

# 수량화 이론을 이용한 도시부 터널 내 교통사고 영향요인에 관한 연구

## - 부산광역시를 중심으로 -

임창식\* · 최양원\*\*

Lim, Chang Sik\*, Choi, Yang Won\*\*

## Study on Influencing Factors of Traffic Accidents in Urban Tunnel Using Quantification Theory (In Busan Metropolitan City)

### ABSTRACT

This study aims to investigate the characteristics and types of car accidents and establish a prediction model by analyzing 456 car accidents having occurred in the 11 tunnels in Busan, through statistical analysis techniques. The results of this study can be summarized as below. As a result of analyzing the characteristics of car accidents, it was found that 64.9% of all the car accidents took place in the tunnels between 08:00 and 18:00, which was higher than 45.8 to 46.1% of the car accidents in common roads. As a result of analyzing the types of car accidents, the car-to-car accident type was the majority, and the sole-car accident type in the tunnels was relatively high, compared to that in common roads. Besides, people at the age between 21 and 40 were most involved in car accidents, and in the vehicle type of the first party to car accidents, trucks showed a high proportion, and in the cloud cover, rainy days or cloudy days showed a high proportion unlike clear days. As a result of analyzing the principal components of car accident influence factors, it was found that the first principal components were road, tunnel structure and traffic flow-related factors, the second principal components lighting facility and road structure-related factors, the third principal factors stand-by and lighting facility-related factors, the fourth principal components human and time series-related factors, the fifth principal components human-related factors, the sixth principal components vehicle and traffic flow-related factors, and the seventh principal components meteorological factors. As a result of classifying car accident spots, there were 5 optimized groups classified, and as a result of analyzing each group based on Quantification Theory Type I, it was found that the first group showed low explanation power for the prediction model, while the fourth group showed a middle explanation power and the second, third and fifth groups showed high explanation power for the prediction model. Out of all the items(principal components) over 0.2(a weak correlation) in the partial correlation coefficient absolute value of the prediction model, this study analyzed variables including road environment variables. As a result, main examination items were summarized as proper traffic flow processing, cross-section composition(the width of a road), tunnel structure(the length of a tunnel), the lineal of a road, ventilation facilities and lighting facilities.

**Key words :** Quantification theory class 1, Partial correlation coefficient, Traffic accident in the tunnel, Traffic safety

### 초록

본 연구는 통계적 분석기법을 통하여 부산시내에서 운영 중인 11개 터널에서 발생한 교통사고 456건을 대상으로 교통사고의 발생특성, 유형화 및 예측모델을 구축하였으나 다음과 같은 결론을 얻게 되었다. 교통사고 발생특성으로는 시간대별 터널 내 교통사고 08~18시 사이가 전체의 64.9%를 차지하고 있어 기존 도로의 45.8~46.1%에 비해 높게 나타났고, 사고유형별로는 차대차 사고가 대부분을 차지하고 있으며, 차량단독

\* 정회원 · 교신저자 · 도로교통공단 부산지부 차장대우 (Corresponding Author · Busan Branch of Road Traffic Authority · [cslim@koroad.or.kr](mailto:cslim@koroad.or.kr))

\*\* 정회원 · 영산대학교 교통공학과 교수 (Yeongsan University · [ywchoi@ysu.ac.kr](mailto:ywchoi@ysu.ac.kr))

Received October 13, 2014/ revised November 5, 2014/ accepted January 12, 2015

사고는 기존도로에 비해 다소 높게 나타났으며, 연령층별로는 21~40세의 구성비가 높았고, 제1당사자 차종별로는 화물차의 비중이 높았고, 운량별로는 맑은 날을 제외하고 비가 오는 날이 흐린 날 보다 더욱 높은 수치를 보였다. 교통사고 영향요인에 대하여 주성분분석을 실시한 결과, 제1주성분은 도로, 터널구조 및 교통류 관련요인이, 제2주성분은 조명시설 및 도로구조 관련요인이, 제3주성분은 대기상태 및 조명시설 관련요인이, 제4주성분은 인적 및 시계열 관련요인이, 제5주성분은 인적요인이, 제6주성분은 차량적 요인과 교통류 관련 요인이, 제7주성분은 기상요인으로 대별되었다. 교통사고 발생지점에 대하여 유형화를 실시한 결과, 최적 집단수는 5개로 구분지어 졌으며, 집단별로 수량화이론 1류를 적용하여 분석한 결과, 제1집단은 예측모델의 설명력이 낮은 반면 제4집단은 예측모델의 설명력이 중간정도, 제2, 제3, 제5집단은 높은 설명력을 가진 예측모델이 구축되었다. 예측모델의 편상관계수 절대 값이 0.2(약한 상관) 이상인 항목(주성분) 중에서 도로환경적 요인이 포함된 변수를 체크하여 분석한 결과, 주요 검토항목은 적절한 교통류 처리, 횡단구성(차로폭), 터널구조(터널길이), 도로선형, 환기시설, 조명시설로 요약되었다.

