

KOSHA GUIDE

X - 71 - 2016

인지신뢰도 및 휴먼에러분석기법
(CREAM)에 관한 기술지침

2016. 12

한국산업안전보건공단

안전보건기술지침의 개요

- 작성자 : 충북대학교 안전공학과 임현교
- 제·개정 경과
 - 2016년 11월 리스크관리분야 제정위원회 심의(제정)
- 관련규격 및 자료
 - Hollnagel, E., Cognitive Reliability and Error Analysis Method - CREAM, 1st edition, Elsevier Science, Oxford, England, 1998.
 - Julie, B., Justin H., Review of Human Reliability Assessment Methods, Health and Safety Executive, UK, 2009.
 - 정원대, 김재환, 이용희, 하재주, KAERI/TR-998/98 인간오류분석 방법 비교 및 사고관리 사례 연구, 한국원자력연구소, 1998.
- 기술지침의 적용 및 문의
 - 이 기술지침에 대한 의견 또는 문의는 한국산업안전보건공단 홈페이지 (www.kosha.or.kr)의 안전보건기술지침 소관 분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.
 - 동 지침 내에서 인용된 관련규격 및 자료, 법규 등에 관하여 최근 개정본이 있을 경우에는 해당 개정본의 내용을 참고하시기 바랍니다.

공표일자 : 2016년 12월 19일

제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

인지신뢰도 및 휴먼에러분석기법(CREAM)에 관한 기술지침

1. 목 적

이 지침은 제어실 운전원을 대상으로 사고를 유발할 수 있는 직무 연쇄를 도출하고, 인지과정에서의 휴먼에러확률을 추정하는 인지신뢰도 및 휴먼에러분석기법(Cognitive Reliability Error Analysis Model; CREAM)에 관한 기술적 사항을 정함을 목적으로 한다.

2. 적용범위

이 지침은 화학플랜트, 가스기지, 발전소, 기타 대형 제조사업장 등 제어실 운전원의 휴먼에러가 시스템의 사고발생에 중대한 영향을 미치는 감시 및 대응작업에 적용한다.

3. 용어의 정의

(1) 이 지침에서 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다.

(가) “인간-기계 시스템(man-machine system)”이라 함은 인간과 도구, 기계, 설비 등으로 이루어진 모든 시스템을 말한다.

(나) “휴먼에러(Human error)”라 함은 인간이 수행하는 일련의 행동이나 행동군 중에서 수용 한계를 벗어난 행동, 즉 시스템의 정상적 기능을 위하여 정의된 인간의 행동 한계를 넘은, 감내할 수 없는 행동을 말한다.

주) 휴먼에러는 인지기능에 따라 다음 세 가지로 나뉜다.

- ① “행동 에러(slip)”란 자신이 의도한 대로 동작이나 행위가 이루어지지 않아 발생한 휴먼에러를 말한다.
- ② “기억검색 에러(lapse)”란 자신의 기억 속에서 특정 정보를 끄집어내지 못하여 발생한 휴먼에러를 말한다.

- ③ “의사결정 에러(mistake)”란 상황에 맞는 판단을 하지 못하여 발생한 휴먼에러를 말한다.
- (다) “공통행동조건(Common Performance Conditions; CPCs)”이라 함은 운전원이 수행하는 일련의 행동에 영향을 미치는 영향요인들을 말한다. 행동형성요인과 비슷한 개념이다.
- (라) “인지기능(Cognitive functions)”이라 함은 인간이 자극을 감지하면서부터 대응 행동을 할 때까지의 정보처리과정으로서 관찰, 해석, 계획, 실행의 4단계 기능을 말한다.
- (마) “제어모드(Control mode)”라 함은 인간이 어떻게 행동을 구성하는가를 말하며, 긴급, 기회적, 전략적, 전술적으로 분류한다.
- (바) “인지에러(Cognitive failure)”라 함은 인지과정 중에 발생한 휴먼에러를 말하며, 각각의 인지기능에는 몇 가지 잠재적인 유형을 가지고 있다 (표 3 참조).
- (사) “휴먼에러확률(Human error probability, HEP)”이라 함은 주어진 직무나 행동이 수행되었을 때 휴먼에러가 발생할 확률을 말한다. 동의어 human failure probability.
- (아) “기본휴먼에러확률(Basic human error probability, BHEP)”이라 함은 독립된 직무를 수행할 때의 휴먼에러확률, 즉 선행직무의 영향을 받지 않을 경우의 휴먼에러확률을 말한다.
- (자) “인간행동의 성공확률(Human success probability, HSP)”이라 함은 휴먼에러 확률의 보수, 즉 $1 - \text{HEP}$ 를 말한다.
- (차) “인간신뢰도(Human reliability)”라 함은 신뢰할 수 있거나 사용할 수 있는 시스템에 대하여 인간의 행동이 성공적으로 이루어질 확률을 말한다. 바꾸어 말하자면, 시스템의 신뢰도나 가용도를 훼손할만한 외적인 직무나 행동이 실행되지 않을 뿐만 아니라, 요구되는 시간 내에 시스템이 요구하는 인간행동, 직무, 또는 작업이 성공적으로 완수될 확률을 말한다.

