

철도차량 운행속도에 따른 기관사의 인지과정 분석 Cognitive Process of Railway Drivers at Different Speeds

김사길* · 박홍준** · 경태원*** · 변승남†

Sa-Kil Kim · Hong-Joon Park · Tae-Won Kyung · Seong-Nam Byun

Abstract

The objective of this study is to verify the hypothesis that cognitive process of railway drivers would be influenced by train speed. The hypothesis is tested by investigating railway drivers' cognitive processes at different speeds of a locomotion. The experiment shows that human performance of railway drivers decreases as the train speed becomes faster. In addition, simple signals outperformed complex signals at every train speed. Therefore, it is suggested to redesign complex signals simpler for improving drivers' human performance. It is also recommended that the Korean railway safety law should be revised to mention requirement of the signal design, especially for the fastest train including KTX. The implications of the experiments are discussed in detail.

Keywords : Railway drivers, Information process, Cognitive process
기관사, 정보처리과정, 인지과정

1. 서론

한국형 고속철도(KTX: Korea Train eXpress)는 2004년 4월에 세계에서 4번째로 352km/h의 최고속도를 달성하였다. 고속철도 차량의 성능과 속도가 꾸준히 증가하는데 반해 철도운전업무종사자(이하 '기관사'라 칭함)의 정보처리 및 인지능력에 한계가 있다.

고속철도 기관사는 제한된 시간 안에 정보를 처리해야 하는 직무수행에 충분한 시간이 허용되지 않는다(Askey *et al.*, 1996). 즉, 철도 차량의 속도가 220km/h 이상을 초과하게 되면 기관사는 더 이상 신호취급에 대한 정확한 판단과 반응이 어려워진다(Gruère, 1992).

또한 고속철도 기관사는 같은 양의 정보를 제한 시간 내에 처리해야 하기 때문에 일반철도(보통 200km/h 미만)에 비해 상대적으로 정신 및 육체적 작업 부하가 증가하게 된다(Matthew Woodward, Karen Wright and David Embrey, 1999).

국내 고속철도의 경우, 전용선로와 일반선로를 병행하여

운행하고 있으며, 전용선로에서는 차내신호(선로에 설치된 신호가 아닌 기관사 운전실의 표시기를 통해 현시되는 신호)를 이용하여 기관사의 신호인지를 돕고 있어 차내신호에 대한 안전성 검토가 필요하다.

철도의 고속화에 따른 기관사의 신호인지 및 취급에 관한 연구는 국내외에서 다각도로 진행되어 왔다(Askey, S., Sheridan, T., 1996; Li, G. *et al.*, 2003; Groeger, J. A. *et al.*, 2002; 한성호 외, 2005; 김영준, 2001 등). 특히 Embrey (1999)는 철도차량의 속도가 증가함에 따라 기관사의 오류 회복 가능성이 줄어든다고 주장하였다. 또한 그는 기관사의 경력과 신호감지 후 취급절차에 대한 인적오류의 상관관계를 다수의 수행영향인자(PIF; performance influencing factor)로 구성 및 분석하였다. 이를 통해 비숙련 기관사를 고려한 신호체계의 보완 및 재구성을 제안하였다. 이러한 그의 연구 결과는 영국의 Railway Group Standards에 반영되었다(RGS GE/RT 8012).

한편 기관사의 나이와 운행 경력에 따라 'Signal Passed at Dangerous(SPADs)'의 발생빈도를 추적하여 상관관계를 밝혀내는 연구가 Rail Safety and Standards Board(RSSB)에 의해 진행되었으나(HEL/RS/02799a/RT1, 2003), 신호감지와 취급에 대한 인적오류(human errors)의 원인을 명확하게 규명하지 못하였다.

† 교신저자 : 정회원, 경희대학교, 산업공학과 정교수
E-mail : snbyun@khu.ac.kr

TEL : (031)201-2581 FAX : (031)203-4004

* 정회원, 경희대학교 일반대학원 산업공학과 인간공학 박사수료

** 경희대학교 일반대학원 산업공학과 인간공학 석사과정

*** 경희대학교 일반대학원 산업공학과 MIS 박사수료

또한 Li, G. *et al.*(2006)는 6개 속도 수준에 따라 30가지 종류의 표지(signs) 및 신호(signals) 체계를 기관사의 감지(detection) 및 인지(recognition)에 따른 반응시간과 비교·분석하였다. 그는 철도 차량의 속도에 따라 각 신호체계 별 최적의 반응시간을 시뮬레이션을 활용하여 실증적으로 제시하였다. 그의 연구결과는 RSSB의 연구보고서(HEL/RT/01651/RT1, 2002a)에 반영되었다. 그러나 그의 연구는 신호체계와 기관사의 인지과정과의 관계를 해석하지 못하였고 기관사의 보조업무(secondary tasks)를 통제한 채, 신호처리업무(primary task)만을 분석하였다는 한계가 있다.