**검색어** : 수량화이론 1류, 편상관계수, 터널 내 교통사고, 교통안전

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

현대사회가 고도의 산업화와 문명사회로 진입함에 따라 자동차의 수요는 기하급수적으로 증가하여 우리생활에서 자동차는 없어서는 안 될 필수불가결의 요소가 되었다. 이러한 교통여건의 변화 속에서 자동차는 우리에게 많은 유익한 혜택을 주는 반면 대도시에서는 매일 출퇴근 시간대에 일어나는 러시아워 현상과 주차문제, 그리고 교통사고 문제 등 엄청난 인명피해와 재산피해를 가져온 것도 사실이다.

특히 자동차 교통사고는 우리인간의 생명을 좌지우지할 만큼 가장 심각한 문제로 대두되어 이에 대한 관심과 우려는 해마다 더해가고 있는 실정이다. 아울러 자동차의 보급도 2013년도 말에는 1천9백40만대를 넘어 국민 약 2.64명당 1대꼴로 자동차를 보유하게 됨으로써 도로에서의 지정체는 당연한 현상으로 받아들여질 만큼 사회적인 문제로 취급되고 있으며, 이를 해소하기 위한 방편의 일환으로 국내에서는 수많은 터널을 건설 중에 있고, 건설 중인 터널도 순차적으로 개통되어 터널을 이용하는 차량이 이에 비례하여 증가하게 되었다.

긴 거리의 우회도로를 이용한 시간적경제적 손실을 줄이기 위해 짧은 터널을 이용하지만 터널 내에서 교통사고가 발생하게 되면 인명피해와 재산피해의 문제발생과 함께 교통의 마비를 초래하고, 2차3차 사고로 이어질 가능성이 기존 도로보다 매우 높다. 또한, 사고처리와 복구에도 관리기관이 서로 달라 체계적인 관리와 통계에도 한계가 있으며, 많은 시간이 필요하게 되어 문제의 심각성은 더욱 크다고 할 수 있다.

따라서 본 연구는 터널 내에서 일어난 교통사고와 관련된 제반 자료를 근거로 하여 교통사고와 관련된 것으로 추정되는 요인들과 상호관련성을 미시적 방법에 의해 접근함으로써 터널 내 교통사고를 유형화하고 그 유형에 따라 터널 내 교통사고에 영향을 미치는 요인들을 명확히 하고자 하였다. 이를 근거로 기존의 터널 관리 및 유지보수 대상 선정기준을 제시하고, 신규 터널 건설 시에는

터널의 설계단계부터 제반 영향요인들을 중요 검토항목으로 설정·도입함으로써 교통사고의 유발요인을 근원적으로 차단하고자 하는데 그 목적을 두었다.

### 1.2 연구의 범위와 방법

교통사고 발생의 주요한 요인을 살펴보면 인간(운전자 등), 기계(자동차 등), 그리고 환경(도로 등)의 세 가지 요인들이 목적을 달성하기 위해 균형을 유지하고 관리를 잘해야 하지만 이 중에서 인간기계환경계의 균형이 붕괴되거나 어느 한 요인이라도 잘못되면 교통사고를 초래할 수 있다. 더욱이 목적의 불분명과 관리의 잘못 역시도 교통사고의 발생요인이 되므로 교통사고의 예방을 위해서는 이들 요인 모두가 중요한 역할을 하게 된다. 이와 같이 교통사고는 어떤 특정한 단독요인에 의해 발생하기보다는 주로 인적, 차량적 그리고 환경적 요인 등이 복합적으로 작용되어 일어난다고 할 수 있기 때문에 위에서 언급한 주된 세 가지 요인이 상호보완적이고 유기적일 때 교통안전이 보장될 수 있는 것이다.

