

## 위험도기반 인적 신뢰성 해석 및 평가

김홍태 (한국해양연구원)

### 1. 인적요인의 개요

인적요인은 영문으로 Human element, Human factors, Ergonomics 등으로 불리우고 있으며, 이는 모두 비슷한 의미를 가진다. 한편, 해사분야에서는 주로 Human element라는 용어로 사용되고 있다. 또한 학문적으로는 시스템 공학의 체계 내에서 통합된 인간과학의 체계적인 응용을 통하여 기계와 인간 사이의 관계를 최적화하는데 관련된 연구 또는 학문이라고 정의할 수 있다.

인적요인에 대하여 공인된 국제적 정의는 현재까지 확립되어 있지 않다. 그러나 영국 보건안전이사회(UK Health and Safety Executive)에 따르면 인간의 육체적, 정신적 능력, 각 작업자와 작업 그리고 작업환경 간의 상호작용, 설비와 작업자 수행에 영향을 미치는 시스템 설계 그리고 작업장에서 안전관련 행동 등에 영향을 미치는 조직의 특성이라고 정의되고 있다(UK HSE, 1989).

IMO에서는 해양사고 원인의 80% 정도가 인간의 실수에 의해 발생하는 것으로 평가됨에 따라, 선박 운항시스템의 안전성 평가를 위해 고려해야 하는 가장 중요한 측면의 하나로서 인적 요인을 언급하고 있다. 구체적으로 공식 안전성 평가(Formal Safety Analysis ; FSA)의 주요 검토 사항으로서 인간 실수(human error)에 대한 모델링 및 예측 기법, 인간 실수의 확률과 원인의 정량화, 인간 실수로 기인한 위험의 감소 방안 등이 있다.

또한 IMO에서는 인적요인에 관하여 해사안전위원회(Maritime Safety Committee ; MSC)를 중심으로 인적 요소의 체계적 정량화를 위하여 HEAP(Human Effect Analysing Process)이 개발되었다(IMO, 2002). 한편, 선원의 피로가 해상사고를 일으키는 인적 과실 중에서 가장 중요한 요인으로 파악하고, 통신퉈업반 활동을 통해 선박운항 관련 직종별 피로의 원인 및 방지대책을 제시한 "Fatigue Guidance"을 개발하였고, 지속적인 업데이트하고 있다(IMO, 2001).

그리고 IMO는 인적요인에 대하여 “인적요인은 해양안전, 보안, 그리고 해양환경보호에 영향을 주는 복합적이고 다차원적인 문제이며, 선박의 승무원, 육상의 관리자, 감독기관, 선급, 조선소, 입법기관 등에 의해 수행되는 모든 인간 활동을 포함한다. 효과적으로 인적요인에 대한 문제를 다루기 위해서

는 이러한 모든 이해 당사자들이 협조해야 되는 문제” 라고 정의하고 있다.

따라서 인적요인은 인간과 시스템 사이의 상호작용에 영향을 미치는 모든 요인을 광범위하게 포함하고 있는 복합적이고 다차원적인 문제라고 할 수 있다. IMO에서는 그림 1과 같이 인적요인을 사회적 요소, 법률적 요소, 인간능력요소, 문화적 요소, 건강적인 요소, 설계적 요소 등과 관계를 가지는 광범위한 개념으로 표현하고 있다(Eriksson, 2003).

인적요인의 개념이 복합적이고 다차원적인 의미를 포함하기 때문에, 이에 대한 IMO의 대응도 포괄적이고, 광범위한 연구를 수반하며, 모든 이해 당사자(Stakeholders), 즉 IMO, ISO(국제표준기구), ILO(국제노동기구) 등 국제기구, 기국, 항만국, 선사, 선원, 조선사, 선급, 보험사, 그리고 훈련기관 등이 인적요인의 문제에 대하여 각자의 역할을 적극적으로 이행하고 상호 협력할 것을 요구하고 있다.

즉, 해사분야에서 인적요인이 갖는 의미는 인간 자체에 한정되는 개념이 아니라 인간과 관계를 가지는 하드웨어, 소프트웨어, 작업환경, 문화 등을 모두 포함하고 국제사회, 정부, 산업계, 해운회사, 조선회사, 선급, 항만당국, 보험사, 선원 등 많은 이해 당사자의 참여와 협조가 요구되는 포괄적이고 복합적인 개념이라고 할 수 있다(백진수, 2007).

