

조명 시뮬레이션으로 터널조명설계 검토

심재천<<주>삼보기술단 기전부 부장 · 허정국<<주>삼보기술단 기전부 기사

1 서론

일부설계에서 엑셀 계산으로 조명설계를 해 왔는데 아치형 터널도 사각형 터널처럼 생각하고 벽면 평균 반사율을 계산해왔다. 그래서 실제와 다른 점이 있었다. 소프트웨어 발전으로 실제와 가까운 계산을 할 수 있는 조명 시뮬레이션들이 나왔다. 그러나 대부분 유료 프로그램이므로 쉽게 접근하지 못 했으나 독일에 근거하는 DIAL GmbH사가 개발한 DIALux 4.3 프로그램은 무료 공개프로그램이고, www.dialux.com 에서 쉽게 다운 받을 수 있다. 아치형이나 사각형 터널 그 단면도에 정확하게 맞추어서 3차원 조명 시뮬레이션이 가능한 DIALux 4.3 프로그램으로 실제 많이 건설된 터널유형별 조명설계의 조도, 휘도 그리고 특히 벽면평균휘도 / 도로면평균휘도 비율을 검토하기 위해 기술하고자 한다.

현재 많이 사용되는 아치형, 사각형 2차로 터널을 조명 시뮬레이션했다. 이 검토에서는 터널기준조도를 검토하는 것이 아니라 벽면평균휘도 / 도로면평균휘도 비율을 중점으로 검토하려고 했기에 터널연장을 장터널 실제 연장으로 하지 않아도 되므로 15[m]로 간이화했다. 보수율은 터널에서 휘도감소 정도는 주로 매연 등에 의한 오염이며, 이에 영향을 미치는 주요인으로는, 교통량, 터널길이, 종단경사 및 보수작업의 빈도 등에 따라 다르나 임의적으로 0.5로 하였다.

2. 터널개원

2차로 터널

터널 벽면에 타일 부착 높이 3[m]

콘크리트 반사율 25%(터널 천정, 도로면)

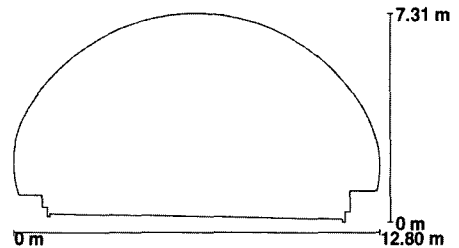
타일 반사율 60(%)

아치형, 사각형터널 연장 : 15[m]

터널정면, 후면 반사율 0(%) (정면, 후면 개방)

보수율 0.5

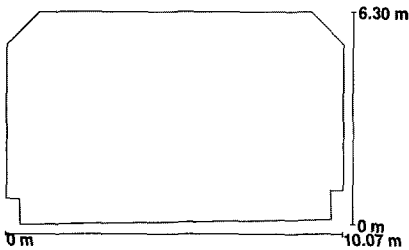
2.1 2차로 아치형터널



벽부형 등기구 설치 방법 : 등기구 높이에서 벽면 기울기대로 고정한다.

천정형 등기구 설치 방법 : 천정형 등기구 높이 5.5[m] (한국도로공사 전기실무지침서 2006.11 준수)로 설치한다.

2.2 2차로 사각형터널



벽부형 등기구 설치 방법 : 지지대를 제작하여 도로면의 수직선과 등기구 광속발산 중심선이 이루는 각을 조정할 수 있게 고정한다.

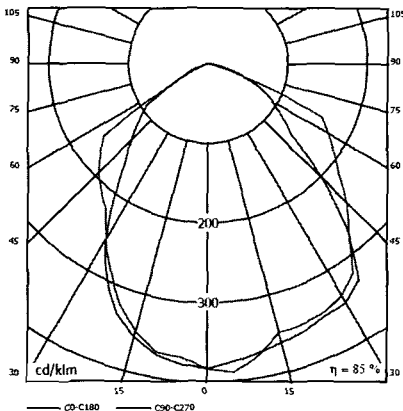
천정형 등기구 설치 방법 : 천정형 등기구 높이 5.5(m)(한국도로공사 전기실무지침서 2006.11 준수)로 설치한다.

