

휘도센서를 이용한 터널조명제어

어익수, 이은풍*, 박준석**, 여인선**
 충남대학교, (주)미동*, 전남대학교**

Tunnel Lighting Control by Luminance Sensor

Ik-Soo Eo, Eun-Poong Lee, Jun-Seok Park, In-Seon Yeo.
 Honam University, Mi-Dong Co., Chonnam University.

Abstract - Until the first stage of the 1990's years, Korea are not concern so much the facilities of traffic tunnel, because of them are the short length and also the quantity of them are not over the several tens in Korea. but in latest many tunnels has been constructed and are designed in expressway and local national loads. the government office concerned forecast the numbers of tunnel are increased about 300 until the 2003 years, and then we need more interesting about the facilities of tunnel. in the tunnel, the first above of all important facilities is lighting installation which are required much electric energy and continuing maintenance.

1. 서 론

교통량의 증가로 인한 물류이동 및 도로망의 확장은 산업발전과 더불어 중요한 요소로 대두되고 있으며 지자체의 활성화는 그 지역의 도로망과 연계되어 있어 노선의 직선화 및 자연훼손 감소를 위하여 터널의 설치가 점점증하고 있다.

이러한 터널의 설치는 많은 운전자 시야의 적용에 따른 여러 가지 복합적인 요소를 내포하고 있어 터널 내의 교통사고는 대형사고로 이루어진다. 일반도로에서의 조명은 야간에만 필요하나 터널에서는 주간에도 조명을 필요로 하며 특히 터널 입구에서는 상당히 높은 휘도가 필요하다. 이는 밝은 야외휘도에 적응된 사람의 눈이 급격히 어두워지는 터널에 진입할 때 낮은 휘도에 대해 곧바로 적응하지 못하기 때문에 인공조명을 사용하여 적절한 휘도를 유지하여 주어야 하기 때문이다. 터널입구에서 필요한 휘도는 터널밖의 야외휘도에 상관되므로 야외휘도의 변화에 비례적으로 변화되어야 한다.

야외휘도는 여러 가지 요인 날씨의 변화, 태양의 고도, 터널입구의 지형적 여건, 적설의 유무, 수목의 생장 등 환경여건에 영향을 받음으로 년중, 일중 수시로 변화하게 된다. 특히 입구부 조명은 이러한 다양하게 변화되는 야외휘도를 올바르게 측정하여 적절한 제어로 입구휘도를 변화시킬 필요가 있다. 터널입구 조명에 필요한 전력은 상당히 많은 양이므로 측정의 제어로 교통 환경을 해치지 않는 기준범위를 유지하면서 불필요한 에너지 소비를 억제하여야 한다.

표 1은 설계속도 100km/h, 2차선, 1km를 기준으로 전력사용량을 나타내고 있다.

본 논문에서는 입구부분과 내부부분에 휘도 센서를 설치하여 비례적인 조명제어가 되는 시스템을 개발하여 최적의 조명상태가 되도록 한다.

표 1. 입구조명 전력

야외휘도(cd/m ²)	조명전력(kW)	년 사용량(1,000 kWh)
2,000	280	700 ~ 850
3,000	420	1,050 ~ 1,300
4,000	560	1,400 ~ 1,600

2. 본 론

2.1 야외휘도의 선정

입구부 휘도를 결정하기 위해서는 우선적으로 터널입구의 야외휘도를 설정하여야 한다. 야외휘도는 입구조명의 기준이 되는 중요 요소이지만 설정되는 폭이 대단히 크며 설계자의 주관에 따라 크게 달라질 수 있으므로 유념하여야 한다. 운전자의 시각 순응에 영향을 주는 야외휘도는 터널외부의 천공휘도로 보기 쉬우나 정확하게 비례적인 것은 아니며 터널입구 주변의 각종 휘도로부터 생성되는 광막휘도와 운전자가 주시하는 중심시야 휘도로 이루어진다. 눈의 순응에 영향을 주는 휘도의 이론은 계속적인 연구의 과제이나 CIE에서는 중심시각의 원추형 20° 범위내 휘도(L₂₀)의 평균치로 권장하고 있다. 눈의 생리적으로 광막휘도에 영향을 주는 시각의 범위는 거의 180°에 가깝다고 볼 수 있으나, 각도에 대한 눈부심의 영향은 중심시로부터 각도의 차이에 반비례의 관계에 있으므로 실제적으로 시각 20° 범위의 휘도를 기준으로 하여도 큰 차이가 없다. 야외휘도의 설정은 시각 20°내의 휘도를 직접 측정하는 것이 가장 이상적이거나 설계 당시에는 터널입구가 구성되어 있지 않고 야외휘도 값이 기후변화나 태양의 고도, 주변환경의 변화 등 수시로 변화하기 때문에 발생할 수 있는 최대휘도 값을 측정하기란 어려움이 있다. 그러므로 터널입구의 20° 원추각 시야내의 환경여건을 고려해서 미리 작성된 데이터와 비교하여 유사한 수치를 적용하는 방법과 더 정확하게 하기 위해서는 20° 원추각내의 구성요소 각각의 휘도와 점유비를 계산하여 적용하는 방법이 이용되고 있다.

