철도에서의 인간과학 연구의 현상과 동향

| 서 사 범 |
삼표이앤씨(주) 고문
공학박사 · 철도기술사

Ⅰ. 머리말

철도시스템에는 여러 가지의 장면에서 "사람"이 관계되어 있다. 사람(여객)을 목적지까지 수송하는 것이 철도의 사명이며, 많은 여객이 승차한 열차를 운전하는 일도 사람이 한다. 또한, 선로를 보수하고 수많은 열차의 운행을 관리하는 일에도 사람이 관여하고 있다. 다만, 최근에는 정보 · 통신기술의 발달에 따라 철도시스템에서 사람의 역할이 조금씩 변하고 있다.

철도에서의 인간과학 연구는 심리학, 인간공학, 신뢰성공학 등의 연구자가 철도시스템의 안전성(휴먼에러 사고의 방지)과 여객의 쾌적성과 편리성을 향상시키는 것을 목적으로 하여 시스템의 운영에 관계되는 기관사를 비롯한 종사원과 시스템을 이용하는 사람(여객, 승객)의 심리, 생리, 행동적 특성을 측정 · 평가, 해명하고 그것을 대책에다 응용하는 연구이다. 철도시스템의 안전성향상에 관한 인간과학 연구의 최대과제는 휴먼에러(human error)에 기인하는 사고의 방지이다. 최근에는 열차운행의 고속화, 고밀도화, 1인 운전 등과 같이 운전조건의 변화, 다양화의 진전, 또는 향후 예상되는 고령화나 여성취업의 확대 등도 고려하여 다각적으로 연구가 진행되고 있다.

인간과학이 다루는 테마는 철도시스템의 모든 영역과 밀접하게 관련되어 있으며, 연구개발에서는 관계되는 기술 분야와의 협조가 요구된다. 이와 같은 '학제적(學際的, interdisciplinary)' 대처의 비중은 해마다 늘어나서 테마의 영역이 넓어지는 경향이 있다. 다른 분야와의 제휴가 필요한 과제를 '경계(境界)테마(Thema)'라고 한다면 인간과학 연구의 태반은 경계테마이다.

본고에서는 먼저 휴먼 시뮬레이션(human simulation) 기술을 개관한 다음에 휴먼에러를 방지하기 위한 안전관리 지원방법, 보선작업 안전관리에서의 인간과학의 적용, 그리고 인간과학의 연구 중에서 경계테마에 초점을 맞추어 그에 관한 개요를 소개한다.

Ⅱ. 휴먼 시뮬레이션 기술의 개관

휴먼 시뮬레이션이란 사람의 동작, 행동, 판단 등을 평가 · 예측하는 시뮬레이션 기법의 총칭이다. 컴퓨터 성능의 비약적인 향상에 따라 의료, 건축, 서비스, 교통 등의 각 분야에서 휴먼 시뮬레이션의 활용 예가 급속하게 늘어나고 있다. 철도에서도 이용자나 종사원의 안전성과 쾌적성의 향상에 기여하는 휴먼 시뮬레이션 기술의 역할은 향후에 가일층 크게 될 것이다.

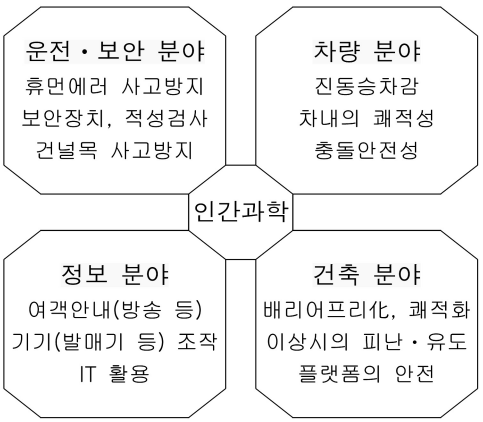

그림 1. 관련 기술 분야와 테마의 예

1. 자연과학과 인간과학

시뮬레이션의 정의는 다양하지만, 본고에서는 '현실의 시스템에 가까운 상태나 환경을 인공적으로 만들어내어 현실의 시스템을 평가 · 예측하는 것' 이라고 정의한다. 휴먼 시뮬레이션에서 '현실의 시스템' 이란 '사람' 자체의 것이며 사람의 동작, 행동, 판단 등을 가리키고 있다.

사람을 대상으로 하는 시뮬레이션에서는 'A : 환경요인' 과 'B : 인간(동작, 행동, 판단 등)' 간의 관계를 다루지만, B는 감정, 의사, 경험, 피로, 컨디션, 취향, 문화 등과 같이 정량화하기 어려운 여러가지 요인의 영향을 받는 점에서 A와 크게 다르다. 이 때문에 인간과학 분야에서는 시뮬레이션 기술을 A의 환경요인에만 적용한 '체험型 시뮬레이터' 를 개발하여 실험 툴로서 이용하는 케이스가 많다. 예를 들어, ① 열차운전 시뮬레이터, ② 차내 쾌적성 시뮬레이터, ③ 역 시뮬레이터 등의 체험型 시뮬레이터 등이 있다.

한편, 머리말에서도 언급하였지만 철도에서의 인간과학 연구의 태반은 경계테마이며, 본고에서 소개하려는 인간과학 연구의 학제적 어프로치에서 관련되는 기술 분야와 대표적인 테마의 예를 그림 1에 나타낸다.

