

농기계의 등화장치가 운전자의 야간시인성에 미치는 영향

Effect of Agricultural Machine Lighting systems on Drivers Night Visibility

최 승 현* · 이 성 렬** · 장 택 영*** · 도 명 식****

* 주저자 : 한밭대학교 도시공학과 박사수료
 ** 공저자 : 삼성교통안전문화연구소 책임연구원
 *** 공저자 : 삼성교통안전문화연구소 수석연구원
 **** 교신저자 : 한밭대학교 도시공학과 교수

Seung hyun Choi* · Sung yeol Lee** · Taek young Jang** · Myung sik Do*

* Dept. of Urban Eng., Hanbat National University
 ** Samsung Traffic Safety Research Institute

† Corresponding author : Myung sik Do, msdo@hanbat.ac.kr

Vol.16 No.4(2017)

August, 2017
 pp.25~35

ISSN 1738-0774(Print)
 ISSN 2384-1729(On-line)
<https://doi.org/10.12815/kits.2017.16.4.25>

Received 22 April 2017
 Revised 9 June 2017
 Accepted 7 August 2017

© 2017. The Korea Institute of
 Intelligent Transport Systems. All
 rights reserved.

요 약

본 연구는 야간 시간대의 농기계 주행시 등화장치 장착여부에 따른 운전자의 야간시인성 분석을 목표로 하였다. 야간시인성 분석을 위해 등화장치에 대한 휘도측정실험과 안구운동 측정기기를 활용한 주시시간측정실험을 수행하였다. 휘도측정실험결과, 농기계와의 상대거리가 가까워지며 등화장치의 상태가 양호해질수록 휘도 값이 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 주시시간측정실험에서는 주행속도에 상관없이 등화장치의 상태가 양호해질수록 농기계에 대한 총 주시시간이 증가하는 것으로 나타났다.

연구결과, 농기계에 등화장치를 장착할 경우 농기계에 대한 운전자의 야간 시인성이 향상되어 농기계사고의 예방에 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

핵심어 : 농기계 등화장치, 야간 시인성, 휘도, 주시시간

ABSTRACT

This study aimed to analyze a driver's night visibility, according to the installation of a lighting system for driving an agricultural machine during the night time. For the night visibility analysis, a luminance measurement test on the lighting system and a gaze duration measurement test through eye movement measurement devices were carried out.

In the luminance measurement test, the increase of luminance was confirmed as relative distance from an agricultural machine was closer and the conditions of the lighting equivalence are improved. Also the gaze duration measurement test, total gaze duration from an agricultural machine increased, as the conditions of the lighting equivalence are improved. In addition, it was identified that the difference in average gaze duration from an agricultural machine was statistically significant as the agricultural machine was driven in high speed.

In conclusion, when the lighting system is installed on an agricultural machine, a driver's night visibility from the agricultural machine improves, which is expected to be enormously helpful to the prevention of agricultural machine accidents.

Key words : Agricultural machine Lighting systems, Night Visibility, Luminance, Gaze duration

I. 서론

1. 개요

세계적으로 차량사고에 의한 사망자수는 연간 124만명에 이르고 이 중 90% 이상이 전방주시 태만, 졸음 운전등과 같은 인적요인(Human factors)에 의해 발생하고 있다. 이에 국내외에서는 교통사고의 감소를 위해 자율주행자동차, C-ITS등의 도입을 위한 요구가 증대되고 있으며 이와 관련된 인적요인에 관한 연구 역시 활발히 이루어지고 있는 추세이다.

도로에서 운행이 가능한 농기계(농업용 트랙터, 농업용 콤팩트, 동력 이앙기, 동력경운기)는 2015년을 기준으로 약 120만대 수준으로 최근 5년간 매년 400건 이상의 농기계 교통사고가 발생하고 있다. 특히, 농기계 교통사고는 치사율 약 17%로 전체 사고의 치사율 2%로 8배 이상 높아 농기계가 교통사고에 매우 취약한 것으로 나타나고 있어 농기계교통사고 감소를 위한 안전대책의 마련이 시급한 실정이다(KOROAD, 2016).

나아가 도로교통공단의 통계자료에 의하면 18시 이후로 농기계 교통사고 치사율이 점점 증가하고 있는 것으로 나타났으며 야간 시간대(18시~06시)의 농기계 교통사고 치사율은 19%로 주간(16%)보다 높은 것으로 나타났다. 이는 국내 간선도로의 열악한 조명시설, 농기계의 등화장치 불량, 야간반사판, 경광등 등의 안전장치 미장착등으로 인해 야간 시간대의 도로주행 농기계에 대한 시인성이 낮기 때문인 것으로 분석되고 있다(Lee et al., 2015).