이외에도 기관사의 신호탐색 중 시선처리과정을 다양한 신호의 종류와 환경에서 실험한 결과(Groeger, J. A. *et al.*, 2002)나 연령과 시력에 따른 신호감지능력의 상관관계를 분석(Heape, S., 2005)하려는 시도가 있었지만 통계적으로 유의한 결과를 제시하지 못하였다.

전술한 바와 같이 철도의 고속화에 따른 기관사 신호감지능력의 중요성이 강조되고 있다. 또한 신호의 효과적인 감지 및 처리능력에 대한 연구를 위해 기관사의 시력, 연령, 경력, 신호의 노출시간 및 방법, 운행속도, 다양한 환경 등의 상관관계(correlations)를 규명하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 기관사의 신호인지과정과 신호체계 및 철도 차량 속도와의 상관관계를 밝히려는 연구는 아직 부족한 실정이다.

본 연구에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 활용하여 운행속도, 신호감지시간, 그리고 신호의 종류와 기관사 정보처리과정간의 상관관계와 이와 관련한 기관사의 신호처리 인지과정을 검증하고자 한다. 특히, 본 연구의 결과는 고속철도의 안전성 향상을 위한 고속철도 신호체계의 재검토 자료로 활용될 것으로 기대된다. 또한 적성검사와 관련된 선발과정 및 교육훈련 과정에서 기관사의 인지적 한계(cognitive limits)를 극복할 수 있는 대안(alternatives)으로 활용될 것으로 기대된다.

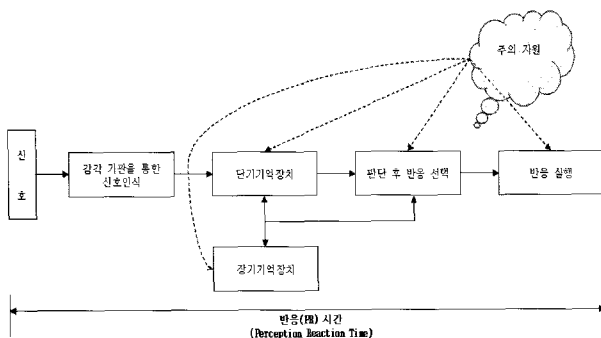


Fig. 1. Information process model of human

2. 이론적 고찰

2.1 인간의 정보처리모델

인간의 정보처리 과정은 지각·인지(입력)→판단(처리)→조작(출력)(예: 적신호 인지→정지 판단→비상브레이크 조작)으로 구성된다. 컴퓨터의 정보 저장장치에는 두 가지 유형으로 정적인 것과 동적인 것이 있다고 지적된 바 있다. 그런데 인간의 뇌 역시 이 두 가지 방식을 모두 채용하고 있다는 증거가 있다(Geyer and Johnson, 1957). 그 중 하나는 ‘오래된’ 정보를 보관하도록 되어있고, 다른 방식은 ‘순환하는’ 개념으로 현재 또는 최근의 정보를 기록하는 역할을 맡는다.

시각이나 청각 등의 감각에 의해 받아들인 정보는 암호화되어 작업기억 혹은 단기기억(working memory or short-term memory)으로 이전하기 위해서 인간은 그 과정에 주의를 집중해야 한다. 작업기억 내의 정보는 시간이 흐름에 따라 쇠퇴할 수 있다. 또한 작업기억 내의 항목 수가 ‘5~9(The magical number 7±2)’이상 증가되면 기억과정에 부하가 걸려 기억이 쇠퇴하는 속도는 빨라진다(Miller, 1956).

작업기억 내의 정보는 각각 의미가 부여되고 이미 장기기억(long-term memory)에 있는 정보와 관련지어 암호(coding)화된다(Fig. 1 참조).