3. 광원 및 등기구 사양

광원선정 : 고압나트륨등 250(W)(25000lm)

광원배치 : 추월차로 14개, 주행차로 14개

배광곡선 : 광원을 포함하는 어떤 면 안의 광도를 방향의 함수로 나타낸 곡선을 말한다. 보통 광원을 원점으로 하는 극좌표계를 사용하여 나타내며, 조명기구의 특성을 잘 드러내는 것으로 조명설계의 기초이다.



4. 검토내용

4.1 조도, 휘도

조도 : 어떤 면에 대한 입사광속의 면적당 밀도를 그 면의 조도라고 한다.

$$\text{조도} = \text{입사광속} / \text{면적}$$

휘도 : 광원에서 어떤 방향으로 나가는 단위 투영면적 당, 단위 입체각 당의 광속을 휘도라고 한다.

$$\text{휘도} = (\text{조도} \times \text{반사율}) / \pi$$

4.2 벽면 평균휘도와 도로면 평균휘도 비율

〈KS A 3703 터널조명기준 6.2 입구부 조명〉

입구부 조명의 벽면 휘도는 그 위치에서 노면휘도 값의 1.5배 이상의 값으로 하는 것이 바람직하다.

〈CIE 88-1990 Guide for the lighting of road tunnels and underpasses 5.2.4 Luminance of the walls.〉

The average luminance of the tunnel walls, up to a height of 2m, should not be less than the average road surface luminance.

벽면휘도

터널벽면높이 2(m)까지의 벽면평균휘도는 도로면 평균휘도보다 낮아서는 안 된다.

이 두 기준을 보면 벽면평균휘도가 도로면평균휘도보다 높다. 터널 안에서 벽면이 잘 보이게 설계되어야 운전자에게 경계선을 잘 인식해서 벽면에 충돌하는 사고를 피하게 해야 한다.

5. 조명시뮬레이션 Data

5.1 아치형 터널 벽부형 등기구

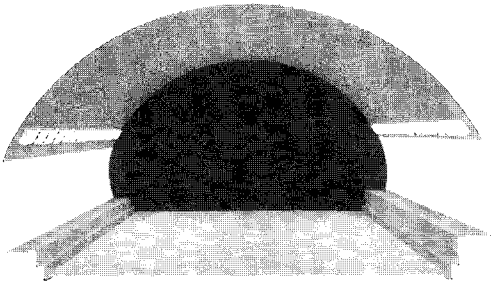


그림 1. 아치형 터널 벽부형 등기구 높이 4(m)

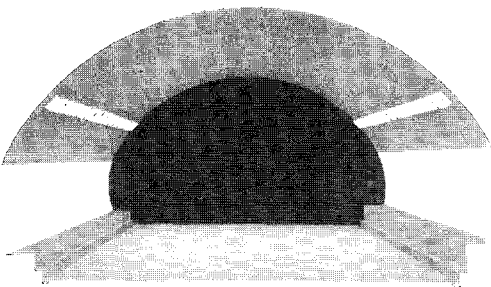


그림 2. 아치형 터널 벽부형 등기구 높이 5(m)

표 1. 아치형 터널 벽부형 등기구(터널벽면 기울기)

높이 (m)	도로면 평균 조도 [lx]	도로면 평균 휘도 [cd/m ²]	벽면 평균 휘도 [cd/m ²]	벽면 평균휘도 / 도로면 평균휘도
3.6	895	71	78	1.10
3.8	909	72	79	1.10
4.0	945	75	81	1.08
4.2	944	75	80	1.07
4.4	955	76	80	1.05
4.6	968	77	81	1.05
4.8	965	77	81	1.05
5.0	979	78	81	1.04

위 자료에서 결과를 보면 벽면평균휘도는 등기구 높이에 상관없이 거의 일정하고 도로면 평균조도 및 휘도는 비례한다. 결과적으로 벽면평균휘도 / 도로면 평균휘도 비율은 높이에 반비례하고 있다. 대부분 CIE기준을 준수하나 KS A기준은 준수하지 못한다.