주행중 사물에 대한 시인성이 낮아지면 운전자의 반응속도가 느려져 사고의 위험성이 증가하게 된다(Forbes, 1960). 특히, 농기계는 자동차와 달리 후면부의 등화장치 상태에 대한 체계적인 관리가 이루어지지 않고 있어 야간 주행시 등화장치의 상태에 따른 운전자의 인적요소(시인성)를 분석하는 것은 매우 중요하다.

따라서 본 연구에서는 야간 농기계 주행시 야간반사판, 경광등과 같은 등화장치의 장착여부가 운전자의 시인성에 주는 영향을 현장실험을 통해 알아보려고 하였다. 연구 흐름은 먼저 등화장치의 설치여부에 따른 휘도 측정을 통해 운전자의 시인성 및 제동거리 확보여부를 분석하고자 하였다. 나아가 안구운동 측정기기를 활용하여 등화장치 장착여부에 따른 운전자의 주시시간을 측정하였으며, 장착시나리오에 따른 주시시간의 변화에 대한 통계적 검증을 수행하였다.

2. 선행연구 고찰

운전자의 주행중 시인성 및 주시행태에 관한 연구는 국내·외에서 활발히 진행되고 있으며, 주로 드라이빙 시뮬레이터(Driving-simulator)와 안구운동 측정기기(Eye movement measurement devices)를 활용하고 있으며, 일부 현장실험을 통한 조사도 이루어졌다(Lee et al., 2014; Velichkovsky et al., 2002; Murata, 1973). Monsere and Fischer(2008)는 44개의 IC와 고속도로 구간의 교통사고 데이터분석을 통해 도로의 조명이 감소된 구간은 야간 충돌사고와 부상사고가 증가하였으며, 조명이 일부 감소된 IC에서는 야간교통사고가 약 2.5%증가한다고 분석하였다.

국내 연구로는 Lee et al.(2015)은 현재의 도로조명 기준이 운전자가 느끼기에 적합한지를 분석하기 위해 실내 조명실험을 실시하였으며, 퍼지집합이론을 통한 분석을 통해 도로조명에 의해 최소로 확보되어야 하는 시인성의 최소 기준 값을 약 30(YUV 값)이상으로 제안 하였으며 Kwon et al.(2012)은 도로 곡선부의 안전을 위해 설치된 시선 유도시설에 대한 시인성 분석을 위해 설문조사를 통한 통계적 분석을 수행하여 시선 유도

시설에 대한 시인성을 평가한 바 있다.

한편 Sim et al.(2016)은 안구운동 측정기기인 TalkEye Lite를 활용한 고속국도에서의 현장실험을 통해 주행 속도에 따른 운전자의 평균 주시시간을 분석하였으며, 주행속도가 증가할수록 도로, 선행차량에 대한 평균 주시시간이 증가하며 전경에 대한 평균 주시시간은 감소하는 것으로 나타났으며, Konstantopoulos et al.(2010)은 안구운동측정기기인 SMI iView XTM HED를 이용하여 운전 초보자에 비해 운전 숙련자의 주행중 시야범위가 더 넓으며 사물에 대한 평균 주시시간(mean gaze durations)은 운전 초보자 0.57초, 운전 숙련자 0.43초로 나타나 운전 경험이 적을수록 사물에 대한 주시시간이 길어지는 것으로 나타났다. 또한, 주행환경에 따른 평균 주시시간은 주간 주행시 0.47초, 야간은 0.48초, 우천시 0.55초로 나타나 운전자의 시인성이 악화될수록 주행 중 안전확보를 위해 사물에 대한 주시시간이 늘어나는 것으로 분석되었다.

Bezuidenhout et al.(2014)은 교차로 2개소가 포함된 복잡한 도심지의 주행환경을 구축하여 드라이빙 시뮬레이터와 안구운동 측정기기를 통한 운전자의 시각행태를 관찰하였다. 실험결과, 사물에 대한 평균 주시시간은 선행차량 1.535초, 주행 중인 자전거 1.151초, 주변 신호 0.383~0.491초 등으로 나타났으며, Rötting et al.(1999)은 버스와 트램 운전자를 대상으로 한 실험에서 총 주행시간 중 버스 운전자는 주변환경에 약 72%, 선행차량에 약 10%, 선행차량이 없는 트램 운전자는 주변환경에 약 84%의 주시시간을 할애했는 것으로 나타나 두 운전자 모두 총 주행시간 중 80%이상의 시간을 선행차량을 포함한 주변환경을 주시하는 것으로 나타났다.

선행연구들을 고찰한 결과, 대체적으로 드라이빙 시뮬레이터를 통한 가상 주행을 통해 운전자의 시인성 분석에 대한 연구가 이루어졌으며 다양한 도로유형과 주간, 야간, 우천시 등의 기상여건도 고려한 것으로 나타났다. 하지만, 현장실험을 통한 데이터의 취득 및 안전장치의 상태에 따른 시인성의 변화를 분석한 연구는 미비한 것으로 나타났다.

