

거리에 따른 FOLED 적용 마이크로 모빌리티 사용자용 가방의 시그널 가시성 연구

A Study on Signal Visibility of FOLED Applied Bag According to Distance for Micro Mobility Users

최현석* · 이지혜 · 장현미 · 홍성민

DYETEC 연구원 기능성소재연구단 선임연구원* · (주)프리엔메지스 선임연구원
(주)프리엔메지스 부사장 · (주)레이데코 대표이사

Choi, Hyunseuk* · Lee, Jihye¹⁾ · Jang, Huynmi¹⁾ · Hong, Sungmin

DYETEC Institute Functional Materials R&D Group*

Free & Mezis Co., LTD.¹⁾

Raydeco, LTD.

Abstract

The purpose of this study was to verify the degree of visibility of FOLED (fiber optic light-emitting diode) materials applied to safety-enhancing bags of micro-mobility users and the degree of visibility by vehicle drivers during the day and night by conducting an empirical test targeting 50 people in their teens, 20s, 30s, 40s, and 50s or older.

First, the results of the visibility test at 10 m-intervals from 10 to 70 m based on the bag sample showed that the light detection of FOLED material was very good without daytime or nighttime distinction.

Second, the results of directional sign detection were confirmed to be very high without any daytime or night.

Third, the results of identifying a pictogram design showed that the distance was shorter than that of light detection or directional indication. However, the FOLED pictogram design could be confirmed at a distance of 40 m or less.

Fourth, the results of the light detection time of FOLED while driving 300 m at 40 km/h showed excellent results in both daytime and nighttime with a stop time of more than 2.5 sec at 40 km/h.

Therefore, if a bag or clothing product using FOLED material is worn and micro-mobility is used, the experimental results indicate that safety will be sufficiently secured due to the excellent visibility.

Keywords: Micro-mobility, LED, Fiber Optic Light-Emitting Diode, Visibility, Optical Fiber Light-emitting Body

I. 서론

근래에 들어 마이크로 모빌리티(Micro Mobility)의 사용자가 급속도로 증가하고 있다(이현영, 2010). 마이크로

모빌리티란, 전기 자전거, 전동 킥보드, 전동 휠 등 버스 두세 정거장 정도의 중·단거리 이동에 적합한 전기를 동력으로 이용한 이동수단으로 집에서 지하철역까지 이동하는 거리나 역에서 내려 목적지까지 이동하는 거리

본 논문은 2019년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT)의 연구비 지원을 받아 작성된 것임(20006652).

* Corresponding author: Choi, Hyunseuk

Tel: +82-53-350-3923, Fax: +82-53-350-3927

E-mail: span17@dyetec.or.kr

© 2020, Korean Association of Human Ecology. All rights reserved.

등 대중교통으로 해결할 수 없는 구간에 효과적으로 활용할 수 있다(김원희, 손영섭, 2019; Madapur et al., 2020). 최근 전동 킥보드, 세그웨이, 전동휠 등 출퇴근, 통학, 레저 등의 목적으로 개인형 이동수단을 이용하는 사람들이 급증하고 있지만(Jettanassen et al., 2020; Tuncer & Brown, 2020), 아직 안전 세부규정이 제대로 갖춰져 있지 않고 이용자들도 관련 법규를 잘 숙지하고 있지 않아 안전사고를 우려하는 목소리가 높다. 관련한 안전사고도 급증하고 있지만 개인용 이동수단에 대한 규제나 정책이 체계적으로 마련되어 있지 않아 도로 위의 새로운 위협이 되고 있다(Ali & Caminada, 2014). 이에 따라 개인적인 안전용품의 개발 및 표준화가 선행되어야 하며, 특히 주변 기술의 발전에 따라 개인의 필수 휴대용품의 증가하고 이에 따른 다양한 위험 요인 발생 원인이 예상된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 가시성성이 발현된 제품들인 재귀반사 시트를 부착한 가방이나, 의류, 신발과 LED를 적용하는 방법에 대한 다양한 연구들이 수행되었지만 빛을 받아야만 시인성이 나타나는 재귀반사 필름이나 다양하고 미세한 표현이 어렵고 빛 번짐 현상이 나타나며, 전력 소비량이 매우 높은 LED 부착으로는 편의성의 한계가 있다(김동규, 2015).

현재는 자전거 사용자의 안전을 위한 가방이나 어린이용 가방 등에 LED를 적용하여 발광시키는 제품들이 판매

되고 있는데(박진희, 김주용, 2019), PCB Panel를 사용하고 외부에 플라스틱 케이스나 합성수지 케이스 등을 부착하여 사용하는 방식이 대부분이다. LED는 전광판, 신호등, 자동차, 휴대폰 등 많은 장치들에 사용되고 있지만(김우찬 외, 2009), LED 자체의 색상이나 외부 케이스에 색상에 따라 발광 색상의 구현도 이루어지므로 색상 표현의 한계가 있고 발광 시, 케이스로 인한 빛 퍼짐 현상이 발생한다. 그래서 시인성이 저하되는 경향이 있고 가격도 높은 편이다. 이를 대체할 수 있는 기술이 FOLED 이다. FOLED란, Fiber Optic Light Emitting Diode의 약자로 광전송 장치인 다수의 광섬유와 광원장치인 LED가 결합한 광분할 기술로서 초절전(LED조명의 1/20이상) 및 Flexibility 높은 차세대 융합 소재이며, 서구에선 감성조명용으로 아동 심리치료에도 사용하는 신산업 기술이다. 특히, 이 기술의 상용화를 위한 3가지 주요 기술은 광섬유 전용 광원장치, 광섬유 이식기술 및 광섬유 이식 전용소재 기술을 기반으로 적용 분야별 세부기술 개발이 이루어져야 하며, 아직도 기초 기술개발에 머물고 있는 수준이다. 현재 FOLED가 적용된 가방 제품은 본 연구에 사용하고 있는 제품이 유일한 제품이다. 「LED광원과 광섬유를 이용하여 문자 및 문양 표시부와 방향표 시부를 발광시키는 도로표지 및 교통안전 표지 제작 기술」 및 「광섬유 기반 스마트 포토닉 스포츠 의류의 모듈화 디자인 연구」 등의 문헌을 보면 광섬유와

〈표 1〉 FOLED와 LED의 차이점

구분	FOLED	LED
형태	- PCB Free, 유연성 높음 - 세부 발광 형태 가능 - 발광 부분 표시가 거의 없음	- LED 및 PCB 사용 : 유연성 낮음 - LED 특성 상 부분적 발광 형태 - 직광의 경우 외부로 들어남
발광 Dot 수	- 135	- 22
소비전력	- 20 mA	- 440 mA
광원 수	- 1	- 22
세탁성	- 기계 세탁 가능	- 기계 세탁 불가 : 누전 가능성
시인성	- 발광 색상 명확, 눈부심 적음	- 빛의 번짐, 눈부심 심함
방수성 및 내구성	- PCB Free : 방수, 반영구적	- PCB 사용 : 방수 불가, 약한 내구성
유지보수	- 가볍고 Plug & Play 방식 : 간단 - 광섬유 반영구적, 광원 교체 간단	- 무겁고 설치 복잡 - 제조업체가 유지 보수
친환경	- 유해성 폐기물 거의 없음	- 유해성 PCB Panel(LED 테코타일)

LED 광원을 사용하면 소비 전력이 매우 낮으며 PCB Panel를 사용하지 않아도 되는 장점이 있으며 이로 인하여 방수가 가능하다(김동규, 2015; 이주현 외, 2009). 일반적으로 광섬유는 원사 상태 그대로 사용하는 경우가 많지만 본 연구에서 사용된 방법은 광섬유를 패치에 자수기를 사용하여 이식하는 형태로 세부적인 발광 디자인이 가능하다는 장점이 있다. 그래서 현재 사용량이 많은 LED 시료와의 비교를 진행하였다. 일반적인 LED와 이식형 FOLED의 차이점은 아래의 표1과 같다.

본 연구는 이러한 FOLED 패치가 부착된 가방을 사용하여 FOLED의 가시성을 확인해 보고자 한 것이다. 가시성 실험은 적용할 수 있는 실험 규격이 없어 실험 참가자들의 관능평가를 통하여 진행하였다(김도희 외, 2019). 가시성 실험은 거리별 가시성 시험과 자동차 주행 중 가시성 실험으로 나누어 진행하였으며 거리별 가시성 시험은 가방 착용자가 기준점에 위치하고 실험 참가자 1명씩 10 m-70 m까지 표시된 지점에서 FOLED 가시성 확인을 위한 관찰을 하였으며 실험은 주간 1회(14-15시), 야간 1회(17-18시), 2회 실시하였다. 자동차 주행 중 가시성 실험은 자동차 주행 중 가시성 실험을 진행하기 위하여 레이저 거리 측정기(SD-60A, Sincon, Korea)와 반사판을 사용하여 300m 지점을 측정하고, 승용자동차(말리부, 쉐보레, 한국GM)를 사용하여 먼저 출발지점에서 출발하여 가속하여 시속 40 km로 주행하였을 때 300 m 도착 시간을 측정하였으며, 이 값은 28.73sec이었다. 다음으로 실험 참가자가 1명씩 보조석에 탑승하여 출발점에서 기준점(가방, 300 m)까지 주행 중 FOLED의 불빛이 완벽히 감지되면 이 지점을 위험발견 지점으로 인식하고 이 때, 정지 구호를 외치고 스톱워치를 사용하여 이 시점까지의 시간을 측정하였다.

본 연구에 사용한 가방은 일반적으로 많이 사용하고 있

는 Nylon 6 섬유를 사용한 Back-pack을 사용하였으며 FOLED 광섬유 이식용 패치는 TPU(Thermoplastic polyurethane)를 사용하였다. 사용자의 안전성 향상을 위한 발광 패치의 픽토그램 디자인은 좌측 및 우측 방향지시와 정지 신호를 표현할 수 있도록 디자인된 것을 사용하였다. 이러한 가방을 사용하여 연령대별, 거리별, 이동 중의 가시성이 어느 정도 있지 확인해 보았다.

II. 연구방법

1. 연구 참가자

본 연구는 10대, 20대, 30대, 40대, 50대 이상으로 연령을 분류하여 실험을 진행하기 위하여 학교, 기업 등을 대상으로 실험에 참여할 참가자를 모집하였다. 10대와 20대는 학교 2곳의 학생들이 실험에 참가하였으며, 30대 이상은 기업 2곳의 직원들이 실험에 참가하였다. 각 연령대 별로 10명씩 총 50명이 참가하였으며, 본 연구에 참가한 실험 참가자의 구성은 <표 2>와 같고 참가자의 시력은 <표 3>과 같다.

2. 연구 도구

1) 가방

마이크로 모빌리티 사용자들이 대표적으로 많이 사용하고 있는 백팩(Backpack) 형태의 가방을 선택하였다. Remote Fairing을 통한 좌/우측 방향 지시를 리모컨으로 조절이 가능한 FOLED 발광 패치를 부착한 가방을 사용하였다. 실험에 사용한 가방 및 FOLED 패치 시료의 Specification은 아래의 <표 4>와 같다.

<표 2> 실험 참가자의 구성

(단위 : 명, (%))

구분	남자	여자	전체
10대	5 (26.3)	5 (16.1)	10 (20.0)
20대	5 (26.3)	5 (16.1)	10 (20.0)
30대	3 (15.8)	7 (22.6)	10 (20.0)
40대	3 (15.8)	7 (22.6)	10 (20.0)
50대 이상	3 (15.8)	7 (22.6)	10 (20.0)
전체	19 (100.0)	31 (100.0)	50 (100.0)

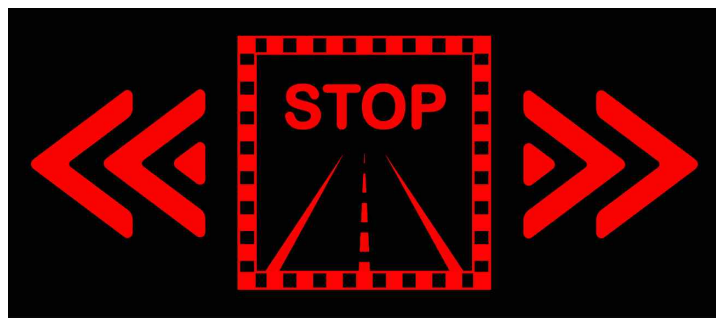
〈표 3〉 실험참가자의 시력

실험자	10대		20대		30대		40대		50대 이상	
	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우	좌	우
1	1.2	1.2	1.5	1.5	1.0	1.0	0.8	0.8	1.0	1.0
2	1.0	1.0	1.5	1.5	1.2	1.2	0.8	0.8	1.0	1.0
3	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9
4	0.8	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9
5	1.0	1.0	0.8	0.8	1.5	1.5	1.2	1.2	0.9	0.9
6	1.2	1.2	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	0.8	0.8
7	0.9	0.9	1.2	1.2	1.0	1.0	0.8	0.8	0.9	0.9
8	0.8	0.8	1.2	1.2	0.9	0.9	1.0	1.0	0.8	0.8
9	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.2	1.0	1.0
10	1.5	1.5	0.9	0.9	0.8	0.8	1.5	1.5	1.2	1.2
평균	1.14	1.14	1.14	1.14	1.09	1.09	1.08	1.08	0.94	0.94

* 안경 착용자의 경우 안경 착용 후의 교정시력임.



