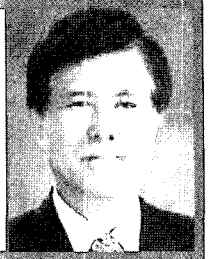


## 안전공학과 철도안전관리 향상 방안



이영순 | 서울산업대학교 안전공학과 교수

### 1. 머리말

철도는 다양한 기술요소가 복합된 선로를 통해 무거운 중량으로 고속으로 이동하는 고 에너지를 함유한 물체(열차)를 시간적, 공간적으로 고도로 정밀하게 제어하고 안전하게 관리해야 하는 시스템으로서 잠재된 위험요소가 매우 다양하다. 예를 들면 철도 시스템은 일시에 다중이 이용하고, 각종 위험물질(화약류, 유류 등 위험물질, 독성물질)이나 중량물(철강 또는 시멘트)을 운송하며, 철도시설의 자체 결함이나 운행제어 실패뿐만 아니라 이를 이용하는 자 또는 제 3자의 고의적 또는 예기치 않은 돌출행동이나 자연재해(기상이변, 지진) 심지어 테러의 위협에도 노출되어 있다.

이와 같이 철도는 기술적·관리적 위험뿐만 아니라 사회적·문화적인 위험요소도 많아서 사고 발생가능성이 높고 일단 사고가 발생하면 인명·재산상의 피해가 막대한 대형사고가 되기 쉽다. 실제로 대구 지하철 화재사고, 일본 효고현 열차탈선사고 등과 같은 엄청난 사고와 중소 규모의 사고나 장애가 빈번히 발생되고 있으며, 이로 인하여 국내에서만도 연간 약 280여명의 인명이 희생되고 있다.

따라서 철도 시스템의 사고나 장애를 방지하기 위해서는 먼저 철도관련 시설이 완벽하거나 완벽에 가까워야 하겠다. 여기서 완벽하다는 것은 본질적으로 안전한 시설이나 2중 3중의 안전장치가 설치되어 있음을 말한다. 본질적으로 안전하다함은 열차의 제어시스템과 같은 중대한 결함이 발생한다고 하여도 이 결함을 보완할 수 있는 안전기능이 갖추어져 있거나, 방화 등의 고의 사고가 발생하여도

열차내의 구조가 불연 또는 즉시 소화할 수 있는 구조로 되어 있어서 화재가 확대될 수 없는 절대적으로 안전한 구조를 말한다.

그리고 철도 시스템은 이러한 개념의 안전기능 이외에도 기본적인 제어시스템은 물론 경보장치와 운전자의 상호작용 시스템, 안전계장시스템, 물리적인 방호시스템, 비상대응시스템과 같은 안전 및 방호 수단을 고려해야 한다. 그러나 이와 같은 절대적으로 완벽한 설비의 설치는 기술적인 문제나 경제적인 이유로 불가능 할 수도 있지만, 철도시스템의 절대적인 안전확보 및 효율적인 안전관리를 위해서는 안전공학 이론과 관리원칙을 적용하여 위험도 평가를 기반으로 하는 최적의 비용-효율적인 예방안전 대책 및 피해경감 수단을 갖추어야 할 것이다.

### 2. 위험성 평가를 통한 위험의 발견 및 위험도 정량화

어떤 시스템의 설치 도입시 설계·제작 팀이 완벽하게 설계하고 제작했다고 하더라도 이를 운전하고 운영하는 부분의 기술적 요구내용 완벽하게 만족할 수 없으며, 설계 제작 부분의 기술적 내용이 운영 부분으로 100%전수 될 수 없으며, 특히 시스템의 설계·제작 시에 설비 본래의 기능과 성능 안전에만 역점을 두게 되는 경우에는 운영상의 안전관리 대해서 소홀히 하거나 미흡할 수도 있을 것이다.

따라서 안전한 철도 시스템의 도입과 설비의 개량 변경이 요구되는 경우에는 설계 및 제작과 안전운전 및 운영관리 측면에서 발생 가능한 사고를 예방하고 일단유사시 피

해를 경감시키기 위해서는 철도 시스템에 어떤 위험이 존재하고 있으며 관련 위험도는 얼마나 큰가를 체계적으로 평가해야 한다.

