

KOSHA GUIDE

X - 74 - 2017

휴먼에러의 정량적 평가 및 저감  
기법(HEART)에 관한 지침

2017. 10.

한국산업안전보건공단

## 안전보건기술지침의 개요

○ 작성자 : 한국교통대학교 안전공학과 박정철

○ 제·개정 경과

- 2017년 9월 리스크관리분야 제정위원회 심의(제정)

○ 관련규격 및 자료

- N.A. Stanton, P.M. Salmon, G.H. Walker, C. Baber, D.P. Jenkins (2005) Human Factors Methods - A Practical Guide for Engineering and Design. Ashgate.
- J.C. Williams (1985) HEART - A proposed method for achieving high reliability in process operation by means of human factors engineering technology. Proceedings of a Symposium on the Achievement of Reliability in Operating Plant, Safety and Reliability Society (SaRS). NEC, Birmingham.
- B. Kirwan (1994) A Guide to Practical Human Reliability Assessment. CPC Press.
- KOSHA GUIDE X-69(제어실 운전원 휴먼에러 확률 예측기법(THERP)에 관한 기술지침)
- KOSHA GUIDE X-1(리스크 관리의 용어 정의에 관한 지침)

○ 기술지침의 적용 및 문의

- 이 기술지침에 대한 의견 또는 문의는 한국산업안전보건공단 홈페이지 ([www.kosha.or.kr](http://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 : 2017년 10월 31일

제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

# 휴먼에러의 정량적 평가 및 저감 기법(HEART)에 관한 지침

## 1. 목 적

이 지침은 시스템에 중대한 영향을 미치는 휴먼에러의 위험을 정량적으로 파악하기 위한 구조적 접근 방법인 휴먼에러의 정량적 평가 및 저감 기법 (Human Error Assessment and Reduction Technique, HEART)에 관한 기술적 사항을 정함을 목적으로 한다.

## 2. 적용범위

이 지침은 화학 공장, 가스 기지, 발전소, 제조사업장 등 휴먼에러가 사고 발생에 영향을 미칠 수 있는 사업장에서 잠재적 휴먼에러의 확률을 정량적으로 예측하고 저감하는 데 적용한다.

## 3. 용어의 정의

(1) 이 지침에서 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다.

- (가) “휴먼에러(Human error)”라 함은 시스템의 효율, 안전, 성능 등을 저해할 수 있는 부적절하거나 바람직하지 않은 인간의 행동 또는 의사결정을 말한다.
- (나) “작업(Task)”라 함은 시스템의 목적이나 기능을 달성하기 위한 인간 행동의 단위를 말한다.
- (다) “계층적 작업 분석(Hierarchical task analysis)”이라 함은 작업을 목표에 따라 여러 개의 세부 작업들로 나누고 이 세부 작업들을 다시 더 작은 작업들로 나누는 과정을 반복함으로써 작업의 구조를 계층의 형태로 상세하게 표현하는 분석 방법을 말한다.
- (라) “인간 신뢰도(Human reliability)”라 함은 신뢰할 수 있거나 사용할 수 있는 시스템

에 대하여 인간의 행동이 성공적으로 이루어질 확률을 말한다. 즉, 시스템의 신뢰도나 가용도를 훼손할만한 외적인 직무나 행동이 실행되지 않을 뿐만 아니라, 요구되는 시간 내에 시스템이 요구하는 인간행동, 직무, 또는 작업이 성공적으로 완수될 확률을 말한다.

- (마) “인간 비신뢰도(Human unreliability)”이라 함은 인간 신뢰도와 반대의 개념으로, 신뢰할 수 있거나 사용할 수 있는 시스템에 대하여 인간의 행동이 성공적으로 이루어지지 않을 확률을 말한다.
- (바) “에러발생조건(Error-producing condition)”이라 함은 휴먼에러의 정량적 평가 및 저감 기법(HEART)에서 작업의 인간 비신뢰도를 높여 에러를 발생시킬 수 있는 여지를 증가시키는 작업자, 작업, 도구, 환경, 관리 등과 관련된 조건들을 말한다.
- (사) “리스크(Risk)”라 함은 특정 목적에 영향을 주는 긍정 또는 부정적인 상황의 발생 기회에 대한 불확실성을 말한다.
- (아) “영향 비율(Proportion of effect)”이라 함은 어떤 에러발생조건이 전혀 영향을 미치지 않는 상황을 0, 최대로 영향을 미치는 상황을 1로 가정하였을 때, 현재의 대상 작업을 수행하는 조건이 어떠한 수준인지를 비율로 나타낸 것을 말한다.

