

## 광원의 종류에 따른 터널조명 설비의 실태조사 및 경제성 평가

(Investigation and Economic Evaluation of Tunnel Lighting Installation for Each Light Source)

김기훈\* · 이창모 · 심상만 · 정종철 · 김훈

(Gi-Hoon Kim · Chang-Mo Lee · Sang-Man Sim · Jong-Chul Jeong · Hoon Kim)

### 요 약

광원별로 형광등 32W 3등을 사용한 터널과 고압나트륨 램프 100W를 사용한 터널, 그리고 저압나트륨 램프 36W와 91W를 혼용한 터널의 조도 및 휘도를 측정된 결과 조도 및 휘도의 균제도는 3 가지 광원이 모두 거의 일치하였으나, 평균 조도와 평균 휘도값에 있어서 저압나트륨 램프를 사용한 터널이 절반 수준이 되는 차이를 보였다. 또한 경제성 평가 도구인 WEELS를 이용하여 터널의 길이를 300[m], 터널 폭을 10.7[m]로 일정하게 하여 경제성을 평가한 결과, 연간 비용에 있어서 고압나트륨 100W가 비용이 가장 컸고, 그 다음이 형광등 32W 3등용, 그 다음이 저압나트륨(36W+91W)이었지만 그 값은 근소한 차이였다.

### 1. 서 론

광원별로 형광등 32W×3을 사용한 터널(남산터널)과 고압나트륨 100W를 사용한 터널(보문터널) 그리고 저압나트륨 36W와 저압나트륨 91W를 혼용한 터널(진부터널)의 조도 및 휘도를 측정하여, 평균 조도 및 평균 휘도, 조도 균제도 및 휘도 균제도 등을 계산함으로써 광원별 터널 내의 조명환경 실태를 조사하였다. 또한 경제성 평가 도구인 WEELS를 이용하여 광원별로 형광등 32W 3등용 터널, 고압나트륨 100W 터널, 저압나트륨 91W와 36W를 혼용하는 경우의 터널을 길이 300[m], 터널 폭을 10.7[m]로 일정하게 보고 경제성을 평가하였다.

### 2. 터널조명의 구성

터널조명은 입구부 조명, 기본부 조명, 출구부 조명, 접속도로 조명 및 비상조명으로 구성된다. 주간에 도로를 주행한 자동차 운전자의 눈은 야외 휘도에 순응한 상태로 터널에 접근하기 때문에 운전자에게 터널 내부는 잘 식별되지 않는다. 이러한 장애를 경감하기 위하여 입구부에 설치한 조명 설비를 입구부 조명이라 한다.

기본부 조명이란 주간에 터널 외부로부터 터널에 진입한 자동차 운전자가 입구부 조명 구간을 통과하여 거의 정상적 시각 상태에 도달한 후의 조명을 말한다. 또한 출구부 야외 휘도가 대단히 높고, 교통량이 많아서 차간 거리가 짧게 되었을 때, 선행하는 차의 실루엣이 개구부의 일부를 가리는 경우에는 선행하는 차를 따라

가는 작은 차나 낙하물 등은 식별하기가 곤란하다. 이러한 현상을 방지하기 위하여 차의 후면을 적당히 조명할 필요가 있다. 이러한 것을 출구부 조명이라 한다.

터널 접속도로는 입구부, 출구부 모두 조명을 설치한다. 입구부의 조명은 입구부 부근의 도로 폭의 변화를 알리기 위한 것이고, 출구부 조명은 터널 내에서 접속도로의 상황을 파악하도록 설치하는 것이다.[1]