2.2 운행속도와 신호감지시간

Woodward *et al.*(1999)는 Table 1과 같이 차량의 속도가 200km/h인 상황에서 225m 전방시야가 확보될 경우, 4초 동안 신호를 인지할 수 있으며, 250km/h에서는 신호 감지 시간이 3.2초로 감소하게 된다고 주장하였다.

이러한 이론에 근거하여 영국의 철도 운영사는 기관사의 신호관측시간에 대해 다음과 같은 방침을 내세우고 있다.

“신호는 최소한 7초간 기관사에게 관측되어야 하며, 그 중 4초 동안은 신호를 관측하는데 어떠한 방해요인이 있어도 안 된다.”

- Railtrack, 2002, GK/RT0037

Table 1. Reduction in sighting time as speed is increased

속력 (km/h)	인지가능 시간 (초)
175	4.6
200	4.0
225	3.6
250	3.2

참고문헌 : Woodward, M. *et al.*(1999), “A human factors assessment of the change in risk due to high speed train operations.”

이른바 '4/7초의 법칙(The 4/7 Second Rule)'은 운행 작업 중인 기관사가 신호를 감지하고(detecting) 정확한 반응(response)을 하기위해 최소 4초 이상의 인지시간이 확보되어야 한다는 것을 강조하고 있다. 이는 기관사가 신호를 인지(perception), 작업기억과 장기기억을 활용하여 결정 및 반응선택(decision and response selection), 그리고 반응실행(response execution)하는데 소요되는 최소의 시간을 의미한다. 그러나 현존하는 신호설비를 고려하지 않고 철도차량의 속도가 200km/h 이상으로 증가하게 되면, 4초 이상의 신호인지 시간을 확보할 수 없다. 특히, 시환경(visual environment)이 좋지 못한 날씨이거나 신호표시가 너무 작은 경우, 기관사의 신호 처리 능력이 현격히 저하될 수 있다(Woodward, M. et. al., 1999).

한편 Askey와 Sheridan(1995)은 고속철도의 신호인지를 도출 수 있는 표시기(displays)에 대한 실증적 연구를 제안하였으며, 그들의 연구는 인간의 인지적 한계를 정보 표시 장비를 통해 극복하고자 하는 시도였다.

3. 실증연구

3.1 실험방법

본 실험은 피험자가 컴퓨터 시뮬레이터에 나타나는 신호(signals)를 감지(detection)하고 인지(perception)하여 각 신호



Fig. 2. Configuration of signals

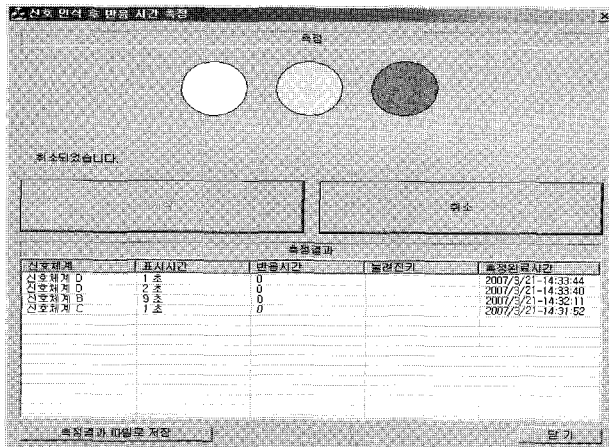


Fig. 3. Computer simulating program

체계에 따른 요구직무를 수행하는데 소요되는 시간(perception reaction time, PRT)을 측정하는 방법으로 수행되었다.

국내 철도 신호체계는 철도차량운전규칙(건설교통부령 454 호)과 철도신호지침을 통해 신호체계의 종류 및 현시방법을 규정하고 있다. 본 연구에서는 국내 규정에 의한 장내신호기나 출발 및 엄호신호기와 같은 색등식 신호기의 가장 간단한 모형을 본 실험목적에 맞도록 재구성하였다(Fig. 2 참조). 또한 신호체계 모형을 활용하여 모의실험을 할 수 있도록 프로그래밍 하였다(Fig. 3 참조).

신호체계는 네 개의 신호종류로 구분되었으며, 각 신호에 따른 요구직무는 다음과 같다.