5.2 아치형 터널 천정형 등기구

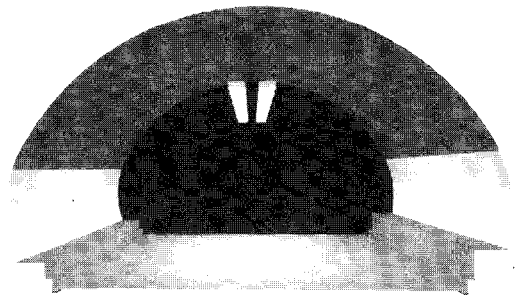


그림 3. 아치형 터널 천정형 터널중심으로부터 등기구 간격 0.4(m)

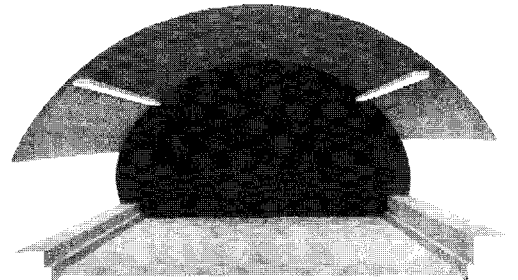


그림 4. 아치형 터널 천정형 터널중심으로부터 등기구 간격 4.4(m)

표 2. 아치형 터널 천정형 등기구(높이5.5(m))

터널 중심부터 간격 (m)	도로면 평균 조도 [lx]	도로면 평균 휘도 [cd/m ²]	벽면 평균 휘도 [cd/m ²]	벽면 평균휘도 / 도로면 평균휘도
0.4	1356	108	75	0.69
0.9	1350	107	76	0.71
1.4	1336	106	81	0.76

터널 중심부 간격 [m]	도로면 평균 조도 [lx]	도로면 평균 휘도 [cd/m ²]	벽면 평균 휘도 [cd/m ²]	벽면 평균휘도 / 도로면 평균휘도
1.9	1316	105	88	0.84
2.4	1285	102	97	0.95
2.9	1245	99	108	1.09
3.4	1192	95	118	1.24
3.9	1128	90	125	1.39
4.4	1053	84	128	1.52

위 자료에서 결과를 보면 벽면평균휘도는 등기구의 터널중심부터 간격에 비례하고 도로면 평균조도 및 휘도는 반비례하고 있다. 결과적으로 벽면평균휘도 / 도로면평균휘도 비율은 터널중심부터 간격에 비례하고 있다. 간격 2.9[m]이상에서 CIE기준을 준수하고 4.4[m]이상에서 KS A기준을 준수한다.

5.3 사각형 터널 벽부형 등기구

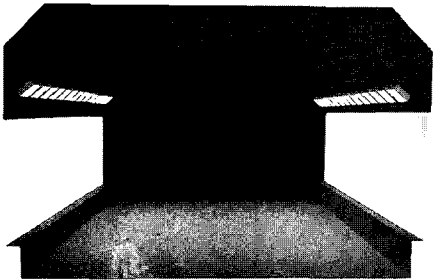


그림 5. 사각형 터널 벽부형 등기구 높이 4.5(m) 각도 40(°)

표 3. 사각형 터널 벽부형 등기구(각도 40(°))

높이 [m]	도로면 평균 조도 [lx]	도로면 평균 휘도 [cd/m ²]	벽면 평균 휘도 [cd/m ²]	벽면 평균휘도 / 도로면 평균휘도
4.0	1255	100	122	1.22
4.5	1192	95	128	1.35
5.0	1129	90	125	1.39
5.5	1069	85	120	1.41

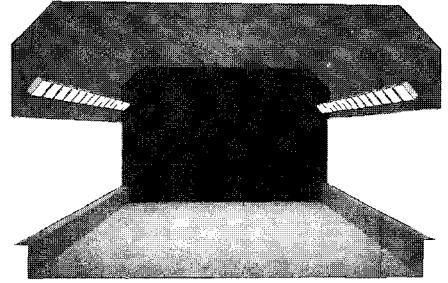


그림 6. 사각형 터널 벽부형 등기구 높이 4.5(m) 각도 50(°)

표 4. 사각형 터널 벽부형 등기구(각도 50(°))

높이 [m]	도로면 평균 조도 [lx]	도로면 평균 휘도 [cd/m ²]	벽면 평균 휘도 [cd/m ²]	벽면 평균휘도 / 도로면 평균휘도
4.0	1168	93	107	1.15
4.5	1108	88	111	1.26
5.0	1047	83	110	1.33
5.5	991	79	107	1.35

