

터널의 가시성 개선을 위한 Counter-beam 효과 연구

(The Contrast Analysis of Counter-beam for Tunnel Visibility)

이 영 규
(Young-Q Lee)

요약 도로의 가시성(Visibility)은 운전자에게 매우 중요하다. 특히 차량이 터널을 통과할 때의 가시성은 더욱 중요한데, 터널내의 조명은 운전자의 가시성에 많은 영향을 미친다. 이러한 가시성 향상을 위하여 새로운 터널조명 방식인 Counter-beam 조명이 유럽과 일본을 중심으로 최근 소개되고 있다. 본 논문에서는 터널조명 발전을 위한 새로운 접근 방법론을 제시하고 기본적인 상황에서 Counter-beam 조명의 효과를 Simulation을 통하여 분석하고 평가함으로써 그 적용 가능성을 알아본다.

Abstract Good visibility is essential for drivers. Especially it may be critical when drivers are passing through a tunnel. Lighting is one of the major factors that contribute to or detract from visibility in a tunnel. In order to enhance the visibility a new lighting technique has been proposed: counter-beam. This paper proposes a new scheme for tunnel lighting design and analyzes the counter-beam lighting technique by showing the contrast effect of it. Different situations are set and simulated. This study is expected to contribute improving the visibility in tunnels.

1. Introduction

쾌적하고 안전한 운전을 위한 터널의 설계는 매우 중요하다. 특히 터널의 조명은 운전자의 안전, 쾌적함을 제공할 수 있어야 하며 동시에 경제성 등을 고려한 유지보수성의 차원에서 충분히 검토되고 설계되어야 한다. 최근에 많은 고속도로가 건설되고 있다. 그러나 대부분의 터널에서는 종래의 조명방식 그대로 조명을 하고 있다. 조명기구의 배광(광원에서 나오는 빛이 어느 방향으로 얼마만큼의 강도로 나오는가의 정도)이나 부착위치 등에 대해서도 설계속도나 교통량 등에 관계없이 획일적인 조명을 하는 경우가 많다. 앞으로는 터널 시설물들에 대한 에너지 절약과 함께 쾌적성, 교통고속화에 대응하기 위한 터널설계의 합리화가 절대 필요하다. 이 논문에서는 터널조명 발전을 위

한 새로운 접근 방법론을 제시한 후, 유럽과 일본에서 최근 소개되고 있는 Counter-beam 조명방식에 대하여 알아보고 Computer Simulation을 통하여 그 효과를 평가함으로써 새로운 터널조명방식으로서 그 가능성을 알아본다.

2. 터널조명

2.1 터널조명의 구분

터널조명은 입구접속도로조명, 입구부조명, 기본부조명, 출구부조명, 출구접속도로조명으로 나누어진다. 주간 운전자의 경우 밝은 곳에서 어두운 터널로 고속으로 진입할 때 터널 내부의 물체(전방 차량)를 인식하는데 어려움을 겪게 된다. 입구부조명은 이러한 초기 진입시 운전자가 쉽게 터널의 어두움에 적응할 수 있도록 도와주기 위함이다. 입구부조명은 터널진입 전에 생기는 Black-hole 현상