따라서 본 연구에서는 현장실험을 통해 야간 등화장치(야간반사판 및 경광등)의 장착여부 및 파손정도가 운전자의 시인성에 주는 영향을 휘도 및 주시시간 측정을 통해 정량적으로 살펴보고자 하였다.

II. 도로주행 농기계의 야간 시인성 분석

1. 실험 개요

2015년도를 기준으로 국내 농가의 농기계 보유대수 현황을 살펴본 결과, 동력 경운기(598,315대, 37.9%)를 가장 많이 보유하고 있으며 농기계 사고 발생현황 또한 동력경운기가 49.7%의 점유율을 차지하고 있어 본 연구에서는 동력경운기를 대표 농기계로 선정하여 현장실험계획을 수립하였다. 본 연구는 야간 시간대의 시인성을 확인하는 것이 목적이므로 조사시간은 일몰 시간을 고려하여 약 19시~22시로 설정하였으며 기상에 따른 영향을 최소화하기 위해 기상상태가 맑은인 일시에 3일간 실험을 수행하였다. 실험 구간은 실험간 외적인 변수의 최소화 및 안전을 확보하기 위해 충북 옥천군 일원의 편도 2차로로 구성된 폐고속도로를 선정하였으며 해당 도로의 직선 구간 약 480m를 실험구간으로 활용하였다.

농업 기계화 촉진법의 시행규칙에서는 등화장치를 포함한 농기계 안전장치 전반에 대한 구조 및 성능 기준을 제시하고 있다. 먼저, 야간반사판은 반사광색, 반사부의 유효면적(최소 35cm²), 설치위치등에 대해서는 규정하고 있지만 반사성능에 대해서는 별도의 규정이 마련되어 있지 않은 상태이다. 반면, 저속차량표시등(경광등)은 설치위치, 개수, 점등방식등의 규정과 함께 표시등의 성능을 “전·후·좌·우의 HV 측정점에서 1

등당 광도는 50칸델라(cd) 이상 1,050칸델라(cd) 이하의 것으로 국내·외 공인시험기관의 시험을 받은 것일 것”과 같이 정의 하고 있다. 본 연구에서 활용한 야간반사판의 면적은 약 360.6cm²(W:24.7cm,H:14.6cm)로 관할 경찰서에서 농가에 배포하고 있는 야간반사판이며, 저속차량표시등 또한 위의 규격 및 성능을 만족하는 장비를 준비하여 본 실험에 활용하였다.

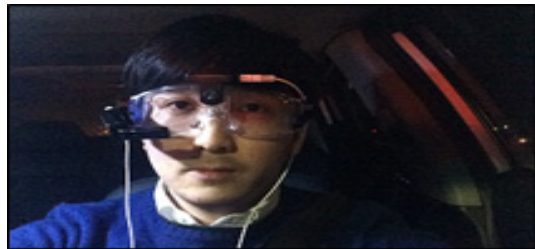
〈Table 1〉 Outline of Experiments Method

Classification		Description
Section		closed two-lane highway, 480m
Period and Time		3days, 19:00-22:00 p.m
Weather Condition		Sunny
Agricultural Machine		Cultivator
Lighting systems condition Scenario		none, damaged, normal, warning light
Participants		1 adult (aged 30)
Test Devices	Luminance	CS-100A
	Eye movement	TalkEye Lite
Number of Experiments	Luminance	2 times (1st & 2nd lanes)
	Eye movement	9 times (40km/h:3times, 60km/h:6times)

농기계의 등화장치 상태에 따른 시인성을 측정하기 위해 a) 미부착(None), b) 야간반사판 훼손(Damaged), c) 정상 야간반사판(Normal), d) 경광등(Warnig light) 설치한 경우로 시나리오를 설정하였으며 1) 휘도계를 이용한 휘도측정과 2) 안구운동 측정기기를 활용한 주시시간측정으로 구분하여 실험을 수행하였다.



〈Fig. 1〉 Measurement of Luminance



〈Fig. 2〉 Measurement of Eye movement

2. 등화장치의 휘도 측정

등화장치에 대한 휘도 측정을 위해 KONICA MINOLTA의 CS-100A기기를 활용하였다. 본 기기는 비접촉으로 측정이 가능하며 파인더로 측정 포인트를 조준하여 초점을 맞출 수 있는 일안 리플렉스 방식이므로 측정 영역을 떨어진 위치에서 정확하게 측정이 가능하며 측정 오차율은 ±0.01~0.02%로 양호하다. 또한, 휴대성이 뛰어나 차량내에서의 측정이 용이한 장점이 있다.

