

## 실제 설치 및 유지보수 조건을 고려한 고속도로 터널조명 보수율 산정 연구

(A Study on the Calculation of Maintenance Factor(MF) of Tunnel Lighting in Expressway Considering the Actual Installation and Maintenance Conditions)

이민욱\* · 박광용 · 김필영 · 박용진 · 김 훈\*\*

(Min-Wook Lee · Kwang-Yong Park · Pil-Young Kim · Yong-Jin Park · Hoon Kim)

### Abstract

In lighting design, the calculation of maintenance factor is performed by calculation considering light source, characteristics of luminaire and environmental factors. The method to calculate the current maintenance factor applied to tunnel lighting design takes into consideration only pollution factors in tunnels. In addition, the calculation method should be change in response to changes of tunnel conditions and used light sources. In this study, the calculated factor of the maintenance factor in tunnel is determine by four calculation factors generally applied to the calculation of maintenance factor. This study examined the method of calculating the maintenance factor of tunnel lighting that can be applied according to the installation conditions in designing tunnel lighting by applying the actual installation data of luminaire.

Key Words : Tunnel Lighting, Maintenance Factor, LLMF, LSF, LMF, SMF

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경

보수율(Maintenance Factor)은 조명시설의 설치 이후 조명기구의 광출력 저하에 따른 노면의 평균휘도 감소를 고려하는 것으로, 초기 설치 후 시간의 경과에 따른 램프 광속의 감소와 램프의 수명에 의한 부점등, 도로조명의 오염 상황 등을 고려한 적절한 값이 계산 되어 도로조명 설계시에 적용되어야 한다. 이러한 보수율은 그 값이 너무 높을 경우 유지·보수비용이 과다하게 소요되고, 너무 낮을 경우에는 시설 초기의 조

---

\* 주저자 : 강원대학교 IT대학 전기전자공학전공  
\*\* 교신저자 : 강원대학교 IT대학 전기전자공학전공 교수  
\* Main author : Doctor's course, Department of  
Electrical and Electronics Engineering,  
Kangwon National University  
\*\* Corresponding author : Professor, Department of  
Electrical and Electronics Engineering,  
Kangwon National University  
Tel : 033-250-7320, Fax : 033-250-7321  
E-mail : uljuk@naver.com  
접수일자 : 2012년 12월 4일  
1차심사 : 2012년 12월 6일  
심사완료 : 2013년 1월 30일

도 및 휘도가 높아져 설비의 설치대수 또는 설치용량이 증가하는 등 초기투자비용에 영향을 미치게 되므로 그 값을 정확히 산정하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다.

현재 대부분의 해외 도로·터널조명 기준 및 지침에서는 램프광속 감소율, 램프 잔존율, 조명기구 오염, 터널 표면의 오염을 보수율 산정의 기본 요인으로 정하고 있다. 하지만 한국산업규격의 터널조명기준(KS C 3703)에는 이러한 보수율 산정에 대한 항목이 포함되어 있지 않으며, 터널조명 설계시의 보수율 적용에 관한 내용을 포함하고 있는 도로안전시설 설치 및 관리지침에서는 부록에서 터널 조건에 따른 터널 내의 오염정도에 의해 결정된 보수율 산정 표에 의하여 설계시 보수율을 선정하도록 하고 있다[1].

### 1.2 연구의 목적 및 방법

현재 국내 터널조명 설계에 적용되고 있는 보수율 산정 표는 일본의 관련연구 결과를 바탕으로 하고 있으며, 제정이 오래 되어 변화된 국내의 유관기준 및 터널환경을 고려한 개정이 필요한 실정이다.

본 연구의 목적은 터널조명의 보수율 산정에 대하여 일반적으로 정의된 4가지 산정요인을 적용하여 설계 대상 터널의 실제 환경 즉, 사용 광원의 종류 및 특성, 터널 내 오염특성 등을 반영한 터널조명 보수율의 새로운 산정법을 제안하는 것이다.

이를 위하여 일본, 미국, 유럽 등 선진 각국에서 적용하고 있는 터널조명 보수율 산정법을 비교·분석하고, 2003년 발행된 국제조명위원회(CIE)의 ‘옥외조명 보수율 지침서’의 보수율 산정 절차를 바탕으로 국내 도로터널의 보수율 산정시 기준에 반영하고 있는 터널 내의 오염요소 뿐만 아니라 광원 및 조명기구의 광출력 감소요인을 종합적으로 고려한 보수율 산정표를 제시하였다[2].