따라서 본 연구는 부산시내에 위치한 터널 11개소를 대상으로 인적, 차량적, 도로환경적 요인 중에서 터널 내 교통사고 발생특성과 교통사고에 영향을 미치는 요인에 대해 분석을 실시하고자 하였으며, 이를 위한 자료의 내용 및 수집경로는 다음의 Table 1과 같다.

그러나 많은 관련 기관으로부터 광범위한 자료를 수집하면서 누락되었거나 교통사고 당시와는 시간 및 공간적으로 차이를 보이는 자료의 경우에는 가장 근접한 자료를 채택하였고, 터널에서의 조도는 실질적으로 조사가 이루어진 기본부 조도로 국한하였으며, 교통사고로 인한 인적 피해금액은 보험개발원에서 조사한 인명피해자에 따른 교통사고 평균 보상액과 한국은행에서 조사한 물가지수를 동시에 고려하여 수집하였다.

이러한 과정에서 부산시내 터널 15개소 중 교통사고 자료의 절대적 부족 등의 이유로 인해 활용하기에 무리가 있는 터널 4개소를 제외한 결과, 연구대상은 광안, 구덕, 대상, 대티, 만덕1, 만덕2, 백양, 부산, 수정, 연산, 황령터널로 총 11개소가 선정되었다.

그리고 교통사고의 발생요인을 분석하기 위해 이들 각 터널별로

Table 1. Collection of Data and Information Routes

items	Collection routes	Comments
Traffic Accidents	Road Traffic Authority Traffic Accident Analysis System (TAAS)	1) '88.01. ~ '99.12.(12 years) Traffic accident data 2) Casualties, the amount of physical damage, driver age, driving experience, driver's education, accident type, perpetrators and victims of vehicle, time, etc. 21 entries
Weather related	Busan Regional Meteorological	Six items including cloud
Traffic	Busan City Hall	Traffic, Running speed including three columns
Tunnel related	Construction Safety Test Establishment, Busan Facilities Authority	Including tunnel length, intensity, lamp arrangement 15 items
Geometry	Field survey and investigation	Car wide, flat and vertical alignments including 9 items
Atmospheric Environment	Busan Institute of Health and Environment	Including NOx 8 items

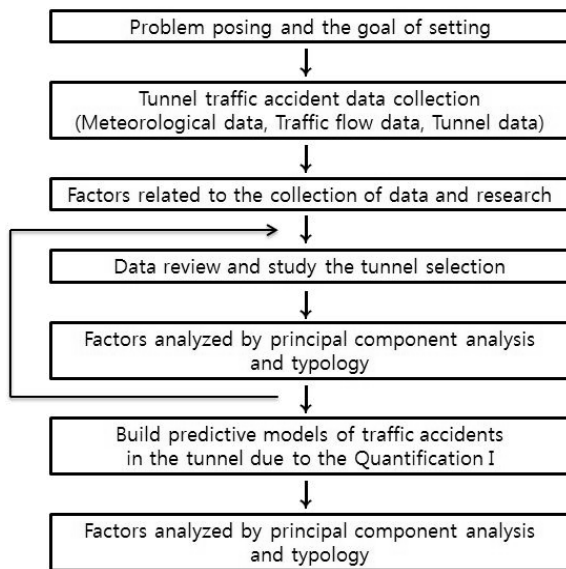


Fig. 1. Perform Studies Flow Chart

인적, 차량적, 도로환경적 요인 등에 관련된 18개 변수를 채택하여 주성분분석을 실시하였고, 사례별로는 주성분특점을 구한 후 이를 토대로 유형화를 실시하였다.

또한 인적, 차량적, 도로환경적 요인들에 대한 교통사고 발생특성에 따른 영향요인을 명확히 하기 위해 변수 값을 몇 단계의 카테고리 나뉘어 명목화된 자료를 근거로 수량화 이론 1류를 실시함으로써 터널 내 교통사고 예측모델을 구축하고자 하였으며, 이를 위한 연구수행 Flow Chart는 다음의 Fig. 1과 같다.