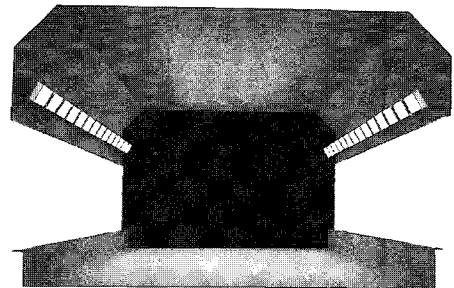


그림 7. 사각형 터널 벽부형 등기구 높이 4.5(m) 각도 60(°)

표 5. 사각형 터널 벽부형 등기구(각도 60(°))

높이 [m]	도로면 평균 조도 [lx]	도로면 평균 휘도 [cd/m ²]	벽면 평균 휘도 [cd/m ²]	벽면 평균휘도 / 도로면 평균휘도
4.0	1037	83	103	1.24
4.5	977	78	106	1.36
5.0	919	73	105	1.44
5.5	866	69	103	1.49

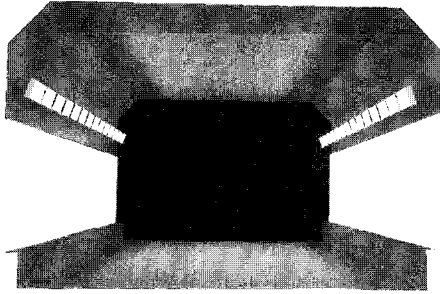


그림 8. 사각형 터널 벽부형 등기구 높이 4.5(m) 각도 70(°)

표 6. 사각형 터널 벽부형 등기구(각도 70(°))

높이 [m]	도로면 평균 조도 [lx]	도로면 평균 휘도 [cd/m²]	벽면 평균 휘도 [cd/m²]	벽면 평균휘도 / 도로면 평균휘도
4.0	866	69	104	1.51
4.5	813	65	107	1.65
5.0	761	61	105	1.72
5.5	713	57	103	1.81

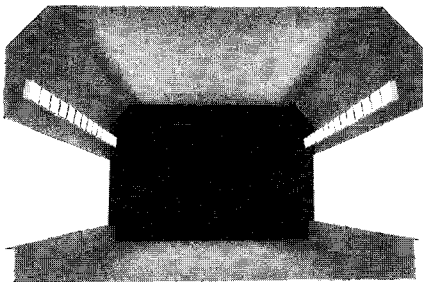


그림 9. 사각형 터널 벽부형 등기구 높이 4.5(m) 각도 80(°)

표 7. 사각형 터널 벽부형 등기구(각도 80(°))

높이 [m]	도로면 평균 조도 [lx]	도로면 평균 휘도 [cd/m²]	벽면 평균 휘도 [cd/m²]	벽면 평균휘도 / 도로면 평균휘도
4.0	696	55	104	1.89
4.5	649	52	107	2.06
5.0	604	48	104	2.17
5.5	564	45	101	2.24

위 자료에서 결과를 보면 벽면평균휘도는 등기구의 일정각도(등기구 광속발산 중심선 과 도로면의 수직선이 이루는 각)에서 등기구 높이에 상관없이 벽면 평균휘도는 거의 일정하다. 그러나 도로면평균조도 및 휘도는 등기구의 일정각도에서 등기구 높이에 반 비례한다. 결과적으로 벽면평균휘도 / 도로면평균휘도 비율은 등기구의 일정각도에서 등기구 높이에 비례하고 있다. 그리고 특이점은 벽면평균휘도 / 도로면 평균휘도 비율은 40(°)이하는 제외한 등기구 광속 발산 중심선과 도로면의 수직선이 이루는 각도에 비례한다. 모두 CIE기준을 준수하고 일부는 KS A기준에 준수하지 못한다.