- (1) 신호체계 A(R)의 신호가 t시간동안 표시 : 'Enter Key'를 누른다.
- (2) 신호체계 B(G)의 신호가 t시간동안 표시 : 'Space Bar'를 누른다.
- (3) 신호체계 C(R + Y)의 신호가 t시간동안 표시 : 'Space Bar' 2회, 'Enter Key' 1회를 순차적으로 누른다.
- (4) 신호체계 D(Y + G)의 신호가 t시간동안 표시 : 'Enter Key' 2회, 'Space Bar' 1회를 순차적으로 누른다.

표시시간 t는 초단위의 10단계(t_m , m은 1~10)로 구성되며, 열차의 운행속도가 변함에 따라 기관사가 실제 인지 가능한 시간을 고려하여 피험자의 모니터에 보이는 시간을 말한다.

신호체계 A와 B는 신호의 정보가 단순한 형태로 인간이 자연스럽게 타고난 것이거나 학습 현상에 의해 형성된 부호의 양립성(compatibility)이 최대로 발휘할 수 있는 구성이다. 양립성이란 신호자극-반응의 조합관계가 인간의 기대나 사회적 통념에 모순되지 않는 것을 말한다. 이는 인간 정보처리 모델에서 신호인식 후 작업기억 장치에 의해 빠르게 처리되는 과정을 거치게 되며, 본능적으로 반응할 수 있다. 따라서 기관사의 적성검사를 통한 선발과정에서 작업기억 과정의 충실도 및 정확도 유무에 관한 항목으로 기본요건에 만족하지 못하는 훈련대상자들을 선별할 수 있다.

반면에 신호체계 C와 D는 정보의 형태가 비교적 복잡하며 신호와 요구직무의 정합성이 낮은 형태이다. 이러한 신호체계를 수행하기 위해서는 작업기억만으로는 정보처리가 불가능하기 때문에 장기기억 장치가 필요할 것으로 추정된다. 따라서 반응시간(PRT)은 신호체계 A와 B에 비해 상대적으로 많이 소요될 것이며, 해당 능력의 향상을 위해서는 기관사의 후천적인 노력이나 교육훈련 과정을 통해서 향상시킬 수 있다(Geyer and Johnson, 1957).

신호체계 S와 표시시간 t의 조합($S_m, t_m; A \sim D, 1 \sim 10$)은 총 40개의 조합으로 구성되며, 무작위로 피험자의 화면에 표

시가 된다. 또한 반응시간(PRT)과 반응 결과의 성패는 로그 데이터로 저장되었다.

3.2 실험대상 및 장비

실험대상은 컴퓨터를 잘 다루며 공학적 지식을 가진 공학생으로 동기부여를 위해 수업 참여도에 대한 인센티브를 부여하였다. 총110명을 대상으로 실험을 실시하였으며, 국내 철도안전법에 의거하여 좌우 한쪽이라도 시력이 0.8 이하인자와 색맹 혹은 색약자를 표본에서 제외하였다. 본 실험에 활용된 유효 표본(sample)은 85명으로 Table 2와 같다.

실험장비로 도시바 Satellite A200 노트북 컴퓨터(1.86GHz Core Duo T2350, 15 인치 모니터, 해상도 1280×1024 픽셀)를 사용하였으며, 모니터와 피험자의 시선거리를 50cm 정도로 유지하여 일반적인 철도차량 운전 환경에 적합하도록 하였다(Fig. 4 참조).

철도차량 운전직무의 주요직무(primary task)로는 정지, 출발, 신호처리, 그리고 속도제어 등이고 그에 따른 부가직무(secondary task)로는 통신, 표시기 확인 및 비교, 그리고 주의 감시 등이다(Hamilton, W. I., Clarke, T., 2005). 또한 기관사의 운전직무는 주요직무와 부가직무가 병행 처리되는 일반적인 운전직무(driving task) 특성을 나타내고 있다. 따라서 피험

자가 주요직무인 신호처리에 지나치게 주의(attention)를 집중하지 않도록 부가직무로서 간단한 주의 감시와 통신(커뮤니케이션)업무로서 직무적성검사에 활용되는 퀴즈(quiz)에 대한 반응을 지속적으로 요구하였다(Fig. 5 참조).

3.3 기설 설정

전술한 바와 같이 본 연구의 목적은 철도차량의 속도에 따른 기관사의 신호처리 과정을 인지적 측면에서 검증하는 것이다. 연구목적을 달성하기 위해 다음과 같은 네 개의 연구가설을 설정하였다.

