

퍼지집합이론을 이용한 야간 도로 시인성 평가

An Analysis of Driver Perception of Nighttime Visibility Using Fuzzy Set Theory

이동민	LEE, Dong Min	정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 · 교신저자 (E-mail : dmlee@uos.ac.kr)
윤천주	Youn, Chun Joo	정회원 · 한국건설기술연구원 (E-mail : cjyoon@kict.re.kr)
김영범	KIM, Young Beom	정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 (E-mail : kybgood003@naver.com)

ABSTRACT

PURPOSES : Nighttime driving is very different from daytime driving because drivers must obtain nighttime sight-distances based on road lights and headlights. Unfortunately, nighttime driving conditions in Korea are far from ideal due to poor lighting and an insufficient number of road lights and inadequate operation and maintenance of delineators. This study is conducted to develop new standards for nighttime road visibility based on experiments of driver perception for nighttime visibility conditions.

METHODS : In the study, perception level and satisfaction of nighttime visibility were investigated. A total of 60 drivers participated, including 34 older drivers and 31 young drivers. To evaluate driver perceptions of nighttime road visibility, fuzzy set theory was used because the conventional analysis methods for driver perception are limited in effectiveness for considering the characteristics of perception which are subjective and vague, and are generally expressed in terms of linguistic terminologies rather than numerical parameters.

RESULTS : This study found that levels of nighttime visibility, as perceived by drivers, are remarkably similar to their satisfactions in different nighttime driving conditions with a log-function relationship. Older drivers evaluated unambiguously degree of nighttime visibility but evaluations by young drivers regarding it were unclear.

CONCLUSIONS : A minimum value of brightness on roads was established as YUX 30, based on final analyzed results. In other words, road lights should be installed and operated to obtain more than YUX 30 brightness for the safety and comfort of nighttime driving.

Keywords

Nighttime Visibility, Fuzzy Set Theory, Driver Perception, Road Light, Driver Satisfaction

Corresponding Author : LEE, Dong Min, Assistant Professor
Department of Transportation Engineering, University of Seoul
Seoulsiripdaero 163, Dongdaemun-gu, Seoul-si, 02504, Korea
Tel : +82.2.6490.2827 Fax : +82.2.6490.2819
E-mail : dmlee@uos.ac.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (print)
ISSN 2287-3678 (Online)
Received May, 20, 2015 Revised May, 27, 2015 Accepted Sep, 23, 2015

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

야간 도로주행환경은 주간과는 여러 가지 측면에서 매우 다르며, 운전자들은 야간 주행 시 도로조명과 차량의 전조등에 의해 운전 시 필요한 시야를 확보하게 된다. 현재 국내 간선도로의 80% 이상이 무조명구간이고, 도로 야간시인성 시설의 설치 및 운영관리 미흡으로 야간

주행환경이 매우 열악한 실정이다. 이러한 야간 주행환경의 문제로 인하여 교통사고 사망자의 약 50% 이상이 야간에 발생하고 있다. 우리나라에서는 도로 조명기준이 제정되어 있으나 활용이 제한적이며, 운전자들이 야간 주행에 어려움을 겪고 있는 것으로 알려져 있다. 도로조명의 경우에는 고가의 설치·운영비용 때문에 설치가 일부 제한되고 있으며, 전조등에 의해 야간 주행방향

을 안내해주는 노면표시 차선은 설치 후 급격한 반사성 능이 저하되고, 지속적인 유지관리가 이루어지지 못하고 있어 효과가 미비한 실정이다.

하지만 이러한 야간 시인성에 대한 국내 연구는 그리 많지 않고 야간 시인성에 대하여 운전자가 실제 느끼는 인지정도를 조사하여 적절한 도로 조명기준을 개발한 사례는 없다. 한편 적절한 도로 조명기준을 만들기 위해서는 실험을 통해 운전자가 실제 느끼게 되는 야간 시인성을 조사하고, 이를 분석하여야 한다. 하지만 운전자의 실제 야간시인성 관련 인지정도는 개인의 신체적, 감성적 특성에 따라 각각 다르게 평가될 수 있어 기존의 분석방법으로는 개인의 주관적이고 다양함을 고려하여 평가하는데 한계가 있다.

본 연구에서는 이러한 한계를 극복하고, 새로운 도로의 조명 기준을 제안하기 위해 도로조명 기준 조건별 실험을 수행하였다. 이를 통해 현재 도로조명 조건이 운전자가 느끼기에 적절한지에 대한 여부를 확인하고자 한다. 또한 운전자의 주관적인 시인성 인지정도 분석을 위해서 이용자의 인지정도를 평가하는데 효율적인 방법으로 알려져 있는 ‘퍼지집합 이론’을 활용하여 분석하고, 이의 결과를 토대로 도로조명 기준 조건별 운전자 시감과의 관계를 도출하고자 한다. 본 연구의 결과들은 야간 교통사고를 줄이고, 야간 도로주행환경을 개선하기 위한 야간 도로의 시인성 평가 관련 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

1.2. 연구의 주요 내용 및 방법

본 연구는 크게 네 가지의 단계를 걸쳐 수행되었다. 첫 번째, 야간 시인성과 퍼지집합이론에 대한 기존문헌들을 검토하였고, 두 번째, 다양한 도로조명 등급에 의한 분석용 야간 주행환경을 조성하여 가상현실(VR, Virtual Reality) 기반의 실험 영상을 구축하였다. 세 번째는 젊은 운전자와 고령운전자들을 대상으로 실내 실험을 수행하였고, 이를 통해 최종적으로 다양한 도로조명 조건과 운전자 시감과의 관계를 도출하였다. 마지막으로 조사된 실험결과는 이용자의 인지정도를 평가하는데 효율적인 방법으로 알려져 있는 ‘퍼지집합이론’을 활용하여 재분석하였다. 최종 도출된 퍼지 야간 시인성 평가 기준은 실제 운전자가 체감하는 야간 시인성을 고려하여 도로조명 기준을 개발하는데 기초자료로 활용되었다.

