

터널조명용 광원의 경제성 비교

(The Comparison of the Economical Efficiency of Light Sources for a Tunnel Lighting)

이진우*

(Chin-Woo Yi)

Abstract

In this paper to compare the economical efficiency of light sources for a tunnel lighting, we define a model tunnel and design tunnel lighting. And to examine economical efficiency of various tunnel lightings we compare the lighting expenses of tunnels. The results shows high pressure sodium lamps are more economical than fluorescent lamps.

Key Words : Tunnel Lightiing, High Pressure Sodium Lamps, Fluorescent Lamps, Economical Efficiency

1. 서 론

경제규모의 확대는 도로가 끊임없이 건설되고, 물류 수송을 원활하게 하기 위한 자동차에 의한 도로교통의 중요성이 증가하고 있다. 기하급수적으로 증가하고 있는 자동차 보급의 영향으로 대도시는 물론 전국 도로망에 대한 교통대책이 사회적인 문제로 대두되고 있으며, 도로교통난의 해소 및 원활한 수송을 위하여 도로 건설의 직선화가 더욱 가속되고 있어 국내 터널 건설이 급증하고 있다[1].

터널조명설비는 교통안전시설의 하나로서 자동차가 터널 안으로 진입할 때 노면에 규정된 조도를 유지토록 하여 운전자가 전방도로에 관한 시각정보를 제공함으로써 교통사고에 의한 인명과 재산피해를 줄이는

데 그 중요성이 있다[2-3].

즉 터널조명설비는 주·야간 운전자들이 안전하고 쾌적한 운행하도록 터널 내부의 특수한 조건에 따라 교통기능의 저하를 방지하고 터널 내 혹은 외부로 이 동시 운전자 시각의 평행 상태의 유지 및 터널 내 공기오염에 따른 투광률 저하를 줄여 운전 방해 요인들을 최소화 하여야 한다. 도로 주행시 개방구간에서 터널구간으로 진입 시에 인체의 생리적 현상인 명순응과 암순응에 의해 시각 장애현상이 발생하게 되는데, 이러한 장애를 경감하기 위해 터널조명은 입구 접속 도로 조명, 입구부 조명, 기본부 조명, 출구부 조명, 출구 접속도 조명, 비상 조명으로 크게 6가지로 구성하여 설계를 하게 된다[4].

현재 국내 터널조명광원으로는 저압나트륨램프, 고압나트륨램프, 고압나트륨램프와 형광램프 혼합형이 사용되고 있으며 한국도로공사의 경우 1997년 이전까지 저압나트륨을 사용하였으나 근래에는 고압나트륨램프와 형광램프 혼합방식을 적용하여 있으며, 이러한 경향은 우리나라뿐만 아니라 가까운 이웃나

* 주저자 : 호서대학교 전기공학과 교수
Tel : 041-540-5655, Fax : 041-540-5658
E-mail : light@hoseo.edu
접수일자 : 2010년 12월 30일
1차심사 : 2011년 1월 11일, 2차심사 : 2011년 1월 28일
심사완료 : 2011년 2월 11일

라 일본과 유럽 등의 선진국의 터널조명도 형광램프와 고압 나트륨램프의 혼합 형태를 이용하는 추세이다[5].

본 연구에서는 터널 조명의 경제성을 검토하기 위한 방법을 제시하고, 이를 사용하여 기본부 조명광원으로 고압나트륨램프와 형광램프를 사용하는 터널에 적용하여 경제성을 비교검토하였다.

2. 터널조명설계

다음의 터널조명 설계조건을 가정하고 설계를 하였다.

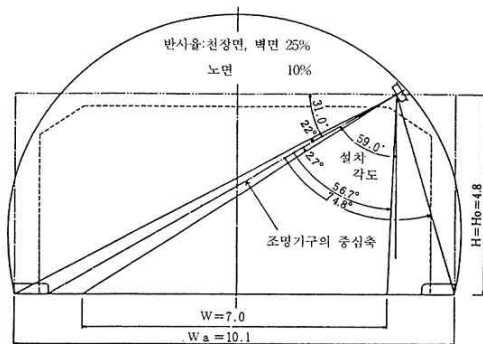


그림 1. 단면도
Fig. 1. The cross section

2.1 고압나트륨램프만을 사용하는 경우

2.1.1 설계기준

(1) 광원

광원은, 기본부와 입구부 조명에 고압나트륨램프를 사용하며, 램프 광속은 표 2를 사용하여 구한다.

