

KTX 기장의 직무부하 경감을 위한 운전업무 개선 방안에 대한 연구

전영록* · 이명길**

*경남대학교 기계자동화공학부 · **한국고속철도 서울고속철도 기관차승무사업소

A study on the improvement of operation process to lighten duty-load of the critical tasks of KTX train driver

Youngrok Jeon* · Myunggil Lee**

*Division of Mechanical Engineering and Automation, Kyungnam University

**Korea Train Express Seoul High-Speed Locomotive Crew Office

Abstract

This study suggest a way to improve duty process of KTX(Korea Train Express) high-speed train driver. A new operating system which based on safety was introduced to operate high-speed train which travel above 300km/h on the high-speed railroad but below 200km/h on the general railroad.

There were some studies on the operation of high-speed train which travel on the high-speed railroad and on the general railroad with safety. However they overlooked the elements of human errors. The duty-load of KTX train driver's 14 basic operation processes was measured using NASA-TLX and found four processes with high duty-load.

In this paper, critical tasks of the high duty-load processes are determined using a questionnaire. Some suggestions which include the improvement of facilities, operating system and operating skill are proposed to lighten duty-load of the critical tasks. The validity of the proposed new task processes is demonstrated by making question to KTX train driver. To use this results cost-benefit analysis, hazards analysis etc. should be performed additionally.

Keywords : Safety, Quality improvement, KTX

1. 서론

세계적인 에너지부족 현상 및 환경문제로 세계 각국에서는 친환경적인 정책 비전을 제시하고 있다. 철도산업에서도 이를 반영하여 정보화와 고기술화의 차세대 철도개념을 도입하여 항공, 선박 등과 치열한 경쟁을 하고 있다. 시대적 변화로 시간의 가치가 높아짐에 따라 속도가 경쟁력이 되었다[1].

철도시스템은 기술과 과학의 여러 요소가 서로 유기적으로 연계되어 열차를 움직이는 시스템이다. 우리나라의 열차는 정해진 레일을 따라 움직이는 점착 철도(adhesion railway) 방식을 채택하고 있다. 이와는 대조적으로 마찰력에 한계가 없는 자기부상 방식 철도(magnetic levitation railway) 방식의 고속열차에 대한 연구가 독일과 일본에서 진행되고 있다[2].

† 교신저자: 전영록, 경남 마산시 월영동 449번지 경남대학교 기계자동화공학부

M · P: 010-4757-2708, E-mail: yrchun@kyungnam.ac.kr

2008년 7월 접수; 2008년 8월 수정본 접수; 2008년 8월 게재확정

2004년 상업용 운행을 시작한 KTX는 점착방식으로 300km/h 이상의 속도로 운행하고 있다. 이 차량은 프랑스의 TGV-A의 설계에 기반을 두고 설계되었으며, 1990년 5월에 점착 최고주행시험에서 515.3km/h의 기록을 남긴바 있다[3]. 점착력을 이용하여 초고속의 열차를 운행하기 위해서는 속도의 기술적 한계와 안전성 제한요소들이 충족되어야 한다.

KTX의 운행에 따라 KTX를 운행하는 기장들은 새로운 기술시스템과 운전환경을 접하게 되었다. 기존열차 속도의 2배를 초과하는 초스피드 환경에서 1인 승무시스템으로 서울~부산, 용산~목포, 용산~광주간을 충분히 정립 및 안정화되지 않은 자료에 근거하여 작성한 운전매뉴얼로 운전직무를 수행하게 되었다.

KTX는 TVM-430 안전시스템에 의한 ATC 차내 신호시스템으로 인적오류를 방지하는 최첨단 안전시스템이 운영되고, 운전실의 모든 기기취급이 매뉴얼화 되어 있다. 그러나 운행 중의 모든 상황판단을 인적요소에 의존하므로, 취급자의 업무부하 뿐만 아니라 스트레스도 증가할 가능성이 높은 것으로 파악되었다. 이에 따라 취급매뉴얼과 시설·제도적인 변화에 따른 직무부하의 파악을 위하여 안전업무 종사자를 대상으로 NASA-TLX방법을 이용한 직무부하(난이도)분석을 수행하였다[4]. 이 연구조사결과에 따르면 14개 기본 운전업무 중 4개 영역에서 부하율이 평균 이상으로 높게 나타났으며 KTX 기장들이 취급상 부담을 느끼는 것으로 조사되었다.

본 연구에서는 KTX기장들의 부주의에 의한 안전사고의 예방을 위하여 업무매뉴얼과 운전시스템의 개선 방안을 제시한다. KTX 기장의 세부 직무에 대해서 난이도가 높은 직무요소를 파악하여, 난이도를 감소시키는 직무개선안들을 도출하고, 개선안에 대해서 실제 사용자가 평가하도록 하여 최종의 개선방안을 제시한다.

제2절에서는 KTX 운전업무의 특성과 KTX기장의 직무부하의 특성을 다룬다. 제3절에서는 KTX기장의 직무요소별 개선 방안도출과 평가 결과를 제시한다.

