

직광에 의한 눈부심 현상이 터널 출구부 안전성에 미치는 영향 연구

A Study for Influence of Sun Glare Effect on Traffic Safety at Tunnel Hood

김영록 Kim, Youngrok
김상엽 Kim, Sangyoup
최재성 Choi, Jaisung
이대성 Lee, Daesung

정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 박사수로 (E-mail : busbay@kict.re.kr)
정회원 · 전북발전연구원 새만금지역개발부 부연구위원 · 교신저자 (E-mail : road@uos.ac.kr)
정회원 · 서울시립대학교 교통공학과 교수 (E-mail : traffic@uos.ac.kr)
서울시립대학교 교통공학과 석사과정 (E-mail : lds1942@nate.com)

ABSTRACT

PURPOSES : In Korea, over 70 percent of the land consists of mountainous and rolling area. Thus, tunnels continue its upward trend as road network are extended. In these circumstances, the importance of tunnel has been increased nowadays and then its safety investigation and research should be performed. This study is focus on confirming and improving the safety of tunnel. On tunnel hood, sunglare effect can irritate driver's behavior instantly and this can result in incident.

METHODS : The study of this phenomenon is rarely conducted in domestic and foreign papers, so there is no proper measure for this. This study analyzes the driving environment of the effect of sunglare effect on tunnel hood.

RESULTS : Traffic accidents stem from complex set of factors. This study build the Traffic Accident Prediction Models to find out the effect of sunglare effect on tunnel's hood. The independent variables are traffic volume, geometric design of road, length of tunnel and road side environment. Using these variables, this model estimates accident frequency on tunnel hood by Poisson regression model and Negative binomial regression model. Although Poisson regression model have more proper goodness of fit than Negative binomial regression model, Poisson regression model has overdispersion problem. So the Negative binomial regression model is used in this analysis.

CONCLUSIONS : Consequently, the model shows that sunglare effect can play a role in driving safety on tunnel hood. As a result, the information of sunglare effect should be noticed ahead of tunnel hood so this can prevent drivers from being in hazard situation.

Keywords

sun glare effect, tunnel hood, traffic accident prediction models, sun path, driving environment

Main Author : Kim, Young Rok, Ph. D candidate
Department of Transportation, University of Seoul,
163 Siripdaero, Dongdaemun-gu, Seoul, 130-743, Korea
Tel : +82.31.910.0181 Fax : +82.31.910.0161
email : busbay@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering
http://www.ksre.or.kr/
ISSN 1738-7159 (Print)
ISSN 2287-3678 (Online)

1. 서론

1.1. 연구 배경 및 목적

우리나라는 국토의 70%가 산지 및 구릉지로 구성되어 있다. 때문에 도로가 추가됨에 따라 터널 또한 계속 증가하고 있는 추세이다. 통계청(2011)의 자료에 따르면 2001년에는 528개소이던 것이 2004년에는 667개

소, 2007년에는 1,064개소, 2010년에는 1,382개소로 2001년 대비 262%가 증가하였다. 터널 연장의 경우 2001년에는 339km이던 것이 2004년에는 432km, 2007년에는 755km, 2010년에는 974km로 2001년 대비 287%가 증가하였다. 이와 같이 현대 도로에서 터널에 대한 중요도는 점차 증가되고 있다는 것을 알 수 있

다. 따라서 터널의 안전에 대한 연구와 문제점을 보완하기 위한 노력이 보다 많이 이루어져야 할 것이다.

터널에서는 일반도로와 다른 시각적 특성을 가지며, 또한 터널 외부의 도로 상황을 터널 출구부에 도달하여야만 알 수 있다는 특성을 가지고 있다. 터널에서의 특수한 시각 변화가 주행안전성에 영향을 미치기 때문에 이와 관련된 연구가 이루어지고 있다. 하지만 기존연구의 경우 터널주변 휘도와 터널의 조명에 대한 연구가 대부분이다. 터널 출구부에서는 휘도 차에 의해서 나타나는 현상뿐만 아니라 태양광이 눈에 직접 들어와서 발생하는 눈부심 현상이 발생한다. 터널 출구부에 태양광이 눈에 직접 들어오는 직광이 발생하면 순간적으로 운전자가 차량조작에 어려움을 느껴 사고로 이어질 수 있다. 이러한 현상에 대한 연구는 국·내외에서도 거의 미흡하고, 터널 출구부 직광에 대한 대처 또한 거의 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 터널 출구부의 눈부심 현상을 태양의 일별 시간별 변화를 예측하여 태양광이 운전자에게 미치는 경우를 분석하였다. 또한 이를 통하여 직광에 의한 눈부심 현상이 교통사고에 미치는 영향을 분석하여 터널의 안전성 증진에 이바지 하고자 한다.