2. 기존 연구 고찰

2.1. 도로조명 관련 기준

우리나라에서 사용되고 있는 도로조명기준은 산업자원부 기술표준원에서 2008년에 개정한 기준을 사용하고 있다. 도로의 종류에 관계없이 대부분의 도로에서 동일한 밝기 기준을 적용하였던 기존 기준을 도로의 종류, 교통량, 도로시설, 주변의 밝기 등과 같은 도로의 형태와 주변 환경을 고려하여 적용될 수 있도록 도로조명기준(KS A 3701)을 개정한 바 있다. Table 1은 이러한 도로조명기준을 설명하고 있다.

Table 1. Road Light Standards in Korea

Types of road	Traffic volume	Level of road light	Standards of road surface brightness
Express highway	High	M1	2.0 cd/m ²
	Medium	M2	1.5 cd/m ²
	Low	M3	1.0 cd/m ²
National highway, arterial	High	M2	1.5 cd/m ²
	Low	M3	1.0 cd/m ²
Roads in residential area	High	M4	0.75 cd/m ²
	Low	M5	0.5 cd/m ²

한편 외국에서는 국제조명위원회(CIE)에서 제정한 도로조명기준이 적용되고 있다. 2010년에 개정된 CIE의 도로조명지침서에서는 표준 조명(Normal Lighting)과 적응 조명(Adaptive Lighting)에 대하여 각각의 조명 등급을 선택하도록 하고 있다.

도로의 설계속도, 전체 도로의 구획, 교통량과 교통의 구성, 환경조건 등의 8개 항목이 조명 등급에 미치는 영향을 고려하여 도로조명 등급을 결정하도록 하였다. Table 2는 CIE에서 제시한 도로의 조명기준을 설명하고 있다.

미국의 경우에는 Table 3에서 보는 바와 같이 도로의 종류와 보행자와의 상충여부를 구분하여 조명수준을 다르게 적용하고 있다. 한편, 미국에서는 다른 국가와는 다르게 단순히 도로 조명에 의한 밝기, 즉, 휘도 값에 대한 기준뿐만 아니라 시인성 수준을 보다 정확히 설명할 수 있는 STV(Small Target Visibility)에 대한 기준을 별도로 마련하여 이용하고 있다.

유럽에서 적용되는 도로조명기준은 기후, 차도분리 유무, 교통량, 그리고 도로주변 밝기정도(휘도) 등을 고려하여 해당 도로의 조명기준을 결정하도록 되어 있고, 일본의 경우에는 2007년 새로운 도로조명시설 설치기준을 제정하여 도로의 유형별로 다른 조명기준을 적용하도록 하고 있다.

Table 2. M Lighting Classes for the Motorized Vehicles on Traffic Roads

Lighting class	Luminance of the road surface of the carriageway for the dry and wet road surface condition				Disability glare	Lighting of surroundings
	dry			wet		
	Lav (cd/m ²)	Uo	Ul	Uo	Ti in %	SR
M1	2.0	0.40	0.70	0.15	10	0.5
M2	1.5	0.40	0.70	0.15	10	0.5
M3	1.0	0.40	0.60	0.15	15	0.5
M4	0.75	0.40	0.60	0.15	15	0.5
M5	0.50	0.35	0.40	0.15	15	0.5
M6	0.30	0.35	0.40	0.15	20	0.5

source : International Commission on Illumination(CIE), 2010, Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic, p. 45.

Table 3. Recommended Values of Luminance Ratio and Luminance

Road and pedestrian conflict area		Average luminance lavg(cd/m ²)	Uniformity ratio Lavg/Lmin (maximum allowed)	Uniformity ratio Lmax/Lmin (maximum allowed)	Veiling luminance ratio Lvmax/Lavg (maximum allowed)
Road	Pedestrian conflict area				
Freeway class A	-	0.6	3.5	6.0	0.3
Freeway class B	-	0.4	3.5	6.0	0.3
Expressway	High	1.0	3.0	5.0	0.3
	Medium	0.8	3.0	5.0	0.3
	Low	0.6	3.5	6.0	0.3
Major	High	1.2	3.0	5.0	0.3
	Medium	0.9	3.0	5.0	0.3
	Low	0.6	3.5	6.0	0.3
Collector	High	0.8	3.0	5.0	0.4
	Medium	0.6	3.5	6.0	0.4
	Low	0.4	4.0	8.0	0.4
Local	High	0.6	6.0	10.0	0.4
	Medium	0.5	6.0	10.0	0.4
	Low	0.3	6.0	10.0	0.4

source : CDOT Lighting Design Guide, 2006, Clanton & Associates, Inc., p. 65.

2.2. 도로조명 및 야간 시인성 관련 기존연구

여운용(2008)은 최소반사성능과 관련된 특성들을 실험계획법에 의해 실험 분석하였고, 이를 통해 노면표시의 특성상 최적 조합과 조합별 최소반사성능의 관계를 조사하였다. 일반적인 최소반사성능의 경우 '가로등이 없음 + 상향등 + 90m의 거리'의 조건에서 백색노면 표시는 113~159mcd/m²·lux의 범위를 제시하였고 황색 노면 표시는 96~142mcd/m²·lux의 범위로 제시하였다. 또한 최소반사성능이 가장 높게 요구되는 고령운전자(55세 이상)의 경우 동일한 조건에서 흰색노면 표시는 최소 170mcd/m²·lux, 노랑색 노면표시는 최소 155

mcd/m²·lux 이상 필요한 것으로 분석되었다. 이를 통해 현재 국내 노면표시 설치기준에서 제시하고 있는 도시 외 지역의 최소반사성능 흰색 50mcd/m²·lux, 황색 30mcd/m²·lux를 야간 시인성 측면과 고령화시대에 대비하여 현재 기준의 50% 이상 상향 조정할 필요성을 제기하였다.