* 상지대학교 산업공학과

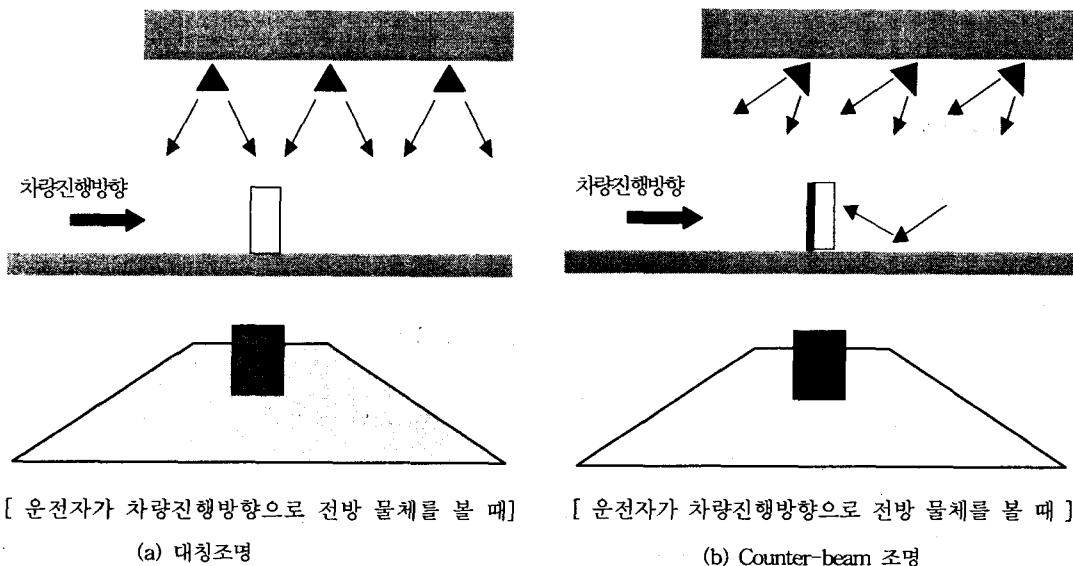
을 제거하기 위한 경계부(Threshold Zone)조명과 터널조명에 순응하기 위한 이행부 및 완화부(Transition Zone)로 나눌 수 있다. 이러한 점차적인 밝기의 변화는 운전자가 터널 내부의 밝기에 순응하는데 도움을 준다. 기본부조명은 터널 전체에 걸쳐 조명기구를 일정 간격으로 설치하여 터널에 진입한 운전자가 입구부조명을 통과하여 거의 정상적 시각상태에 도달한 후의 조명이다. 주간에 출구를 터널 내부에서 보면 출구가 매우 밝은 배경이 되고 전방 물체는 검은 Silhouette으로 보여 물체의 존재 유무의 판단은 매우 쉽다. 그러나 이 경우 전방 물체와의 거리, 속도 등은 알기가 어렵다. 또한 터널 안을 주행하고 있던 선행 차량이 터널에서 나왔을 때 그의 후면이 검은 Silhouette으로부터 자연광으로 조명된 높은 휘도로 급변함에 따라 터널안의 저 휘도에 순응하고 있던 눈에 강한 눈부심과 불쾌감을 주는 현상이 발생한다. 이러한 현상을 방지하기 위하여 출구부조명이 설치된다.

2.2 대칭조명과 Counter-beam 조명

현재 터널의 조명 방식은 <그림 1(a)>에서와 같이 횡단방향 대칭으로 빛을 조사하는 이른바 대칭(Symmetric)조명 방식이다. 즉, 차량의 진행방향에 대하여

조명기구의 배광은 기구중심으로 내린 수직선의 전후에 대칭하고 그것이 터널의 측벽 혹은 천정에 설치된다. 조명기구의 배광 중에서 “운전자와 마주하는 부분”은 주로 노면 휘도를 확보하는데 주로 사용되며, “차량 진행방향 부분”은 도로의 장애물이나 선행차량의 뒷면을 밝게 하는데 주로 사용된다. 대칭조명은 도로상의 장애물이나 선행차량의 시인성, 벽면휘도 확보 등의 조명환경을 실현시켜 종합적으로 균형이 잡히는 조명방식이다.

최근, 조명기구의 배광을 차량의 진행방향에 대하여 비대칭으로 한 조명방식이 주로 터널 입구부조명으로 유럽과 일본을 중심으로 개발 소개되고 있는데 그것이 <그림 1(b)>인 Counter-beam 조명방식이다. 이 방식은 전방 장애물의 시인성(Visibility)을 개선함과 동시에 효율적인 조명에 의하여 비용을 줄일 수 있는데, 도로면에 입사한 빛이 운전자의 방향에 효율적으로 반사되기 때문에 휘도계수(단위 조도당의 휘도)가 높아지며 전방 장애물이 후방에서 비춰지기 때문에 운전자와 마주하는 장애물 연직면 조도 및 휘도가 낮아진다. 따라서 장애물과 배경 도로면과의 사이에 높은 휘도대비(Contrast)를 얻을 수 있고 어두운 장애물이 밝은 도로면을 배경으로 보이게 된다. 이러한 Counter-beam 조명방식은 비교적 교통량이 적은 입구부조명에 적절한 것으로 알려져 있다.