2. KTX의 운전시스템과 KTX기장의 직무부하 특성

이 절에서는 KTX를 운행하기 위한 속도의 결정방법, 운행시스템, 안전시스템 등의 기술적인 일반특성과 운전실의 취급기기와 업무환경에 대해서 설명한다. 현재의 KTX는 새로 부설한 고속선로뿐만 아니라 기존의 선로를 사용하는 구간도 있으므로 고속선과 기존선 간의 운행선로가 바뀔 때 동작되는 안전시스템과 취급기

기의 특성에 대해서 소개한다. 또한 KTX기장의 직무부하 특성에 대해서 설명한다.

2.1 고속열차와 KTX 차량의 특성

고속열차의 최고속도는 차량의 가·감속 성능과 점착력, 차량운동과 궤도의 상호작용에 의해 결정된다. 차량의 가·감속 성능에는 견인력, 가속력, 감속력이 있으며, 이들 성능과 점착력의 관계에 의해 최고속도가 제한을 받는다.

차량은 차륜과 레일간의 점착력으로 구동·제동하여 기동·가속·주행·감속·정지한다. 구동력이나 제동력이 마찰력을 상회하면 차륜이 슬립(slip) 또는 활주(skid)한다[5]. 레일과 차륜담면 사이의 점착(마찰)계수(coefficient of adhesion)를 이용하면 동륜이 레일 위를 미끄러지지 않고 힘을 전달할 수 있다. KTX 기장은 열차의 출발, 운행 중, 우천 시에 미끄럼 없이 안전하게 가·감속하기 위한 조정 기술을 갖추어야 한다. 차량에도 이러한 특성을 적용하여 안전도를 보장한다.

차량의 운동특성과 궤도특성 또한 최고속도 결정에 영향을 준다. 철도 차량의 윤축(wheel set)은 좌우 한 쌍의 차륜 담면(wheel tread)으로 구성되어 있으며, 차륜 담면은 테이퍼 형상으로 되어있다. 열차가 레일 위를 주행할 때 차량이 한쪽으로 쏠릴 경우에는 경사진 테이퍼(담면구배)로 인해 복원력이 작용된다. 그러나 차륜 담면의 좌우 지름의 차이 때문에 윤축이 한쪽으로 쏠렸다가 반대쪽으로 쏠리는 현상의 반복으로 인해 뱀처럼 꾸불꾸불 전진하는 사행동(snake motion)을 하게 된다. 사행동은 낮은 속도에서는 차체가 심하게 흔들리는 1차 사행동이 발생하다가 일정 속도가 이상이 되면 대차가 심하게 진동하는 2차 사행동이 발생하므로 최고속도를 높이기 위해서는 이러한 사행동 현상을 최소화해야 한다[6]. 또한 철도차량 자체가 질량, 스프링이 복잡하게 조합된 시스템이고, 궤도틀림이 있는 선로 위를 주행하므로 차량의 각 부위가 진동하게 되고, 집전 시스템의 진동, 구조물의 공진, 공기의 진동, 신호 및 비석 등의 열차의 최고 속도의 결정에 영향을 준다.

현재 운행 중인 KTX 고속차량은 20량을 1편성으로 동력차 2량, 동력객차 2량, 중간객차 16량(특실 4량, 일반실 12량)으로 구성되어 있으며, 열차장은 388.104m이다.

<표 1>은 KTX고속차량의 주요제원을 나타낸 것이다.

<표 1> KTX 고속차량의 주요제원

항목		내용	항목		내용
차량 중량	공차	701.2톤	열차 성능	안전한도속도	330km/h
	영차	771.2톤		영업속도	300km/h
	동력차 중량	68톤		가속성능	300km/h 도달시간 :6분5초
	축당 중량	17톤		정차거리 (300km/h)	상용제동 시 6,600m(2분 40초) 비상제동 시 3,300m(1분 20초)
열차 동력	사용전압	25KV, 60Hz	선로 조건	최고 설계속도	350km/h
	견인동력	13,560kw(18,442Hp)		최소 곡선반경	역구내 400m, 본선 7,000m
	전기제동력	300kN		운행 최대구배	15% ~ 25%

KTX 동력차 견인시스템은 팬터그래프(PT, Pantograph), 주회로차단기(VCB), 주변압기, 모터블록(MB, motor block), 견인전동기 등으로 구성되어 있으며, 각 구성요소의 주요기능은 <표 2>와 같다.

