도로터널 내/외부의 영상휘도 측정기 연구개발

장순철^{1*} · 박성림² · 고석용³ · 이미애⁴

¹비회원, 광전자정밀(주) 부설연구소 부장

²비회원, 광전자정밀(주) 대표이사

³비회원, 광전자정밀(주) 부설연구소 소장

⁴비회원, (주)아이라이트 대표이사

Research and development on image luminance meter of road tunnel internal and external

Soon-Chul Jang^{1*}, Sung-Lim Park², Seok-Yong Ko³, Mi-Ae Lee⁴

¹Withlight Co., Ltd., Research and Development center Manager

²Withlight Co., Ltd., President & CEO

³Withlight Co., Ltd., Research and Development center Manager

⁴I-Light Lighting Consulting & Design Co.,Ltd., President & CEO

ABSTRACT: This paper introduces the development of imaging luminance meter which measures the luminances of external/internal road tunnel. The developed imaging luminance meter complies with both L20 method and Veiling luminance method of the international standards, CIE88. In this paper the L20 method is mainly presented because most of tunnels currently adapt L20 method. The developed system has an embedded computer to operate at stand-alone. The system has a ethernet port, a heater, a fan, a defroster, a wiper and sun shielder. Compensation algorithm is applied for correcting non-linear responses to the luminance and integration time. The accuracy of measurement is less than 1% when it calibrated at the public certification institute. The developed system was also tested at the real field, road tunnel. The test results were very similar with the reference luminance meter and showed that the developed system operates well at the real field. Partial sensor saturations were happened to show the less luminance, because there were the high reflecting objects in the real field. Further study should be followed for high luminance measurement.

Keywords: Luminance, L20 method, Imaging luminance meter, Tunnel luminance meter, Tunnel lighting

초 록: 본 논문은 터널 조명 시스템을 적절하게 운영하기 위하여, 터널 내부/외부의 휘도를 측정하는 영상휘도계의 개발 내용을 소개한다. 터널을 측정하는 국제규격 CIE88의 L20법 및 광학법이 구현 가능하도록 개발하였으나 현재 주로 적용되는 L20법을 위주로 실험하였다. 독립적 운영을 위하여 컴퓨터가 내장되었으며 외부와는 이더넷 통신으로 연결된다. 내부에 자동 온도조절 기능과 앞면유리의 열선과 와이퍼 시스템이 구축되었다. 정확한 휘도 측정을 위하여 노출시간과 휘도량에 따른 비선형 특성을 보정하는 수식이 적용되었다. 개발된 휘도계의 공인기관 교정결과는 1%미만의 오차를 보여주었다. 개발된 휘도계를 이용하여 실제 터널에서 실험을 하였고, 실험결과 기준 휘도계측기들과 유사한 특성을 보였으며, 매우 안정적으로 작동함을 볼 수 있었다. 다만, 부분적 고휘도로 인한 센서 포화에 의한 측정오차를 해결하는 과제는 남아 있다.

주요어: 휘도, L20법, 영상 휘도계, 터널 휘도계, 터널조명

***Corresponding author:** Soon-Chul Jang

E-mail: scjang@withlight.com

Received November 26, 2014; **Revised** December 20, 2014;

Accepted January 5, 2015

1. 서론

현재 Recommendation for Lighting of Traffic Tunnels (Korea Agency for Technology and Standards, 2010) 내 터널조명설계기준(이하 KS 터널조명기준)이 휘도기반으로 되어 있지만 실제 현장에서의 조명 운영방식은 조도기반으로 운영되고 있어 운전자들의 운전환경에 적합하지 않고, 실제 현장의 터널 외부 환경과 상이한 조도기반의 조명운영으로 인해 터널 내부 조명과 운전자의 안전이 보장받지 못하는 상황이다. 또한, 조도기반의 운영방식은 국내에서만 적용하고 있는 운영방식으로 에너지 절감 면에서 비효율적임에도 불구하고 개선되지 않고 계속 적용하고 있는 점은 실제 현장에 적용이 가능한 휘도 기반의 조명 운영 시스템이 없기 때문이다. 이에 본 연구개발을 통해 운전자 시각 암순응에 필요한 도로터널 내부/외부의 영상(면) 휘도에 대하여 Guide for the lighting of road tunnels and underpasses (Commission Internationale de l'Eclairage, 2004) (이하 CIE 터널조명기준)내 영상 휘도 측정법인 L20법에 대하여 측정이 가능하도록 영상 휘도계를 국내기술로 휘도측정에 필요한 하드웨어 및 소프트웨어 알고리즘을 개발하고, 이를 해외의 유사 제품들보다 저가 보급형으로 터널조명제어에 활용하여 운전자의 안정과 불필요한 에너지 절감에 필요한 기초 장치로 활용될 수 있도록 하고자 한다.