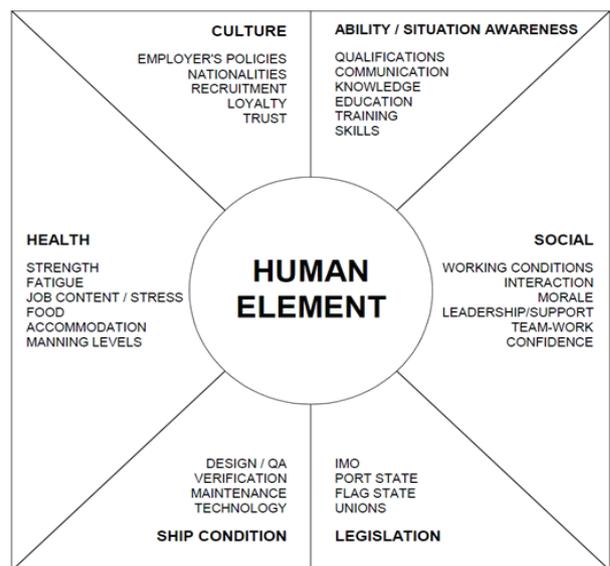


그림 1. 인적요인의 복잡성

## 2. 선박설계 단계에서 고려해야 할 인적요인

선박은 거대 Man-machine system으로서 Human-Machine Interface(HMI)를 가지게 되는데, HMI의 초점은 사용자와 기계가 상호 작용하는 부분을 보다 효율적으로 설계하는데 그 목적이 있다(Sanders and McCormick, 1998). 그림 2는 인간(사용자)과 선박(기계)간의 인터페이스를 보여주는 그림으로서, 사용자와 기계간에 있어서 가장 중요시 설계해야 할 부분은 사용자와 기계가 상호작용하는 부분임을 보여주고 있다.

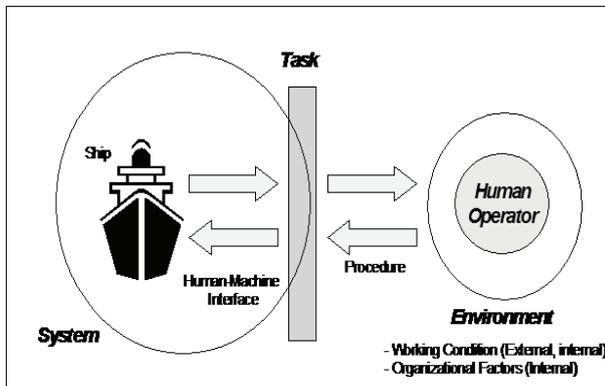


그림 2. 인간(사용자)과 선박(기계)간의 인터페이스

선박설계의 관점에서 “인간공학적 고려”는 선원의 효율적 임무 수행과 선원/승객의 안전하고 쾌적한 선상활동을 확보하기 위한 측면과 선박운항의 관점에서 인적 요인에 의한 사고를 줄이기 위한 운항안전 측면으로 구분할 수 있다(김흥태 외, 2001).

선박설계를 위한 “인간공학적 고려”는 피난 안전설계, 오작동 방지 설계 등 뿐만 아니라, "Design for Quality of Work Life"라는 측면에서 선박에서 활동하는 선원 및 승객의 쾌적한 활동을 확보하기 위한 편의성 및 거주성(Habitability) 등에 관한 내용이며, 선박운항을 위한 “인간공학적 고려”는 작업 피로, 인간 과실 등과 같은 인적 요소 뿐만 아니라, 작업일정, 선원 규모 등과 같은 조직적 요소에 대한 고려를 포함하고 있다.

여기서의 “인간공학적 고려”는 선원 및 승객과 같은 선박 사용자의 안전, 효율성, 건강 및 쾌적성에 도움이 될 수 있도록 작업 환경(선교, 기관실, 식당 및 거주공간, 작업 기준, 작업절차)을 설계하는 것이다.

즉, 선박의 구조 및 의장품(부속품)은 선박의 설계, 운항, 검사 및 유지보수 과정에서 선원 및 승객의 안전이 보장될 수

있도록 “인간공학적 설계 원칙”을 사용하여 설계되고 운용되어야 한다.

선박의 설계에 있어서 인간공학적 고려가 없을 경우에는 선상작업 수행의 어려움을 증가시키는 결과를 초래한다. 이러한 경우의 예에는 불충분한 조명, 과도한 소음과 진동, 불충분한 냉난방 및 환기, 위험한 선내 계단·사다리·격벽·바닥면, 악천후나 열악한 운항조건에 대한 불충분한 규정, 불충분한 보호구나 손잡이, 선박운동을 고려한 작업대의 방향, 불분명한 표시기 및 표시기명, 제어기 및 표시기의 잘못된 배치·크기·색상, 운항 및 유지보수와 관련된 불충분한 설계, 안전과 관련된 불충분한 설계 등이 포함된다.

선박의 운항에 있어서 인간공학적 고려가 없을 경우에는 선상작업 환경의 질이 떨어져 몇몇 필요작업의 수행이 더욱 어려워진다. 이러한 경우의 예에는 개별 작업자의 작업간섭을 일으키거나 화물에의 접근이나 운송을 지연할 수 있는 선박운동과 균형에 영향을 미치는 운항작업(속도변경, 항로변경)이 포함된다.

선박의 유지보수에 있어서 인간공학적 고려가 없을 경우에는 설계수명이나 운항기간 내에 필요한 부품 및 장비를 갖추어 놓지 못함으로 인해, 선상작업 수행의 어려움을 증가시키는 결과를 초래한다. 이러한 경우에는 잘못된 유지보수로 인해 필요작업에 영향을 주게 되는데, 관리요소의 부재로 인해 적절한 유지보수를 위한 교체부품 및 도구가 불충분한 경우가 대표적인 예이다.

로이드 선급에서는 선박이 안전하고 효율적으로 운용되기 위해서는 선박사용자가 건강, 안전 및 업무수행도의 손실없이 작업하는 것을 지원할 수 있도록 설계되어야 하며, 이를 다음과 같은 사항을 고려해야 한다고 언급하고 있다(Lloyd's Register, 2008).