<표 2> KTX 동력차 견인시스템의 구성과 기능

주요구성요소	기능
팬터그래프	<ul style="list-style-type: none"> ○ 전차선으로부터 25,000V를 수전하여 견인전동기에 전원 공급 ○ 정상 운행 중에는 후부동력차의 팬터그래프를 사용 ○ 후부동력차의 팬터그래프 고장 또는 후진 시 전부동력차의 팬터그래프 사용
주 회로차단기	<ul style="list-style-type: none"> ○ 팬터그래프에서 주변압기에 이르는 전류를 감지 ○ 과전류 발생 시 주 회로를 차단하여 주변압기, 모터블록 등의 주요기기를 보호
주변압기	<ul style="list-style-type: none"> ○ AC 25,000V/60Hz 단상전원을 6개의 견인권선 AC 1,800V와 1개의 보조권선 AC 1,100V로 변환시켜 차량에 전원을 공급 ○ 2개의 견인권선이 한조를 이루어 2개의 견인전동기(1개 동력대차)를 구동 ○ 보조권선은 견인전동기 계차전류, 모터블록의 송풍인버터, 주변압기 냉각송풍전동기, 공기압축기 등과 객차에 필요한 각종 전원을 공급
모터블록	<ul style="list-style-type: none"> ○ 주변압기에서 공급되는 교류전원을 견인특성에 맞도록 변환하는 장치 ○ 역률개선장치(power factor correction) 등 주 정류장치와 견인 인버터로 구성
견인전동기	<ul style="list-style-type: none"> ○ 모터블록에서 제어되는 전류량과 주파수에 따라 견인전동기의 회전력 및 회전속도가 결정됨 ○ 견인전동기의 출력은 1,130KW, 최대 회전속도는 4,000rpm이며, 편성당 12개의 전동기가 설치되어 총 13,560KW(18,442HP)의 출력을 발생

또한 KTX는 3중 제동시스템, 자동열차제어시스템, 운전경계장치시스템, 화재검지시스템을 갖추어 안전운행에 문제가 없도록 하고 있다. <표 3>은 KTX가 갖추고 있는 안전시스템의 특성을 설명한 것이다.

<표 3> KTX고속열차의 주요 안전시스템

안전시스템	주요 특성
3중제동 시스템	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기존 프랑스 TGV의 2중 제동장치(마찰제동, 저항제동)에 회생제동 시스템을 추가 ○ 컴퓨터로 제어하여 효율적인 제동과 에너지 절감효과를 얻을 수 있도록 설계
자동열차제어 시스템	<ul style="list-style-type: none"> ○ 자동열차제어시스템에 의하여 열차위치와 운행속도를 계산 ○ 열차간격, 속도 등에 따라 운전실에 신호를 표시 ○ 표시속도를 초과하여 운행하는 경우 비상제동이 작동
운전경계장치 시스템	<ul style="list-style-type: none"> ○ 운행 중 KTX 기장의 졸음 또는 의식 불안정 등을 지속적으로 확인하는 장치 설치
화재검지 시스템	<ul style="list-style-type: none"> ○ 압축공기로 채워진 nilsan(rilsan) 튜브를 모터블록, 보조블록, 주변압기, 객차 등에 설치 ○ 화재 발생 시 nilsan튜브가 손상되고 압축공기가 배출되어 튜브내 압력저하를 감지하여 화재경보 및 모터블록, 기타 동력장치들을 차단함.

2.2 KTX 기장 운전업무의 직무부하 분석

구인수·정원대[4]는 NASA-TLX(Task Load index) 분석법을 사용하여 KTX기장의 직무부하분석을 수행하였다. NASA-TLX분석법은 미항공우주국(NASA)에서 직무부하평가를 위해 개발한 방법으로 현재 모든 산업 분야에 널리 사용되고 있다. NASA-TLX분석법에서는 평가대상 직무에 대해서 해당 직무를 수행할 때 개인이 느끼는 직무의 부하를 6개의 항목별로 표시하도록 하여 직무부하를 측정하는 방법이다. <그림 1>는 구인수·정원대에서 사용한 NASA-TLX분석용 설문지이다.

구인수·정원대[4]는 KTX 기장의 주요 직무에 대해서 <그림 1>와 같이 정신적 부하(mental demand), 육체적 부하(physical demand), 시간적 압박(temporal demand), 노력(effort), 성취도(performance), 당혹감(frustration)의 6개 항목에 대해서 0~100 사이의 값으로 응답하도록 하고, 부하가 높은 직무를 분류하였다. 이들 6개 평가 항목의 내용은 다음과 같다.

- (1) 정신적 부하 : 해당 직무를 수행하는데 필요한 정신적(인지적)인 부하 수준. 정신적으로 얼마나 힘들고 어려운가?
- (2) 육체적 부하 : 해당 직무를 수행하는데 필요한 육체적인 부하 수준. 육체적으로 얼마나 힘들고 어려운가?
- (3) 시간적 압박 : 해당 직무를 수행하는데 느끼는 시간적 압박(time pressure) 수준. 시간적으로 얼마나 쫓기는가?
- (4) 노력 : 해당 직무를 수행하는데 필요로 하는 노력 수준. 얼마나 집중하고 신경을 써야 하는가?
- (5) 성취도 : 해당 직무 수행 시 직무를 성공적으로 완료할 수 있는 기대 수준. 얼마나 정확하게, 매끄럽게 직무를 완료할 수 있는가?
- (6) 당혹감 : 해당 직무가 요구될 때 느끼는 심리적 당혹감(부담) 수준. 얼마나 당황스럽고 부담이 되는가?