[그림 1] 실험에 사용한 FOLED 패치 부착 가방 및 리모컨



[그림 2] 실험에 사용한 FOLED 패치 픽토그램 디자인

- * 불빛감지 : 픽토그램 전체의 발광 여부 감지
- * 방향지시 감지 : 좌/우측의 방향 지시 표시만 좌/우 각각 발광한 후 감지
- * 픽토그램 디자인 식별 : 상기의 픽토그램 문양 감지

2) 설문지

10 m - 70 m까지 10 m 간격으로 가방의 가시성을 관찰하여 답변을 작성하는 것과 주행 중인 차량에 탑승하여 주행 중에 가시성에 대한 답변을 작성하는 것, 크게 2가지의 설문으로 구성하였다. 거리별 가시성에 대한 답변 문항은 3가지로서 불빛을 감지할 수 있는지와 방향지시 사인을 감지할 수 있는지, 그리고 마지막으로 픽토그램 디자인 식별이 가능한지이다. 각 문항별 점수 기준은 5점 만점의 5점 척도로 구성하였고 각 척도의 점수는 1점 전혀 그렇지 않다, 2점 그렇지 않다, 3점 보통이다, 4점 그렇다, 5점 매우 그렇다로 구성하였다.

3. 연구 절차

1) 거리별 가시성 실험

거리별 가시성 시험을 진행하기 위하여 레이저 거리 측정기(SD-60A, Sincon, Korea)를 사용하여 실험 거리를 측정하였다. 레이저 반사를 위하여 1.0 m×1.5 m 검은색 합판의 레이저 반사판을 사용하였다. 가방 시료를 기준으로 레이저 반사판을 뒤로 점점 물리면서 10 m 지점에 표시를

하고 같은 방식으로 70 m까지 10 m 간격으로 거리를 측정하여 실험 지점을 표시하였다.

가방 착용자가 기준점에 위치하고 실험 참가자 1명씩 10 m - 70 m까지 표시된 지점에서 FOLED 가시성 확인을 위한 관찰을 하였으며 실험은 주간 1회(14-15시), 야간 1회(17-18시), 2회 실시하였다. 가방 착용자는 리모컨을 이용하여 전체 점멸, 좌측 표시, 우측표시, 전체 발광을 지속적으로 작동하고 실험참가자는 거리별 지점에서 설문 3가지 문항에 대한 답변을 실시하였다.

2) 자동차 주행 중 가시성 실험

자동차 주행 중 가시성 실험을 진행하기 위하여 레이저 거리 측정기(SD-60A, Sincon, Korea)와 반사판을 사용하여 300 m 지점을 측정하고, 승용자동차(말리부, 쉐보레, 한국GM)를 사용하여 먼저 출발지점에서 출발하여 가속하여 시속 40 km로 주행하였을 때 300 m 도착 시간을 측정하였으며, 이 값은 28.73 sec이었다. 다음으로 실험 참가자가 1명씩 보조석에 탑승하여 출발점에서 기준점(가방, 300 m)까지 주행 중 FOLED의 불빛이 완벽히 감지되면 이 지점

〈표 4〉 실험에 사용한 가방 및 FOLED 패치 시료의 Specification

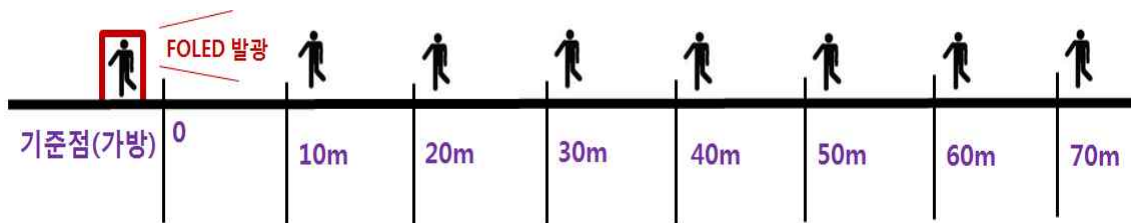
가방	소재	Nylon 6 (420 denier Semidull)
	원단밀도	경사 : 60 end/inch, 위사 : 37 pick/inch
	원단조직	Plain
	색상	Black
	가방형태	Back-pack
FOLED	소비전력	20 mA
	광원 수	3 (Red, Yellow, Blue)
	색상구성	방향지시 표시 : Red, 정지 표시 : Yellow, Blue
	광섬유	0.25 mm
	패치소재	TPU (Thermoplastic polyurethane)
	패치크기	가로 220 mm × 세로 100 mm × 두께 1.0 mm
	패치색상	Black
	발광 Dot 수	135

* LED 가방은 시중에 판매 중이 제품을 사용하였음

을 위험발견 지점으로 인식하고 이 때, 정지 구호를 외치고 스톱워치를 사용하여 이 시점까지의 시간을 측정하였다.

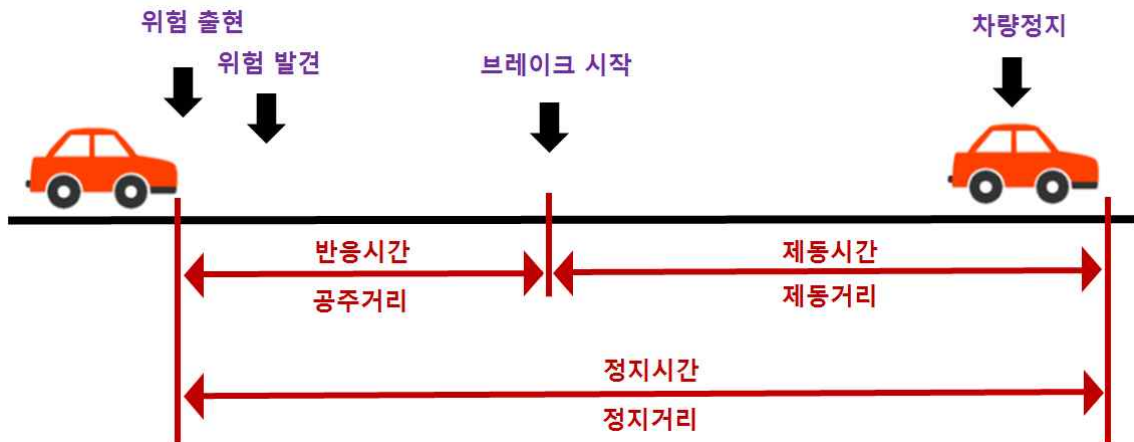
자동차 정지거리 시험 결과에 따르면 시속 40 km로 주행 중에 위험 발견 후 반응시간은 평균 0.5 sec 정도이고 제동 시간은 평균 2.0 sec정도 인 것으로 나타났다. 그래서 총 정지시간은 평균 2.5 sec로 생각할 수 있다. 또한, 정지 거리는 평균 16.0 m로 나타났다. 그래서 시속 40 km의 속

도로 300 m를 주행할 때 측정된 총 주행시간인 28.73 sec에서 실험 참가자별 측정시간과 정지시간을 뺀 값이 정지 시간인 2.5 sec보다 크면 정지된 차량과 가방 사용자 간의 거리는 16.0 m 이상으로 가방 착용자가 안전하다고 판단할 수 있다. 아래의 식.1을 활용하여 실험결과를 확인하였다. 자동차 주행 중 가시성 실험은 자동차 주행 중의 가시성을 확인하기 위한 실험이므로 FOLED만 진행하였다.



* 10-70m까지 10m 간격으로 FOLED 및 LED 가방 관찰

[그림 3] 거리별 가시성 실험의 실험 방법



[그림 4] 위험발견 시 자동차의 정지 메커니즘

<표 5> 실험 일자의 날씨 정보

실험 일자	날씨 정보	
2020. 10. 15	주간(14-15시)	맑음, 시정 20 km이상, 기온 20.5 °C, 풍속 6.5 km/h
	야간(17-18시)	구름조금, 시정 20 km이상, 기온 19.5 °C, 풍속 7.6 km/h
2020. 10. 17	주간(14-15시)	맑음, 시정 19.9 km, 기온 20.3 °C, 풍속 13.7 km/h
	야간(17-18시)	맑음, 시정 20 km이상, 기온 19.5 °C, 풍속 5.4 km/h

(식.1)..... $A-(B+C)=X>D$

- A : 300 m 주행 총소요시간(28.73 sec)
- B : 참가자별 위험발견 측정시간
- C, D : 시속 40 km 주행 시의 정지시간(2.5 sec)

3) 실험 일자의 날씨 정보

실험은 2020. 10. 15과 2020. 10. 17 양일에 걸쳐서 실시하였으면 실험 일자의 날씨 정보는 아래의 <표 5>와 같다.

Ⅲ. 연구결과

1. 거리별 가시성 실험 결과

1) 거리에 따른 FOLED와 LED 불빛 감지 여부 결과

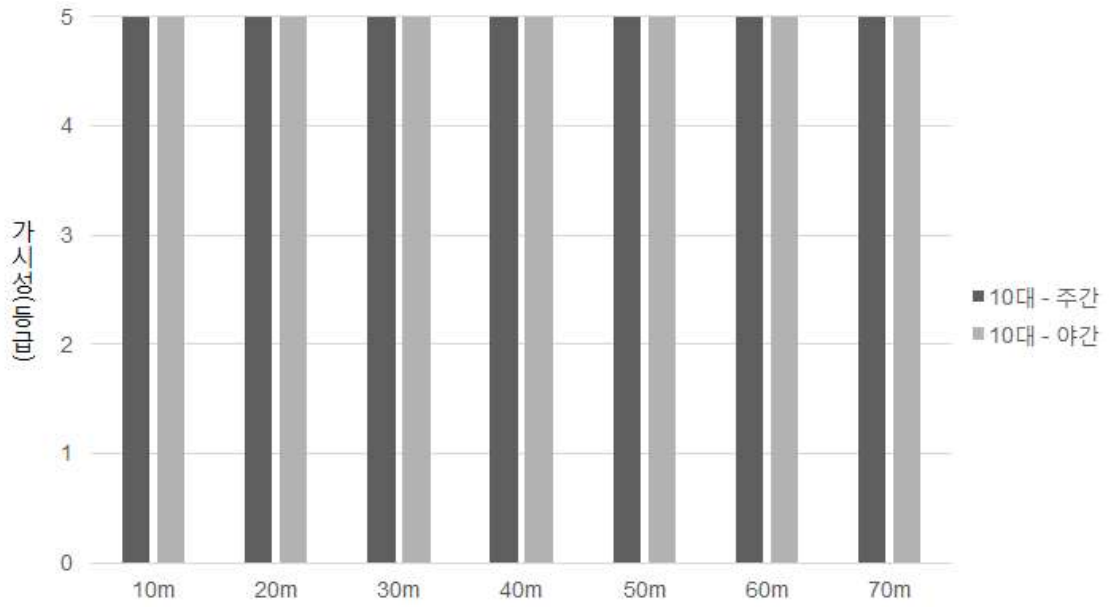
거리에 따른 불빛감지 여부에 대한 연령대 전체의 평균값을 나타낸 아래의 <표 6>을 보면 FOLED의 경우는 40 m까지는 5.0점을 나타내었고 50 m 이후부터 불빛 감지가 조금씩 저하되고 있지만 점수 감소폭이 매우 작으며 전체적으로 주간과 야간 구분 없이 매우 우수한 결과를 나타내었다. 반면 LED의 경우는 40 m 거리에서부터는 주간 점수가 4.0점으로 감소하기 시작하고 70 m에서는 주간 2.3점, 야간 3.2점으로 큰 폭으로 저하되는

것을 확인할 수 있었다. 또한 각 연령대별 결과를 나타낸 [그림 5]~[그림 9]를 보면 연령에 관계없이 FOLED는 우수한 결과를 나타내고 있지만 LED의 경우는 거리가 증가할수록 불빛감지가 급격히 저하되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 <표 1>의 FOLED와 LED의 차이점 중 형태 내용에서 언급한 바와 같이 FOLED는 광섬유를 이식하여 세부적인 발광형태가 가능하지만 LED는 부분적인 발광 형태를 사용하고 있어 빛 퍼짐 현상이 발생하기 때문이라고 판단된다. 특히, 야간의 경우 불빛 감지가 더 우수한 것으로 나타났다. 또한 <표 3>의 실험참가자들의 시력 평균값을 보면 나이가 증가함에 따라 시력 값이 조금씩 저하되는 것을 확인할 수 있다. 하지만 개인적인 시력의 차이가 크지 않으므로 개인 시력에 관계없이 주/야간 모두 FOLED의 불빛을 쉽게 감지할 수 있고 LED 보다도 불빛 감지가 더 우수하다는 결과를 확인할 수 있었다.