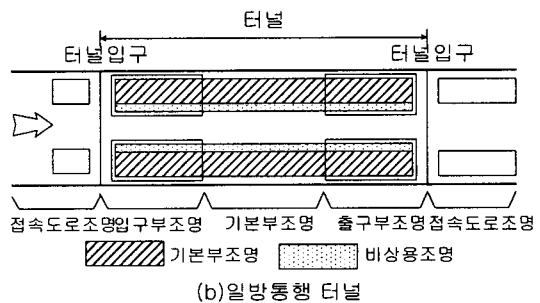
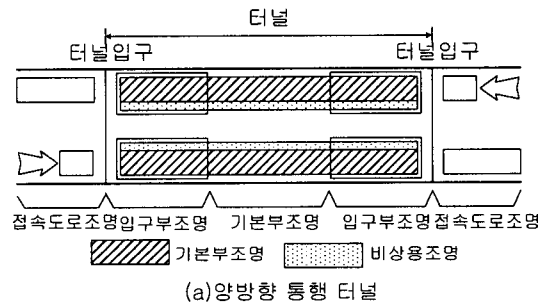


그림 1. 터널조명의 구성  
Fig. 1. The Composition of Tunnel Lighting

### 3. 광원별 터널 조명설비의 조도 및 휘도 측정

광원별로 형광등 32W×3을 사용한 터널(남산터널)과 고압나트륨램프 100W를 사용한 터널(보문터널) 그리고 저압나트륨램프 36W와 저압나트륨 91W를 혼용한 터널(진부터널)의 조도 및 휘도를 측정하여, 평균 조도 및 평균 휘도, 조도 균제도 및 휘도 균제도 등을 계산함으로써 광원별로 터널 내의 조명환경 실태를 조사하였다.

측정 시간은 주간, 야간, 일출, 일몰, 심야의 5단계 조명 중 주간을 기준으로 측정하였으며, 측정 구간은 기본부의 임의의 표준구간을 선정하여 측정하였다.

조도 측정에 있어서 조도 측정점의 결정 방법은 전반 조명인 경우의 측정점 결정방법을 적용시켰으며, 평균 조도의 산출은 단위 구역 내의 측정점의 조도를 상가 평균함으로써 계산하였다.[2]

휘도의 측정에 있어서도 휘도계 및 휘도계의 위치, 그리고 평균 휘도 및 부분휘도의 측정 방법은 KSA 3701의 노면 휘도 측정법에서 보통 휘도계를 사용할 경우의 규정에 준하여 측정하였으며, 평균 휘도의 계산 또한 표준 구간내의 측정점의 휘도를 상가 평균하여 계산하였다.[3]

#### 3.1 형광등 터널(남산 터널) 측정

남산 터널은 2001년에 신설된 터널로서 춘천-횡성 구간의 2차로 일방 통행 터널이다. 사용 광원은 기본부에서 2과장형 형광등기구(32W×3)의 광원을 사용하며, 조명기구의 배치는 2차로 천장형 중앙 2 열 배열의 매어달기형 터널 조명기구를 사용한다. 조명기구의 설치간격은 5[m]이며, 차도 하나의 폭은 3.8[m]이다. 노면의 재질은 콘크리트 도로표면이다.

그림 2는 남산터널의 조명기구 배치 및 조도 측정점의 위치를 나타내고 있다. 그림 2의 조도 분포 값을 상가 평균하여 평균 조도를 구하면 244.4[lx]가 되며, 조도 균제도는

$$\frac{\text{최소값}}{\text{최대값}} = \frac{180}{280} = 0.64$$

$$\frac{\text{최소값}}{\text{평균값}} = \frac{180}{244.4} = 0.74$$

로 나타났다.