1.2. 연구의 내용 및 범위

본 연구에서는 태양광이 운전자의 눈에 직접 들어오는 직광 현상이 교통사고에 미치는 영향에 대한 분석을 수행하였다. 직광 현상이 교통사고에 미치는 영향을 분석하기 위한 방법은 다음과 같다.

첫째, 문헌고찰을 통하여 운전자가 운전 전에 필요한 시야각을 선정하고, 이를 통하여 직광이 눈에 들어올 때 운전 중에 영향을 미칠 수 있는 태양광의 진입각을 선정한다.

둘째, 터널출구부 태양광의 움직임 분석하여 터널 출구부의 직광이 발생하는 시간을 분석한다.

셋째, 교통사고의 발생 시간과 터널출구부의 직광 발생 시간을 분석하여 직광 발생 시간대와 직광 미발생 시간대의 교통사고를 비교·분석한다.

넷째, 교통사고는 교통량과 도로의 기하구조 등에 영향을 받을 수 있으므로 터널출구부의 기하구조를 수집한다. 교통사고 수집은 교통량이 유사한 노선을 대상으로 선정한다.

다섯째, 교통량, 도로의 기하구조 그리고 직광의 발생 여부 등을 고려하여 변수를 선정한다. 또한 교통사고의 분포는 불규칙적으로 일어나기 때문에 분석을 위해서는 비선형 회귀모형인 포아송 회귀모형(Poisson Regression

Model) 및 음이항 회귀모형(Negative Binomial Regression Model)을 모두 구축한 후 사고예측 모형에 보다 적합한 모형을 선택한다.

여섯째, 개발된 모형을 해석하여 직광이 터널 출구부에 발생할 경우 교통사고에 미치는 영향을 분석한다.

직광이 터널출구부에 발생할 때 교통사고에 미치는 영향을 분석하기 위한 기초자료 수집은 고속도로에 있는 터널 출구부를 대상으로 한다. 수집된 자료를 이용하여 직광이 발생하는 터널과 직광이 발생하지 않는 터널의 사고를 비교·분석 하였으며, 또한 사고예측모형을 구축함으로써 직광 발생이 통계적으로 교통사고에 미치는 영향에 의미가 있는 변수인지를 분석한다.

2. 선행연구고찰

2.1. 터널내의 시각 변화에 대한 고찰

터널 출구에서는 휘도 차이에 의하여 터널 출구부의 시거가 잘 확보되지 않는 화이트홀이 발생한다. 이에 대한 분석을 위하여 터널의 조명과 야외의 휘도에 대한 연구가 진행되었다. 터널 조명과 야외 휘도에 대한 연구로는 CIE(2004), Sakamoto(1995), 김훈(1994), 지철근(1996) 그리고 이영규(2001) 등이 있다. 하지만, 터널 출구부에서는 태양이 직접적으로 눈에 들어오는 직광에 의한 시야가 방해되는 경우에 대한 연구는 국·내외의 경우를 살펴보아도 미흡한 실정이다.

2.2. 직광이 주행에 미치는 영향에 대한 고찰

Benjamin(2007)의 연구에서는 도로상에 직광이 발생할 경우 주행속도에 어떠한 영향을 미치는가를 분석하였다. 분석을 위하여 한 지점의 주행속도를 직광이 발생한 시간대와 직광이 발생하지 않은 시간대의 주행속도를 비교한 결과 직광이 발생할 경우 차량의 주행속도가 낮아지는 것으로 분석이 되었다. Garber(1988)의 연구를 살펴보면 속도편차가 커질수록 사고의 확률이 증가하게 된다.

특히 터널 안에서는 정상속도로 주행하다가 터널 출구부에 직광이 발생할 경우 터널 출구부와 터널 구간의 속도편차가 크게 발생할 수 있으므로 교통사고 증가에 영향을 미칠 수 있을 것이라 판단된다.

AASHTO(2004)의 NCHRP Report500 보고서에서는 직광이 발생하게 될 경우 운전자는 시야각이 좁아지고 전방의 사물을 판별하는데 있어 어려움을 느낄 수 있

으며 정보습득에 있어 실수를 할 가능성이 있다고 하였다. 이는 직광이 사고로 이어질 가능성을 증가시킬 수 있는 원인을 제공한다고 할 수 있다.