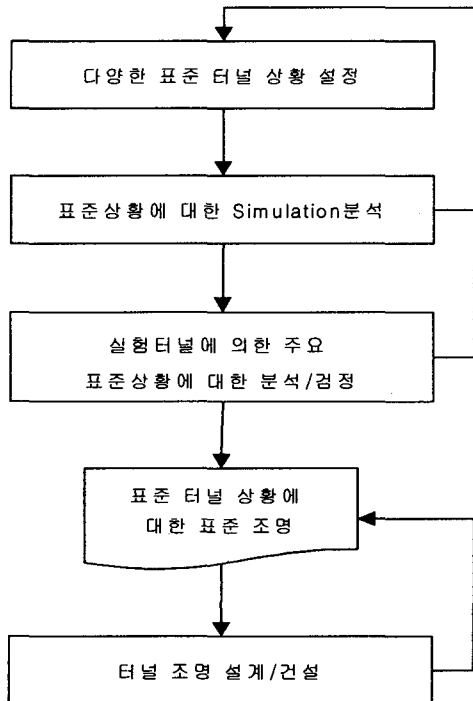
<그림 1>. 대칭조명(a)과 Counter-beam 조명(b)

3. 터널조명 Simulation

3.1 터널조명 발전 방법론

개념적으로 보다 개선된 시인성과 경제성을 줄 수 있을 것으로 인지되는 Counter-beam 조명의 효과를 평가하기 위하여 일본을 중심으로 실험을 통한 연구가 진행되고 있다. 이러한 연구는 실험용 터널을 설치하고 그 효과를 실제 측정하는 방법을 사용하고 있다. 그러나 이 방법은 실험하여야 할 터널의 상황이 매우 다양하게 많으므로 비용과 시간 등의 차원에서 매우 제한적이라고 할 수 있다. <그림 2>는 Computer Simulation 방법을 통하여 매우 효과적으로 실제 터널에 조명이 설치되기 전 가장 적절한 조명방식을 계획하기 위한 방법론을 제시한다.

터널조명 설계는 매우 많은 요소들을 고려하여 결정되어야 한다. 즉 터널의 조명에 의한 시인성은 해당 터널의 여러 요소들에 의하여 결정된다. 영향을 주는 요소로 터널의 길이, 차량의 속도, 교통량, 조명위치, 조명의 배광 및 설치 각도, 터널의 휘어짐, 터널의 경사도 등 매우 다양하여 조명의 설계 요소적 차원에서 보면 모든 터널이 다르



<그림 2>. 터널조명 발전 방법론

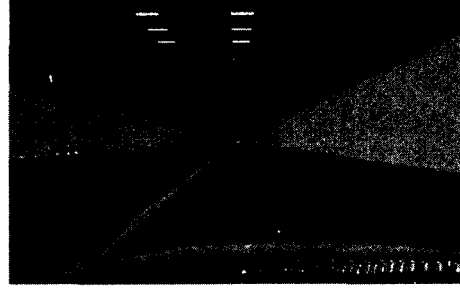
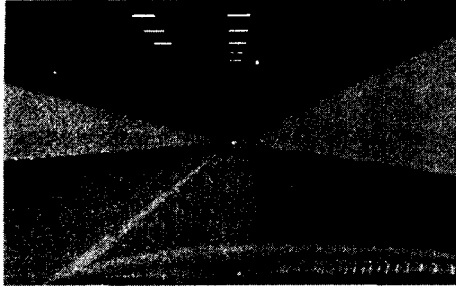
다고 할 수 있다. 결국 모든 터널의 조명은 매년 여러 가지의 다양한 분석을 통하여 최적화를 추구하여야 한다. 그러나 현실적으로 이러한 방법은 경제적, 기술적, 시간적으로 어려움을 가지게 된다. 효율적인 방법으로 다양한 기본적인 표준상황을 설정하고 각각에 대하여 Computer Simulation을 통하여 분석을 한 후 그 중 주요하고 더욱 기본적인 표준상황에 대하여 실험용 터널 등을 통한 분석과 검정을 거쳐 표준상황에 대한 가장 합리적이고 효율적인 표준조명을 설정하게 된다. 표준조명은 실제 터널 조명 설계에서 주요 설계기준으로 적용이 되고 그 결과가 다시 표준조명의 개선을 위한 자료로 활용되는 과정을 거치게 된다. 이러한 과정을 거쳐 일정 기간 후의 표준상황에 대한 표준조명은 매우 다양한 터널 상황에 대한 조명 설계에 가장 기본적인 설계 자료로 그 역할을 할 수 있을 것이다. 이번 연구에서는 이러한 방법론의 가장 기초적인 작업의 하나로 터널의 입구부조명 개선을 위한 Computer Simulation을 실시하였다. 주간과 매우 밝은 상황에서 터널로 차량이 진입할 때 운전자가 터널 내의 전방 물체의 유무를 인식하는데 많은 어려움을 겪게 된다. 이 경우 기존의 대칭조명 보다 Counter-beam 조명이 도로면과의 휘도대비(Contrast)가 높게 되어 물체의 인식을 쉽게 하여 줄 수 있다. 그러나 터널의 상황에 따라 매우 다른 결과를 가져올 수도 있다.