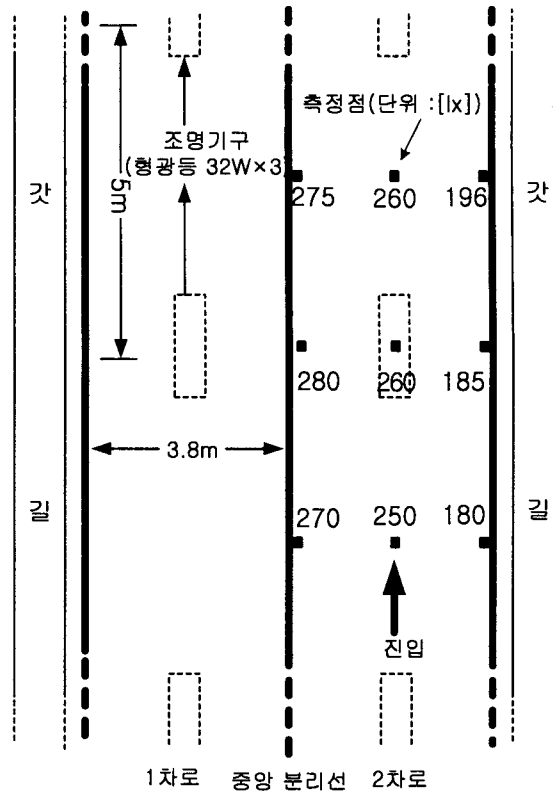


그림 2. 남산터널(32W×3)의 조명기구 배치 및 조도 측정점 위치

Fig. 2. Luminaires Array and Illuminance Measurement Point Position for Nam-Sun Tunnel(32W×3)

그림 3은 남산터널의 조명기구 배치 및 휘도 측정점의 위치를 나타내고 있다. 그림 3의 휘도 분포 값을 상가 평균하여 평균 휘도를 구하면, 28.40[cd/m<sup>2</sup>]이다.

휘도 균제도는 전반 균제도와 차선측 균제도로 나뉘며, 전반 균제도는 최소값/평균값으로 정의하고 차선측 균제도는 각 차선의 중앙선 상에서 최소값/최대값으로 정의되어 있으므로 계산하면,

전반 균제도는

$$\frac{\text{최소값}}{\text{평균값}} = \frac{23.43}{28.40} = 0.83$$

차선측 균제도는

$$\frac{\text{최소값}}{\text{최대값}} = \frac{25.33}{26.72} = 0.95$$

로 나타났다.

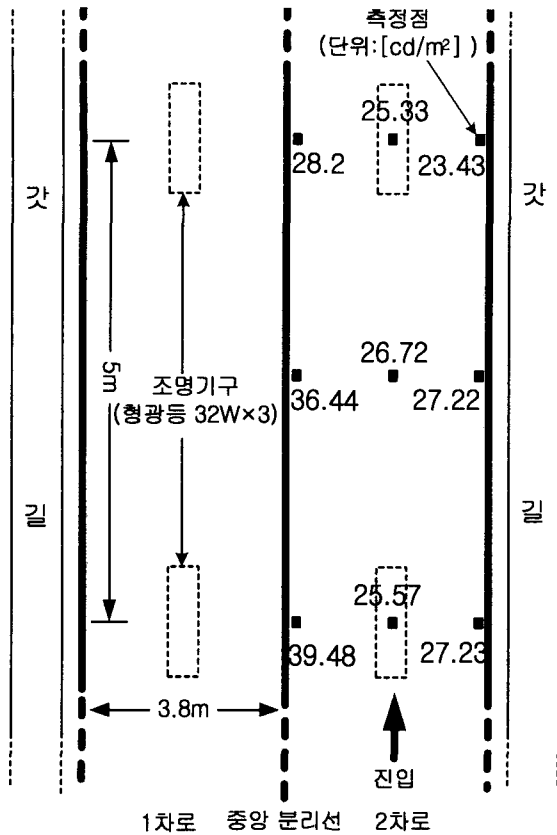


그림 3. 남산터널(32W×3)의 조명기구 배치 및 휘도 측정점 위치  
 Fig. 3. Luminaires Array and Luminance Measurement Point Position for Nam-Sun Tunnel(32W×3)

### 3.2 고압나트륨 터널(보문 터널) 측정

보문 터널은 1999년에 준공된 터널로서 영주-안동 구간 2차로 일방 통행 터널이다. 사용 광원은 기본부에서 고압나트륨 100W의 광원을 사용하며, 조명기구의 배치는 2차로 벽부형 배열로 되어있다. 조명기구의 설치간격은 3.8[m]이며, 차도 하나의 폭 또한 3.8[m]이다. 노면의 재질은 콘크리트 도로표면이다.

