

# 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 변환빔 전조등 조사거리에 관한 연구

조 현 울<sup>1)</sup> · 이 호 상<sup>2)</sup> · 용 부 중<sup>\*1)</sup> · 우 현 구<sup>1)</sup>

경일대학교 대학원 기계공학과<sup>1)</sup> · 한양대학교 산업경영공학과<sup>2)</sup>

## Analysis of the Irradiation Distance of Dipped-beam Headlamps Using Computer Simulation

Hyun Yul Cho<sup>1)</sup> · Ho Sang Lee<sup>2)</sup> · Boojoong Yong<sup>\*1)</sup> · Hyun Gu Woo<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Mechanical Engineering, Kyungil University, Gyeongsbuk 712-701, Korea

<sup>2)</sup>Department of Industrial and Management Engineering, Hanyang University, Gyeonggi 426-791, Korea

(Received 4 December 2012 / Revised 24 December 2012 / Accepted 4 January 2013)

**Abstract** : One of the leading causes of night time automobile accidents is the darkness of surroundings. Headlamps play a critical role in casting light and providing drivers with visibility. Headlamp design and new technology have been developed recently as research has been actively carried out to increase headlamp recognition. This study statistically analyzes irradiation distance using computer simulation by categorizing headlamps applied in domestic automobiles in the last decade by year, light source, form, vehicle type, and height of installation. After analyzing results of irradiation distance, it appears irradiation distance has been increased by approximately 10m in the last decade. This increase in irradiation distance is predicted to decrease night time accidents by allowing more time to recognize potential causes of accidents.

**Key words** : Headlamp(전조등), Irradiation distance(조사거리), Illuminance(조도), Computer simulation(컴퓨터 시뮬레이션), Light source(광원), Standard light source(표준광원)

### 1. 서론

교통사고는 야간보다 주간에 더 많이 발생하고 있다. 그러나 교통사고 100건 당 사망자 수를 과거 5년(07~11년)간 비교해보면, 주간 2.3명, 야간 2.9명으로 야간시간대가 더 높은 것으로 확인되고 있다.<sup>1)</sup> 야간교통사고 발생원인은 운전자의 피로와 주의력 분산 등 다양한 요인이 지적되어 왔으나, 가장 큰 원인은 주위환경이 어둡기 때문이다.<sup>2)</sup>

전조등은 야간에 빛을 비추어 운전자에게 전방 시인성(Visibility)을 향상시키는 매우 중요한 등화장치이다.<sup>3)</sup> 대부분의 운전자들은 먼 거리를 확인할 수 있는 밝은 전조등을 원하지만, 밝은 전조등은 상

대적으로 대향차 운전자에게 눈부심(Glare)을 유발할 가능성이 높기 때문에 전방 시인성 증가와 대향차 운전자의 눈부심 감소를 동시에 고려한 전조등이 필요하다.<sup>4)</sup> 일반적인 주행조건에서 운전자들은 대부분 변환빔 전조등(Passing Beam)을 사용하고 있으며, 대향차가 없는 도로에서는 주행빔 전조등(Driving Beam)으로 전방 시인성을 확보하기도 한다. 변환빔 전조등은 대향차 운전자의 눈부심이 감소되도록 명암한계선(Cut-off line)을 형성하기 때문에 전방인지 및 조사거리가 주행빔 전조등보다 짧다. 따라서 전조등의 인지 및 조사거리는 변환빔 전조등을 위주로 다양한 연구가 진행되어 왔다.