- (카) “인간신뢰도분석(Human reliability analysis, HRA)”이라 함은 인간신뢰도가 추정되는 방법을 말한다.
- (타) “행동형성요인(Performance shaping factor, PSF)”이라 함은 인간 행동에 영향을 미치는 모든 요인들을 말한다.
- (파) “직무(Task)”라 함은 시스템의 목적이나 기능을 달성하는 데 기여하는 행동의 단위를 말한다.
- (하) “직무분석(Task analysis)”이라 함은 시스템 내에서 인적 구성요소에게 요구되는 구체적 행동을 결정하는 분석 과정, 인간과 장비에게 요구되는 상세한 행동, 환경적 조건의 영향이나 기능장애 또는 양쪽 모두에 영향을 미치는 예상치 못한 사건들의 영향을 결정하는 것을 말한다.

4. 기법의 개요

4.1 개발의 배경

- (1) 인지신뢰도 및 휴먼에러분석기법(Cognitive Reliability Error Analysis Model; CREAM)은 기존의 휴먼에러식별(Human Error Identification; HEI)/인간신뢰도 분석(HRA) 접근방법이 확률론적이었다는 데 반발하여 1998년 Hollnagel에 의하여 개발된 기법이다.
- (2) 이 기법은 예견적(prospective) 분석과 회고적(retrospective) 분석, 양쪽 방향 모두에 적용될 수 있다. 예견적 평가는 어떤 일을 통해 기대되는 휴먼에러확률을 추정할 수 있으며, 반면에 회고적 평가는 이미 발생한 휴먼에러들을 정량화하는데 이용된다.

주) 본 지침은 사고예방을 목적으로, 예견적 분석에 초점을 맞추기로 한다.

4.2 기법의 특성

- (1) 이 기법은 인간의 인지과정이 순차적(sequential)인 것이 아니라 순환적(recursive)이며, 인지적 제어는 직무 유형에 따라 미리 정해진 여러 패턴 중의

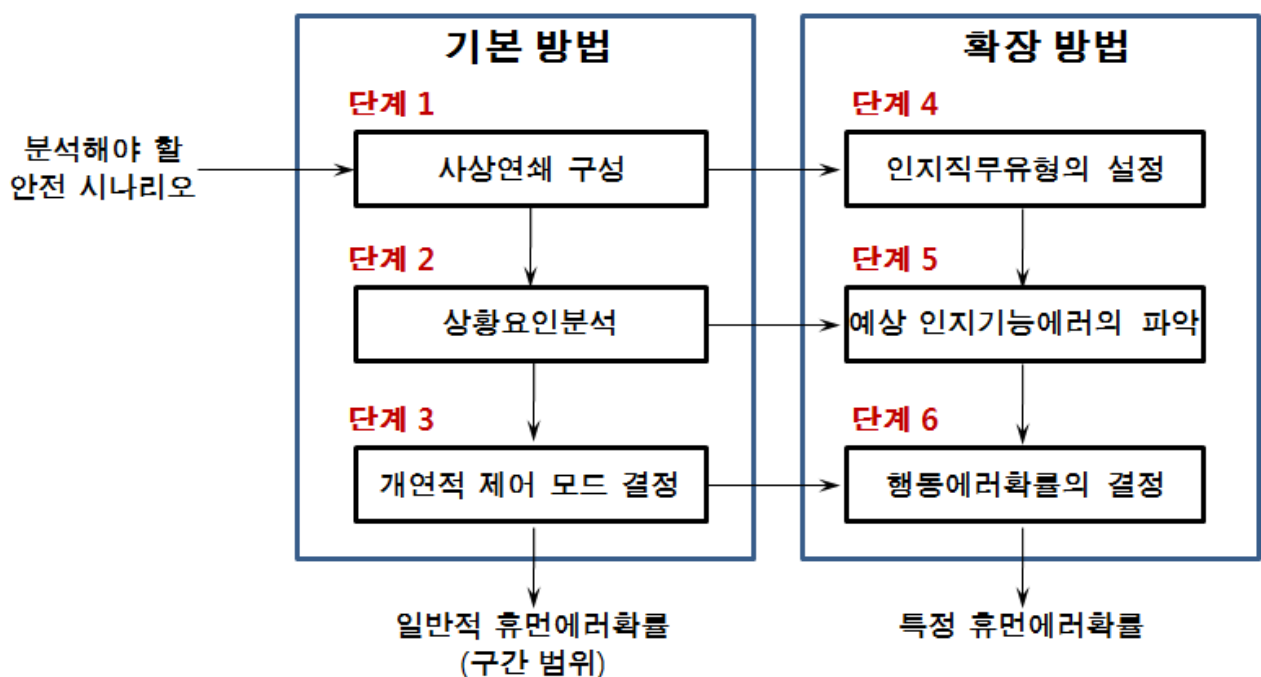
하나로 결정되는 것이 아니라, 당시 상황(context)에 따라 결정된다고 가정하였다.

