

KOSHA GUIDE

X - 7 - 2012

리스크 관리에서 인적 신뢰도 분석에
관한 지침

2012. 6.

한국산업안전보건공단

안전보건기술지침의 개요

○ 작성자 : 사단법인 한국안전학회 리스크관리 연구위원회
충주대학교 안전공학과 백종배

○ 개정자 : 산업안전보건연구원 안전연구실

○ 제·개정 경과

- 2010년 9월 위험관리분야 제정위원회 심의(제정)
- 2012년 4월 리스크관리분야 제정위원회 심의(개정, 법규개정조항 등 반영)

○ 관련규격 및 자료

- Z. Nivolianitou et al., Reliability Analysis of Chemical Processes by the DYLAM Approach, Reliability Engineering, Vol. 14, 1986
- F. P. Lees, Loss Prevention in the Process Industries, Vols. 1 and 2, Butterworth's, London, 1980
- CCPS, Guideline for Hazard Evaluation Procedures, AIChE, New York, 1989
- CCPS, Guideline for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, AIChE, New York, 1999

○ 기술지침의 적용 및 문의

이 기술지침에 대한 의견 또는 문의는 한국산업안전보건공단 홈페이지 안전보건 기술지침 소관 분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.

공표일자 : 2012년 6월 20일

제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

리스크 관리에서 인적 신뢰도 분석에 관한 지침

1. 목 적

이 지침은 잠재적인 인적오류 및 그 영향을 확인하거나 인적오류의 기본이 되는 원인을 확인하는 기법을 제공하는데 그 목적이 있다.

2. 적용범위

이 지침은 작업자, 보수작업자, 기술자 및 기타 플랜트 관련자 등이 수행하는 리스크 관리의 인적 신뢰도 분석에 적용한다.

3. 용어의 정의

(1) 이 지침에서 사용되는 용어의 정의는 다음과 같다.

(가) “수행도 형성 인자(Performance shaping factors, PSFs)”라 함은 직무나 공정조건에 따라 변하게 되는 인적오류 및 인적성능에 영향을 주는 요소를 말한다.

(나) “인적 수행도(Human performance)”라 함은 특정작업조건 하에서의 작업자의 작업 수행능력의 정도를 말하며, 이는 작업수행시간, 오류횟수 등으로 측정될 수 있다.

(2) 그 밖에 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 이 지침에 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 산업안전보건법, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙, 산업안전보건기준에 관한 규칙 및 KOSHA GUIDE X-1-2011(리스크 관리의 용어 정의에 관한 지침)에서 정하는 바에 의한다.

4. 일반사항

4.1 기술적 접근

- (1) 신뢰할 만한 인적 수행도는 성공적인 인간-기계 시스템을 위해 필수적이며 많은 인자의 영향을 받는다. 이러한 수행도 형성 인자(PSFs)는 정서적인 상태, 훈련, 경험 같은 내부인자나 작업 시간, 환경, 감독관의 조치, 절차, 하드웨어 인터페이스와 같은 외부인자가 될 수 있다.
- (2) 인적 수행도에 영향을 미치는 PSFs는 너무 많기 때문에 완전하게 모두를 관리할 수 없다. 그러나 가급적 많은 인자를 관리하는 것이 공정 운전의 성공이나 실패에 큰 영향을 미친다.
- (3) 인적 신뢰도 분석 기법(Human reliability analysis, HRA)은 PSFs를 확인하고 개선하여 인적오류의 가능성을 줄이는데 사용하며 시스템, 절차, 작업자의 특성을 분석하여 오류의 가능한 원인을 확인한다.
- (4) 일반적으로 인적 신뢰도 분석은 다른 위험요인 평가 기법과 함께 수행하는 것이 좋다. 그리고 위험요인과 운전 분석(HAZOP), 고장형태와 영향분석(FMEA) 또는 결함수 분석(FTA) 같은 다른 리스크 평가 기술을 통해 중대한 결과를 일으키는 인적오류를 확인한 후에 인적 신뢰도 분석을 하는 것이 바람직하다.