2. 환경 시뮬레이션과 행동 시뮬레이션

그림 2에는 전술한 A와 B 타입의 차이에 착안하여 인간과학 분야에서 실험과 시뮬레이션 간의 관계를 정리하여 나타낸다. 그림 2에서 ①은 환경과 인간 양쪽 다 시뮬레이션을 이용하지 않고 실제의 인간을 피험자로서 실험이나

① 환경도 인간도 "실물" (시뮬레이션을 사용하지 않는다)	→	실제차량에서의 승차감 평가 역에서의 걷기 어려움 정도 조사
② 환경은 시뮬레이션 인간은 "실물" (환경의 시뮬레이션)	→	열차운전 시뮬레이터 차내 쾌적성 시뮬레이터 역 시뮬레이터
③ 환경도 인간도 시뮬레이션 (행동의 시뮬레이션)	→	충돌 시의 신체 거동 역에서의 여객 유동

그림 2. 인간과학에서 실험과 시뮬레이션

조사를 실시하는 케이스이다. 승객에게 승차감의 평가를 요구하거나 고령자에게 역의 배리어프리(barrier free) 정도를 평가받는 예 등이 여기에 상당한다. ②는 전술한 것처럼 체험型 시뮬레이터를 활용하는 것이며, 본고에서는 이것을 '환경의 시뮬레이션' 이라고 부른다. ③은 사람의 동작이나 행동을 다수의 파라미터로 규정되는 물리량으로 치환하여 모의하는 것이며, 자연과학에서의 검토방법과 기본적으로 색다르지 않다('행동의 시뮬레이션' 이라 부른다). 역에서의 여객유동 시뮬레이션이나 충격시의 승객거동 시뮬레이션 등이 대표 예이다. ①과 ②에서는 데이터를 얻기 위하여 반드시 사람을 필요로 하지만, ③에서는 필요로 하지 않는다. 다만, 시뮬레이션의 신뢰성이나 타당성을 검증하기 위해서는 사람으로부터 얻어진 데이터를 이용한 확인이 중요하게 된다.

이상을 정리하면, 철도시스템의 다양한 장면 중에서 '환경 시뮬레이션' 에 적합한 과제를 추출하여 그 '체험型 시뮬레이션' 을 개발하는 것(그림 2의 ①→②로의 발전)과 시뮬레이터 실험이나 조사를 거듭하여 '행동 시뮬레이션' 으로 발전시키는 것(그림 2의 ①②→③)이 당면의 과제로 된다.

3. 철도에서의 휴먼 시뮬레이션

먼저, 철도 이외 분야에서의 휴먼 시뮬레이션의 예를 살펴본다. 이에 관한 상세는 생략하지만, 여기에는 ① 환경 시뮬레이션의 예로서 의료분야(수술훈련용 '체험型 시뮬레이터', '수술 시뮬레이터'), 교통 · 산업분야{항공분야의 플라이트(flight) 시뮬레이터, 산업 · 건설기계 훈련용 시뮬레이터 등}, ② 행동 시뮬레이션의 예로서 충격안전성(인체모의장치, 인체 시뮬레이션 모델), 사람(군중)의 흐름{사람(군중)의 흐름에 관한 시뮬레이션 모델, 멀티 에이전트(multi agent) 모델, 피난 시뮬레이션}, 디지털 휴먼

(디지털 휴먼 연구) 등이 있다.

철도분야에서 개발되어온 대표적인 환경 시뮬레이션(체험型 시뮬레이터)에는 상기와 같은 열차운전 시뮬레이터, 역 시뮬레이터 등이 있다. 이들의 시뮬레이터를 이용하여 실험 · 조사를 함과 함께 충격안전성, 군중흐름 등에 관한 수치 시뮬레이션 모델의 활용으로 여러 가지의 성과가 얻어지고 있다. 예를 들어, 시뮬레이션의 대상을 ① 열차운전 안전성의 향상{이상시 대응능력 향상 프로그램의 개발, 기관사의 작업부담(work load) 평가법의 개발}, ② 역이나 차내에서의 여객 안전성의 향상(역의 여객유동 평가와 피난유도의 시뮬레이션, 충격 시의 신체거동 시뮬레이션), ③ 역이나 차내에서의 여객 쾌적성의 향상(역 공간 쾌적성의 평가, 혼잡시의 승차감 평가) 등의 3 가지로 나눌 수 있다.

Ⅲ. 철도에서의 휴먼에러 방지와 안전성 향상

1. 휴먼에러 방지의 개관

시스템의 복잡화나 조직의 거대화에 따라 사소한 휴먼에러(human error)의 발생이 시스템에 다대한 영향을 초래하는 일이 많아지고 있다. 이와 같은 경우에 발생되는 휴먼에러는 그 때에 잠재되어 있던 문제점이 복잡하게 뒤얽힌 결과로서 현재화(顯在化)되어 있는 경우가 많고 행위자 단일의 원인에 기인하는 경우는 드물다. 따라서 에러를 방지하기 위해서는 행위자의 행동뿐만 아니라 휴먼에러를 유발하기에 이른 현상의 문제점을 적확하게 밝혀내는 것이 중요하게 된다.

한편, 문제점이 복잡하게 뒤얽혀서 발생된 휴먼에러에 대하여는 여러 가지의 관점에서 대책을 검토할 필요가 있다. 휴먼에러를 방지하기 위해서는 그것을 유발하는 현상의 문제점을 여하히 밝혀내는가가 관건이며, 그 파악방법에는 사고나 트러블 사례의 분석과 직장의 실태조사 등 2가지의 어프로치가 있다. 다만, 조직에서 사고가 발생되기까지의 사이에는 복수의 휴먼에러 사상(事象)이 발생되어 있으며, 또한 각각의 휴먼에러에도 더욱 복수의 배경요인이 영향을 주고 있다. 따라서 하나의 사고로부터 고려되는 휴먼에러 방지책은 여러 가지의 것이 있다. 한편으로, 조직의 리소스(resource)가 한정되어있는 상황에서 효과적인 대책을 실시하기 위해서는 무엇인가의 지표로 우선순위를 정하는 것이 바람직하다. 그 하나의 방법으로서 리스크의 크기를 평가하여 그 크기에 기초하는 판단이 근년에 주목을 받고 있다.

