교통신호등 형태별 운전자 인지반응 시간 비교 연구: 등화 색상 및 조합에 따른 비서술적/서술적 기억 활용

양지웅^{1*} · 김진태² · 김주영¹

¹한국교통대학교 교통시스템공학과 석사과정, ²한국교통대학교 교통시스템공학과 교수

Study on Drivers' Perception Reaction Times Against Different Types of Traffic Signals: Non-declarative and Declarative Memories Affected by Colors and Combinations of Signal lights

YANG, Jiwoong^{1*} · KIM, Jin-Tae² · KIM, Jooyoung¹

¹Master Course, Department of Transportation Systems Engineering, Korea National University of Transportation, Gyeonggi 16106, Korea

²Professor, Department of Transportation Systems Engineering, Korea National University of Transportation, Gyeonggi 16106, Korea

*Corresponding author: 0325321@gmail.com

Abstract

This study analyzes drivers' reaction times from the different ways to deliver the meaning of traffic signals based on previous research in Psychology that descriptive and non-descriptive memories in human's cerebellums play in different roles. The meaning of traffic signal lights is delivered by either the color of light or the combination of those colors. Total 40 subjects asked to react various images of traffic signals and their 1,920 reaction time data were collected and analyzed. Results showed that three-head traffic signals delivering the meaning of traffic signals with its colors provide with less and stable reaction times, at 95% confidence level, compared to the ones of four-head traffic signals delivering with the combination of those. This study suggest a direction to change the types of traffic signal lights based on the findings from this study.

Keywords: declarative memory, four-head-signals, non-declarative memory, reaction time, traffic signal, three-head signals

초록

국제사회는 3개 렌즈(적, 황, 녹) 교통신호등 사용을 표준으로 규정으로 하나, 우리나라는 4개(적, 황, 녹색화살표, 녹색) 렌즈 교통신호등의 사용을 일반적으로 허용한다. 본 연구는 국제연합 규정 3색 신호등 사용 운전자들의 인지반응 시간과 우리나라 규정 4색 신호등 사용 운전자들의 인지반응 시간이 같지 않음을 확인한다. 피(被)실험 운전자 40명으로부터 총 1,920개 인지반응 시간자료 및 뇌파 자료를 실내시험으로 수집하고 분석하였다. 분석결과 3색 신호등이 4색 신호등보다 신뢰수준 95%에서 (1) 해석 오류가 없고, (2) 인지반응 시간이 빠르며, (3) 인지반응 시간의 표준편차도 적은 것으로 도출되었다. 뇌파 자료 분석결과 3색 신호등은 비서술적 기억 영역(전두엽; 반응 빠름)이 활성화되고, 4색 신호등은 서술적 기억 영역(측두엽; 반응 상대

J. Korean Soc. Transp.
Vol.36, No.4, pp.240-250, August 2018
<https://doi.org/10.7470/jkst.2018.36.4.240>

pISSN : 1229-1366
eISSN : 2234-4217

ARTICLE HISTORY

Received: 17 May 2018

Revised: 9 August 2018

Accepted: 27 August 2018

Copyright ©
Korean Society of Transportation

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

적으로 느낌)이 활성화됨을 확인하였다. 이로 우리나라 교통신호등이 교통안전에 유리한 방향으로 발전할 필요가 있음을 제언한다.

주요어: 서술적 기억, 4색 신호등, 비서술적 기억, 인지반응 시간, 교통신호, 3색 신호등

서론

교통신호등 색상은 적, 황, 녹색 세 가지 색상으로 구성된다. 이들 세 가지 색상은 과거 교통신호등 색상이 국가마다 다르게 운영될 때 국경 지역에서 발생한 심각한 교통사고 문제를 극복하기 위해 국제연합(United Nations, UN)(UN, 2006)이 규정한 색상이다. 교통신호등 색상과 더불어 국제연합은 교통신호등 형태 및 등화요령을 함께 규정하고 있다. 교통신호등 렌즈 수는 적, 황, 녹색 색상 수와 같게 세 개의 렌즈로 구성되는 3색 신호등 형태이어야 하고, 하나의 신호등 면(面)에서 두 개 이상 렌즈가 동시에 등화 되지 않아야 함을 규정하고 있다. 전 세계 모든 운전자가 어디서라도 안전하게 운전할 수 있도록 교통신호등 형태나 운영 방식에서도 균일성(uniformity)을 확보하기 위한 국제연합의 노력이다(Kim, 2003).

우리나라는 교차로 교통신호등 형태로 4색 신호등을 일반적으로 사용한다. 4색 신호등은 적색, 황색, 녹색과 더불어 녹색화살표 신호등이 추가되어 4개 렌즈가 단일 신호등 면에 부착되는 신호등이다. 직진 통행우선권과 좌회전 통행우선권을 하나의 신호등 면에서 함께 표출하는 방식이다. 상호 독립된 두 개 방향(직진과 좌회전) 통행우선권을 단순 적, 황, 녹색 등화 방식으로 표출하기가 어렵다. 이러한 이유로 두 가지 이상의 렌즈가 함께 조합하여 등기되는 경우가 발생한다. 이처럼 4색 신호등은 렌즈 색상과 더불어 색상의 조합을 동반하여 운전자들에게 통행우선권 내용을 전달한다.

