

# 교통량을 고려한 고속도로 조명기구의 보수율 산정법

(Determination of Maintenance Factor for Freeway Lighting Luminaires  
According to Traffic Volume)

여인선\*

(In-Seon Yeo)

## 요 약

IESNA에서 제시하고 있는 환경등급에 따른 광속유지율 산정법에 기초하여, 각 고속도로의 교통량, 주변 지역의 오염 정도에 따라 세분화된 보수율을 산정하는 방법을 제시함으로써 고속도로 조명설계에 있어서 보수율 적용을 손쉽게 할 수 있도록 하였다. 또한, 그러나 기존의 보수율 개념만 가지고는 실제적인 광손실률 값을 얻을 수 없으므로 장치적용률로서 0.9 정도를 고려해야 실제 현장에서 적용하고 있는 보수율에 근사한 값을 얻을 수 있었다.

## Abstract

It is required to determine proper values for the maintenance factor according to traffic volume in the freeway lighting design. This paper presents a simple method to separate of the effect of surrounding environment and that of traffic volume, which is based on the IESNA treatment with additional assumptions on their effects. Furthermore, it is found that prevailing concept for the maintenance factor does not necessarily yield a proper value for light loss factor, so that an additional factor of 0.9 should be included as an equipment factor.

## 1. 서 론

고속도로조명에 사용되는 가로등은 야간에 고속으로 이동하는 이용자들의 안전과 편안한 주행을 보장하기 위한 고속도로의 대표적인 교통안전 시설이다.

최근 들어 자동차 이용자의 수가 급증하고 있는 가운데, 가로등에 의한 고속도로 조명의 중요성이 점차 인식되고 그 시설 확대가 시도되고 있다. 고속도로에 있어서 가로등의 설치는 교통안전시설로서 충분한 설득력을 얻고 있으나, 이것의 설치와 운영에는 막대한 비용이 들어가므로 합리적으로 계획되어야 할 뿐 아니라 최적의 설치 및 운용개선 방안을 모색할 필요가 있다.

\*정회원 : 전남대 공대 전기공학과 부교수  
접수일자 : 1998. 3. 27

이중에서 특히 고속도로조명 설계와 관련하여, 아직까지 국내에서는 도로의 종류 및 등급에 따른 보수율 선정이 세분화되어 있지 못한 탓에, 보수율 적용에 곤란함을 겪고 있다. 즉, 일반적으로 도로조명 설계때 보수율로서 0.6~0.75를 적용하고 있으나, 구체적으로 이에 대한 지침없이 주변환경 상태에 따라 막연히 위의 값을 적용하고 있는 실정이다. 따라서 고속도로 여건, 즉 교통량, 주변 환경, 보수상태에 따라 이를 세분화하여 적용할 필요가 있다고 판단된다.

이미 미국, 일본 등지에서는 여러 가지 조명기구에 있어서 도로 주변 환경, 청소 간격에 따라 보수율을 산정하는 방법을 규격화 해놓고 있다[1~3]. 그러나 이 경우에 있어서도, 도로 주변 환경의 요인으로서 주변 환경에 의한 오염 정도와 해당 도로의 교통량에 의한 오염 정도를 구분하지 않음으로써, 막상 특정 규모의 교통량을 갖는 고속도로조명에 적합한 보수율 산정을 어렵게 하고 있다.

이 논문에서는 이 점을 고려하여 각 고속도로의 교통량, 주변 지역의 오염 정도에 따라 세분화된 보수율을 산정할 수 있음을 보임으로써, 고속도로 조명설계에 있어서 보수율 적용을 손쉽게 할 수 있도록 하였다. 이 방법은 IESNA에서 규정한 보수율 산정법에 기초하여 주변 환경에 의한 오염의 영향과 해당 도로의 교통량에 의한 오염의 영향을, 가정을 통해 수치화하여 분리한 것으로서, 고속도로용 조명 광원으로서 고압나트륨램프를, 조명기구로서는 밀폐형을 사용하는 것으로 가정하여 문제를 단순화시키고자 하였다.