3.2 Simulation 환경

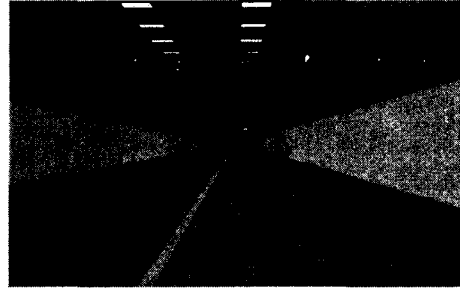
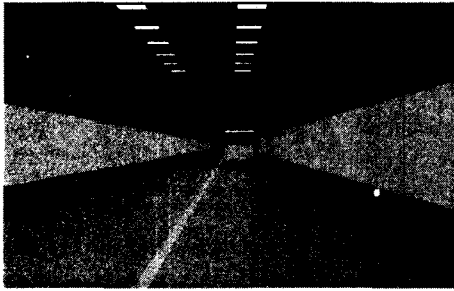
가장 기본적인 분석을 위하여 2차선 편도 터널을 설정하였으며, 조명기구를 도로면 7m 높이의 지점에 2m 간격으로 터널 천장에 2열로 설치하였다. 도로면과 벽면은 일반적 고속도로 터널의 재질로 설정하였다. 좀 더 정확한 분석을 위하여서는 대칭조명과 Counter-beam 조명 각각을 위한 특별한 배광을 가진 조명기구가 필요하겠으나 이번 분석에서는 동일한 배광을 가진 조명기구를 설치하였다. 전방 차량과의 거리를 30m로 하여 전방 차량이 승용차인 경우와 버스인 경우에 대하여 Simulation 하였다.

3.3 Simulation 결과

Simulation 결과 <그림 3>과 같은 결과를 얻었으며, 전방 차량 후면의 휘도는 <표 1>과 같았다. <표 1>의 휘도는 Simulation의 기술적인 제약으로 그 절대 크기는 어느 정도의 오차가 있을 것으로 판단된다. 그러나 휘도의 상대적인 값은 대칭조명에 비하여 Counter-beam 조명의 경우 후면의 휘도가 매우 낮게 되었다. 결국 도로면과 벽면의 휘도와 휘도대비 측면에서 비율이 높아지게 되어 전방 차량의 존재 유무의 판단이 신속하게 이루어 질 수 있다고 판단된다.



[승용차]



[버 스]

<그림 3> Simulation 결과 - 대칭조명(좌), Counter-beam 조명(우)

<표 1>. Simulation 결과

조명방식	휘도(cd/m^2)	
	승용차	버 스
대칭	52	67
counter-beam	12	9

4. 향후의 연구과제 및 결론

터널에서의 조명은 운전자의 안전성, 쾌적성과 경제성 등을 결정하는 중요한 요소임에도 불구하고 아직까지 많은 터널들이 충분한 연구와 검토 없이 설계되며 건설되고 있

다. 이러한 원인 중의 하나가 조명이라는 분석적 난이성과 터널마다 제반 요소가 각각 다르기 때문인 것으로 판단된다.

이 논문에서는 이러한 한계성을 극복하기 위한 합리적인 접근 방법론을 제시하였으며, 기본적 접근의 일환으로 터널 입구부를 위한 Counter-beam 조명의 효과를 Simulation 방법으로 분석함으로써 그 적용 가능성을 제시하였다. 그러나 앞에서 설명된 바와 같이 터널에서의 시인

성은 여러 요소들에 의하여 결정된다. 향후 이 분야 연구의 중요성에 대한 인식과 그에 맞는 연구조직, 예산 등의 확보에 의한 체계적이고 합리적인 연구가 절대 필요하다고 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] S. Sakamoto, M. Hirama and H. Takeda, "Counter-beam and Pro-beam Lighting Systems for Tunnels," J. of Illum. Eng. Inst. Jpn., Vol. 82, No. 3, 1995, pp. 191-196
- [2] Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpasses, CIE publication, No. 88, 1990
- [3] G. W. Larson and R. Shakespeare, Rendering with Radiance, Morgan Kaufmann, 1988
- [4] 건설교통부, 도로터널 조명시설의 설계기준, 도서출판 의재, 1996



이 영 규 (Young-Q Lee)

1993 펜실베니아 주립대학교 공학박사
(산업공학)
1995 - 현재 상지대학교 산업공학과 교수
1993 - 1995 삼성데이터시스템, 수석
1984 - 1990 국방과학연구소, 연구원