등화장치 시나리오에 따른 휘도 측정을 위해 농기계가 정지해 있는 상태에서의 정지 시인성을 농기계 후방에서 1) 동일차로에 있는 경우, 2) 다른차로에 있는 경우로 구분하여 측정하였다. 측정을 위한 거리는 농기

계와의 상대거리 최대 100m에서 시나리오별 10m 단위로 측정하였으며 상대거리 10m이내에서는 상대거리 5m, 3m에서 추가적으로 측정하였다. 또한 본 실험은 차량통행이 없는 폐도로에서 이루어진 실험으로 주변환경요인에 따른 변수의 최소화가 가능하였으며 이의 실험간 발생할 수 있는 변수를 철저히 통제된 후 실험을 수행하였다.

<Table 2>에는 시나리오별 휘도(cd/m^2) 측정결과를 나타내었다. 먼저 차로에 상관없이 농기계와의 상대거리가 가까워질수록 휘도 값이 증가하는 것으로 나타났으며 동일한 거리, 동일한 시나리오인 경우 농기계와 동일한 차로에 위치한 경우의 휘도 값이 높은 것으로 나타났다. 또한, 등화장치가 설치되지 않은 경우에는 5~10m에서 휘도 값이 가장 큰 것으로 나타났으며, 예상과 달리 초 근접거리인 3~5m거리의 동일차로에서 측정된 휘도 값은 반사판이 설치된 경우(훼손 포함)보다 휘도 값이 높은 것으로 나타났다. 이는 초 근접거리 상태에서 차량 전조등의 빛이 농기계의 후면 반사판의 설치 위치보다 아래를 조명하기 때문에 생기는 현상으로 판단된다. 한편 본 실험은 정지시인성을 측정하기 위해 설계된 실험으로 실제 주행환경에서는 측정이 불가능한 근거리(3-5m)에서의 시인성을 파악할 수 있는 장점이 있다. 또한, 본 실험 범위 중 10~100m 범위에서는 반사판의 훼손여부에 상관없이 반사판이 장착된 경우의 휘도가 반사판이 미설치된 경우에 비해 높은 것으로 나타났으며 특히 20m 거리에서 휘도 값이 가장 높은 것으로 나타났다.

<Table 2> Results of Luminance Test

(Units : cd/m^2)

	Same lane				Different lane			
	None	Damaged	Normal	Warning light	None	Damaged	Normal	Warning light
3m	1.71	1.64	1.88	754.00	0.01	0.01	0.02	579.00
5m	12.10	4.65	7.82	752.00	0.15	0.29	0.57	375.00
10m	8.49	12.60	16.90	395.00	0.72	4.89	10.00	124.00
20m	3.35	16.90	32.40	197.00	1.57	16.70	29.00	61.00
30m	1.23	8.52	15.10	99.00	0.95	5.05	9.24	37.00
40m	0.62	3.44	7.15	61.00	0.09	0.46	0.71	33.00
50m	0.44	2.02	3.96	38.00	0.23	0.79	1.45	21.30
60m	0.27	1.31	1.94	27.00	0.20	0.17	0.25	17.40
70m	0.19	0.85	1.28	21.00	0.06	0.20	0.38	7.38
80m	0.06	0.51	0.77	12.60	0.06	0.15	0.24	8.35
90m	0.18	0.44	0.68	9.40	0.09	0.17	0.28	5.65
100m	0.13	0.24	0.35	9.00	0.06	0.06	0.06	7.46

경광등 시나리오는 100m거리에서 7.5~9.0 cd/m^2 , 3m거리에서 최고 579.0~754.0 cd/m^2 의 휘도가 나타나 농기계와 근접할수록 휘도 값이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 야간반사판과 달리 경광등은 자체적으로 빛을 발산하기 때문으로 판단된다.

이를 종합적으로 살펴보면 야간반사판, 경광등 등의 등화장치가 구비되어 있지 않을 경우 농기계에 대한 최대 휘도 값은 5~10m거리에서 나타나 상대적으로 근거리에서의 시인성이 양호한 것으로 나타났다. 또한 야간안전장치로 야간반사판을 설치한 경우(훼손된 경우 포함)의 최대 휘도 값 측정거리는 20m로 나타나 미설치인 경우에 비해 최대 2배~4배의 거리에서 최대 휘도 값의 측정이 가능한 것으로 나타났다. 또한, 경광등을

농기계에 부착한 경우 측정 지점에 상관없이 다른 시나리오에 비해 높은 휘도 값이 관측되었으며 상대적으로 먼 거리(100m)에서도 야간반사판보다 높은 휘도 값이 측정되었다. 이는 야간반사판, 경광등과 같은 등화 장치의 설치를 통해 농기계에 대한 시인성이 향상되며 특히 경광등을 설치할 경우 상대적으로 먼 거리에서도 농기계의 식별이 가능해 야간 농기계 사고예방에 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

3. 운전자의 주시시간 특성 분석

운전자의 주시시간 측정은 TalkEye Lite기기를 활용하였다. TalkEye Lite는 장착식의 안구운동 측정기기로 서 안구검출과 시야에 USB카메라를 사용하여 처리용 컴퓨터에 직접 연결하는 간단한 구성으로 되어있으며 안구의 움직임, 깜박임, 주시시간등의 측정이 이루어진다.