- (2) 이 기법을 전문적 수준에서 활용할 때에는 구체적인 휴먼에러를 예측함에 있어 상황제어모델(Context Control Model; COCOM)이라고 하는 인지 모델을 활용한다. COCOM은 어떻게 운전원의 행동이 선택되었는가에 초점을 맞추는데, 상황적 요인에 따라 변화하는 운전원의 직무 제어 수준에 따라 행동신뢰도가 결정된다.

5. 분석절차

5.1 기본흐름

CREAM의 기본흐름은 <그림 1>과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 왼쪽 사각형에 표시된 단계 1, 2, 3은 CREAM의 기본 방법을 나타낸 것이며, 반면 오른쪽 사각형에 표시된 단계 4, 5, 6은 전문적 분석을 위한 확장 방법이다.



<그림 1> CREAM의 기본 흐름 (Hollnagel, 1998)

(1) 기본 방법

가장 먼저 수행되는 단계 1은 직무분석이다. 분석하고자 하는 작업 시나리오를 파악하여 각 직무들의 특성을 파악하여, 일련의 사상연쇄를 구성한다. 단계 2는 상황(context) 분석으로, 작업이 수행되는 상황적 특성을 공통행동조건(CPCs)을 이용하여 파악한다. 다음으로, 단계 3은 파악된 상황특성을 근거로 작업수행의 개연적 제어모드를 도출한다.

기본 방법의 적용이 끝나 얻게 되는 작업수행의 개연적 제어모드는, 운전원이 작업을 수행할 것이라 예상되는 작업 제어 수준을 나타내게 되므로, 확률 구간으로 표현되는 일반적 휴먼에러확률을 얻게 된다.

(2) 확장 방법

전문적인 분석의 시작인 단계 4에서는 작업수행 중 요구되는 인지기능유형을 파악한다. 인지기능은 관찰, 해석, 계획, 실행으로 나뉘는데, 이에 기반하여 단계 5에서는 각 단계에서 발생할 수 있는 인지에러를 예측한다.

마지막으로, 6단계에서는 구체적 행동에 대한 확률을 추정한다.

확장 방법의 마지막 단계에서 구체적 휴먼에러확률을 얻기 위해서는 상당한 수준의 전문적인 지식이 요구된다.

5.2 단계별 분석 내용

CREAM의 예견적 에러분석 절차는 다음과 같다.

(1) 단계 1 : 사상연쇄의 구성 - 수행절차의 파악

분석 대상 직무에 대한 직무분석(Task Analysis)을 통해 직무수행에 필요한 절차를 정리한다. 절차서가 있는 경우에는 절차서에 기술된 것을, 만일 절차서가 없다면 운전자 면담 등을 통하여 직무수행에 필요한 행위들을 기존 비상운전절차서와 비슷한 수준으로 정리한다.

이 때, 상황과 직무를 분석하는 것이 가장 중요하며, 통상 계층적 직무분석(Hierarchical Task Analysis; HTA)의 형태를 취하도록 권장된다. 또한, 분석자는 운전자와 통제 직무만 볼 것이 아니라, 조직과 기술적 시스템도 고려하여야 한다.

(2) 단계 2 : 상황요인분석

CREAM에서는 상황(context) 요인에 따라 인간행동이 달라진다고 본다. 상황특성을 파악할 때에는 <표 1>의 공통행동조건(Common Performance Conditions; CPCs)을 참조하여 해당되는 항목의 행동형성요인 수준을 확인한다.

