

철도교통의 기술적 안전과 인간요인의 신뢰성



최병호

교통안전공단 미래교통개발처장

T.010.9414.6768

choe2116@hanmail.net

1. 머리말

철도교통시스템은 철도기술만으로 구성되어 있지 않다. 시스템을 운영하거나 통제하는 인간은 시스템의 기술적 안전의 성패를 좌우한다. 철도기관사, 철도경영자, 관제사 등의 작업 공간은 인간의 강점과 약점을 고려하여 설계되어야 한다. 예컨대 복잡한 작업 환경에서 안전에 필수적인 정보의 양이 적절하게 제공되고 있는지를 어떻게 판단할 것인가? 작업 공간의 인터페이스의 효용성은 시스템 개발의 초기단계부터 고려되어야 하고 이를 통해 최종결과물에 대한 직관을 얻을 수 있다. 철도기술의 효용성, 즉 인간요인의 신뢰성에 대한 분석은 교육훈련 비용을 줄이고 재설계에 따른 비용부담을 방지할 수 있다. 왜냐하면 인간은 오류를 범할 수 있고 정보처리의 복잡성이 커질수록 인간요인의 신뢰성이 저하되기 때문이다. 따라서 철도교통시스템은 복잡하고 어려운 상황 또는 시스템장애가 발생 시 이용자에게 최적의 정보를 제공하여 지체시간을 최소화하고 원상복귀를 할 수 있는 방향으로 설계되어야 한다. 궁극적으로 철도교통의 기술적 안전은 시스템이용자의 인지 및 판단 프로세스에 대한 이해, 인터페이스에 대한 인간공학적 평가가 전제되어야 한다.

2. 기술적 안전의 개념

철도기술의 발전과 더불어 안전기술도 꾸준한 발전을 해왔으나 기술적 안전의 개념은 조망할 수 있는 경계를 넘

어섰고 통섭의 영역으로 인식되고 있다. 철도교통의 기술적 혁신은 새로운 유형의 위험을 유발하고 기대하지 않은 부작용을 일으킨다. 유럽연합은 이미 철도교통의 기술적 안전을 시장의 자율에 맡긴 상태이다. 예컨대 독일엔지니어협회(VDI)는 철도기술의 안전과 관련한 지침을 개발, 현장적용을 유도하고 있다. 특정기능의 상실이나 장애가 불안정한 상태를 유발하지 않는 한 시간적 경과에 따른 기능의 신뢰성은 기술적 안전의 필수요인은 아니다. 오히려 기술적 안전보다 시스템이용자가 기술에 의존하는 강도가 커질수록, 자율성 상실감을 느끼는 강도가 높을수록 시스템의 불안요인으로 작용하게 된다. 그렇다면 인간요인에 의한 한계위험의 수용수준을 결정할 수 있는가? 철도사고나 철도장애가 발생하면 우리는 신체적 손상에 대한 직접적인 위협으로 느낀다. 언론과 감독기관의 반응은 국민의 인식을 강화하고 특히 충분한 조치가 취해지지 않을 시 기술적 안전에 대한 신뢰도는 저하된다. 대형 사고는 특히 사회적 파장이 클수록 기술적 안전의 한계위험의 적정성에 대한 비판에 직면한다. 통상 감독기관은 관련 법령 및 지침이 기대된 안전을 보장할 수 있는지를 검토한다. 이러한 전형적인 대응과정에서 몇 가지 인식을 엿볼 수 있다. 첫째, 100% 기술적 안전은 존재하지 않으며 기술한계를 인정하는 것이다. 둘째, 안전은 편익 이전에 생성, 개발되어야 한다. 셋째, 복잡한 사고나 장애는 하나의 원인으로 귀결되지 않는다. 넷째, 다양한 영향요인의 복합적인 작용이 사고 및 장애를 유발한다. 기술적 안전에 영향을 미치는 요인은 제도적 평가 내지는 법률적 판결, 불예측적 장애사슬, 오류가능성이 높으면서 안전을 결정하는 개발

자/이용자/운영자/감시자로서의 인간 등 다양한 지식과 경험의 통섭을 요한다.