에러 패턴	사고에 이르는 위험한 사상(해저드)의 내용 = 작업의 어떤 장면에서 어떤 휴먼에러가 일어나는가?
발생의 용이성	해저드가 발생될 가능성이 확실함 = 휴먼에러가 발생하기 쉬움(발생용이성)
최대의 영향	만약 해저드가 발생된 경우에 결과의 크기 = 휴먼에러에 기인하는 최대의 사고

그림 3. 휴먼에러의 리스크평가에 필요한 3 요소

'리스크' 란 '위험성', 즉 '위험의 정도' 이다. '위험' 이란 '위태로운 것, 생명이나 신체의 상해, 사고 · 재해 등이 생길 가능성이 있는 것' 이다. 확실히 발생되는가의 여부를 알 수 없는 것에 대하여 그 발생의 가능성이나 위험의 정도를 예측하는 것을 '리스크분석 또는 리스크평가(risk assessment)' 라고 한다.

국제규격 '리스크 매니지먼트 시스템 구축을 위한 지침' 에서는 '리스크(risk)' 란 '사태의 확실함(the probability of an event)과 그 결과(its consequence)의 조합(a combination)' 이라고 정의되어 있다. 또한, 신뢰성공학에서는 리스크란 "바람직하지 않은 사상(事象)으로서 무엇이 일어나는가?", "어느 정도 일어나는가?", "그 피해는 어느 정도인가?" 의 3 가지 의문에 답하는 척도이며, '피해를 일으키는 해저드(hazard) 발현의 개연성과 위해(危害)의 정도' 라고 정의되어 있다. '해저드' 란 '위해를 일으킬 가능성이 있는 식별 가능한 상황, 즉 잠재적인 위해 시나리오' 라고 정의되어 있으며, "어떠한 상황이 발생되면 위험한가?" 를 생각할 때의 최초상황의 것이다. 또한, '개연성' 이란 '어떤 사항이 일어나는 확실성이나 어떤 사항이 진실로서 인정되는 확실성의 정도. 이것을 수량화한 것이 확률' 이다.

신뢰성공학의 분야에서는 고장사상 추출을 위하여 FMEA(Failure Mode and Effects Analysis, 잠재적 고장모드 영향해석) 기법으로 리스크분석을 하는 것이 일반적이다. FMEA 기법을 응용하여 개발된 휴먼에러 리스크평가 방법에서는 "어떠한 휴먼에러 사상이 일어나는가? (에러 패턴)", "에러패턴은 어느 정도 발생하기 쉬운가? (발생용

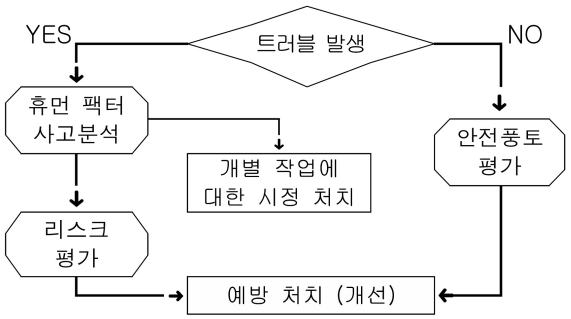

그림 4. 에러방지의 3가지 안전관리 지원방법

이성)", "사상의 진전을 예상하면 에러패턴에 따른 피해는 어느 정도인가? (최대영향)"의 3 요소로 리스크를 평가한다(그림 3). 다만, 휴먼에러를 적확하게 방지하기 위해서는 (사상을 파악할 뿐만 아니라) 그 유발요인을 파악하여야 한다.

휴먼에러의 방지에서 기본으로 되는 것은 휴먼에러에 기인하는 사고나 사고에 이르지는 않은 트러블 등의 분석과 이에 기초한 적절한 대책이다. 이에 따라 휴먼 팩터(human factor)를 분석하기 위한 '휴먼 팩터 분석법' 이 개발되었다. 더욱이, 분석에 의거하여 배경요인을 밝힘으로써 '휴먼에러의 리스크평가' 가 가능하게 되며, 배경요인에 대한 여러 가지의 대책에 대하여 우선순위를 판단할 수 있게 된다. 한편으로 사고나 트러블 등을 발생시킬 위험성이 직장에 내포되고 있어 현재화되어 있지 않더라도 안전한 직장 만들기로의 개선을 가일층 가능하게 하기 위하여 '직장의 안전풍토 평가방법' 이 개발되었다. 휴먼에러를 방지하기 위한 이들 3개의 안전관리 지원방법은 그림 4에 나타낸 관계에 있다. 이하에서는 각 방법을 개별적으로 설명한다.

2. 휴먼 팩터 분석법

종래는 거의 전문가가 행하였던 휴먼 팩터(human factor)에 주목한 사고분석을 철도사업자의 현장레벨에서 활용하도록 하기 위한 분석방법이 개발되었다. 이 방법은 '사고를 발생시키는 사상(事象)(휴먼에러)', '발생에 영향을 주는 요인(휴먼 팩터)' 을 파악하는 기법이며, 3 단계의 분석수속으로 구성되어 있다(그림 5).

분석의 제1 단계에서는 누구의 어떠한 행동이 사고로 연쇄되는 사상(휴먼에러)인가를 명확히 하기 위하여 작업계획이나 작업내용, 관계자의 행위, 기기나 환경상황을 시계열로 정리한다. 이때에 발생 시까지 과거의 대책, 작업계획, 에러까지의 경위에 더하여 에러발생 후의 처치나 그 영향까지가 조사 · 분석의 대상으로 된다. 대부분의 사고나 트러블 사례의 경우에 피해에 이르기까지는 복수의 사상이 발생되고 있는 것이 많다.

분석의 제2 단계에서는 사고로 연쇄되는 각 사상에 대하여 이들의 사상을 발생시키는 배경요인을 추구한다. 하나의 사상이 일어나는 배경에는 그것을 유발하는 이유가 복수로 존재하고 그 이유의 배경에도 마찬가지로 배경요인이 있다고 생각하여 사상발생의 원인을 근본까지 거슬러 올라가서 추구한다. 추구 시에는 발상의 실마리로서 "어째서 그렇게 되었는가?"를 여러 번 반복하여 실시한다. 또한, 분석의 관점이 다면적으로 전개되고 있는가, 인과관계의 연결이 타당한가, 관리요인까지 추구할 수 있는가 등을 확인하면서 실시할 필요가 있다.