A.Ekrias et al.(2008)은 도로조명 측정을 위해 도로에 있는 다양한 대상에 대해 차량 램프 종류 및 하향 등의 밝기에 따른 영향을 분석하였다. 이를 위해 할로겐 및 HID(high-intensity discharge) 램프의 차이에 따른 도로조명 정도를 측정하였고 하향 전조등의 유무에

다른 영향을 실험하였다.

측정 결과, 일반적으로 도로조명이 없는 경우에는 하향 전조등을 사용하더라도 도로상에 있는 물체의 시인성을 향상시키지 않는 것으로 나타났다. 또한 하향 전조등의 효과는 차량 종류, 헤드라이트 유형, 대상 반사율, 대상의 위치, 차량 및 도로조명 조건의 위치에 크게 영향을 받는 것으로 분석되었다. 또한 차량 램프 종류의 시인성 결과 HID 헤드라이트의 효과가 할로겐 헤드라이트에 비해 야간 시인성 측면에서 보다 효율적으로 분석되었다.

김원식 외 3명(2008)은 야간 운전 시 도로 조명시설의 설치 위치 및 형태에 따른 운전자의 시선, 감성, 행동의 변화를 측정하여 상관관계를 분석하였다. 이를 통해 도로조명시설의 설치 형태에 따른 운전자의 행태에 영향을 주는 요인을 측정하였다. 특히, 라인형태의 낮은 조명이 주행 중 운전자의 시선과 감성에 어떤 영향을 주는지에 대해 풀조명 형태와 성능비교를 수행하였다. 라인조명 구간에서 운전자들은 풀조명에 비해 안정된 정서를 느끼며 주행하며, 규제도 역시 풀조명 구간에 비해 우수한 것으로 분석하였다. 또한 풀조명 구간에서는 운전자의 시선이 상하로 산재되는 경향을 보이는 반면, 라인조명 구간에서는 우편향적인 산재 경향을 보이는 것으로 분석되었다. 도로 조명시설의 설치형태별 눈부심은 라인조명, 터널조명, 풀조명 순으로 조사되었다.

정준화 외 3명(2012)은 도로변에 설치된 등조명 방식의 문제점을 해결하기 위해 라인 조명 설치를 제안하고, 그에 따른 효과를 평가하였다. 효과 평가를 위해서 등조명방식과 라인조명방식의 도로조명이 각각 설치된 도로 구간에서 운전자의 시선과 감성변화, 그리고 이들과 환경측면의 요소와의 관계성을 조사하고, 실제 운전자의 주행에 어떤 영향을 주는지 분석하였다. 분석결과 라인조명구간에서 주행 간 눈 깜빡임의 빈도가 낮게 관측되었고, 시지각적으로 유리한 것으로 분석되어 라인조명방식이 야간 주행을 위해 보다 편안한 주행환경을 제공해 줄 수 있음을 확인하였다.

İsmail Serkan Üncü et al.(2014)는 도로조명과 시인성 수준을 2가지의 다른 소프트웨어 구조를 개발하여 평가하였다. 개발된 프로그램은 시인성 수준 기능을 통해 도로상의 물체에 대해 시인성을 테스트 및 평가하고 동시에 도로 조명의 기능을 모델링과 사진촬영을 통해 분석하도록 하였다. 도로조명의 영향을 수치로 해석하고 이를 그래픽으로 재현하였으며 이를 국제 표준(CIE)에 따라 비교 분석하였다. 분석결과, 야간에 도로조명의

휘도 값의 허용 가능 범위는 1.5~2.0cd/m²으로 산출되었다. 또한 도로 노면이 젖거나 고르지 못할 경우 필요한 조명 밝기의 수준과 휘도가 증가하게 되며 도로조명이 도로상에 제공하는 밝기의 분포 수준이 불균일해진다고 제시하였다.

2.3. 퍼지집합이론을 이용한 교통부문 기존연구

2.3.1. 퍼지집합이론

퍼지집합이론은 1965년 Zadeh에 의해 개발된 이후 서비스수준 평가, 작업장에서의 노동부하 및 위험도 평가 등의 인간공학관련 분야 등에서 폭넓게 이용되고 있는 새로운 분석방법이다. 퍼지집합이론에서 사용되는 기본개념인 '퍼지집합(Fuzzy Sets)'은 기존의 집합이론에서 사용되는 '참'과 '거짓'의 이분법적 논리와는 달리 '참'일 수 있고 '거짓'일 수도 있는 존재, 혹은 그 중간의 어느 위치에 놓여 있는 애매모호한 존재나 개념을 설명하기에 적절한 방법이다. 한 집합의 소속정도를 0과 1사이의 값으로 주어지는 소속함수(Membership Function)를 이용하여 표현하고, 이를 통해 모든 퍼지이론의 계산과 분석을 수행하게 된다(이동민, 2006).

이러한 퍼지집합이론은 2000년대 이후 간헐적으로 교통분야에서도 적용되어 오고 있다. 다양한 퍼지이론들 중 교통이용자의 인지정보를 분석하기 위해 적용가능한 퍼지이론은 퍼지집계분석법과 퍼지추론방법으로 제안된 바 있다(이동민, 2006). 퍼지집계분석(Fuzzy Aggregation)방법은 확장된 대수학적 퍼지계산법을 근간으로 하며, 교통이용자들의 인지정보를 다양한 개별 교통이용자의 성향 및 특성을 고려하여 계량적으로 평가할 수 있는 방법이다. 퍼지추론방법은 다수의 판단기준(Multi-decision criteria)을 필요로 하는 인지정보 평가를 위해 계층적 구조의 퍼지추론(Hierarchical Fuzzy Inference System)방법을 이용하는 것으로 사고위험요소와 안전도 등의 인과관계에 있는 교통이용자의 인지정보 분석에 활용되고 있다.