또한 유지보수 방식의 차이에 의하여 감소 정도를 명확하게 판단할 수 없는 광원의 잔존율 산정을 위하여, 실제 국내 터널도로에 대한 램프 교체 데이터를 바탕으로 광원종류별, 지역별로 적용할 수 있는 터널 보수율 산정법의 잔존계수를 결정하였다.

## 2. 이론고찰

### 2.1 옥외조명 보수율 산정법(CIE 154)

보수율(MF)은 조명시설을 일정 기간 사용한 시점에서의 휘도 및 조도의 출력과 처음 새로 설치했을 때의 휘도 및 조도 출력간의 비로 정의한다.

$$MF = \frac{E_m}{E_n}$$

여기서  $E_m$  : 유지(일정기간 경과 후) 휘도 또는 유지 조도이며,  $E_n$  : 초기 휘도 또는 초기 조도이다.

각기 다른 조명기구 및 환경 조건에 대한 보수율을 계산하고 지정된 유지보수 계획을 고려함으로써 일정 시간이 경과한 조명기구의 조도 및 휘도 상태를 예측할 수 있다.

국제조명위원회(CIE)의 옥외조명 보수율 산정에 관한 기술문서(CIE 154 : 2003)[3]에서는 옥외조명의 보수율 산정 요인을 램프광속유지율, 램프잔존율, 조명기구유지율의 3가지로 정의하며, 터널조명에 한하여 표면유지율을 추가적으로 적용할 것을 권고하고 있다.

보수율은 산정 요인에 대한 계수들의 곱으로 나타낼 수 있다.

$$MF = LLMF \times LSF \times LMF \times SMF$$

LLMF(Lamp Lumen Maintenance Factor) : 램프광속유지계수

LSF(Lamp Survival Factors) : 램프잔존계수

LMF(Luminaire Maintenance Factor) : 조명기구 유지계수

SMF(Surface Maintenance Factor) : 표면유지계수

이러한 계수들의 값은 램프, 조명기구, 설치환경 및 동작시간에 따라 다르게 결정된다.

### 2.2 국내외 터널조명 보수율 산정법

2.2.1 북미조명학회(IESNA)의 터널조명 보수율  
북미조명학회(IESNA)의 터널조명지침서(IESNA RP-22-11)[3]에는 터널조명의 유지보수 고려 요인을 설명하고 각 요인들에 적용 가능한 값들에 대한 범위를 표로 제시하고 있다[3].

**표 1. IESNA 터널조명 보수율 산정 추천치**  
**Table 1. Recommended Maintenance Factor(IESNA)**

유지보수 고려사항	값의 범위
램프 광속 유지율	0.50~0.95
램프 burnouts	0.30~0.99
조명기구 오염 감소율(LDD)	0.10~0.95
장치 계수(EF)	0.50~0.95
주위 온도	0.20~0.99
전압	0.87~1.13
안정기&램프 요인	0.85~0.90
터널 표면반사율	0.20~0.90
조명기구 청소	0.10~0.90
Total Typical Maintenance Factor(TMf)	0.30~0.65

제시된 유지보수 고려요인은 램프광속저하(LLD), 램프먼지열화(LDD), 장비요소, 그리고 터널 표면(벽면, 천장면)의 반사특성열화 등이며, 계수 명칭 등에 일부 차이가 있을 뿐 CIE의 옥외조명 보수율 산정법과 그 방식이 유사하다. 이러한 보수율 산정 요인의 단순 곱으로써 총 보수율인자(TMf)가 계산된다.

**2.2.2 국제조명위원회의 터널조명 보수율**

국제조명위원회(CIE)의 터널조명지침서(CIE 88 : 2004)에서 권고하는 터널조명의 유지보수 고려요인, 구성은 모두 북미조명학회의 지침서 내용과 동일하다[4]. 다만 유지보수 고려요인에 대한 표는 주어지지 않으며, 최종적인 보수율은 유지보수 상태에 따라 0.35/0.50/0.70의 값을 사용하도록 추천하고 있다.

**2.2.3 영국의 터널조명 보수율**

영국의 터널조명 설계 지침서(BS 5489-2)에는 ‘조명계산시에 계획된 유지보수 절차에 대하여 감광보상율의 세부적인 정보를 이용할 수 있거나, 보다 더 정확한 보수율을 계산할 수 있는 것이 아니라면, 휘도와 조도 계산시의 보수율은 0.7의 값을 사용할 수 있다’고 명시되어 있다[5].

**2.2.4 일본 터널조명 보수율 산정법**

일본 고속도로 터널조명의 경우에는 ‘(재)고속도로

조사회’에서 발행한 ‘터널조명설계 지침(1990)’상의 보수율 계산 표와 그에 따른 유지보수 지침을 적용하도록 하고 있다[6].