2. 기본이론

2.1 L20 측정법

휘도 L20은 원추시계에서 측정한 휘도 값의 평균으로 정의하며 $20^\circ (2 \times 10^\circ)$ 각도로 마주 보고 관찰자는 기준점에 위치하며 터널높이의 4분의1에 해당하는 높이에서 중심점을 바라본다. 터널입구에 접근하는 운전자가 기준점이 되고 입구영역에서 휘도를 계산하는 근거로 자신을 사용할 때 평균휘도는 운전자 눈의 적응상태를 대표한다고 본다. 20° 조리개각도를 가진

휘도계를 사용하여 휘도를 계산하거나 측정할 수 있다. 터널입구의 정지거리에서 어떤 이미지를 찍을 때 이 방법을 사용할 수 있다. 이 방법에서는 L20을 Fig. 1과 같이 터널입구환경의 스케치를 이용하여 평가할 수 있고 아래 공식 (1)을 사용하여 계산한다.

Fig. 1. Perspective view of tunnel entrance with superimposed 20° subtended circle

$$L20 = \gamma \cdot L_c + \rho \cdot L_r + \varepsilon \cdot L_e + \tau \cdot L_{th} \quad (1)$$

여기에서, L_c =하늘의 휘도

L_r =도로의 휘도

L_e =주변물체의 휘도

L_{th} =임계영역의 휘도

$\gamma = 20^\circ$ 영역에서 하늘의 %

$\rho = 20^\circ$ 영역에서 도로의 %

$\varepsilon = 20^\circ$ 영역에서 주변물체의 %

$\tau = 20^\circ$ 영역에서 터널입구의 %

$$\gamma + \rho + \varepsilon + \tau = 1$$

3. 시스템 구성

3.1 소프트웨어 구성 및 특성

휘도 밝기별 카메라의 노출시간을 자동으로 제어하는 휘도 측정 전용의 소프트웨어가 탑재되어 사용자의 임의 수동조작 없이 자동으로 휘도를 측정할 수 있도록 하며, 실시간 휘도측정으로 실시간 조명제어에 사용할 수 있도록 한다. 또한 CIE 터널조명기준 내 영상휘도측정법 알고리즘을 적용하여 운전자의

- (1) Camera control part
- (2) Image display area
- (3) Measurement method control & monitoring
- (4) Gain color control & watch : 2D display
- (5) Measurement status monitoring
- (6) Measurement result display
- (7) Measurement mode control
- (8) Interface control & watch
- (9) System control & watch
- (10) System Exit

Fig. 2. Software items of development luminance meter

쾌적하고 안전한 주행 조건을 구축하도록 한다.

Fig. 2는 영상휘도 측정 소프트웨어의 기본구성이며, 소프트웨어의 특징은 Table 1과 같다.

Table 1. Software features of luminance meter

(1) Camera control part	- Auto luminance measurement - Image receiving control & monitor
(2) Image display	- Display realtime or history image - L20 or Full Measure area display <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> L20 measure area Full measure area </div>
(3) Measurement method control & monitoring	- Measurement selection & control <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> L20 method point method </div>

(4) Gain color control & watch	- Coloring or Monochrome display

	Color display	Mono display
(5) Measurement status monitoring	- Temperature monitoring camera - Brightness per pixel monitoring	
(6) Measurement result monitoring	- Display the measurement results	
(7) Measurement mode control	- Measure & Calibration mode selection	
(8) Interface control&watch	- Interface control and Status - Auto transmission measurements	
(9) System control	- Luminance meter Internal control	
(10) System exit	- Software shutdown	

3.2 하드웨어 구성

시스템 하드웨어 구성은 영상측정 카메라에 인간의 눈으로 감지되는 가시광 영역의 파장대만 투과하여 측정이 가능하도록 시감필터(Photopic Filter)를 추가 구성하여 광학장치(Vision Part)가 구성되어 영상을 촬상하고, 촬상된 영상으로부터 영상휘도로 계산 및 관리할 수 있는 알고리즘이 탑재된 측정장치(Processor Part)와 전원관리의 전원장치(Power Part) 및 상태감

Fig. 3. Internal configuration

Fig. 4. External configuration

Fig. 5. Luminance meter calibration device

시제어의 상태관리장치(System Part)의 일체형(All in one)으로 Fig. 3과 Fig. 4와 같이 내/외부가 구성되어 별도의 추가 장치 없이 영상휘도를 측정할 수 있도록 한다. 여기에 Fig. 5와 같이 교정에 필요한 교정장치(Calibration Part)가 별도의 장치로 구성되어 교정시간 및 측정정도를 향상 시킨다.