Ndoh와 Ashford(1995)는 공항 터미널의 서비스수준 평가에 퍼지이론을 이용하고자 제안하였고, 퍼지집계 분석법을 이용한 방법을 제시하였다. Hamad와 Kikuchi(2002)는 퍼지추론이론을 이용하여 교통이용자가 느끼는 교통혼잡정도를 평가하고 이를 통해 교통혼잡평가지표(Congestion Index)를 개발하였다. 개발된 퍼지추론모형에서는 '통행속도 비율(Travel Speed Rate)'과 '매우 낮은 속도비율(Very Low Speed Rate)'을 이용하여 교통 혼잡도를 평가하였다. 이동민

외(2005)는 퍼지 집계분석방법을 이용하여 운전자들이 느끼는 펜실베이니아 고속도로의 도로전광표지에 대한 만족도를 분석하였다. 6가지의 효과척도를 이용하여 개별 운전자의 만족도를 계산하고, 이를 종합하여 운전자 그룹 전체가 느끼는 만족도를 측정한다. 결과 미국 펜실베이니아 주 고속도로의 도로전광표지에 대해 운전자가 느끼는 만족도는 약 55.4 정도임을 밝혀내었다. 또한 이동민 외(2006)는 계층적 퍼지추론방법을 이용하여 교통이용자가 실제 고속도로 주행 중에 느끼는 중앙분리대 관련 안전도를 분석하여 이를 실제 사고자료와 비교분석하였다. 새로운 다중 변수 퍼지규칙 생성방법(Generation of fuzzy rules for multiple criteria)을 이용하여 계층구조의 퍼지시스템(Hierarchical Fuzzy Inference System)을 개발하였고, 이를 이용하여 교통이용자가 도로주행 중에 느끼는 안전도를 분석하였다. 이 연구의 결과를 토대로 실제 사고자료를 이용하지 않고 교통안전에 대한 이용자의 의견분석을 통해서도 사고 위험지역 분석을 할 수 있게 되었다. 이동민 외(2007)은 교통이용자가 실제로 느끼고 있는 신호교차로의 서비스 수준을 비디오를 이용한 실내조사방법과 퍼지집계분석, 그리고 문화합의 분석방법(Cultural Consensus Analysis)들을 이용하여 분석하였다. 서비스수준을 평가하기 위한 평가기준으로 신호현시에 따른 지체, 신호현시의 운영, 신호등의 시인성, 교통안내시설의 유용성, 교차로의 기하구조 등을 사용했으며, 문화합의 분석방법을 통해 피실험자의 인지등급(Knowledge Level)을 계산하여 이를 토대로 피실험자 전체가 느끼는 서비스 수준을 평가하였다. 한편 야간 주행환경에서 다양한 형식의 도로노면표시가 개별운전자의 주행에 미치는 영향을 분석한 기존 연구사례도 있었다. 이동민 외(2007)은 고령운전자를 대상으로 다양한 유형의 도로노면표시들이 설치된 지방부 2차로 도로에서의 속도특성 및 횡방향 주행위치 등의 운전자 주행특성을 현장 주행실험을 통해 조사하였고, 그 결과를 퍼지추론모형을 이용하여 분석한 바 있다.

3. 야간 도로노면시인성 평가 실험

3.1. 실험방법

본 연구에서는 도로조명등급과 운전자 시감과의 관계를 조사하기 위해 Table 4에서 설명하는 바와 같이 고령운전자 34명과 비교령운전자 31명을 대상으로 실내 실험을 통한 조사를 실시하였다. 다양한 조명수준의 실

험영상을 현장에서 수집하기가 어려움으로 7개의 각기 다른 밝기의 조명정도에 따른 VR화면을 우선 구성하고, 이를 몇 개의 조명단계에서 실제 조명 밝기가 측정된 도로에서 촬영한 영상과 비교하여, 피실험자들에 의해 각 비교대상의 조명 영상간의 차이가 없음을 확인한 후 실험을 실시하였다.

본 연구에서는 운전자의 야간 시환경을 VR 기술을 통해 구현하기 위해 VR 화면의 화소마다의 밝기를 별도로 측정하였다. 이를 통해 VR의 RGB 정보를 밝기정보인 YUV 정보로 변환하였다. YUV는 밝기(Luminance)인 Y성분과 색상(Chrominance)인 U와 V성분으로 구성되며, Y값을 기준으로 7개의 다른 밝기의 시인환경을 구성·제작하였다. RGB와 YUV정보의 변환식은 Eq. (1)과 같다. 이러한 YUV 정보는 각각 구현된 실험영상에서의 밝기 정도를 표현하는 값이다. YUV 값이 커질수록 피실험자가 VR 영상을 통해 인지하게 되는 도로의 야간시인성은 더 높게 평가되게 된다.

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.144 \\ -0.14713 & -0.28886 & 0.436 \\ 0.615 & -0.15499 & -0.10001 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

야간 시인성에 대한 운전자의 반응은 조명의 밝기정도(YUV 정보값)에 대한 인지값과 주행을 위한 조명 밝기에 대한 만족도의 두 가지 지표에 대해 평가하였으며, 평가는 리커트척도(5점 척도)를 사용하여 측정하였다. 실험은 지방부 양방향 2차로 도로와 4차로 도로 중 각 2개 구간을 선정하여 수행하였고, 실험결과에 대한 기본적인 분석 이외에도 퍼지집합이론을 통한 추가분석을 수행하였다.

Table 4. Participants' Age

Age	20-30	30-40	40-50	65-70	70≤	Sum
Number of participants	17	11	3	12	22	65

3.2. 실험결과

앞에서 설명한 바와 같이 실험에 있어서 조명 밝기정도에 대한 조사는 밝기 자체 즉, 야간 시인성 정도에 대한 직접적인 의견과 야간 주행조건에서의 다양한 수준의 조명 밝기에 대한 만족도를 조사하였다. 전자인 조명 밝기정도에 관한 인지정도 조사는 밝기 자체에 대한 직접적인 의견임에 비해 후자의 경우에는 '주행에 필요한 만족도'라는 간접적인 평가를 할 수 있도록 하였다. 이

를 굳이 구분한 이유는 운전자는 어느 정도의 밝기 이상이 되면 운전자체에 문제가 되지 않는 상황을 반영하고자 함에 있다. 하지만 실험결과와 두 실험결과는 매우 유사하게 나타나 본 연구의 실험결과에서는 큰 차이는 없는 것으로 확인되었다.