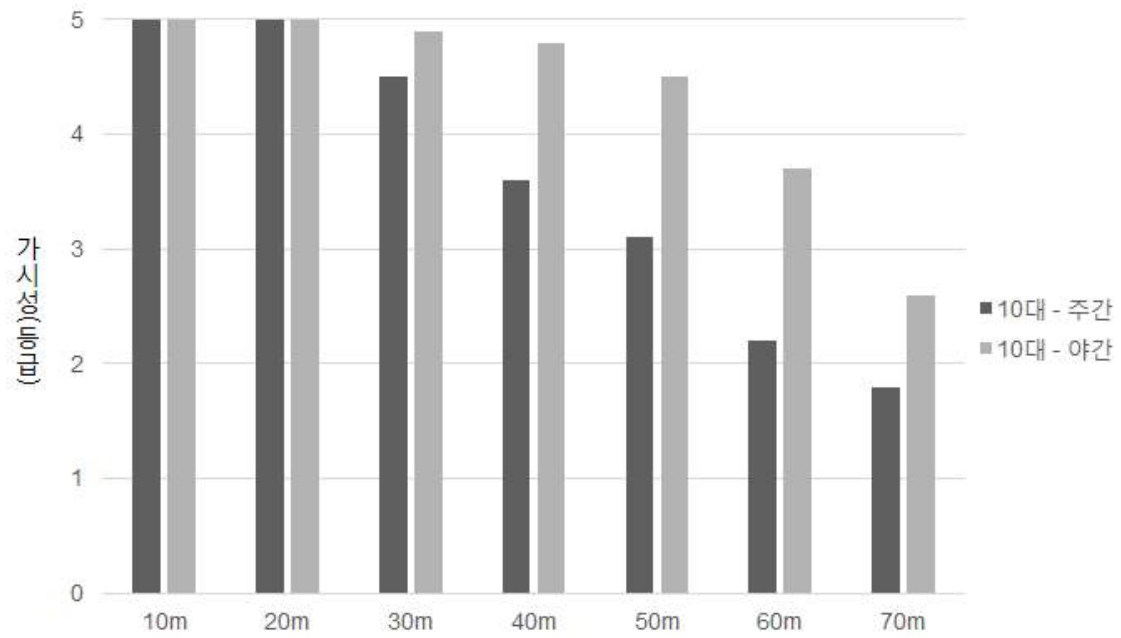
<표 6> 연령대별 실험 참가자의 거리별 FOLED와 LED 불빛 감지 여부 결과 평균 값 (단위 : m, 점)

실험 거리	FOLED 가방		LED 가방	
	주간	야간	주간	야간
10	5.0	5.0	5.0	5.0
20	5.0	5.0	4.9	5.0
30	5.0	5.0	4.6	4.9
40	5.0	5.0	4.0	4.9
50	4.8	5.0	3.5	4.7
60	4.7	4.9	2.8	4.1
70	4.7	4.7	2.3	3.2
평균	4.9	4.9	3.9	4.5