- (2) 기타 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 산업안전보건법, 같은법 시행령, 같은법 시행규칙 및 산업안전보건기준에 관한 규칙에서 정하는 바에 의한다.

## 4. 휴먼에러의 정량적 평가 및 저감 기법(HEART) 개요

### 4.1. 개발 배경

- (1) 이 기법은 원자력 발전 및 화학 공정 산업 분야에서 휴먼에러 발생의 확률 값을 도출하기 위한 목적으로 1985년 Williams에 의해 처음 제안되었다.
- (2) 이후 의료, 철도, 항공 등 다양한 산업 분야에 적용되어 왔으며, 많은 연구들을 통해 경험적으로 검증된 휴먼에러 분석 방법 중 하나이다.
- (3) 휴먼에러 가능성을 정량화하기 위한 구조적인 접근방법이면서, 쉽고 빠르게 이해하고 사용할 수 있도록 고안되었다.

## 4.2. 기법의 특징

- (1) 분석의 효율성을 위해서 시스템에 큰 영향을 미칠 수 있는 에러만을 다룬다.
- (2) 자체적인 인간 비신뢰도 값을 활용하며, 많은 에러발생조건들의 영향을 고려한다.
- (3) 에러발생조건(Error-producing condition)을 통해 정량적 평가와 함께 개선방안을 제시할 수 있다.
- (4) 작업자 또는 설계에 의해 유발되는 잠재적 에러를 예측하기 위해 대상 작업에 대한 계층적 작업분석을 활용한다.

## 5. 휴먼에러의 정량적 평가 및 저감 기법(HEART) 절차

휴먼에러의 정량적 평가 및 저감 기법의 수행 절차는 8개의 세부 단계로 구성된다.

### 5.1. 단계 1: 분석 대상 작업 결정

이 단계에서는 분석 대상 시스템에 대해 적합한 작업이나 시나리오의 집합을 선정한다. 철저한 분석을 위해서는 선정된 작업이나 시나리오의 집합이 시스템을 대표할 수 있어야 한다.

### 5.2. 단계 2: 계층적 작업 분석

이 단계에서는 계층적 작업분석을 통해 휴먼에러의 정량적 평가 및 저감 기법의 대상이 될 작업과 시스템에 대해 철저하게 분석하여 기술한다.

- (1) 작업을 목표에 따라 여러 개의 세부 작업들로 구분하고, 필요한 경우 세부 작업들을 다시 더 작은 작업들로 나누는 과정을 반복한다.
- (2) 계층적 작업분석에 필요한 정보를 수집하기 위해 다음과 같은 다양한 데이터 수집 방법들이 사용될 수 있다.

- (가) 실제 작업이 어떻게 수행되는지에 관한 전문가/작업자 대상 인터뷰
- (나) 분석 대상 작업에 대한 직접적 또는 간접적 관찰
- (다) 절차서, 작업 보조자료(체크리스트 등), 교육/훈련 자료, 관련 리스크 평가 결과 등에 대한 검토

### 5.3. 단계 3: 선별 절차 수행

가이드라인의 집합 형태로 분석 대상 작업에 대해 적합한 휴먼에러의 분류, 원인, 강도를 찾는다.

### 5.4. 단계 4: 인간 비신뢰도에 따른 작업 분류

이 단계는 분석 대상 작업에 연관된 인간 비신뢰도의 기준치를 정의한다. 이를 위해 <표 1>의 작업 유형을 활용하여 대상 작업에 휴먼에러 확률을 할당한다. 예를 들어, 분석이 제어실에서의 비일상적인 비상 상황에 초점을 맞추고 있다면, 이는 유형 A의 ‘전혀 익숙하지 않은, 결과를 모르는 상태에서 빠르게 수행되는 작업’에 해당하며, 이에 대한 확률 기준치는 0.55이다.