4색 신호등에서 등기되는 렌즈 조합에 대한 이해는 신호등 색상과 더불어 색상 조합에 대한 이해가 요구된다. 이는 신호등 의미의 전달 과정에서 신호등 색상이 아닌 다른 요인(조합)이 개입됨을 의미한다. 신호등 색상의 조합이 일반적이지 않은 경우, 운전자들은 신호등을 확인하였음에도 조합의 의미를 쉽게 해독(decoding)하지 못하여, 상황 판단을 바른 시간 내 하지 못하는 상황이 발생한다(Kim, 2009; Kim, 2010). 이처럼 신호등 형태에 따라 운전자들의 인지반응 시간이 달라질 수 있음이 우려되나 이에 대한 문제가 지금까지 검토된 바 없다.

뇌 과학 학자들은 사람의 뇌가 반응하는 영역으로 비서술적 기억(non-declarative memory)과 서술적 기억(declarative memory) 영역으로 구분한다(Kim, 2012). 비서술적 기억은 주어진 조건에 단순하게 반사하는 능력을 주관하는 영역으로 전두엽에서 담당하고 반응속도가 빠르다(Lee and Park, 2002). 서술적 기억은 조건을 해석하고 해독하는 능력으로 측두엽에서 담당하고 상대적으로 반응속도가 빠르지 못하다. 교통신호 등화의 의미를 운전자들이 (1) 색상으로 단순하게 해석하는 경우와 (2) 색상 조합의 해독을 통하여 해석하는 경우 운전자들이 사용하는 뇌 영역이 다를 수 있음을 가설한다.

본 연구는 UN이 규정하는 3색 신호등과 우리나라에서 일반적으로 사용하는 4색 신호등 신호 등화에 반응하는 운전자들의 인지반응 시간에 차이가 있는지를 확인함을 목적으로 한다. 이는 교통신호등의 의미가 (1) 등화의 색상으로 운전자 뇌 비서술적 기억 영역에서 해석되는 경우와 (2) 색상의 조합으로 운전자 뇌 서술적 기억 영역에서 해석되는 경우, 인지반응 시간 값이 서로 다를 수 있다는 가설에 기인한다. 우리나라 운전자들의 인지반응 시간으로 연구 범위로 한정하였으며, 외국인 운전자들의 인지반응 시간은 범위에서 제외하였다. 본 연구에서 고려하는 교통신호등 형태는 3색 신호등과 4색 신호등만으로 제한하였다.

문헌고찰

교통신호등에 반응하는 운전자들의 인지반응 시간 연구가 수행된 바 있으나, 운전자들이 활용하는 뇌 영역별로 인지반응 시간이 달라질 수 있음을 연구한 사례는 많지 않다. Kim et al.(1999)은 태양 역광으로 발생 되는 교통신호

등 패턴 현상과 연계된 운전자들의 인지반응 시간의 변화를 연구하였다. 이들 연구는 교통신호 패턴 현상으로 인해 운전자들이 혼란 및 불안하여 인지반응 시간이 증가할 수 있음을 확인하였으나 교통신호등 형태 및 표출방식의 영향을 구분하지 않는다. Chang and Kim(2003)은 교통신호등 형태에 따른 인지반응 시간 연구를 시도하였으나, 일반 신호등에 예비점멸등 용도 보조 녹색등이 추가된 불법 교통신호등 형태를 채택한 연구로 그 범위가 한정된다. Lee et al.(2011)은 도로교통법이 3색 화살표시 신호등을 우리나라의 새로운 교통신호등 형태로 포함할 때 신규 교통신호등 형태 도입에 따른 운전자 행태 변화를 연구하였다. 이들은 측정 지표로 차두시간을 선정하여 운전자 차량 주행 행태 변화를 검토하여, 인지반응 시간을 직접 분석하지 못한 한계가 존재한다. Bae and Kim(2014)는 피실험 운전자 실내실험을 통하여 정형 4색 신호등에 대한 인지반응 시간 대비, 비정형 4색 신호등의 인지반응 시간이 길어지며, 4색 신호등 등화의 조합 내용에 따라 운전자들의 인지반응 시간이 다를 수 있음을 지적하였다.

도로교통 운영설계 분야의 경우 운전자들이 익숙한 도심부 교통신호 운영을 위한 인지반응 시간으로 Institute of Transportation Engineers (ITE)는 1.0초를 사용할 것으로 권고하나, 운전자들이 익숙하지 않은 지방 지역 도로 선형설계를 위한 인지반응 시간 값으로 American Association of State and Highway Transportation Officials (AASHTO)는 2.5초를 사용할 것으로 권고한다. 돌발상황 인지반응 시간의 경우 Joo et al.(2015)은 20-40대 운전자의 경우 인지반응 시간은 ITE 기준과 달리 다소 높게 1.3초 수준이며, 50대 이상 운전자의 경우 2.1초 이상까지 증가하기도 함을 지적하였다.