<표 1> 공통행동조건 (CPCs) 항목 및 정의 (계속)

CPC 명칭	수준 설명
조직의 적절성	팀 구성원의 역할이나 책임의 질, 추가적인 지원, 커뮤니케이션 시스템, 안전관리시스템, 대외 활동용 지시 및 지침 등 매우 효율적 / 효율적 / 비효율적 / 결핍된
작업 조건	주변 조명, 스크린 상의 휘광, 경보 소음, 직무 중단 등 물리적 작업조건들의 성질 유리한 / 양립적 / 비양립적
인간-기계 인터페이스의 적절성 및 운전 지원	컨트롤 패널 상의 활용 가능한 정보, 컴퓨터 워크스테이션을 포함하는 일반적인 인간-기계 인터페이스와 특별히 제작된 의사결정 지원도구에 의한 운전 지원 지원적 / 적절 / 감내 / 부적절
절차 및 계획의 가용성	절차나 계획이란 운전 및 비상 절차, 익숙한 탐색적 반응 패턴, 일상적인 작업 절차 등을 포함한다. 적절 / 수용 / 부적절
자발적 목표의 수	한 명의 작업자가 동시에 추적하거나 주의 집중해야 하는 직무의 수 용량 이하 / 현재 용량에 필적 / 용량 이상
가용 시간	직무를 수행하는 데 활용할 수 있는 시간 적절 / 일시적 부적절 / 연속적 부적절
1일 중 시간 (일주성리듬)	해당 작업자가 현재 시점에 맞춰 조정되었는가 하는 면에서, 직무가 수행되는 시점 주간 (조정 후) / 야간 (비조정)
훈련과 경험의 적절성	신장비의 숙지 및 오래된 기량의 회복을 위해 운전자에게 제공된 훈련의 수준과 질 적절한, 고경험 / 적절한, 제한적 경험 / 부적절
팀구성원간 협조의 질	공식적 및 비공식적 구조의 중첩, 신뢰수준, 구성원간의 일반적인 사회적 분위기를 포함하는 팀구성원간의 협조의 질 매우 효율적 / 효율적 / 비효율적 / 부족

(3) 단계 3 : 개연적 제어모드 결정

상황요인분석을 통하여 파악된 공통행동조건 해당 항목의 행동형성요인들이 운전원의 행동신뢰도에 미치는 영향을 정성적으로 추정한다. 이 때에는 <표 2>를 이용하여 특히 ‘개선’ 항목의 개수와 ‘저감’ 항목의 개수를 파악한다.

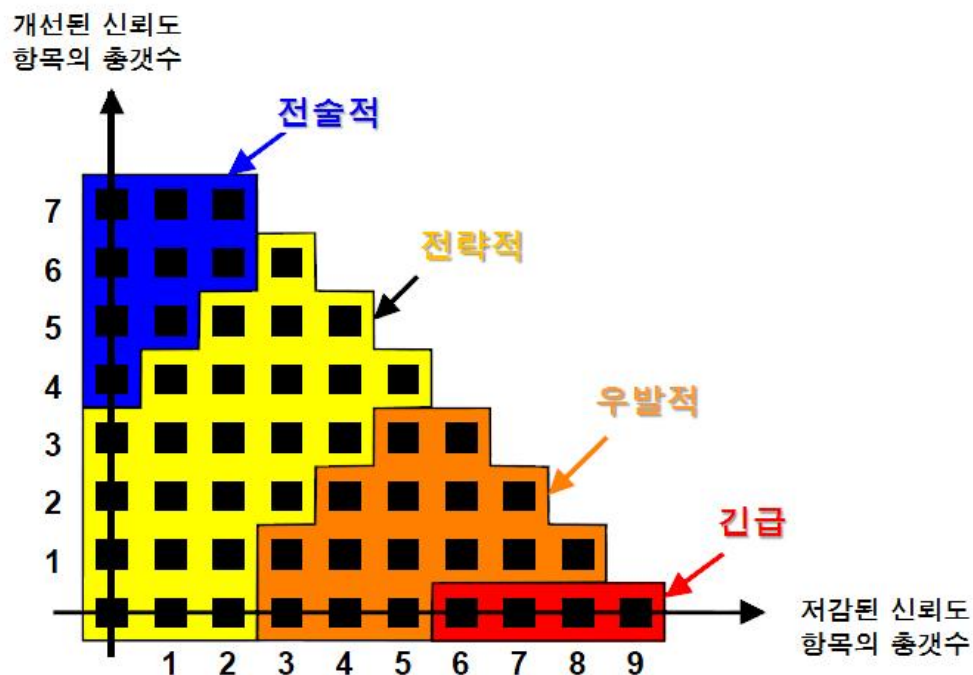
<표 2> 공통행동조건 (CPCs) 항목이 행동신뢰도에 미치는 영향의 추정 (계속)