Chen et al.<sup>5)</sup>은 보행자 형태별로 반사기(Reflection) 형식의 할로겐 전조등과 가스방전식 전조등,

\*Corresponding author, E-mail: yong@kiu.ac.kr

그리고 프로젝션(Projection) 형식의 가스방전식 전조등의 조사거리에 대한 인지실험 결과, 프로젝션 형식의 가스방전식 전조등의 인지도가 높은 것으로 보고하였다. 이와 유사한 Bullough et al.<sup>6)</sup>의 연구에서도 보행자 인지거리를 가스방전식 전조등과 할로겐 전조등으로 구분하여 연구한 결과, 가스방전식 전조등의 보행자 인지거리가 할로겐 전조등보다 약 10m정도 긴 것으로 보고하였다. 이러한 결과는 가스방전식 전조등이 기존 할로겐 전조등보다 2~3배 정도 광출력이 높은 것과 더불어 기술발전에 따라 시인성 증가에 필요한 빛을 적절히 자동차 전방에 비출 수 있도록 광학설계기술이 발전되었기 때문이다.<sup>5,7,8)</sup> 최근에는 전조등 성능을 높여 인지 및 조사거리를 증가시키기 위해 전방 감지카메라와 결합된 전조등 시스템 등이 적용되고 있다. 이는 자동차 전방을 전방카메라로 감지하여 대향차가 없는 경우 주행빔 전조등이 점등되고, 대향차가 있는 경우 변환빔 전조등으로 변환되는 새로운 개념이다. 이러한 전조등 시스템은 기존의 전조등보다 능동적 작동으로 야간 교통사고 예방에 많은 기여를 할 것으로 예상되고 있다.<sup>9)</sup>

전조등에 대한 인지 및 조사거리는 서로 다른 방법으로 측정된다. 인지거리는 전조등을 점등하여 전방에 위치한 물체, 즉 색상 및 대비(contrast) 조건별 물체를 인지하는 거리를 측정하며, 조사거리는 전조등이 비추는 빛의 도달거리를 측정한다. 본 연

구에서는 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 5lx 등조도 곡선(Isolux-line)을 도출하여 변환빔 전조등의 조사거리를 분석하였다. 5lx 등조도 곡선은 도로상의 물체를 인지할 수 있는 최소조도로 보고되고 있다. 등조도 곡선은 Fig. 1과 같이 동일한 조도를 선으로 연결한 것으로써 전조등이 비추는 빛의 도달거리를 조도별로 쉽게 표현할 수 있다. 이러한 편의성으로 인해 Sato et al.<sup>10)</sup>는 신기술이 적용된 변환빔 전조등의 시인성을 평가하는 방법으로 5lx 등조도 곡선을 적용하였다.

5lx 등조도 곡선 측정은 실제 도로상에서 직접 측정 또는 컴퓨터 시뮬레이션 방법을 이용할 수 있다. 실제 도로상에서 조도를 직접 측정하는 방법은 경제적 부담과 많은 시간이 소요되며, 오차가 발생할 수 있다. 그러나 컴퓨터 시뮬레이션을 이용할 경우 상대적으로 저렴하고 신속하게 자료를 확보할 수 있으며, 반복적인 측정이 가능하다.<sup>11)</sup> 이러한 장점으로 시뮬레이션을 이용한 방법이 사용되고 있다. 본 연구에서는 과거 10년 동안 국내 자동차에 적용된 전조등의 조사거리를 분석하여 야간 시인성 개선효과를 분석하는데 그 목적이 있다.