- 거주성(Habitability) : 선박사용자의 신체특성과 성별 및 환경요소(소음, 온도, 진동 등)를 고려하여 충분하고 안락한 거주환경을 확보함
- 유지보수성(Maintainability) : 운용상의 유지보수 작업을 신속/안전하고 효율적으로 수행할 수 있도록 접근성, 제거경로, 도구, 전문기술, 처리/생애주기 지원 등을 고려하여 설계되어야 함
- 운용성(Workability) : 주어진 사용자, 임무, 장비(H/W, S/W), 자재 및 절차 등 뿐만아니라 시스템이 사용되어지는 물리적/사회적 환경에 대한 충분하 고려가 필요함
- 제어성(Controllability) : 선교 및 기관실 등의 배치시 사용자와의 통합 및 인터페이스(통신설비, 제어기, 디스플레이, 알람 등)를 고려하여 설계되어야 함

- 조종성(Maneuverability) : 선박의 이용목적, 인원수 및 운항패턴에 일치하도록 적절한 조종능력을 갖추어야 함
- 생존성(Survivability) : 선원, 승객의 안전과 보안을 위해 충분한 소방, 손상제어, 인명구조 설비 및 보안장치를 갖추어야 함

위와 같은 고려사항을 선박설계에 반영하기 위해서는 인간 중심 설계(Human Centered Design)의 개념이 적용되어야 한다. 선박설계에서의 인간중심 설계는 다른 분야에 비해 상대적으로 생소한 개념이며, 시스템의 사용가능성(usable)에 초점을 맞추고 있다. 여기서 사용가능성이란, 일반적으로는 인간이 사용하기 편하게 제품 또는 시스템을 생산 또는 개발하고 사용자의 피드백에 의하여 지속적으로 제품 또는 시스템을 개선한다는 개념이며, 선박설계 관점에서는 선원, 선박, 시스템 및 운용절차들 사이의 부적합으로부터 야기되는 위험을 줄이기 위해, 다양한 사용자의 관련 지식과 운용 경험을 활용하는 것을 말한다.

인간중심 설계의 4원칙은, 사용자의 적극적인 참가와 일에 요구되는 명확한 이해, 사용자와 기술에 대한 적절한 기능배분, 설계에 의한 해결의 반복, 그리고 다양한 직종을 기본으로 하는 설계 등이며, 이러한 원칙으로부터 인간중심 설계활동으로서 다음의 프로세스를 정의하고 있다. 그것은 이용 상황의 파악과 명시, 사용자와 조직의 요구사항 명시, 설계에 의한 해결안의 작성, 그리고 요구사항에 대한 설계의 평가이다(차원민, 2008).

ISO TC 159 인간공학 기술위원회는 1984년 인간-시스템 상호작용에 관한 인간공학에 대한 표준을 확립하고자 소위원회(SC4)를 설립하여 인간중심 설계의 기준을 개발하였으며, 이후 ISO 13407(인터랙티브 시스템의 인간중심설계프로세스: 1999) 및 ISO TR 18529(인간중심 라이프사이클 프로세스, 2000)로 발전되었다(Lin et al., 2007).

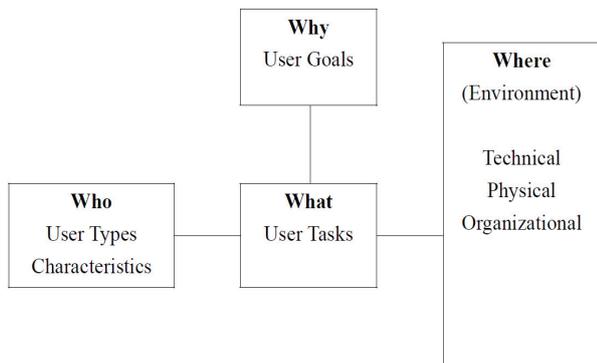


그림 3. 인간중심의 설계프로세스

ISO 13407의 구성은 적용범위, 인간중심 설계 프로세스를 적용하는 범위, 인간중심 설계의 원칙, 인간중심 설계활동, 그리고 적합조건들이다. 여기서 인간중심이란 사용자의 목소리를 반영시켜서, 사용자로서의 이용품질을 확보한다는 뜻이다. 또한 이용품질이란 이용자가 목적을 달성하기 위해서 만족하고 효율적으로 사용할 수 있는 제품의 특성을 말한다.

한편 IMO에서는 해상안전과 해양환경보호에 관한 정을 제·개정시에 인적요인을 반드시 고려하도록 하고 있는데, 기술적 검토와 함께 정원, 훈련, 관리, 작업환경 등의 분야에 대한 검토를 하도록 규정하고 있다. IMO에서는 해상안전과 환경보호와 관련된 인적요인을 다루는 실용적인 방법으로 그림 4와 같은 인적요인 분석절차(Human Element Analysing Process ; HEAP)를 제시하고 있는데, 이는 새로운 규칙을 제·개정할 때 선박설비, 선장과 선원, 훈련, 육상관리 및 작업환경 등과 관련된 인적 요인을 적절하게 고려할 수 있도록 도와주는 방법이다(IMO, 2002).

또한 기술적 검토에는 설계, 인간공학, 제작, 시험, 승인, 관리 등의 사항이 포함되고, 정원 분야에는 자격, 승무원의 수, 승무원의 구성, 문화 등이, 훈련 분야에는 기초안전훈련, 숙련화, 훈련, 추가 훈련, 육상직원의 훈련 등이, 관리 분야에는 정책, 안전문화, 동기, 의사소통, 책임과 권한, 작업계획, 비상계획, 절차, 점검표, 교육과 훈련 그리고 작업환경 분야에는 인간기계인터페이스, 작업시간, 휴식시간, 피로, 생활환경 등을 고려하여 규정을 검토 제정하도록 하고 있다.