운전자의 주시시간을 분석하기 위해 운전자의 시야를 구성하는 주시 항목을 크게 네 가지로 구분하였다. 먼저, 1) “도로전면”은 도로표면을 포함한 차선, 노면표지, 가드레일 등과 전경을 포함, 2) “미러”는 차량의 백미러, 사이드 미러, 3) ‘차량내부’는 ‘미러’를 제외한 차량 내부 요소, 4) “농기계”는 전방의 등화장치를 포함한 농기계를 의미한다.

운전자의 시인성은 성별, 연령, 운전경력등의 개인요인과 복잡한 도로환경요소 등에 의한 환경요인에 의해 차이가 발생하며 이와 같은 운전자의 시인성을 객관화함에 있어 다수의 피실험자를 통한 분석이 필수적이지만 분석장비의 calibration과 등화장치 상태에 따른 시인성의 차이의 분석에 초점을 맞추었으며 다양한 운전자 집단을 대상으로 한 연구는 향후 과제로 남기고자 한다. 또한 피실험자 1인에 대한 객관성을 확보하기 위해 해당기기를 사용한 주행실험에 다수의 참가경험이 있는 운전경력 10년의 남성 운전자를 선정하였다 (Sim et al., 2016; Do, 2015).

주행실험은 전방 약 480m지점에 농기계를 위치시켜 동일차로의 후방에서 차량 접근에 따른 주시시간을 측정하였으며 차량의 주행속도에 따른 주시시간의 차이를 살펴보고자 각 40km/h정속주행 3회, 60km/h정속주행 6회로 총 9회의 실험을 수행하였다.

실험시나리오 별로 운전자가 각 사물을 주시한 횟수(n), 주시시간(gaze duration)등의 자료를 취득하였으며 1) 총 주시시간(Total gaze duration) 및 주시비율(gaze duration ratio)과 2) 평균주시시간(Average gaze duration) 항목으로 구분하여 통계적 검증을 수행하였다. 여기서 총 주시시간은 1회의 실험 중 실험자가 사물을 주시한 시간의 총합, 주시비율은 1회의 총 주행시간 중 사물의 총 주시시간이 차지하는 비율을 의미하며 평균주시시간은 사물별 주시시간에 대한 평균 값을 의미한다.

$$Total\ Gaze\ Duration = \sum_{i=1}^n Gaze\ Duration_i \quad (1)$$

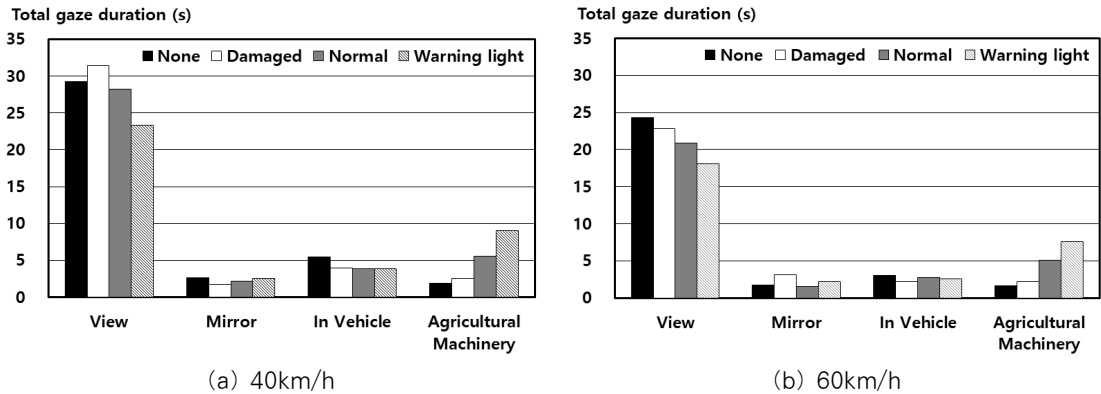
$$Gaze\ Duration\ Ratio = \frac{Total\ Gaze\ duration}{Total\ Travel\ Time} \quad (2)$$

$$Average\ Gaze\ Duration = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Gaze\ Duration \quad (3)$$

1) 총 주시시간 및 주시비율 비교

시나리오별 총 주시시간에 대한 시각행태는 정규성 및 동질성검정을 만족하는 것으로 나타나 주시사물에 따른 주시시간의 차이는 분산분석을 활용하여 통계적 유의성을 검증하였다. 분석을 위해 먼저 등화장치 시

나리오에 따라 분산분석을 수행한 결과, 주행속도에 상관없이 미리(40km/h : $F=0.66$, $p=0.60$, 60km/h : $F=1.90$, $p=0.16$)와 차량내부(40km/h : $F=0.74$, $p=0.56$, 60km/h : $F=0.24$, $p=0.87$) 항목의 총 주시시간은 유의미한 차이는 없는 것으로 분석되었다.



