incorrect continuos range h. incomplete i. unrelated inappropriate action

표 5. Rasmussen이 사용한 분류체계

Error Types
Absent-mindedness
Familiar association
Alertness low
Omission of functionally isolated acts
Other omissions
Mistakes among alternatives
Strong expectation
Side effect(s) not considered
Latent Conditions not considered
Manual variability, lack of precision
Spatial misorientation
Other, unclassifiable

그러나, 이들 오류분류체계는 작업내용과는 독립적인 일반적 오류유형을 구분하고 있거나, 발전정지 보고 내용으로는 판별하기 곤란한 인지적인 사항에 치중하고 있다. 따라서, 기존 분류체계 그대로는, 사례집의 보고자료에 기반을 두고 작업내용을 조사하는 본 연구의 오류유형 분석에는 부적합하다고 판단하였다. 일부 기존의 분류체계를 기반으로 본 연구에 적합하다고 판단되는 오류유형분류표를 작성하였으며 사례분석의 진행에 따라 일부항목을 보완하여 사

용하였다. 특히, 작업누락과 잘못된 작업의 수행 항목에 대해 부적합한 행위의 내용을 판별할 수 있도록 구체화하였으며, 기존 분류체계에는 보이지 않지만 오류행위의 구분상 필요하다고 판단하여, 작업수행의 질적 결함이라는 항목을 추가하고 상세항목을 분류하였다. 그리고, 일부 제어실 운전중의 오류와 같이 작업내용이 구체적이지 못한 경우에 대해서는 작업미숙이라는 용어를 사용하였다. 이와 같은 오류유형분류는 원자력발전소에서 발생가능한 모든 오류유형을 포함하고 있지는 않지만, 추출된 77건의 사례에서 발생한 오류유형을 원자력발전소에서 이루어지고 있는 작업과 관련하여 판별하기에 충분하도록 작성하였다.

2.3 인적오류 발생률 분석

추출한 77건의 사례에 대해, 사례별로 발전정지에 주된 영향을 미친 하나의 작업행위를 판별하고, 그 행위에 대해 표 1의 분류체계를 사용하여 관련 계통, 작업상황, 오류유형 등을 구분하였다. 표 6은 이러한 분석작업 결과의 예를 보여준다. 이 사례별 분석결과를 사용하여 분류체계의 네가지 범주 각각에 대해 인적오류 발생건수를 집계하였으며, 또한 상호연관성이 있는 것으로 판단되는, 계통과 작업상황, 계통과 작업유형, 작업상황과 작업유형, 작업유형과 오류유형, 등에 대해서는 두 가지 범주를 공통적으로 고려한 오류발생건수를 조사하여 범주간 연관성을 분석하였다.

표 6. 분류체계를 사용한 오류사례 분석 결과의 예

발생일	제목	주계통	작업현황	작업유형	작업내용	오류유형	상세유형
78.9.5	XSW-IB Protection Fuse 소손으로 인한 사고정지	소내전원 공급계통	계획보수	전기	측정기 연결단자착오 인식 후 책을 빼다가 casing에 접지됨	잘못된 작업의 수행	의도되지 않은 동작
79.1.24	Gland Seal Water Pump A/B 오결선에 의한 사고	주급수 계통	연차보수	계측제어	Press Swich와 junction Box간의 결선이 펌프 A, B가 바뀐 대로 방치	작업대상 잘못	similar
80.1.29	발전기 수소누설 사고	발전기보조계통	연차보수	전기	발전기 보수후 조립작업시 이물질 삽입되어 있음	작업수행의 질적 결함	청결불량
80.5.12	계기용 압축공기 저장탱크 Relief 밸브 개방 사고	압축공기 계통	정상운전	현장운전	주기적 A/B 교체운전 미실시	작업수행의 질적 결함	기준미달 작업
81.8.24	주복수기 저진공도에 의한 정지사고	응축 및 복수계통	정상운전	현장운전	복수기출구밸브를 의도한 만큼 닫고 다음조치(선택 스위치를 auto로 전환 혹은 Isolator "OFF"시킴)을 취하지 않아 밸브가 계속 닫힘	작업누락	마무리 조치누락
82.7.7	주급수 조절밸브 조작미숙으로 인한 사고방지	주급수 계통	정상운전	제어실 운전	자동제어기를 수동에서 자동으로 전환할 때 programmed level 조정누락하고 전환함	작업누락	선행조치 누락/ 다음 작업 착수

먼저, 개별항목별 오류발생률의 조사결과는 다음과 같다. 발전소 상위계통에 대한 발생률은 그림 4와 같으며, 상세계통에 대해서는 그림 5와 같다. 그림 4에서 볼 수 있는 바와 같이, 1차계통 23%, 2차계통 69%, 기타계통 8%로 2차계통과 관련한 인적오류가 많이 발생하였음을 알 수 있으며, 이는 타국의 상황과 유사하다. 상세계통별 오류발생에 대해서는, 2차계통중 주급수계통이 20%, 터빈제어 및 보호계통과 소내전원공급계통이 9%로 높게 나타났으며, 1차계통의 원자로 제어 및 보호계통이 12%로 높게 나타났다.