## 2. 시험개요

### 2.1 시험장치

전조등 조사거리 측정장치는 독일 LMT사에서 제작한 'GO-H 1600'을 사용하였고, 난반사를 줄이

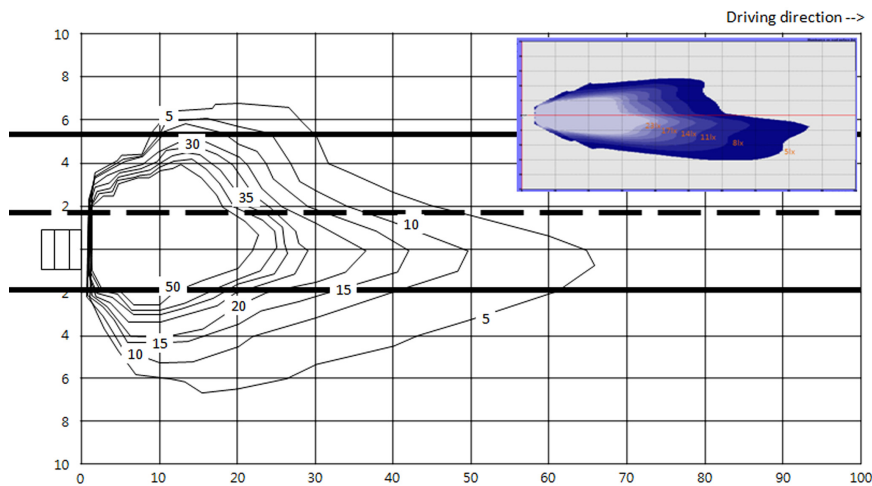


Fig. 1 Isolux - line diagram of dipped beam

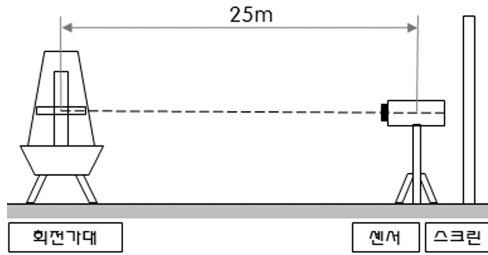


Fig. 2 Test equipment

Table 1 Specifications of test equipment

Goniometer	- Horizontal rotation angle : $\pm 180^\circ$ - Vertical rotation angle : $\pm 90^\circ$ - Resolution accuracy : within $\pm 0.01^\circ$ - Table adjusting scope (X, Y, Z) · Direction X, Y : $\pm 300\text{mm}$ · Direction Z : $-600\text{mm}$
Sensor (Photometer)	- Measuring range : 0.0001~10,000lx - Light sensitive surface : $\leq 30\text{mm}$ - Measuring rate : $\geq 500$ measurements/s
Screen	- $8 \times 2.5\text{m}$

기 위해 암실(Dark room)에서 시험을 실시하였다. Fig. 2와 같이 전조등을 상·하·좌·우로 회전시킬 수 있는 회전가대(Goniometer)와 광도를 측정할 수 있는 센서, 그리고 전조등의 빔패턴을 조준할 수 있는 스크린을 설치하여 25m 거리에서 광도를 측정하였다. 여기서 회전가대, 센서(Sensor), 스크린(Screen)의 제원은 Table 1과 같다.

### 2.2 시험방법

컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 전조등 조사거리를 분석하기 위해서는 Fig. 3과 같이 자동차 앞에서 운전자 눈위치까지의 거리(①), 자동차 중심선에서 전조등까지의 거리(②), 전조등 설치높이(③), 자동차 중심선에서 운전자 눈위치까지의 거리(④), 지면에서 운전자 눈위치까지의 거리(⑤)에 대한 자료와 더불어 전조등 광분포(Light Distributions) 측정결과가 필요하다.

이와 같은 자료를 LMT사의 “Limes 2000” 프로그램에 입력하면 5lx 등조도 곡선을 시뮬레이션 할 수 있다. 이처럼 시뮬레이션을 하기 위해서는 다양한 변수가 필요하고, 변수들간 차이에 따라 결과에도 차이가 발생된다. 따라서 변수들에 대한 정확한 자

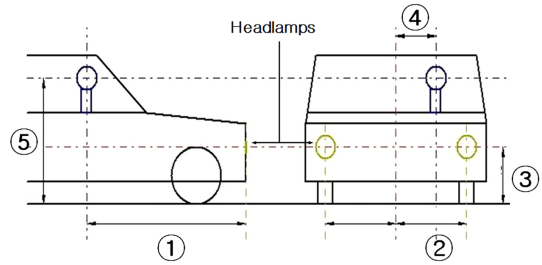


Fig. 3 Input values for simulation

료 입력이 필요하고, 광분포의 정확한 측정이 필요하다. 정확한 자료 입력을 위해 자동차 제작사에서 제시한 설치자료를 사용하였다. 그리고 광분포 측정은 전조등에 사용된 광원(H1, H4, H7, D1S, D2R)의 표준광원(standard bulb)을 사용하였다. 표준광원을 사용한 이유는 양산광원을 사용할 경우 광원의 산포로 인해 전조등의 정확한 조사거리 측정이 곤란하기 때문이다. 또한 전조등은 표준광원의 광속(luminous flux)을 기준으로 설계하고 있으며, 국내·외 전조등 시험 시 표준광원을 사용하기 때문이다. 따라서 표준광원을 점등시켜 명암한계선을 조준하여, 회전가대 좌·우  $\pm 30^\circ$ , 상·하  $\pm 10^\circ$  범위 이내의 광도를 측정하였다.

### 2.3 시험샘플

시험샘플은 Table 2와 같이 교통안전공단 자동차 안전연구원에서 2002년부터 2011년까지 10년간 자기인증적합조사에 적용되었던 98대의 자동차 전조등을 사용하였다. 98개의 전조등에는 할로젠, 가스방전식, LED 전조등이 포함되어 있다.