* 거리별 실험 참가자 각 연령별 10명의 결과에 대한 평균값임

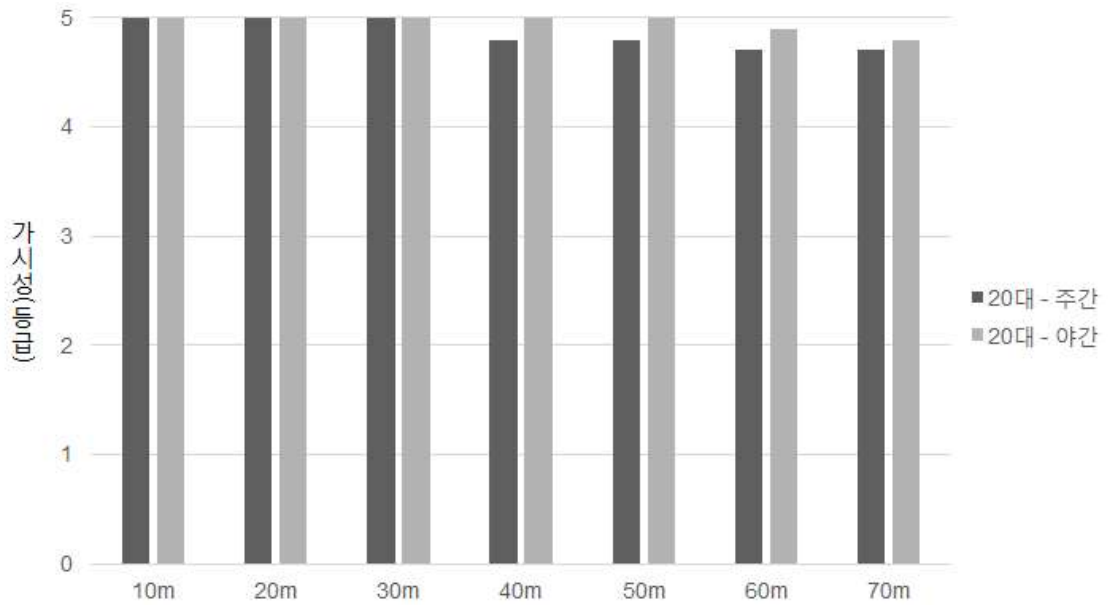


(a) 10대 실험참가자의 거리별 FOLED 불빛 감지 여부 결과

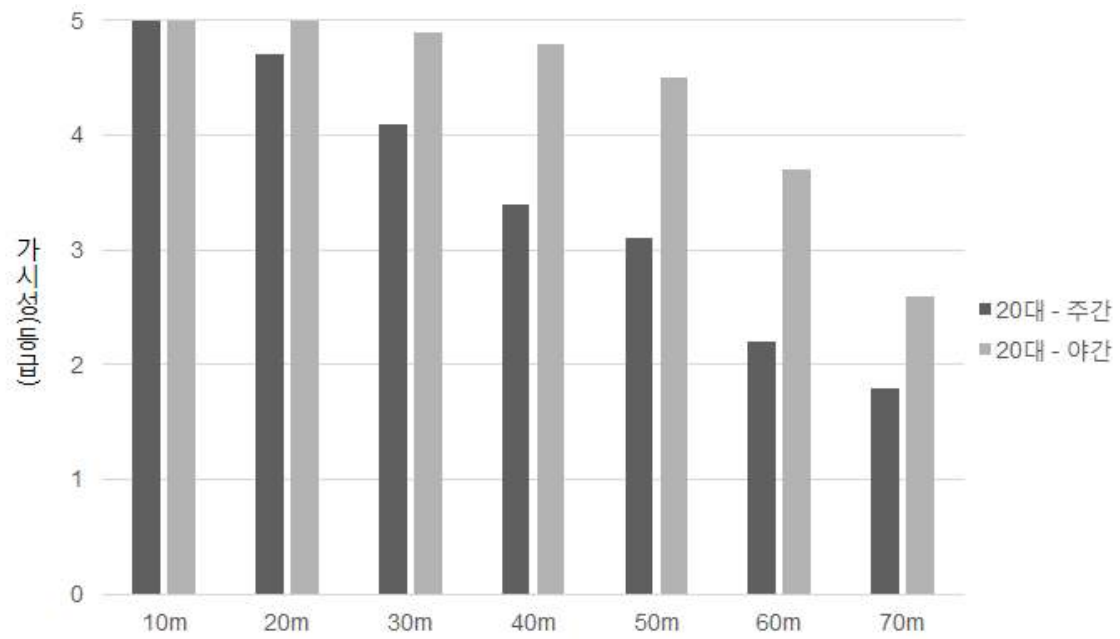


(b) 10대 실험참가자의 거리별 LED 불빛 감지 여부 결과

[그림 5] 10대 실험 참가자의 거리별 불빛 감지 여부 결과

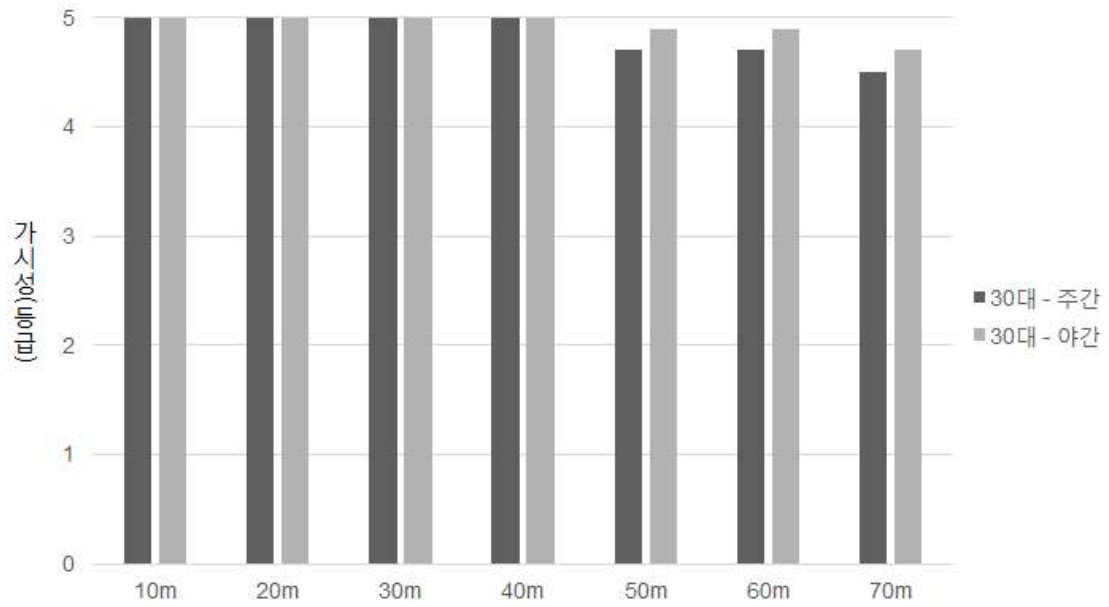


(a) 20대 실험참가자의 거리별 FOLED 불빛 감지 여부 결과

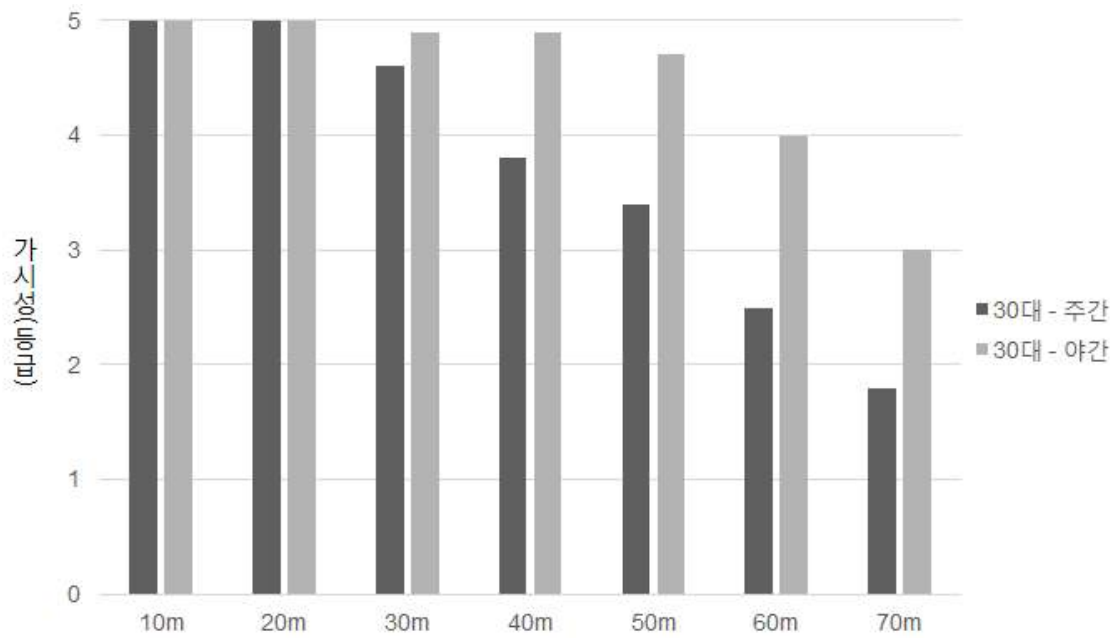


(b) 20대 실험참가자의 거리별 LED 불빛 감지 여부 결과

[그림 6] 20대 실험 참가자의 거리별 불빛 감지 여부 결과

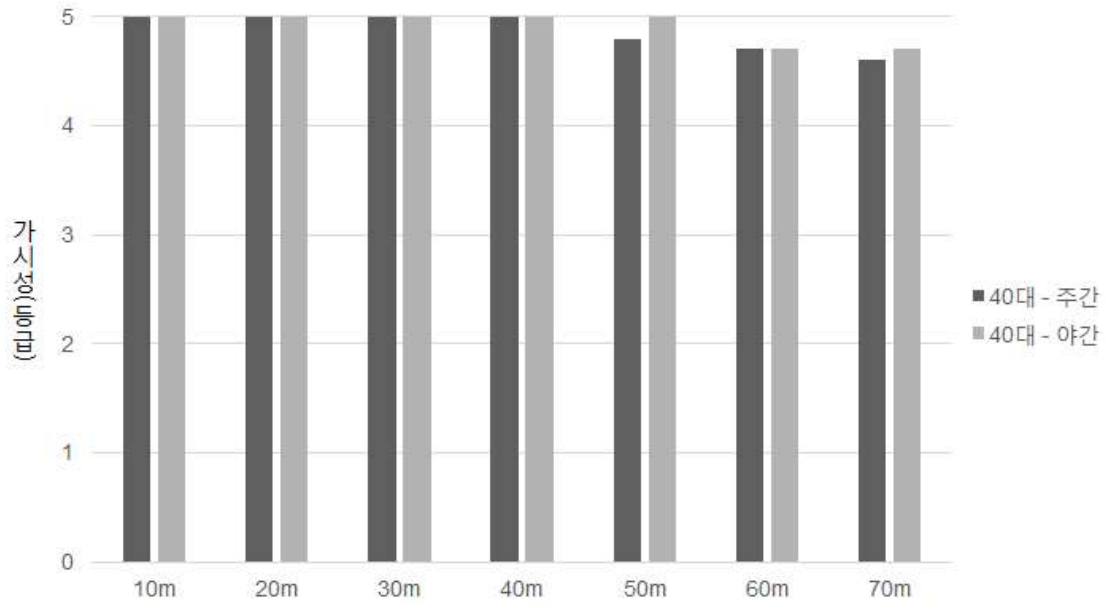


(a) 30대 실험참가자의 거리별 FOLED 불빛 감지 여부 결과

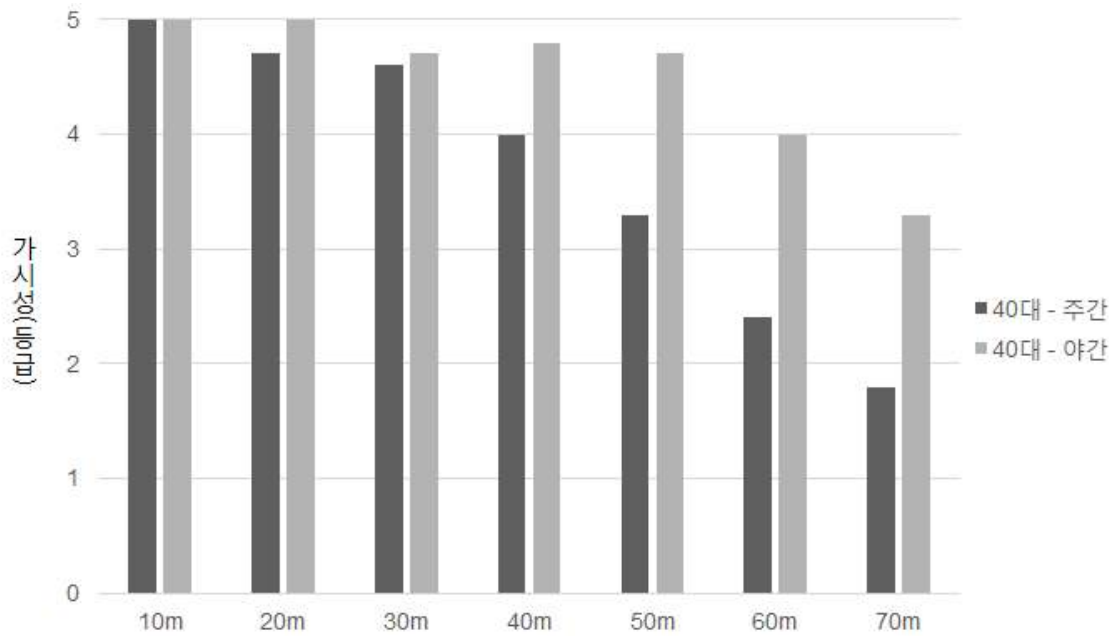


(b) 30대 실험참가자의 거리별 LED 불빛 감지 여부 결과

[그림 7] 30대 실험 참가자의 거리별 FOLED 불빛 감지 여부 결과

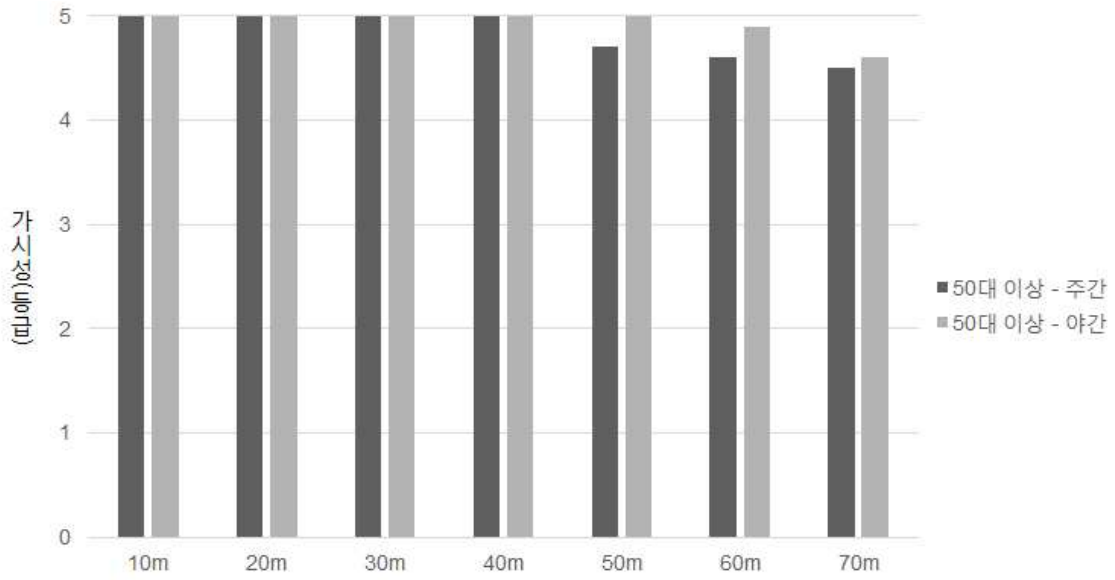


(a) 40대 실험참가자의 거리별 FOLED 불빛 감지 여부 결과

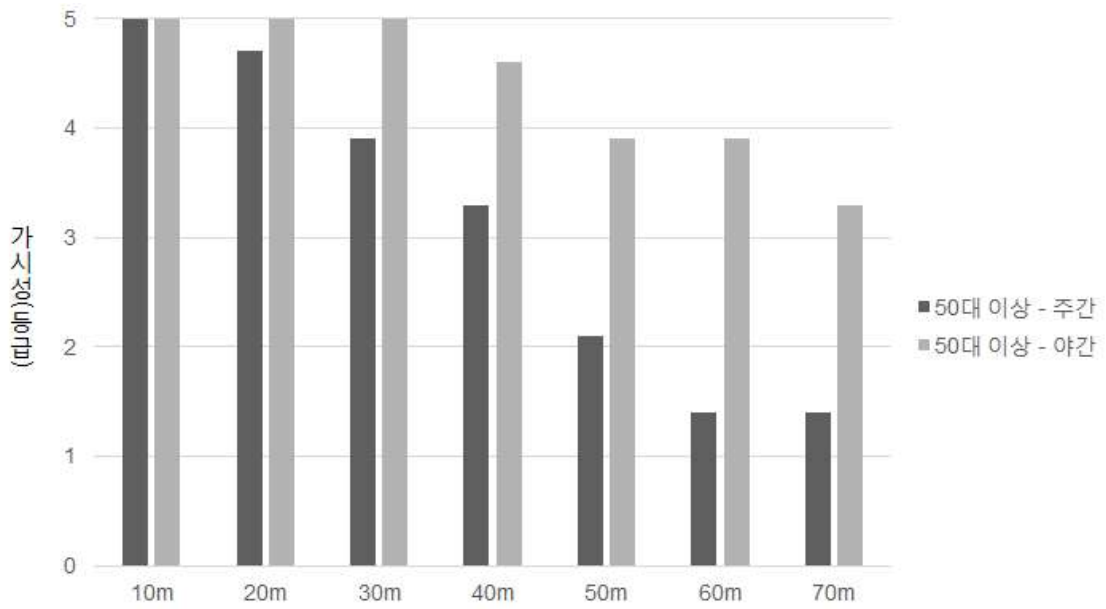


(b) 40대 실험참가자의 거리별 LED 불빛 감지 여부 결과

[그림 8] 40대 실험 참가자의 거리별 불빛 감지 여부 결과



(a) 50대 이상 실험참가자의 거리별 FOLED 불빛 감지 여부 결과



(b) 50대 이상 실험참가자의 거리별 LED 불빛 감지 여부 결과

[그림 9] 50대 이상 실험 참가자의 거리별 불빛 감지 여부 결과

2) 거리에 따른 FOLED와 LED 방향 지시 감지 여부 결과

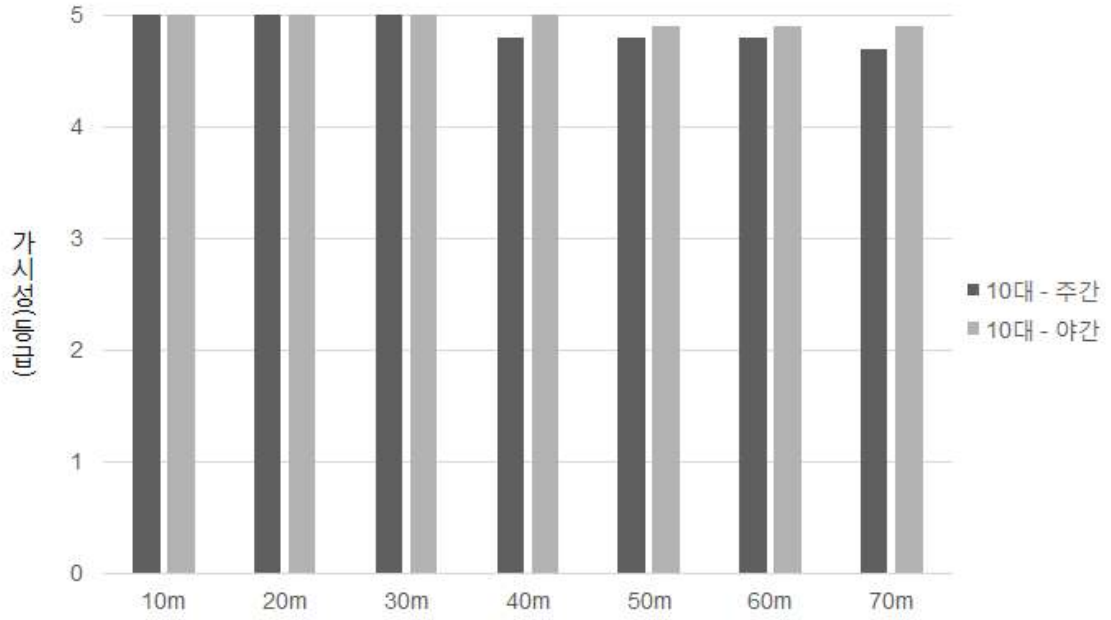
거리에 따른 방향 지시 감지 여부에 대한 연령대 전체의 평균값을 나타낸 아래의 <표 7>을 보면 FOLED의 경우는 30 m까지는 5.0점을 나타내었고 30 m 이후부터 불빛 감지가 조금씩 저하되고 있지만 점수 감소폭이 매우 작으며 전체적으로 주간과 야간 구분 없이 매우 우수한 결과를 나타내었다. 반면 LED의 경우는 40 m 거리에서 부터는 주간 점수가 3.8점으로 감소하기 시작하고 70 m에서는 주간 1.7점, 야간 2.2점으로 큰 폭으로 저하되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 각 연령대별 결과를 나타낸 [그림 10]-[그림 14]를 보면 연령에 관계없이 FOLED는 우수한 결과를 나타내고 있지만 LED의 경우는 거리가 증가할수록 방향 지시 감지가 급격히 저하되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 불빛 감지 실험과 동일하게 <표 1>의 FOLED와 LED의 차이점 중 형태 내용에서 언급한 바와 같이 FOLED는 광섬유를 이식하여 세부적인 발광형태가 가능하지만 LED는 부분적인 발광 형태를 사용하고 있어 빛 퍼짐 현상이 발생하기 때문이라고 판단된다. 특히, 야간의 경우 방향 지시

감지가 더 우수한 것으로 나타났다. 또한 <표 3>의 실험참가자들의 시력 평균값을 보면 나이가 증가함에 따라 시력 값이 조금씩 저하되는 것을 확인할 수 있다. 하지만 개인적인 시력의 차이가 크지 않으므로 개인 시력에 관계없이 주간과 야간 모두 FOLED의 방향 지시 표시를 쉽게 감지할 수 있고 LED 보다도 방향 지시 표시 감지가 더 우수하다는 결과를 확인할 수 있었다.

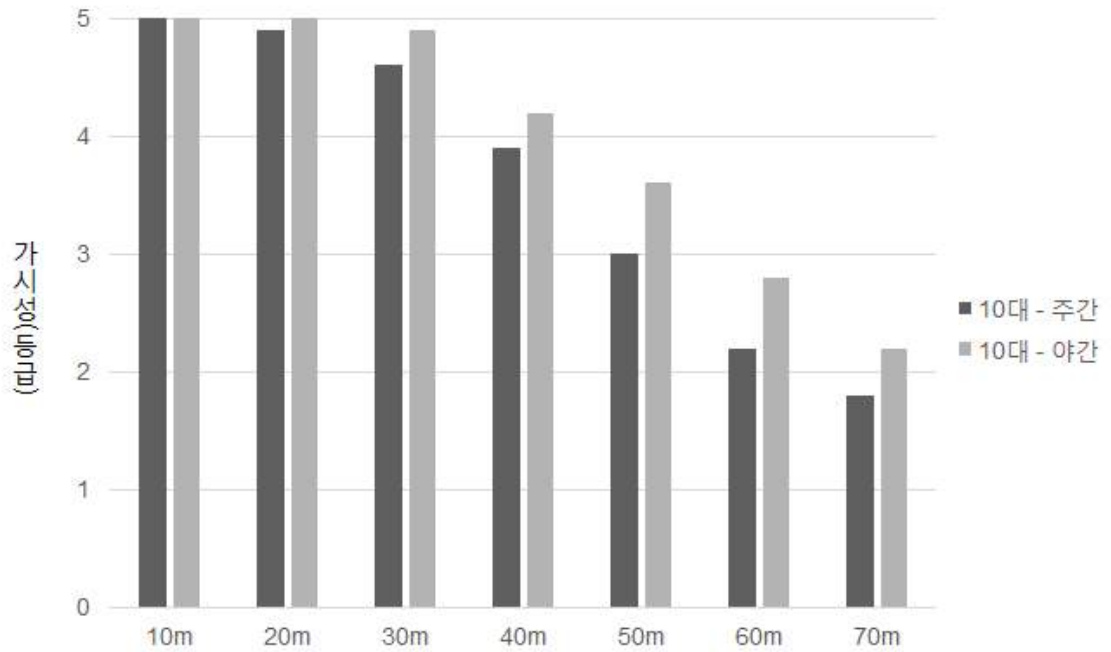
<표 7> 연령대별 실험 참가자의 거리별 FOLED와 LED 방향 지시 감지 여부 결과 평균 값 (단위 : m, 점)

실험 거리	FOLED 가방		LED 가방	
	주간	야간	주간	야간
10	5.0	5.0	5.0	5.0
20	5.0	5.0	4.8	5.0
30	5.0	5.0	4.5	4.7
40	4.8	4.9	3.8	4.2
50	4.8	4.9	2.9	3.7
60	4.7	4.8	2.2	2.9
70	4.3	4.6	1.7	2.2
평균	4.8	4.9	3.6	4.0