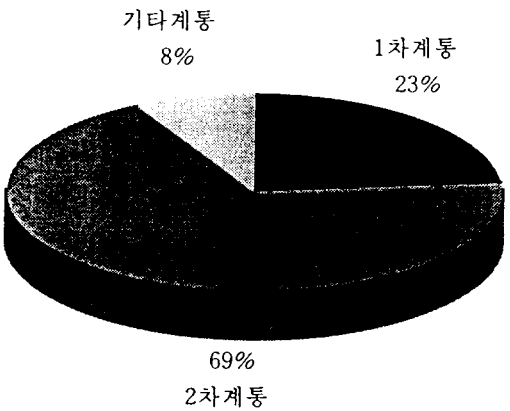

그림 4. 인적오류 관련 상위계통 비교

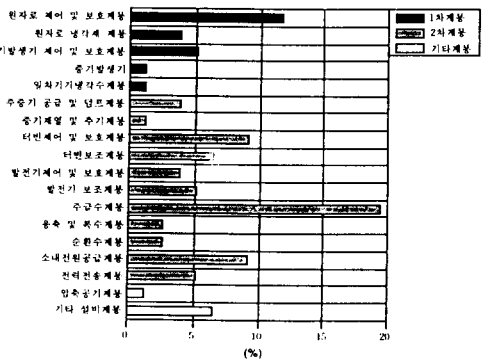

그림 5. 인적오류 관련 상세계통 비교

작업상황 및 작업유형별 오류발생률은 각각 그림 6, 7과 같다. 그림 6에서와 같이, 정상운전, 계획유지보수, 정기점검, 연차보수, 긴급유지보수 순으로 높은 점유율을 가진 것으로 나타났으며, 이는 작업상황의 빈도 또는 행해진 시간과 상관된 결과로 보여진다. 그리고, 작업유형별로는, 그림 7에서와 같이 현장기기운전이 30%로 가장 높았으며, 전기작업(19%), 제어실운전(18%), 기계작업(16%), 계측제어작업(14%), 기타(3%)순으로 높게 나타났다. 이 결과로부터, 현장에서 이루어지는 현장기기운전, 전기, 기계, 계측제어 작업에서의 오류발생 점유율이 79%에 달함을 알 수 있다. 이는 인적오류의 저감을 위해서는, 그 동안 많은 연구가 수행되어 온 주제어실 뿐만 아니라, 상대적으로 등한시된 현장에서 이루어지는 작업에 대해서도 높은 관심을 가져야 함을 의미한다. 그리고, 오류유형별 발생률은 그림 8에서와 같이 작업누락이 36%로 가장 높게 나타났으며, 잘못된 작업의 수행(16%), 작업대상 잘못(14%), 작업수행의 질적결함(10%), 작업수행의 정량적 결함(6%), 작업수행방식 잘못(6%) 등의 순으로 높게 나타났다. 작업누락이 가장 많은 점유율을 가짐은, 200건의 미국 원자력발전소 SER에 대해 Rasmussen이 분석한 결과(34%)와 일치한다[9].