인간의 뇌 활용 연구는 비서술적 기억(non-declarative memory)과 서술적 기억(declarative memory)으로 뇌의 영역으로 구분하며 인간의 판단 및 수행능력을 비교한다. 비서술적 기억은 일반적으로 전두엽(frontal lobe)에서 가동되며 반응속도가 빠르다. 색상의 인지, 모국어 활용, 훈련된 사람의 운동 및 악기 연주 능력 등 반사적으로 반응하는 영역이다. 이는 습관처럼 인식된 경험이나 반복적인 행동을 통해 습득하게 되며, 자연스럽게 반응하는 기억으로 의식을 통한 기억 보유나 발현 통제가 불가능하다(Kim, 2012). 서술적 기억은 의식적 노력을 통해 스스로 접근 가능한 기억 영역이다(Lee and Park, 2002). 이는 측두엽(temporal lobe)에서 가동되며 상대적으로 반응속도가 빠르지 않다. 사람의 의지가 반영되는 단어 암기, 약속 기억, 암호 해석, 나이 들어 배우는 외국어 능력들이 이에 해당한다.

인간의 행동능력을 비서술적 기억과 서술적 기억 영역으로 구분하는 해석 연구가 심리학, 언어학, 체육학, 마취학 등 많은 분야에서 활발히 수행되고 있다. 언어학 분야에서 Park(1997)은 단어 '점화어'와 '표적어' 간 어휘적 관련성을 분석하고 신규 정보 암기에 비서술적 기억 영역이 작동하는 것을 확인하였다. Kim and Chung(1998)은 사람들이 모국어를 사용하는 경우 비서술적 기억 어휘집을 활용하고, 외국어를 사용하는 경우 서술적 기억 어휘집과 개념 표상을 활용하는 차이가 있음을 확인하였다. 마취학에서는 Jeon(2002)은 마취 기억검사를 이용하여 비서술적 기억과 서술적 기억 발생에 각성 여부 및 측정방법별 차이가 있음을 확인하였다. 체육학 부문에서 Lee et al.(2013)은 운동기술을 습득하는 과정에 비서술적 기억과 서술적 기억의 영향을 분석해 운동기술의 학습에 비서술적 기억이 많은 영향을 미치는 것으로 확인하였다.

연구방법

운전자들이 교통신호등 의미를 단순 색상으로 판단하는 경우에는 운전자들은 뇌의 비서술적 기억 영역만을 활용할 것이나, 색상의 조합이 개입되는 경우 이를 해석하기 위한 노력(의식적 노력)이 발생되어 서술적 기억 영역을 활용하게 될 것으로 기대된다. 풀어서 기술하면 3색 신호등의 경우 운전자들은 뇌의 비서술적 기억 영역(전두엽)이 작동하여 빠르게 반응할 수 있으나, 4색 신호등의 경우 뇌의 서술적 기억 영역(측두엽)이 작동하여 다소 인지반응 시간이 길어질 수 있음을 의미한다. Figure 1은 본 연구에서 확인하고자 하는 연구가설을 도식화하여 제시한다.

교통신호등 형태(3색 신호등, 4색 신호등)에 따라 운전자들의 인지반응 시간이 다를 수 있음을 의미한다. 이를 확인하기 위하여 교통신호등 형태(3색 신호등, 4색 신호등)별 다양한 교통신호 등화의 조합 상황들에 반응하는 (1) 운전자들의 인지반응 시간자료를 수집함과 동시에 (2) 운전자들이 교통신호에 반응하는 상황에 전두엽 및 측두엽에서

표출되는 뇌파 자료를 수집하였다.

본 연구는 해당 방법으로 수집된 운전자들의 인지반응 시간 및 전두엽 및 측두엽 뇌파 자료를 비교 분석한다. 뇌가 어떠한 학습 작업을 진행할 경우 베타파가 활성화된다. 운전자의 신호등 등화의 상황을 해석하는 과정에 배출되는 베타파 자료를 뇌파 측정 장비로 수집하고 분석하였다.

다양한 형태의 신호등 형태 및 개별 형태별 다양한 등화의 조합 상황을 실제 도로현장에서 구현함에 한계가 있어 실내시험으로 수행하였다. 실내 모의실험 환경을 구축하여 피(被)실험자로부터 해당 자료를 수집하였다. 아래 세부 단락은 본 연구에 투입된 실험환경 및 실험내용에 대한 설명을 제시한다.

Figure 1. Concept of the research hypothesis

1. 실험 시나리오

총 4회 예비조사 및 분석 과정을 통하여 (1) 두 가지 교통신호등 형태(3색 신호등과 4색 신호등)별 (2) 운전자 주행 방향 구분 및 (3) 표출 가능한 신호등 등화의 조합, (4) 교통신호등 형태별 인지반응 시간 차이 원인 분석 실험 시나리오를 설계하였다. 동일 형태 신호등이라도 단일 색상이 등기되는 등화상황과 두 가지 색상이 함께 조합 등기되는 등화상황이 비교될 수 있도록 실험 시나리오를 설계하였다. 피(被)실험 운전자들이 모두 좌회전 및 직진 주행상황을 편중 없이 경험하는 시나리오를 설계하였다. 해당 과정으로 좌회전 운전상황과 직진 운전상황에 따라 등화의 조합에 대한 이해가 다를 수 있음이 파악되도록 실험 설계하였다.