Table 2 Test samples

Years	Test samples
2002	4
2003	4
2004	6
2005	14
2006	12
2007	10
2008	13
2009	12
2010	12
2011	11

Table 3 Classification of test samples



시험에 사용된 샘플은 전조등 설계형식에 따라 Table 3과 같이 반사기 형식과 프로젝션 형식으로 크게 분류할 수 있다. 반사기 형식은 반사부가 세그먼트라는 복합적인 구조로 이루어져 있다. 프로젝션 형식은 비구면 렌즈가 반사기와 외측렌즈 사이에 있고, 그 사이에 명암한계선을 형성하도록 가림막(Shield)이 있다. 이러한 전조등은 원하는 광분포를 구현하기 위해 반사기, 외측렌즈 그리고 광원에 이르기까지 종합적인 설계가 이루어져야 한다.

### 3. 시험결과 및 고찰

#### 3.1 예비시험 결과

컴퓨터 시뮬레이션에 의한 조사거리를 측정하기 전, 실제도로에서의 조사거리와 시뮬레이션에 의한 조사거리를 비교하기 위하여 예비시험을 실시하였다. Table 4와 같이 8개의 전조등을 이용하여 실제도로에서 5lx 등조도 곡선을 측정하였고, 시뮬레이션을 통해 조사거리를 비교하였다. 그 결과 시뮬레이션 상황에서의 조사거리보다, 실제도로에서의 조사거리가 약 1.02배 높게 나타났다. 그리고 광분포를 포함한 변수들간 자료를 입력하여 조사거리를 비교한 결과, 광분포 세기와 전조등 설치높이가 많은 영향을 주고 있음을 확인할 수 있었다.

Table 4 Preliminary measurement results

Test samples (N=8)	Irradiation distance (m)
Simulation measurement results	79.9 ± 10.4
Real road measurement results	81.3 ± 7.3

#### 3.2 시험결과

##### 3.2.1 제작연도별 조사거리

2002년부터 10년 동안 전조등의 제작 연도별 평균 조사거리를 분석하였다. 조사거리는 Fig. 4와 같

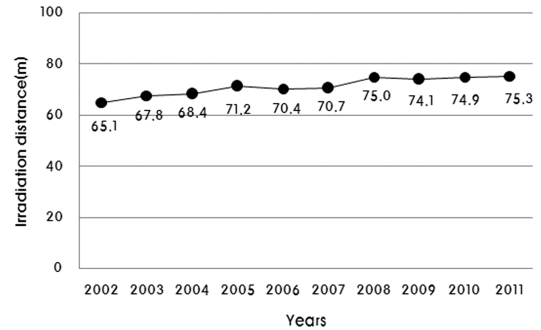


Fig. 4 Results of average irradiation distance in each year

이 65.1m(2002년)에서 75.3m(2011년)로 약 10m 정도 증가되었다. 그리고 상관관계 분석결과  $r=0.616$  ( $p<0.01$ )으로 연도가 증가할수록 조사거리도 증가하는 것으로 나타났다.

##### 3.2.2 광원별 조사거리

전조등에 적용된 광원을 비교한 결과, Fig. 5와 같이 할로젠 광원이 90% 이상 적용되었고, 가스방전식(HID, High Intensity Discharge) 광원, 그리고 LED 광원의 순서로 적용되었다.

광원별 대응표본 T-검정(paired T-test) 결과, 유의수준 1%에서 H1-HID, H4-H7, H4-HID, H7-HID는 조사거리에 차이가 발생하였다. 그러나 H1-H7, H1-H4

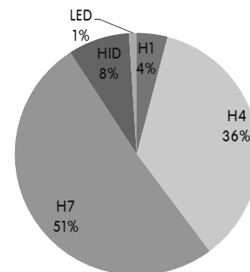


Fig. 5 Ratio of light source

Table 5 Paired T-test on light source

light source	p-value
H1 > H4	0.67
H1 > H7	0.90
H1 < HID	0.01***
H4 < H7	0.00***
H4 < HID	0.00***
H7 < HID	0.00***

\* $p<0.1$ , \*\* $p<0.05$ , \*\*\* $p<0.01$

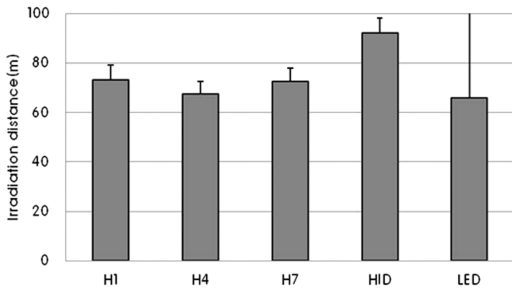


Fig. 6 Results of average irradiation distance of light source

는 조사거리에 차이가 발생하지 않았다[Table 5 참조]. 또한 Fig. 6과 같이 광원별 조사거리를 비교한 결과, HID > H1, H7 > H4, LED 광원 순서로 조사거리가 길었다.