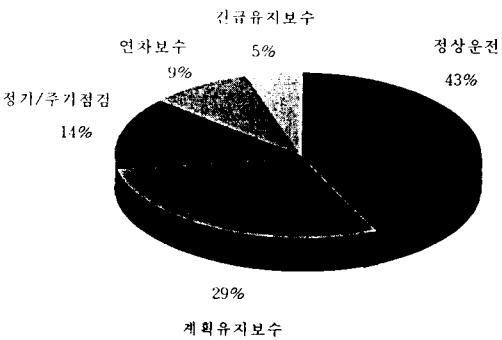

그림 6. 작업상황별 오류발생 비교

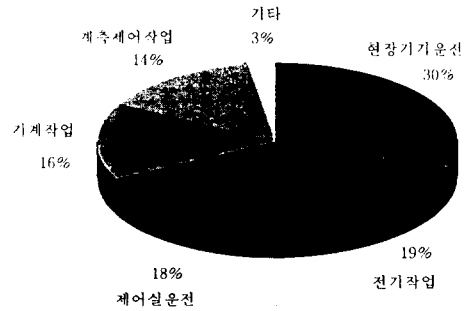

그림 7. 작업유형별 오류발생 비교

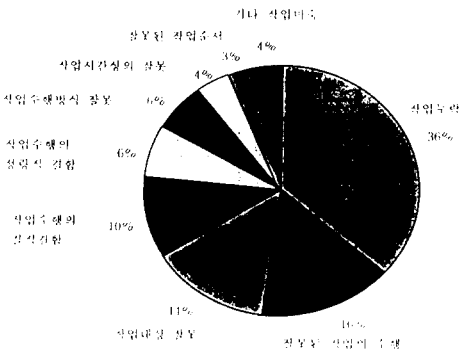

그림 8. 오류유형별 발생률

지금까지의 개별분석 항목에 대한 오류발생건수의 분석과 더불어, 분석항목간의 연관성을 고려한 오류발생률의 검토결과는 다음과 같다. 먼저, 작업상황 및 작업유형과 작업관련 계통의 검토결과는 표 7과 같다. 표 7에서 작업상황에 따른 계통별 오류발생건수중 3건 이상을 차지한 계통을 보면, 정상운전시에는 주급수계통이 11건으로 압도적으로 많았으며, 원자로 제어 및 보호계통, 증기발생기 제어 및 보호계통, 소내전원공급계통이 각 3건씩으로 많이 발생하였다. 정기점검시에는 원자로 제어 및 보호계통이 4건, 터빈 제어 및 보호계통이 3건으로 다른 계통에 비해 많았으며, 계획유지보수시에는 소내전원공급계통이 4건, 주급수계통이 3건으로 많았고, 연차보수시에는 발전기 보조계통이 3건으로 많게 나타났다. 정상운전시와 계획유지보수시에는 많은 수의 계통에서 오류가 발생하였으나 정기점검, 긴급유지보수, 연차보수에서는 상대적으로 오류발생 계통이 수가 적었다. 마찬가지로, 작업유형에 따른 계통별 오류발생건

표 7. 작업상황 및 작업유형에 따른 계통별 오류발생 건수

	작업상황					작업유형					
	정상운전	정기/주기점검	계획유지보수	긴급유지보수	연차보수	현장운전	전기작업	제어실운전	기계작업	계측제어작업	기타
원자로 제어 및 보호계통	3	4	1	1		5	1	1		2	
원자로 냉각제 계통	1		2			1				2	
증기발생기 제어 및 보호계통	3		1					3		1	
증기발생기					1				1		
일차기기냉각수계통	1					1					
주증기 공급 및 덤프계통	1	2				3					
증기재열 및 추기계통			1						1		
터빈제어 및 보호계통	1	3	2	1		1	1	2	1	2	
터빈보조계통		1	2	1	1	1			3	1	
발전기제어 및 보호계통	2				1		3				
발전기 보조계통			1		3		3			1	
주급수 계통	11		3		1	2		6	6	1	
응축 및 복수계통	2					2					
순환수 계통	1		1			2					
소내전원공급계통	3		4				5	2			
전력전송계통	2		2			1	2				1
압축공기계통	1					1					
기타 설비계통	1	1	2	1		3				1	1
계	33	11	22	4	7	23	15	14	12	11	2

수가 3건 이상인 경우는, 현장기기운전에 대해 원자로 제어 및 보호계통(5건), 주증기 공급 및 덤프계통(3건), 기타설비계통(3건)이었으며, 전기작업에 대해서는 소내전원공급계통(5건), 발전기 제어 및 보호계통(3건), 발전기 보조계통(3건), 제어실 운전의 경우 주급수 계통(6건), 증기발생기 제어 및 보호계통(3건), 기계작업의 경우, 주급수계통(6건), 터빈보조계통(3건)으로 나타났다.

그 다음으로 작업상황에 따른 작업유형별 오류발생 검토결과는 그림 9와 같다. 그림 9에서 볼 수 있는 바와 같이, 정상운전시에는 현장기기운전과 제어실운전에서의 오류발생 비율이 높게 나타났으며, 정기점검시에는 현장기기운전에서, 연차보수시에는 전기작업에서, 계획유지보수시에는 전기작업, 기계작업, 계측제어작업에서, 긴급유지보수시에는 계측제어 작업에서 오류발생률이 높은 것으로 나타났다.