2.3. 태양광에 의한 불능글레어(Disability Glare) 검토

불능글레어(Disability Glare)는 안구내부에 강한 빛이 들어와 빛이 산란하여 물체를 구별할 수 없는 상태를 말한다. KS A 3701과 CIE 115에서는 임계치증분(Threshold Increment)을 통하여 불능글레어를 판단한다. 임계치 증분은 Eq. (1)을 통하여 산출한다. 이때 임계치증분이 10~15를 초과할 경우에는 불능글레어로 판단한다. 태양의 휘도는 약 $2 \times 10^9 \text{ cd/m}^2$ 으로 평균적인 도로의 노면휘도가 $0.5 \text{ cd/m}^2 \sim 2.0 \text{ cd/m}^2$ 이므로 태양광이 눈에 직접 들어 올 경우 임계치증분을 크게 넘게 된다(국토해양부, 2012). 따라서 직광이 발생할 경우 교통사고에 영향을 줄 것이라 판단한다.

$$TI = \frac{k \times E_c}{L_{av}^{0.8} \times \theta^2} \quad (1)$$

여기서, TI : 임계치증분(Threshold Increment)

k : 연령지수

E_c : 초기 조도(cd/m^2)

$L_{av}^{0.8}$: 노면의 초기 평균휘도(cd/m^2)

θ : 빛의 진입각($^\circ$)

2.4. 직광에 의한 눈부심 현상에 대한 기준 수립

직광에 의한 눈부심 현상은 태양이 눈에 직접적으로 들어와 운전자의 시각이 차량 조작에 있어 어려움을 느끼게 되는 현상을 의미한다. 태양은 주간에는 항상 존재하며 여러 방향에서 운전자에게 영향을 줄 수가 있다. 하지만 모든 방향의 태양이 눈에 들어와 주행에 문제를 일으키는 것은 아니다. 그러므로 태양광이 주행에 영향을 미칠 수 있는 입사각을 선정하고, 그에 따라 분석을 수행할 필요가 있다. 주행에 필요한 시야각에 대한 이수범(2001)의 연구에서는 운전자에게 가장 주요한 주요시계는 중심선을 기준으로 양방향 3° 이며 신호등이나 교통표지 등을 인식하는데 사용되는 양호시계는 중심선을 기준으로 양방향 10° 로 분석하였다. 주행 중 신호등과 교통표지 등을 인식하는데 사용되는 중심선을 기준으로 양방향 10° 가 확보되지 않으면 차량의 조작에 문제가 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 1과 같이

태양광이 중심선 기준으로 10° 이내 진입하여 시야를 어지럽히는 경우를 직광으로 정의하고 분석을 하였다.

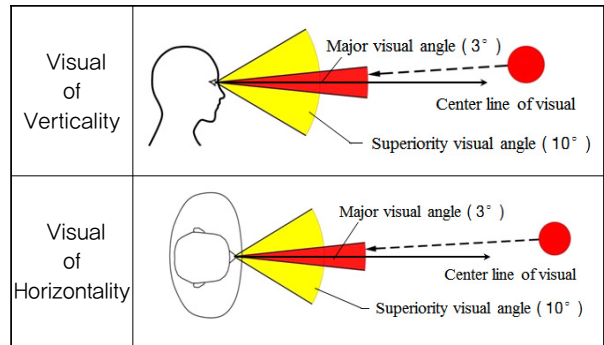


Fig. 1 Visual Angel of Driver

2.5. 터널 출구부 태양광 계산 방법

태양광은 시간의 변화에 따라 Fig. 2와 같이 궤적이 변화한다. 터널 출구부의 태양광은 시간에 따라 변하기 때문에 한 번의 측정으로 터널 출구부의 태양광 입사각을 추론하는 것은 무리가 있다. 또한 1년간 터널의 태양광의 입사각을 실제로 측정하기는 어렵기 때문에 태양의 궤적과 도로의 방위각과 도로선형을 이용하여 예측을 하였다.

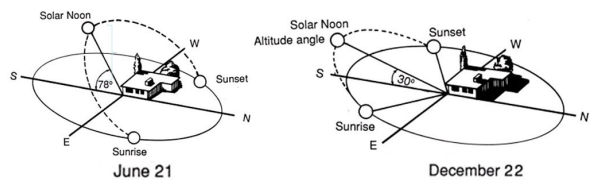


Fig. 2 Trajectory of Sun

본 연구에서 태양의 궤적은 Highway Design Software Ver 3.1을 사용하여 계산을 하였다. 분석 결과 우리나라에서 태양의 궤적은 Fig. 3과 같이 6~7월에는 고도가 높아지고 12월~1월에는 고도가 낮아지는 것으로 나타났다. 앞에서 기준으로 삼은 양호시야각 기준으로 터널에 직광이 발생하여 운전자의 차량조작에 어려움을 주는 터널의 방위각은 $50^\circ \sim 130^\circ$ 와 230°

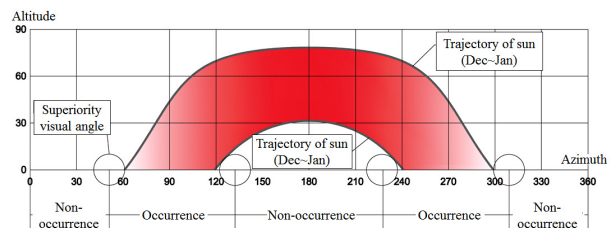


Fig. 3 Azimuth at Sunglare Effect Occurrence

~310° 인 것으로 분석되었다. 터널의 방위각이 50° ~130° 는 일출시간대에 230° ~310° 는 일몰시간대 직광이 발생하는 것으로 분석되었다.