그림 4는 보문 터널의 조명기구 배치 및 조도 측정점의 위치를 나타내고 있다. 4.1 에서와 같이 그림 4의 조도 분포 값을 상가 평균하여 평균 조도를 구하면, 264.4[lx]가 되며, 조도 균제도는

$$\frac{\text{최소값}}{\text{최대값}} = \frac{215}{340} = 0.63$$

$$\frac{\text{최소값}}{\text{평균값}} = \frac{215}{264.4} = 0.81$$

로 나타났다.

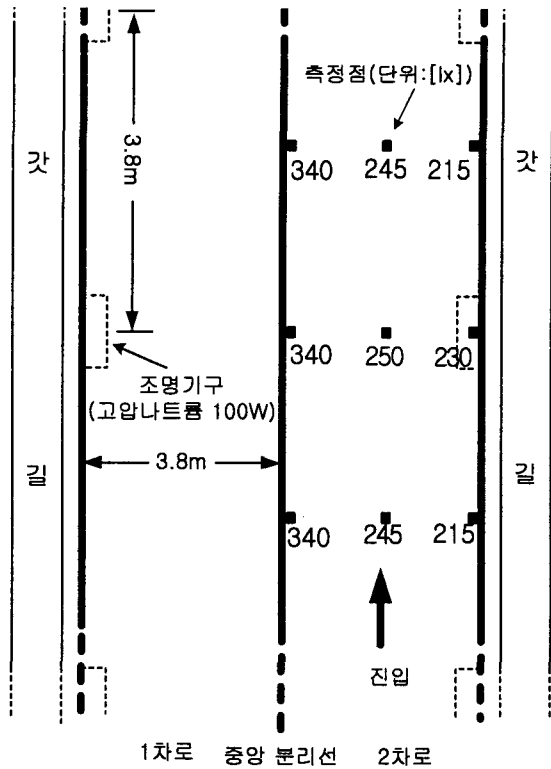


그림 4. 보문터널(고압나트륨 100W)의 조명기구 배치 및 조도 측정점 위치  
 Fig. 4. Luminaires Array and Illuminance Measurement Point Position for Bo-Moon Tunnel(HPS 100W)

그림 5는 보문터널의 조명기구 배치 및 휘도 측정점의 위치를 나타내고 있다. 그림 5의 휘도 분포 값을 상가 평균하여 평균 휘도를 구하면, 29.25[cd/m<sup>2</sup>]이다.

전반 균제도는

$$\frac{\text{최소값}}{\text{평균값}} = \frac{23.62}{29.25} = 0.81$$

차선측 균제도는

$$\frac{\text{최소값}}{\text{최대값}} = \frac{27.67}{28.54} = 0.97$$

로 나타났다.

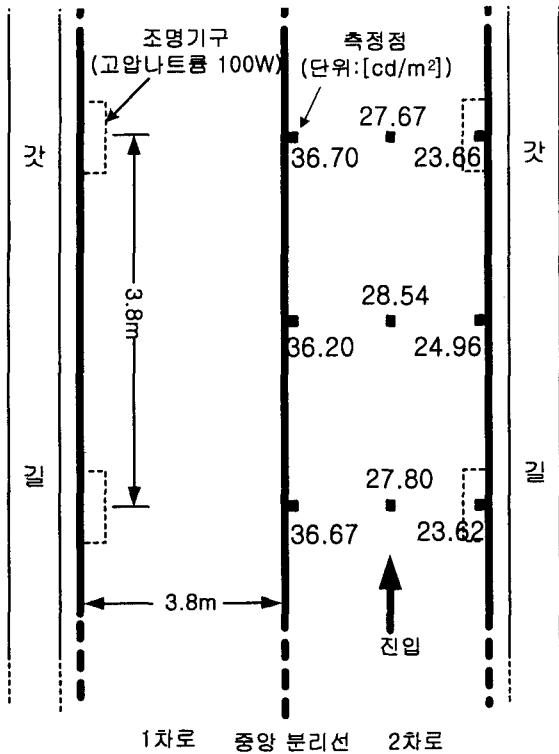


그림 5. 보문터널(고압나트륨 100W)의 조명기구 배치 및 휘도 측정점 위치  
 Fig. 5. Luminaires Array and Luminance Measurement Point Position for Bo-Moon Tunnel(HPS 100W)