표 1. 터널조명의 설계조건
Table 1. Design conditions of the tunnel lighting

차도폭 [m]	터널형상(기준단면)			터널내부 반사율[%]			설계속도 [km/h]	교통량 [대/일]	설정야외 휘도 [cd/m ²]	보수율	기본부 노면휘도 [cd/m ²]
	길이 [m]	교통방향	기구설치 위치	천장	벽	노면					
7	500	일방교통	양측벽상부 (모퉁이)	25	25	10	80	20,000	4,000	0.6	4.5

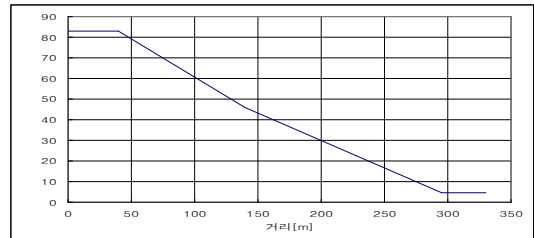


그림 2. 입구부 조명곡선
Fig. 2. A lighting curve of entrance

(2) 조명기구

그림 3의 직사조명률 곡선을 만족하는 것으로 한다.

2.1.2 계산

(1) 조명률의 계산

직사조명률 곡선 그림 3에 의하여 직사조명률을 구하면, $U_{10} = 0.257$, $U_{20} = 0.006$, $U_{30} = 0.129$, $U_{40} = 0.467$ 을 얻는다. 터널단면의 치수와 각 면의 반사율로부터 계수를 구하고 조명률을 구하면 $U=0.364$ 로 계산된다.

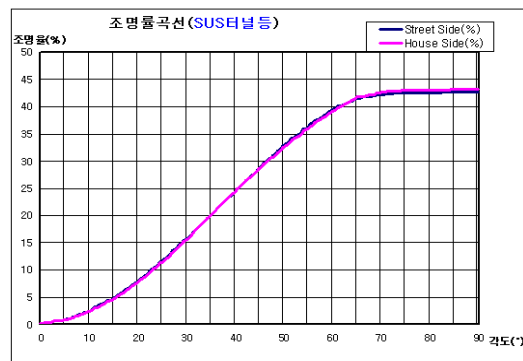


그림 3. 고압나트륨램프 조명률곡선
Fig. 3. A light utility curve of high pressure sodium lamps

터널조명용 광원의 경제성 비교

(2) 조명계산

(가) 계산식

단위 길이당 광속 FS는 다음 식으로 계산한다.

$$FS = \frac{F}{S} = \frac{W \times k \times L}{N \times U \times M} \quad [\text{lm/m}] \quad (1)$$

여기에서 F는 광속, S는 조명기구 간격, W는 도로의 폭 [m], k는 조도 휘도 변환계수 [lx/cd/m²], L은 노면휘도 [cd/m²], N은 배열상수, U는 조명률, M은 보수율이다.

조명기구의 간격은 식 (1)에서 다음 식으로 유도된다.

$$S = \frac{F}{FS} \quad [\text{m}] \quad (2)$$

노면휘도는 식 (1)로부터 다음 식으로 계산된다.

$$L = \frac{F \times N \times M \times U}{W \times S \times k} \quad [\text{cd/m}^2] \quad (3)$$

(나) 기본부 조명

대칭배열은 N=2이므로 식 (1)로부터 단위 길이당 광속은 1,298[lm/m]로 계산된다.

식 (2)에서 계산한 조명기구 간격은 표 3과 같다. 그런데 S ≤ 2.5H이므로 S ≤ 12.0[m]을 만족하여야 하며, 플리커 방지를 위하여 피하여야 하는 조명기구 간격은 80[km/h]에서 1.2~4.4[m]이다.

표 2. 조명기구의 설치간격(고압나트륨램프)
Table 2. Spacings of luminaires(high pressure sodium lamps)

규격	전력[W]	광속[lm]	S[m]
NH50	50	3,000	2.3
NH70	70	4,600	3.5
NH100	100	9,000	6.9
NH150	150	14,000	10.8
NH200	200	20,000	15.4
NH250	250	25,000	19.3
NH400	400	46,000	35.4
NH1000	1000	101,000	77.8

따라서 S=7[m]로 하고 F≒9,100[lm], NH100(F=9,000[lm])을 사용한다. 이 경우 노면휘도 L은 식 (3)에 의하여 4.45[cd/m²]로 계산된다.

(3) 입구부 조명

입구부 조명곡선의 휘도를 만족하는 광원의 조합과 배열을 결정한다.

단 광원은 NH400, NH250을 사용한다.

1) 구간 B

단위 길이당 광속은 식 (1)에 의하여 22,659[lm/m]로 계산되며, 조명기구 간격 7[m]인 경우 필요한 총 광속은 158,611[lm]이 된다. 따라서 7[m]간격 마다 NH400 3등, NH250 1등씩 사용한다. 이 경우 노면휘도 L은 식 (3)에 의하여 85.17[cd/m²]이 된다.