4.2 필요한 자료와 요건(Resource requirements)

- (1) 인적 신뢰도 분석을 사용하려면 플랜트 절차, 플랜트 작업자의 인터뷰 정보, 플랜트 배치도 작업과 관련된 지식, 제어반 배치도, 경보장치 배치도와 같은 자료와 정보가 필요하다.
- (2) 분석을 위한 구성원의 요건은 분석의 범위에 따라 다르지만 일반적으로 인적인자와 관련된 훈련을 받은 1~2 명의 분석자가 시설물에 대한 인적 신뢰도 분석에 참여해야 한다.

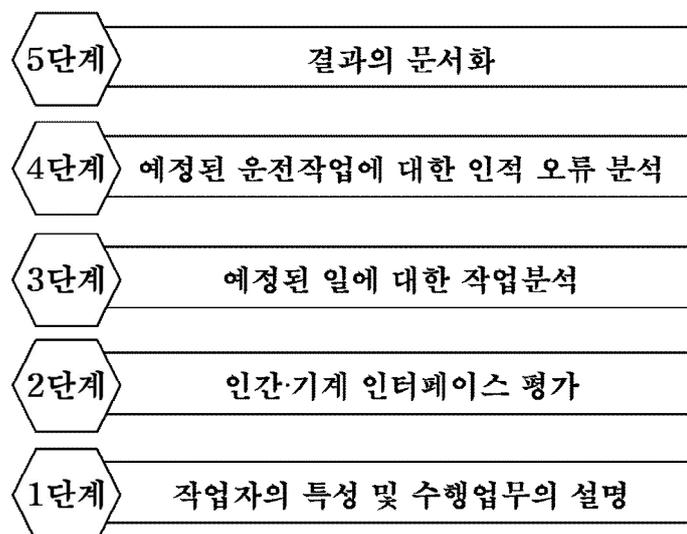
- (3) 분석자는 인터뷰 기법에 익숙해야 하며 플랜트 작업자, 작업절차 및 개략도 같은 관련 정보를 입수해야 한다. 그리고 분석자는 다양한 인적오류로 야기되는 플랜트의 반응이나 결과에 정통하거나 정통한 전문가로부터 자문을 받을 수 있어야 한다.
- (4) 단순한 플랜트 절차와 관련된 작업에 대한 대략적인 인적 신뢰도 분석은 약 1시간 안에 수행할 수 있어야 하지만 분석에 소요되는 시간과 비용은 작업, 시스템의 크기와 수 또는 분석할 오류에 비례한다. <표 1>은 인적 신뢰도 분석 기법을 사용하여 위험요인 평가를 수행하는 데 필요한 예상시간이다.

<표 1>인적 신뢰도 분석 기법을 사용하는 데 걸리는 예상 시간

범위	준비	모델 구성	정성적 평가	문서작성
단순/ 작은 시스템	4-8시간	1-3일	1-2일	3-5일
복잡/ 대형 시스템	1-3일	1-2주	1-2주	1-3주

5. 분석절차 (Analysis procedure)

인적 신뢰도 분석은 작업자의 특징, 작업환경 및 수행작업에 대한 설명, 인간-기계 인터페이스 평가, 예정된 작업자 기능에 대한 작업분석 수행, 예정된 작업에 대한 인적 오류 분석 수행, 결과의 문서화 등의 단계로 구성한다.



<그림 1> 인적신뢰도 분석 절차

(1) 작업자의 특성 및 수행업무의 설명

인적 신뢰도 분석의 1단계는 인간-기계 시스템을 이해하는 것으로 작업자, 작업환경 및 작업에 대해 설명하는 정보를 여러 출처를 통해 수집한다. 이 때 수집해야 할 일반적인 정보는 다음과 같다.

(가) 언어, 교육수준 및 신체적 모습과 같은 관련 특성을 설명하는 작업자의 인구통계학

(나) 작업환경에 대한 문서 또는 그림 설명

(다) 운전 절차서

(라) 분석자의 작업현장 방문자료

(마) 실제로 운전하는 작업자와 분석자와의 인터뷰(서면으로도 가능함)

(바) 오류가 가능한 상황을 파악할 수 있는 과거의 “인적오류”에 대한 사고나 연구자료

(2) 인간-기계 인터페이스 평가

인간공학적 분석 목표는 인간-기계 시스템과 관련된 일반적인 결점을 확인하는 것으로서 기계설계, 배치도, 공정운전 및 작업환경 등의 한계와 요구와의 일치 정도를 분석한다. 그리고 작업자에 대한 요구가 적합할 수 있도록 인간-기계 인터페이스의 각 측면을 체계적으로 평가한다. 예를 들어 인간 공학 기법은 다음과 같은 문제를 확인한다.