&lt;표 1&gt; 휴먼에러의 정량적 평가 및 저감 기법(HEART) 작업 유형 및 인간 비실패도

기호	작업 유형	인간 비실패도 기준치 (5~95 백분위수 범위)
A	전혀 익숙하지 않은, 결과를 모르는 상태에서 빠르게 수행되는 작업	0.55 (0.35~0.97)
B	감독 또는 절차가 없는 상태에서 시스템을 한번에 새로운 상태로 변경하거나 이전 상태로 복원하는 작업	0.26 (0.14~0.42)
C	높은 수준의 이해도와 기술을 필요로 하는 복잡한 작업	0.16 (0.12~0.28)
D	비교적 단순한, 주의가 부족한 상태로 또는 빠르게 수행되는 작업	0.09 (0.06~0.13)
E	일상적이고, 많이 연습된, 비교적 낮은 수준의 기술을 요하는 빠른 작업	0.02 (0.007~0.045)
F	절차에 따라 확인해 가면서 시스템을 새로운 상태로 변경하거나 이전 상태로 복원하는 작업	0.003(0.0008~ 0.009)
G	높은 수준의 지식, 경험, 동기를 갖춘 사람이 에러를 수정할 만한 충분한 시간이 있는 상태에서 매우 익숙하고, 잘 설계되고, 많이 연습된, 시간당 몇 번씩 발생하는 일상적 작업을 중요한 작업보조 도구의 도움 없이 수행하는 경우	0.0004 (0.00008~0.009)
H	증강 또는 자동화된 감독 시스템이 시스템 상태에 대한 정확한 해석을 제공할 때 시스템의 명령에 올바르게 반응하는 작업	0.00002 (0.000006~0.00009)
M	적합한 설명을 찾을 수 없는 기타 작업	0.03 (0.008~0.11)

※ 백분위수(Percentile)란 분포 상의 데이터 중 해당 백분율만큼이 그 이하에 놓이게 되는 수를 말한다.

즉, 이 표에서 백분위 수 5는 대략적으로 인구 100명 중 5번째로 에러율이 낮은 사람의 에러율 값이라 할 수 있다. 이 표의 백분위수 범위 기준치는 로그-정규성을 나타내는 경험에 기초해 선택되었다.

#### 5.5. 단계 5: 에러발생조건 확인

이 단계는 대상 작업과 연관된 에러발생조건을 확인한다. 대상 작업에 적용할 에러발생조건을 다음의 <표 2>에서 찾는다. <표 2>의 세 번째 열에 표시된 최대 예상 에러율 변화량은 최악의 조건(에러발생조건이 최대로 영향을 미치는 조건)에서 에러율이 인간 비실패도 기준치 대비 몇 배나 증가하는지를 나타낸다. 최대 예상 에러율 변화량의 수치는 다양한 인간 수행도 연구 결과에 근거하여 도출된 것이다.