직광이 발생하는 방위각을 가진 터널을 선별하여 프로그램을 이용하여 직광이 발생하는 시간을 계산하고 이를 이용하여 직광에 의한 눈부심 현상과 사고와의 관계를 분석하였다.

3. 분석자료 수집 및 구축

3.1. 자료 수집 개요

본 연구에서는 우리나라의 고속도로의 터널 출구부를 대상으로 수행하였다. 분석에 필요한 자료는 터널 출구 이후 500m 구간에서 발생한 5년간(2006~2010)의 교통사고자료를 통하여 분석하였다. 직광이 교통사고에 영향을 미치는지 여부를 판단해야 하므로 직광이 발생하는 터널 40개소와 직광이 발생하지 않는 터널 40개소의 교통사고자료를 이용하여 구축하였다. 각 터널은 교통량이 유사한 지점을 선정하였다. 선정된 터널의 목록은 Table 1과 같다.

Table 1. Tunnel Site of this Study

Name of expressway	Name of Tunnel	Direction	AADT (veh/1day)
Namhae	Hadong	Busan	12,749
Namhae	Hadong	Suncheon	12,749
Namhae	Gwangyang	Busan	13,087
Namhae	Gwangyang	Suncheon	13,087
West Coast	Mongtan3	Seoul	12,297
West Coast	Mongtan3	Mokpo	12,297
West Coast	Mongtan2	Seoul	12,297
⋮	⋮	⋮	⋮
Jungang	wonmoo2	Busan	9,586

3.2. 변수선정

일반적으로 모형 개발단계에서 어떤 변수가 선정되었는가에 따라 모형의 설명력은 큰 차이가 나므로 변수 간 상관분석을 통해 유의한 변수를 선정하는 것은 매우 중요한 절차이다.

또한, 교통사고에 영향을 미치는 요인을 찾기 위해서는 수집 가능한 모든 자료를 구하여 모형을 구축해야 하나, 실제 모형 개발 시 교통사고에 영향을 끼칠 것으로 예상되는 모든 변수를 처음부터 고려하는 대신 본 연구

에서는 상관성이 높은 변수만을 고려했으며 Table 2는 그 과정을 통해 선정한 12개 독립변수다.

Table 2. Variables of this Study

Division	Explanation of variables	
Dependent variable	Y	Number of accident(pcs/5year)
	X ₁	Occurrence of sun glare effect ("0=NO" or "1=Yes")
Independent variable	X ₂	Length of Tunnel(m)
	X ₃	Downhill check("0=NO" or "1=Yes")
	X ₄	Flatland check("0=NO" or "1=Yes")
	X ₅	Uphill check("0=NO" or "1=Yes")
	X ₆	Straight check("0=NO" or "1=Yes")
	X ₇	Curve check("0=NO" or "1=Yes")
	X ₈	AADT(veh/day)
	X ₉	Cutting the ground check ("0=NO" or "1=Yes")
	X ₁₀	Tunnel of azimuth("0=West" or "1=East")
	X ₁₁	Gender("0=Woman" or "1=Man")
	X ₁₂	Age of driver

본 연구의 종속변수는 터널에서 발생한 교통사고로 선정하였다. 터널 출구부에서 발생한 사고의 인적요인은 발생한 사고마다 다르게 나타난다. 이에 따라 성별과 나이는 사고빈도 모형에 적용시킬 수가 없으므로 독립변수에서 제외하였다.

하지만 직광 발생 터널과 직광 미발생 터널의 교통사고는 인적요인이 큰 차이를 보일 경우 잘못된 분석을 할 수 있다. 이를 고려하기 위하여, 본 연구에서는 수집한

Table 3. Variable Descriptions

Variable	Occurrence of sun glare effect							
	Occurrence				Non-occurrence			
	Mean	Standard deviation	min	Max	Mean	Standard deviation	min	Max
Y	0.9	1.3	0.0	6.0	0.7	0.8	0.0	2.0
X ₁	1.0	0.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
X ₂	1,003	939	55	3,170	711	704	204	3,300
X ₃	0.5	0.5	0.0	1.0	0.4	0.5	0.0	1.0
X ₄	0.2	0.4	0.0	1.0	0.3	0.4	0.0	1.0
X ₅	0.3	0.5	0.0	1.0	0.3	0.5	0.0	1.0
X ₆	0.6	0.5	0.0	1.0	0.6	0.5	0.0	1.0
X ₇	0.4	0.5	0.0	1.0	0.4	0.5	0.0	1.0
X ₈	11,978	1,790	9,228	15,731	11,685	1,290	8,311	13,379
X ₉	0.6	0.5	0.0	1.0	0.7	0.5	0.0	1.0
X ₁₀	0.5	0.5	0.0	1.0	0.5	0.5	0.0	1.0
X ₁₁	0.892	0.315	0.0	1.0	0.815	0.396	0.0	1.0
X ₁₂	37.8	10.9	20.0	60.0	36.5	10.5	20.0	60.0

자료의 인적요인을 검토하였다. 검토결과 인적요인은 직광 발생 터널과 직광 미발생 터널에서 큰 차이가 없게 나타났다. 그 밖의 본 연구에서 수집한 자료의 기초통계를 분석한 결과 Table 3과 같이 나타났다.