* 거리별 실험 참가자 각 연령별 10명의 결과에 대한 평균값임

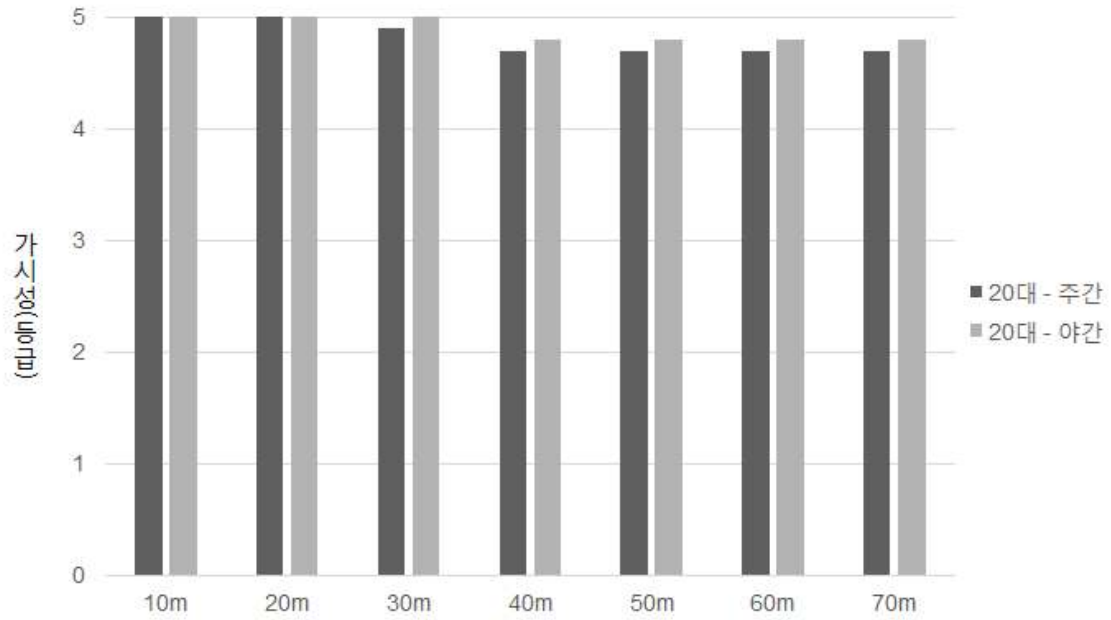


(a) 10대 실험참가자의 거리별 FOLED 방향 지시 감지 여부 결과

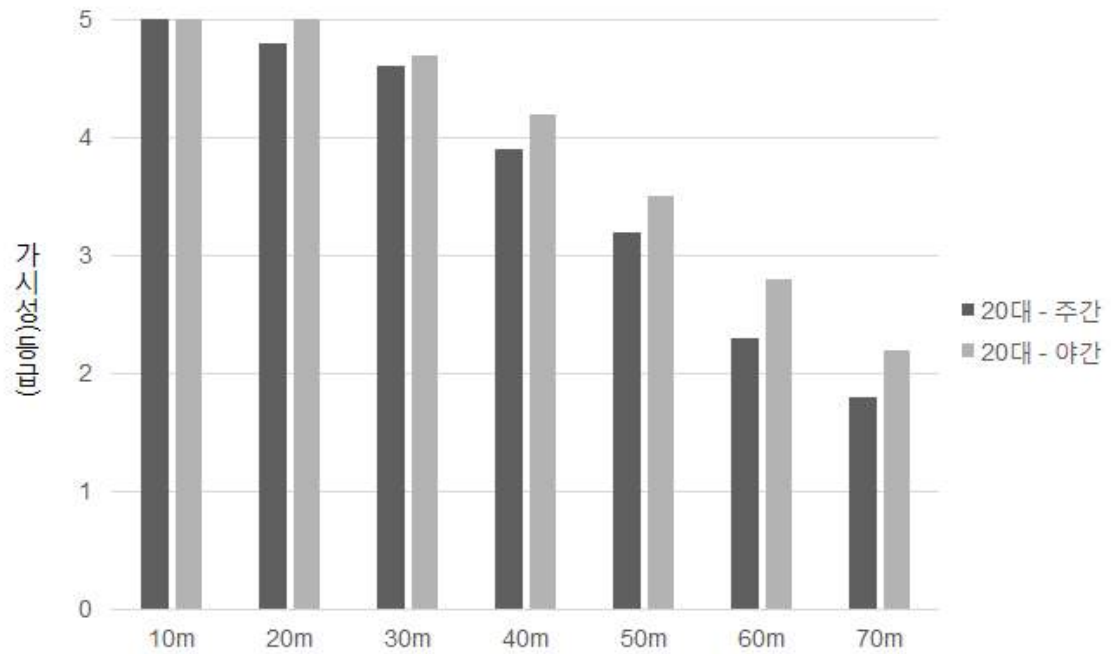


(b) 10대 실험참가자의 거리별 LED 방향 지시 감지 여부 결과

[그림 10] 10대 실험 참가자의 거리별 방향 지시 감지 여부 결과

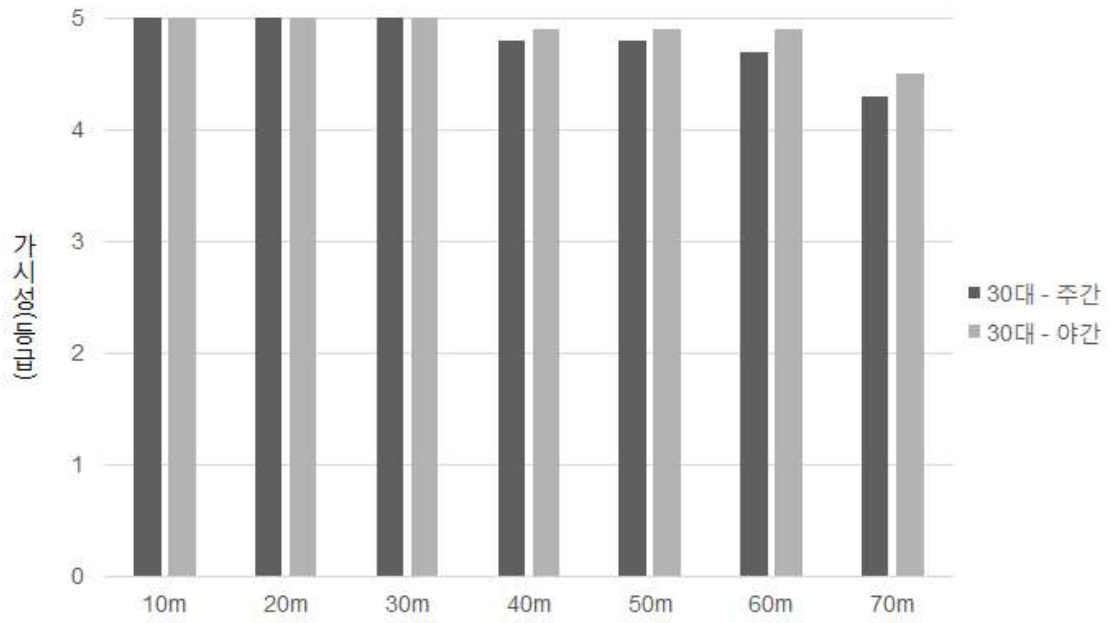


(a) 20대 실험참가자의 거리별 FOLED 방향 지시 감지 여부 결과

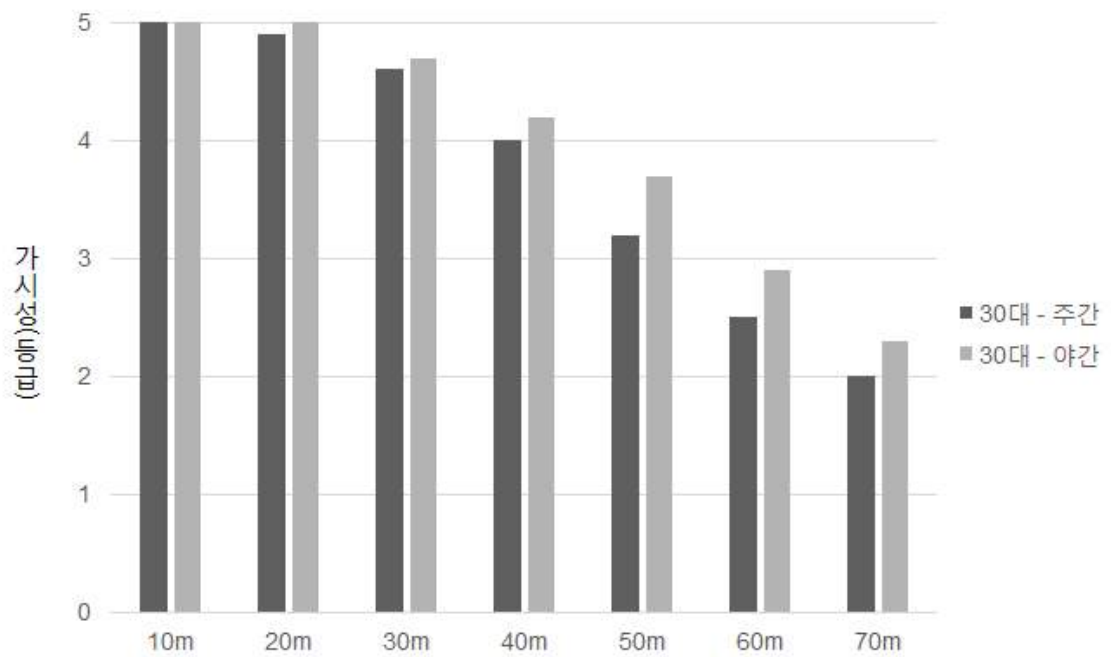


(b) 20대 실험참가자의 거리별 LED 방향 지시 감지 여부 결과

[그림 11] 20대 실험 참가자의 거리별 방향 지시 감지 여부 결과

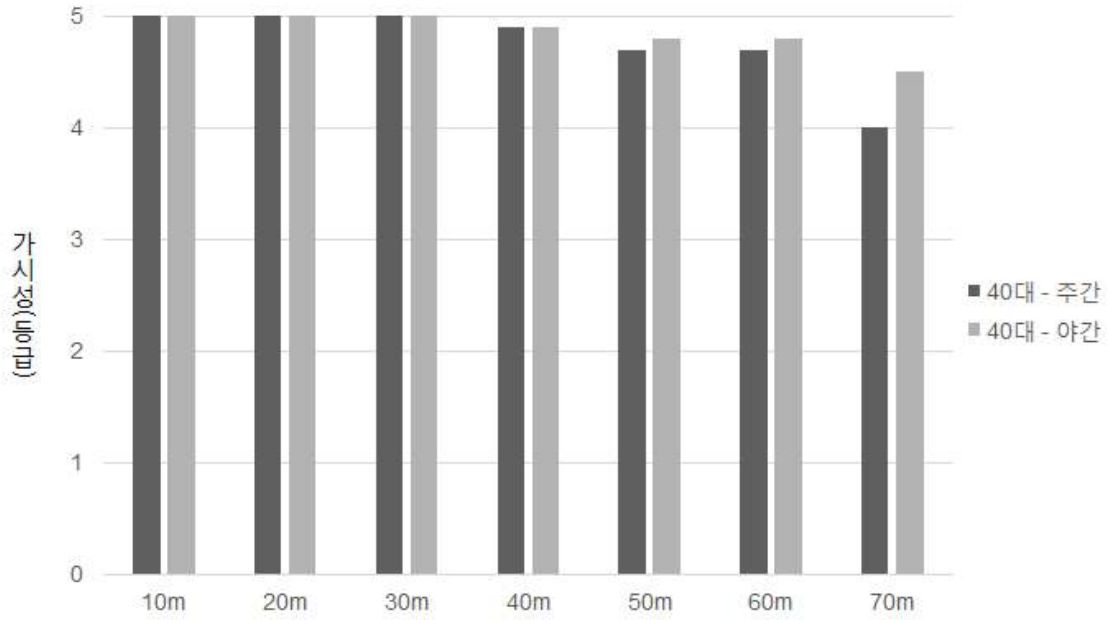


(a) 30대 실험참가자의 거리별 FOLED 방향 지시 감지 여부 결과

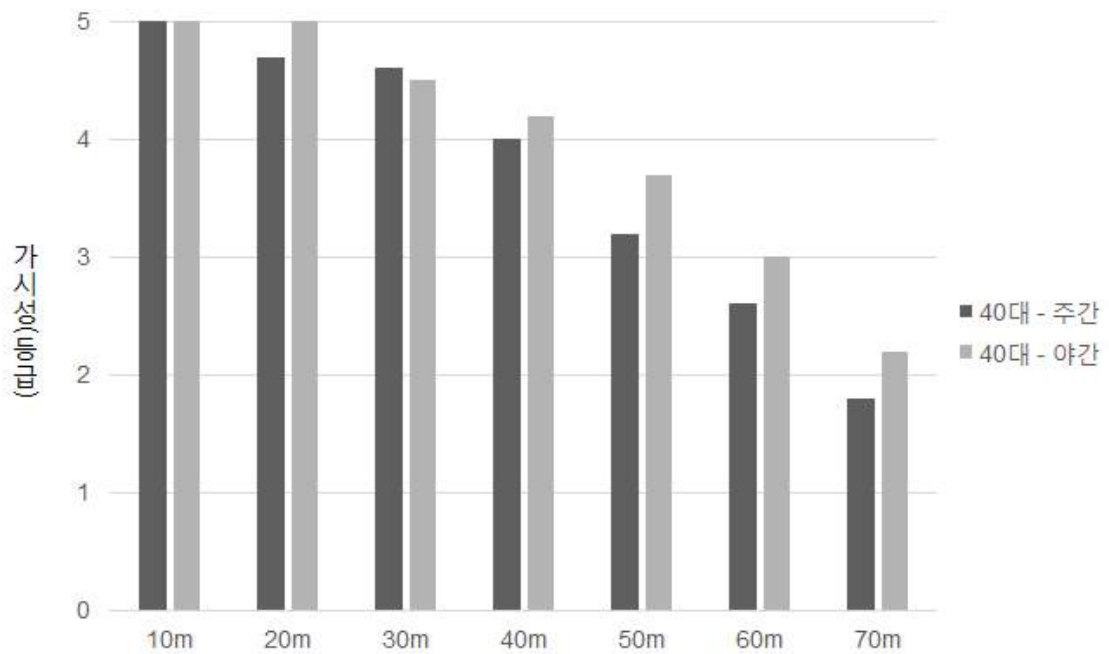


(b) 30대 실험참가자의 거리별 LED 방향 지시 감지 여부 결과

[그림 12] 30대 실험 참가자의 거리별 방향 지시 감지 여부 결과

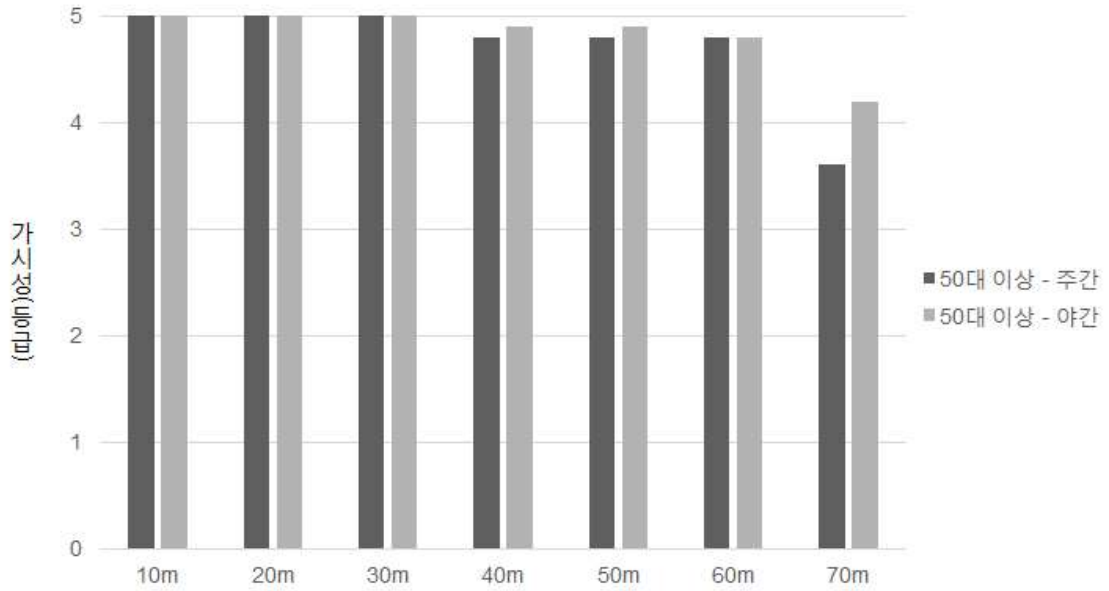


(a) 40대 실험참가자의 거리별 FOLED 방향 지시 감지 여부 결과

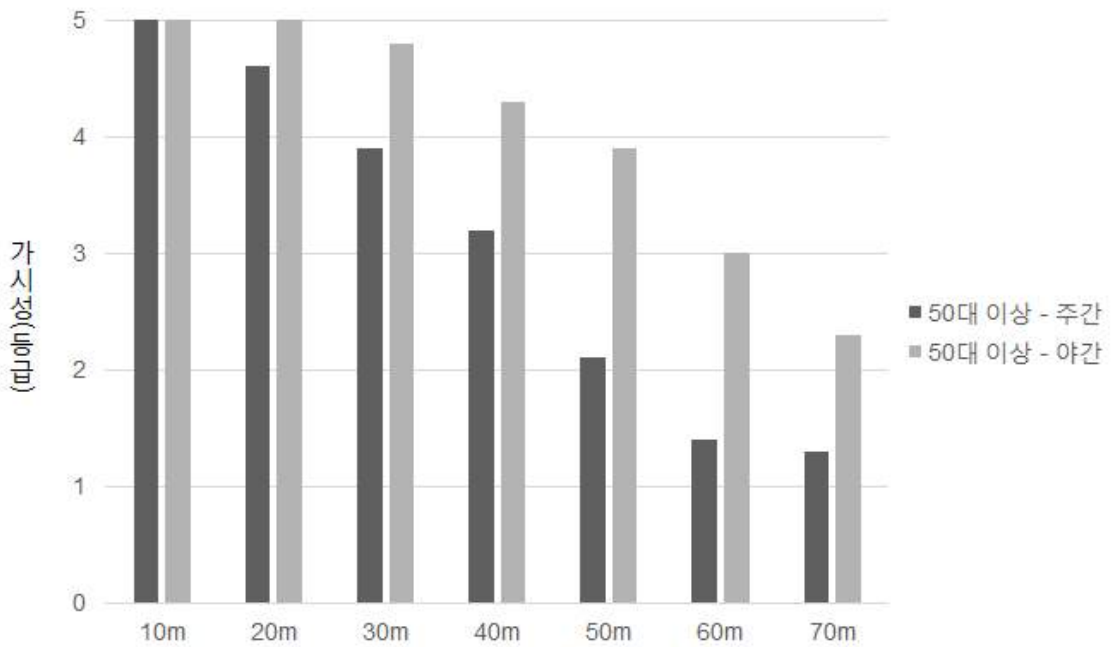


(b) 40대 실험참가자의 거리별 LED 방향 지시 감지 여부 결과

[그림 13] 40대 실험 참가자의 거리별 방향 지시 감지 여부 결과



(a) 50대 이상 실험참가자의 거리별 FOLED 방향 지시 감지 여부 결과



(b) 50대 이상 실험참가자의 거리별 LED 방향 지시 감지 여부 결과

[그림 14] 50대 이상 실험 참가자의 거리별 방향 지시 감지 여부 결과