표 3. 기본부에 고압나트륨램프를 사용하는 경우 합계 수량표
Table 3. Number of luminaires using high pressure sodium lamps at basic section

구분		A	B	C	D	E	F	G	합계	
전체 길이 [m]		8.5	77	56	70	70	28	190.5	500	
기본부 조명분	등수 NH100	S = 7[m]×144							144	
	노면휘도[cd/m ²]	4.45							-	
입구부 조명분	등수	NH400	0	66	48	40	0	0	0	154
		NH250	0	22	0	0	40	0	0	62
		NH150	0	0	0	0	0	8	0	8
기본분을 포함한 노면휘도 [cd/m ²]		-	85.17	72.79	50.00	29.21	11.38	4.45	-	

2) 구간 C

단위 길이당 광속은 식 (1)에 의하여 18,620[lm/m]가 되며, 조명기구 간격 7[m]에 필요한 총광속은 130,341[lm]으로 계산된다. 따라서 7[m]간격 마다 NH400을 3등 사용한다. 이 경우 노면휘도 L은 식 (3)에 의하여 72.79[cd/m²]가 된다.

3) 구간 D

단위 길이당 광속은 식 (1)에 의하여 12,851[lm/m]로 계산되며, 구간 D 7[m]에 필요한 총광속은 89,957[lm]이 된다. 따라서 7[m]간격 마다 NH400을 2등 사용한다.

이 경우 노면휘도 L은 식 (3)에 의하여 50.0[cd/m²]로 계산된다.

4) 구간 E

단위 길이당 광속은 식 (1)에 의하여 7,082[lm/m]로 계산되며, 구간 E 7[m]에 필요한 총광속은 49,572[lm]이 된다. 따라서 7[m]간격 마다 NH250을 2등 사용한다.

이 경우 노면휘도 L은 식 (3)에 의하여 29.2[cd/m²]로 계산된다.

5) 구간 F

단위 길이당 광속은 식 (1)에 의하여 3,332[lm/m]로 계산되며, 구간 F 7[m]에 필요한 총광속은 23,322[lm]이 된다. 따라서 7[m]간격 마다 NH150을 1등 사용한다.

이 경우 노면휘도 L은 식 (3)에 의하여 11.38[cd/m²]로 계산된다.

2.2 기본부 형광램프와 입구부 고압나트륨 램프를 사용하는 경우

2.2.1 설계기준

(1) 광원

광원은 기본부 조명에 형광램프, 입구부 조명에는 고압나트륨램프를 사용하고 광속은 표 2, 4를 사용하

여 구한다.

(2) 조명기구

고압나트륨램프는 그림 3, 형광램프는 그림 5에 나타난 직사조명률 곡선을 만족하는 것으로 한다.

2.2.2 계산

(1) 조명률의 계산

직사조명률곡선(그림 3, 5)에 의하여 각각의 직사조명률을 구한다.

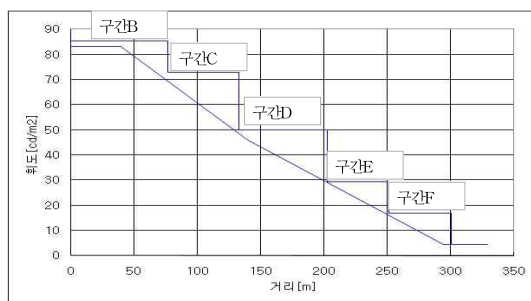


그림 4. 기본부에 고압나트륨램프를 사용하는 경우 입구부 조명곡선

Fig. 4. A lighting curve of entrance using high pressure sodium lamps at basic section

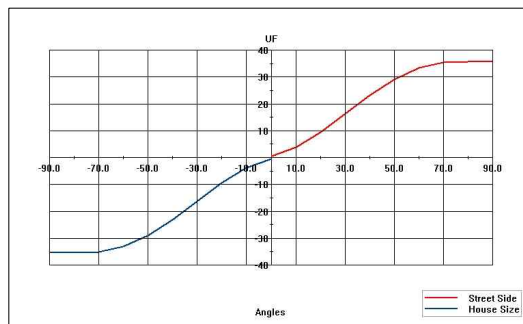


그림 5. 3등용 형광램프의 조명률 곡선

Fig. 5. A light utility curve of 3 fluorescent lamp luminaires

형광램프를 사용하는 기본부에서 직사조명률 곡선 그림 4에 의하여 직사조명률을 구하면, 천장면의 경우 $U_{10} = 0.182$, 벽면우측의 경우 $U_{20} = 0.001$, 벽면좌측의 경우 $U_{30} = 0.160$, 전노면의 경우 $U_{40} = 0.367$, 차도면의 경우 $U'_{40} = 0.306$ 을 얻는다. 터널단면의 치수와 각

터널조명용 광원의 경제성 비교

면의 반사율로부터 계수를 구하고 조명률을 구하면 $U=0.333$ 으로 계산된다.