### 3. 인적 신뢰성 해석 및 평가

#### 3.1 개요

일반적으로 광의적 정의에 따른 안전 즉, 적극적 안전이란 산업시스템으로부터 직접 또는 간접적으로 여하한 형태로든 생존권 위험을 받지 않는 상태를 가리키며, 협의적 정의에 따른 안전 즉 소극적 안전이란 산업시스템에 기인하는 재난으로부터의 보호를 지칭한다. 대규모 시스템에서는 기계계통의 안전성 및 신뢰성은 향상되고 있는 반면, 인적요인에 의한 사고가 상대적으로 증가하는 것으로 알려져 있다.

디자인 과정 또는 진행 중인 운영관리의 일부로서 시스템 고장의 빈도를 평가할 목적으로 정량적 위험 평가(Quantitative Reliability Analysis ; 이하 QRA)를 주기적으로 사용하는 산업에서는, 유효한 결과를 산출하기 위해 인적요인이 시스템 실패에 기여하는 정도를 평가하는 것이 꼭 필요하다고 인식하고 있다.

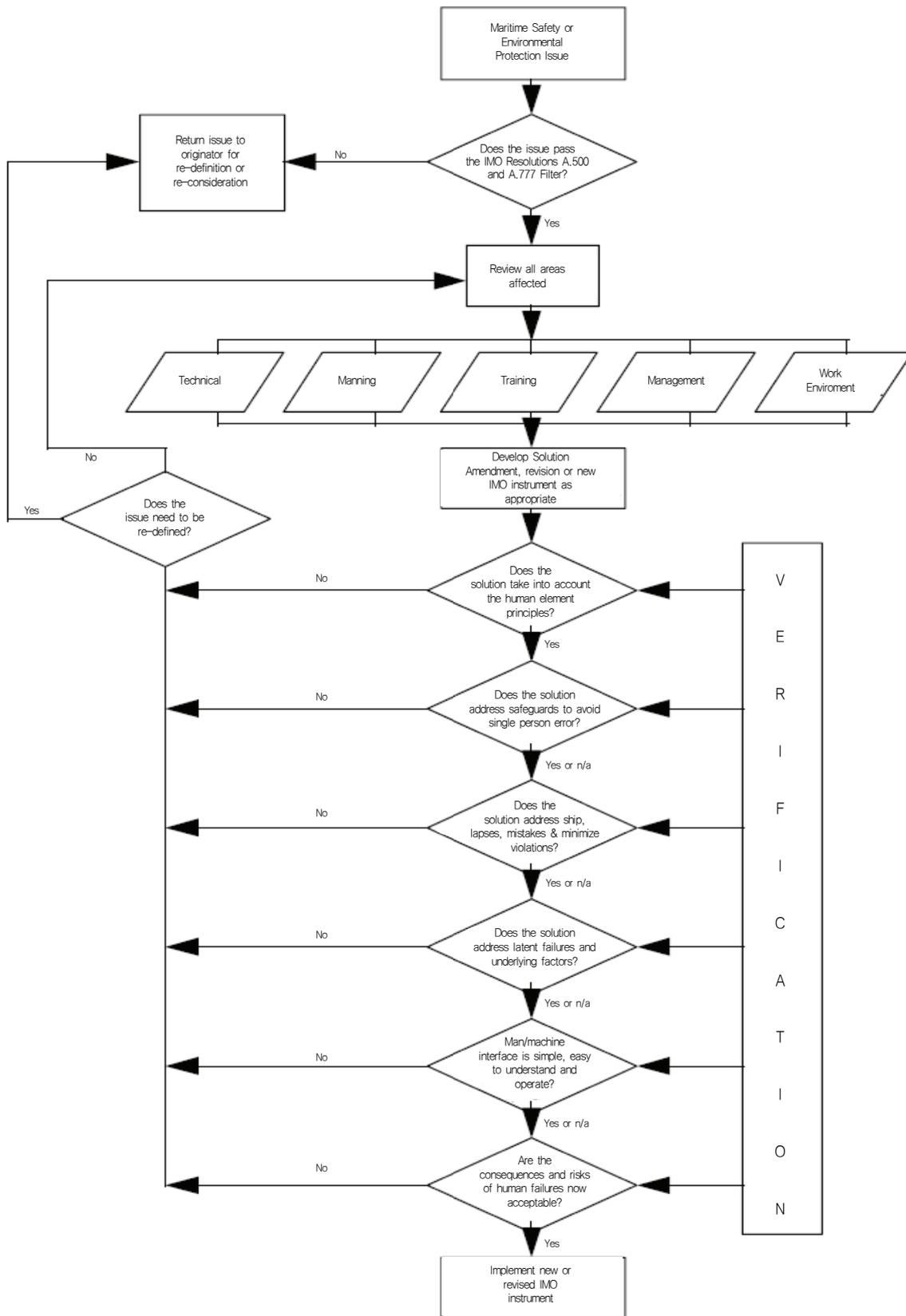


그림 4. HEAP의 적용절차

인적 신뢰성의 해석(Human Reliability Analysis)에 있어서는 부주의 즉, 생략 오류가 중심이 되어 왔으며, 이는 사건발생계통도 상에 누락오류로 표현하고 있다. 한편 시스템의 전체 거동 중 반드시 필요한 것은 아니나, 상태의 진전을 악화시킬 수 있는 인간 행위에 의한 과오인 수행오류는 결함발생계통도 상에 수행오류로 표현한다. 이와 같은 수행오류를 포함한 인적과실은 단순히 과오가 아니라 정황에 따라 일어나게 되는 행동으로 해석하는 것이 인적 신뢰성 해석이다.