4. 시작품 제작 및 교정결과

4.1 시작품 제작 및 주요사양

CIE 터널조명기준 내 영상 휘도측정법인 L20법의 측정이 가능하고 시스템 설계 및 구성안에 맞게 시작품을 Fig. 6과 같이 제작하였고 Table 2는 주요사양을 나타낸다.

(a) External luminance meter (b) Internal luminance meter

Fig. 6. Image luminance meter

Table 2. System specifications

Vision Part	Camera	Sensor : CMOS Mono
		Resolution : 1280 × 1024
		Optic size : 6.78 × 5.43 mm
		Interface : Giga Ethernet
System Part	Lens	Focal Length : 5 mm
	Heater	On : 5℃, Off : 15℃
	Blower	On : 35℃, Off : 25℃
	Defroster & Wiper & Sun shield	
Process Part	Housing	Protection Class : IP66
	Embedded	OS : Windows Embedded
	Internal IO Module	DI : 8ch, DO : 8ch
	Interface	LAN, Serial, PIO, USB etc
Power	AC220V, 60 Hz	
Software	Realtime Image Display	
	2D Coloring Display for luminance	
	Auto Measuring	
	Event & Status Log	
Measurement	Method	L20 & Point Method
	Range	10 ~ 10,000 cd/m ²
	Accuracy	±5.0%
	Repeatability	±1.0%
	Resolution	0.01 cd/m ²
	Field of View	200 × 160 m at Distance 150 m
Size	210 mm(w) × 263 mm(h) × 660 mm(d)	
Weight	11 kg	

4.2 교정결과

본 연구개발에서 개발된 교정 장치를 이용하여 시작품을 교정한 후 휘도측정결과가 Table 3과 같이 나타났다. Table 3과 Table 4에서 “Reference”항목은

Table 3. Luminance measurement results after self-calibration

No	Input Power	Measuring Results (cd/m ²)				No	Input Power	Measuring Results (cd/m ²)			
		Reference	Measurements	Deviation	Dev' rate (%)			Reference	Measurements	Deviation	Dev' rate (%)
1	4.00A	24.8	24.6	0.2	0.81	13	9.25A	10970.0	10942.0	28.0	0.26
2	4.50A	60.8	60.6	0.2	0.33	14	8.75A	7960.0	7945.0	15.0	0.19
3	5.00A	144.0	143.2	0.8	0.57	15	8.25A	5590.0	5564.0	26.0	0.47
4	5.50A	314.4	309.6	4.8	1.53	16	7.75A	3777.0	3772.0	5.0	0.13
5	6.00A	615.0	619.0	4.0	0.65	17	7.25A	2444.0	2431.0	13.0	0.53
6	6.50A	1115.0	1110.1	4.9	0.44	18	6.75A	1492.0	1497.0	5.0	0.33
7	7.00A	1882.0	1885.0	3.0	0.16	19	6.25A	865.2	860.8	4.4	0.51
8	7.50A	3007.0	2986.0	21.0	0.70	20	5.75A	459.5	461.2	1.7	0.37
9	8.00A	4550.0	4542.0	8.0	0.18	21	5.25A	226.1	224.5	1.6	0.71
10	8.50A	6642.0	6606.0	36.0	0.54	22	4.75A	99.7	97.8	1.9	1.91
11	9.00A	9335.0	9311.0	24.0	0.26	23	4.25A	40.5	39.5	1.0	2.47
12	9.35A	11620.0	11571.0	49.0	0.42	Average				11.2	0.63

비교 기준이 되는 점 휘도계(Konica minolta LS-110)가 측정한 휘도값이며, “Measurements”항목은 비교 대상이 되는 개발 휘도계가 측정한 휘도값으로써 동일한 측정지점을 동일 시점에 측정한 결과이다.