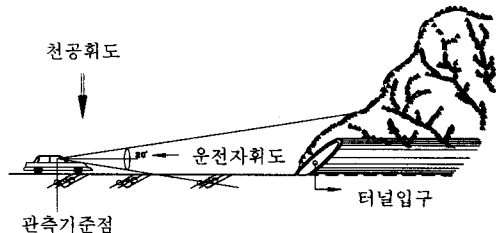


그림 1. 운전자의 시야휘도와 천공휘도

표 2. 하늘, 도로 및 터널 주변휘도(CIE 기준)

주변휘도 (복반구)	하늘 [kcd/m ²]	도로 [kcd/m ²]	주변 (kcd/m ²)			품질
			바위	진흙	눈	
북쪽	8	3	3	8	15(V) 15(H)	2
동·서쪽	12	4	2	6	10(V) 15(H)	2
남쪽	16	5	1	4	5(V) 15(H)	2

(V) 운전자가 볼 때 주로 가파른 언덕이 있는 산악지역
(H) 평지, 다소 평평한 지역
주: 남반구에서는 북쪽과 남쪽이 바뀌어야 함

2.2 입구부 휘도의 설정

이상적인 입구조명은 야외휘도에 가깝게 하면 좋으나, 야외휘도는 상당히 높고 인공조명으로 근사치에 가깝게 하려면 고비용이 소요되므로 시각을 크게 해치지 않는 범위에서 적절한 휘도를 낮은 값을 취한다. CIE에 근거하여 작성된 KS에는 야외휘도 대비 경계부 휘도를 다음 값에 의해 취하고 있다. 경계부, 이행부 및 완화부의 휘도분포 곡선은 KS에서 그 권장치를 제시하고 있다.

표 3. 야외휘도 대비 경계부 휘도비

블랙속도 (km/h)	계수
100	0.07
80	0.05
60	0.04

2.3 현재 사용 방법의 비합리성

입구조명을 제어하기 위한 야외휘도의 측정은 전술한 바와 같이 터널입구로부터 제동거리 전방에서 20° 원추각 내의 휘도를 측정하여야 하지만 현재의 방법은 천공(天空)의 휘도를 측정하고 있다. 단순한 판단으로는 천공휘도의 변화가 입구 야외휘도에 비례관계인 것 같이 보이거나 항상 비례관계를 유지하는 것은 아니다. 그림 2, 그림 3 에서와 같이 L₂₀의 야외휘도는 상당한(대략 3배 이상) 차이가 나지만 천공휘도는 그다지 차이가 나지 않는다. 이와 같이 현재의 일광센서는 터널입구 시야휘도를 측정하는 데에는 적합하지 않다.

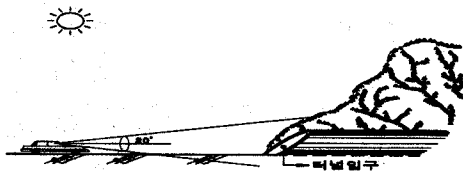


그림 2. 터널 입구부 태양광 조사의 경우

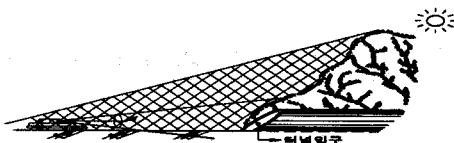


그림 3. 입구 반대편 태양광 조사의 경우

2.3.1 비례제어 불가

현재의 제어방식은 야외조도에 의해 변화된 신호를 제어기에서 분석하여 조명회로로 신호를 보내주는 제어방법으로 한번 제어점을 선정하여 고정하면 이것을 영구적으로 사용하고 있어 내부조명에 조도변화가 발생하여도 터널내부의 조도 검출이 안 된다. 터널은 환경여건이 열악하여 보수율이 0.5 ~ 0.6 정도까지 낮추고 있어 시설초기나 램프의 교체, 터널 조명기구의 소계 등이 이루어지면 필요치의 2배 가까이 상승하게 된다. 최악인 상태의 휘도를 유지하기 위해 초기 휘도를 상당히 높게 함으로써 상당한 양의 전력손실을 초래한다. 또 제어신호를 조명회로에 보내기만 하므로 조명회로가 정상적으로 점등되고 필요한 조도를 발생시키는가 하는 여부는 검출되지 않는다. 따라서 릴레이의 고장, 회로의 단선의 이유로 점등되지 않아도 검지가 불가능하므로 완전한 제어라고 보기 어려움이 있다.