즉, 인적 신뢰성 해석에서는 시스템 성능에 미치는 인간의 영향을 다루며, 시스템의 인적과실 영향도를 평가하는데 사용할 수 있다. 일반적으로 인적 신뢰성 해석은 정성적 혹은 정량적으로 될 수 있다. 정성적으로는 발생 가능한 인적과실과 그 원인을 식별해서, 그 과실의 발생확률을 줄이는데 사용될 수 있다. 또한 정량적으로는 FTA(Fault Tree Analysis)를 비롯한 위험분석을 위한 인적과실에 관한 데이터를 제공한다.

일반적으로 위험분석에서는 설계와 운용에 관련된 위험을 정량적으로 예측하는 과정을 포함한다. 대표적인 것이 FTA나 ETA(Event Tree Analysis)와 같은 도구에 의해 특정한 사고 이벤트가 가지는 확률을 예측하는 것이다. 이러한 과정에 보다 현실적인 예측을 위해서는 인적과실 관련 이벤트의 고려가 필요하다. 여러 가지 불확실성과 데이터의 부족에도 불구하고, 정량적인 데이터의 확보를 위한 다양한 접근이 이루어지고 있는데, Kirwan(1992)은 인적 신뢰성 해석의 목적을 다음과 같이 언급하고 있다.

- 인적과실의 식별
- 인적과실의 정량화
- 인적과실의 감소

인적 신뢰성의 해석의 방법론에 대해서 주로 화학공정 및 원자력 산업에 응용을 위한 많은 연구가 진행되었으나, 인지 과학자들에 의해 실질적인 방법 면에서 인간의 거동(human behavior)을 정확하게 모델화하는데 근본적 취약점을 가지고 있다고 평가받고 있다. 그림 5는 IEC/ISO 3010에서 제시하고 있는 인적 신뢰성 해석의 방법론적 절차를 나타내고 있으며, 주된 내용은 다음과 같다(IEC/ISO, 2009).

인적 신뢰성 해석을 위한 입력사항은 다음과 같다.

- 인간이 수행하는 작업을 정의할 수 있는 정보
- 실제상황 혹은 발생 가능한 과실이 일어날 때, 과실 유형에 대한 경험(지식)
- 인적과실과 정량화에 대한 전문적 지식

인적 신뢰성 해석의 절차는 다음과 같다.

- 문제정의 : 어떠한 유형의 인적 개입이 조사/평가 되는가?
- 직무분석 : 어떻게 직무가 수행되고, 어떤 도구가 지원되는가?
- 인적과실 분석 : 어떻게 직무가 실패되었나, 어떤 과실이 발생하였고, 어떻게 회복할 수 있나?
- 스크리닝 : 상세한 정량화가 필요 없는 과실이나 직무가 있나?
- 정량화 : 인적과실과 직무의 실패가 얼마나 자주 발생하는가?
- 영향 분석 : 어떠한 과실이나 직무가 가장 중요(신뢰도나 위험에 기여가 큰)한가?
- 과실 저감 : 어떻게 보다 높은 인적 신뢰성을 확보할 것인가?
- 문서화 : 인적 신뢰성 해석의 어떤 세부항목을 문서화할 것인가?

인적 신뢰성 해석의 출력사항은 다음과 같다.

- 발생가능한 과실의 리스트와 이를 줄일 수 있는 방법
- 과실 모드, 과실 유형, 원인 및 결과
- 과실에 의한 위험의 정성적 또는 정량적 평가

### 3.2 인적 신뢰성 해석 일반지침

IMO에서는 인적요인의 고려를 QRA와 FSA 연구에 통합하기 위해 HRA의 활용을 제시하고 있으며, FSA 통합 가이드라인(Consolidated text of the Guidelines for Formal Safety Assessment; MSC 83/INF.2)의 부록으로 인적 신뢰성 해석 일반지침(Guidance on Human Reliability Analysis)을 개발했다(IMO, 2007).

이 지침은 선박 안전설계와 관련하여 FSA 일반지침과 함께 해양안전, 오염방지와 관련된 조약의 제안 또는 개정 시 위험의 감소와 위험 감소를 위한 방법의 검토, 선택에 있어 의사결정을 지원할 수 있는 기준을 제시하는데 활용 가능하다.

HRA는 원자력 산업에서 먼저 개발되었으며, 타 산업에서 HRA를 사용하기 위해서는 그 기법들이 적절하게 적용되어야 하는 것이 필요하다. 예를 들어, 원자력 산업에서는 내장된 자동 보호 시스템(built-in automatic protection systems)이 많기 때문에, 인적요소의 고려는 전체 시스템의 작동을 고려한 후로 미루어진다. 선상에서는 사람이 시스템의 작동을 방해할 가능성이 더 많다. 그러므로 FSA의 초기단계에 고수준 직무분석이 고려되어야 할 필요가 있다.