## 2. 광손실 요인과 보수율

### 2.1 광손실 요인

광손실률(Light Loss Factor, LLF)은, 램프-등기구 시스템의 수명 경과에 따른 광출력 저하나 표준 측정조건과의 차이를 감안하여, 조도계산 결과를 실제 현장 상황에 맞도록 보정하는 역할을 한다. 즉 램프의 광출력, 조명기구의 광출력, 표면 반사율 등이 실제 현장에서는 이상적인 상황에서의 측정치보

다 일반적으로 작은 값을 가지므로 이에 대하여 교정을 행하는 것이다. 광손실률은 크게 회복 가능 요인과 회복 불가능 요인의 두 가지로 구분할 수 있다. 회복 가능 요인은 정기적인 보수, 즉 청소, 램프 교체, 도색 등에 의하여 회복될 수 있는 요인을 말하며, 회복불가능 요인은 장치나 설치 장소에 기인한 요인들로서 일반적인 보수에 의해 변화하지 않는 요인들이다. 이것들은 표 1에 표시한 바와 같이 각각 보수율(Maintenance Factor ; MF)과 장치적용률(Equipment Factor ; EF)로서 표현되는데, 광손실률의 각 요인들은 상호 독립적이며, 각 요인들에 의해 산출된 계수들을 모두 곱하여 최종적인 광손실률이 구해진다[1~2].

도로조명 계산에 있어서 광손실률중 장치적용률의 경우는 보수율에 비해 보정에 큰 영향을 주지 않는 경우가 많고 보정이 쉽지 않으므로, 일반적으로 보수율만 고려하는 경우가 대부분이다. 그렇지만 장치적용률도 시스템의 전체 광속을 감소시킬 수 있으므로 가능한 한 줄이도록 하며, 필요한 경우 설계에 반영할 수 있다. 그렇지만 대부분의 도로조명 설계에 있어서 장치적용률을 고려하지 않고 보수율로서 광손실률을 의미하는 경우가 많다. 국내에서도 이와 같은 의미로 보수율이 사용되고 있다.

표 1. 광손실 요인  
Table 1. Various light loss factors

구분	성격	세부 요인
장치 적용률 EF (Equipment Factor)	회복 불가능	조명기구 주위온도 요인 열방출 열적 요인 공급전압 요인 안정기 요인 안정기-램프 광학적 요인 장치 작동 요인 램프 기울임 요인 조명기구 표면열화 요인
보수율 MF (Maintenance Factor)	회복 가능	램프 광출력 감소 요인(LLD) 조명기구 먼지열화 요인(LDD) 실내면 먼지열화 요인(RSDD) 램프 수명 요인(LBO)

### 2.2 보수율

광손실 요인중 장치적용률을 제외한 보수율 M은

“조명설비를 어느 기간 사용한 후의 작업면상의 평균조도 ( $E_{avg}$ )와 초기조도 ( $E_i$ )와의 비”를 말하는 것으로, 이것의 구성요소는 다음과 같은 4가지의 부분 보수율로 나눌 수 있다[1~3].

$$M = \frac{E_{avg}}{E_i} = LLD \times LBO \times LDD \times RSDD$$

여기에서

LLD : 광원의 광속유지율

LBO : 광원의 잔존율

LDD : 조명기구의 오염을 감안한 광속 유지율

RSDD : 실내면의 오염에 의한 광속유지율

그러나 이 중에서 도로면의 오염도에 의한 RSDD는 일반적으로 광원 및 조명기구의 오염에 의한 부분 보수율에 비해 적으므로 여기서는 고려하지 않도록 한다. 또한, 도로의 경우 도로면의 열화나 오염에 의한 반사율의 저하를 생각할 수 있으나, 도로의 재포장 등 변수가 많아 일률적으로 적용하기 어렵다.

### 3. 고속도로조명에 적합한 보수율 산정법

서두에서 언급한 바와 같이 일반적으로 도로조명의 보수율로서 0.6~0.75의 값이 적용되고 있으나, 고속도로의 여건, 즉 교통량, 주변환경, 보수상태에 따라 이를 세분화하여 적용하기가 쉽지 않다. 이는 앞에서의 일반적인 산정방법에서 본 바와 같이 교통량과 주위환경 등이 서로 독립적인 인자로서 적용되어 있지 못하고 서로 섞여있는 형태로 존재하기 때문에, 도로조명과 같이 교통량에 따라 보수율을 달리 산정할 필요성이 있을 때 어려움이 뒤따른다. 여기에서는 적당한 가정을 통하여 교통량과 주위환경을 서로 독립적인 요인으로 취급하여 계산함에 따른 보수율 산정법이 가능함을 보이고자 한다.