4. 연구 결과

4.1. 직광 발생시간 분석결과 및 사고분석

4.1.1. 직광 발생시간 분석

선정된 80개소의 터널 출구부 방위각과 종단경사를 이용한 각 터널의 일별 직광 발생시간을 분석한 결과 Table 4와 같이 나타났다. 방위각이 50°~130°와 230°~310°인 터널에서는 직광이 발생하며 1일 최대 직광 발생시간은 60분 미만으로 나타났다.

Table 4. Occurrence Time of Sun Glare Effect on Tunnel

Name of expressway	Name of expressway	Direction	Occurrence time
Namhae	Hadong	Busan	Non Occurrence
Namhae	Hadong	Suncheon	Non Occurrence
Namhae	Gwangyang	Busan	5:20~5:40
Namhae	Gwangyang	Suncheon	17:20~18:00
Yongdong	Daekwanryung4	Gangneung	Non Occurrence
Yongdong	Daekwanryung4	Incheon	Non Occurrence
⋮	⋮	⋮	⋮
Jungang	wonmoo2	Busan	7:45~8:35

4.1.2. 교통사고 비교분석

직광이 발생하는 시간대에 직광이 발생하는 터널 출구부와 직광이 발생하지 않는 터널 출구부의 사고건수를 분석하였다. 분석결과 교통사고는 직광이 발생하는 터널 출구부의 경우 37건의 사고 중 7건(18.9%)이 발생하였으며

Table 5. Number of Accident on Tunnel

Division	Occurrence of sun glare effect	
	Occurrence	Non-occurrence
Number of accident	37	27
Number of accident Site	19	20
Number of non accident Site	21	20
Number of accident on sun glare effect	7	3

직광이 발생하지 않는 터널 출구부의 경우 27건 중 3건(11.1%)이 직광 발생시간대에 발생하였다. 직광이 발생하는 터널의 출구부에서는 직광이 발생하는 시간대가 직광이 발생하지 않은 시간대보다 사고가 많이 발생하는 것으로 나타났다.

4.2. 사고예측모형 구축

4.2.1. 교통사고 예측모형 구축 개요

본 연구에서는 직광이 교통사고에 미치는 영향을 알아보기 위하여 터널 출구부의 사고예측모형을 정립하였다. 정립에 사용된 모형식은 포아송 회귀모형과 음이항 회귀모형을 이용하였다. 포아송 회귀분석의 주요 특징은 조건부 평균이 커질수록 분포의 밀도가 오른쪽으로 이동하며, 평균과 분산이 같은 등산포의 가정이 있다는 것이다. 그러나 실제 교통사고 자료는 분산이 평균보다 큰 과대산포의 문제가 발생한다. 따라서 본 연구에서는 교통사고 모형 정립 시 이 점에 매우 주의했다.

또한 과대산포 검정 및 회귀분석 과정에서 회귀식에 포함시킬 독립변수의 정확한 선정을 위해 후진법(Backward elimination)을 적용했고, 일단 교통사고 예측모형을 정립하고, 예측모형을 통해 교통사고 건수를 예측하여 시스템 설치 전·후 발생한 교통사고 비용의 차이를 시스템 설치편익으로 산출하는 순서로 분석을 수행하였다.

포아송 회귀모형은 교통사고 발생 건수를 이산적 확률변수로 해석하는 모형이다. 이는 선형회귀식에 비해 합리적인 모형이다. 모형식의 형태는 Eq. (2)와 같다. 본 연구에서는 평균 교통사고 발생 건수(λ)에 포함되어 있는 설명변수의 추정계수인 β 를 추정하기 위해서 최우추정법(Maximum Likelihood)을 사용하였다.

$$P(y) = \frac{\lambda^y \exp(-\lambda)}{y!} \quad (2)$$

여기서, $P(y)$: 사고 n 이 발생할 확률

y : 사고발생빈도

λ : 평균사고 수

$$\lambda = e^{\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_m x_m} \quad (3)$$

여기서, x : 사고와 관련된 속성

β : 추정계수

과대산포의 문제가 발생할 경우 음이항 회귀모형을

쓰며, 모형식의 형태는 Eq. (4)와 같다.

$$\lambda = e^{\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_m x_m + \epsilon} \quad (4)$$

여기서, e^{ϵ} : 오차항으로 평균이 1이고 분산이 α 인 감마분포로 가정

포아송 회귀모형과 음이항 회귀모형의 모형적합도 판정을 위하여 과대산포계수 k 가 이용되며 일반적으로 과대산포계수 k 가 0에 가까우면 포아송모형이 적합하고, 0과 차이가 크면 음이항모형을 사용하는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 이러한 특성을 고려하여 모형식을 정립하였다. 포아송 회귀모형과 음이항 회귀모형을 이용하여 사고 예측모형을 개발한 결과는 Table 6과 같다.