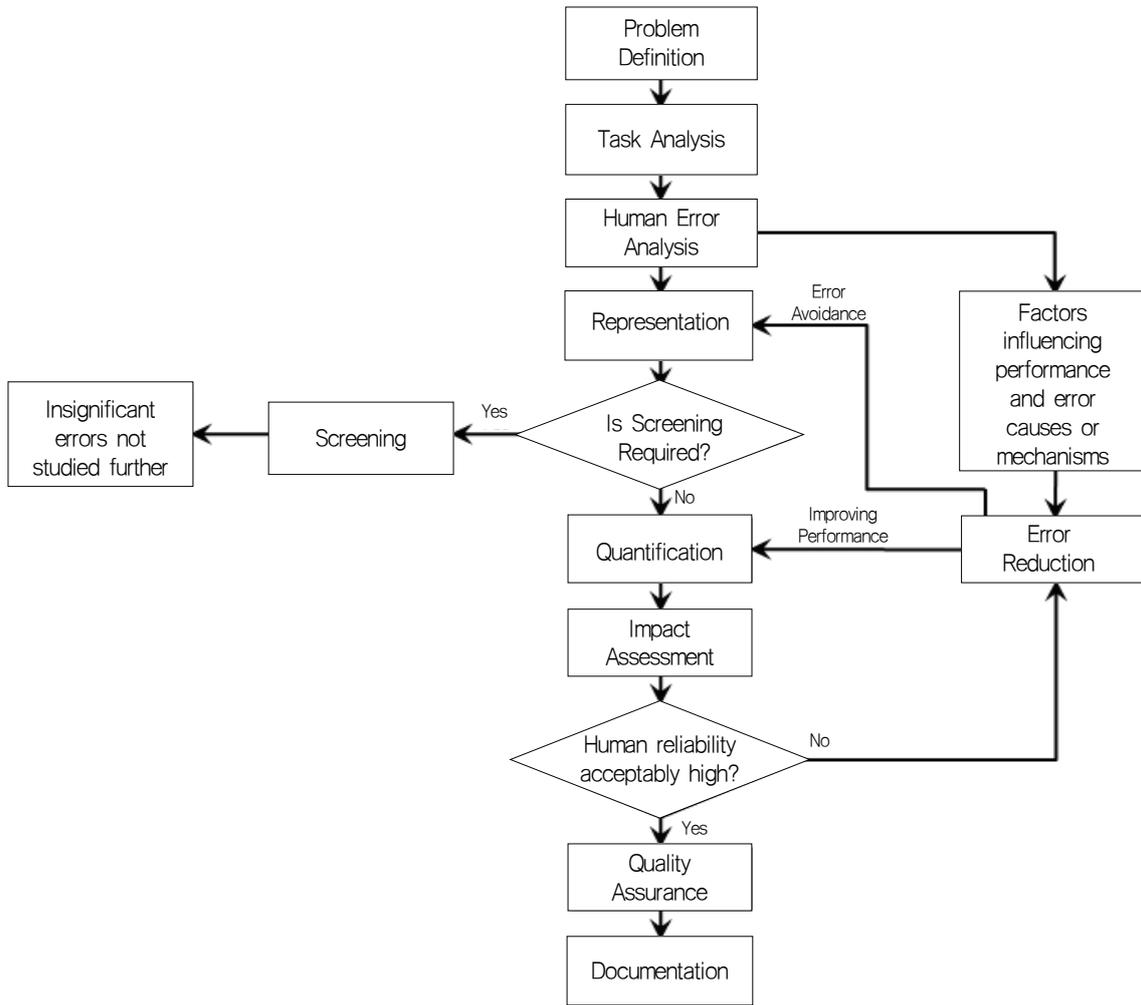


그림 5. 인적 신뢰성 해석의 절차

HRA는 분석의 전체 목적에 따라서 많은 기법들의 사용 가능성과 작업의 집합을 포함하는 과정이다. HRA는 시행되고 있는 FSA의 수준에 따라 정성적 또는 정량적으로 수행될 수 있다. 만약 전적으로 정량적 분석이 요구된다면, 고장수목(fault tree)이나 사건수목(event tree)과 같은 정량화된 시스템 모델에 맞추기 위하여 Human Error Probabilities (HEPs)를 구해야 한다. 그러나 대부분의 경우 정성적 분석만으로도 충분하다. HRA의 과정은 일반적으로 아래의 단계들로 구성 된다(IMO, 2007).

- 주요 작업의 파악(identification of key tasks);
- 주요 작업의 직무분석(task analysis of key tasks)
- 인간과실 파악(human error identification);
- 인간과실 분석(human error analysis); 그리고
- 인적 신뢰도 정량화(human reliability quantification)

전적으로 정량화된 FSA 접근법이 요구될 때는, PRA (Probabilistic Risk Assessment)에 통합하기 위한 HEPs set의 전개를 위하여 HRA가 사용될 수 있다. 그러나 HRA의 이러한 측면은 지나치게 강조되어질 수 있다. 경험을 갖춘 전문가들은, 대부분의 이득은 “작업 분석”과 “인간과실 파악”의 정성적 단계인 초기에 얻어진다고 본다. 이러한 영역에 들인 노력은 큰 대가를 얻을 수 있다. 왜냐하면, 조사를 위하여 관심을 기울여야 할 영역이 정확하게 선택되었을 때에만 HRA의 시행은 성공을 거둘 수가 있기 때문이다.