실험 시나리오에 반영된 교통신호등 등화의 조합은 3색 신호등과 4색 신호등의 정형화된 조합, 4색 신호등의 비정형화된 조합 세 가지를 포함한다. 교통신호등 등화의 조합에 근거하여 실험 시나리오를 총 2개 그룹(Group A, B)으로 Table 1과 같이 구분하였다. 시나리오 Group A는 3색 신호등으로 등화의 조합이 없는 경우이고, 시나리오 Group B는 4색 신호등 등화의 조합이다.

Table 1. Categorization of three different traffic-signal groups for the test

Scenario	Traffic signals	Combinations of traffic lights	Anticipated drivers' memory
Group A	3-head signal	No combination (single solid)	Non-declarative memory
Group B	4-head signal	Conventional combination (Korean standard) Unconventional combination (found in field)	Declarative memory

인지반응 시간은 운전자 개인 능력(성별, 나이, 운전 경력)에 따라 다르다. 다양한 운전자들의 인지반응 시간을 본 연구에 반영하기 위하여 운전자 모의실험 참가 피(被)실험자들의 성별 및 연령대 분포가 고르게 분포될 수 Table 2 실험조건을 설계하였다.

Table 2. Description on the test subjects

Number of subjects (test drivers)	Age groups	Gender ratio (male/female)	Driving experience
40	20-60s	4:6	At least 3years

전체 40명의 피(被)실험자가 실험에 참여하였다. 피(被)실험 운전자들의 연령대는 20대, 30대, 40대, 50대, 60대 5개 집단으로 구분되었다. 남녀 성별 비율은 우리나라 운전면허 소지자 성별 비율(Kosis, 2014)을 참조하여 4:6으로 구성하였다. 최소 3년 이상 운전경력자로 선별하여 경험 미숙으로 발생할 수 있는 오류 요인을 통제하였다. 알코올 및 카페인의 섭취를 금지하도록 하여 운전자들의 인지반응 시간에 미칠 수 있는 외부 요인의 영향을 통제하였다.

실험 시나리오 Group A의 경우 8개, Group B 경우 정형 신호등 8개, 도로에서 발견되는 비정형 신호등 8개 총 24개의 교통신호 등기상향 시나리오를 설계하였다. 피(被)실험 운전자들이 해당 시나리오를 직진 운전자의 관점에서 1회, 좌회전 운전자의 관점에서 1회, 총 2회 경험하도록 하였다. 이들 시나리오에 교통신호등의 형태가 충분히 섞이어 무의식 가운데에 발생할 수 있는 학습 훈련 효과를 최소화하였다. 설계된 실험 시나리오에 참여한 피(被)실험자들로부터 전체 1,920개 인지반응 시간자료를 Table 3과 같이 수집하였다.

Table 3. The number of test scenarios and the data obtained from the test

Category (types of traffic signals)	The number of test scenarios	The number of participants	The number of data per each driving case		
			Left turn	Through	Sum
Group A	8	40	320 (=8×40)	320 (=8×40)	640
Group B	Conventional	40	320 (=8×40)	320 (=8×40)	640
	Unconventional	40	320 (=8×40)	320 (=8×40)	640
Sum	24	120	960	960	1920

설계된 교통신호 등화의 조합 시나리오 24개를 직진 운전자 및 좌회전 운전자 관점에서 각각 1회 수행하게 되어 피(被)실험자 1인 당 총 48개(24×2) 인지반응 시간자료를 수집하였다. 총 40명 피(被)실험자로부터 전체 1,920개(24×2×40) 인지반응 시간자료를 수집하였다.

2. 자료수집

운전자 ‘운행모의장치(driving simulator)’를 활용하여 가상의 도로 주행환경을 조성한 후 교통신호 등화의 조합 시나리오를 피(被)실험자들에게 표출하면서 이에 반응하는 인지반응 시간자료를 수집하였다. 실험에 사용되는 교통신호등 이미지 형태와 크기는 ‘교통신호기 설치관리 매뉴얼(Korea National Police Agency, 2011)’ 규격을 준수하도록 설계하며 Google SketchUp (version 8.0) 3D 프로그램으로 작성하였다. 가상 도로 모의주행 환경 현장감 확보를 위하여 주변 도로 ‘횡단보도’ 및 ‘차로’ 노면표시는 ‘노면표시 설치관리 매뉴얼(Korea National Police Agency, 2011)’ 규격을 참조하였다. 피(被)실험 운전자 눈높이가 정지선으로부터 후방 1.5m, 지면으로부터 상부 1.2m 지점에 Google SketchUp 3D 카메라를 설정하여 인지반응 시간자료 수집에 사용되는 이미지 시나리오 자료를 구축하였다.

피(被)실험 운전자들의 인지반응 시간자료 수집 과정에서 발생할 수 있는 인적 오류를 최소화하고자 별도의 컴퓨터 Perception Reaction Time Collection Program (PRCP) 프로그램을 C# 프로그래밍 언어로 개발 적용하여 자료의 객관성을 확보하게 하였다. PRCP는 피(被)실험자들이 자극을 받은 시간(교통신호등 이미지 형태가 제공되는 시간)과 그에 반응하는 과정에 소요된 시간자료를 컴퓨터 내장 시계로 측정 및 수집하는 프로그램이다. 수집된 자료는 피(被)실험자가 교통신호등 이미지를 시각적으로 인식하고, 신호의 내용을 파악하여 신호에 대응하는 방향을 결정한 후 실제 제동 페달을 작동하는 전체 소요시간에 해당한다. 자료수집 실험 수행 시에는 실내조명을 암전하고 외부 진입 및 출입을 물리적으로 차단하여 인지반응 시간이 외적 요인으로 간섭받지 않도록 통제하였다(주간 시간과 정상 날씨 상황 조건).