#### 3.1 새로운 보수율 산정법의 개요

보수율은 앞에서 설명한 바와 같이 광원의 광속유지율(LLD)과 잔존율(LBO) 및 조명기구의 광속유지율(LDD)을 곱한 값으로 계산되며, 필요할 경우,

장치적용률(EF)을 고려할 수 있다.

#### (1) 고속도로용 광원 및 조명기구 조건

고속도로에서는 사용하는 광원 및 조명기구가 비교적 단순하고, 램프 교환 시기 및 청소 간격 등을 일률적으로 통일시키는 경우가 많으므로 문제를 단순화시킬 수 있다. 여기에서는 일반적인 고속도로의 조명조건으로서 다음과 같은 조건하에서 보수율을 산정하고자 하였다.

- 사용 광원 : 고압나트륨램프
- 조명 기구 : 밀폐형
- 램프 교환시기 : 12,000시간
- 청소간격 : 1년

#### (2) 광원의 광속유지율

고압나트륨램프에 있어서, 교환시간 12,000시간의 경우 유효 광속유지율은 다음과 같이 표현할 수 있다[3].

$$M_1 = LLD \times LBO = 0.85$$

#### (3) 조명기구의 광속유지율

조명기구의 광속유지율을 구함에 있어서 다음 그림 1에 보이는 북미조명학회(IESNA)에서 제시한 조명기구의 광속유지율 값(LDD)을 기준으로 하여, 이로부터 조명기구를 둘러싸고 있는 주위환경의 분류와, 해당 도로의 교통량의 분류를 통해 고속도로 조명의 설계에 쉽게 적용할 수 있는 보수율을 산정하도록 하였다.

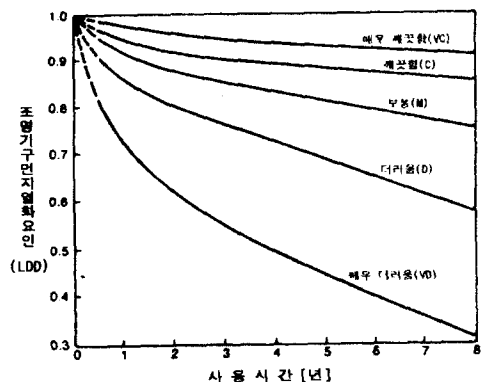


그림 1. 주위환경에 따른 조명기구 광속유지율 (IESNA 분류방식)

Fig. 1. Roadway luminaire dirt depreciation factor for enclosed luminaires[1~2].

### 3.2 조명기구의 광속유지율 산정법

#### 1) 주위환경의 분류

자동차에 의한 매연을 제외한 모든 주위환경 요소를 표 2와 같이 매우 깨끗함, 깨끗함, 보통, 더러움, 아주 더러움의 5등급으로 분류하였다. 이 분류법은 그림 1에 보인 북미조명학회(IES)의 조명기구의 주위환경 분류방법에 의거하되, 다만 자동차에 의한 영향만을 제외한 것이다. 각 등급에 따른 조명기구 광속감퇴율은 위에서 언급한 그림 1의 값을 참고하고, 주위환경의 오염 정도에 따라 감소하게 되는 가중치를 적용하여 산정하였다. 그 결과, 일정한 교통량의 조건하에서 VC(매우 깨끗함)의 경우를 기준으로 하여 아래 등급으로 갈수록  $C=0.945$ ,  $M=0.893$ ,  $D=0.820$ ,  $VD=0.712$ 를 곱하도록 하면 그림 1에서 인용한 조명기구의 광속유지율에 근사한 값을 얻을 수 있었다.