2.4 휘도 센서로 제어회로 구성

본 제어방식은 운전자 시야 휘도를 실측하는 센서를 채택하여 시야휘도와 터널 내부휘도의 측정치를 비례제어한다. 터널에 진입하려는 운전자의 눈은 운전자 중심시야의 주변 휘도에 순응되므로 순응에 영향을 주는 시야 범위의 휘도를 직접 휘도계로 측정함으로써 실제의 값을 얻는다. 현재의 일광센서 방식은 하늘의 휘도를 검출하는 것으로 실제로 운전자 시야의 휘도값과는 차이가 있다. 시야의 휘도는 천공광이나 태양의 고도, 구름의 분포, 지형물에 의한 그늘, 수목의 생장 등에 의해 일중, 년중 수시로 바뀌므로 다양하게 변하는 휘도값을 직접 측정함으로써 종래 일광을 측정하는데서 오는 부정확성을 개선할 수 있다. 야외휘도의 변화에 비례하여 터널 입구부 휘도를 변화시켜주어야 하는 원리에 맞게 육내의 휘도계를 설치하여 비례제어 함으로써 최적의 조명 상태를 유지하며 불필요한 에너지를 절약할 수 있다.

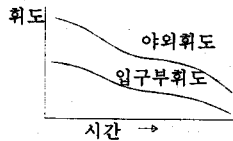


그림 4. 이상적인 제어방식

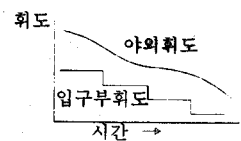


그림 5. 실제회로 제어방식

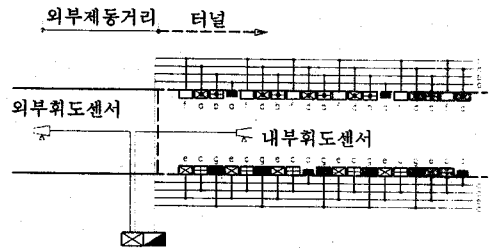


그림 6. 설치 평면도

2.4.1 자동 조명제어 시스템

입구부 휘도는 야외휘도에 비례하여 완만하게 제어되어야 가장 바람직하며 이를 위해서는 조명 광원이 유연하게 광속을 변화시킬 수 있는 특성을 가져야 한다. 그러나 고효율 방전 램프로서 이러한 특성을 가지는 램프는 현재 국내에서는 개발되어 있지 않다. 일부 광원 중에 이런 특성이 있지만 저조도에서 효율이 상당히 떨어지고

램프의 수명도 검증되지 않고 있다. 이러한 실정으로 조명등을 여러 회로로 나누어서 점멸 제어 할 수밖에 없다. 회로제어는 휘도의 계단식 제어로 조명회로수에 따라 변화의 폭이 커지게 되는데 제어회로 수를 많이 하면 휘도의 제어폭은 적어 유연하게 되며 에너지도 절약 할 수 있으나 터널에 적합한 고효율 광원으로 나트륨 램프의 특성이 점등하는데 수분이 소요되며 잦은 점·소등이 수명을 단축시키는 특성이 있고 야외휘도의 변화가 구름의 영향으로 단시간 미소변화가 많이 발생하므로 이러한 변화에 대응 대응은 오히려 불합리하므로 회로수를 기본 조명을 제외하고 5~6 단계로 변환하는 것이 바람직하다. 제어방법은 외부 휘도센서와 내부 휘도센서에 의해 측정된 값을 제어기에 설치된 비교 분석하여 미리 주어진 비율에 따라 전력반에 설치된 조명회로 릴레이를 순차적으로 동작시킴으로써 적정 휘도를 유지한다.