- (1) H1 : 신호체계 A와 B(작업기억만으로 인지)에 대한 반응 시간(PRT)이 신호체계 C와 D(작업과 장기기억으로 인지)에 대한 반응시간보다 짧다.
- (2) H2 : 신호체계(작업기억만으로 인지 혹은 작업과 장기기억으로 인지)와 요구직무에 대한 성패는 관련이 있다.
- (3) H3 : 표시시간(4초 미만인 경우 혹은 4초 이상인 경우)과 요구직무에 대한 성패는 관련이 있다.
- (4) H4 : 신호체계(작업기억만으로 인지 혹은 작업과 장기기억으로 인지)와 표시시간(4초 미만인 경우 혹은 4초 이상인 경우)은 요구직무에 대한 성패에 상호관련성을 가지고 있다.

Table 2. Information of subject

구분	최소값	최대값	평균	
나이	18	26	19.08	
시력	좌	0.9	1.5	1.10
	우	0.9	1.5	1.09



Fig. 4. Equipment of the experiment

CBGB	질문: 두 개의 문자는 동일한가? 답변: 아니오
CBQB	

Fig. 5. Sample of the quiz

‘H1’은 신호체계 A와 B는 작업기억만으로 인지하고 신호체계 C와 D는 작업과 장기기억으로 인지하는 신호체계임을 검증하기 위한 가설이다. ‘H2’는 작업기억만으로 인지하는 경우가 작업과 장기기억으로 인지하는 경우보다 요구직무에 대한 성공률이 높고 실패율이 낮다는 것을 검증하기 위한 가설이다. ‘H3’은 철도 기관사가 신호를 인지해야 하는 최소 시간 4초를 기준으로 4초 미만인 경우가 4초 이상인 경우보다 요구직무에 대한 성공률이 낮고 실패율이 높다는 것을 검증하기 위한 가설이다. 마지막으로 ‘H4’는 신호체계와 표시시간에 따라 요구직무에 대한 실패율의 상호관련성을 검증하기 위한 가설이다.

4. 실험 결과

4.1 ‘H1’의 검증

‘H1’의 검증을 위해 신호체계를 ‘작업기억만으로 인지’하는 타입과 ‘작업과 장기기억으로 인지’하는 타입으로 구분하였다. 전자는 신호체계 A와 B로 코딩하고 후자는 신호체계 C와 D로 코딩하였다. 신호타입에 따른 반응시간(PRT)의 차이 분석을 위해 t-test를 실시하였으며, 결과표는 Table 3과 같다.

Table 3. Result of t-test

	Levene의 등분산 검정		평균의 동일성에 대한 t-검정			
	F	P-value	t	자유도	P-value	평균차 (양쪽) (ms)
P R	등분산 가정	9.575 0.003	-2.288	83	0.025	-2,501
T	등분산이 가정되지 않음		-2.150	56.33	0.036	-2,501

Table 4. Table of crosstabs for the H2

		성패		전체
		성공	실패	
작업기억 만으로 인지	빈도	42	7	49
	기대빈도	36.9	12.1	49.0
	전체 %	49.4%	8.2%	57.6%
	표준화 잔차	0.8	-1.5	
작업과 장기기억 으로 인지	빈도	22	14	36
	기대빈도	27.1	8.9	36.0
	전체 %	25.9%	16.5%	42.4%
	표준화 잔차	-1.0	1.7	
전체	빈도	64	21	85
	기대빈도	64.0	21.0	85.0
	전체 %	75.3%	24.7%	100.0%

Table 5. Table of crosstabs for the H3

		성패		전체
		성공	실패	
4초 미만 표시	빈도	17	11	28
	기대빈도	21.1	6.9	28.0
	전체 %	20.0%	12.9%	32.9%
	표준화 잔차	-9	1.6	
4초 이상 표시	빈도	47	10	57
	기대빈도	42.9	14.1	57.0
	전체 %	55.3%	11.8%	67.1%
	표준화 잔차	.6	-1.1	
전체	빈도	64	21	85
	기대빈도	64.0	21.0	85.0
	전체 %	75.3%	24.7%	100.0%

T-test 결과, ‘작업기억만으로 인지’하는 신호타입에 대한 반응시간이 ‘작업과 장기기억으로 인지’하는 신호타입에 대한 반응시간보다 평균 2,501 ms 만큼 짧게 나타났다($p=0.025 < 0.05$). 따라서 신호체계 A와 B는 작업기억만으로 인지하고 신호체계 C와 D는 작업과 장기기억으로 인지하는 신호체계라고 할 수 있다. 또한 ‘H1’의 검정 결과는 작업기억만으로

인지하는 경우 반응시간이 짧다는 인간의 정보처리모델 이론에 대한 실증적 근거이다.