### 3.2.3 전조등 형식별 조사거리

본 연구에 사용된 전조등 설계형식은 Fig. 7과 같이 반사기 형식이 프로젝션 형식보다 많았으나, 최근에는 디자인의 중요성이 대두되면서 프로젝션 형식의 전조등이 많이 적용되고 있다. 전조등 형식별 대응표본 T-검정 결과, 반사기 형식과 프로젝션 형식의 전조등 조사거리에서는 Fig. 8에서 보는 것과 같이 큰 차이가 발생하지는 않았다.

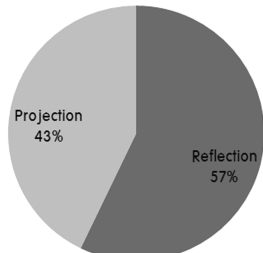


Fig. 7 Ratio of headlamp type

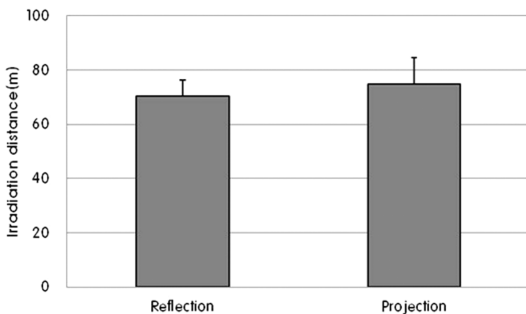


Fig. 8 Results of average irradiation distance of headlamp type

### 3.2.4 차종별 조사거리

차종별 비교는 Fig. 9와 같이 승용 80%, 승합 4%, 화물자동차 16%의 분포였다. 차종별 대응표본 T-검정 결과, Table 6과 같이 유의수준 10%에서 승합과 화물자동차에서 차이가 나타났고, 승합자동차보다 화물자동차의 조사거리가 약간 길게 나타났음을 Fig. 10을 통해 확인할 수 있었다.

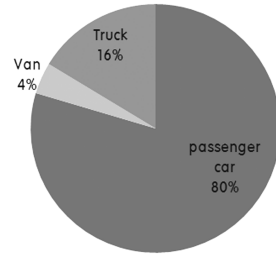


Fig. 9 Ratio of vehicle type

Table 6 Paired T-test on vehicle type

Vehicle type	p-value
passenger > van	.627
passenger < truck	.670
van < truck	.077*

\*p<0.1, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01

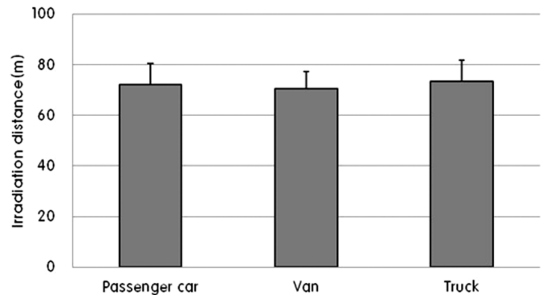


Fig. 10 Results of average irradiation distance of vehicle type

### 3.2.5 설치높이별 조사거리

국내와 유럽에서 전조등의 설치높이는 500mm 이상 1,200mm 이내이어야 한다. 설치높이별 비교결과는 Fig. 11과 같이 1m 이내가 90% 이상이었다. 설치높이별 대응표본 T-검정 결과, Table 7 및 Fig. 12에 나타난 것과 같이 유의수준 5% 와 10%에서 전조등 조사거리에 유의할 만한 차이가 발생하지는 않았다.