### 3.3 저압나트륨 터널(진부2 터널) 측정

진부 2터널은 1999년에 준공된 터널로서 진부-원주 구간의 2차로 일방 통행 터널이다. 사용 광원은 기본부에서 저압나트륨 91W와 저압나트륨 36W를 혼용하며, 조명기구의 배치는 2차로 벽부형 배열로 되어있다. 조명기구의 설치간격은 4[m]이며, 차도 하나의 폭은 3.8[m]이다. 노면의 재질은 역시 콘크리트 도로표면이다.

그림 6은 진부 2터널의 조명기구 배치 및 조도 측정점의 위치를 나타내고 있다. 4.1 에서와 같이 그림 6의 조도 분포 값을 상가 평균하여 평균 조도를 구하면, 132.1[lx]이며, 조도 균제도는

$$\frac{\text{최소값}}{\text{최대값}} = \frac{101}{155} = 0.65$$

$$\frac{\text{최소값}}{\text{평균값}} = \frac{100}{132.1} = 0.76$$

이 된다.

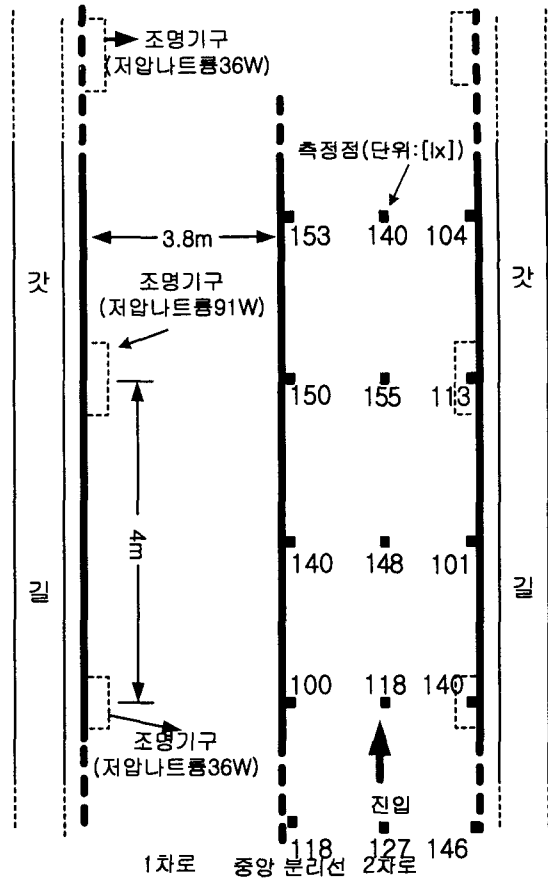


그림 6. 진부 2터널(저압나트륨 91W+저압나트륨 36W)의 조명기구 배치 및 조도 측정점 위치  
 Fig. 6. Luminaires Array and Illuminance Measurement Point Position for Jin-Boo 2th Tunnel(LPS91W+LPS 36W)

그림 7은 진부 2터널의 조명기구 배치 및 휘도 측정점의 위치를 나타내고 있다. 그림 7의 휘도 분포 값을 상가 평균하여 평균 휘도를 구하면, 15.56[cd/m<sup>2</sup>] 이다.

전반 균제도는

$$\frac{\text{최소값}}{\text{평균값}} = \frac{13.24}{15.56} = 0.85$$

차선측 균제도는

$$\frac{\text{최소값}}{\text{최대값}} = \frac{13.24}{13.83} = 0.96$$

이 된다.