(가) 불규칙하거나 이상하게 정의된 눈금을 가진 공정 측정 계기

(나) 판독을 어렵게 하거나 작업자가 판독하지 못하게 하는 계기의 배치

(다) 평균이하의 신장과 근력을 지닌 사람이 작동할 수 없는 수동밸브

(라) 근무교대 시 교대 작업자에게 배치상태를 효율적으로 전달하기 위한 방법 부족

(3) 예정된 작업에 대한 작업분석

이 단계에서는 인간-기계 시스템의 일반적인 결점을 확인하고 교정한 뒤 작업자에게 필요한 특별한 조치를 자세히 살펴볼 수 있다. 그리고 이 과정은 특정 작업자 직무 또는 작업 내용으로 분리한다. 각 작업은 작업자가 일을 완성하기 위해 하여야 할 특별한 조치를 나타낸다.

작업1 + 작업2 + 작업3 + 작업4 + 작업5... = 작업자의 기능(1)

모든 작업은 인적오류의 가능성을 내포하고 있으므로 분석자는 작업을 나열한 뒤에 각 작업을 하나씩 평가하여 작업자로 하여금 하나 이상의 작업을 성공적으로 완성할 수 없게 하는 오류의 가능한 상황을 확인한다. 이 과정은 체크리스트와 유사한 방법으로 과거에 인적오류의 원인이었던 조건을 확인하는 지식을 토대로 하는 접근방법이다. <표 2>는 오류가 가능한 상황의 원인을 나열한 것으로 하드웨어, 절차, 정책의 변화는 오류 가능한 상황의 원인을 완화하는데 필수적이다.

<표 2> 오류 가능한 상황의 원인

번호	원인	번호	원인
1	부족한 절차	10	지나치게 민감한 제어부
2	부적절하고 비효율적이며 혼돈을 일으키는 계장	11	과도한 심리적 작업
3	부족한 지식	12	지나치게 많은 오류 기회
4	부적합한 우선순위	13	부적합한 도구
5	부적합한 레이블	14	부적절한 유지관리
6	부적합한 피드백	15	간헐적인 사건에 대한 감시작업
7	불충분한 레이아웃	16	부적절한 백업 제어 장치 관례
8	불충분한 의사소통	17	부적합한 물리적 사양
9	인구집단 고정관념 ^{주)}	18	기능을 무시한 외관

주) 인구집단 고정관념(Population stereotype) : 특정인구 집단에 속해있는 사람들이 어떠한 시스템의 작동 원리나 사용 방식 등에 대해 가지고 있는 고정관념. (예, 대부분의 사람들이 라디오 다이얼을 시계방향으로 돌리면 음량이 증가할 것이라고 믿는 것.)