4.2 ‘H2’의 검증

‘H2’의 검증을 위해 신호체계와 요구직무의 성패에 대한 교차분석(crosstabs)으로 기대빈도와 실제빈도 사이의 차이를 분석하는 카이제곱 검정(Chi-square tests)을 실시하였다.

카이제곱 검정 결과, Pearson의 카이제곱 값이 6.753이고 자유도가 1이며, p-value는 0.009이므로 유의수준 5%(0.05)에서 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 즉, 신호체계와 요구직무의 성패는 밀접한 관련성이 있다. 차이의 정도를 나타내는 교차표는 Table 4와 같다.

이상의 검증결과를 정리하면, ‘작업기억만으로 인지’하는 신호타입에 대한 요구직무의 성공률(실패율)이 ‘작업과 장기기억으로 인지’하는 신호타입에 비해 높다(낮다).

4.3 ‘H3’의 검증

‘H2’의 경우와 같이 ‘H3’의 검증을 위해 표시시간과 요구직무의 성패에 대한 교차분석을 실시하였다.

카이제곱 검정 결과, Pearson의 카이제곱 값이 4.771이고 자유도가 1이며, p-value는 0.029이므로 유의수준 5%(0.05)에서 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 즉, 표시시간과 요구직무의 성패는 밀접한 관련성이 있다. 차이의 정도를 나타내는 교차표는 Table 5와 같다.

이상의 검증결과를 정리하면, 표시시간이 4초 미만인 경우에 대한 요구직무의 성공률(실패율)이 표시시간 4초 이상인 경우보다 낮다(높다).

4.4 ‘H4’의 검증

‘H4’의 검증을 위해 요구직무의 성패에 영향을 주는 신호타입(작업기억으로만 인지 혹은 작업과 장기기억으로 인지)과 표시시간(4초 미만인 경우 혹은 4초 이상인 경우)에 대한 이항로짓분석(binominal logit analysis)을 실시하였다. 이항로짓분석은 독립변수들이 범주형 종속변수의 범주에 속할 확률을 추정할 때 사용되는 통계적 기법이다.

분석결과, 모수 추정값의 최대 절대 변화량이 지정된 수렴 기준 미만이어서 반복 수렴하였으며, Pearson의 카이제곱 값이 매우 통계적으로 유의하여($p=0.000 < 0.01$) 이항로짓모델은 적합한 것으로 검증되었다. 이는 독립변수인 신호타입과 표시시간이 모두 이항변수로 설정되었기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 관측치와 추정치가 거의 동일한 값으로 분석되었다. 이항로짓분석 결과표는 다음 Table 6과 같다.

Table 6. Binominal logit estimates

	표시시간	성패	추정빈도	%
작업기억 만으로 인지	4초 미만	성공	9.5***	67.9%
		실패	4.5***	32.1%
	4초 이상	성공	33.5***	90.5%
		실패	3.5***	9.5%
작업과 장기기억 으로 인지	4초 미만	성공	8.5***	53.1%
		실패	7.5***	46.9%
	4초 이상	성공	14.5***	65.9%
		실패	7.5***	34.1%

*** : p < 0.01

이상의 로짓분석 결과를 정리하면 다음과 같다. 첫째, 표시시간이 4초 미만의 요구직무에 대한 실패율(32.1%, 46.9%)이 표시시간 4초 이상의 요구직무에 대한 실패율(9.5%, 34.1%)보다 낮다. 둘째, '작업기억만으로 인지'하는 경우, 표시시간 4초 미만의 요구직무에 대한 실패율은 높으나(32.1%), 4초 이상의 요구직무에 대한 실패율(9.5%)은 낮다. 셋째, '작업과 장기기억으로 인지'하는 경우, 표시시간 4초 미만의 요구직무에 대한 실패율(46.9%)과 4초 이상의 요구직무에 대한 실패율(34.1%)은 모두 높은 편이다.