우선 주어진 조명 밝기조건들에 대하여 운전자들에 의한 평가결과는 YUV 값 30 이상부터는 대체로 밝기에 문제가 없는 것으로 나타났고, 특히 YUV 40 이상의 경우에는 대부분의 피실험자들이 잘 볼 수 있는 것으로 조사되어 야간 주행에 전혀 문제가 없는 밝기 수준으로 판단된다. 또한 이러한 밝기에 대한 인지정도 평가결과는 대체적으로 고령자와 일반운전자에서 유사하게 나타나는 것으로 분석되었다. Table 5와 Table 6은 일반운전자와 고령운전자의 밝기에 대한 인지정도의 평가결과를 보여주고 있다. 차로별 특성을 비교해 보면, 2차로

도로 1지점(2-1)과 4차로 도로 2지점(4-2)의 결과가 유사하고, 2-2지점과 4-1지점의 결과가 유사한 것으로 보아, 차로수에 대한 영향은 미비한 것으로 판단된다. 한편, 일반운전자와 고령운전자의 결과를 비교해 보면 고령운전자들이 잘 보이거나 잘 안 보이는 상황에 대하여 분명하게 대답을 하는 반면, 일반운전자의 경우에는 한쪽으로 치우치게 대답하는데 주저하는 경향을 보이고 있다. 예를 들면, 2-1지점에서 밝기가 5밖에 안 되는 경우에 고령운전자는 매우 안 보인다고 대답한 경우가 무려 70.6%이고 잘 안 보인다고 대답한 경우가 23.5%로 일반운전자의 51.6%와 25.8%에 비해 매우 높은 수준이다. 또한 밝기가 110이나 되는 경우에 고령운전자는 매우 잘 보인다고 대답한 경우가 무려 58.8%이고 잘 보인다고 대답한 경우가 35.3%로 일반운전자의 48.4%와 45.2%에 비해 매우 높은 수준이다.

Table 5. Experimental Results of Nighttime Visibility on Road Surfaces for Young Drivers

Experiment roads		Degree of visibility (YUV value)	Strongly not visible (%)	Not visible (%)	Neither or not (%)	Visible (%)	Strongly visible (%)
# of Lanes	#						
2	1	5	51.6	25.8	16.1	6.5	0.0
		10	32.3	32.3	22.6	9.7	3.2
		20	3.2	35.5	32.3	25.8	3.2
		30	0.0	16.1	38.7	38.7	6.5
		40	3.2	16.1	12.9	58.1	9.7
		70	0.0	6.5	19.4	41.9	32.3
		110	0.0	3.2	3.2	45.2	48.4
	2	5	87.1	9.7	3.2	0.0	0.0
		10	25.8	38.7	32.3	3.2	0.0
		20	12.9	45.2	29.0	9.7	3.2
		30	0.0	32.3	51.6	16.1	0.0
		40	3.2	22.6	51.6	16.1	6.5
		70	0.0	9.7	45.2	38.7	6.5
		110	0.0	6.5	6.5	58.1	29.0
4	1	5	90.3	3.2	3.2	3.2	0.0
		10	12.9	61.3	19.4	3.2	3.2
		20	12.9	32.3	38.7	16.1	0.0
		30	3.2	25.8	54.8	16.1	0.0
		40	0.0	9.7	48.4	38.7	3.2
		70	3.2	16.1	19.4	38.7	22.6
		110	3.2	3.2	22.6	45.2	25.8
	2	5	90.3	6.5	3.2	0.0	0.0
		10	25.8	58.1	16.1	0.0	0.0
		20	6.5	38.7	51.6	3.2	0.0
		30	0.0	32.3	54.8	12.9	0.0
		40	9.7	16.1	54.8	16.1	3.2
		70	3.2	12.9	35.5	38.7	9.7
		110	0.0	12.9	9.7	45.2	32.3

Table 6. Experimental Results of Nighttime Visibility on Road Surfaces for Older Drivers

Experiment roads		Degree of visibility (YUV value)	Strongly not visible (%)	Not visible (%)	Neither or not (%)	Visible (%)	Strongly visible (%)
# of Lanes	#						
2	1	5	70.6	23.5	5.9	0.0	0.0
		10	17.6	55.9	20.6	5.9	0.0
		20	0.0	44.1	32.4	20.6	2.9
		30	0.0	11.8	44.1	35.3	8.8
		40	0.0	11.8	26.5	55.9	5.9
		70	0.0	5.9	8.8	52.9	32.4
		110	2.9	0.0	2.9	35.3	58.8
	2	5	97.1	0.0	0.0	2.9	0.0
		10	29.4	55.9	11.8	2.9	0.0
		20	17.6	26.5	55.9	0.0	0.0
		30	2.9	35.3	52.9	8.8	0.0
		40	2.9	35.3	17.6	44.1	0.0
		70	0.0	20.6	11.8	64.7	2.9
		110	0.0	2.9	8.8	47.1	41.2
4	1	5	91.2	5.9	2.9	0.0	0.0
		10	11.8	70.6	11.8	5.9	0.0
		20	2.9	47.1	35.3	14.7	0.0
		30	2.9	38.2	44.1	14.7	0.0
		40	0.0	20.6	23.5	50.0	5.9
		70	0.0	14.7	17.6	55.9	11.8
		110	0.0	0.0	5.9	50.0	44.1
	2	5	85.3	2.9	2.9	8.8	0.0
		10	20.6	61.8	17.6	0.0	0.0
		20	5.9	41.2	44.1	5.9	2.9
		30	2.9	44.1	38.2	14.7	0.0
		40	5.9	38.2	20.6	35.3	0.0
		70	0.0	5.9	17.6	73.5	2.9
		110	0.0	5.9	2.9	41.2	50.0

