

철도 차량 운행 속도에 따른 기관사의 인지과정 분석

Investigation on Locomotive Engineers' Information Process at Different Speeds

김사길* 박홍준** 경태원*** 변승남****
Kim, Sa-Kil Park, Hong-Joon Kyung, Tae-Won Byun, Seong-Nam

ABSTRACT

Experimental trials were conducted using computer simulation to investigate driver's cognitional process of signals at differential speed limit. The Korean railway safety law, as it stands, is not stated the driver requirement about cognitive abilities which are able to make a positive reaction at different types of speed. Therefore, some effective alternatives suggested in this study may be used as basic data for supporting the Korean railway safety law.

Keyword: SPADs, Ergonomics, Attention, Human Error

1. 서론

2004년 4월 세계에서 4번째로 352km/h의 최고속도를 달성한 한국형 고속철도(KTX: Korea Train eXpress)에 대한 대중들의 관심과 철도안전법의 제정(법률 제7245호, 2004년 10월 22일)은 우리나라의 철도시스템 향상에 있어서 상당히 고무적인 일이다. 그러나 고속철도의 성능과 속도가 꾸준히 증가하는 데 반해 인간의 정보처리 및 인지능력은 제한적이다. 이로 인해 고속철도는 기관사에게 제한된 시간에 정보를 처리해야 하는 작업을 압박하며 요구하지만 충분한 시간은 허용하지 않는다(Askey *et al.*, 1996). 철도 차량의 속도가 220km/h 이상을 초과하게 되면 기관사는 더 이상 신호취급에 대한 정확한 판단과 반응을 하기가 어려워진다(Gruère, 1992). 따라서 고속철도 기관사는 같은 양의 정보를 촉박한 제한시간 내에 다루어야 하기 때문에 일반철도에 비해 상대적으로 정신적, 육체적 작업부하가 증가하게 된다.

철도의 고속화에 따른 기관사의 신호인지 및 취급에 관련한 연구는 국내외에서 다각도로 진행되어 왔다. Embrey(1999)는 기관사가 신호를 판별 후 속도를 적절하게 조절하는 행동에 대한 오류 가능성 또는 효율적인 인적 성능을 결정하는 요소를 정의하여 기관사의 경력과 신호감지 후 취급절차에 대한 인적오류에 대한 상관관계를 다수의 수행영향인자(PIF, Performance Influencing Factor)로 구성/분석하여 비숙련 기관사를 고려한 신호체계의 보완 및 재구성을 주장하였고, 그 결과는 영국의 Railway Group Standards에 반영되어졌다(RGS GE/RT 8012). 이와 함께 기관사의 나이와 운행 경력에 따라

- 본 논문은 건설교통부에서 추진하고 한국철도기술연구원에서 주관하는 철도종합안전기술개발사업의 일환으로 경희대학교에서 수행하고 있는 과제에 대한 연구임.

* 김사길, 경희대학교 테크노공학부 산업공학과 박사과정, 정회원

E-mail : sakilkim@khu.ac.kr

TEL : (030)201-2878 FAX : (031)202-8106

** 박홍준, 경희대학교 테크노공학부 산업공학과 석사과정, 정회원(석사)

*** 경태원, 경희대학교 테크노공학부 산업공학과 박사과정, 비회원

**** 변승남, 경희대학교 테크노공학부 산업공학과 정교수, 정회원

SPADs(Signal Passed at Dangerous)의 발생빈도를 추적하여 상관관계를 밝혀내는 연구가 진행되었으나 (HEL/RS/02799a/RT1, 2003), 신호감지와 취급에 대한 인적오류적 관점에서 그 명확한 원인을 규명하지는 못하였다.

이외에도 기관사의 신호탐색 중 시선처리과정을 다양한 신호의 종류와 환경에서 실험한 결과 (Groeger, 2002)나 연령과 시력에 따른 신호감지능력의 상관관계를 분석(Heape, 2005)하려는 시도가 있었지만, 통계적으로 유의한 연구결과를 제시한 사례는 드문 실정이다.

전술한 바와 같이 철도의 고속화에 따른 기관사 신호감지능력의 중요성을 언급하며 신호의 효과적인 감지 및 처리능력에 대한 연구를 위해 기관사의 시력, 연령, 경력, 신호의 노출시간 및 방법, 운행속도, 다양한 환경 등에서 상관관계를 찾으려는 활동이 어느정도 있지만, 신호를 감지하는 주체인 기관사, 즉 인간의 신호인지 및 정보처리과정에 대한 연구를 수행한 사례는 전무한 실정이다. 국내의 현행 철도안전 관련 규정상에서도 철도의 운행속도에 따른 기관사 자격요건으로 신호의 인지과정과 관련된 감지능력을 구체적으로 고려한 항목을 반영하지 않고 있다.