4.2.2. 교통사고 예측 모형 구축결과 및 해석

본 연구에서는 포아송 회귀모형과 음이항 회귀모형을 이용하여 Table 6과 같이 개발하였다. 모형 중 최적의 모형을 선택하기 위하여 우도비(Likelihood Ratio, LR) 검정을 시행하였다. 우도비 검정은 과대산포를 검정하는 과정으로 모형의 과대산포모수인 k 의 유의성을 검정하는 절차이다. 본 연구에서 사용한 과대산포 검정을 위한 귀무가설(H_0)과 대립가설(H_1)은 Eq. (5)와 같다.

$$H_0 : k = 0 \quad \text{vs} \quad H_1 : k > 0 \quad (5)$$

과대산포 검정을 시행하기 위하여 각 모형의 로그우

도함수(Log Likelihood, $\ln L$)을 이용한 우도비 검정을 시행하여 최적 모형을 선택하였으며, 우도비 검정은 Eq. (6)과 같다.

$$LR = -2(\ln L(P) - \ln L(NB)) \quad (6)$$

여기서, $\ln L(P)$: 포아송 회귀모형의 로그우도비

$\ln L(NB)$: 음이항 회귀모형의 로그우도비

우도비 접근분포(Asymptotic Distribution)는 자유도가 1인 카이제곱분포를 따르기 때문에 우도비 검정통계량을 유의수준 α 에서 자유도가 1인 카이제곱분포의 임계값과 비교하게 된다.

본 연구에서 분석한 결과 모든 경우에서 우도비 검정통계량의 값이 4.152로 크게 나타났다.

결론적으로 본 연구에서는 포아송 회귀모형은 설명력이 높지만 실제 평균보다 분산이 큰 과대산포의 문제가 발생하므로 귀무가설(H_0)을 기각하고 포아송 회귀모형보다 음이항 회귀모형을 선택하였다.

교통사고 모형을 정립하는 단계에서 만약 선택한 모든 변수의 추정된 계수를 통해 교통사고 건수를 예측할 경우 오히려 왜곡된 분석 결과가 도출될 수 있다. 따라서 올바른 결과를 도출하기 위해서는 통계적 기법을 이용하여 유의한 변수를 선정하고, 최적 모형을 도출하는 과정이 필요하다. 본 연구에서는 회귀모형의 방법 중 독립변수의 선정을 위해 후진법을 이용하여 각 단계별 종속변수에 대한 설명력이 낮은 순서로 제거하였다. 이

Table 6. Regression Results from Applying Poisson Distribution and Negative Binomial Distribution

Variable	Poisson				Negative Binomial			
	Exponential	Standard deviation	Z	P-value	Exponential	Standard deviation	Z	P-value
Constant	-3.064	0.892	-3.44	0.001	-3.064	0.892	-3.44	0.001
Occurrence of sun glare effect	0.671	0.298	2.25	0.025	0.671	0.298	2.25	0.025
Length of Tunnel(m/1000)	0.339	0.133	2.54	0.011	0.339	0.133	2.54	0.011
Downhill check	0.391	0.352	1.11	0.266	0.391	0.352	1.11	0.266
Flatland check	0.901	0.397	2.27	0.053	0.901	0.397	2.27	0.053
straight check	-0.790	0.289	-2.74	0.006	-0.790	0.289	-2.74	0.006
AADT/1000(veh/day/1000)	0.014	0.007	2.03	0.043	0.014	0.007	2.03	0.043
Cutting the ground check	0.361	0.334	1.08	0.281	0.361	0.334	1.08	0.281
Tunnel of azimuth	0.181	0.258	0.70	0.482	0.181	0.258	0.70	0.482
Number of Obs	80				80			
$\ln L$	-83.701				-81.625			
ρ^2	0.2625				0.2456			
LR	4.152 > 3.841(X20.95,1)							

때, 변수 제거의 기준은 P-value(0.05)를 이용하였다.