4. 퍼지집합이론을 이용한 야간 도로시인성 평가 결과

4.1. 도로조명 조건별 운전자 시감과의 관계 분석

본 연구의 목적인 도로조명 밝기 정도와 운전자 시감과의 관계를 도출하고 야간 도로시인성에 의한 조명기준 개발을 위한 기초연구 성과를 만들기 위해서는 앞 장에서 설명한 5점 척도기반의 리커트 척도에 의한 실험결과를 단순 산술적으로 종합한 결과만으로는 한계가 있다. 또한, 다양한 도로조명 조건에서의 운전자의 시인성 정도인 야간 운전자 시감은 운전자 인지정도(Perception)의 한 유형으로서, 사람에 따라 주관적이고, 일부 다르게 평가될 수 있는 특성을 갖고 있다. 이러한 두 가지 한계를 해결하기 위해 본 연구에서는 실험결과를 퍼지집합이론의 기본 개념을 도입하여 재분석하였다. 평가에서 사용된 5점 척도에 대한 퍼지함수들은 기존 연구에서 사용된 함수

를 사용했으며, 다음 Fig. 1에서 보는 바와 같다.

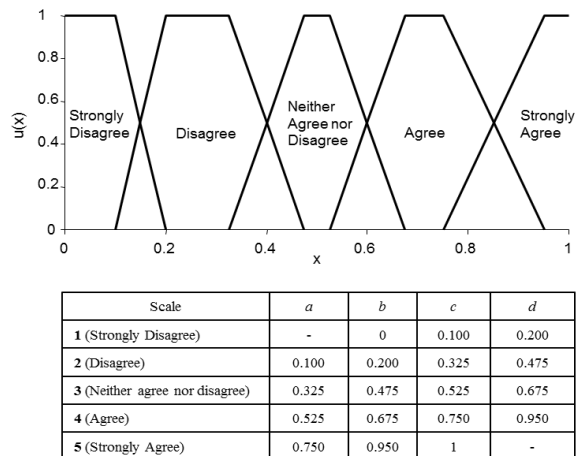
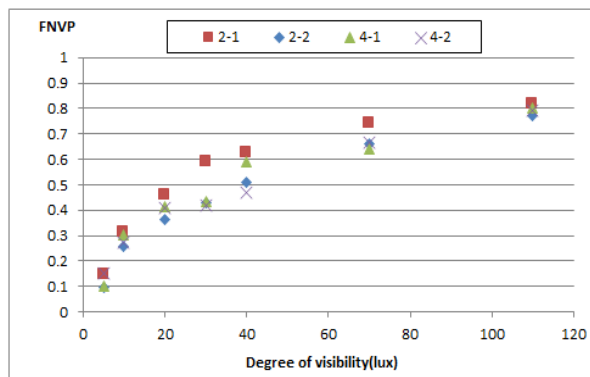


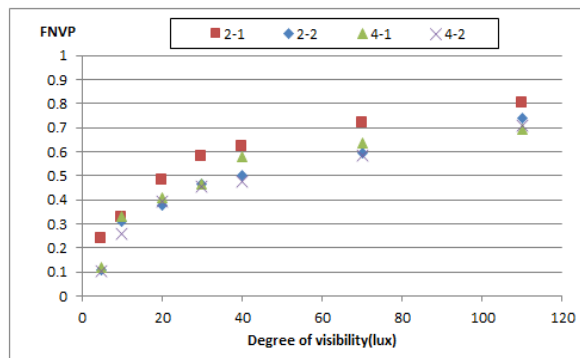
Fig. 1 Fuzzy Membership Functions based on Likert Scales

이와 같은 퍼지집합이론을 사용하여 5점 척도의 피실험자들의 실험결과는 0과 1.0 사이의 평가결과로 재분석되었고, 퍼지집합 기반의 분석결과가 도로조명의 밝기정도에 따른 야간 도로시인성 정도를 잘 설명하고 있음을 알 수 있었다.

한편, 도로 노면의 밝기정도에 따라 운전자가 실제 느끼게 되는 시인성 평가결과와 그에 따른 만족도 평가결과는 대체적으로 일치하고 있으나, 일부 도로구간에서 상이하게 나타났다. 하지만 전반적으로 밝기정도에 따른 시인성 평가결과를 보면 밝기정도가 증가함에 따라 평가결과도 증가하고 일정 수준 이상 증가 시 평가정도의 증가폭은 감소하게 됨을 알 수 있다. 즉, 측정된 실제 도로조명에 의한 도로노면의 밝기정도와 야간 도로 노면 시인성 정도에 대한 피실험자의 주관적 평가결과는 로그함수의 관계를 갖는 것으로 분석되었다. 또한 고령자와 일반인의 도로조명 밝기와 운전자 시감과의 관계를 살펴보면 Fig. 2와 Fig. 3에서 보는 바와 같이 위치별 평가결과는 일부 차이가 있으나, 대체적으로 일관된 결과를 보여주고 있다.

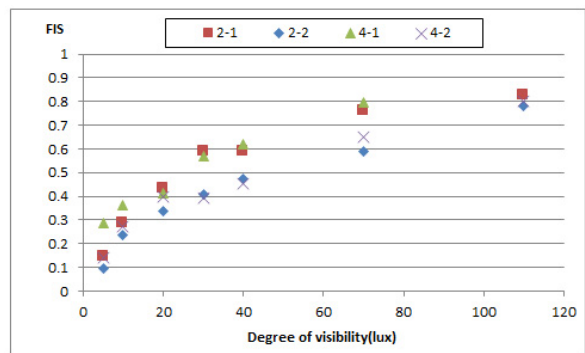


(a) Fuzzy Nighttime Visibility Perception of Older Drivers

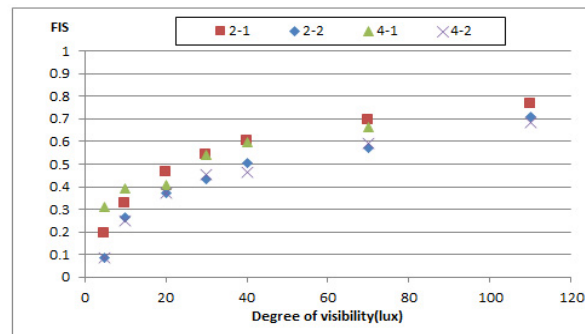


(b) Fuzzy Nighttime Visibility Perception of Young Drivers

Fig. 2 Fuzzy Nighttime Visibility Perceptions of Older Drivers and Young Drivers



(a) Fuzzy Index for Satisfaction of Nighttime Visibility Perception by Older Drivers