&lt;표 2&gt; 에러발생조건 및 에러율 변화량

번호	에러발생조건	최대예상 에러율 변화량(좋은 조건에서 나쁜 조건으로 갈수록 증가)
1	가끔 또는 처음 발생하는 중요한 상황에 대한 익숙하지 않음	×17
2	에러 탐지와 수정을 위한 시간의 부족	×11
3	낮은 신호 대 잡음 비(탐지 대상 신호와 방해되는 자극 간의 차이가 적음)	×10
4	정보나 기능을 억제하거나 무효화할 수 있는 수단이 너무 쉽게 접근 가능함	×9
5	공간적 또는 기능적 정보를 작업자들이 쉽게 이해할 수 있는 형태로 전달할 수 있는 수단이 없음	×8
6	작업자의 정신 모형과 설계자의 의도 간의 불일치	×8
7	의도되지 않은 행동을 되돌릴 수 있는 확실한 수단이 없음	×8
8	정보채널(시각, 청각 등) 용량의 과부하 (특히, 중복되지 않은 정보들의 동시 제시로 인한)	×6
9	기존에 학습되어 있는 기술과 반대로 기술을 적용해야 할 필요가 있는 경우	×6
10	작업에서 다른 작업으로 특정한 지식을 손실없이 전달해야 하는 경우	×5.5
11	요구되는 수행도 표준의 모호함	×5
12	리스크에 대한 인식과 실제 리스크 사이의 불일치	×4
13	미흡한, 모호한, 또는 잘못된 시스템 피드백	×4
14	제어대상으로부터 행동에 대한 시의적절하고 직접적이고 명확한 확인이 없는 경우	×3
15	조작자의 경험 미숙 (예 - 자격에 부합하나 신입이고 전문가가 아닌 경우)	×3
16	절차 및 작업자 간 의사소통에 의해 전달되는 정보의 미흡함	×3
17	결과에 대한 독립적인 확인이나 테스트가 거의 또는 전혀 없음	×3
18	단기적인 목표와 장기적인 목표 사이의 충돌	×2.5
19	정확성 확인을 위한 정보 입력의 다양성이 없음	×2.5
20	개인의 교육 달성 수준과 작업이 요구하는 수준 사이의 불일치	×2
21	다른 더 위험한 절차를 사용함으로써 얻는 인센티브가 있음	×2
22	작업 구역 밖에서 신체적 및 정신적 운동을 할 기회가 거의 없음	×1.8
23	(눈에 뵈는 정도로) 신뢰할 수 없는 계기(Instrumentation)	×1.6
24	운전원의 능력이나 경험을 넘어서는 절대적 판단의 필요	×1.6
25	기능과 책임의 불명확한 할당	×1.6
26	활동 중에 진행 상황을 확실히 파악할 수 있는 방법이 없음	×1.4
27	한정된 신체적 능력을 넘어서는 위험	×1.4
28	본질적인 의미가 거의 또는 전혀 없는 무의미한 작업	×1.4
29	높은 수준의 감정적 스트레스	×1.3
30	작업자들 사이의 건강 악화에 대한 증거, 특히 고열	×1.2
31	작업자들의 낮은 사기	×1.2
32	디스플레이와 절차 간의 의미의 비일관성	×1.2
33	열악하거나 험악한 환경 (건강 비율 75% 미만 또는 생명을 위협하는 심각성)	×1.15
34	장기간의 비활동 또는 매우 반복이 심한 낮은 정신적 부하 작업 사이클	×1.1(첫 30분 간) ×1.05(이후 시간 당)
35	일반적 작업-수면 사이클에 대한 방해	×1.1
36	타인의 개입에 의한 작업 속도의 조절	×1.06
37	일반적으로 만족스럽게 작업을 수행하는데 필요한 수준보다 더 많은 팀원의 수	×1.03(추가인원 당)
38	지각적 작업(기억 회상, 인지, 탐지 등)을 수행하는 인원의 나이	×1.02(25-85세까지 매 10년마다)



## 5.6. 단계 6: 영향 비율 평가

이 단계는 확인된 각각의 에러발생조건들에 대해 영향의 비율을 결정한다. 영향 비율은 평가자의 주관적 판단에 기반하여 0(낮음)과 1(높음) 사이의 수로 평가한다.

## 5.7. 단계 7: 영향 평가

이 단계에서는 각각의 확인된 에러발생조건들에 대하여 그 영향을 평가한다. 영향 평가 결과는 다음 식에 의해 계산된다.

$$\text{영향 평가 결과} = (\text{최대 예상 에러율 변화량} - 1) \times \text{영향 비율 평가 결과} + 1$$

## 5.8. 단계 8: 휴먼에러 확률 계산

이 단계에서는 다음 식에 따라 휴먼에러에 의한 대상 작업의 실패 확률을 계산한다. 확률이 0에 가까울수록 위험도가 낮다. 확률은 1을 초과할 수 없으므로, 계산 결과가 1을 넘는 경우 확률은 1로 간주한다.

$$\text{휴먼에러 확률} = \text{인간 비신뢰도 기준치} \times \text{영향 평가 결과 1} \times \text{영향평가 결과 2} \times \dots$$

## 5.9. 단계 9: 개선방안 제시

이 단계에서는 확인된 에러들에 대해 가능한 개선방안을 찾아서 제시한다. 에러발생조건들에 대해 범용적인 개선방안들이 제공되지만 시스템에 특화된 것은 아니므로, 에러와 시스템의 특성을 고려하여 보다 구체적인 개선방안을 제시하여야 한다.

## 5.10. 단계 10: 문서화

이 단계는 분석 과정 전반에 대한 모든 세부 사항을 문서로 정리한다. 분석이 완료되면 분석 결과를 적합한 표현 형태로 변환한다.

## 6. 장점과 단점

### 6.1. 장점

- (1) 최소한의 훈련을 필요로 하는 단순한 접근방법을 활용한다.
- (2) 다른 기법에 비해 적은 자원을 활용하여 빠르고 간편하게 사용할 수 있다.
- (3) 각각의 에러발생조건에 대해 관련된 개선방안이 제공된다.
- (4) 휴먼에러의 발생 확률에 대해 정량적 결과를 도출할 수 있다.
- (5) 많은 연구들을 통해 결과가 검증되었다.