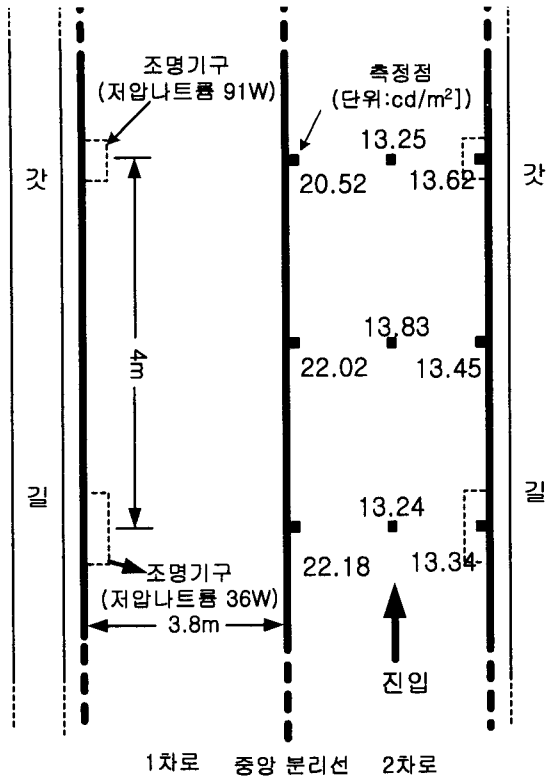


그림 7. 진부 2터널(저압나트륨 91W+저압나트륨 36W)의 조명기구 배치 및 휘도 측정점 위치  
 Fig. 7. Luminaires Array and Luminance Measurement Point Position for Jin-Boo 2th Tunnel(LPS91W+LPS 36W)

### 3.4 측정 결과 및 분석

표 1은 광원별로 형광등 32W×3을 사용한 터널(남산터널)과 고압나트륨 100W를 사용한 터널(보문터널) 그리고 저압나트륨 36W와 저압나트륨 91W를 혼용한 터널(진부터널)의 측정값들을 정리한 것이다. 표 1을 보면 평균 조도와 평균 휘도의 값에 있어서 고압나트륨 100W의 터널이 각각 264.4[lx], 29.25[cd/m<sup>2</sup>]으로 가장 높았으며, 3등용 형광등 32W 터널이 각각 244.4[lx], 28.40[cd/m<sup>2</sup>]으로 근소한 차이를 보였다.

또한 저압나트륨(91W+36W)의 터널은 각각 132.1[lx], 15.56[cd/m<sup>2</sup>]으로 고압나트륨 터널의 절반 수준으로 나타났다. 그리고 조도균제도 및 휘도 균제도의 값은 3가지 터널 모두 비슷한 값으로 나타났다. 표 1의 측정값은 터널의 완공 연도와 청소주기에 따라서 그 값이 변화될 수 있다. 평균 조도 및 평균 휘도의 환산 계수는 설계속도가 100[km/h]이고, 콘크리트 도로표면 일 때 13을 적용하도록 되어 있지만 측정값을 보면 형광등용 터널일 경우는 8.6, 저압나트륨 터널인 경우는 8.5, 고압나트륨 터널인 경우는 9.0으로 13에는 못 미치는

결과를 가져왔다.

표 1. 광원별 조도 및 휘도 측정결과  
 Table 1. Measurement Result of Illuminance and Luminance for Each Lighting Source

원	광 측정값	형광등 (32W×3) (남산터널)	고압나트륨 (100W) (보문터널)	저압나트륨 (91W+36W) (진부터널)
		조도	평균 조도 [lx]	244.4
도	최소값 최대값	0.64	0.63	0.65
		최소값 평균값	0.74	0.81
휘도	평균 휘도 [cd/m <sup>2</sup> ]	28.40	29.25	15.56
	전반 균제도	0.83	0.81	0.85
	차선축 균제도	0.95	0.97	0.96