고속도로 터널조명의 보수율은 연평균 일 교통량(AADT), 터널의 길이, 도로의 종단 구배(평탄도)에 따라 0.40~0.75의 범위로 설정되어 있다. 또한 이러한 보수율 표를 적용하기 위하여 교통량에 따른 조명기구의 청소주기가 추천된다.

또한 일본도로협회에서 발행한 ‘도로조명시설 설치기준(2007)’에서 보수율에 대한 간단한 정의와 산정요인, 도로 및 터널조명에 대한 보수율 추천치를 제시하고 있다[7]. 터널조명에 대하여 추천되는 보수율의 범위는 0.50~0.75이다.

**표 2. 일본 고속도로 터널조명 보수율**  
**Table 2. Maintenance Factor of Expressway Tunnel lighting(Japan)**

터널 AADT	연장 구배(%)	1,500m 이상		500 ~ 1,500m		500m 미만	
		≥2	<2	≥2	<2	≥2	<2
2만/일 이상		0.40	0.50	0.50	0.55	0.55	0.60
1만 ~ 2만/일		0.45	0.55	0.55	0.60	0.60	0.65
5천 ~ 1만/일		0.50	0.60	0.60	0.65	0.65	0.70
5천/일 미만		0.55	0.65	0.65	0.70	0.70	0.75

**2.2.5 국내 터널조명 보수율**

국내 터널조명 보수율은 ‘도로안전시설 설치 및 관리지침-조명시설편(1999)’에서 교통량과 터널연장, 구배에 따라 제시된 터널조명 보수율 산정 표를 통해 결정되고 있다.

이러한 터널조명의 보수율 적용값은 위에 언급된 일본의 연구사례와 설계지침의 내용을 준용한 것으로 고속도로에 적용되는 보수율 산정표의 경우에는 일본의 산정표에 입구부/기본부 구분을 추가하고 일정비율로 상승요인을 적용하였다.

일본의 보수율 산정 표가 만들어진 당시(1980~1990년대)에는 차량의 매연 배출량에 대한 규제가 미흡하였고, 터널조명 보수율 산정에 영향을 미치는 주요인인 조명기구의 오염에 의한 부분 보수율 즉, 조명기구 오염계수로 고려하였다.

**표 3. 국내 터널조명 보수율 산정 표**  
**Table 3. Maintenance Factor of Tunnel lighting (Korea)**

터널구조 일 교통량	길이(m)	1,500 이상		500 ~ 1,500		500 미만	
	중단경사(%)	2이상	2미만	2이상	2미만	2이상	2미만
20,000대 이상		0.40	0.50	0.50	0.55	0.55	0.60
10,000~20,000대 미만		0.45	0.55	0.55	0.60	0.60	0.65
5,000~10,000대 미만		0.50	0.60	0.60	0.65	0.65	0.70
5,000 미만		0.55	0.65	0.65	0.70	0.70	0.75

또한 터널조명의 광원으로 대부분 저압나트륨 램프가 사용되었기 때문에 광원의 종류에 따른 보수율 변화요인이 없는 것으로 판단하였으며, 터널의 청소주기도 빈번하여 청소와 램프 교체를 동시에 수행하는 경우 광원의 잔존계수가 주로 1로 적용되었다.

이러한 보수율 산정 표는 광원의 영향을 배제하고 일 교통량, 터널 길이, 터널 평탄도 등 주로 터널 내부의 오염요소 및 터널 구조에 기인하여 보수율을 산정한 것이다.

### 3. 터널조명 보수율 산정법

현재는 차량의 배출가스에 대한 규제가 엄격해졌고, 차량의 성능 또한 개선되어 터널조명기구의 오염요인이 이전에 비하여 감소하였음, 광원의 종류 또한 종전의 저압나트륨 램프에서 고압나트륨 램프와 형광램프로 변화하였다.

이전 보수율 산정 표에서 주된 보수율 산정요인이었던 터널의 연장과 내부구조에 의한 조명기구 오염요인 보다는 광원의 광속유지율과 잔존율이 보수율의 산정에 보다 큰 영향을 미치는 요인이 되었다. 특히 잔존율의 경우 터널 대기환경의 개선으로 인한 청소회수 감소의 영향으로 1.0이 아닌 실제 잔존율에 의거한 값이 적용되어야 하며, 이를 위해서는 설정된 보수율 표를 사용하기 위한 유지보수 조건이 지정되어야 하나 국내는 그렇지 않아 정확한 적용이 어렵다.