직무 #	기존선 절연구간 통과
①	절연구간 예고 시스템(GPS)에서 "절연구간 예고, 절연구간 예고, VCB를 개방하십시오" 음성 청취
②	선로변 절연구간 예고 표지 확인
③	주제어간(MC-IC-01)을 "B" 위치에 놓고 견인 주제어기 "B" 위치 표시등(LS-CO-TT-01)의 점등을 확인
④	주회로차단기 스위치(SW-VCB-01) 내림(OFF) 및 주회로차단기 개방 표시등(LS-VCB-01) 확인
⑤	선로변 절연구간 표지 확인
⑥	선로변 역행 표지 확인 및 역행 표지 통과후 전차선 전압계(VM-HV-01)로 전압 확인
⑦	주회로차단기 스위치(SW-VCB-01) 올림(ON) 및 주회로 차단기 투입허용 표시등(LS-VCB-CS-01) 확인
⑧	주회로차단기 투입허용단추(PB-CS-VCB-01) 올림

위 직무에 대하여 아래 평가표의 해당되는 점수에 ✓로 표시하여 주십시오.

항목	평	가
정신적 부하	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 이 직무 수행시 머리를 많이 쓰지 않는다 30 ✓	이 직무 수행시 머리를 많이 쓰지 않는다 100
육체적 부하	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 이 직무 수행시 육체적으로 전혀 힘들지 않다 50 ✓	이 직무 수행시 육체적으로 매우 힘들다 100
시간적 압박	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 이 직무 수행시 시간적으로 견딜 필요가 없다 80 ✓	이 직무 수행시 시간적으로 많이 쫓긴다 100
노력	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 이 직무 수행시 종종 많은 신경을 써야 한다 20 ✓	이 직무 수행시 많은 신경을 써야 한다 100
성취도	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 이 직무 수행시 수행결과가 항상 나쁘다 60 ✓	이 직무 수행시 수행결과가 항상 완벽하다 100
당혹감	0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 이 직무 수행시 심리적으로 부담되거나 당황스러울 때가 적다 10 ✓	이 직무 수행시 심리적으로 부담되거나 당황스러울 때가 항상 나쁘다 100

<그림 1> NASA-TLX분석 용지의 예

구인수·정원대[4]는 KTX기장의 운전업무를 출무에서부터 부수입환까지 14개 직무로 구분하고, 130명의 KTX기장을 대상으로 설문조사를 하였다. <표 4>는 각 직무별 NASA-TLX 평균과 최소, 최대값을 나타낸 것이다.

<표 4> 직무별 NASA-TLX 평균, 최소값, 최대값

직 무		평균값	최소값	최대값
(1)	출무	51.4	36.4	62.6
(2)	동력차로 이동	50.2	36.8	62.4
(3)	출발전 차량 점검	59.6	47.6	69.6
(4)	출발	59.1	46.2	71.2
(5)	가속	57.8	41.8	69.8
(6)	감속	61.7	48.4	72.4
(7)	기존선 절연구간 통과	65.5	53.5	77.0
(8)	고속선 절연구간 통과	54.3	39.3	70.1
(9)	기존선→고속선 진입	68.2	56.4	78.6
(10)	고속선→기존선 진입	68.3	56.7	78.4
(11)	도중역 정차	66.7	54.3	77.3
(12)	종착역 정차	60.0	44.9	74.3
(13)	차량 인계 및 도착 보고	47.4	32.3	63.1
(14)	부수입환	60.2	47.9	72.3
전체 평균		59.3	45.8	71.3

구인수·정원대[4]는 각 직무의 NASA-TLX 평균값이 전체평균보다 큰 경우에 고부하 직무로 분류하였다. <표 4>에서 전체평균 59.3을 크게 상회하는 '(7)기존선 절연구간 통과', '(9)기존선→고속선 진입', '(10)고속선→기존선 진입', '(11)도중역 정차' 직무를 고부하 직

무로 분류하였다.

<표 5>는 고부하 직무로 분류된 4개의 직무가 갖고 있는 특성을 분석한 것으로 다음 절에서 다룰 직무개선의 기반이 되는 분석이다.

<표 5> 고부하 직무의 주요 특성

직무명	직무의 특성	NASA-TLX 평균
기존선 절연구간 통과	○ 취급항목이 7개 ○ 취급부주의 사고가 자주 발생하고 직무로 많은 주의력과 취급의 어려움이 많은 것으로 평가	65.5
기존선→고속선 진입 (고속선→기존선 진입)	○ 연결선 구간에서의 팬터그래프 선택취급 및 속도조정, 운전실 기기확인 등 10개 취급항목으로 구성 ○ 취급항목 중 팬터그래프 취급과 시스템의 이상으로 인한 TVM-430의 오동작으로 인한 부담이 고부하의 원인	68.2(68.3)
도중역 정차	○ 1인승에 대한 심적 부담, 정차역임을 알려주는 장치, 순간 실수로 도중역 통과 등에 대해서 부담을 느끼는 것으로 파악 ○ 정차역을 통과하지 못하도록 하는 제도 및 시설 개선이 필요한 항목	66.7

<표 6> KTX기장 운전업무 개선 절차

단계	내용	활용도구
1	개선대상이 될 수 있는 직무구성요소 도출	고부하직무의 세부 구성요소분석
2	개선 대상 직무구성요소 선정	KTX기장 대상 설문조사(설문지)
3	개선 대상 직무구성요소에 대한 개선안 도출	각종의 창조성기법(브레인스토밍)
4	개선안에 대한 평가	KTX기장 대상 설문조사(설문지)
5	최종 개선안 제시	

3. KTX 기장 운전업무 개선 방안

이 절에서는 <표 5>의 고부하 직무의 부하경감을 위한 직무개선안을 제시한다. 최종의 개선안은 <표 6>의 과정을 거쳐서 도출한다.