3) 거리에 따른 FOLED와 LED 픽토그램 감지 여부 결과

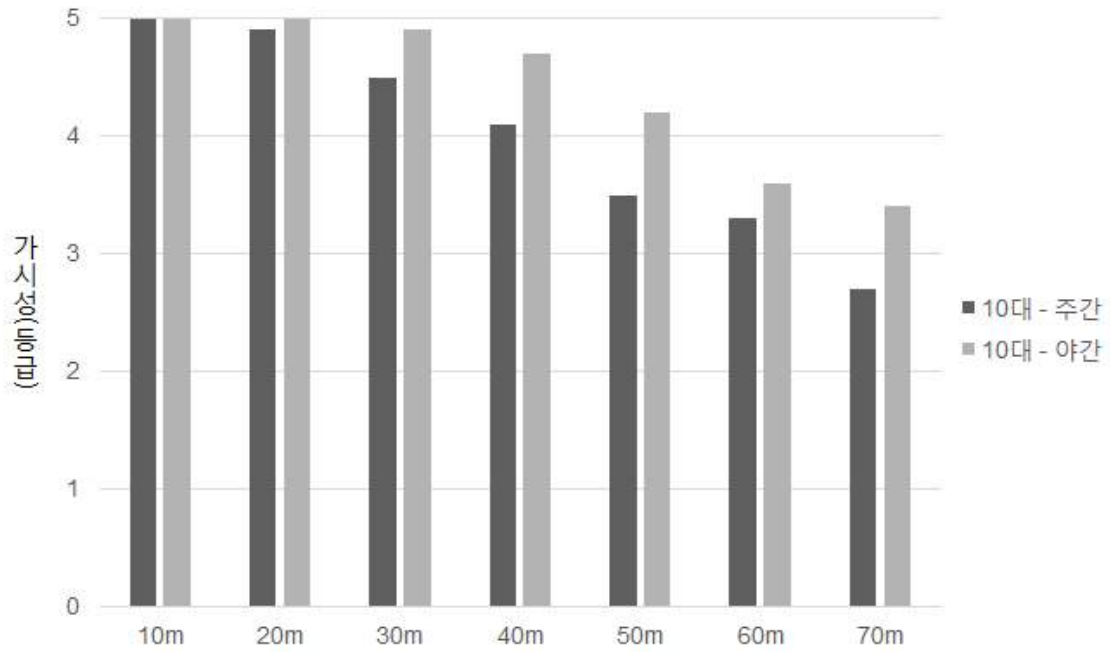
거리에 따른 픽토그램 감지 여부에 대한 연령대 전체의 평균값을 나타낸 아래의 <표 8>을 보면 FOLED의 경우는 10 m이후부터 픽토그램 인식이 조금씩 저하되었다. 그리고 50 m부터는 주간과 야간 구분 없이 픽토그램 인식이 큰 폭으로 저하되는 것을 확인할 수 있었다. LED의 경우는 FOLED와 비교하여 10 m 거리에서부터 낮은 시인성을 나타냈고 50m부터는 픽토그램 인식이 불가능한 것을 확인할 수 있었다. 또한 각 연령대별 결과를 나타낸 [그림 15]~[그림 19]를 보면 이러한 결과를 알 수 있다. 픽토그램 디자인 식별 역시 불빛 감지 실험이나 방향 지시 감지 실험과 동일하게 <표 1>의 FOLED와 LED의 차이점 중 형태 내용에서 언급한 바와 같이 FOLED는 광섬유를 이식하여 세부적인 발광형태가 가능하지만 LED는 부분적인 발광 형태를 사용하고 있어 빛 퍼짐 현상이 발생하기 때문이라고 판단된다. 또한 <표 3>의 실험참가자들의 시력 평균값을 보면 나이가 증가함에 따라 시력 값이 조금씩 저하되는 것을

확인할 수 있다. 하지만 개인적인 시력의 차이가 크지 않으므로 개인 시력에 관계없이 주간과 야간 모두 FOLED의 픽토그램 디자인을 쉽게 감지할 수 있고 LED 보다는 픽토그램 디자인 감지가 더 우수하다는 결과를 확인할 수 있었다.

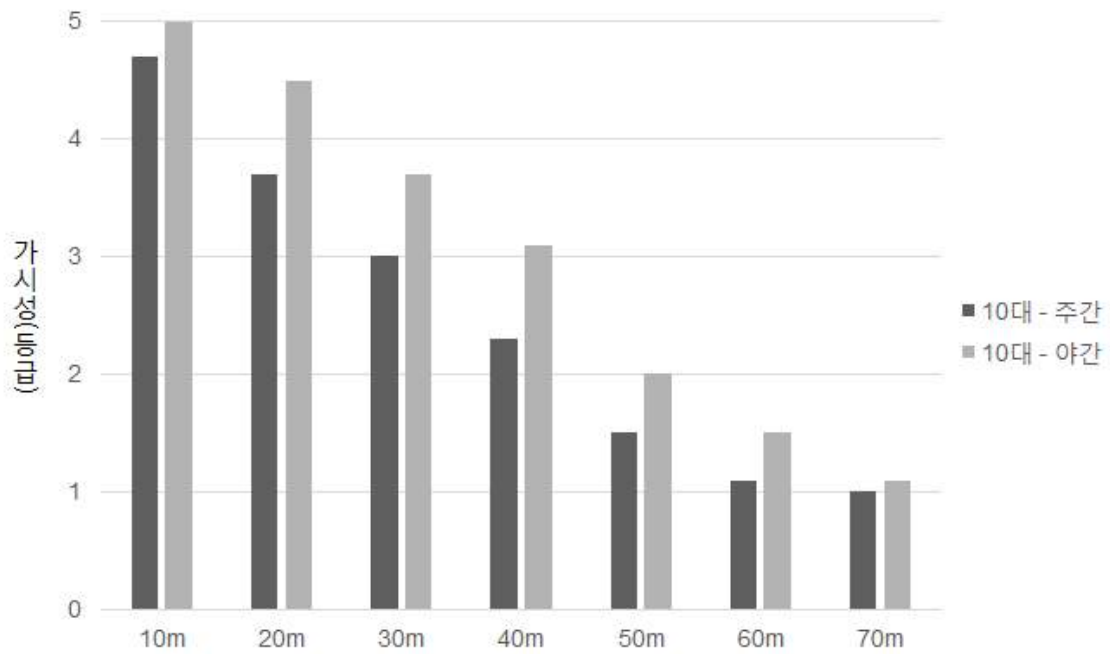
<표 8> 연령대별 실험 참가자의 거리별 FOLED와 LED 픽토그램 감지 여부 결과 평균 값 (단위 : m, 점)

실험 거리	FOLED 가방		LED 가방	
	주간	야간	주간	야간
10	5.0	5.0	3.9	4.8
20	4.9	4.9	3.6	4.1
30	4.4	4.6	2.7	3.2
40	3.8	4.2	2.2	2.9
50	3.2	3.8	1.3	1.8
60	2.6	3.1	1.0	1.3
70	2.0	2.6	1.0	1.0
평균	3.7	4.0	2.3	2.7