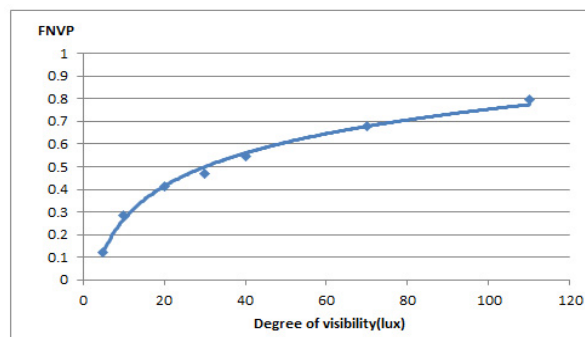


(b) Fuzzy Index for Satisfaction of Nighttime Visibility Perception by Younger Drivers

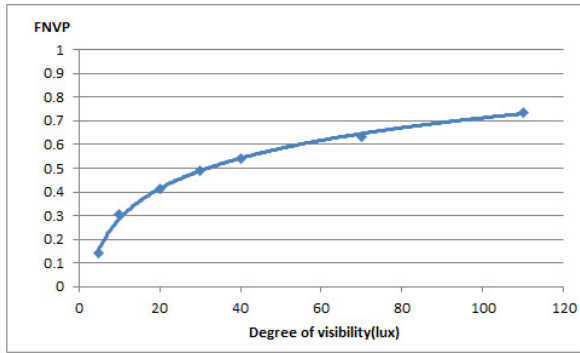
Fig. 3 Fuzzy Index for Satisfaction of Nighttime Visibility Perception

4.2. 야간 도로시인성 평가 기준 개발

본 연구의 결과를 향후 새로운 야간 도로시인성 평가기준을 통해 도로조명기준 개정을 하기 위한 기초연구 결과로 활용하기 위해 추가적인 분석을 수행하였다. 이를 위해 고령운전자와 비고령자 운전자가 평가한 도로조명의 실제 밝기별 야간 시인성 인지정도를 도출하였고, 해당 결과를 토대로 기본적인 모형식을 개발하였다. Fig. 4는 각 도로 구간에서의 고령운전자와 비고령자 운전자의 평가결과들을 종합한 결과를 보여주고 있고, Eq. (2)와 (3), 그리고 Fig. 5는 모형식 개발 결과를 보여주고 있다.



(a) Older Drivers



(b) Young Drivers

Fig. 4 Aggregated Fuzzy Nighttime Visibility Perceptions (FNVP)

$$y_{Older\ Drivers} = 0.2113\ln(X) - 0.2197 \quad (2)$$

$$y_{Young\ Drivers} = 0.1855\ln(X) - 0.1419 \quad (3)$$

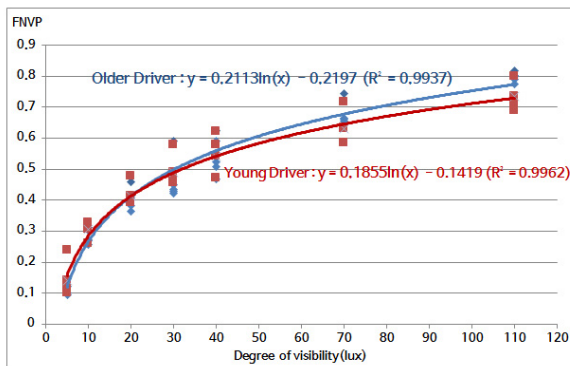


Fig. 5 Relationships between Measured Degree of Visibility and Fuzzy Nighttime Visibility Perceptions

본 연구에서는 야간시인성 기준을 개발하기 위해 퍼지 야간 시인성 값의 15번째 값, 50번째, 그리고 85번째 값

Table 7. A Summary of Measured Degree of Visibility and Fuzzy Nighttime Visibility Perceptions

Summary		15th	50th	85th
Nighttime visibility perception	Fuzzy nighttime visibility perceptions	0.270	0.47	0.74
	Measured degree of visibility (YUV value)	5.80	30.10	95.00
Satisfaction of nighttime visibility perception	Fuzzy nighttime visibility perceptions	0.256	0.45	0.70
	Measured degree of visibility (YUV value)	4.80	31.80	95.00

에 해당하는 실제 도로조명밝기를 살펴보았다. Table 7에서 보는 바와 같이 야간 도로시인성에 대한 인지정도와 만족도 모두 약 30 정도의 YUV 조건으로 구현된 영상 실험결과에서 도로노면 밝기에서 중간 값을 갖게 되는 것으로 분석되었다. 이러한 결과들은 향후 새로운 도로 조명기준을 만들기 위해 활용될 수 있을 것으로 보인다.

5. 결론

적절한 도로 조명기준을 만들기 위해서는 실험을 통해 운전자가 실제 느끼게 되는 야간시인성을 조사하고, 이를 분석하여야 한다. 하지만 운전자의 실제 야간시인성 관련 인지정도는 개인의 신체적, 그리고 감성적 특성에 따라 각기 다르게 평가될 수 있어, 기존의 분석방법으로는 개인의 주관적이고 다양함을 고려하여 평가하는데 한계가 있다.