## 2. 선행연구 고찰

터널 내 교통사고 및 교통안전과 관련된 기존 선행연구 문헌을 검토하였다. Seo et al. (2012) 등은 로짓모형을 이용하여 고속도로

장대터널 교통사고 특성분석 결과, 운전자의 시인성 관련요인인 주행차로 및 추월차로의 공동구, 내장재 시설과 터널의 공간 확보를 위한 측방여유폭, 차로당 연평균교통량요인이 교통사고와 관련 있는 것으로 분석하였다.

Park (2012)은 고속도로에서 정량화가 가능한 교통조건, 도로 및 환경조건 등 교통사고 영향요인을 이용하여 터널길이에 따른 군집화를 통한 회귀모형을 개발하였고, Kim and Bak (2011)은 고속도로 터널 내 교통사고특성분석 결과, 터널구간과 관련된 교통사고 현황과 연구결과를 검토하고 터널 내 발생한 교통사고 자료를 활용하여 터널 내 교통사고 특징을 여러 가지 측면에서 분석하였고, 이를 통해 운전자의 주요 교통사고 형태를 파악하여 터널 내 교통사고 감소 및 교통안전 증진에 기여코져 하였다.

Wang et al. (2010) 등은 운전자의 감성공학을 이용한 터널내부 경관을 분석한 결과, LED 시선유도시설 설치 시 조도가 높을수록, 측방여유폭이 넓을수록 안전성이 증가하는 것으로 분석하였고, Lee and Lee (2004) 등은 고속도로 터널부 구간 진입 전후의 속도감소 요인을 비교하기 위하여 다양한 정량적 변수(중단경사, 경사길이, 곡선반경)를 활용하였다. 상관성분석결과, 곡선반경(0.827), 노면 폭(0.494), 중단경사(0.356)의 순서로 속도 감소에 영향을 주는 것으로 분석되었다.

Lee et al. (2008) 등은 터널 입구부의 안전시설물의 형태와 우측방여유폭의 변화에 따라 운전자가 작게 되는 부담감이나 위압감을 분석하였다. 그 결과 우측방여유폭의 차이가 작은 경우 운전자가 갖는 부담이 경감되어 터널내부의 길어깨 및 측방여유폭을 확보해야함을 제시하였다. 그리고 Lane Placement 분석결과, 곡선반경이 작은 경우 차량의 편향주행 비율이 높아져 옆 차로를 주행하는 차량에 영향이 미칠 가능성이 커지므로 터널 입구부에서의 곡선반경은 크게 설계되어야 한다는 결론을 제시하였고, Akamatsu (2003) 등은 터널내부 주행이 운전자의 주행속도에 미치는 영향을 연구하기 위해, 실험자를 대상으로 주행 중 가속페달 조작에 관한

연구를 수행하였다. 연구결과 터널 진출입시 가속페달 조작이 적음을 확인하였다.

Amundsen (1992) 등은 터널길이가 증감함에 따라 문제점이 증가한다고 언급하였고, 설문조사를 통해 터널 길이가 길어짐에 따라 운전자는 위험상황에 보다 많이 노출 된다는 결론을 도출하였으며, Martens (2000) 등은 터널내부 비상차로의 유무가 운전자의 운전행동에 미치는 영향을 연구하기 위해 실험자를 대상으로 차량 시뮬레이터를 활용하여 연구를 수행하였다. 연구결과 터널의 가장 바깥쪽 차로 주행 시 일반도로에 비해 더 왼쪽으로 치우치게 운전하였고, 비상차로가 없는 경우는 그러한 운전행동이 더 심하게 나타남을 확인하였다.

### 3. 연구대상 터널 내 교통사고의 특성

#### 3.1 시간대별 교통사고

낮(08~18시) 시간대 교통사고는 Fig. 2과 같이 우리나라 45.8%와 부산광역시 46.1%에서 발생한 교통사고 패턴과 달리 터널에서는 64.9%로 매우 높게 발생했는데 이는 낮 시간대 터널을 이용하는 차량에 미치는 터널 출입 전후의 환경과 운전자에게 미치는 영향이 기존의 도로와는 상이하여 발생된 결과로 해석된다.