고압나트륨램프를 사용하는 입구부에서 직사조명률은 2.1.2에서 구한 $U=0.364$ 을 사용한다.

(2) 기본부 조명계산

대칭배열은 $N=2$ 이므로 식 (1)로부터 단위 길이당 광속은 1,419[lm/m]로 계산된다.

식 (2)에서 계산한 조명기구 간격은 표 4와 같다. 그런데 $S \leq 2.5H$ 이므로 $S \leq 12.0[m]$ 을 만족하여야 하며, 플리커 방지를 위하여 피하여야 하는 조명기구 간격은 80[km/h]에서 1.2~4.4[m]이다.

표 4. 조명기구의 설치 간격(형광램프)
Table 4. Spacings of luminaires (fluorescent lamps)

규격	등수	광속[lm]	S[m]
FHF32	1	3,100	2.2
FHF32	2	6,200	4.4
FHF32	3	9,300	6.6
FHF32	4	12,400	8.7

따라서 $S = 6.5[m]$ 로하고 $F \approx 9,220[lm]$, FHF32 3등용($F=9,300[lm]$)을 사용한다. 이 경우 노면휘도 L은 식 (3)에 의하여 4.54[cd/m²]로 계산된다.

(3) 입구부 조명

입구부 조명곡선의 휘도를 만족하는 광원의 조합과 배열을 결정한다.

단, 광원은 NH400, NH250을 사용한다.

1) 구간 B

단위 길이당 광속은 식 (1)에 의하여 24,740[lm/m]가 되며, 조명기구 간격 6.5[m]에 필요한 총광속은 160,810[lm]으로 계산된다. 따라서 6.5[m]간격 마다 NH250을 6등 사용한다. 이 경우 노면휘도 L은 식 (3)에 의하여 84.54[cd/m²]가 된다.

2) 구간 C

단위 길이당 광속은 식 (1)에 의하여 22,632[lm/m]가 되며, 조명기구 간격 6.5[m]에 필요한 총광속은 147,112[lm]으로 계산된다. 따라서 6.5[m]간격 마다 NH400을 1등, NH250을 3등씩 사용한다. 이 경우 노면휘도 L은 식 (3)에 의하여 69.07[cd/m²]가 된다.

3) 구간 D

단위 길이당 광속은 식 (1)에 의하여 13,113[lm/m]가 되며, 조명기구 간격 6.5[m]에 필요한 총광속은 785,609[lm]으로 계산된다. 따라서 6.5[m]간격 마다 NH400을 1등, NH250을 2등씩 사용한다. 이 경우 노면휘도 L은 식 (3)에 의하여 53.61[cd/m²]가 된다.

4) 구간 E

단위 길이당 광속은 식 (1)에 의하여 7,633[lm/m]가 되며, 조명기구 간격 6.5[m]에 필요한 총광속은 49,614[lm]으로 계산된다. 따라서 6.5[m]간격 마다 NH250을 2등 사용한다. 이 경우 노면휘도 L은 식 (3)에 의하여 31.21[cd/m²]가 된다.

5) 구간 F

단위 길이당 광속은 식 (1)에 의하여 3,594[lm/m]가 되며, 조명기구 간격 6.5[m]에 필요한 총광속은 23,361[lm]으로 계산된다. 따라서 6.5[m]간격 마다 NH150을 1등 사용한다. 이 경우 노면휘도 L은 식 (3)에 의하여 12.00[cd/m²]가 된다.

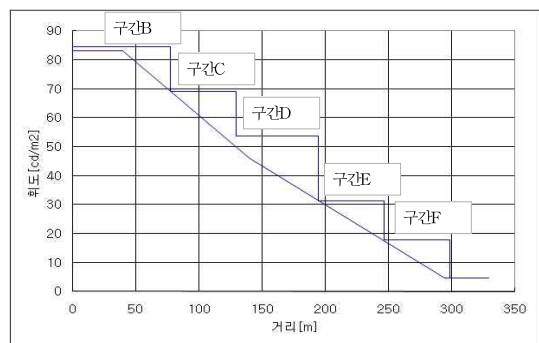


그림 6. 기본부에 형광램프를 사용하는 경우 입구부 조명곡선

Fig. 6. A lighting curve of entrance using fluorescent lamps at basic section

표 5. 기본부에 형광램프를 사용하는 경우 합계 수량표
Table 5. Number of luminaires using fluorescent lamps at basic section