본 연구에서 후진법을 이용한 교통사고 예측모형의 정립결과, 모형식에서 유의한 변수는 Table 7과 같이 직광 발생 유무 등 4개의 독립변수가 최종 변수로 선정되었으며 우도비(Log Likelihood)가 0.2159로 나타나 모형의 설명력이 있는 것으로 나타났다. 분석결과 직광 발생 시 교통사고가 증가하는 것으로 나타나 직광이 교통사고에 영향을 가지는 것으로 나타났다.

Table 7. Result of Model

Variable	Negative Binomial			
	Exponential	Standard deviation	Z	P-value
Constant	-2.455	0.833	-2.95	0.003
Occurrence of sun glare effect	0.626	0.287	2.34	0.019
Length of Tunnel(m/1000)	0.355	0.125	2.85	0.004
Straight check	-0.644	0.260	-2.47	0.013
AADT/1000 (veh/day/1000)	0.145	0.007	2.08	0.038
Number of Obs	80			
lnL	-82.613			
ρ^2	0.2159			

4.2.3. 잔차분석을 통한 교통사고 예측 모형의 적합성 검증

본 연구에서 최종적으로 구축한 모형의 적합성을 잔차분석을 통하여 검증하였다. 검증 방법은 χ^2 -검증(Pearson's goodness of fit test)을 이용하였다. χ^2 -검증의 귀무가설(H_0)과 대립가설(H_1)은 Eq. (7)와 같으며 유의수준에서의 기각역은 Eq. (8)과 같다.

$$H_0: O_i = E_i \text{ vs } H_1: \text{모든 } O_i \text{가 } E_i \text{는 아니다} \quad (7)$$

여기서, O_i : i 번째 속하는 관측도수

E_i : H_0 하에서 i 번째 속하는 기대도수

$$\chi^2 > \chi^2_{\alpha}(N-1) \quad (8)$$

여기서, O_i : i 번째 속하는 관측도수

χ^2_{α} : 유의수준 α 에서 카이제곱

유의 수준이 $\alpha=0.05$ 이고 본 연구 모형의 자유도인 79에서 카이제곱의 임계값(critical value)은 100.749이다. 이를 통하여 귀무가설의 기각여부를 Eq. (9)를 통하여 판별한다.

$$\begin{aligned} \chi^2 < \chi^2_{\alpha}(k-1) & \quad \text{귀무가설 } H_0 \text{ 채택} \\ \chi^2 > \chi^2_{\alpha}(k-1) & \quad \text{귀무가설 } H_0 \text{ 기각} \end{aligned} \quad (9)$$

χ^2 -검증에 사용되는 χ^2 은 Eq. (10)을 통하여 산출한다.

$$\chi^2 = \sum e_i^2 \quad (10)$$

여기서, χ^2 : Pearson residuals

e_i : 잔차(residuals)

본 연구에서 관측한 터널의 사고 빈도와 사고예측모형을 통해 계산된 χ^2 은 Table 8과 같이 나타났다.

Table 8. χ^2 of value

Name of Tunnel	Observation (Y_i)	Expectation (μ_i)	Residual (e_i)
Sancheong2 (Henan)	0	0.240111	-0.22647
Sancheong2 (Tongyeong)	0	0.240111	-0.22647
Daemyung (Seoul)	0	0.234826	-0.22149
Daemyung (Mokpo)	0	0.234826	-0.22149
Yuksipryeong (Henan)	1	0.990456	0.009002
Yuksipryeong (Tongyeong)	2	1.885909	0.107611
Ungchun (Seoul)	0	0.317914	-0.29986
⋮	⋮	⋮	⋮
gangneung2 (Sokcho)	1	1.0318	-0.0300
Pearson residuals(χ^2)			67.96
Degree of freedom			79

본 연구의 모형에 의해 산출된 Pearson residuals(χ^2)은 67.96으로 나타났다. 결론적으로 유의 수준 $\alpha=0.05$ 일때 카이제곱분포의 임계값(critical value)인 100.749보다 작으므로 귀무가설 H_0 를 채택한다. 본 모형이 적합한 것으로 나타났다.

5. 결론 및 향후 연구과제

5.1. 결론

본 연구에서는 직광이 터널 출구부에 발생할 경우 사고에 미치는 영향을 분석하였다. 직광 발생현상이 교통사고에 미치는 영향을 분석하기 위해 고속도로에 있는 터널의 기하구조와 태양의 궤적을 계산하여 직광이 발생하는 시간을 분석하고, 직광이 발생하는 터널에 대해서 사고와의 관계를 분석하였다.

분석결과 터널 출구부에 직광이 발생되면 주행안전성에 영향을 주는 것으로 분석되었다. 따라서 직광이 발생하는 터널에는 터널 출구부 직광 발생정보를 미리 알려 터널 출구부의 사고를 예방하여야 한다고 판단한다. 또한 터널 설계 시에는 직광을 고려하는 방안도 모색해야 할 것이다.