CPC 명칭	수준 설명	행동형성요인 (PSF) 수준	행동신뢰도에 미치는 영향
조직의 적절성	수행직무를 위하여 조직에서 제공하는 지원과 자원의 수준. 여기에는 팀 구성원의 역할이나 책임의 질, 추가적인 지원, 커뮤니케이션 시스템, 안전관리시스템, 대외 활동용 지시 및 지침 등이 포함된다.	매우 효율적	개선
		효율적	대수롭지 않음
		비효율적	저감
		미흡	저감
작업 조건	주변 조명, 스크린 상의 휘광, 경보 소음, 직무 중단 등 직무를 방해할 수 있는 물리적 작업조건들의 성질	유리함	개선
		양립적	대수롭지 않음
		비양립적	저감
인간-기계 인터페이스의 적절성 및 운전 지원	컨트롤 패널 상의 활용 가능한 정보, 컴퓨터 워크스테이션을 포함하는 일반적인 인간-기계 인터페이스와 특별 의사결정 지원도구에 의한 운전 지원 시스템 등이 포함된다.	지원적	개선
		적절	대수롭지 않음
		감내	대수롭지 않음
		부적절	저감
절차 및 계획의 가용성	절차나 계획이란 수행될 직무를 위하여 미리 준비된 운전 및 비상 절차, 익숙한 탐색적 반응 패턴, 일상적인 작업 절차 등의 사용 여부, 일상적 대응조치 수준 등을 포함한다.	적절	개선
		수용	대수롭지 않음
		부적절	저감
동시 수행 목표의 수	한 명의 작업자가 동시에 추적하거나 주의 집중해야 하는 직무의 수. 직무 목표의 수가 가변적인 경우에는 직무상황의 성격을 판단한다.	용량 이하	대수롭지 않음
		용량 필적	대수롭지 않음
		용량 이상	저감
가용 시간	직무를 수행하는 데 활용할 수 있는 시간. 직무 수행에 있어서 시간압박 수준을 가리킨다.	적절	개선
		일시적 부적절	대수롭지 않음
		연속적 부적절	저감
1일 중 시간 (일주성 리듬)	해당 작업자가 현재 시점에서의 직무수행이 적합한가 하는 면에서, 직무가 수행되는 시점	주간	대수롭지 않음
		야간	저감
훈련과 경험의 적절성	신장비의 숙지 및 구기량의 회복을 위해 운전자에게 제공된 훈련의 수준과 질	적절, 고경험	개선
		적절, 제한적 경험	대수롭지 않음
		부적절	저감

<표 2> 공통행동조건 (CPCs) 항목이 행동신뢰도에 미치는 영향의 추정

CPC 명칭	수준 설명	행동형성요인 (PSF) 수준	행동신뢰도에 미치는 영향
팀구성원간 협조의 질	공식적 및 비공식적 구조의 중첩, 신뢰 수준, 구성원간의 일반적인 사회적 분위기를 포함하는 팀구성원간의 협조의 질	매우 효율적	개선
		효율적	대수롭지 않음
		비효율적	대수롭지 않음
		불충분	저감

‘개선’된 항목의 개수와 ‘저감’된 항목의 개수를 <그림 2> 제어모드 판정도에 적용하여 해당 작업을 수행하는 도중에 발생할 수 있으리라 예상되는 개연적 제어모드(probable control mode)를 도출한다.



<그림 2> 신뢰도변화에 대응하는 개연적 제어모드의 판정도

<표 3> 제어모드별 휴먼에러확률의 구간 범위

제어 모드	휴먼에러확률의 구간 범위
전술적 (Strategic)	$0.5 \times 10^{-5} < p < 1.0 \times 10^{-2}$
전략적 (Tactical)	$1.0 \times 10^{-3} < p < 1.0 \times 10^{-1}$
우발적 (Opportunistic)	$1.0 \times 10^{-2} < p < 0.5 \times 10^{-0}$
긴급 (Scrambled)	$1.0 \times 10^{-1} < p < 1.0 \times 10^{-0}$

최종적으로 얻어진 개연적 제어모드에서의 휴먼에러확률은 각각 <표 3>에서 보는 바와 같은 범위의 값을 갖는다고 알려져 있다.

(4) 단계 4 : 인지직무유형의 설정

작업 수행 상황에서 운전원이 당면해야 하는 인지기능과 구체적인 인지직무유형을 파악한다. CREAM에서 인지기능은 다음과 같은 4가지 과정으로 표현된다.