구 분		A	B	C	D	E	F	G	합 계	
전 체 길 이 [m]		9.5	78	52	65	78	26	191.5	500	
기본부 조명분	등 수 FHF32X3	S = 6.5[m]×154							154	
	노면휘도[cd/m ²]	4.54							-	
입구부 조명분	등 수	NH400	0	0	16	40	0	0	0	56
		NH250	0	144	48	0	48	0	0	240
		NH150	0	0	0	0	0	8	0	8
기본분을 포함한 노면휘도 [cd/m ²]		-	84.54	69.07	53.61	31.21	12.00	4.54	-	

2.3 기본부 형광램프와 고압나트륨 램프 및 입구부 고압나트륨램프를 사용하는 경우

2.3.1 설계기준

(1) 광원

광원은 기본부 조명에 형광램프와 고압나트륨램프를 입구부 조명은 고압나트륨램프를 사용하고 광속은 표 2, 4를 사용하여 구한다.

(2) 조명기구

그림 3, 4에 나타낸 직사조명률 곡선을 만족하는 것으로 한다.

2.3.2 계산

(1) 조명률의 계산

직사조명률은 2.2.2에서 구한 형광램프의 직사조명률 $U' = 0.333$ 과 고압나트륨램프의 직사조명률 $U' = 0.364$ 를 사용하여 평균을 구하면 $U = 0.349$ 로 계산된다.

(2) 기본부 조명

대칭배열은 $N=2$ 이므로 식 (1)로부터 단위 길이당 광속은 1,354[lm/m]로 계산된다.

식 (2)에서 계산한 조명기구 간격은 표 6과 같다. 그런데 $S \leq 2.5H$ 이므로 $S \leq 12.0[m]$ 을 만족하여야 하며, 플리커 방지를 위하여 피하여야 하는 조명기구 간격

은 80[km/h]에서 1.2~4.4[m]이다.

표 6. 조명기구의 설치간격
Table 6. Spacings of luminaires(fluorescent lamps and high pressure sodium lamps)

규 격	등수	평균 광속[lm]	S[m]
FHF32×3, NH100	1	9,150	6.8
FHF32×3, NH100	2	18,300	13.5
FHF32×3, NH100	3	27,450	20.3
FHF32×3, NH100	4	36,600	27.0

따라서 $S = 6.5[m]$ 로하고 $F \approx 9,220[lm]$, FHF32 3등용과 NH100을 각 1등(평균 $F=9,150[lm]$)을 사용한다. 이 경우 노면휘도 L 은 식 (3)에 의하여 4.67[cd/m²]가 된다.

(3) 입구부 조명

입구부 조명곡선의 휘도를 만족하는 광원의 조합과 배열을 결정한다.

단 광원은 NH400, NH250을 사용한다.

1) 구간 B

단위 길이당 광속은 식 (1)에 의하여 22,595[lm/m]가 되며, 조명기구 간격 6.5[m]에 필요한 총광속은 14,686[lm]으로 계산된다. 따라서 6.5[m]간격 마다 NH250을 6등 사용한다. 이 경우 노면휘도 L 은 식 (3)에 의하여 84.67[cd/m²]가 된다.

표 7. 기본부에 형광램프와 고압 나트륨램프를 사용하는 경우 합계 수량표

Table 7. Number of luminaires using fluorescent lamps and high pressure sodium lamps at basic section

구 분		A	B	C	D	E	F	G	합 계	
전 체 길 이 [m]		9.5	78	52	65	78	26	191.5	500	
기본부 조명분	등 수 FHF32×3	S = 6.5[m]×77							77	
	등 수 NH100	S = 6.5[m]×77							77	
	노면휘도[cd/m ²]	4.67							-	
입구부 조명분	등 수	NH400	0	0	16	40	0	0	0	56
		NH250	0	144	48	0	48	0	0	240
		NH150	0	0	0	0	0	8	0	8
기본분을 포함한 노면휘도 [cd/m ²]		-	84.67	69.20	53.74	31.34	12.14	4.67	-	

2) 구간 C

단위 길이당 광속은 식 (1)에 의하여 18,557[lm/m]가 되며, 조명기구 간격 6.5[m]에 필요한 총광속은 120,620[lm]으로 계산된다. 따라서 NH400을 1등, NH250을 3등씩 사용한다. 이 경우 노면휘도 L은 식 (3)에 의하여 69.20[cd/m²]가 된다.

3) 구간 D

단위 길이당 광속은 식 (1)에 의하여 13,076[lm/m]가 되며, 조명기구 간격 6.5[m]에 필요한 총광속은 84,994[lm]으로 계산된다. 따라서 NH400을 2등 사용한다. 이 경우 노면휘도 L은 식 (3)에 의하여 53.74 [cd/m²]가 된다.