따라서 터널 내부환경과 보수율 산정요인의 변화 등을 반영하여 터널조명기구 오염요인을 주로 적용한 이전의 보수율 산정방식으로부터, 적용되는 광원의 광

속유지율과 잔존율을 주요인으로 반영할 수 있도록 하는 보수율 산정법의 개선이 필요하다.

### 3.1 보수율 산정요인의 설정

해의의 터널조명기준 및 지침에서 권고하는 4종류의 보수율 산정요인을 국내 고속도로 터널조명 조건에 맞도록 적용하여 터널조명 보수율을 산정하였다.

#### 3.1.1 램프 광속유지계수

램프 광속유지율은 수명 내 특정시점의 램프광속과 초기광속의 비이며, 초기광속은 방전램프에서 보통 점등 후 100시간 경과 시점에서의 광속으로 표시된다.

표 4는 터널조명에 사용되는 광원에 대한 일반적인 광속유지계수를 나타낸 것으로, 설치장소 및 조건에 따른 최적의 유지계수를 결정하기 위해서는 램프 제조업체로부터의 정확한 데이터와 현장 램프사용 현황 등에 의한 산정이 필요하다.

도로설계편람의 '터널'편에 따른 램프의 정격수명은 고압나트륨램프와 형광램프 모두 10,000시간 정도로 이를 동작시간으로 가정하면 유지계수는 각각 0.91/0.92이다.

**표 4. 램프 광속유지계수(CIE 154:2003)**  
**Table 4. Lamp Lumen Maintenance Factor**

램프 유형	램프 동작 시간 (단위 : 1,000시간)				
	4	6	8	10	12
고압나트륨램프	0.98	0.97	0.94	0.91	0.90
형광램프	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91

#### 3.1.2 램프 잔존계수

램프의 존속(Lamp Survival)은 주어진 시간에 대하여 지속적으로 동작하는 램프의 비율을 의미한다. 설치된 조명기구의 램프가 소등되는 경우에는 휘도 및 조도와 균제도가 저하하게 되며, 해당 램프에 대한 즉시교체(spot replacement)를 시행함으로써 그 영향을 최소화할 수 있다.

램프의 즉시 교체가 이루어지는 경우, 해당 조명시설에 대한 램프 잔존계수는 1이 된다. 다수의 램프에 대하여 특정 시점에 한꺼번에 교체가 이루어지는 경

우(group replacement)에는 램프의 종류와 동작시간에 대한 적절한 잔존계수가 산출되어야 한다.

터널과 같이 램프의 일광교체나 즉시교체가 어려운 경우에는 정기 부점등 교체(교체주기를 정하여 부점등된 램프만을 교체)를 시행하는 경우가 일반적으로, 이때의 잔존계수 산출을 위해서는 정기 점검시마다 어느 정도의 부점등이 발생하고 있는가를 광원의 종류별, 교환주기별로 조사하여 광원의 잔존율 계산(잔존율=1-부점등률)이 가능하다.

램프 잔존계수는 실제 고속도로 터널조명에 대한 램프교체 데이터에 의하여 광원종류별, 교환주기별로 설정되었다.

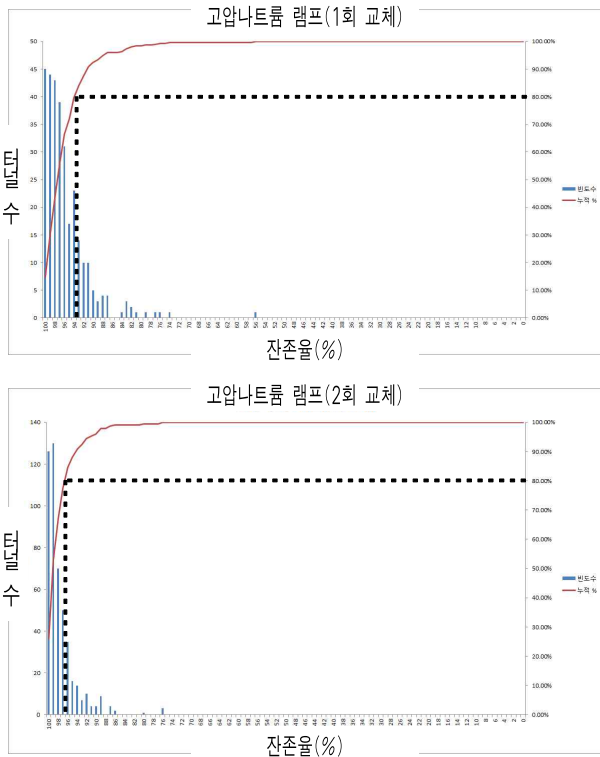


그림 1. 고압나트륨 램프의 잔존율  
Fig. 1. Lamp survival factors of HPS Lamp

고속도로 터널의 램프 잔존계수는 실제 고속도로 터널의 광원별 데이터를 기초로 하여 80%의 누적도수에서 확보될 수 있는 광원의 잔존율을 산출하고, 이를 광원별, 교체회수별 램프 잔존계수로 적용하였다(표 5).  
형광램프는 주위온도에 의하여 특성에 영향을 받