5.4 사각형 터널 천정형 등기구

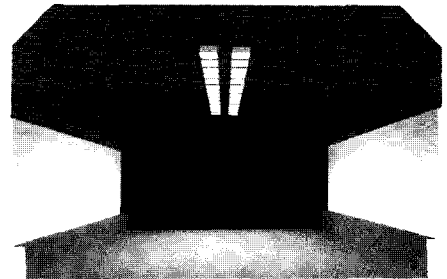


그림 10. 사각형 터널 천정형 터널중심으로부터 등기구 간격 0.4(m)

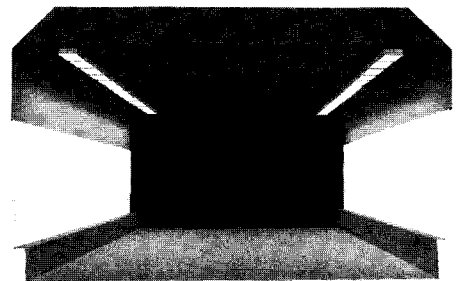


그림 11. 사각형 터널 천정형 터널중심으로부터 등기구 간격 3.9(m)

표 8. 사각형 터널 천정형 등기구(높이 5.5(m))

터널 중심부터 간격 [m]	도로면 평균 조도 [lx]	도로면 평균 휘도 [cd/m ²]	벽면 평균 휘도 [cd/m ²]	벽면 평균휘도 / 도로면 평균휘도
0.4	1449	115	111	0.97
0.9	1445	115	113	0.98
1.4	1430	114	120	1.05
1.9	1405	112	128	1.14
2.4	1368	109	141	1.29
2.9	1318	105	153	1.46
3.4	1250	99	158	1.60
3.9	1166	93	151	1.62

따라 벽면 평균휘도가 거의 일정하지만 도로면 평균 휘도는 아치형터널(벽면기울기로 등기구를 설치한 터널)에서는 비례하고 사각형터널에서는 반비례 한다. 결과적으로 벽면평균휘도 / 도로면 평균휘도 비율은 등기구 높이에 아치형터널은 반비례하고 사각형 터널은 비례한다. 그리고 40[°]이하 각도를 제외한 등기구 광속발산 중심선과 도로면 수직선이 이르는 각도에 벽면평균휘도 / 도로면평균휘도 비율은 비례 한다. 등기구 각도와 높이를 잘 조정해서 KS A 기준 과 CIE 기준에 잘 맞도록 설계해야한다.

위 자료에서 결과를 보면 벽면평균휘도는 등기구의 터널중심부터 간격에 비례하고 도로면 평균조도 및 휘도는 반비례하고 있다. 결과적으로 벽면평균휘도 / 도로면평균휘도 비율은 터널중심부터 간격에 비례하고 있다. 간격 1.4[m]이상에서 CIE기준을 준수 하고 3.4[m]이상에서KS A를 준수한다.

6. 결 론

천정형으로 등기구를 배치 할 때는 장터널은 환기를 위해 터널 내 제트 팬이 설치되어 등기구를 터널 중앙에 배치하지 못하므로 터널 중앙에서 멀리 떨어진 벽면 쪽으로 배치하고 있다. 그러면 벽면평균휘도 / 도로면평균휘도 비율이 CIE기준을 준수하고 KS A 기준에 근접하므로 좋은 설계이다. 제트 팬이 설치되지 않는 단 터널에서는 조명율만 고려하여 등기구를 터널 중앙 쪽으로 배치하면 벽면평균휘도 / 도로면 평균휘도 비율이 CIE, KS A 기준치 보다 많이 낮으므로 안전을 위해 벽면 쪽으로 등기구를 설치하고 기준조도에 맞게 등기구 개수를 조정하면 더 좋은 터널 조명 설계가 될 것이다.

벽부형으로 등기구를 배치 할 때는 등기구 높이에

참고문헌

- [1] 한국산업규격, 터널조명기준 KS A 3703(1992).
- [2] 전기실무지침서 (한국도로공사 시설처 2006. 11).
- [3] CIE, Guide for the Lighting of Road Tunnel and Underpasses, Pub No. 88-1990.
- [4] Naver 백과사전.

◇ 저 자 소 개 ◇



심재천(沈載天)

1964년 10월 10일생. 경원전문대 전기공학과 졸업. 현재 (주)삼보기술단 기전부 부장 재임중.



허정국(許正國)

1979년 6월 19일생. 2002년 서울산업대 전기공학과 졸업. 현재 (주)삼보기술단 기전부 기사 재임중.