4) 구간 E

단위 길이당 광속은 식 (1)에 의하여 7,595[lm/m]가 되며, 조명기구 간격 6.5[m]에 필요한 총광속은 49,367[lm]으로 계산된다. 따라서 NH250을 2등 사용한다. 이 경우 노면휘도 L은 식 (3)에 의하여 31.34 [cd/m²]가 된다.

5) 구간 F

단위 길이당 광속은 식 (1)에 의하여 3,557[lm/m]가 되며, 조명기구 간격 6.5[m]에 필요한 총광속은 23,1207[lm]으로 계산된다. 따라서 NH150을 1등 사용

한다. 이 경우 노면휘도 L은 식 (3)에 의하여 12.14 [cd/m²]가 된다.

4. 터널 조명의 설계비교

4.1 광학적 특성 비교

설계된 터널의 광학적 특성을 계산하여 검증하기 위하여 Lightscape 프로그램을 사용하였으며, 시각적 느낌을 평가하기 위하여 3ds Max 프로그램을 이용한 시뮬레이션을 수행하였다. 다음에 그 결과를 나타내고, 계산된 데이터를 터널 간에 상호 비교하였다.

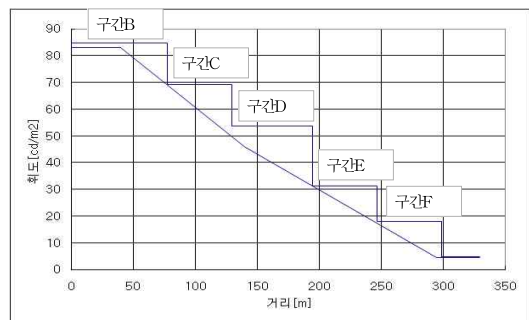


그림 7. 기본부에 형광램프와 고압 나트륨램프를 사용하는 경우 입구부 조명곡선

Fig. 7. A lighting curve of entrance using fluorescent lamps and high pressure sodium lamps at basic section

표 8. Lightscape를 이용한 고압나트륨램프와 형광램프의 조도 및 휘도비교

Table 8. Comparison of luminance and illuminance using high pressure sodium lamps and fluorescent lamps using Lightscape

	조 도			휘 도			벽면휘도/ 노면휘도
	평균 [lx]	평균 균제도	차선축 균제도	평균 [cd/m ²]	평균 균제도	차선축 균제도	
고압나트륨램프	141.3	0.657	0.981	4.0	0.718	0.984	1.3
형광램프	98.3	0.676	0.885	2.9	0.643	0.895	1.4
고압나트륨램프+형광램프	120.0	0.684	0.918	3.6	0.693	0.919	1.3

표 9. 등기구의 가격

Table 9. Prices of luminaires.

	광 속[lm]	램프가격[원]	안정기가격[원]	조명기구가격[원]
FHF32×3	9,300	3,300	15,000	265,000
NH400	46,000	12,000	40,000	180,000
NH250	25,000	11,000	34,000	180,000
NH150	14,000	10,000	28,000	180,000
NH100	9,000	10,000	28,000	180,000

기본부의 노면조도, 노면휘도, 벽면 휘도값을 계산하였다. 계산은 3구간의 기본부 조명 거리에 대하여 수행하였으며, 시뮬레이션 결과는 표 8에 나타내었다.

시뮬레이션 결과를 분석하면, 조도와 휘도 평균균제도는 설치거리가 짧은 형광램프와 고압나트륨램프+형광램프의 경우가 우수한 것으로 나타났으나, 차선축균제도는 고압나트륨램프의 설치거리가 멀지만 상대적으로 우수한 것으로 나타났다. 이는 고압 나트륨조명기구의 배광곡선이 차선축균제도를 높이는데 더 효과적이기 때문으로 사료된다. 균제도는 최대와 최소의 차이가 ±10[%] 정도로 나타났다.

벽면휘도와 노면휘도의 비는 별 차이가 없는 것으로 조사되었다.

5. 경제성 비교

본 연구에서 사용한 값은 다음 표 9~12에 나타내었다. 전력요금은 65.4[원/kWh], 기본요금은 4,780[원/kW]로 계산하였다[6].