며, 일반조명용 형광램프에 대한 한국산업규격(KS C 7601 : 2004)에서는 형광램프를 10°C~50°C 사이의 온도에서 사용할 것을 권장하고 있다. 터널이 위치한 지역을 크게 북부(경기, 강원), 중부(충청, 경북, 전북), 남부(경남, 전남)로 구분했을 때, 지역에 따라 평균기온에 차이가 있기 때문에, 형광램프의 잔존율 또한 영향을 받는 것으로 나타났다.

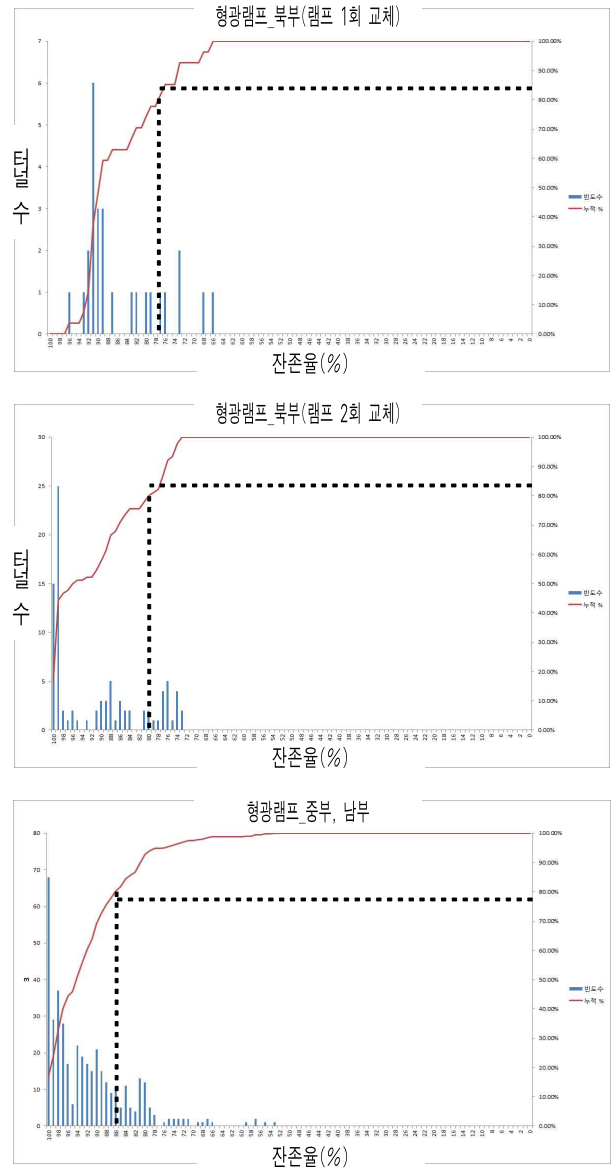


그림 2. 터널 위치별 형광램프 잔존율  
Fig. 2. Lamp survival factor of FL for tunnel location

형광램프의 경우, 2007년~2008년과 2009년~2011년의 평균 잔존율의 차이가 크게 나타났으나 그 이유를 명확히 규정하기 어려웠기 때문에, 분석의 정확성을 고려하여 교체회수에 따른 잔존계수 산정시 2007~2008년의 잔존율 데이터는 포함시키지 않았다.

그림 2는 연간 램프교체 회수에 의해 차이가 나타나는 북부지역과 중·남부지역에 대하여 누적상대도수에 의한 잔존계수를 나타낸 것이다.

이러한 결과를 바탕으로 고속도로 터널조명에 적용할 수 있는 광원별, 교체회수별, 터널위치별 램프 잔존계수(LSF)를 산출하였다(표 5).