3. 기술적 안전과 직업윤리

기술적 안전의 한계에 대한 직관은 장애발생확률, 손해 규모, 장애인지 등을 통해 얻을 수 있으나 인간이 위험을 어떻게 인지하고 시간경과에 따라 인지내용이 어떻게 변화 내지는 변경되는지가 기술적 안전의 수준을 가늠한다. 충분히 알지 못하거나 완전한 통제력을 구사하지 못하는 위험에 대한 인간의 대응은 기술적 안전문제이다. 왜냐하면 위험상황에 대한 평가가 이용자마다 상이할 수 있고 이러한 인간의 존재적 결함이 오류행위를 유발하기 때문이다. 인간의 오류행위는 위험회피를 어렵게 만든다. 인간의 행위는 주관적으로 인식되지 않거나 객관적으로 알려져 있지 않은 위험요인, 불충분한 지식기반, 정보누락, 오판, 매너리즘(불감증), 부주의에 의해 주로 나타나지만 의도적인 행위로 유발되기도 한다. 위험의 가능한 결과, 발생빈도 내지는 지속기간, 대응유형 등을 고려하여 예컨대 발생빈도는 낮고 지속기간이 길거나, 발생빈도는 낮고 지속기간은 짧은 위험상황, 발생빈도는 높고 지속기간은 길거나, 발생빈도는 높고 지속기간은 짧은 위험상황을 구분할 필요가 있다. 엔지니어는 철도기술의 기술적, 사회경제적 및 환경적 연관성과 영향에 대해 의식하여야 하고 외부압력에 의한 책임행위를 제한시키는 행위를 거부할 수 있어야 한다. 기술적 안전은 철도기술의 기준을 정하고 이를 실행하는 엔지니어의 직업윤리를 포함하는 개념이 되어야 한다. 엔지니어는 철도기술의 칸막이 의식에서 벗어나 가치상충에 대해 열린 자세로 토론할 수 있어야 하고 기술적 안전의 제도적 및 정치적 가이드라인의 구체화에 적극 개입하여야 한다. 또한 기술적 안전의 범위가 광범위하고 통섭의 영역이기 때문에 엔지니어는 계속교육에 대한 의무가 있다. 기술적 안전에 있어 사고피해를 예방하고 서비스편익을 극대화하기 위해서 엔지니어는 전문성과 예측력을 갖추어야 한다. 왜냐하면 철도교통의 기술적 안전의 구현은 엔지니어의 직업윤리, 가치표상, 전문역량에 달려 있기 때문이다. 철도안전의 최전선에서 있는 엔지니어가 윤리적으로 사고하고 행동한다는 것은 철도안전에 대해

특별한 의미와 표상을 갖고 있음을 암시한다. 직업윤리의 중요한 조건중의 하나는 실제적인 문제해결 과정에 참여하여 자신과 주변의 가치구조를 조율하는 것이다. 특히 직무환경의 조직구조, 직무상황의 요구특성, 갈등경험은 윤리적 행위패턴의 변화에 직접적인 영향을 미친다. 환경조건 간 역학관계, 효과와 부작용, 의도된 부작용은 행위의 규범지향성 및 구속력에 대한 이해의 선행요건이다. 전문인력의 비율이 낮은 조직일수록 비도덕적 행위의 발생빈도가 높아진다. 비윤리적 능력은 전문능력이 부재한 조직에서 자주 나타난다. 전문성이 부재하거나 조직원의 감성능력, 즉 도덕적 능력이 부재하면 비윤리적 행위가 발현될 가능성이 높아진다. 중장기적 철도안전 계획의 수립은 실행가능성의 가치와 전략에 대한 신념 내지는 이해프로세스를 거쳐야 하며, 상부의 지시와 명령에 의하지 말아야 한다. 이는 실용적인 위기관리에 있어 매우 중요한 전략이다. 관료화된 조직의 행정구조에 의해 새로운 기술이 안전에 대한 충분한 검증과정을 거치지 않고 언론매체를 통한 홍보를 통해 도입되기 보다는 기술적 안전에 대한 매우 전문적인 프로세스와 지난한 토론과정을 거쳐 수용되어야 한다. 철도교통의 기술적 안전은 통섭의 과제이다. 철도기술은 인간의 모빌리티를 도와주고 사회경제적 밸런스를 지원하는 기능으로 존재가치를 찾아야 한다. 이는 엔지니어가 철도기술이 갖는 사회경제적 및 문화적 의미를 갖는 지에 대한 인문학적 이해를 갖추어야 함을 의미한다. 따라서 엔지니어는 기술적 역량을 안전영역의 보편적 토대에서 바라보아야 하며, 철도기술 문외한을 설득하고 이해시킬 수 있어야 한다. 이는 보통시민의 철도기술과 단체에 대한 불신과 불안함을 제거하기 위한 것이다. 철도사고 내지는 철도장애 시 그 원인에 대해 충분한 규명을 제공할 필요가 있다. 엔지니어는 철도사고 내지는 철도장애의 예방대책의 효과성에 대해 검토하여야 한다. 물론 엔지니어마다 기술적 안전에 대한 표상에 차이가 있을 수 있고 - 예컨대 경제성과 안전성의 우선순위에 대한 표상 - 안전진단의 결과도 달라질 수 있으므로 안전지식과 이해수준에 대한 주기적인 점검을 요한다. 또한 기술적 안전에 대한 지침도 새로운 기술과 인터페이스의 등장에 따른 인간의 적응성의 관점에서 개선여부도 고려되어야 한다. 철도안전을 관리·감독하는 기관의 전문성 내지는 매너리즘의 가능성도 검토해야 한다. 철도기술이 복잡해지고 첨단화될