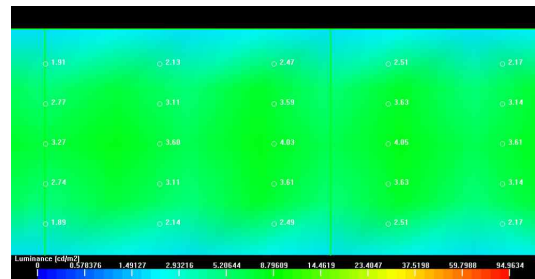


그림 8. Lightscape를 이용한 형광램프를 사용한 경우 기본부 조도분포도 시뮬레이션 결과

Fig. 8. Lightscape simulation results of illuminance distribution at basic section using fluorescent lamps

조명비용은 다음의 식으로 나타낼 수 있다[8].

$$U = \frac{1}{Q} \left(\frac{P+h}{L} + WR \right) \tag{4}$$

여기서 U=기구당 조명의 단위비용[원/lm×h]

Q=평균기구광속 [lm]

P=기구가격 [원]

터널조명용 광원의 경제성 비교

- h=기구교체비용 [원]
- L=평균기구수명 [시간]
- W=기구당 평균 입력전력 [kW]
- R=전력요금 [원/kWh]

표 10. 등기구의 유지보수비용
Table 10. Maintenance costs of luminaires

	램프교체 비용[원]	안정기교체 비용[원]	조명기구교체 비용[원]
FHF32×3	10,243	30,730	93,214
NH400	10,243	30,730	127,836
NH250	10,243	30,730	119,846
NH150	10,243	30,730	106,530
NH100	10,243	30,730	106,530
소단위 작업 10분이상, 야간 25m이상 내선전공노임 94,191원[7]			

표 11. 등기구의 수명
Table 11. Life of luminaires

	램프수명 [시간]	안정기수명 [시간]	조명기구수명 [시간]
FHF32×3	16,000	26,280	131,400
NH400	24,000	43,800	131,400
NH250	24,000	43,800	131,400
NH150	24,000	43,800	131,400
NH100	24,000	43,800	131,400

표 12. 등기구의 소비전력
Table 12. Power of luminaires

	램프소비 전력[W]	안정기소비 전력[W]	조명기구소비 전력[W]
FHF32×3	90	6	0
NH400	400	80	0
NH250	250	50	0
NH150	150	38	0
NH100	100	28	0

식 (4)로 계산한 조명기구별 1[lm]을 1[시간] 사용하는데 필요한 단위 조명비용은 다음 표 13과 같다.

표 13. 조명기구별 1[lm·시간] 사용시 단위조명 비용
Table 13. Unit lighting costs of luminaires per 1[lm·h]

	단위 조명비용[원/lm·h]
FHF32×3	0.676
NH400	0.683
NH250	0.785
NH150	0.879
NH100	0.931

본 연구에서 설계한 사용 조명기구 개수를 고려한 터널별 단위 조명비용은 다음 표 14와 같다.

표 14. 터널조명별 단위조명 비용
Table 14. Unit costs of tunnel lighting models

	단위조명비용[원]	비율[%]
고압나트륨램프 터널	295	100
형광램프 터널	338	115
고압나트륨램프+ 형광램프 터널	357	121

본 논문에서는 기본요금을 포함한 조명비용을 구하는 식을 제안하였으며, 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$U = \frac{1}{Q} \left(\frac{P+h}{L} + W \left(\frac{B}{30 \times 24} + R \right) \right) \quad (5)$$

- 여기서 U=기구당 조명의 단위비용 [원/lm×h]
- Q=평균기구광속 [lm]
- P=기구가격 [원]
- h=기구교체비용 [원]
- L=평균기구수명 [시간]
- W=기구당 평균 입력전력 [kW]
- B=기본요금 [원/kW]
- R=전력요금 [원/kWh]

윗 식으로 계산한 조명기구별 1[lm]을 1[시간] 사용하는데 필요한 단위 조명비용은 다음 표 15와 같고, 본 연구에서 설계한 사용 조명기구 개수를 고려한 터널별 단위 조명비용은 다음 표 16과 같다.

표 15. 1[lm·시간] 사용시 기본요금을 포함한 단위조명 비용

Table 15. Unit lighting costs of luminaires per 1[lm·h] including basic charge

	단위 조명비용[원/lm·h]
FHF32×3	0.744
NH400	0.752
NH250	0.865
NH150	0.968
NH100	1.025

표 16. 기본요금포함 터널조명별 단위조명 비용

Table 16. Unit costs of tunnel lighting models including basic charge

	단위 조명비용[원]	비율[%]
고압나트륨램프 터널	325	100
형광램프 터널	372	114
고압나트륨램프+형광램프 터널	394	121

세 종류의 터널의 경제성을 비교한 결과 기본부 조명으로 고압나트륨램프를 사용한 터널이 가장 경제적이었으며, 다음이 형광램프를 사용한 터널이며, 고압나트륨램프와 형광램프를 함께 사용한 터널이 가장 비용이 많이 드는 것으로 나타났다.