### 4. 광원별 터널조명설비의

#### 경제성 평가

경제성 평가 도구인 WEELS를 이용하여 형광등 32W 3등용 터널, 고압나트륨 100W 터널, 저압나트륨 91W와 36W를 혼용하는 경우의 터널을 길이 300 [m], 터널 폭을 10.7[m]로 일정하게 하여 경제성을 평가하였다. WEELS의 입력 데이터는 도로 공사의 전기설비 주요 방침 및 기준을 근거로 도로공사의 협조를 얻어 입력하였으며, 표 2는 WEELS의 기본 구성과 함께 광원별로 경제성을 평가한 실제의 입력 데이터 및 출력데이터를 나타내고 있다.[4]

그림 8과 9는 광원별로 현재가치와 연간비용을 분석한 그림이다. 연간 비용을 보면 고압나트륨 100W가 16,837,794 [원]으로 가장 비용이 많이 들고 그 다음이 14,760,005 [원]으로 형광등 32W 3등용이 많았으며, 저압나트륨 91W와 36W의 혼용하는 경우가 13,758,186 [원]으로 가장 적게 들었다. 하지만 그 차이는 3,000,000 [원] 정도의 차이로 근소한 값이었다.

표 2. WEELS의 기본 구성과 입/출력 데이터

Table 2. Basic Format and Input/Output Data of the WEELS

(1) 조명경제 입력 데이터	1	계산 년월일	2001. 10. 19	2001. 10. 19	2001. 10. 19
	2	조명시설명	터널	터널	터널
	3	조명기구 형명	천정형	벽부형	벽부형
	4	램프 형명	FL 3/32W	LPS 91W+36W	HPS 100W
	5	설계조도	120	120	120
	6	조명시설의 폭	10.7	10.7	10.7
	7	조명시설의 길이	300	300	300
	8	조명기구 당 취부 램프수	3	1	1
	9	램프 광속	3,600	22,900	9,000
	10	조명율	0.463	0.44	0.44
	11	보수율	0.55	0.55	0.55
(2) 조명계산	12	면적	3,210	3,210	3,210
	13	조명기구당 램프광속	10,800	22,900	9,000
	14	조명기구 대수	141	70	157
(3) 조명설계 출력		조명기구 형명	천정형	벽부형	벽부형
		조명기구 대수	141	70	157
(4) 조명 경제 입력 데이터	15	조명기구 사용 대수	141	70	157
	16	조명기구 단가	188,300	142,865	169,900
	17	조명기구 취부 배선단가	20,800	20,000	20,000
	18	램프 단가	2,750	15,700	12,310
	19	상각년수	10	10	10
	20	연간 점등시간	5,475	5,475	5,475
	21	램프 수명	16,000	12,000	24,000
	22	램프 교환인건비 단가	3,167	11,300	11,300
	23	청소비 단가	15,000	15,000	15,000
	24	조명기구 입력전력	96	171	116
	25	전기요금	62	62	62
26	이자율	0.06	0.06	0.06	
(5) 조도계산	27	초기조도	220	220	219
	28	실설계조도	121	121	120
(6) 조명 경제 계산	29	조명기구비	26,550,300	20,001,100	26,674,300
	30	조명기구 취부배선비	2,932,800	2,800,000	3,140,000
	31	램프비	1,163,250	2,198,000	1,932,670
	32	초기 설비비	30,646,350	24,999,100	31,746,970
	33	연간 설비상각비	2,911,403	2,374,915	3,015,962
	34	연간 램프교환 개수	145	64	36
	35	연간 교환램프비	398,750	1,004,800	443,160
	36	연간 램프교환 인건비	459,215	723,200	406,800
	37	연간 청소비	2,115,000	2,100,000	2,355,000
	38	연간 보수비	2,972,965	3,828,000	3,204,960
	39	연간 전력량	74,110	65,536	99,711
	40	연간 전기요금	4,595,526	4,063,863	6,183,047
	41	연간 조명비	10,479,894	10,266,777	12,403,969
	42	잔존가치	1,532,318	1,249,955	1,587,349
	43	m <sup>2</sup> 당 연간 조명비	3,265	3,198	3,864
	44	m <sup>2</sup> · lx 당 연간 조명비	27	62	32
(7) 조명경제비교	45	현재가치	108,634,923	101,261,444	123,927,629
	46	연간비용	14,760,005	13,758,186	16,837,794