실험 시나리오로 제시된 교통신호 등화의 조합 의미 해석 실험 결과에 대하여 피(被)실험자가 실험 중 구두 발설(가다 or 서다)하게 하여 기록자가 별도로 기록하였다. 이를 통해 실제 교통신호등 의미와 피(被)실험자가 판단한 교통신호 등화의 조합 의미가 서로 다른 오판단 상황을 파악하였다.

교통신호등 형태 및 등화의 조합 상황에 따라 피(被)실험 운전자가 배출하는 뇌파 자료 수집 환경은 Figure 2와 같다. Figure 2는 교통신호등 형태에 따른 운전자 뇌파 분석을 위해 사용된 장비를 착용한 피(被)실험자와 뇌파 수집 지점을 제시한다.

(a) Test drivers with equipment

(b) Brain wave data collection points

Figure 2. Driver's brain wave signal data collection

양질의 뇌파 자료수집을 위해서 운전자의 주위를 산만하게 하는 잡음 및 전자파로부터 방해가 없도록 주변을 통제하며 실험을 수행하였다. 비서술적 기억 영역인 전두엽(F4)과 서술적 기억 영역인 측두엽(T7)에서 베타파 자료를 각각 수집하였다. 피(被)실험자가 교통신호등을 확인하는 시간 동안 뇌파(베타파)가 전두엽(F4) 또는 측두엽(T7)에서 활성화되는지 통계 분석한다. 전두엽 베타파가 활성화되는 경우 운전자들은 비서술적 기억(Non-declarative memory)을 활용하고, 측두엽 베타파가 활성화되는 경우 운전자들은 서술적 기억(Declarative memory)을 활용한다고 해석한다.

3. 수집자료 해석

본 연구에서 수행된 실험을 통하여 PRCP 프로그램으로 수집된 일련의 인지반응 시간자료를 (1) 교통신호등 형태 및 (2) 교통신호등 등화상태로 구분하여 개별 상황별 인지반응 시간자료의 차이를 구분하고 통계분석 하였다. 피(被)실험 운전자들의 교통신호등 등화의 조합 해석 및 인지반응 시간자료 분석결과를 세부 단락으로 구분하여 제시한다.

교통신호등 형태별 운전자 인지 오류

피(被)실험 운전자들이 교통신호등 등화의 조합 해석에 실패하는 경우가 발생한다. 교통신호등 등화의 의미 해석 실패 상황을 교통신호등 형태별로 구분하면 3색 신호등 경우 0.00% (0/640)이나, 4색 신호등 경우 1.80% (23/1280)인 것으로 분석되었다. 교통신호 등화의 조합 의미가 오판(誤判)되는 상황을 (1) 교통신호가 전환되지 않는 상황(static)과 (2) 교통신호가 전환되는 상황(transition; 황색 표출)로 구분하여 분석하였다. Table 4와 Table 5는 이들을 각각 제시한다.

교통신호가 전환되지 않는 등화의 조합 상황에서 4색 신호등 해석 오류 상황이 1.56% (10/640) 발생하였고, 교통신호가 전환되는 등화의 조합 상황에서 2.03% (13/640) 발생하였다. 이는 하나의 신호등 면에 하나의 황색 렌즈가 설치되는 4색 신호등의 경우 황색 등화 의미의 대상이 때로는 직진 방향에, 때로는 좌회전 방향에 부여되기 때문에 운전자들이 짧은 순간에 이에 대한 해석을 고민하게 되면서 불필요한 오류가 개입될 수 있는 여지가 있음을 알게 한다.

피(被)실험 운전자들의 인지반응 시간 분석대상 자료로 상기 교통신호 등화의 의미를 잘못 판단한 오류 23개 상황 자료를 제외(data reduction)하였다. 판단오류가 없는 자료(1,897개 자료)들만으로 다음의 인지반응 시간 비교 분석을 수행하였다.

Table 4. Comparison of meaning-transmission failure ratios when no yellow light was involved

Category (types of traffic signals)	The number of cases	Meaning transmission		Failure ratio (%)	Remarks
		Correct	Fail		
Group A	320	320	0	0.00	Non-declarative memory
Group B	640	630	10	1.56	Declarative memory

Table 5. Comparison of meaning-transmission failure ratios when the yellow light was involved

Category (types of traffic signals)	The number of cases	Meaning transmission		Failure ratio (%)	Remarks
		Correct	Fail		
Group A	320	320	0	0.0	Non-declarative memory
Group B	640	627	13	2.03	Declarative memory

교통신호등 형태별 인지반응 시간 분석

1. 교통신호등 형태별 비교

운전자들의 인지반응 시간을 교통신호등 형태에 따라 구분하여 Table 6에 제시하였다. 3색 신호등(Group A)에 대응하는 운전자들의 평균 인지반응 시간은 1.65초로 도출되고, 4색 신호등(Group B)에 대응하는 평균 인지반응 시간은 평균 1.76초로 도출되어 0.11초 정도의 차이가 있는 것으로 분석되었다.