**표 5. 램프별, 교체회수별, 터널위치별 잔존계수**  
Table 5. Lamp survival factors for lamps, lamp replacement, tunnel location

구 분	램프교체(회/년)	북부 터널	중부·남부 터널
입구부 (HPS)	1회	0.94	
	2회	0.97	
기본부 (FL)	1회	0.77	0.86
	2회	0.80	

3.1.3 조명기구 유지계수

조명기구 유지계수(LMF)는 조명기구의 초기효율과 주어진 시점에서의 조명기구 효율간의 비를 의미하는 것으로, 다음의 표는 조명기구의 IP등급과 설치장소의 오염정도, 조명기구의 노출기간에 따른 조명기구 유지계수의 대푯값을 나타낸 것이다. 노출기간은 조명기구의 최초 설치 또는 세척시점으로부터 다음 조명기구 세척이 이루어지기까지의 기간을 의미한다.

3.1.4 표면 유지계수(CIE 97 : 1990)

표면 유지계수(SMF)는 설치초기 또는 표면세척이 이루어진 시점에서의 구조물 표면 반사율과 특정 시점에서의 방 표면 반사율의 비율을 의미하며, 세척주기 구조물의 노출기간과 방지수, 오염등급 등에 영향을 받는다.

**표 6. 조명기구 유지계수(CIE 154 : 2003)**  
Table 6. Luminaire maintenance factor(LMF)

IP 등급	오염 등급	조명기구 노출 기간 (단위 : 년)				
		1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
IP6X	높음	0.91	0.90	0.88	0.85	0.83
	중간	0.92	0.91	0.89	0.88	0.87
	낮음	0.93	0.92	0.91	0.90	0.90

낮음 : 인근에 매연 또는 분진 발생 활동이 없고 주변 오염도가 낮은 환경으로 대개 주변지역이나 농촌지역에 국한됨. 주변 입자밀도가 150µg/m³을 넘지 않는 수준  
 중간 : 인근에 보통 정도의 매연 또는 분진발생 활동이 있고, 교통량이 보통 또는 많은 환경. 주변 입자밀도가 600µg/m³을 넘지 않는 수준  
 높음 : 인근에서 발생하는 매연이나 분진이 평상시 조명기구를 둘러싸고 있는 환경

**표 7. 표면 유지계수(CIE 97 : 1990)**  
Table 7. Surface maintenance factor(SMF)

표면 노출 기간(년)		0.5			1.0			2.0		
오염 등급		낮음	중간	높음	낮음	중간	높음	낮음	중간	높음
방지수 (K)	Small(K = 0.7)	0.97	0.96	0.95	0.97	0.94	0.93	0.95	0.93	0.90
	K = 1.6	0.98	0.97	0.96	0.98	0.95	0.94	0.96	0.94	0.92
	Med.(K = 2.5)	0.98	0.97	0.96	0.98	0.96	0.95	0.96	0.95	0.94
	Large(K = 5.0)	0.99	0.97	0.96	0.98	0.96	0.95	0.96	0.95	0.94

방지수(K)는 다음과 같이 산출할 수 있다.

$$K = \frac{L \times W}{H_m (L + W)}$$

여기서 L : 터널의 길이, W : 터널의 폭이며, Hm : 조명기구의 설치 높이이다.

현재 2차로, 3차로, 4차로의 고속도로 터널을 대상으로 터널 연장에 따른 방지수(K)를 계산하면 표 B-15와 같이 2.0~2.6의 분포를 나타내며, 표 B-14에서 방지수 변화(1.6~2.5)에 따른 값의 변화가 거의 없기 때문에 표면 유지계수(SMF)는 Med.(K=2.5)의 값을 적용할 수 있다.

3.2 터널조명 보수율 계산

3.1에 제시된 계수들의 크기는 램프, 조명기구, 환경

및 시간에 따라 다르며, 정확한 계산을 위해서는 LLMF, LSF, LMF에 대하여 실제의 측정데이터 또는 제조업체에서 제공한 최신의 데이터를 보수율 산정에 반영해야 한다.

고속도로 터널조명에 적용되는 보수율은 다음의 단계적 절차에 따라 구할 수 있다.

- 1단계 : 적용할 램프와 조명기구를 선택한다.
  - 2단계 : 램프의 평균 동작시간을 결정한다.
  - 3단계 : 2단계에서 설정한 평균 동작시간에 대한 LLMF를 표 4에서 구한다.
  - 4단계 : 터널이 위치한 지역, 광원의 종류, 광원의 교체주기에 따라 표 5에서 LSF를 구한다.
  - 5단계 : 조명기구의 세척주기를 결정한다.
  - 6단계 : 조명기구의 IP등급, 오염등급 및 5단계에서 정한 세척주기들을 평가하여 표 6으로부터 LMF를 구한다.
  - 7단계 : 표 7로부터 터널조명시설에 대한 SMF를 구한다.
  - 8단계 :  $MF=LLMF \times LSF \times LMF \times SMF$ 를 구한다  
(계산된 보수율은 소수점 둘째자리 이상이 되지 않도록 한다).
- 유지보수 계획의 선택사항들이 초기 설계단계에서

고려될 수 있도록 1~7단계의 여러 요인들을 조절해 가며 반복하는 것이 바람직하다.