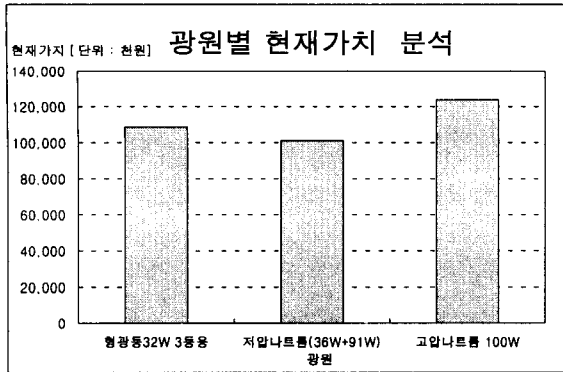


그림 8 광원별 현재가치 분석  
Fig. 8 Present Value Analysing Each Light Source

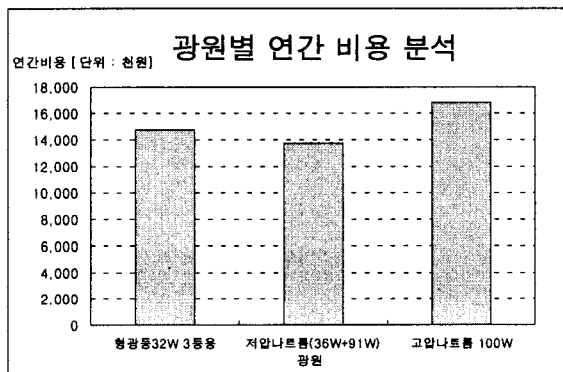


그림 9. 광원별 연간 비용 분석  
Fig. 9. Annual Cost Analysing Each Light Source

그러나 경제성을 평가함에 있어서 가장 크게 영향을 주는 인자는 램프의 수명이며, 램프의 수명을 한국 산업규격이나 제조자의 카탈로그를 참고하지 않고, 형광등 32W를 8,000시간, 36W, 91W의 저압나트륨 램프의 수명을 4000시간, 고압나트륨 100W의 수명을 10,000으로 입력하면 현재가치와 연간 비용이 표 3과 같이 된다.

표 3. 램프수명이 축소되었을 때의 현재가치와 연간비용

Table 3. Present Value and Annual Cost When Lamp Life is reduced

	형광등 32W 3등용	저압나트륨 (36W+91W)	고압나트륨 100W
현재가치	114,949,620	126,697,904	132,616,211
연간비용	15,617,970	17,214,186	18,018,294

## 7. 결론

형광등 32W×3, 고압나트륨 100W, 그리고 저압나트륨 36W와 저압나트륨 91W를 혼용한 터널의 조도 및 휘도를 측정하여 조명환경 실태를 조사한 결과 조도 균제도나 휘도 균제도의 값들은 거의 차이가 없었지만 평균 조도와 평균 휘도의 값에 있어서는 고압나트륨 100W의 터널이 가장 높았으며, 그 다음이 형광등 터널이었다. 또한 저압나트륨(91W+36W)의 터널은 각각 고압나트륨 터널의 절반 수준으로 나타났다. 경제성 평가에 있어서는 연간 비용이 고압나트륨 100W가 가장 많이 들고 그 다음이 형광등 32W 3등용이었고, 그 다음이 저압나트륨 91W와 36W를 혼용하는 경우가 가장 낮았다. 그러나 그 차이는 근소한 값이었다.

## 참고 문헌

- [1] 지철근, 이진우, "고속도로 터널조명 시설", 조명전기설비학회지, vol.12, No.1, p.28~p.29, 1998, 3.
- [2] KSC 7612 조도측정 방법.
- [3] KSA 3703 터널조명 기준 부속서 노면 휘도 측정방법
- [4] 심상만, "조명시스템의 경제성 평가를 위한 도구 개발", 강원대학교 pp67~79, 2000, 8