Table 6. Reaction times from different groups of signals

Category (types of traffic signals)	The number of cases excluding failure data	Statistics on the test driver's reaction times		
		Average		Standard deviation
Group A	640	1.65sec	–	0.54
Group B	1257	1.76sec	+0.11	0.55

운전자들의 인지반응 시간자료의 전체 패턴을 파악하기 위하여 적합도 검정(Goodness-of-fit test)을 수행하여 Erlang 확률분포함수로 도식화하였다. Figure 3은 도식화된 결과를 제시한다.

Figure 3은 3색 신호등에 대응하는 운전자들의 인지반응 시간이 4색 신호등에 대응하는 인지반응 시간 대비 전체 적으로 빠름을 제시한다. 이들 두 가지 인지반응 시간 분포 간 차이가 통계적으로 유의한 것인지 확인하기 위해 95% 신뢰수준에서 쌍체검정(Paired t -test)을 수행하였다. 시험결과 귀무가설(집단 간 평균 차이 없음)을 기각하여 이들 분포의 차이는 통계적으로 유의(p -value: 0.022)한 것으로 분석되었다.

Figure 3. Driver's reaction time distribution

2. 주행 방향별 비교

운전자들이 직진 및 좌회전 방향으로 진행하는 상황에서 수집된 인지반응 시간자료를 교통신호등 형태별로 구분하였다. Table 7은 이들 분석결과를 정리하여 제시한다.

Table 7. Comparison of drivers' reaction times from different types of traffic signals

Category (types of traffic signals)	Drivers' direction to move (test driver role)	Statistics of drivers' reaction times	
		Average (unit: sec)	Difference (directional)
Group A	Through	1.59	N/A
	Left turn	1.59	
Group B	Through	1.75	+0.16
	Left turn	1.72	+0.13

운전자들이 직진 방향으로 진행할 때 반응하는 평균 인지반응 시간은 3색 신호등의 경우 1.59초인 반면, 4색 신호등의 경우 1.75초로 3색 신호등 대비 +0.16초 증가하는 것으로 분석되었다. 직진 방향 운전자의 경우 신호등 형태에 따른 인지반응 시간 차이가 통계적으로 의미가 있는지 확인하기 위해 95% 신뢰수준에서 t 검정을 수행하였다. 통계 분석결과 귀무가설(집단 간 평균 차이 없음)을 기각(p -value: 0.024) 하여 운전자들의 인지반응 시간 차이가 교통신호등 형태에 따라 존재하는 것으로 분석되었다.

운전자들이 좌회전 방향으로 진행할 때 반응하는 평균 인지반응 시간은 3색 신호등의 경우 1.59초인 반면, 4색 신호등의 경우 1.72초로 3색 신호등 대비 +0.13초 증가하는 것으로 분석되었다. 좌회전 방향 운전자의 경우 신호등 형태에 따른 인지반응 시간 차이가 통계적으로 의미가 있는지 확인하기 위해 95% 신뢰수준에서 t 검정을 수행하였다. 통계 분석결과 귀무가설(집단 간 평균 차이 없음)을 기각(p -value: 0.021) 하여 운전자들의 인지반응 시간 차이가 교통신호등 형태에 따라 존재하는 것으로 분석되었다.

해당 결과는 4색 신호등 대신 3색 신호등이 설치되는 경우, 직진 방향과 좌회전 방향 운전자 모두의 인지반응 시간이 0.13~0.16초 정도 단축될 가능성이 있음을 의미한다. 이와 더불어 직진 및 좌회전 방향 운전자들에 따라 달라지는 인지반응 시간의 '표준편차'도 줄일 수 있음을 의미한다.

3. 지속/전환 상황별 비교

교통신호 등화의 상황에 따른 운전자들의 인지반응 시간 차이를 파악하기 위하여 교통신호 등기상황을 (1) 교통신호 지속상황과 (2) 교통신호 전환 상황으로 구분하여 분석하였다. 이는 (1) 적색 및 녹색 신호 등화와 같이 교통신호가 전환되지 않는 상황(static condition)과 (2) 황색 신호 등화로 교통신호 현시의 전환되는 상황(transition condition)이다. Table 8은 분석결과를 요약하여 제시한다.

Table 8. Comparison of drivers' reaction times from different types of traffic signals

Category (types of traffic signals)	Drivers' direction to move (test driver role)	Statistics of drivers' reaction times (unit: sec)			
		Static green/red	Difference	Yellow involved	Difference
Group A	Through	1.59	N/A	1.59	N/A
	Left turn	1.62		1.59	
Group B	Through	1.66	+0.07	1.84	+0.25
	Left turn	1.70	+0.08	1.74	+0.15

교통신호 등기가 전환하지 않는 지속상황(static)에서 인지반응 시간 분석결과이다. 직진 방향 운전자들의 평균 인지반응 시간은 3색 신호등 경우 1.59초인 반면, 4색 신호등 경우 1.66초로, 0.07초 정도 증가하는 것으로 분석되

었다. 좌회전 방향 운전자들의 경우 3색 신호등 경우 1.62초인 반면, 4색 신호등 경우 1.70초로 0.08초 정도 증가하는 것으로 분석되었다. 이러한 인지반응 시간 차이들이 통계적으로 의미가 있는지 확인하기 위하여 95% 신뢰수준에서 t 검정을 각각 수행하였다. 통계 분석결과 귀무가설(집단 간 평균 차이 없음)을 기각(p -value: 직진 방향 경우 0.023; 좌회전 방향 경우 0.029) 하여 운전자들의 인지반응 시간 차이가 교통신호등 형태에 따라 존재하는 것으로 분석되었다.