분석의 제3 단계에서는 넓고 · 깊게 추구된 배경요인에 대한 대책을 검토한다.

유효하다고 생각되는 대책을 작성할 수 있었던 경우에도 대책을 실시하는 것은 인간이라는 점을 잊지 않고 새로운 대책이 상정 외의 트러블의 원인으로 되는 일이 없도록 대책자체의 내용과 함께 그 대책의 필요성 등도 포함하여 조직전체가 이해하고 있는 것이 중요하게 된다. 이 방법과

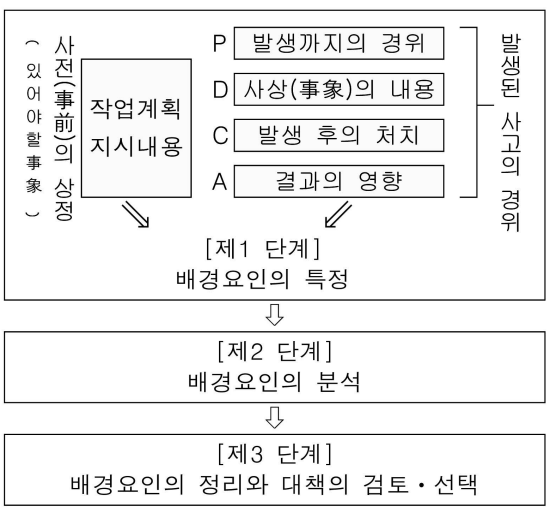

그림 5. 휴먼 팩터 분석 수속의 개요

같은 분석수순과 그 과정을 보존함으로써 대책이 선정될 때에 고려된 상황이나 배경 등을 대책결정 후에도 추적(trace)하는 것이 가능하게 되어 대책의 이해에 도움이 됨과 함께 유사한 사상이 발생된 때에 대책의 재검토 등에도 활용이 가능하게 된다.

더욱이, 적절한 분석을 하기 위해서는 분석법 기술에 더하여 분석대상으로 되는 인간의 특성을 이해할 필요가 있다. 이 때문에 사례에 따른 분석수속이나 휴먼에러가 발생되는 구조, 배경요인 등의 해설을 정리한 핸드북을 작성하는 것이 좋다. 이것은 안전에 관한 강습회 등에서 분석방법을 해설할 때에 활용된다.

3. 휴먼에러 리스크의 평가방법

사고분석으로부터 복수의 에러 사상(事象)과 복수의 배경요인이 특정되면, 하나의 사고로부터 고려되는 에러의 방지대책은 여러 가지의 것이 고려된다. 한편으로, 한정된 시간、예산중에서 효과적인 대책을 선택・실시하여 가기 위해서는 대책의 목적과 효과에 걸맞은 우선순위의 판단이 필요불가결하게 된다. 그러므로 대책에 따른 효과를 정량적으로 평가함으로써 우선순위의 판단을 지원하는 것을 목적으로 하여 휴먼에러의 리스크평가방법이 개발되었다(그림 6).

휴먼에러의 경우에 기기類의 고장과 같이 실험적으로 재현할 수 있는 에러는 극히 일부의 장면으로 한정된다. 그러나 산출되는 리스크의 정밀도를 향상시키기 위해서는 보다 많은 데이터가 필요하게 된다. 그러므로 사고에 이르지 않았던 트러블 사상(인시던트・incident, 이상 징후 등)의 분석결과를 평가하기 위한 데이터로서 활용한다.

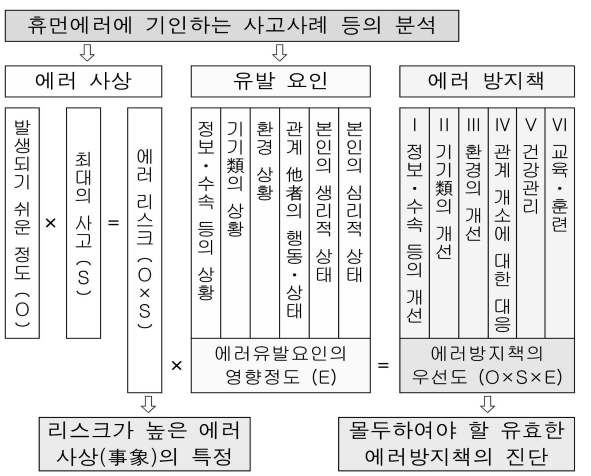

그림 6. 휴먼에러 리스크의 평가방법

이 방법에서는 먼저 에러의 빈도와 그 에러에 기인하는 최대의 영향으로부터 리스크 값을 산출한다. 적확한 에러 방지를 위해서는 리스크가 높은 사상의 특정뿐만 아니라 그 유발요인을 고려할 필요가 있다. 그러므로 리스크 값과 유발요인의 영향정도를 조합하여 대응하는 에러방지책의 우선정도를 정량적으로 산출할 필요가 있다. 직장에서 일정기간에 발생된 인시던트(incident) 정보(에러 사상과 그 원인)에 기초하여 그 직장의 실정에 알맞은 에러방지책을 선정한다.

4. 직장 안전풍토의 평가방법

직장에서 개인의 '하고 싶은 기분' 은 속하고 있는 조직의 구조나 제도의 영향을 받고 있다. 다만, 그 영향은 직접적인 것뿐만이 아니라 구조나 제도 등의 조건에 대하여 각 개인이 어떻게 인식하는가가 '하고 싶은 기분' 에 크게 영향을 주고 있다. 이와 같이 조직에 대한 개인의 인식 정도를 '조직풍토' 라고 부르며, 특히 안전에 관련된 것은 '안전풍토(safety climate)' 라고 불린다. '안전풍토' 란 직장의 작업을 규정하는 여러 가지 요인에 대한 직장의 개인 인식의 내용이나 정도, 가치관이나 태도이며, 여기서의 요인이란 '직장이나 작업조건을 규정하는 요인' 의 물리적인 조건뿐만이 아니라 '관리자에 대한 신뢰감', '직장의 분위기', '동료에 대한 안심감、신뢰감' 이라고 하는 사회심리학적인 요인도 포함되고 있다.