따라서 신호체계가 단순하여 작업기억만으로도 인지가 가능하더라도 표시시간이 4초 미만인 경우에는 요구직무의 성공률이 낮을 수 있다. 또한 작업과 장기기억을 모두 활용해야 하는 다소 복잡한 신호체계인 경우, 표시시간이 4초 미만인 경우의 요구직무에 대한 성공률이 더 낮아질 수 있다. 이는 앞서 언급한 Woodward *et al.*(1999)의 주장과도 일치된다.

5. 결론

본 연구는 철도차량의 속도가 철도 기관사의 정보처리과정에 미치는 영향을 실증적으로 검증하였다. 연구목적에 달성하기 위해 네 개의 연구가설을 설정하였으며, 각 가설검증을 통해 다음과 같은 사실을 검증하였다.

- (1) 인간의 정신모델(mental model)에 부합하고 자극(stimulus)에 대한 즉각적 반응(response)이 가능한 신호체계는 작업기억만으로 정보처리가 가능하여 반응시간이 짧다(H1).
- (2) 작업기억만으로 신호를 처리하는 경우가 작업과 장기기억으로 신호를 처리하는 경우보다 직무 수행도(performance)가 높다(H2). 즉, 신호체계가 단순할수록 성공적인 신호처리 확률이 높다.
- (3) 신호의 표시시간이 4초 미만일 경우가 4초 이상일 경우보다

다 직무 수행도가 낮다(H3). 즉, 철도차량의 속도가 높아질수록 성공적인 신호처리 확률이 낮다.

- (4) 신호의 표시시간이 4초 미만인 경우, 작업기억만으로 신호를 처리하는 경우가 작업과 장기기억으로 신호를 처리하는 경우보다 직무 수행도가 높다(H4).
- (5) 신호의 표시시간이 4초 이상인 경우, 작업기억만으로 신호를 처리하는 경우의 직무 수행도는 매우 높았으나 작업기억과 장기기억으로 신호를 처리하는 경우의 직무 수행도는 비교적 높지 않았다(H4). 이는 피험자 집단의 경험요소와 관련이 있는 것으로 판단되며, 실험을 반복 실행한다면 직무 수행도는 높아질 것으로 추정된다.

이상의 검증 결과를 근거로 국내 고속철도의 안전성 향상을 위해 다음 사안을 권고하고자 한다.

- (1) 국내 고속철도는 고속철도 전용선로와 일반철도 겸용선로를 모두 사용하므로 고속철도 기관사의 신호인지체계에 대한 재검토가 필요하다. 특히, 신호체계와 고속철도 기관사 정신모델의 양립성(compatibility) 측면에서 즉각적인 인지작업이 가능하도록 신호체계를 점검하여야 한다(Hamilton, W. I., Clarke, T., 2005). 또한 신호인지를 돕는 자동화 정보기기에 대한 연구를 통해 신호인지와 관련한 인적요류를 저감하여야 한다(Askey & Sheridan, 1995).
- (2) 신호체계는 작업기억만으로 신호를 처리할 수 있도록 단순한 정보를 제공하여야 하며, 신호 정보가 복잡한 경우, 정보를 재코딩(recoding)하여 가급적 단순한 정보를 제공할 수 있어야 한다. 그러나 신호 정보가 부득이하게 복잡한 경우, 지속적이고 반복적인 교육훈련을 통해 규칙기반 행위(rule-based behaviour)나 지식기반 행위(knowledge-based behaviour)를 기술기반 행위(skill-based behaviour)로 변화시킬 필요가 있다. 이는 기술기반 행위는 감각적 행위 수행이 가능하며, 최소의 주의자원(attention)으로 직무 수행이 가능하기 때문이다(Rasmussen, 1982). 또한 교육훈련은 돌발 상황이나 이상 기후상황 등에 대한 현실성(reality)을 높은 전기능모의운전연습기(full-scope simulator)를 활용하여야 학습효과의 전이(transfer of learning)가 가능하다(Hancock & Bayha, 1982).
- (3) 200km/h 이상의 고속 운행구간에 대해 신호를 관측하여 인지할 수 있는 시간이 4초 이상 확보될 수 있도록 신호체계를 점검하여야 한다(Woodward, M. *et al.*, 1999). 또한 돌발 상황이나 이상 기후에 대비하여 자동 신호감지 시스템을 통한 정보제공 및 경고표시 시스템을 구축하여야 한다.
- (4) 국내 철도 관련법에서는 고속철도와 일반철도의 신호체

계에 대한 기술적 요구사항을 차별적으로 규정하여야 하며, 고속철도 기관사와 일반철도 기관사의 자격(qualifications)과 교육훈련체계에 대한 차별적 규정을 재검토하여야 한다.