교통신호 등기가 전환하는 전환 상황(transition)에서 인지반응 시간 분석결과이다. 직진 방향 운전자들의 평균 인지반응 시간은 3색 신호등 경우 1.59초인 반면, 4색 신호등 경우 1.84초로, 0.25초 정도 증가하는 것으로 분석되었다. 좌회전 방향 운전자들의 경우 3색 신호등 경우 1.59초인 반면, 4색 신호등 경우 1.74초로 0.15초 정도 증가하는 것으로 분석되었다. 이러한 인지반응 시간 차이들이 통계적으로 의미가 있는지 확인하기 위하여 95% 신뢰수준에서 t 검정을 각각 수행하였다. 통계 분석결과 귀무가설(집단 간 평균 차이 없음)을 기각(p -value: 직진 방향 경우 0.023; 좌회전 방향 경우 0.02) 하여 운전자들의 인지반응 시간 차이가 교통신호등 형태에 따라 존재하는 것으로 분석되었다.

교통신호 등기 전환 상황에서 4색 신호등의 인지반응 시간 차이가 2-3배 수준으로 증가하는 것으로 분석되었다. 이는 직진 운전자와 좌회전 운전자가 동일 신호등 면(面)에 배열된 하나의 황색 등화를 확인한 후 해당 황색 등화의 적용 방향이 직진인지 또는 좌회전인지 다른 렌즈 등화상황을 파악하고 해석하는 과정이 존재하기 때문으로 판단된다.

교통신호등 형태별 인지반응 시간 차이 원인

운전자들의 인지반응 시간이 교통신호등 형태별로 다르게 나타나는 원인을 파악하기 위하여 교통신호 등기상황에 대응하는 과정에 수집된 운전자들의 뇌파 자료를 분석하였다. Table 9는 뇌파 자료 분석결과를 제시한다.

Table 9. Comparison of drivers' brainwaves from different types of traffic signals

Category (types of traffic signals)	Statistics of drivers' brainwaves (unit: Hz)		Remarks
	Frontal lobe (F4)	Temporal lobe (T7)	
Group A	44.36	43.79	Non-declarative memory
Group B	43.71	44.57	Declarative memory

분석결과 피실험 운전자들은 3색 신호등 등화의 의미를 해석하는 동안 상대적으로 전두엽에서 베타파가 더욱 활성화되는 것으로 도출되었다. 이와 반대로 피실험 운전자들이 4색 신호등 등화의 의미를 해석하는 동안에는 측두엽에서의 베타파가 더욱 활성화되는 것으로 도출되었다. 이러한 차이가 통계적으로 의미가 있는 것인지 확인하기 위하여 95% 신뢰수준에서 t 검정을 수행하였다. 통계 분석결과 귀무가설(집단 간 평균 차이 없음)을 기각(p -value: 0.039)하여 교통신호등 형태별로 활성화되는 운전자 뇌 영역이 다른 것으로 분석되었다.

이러한 결과는 3색 신호등의 경우 운전자들은 신호등 등화의 색상만 보고 그 의미를 해석하기 때문에 비서술적 기억(Non-declarative memory) 영역을 활용하는 것으로 해석된다. 이와 반대로 4색 신호등의 경우 색상과 더불어 색상의 조합을 해독하는 과정이 포함되기 때문에 서술적 기억(Declarative memory) 영역을 운전자들이 활용하는 것으로 해석된다. 이러한 운전자 뇌파 분석결과는 앞서 제시된 교통신호등 형태별 인지반응 시간 차이 분석결과와 조화된다.

결론

교통신호등은 적, 황, 녹색상의 등화를 통하여 운전자들에게 진행 또는 금지의 의미를 전달한다. 신호등의 형태가 3색 신호등의 경우 단순 등화의 색상으로 의미 전달이 가능하다. 4색 신호등의 경우 다르다. 4색 신호등은 직진

및 좌회전 운전자들이 별도 수행하여야 하는 의미를 하나의 신호등 면에서 렌즈의 등기 조합으로 표출한다. 직진 및 좌회전 운전자들이 자신의 신호를 스스로 해독하며 반응한다. 운전자들이 신호등 등화의 조합을 해독할 시간이 추가로 요구된다.