수록 엔지니어 간 인식의 편차도 커지게 마련이다. 왜냐하면 통섭의 영역에서는 상이한 표상을 갖는 다양한 언어가 통용되고 따라서 공통의 언어적 이해력을 갖기 위해서는 전공영역의 벽을 허물고 통합적 접근능력을 배양하는 것이 요구된다. 이는 철도안전과 관련한 경험지의 전달에 매우 중요한 조건이다. 학계는 이러한 경험지를 지침으로 업데이트하거나 개발할 의무가 있다. 철도안전 관련법령은 기술적 안전에 대한 법적 기준을 마련하고 이에 대한 관리감독을 제도화하고 있으나 다양한 유형의 위기상황에 유연하게 대처할 수 있는 인식모델을 제공하지 않는다. 이점이 엔지니어가 안전기술영역의 경험지의 통섭적 상호관계를 실천하는 것을 어렵게 만든다. 여기에 위험성이 존재하는데, 안전기술의 불충분을 정치적인 판단과 타협하는 경우가 발생할 수 있다. 철도기술의 현대화가 반드시 안전을 보장하지 않는다는 인식이 확산될수록 엔지니어의 목소리보다 판사의 평가에 의존하는 아이러니가 발생할 수 있다. 과도한 안전규제와 관료화도 통섭적 접근을 저해하는 요인이다. 일례로 독일연방교통부는 교통안전법령과 관련하여 학회(FGSV)나 민간연구소(VDI, GDV) 등에서 개발한 각종 안전지침의 적용을 지방정부에 권고하고 시장의 자율성과 감시능력을 제고하는 정책을 펼치고 있다. 안전기술의 통섭적 접근의 핵심은 상이한 안전기술개념을 일반화하고 숨겨진 공통점을 찾아내어 이를 개별기술 영역에 환류하는 것이다.

4. 철도기술시스템과 인간요인

철도사고나 철도장애 시 고도의 철도기술시스템의 개선은 비용부담이 매우 크고 투자 대비 편익효과가 높지 않다. 오늘날 기술적 안전도가 높아지면서 시스템요인인 인간의 오류가 증대한 사고나 장애를 유발하지 않는 방향으로 접근하는 추세이다. 인간요인은 기술적 시스템의 신뢰성과 안전성을 결정하며, 철도기술시스템의 라이프사이클에 영향을 미치는 요소이다. 인간요인(Human Factors)은 생리적 특성에 초점을 맞춘 인간요인(Ergonomics)과 구분하여 인지적 특성을 강조하는 개념이다. 인간요인(Human Factors)은 조직문화, 직무수행방법, 안전의식, 의사결정구조 등 종합적인 이해를 요한다. 철도기술시스템