- ① 감지 (detection) 및 관찰 (observation),
- ② 해석 (interpretation),
- ③ 계획 (planning) 및 선택 (choice),
- ④ 행동 (action) 및 실행 (execution).

각 직무 수행 절차에 해당하는 인지직무유형(cognitive task type)을 <표 4>를 참조하여 결정한다. 이 표는 인지직무유형과 각 인지직무와 관련된 인지기능단계를 보여주고 있는데, 인지직무유형은 비상운전절차서를 근거로 개발되어 총 15가지로 정의되어 있다.

<표 4> 인지직무유형 및 관련 인지기능단계

인지직무유형	상황제어 (COCOM) 기능			
	관찰 Observation	해석 Interpretation	계획 Planning	실행 Execution
협조 coordinate			◆	◆
의사소통 communicate				◆
비교 compare		◆		
진단 diagnosis		◆	◆	
평가 evaluate		◆	◆	
시행 execute				◆
식별 identify		◆		
유지 maintain			◆	◆
감시 monitor	◆	◆		
관찰 observe	◆			
계획 plan			◆	
기록 record		◆		◆
조정 regulate	◆			◆
검색 scan	◆			
입증 verify	◆	◆		

(5) 단계 5 : 예상 인지기능에러의 파악

앞의 <표 4>와 <표 5>를 이용하면, 개별적인 직무를 하나 하나 수행해 가는 도중 각 인지기능단계에서 발생할 수 있는 인지기능에러의 유형을 파악할 수 있다.

<표 5> 인지단계별로 발생가능한 에러유형

인지기능	잠재적 인지기능 에러	
관찰 에러 Observation errors	O1	잘못된 대상의 관찰. 잘못된 자극이나 사상에 대하여 반응한다
	O2	잘못된 신호나 부분적인 확인으로 인하여 대상을 잘못 식별한다
	O3	관찰하지 않음 (생략). 신호 및 수치의 무시나 간과
해석 에러 Interpretation errors	I1	잘못된 진단. 진단에러나 불충분한 진단
	I2	의사결정 에러. 의사결정을 하지 않거나, 잘못된 결정 또는 불충분한 결정
	I3	해석 지연. 적시에 해석하지 않음
계획 에러 Planning errors	P1	잘못된 목적을 선택하는 등 우선순위 에러.
	P2	부적절한 계획. 불충분하거나 직접적으로 잘못된 계획
실행 에러 Execution errors	E1	힘, 거리, 속도, 방향 등에서 잘못된 유형의 실행
	E2	너무 이르거나 너무 늦은, 적절치 못한 시점에 실행
	E3	근처, 유사, 무관계 대상 등 잘못된 대상에 대한 실행
	E4	반복, 건너뛰, 역전 등 잘못된 순서의 실행
	E5	일련의 직무 중 최종직무를 생략하는 등, 실행하지 않음 (생략)

(6) 단계 6 : 행동에러확률의 결정

이후 필요한 경우에는 특정 행동에 대한 휴먼에러확률의 추정한다. 그러나, 이 단계는 상당히 높은 수준의 전문지식을 필요로 한다.

주)

본 지침의 목적은 전문적 평가기법을 활용하는 것이 아니라 업종에 관계없이 활용할 수 있는 범용 휴먼에러 분석기법을 제시하는 데 있으며, 현재에도 연구가 진행되고 있어서 기법개발자조차 구체적인 행동에러확률 추정 예제를 제시하지 않고 있으므로 본 지침에서는 구체적인 행동에러확률의 결정 과정을 생략하기로 한다.

6. 장·단점

6.1 장점

- (1) 에러의 식별과 분류가 명확하고 조직적이며 체계적인 접근방법이다.
- (2) 극도로 철저한 분석도 가능하다.
- (3) 직무를 수행하는 상황 특성이 반영되므로, 분석자가 자신의 상황에 맞게 수정해서 활용할 수 있다.
- (4) 특정 영역을 위한 것이 아니라 명령이나 통제같은 상이한 영역에도 적용할 수 있다.
- (5) 동일한 원칙들이 회고적 분석이나 예측적인 분석 양쪽 모두에 적용할 수 있다.
- (6) 정성적으로도 정량적으로도 활용될 수 있다.
- (7) 인간의 인지를 필요로 하거나 그것에 좌우되는 등 인지 신뢰도의 변동에 영향을 받는 작업 일부, 직무 또는 행동을 식별할 수 있다.
- (8) 인지 신뢰도가 감소될지도 모르는 상황이나, 인간 행동이 위험원이 될 수 있는 위치를 결정할 수 있다.