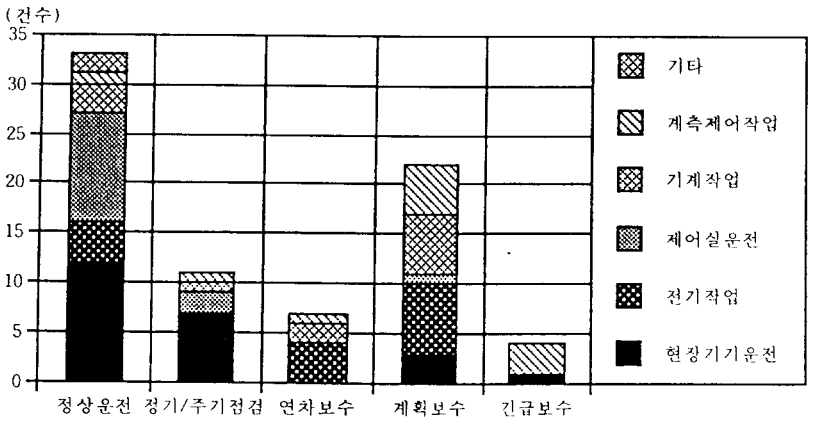

그림 9. 작업상황에 따른 작업유형별 오류발생

작업유형에 따른 오류유형의 검토결과는 그림 10과 같다. 현장기기운전에 대해서는 작업누락이 16건으로 타유형의 오류에 비해 압도적으로 높게 나타났으며, 잘못된 작업의 수행이 2건 정도로 나머지 유형의 오류 보다는 많이 발생하였다. 전기작업에 대해서는 작업누락, 잘못된 작업의 수행, 작업수행의 질적결함이 3건 이상 발생한 것으로 나타났으며, 작업대상 잘못이 2건 발생하였다. 제어실 운전의 경우에는, 운전미숙과 작업누락이 다른 유형에 비해서 많이 발생하였으나, 제어실 운전에 대해 발생한 나머지 유형들인 잘못된 작업의 수행, 작업대상 잘못, 작업수행방식 잘못, 작업시간상의 잘못 등과는 큰 차이를 두고 있지 않았다. 기계작업에 대해서는 작업누락과 작업수행의 질적결함(각 4건)이 다른 유형에 비해 높게 나타났으며, 잘못된 작업의 수행이 2건 발생하였다. 계측제어작업에 대해서는, 작업대상 잘못이 다른 유형의 오류에 비해 압도적으로 많이 발생하였으며, 그 다음으로 작업수행방식 잘못이 2건 발생한 것으로 나타났다. 표 8은 상세오류유형별 오류발생건수를 작업유형별로 구분한 결과이다.