의 신뢰성과 안전성은 인간요인을 시스템설계에 어떻게 반영하는가에 달려 있다. 인간은 기계보다 신뢰성이 떨어지지만 유연한 판단을 할 수 있고 오류가능성을 학습능력으로 극복할 수 있다. 인간의 행위요인은 행위목표의 미달성을 의미하며, 타인의 의도적인 오류행위의 가능성을 감안하면 논리적인 부조리를 안고 있다. 이러한 관점에서 인간은 오류에 대한 권리를 보장받을 필요가 있다. 오류를 허용하는 조직문화란 인간의 오류를 학습의 기회로 인식하고 오류 유발자보다는 오류가 발생한 기제를 규명하는데 관심을 갖는다. 행위요인은 다양한 조건, 특히 인지적 정보처리역량을 초과하거나, 집중에 대한 요구가 부적절하거나, 직무가 단순하고 반복적이어서 무료하거나, 기술지가 부족하거나, 선천적 내지는 학습된 행동양식 등 매우 다양한 조건에 의해 유발된다. 따라서 인간의 오류를 허용할 수 있는 시스템의 설계가 요구되는 것이다. 완벽한 안전도를 꿈꾸는 철도기술시스템은 오류덩어리인 인간을 최대한 배재하려는 경향이 있다. 시스템이 복잡해질수록 인간의 역할은 최소화되며, 최대한의 자동화전략을 추구하는 시스템설계자 또한 현업실무자에게는 자동화가 불가능한 과제만 남겨진다. 이를 자동화의 아이러니라고 부른다(참고. Rasmussen et al. *Ironies of automation*, Chichester: Wiley, S. 281-283, 1987). 인간이 신체적 또는 인지적 능력의 활용기회를 박탈당하면 불예측적 사태가 발생 시, 예견대 경험이 부족한 현업실무자에게 새로운 행동방식을 요구하면 안전문제가 될 수 있다. 따라서 고도화되는 시스템에 대한 인간의 학습능력을 허용할 수 있는 범위에서 자동화가 추구되어야 한다. 인간의 자연적인 능력과 한계를 시스템의 중심에 놓아야 한다. 이것이 바로 이용자 친화적인 시스템 설계이다. 고도의 기술시스템은 하나의 오류로 무너지지 않지만 인간의 운영요류를 포함한 일련의 오류가 연결되면 심각한 사고로 이어진다. 오류메커니즘에서 인간의 능동적 내지는 수동적 점검행위가 오류사슬을 끊을 수 있게 시스템을 설계하는 것이 오류허용 시스템 설계의 핵심이다. 오류가 순차적이지 않고 동시다발적으로 발생할 경우 심각한 상태에 이르지 못하도록 오류행위의 확률적 임계점을 설정할 필요가 있다. 기술적 안전의 요건은 시스템단계별 인간의 조작행위의 기능과 심리-생리적 부담수준을 수행가능성의 관점에서 정의하여야 한다. 철도기술의 설계와 건설은 항상 기술적 안전에만

집중하고 인간요인은 등한시하는 경향이 있어 왔다. 그러나 모든 유형의 기술시스템은 예외 없이 기술적 요인과 인간요인으로 구성되어 있기 때문에 시스템설계 초기단계에 인터페이스를 최적화하는 것이 시스템의 성패를 좌우한다. 시스템 단계별 인간의 생리적 및 인지적 부담한계를 파악하고 인간이 분담할 수 있는 기능과 자동화 기능을 정립하여야 한다. 이러한 기능적 직무분석의 핵심은 다양한 유형의 사고 및 장애 조건에서 기계와 인간의 역할과 과제의 역동적인 변화 내지는 상호작용을 이해하는 것에서 시작한다. 시스템설계팀에 심리공학, 인간공학 등 전문가의 참여를 통해 인터페이스 설계결함을 발견해 낼 수 있다. 시스템 불안정 내지는 위험한 시스템 상태의 감지는 기술

적 장치뿐만 아니라 조직 공학적 접근 등 다차원적 예방대책의 적절한 조화를 요한다. 즉, 시스템 장애나 사고의 예방시스템에 대한 평가는 다학제적 접근이 되어야 한다. 왜냐하면 철도교통 시설이나 장비 또는 그 기술을 운용하거나 이용하는 인간이 오류를 일으킬 수 있기 때문이다. 인간의 전형적인 오류행동을 이해해야 시스템 장애나 사고의 가능성을 체계적으로 설계단계에서 진단할 수 있다. 철도사고나 장애의 예방은 철도사고나 장애에 대한 원인조사를 통해 전형적인 인간오류 요인을 규명하고 이를 시스템 설계에 반영하는 수준에 의해 결정된다. 시스템 설계단계에서 시스템이 인간오류를 허용하는 수준을 어떻게 평가할 것인가 향후 고민할 과제가 되어야 한다. ☺