6.2 단점

- (1) 특히 초보자에게 분석 기법이 매우 복잡하고 힘들다.
- (2) 분류 체계가 매우 철저하여 매우 기초적인 분석에도 많은 시간을 필요로 한다.
- (3) 기법을 활용함에 있어 상당한 훈련과 필요 시간이 요구된다.
- (4) 휴먼에러를 회복할 방법을 제시하지는 못한다.
- (5) 기본적으로 인적 요소 (Human Factors) 및 인지인간공학 (Cognitive Ergonomics)의 지식을 가진 분석자를 필요로 한다.
- (6) 개발자가 현재도 개발을 계속하고 있어서, 광범위하게 사용된 바 없다.

<부록> CREAM 기법의 활용 예

다음의 예는 발전기의 냉각작업에 CREAM 기법을 적용하여 작업 중 발생가능한 에러 유형을 추정하는 간단한 사례이다.

(1) 단계 1 : 사상연쇄의 구성 - 수행절차의 파악

주요 작업절차는 표 A.1과 같다고 하자.

<표 A.1> 발전기 냉각작업의 예

- 1) 증기발생기를 통한 잔열제거가 충분하지 확인한다.
- 2) 다음 사항을 확인하여 주급수 또는 보조급수 복구를 시도한다.
 - 보조급수 신호발생
 - 증기발생기로의 급수 유로 배열
 - 적절한 급수 펌프의 운전
 - 충분한 급수원 확보
 - 전원, 계기용 공기, 계측기 등 필요한 기기 확보

(2) 단계 2 : 상황요인분석

작업을 수행하는 상황의 특성을 파악한 결과는 <표 A.2>와 같다.

<표 A.2> 공통수행조건 (CPC) 평가결과의 예

공통수행조건 (CPC)	평가	행동형성요인 (PSF) 수준	행동신뢰도에 미치는 영향
조직의 적절성	냉각수가 부족하면 매우 심각한 상황이 발생할 수 있음. 급박한 상황에서 커뮤니케이션 중 조직의 특성이 반영될 수 있음	매우 효율적	개선
		효율적	대수롭지 않음
		비효율적 ○	저감
		미흡	저감
작업 조건	다양한 경보가 발생할 수 있음. 그러나 작업에 영향을 줄 만큼은 아니라고 판단됨.	유리함	개선
		양립적 ○	대수롭지 않음
		비양립적	저감
인간-기계 인터페이스의 적절성 및 운전 지원	우수하다고는 할 수 없으나, 사업장내 기기로 감내할 수 있다고 판단됨	지원적	개선
		적절	대수롭지 않음
		감내 ○	대수롭지 않음
		부적절	저감
절차 및 계획의 가용성	상황전개에 따른 책임소재와 지시가 모호한 부분이 있음	적절	개선
		수용 ○	대수롭지 않음
		부적절	저감
동시 수행 목표의 수	상황 초기에 한 명의 작업자에게 여러 작업이 동시에 요구됨	용량 이하	대수롭지 않음
		용량 대응	대수롭지 않음
		용량 이상 ○	저감
가용 시간	동시 직무가 여러 개이므로 시간 압박이 심함	적절	개선
		일시적 부적절 ○	대수롭지 않음
		연속적 부적절	저감
1일 중 시간 (일주성 리듬)	상황의 심각성을 가중시킬 수 있는 요인으로 가정함	주간	대수롭지 않음
		야간 ○	저감
훈련과 경험의 적절성	훈련상황에 비하여 실제상황이 매우 엄중하여, 훈련이 충분하다고 볼 수 없음	적절, 고경험	개선
		적절, 제한적 경험 ○	대수롭지 않음
		부적절	저감
팀구성원간 협조의 질	운전팀은 오랜 기간에 걸쳐 훈련을 같이 받아 왔으므로, 팀웍이 우수함	매우 효율적	개선
		효율적 ○	대수롭지 않음
		비효율적	대수롭지 않음
		불충분	저감