5.2. 향후 연구과제

본 연구에서는 직광 미발생 터널과 직광 발생 터널을 비교하여 교통사고를 분석하였다. 직광 발생시간은 1시간 미만인 것에 반해 직광이 발생하지 않은 시간은 23시간 이상으로 발생한다. 두 시간대의 차가 매우 크기 때문에 교통사고의 비교분석에는 필요 데이터 수가 매우 많이 요구된다. 이에 본 연구에서는 자료수집의 한계로 두 시간대의 사고를 수행하지 못하였다. 하지만, 직광 발생 터널에서의 직광 발생시간대와 직광 미발생 시간대의 사고 차이를 분석하는 것은 직광이 사고에 미치는 영향을 정확하게 예측할 수 있는 방법이다. 따라서 이후 연구에서는 본 연구보다 많은 직광이 발생하는 터널 출구부의 사고 자료를 수집하여 두 시간대의 교통사고를 비교분석해야 할 것이다.

본 연구에서는 터널 출구부의 지형을 고려하여 직광 발생시간을 분석하였으나 나무, 전광판 그리고 도로안전시설물 등에 의하여 차단되는 태양광을 고려하지 못하였다. 추후 연구에서는 터널 입구부의 지형뿐만 아니라 직광에 영향을 줄 수 있는 다른 변수도 고려하여 연구가 수행되어야 할 것이다.

마지막으로 본 연구에서 모형구축 방법으로 인하여 누락된 인적요인을 반영하여 모형을 구축해야 할 것이며, 차량의 선택상태와 썬글라스 착용여부와 같은 변수 또한 고려가 되어야 할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (2012R1A1A2005256).

References

- Benjamin, A(2007), *Effect of the sun glare on traffic flow quality*, portland state university, Portland, Oregon, USA.
- CEN(2003), *Lighting application-tunnel lighting*. CEN report CR14380.
- CIE(1995) *Recommendations for the lighting of road for motorized traffic, pub*. No. 12.2(TC-4.6)
- CIE(2004), *Guide for the lighting of road tunnel*, CIE Publication No. 88: 2004.
- D. Gasparovsky(2007), *Specific problem of exterior glare*, CIE 26th sessin.
- Garber(1988), *Speed variance and its influence on accidents*.
- H. Lum and S. P. Miaou,(1993) Modeling vehicle accident and highway geometric design relationships, *Accident Analysis and Prevention*, Vol.25, No.6, December 199.
- Jee. C. G. Lee, J. W(1997), A design basis of tunnel lighting equipment, *Proceedings of KIIEE Annual Conference 1996*.(지철근, 이진우 (1997), 도로터널 조명시설의 설계기준, 한국조명전기설비학회 1996년도 추계학술발표회논문집, pp. 57-60.)
- KS A 3701(2007), Road lighting standards
- Kim, H., Kang, R. C.(1994), Investigation of the luminance distribution of the tunnel lighting system, *The Proceedings of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, Vol. 8, No. 6, pp.31-39. (김훈, 강래철(1994), "터널조명 시스템의 휘도분포 조사연구", 조명전기설비학회지, 제8권, 제6호, pp.31-39.)
- Kim, W. S., Hwang, I. T., Lee, M. A., Kim, H., (2008), Study of characteristics on sight and sensitivities of driver depend on road lighting methods, Vol. 22, No. 9, pp.8-16. (김원식, 황인태, 이미애, 김훈(2008), "도로조명방식에 따른운전자 시선 및 감성 특성 연구" 한국조명·전기설비학회논문집, 제22권, 제9호, pp.8-16.)
- Lee, S. B(2001), Influence of human factors road design, *Advanced highway reserch center*.(이수범(2001), "인적요인이 도로설계에 미치는 영향. 제1단계, 교차로 구간에서의 운전자 행태 분석을 중심으로", 교통개발연구원.)
- Lee, Y. G(2001), The contrast analysis of counter-beam for tunnel visibility, *Journal of the Korea Industrial Information System Society*, Vol. 6, No. 1, pp. 77-81.(이영규(2001), "터널의 가시성 개선을 위한 Counter-beam 효과 연구" 한국산업정보학회논문집, 제6권, 제1호, pp. 77-81.)
- P. P. Jovanis and H. L. Chang,(1986), Modeling the relationship of accidents to miles traveled, *TRB*.
- Sakamoto, S., Hirama, M., Takeda, H.(1995), Ounter-beam and pro-beam lighting systems for tunnels, *J. of Illum. Eng. Inst.*, Vol. 8.
- The ministry of Land, Transort, and Maritime Affairs(2012), *Guide for installation and management of road safety facilities, Lighting facilities No. 2*. p.12.(국토해양부(2012), "도로안전시설 설치 및 관리 지침", 제2편 조명시설, p.12.)
- (접수일 : 2012. 7. 3 / 심사일 : 2012. 7. 10 / 심사완료일 : 2012. 9. 27)