잠재적인 위험요인을 찾아내고 이들이 얼마나 위험한지를 밝혀내는 것을 위험성 평가(Risk assessment)라 한다. 어떤 시스템에 대한 위험성을 평가하기 위해서는 당해 설비를 잘 이해하고 적절한 평가도구를 활용해야 한다. 우선 설비나 공정 중에 무엇이 위험한지를 찾아내는 정성적인 위험 분석을 실시하고, 발견된 위험요인이 사고로 전이될 가능성과 사고가 발생하면 얼마나 큰 손실을 가져올 것인가를 정량화하여 이 둘을 곱하는 개념으로 위험도(Risk)를 평가하게 된다. 정량적 위험성 평가기법에는 위험이 사고로 될 가능성 즉, 사고발생확률을 알아보는 확률적 위험성 평가(QRA)와 사고결과에 따른 피해를 예측하는 사고심각도 영향평가가 있다.

시스템에 잠재되어 있는 위험성을 평가하기 위해서는 시스템의 구성과 운영 특성에 적합한 평가도구가 필요하다. 위험성 평가도구로는 Check list법, HAZOP Study, FMEA, Safty Review, Relative Ranking과 같은 정성적인 위험 확인 기법과 FTA(Fault Tree Analysis), ETA(Event Tree Analysis), LOPA(Layers of Protection Analysis), 사고심각도 영향분석(Consequence Analysis)과 같은 정량적 위험성 평가기법이 알려져 있다.

정성적 위험성 평가기법은 위험을 찾는 구체적이고 구조적인 일감(task)이 존재해야 하고, 위험을 발견하게 하는 동기부여와 위험분석에 참여하는 팀원 간의 경쟁을 유발할 수 있는 요인 등을 가지고 있어야 한다. 체크리스트 기법은 구체적인 점검항목을 작성을 통해위험요소를 발견(일감)할 수 있지만, 위험을 발견해야 하는 동기부여 요소가 가미되어 있지 않아서 중요한 위험성 평가에는 사용되지 않는 경우가 있다. 철도 시스템에 적용 가능한 위험확인 기법으로서는 FMEA나 Check list법, HAZOP study 등을 들 수 있다.

정량적 위험성평가는 보통 FTA와 ETA 기법이 잘 사용된다. 사건결과(Top event)에 대한 원인 규명을 위한 정량

적 평가를 위해서는 FTA가 정확하고 효과적이거나 전문가가 아니면 다루기 어렵고 초기사건(Initiating event)이 사고로 발전되는 사고 진전 단계를 밝히기가 어렵다. 한편 철도 사고는 초기의 이상상태가 시계열적으로 발전하여 일어나는 경우가 많으므로 ETA를 사용하는 것이 보다 효율적이다. 또한 사고의 방지나 사고확대방지를 위한 대응 조치를 강구하기 위한 위험성 평가에는 ETA가 훨씬 쉽게 그 목적을 달성할 수 있다. 특히 사고(예 열차 내 방화)에 대한 대응시나리오를 작성하여 피해 극소화를 위한 대응 시스템을 구축하기 위해서는 시나리오별로 ETA를 작성하는 것이 훨씬 편리하다.

또한 다중으로 설치된 방호장치에 대한 평가 즉, 각 방호장치로 인하여 사고의 가능성이 얼마나 줄어들고 사고 결과의 영향이 얼마나 감소될 수 있는가를 알아보기 위해서는 LOPA기법이 유리하다. 특히 LOPA는 각각의 독립방호장치에 대한 안전기능을 ETA기법을 이용하여 분석하는 방법을 사용하므로 안전 비전문가도 약간의 교육을 이수하면 활용이 가능하다는 장점이 있다.

정량적 위험성 평가를 실시하기 위해서는 설비를 구성하고 있는 요소들의 고장률 자료가 정확해야한다. 우리나라에서는 장치나 장비의 이력관리가 철저하지 못하고 사고보고 자료 또한 초기사건과 결과적인 사고에까지 이르는 논리적인 사고 진전 단계를 밝힐 수 없는 등 기반 자료가 빈약하여 이들 자료를 정량적 위험성 평가에 사용하기에 적합하지 않다. 이러한 때에는 외국자료의 활용과 전문가에 의한 결정론적 추정을 하는 수밖에 없다.

### 3. 위험도의 관리 및 제어

위험이 확인되고 정량적으로 평가되었다함은 이들 위험이 무엇이고, 어떻게 하여 이들 위험이 사고로 전이되며, 사고로 전이될 가능성은 얼마나 크고, 사고결과 영향은 어느 정도인지가 밝혀진 것을 의미한다.

따라서 안전관리에서 위험성평가 다음단계로 하여야 할 일은 발견되고 평가된 이들 위험을 어떻게 하여 제거하거

나 통제(Control)할 수 있는가를 알아내는 것이다. 철도시스템은 위험성이 크기 때문에 이들 위험을 모두 제거한다는 것은 불가능하다. 따라서 평가된 위험이 사고로 전이되지 못하도록 위험도를 관리하고 제어해야 한다.