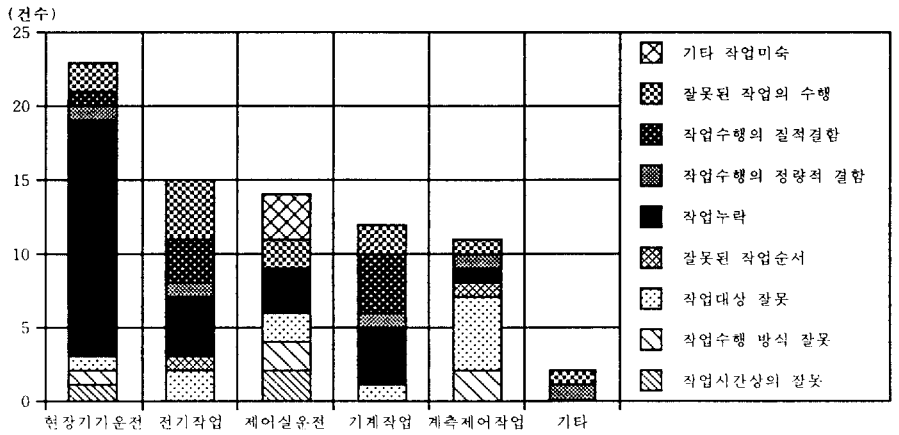

그림 10. 작업유형별 오류유형

표 8. 상세오류유형에 따른 작업유형별 오류발생건수

오류유형 \ 작업유형		현장기기운전	전기작업	제어실운전	기계작업	계측제어작업	기타
작업시간상의 잘못	Too Early	1		2			
	Too Late						
작업수행 방식 잘못	Too Fast			2		2	
	Too Slow						
	Wrong direction	1					
작업대상 잘못	train	1		1		1	
	similar		2	1		3	
	unrelated				1	1	
잘못된 작업순서	순서바꿈		1			1	
작업누락	일상점검소홀	2	2			1	
	상태표시 확인누락	4					
	경보/비정상상태의 원인제거누락	3	1	1	1		
	선행조치누락/다음작업착수	1		1	1		
	마무리조치누락	3					
	성능시험누락				2		
	일부대상에 대한 조치누락	2					
	작업전체누락	1	1	1			
작업수행의 정량적 결함	Too much	1					
	Too little		1		1	1	1
작업수행의 질적결함	청결불량		2				
	기준미달작업	1			1		
	기준미달자재사용		1		3		
잘못된 작업의 수행	영향간과한 잘못된 조치		1			1	
	의도되지 않은 동작		3		1		1
	불필요한 조치	2		2	1		
기타 작업미숙	운전미숙			3			

3. 결 론

본 연구는 원자력발전소 안전성 및 가동성의 향상에 중요한 인적오류를 저감하기 위해서 우선 순위가 높게 다루어야 할 분야를 모색하기 위해 수행되었다. 우선, 1978년부터 1992년까지 국내에서 발생한 255건의 불시정지사례중 인적오류에 의해 발생된 것으로 판단되는 77건의 사례를 추출하였다. 이 사례들에 대해 인적오류가 관련된 발전소 계통, 작업상황, 작업유형, 오류유형을 구분하고 오류발생에 대한 추이분석을 수행하였다. 본 연구의 분석 결과, 작업상황과 작업유형을 고려하여 인적오류가 많이 발생한 계통으로는, 1차 계통에서 원자로 제어 및 보호계통, 증기발생기 제어 및 보호계통이, 2차계통으로는 주증기 공급 및 덤프계통, 터빈 제어 및 보호계통, 터빈 보조계통, 발전기 제어 및 보호계통, 발전기보조계통, 주급수계통, 소내전원공급계통, 전력전송계통 등이 판정되었다. 작업유형별 오류발생률은 현장기기운전이 가장 높았으며, 현장에서 이루어지는 작업이 제어실 운전보다는 높다는 사실이 밝혀졌다. 그리고, 작업상황에 따라 불시정지에 영향을 미친 오류가 많이 발생하는 작업유형이 구분되었으며, 또한 많이 발생한 오류의 유형이 작업유형에 따라 차이가 있음을 알 수 있었다.

인적오류의 분석이 분석자에 따라 매우 주관적이고, 본 연구에서는 불시정지사례만을 취급하였으나, 본 연구의 결과는, 작업확인 및 감독, 교육훈련 등, 원전 현장에서 많이 활용되고 있는 인적오류 대응방안을 작업상황과 작업유형에 따라 구체화하는데 도움을 줄 것이며, 또한 앞으로의 인적오류 저감을 위해 집중해야 할 연구대상과 방향의 설정에 많은 도움이 될 것이다. 그리고, 이와 같은 분석을 발생수가 많은 near miss 사례에 대해 수행한다면 인적오류의 저감을 위해 보다 의미있는 결과를 얻을 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] J. T. Reason, Human Error, Cambridge, Cambridge Press, 1990.

[2] 조병록, 이영철, 원자력발전소 인위적 과실(Human Error)에 대한 고찰, 연구논문집(원자력 기술보수 분야), pp. 319-373, 한국전력공사 고리 원자력연수원, 1988.

[3] J. Rasmussen, "Human Error Data. Fact or Fiction?", Riso-M-2499, 1985.

[4] 원자력발전소 발전정지사례집, 한국전력공사 원자력발전처, 1984~1995.

[5] 원자력발전년보, 한국전력공사, 1993.

[6] J-HPES 전문가초청 세미나-일본의 인적행위 개선 제도, 일본 전력중앙연구소(CRIEPI), Human Factor Center, 한국전력공사, 1992.

[7] A. D. Swain Modelling Response to Nuclear Power Plant Transients for Probablistic Risk Assessment, *Proc. of the 8th Congress of the Int'l. Erogonomics Association*, Tokyo, August, 1982.

[8] W. B. Rouse and S. H. Rouse, Analysis and Classification of Human Error, *IEEE-SMC*, Vol. 13, 1983.

[9] J. Rasmussen, What can be learned from human error reports?, in K. Duncan, M. Gruneberg & D. Wallis (Eds.), *Changes in Working Life*, London, Wiley, 1980.