〈Fig. 3〉 Comparison for Total gaze duration

반면, 주행속도에 상관없이 등화장치의 상태가 양호해질수록 총 주행시간 중 도로전면(40km/h : $F=4.81$, $p=0.03$, 60km/h : $F=7.40$, $p=0.00$)에 대한 주시시간은 감소, 농기계(40km/h : $F=739.70$, $p=0.00$, 60km/h : $F=228.62$, $p=0.00$)에 대한 주시시간은 증가하는 것으로 나타나며 통계적으로도 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 농기계에 설치된 등화장치의 시인성이 양호해짐에 따라 농기계에 대한 총 주시시간이 증가하게 되어 도로전면에 대한 주시시간이 감소하게 된 것으로 판단된다.

본 실험은 동일한 구간의 제한된 조건하에서 이루어진 실험으로 주행속도에 따라 운전자가 인식하는 총 주시시간이 상이하게 나타나게 된다. 따라서, 주행속도의 차이에 따른 주시시간의 차이를 비교하기 위해 t-검정을 통해 총 주시시간이 아닌 주시시간의 비율을 비교·분석하였다.

〈Table 3〉 Descriptive statistics and t-Test on total gaze durations ratio

Scenario		N	Vehicle Speed (km/h)	Avg. Ratio	S.D.	Levene test p-value	t-value (p-value)
View	None	3	40	0.74	0.05	0.56	-0.82 (0.44)
		6	60	0.79	0.09		
	Damaged	3	40	0.79	0.08	0.74	0.75 (0.48)
		6	60	0.76	0.07		
	Normal	3	40	0.71	0.03	0.08	0.37 (0.72)
		6	60	0.69	0.09		
	Warning light	3	40	0.60	0.08	0.35	0.13 (0.90)
		6	60	0.59	0.05		
Mirror	None	3	40	0.07	0.02	0.14	0.53 (0.61)
		6	60	0.06	0.04		

Scenario		N	Vehicle Speed (km/h)	Avg. Ratio	S.D.	Levene test p-value	t-value (p-value)	
	Damaged	3	40	0.04	0.03	0.40	-1.77	
		6	60	0.10	0.05		(0.12)	
	Normal	3	40	0.05	0.03	0.80	0.11	
		6	60	0.05	0.03		(0.92)	
	Warning light	3	40	0.07	0.01	0.08	-0.30	
		6	60	0.07	0.04		(0.77)	
In Vehicle	None	3	40	0.14	0.03	0.15	0.97	
		6	60	0.10	0.07		(0.37)	
	Damaged	3	40	0.10	0.05	0.87	0.83	
		6	60	0.07	0.05		(0.43)	
	Normal	3	40	0.10	0.00	0.02	0.14	
		6	60	0.09	0.06		(0.90)	
	Warning light	3	40	0.10	0.06	0.36	0.48	
		6	60	0.09	0.04		(0.65)	
	Agricultural Machinery	None	3	40	0.05	0.00	0.24	-2.05
			6	60	0.05	0.01		(0.08)*
Damaged		3	40	0.06	0.00	0.43	-1.84	
		6	60	0.07	0.01		(0.11)	
Normal		3	40	0.14	0.00	0.02	-3.49	
		6	60	0.17	0.02		(0.02)**	
Warning light		3	40	0.23	0.01	0.49	-1.99	
		6	60	0.26	0.02		(0.09)*	

* Level of significance $\alpha=0.1$, ** Level of significance $\alpha=0.05$

<Table 3>을 살펴보면 각 항목별 샘플 수는 본 연구의 주행속도별 실험 횟수(40km/h=3회, 60km/h=6회)와 동일한 것으로 나타났으며 이는 1회 실험에서의 총 주행시간 중 각 사물에 대한 총 주시시간을 비율 자료로 취득하기 때문이다. 주시항목 중 도로전면과 차량내부, 미러의 경우 통계적으로 유의미한 차이는 나타나지 않았으며 농기계 항목의 경우 주행속도의 증가에 따라 농기계에 대한 주시시간 비율이 높아지며 반사판 훼손상태를 제외한 나머지 시나리오에서 통계적으로 유의미한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이는 주행속도가 높아질수록 운전자가 주행시 안전확보를 위해 안전과 관련 있다고 판단되는 전방의 사물을 상대적으로 오래 주시하기 때문이라고 판단된다.