고압나트륨램프를 사용하는 터널이 다른 터널에 비하여 15~20[%]정도 경제적인 것으로 조사되었다.

6. 결 론

지금까지 조사 및 평가연구를 통하여 터널 조명을 가장 효과적으로 선택하는 최선의 방법은 다음과 같이 요약할 수 있다.

(1) 터널 조명의 설계 개념

차량 운전의 안전성과 효율이 높은 램프를 사용하고 빛의 손실을 최소화하여 “광”을 효율적으로 사용하는 안전한 구조의 기구를 선택해야 한다.

터널 조명은 일반조명과는 달리 운전자의 안전 및 쾌적성이 제1의 목표가 되어야 하며, 터널 내부의 매

연과 먼지, 습도, 안개 등을 고려하여야 한다.

(2) 광원특성 비교

1) 터널 내부에서 빛에 투과가 뛰어난 나트륨램프가 매연과 먼지, 습도, 안개 등을 잘 투과하여 운전자의 시야를 밝혀주고, 등황색은 경고하는 색을 나타내주는 의미도 갖기 때문에 위험성을 줄여주는 등황색의 단색광이 안전의 측면에서 유리한 광원이며, 쾌적한 조명환경을 고려한다면 고연색성이며 선광원인 형광램프가 유리하다고 할 수 있다.

2) 실제 터널 내에는 고압나트륨램프와 형광램프가 사용되고 있으며, 형광램프는 기본부의 낮은 조도 설계 시에 균제도를 쉽게 만족시킬 수 있어 유리하며, 고압나트륨램프는 입구부 및 출구부에 필요하며, 온도변화 및 스모그가 심한 곳에 사용되고 있다.

(3) 터널조명 시뮬레이션 결과 검토

터널 조명의 광학적 특성을 검토한 결과, 평균 균제도는 형광램프 조명기구가, 차선축 균제도는 고압나트륨램프 조명기구가 유리한 것으로 나타났으며, 각각 10[%]정도 차이가 있었다.

(4) 경제적 측면

1) 터널 조명기구의 광원으로 고압나트륨램프는 에 피커시가 높아 효율적이며, 램프의 수명이 길어 유지, 보수비용이 적게 든다. 뿐만 아니라, 터널의 주위온도 저하에 따른 점등상태에 영향이 없고, 광속유지율이 우수하다.

2) 터널 전 구간에 고압나트륨램프를 사용하는 경우에는 균제도 기준을 만족시키기 위하여 다수의 등기구를 사용하게 되어 터널내부가 기준치 이상으로 밝게 되어, 과다한 전력소비로 터널조명의 전체적 효율이 떨어질 수도 있다.

3) 기본요금을 포함하여 산출한 단위조명비용은 사용한 조명기구 모두에서 포함하지 않는 경우보다 약 10[%] 증가하는 것으로 계산되었다.

4) 종합적으로 경제성을 비교하면 고압나트륨램프

조명기구, 형광램프 조명기구, 고압 나트륨과 형광램프 조명기구 혼합시스템 순으로 우수한 것으로 나타났다. 조명비용은 형광램프 조명기구와 고압 나트륨과 형광램프 조명기구 혼합시스템이 고압 나트륨 조명기구에 비하여 각각 1.15, 1.2배 높은 것으로 나타났다.

본 논문은 2008년도 호서대학교 재원으로 학술연구비 지원을 받아 수행된 연구임. (2008-0110)

References

- [1] 여인선, 도로조명의 설계, 조명·전기설비학회지, 12권, 1호, pp13~27, 1998.
- [2] 전관섭, 정종철, 도로조명의 요건과 기준, 조명·전기설비학회지, 12권, 1호, pp3~12, 1998.
- [3] 박정일, 노면반사특성 측정 장치의 개발, 강원대학교석사학위 논문, pp1~5, 1998.

- [4] Guide for the Lighting of Road Tunnels Underpasses : C.I.E Publication No88, (ISBN3900734259), 1990.
- [5] 지철근, 이진우, 고속도로 터널조명 시설에 관한 연구, 조명 전기설비학회 논문집, 12권1호, pp28~34, 1998.
- [6] http://cyber.kepco.co.kr/cyber/popup_cyber/pop_2010/pop_20100801/pop_20100801.html.
- [7] <http://civileng7.tistory.com/744>.
- [8] Illumination Engineering Society of North America IES Lighting Hand Book. pp14.22~14.25 1984.

◆ 저자소개 ◆



이진우 (李鎭雨)

1961년 2월 4일생. 1980년 2월 서울대학교 전기공학과 졸업. 1984년 2월 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 2월 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1990년 3월~1994년 2월 (주)세명백트론 연구실장. 1994년 3월~현재 호서대학교 전기공학과 교수.