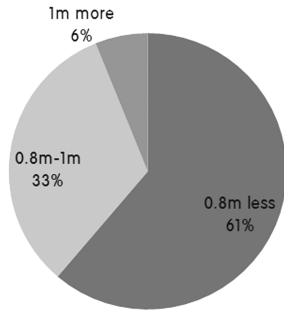


Fig. 11 Ratio of mounting height

Table 7 Paired T-test on mounting height

mounting height	p-value
0.8m less < 0.8~1m	.335
0.8m less < 1m more	.373
0.8~1m < 1m more	.929

\*p<0.1, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01

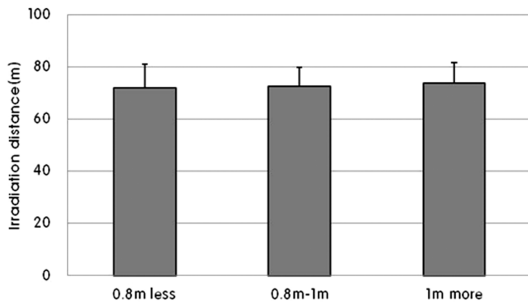


Fig. 12 Results of detection distance of mounting height

### 3.2.6 고찰

연도별 광원의 적용추세를 보면, Fig. 13과 같이 기존 원 필라멘트(one-filament) 광원으로 사용되던 H4보다 두 필라멘트(two-filament) 광원인 H7과 HID 광원의 사용이 2004년 이후 증가되는 경향을 보이고 있다. 본 연구에 사용된 전조등 광원의 광출력은 H1(1,550lm), H4(1,000lm), H7(1,500lm), HID(2,880~3,200lm)로 2등식 전조등에 사용되는 광원인 H4보다, 4등식 전조등에 사용되는 광원인 H1, H7, HID의 광출력이 높았다.<sup>12,13)</sup>

이와 더불어 현재 전조등에 사용되는 반사기에는 알루미늄으로 코팅을 하고 있으며, 렌즈는 폴리카보네이트로 제작되고 있다. Schmauder and Kuper<sup>14)</sup>에 의하면 전조등 제작자의 품질관리 수준에 따라 반사기의 반사율(Reflexibility)은 85~90%, 렌즈의

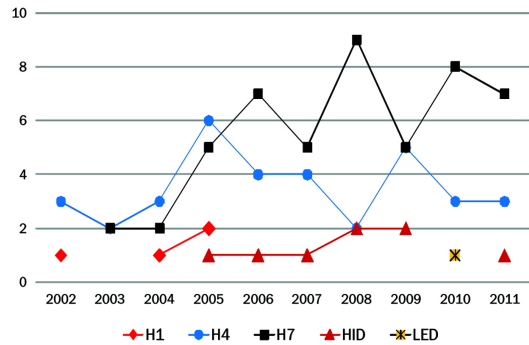


Fig. 13 Application of light source in each year

Table 8 Measurement results

Test samples (N=8)	Results (%)	Measurement device
Reflexibility	90.7±0.61	CM-2600d
Transmissivity	90.1±0.29	SA4000

투과율(Transmissivity)은 90% 정도인 것으로 파악되고 있다. 따라서 최근 사용되고 있는 전조등 반사기와 렌즈에 대한 반사율 및 투과율을 측정하여 Table 8과 같이 비교하였다.

8개 샘플에 대한 반사기 반사율 및 렌즈 투과율 측정결과를 Schmauder의 연구와 비교한 결과, 최근 생산되고 있는 전조등의 반사율과 투과율이 상대적으로 높은 경향을 보였다. 즉, 설계 및 생산기술의 발전과 더불어 품질관리 수준의 증가로 인해 전조등의 반사율 및 투과율이 증가되어 전조등의 조사거리가 증가된 것으로 판단할 수 있었다. 장기적인 관점에서 전조등의 조사거리를 연구할 경우, 품질관리수준에 대한 정보도 확보할 수 있을 것으로 예상할 수 있었다.

본 논문의 연구 결과, 과거 10년 동안 10m의 조사거리가 증가하였다. 이는 식 (1)을 통해 증가된 조사거리가 야간교통안전에 긍정적인 효과를 제공하고 있다고 예상할 수 있었다.

$$V = \frac{S}{t} \tag{1}$$

위 식에서 V는 자동차의 속도, S는 이동거리, t는 시간으로 구분되며, 증가된 10m 조사거리는 일반적인 상황에서 도시지역의 주간선도로 설계 속도인 시속 80km로 주행할 경우, 운전자가 위험을 인지하고 제동을 시작하기까지의 시간(인지반응시간)을 약 0.45초 정도 더 확보할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 변환빔 전조등의 조사거리를 분석하여 다음과 같이 요약하였다.