### 6.2. 단점

- (1) 에러발생조건의 할당과 같은 중요한 단계들에 대해 분석자에게 충분한 가이드가 제공되지 않는다.
- (2) 많은 검증 연구가 이루어져 왔으나, 여전히 방법론에 대한 추가적인 검증이 필요하다.
- (3) 에러발생조건들 사이의 의존 관계나 상호작용 관계가 고려되지 않는다.
- (4) 주관적인 판단에 의존하는 부분이 있어 신뢰도와 일관성이 떨어진다.
- (5) 원자력 발전 분야에 적용될 목적으로 개발되었기 때문에 다른 분야에 적용되기 위해서는 수정이 필요할 수 있다.

## 부록 1. 휴먼에러의 정량적 평가 및 저감 기법(HEART) 적용 예시

다음 <부록 표 1>은 트럭 운송 과정 중 드럼을 떨어뜨렸을 때 작업자가 비상용 키트를 사용해 작은 누출을 탐지하는 작업에 대하여 휴먼에러의 정량적 평가 및 저감 기법(HEART)을 적용한 결과를 나타낸다.

&lt;부록 표 1&gt; 휴먼에러의 정량적 평가 및 저감 기법 적용 결과

작업	작업 유형	인간 비신뢰도 기준치 (a)	에러발생조건	최대 예상 에러율 변화량 (b)	영향 비율 평가 결과 (c)	영향 평가 결과 (d)	휴먼 에러 확률 (e)
비상용 키트를 사용하여 작은 누출을 찾아냄	E	0.02	2. 에러 탐지와 수정을 위한 시간의 부족	×11	0.01	1.1	0.09361
			3. 낮은 신호 대 잡음 비 (탐지 대상 신호와 방해되는 자극 간의 차이가 적음)	×10	0.3	3.7	
			29. 높은 수준의 감정적 스트레스	×1.3	0.5	1.15	

## 1) 인간 비신뢰도에 따른 작업 분류

이 작업은 <표 1>의 작업 유형 중에서 “일상적이고 많이 연습된, 비교적 낮은 수준의 기술을 요하는 빠른 작업”에 해당하는 것으로 분류되었으며, 따라서 인간 비신뢰도 기준치 (a)가 0.02로 설정된다.

## 2) 에러발생조건 확인

혼란스러운 작업 환경과 작업자가 드럼 누출을 확인하면서 수송 팀과 공공의 안전, 자산의 보호 등에 대해 염려해야하는 것을 고려하여, “2. 에러 탐지와 수정을 위한 시간의 부족”, “3. 낮은 신호 대 잡음 비”, “29. 높은 수준의 감정적 스트레스”의 3가지 에러발생조건을 적용하였다. 각각의 최대 예상 에러율 변화량은 ×11, ×10, ×1.3이다.

## 3) 영향비율 평가

각 예러발생조건의 영향비율을 0에서 1사이의 숫자로 평가한 결과, “2. 예러 탐지와 수정을 위한 시간의 부족”은 0.01로 크게 영향을 미치지 않을 것이며, “3. 낮은 신호 대 잡음 비”는 0.3, “29. 높은 수준의 감정적 스트레스”는 0.5의 영향비율을 갖는 것으로 평가되어 상대적으로 영향을 클 것으로 평가되었다.

## 4) 영향 평가

영향 평가 결과(d)는 최대 예상 예러율 변화량(b)에서 1을 뺀 다음, 영향비율평가결과(c)를 곱하고, 다시 1을 더해 준 값으로 계산된다. 이에 따라  $(11-1) \times 0.01 + 1 = 1.1$ ,  $(10-1) \times 0.3 + 1 = 3.7$ ,  $(1.3-1) \times 0.5 + 1 = 1.15$ 의 영향 평가 결과가 도출된다.

## 5) 휴먼에러 확률 평가

이렇게 구한 영향평가결과 값들을 인간 비신뢰도 기준치(a)에 모두 곱해 최종 휴먼에러 확률(e)을 계산한 결과,  $0.02 \times 1.1 \times 3.7 \times 1.15 = 0.09361$ 의 값이 도출된다.