본 연구에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 활용하여 운행속도, 신호감지시간, 신호의 종류와 기관사 정보처리과정간의 연관관계와 이와 관련한 인지과정을 규명하고자 한다. 이는 고속철도의 안전성 향상을 위한 기관사의 자격요건을 제도화하는데 있어서 적성검사를 포함한 선발과정 및 교육훈련과정에서 인지과정에 대한 항목의 필요성과 그에 따른 검토 요건을 파악하기 위한 기초자료로 제시되어 질 것이다.

2. 관련 이론 및 연구

2.1. 운행 속도와 관측 시간

차량의 속도가 200km/h인 상황에서 기관사가 신호를 인지할 수 있는 시간을 4초라고 할 때, 250km/h에서는 신호 감지 시간이 3.2초로 감소하게 된다(Woodward *et al.*, 1999).

표 1. 운행 속도에 따른 신호 감지시간의 감소(F)

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

실제 영국의 철도 운영사는 기관사의 신호관측시간에 대해 다음과 같은 방침을 내세운 적이 있다.

신호는 최소한 7초간 기관사에게 관측되어야 하며, 그 중 4초 동안은 신호를 관측하는데 어떠한 방해요인이 있어서는 안된다.

- Railtrack, 2002, GK/RT0037

4/7초의 법칙(The 4/7 Second Rule)은 운행 작업중인 기관사가 신호의 위치를 탐지하고 정확한 반응을 위해 판단할 수 있는 충분한 시간은 최소 4초 이상이 되어야 한다는 것이며, 이는 시속 300km 이상으로 운행하는 고속철도 기관사의 경우 신호를 관측할 수 있는 시간이 충분하지 않다는 것을 입증한다.

2.2. 인간 정보처리 과정

인간의 정보처리 과정은 지각/인지(입력)→판단(처리)→조작(출력)(예: 적신호 인지→정지 판단→비상브레이크 조작)으로 구성된다. 컴퓨터의 정보 보관 장치에는 두가지 유형, 즉 정적인 것과 동적인 것이 있다고 지적된 바 있다. 그런데 두뇌 역시 이 두가지 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 일을 맡는다.

시각이나 청각 등의 감각에 의해 받아들인 정보는 암호화되어 작업 기억 혹은 단기 기억(Working Memory, Short-Term Memory)으로 이전하기 위해서 인간은 그 과정에 주의를 집중해야 한다. 단기 기억 내의 정보는 시간이 흐름에 따라 쇠퇴할 수 있다. 또한 단기 기억 내의 항목 수가 “5 ~ 9(The Magical Number Seven, Plus or Minus Two)” 이상 증가되면 기억과정에 부하가 걸려 기억이 쇠퇴하는 속도는 빨라진다(Miller, G., 1956).

단기 기억내의 정보는 각각 의미가 부여되고 이미 장기기억에 있는 정보와 관련지어 암호화된다(그림 1).