먼저 <표 5>를 기반으로 개선 대상이 될 수 있는 직무 구성요소를 도출하고, 설문조사를 통해 개선대상 직무 구성요소를 선정한다. 선정된 개선 대상 직무구성요소의 개선안을 각종의 창조성기법을 사용하여 도출하고, 설문조사를 통해 개선안의 타당성을 검토한 후에 최종의 개선안을 제시한다.

3.1 개선대상 직무요소의 선정

4개의 고부하 직무에 대해서 각 직무를 구성하고 있는 세부 구성요소로 세분하고, 세부 직무구성요소에 대해서 현재의 운전시스템에 대한 평가를 하였다. 서울 및 부산고속기관승무사무소에 소속된 KTX기장(130명)을 대상으로 고부하 직무의 세부 구성요소에 대한 직무의 어려움을 설문조사하였다(부표1 참고). 이 조사에서는 기장의 근무경력, 근무지, 연령 등의 항목도 함께 조사하였으나 이와 같은 특성별 차이는 발견할 수 없었다.

세부 구성요소들은 크게 시설이 문제가 되는 시설부문, 직무지침과 관련이 있는 제도부문, 운전실의 기시시설과 관련이 있는 기술부문으로 분류할 수 있다. 개선이 필요한 것으로 응답한 비율이 높은 요소들을 시설, 제도, 기술부문으로 분류하여 살펴보면 다음과 같다.

시설부문의 경우에 연결선 구간에서의 팬터그래프 취급을 응답자의 83%가 부담스러운 것으로, 도중역 정차

에 대한 제도 및 시설요소 개선에 대해서 응답자의 73%가 개선이 필요한 것으로, 절연구간 통과 후 역행표지를 확인하고 CS-VCB-01 투입 및 전압계 확인의 어려움에 대해서 응답자의 52%가 어려워하는 것으로, 연결선 구간 선로 최고속도로 인한 제한속도 조정에 대해서 응답자의 46%가 부담스러운 것으로 응답하였다.

제도부문의 경우에 평소 절연구간 통과 시 제도적 장치로 인한 주의력 집중의 부담감 여부에 대해서 응답자의 98%가 부담을 가지고 운행하는 것으로, 열차시각표에 따른 도중역 정차 시스템에 대한 심적 부담 여부에 대해서는 응답자의 79%가 부담을 느끼는 것으로, 진행정위 폐색신호가 도중역 정차취급에 도움이 되느냐 여부에 대해서 52%가 개선이 필요하다고 응답하였다.

기술부문의 경우에는 운전실 기기구조 및 설치에 대한 취급의 부담 여부는 팬터그래프 53%, 제동취급 17%, VCB 13%로 팬터그래프 취급이 가장 부담스러운 것으로, 절연구간에서 기기취급 어려움에 대한 기기별 종류는 제동취급 52%, SW-VCB-01 취급 25%로 제동취급이 가장 어려운 것으로, 연결선 구간에서 ATC 시스템의 자동 아밍 불능으로 수동취급의 부담 여부는 응답자 41%가 부담을 느끼는 것으로 응답하였다.

3.2 개선안 도출과 평가

앞의 설문조사에서 응답자로 하여금 개선이 필요하다고 평가하는 항목에 대해서 개선의 방법을 동시에 제안하도록 하였다. 또한 면담, 토론 등에 의한 방법으로 개선이 필요하다고 생각하는 구성요소의 개선방안을 제안하도록 하고 이를 항목별로 분류하였다. <표 7>은 응답자들이 제안한 개선아이디어의 일부를 나타낸 것이다.

<표 7> 응답자들이 제안한 개선아이디어의 예

시설부문	제도부문	기술부문
<ul style="list-style-type: none"> 연결선 구간에서 팬터그래프 취급은 선택스위치 위치가 해당구간이 아니면 동작되지 않는 구조나, 기존선에 대한 상승높이 제한장치 설치, 자동전환 등이 필요하다. 도중역 정차에 대한 시설은 현재 아무런 보안장치 설비가 없는 실정이다. 장내신호기에 ATP 제어장치를 부설하여 제동장치를 동작 시키는 시설을 설치, 진행정위 폐색시스템을 도중 정차역만 정지정위 폐색시스템으로 신호설비를 변경, 도중 정차역 음성장치, 장내신호기 진입 시 정차역임을 알려주는 보안장치 및 경고장치 시설 등이다. 	<ul style="list-style-type: none"> 절연구간 통과 시 각종표지의 확인 및 취급절차와 기기취급 등의 제도적 장치에 대한 주의력 집중하게 된다. 또한 절연구간은 지속적인 사고발생 구간으로 전차선 및 팬터그래프 손상 등 물적 손실이 발생하고 있다. 규정과 제도적인 측면으로 표지류의 확인 및 취급절차를 개선이 필요하다. 열차 시각표에 의한 도중역 정차 시스템은 위치와 시간을 놓치면 정차역을 통과하게 되는 오류가 발생한다. KTX 기장 운전업무에 의존하고 있는 규정적인 문제와 1인 승무에 따른 부담감, 열차별 정차역의 상이한 문제 등이다. 도중 정차역의 운전취급자 또는 객실의 승무원과 통신체계 등 제도적 개선이 필요하다. 	<ul style="list-style-type: none"> 운전실 기기구조 및 설치에 대한 취급 중 부담을 가지고 취급하는 기기는 팬터그래프 선택기취급, 제동취급 등이다. 팬터그래프 선택기는 회전형으로 되어 있으며, 손에 힘을 많이 가하면 적정 위치를 넘어가서 원하지 않는 위치가 선택될 수도 있다. 팬터그래프 선택기는 취급자의 기술적인 숙달 등이 필요하다. 제동취급은 해당구간의 속도조정 취급, 정차역 제동취급 등에 사용되는 기기이다. 제동사용량이 많거나 적으면 속도조정이 원활하지 않아 규정 속도를 초과하거나 규정시간보다 열차가 늦어지게 된다. 적정량을 조절할 수 있는 기술적 숙달이 필요하다.