앞서 설정한 고속도로 터널조명의 보수율의 산정 요인들과 단계적 절차를 적용하여 고속도로 터널조명의 보수율 결정시 적용할 수 있는 산정 표를 도출하였다.

- ① 램프와 조명기구의 선택  
 램프 : 고압나트륨램프, 형광램프  
 조명기구 : IP6X 등급 조명기구
- ② 램프의 평균 동작시간  
 고압나트륨램프 : 10,000시간  
 형광램프 : 10,000시간  
 제시된 램프의 평균 동작시간은 ‘도로설계편람 - 터널 편(국토해양부, 2010 개정)’ 방전램프특성 표(표 620.1)의 램프별 정격수명에 의한 것이다.
- ③ 램프 광속유지계수(LLMF)  
 고압나트륨램프 : 0.91  
 형광램프 : 0.92  
 램프 광속유지계수는 표 4에 의하여 각 램프의 평균 동작시간(10,000)에 따른 표준 광속유지계수를 적용한 것이다.
- ④ 램프 잔존계수(LSF)  
 램프 잔존계수는 표 5에 따라 광원별, 광원 연간

**표 8. 고속도로 터널조명 보수율**  
**Table 8. Maintenance Factor of Tunnel Lighting in Expressway**

구 분	광속유지 계수 (LLMF)	램프 잔존계수 (LSF)		조명기구 유지계수 (LMF)		표면 유지계수 (SMF)		보수율 M			
		터널 위치		오염등급		오염등급		오염등급			
		북부	중·남부	중간	낮음	중간	낮음	중간		낮음	
								북부	중·남부	북부	중·남부
입구부 (고압나트륨 램프)	0.91	0.97		0.92	0.93	0.97	0.98	0.79		0.80	
기본부 (FL)	0.92	0.80	0.86	0.92	0.93	0.97	0.98	0.66	0.71	0.67	0.72

주 1) 고압나트륨 램프의 평균 동작시간은 10,000시간, 형광램프의 평균 동작시간은 10,000시간으로 가정.  
 주 2) 북부 : 경기·강원 위치 터널 / 중·남부 : 충청, 경남·북, 전남·북 위치 터널  
 주 3) 터널의 오염등급 : 중간 등급(미세먼지 농도 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하) / 낮음 등급(미세먼지 농도 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하)  
 주 4) 터널 내 사용 조명기구의 IP 등급 : IP6X  
 주 5) 유지보수 조건 - 램프 교체회수 : 2회/년 / 조명기구 청소 주기 : 1회/년 / 터널 벽면 세척 주기 : 2회/년

교체회수별, 터널 위치별로 각각 산정한다.

⑤ 조명기구/터널 벽면 세척주기

조명기구 세척주기 : 1회/년

터널벽면 세척주기 : 2회/년

조명기구 유지계수와 표면 유지계수 산출을 위한 조명기구의 세척주기는 일반적인 유지보수 상황을 고려하여 조명기구는 연간 1회, 터널벽면은 연간 2회로 설정하며, 설정 회수 이상 세척을 실시하는 경우에는 표 6과 표 7에서 노출기간을 다르게 하여 유지계수를 결정하여야 한다.

⑥ 조명기구 유지계수(LMF)

앞서 설정한 조명기구 종류(IP6X 등급)와 세척주기(1회/년)에 따라 표 6으로부터 LMF를 구한다. 조명기구의 오염등급은 ‘중간’ 등급으로 하며, 터널 내 미세먼지 농도의 감소 등 오염등급의 상승요인이 있을 경우에는 ‘낮음’ 등급을 적용할 수 있다.

$$LMF = 0.92$$

⑦ 표면 유지계수(SMF)

2차로/3차로/4차로 고속도로 터널의 경우, 방지수 K는 터널길이에 관계없이 항상 2.0~2.6의 값을 갖는다. 표 7로부터 터널벽면 세척회수 연간 2회인 경우, ‘중간’ 오염등급의 터널 표면 유지계수는 0.97이다.

$$SMF = 0.97$$

⑧ 보수율의 산정

표 8은 앞서 설정한 ①~⑧의 산정요인에 따라 설정한 고속도로 터널조명 보수율 산정표를 나타낸 것이다. 이러한 보수율 산정표는 산정요인 설정시 반영된 유지보수 조건이 실제 적용되는 터널에 한하여 적용이 가능하다.