(4) 예정된 운전작업에 대한 인적오류 분석

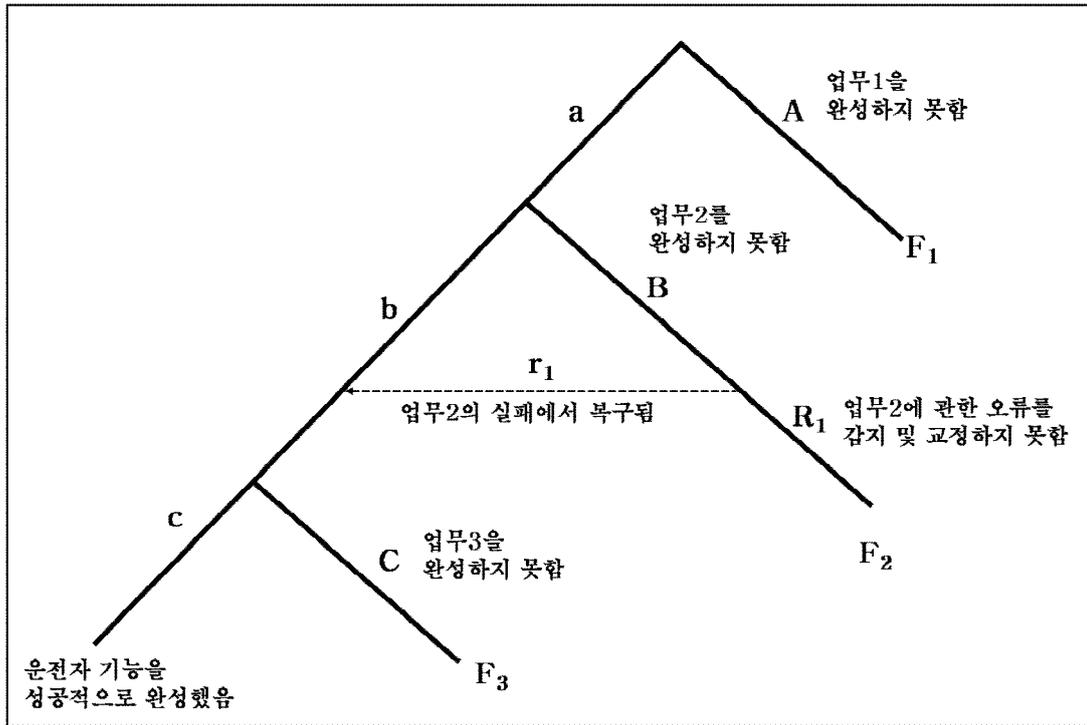
각 작업에 적합한 사건수목을 만들어 각각의 작업을 분석하거나 <그림 1>과 같은 특수한 인적 신뢰도 분석 사건수목 형식을 사용하여 논리를 표현할 수 있다. 사건수목은 작업분석에 관한 정보를 전달하며 고장의 다양한 조합인 정량적 리스크 평가(Quantitative risk assessment, QRA)의 일부로서 도식을 제공한다. 수목에는 하드웨어 고장뿐만 아니라 인적오류도 포함시킬 수 있다.

(5) 결과의 문서화

리스크 분석자는 분석된 인간-기계 시스템에 대한 설명, 분석된 절차의 검토, 가정안의 목록, 개발된 인적 신뢰도 분석 사건 수목 모델, 오류 가능한 상황의 목록 등과 함께 잠재적인 작업자 오류에 기여하는 PSFs에 대한 검토, 여러 사고순서의 결과, 인적오류 상황의 중요성에 대한 평가 등을 문서화해야 한다. 그리고 인적 신뢰도 분석에서 발생한 권장사항도 문서화해야 한다.

6. 예상되는 작업결과

- (1) 인적 신뢰도 분석의 수준이 다르면 작업결과도 달라지는데 분석을 통해 인적오류의 가능성을 줄이는 교정조치 목록을 만들 수 있다.
- (2) 작업자의 작업도 목록이나 그래프 형식으로 자세히 설명하여 절차, 훈련, 정책을 확정하는 데 사용해야 한다. 뿐만 아니라 분석을 통해 인적오류의 결합 세트를 만들어 인적오류 자료를 토대로 순위를 결정할 수 있다.
- (3) 리스크 분석자는 이 결과의 평가를 통해 하드웨어 및 절차상의 개선책을 제시할 수 있다.



<그림 2> 인적 신뢰도 분석의 사건수목 구조(예)

<부록 1>

수행도 형성인자

수행도 형성은 크게 4개의 그룹으로 나눌 수 있으며 세부인자들을 분류하면 다음 <별표 1>과 같다.

- ① 직무환경 : 물리적인 작업환경 및 작업유형 등에 관련된 인자들
- ② 직무특성 : 절차서 및 작업자에게 요구되는 직무의 특성과 관련된 인자들
- ③ 작업자 특성 : 작업자 개인의 특성 및 작업능력 등과 관련된 인자들
- ④ 조직 및 사회적 요소 : 팀워크 및 의사소통, 안전문화 등과 관련된 인자들

<별표 1> 수행도 형성인자의 구분(PSFs)