본 연구에서는 설문응답자들이 제안한 아이디어를 기반으로 하여 브레인스토밍과 전문가분석을 실시하여 응답자가 요구하는 개선항목이 실현 가능성을 조사하였다. 또한 KTX는 운전환경을 보호하기위한 안전장치

설치되어 있어 각종의 위험요소로부터 취급자와 열차를 보호하도록 되어 있다. 이러한 안전장치의 특성을 개선안 도출에 반영한다.

<표 8> KTX 운전직무 종합개선 방안

부문	종합 개선 방안	개선대상 구성요소
시설부분	○ 해당구간이 아니면 팬터그래프가 선택되지 않도록 안전장치를 한다. ○ 기존선에도 높이 제한장치를 설비를 한다.	팬터그래프문제
	○ 음성장치의 음성장치를 해당열차에 맞게 설정하여 정차역임을 알리는 음성내용으로 개선한다. ○ 정차역 알림 방송을 운전실에서도 모니터링 되도록 장치설비를 한다. ○ 해당 역에서 정차역임을 알려주는 보안장치 등을 동작시킨다. ○ 장내신호기에 ATP 제어장치를 설치 운용한다. ○ 정차역에 대한 신호체계를 정지정위로 시스템을 개선한다.	도중역 정차문제
	○ 2급선 선로시설로 보강하여 최고속도를 140km/h 이하로 속도를 향상한다. ○ TVM-430의 신뢰도를 향상하도록 ATC시스템을 개선한다.	연결선 문제
기술부분	○ 고속선과 동일한 TVM-430 자동시설로 개선한다. ○ ATP 제어시스템을 설치하여 자동 차단되고 수동으로 투입(ON)하도록 개선한다. ○ 절연구간 통과 후 전차선 전압계(VM-HV-01)에 전류가 인가될 시 경보음이 발생되도록 설치한다.	절연구간 문제
	○ 연결선 구간에서 팬터그래프(PT) 선택취급 시 해당(기존, 고속)구간의 위치가 아니면 작동 되지 않도록 시스템을 변경한다. ○ 현재 장착되어 있는 모터블록(MB)의 J버전을 기존선 구간에서 회생 제동력 보강을 위해 30KN에서 40KN으로 향상되도록 변경한다.	연결선 문제
제도부분	○ 해당구간에서 팬터그래프 자동선택형으로 개선한다.	팬터그래프문제
	○ 도중 정차역에 대한 신호현시 체계를 부분선에 정차시키는 신호시스템으로 개선한다. ○ 도중 정차역 운전취급자 또는 열차승무원과 상호보완 할 수 있는 제도를 만든다.	도중역 정차문제
	○ 운전지침 내용의 단순화 한다. ○ 팬터그래프 선택스위치를 자동화 한다.	연결선 구간문제
	○ 정차역에 대한 신호체계를 정지정위로 시스템을 개선한다. ○ 도중 정차역에 대한 신호현시 체계를 부분선에 정차시키는 신호시스템으로 개선한다. ○ 도중 정차역 운전취급자 또는 열차승무원과 상호보완 할 수 있는 제도를 만든다.	절연구간 문제

<표 8>은 응답자들의 개선안을 바탕으로 브레인스토밍, 전문가 분석을 통해 도출한 종합적인 개선 방안을 나타낸 것이다.

개선방안의 적설성을 평가하기 위해서는 개선안에 대한 모형을 만들고 실행하여 평가해야 한다. 그러나 KTX는 현재 운용되고 있는 시스템이고, 모형을 만들기 위해서는 많은 비용이 소요될 수 있으므로 이 연구에서는 실제 시스템을 운영하는 KTX기장으로 하여금

1차적으로 개선안을 평가하도록 하여 적절하지 않은 안을 먼저 제거한다.

앞의 설문조사에서와 같이 KTX기장을 대상으로 <표 8>의 각 개선 방안을 실행하는 경우에 직무부하의 경감정도를 응답하도록 하였다(부표2 참고). <표 9>는 개선의 효과가 있다고 응답한 비율이 50% 이상인 문항과 비율을 나타낸 것이다.