'안전풍토' 는 개인 인식의 정도이므로 평가용 데이터의 수집은 질문지조사(앙케트조사)법이 적용되고 있다. 질문지조사를 할 때에는 어떠한 질문항목을 이용하는가가 중요하게 된다. 이전부터 안전을 위한 조직풍토를 만들기 위한 조사연구에 활용되어온 질문항목 중에서 현시점에서의 중요도를 조사하여 질문항목을 정리한 조사연구의 성과에 따르면, 안전풍토를 평가할 때에는 평가항목의 '내용 중요성' 과 평가대상으로 되는 집단의 '노력정도' 등 2가지 측면에서 평가하는 것이 좋다. 집단의 '노력정도' 란 같은 지역이나 같은 직종계통이라고 하는 동일조건의 직장群 중에서 특정한 직장에 대하여 그 상대적인 위치를 평가하는 것이다.

Ⅳ. 보선작업의 안전관리에서 인간과학의 적용

1. 보선작업에서의 휴먼에러 리스크관리

상기에서도 언급하였지만, 휴먼에러의 리스크 평가방법은 구체적으로는 '어떠한 장면' 에서 '어떠한 에러' 가 '어떠한 빈도' 로 '어떠한 피해' 의 사고로 이어질 가능성이 있는 것일까를 평가하는 방법이다. 더욱이 휴먼에러를 방지하기 위해서는 휴먼에러를 유발하는 요인에 대한 처치가 필요하다. 그러므로 그 처치의 우선순위를 파악하기 위한 리스크관리 지원방법의 개발이 필요하다. 이 방법은 그림 7에 나타낸 것처럼 휴먼에러의 '발생 용이성' 과 '최대의 사고' 의 곱(積)으로 평가되는 리스크 값에다가 휴먼에러를 유발하는 요인의 영향정도를 곱한 것으로서 대책의 우선순위를 부여하는 것이다.

보선작업에 대한 휴먼에러의 리스크를 평가하기 위해서는 평가대상으로 되는 휴먼에러를 추출하여 관계 직원별 · 작업 장면별로 정리하고, 또한 각 에러패턴에 대한 리스크평가지표를 작성하는 것이 필요하다. 리스크가 높은 휴먼에러를 유발하고 있는 요인은 대책의 우선순위가 높을 것이며, 그 영향을 평가하기 위해서는 평가대상으로 되는 유발요인을 추출 · 정리하여 각 휴먼에러의 발생에 대한 유발요인의 영향정도에 관한 평가지표의 작성이 필요하다. 휴먼에러의 리스크관리를 위하여 개발된 방법으로 보선작업을 평가한 사례에서는 주로 다음과 같은 식견이 얻어졌다.

① 작업 전이나 점호 시라고 하는, 작업에 직접 영향을 미치지 않는 장면에도 휴먼에러 발생의 리스크가 잠재하고 있음이 리스크평가 결과로부터 밝혀졌다.

② 휴먼에러패턴에 대한 유발요인의 영향정도를 조사한 결과, 제시하는 휴먼에러패턴의 내용이나 직장의 조건 등에 따라 에러패턴과 유발요인의 관계성에 차이가 보인다.

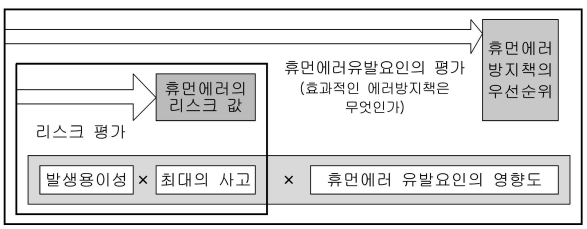

그림 7. 유발요인을 고려한 리스크관리 방법의 개요

휴먼에러의 리스크를 정량적으로 평가하여 중요한 에러방지책을 특정하는 것은 조직 · 직장 내의 안전 활동을 맡은 인간의 기대 만족감을 높여 안전풍토 양성에 대한 동기부여(motivation)의 고양(高揚)에 기여한다고 생각된다.

2. 열차바람이 보수작업자에게 미치는 영향의 추정

열차의 속도향상에 따라 공기역학적인 현상이 현저하게 되는 경향이 있으며, 열차가 통과할 때에 생기는 열차바람이 플랫폼 위의 여객이나 보수작업용 통로에 대피하여 있는 작업자의 안전에 영향을 미치지 않도록 대처할 필요가 있다.

그 때문에 철도사업자는 플랫폼 난간을 설치하고 대피자세를 지도하는 등의 안전대책을 실시하고 있다. 또한, 외국에서는 플랫폼과 보수작업용 통로 각각에 대하여 풍속의 목표치를 두어 이 목표치를 넘지 않도록 대책을 수행하고 있다. 이들의 목표치는 보퍼트 풍력계급(Beaufort Wind Scale)을 근거로 하여 설정한 것으로 예를 들어 보수작업용 통로에 대한 열차바람의 목표치는 동 계급 7(보행에 부자유를 느낀다)을 참고로 하여 17.0 m/s로 되어있다. 보퍼트 풍력계급은 자연풍의 10분간 이상의 평균속도를 대상으로 한 기술이며, 이것을 열차바람과 같은 단시간의 바람에 적용하는 것이 타당한지의 검증은 과제로 되어 있다.

열차바람이 대피자세(쭈그리고 앉은 상태에서 난간을 붙잡은 자세)를 취한 보수작업자에게 미치는 영향을 밝히기 위하여 고속선로 보수작업용 통로에 대한 열차바람의 성상을 파악함과 함께 대형 풍동을 이용하여 정상적 바람과 변동(變動) 바람의 체감시험을 함으로써 다음과 같은 식견이 얻어지고 있다.

① 고속선로 보수작업용 통로의 열차바람은 주로 선로방향의 풍속성분이 크고, 선두부 통과 시에 펄스모양의 변동 바람이 발생하며, 열차통과 동안부터 후미부 통과 후 수 초간에 걸쳐 풍속이 정(正)방향(열차진행방향)으로 완만하게 증대되는 경향이 확인되었다.