5. 현장 성능시험 및 고찰

앞서 설명된 교정절차는 국내/외의 휘도교정에 대한 한계로 인하여 면 방식이 아닌 점 방식 측정으로 진행 되었다. 이는 이번 연구개발의 궁극적 목적인 영상(면)휘도 측정에 부합되지 않는 상황이라서 실제 영상휘도계가 운영되어야 할 터널에서 영상휘도측정을 진행 하였고 이를 기준 영상 휘도계(LMK Mobile advance)와 비교 하였다. 또한 영상휘도 측정 전에 도로터널의 특정위치별로 점 휘도에 대하여 기준 점

휘도계(Konica minolta LS-110)와 비교 측정하여 좀 더 정확한 성능평가를 진행 하였다. 총 2개소의 터널에서 현장 성능시험을 진행 하였고 1차 성능평가 장소는 강상2터널(고속도로)이며, 2차 성능평가 장소는 차동터널(일반국도)이다. Fig. 7은 현장 성능평가 시 사용된 휘도계이다.

5.1 도로터널 특정위치(노면, 터널내부, 터널 경계부, 숲)에 대하여 점 휘도 측정시험

Fig. 8과 같이 도로터널의 특정지점 4 Point의 휘도를 측정하여 LS-110과 비교한 결과가 Table 4와 같이 측정되었다. Table 4의 결과에서 알 수 있듯이 실험실 조건이 아닌 현장터널에서도 휘도측정 성능시험 결과가 양호하게 확보되었다.

Fig. 7. Luminance meter : (a) LS-110 (Point) (b) LMK (Image) (c) Development luminance meter

Fig. 8. Road tunnel particular point luminance measurement

Table 4. Road tunnel particular point luminance measurements

No	Measuring location	Reference	Measurements	Deviation	Dev' rate (%)	No	Measuring location	Reference	Measurements	Deviation	Dev' rate (%)
1	Road	392.5	394.1	1.6	0.4	1	Road	3812.0	3851.0	39.0	1.0
2	Tunnel internal	58.8	59.8	1.0	1.7	2	Tunnel internal	53.1	55.0	1.9	3.6
3	Tunnel portal	236.5	242.0	5.5	2.3	3	Tunnel portal	6218.0	6272.0	54.0	0.9
4	Forest	134.2	133.5	0.7	0.5	4	Forest	892.5	905.1	12.6	1.4
5	Forest	147.8	151.9	4.1	2.8	5	Road	3319.0	3389.0	70.0	2.1
6	Tunnel internal	56.0	56.2	0.2	0.4	6	Tunnel internal	51.2	51.9	0.7	1.4
7	Road	424.3	414.1	10.2	2.5	7	Tunnel portal	6327.0	6357.0	30.0	0.5
8	Tunnel portal	166.5	165.8	0.7	0.4	8	Forest	901.3	933.2	31.9	3.5
Average				3.0	1.4	Average				30.0	1.8

(a) Gang-sang2

(b) Cha-dong

5.2 L20법에 의한 도로터널 영상휘도 측정시험

Table 5는 도로터널 경계부 휘도를 L20법으로 측정한 결과이며, 이는 본 연구개발의 궁극적 목적인 영상 휘도 측정 알고리즘의 구현이 정상적으로 이루어져

측정결과의 성능이 양호하게 확보 되었다는 것을 알 수 있다.

Table 5에서 “Reference”항목은 비교 기준이 되는 영상 휘도계(LMK Mobile advance)가 터널경계부의 영상 휘도를 L20법으로 측정한 결과값이며, “Meas-

Table 5. Tunnel portal measurements results by L20

No	Reference	Measurements	Deviation	Dev' rate (%)
1	290.00	289.17	0.83	0.29

(a) Gang-sang2

No	Reference	Measurements	Deviation	Dev' rate (%)	No	Reference	Measurements	Deviation	Dev' rate (%)
1	1891.0	1912.0	21.0	1.1	17	1079.0	1058.0	21.0	1.9
2	1852.0	1848.0	1.0	0.2	18	1034.0	1022.0	12.0	1.2
3	2016.0	2027.0	11.0	0.5	19	951.6	960.4	8.8	0.9
4	1486.0	1540.0	54.0	3.5	20	967.1	967.1	0.0	0.0
5	1526.0	1561.0	35.0	2.2	21	911.1	914.5	3.4	0.4
6	1533.0	1536.0	3.0	0.2	22	799.1	785.9	13.2	1.7
7	1492.0	1474.0	18.0	1.2	23	753.5	745.0	8.5	1.1
8	1681.0	1696.0	15.0	0.9	24	726.6	719.6	7.0	1.0
9	1682.0	1781.0	36.0	2.1	25	707.5	710.7	3.2	0.5
10	1664.0	1663.0	1.0	0.1	26	762.9	759.1	3.8	0.5
11	1632.0	1615.0	17.0	1.0	27	731.4	738.1	6.7	0.9
12	1441.0	1475.0	34.0	2.3	28	734.8	729.0	5.8	0.8
13	1662.0	1662.0	0.0	0.0	29	687.6	695.4	7.8	1.1
14	1362.0	1401.0	39.0	2.8	30	678.2	699.9	21.7	3.1
15	1143.0	1140.0	3.0	0.3	Average			14.2	1.2
16	1113.0	1101.0	12.0	1.1					