직무환경	직무특성	작업자특성	조직 및 사회적 요소
<u>공정환경</u> 작업장 정리·정돈 상태, 보호구의 적절성, 물리적환경(소음, 조도, 온도, 습도, 날씨 등) 총 작업시간, 연장근무 여부 등	<u>절차서</u> 절차서 유무, 설명수준, 이용도, 내용의 적절성	<u>인지능력</u> 학력, 해당 작업경력, 근무경력, 해당 직무에 대한 교육/훈련 수준	<u>팀워크 및 의사소통</u> 의사소통의 체계, 작업 및 책임권한 할당의 적절성
<u>시스템</u> 오류감지시스템 여부, 오류복구시스템 여부, 유지보수체계, 일상 및 수시점검 활동	<u>직무성격</u> 과도한 모니터링, 작업의 복잡도, 지식에 근거한 판단요구, 복잡한 논리절차·계산 등 요구, 작업의 위험정도, 시간적 긴급성, 상황의 심각성	<u>육체적, 정신적 요소</u> 주의력 및 태도, 나이, 성별, 청각장애여부, 시각장애여부, 질병 또는 투약 상태, 육체적 장애(일시적 상태 포함)	<u>안전문화</u> 안전경영 관리정책의 시행여부, 안전관리 조직의 구성 및 운용 여부
<u>설계</u> 조정부/표시부의 선정, 배열, 위치, 일관적 설계여부, 라벨링 적절성 여부			

<부록 2>

적용사례

[작업개요]

수동식으로 작동하는 비상조업 정지기능을 갖고 있는 제어실에서 작업자가 운전을 하고 있다. 이 제어실에서는 5가지 주요 경보가 발생하는데 그 중에서 하나가 경보를 알리면 작업자는 비상 조업 정지 시스템을 켜야 한다. 단, 기타 중요하지 않은 경보도 제어실에 통보하지만 그럴 경우에는 공정에 대해 비상조업 정지를 하지 않아도 된다. 인적 신뢰도 분석 결과는 다음의 분석을 통해 <별지 그림 1>의 경보에 대한 작업자 반응과 같이 작성될 수 있다.

1. 확인된 유해위험요인

- (1) 제어실에 잡음이 너무 많아서 가청 경보를 듣기 어렵다.
- (2) 비상조업 정지 시스템을 작동시켜야 하는 5가지 주요 경보용 표시계기가 복잡한 대형 제어반 위에 설치되어 있으며 각각 다른 위치에 있기 때문에 확인하기 어렵다.
- (3) 부주의한 조작방지를 위해 비상조업 정지시스템용 스위치를 설치하였으나 스위치의 위치를 찾아 조작하는 것이 어렵다.

2. 작업자의 비상조치에 대한 작업 구분

- (1) 경보 통지 인식
- (2) 경보의 유형 확인
- (3) 적합한 교정 조치 상기
- (4) 비상 조업 정지 스위치의 위치 찾기

(5) 비상 조업 정지 스위치 작동

3. 작업 분석

실제 제어실에서 운전 및 상황에 대한 철저한 이해를 토대로 다음의 가능한 오류상황을 확인할 수 있었다.

(1) 정상운전이 중단된 기계

정상운전이 중단될 때 작업자에게 통보하지 않고 보수 작업자가 현장에 있는 기계를 제거하였다.

(2) 정책/관례의 불일치

즉각적인 작업정지를 위한 서면절차가 필요하지만 작업정지 시스템을 작동하기 전에 작업자는 운전관례에 따라 끝까지 공정을 제어하였다.(Last ditch)

(3) 불충분한 배치도

최근의 공정변경에 따라 제어반을 확장했으나 논리적 또는 인간 공학적으로 바람직한 위치를 선택한 것이 아니라 단순히 공간을 활용할 수 있는 위치에 제어부와 기계를 교체하였다.