#### 2) 교통량의 분류

교통량은 일반적으로 AADT(연평균 일일교통량)가 5만대/일 이상일 경우 많다고 보고 있으므로 이 값을 상한선으로 하였으며, 이것의 반인 2~5만대/일, 1~2만대/일, 1만대 이하/일, 교통량 없는 경우 등 5등급으로 분류하였다. 이와 같은 등급 분류에 의해 교통량에 따른 광속감퇴율을 고려할 수 있으

표 2. 보수율 산정을 위한 조명기구 주위환경등급  
Table 2. Classification of surrounding environment for calculation of roadway luminaire dirt depreciation factor

분류	기호	광속감퇴율	적용범위
매우 깨끗함	VC (very clean)	1	도시를 벗어난 시골의 공기 환경
깨끗함	C (clean)	0.945	도시 근교의 공기 환경
보통	M (moderate)	0.893	도심내의 공기 환경
더러움	D (dirty)	0.820	공단지역과 같이 매연이 심한 곳, 또는 환기가 잘되는 터널
매우 더러움	VD (very dirty)	0.712	환기가 잘 안되는 터널 등 아주 오염이 심한 곳

표 3. 교통량의 분류 및 이에 따른 광속감퇴율

Table 3. Classification of traffic volume and its relevant lumen depreciation factor

기호	교통량	주위환경				
		VC	C	M	D	VD
V1	교통량 없음	1	1	1	1	1
V2	1만대/일 이하	0.980	0.982	0.984	0.986	0.988
V3	1-2만대/일	0.960	0.964	0.968	0.972	0.976
V4	2-5만대/일	0.930	0.937	0.944	0.951	0.958
V5	5만대/일 이상	0.890	0.901	0.912	0.923	0.934

표 4. 주위환경 및 교통량에 따른 조명기구의 광속유지율(LDD)

Table 4. Luminaire dirt depreciation factor according to surrounding environment and traffic volume

주위환경	교통량					
	V1 교통량 없음	V2 1만대/ 일이하	V3 1-2만 대/일	V4 2-5만 대/일	V5 5만대/ 일이상	
VC	1.00	0.98	0.96	0.93	0.89	
C	0.95	0.93	0.91	0.89	0.85	
M	0.89	0.88	0.86	0.84	0.81	
D	0.82	0.81	0.80	0.78	0.76	
VD	0.71	0.70	0.70	0.68	0.67	

며, 주위환경이 나빠질수록 광속감퇴율에 미치는 교통량의 영향을 점차 감소시켰다.

#### 3) 주위환경 및 교통량에 따른 조명기구의 광속유지율

위에서 가정한, 주위환경 및 교통량이 광속유지율에 미치는 영향을 각각 곱하여, 조명기구의 광속유지율표를 다음과 같이 구성할 수 있었다.

### 3.3 장치적용률에 대한 검토

일반적으로 북미조명학회[1][2]나 일본조명학회[3][4]에서 제시하고 있는 보수율 산정법에 따라 계산된 보수율은 실제 도로조명설계에서 적용하고 있는 값 0.6~0.75에 비해 대체적으로 큰 값을 가지며, 여러 가지 경우에 있어서 그 값을 비교해 본 결과, 실제 적용되는 값에 비해 대략 1:0.9 정도 되는

것으로 계산되었다. 따라서 광원 및 조명기구의 광속감퇴율만을 고려하여 보수율을 산정한 경우 장치 적용률로서 약 0.9를 곱해야 실질적인 보수율, 즉 광손실율(LLF)을 얻을 수 있다는 결론을 내릴 수 있다. 물론 이 값에 대한 실험적인 증거가 앞으로 이루어질 필요가 있으나, 단기간에 이루어지기 어려운 성질이므로, 위와 같이 실제값과의 비교를 통해 얻는 방법이 최선이라 생각된다. 이상과 같은 검토 결과, 광손실율을 산정함에 있어서 장치적용률 EF=0.9를 고려하였다.

#### 4. 도로조명 설계에 적합한 보수율표

지금까지 검토한 바를 종합하면, 고압나트륨램프를 사용한 도로조명에 있어서 램프교환시간 12,000시간, 청소간격을 1년으로 하였을 때의 보수율 즉, 광손실율은 다음 식에 의해 계산되며, 그 결과를 표 5에 정리하였다. 만일 다른 종류의 램프를 사용하거나 램프교환시간을 달리 설정할 경우에는 광원의 광속유지율값을 해당값으로 바꿔주면 된다.

$$\begin{aligned} \text{광손실율} &= \text{고압나트륨램프의 광속유지율}(0.85) \\ &\times \text{조명기구의 광속유지율}(LDD) \\ &\times \text{장치적용률}(0.9) \end{aligned}$$