(b) Cha-dong

Fig. 9. Tunnel portal measurements results by L20

urements”항목은 비교 대상이 되는 개발 휘도계가 기준 영상휘도계와 동일한 측정영역을 동일한 측정법으로 측정한 결과이다. Fig 9는 본 측정시험에서 확보된 결과 중 대표 화면이다.

5.3 조명제어기와 연동 성능시험

본 연구개발에서는 Fig. 10과 같이 2차 성능시험 장소인 차동터널에서 조명제어기와 연동시험을 진행 하였고 이때 조도계(T-10A: Konica minolta)에 의한 외부 조도 데이터도 확보하여 조도계로 조명제어

Fig. 10. Cha-dong test bed

를 하였을 경우와 휘도계로 조명제어를 하였을 경우에 대하여 전력소모량을 비교 하였다. 연동시험 시설제 야외 휘도가 많이 높았고 이때 개발 휘도계의 측정영역 내에 있는 도로 시설물(가로등, 배수로 덮개, 제어반 건물의 특정물체 등)들이 태양광에 의하여 정반사 인입되어 개발 휘도계 최대 휘도측정범위인 $10,000 \text{ cd/m}^2$ 이상의 밝기가 되어서(약 $90,000 \text{ cd/m}^2$ 이상) 개발휘도계의 휘도 측정결과에 영향을 주었으며, 이로 인하여 기존 휘도계인 LMK의 휘도측정결과보다 낮게 측정되었다.

5.3.1 일출시부터 일몰시까지 휘도변화 패턴 확인

앞서 설명되었듯이 개발휘도계의 최대 휘도측정범위 이상에서는 개발휘도계의 최대 측정값으로 고정하여 측정하였으며 이결과 Fig 11과 같은 경향이 나타났다. 이 결과에서 알 수 있듯이 일출시부터 일몰시까지 기준휘도계인 LMK와 개발 휘도계와의 휘도측정 경향이 같이 나타난 것을 알 수 있다.

Fig. 11의 (b)결과는 구름의 영향을 받아 순간적으로 터널경계부의 휘도가 떨어지는 현상까지도 기준

(a) External tunnel of Relatively low luminance day (2014/10/07)

(b) External tunnel of Relatively high luminance day (2014/10/11)

Fig. 11. Luminance measurement pattern

Fig. 12. Internal luminance measurement and the comparison result

휘도계인 LMK와 같은 경향으로 측정되었음을 알 수 있다. 또한 이 시험 시 외부 개발휘도계로 내부조명을 총 4단계(맑음1, 맑음2, 흐림1, 흐림2)로 제어하고 이를 내부 개발휘도계가 터널내부의 휘도를 측정한 결과와 기준 휘도계 LMK가 내부휘도를 측정한 결과와 비교한 결과 Fig. 12와 같이 내부 개발휘도계의 측정결과가 정상적으로 측정되었음을 알 수 있다.

5.3.2 휘도 와 조도제어별로 등 기구 운영에 의한 전력소모량 비교

1. 등 기구(조명) 단계 제어 기준

차동터널의 실질적인 등 기구 제어 기준은 총 4단계 (맑음1, 맑음2, 흐림1, 흐림2)로 제어되며, 휘도와 조도의 환산기준(도로 : 1nit=15lux)에 의하여 휘도와 조도의 등 기구 제어 조건 및 등기구별 시간당 전력소모량은 Table 6과 같다.