② 정상적 바람 시험으로부터 대피자세 시의 항력계수(풍속방향에 대한 형상에 따라 결정된다. 서 있는 자세에서의 항력계수는 바람을 배면으로부터 받는 경우에 약 1.0이다)는 0.82로 추정되었다. 이에 따라 정상

적 바람으로부터 받는 하중을 체격(풍속방향의 투사면적)에 따라 예측하는 것이 가능하게 되었다.

③ 대피자세를 취한 경우에 정상적 바람에서는 자세가 불안정하게 되는 임계점이 30~35 m/s에 있는 것이 확인되었다. 또한, 변동 바람에 대하여는 적어도 27 m/s 정도까지는 자세를 유지할 수 있다고 추정되었다. 이들의 결과로부터 상기의 목표치 17 m/s에는 자세안정성이라고 하는 관점에서는 10 m/s 전후의 안전여유가 있다고 전망된다.

Ⅴ. 운전과 보안에 관한 학제적 어프로치

1. 휴먼에러 사고의 방지

열차운전에 관계되는 휴먼에러 사고의 방지는 예전부터 현재에 이르기까지 일관되게 중심적인 검토과제이었다. 각종 보안장치의 개발, 지상신호 식별성능(legibility)의 향상, 조작하기 쉬운 운전대의 설계 등은 사고방지를 위한 기술개발의 역사이며, 차량이나 신호통신기술과 인간과학과의 학제적 연구의 결과이다.

(1) 졸음방지와 운전부담의 평가

열차의 운전은 불규칙 · 부정형이며, 게다가 1인이 담당하는 직무이므로 기관사의 각성(覺醒)레벨 저하(졸음, 假睡)에 기인하는 사고의 방지가 예전부터의 과제이었다. 각성레벨의 저하를 사고로 이어지지 않게 하는 대책의 중심은 ATS나 데드맨 장치 등으로 대표되는 보안장치의 정비이며, 중대 사고에 대한 반성과 기술의 진보를 결합하여 보다 확실성이 높은 장치나 시스템의 도입을 도모하여 왔다. 그 한편으로 기관사의 작업부담(work load)을 정량적으로 평가할 수 있는 지표가 필요하게 되는 점에서 운전 작업조건과 심박수 간의 대응 분석결과에 기초하여 기관사의 근무조건 등으로부터 작업부담의 정도를 예측하는 시뮬레이션 프로그램이 개발되었다.

(2) 이상시 대응능력 향상 프로그램의 개발

보안장치의 개발에 더하여 운전관계 종사원의 이상시 대응력을 향상시켜 휴먼에러 사고방지에 되살린다고 하는 관점에서의 대처도 있다. 예를 들어, 운전 시뮬레이션을 이용한 종래의 훈련프로그램에서는 이상시의 환경적인 측면(시각, 음, 진동 등)의 모의가 중시되어 심리상황의 모의라고 하는 측면이 간과되기 쉽다. 훈련 후에 수험자(기관사)로의 피드백은 교사역할(지도자)의 주관적인 평가가 중심으로 되는 경향이 있어 그것을 객관화하기 위한 과제도 남아있다. 그 때문에 현역 기관사의 협력을 얻어 이상시에서의 기관사의 심리적인 측면에 관한 모의체험이 가능하고 운전동작이나 기관사의 생리상태 등을 기록하여 객관적으로 피드백할 수 있는 '이상시 대응능력 향상 프로그램' 이 개발되었다.

(3) 운전적성검사의 개량

운전관계 업무로의 취로후보자를 대상으로 실시하는 운전적성검사도 또한 휴먼에러 방지대책의 하나이다. 이것은 수 종류의 심리검사 성적으로부터 운전관계 작업에서 휴먼에러를 일으키기 쉬움 정도를 추정하여 취로의 가부를 판단하기 위한 제도이다. 보다 유효성이 높은 검사를 개발하기 위한 검토가 앞으로도 계속될 것이며, 현역의 운전취급 종사원을 대상으로 한 조사결과에 기초하여 다중선택 반응검사 등과 같은 새로운 검사의 유효성이 확인되고 있다. 계속하여 평상시나 이상시의 각각에서 기관사와 운전환경의 모니터 · 진단기술의 개량과 함께 적절한 운전지원시스템의 개발이 추진되고 있다.

2. 건널목 사고의 방지

철도의 '최대 약점' 이라고 하는 건널목사고를 방지하기 위한 노력도 활발히 진행되고 있으며, 여기서는 몇 개의 검토 예를 소개한다.

(1) 건널목 식별성(legibility)의 향상과 평가

건널목의 식별성을 향상시켜 차단직전의 횡단을 방지하기 위하여 심리학, 교통공학, 그래픽 디자인 등의 관점에서 건널목표지의 효과적인 디자인 방식이나 평가법이 검토되었다. 그 후에 건널목 통행자의 검지모델로 배려하여 오버행(overhang)식이나 2단식 등의 개량 안이 도출되었다. 아울러, 건널목표지類의 식별성 평가법으로서 식별거리 측정법과 반응속도 측정방법이 도출되었다.

(2) 건널목 리스크의 평가

철도종사자의 건널목제원 정보나 사고정보에 기초하여 건널목사고의 발생빈도나 요인을 분석하고 선구특성을 분석하여 리스크평가 · 대책효과 평가모델을 도출하였다. 더욱이, 그 평가결과와 건널목제원 정보나 사고정보를 퍼스컴으로 일원적으로 관리할 수 있는, 실용도가 높은 시스템이 제안되었다. 또한, 건널목에서의 관찰조사와 드라이빙(driving) 시뮬레이터를 이용한 모의실험 결과를 기초로 '일단정지' 룰이 해제된 때에 사고의 리스크가 어느 정도 높아지는가가 정량적으로 분석되었다.