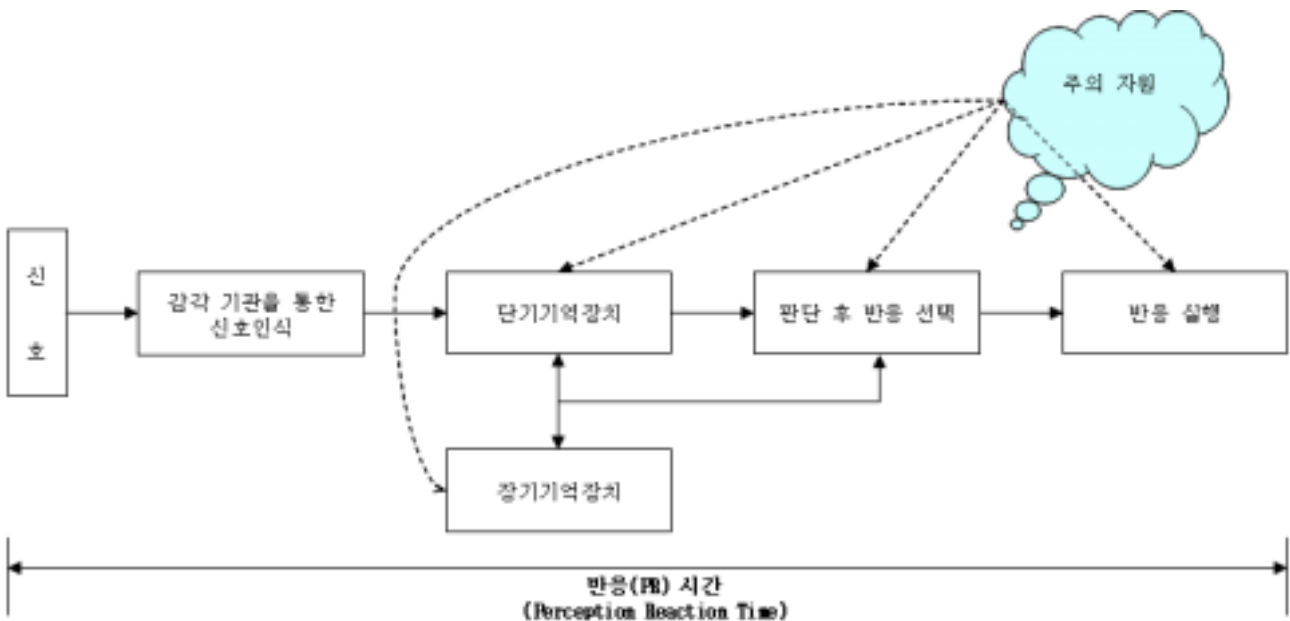


그림 1. 인간 정보처리 모델

2.4. 실험 방법 및 내용

본 연구의 실험목적은 피실험자가 신호를 인식한 후 각 신호체계에 요구되는 반응을 완료하는 데까지의 시간(PRT: Perception Reaction Time)을 측정하여 신호체계에 따라 단기기억과 장기기억의 소요량을 파악하는데 있다.

2.4.1. 실험대상

일반적인 공학적 지식을 소유한 대학생들을 대상으로 하며, 연령은 20대 초반에서 후반으로 한정한다. 실험 결과에 따른 보상제도를 실시하여 피실험자들에게 동기부여를 유발할 것이며, 실험방법에 대

한 설명을 충분히 하고 실험 전에 충분한 훈련과정을 거쳤다.

2.4.2. 실험 장비 및 환경

15인치의 모니터 크기를 가진 노트북이 쓰여지며, 1028 X 1024 픽셀의 해상도를 기본으로 ‘트루 칼라’ (32bit)의 색상 설정을 유지한다. 피실험자는 독립된 공간에서 한 명의 관찰자가 동반한 상태에서 실험에 임하게 된다. 모니터와 시선과의 거리는 50cm를 유지하도록 감독한다.

2.4.3. 실험내용

본 실험은 피실험자가 모니터에 나타나는 신호체계를 순간적으로 인식하여 각 신호체계에 요구되는 반응을 키보드에 입력하기까지의 시간을 측정하기 위함이다. 각각의 신호체계에 대한 구성 및 요구사항은 다음과 같다.

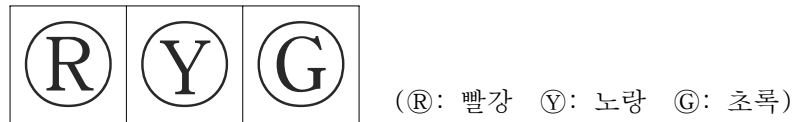


그림 2. 신호체계의 기본 구성



그림 3. 반응 시간(PRT) 측정 화면

- 신호체계 A (R)의 신호가 t시간동안 표시 : 엔터키를 누른다.
- 신호체계 B (G)의 신호가 t시간동안 표시 : 스페이스바를 누른다.
- 신호체계 C (R + Y)의 신호가 t시간동안 표시 : 스페이스바 2회, 엔터키 1회를 순차적으로 누른다.
- 신호체계 D (Y + G)의 신호가 t시간동안 표시 : 엔터키 2회, 스페이스바 1회를 순차적으로 누른다.

시간 t는 초단위의 10단계(t_m , m 은 1 ~ 10)로 구성되며, 열차의 운행속도가 변함에 따라 기관사가 실

제 인지가능한 시간을 고려하여 피실험자에게 모니터상으로 보여지는 시간을 말한다.

신호체계 A, B는 신호의 정보가 단순한 형태로 인간이 자연적으로 타고난 것이거나 학습 현상에 의해 굳어진 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 단기기억 장치에 의해 빠르게 처리되는 과정을 거치게 되며, 본능적으로 반응에 임할 수 있다. 따라서 기관사의 적성검사를 통한 선발과정에서 단기기억과정의 충실도 및 정확도 유무에 관한 항목으로 기본요건에 만족하지 못하는 훈련대상자들을 선별할 수 있다.

반면에 신호체계 C, D는 정보의 형태가 약간 복잡하며 반응요구사항도 다소 고차원적이다. 이와 같은 신호체계를 제대로 수행하기 위해서는 단기기억 과정만으로는 정보처리가 불가능하기 때문에 장기기억 장치가 쓰여질 수 밖에 없다. 따라서 반응시간(PRT)는 신호체계 A, B에 비해 상대적으로 많이 소요될 것이며, 해당 능력의 향상을 위해서는 기관사의 후천적인 노력이나 교육훈련 과정을 통해서 향상시킬 수 있다(Geyer and Jhonson, 1957).