본 연구에서는 이러한 한계를 극복하고, 새로운 도로의 조명 기준을 제안하기 위해 도로조명 기준 조건별 실험을 수행하여 현재 도로조명 조건이 운전자가 느끼기에 적절한지에 대한 여부를 확인하였다. 또한 운전자의 주관적인 시인성 인지정도 분석을 위해서, 최근 이용자의 인지정도를 평가하는데 효율적인 방법으로 알려져 있는 ‘퍼지집합이론’을 활용하여 분석하고, 이의 결과를 토대로 도로조명 기준 조건별 운전자 시각과의 관계를 도출하였다. 특히 고령운전자와 일반운전자 각 30명 이상의 피실험자 실험결과를 분석함으로써 연령에 따른 야간 주행환경의 영향정도를 평가할 수 있었다.

본 연구에서 분석된 결과를 살펴보면, 우선, 다양한 조명조건에서 실험된 결과에서 도출된 도로조명의 밝기 정도와 이에 따른 만족도는 대체적으로 유사한 것으로 분석되었다. 특히, 측정된 실제 도로조명에 의한 도로노면의 밝기 정도와 야간 도로 노면시인성 정도에 대한 피실험자의 주관적 평가결과는 로그함수의 관계를 갖는 것으로 분석되었다. 두 번째 고령자와 일반운전자의 야간 주행환경에 대한 평가결과를 비교해 보면, 고령운전자들이 잘 보이거나 잘 안 보이는 상황에 대하여 분명하게 대답을 하는 반면, 일반운전자의 경우에는 한쪽으로 치우치게 대답하는데 주저하는 경향을 보이고 있다. 세 번째, 야간도로조명환경에서 실험된 운전자 만족도를 분석한 결과 도로조명에 의해 확보되어야 하는 야간도로 시인성의 최소 기준값은 약 30(YUV 값) 이상이 되어야 할 것으로 판단된다.

본 연구는 운전자가 실제 느끼고 평가하는 야간 주행

환경을 조사한 실험적인 연구로 다소 연구의 한계를 갖고 있다. 우선 본 실험은 주행 시뮬레이터를 이용한 실험을 바탕으로 수행되었으나, 실제적인 속도감을 배제한 정지화면에 의해 실험되었다. 야간 주행환경에 대한 운전자의 심리적 혹은 행태적인 측면의 영향은 주행속도에 따라 크게 영향을 받을 수 있는 부분이어서 향후 주행속도를 반영한 연구가 필요할 것으로 보인다. 두 번째로 본 연구는 다양한 야간조명상황을 실제 도로에서 촬영하는데 어려움이 있어 가상현상 구현 기술을 통하여 이루어졌으나, 정확한 평가를 위해서 향후 실제 도로 조건에서 실험된 결과를 분석하는 연구를 통해 도로조명기준이 개발되어야 할 것이다. 하지만 본 연구의 결과들은 야간 교통사고를 줄이고, 야간 도로주행환경을 개선하기 위한 야간 도로의 시인성 평가 관련 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

REFERENCE

- CIE, Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic(115), 2010.
- CIE, Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpasses, Publication No. 88-1990(ISBN 3900734259), 2010.
- Ekriasis, Aleksanteri et al., Effects of Vehicle Headlights on Target Contrast in Road Lighting Environments, *Journal of Light & Visual Environment*, vol. 32, Issue 3, p.302.
- EN, Road Lighting(13201), 2004.
- Fang, F.C., L. Elefteriadou, K.K. Pecheux, and M.T. Pietrucha, Using Fuzzy Clustering of User Perception to Define Levels of Service at Signalized Intersections, *Journal of Transportation Engineering*. Vol.129, Issue 6, 2003, pp657-663.
- Hamad, K. and S. Kikuchi, Developing a Measure of Traffic Congestion: Fuzzy Inference Approach. *Transportation Research Record 1802*, TRB, Washington, D.C., 2002.
- İsmail Serkan Üncü and M Kayakuş., Investigation of the Effects of Road Conditions on Road Lighting and Visibility Level, 2014 International Conference on Electrical and Electronics Engineering, 2014.
- Japan Highway Association, *Street Lighting Standards*, 2008 (일본 도로협회, 도로조명시설 설치기준, 2008).
- Jeong, J. and Lee, S. et al., Effectiveness of Road Lighting on Driver' Vision, *International Journal of Highway Engineering*. Vol.14, Issue 4, 2012, pp125-131.
- Korea Industrial Standards, *Street Lighting Standards*, 2007 (한국 산업규격, 도로 조명기준(KS A 3701), 2007).
- Lee, D., A Generalized Approach for Analyzing Transportation User Perception Using Fuzzy Sets, Ph.D. Dissertation, The Pennsylvania State University, 2006.
- Lee, D. and E.T. Donnell, Analysis of Pavement Marking Effects on Nighttime Driver Behavior Using Fuzzy Inference System, *Journal of Computing in Civil Engineering*, American Society of Civil Engineers, Vol. 21 No. 3, 2007.
- Lee, D., K. Tae-Gyu and M. T. Pietrucha, Incorporation of Transportation User Perception into the Evaluation of Service Quality of Signalized Intersections Using Fuzzy Aggregation, *Proceeding of the 86th Annual Meeting of TRB*, Washington D.C., 2007.
- Lee, D., M. T. Pietrucha, and E. T. Donnell, Hierarchical Fuzzy Inference System to Evaluate Experts' Opinions of Median Safety, *Transportation Research Record 1961*, TRB Washington D.C., 2006.
- Lee, D., M. T. Pietrucha, and S.Sinha. Use of Fuzzy Sets to Evaluate Driver Perception of Variable Message Signs, *Transportation Research Record 1937*, TRB Washington D.C., 2005.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, *Highway Safety Facilities and Management Guidelines*, 2012 (국토해양부, 도로안전시설 설치 및 관리지침, 2012).
- Ndoh, N.N. and N.J. Ashford. Evaluation of Transportation Level of Service Using Fuzzy Sets. *Transportation Research Record*, 1461, TRB, Washington, D.C., 1994.
- The Korea Expressway Corporation, *Expressway Road Lighting Design Guideline*, 2012 (한국도로공사, 고속도로 도로조명 설계 가이드라인 연구(최종보고서), 2012년).
- Woon, W., Road marking characteristics of night visibility, Ph.D. Dissertation, Yonsei university, 2007.