철도 시스템의 위험도 관리의 설비, 기술 및 인적 측면에서 이루어져야 한다. 설비 측면의 관리요소로는 설비의 품질관리(안전설계명세에 적합한 제작), 기계적 건전성(기계적 결함방지, 유지 관리 및 정비), 시설변경관리(시설변경 평가 및 승인절차), 가동 전 안전점검(시설의 운전점검, 안전 확인)이 있고, 인적 관리요소로는 적절한 규범에 의한 정확한 운전을 위한 운전요원의 훈련 및 작업수행, 인력변경관리, 사고조사(사고사례로부터 교훈), 비상대응계획 및 비상조치계획, 감사(audit) 등이 있다. 그리고 기술적인 관리요소로는 설비, 기술인력 등 모든 분야의 안전정보, 안전운전절차, 안전작업허가와 같은 모든 안전 절차, 기술변화관리 등을 들 수 있다. 이외에도 고역사고 방지, 자연재해 대책 등도 고려하여야 하며, 이들 하나하나가 기술과 연계되어 있고 어느 하나도 소홀히 할 수 없는 분야이다.

모든 관리요소 하나하나가 중요하지 않은 것이 없지만 열차운행과 관련된 중대사고에 대한 비상대응 시스템 또한 중요한 요소이다. 열차 내 화재와 같은 사고는 비상 대응조치를 어떻게 하였는가에 따라 인명 및 재산상 피해의 정도가 크게 달라지기 때문이다. 따라서 철도 시스템에서 발생 가능한 여러 가지 가상 사고를 가정하고 각 사고에 따른 비상대응시나리오를 작성하여 대처해야 한다. 이 시나리오는 가급적 사고 발생 시점에서 시계열로 가능한 안전기능을 모두 찾아 각 기능에 대한 ETA를 그려서 작성한다. 이렇게 하여 완성된 비상대응 시나리오에 등장하는 모든 안전기능에 대한 안전대책을 수립하여 이를 당해 근로자 및 이용자에게 교육·홍보를 실시하도록 하여야 하겠다.

이러한 작업은 쉽지 않지만 여러 분야의 전문가들이 함께 지속적인 연구를 수행하여 국내 철도환경에 적합한 위험도의 관리 및 제어 시스템을 구축해야 한다.

## 4. 안전관리시스템

위험도를 평가하여 이를 바탕으로 적절한 안전대책을 세우기 위해서는 적절한 안전관리 시스템이 요구된다. 여기서 안전관리 시스템이란 평가된 위험도를 체계적 관리하고 제어하기 위한 안전관리조직과 이 조직의 기능 및 활동 그리고 이들의 활동을 명문화하여 규정한 안전관리 프로그램을 말한다.

안전관리 조직은 철도시스템의 설계, 제작, 운전 및 보전 분야의 공학적인 전문지식과 기술을 지니고 위험성 평가를 이해하는 철도안전 전문가와 안전관리 이론 및 방법론적인 전문지식을 가지고 철도기술을 이해할 수 있는 안전관리 전문가가 공동으로 참여하는 조직을 만들어 이를 스태프(Staff)으로 구성해야 하고, 철도시스템을 직접 운영하는 책임자가 총괄 안전책임자가 되어 각 운용부서에 대한 안전관리 감독자를 지정하여 안전관련 기술을 이행하도록 하는 참모 라인 조직을 겸한 형태의 안전관리조직이 바람직하다.

안전 관리 프로그램이 성공적인 임무를 수행하기 위해서는 다음과 같은 몇 가지 요소를 필요로 한다.

- ① 우수한 안전프로그램을 갖추기 위해 무엇이 행해져야 할 것인가를 계획하고 이 계획을 이행하고 수행된 것을 확인하고 기록 점검하는 시스템이 존재해야 한다.
- ② 참가자들이 긍정적인 태도를 지녀야 한다. 이는 안전에 관한 신념과 규범을 가지고 모든 것을 바르게 하겠다는 의지를 포함한다.
- ③ 참가자들은 공장의 설계, 시공 및 운전 관련 안전의 기초를 이해하고 사용한다.
- ④ 모든 구성원은 사고사례나 경험으로부터 배워 동종 사고를 예방하도록 한다.
- ⑤ 안전업무에는 시간을 필요로 한다. 안전기술을 개발하고 보급하는 시간, 경험을 공유하는 시간, 그리고 훈련을 위한 시간이 필요하다.
- ⑥ 구성원 모두는 안전프로그램에 기여한다는 책임감을 가져야 한다. 안전프로그램은 조직 내 모든 계층으로부터

의 책임을 요구한다. 안전은 생산과 같은 중요성을 가져야 한다.