* 거리별 실험 참가자 각 연령별 10명의 결과에 대한 평균값임

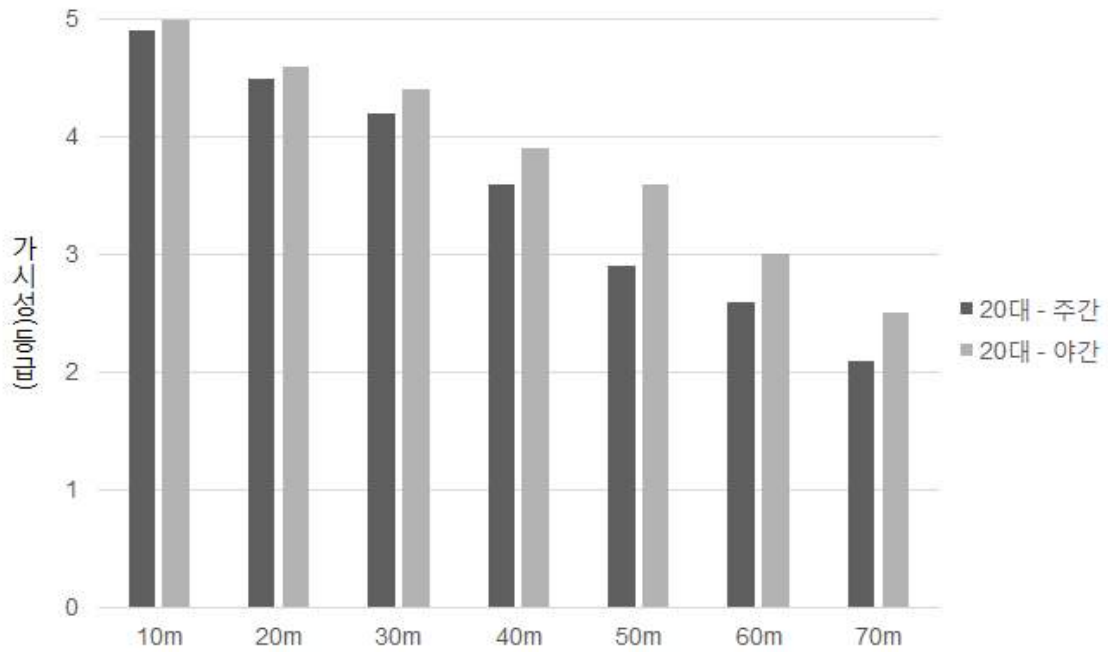


(a) 10대 실험참가자의 거리별 FOLED 픽토그램 디자인 인식 여부 결과

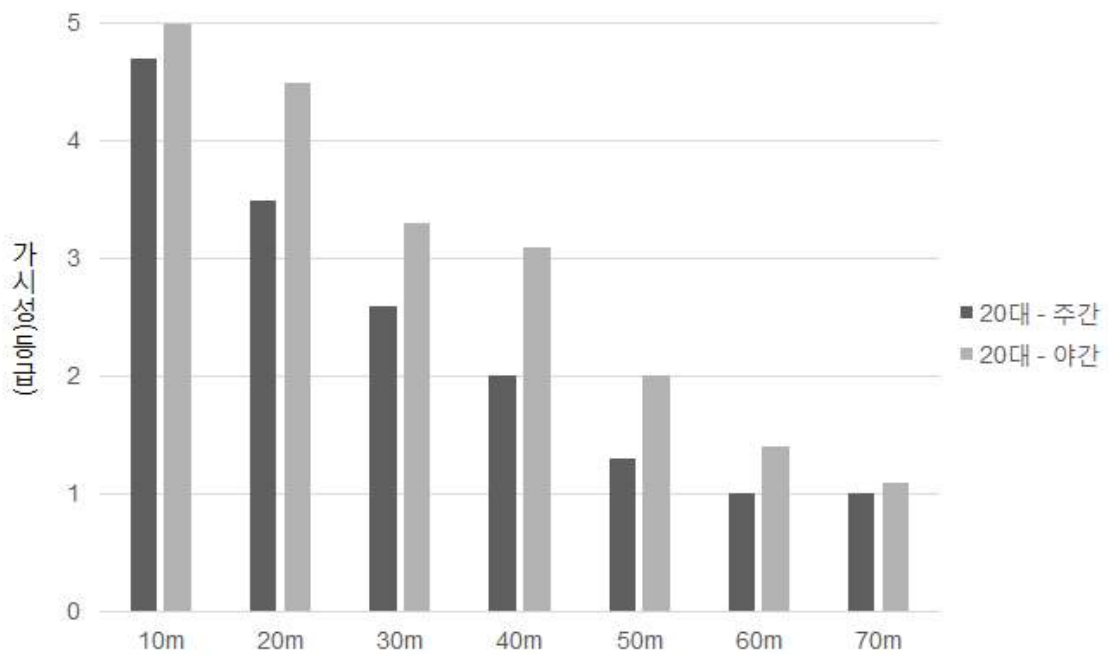


(b) 10대 실험참가자의 거리별 LED 픽토그램 디자인 인식 여부 결과

[그림 15] 10대 실험 참가자의 거리별 픽토그램 디자인 감지 여부 결과

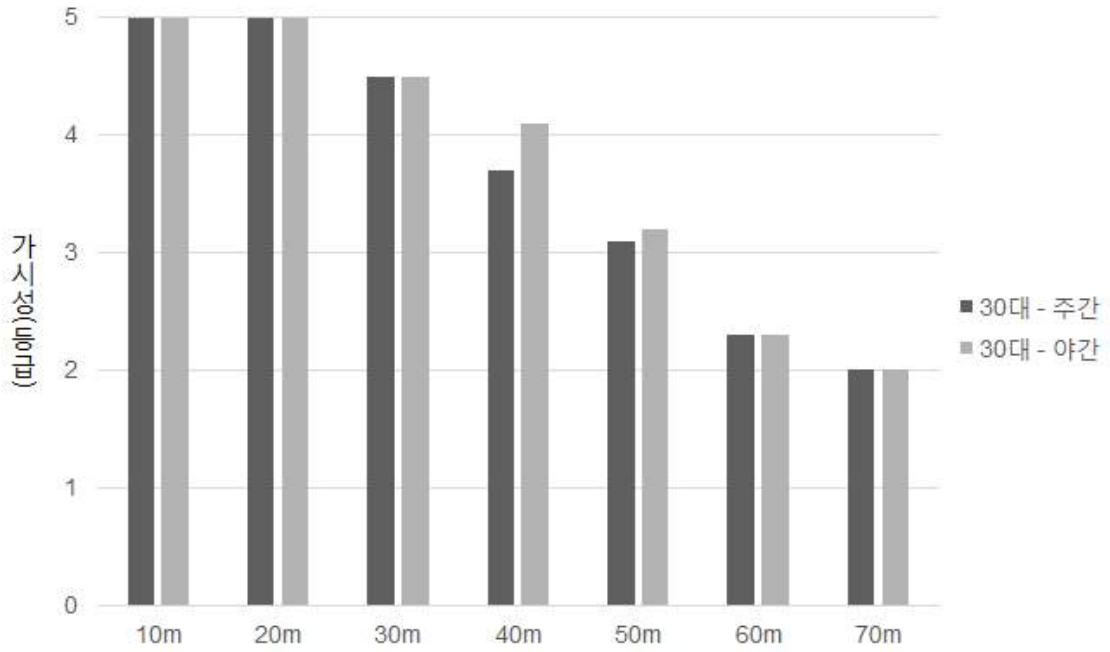


(a) 20대 실험참가자의 거리별 FOLED 픽토그램 디자인 인식 여부 결과

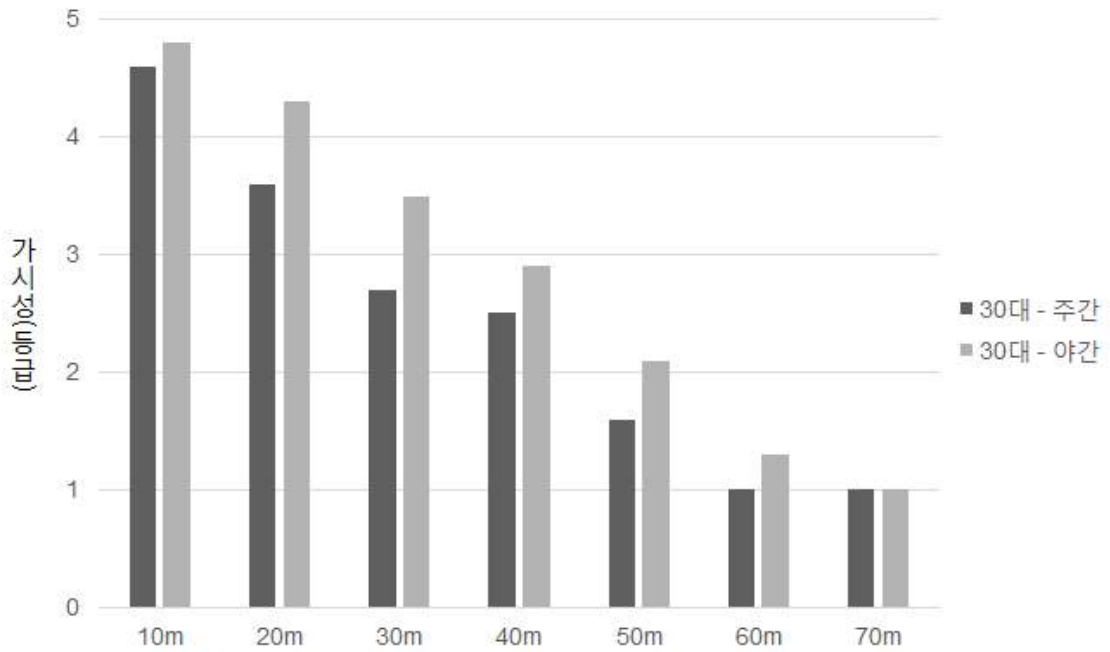


(b) 20대 실험참가자의 거리별 LED 픽토그램 디자인 인식 여부 결과

[그림 16] 20대 실험 참가자의 거리별 픽토그램 디자인 감지 여부 결과

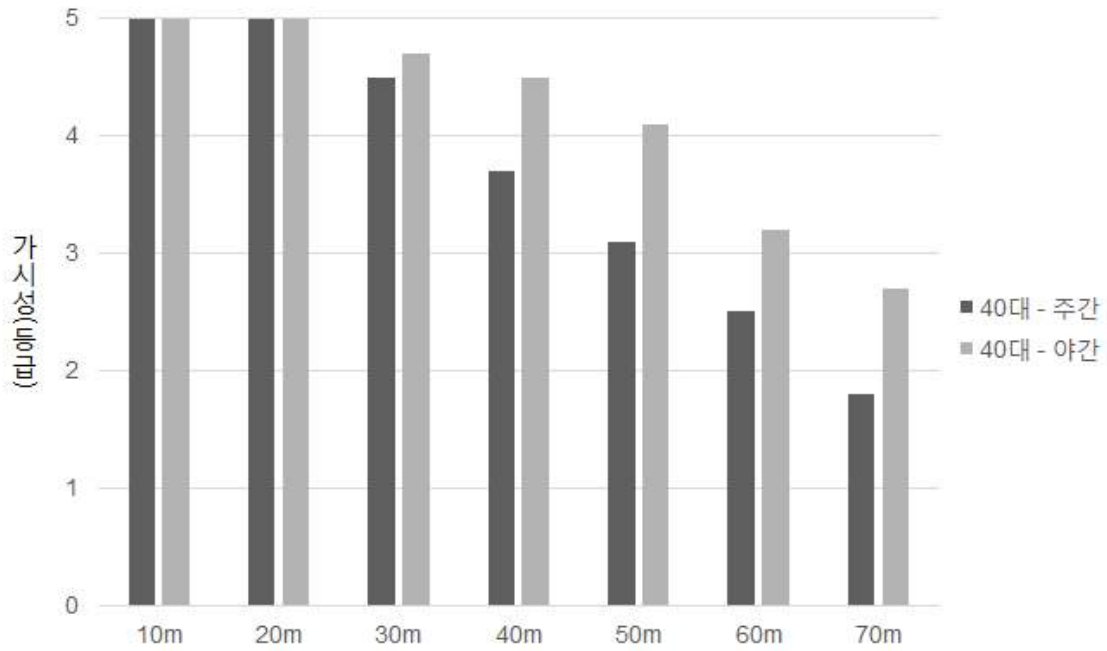


(a) 30대 실험참가자의 거리별 FOLED 픽토그램 디자인 인식 여부 결과

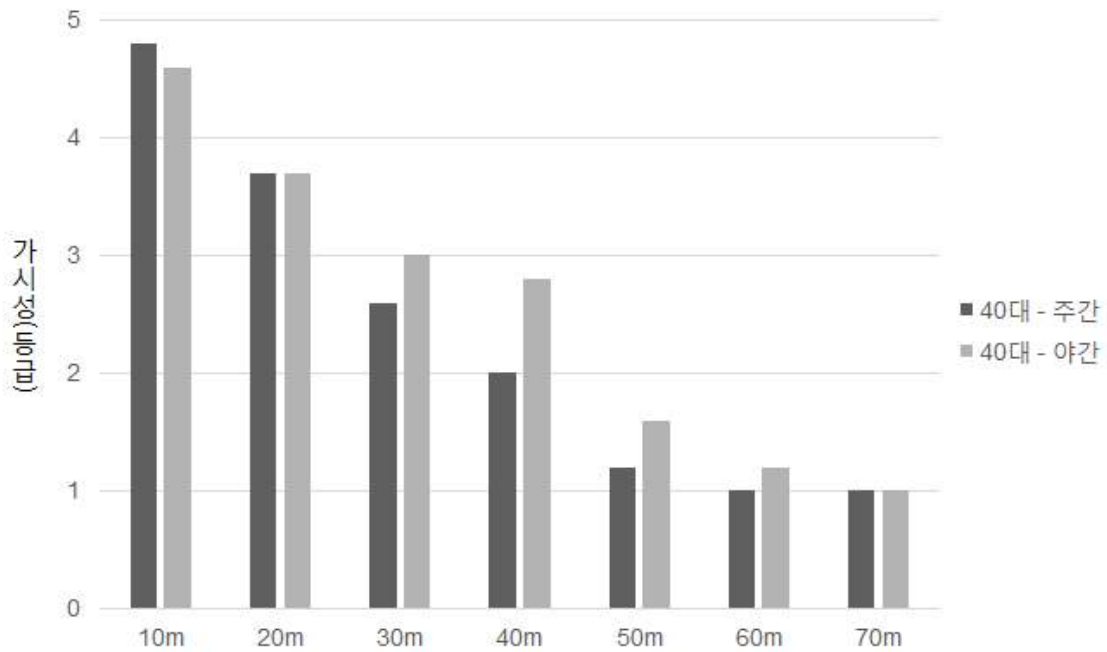


(b) 30대 실험참가자의 거리별 LED 픽토그램 디자인 인식 여부 결과

[그림 17] 30대 실험 참가자의 거리별 픽토그램 디자인 감지 여부 결과

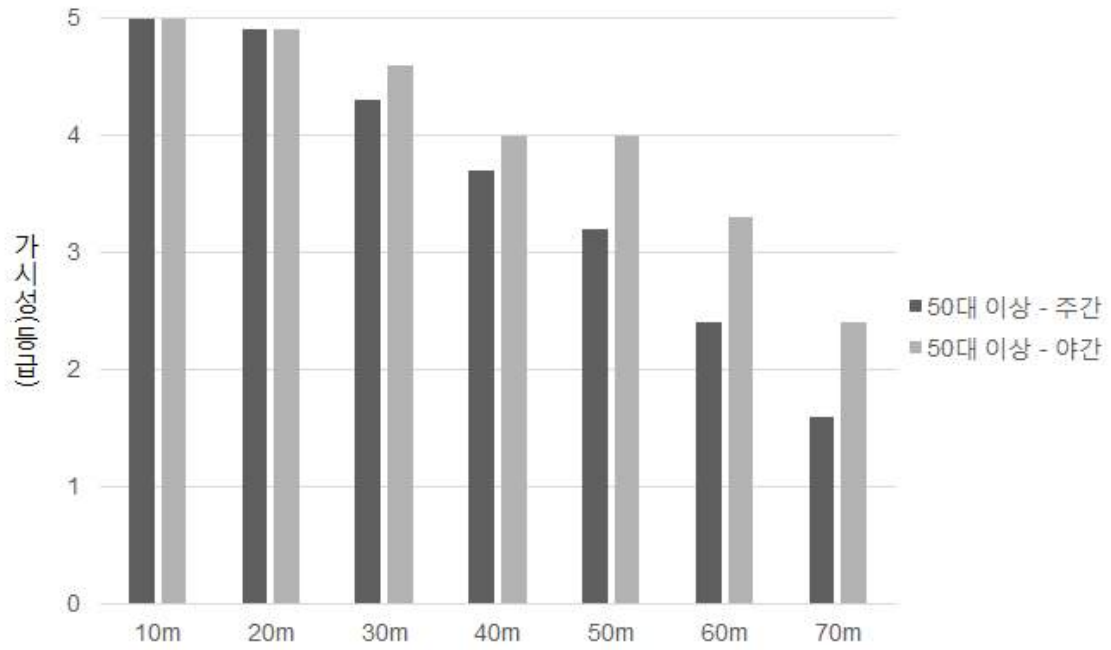


(a) 40대 실험참가자의 거리별 FOLED 픽토그램 디자인 인식 여부 결과

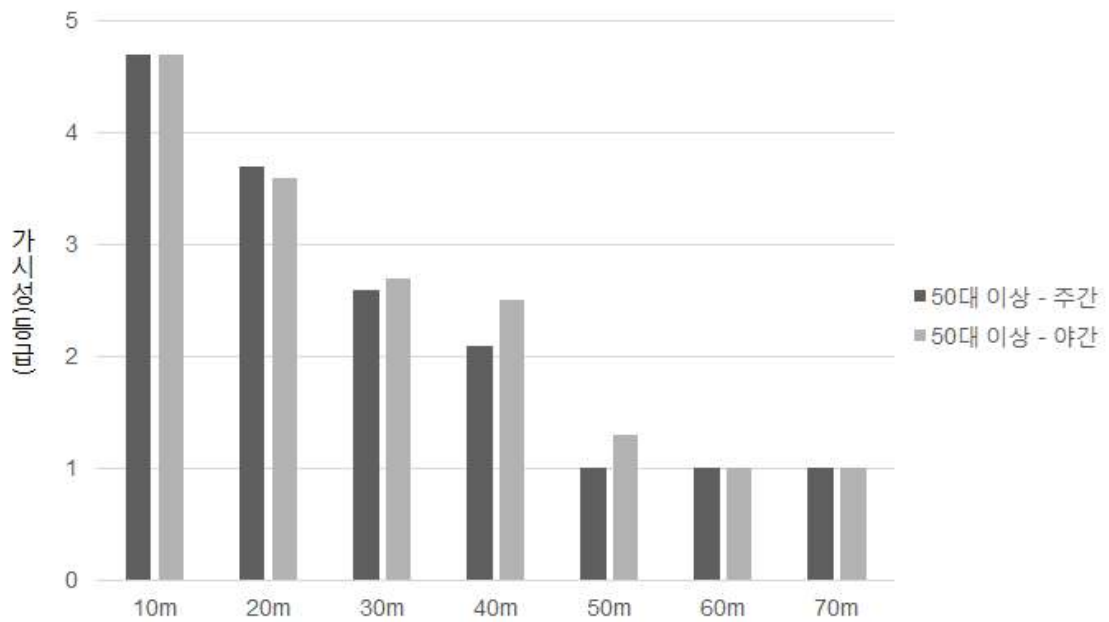


(b) 40대 실험참가자의 거리별 LED 픽토그램 디자인 인식 여부 결과

[그림 18] 40대 실험 참가자의 거리별 픽토그램 디자인 감지 여부 결과



(a) 50대 이상 실험참가자의 거리별 FOLED 픽토그램 디자인 인식 여부 결과



(b) 50대 이상 실험참가자의 거리별 LED 픽토그램 디자인 인식 여부 결과

[그림 19] 50대 실험 참가자의 거리별 픽토그램 디자인 감지 여부 결과

2. 자동차 주행 중 가시성 실험 결과

300 m를 시속 40 km로 주행하면서 FOLED의 불빛 감지 시간을 확인해 본 결과, <표 9>와 <표 10>에 나타난 것과 같이 주간과 야간 모두 시속 40 km의 정지시간인 2.5 sec 이상으로 우수한 결과가 나타났다. 주간과 야간의 불빛 감지 시간은 대략 2배 정도가 차이가 났으며 야간의 불빛 감지가 더 빠른 것을 확인할 수 있었다. 또한, 연령대가 높아질수록 불빛 감지가 더 느린 것을 알 수 있었다. 하지만 50대 이상의 실험참가자들의 경우도 불빛 감지 결과가 모두 정지시간 2.5 sec 이상의 우수한 결과를 나타내었다. 개인적인 시력의 차이가 크지 않으므로 연령과 개인 시력에 관계없이 주간과 야간 모두 FOLED의 불빛을 확인할 수 있다는 결과를 나타내었다. 결과는 식.1에 대입하여 계산하였다.

IV. 결론

본 연구는 10대, 20대, 30대, 40대, 50대 이상의 50명을 대상으로 마이크로 모빌리티 사용자의 안전 증대 가방에 적용된 FOLED 소재를 적용한 가방과 기존의 LED가 적용된 가방의 거리별 가시성과 차량 주행 중의 가시성이 주간 및 야간 각각 어느 정도인지 비교하는 실증 시험을 진행하여 확인하는 것이었다. 본 연구를 통하여 확인된 가시성 확인 결론은 다음과 같다.

실험 진행 결과들을 종합해 보면 현재 지속적으로 높아지고 있는 마이크로 모빌리티 사용자와 이에 따른 사고 비율의 증가를 줄이기 위하여 안전장치를 착용하는 것이 좋은 방법으로 예상되고 있다. 대표적인 것으로는 재귀반사 필름을 활용한 방법과 LED 발광체가 부착된 가방이나 의류 착용이 있다(Kang & Lee, 2017; Miyake et al., 2019).

<표 9> 주간 주행 실험 참가자의 결과 평균 값 (단위 : sec.)

연령대	총소요시간(A)	측정시간(B)	정지시간(C)	계산	결과
10	28.73	14.21	2.5	12.01	>2.5
20	28.73	14.73	2.5	11.49	>2.5
30	28.73	18.18	2.5	8.04	>2.5
40	28.73	18.60	2.5	7.62	>2.5
50 이상	28.73	19.96	2.5	6.26	>2.5
평균	-	17.13	-	9.08	>2.5

* 연령 별 및 연령 전체 평균값임

<표 10> 야간 주행 실험 참가자의 결과 평균 값 (단위 : sec.)

연령대	총소요시간(A)	측정시간(B)	정지시간(C)	계산	결과
10	28.73	8.88	2.5	17.34	>2.5
20	28.73	9.69	2.5	16.84	>2.5
30	28.73	9.77	2.5	16.45	>2.5
40	28.73	9.81	2.5	16.41	>2.5
50 이상	28.73	10.88	2.5	15.34	>2.5
평균	-	9.80	-	16.47	>2.5

* 연령 별 및 연령 전체 평균값임