2) 평균주시시간 비교

주행속도에 따른 평균주시시간의 비교를 위해 정규성을 만족하는 데이터에 대해서는 t-검정, 정규성을 만족하지 않는 데이터에 대해서는 Mann-Whitney 검정을 실시하였다.

〈Table 4〉 Results of statistic test on average gaze durations

Scenario		N	Vehicle Speed (km/h)	Avg. gaze durations(Sec)	S.D.	Levene test	t-value (p-value)	Mann Whitney Test	
View	None	62	40	1.41	1.81	0.31	-0.04 (0.96)	-	
		58	60	1.43	1.32				
	Damaged	63	40	1.22	1.77	0.23	-1.55 (0.12)	-	
		76	60	1.81	2.50				
	Normal	80	40	1.06	1.53	0.00	-2.94 (0.00)**	-	
		50	60	2.51	3.27				
	Warning light	70	40	1.00	1.33	0.01	-2.99 (0.00)**	-	
		52	60	2.09	2.36				
	Mirror	None	10	40	0.80	0.56	-	-	0.34
			15	60	0.68	0.49			
Damaged		8	40	0.62	0.50	-	-	0.07*	
		22	60	0.84	0.44				
Normal		11	40	0.59	0.28	-	-	0.17	
		12	60	0.79	0.44				
Warning light		12	40	0.64	0.25	-	-	0.79	
		15	60	0.89	0.79				
In Vehicle		None	29	40	0.57	0.34	-	-	0.16
			23	60	0.78	0.64			
	Damaged	21	40	0.56	0.18	0.01	-0.32 (0.75)	-	
		22	60	0.59	0.31				
	Normal	21	40	0.55	0.22	-	-	0.21	
		24	60	0.69	0.55				
	Warning light	19	40	0.61	0.30	-	-	0.46	
		22	60	0.70	0.38				
Agricultural Machinery	None	6	40	0.93	0.67	-	-	0.07*	
		6	60	1.66	0.16				
	Damaged	8	40	0.96	0.66	-	-	0.62	
		12	60	1.07	0.53				
	Normal	17	40	0.98	0.79	-	-	0.01**	
		16	60	1.91	1.04				
	Warning light	27	40	1.01	1.04	-	-	0.00**	
		27	60	1.68	1.01				

* Level of significance $\alpha=0.1$, ** Level of significance $\alpha=0.05$

먼저 시나리오에 상관없이 상대적으로 고속으로 주행한 경우 주행 시의 평균주시시간이 긴 것으로 나타났으나 도로전경, 미러, 농기계의 일부 시나리오에서만 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다.

특히, 농기계에 설치된 안전시설물의 설치가 양호한 정상과 경광등 설치 시나리오에서는 도로전면과 농기계에 대한 평균주시시간에 유의미한 차이가 있는 것으로 나타나 앞서 살펴본 총 주행시간에 대한 주시비율의 결과와 동일한 것으로 나타났다.

나아가 <Table 4>의 주시횟수에 해당하는 샘플 수를 살펴보면 등화장치 시나리오에 상관없이 전경, 차량 내부순으로 주시횟수가 많고 미러와 농기계에 대한 주시횟수는 상대적으로 적은 것으로 나타났으며 이는 폐고속도로라는 한정된 실험구간에 기인한 것으로 판단된다. 농기계 시나리오에서는 등화장치 상태가 양호해질수록 농기계에 대한 주시횟수(샘플 수)가 증가하는 것으로 나타났으나 이에 따른 평균 주시시간의 차이는 통계적으로 무의미한 것으로 나타났다(40km/h : $F=0.15$, $p=0.99$, 60km/h : $F=2.06$, $p=0.17$). 이는 등화장치 장착에 따라 농기계에 대한 주시횟수가 증가하여 농기계에 대한 시인성은 증가하나 등화장치장착 유·무는 농기계에 대한 평균주시시간에 영향을 주지 않음을 의미한다.

Ⅲ. 결 론

본 연구에서는 자율주행차를 위한 인적요인 분석의 일환으로 농기계의 등화장치 상태에 따른 시인성의 변화를 등화장치의 휘도와 운전자의 주시시간 측정을 통해 살펴보았다.

먼저, 등화장치의 상태에 따른 휘도를 측정한 결과 차로에 상관없이 농기계와의 상대거리가 가까워질수록 휘도 값이 증가하는 것으로 나타났으며 동일한 거리, 동일한 시나리오인 경우 농기계와 동일한 차로에 위치한 경우의 휘도 값이 높은 것으로 나타났다. 또한, 야간반사판, 경광등등의 등화장치가 구비되어 있지 않을 경우에는 5~10m지점, 야간반사판은 20m지점에서 휘도 값이 가장 높았으며, 경광등은 지점에 상관없이 야간 반사판의 휘도 값보다 높은 것으로 나타났다. 이는 농기계에 야간반사판을 설치할 경우 상대적으로 더 나은 시인성을 확보할 수 있음을 의미하며, 경광등을 설치할 경우 상대적으로 먼 거리에서도 농기계를 파악할 수 있는 것으로 나타나 농기계의 시인성 향상에 큰 도움을 주는 것으로 나타났다.