- 1) 2002년부터 10년 동안 98개 변환빔 전조등에 대한 조사거리를 분석한 결과, 약 10m 정도 증가하였다. 1년에 평균 1m 정도 조사거리가 증가되는 경향을 보였다.
- 2) 전조등용 광원별 조사거리를 비교한 결과, HID > H1, H7 > H4, LED 순서로 조사거리가 길었다.
- 3) 전조등 형식별로 비교한 결과, 반사기 형식과 프로젝션 형식에서 조사거리 차이는 없었다.
- 4) 차종별로 비교한 결과, 승용 및 승합자동차의 조사거리와 비교하여 화물자동차 전조등의 조사거리가 다소 길었다. 그러나 승용 및 승합자동차의 조사거리는 차이가 없었다.
- 5) 전조등 설치높이별로 비교한 결과, 설치높이에 따른 조사거리의 차이는 없었다.

광출력 성능이 개선된 광원과 전조등 설계 및 생산기술의 발전 등은 운전자보다 먼 거리를 인지할 수 있게 함으로써 야간교통사고 감소에 긍정적 요인으로 작용하게 되었다. 먼 거리를 볼 수 있다는 것은 사고발생 원인을 먼저 인지하고, 제동에 필요한 충분한 시간을 확보하기 때문이다.

본 연구는 연도, 광원, 형식, 차종 등의 분류에 의한 전조등의 조사거리를 분석하였다. 향후 전조등 조사거리에 따른 제동거리, 색상에 따른 인지거리 등에 대한 추가적 연구는 야간교통사고 감소에 더욱 도움이 되리라 기대한다.

#### 후 기

본 논문은 지식경제부 지정 경일대학교 자동차부품시험지역혁신센터로부터 일부 연구지원을 받아 수행하였음.

#### References

- 1) KoRoad, Traffic Accident Statistical DB, [http://taas.koroad.or.kr/reportSearch.sv?s\\_flag=02](http://taas.koroad.or.kr/reportSearch.sv?s_flag=02), 2012.
- 2) P. Green, "A Computer Simulation of Headlamp Variables and Drivers Sight Distances:

- Operating Instructions," HSRI Technical Report UM-HSRI-80-44, 1980.
- 3) J. D. Bullough and N. P. Skinner, "Influence of Foreground Illumination from Headlamps On Visibility and Preference," SAE 2009-01-0336, 2009.
- 4) J. Locher and S. Voelker, "The Influence of Vehicle Beam Patterns on Safety and Acceptance," SAE 2004-01-1766, 2004.
- 5) W. Chen, Y. Lin, S. Kojima and D. Chen, "A Study on Peripheral Visibility under Different Headlamp Low-beam Pattern," J. Light & Vis. Env. Vol.32, No.4, pp.358-365, 2008.
- 6) J. D. Bullough and N. P. Skinner, "Pedestrian Safety Margins under Different Types of Headlamp Illumination," A Transportation Lighting Alliance Report, TLA 2009-01, 2009.
- 7) W. Hendrischk, "Trends in the Development of Vehicle Front Lighting," SAE 960923, 1996.
- 8) B. Kang, B. Yong and K. Park, "Performance Evaluations of LED Headlamps," Int. J. Automotive Technology, Vol.11, No.5, pp.737-742, 2010.
- 9) D. Decker, A. Himmler and C. Amsel, "The Road to Active Light - Headlamp Concepts with Enhanced Adaptive Functionalities," SAE 2007-01-0601, 2007.
- 10) T. Sato and S. Kojima, "The Smart Headlamp System with Variable Low-beam Pattern," SAE 2001-01-0854, 2001.
- 11) R. G. Mortimer and J. M. Becker, "Development of a Computer Simulation to Predict the Visibility Distance Provided by Headlamp Beams," UM-HSRI-HF-73-15, 1973.
- 12) UNECE Regulation No.37 (Uniform Provisions Concerning the Approval of Filament Lamps for Use in Approved Lamp Units of Power-driven Vehicles and of Their Trailers).
- 13) UNECE Regulation No.99 (Uniform Provisions Concerning the Approval of Gas-discharge Light Sources for Use in Approved Gas-discharge Lamp Units of Power-driven Vehicles).
- 14) T. Schmauder and S. Kuper, "Applications of Highly Reflective Silver Coatings for Car Headlamp Reflectors," 8th International Symposium on Automotive Lighting, pp.354-359, 2009.