#### 3.2 사고유형별 교통사고

사고유형별 교통사고는 Fig. 3과 같고, 터널 내 차대차 사고가 전체의 93.1%로 대부분을 차지하고 있다. 차량 단독사고는 우리나라

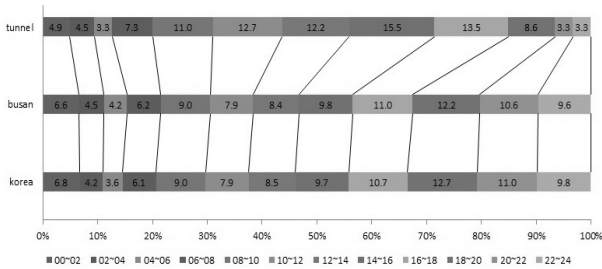


Fig. 2. Occur Status of Traffic Accidents According Time Range

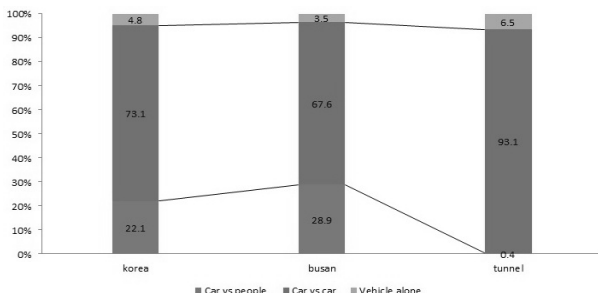


Fig. 3. Status of Traffic Accidents According to Accident Type

라 4.8%와 부산광역시 3.5%의 사고보다 터널 내에서 6.5%로 조금 높게 나타났는데, 이는 차량과속과 급차로변경 및 조향장치 과대조작으로 사고가 발생하였으며, 터널 내에서는 보행자의 통행이 대부분 금지되기 때문에 극히 미비하게 나타났다.

#### 3.3 연령층별 교통사고

운전자의 연령층별 교통사고는 Fig. 4과 같이 40~60세가 우리나라 47.4%와 부산광역시 47.8%로 가장 높은 구성비를 나타내고 있는 반면, 터널 내에서는 21~40세가 가장 높은 49.0%로 분석되었다. 터널을 이용자들 대부분이 장거리 출퇴근을 하는 근로자들과 세미트레이더 운전자들이 젊기 때문으로 해석된다.

#### 3.4 도로폭별 교통사고

Fig. 5에서와 같이 터널에서의 도로폭별 교통사고도 우리나라와 부산광역시의 패턴처럼 6~13m에서 가장 높은 수치를 보이고 있다. 반면에 13m 이상의 도로에서 터널 내 교통사고가 없는 것은 부산에서 건설된 대부분의 터널이 2차로로 건설되었기 때문이며, 6m 미만에서는 상대적으로 약간 낮은 수치를 보이고 있다.