본 연구의 피험자가 기관사 경력이 없는 자라서 연구결과를 철도산업으로 일반화하는 데는 한계가 있다. 또한 피험자의 경험요소를 고려하지 않았다는 한계를 갖고 있으나 피험자에 대한 훈련시간을 차별화하여 경험요소를 반영할 필요가 있다고 사료된다. 한편 철도차량의 동적(dynamic) 특성을 반영한 동적 시뮬레이션 실험을 통해 보다 철도차량 환경에 적합한 연구가 필요하다고 판단된다.

후 기

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 건설기술연구개발사업의 일환으로 수행됨.

참 고 문 헌

1. 김영준(2001), "고속철도 시운전 개선 방안에 관한 연구: 신호설비 시험 및 시운전을 중심으로", 인하대학교 국제통상물류대학원 석사학위 논문.
2. 한성호 외(2005), "기존선 고속화를 위한 고속신호시스템에 관한 연구", 한국철도학회 추계학술대회논문집, p.6-11.
3. Askey, S., Sheridan, T.(1996), "Safety of High Speed Ground Transportation Systems-Human Factors Phase II: Design and Evaluation of Decision Aids for Control of High-Speed Trains: Experiments and Model," Human-Machine Systems Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
4. Embrey, D. et al.(1999), "A human reliability analysis of the detection of multiple speed signs and the adoption of permitted speeds", Railway Group Standard for controlling the speed of tilting trains through curves.
5. Li, G. et al.(2003), "Evaluation of Railway signal designs using virtual reality," Contemporary Ergonomics, Taylor and Francis Publishers.
6. Geyer, B. and Johnson, C.(1957), "Memory in Man and Machines," General Electric Review, March, vol. 60, no.2.
7. Groeger, J. A. et al.(2002), "Human performance: pilot study of train drivers' eye movements," Report prepared by the University of Surrey.
8. Gruère, Yves.(1992), Proceedings of Canada France Symposium: TGV System Developments. National Arts Center, Ottawa. March 25-26. pp.87-98.
9. Li, G. et al.(2006), "Driver detection and recognition of lineside signals and signs at different approach speeds", Cogn Tech Work, Vol. 8, p.30-40.
10. Hancock, W. M. and Bayha, F. H.(1982), "The learning curve", The Handbook of Industrial Engineering, Ed. G. Salvendy, New York, John Wiley & Sons.
11. Heape, S.(2005), "Investigation into driver dynamic visual abilities across age-A Preliminary Study", Human Engineering Ltd., Sponsored by Railway safety & Standards Board.
12. HEL/RS/02799a/RT1, Issue 02(2003), "Analysis of the May/Summer Peak in SPAD Occurrences," Technical report prepared by Li, G. and Lock, D., and authorised by Hamilton, W. I. at Human Engineering Ltd. for Rail Safety and Standards Board.
13. HEL/RT/01651/RT1(2002a), "Driver recognition of lineside signals and signs during the operation of high-speed trains-Scientific basis for the study," Technical report prepared by G. Li and authorised by W.I. Hamilton for Network Rail.
14. Rasmussen, J.(1982), Human errors: A taxonomy for describing human malfunctions in industrial installations. Journal of Occupational Accidents, Vol. 4, p.311-335.
15. RGS GE/RT8012 (1999), "Controlling the Speed of Tilting Trains Through Curves," Technical report prepared by Ray Metcalfe and authorised by Brian Alston Ltd. for Railtrack PLC.
16. RGS GK/RT0037(2002), "Signal sighting", Railtrack Group Standard.
17. Woodward, M. et al.(1999), A Human Factors Assessment of the Change in Risk Due to High Speed Train Operations, Human Reliability Associates.
18. Miller, G.(1956), "The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information," Psychological Review, vol. 63.
19. Hamilton, W. I., Clarke, T.(2005), Driver performance modelling and its practical application to railway safety, Applied Ergonomics, Vol. 36, p.661-670.

(2007년 7월 6일 논문접수, 2007년 7월 23일 심사완료)