2. 일출시부터 일몰시까지 동일한 시간간격(10분 간격)으로 터널 외부의 휘도와 조도데이터를 확

Table 6. Lighting control table

Lighting levels	Control condition(standard)		Power consumption per hour (W)
	Luminance (cd/m ²)	Illuminance (lux)	
Clear 1	1,876	28,140	58,052
Clear 2	1,251	18,765	42,302
Blur 1	626	9,390	26,552
Blur 2	71	1,065	13,552
Sunrise/Sunset	Less than 71	Less than 1065	2,160

Fig. 13. Illuminance and luminance analysis graph

보하고 이를 비교 분석한 결과 조도로 터널 조명을 제어하였을 경우보다 휘도로 터널조명을 제어하였을 경우 총 전력 사용량의 절감할 수 있음을 알 수 있었다. Fig. 13은 조도와 휘도 분석 그래프이며, Table 7은 소비전력 사용량 비교 결과표이다.

Table 7. Power consumption comparison

Items	Lighting levels	Hour	Power consumption	Total power consumption	Reduced power consumption rate
Illuminance	Clear1	8.0	464,416.00	533,991.67	Reference
	Clear2	0.8	35,251.67		
	Blur1	0.5	13,276.00		
	Blur2	1.5	20,328.00		
	Sunrise/Sunset	0.3	720.00		
Luminance (Development)	Clear1	4.2	241,883.33	450,450.00	15.6%
	Clear2	3.3	141,006.67		
	Blur1	1.7	44,253.33		
	Blur2	1.7	22,586.67		
	Sunrise/Sunset	0.3	720.00		
Luminance (LMK)	Clear1	6.7	387,013.33	500,325.00	6.3%
	Clear2	1.5	63,453.00		
	Blur1	1.0	26,552.00		
	Blur2	1.7	22,586.67		
	Sunrise/Sunset	0.3	720.00		

6. 결 론

본 연구개발에서는 운전자의 쾌적하고 안전한 주행 환경을 마련하고 에너지 소비가 가장 많은 터널조명의 에너지 절감을 향상 시키고자 조도기반의 터널조명 운영시스템을 휘도기반의 터널조명 운영시스템으로 개선하고자 하여 터널용 영상 휘도계를 개발하였고, 이를 교정 절차를 거쳐서 터널의 영상휘도를 측정하여 비교한 결과, 다음과 같은 결과를 도출 하였다.

1. 도로터널 시설물들로 인하여 터널용 외부 개발 휘도계의 휘도 최대측정범위이상의 휘도측정 인자가 발생하였고 이를 보완하도록 고 휘도를 측정할 수 있도록 연구개발이 필요하다. 이는 실제 도로 터널 내부 등기구의 휘도계가 최대 기준이 2,000 cd/m^2 이하 이지만 도로터널의 여러 가지 휘도 측정 인자에 의해서 약 100,000 cd/m^2 이상 측정할 수 있는 터널용 휘도계가 필요 하다.
2. 개발된 휘도계에 대하여 공인기관에서 교정을 진행 한 결과 1%미만의 오차를 보여 휘도측정 성능에 대한 신뢰성이 확보되었고, CIE 터널조명기준 내 영상휘도측정법인 L20법에 대하여 국내 최초로 알고리즘을 개발 적용하여 측정한 결과 매우 안정적으로 측정되었으며, 측정영상 전체영역 내의 휘도에 대하여 분석이 가능하도록 개발되었다. 즉 영상(면)방식 뿐만 아니라 점방식의 휘도측정도 가능하다. 이는 향후 터널 보급형 휘도측정기 뿐만 아니라 휘도측정 관련된 타 분야에도 적용이

가능 할 것이다.

3. 현재 조도기반으로 운영되고 있는 터널조명 운영 방식을 휘도기반으로 운영할 시 터널 조명운영에 사용되는 전력소비량의 절감이 되는 것으로 본 연구개발 결과로 도출 되었다. 또한 KS 터널조명기준에도 의거하고, 운전자 운전환경에 적합한 휘도기반의 조명운영방식의 장점이 확인 되었다.

상기 연구결과는 휘도기반으로 터널조명운영을 하는데 있어서 필요한 기초자료로 활용 될 수 있다. 현재 본 연구개발의 후속으로 휘도 측정목표 약 100,000 cd/m^2 이상 측정이 가능한 터널보급형 휘도계를 연구개발 중에 있다.

감사의 글

본 연구개발은 국토교통과학기술진흥원에서 시행한 국토해양기술연구개발사업의 일환인 교통체계효율화사업의 지원에 의하여 수행 되었습니다.

References

1. Commission Internationale de l'Eclairage (2004), "Guide for the lighting of road tunnels and underpasses." CIE 88:2004 2nd edition, pp. 26-28
2. Korea Agency for Technology and Standards (2010), "Recommendation for Lighting of Traffic Tunnels.", KS C 3703:2010, pp. 2-14