(4) 규정된 확인시각을 넘기거나 간헐적인 사건에 대한 감시작업

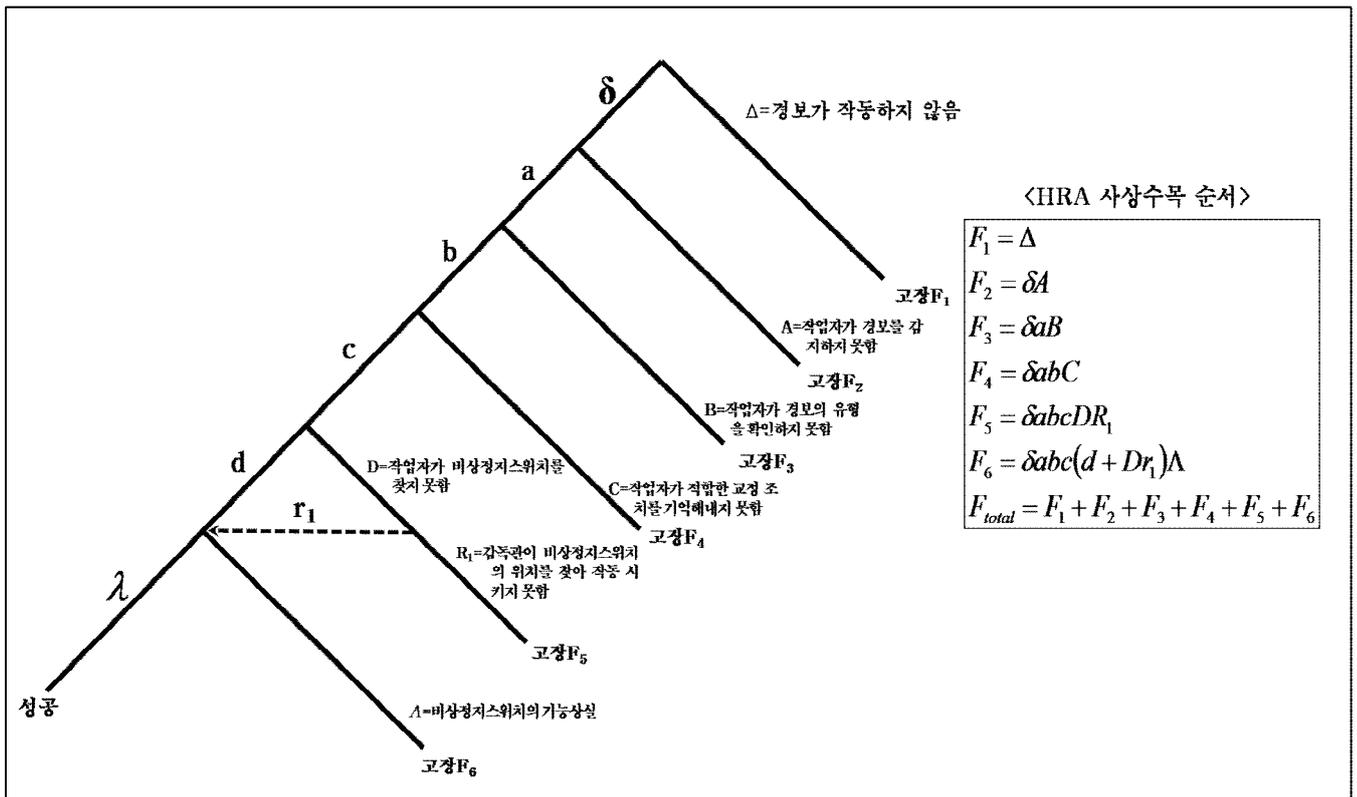
제어실에는 보통 관측 이외에 매 시간마다 1회씩 임무를 수행하는 한사람의 작업자만 있다. 작업자는 이따금 야간조업 중에 잠깐 잠을 자는 것으로 알려졌다.

4. 인적 오류 분석과 문서화

<별지그림 1>은 제어실 작업자에 대한 인간 신뢰도 분석의 사건수목으로 사고순서는 각 고장 용어(Term)의 성공과 실패 경로로 확인할 수 있다.

이때 소문자는 사건의 성공을 표시하며 대문자는 이에 대한 논리적인 반대를 뜻한다. 그리고 영어 문자는 인간의 성공(소문자)/실패(대문자)를 표시하며 그리스 문자는 장비의 성공(소문자)/실패(대문자)를 표시한다. 또한 복구란 초기 오류 발생 시 운전자가 적시에 취하는 교정조치를 말한다.

예를 들어 고장 F5를 살펴보면, 이 고장은 경보가 작동되어 작업자가 경보를 감지(a)하여 확인(b)하고 작업자가 교정조치를 시작(c)하려고 하지만 스위치의 위치를 찾지 못하거나 작동하지 못하고(D) 감독관이 스위치의 위치를 찾거나 작동하여 작업자의 오류를 복구하지 못하는(R1) 경우에만 발생할 것이다. 리스크 분석자는 이 결과의 후속 평가를 통해 특수 장비와 절차상의 변경을 제시하여 기록된 결점을 교정하는 데 도움을 줄 수 있다.



<별지그림 1> 경보에 대한 작업자 반응과 관련 인적 신뢰도 분석 사건수목 사례