HRA의 마지막 단계인 “인적 신뢰도 정량화”에서의 사용을 위한 자료는 현재 일반적으로 제한되어있다는 것을 기억할 필요가 있다. 몇몇의 인간과실 데이터베이스가 만들어져 있다고 하더라도, 거기에 포함된 자료 중에 아주 일부만 해운 산업에 관련이 있다. FSA가 HRA로부터 정량화된 결과를 요구하는 약간의 사례의 경우에는, “전문가의 판단”이

적당한 데이터를 얻어내기 위한 가장 적절한 방법이 될 수 있다.

### 3.3 인간과실 정량화 (Human Error Quantification) 기법

인간과실의 정량화에는 여러 가지 방법이 있다. 작업 정의를 바탕으로 활용 가능한 전문가 의견 수렴 기법 중 절대 확률 판단 (Absolute Probability Judgement, APJ)은 단일 전문가에서 대규모 전문가 그룹까지 활용 가능한 방법이다.

이 밖에 다양한 전문가들의 의견을 활용하기 위한 방법으로 브레인스토밍(brainstorming), 의사 결정 합의(consensus decision-making), 델파이(Delphi), 명목 그룹 기법(the Nominal Group technique) 등을 활용할 수 있다. 전문가 의견을 보완하거나 추가적인 대안이 필요한 경우, 과거 자료나 유용성이 검증된 일반 과실 확률 데이터베이스를 활용할 수 있다. 인간과실 추정 기법(the Technique for Human Error Rate Prediction, THERP)과 인간과실 평가 및 감소기법(Human Error Assessment and Reduction Technique, HEART)은 원자력 산업 등을 위해 개발된 일반 과실 확률 데이터베이스를 포함하고 있어 필요시 인적 신뢰성 해석에 활용 가능하다.

일부 사례에서는, 해운산업에 대한 신뢰성 있는 인간과실 데이터 획득의 어려움 때문에, 인간과실의 확률을 얻기 위하여 전문가 의견수렴 기법들이 사용되어야 할 필요가 있는 경우가 있다. 전문가 의견수렴 기법들은 아래의 네 가지로 분류될 수 있다.

- Paired comparison (짝지어 비교하는 방법);
- Ranking and rating procedures (등급/값을 매기는 방법);
- Direct numerical estimation (직접 수치 추정판단);
- Indirect numerical estimation (간접 수치 추정판단)

THERP는 Sandia National Laboratories for the US Nuclear Regulatory Commission(미국 원자력 규제 위원회)에 의하여 개발되었으며, 가장 널리 사용되어지는 인간과실의 정량적 예측 기법이다(Swain and Guttman, 1983). THERP는 인간 신뢰성 기법이며, 또한 인간과실 데이터뱅크(databank)이다. 이는 확률 트리와 의존도 모델을 이용하여 인간과실을 모델링하며, 작업에 영향을 미치는 performance shaping factors(PSFs)도 고려한다. 이 기법은 인간과실 확률 데이터베이스에 크게 의존하며, 고도로 절차화된 작업들에서의 오류들을 정량화 하는데 있어서 특히 효과적이다.

HEART는 작업수행에 악영향을 미치는 특정 인간공학적 고려 사항, 작업들과 환경적 인자들을 고려한다. 각 인자가 독립적으로 작업수행에 영향을 미치는 범위를 정량화하고, 특정 작업에 대하여 파악된 인자들의 산출물로서, 인간과실의 확률은 계산되어진다(Williams, 1986). HEART는 인간과실에 대응하기 위하여, 개선된 위험 제어방안들에 대한 특정 정보를 제공한다. 이는 인간과실에 대한 다섯 가지 특정 원인들과 기여 인자들에 초점을 맞춘다.

- 감소된 시스템 지식(impaired system knowledge)
- 응답시간 부족(response time shortage)
- 결여(poor) 또는 애매한(ambiguous) 시스템 피드백
- 오퍼레이터에게 요구되는 주요 판단
- 직무, 건강악화 또는 환경으로부터 원인이 된 경고의 수준

인간과실 정량화 기법들을 적용할 때에는, 다음과 같은 사항들을 고려하는 것은 중요하다.

- 인간과실의 크기 또는 중요성은 대부분의 안전성 평가의 시행에 이를 반영하기에 충분하다. 인간과실의 크기 또는 중요성 정도의 대략적인 접근으로도 충분하다. HEPs의 유도는 모델링과 정량적인 불확실성에 의해 영향을 받게 될 것이다. 최종 민감도 분석은 추정 평가된 위험에 대한 불확실성의 영향을 보여주기 위하여 제시되어야 한다.
- 정확한 양을 도출하기 위하여 사용되는 것 보다 인간과실 간의 상대적인 비교를 통한 분석을 위해 사용될 때 인간과실 정량화는 매우 효과적일 수 있다. 인간과실 정량화는 다양한 risk 제어방안들의 평가를 돕기 위하여 사용될 수 있다.
- 정량적 분석의 상세사항은 FSA 모델의 상세 수준과 일치하여야 한다. HRA는 FSA의 기술적 요소들보다 더 상세해서는 안 된다. 분석되어지고 있는 위험, 시스템 또는 운용에 대한 행위의 기여도에 따라 상세 수준은 선택되어야 한다.
- 선택된 인간과실 정량화 기법은 분석의 요구에 적합해야 한다. 많은 수의 사용가능한 인간과실 정량화 기법들이 있다. 이들 중 하나의 기법을 선택하는 것은 '일관성', '사용의 편리성(usability)', '연어지는 결과의 타당성', '유용성(usefulness)', 'HRA를 위한 자원의 효과적인 사용' 그리고 '기법의 완성도(maturity)'에 따라 평가되어야 한다.