<표 9> 개선방안에 대한 평가 결과

부문	개선 방안	적절평가 비율(%)
시설부문	○ 도중 정차역에 대한 객실안내 방송 시 운전실에서도 정차역 방송이 모니터링 되도록함.	58
	○ 도중 정차역 접근 시 해당 역에서 정차열차에 대한 경보장치(기타 보안장치)를 동작시켜 주도록 변경.	51
	○ 연결선 구간의 고속선→기존선으로 진입 시 선로최고속도 3급선에서 2급선으로 향상되어 속도 급감속의 부담의 경감.	72
	○ 연결선 구간의 기존선선→고속선으로 진입 시 선로최고속도 3급선에서 2급선으로 향상되어 속도 급상승의 부담의 경감.	74
	○ 연결선 구간 중 시흥~광명간 절연구간 위치를 광명역 쪽으로 이동하여 위치를 변경.	55
	○ 팬터그래프(PT)의 오 취급 및 전차선 없는 구간에서 이를 보호하기 위하여, 기존선에서도 높이 제한장치를 사용하는 경우.	78
제도부문	○ 도중 정차역에 대한 신호시스템을 진행정위에서 정지정위 신호시스템으로 변경하는 경우.	58
기술부문	○ 기존선의 절연구간 취급이 고속선과 동일하게 자동제어(LS-NE-03/04 점등)시스템으로 동작되는 경우	86
	○ 기존선 절연구간 진입 시 SW-VCB-01 이 자동으로 차단되고 CS-VCB-01 은 수동으로 취급하도록 하는 경우.	73
	○ 연결선 구간에서 팬터그래프(PT) 선택취급 시 해당(기존, 고속)구간의 위치가 아니면 작동 되지 않도록 시스템을 변경하였을 경우.	86
	○ 현재 장착되어 있는 모터블록(MB)의 J버전을 기존선 구간에서 회생제동력 보강을 위해 30KN에서 40KN으로 향상되도록 변경하는 경우.	77
	○ 연구간 통과 후 전차선 전압계(VM-HV-01)에 전류가 인가될 시 경보음이 발생되도록 설치하는 경우.	54

<표 9>의 결과를 종합하여 최종의 KTX기장의 업무개선방안을 도출하였다. <표 10>은 개선 항목별로 현행 시스템과 개선 시스템을 비교한 것이다.

<표 10> 현행방법과 개선방안의 비교

부문	현행 방법	개선방안
시설부문	○ 도중 정차역에 대한 객실안내 방송이 모니터링 되지 않는다.	○ 운전실에서도 객실 안내방송이 모니터링 되도록 시설을 설치한다.
	○ 도중 정차역 접근 시 정차열차에 대한 보안장치 및 경보장치가 없다.	○ 장내신호기 부근에 해당 정차역에서 열차로 알릴 수 있는 경보장치를 설치하거나, ATP 제어장치 시설로 정차열차가 감속되지 않거나 제동사용량이 없으면 열차를 제어하여 정지목표에 정차시킨다.
	○ 연결선 구간의 선로시설이 3급선으로 되어있다.	○ 연결선 구간의 선로시설을 2급선으로 향상한다.
	○ 시흥 연결선 구간의 절연구간의 위치가 부적절하다.	○ 시흥 연결선의 절연구간 위치를 시흥 방향이나 광명 방향으로 시설을 이동한다.
	○ 장내신호기 부근에 설치된 절연구간이 많다.	○ 장내신호에 인접된 절연구간 시설위치를 변경한다.
제도부문	○ 도중 정차역에 대한 신호시스템이 진행정위이다.	○ 도중 정차역에 대한 출발 신호시스템을 정지정위로 하거나, 부분선에 정차되는 신호시스템으로 제도를 변경한다.
기술부문	○ 기존선 절연구간 취급이 수동이다.	○ 고속선과 동일한 ATC 자동제어 시스템으로 기술적인 취급방법을 변경한다.
	○ 연결선 팬터그래프 선택취급이 수동이다.	○ 주 회로스위치(VCB) 차단은 ATP 제어시스템으로 자동제어하여 차단시키고, 투입은 수동으로 취급하도록 한다.
	○ 모터블록 J버전은 기존선 구간에서 30KN으로 되어있어 회생제동력이 약하다.	○ 모터블록 J버전을 30KN을 40KN으로 변경하여 전기 제동력을 보강한다.

4. 결 론

본 연구에서는 직무부하에 의한 부적절한 운전업무를 개선하여 취급부주의사고 및 안전사고를 예방하도록 하였다. NASA-TLX 운전직무부하 평가에서 고부하로 평가된 4개 직무영역을 중심으로 KTX 기장 운전업무를 문제점을 세부적으로 도출하였다. 도출된 문제영역을 중심으로 세부 직무프로세스 난이도를 평가하고, 개선해야 할 직무프로세스를 선정하여 브레인스토밍 방법을 활용하여 개선 방안을 도출하였다. 운전실음성장치, 도중 정차열차 정차시스템, 절연구간 시설 변경, 연결선 선로 향상, 팬터그래프 선택기 자동시설 등 선정된 운전업무 요소가 시설, 제도, 기술적으로 개선되었을 경우에 KTX 기장들에게 어느 정도 직무부하가 경감되어 만족할 것인가에 대한 분석을 수행한 결과 본 연구에서 제시한 개선방안이 개선효과 있음을 알 수 있었다. 그러나 실제로 개선방안을 실행하기 위해서는 개선방안에 대한 비용/효과분석, 위험요소분석 등의 추가적인 분석이 필요하다.