## 5. 기술지원 시스템

철도관련 기술은 지속적으로 발전하여 초고속열차가 등장하였고 운전 및 통제방법도 나날이 달라진다. 열차의 운행 속도가 빨라지고 운전제어 관련 기술이 발달할수록 관련 위험성도 증가된다. 따라서 이러한 위험을 제거 또는 제어하여 사고를 예방하거나 피해를 경감하기 위해서는 철도안전 관련 연구를 통해 전문기술과 안전기술을 함께 개발하여 발전시켜야 한다.

그러나 국내 철도산업은 그동안 생산성을 추구하는 공정의 설계, 시공, 제조 기술에 비하여 안전성을 추구하는 기술의 개발을 그동안 소홀히 다루면서 시스템적 균형이 결여된 부조화로 인하여 크고 작은 재난과 사고를 경험하여 왔다. 더욱이 다른 기술개발이나 연구에 비하여 개발기간이 길어 투자의 우선순위 부여에서 그동안 밀려오면서 비용을 마련하는데 어려움을 겪어왔고, 현실적으로 개별적인 회사차원에서는 이에 대한 안전연구와 기술개발을 기대하기는 어려운 실정이다. 그리고 철도 안전분야의 연구를 수행하고 이를 지원할 수 있는 국내 안전전문가 및 전문인력의 기반도 대단히 취약한 실정이다.

따라서 철도 시스템 안전을 확보하기 위한 기술적 지원이 절대적으로 부족한 상황에서 국가적인 차원의 철도 안전연구 및 기술개발에 대한 과감한 투자와 전문인력의 육성이 시급히 요구된다. 또한 연구 개발된 안전관련 기술성과를 철도 건설 및 운영 관련 종사자에게 적절히 전파·보급하고 나아가 철도의 안전문화를 개선하기 위한 대국민 홍보도 필요하다.

우리의 철도 시스템 안전체계를 선진국 수준으로 개선하고 각 분야별 기술요소가 적절히 가동되기 위해서는 안전의 위험요소가 무엇이고, 얼마나 위험한지를 먼저 파악

하고 이를 바탕으로 사고예방 및 피해 경감을 위한 비용-효율적인 안전개선 대책을 마련하고, 이를 실현할 수 있는 기술지원 시스템을 구성해야 할 것이다. 그리고 정부, 철도공사, 지자체, 철도연구원, 관련 민간단체 등 여러 분야에서 적절한 지원이 이루어져야 할 것이다.

## 6. 맺음말

기술과 시설이 완벽하다고 하더라도 이들 시스템을 운영하는 자가 안전하지 못한 상태나 방법으로 운전하거나 운용한다면 기대했던 안전을 확보하기는 어려우며, 아무리 좋은 안전설비라도 바르고 정확하게 사용하지 않으면 그 기능을 제대로 발휘할 수 없다.

철도의 안전 확보는 관련 업무에 종사하는 모든 구성원이 자기가 가진 경험과 기술을 사용하여 조그만 결함이나 실수도 허용하지 않겠다는 인간 가치에 중점을 둔 투철한 안전의식과 정확한 규범을 가지고 올바르게 업무를 수행하겠다는 의지가 있어야 한다.

• 특히 우리 사회에서 각 계층간, 세대간의 갈등구조가 심화되고 기존의 문화와 전통이 와해되고 있으나 새로운 개념의 전통이나 모럴이 확립되지 못하면서, 지금까지는 생각지도 못했던 불법행위나 심지어 테러의 위험 등 철도 시스템의 안전관리 및 보안유지에 어려움을 더할 수 있는 사회적 위험성이 증가하고 있다.

철도의 안전은 모든 사람의 공통된 관심사이고 우리가 달성해야 할 공동의 목표이다. 금번 「철도 안전」특집에서 기술한 국내 철도산업 환경에 적합한 시스템 안전관리 모델 개발의 방향성을 이해하고, 위험성 평가에 근거한 선진 안전관리 체계로 시급히 개선하여 철도산업 구성원은 물론 철도를 이용하는 국민 모두가 안전을 중요하게 생각하는 성숙한 문화국민으로서 화합과 협동을 통한 철도 안전의 지속적인 개선, 발전을 기대해 본다.