## 4. 인적 신뢰성 해석의 한계와 문제점

인적 신뢰성 해석은 인간이 중요한 역할을 하는 시스템과 관련된 위험을 고려할 때, 인적과실의 분석을 포함한 공식적인 메커니즘을 제공함으로써, 과실로 인한 실패의 확률을 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 인적 신뢰성 해석은 인간이 가지는 복잡성과 변동성으로 인해 단순 성공/실패로만 평가할 수 없는 부분 실패 혹은 질적 실패 등을 정의하기가 어려운 한계점이 있으며, 인적과실의 확률을 정량적으로 평가하는 부분에서는 방법의 기술적 적합성과 결과의 신뢰성에 대한 논란이 계속되고 있다.

공식화된 구분법은 아니나 인적 신뢰성 해석을 방법론은 크게 1세대 HRA와 2세대 HRA로 구분된다. 1세대 HRA는 1970년대와 1980년대에 개발된 것으로, 이론적 기반이 없이 공학적 평가나 전문가 판단 기법에 의존하여 인간의 행위적 직무의 오류 평가에 초점을 두고 있다. 반면 2세대 HRA는 1990년대 중반 이후에 개발된 것으로, 1세대 HRA의 기술적 근거를 보강하고 상황 판단이나 진단과 같은 인지적 직무의 오류 평가에 목표를 두고 개발되었다(정원대 외, 2011).

현재까지 IMO에서 제시하고 있는 APJ, THERP, HEART 등의 인적 신뢰성 해석을 위한 방법론들은 주로 1세대 HRA 방법론들이다. 2세대 HRA 방법은 정량적 평가에 무게를 둔 1세대 방법과는 달리 직무수행 과정에서 발생 가능한 오류 유형과 분류체계 및 오류가 발생하는 구조 등 정성적 오류분석을 중시한다. 2세대 방법론은 이러한 인적오류 유형, 분류체계, 발생구조에 대한 분석 과정을 통하여 인적오류를 저감할 수 있는 방법을 제시하는데 상대적으로 효과적이라는 장점이 있으며, 대표적으로 HRMS(Human Reliability Management System), CREAM(Cognitive Reliability and Error Analysis Method), ATHEANA(A Technique for Human Event Analysis), 그리고 MDTA(MisDiagnosis Tree Analysis) 등이 있다.

현재 원자력이나 항공, 우주, 화공 플랜트 등과 같이 전체 시스템의 자동화에 따라 인간의 업무가 주로 감시 업무에 한정되는 기존 적용분야에 비해, 인간의 적극적인 의사결정 및 조작 업무가 상존하는 해사분야에서는, 인적 신뢰성 해석기법을 적용하기 위해 2세대 HRA의 적극적 활용을 통한 HRA의 신뢰성 향상과 실제 선박운항 데이터에 기반을 둔 새로운 기법의 개발 및 활용이 필요한 시점이라 할 수 있다.

## 참 고 문 헌

- Eriksson, P., 2003, IMO's work on the human element in maritime safety, SUNDRISK Project Report
- IEC/ISO, 2009, Risk management - Risk assessment techniques, IEC/ISO 301010
- IMO, 2001, MSC/Circ.1014 - Guidance on fatigue mitigation and management
- IMO, 2002, MSC/Circ.1023 - Guidance on the use of HEAP and FSA in the IMO rule making
- IMO, 2007, Consolidated text of the Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process, MSC 83/INF.2
- Kirwan, B., 1992, Human error identification in HRA, Applied Ergonomics, Vol. 23, No. 6, pp 299-318.
- Lin, C.J. et al., 2007, A Human-Centered Systems Approach to Ship Facility Design, Human-Computer Interaction, Part IV, HCI 2007, LNCS 4553, pp. 639-648
- Lloyd's Register, 2008, The Human Element-An Introduction, HE Alert
- Sanders, M.S. and McCormick, E.J., 1998, Human Factors in Engineering Design, McGraw-Hill Science
- UK HSE, 1989, Quantified Risk Assessment : Its Input to Decision Making, Health and Safety Executive, HMSO, London
- 김홍태, 이종갑, 이동근, 박진형, 2001, 선박해양공학분야에서 인간공학기술의 활용현황 및 전망, 대한인간공학회지, 제 20권 제2호, pp. 99-111
- 백진수, 2007, 해사안전분야에서의 인적 요인에 관한 심층 연구, 해양한국
- 정원대, 김재환, 2011, 원자력발전소 위험도 평가를 위한 인간신뢰도분석, 대한인간공학회지, 제30권 제1호, pp. 55-64
- 차원민, 2008, 인간공학에 의한 인간중심설계, ReSeat, 교육과학기술부



김 홍 태

- 1966년생
- 2002년 고려대학교 공학박사
- 현 재 : 한국해양연구원 책임연구원
- 관심분야 : Maritime Human Factors
- 연락처 : 042-866-3643
- E-mail : kht@moeri.re.kr