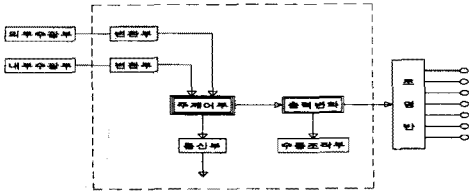


그림 7. 제어회로도

2.4.2 에너지 절감

천공휘도와 시야휘도(L₂₀)의 차에 의한 에너지 절감은 전술한 바와 같이 천공휘도를 측정하는 일광센서로는 터널입구의 지형적 특성이나 환경여건, 태양의 고도 등에 거의 영향을 받지 않음으로 높은 휘도를 측정하게 되며 그에 비례하여 입구조명을 하게 된다. 현실적으로 터널 입구는 지형적인 면에서 산악으로 둘러 쌓여있는 경우가 대부분으로 태양의 고도가 낮은 아침·저녁이나 겨울철에는 그들이 지는 경우가 많다. 그늘에서의 시야휘도는 천공휘도에 비해 수퍼센트(%)에도 못 미치는 낮은 휘도가 되어 입구부 휘도를 상당히 감소시킬 수 있다. 그림 8에서와 같이 태양이 "A"지점에서는 최고 휘도를 주지만 "B"의 경우는 휘도값이 "A"의 경우에 비해 상당히 낮아진다. 이에 따른 효과를 계략적으로 산출하기에는 터널 입구부의 지형적 형태가 각각 다르며 변수가 많으므로 상당히 난해하다. 그러나 확신할 수 있는 것은 터널 입구가 대부분 산악지로 되어 있고 태양의 고도가 아침·저녁은 저고도이며 동절기에는 일중 예도 고도각이 30°를 넘지 않으므로 년중 상당한 비율(시간적으로 30%이상)의 저휘도 상태(그늘진 상태)를 유지하며 그에 따른 에너지 절감은 그 이상이 된다.

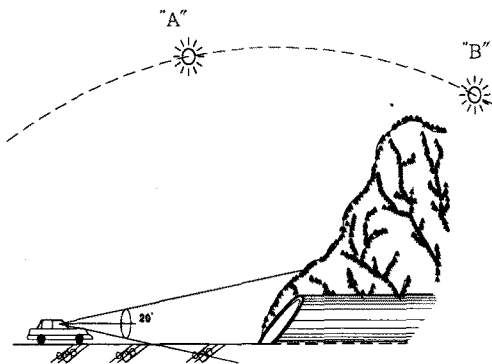


그림 8. 태양의 고도와 휘도

2.4.3 외부와 내부를 비교제어로 과조명 방지

조명설계시에 설계조건은 사용 시간에 따른 광원의 광속 저하와 기구의 오염에서 오는 광속저하를 보상하기 위하여 보수율을 적용한다. 터널에서는 분진 오염이 많아 평균적으로 0.5~0.6을 적용하고 있다. 이는 결과적으로 초기 조도는 기준치에 1.6~2.0배에 달한다. 터널에서는 램프의 광속저하보다는 오염에 의한 광속저하에 영향을 받는다. 터널내부의 휘도 변화에 따라 조명회로를 제어하지 않고 야외휘도만 가지고 회로를 제어한다면 휘도값은 계산휘도에 초기부터 고정해야 함으로 그림 9의 사선부분과 같이 과조명이 될 수밖에 없으며 전력손실을 피할 수 없다. 따라서 내부휘도를 실측하여 외부휘도와 비교제어함으로써 전력손실을 최소화할 수 있다.

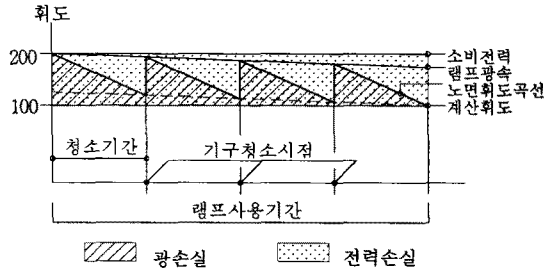


그림 9. 노면휘도의 변화와 보수율의 관계

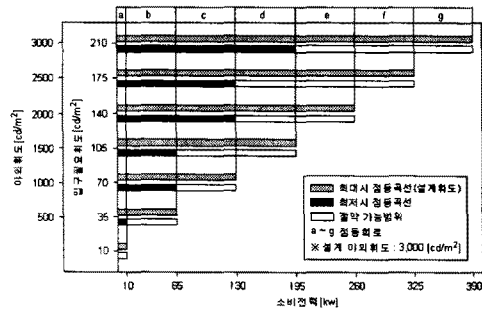


그림 10. 시스템 적용에 따른 에너지 절약

3. 결론

현재 방식으로는 회로의 on, off 신호만을 감시반에 표시함으로써 실제 터널내 휘도를 감시할 수 없어 전력반 릴레이의 고장이나, 누전차단기의 동작 등으로 일부 회로가 차단되어도 인지가 어려웠으나 본 시스템은 터널조명의 제어를 위하여 내부 휘도계와 외부 휘도계를 설치하여 터널 내부의 조명 상황을 감시실에서 감시제어할 수 있도록 하고 또한 내외부의 정확한 휘도비를 고려한 비례 제어를 함으로써 시스템의 신뢰성을 향상시켰으며 에너지절약에 많은 효과가 있어 신설 터널에 많은 설치가 될 것으로 기대된다.

(참고 문헌)

- [1] 터널조명기준(KSA-3703), 1992.
- [2] CIE Report 88-1990, "Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpasses", 1990.
- [3] ANSI/IESNA, RP22-96, "American National Standard Practice for Tunnel Lighting", 1996.
- [4] 서울특별시, "도시시설물유지관리요령 및 규정", 1994.