표 5. 주위환경 및 교통량에 따른 보수율표  
Table 5. Maintenance factor including equipment factor according to surrounding environment and traffic volume

교통량 주위환경	V1	V2	V3	V4	V5
	교통량 없음	1만대/ 일이하	1-2만 대/일	2-5만 대/일	5만대/ 일이상
VC	0.77	0.75	0.73	0.71	0.68
C	0.72	0.71	0.70	0.68	0.65
M	0.68	0.67	0.66	0.65	0.62
D	0.63	0.62	0.61	0.60	0.58
VD	0.54	0.54	0.53	0.52	0.51

다음 표 6에 지금까지 제안한 방식에 따라 구한 보수율 값과 일본도로조명설계지침에 의한 값을 비교하였다. 이 결과에 따르면, 두 값의 차이가 약 0.5% 이내로 거의 없으며, 교통량에 따른 보수율 값을

보다 세분화, 체계화할 수 있음을 보인다. 또한 장치 적용률로서 0.9를 적용할 수 있음을 나타낸다.

표 6. 보수율의 적용 예  
Table 6. Comparison of maintenance factors between calculated ones to some standard values

적용 지역	도심통과지역 (주위환경 : M)		지방부 (주위환경 : VC)	
	제안 방법	일본도로 조명설계 지침[4]	제안 방법	일본도로 조명설계 지침[4]
교통량 (대/일)	50,000 이상	0.60	0.68	0.65
	20,000 ~ 50,000		0.71	
	10,000 ~ 20,000	0.65	0.73	0.70
	10,000 이하	0.70	0.75	0.75

#### 5. 결 론

도로조명에서 보수율을 적용할 때 일반적으로 0.6~0.75가 적용되나 고속도로 여건, 즉 교통량, 주변 환경, 보수상태에 따라 이를 세분화하여 적용할 필요가 있다. 이를 위해 IESNA에서 제시하고 있는 환경등급에 따른 광속유지율 계산법에 기초하여, 각 고속도로의 교통량, 주변 지역의 오염 정도에 따라 세분화된 보수율을 산정하는 방법과 그 결과를 정리함으로써 고속도로 조명설계에 있어서 보수율 적용을 손쉽게 할 수 있도록 하였다. 그러나 기존의 보수율 개념만 가지고는 올바른 광손실율을 표현할 수 없다는 결과를 얻었다. 즉, 도로조명에 계산에 있어서 광손실률로서 보수율만 고려하는 경우에 실제 현장에서 적용하고 있는 값보다는 1.1배 정도 크게 나오게 된다. 이것은 광손실율을 산정함에 있어서 광원 및 조명기구에 의한 광속유지율을 서로 곱한 뒤, 장치적용률로서 0.9정도를 고려해야 실제 현장에서 적용하고 있는 보수율에 근사한 값을 얻을 수 있었다.

고속도로 조명설계에 쉽게 적용할 수 있도록 보수율 산정법을 새로 제시하였으나, 주위환경 등급 및

교통량을 고려한 고속도로 조명기구의 보수율 산정법

교통량의 분류 방법이나, 이들이 보수율에 미치는 요인에 대해서 보다 근거 있고 충분한 검토가 이루어진다면, 보수율 산정에 획기적인 전기가 마련될 것으로 기대된다.

이 연구는 한국도로공사의 지원에 의해 이루어졌습니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] IESNA Handbook, 8/e, 1993.
- [2] ANSI/IES RP-8-1983, American National Standard Practice for Roadway Lighting, 1983.
- [3] 日本照明學會, JIEG-001, 『照明設計の保守率と保守計劃』, 1987.
- [4] 日本高速道路調査會, 道路照明研究委員會, 『道路照明設計指針』, 1990.
- [5] 한국조명·전기설비학회, 고속도로조명 운용개선에 관한 보고서, 한국도로공사, 1998.

#### ◇ 著 者 紹 介 ◇



여 인 선(呂寅善)

1957년 6월 11생. 1979년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 서울대 대학원 전기공학과 졸(석사). 1989년 서울대 대학원 전기공학과 졸(박사).

현재 전남대 공대 전기공학과 부교수, 당학회 평의원 및 편수이사.