Ⅵ. 차내 환경에 관한 학제적 어프로치

쾌적한 차량을 개발하기 위한 학제적 연구도 활발하며, 승차감의 평가나 피로하지 않는 여객용 의자의 설계 등이 진행되어 왔다.

1. 진동승차감의 평가

승차감평가의 문제는 차량 · 궤도와 인간과학의 학제적 연구로 위치를 잡고 있다. 제동 시, 곡선주행 시, 분기기통과 시 등과 같이 승차감이 손상되기 쉬운 구간에서의 평가방법이 제안되고 있다. 한편, 진동승차감의 평가에서 중심적인 과제의 하나로서 고주파진동이 승차감에 미치는 영향의 평가가 있다. 가일층 열차의 고속화에 수반하여 20~30 Hz의 고주파 진동이 늘어나는 경향이 있지만 종래의 체감보정 곡선으로 이 영역의 진동영향을 평가하기는 곤란하다. 게다가, 사람에게 대단히 낮은 음으로서 지각되는 주파수대역이기 때문에 영향의 평가에서는 저주파 음에 관한 지식이나 기술이 불가결하게 된다. 그 때문에 환경공학 분야의 협력을 받아 새로운 체감보정 필터를 제안하는 등의 연구가 진행되고 있다.

2. 차내 쾌적성 시뮬레이터와 쾌적성 지표

차내의 쾌적성을 향상시키기 위해서는 음, 온열, 공기, 기압변동, 시각 환경 등, 진동 이외의 다양한 환경요인을 고려할 필요가 있기 때문에 각종 요인을 고려한 평가지표의 개발이 필요하다. 그 검토의 툴로서 열차 내의 진동, 소음, 시각 환경 등을 실내에서 모의할 수 있는 '차내 쾌적성 시뮬레이터'가 설계 · 개발되었다. 이에 따라 다수의 피험자에게 동일한 진동 · 소음 환경을 제시할 수 있고 실제차량으로는 실현이 곤란한 시험의 실시가 가능하게 되었다. 손잡이나 난간, 테이블 등의 사용 용이성을 평가하기 위하여 형상이나 배치를 바꾸어 시험하여 바람직한 디자인을 제안한 연구사례가 있다. 더욱이, 승차시간의 길이와 차내 쾌적성 간의 관계에 대하여는 미해명의 점이 많기 때문에 시뮬레이터를 적극적으로 활용한 연구도 진행되고 있다.

3. 충격시의 안전성

열차의 충돌 등과 같이 강한 충격이 생긴 때의 승객신체의 거동을 해명하여 그 상해의 유무나 정도를 추정하는 '서바이벌 팩터(survival factor)' 연구의 중요성도 높아지고 있다. 차량의 구조나 강도 등의 전문지식과 인간공학적인 노하우 간의 융합이 필요하기 때문에 차량구조 분야와 공동으로 연구되어 왔다.

(1) 충격시의 인체거동 시뮬레이션

우선은 충격시의 상해실태를 파악하기 위한 이용자 조사를 하고, 충격시험장치를 개발하여 인체모의장치(dummy)로 시험을 하여 기초적 데이터를 축적하였다. 그 후에 자동차 분야의 시뮬레이션 기술에다가 개량을 추가함으로써 승객 신체거동의 설명 · 예측을 가능하게 하고, 안전자세를 제안하거나 차내 설비대책의 효과를 추정하였다. 예를 들어, 장의자(long seat) 단부의 칸막이에 대하여 형상이나 재질 등을 여러 가지로 바꾸어 흉부의 변위를 시뮬레이션한 결과, 판(패널)형의 칸막이가 기둥(파이프)형보다도 흉부의 변위가 작고, 흉부상해의 발생확률을 낮게 하는 효과가 있는 것을 확인하였다, 라고는 하더라도 패널의 크기나 형상이 다양하기 때문에 최적의 칸막이 형상에 관한 검토가 계속되고 있다.

(2) 시뮬레이션 대상의 확장과 평가지표의 개발

서바이벌 팩터에 관련된 시뮬레이션에는 충격가속도, 승객數(혼잡率), 승객자세나 방향, 각종 차내 설비의 배치조건 등, 많은 요인이 영향을 준다. 연구의 제1 단계에서는 정면방향으로부터의 충격을 대상으로 하였지만 최근의 연구에서는 측면충돌시의 영향도 검토되기 시작하였다. 충격시의 안전성을 높이기 위해 차체강도의 가일층 향상이

도모되는 방향으로 있지만 강도를 어느 정도 늘리면 승객이나 승무원의 안전성이 어느 정도 향상되는가를 단적으로 나타내는 척도(지표)는 확립되어 있지 않다. 이 때문에 인간공학적인 안전성지표의 개발이 매우 중요한 과제로 되어 있다.

Ⅶ. 역 공간에서의 여객유동에 관한 학제적 어프로치

역에서 표시類의 보기 쉬움이나 자동발매기의 조작성에 관한 연구는 예전부터 이루어지고 있으며, 오늘날에는 건축이나 정보기술 분야와의 제휴연구가 이루어지고 있다.

1. 배리어프리化에의 대응

역에는 엘리베이터 · 에스컬레이터가 설치되어 왔지만 표시類의 보기 쉬움이나 설비 · 장치의 사용하기 쉬움 등과 같은 소프트 면의 평가에 대하여는 여러 가지의 과제가 남아있다. 예를 들어, 자동발매기의 사용성(usability)을 조사하여 이에 익숙하지 못한 사용자(user)에 대한 대응책을 검토할 필요가 있다. 또한, 역구내에서 시각장애자의 이동을 음성으로 유도하는 시스템의 개발이나 시각장애자가 섬식 플랫폼의 내 · 외방을 오인하는 것을 방지하기 위한 플랫폼연단 경고블록의 개발 등과 같은 실용적인 성과도 많다.