나아가, 등화장치 시나리오에 따른 운전자의 총 주시시간을 측정한 결과 주행속도에 상관없이 농기계에 설치된 등화장치의 상태가 양호해질수록 농기계에 대한 총 주시시간이 증가하게 되며 통계적으로도 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 또한 주행속도에 따른 평균 주시시간에 대한 분석결과 상대적으로 고속으로 주행할 경우 전방사물(농기계)에 대한 평균 주시시간이 길어지는 것으로 나타났으며, 주행속도에 상관없이 등화장치의 상태가 양호해질수록 농기계에 대한 주시횟수가 증가하는 것으로 나타나 농기계에 대한 시인성이 향상되는 것으로 나타났다.

다만 본 연구에서는 장비의 특수성 및 연구 범위의 한계로 인해 다양한 운전자의 특성을 고려하지 못하였음을 밝히며, 향후 운전자의 다양한 특성(성별, 연령, 운전경력 등)이 고려된 연구를 통해 신뢰성 높은 연구 결과가 도출 가능할 것으로 기대된다. 또한, 본 연구는 실험 간의 안전 확보를 위해 직선부로 구성된 폐도로에서 실험을 진행하여 실제도로 주행환경에서의 시인성을 대표하기에는 어려움이 있으나 시뮬레이터를 통한 실험기법보다 더욱 현실적인 실험이 가능하였으며, 향후 곡선부를 포함한 실제도로 주행환경에서의 추가적인 실험이 필요하다고 판단된다. 나아가 시나리오에 따른 정지시인성에 관한 연구 이외에 농기계가 주행 중인 상태에서의 이동시인성에 관한 연구가 향후에 추가적으로 필요하다고 판단된다.

REFERENCES

- Bezuidenhout J. J., Ranjitkar P. and Dunn R.(2014), “Environmental distraction on traffic control infrastructure conspicuity,” *In Proceedings of the 13th ITS Asia Pacific Forum*, pp.1-12.
- Do H. C.(2015), “A Study on Characteristics of Drivers Visual Behavior in Road Sections,” Master’s Degree, Hanbat National University.
- Forbes T. W.(1960), “Some factors affecting driver efficiency at night,” *Highway Research Board*, no. 255, pp.61-71.
- Konstantopoulos P., Chapman P. and Crundall D.(2010), “Driver’s visual attention as a function of driving experience and visibility. Using a driving simulator to explore drivers eye movements in day, night and rain driving,” *Accident Analysis & Prevention*, vol. 42, no. 3, pp.827-834.
- KOROAD(2016), 2015 Traffic accidents statistical analysis data.
- Kwon S. D., Park J. J., Nam C. K. and Ha T. J.(2012), “Analysis on Visibility of Delineators by Survey,” *KSCE J. of Civil Engineering D*, vol. 32, no. 5D, pp.445-451.
- Lee D. M., Youn C. J. and Kim Y. B.(2015), “An Analysis of Driver Perception of Nighttime Visibility Using Fuzzy Set Theory,” *International J. of Highway Engineering*, vol. 17, no. 5, pp.57-66.
- Lee S. S., Kim T. H. and Son B. S.(2014), “Study on Effect of Low Visibility Condition at Nighttime on Traffic Acciden,” *J. of Korean ITS*, vol. 13, no. 2, pp.12-26.
- Monsere C. M. and Fischer E. L.(2008), “Safety effects of reducing freeway illumination for energy conservation,” *Accident Analysis & Prevention*, vol. 40, Issue 5, pp.1773-1780.
- Murata T.(1973), “Statistical Aspect of Driver’s Eye-Movement,” *Japan Society of Civil Engineers*, vol. 1973, no. 213, pp.55-63.
- Rötting M., Göbel M. and Springer J.(1999), “Automatic object identification and analysis of eye movement recordings,” *MMI-Interaktiv*, vol. 2, pp.1-7.
- Sim H. J., Do M. S. and Jung K. S.(2016), “Characteristic analysis on drivers’ glance durations with different running speeds on the expressway,” *J. of Korean ITS*, vol. 15, no. 1, pp.77-86.
- Velichkovsky, B. M., Dornhoefer S. M., Kopf M., Helmert J. and Joos M.(2002), “Change detection and occlusion modes in road-traffic scenarios,” *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 5, no. 2, pp.99-109.