이중 채귀반사의 경우는 직접적인 빛을 받아야만 반사물질의 반사 기능을 활용할 수 있으며 LED 발광체 부착 제품의 경우는 섬세한 표현이 어렵고 빛 퍼짐 현상이 발생할 수 있어 가시성이 매우 좋지 않은 편이며 충전 효율성도 좋지 않은 편이다. 하지만 본 연구에서 사용한 FOLED 소재는 광섬유를 자수하여 발광체로 사용하기 때문에 매우 섬세한 문양의 표현이 가능하며 선명한 발광으로 인하여 가시성이 매우 좋아 먼 거리에서도 식별이 가능하며 충전 효율성도 매우 좋기 때문에 사용성이 매우 좋을 것으로 판단된다. 또한 실험 결과에서 보면 기존의 LED 소재와 비교하여 더 우수한 가시성을 나타낸다는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 FOLED 소재를 적용한 가방이나 의류 제품을 착용하고 마이크로 모빌리티 사용을 한다면 실험 결과와 같이 우수한 가시성으로 인하여 안전성이 충분히 확보 될 것으로 판단된다.

본 연구에서는 자동차 주행 가시성 실험 진행에서 공간의 제약이 있어 동적 상태의 실험을 진행하지 못하고 정지 상태에서 진행하였으나 향후 추가적으로 동적 상태의 실험을 진행하여 지속적인 연구를 진행할 예정이다.

주제어: 마이크로 모빌리티, LED, FOLED, 가시성, 광섬유 발광체

REFERENCES

- 김원희, 손영섭(2019). 마이크로 e-모빌리티 동향. *전기의세계*, 68(4), 25-29.
- 김동규(2015). LED광원과 광섬유를 이용하여 문자 및 문양표시부와 방향표 시부를 발광시키는 도로표지 및 교통안전표지 제작 기술 (발광형 광섬유 표지판 제작 기술). *대한토목학회지*, 63(5), 125-128.
- 김도희, 정재연, 이주영(2019). 농연 및 화염 손상 환경에서 소방복의 가시성 평가. *한국생활환경학회지*, 26(3), 358-373.
- 김우찬, 배치성, 조동호, 신홍석... 이영민(2009). 가시광 무선랜 시스템을 위한 효율적인 가시성 확보 방안. *한국통신학회지(정보와통신)*, 26(5), 36-42.
- 박진희, 김주용(2019). LED를 이용한 e-textiles 개발과 소프트웨어의 적용에 관하여. *한국의상디자인학회지* 21(1), 103-113.
- 이현영(2010). 시판 야간 안전복의 기능성 및 가시성 평가. *한국생활과학회지*, 19(6), 1053-1062.
- 이주현, 박수진, 박선형(2009). 광섬유 기반 스마트 포토닉 스포츠 의류의 모듈화 디자인 연구. *감성과학*, 12(4), 393-402.
- Ali, K. A., Baala, O., & Caminada, A. (2014). On the spatiotemporal traffic variation in vehicle mobility modeling. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 64(2), 652-667.
- Jettanasen, C., Songsukthawan, P., & Ngaopitakkul, A. (2020). Development of Micro-Mobility Based on Piezoelectric Energy Harvesting for Smart City Applications. *Sustainability*, 12(7), 2933.
- Kang, M., & Lee, S. (2017). Visibility evaluation of various retroreflective fabric types and LED position on safety life jacket. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 41(2), 352-361.
- Madapur, B., Madangopal, S., & Chandrashekar, M. N. (2020). Micro-Mobility Infrastructure for Redefining Urban Mobility. *European Journal of Engineering Science and Technology*, 3(1), 71-85.
- Miyake, K., Ota, S., Shigematsu, D., Ohkusa, K., Ikeda, Y., & Jinno, M. (2019). Visibility Improvement in Expressway Tunnels by Optimizing the Color Temperature and Light Distribution of the Pulse-operated LED Luminaires. *Journal of Science and Technology in Lighting*, 42, 22-28.
- Tuncer, S., & Brown, B. (2020, April). E-scooters on the Ground: Lessons for Redesigning Urban Micro-Mobility. *In Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1-14.

Received 9 November 2020;

1st Revised 11 December 2020;

Accepted 15 December 2020