2. 이상시의 피난 · 유도

(1) 역 시뮬레이터의 개발

재해나 사고 등의 이상시에 여객을 혼잡한 역으로부터 안전하게 피난시키는 것은 중요한 과제이지만, 이상시의 군집 행동에 관하여는 불명한 점이 많으므로 유효한 대책을 세우는 데에 이르지는 않고 있다, 라고는 하여도 대규모 재해나 대규모 테러 등에 대한 대응이 급무이기 때문에 건축과 인간과학 분야가 제휴하여 연구개발에 노력하고 있다. 다만, 피난 시의 안전성을 검증하기 위하여 여객(또는 피험자)을 실제의 역에 모아서 시험을 하기에는 많은 곤란이 수반되므로 역의 안전성에 관한 실험적 검토가 가능한 '역 시뮬레이터' 가 개발되었다. 역 시뮬레이터에는 선로위(橋上) 역을 모의하여 개찰을 포함하는 콩코스, 역무실을 모의한 사무실, 계단 등이 포함된다.

(2) 피난 시뮬레이션으로의 발전

피난 시의 기본적인 행동특성을 파악하기 위하여 이 시뮬레이터를 이용하여 기초실험을 한 결과, 개찰구 상공에 광원을 설치하면, 낮은 조도 조건하에서도 사람은 광원이 있는 개찰구 방향으로 진행하는 경향이 있음이 확인되어 향광성을 이용한 유도법의 유효성을 나타내었다. 또한, 안전한 피난경로로 여객을 유도하는 유동제어방법이나 음성안내에 맞춘 유도방법의 검토를 거듭하여 피난 시뮬레이터를 완성시켜 효과적인 피난유도방법이 제안되었다.

3. 환경요인의 평가지표

열차 내와 마찬가지로 시각, 온열, 음 등의 복합요인으로부터 역공간의 쾌적도를 예측하고 여객의 위생 지향(志向)이 높아짐에 따라 그 실정을 파악하여 지하철의 악취나 공기환경을 평가하기 위한 연구가 진행되어 왔다. 예를 들어, 콩코스나 플랫폼 위의 음(音)환경과 방송의 알아듣기 쉬움에 관한 연구나 온열적인 불쾌감의 특정과 개선의 제안에 관한 연구 등이 있다. 역 시뮬레이터는 역공간의 물리환경(음, 공기, 시각 환경 등)이 여객의 심리에 미치는 영향을 검토하는 툴로서도 유효하다.

4. 플랫폼 위 여객의 안전

플랫폼 위에서 생기는 열차바람의 영향평가도 진행되고 있다. 열차의 속도향상에 수반하여 고속열차가 플랫폼을 통과할 때에 발생되는 순간적인 열차바람이 여객에게 미치는 영향을 평가하기 위하여 공기역학, 건축분야와 제휴하여 대형 풍동이나 실제의 역 플랫폼 위에서 인체에 대한 열차바람의 영향을 조사하는 시험이 수행되어 평가지표가 제안되었다. 한편, 보수작업자에 대한 열차바람의 영향에 관하여는 상기의 제Ⅳ장 제2절에서 소개하였다.

Ⅷ. 안정수송을 실현하기 위한 학제적 어프로치

1. 안정수송의 저해요인

다이어그램을 따라서 안정된 수송을 실현하는 것은 철

도에 부과된 사명의 하나이다. 만약 수송이 혼란되었다면 그 때의 영향이 크기 때문에 여객의 안전성 · 편리성이라고 하는 관점에서 안정수송에 공헌하는 연구가 추진되고 있다. 그 하나로 역 플랫폼에서의 허둥대는 승차행동을 유발하는 요인의 특정과 억지대책에 관한 연구가 있다. 허둥대는 승차는 본인이나 주위의 여객에게 위험할 뿐만 아니라 안정수송에도 크게 영향을 준다. 이 때문에 발차 멜로디의 단축化가 허둥대는 승차행동에 미치는 영향에 대하여 실제의 역 환경에서 멜로디의 길이를 바꾸어 실시한 사회실험을 하여 오프피크(off-peak) 시에 대한 멜로디 단축化의 유효성이 확인되었다.

2. 수송 장애시의 정보제공

수송 장애 등이 생긴 때의 정보제공방식에 관한 연구개발도 진행되고 있다. 예를 들어, 여객이 가장 알고 싶은 '운전재개 전망' 정보는 제공하는 타이밍과 정보의 정확도가 이율배반적인 관계(trade-off)에 있으므로 지금까지는 정확도를 우선하는 나머지 제공 타이밍이 늦게 되는 경향이 있었다. 그러므로 적극적으로 전망 정보를 제시하기 위한 방송 룰의 책정이 진행되고 있다.

Ⅸ. 맺음말

사람(여객)을 안전하고 정확하게 목적지까지 수송하는 것이 철도의 사명이며, 또한 운행을 뒷받침하고 있는 것도 사람이라는 것을 생각하면 철도에서 연구의 상당 부분이 사람에 관련된 연구라는 것을 이해할 수 있다. 학제연구의 비중은 계속하여 증가되고 있으며 리스크의 평가나 관리에 관한 테마에서의 진전 등이 기대된다.

휴먼 시뮬레이션 기술 중에는 실용화 단계(phase)에 있는 것이나 향후 더욱 개량 · 발전이 필요한 것이 포함된다. 이러한 시뮬레이션 기술의 발전에는 인간과학, 건축, 차량, 수송정보, 환경 등, 철도에 관련된 각종 기술 분야의 힘을 결집할 필요가 있다. 또한, 안전관리에 관한 각종 연구의 성과를 안전관리 담당이나 각 현장의 업무에서 활용할 수 있도록 하기 위해서는 철도사업자와의 밀접한 제휴가 필요불가결하다.

휴먼에러의 리스크 평가에 관한 연구는 비교적 새로운 연구 분야이며 구체적인 수속은 향후도 논의하여야 할 과제이다. 또한, 안전 관리(management)는 PDCA(Plan-Do-Check-Act) 사이클의 확립이라고 하는 것처럼 대처를 반복하는 것이야말로 의미가 있다. 철도의 직장에서 계속하여 대처하기 쉬운 방법으로 되도록 향후에도 리스크관리를 더욱 심도化할 필요가 있다.