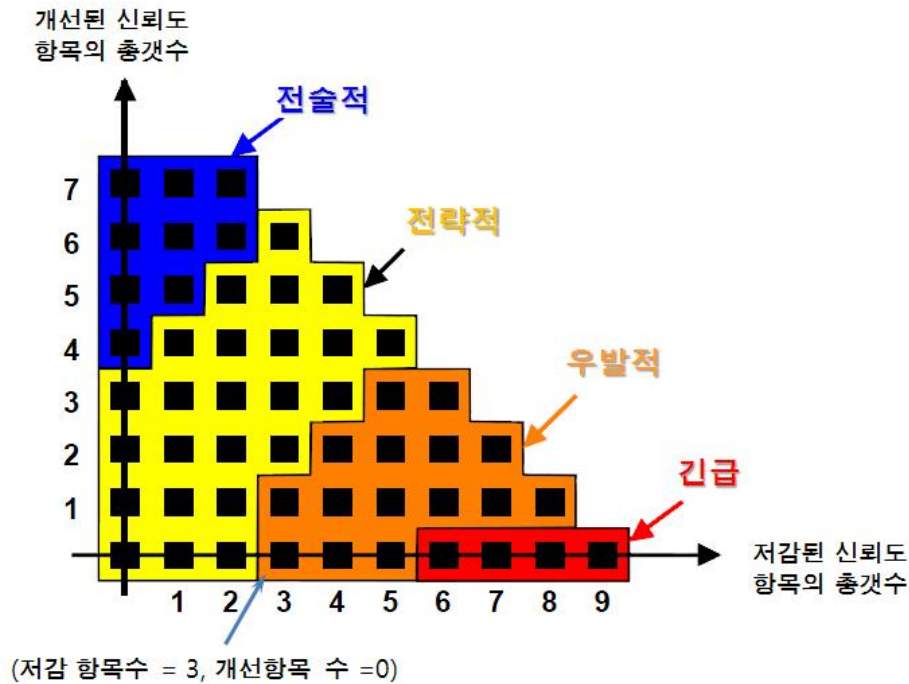
(3) 단계 3 : 개연적 제어모드 결정

<표 A.2>로부터 파악된 공통수행조건에 해당하는 행동수준에 대응하는 신뢰도영향을 파악한다. 예에서는 ‘저감’되는 경우가 3회인 반면, ‘개선’되는 경우는 없다.

<그림 A.1> 제어모드 판정도에서 이에 대응하는 (3, 0)의 지점을 읽으면 보는 바와 같이 우발적 (opportunistic) 제어모드에 해당되는 것을 알 수 있다.

결과적으로 <표 3>을 이용하면 우발적 제어모드에서의 휴먼에러확률은 다음과 같음을 알 수 있다.

$$1.0 \times 10^{-2} < p < 0.5 \times 10^{-0}$$



<그림 A.1> 개연적 제어모드의 결정의 예

(4) 단계 4 : 인지직무유형의 설정

작업 특성상 요구되는 인지직무유형을 분석한 결과는 <표 A.3>과 같다.

(5) 단계 5 : 예상 인지기능에러의 파악

공통행동조건과 작업 특성에 따라 예상되는 운전원의 인지기능에러의 유형은 <표 A.4>와 같다.

(6) 단계 6 : 행동에러확률의 결정

구체적인 행동에러확률의 결정 부분은 생략하기로 한다 (본문 5.2 (6) 참조).

<표 A.3> 에러발생가능 인지직무유형 분석결과의 예

직무 스텝	직무유형	상황제어모델 기능			
		관찰	해석	계획	실행
1. 증기발생기를 통한 잔열 제거가 충분하지 확인한다.	감시 (입증)	○	○		
2. 다음 사항을 확인하여 주급수 또는 보조급수 복구를 시도한다.					
- 보조급수 신호발생	관찰	○			
- 증기발생기로의 급수 유로 배열	감시 (진단)	○	○	○	
- 적절한 급수 펌프의 운전	감시 (진단)	○	○	○	
- 충분한 급수원 확보	감시 (진단)	○	○	○	
- 전원, 계기용 공기, 계측기 등 필요한 기기 확보	감시 (진단)	○	○	○	

<표 A.4> 상황제어모델 (COCOM) 기능별 에러유형 평가결과의 예

직무 스텝	직무유형	상황제어모델 기능													
		관찰			해석			계획			실행				
		O1	O2	O3	I1	I2	I3	P1	P2	P3	E1	E2	E3	E4	
1. 증기발생기를 통한 잔열 제거가 충분하지 확인한다.	감시 (입증)						○								
2. 다음 사항을 확인하여 주급수 또는 보조급수 복구를 시도한다. - 보조급수 신호발생 - 증기발생기로의 급수 유로 배열 - 적절한 급수 펌프의 운전 - 충분한 급수원 확보 - 전원, 계기용 공기, 계측기 등 필요한 기기 확보	관찰 감시 (진단) 감시 (진단) 감시 (진단) 감시 (진단)														