#### 4. 결 론

제안된 보수율 산정방식은 터널의 연장, 교통량, 길이, 종단 기울기(평탄도) 등 터널 내 오염요소를 보수율 산정의 주 요인으로 반영하지 않고, 사용되는 광원의 광속유지율과 잔존율, 유지보수 조건 등을 종합적으로 고려하여 사용광원과 유지보수 조건(조명기구

및 터널벽면의 청소주기 등)이 일괄적으로 적용되는 경우에는 터널구조와는 무관하게 동일하게 적용되도록 하였다. 광원의 잔존계수는 국내 고속도로 터널의 실제 램프교체 데이터를 바탕으로 산출되었으며, 그 외의 보수율 산정계수들은 국제조명위원회의 지침을 검토하여 이론적으로 산출한 계수이다.

일본의 경우 2년에 걸쳐 고속도로 터널 내 매연 농도와 광원 부점등률의 변화 추이 등을 측정/분석하는 등 보수율 산정방식 변경의 근거를 확보하기 위한 연구를 지속적으로 수행하여 자국 상황에 적합한 보수율을 제시하고 있다[9].

최근 도로·터널조명 등에 사용되는 광원의 종류가 다양해지고, LED 조명의 도입이 본격적으로 시작되는 등 보수율 계산에 필요한 각종 계수들에 대한 정확한 데이터가 요구되고 있다. LED를 광원으로 사용한 조명기구의 경우에는 광속유지율, 잔존율 등의 데이터가 제대로 확보되지 않아, 보수율 산정과정에서 이를 확인할 수 없는 경우가 많은 실정이다.

보다 정확한 보수율 산정을 위해 정확한 광원 데이터를 제공하기 위한 LED 등 광원 제조사의 노력과 터널 내 현장 상황과 유지보수 현황 등을 반영한 장기간의 연구가 동시에 수반되어야 할 것이다.

이 논문은 한국조명·전기설비학회 2012년도 춘계학술대회에서 발표하고 우수추천논문으로 선정된 논문임.

본 연구는 한국도로공사 ‘고속도로 도로조명 설계 가이드라인 연구’ 영역의 결과로 수행되었음.

#### References

- [1] KS C 3703:2010 “Recommendation for lighting of traffic tunnels”.
- [2] CIE 154:2003 “The maintenance of outdoor lighting systems”.
- [3] ANSI/IESNA RP-22-11 “Tunnel lighting”.
- [4] CIE 88:2004 “Guide for the lighting of road tunnels and underpasses”.
- [5] BS 5489-2:2003 “Code of practice for the design of road lighting-Part 2:Lighting of tunnels”.
- [6] EHRF “Guide on the design of tunnel lighting”, Express Highway Research Foundation of Japan, 1990.



- [7] JRA “Standard on installation of road lighting”, Japan Road Association, 2007.
- [8] CIE 97:1990 “Guide on the maintenance of indoor electric lighting systems”.
- [9] S. Hirakawa, K. Toeda, T. Sugawara, S. Sakamoto “Maintenance Factor in Installation of Tunnel Lighting”, J. Illum. Engng. Inst. Jpn. Vol. 96 No. 2, p69~p74, 2012.

◇ 저자소개 ◇



**이민옥 (李致旭)**  
 1980년 8월 24일생. 2007년 강원대학교 전기전자공학부 졸업. 2009년 동 대학원 졸업(석사). 현재 강원대학교 전기전자공학전공 박사과정.  
 E-mail : uljuk@naver.com



**박광용 (朴廣用)**  
 1962년 3월 1일생. 2001년 한양대학교 산업대학원 전기공학전공 졸업(석사). 현재 한국도로공사 본사 시설처 팀장.  
 E-mail : kypark@ex.co.kr



**김필영 (金弼泳)**  
 1965년 2월 7일생. 1992년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 현재 한국도로공사 본사 시설처 부장.  
 E-mail : cosmoscan@naver.com



**박용진 (朴容禎)**  
 1970년 12월 30일생. 1994년 동국대학교 산업안전공학과 졸업. 현재 한국도로공사 본사 시설처 차장.  
 E-mail : dhpyjj@naver.com



**김 훈 (金 燾)**  
 1958년 8월 6일 생. 1981년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 졸업(석사). 1988년 동 대학원 졸업(박사). 현재 강원대학교 IT대학 전기전자전공 교수. 스마트조명 연구센터 센터장. KCIE 회장. 본 학회 부회장.