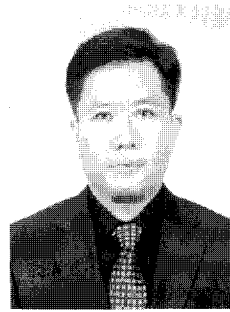
본 연구는 코레일의 운전직무분야의 전체적인 직원 대상이 아닌 KTX 기장의 운전직무만을 대상으로 한정하여 다루었으며, 인지적이고 감성공학적인 부분은 고려하지 않았다. 그러나 직무부하의 실질적인 감소와 안전사고 예방을 위해서는 광역 운전분야 및 전동차 분야의 운전직무관련 분야로 확대하고 인지적이고 감성공학적인 부분을 고려하여 종합적으로 운전업무를 개선할 필요가 있다. 향후에는 광역을 포함한 운전직무 전 분야로 직무대상을 확대하고, 인지적이고 감성공학적인 부분을 반영하여 개선방안을 재평가하고, 비용효과분석과 위험요소분석 등을 실시하여 최종의 실행 가능한 개선안을 도출할 예정이다.

5. 참 고 문 헌

- [1] 서사범, 철도공학, 북깁러리, pp.66-74 (2006)
- [2] 서사범, 철도공학, 북깁러리, p.688 (2006)
- [3] 서사범, 철도공학, 북깁러리, pp.19-20 (2006)
- [4] 구인수, 정원대, “안전업무종사자 인적오류 관리 및 업무적성 평가기준 개발” 『철도종합안전기술개발사업 중간 평가 및 공개발표회』 직무특성 분석, pp.17-19 (2006)
- [5] 서사범, 철도공학, 북깁러리, pp.561-562(2006)
- [6] 김병수, 안승호, 전동차운전이론, 일진사, pp.139 (2007)

저 자 소 개

전 영 록



서울대학교에서 학사, 한국과학기술원에서 석사, 박사학위를 취득하였고, 관심분야는 품질경영, 설계공학, 공학교육, 트리즈(TRIZ) 등이며, 현재 경남대학교 기계자동화공학부 교수로 재직 중이다.

주소: 경남 마산시 월영동 449번지 경남대학교 기계자동화공학부

이 명 길



한국철도공사 부산지사 KTX 고속기관차승무사업소에 재직 중이며, 경남대학교 산업공학과 석사학위를 취득하였고, KTX 고속열차 기장의 운전 시뮬레이터 강사 및 분원 교육을 담당하고 있으며, 관심분야는 산업안전공학 및 컴퓨터 프로그램 분야이다.

주소: 경남 마산시 구암 1동 경남 APT 4동 407호

<부표 1> 직무구성요소의 직무부하 평가용 설문지 예

I. 다음은 운전업무 개선 요인에 관한 설문입니다. 아래 질문 중 해당되는 곳에 “○” 해 주십시오.

항 목	전혀 그렇지 않다	그렇지 않다	보통이다	그렇다	매우 그렇다
1. 평소 KTX 운전업무에 만족하십니까?					
2. 운전업무의 기기취급에서 다음 중 어느 것이 부담스럽다고 생각하십니까?	VDS	ATS	VCB	P.T	제동취급
3. 운전실 주제어간(MC-IC-01) 동작방식이(전·후) 적절하다고 생각하십니까?					
4. 3번 문항 중 그렇지 않다면 이유 또는 개선사항을 간략하게 적어주십시오.					
5. 평소 절연구간 통과 시 주의력을 많이 기울이게 된다고 생각하십니까?					

<부표 2> 개선방안의 평가를 위한 설문지

I. 다음 항목과 같이 운전업무가 개선된 경우에 운전직무부하가 어느 정도 개선될 것으로 추측하십니까? 해당하는 곳에 “○” 표 해 주십시오.

항 목	전혀 없음	약간 있음	있음	많이 개선	매우 개선
1. 기존선의 절연구간표지 중 역행표지의 바탕색을 기존선과 구분하기 위하여 백색에서 녹색으로 교체하는 경우					
2. 기존선의 절연구간 취급이 고속선과 동일하게 자동제어(LS-NE-03/04) 시스템으로 동작되는 경우					
3. 기존선 절연구간 진입 시 VCB가 자동으로 차단되고 CS-VCB-01은 수동으로 취급하도록 하는 경우					
4. 절연구간 통과 후 전차선 전압계(VM-HV-01)에 전류가 인가될 시 경보음이 발생되도록 설치하는 경우					
5. 도중 정차역에 대한 신호 시스템을 진행정위에서 정지정위 신호 시스템으로 변경하는 경우					
6. 도중 정차역에 정차시키는 신호 시스템을 부분선에 정차되도록 변경하는 경우					