본 연구는 이러한 신호 등화의 조합 해독과정에 운전자들은 뇌의 서술적 기억 영역을 사용하기 때문에 인지반응 시간이 증가하고 있음을 95% 신뢰수준의 통계분석을 통해 확인하였다. 이로 국제연합(UN)이 규정하는 신호등 형태인 3색 신호등과 우리나라가 일반적으로 사용하는 4색 신호등 형태에 따라 운전자들의 인지반응 시간이 다를 것으로 확인하였다. 교통신호등은 운전자에게 주행의 허용 및 금지와 관련된 규제 정보를 단순하게 전달하여야 한다. 교통신호의 의미 해석이 단순한 색상에 의해서 수행되는 경우 운전자의 비서술적 기억 영역(전두엽)이 활성화하여 인지반응 시간이 짧다. 그러나 색상을 넘어서 조합의 개념이 사용되는 순간 운전자는 서술적 기억 영역(측두엽)을 사용하게 된다. 이로 인하여 인지반응 시간이 증가하게 되므로 해당 형태의 신호등 사용은 지양되어야 한다. 적, 황, 녹 단순 색상을 이용한 교통신호등 정보전달이 수행되어야 한다.

운전자가 교차로 진입부에서 신호등 등화의 의미를 확인하는 시간은 짧을수록 좋다. 해당 시간이 길어질수록 운전자는 위험한 상황에 놓이게 될 수 있다. 교통신호 등화의 의미가 신속하게 전달되어야 교차로에서의 안전이 담보된다.

Funding

This research was supported by the project for the Research and Development of Police Science and Technology under Center for Research and Development of Police Science and Technology and Korean National Police Agency funded by the Ministry of Science, ICT and Future Planning (Grant No. PA-A000001).

알림

본 논문은 대한교통학회 제71회 학술발표회에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

ORCID

YANG, Jiwoong <http://orcid.org/0000-0002-2346-8197>

KIM, Jin-Tae <http://orcid.org/0000-0001-8357-244X>

KIM, Jooyoung <http://orcid.org/0000-0002-7090-1889>

References

- American Association of State Highway and Transportation Officials (2011), A Policy on Geometric Design of Highway and Streets.
- Bae H. S., Kim J. T. (2014), Study on Driver's Perception Reaction Times to Conventional and Unconventional Types of Four-head Traffic Signals, The 2014 Conference of Intelligent Transport Systems, Korea Intelligent Transport Systems, 229-234.
- Chang M. S., Kim Y. J. (2003), A Comparison Study of Driver's Responsive Action by Using the Traffic Light Change Anticipation, J. Korean Soc. Transp., 21(6), Korean Society of Transportation, 67-73.
- Institute of Transportation Engineers (ITE), Brian Wolshon, Anurag Pande (2016), Traffic Engineering Handbook.

- Jeon W. J. (2002), The Assessment of Explicit Memory and Implicit Memory the Process Dissociation Procedure, *Korean Journal of Anesthesiology*, 6(4), 173-180.
- Joo J. h., Choi K. L., Kim J. Y (2015), A Study of Perception Response Time on Driver, The 72nd Conference of KST, Korea Society of Transportation, 102-106.
- Kim A. N. (2012), Interaction Between Procedural and Declarative Memories During the Sequence Learning Task, Chosun University, Doctorate Thesis.
- Kim J. T. (2003), A Comparison Study of the Signal Systems in the Korean Road Traffic Law and the Convention on Road Signs and Signals, 13(2), The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Bimonthly, 12-16.
- Kim J. T. (2009), Study on the Korean Traffic Safety Control Devices to balance With the International Highway Environment, Research Report 2009-03, Police Science Institute.
- Kim J. T., Hwang C. S. Kim Y. H., Na S. S., Lee J. J. (2010), Changeover From Four-Head to Exclusive Three-Head Signals: A Hidden Core of the National Project, *Transportation Technology and Policy*, 7(2), Korean Society of Transportation, 71-78.
- Kim M. R., Chung C. S. (1998), A Test of Hierarchical Model of Bilinguals Using Implicit and Explicit Memory Tasks, *Korea Soc. KSCS*, 9(1), *Korean Journal of Cognitive Science*, 47-60.
- Kim M. R., Chung C. S. (2002), A Test of Hierarchical Model of Bilinguals Using Implicit and Explicit Memory Tasks, *Korea Soc. KSCS*, 9(1), *Korean Journal of Cognitive Science*, 47-60.
- Kim Y. J., Han J. S., Kim H. (1999), Relations Between the Perception-reaction Time and the Phantom Phenomena on Signal Light, *The Proceedings of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, 12-16.
- Korea National Police Agency (2011).
- Korean Statistical Information Service (2014), <http://kosis.go.kr>
- Lee G. H., Huh D. C., Lee J. H., Lee J. M. (2013), Reciprocal Interaction of Procedural Memory and Declarative Memory during Motor Skill Acquisition, *Korea Soc, Physical*, 52(3), *The Korean Journal of Physical Education*, 115-127.
- Lee H. W., Joo D. H., Hyun C. S., Park B. H., Kim D. H. (2011), Study on Headways at Signalized Intersections Before and After Installation of Red Arrow Signal, *J. Korean Soc. Transp.*, 29(6), Korean Society of Transportation, 57-65.
- Lee Y. A., Park H. K. (2002), *Memory : Guide for Professionals*.
- Park T. J. (1997), Relation Between Implicit Memory and Lexical Processing, *Korea Soc. Psychology*, *Korean Journal of Cognitive and Biological Psychology*, 9(1), 95-118.
- United Nations (2006), *Convention on Road Signs and Signal of 1968*.