신호체계S와 표시시간t의 조합(S_n, t_m)(S_n : n은 A, B, C, D; t_m : m은 1 ~ 10)은 총 40개의 조합으로 구성되며, 이 중 무작위로 실험 대상자에게 화면으로 표시가 되며, 반응하기까지의 걸린 시간(PRT)과 반응 결과의 정확도를 실험의 결과 데이터로 저장한다.

3. 결론 및 토의

본 연구를 위한 실험은 피실험자가 신호를 인식한 후(PT: Perception Time) 각 신호체계에 요구되는 반응을 완료하는 데까지의 시간(MT: Motor Time)을 측정하여 각 신호체계/표시시간별 반응하기까지의 걸린 시간($PRT = PT + MT$)과 반응 결과의 정확도에 대한 상관관계를 SPSS의 ANOVA를 사용하여 분석할 계획이다. 본 실험의 결과는 각기 다른 신호표시 시간과 신호체계에 따라 단기기억과 장기기억의 소요량을 파악할 수 있을 것이며, 이를 분석하여 철도 운행 속도에 따른 기관사의 신호인식 후 정보처리 과정을 단기기억과 장기기억 활용정도에 따라 정의할 수 있게 된다.

단기기억의 소요가 상대적으로 많은 신호감지 및 반응 작업의 경우 인간 정보처리 모델에서 신호인식 후 단기기억 장치에 의해 빠르게 처리되는 과정을 거치게 되며, 본능적으로 반응에 임할 수 있다. 따라서 기관사의 적성검사를 통한 선발과정에서 단기기억과정의 충실도 및 정확도 유무에 관한 항목으로 기본요건에 만족하지 못하는 훈련대상자들을 선별할 수 있을 것이다.

반면에 장기기억의 소요가 많이 필요한 작업의 경우 신호체계를 제대로 수행하기 위해서는 단기기억 과정만으로는 정보처리가 불가능하기 때문에 장기기억 장치가 쓰여질 수 밖에 없다. 따라서 해당 능력의 향상을 위해서는 기관사의 후천적인 노력이나 교육훈련 과정을 통해서 향상시킬 수 있는 방안을 마련할 수 있을 것이다. 따라서 각 작업에 대한 요구사항은 고속철도와 일반철도 기관사들에 대한 선발과정 및 교육훈련과정에 차별화되어 반영하는데 제공되어질 수 있을 것이라 기대된다.

본 실험은 아래 항목에 대한 검토 후 수정/보완작업을 걸쳐 추후 수행되어질 예정이다.

- 표시시간 t_m (m은 1 ~ 10)의 선정을 위한 실제 운행 시간에 따른 신호탐지 가능시간에 대한 연구
- 실제 운행 중 발생할 수 있는 기관사의 작업부하를 고려한 실험 환경에 대한 설정
- 움직이는 신호물의 탐지 과정이 생략된 시뮬레이션 실험에 대한 보완 사항 검토
- 잘못된 입력으로 판별되었을 시 신호의 인식 과정에서의 오류, 입력과정에서의 오류 구분 방안에 대한 연구

참고문헌

1. Askey, S., Sherdan, 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
2. Capt Werner Naef(2004), "Certified Human Factors in Rail Simulator Training," Deutsche Bahn
 3. G. Li, W. Hamilton, G. Morrisrow and T. Clarke(2003), "Driver Detection and Recognition of Lineside Signals and Signs at Different Approach Speeds, " Human Engineering Limited , Presented at the First European Conference on Rail Human Factors, 13-15 October 2003, York. Conference proceedings published by Ashgate.
 4. G Li, WI Hamilton, I Finch(2003), "Evaluation of Railway signal designs using virtual reality," Contemporary Ergonomics, Taylor and Francis Publishers
 5. Geyer, B. and C. Johnson(1957), "Memory in Man and Machines," General Electric Review, March, vol. 60, no.2
 6. Groeger, J. A., Bradshaw, M. F., Everatt, J., Merat, N., & Field, D.(2002), "Human performance: pilot study of train drivers' eye movements," Report prepared by the University of Surrey
 7. Gruère, Yves.(1992), Proceedings of Canada France Symposium: TGV System Developments. National Arts Center, Ottawa. March 25-26. pp.87-98
 8. 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
 9. Railway Group Standard 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
 10. Railway Group Standard GK/RT0037, Issue 04(2001), "Signal Positioning and Visibility."
 11. Suzanne Heape(2005), "Investigation into Driver Dynamic Visual Abilities Across Age - A Preliminary Study," Human Engineering
 12. Matthew Woodward, Karen Wright and David Embrey(1999), A Human Factors Assessment of the Change in Risk Due to High Speed Train Operations, Human Reliability Associates
 13. Miller, G.(1956), "The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information," *Psychological Review*, vol. 63