#### 3.5 차종별 교통사고

차종별 교통사고는 Fig. 6에서와 같이 터널, 부산광역시, 우리나라 모두 승용차, 승합차에서 비슷하거나 약간 낮은 수치를 보이고

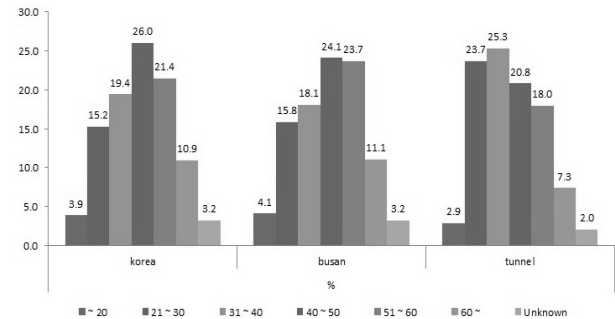


Fig. 4. Age Caused by Traffic Accidents Status

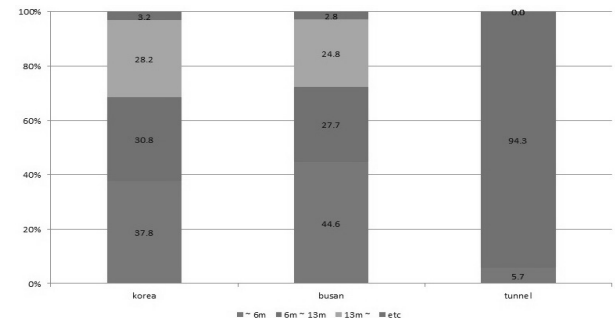


Fig. 5. Status Traffic Accidents Due to Road Width

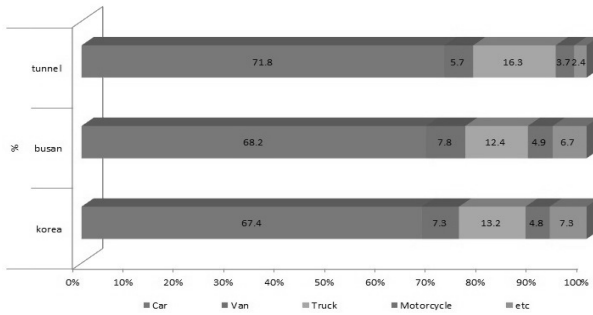


Fig. 6. Status Traffic Accident According to the Car Type

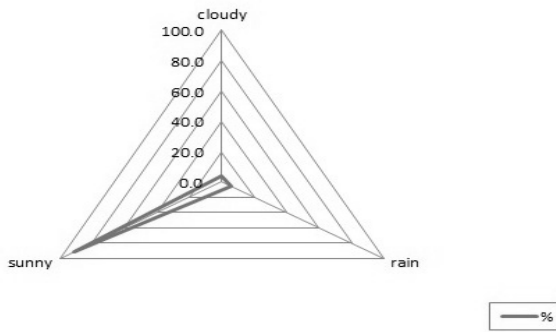


Fig. 7. Status Traffic Accident in the Tunnel Under the Weather

있으며, 화물차는 터널이 상대적으로 약간 높는데, 수송물류의 대부분인 화물차의 통행이 빈번하기 때문이다. 또한, 이륜차는 부산광역시와 우리나라에 비해 약간 낮는데 이는 터널을 이용하는 이륜차의 교통량이 매우 적은 이유로 판단된다.

### 3.6 운량별 교통사고

운량별 교통사고는 아래의 Fig. 7과 같이 날씨가 맑은 날을 제외하면 비가 오는 날이 흐린 날 보다 사고의 비율이 높게 나타나는데, 이는 터널의 유입 및 유출부에서 기존 도로와 접할 때 운전자가 기상에 의한 환경적 변화에 순응하지 못한 결과로 해석된다.

## 4. 터널 내 교통사고 영향요인 분석 및 유형화

### 4.1 영향요인 분석 및 유형화의 이론적 배경

터널 내 교통사고의 영향요인 분석과 유형화를 위해 먼저 주성분 분석을 실시하여 도출된 주성분부하량으로 터널 내 교통사고의 영향요인을 규명하고 이어서 주성분득점(Component Scores)을 이용하여 동질성이 있는 지점을 집단화하는 주성분분석법으로 교통사고 발생지점들을 유형화하고자 하였다.

이러한 주성분분석법의 목적은 여러 개의 반응 변수들 즉 다차원적인 변수들을 축소, 요약하는 차원의 단순화화 서로 상관되어

Table 2. KMO Value Classification

Category	Degree
0.90 ~ 1.00	Marvelous
0.80 ~ 0.89	Meritorious
0.70 ~ 0.79	Midding
0.60 ~ 0.69	Mediocre
0.50 ~ 0.59	Miserable
~ 0.49	Unacceptable

있는 반응 변수들 상호간의 복잡한 구조를 분석하는 방법으로 모든 변수를 동일하게 취급하여 변수특성별로 집단화하는 특성이 있다.

특히 주성분분석 시 분석정도에 대한 판단기준의 객관화를 해결하기 위해서는 KMO (Kaiser-Meyer-Olkin)치를 근거로 하여 그 분석정도를 판정하는 방법이 있으며, 그 분류기준은 다음의 Table 2와 같다.

이어서 지점특성별 집단의 수를 결정하는 일반적인 방법은 상기 주성분분석에서 얻어진 제k주성분까지의 주성분득점을 가지고 군집분석법을 실시한 결과로써 집단의 수를 결정하는 방법이 있다.

군집분석법은 동일집단 내에 속해 있는 공통된 특성들을 조사하기 위한 목적으로 이용된다는 점에서 주성분분석법이나 인자분석법과 유사하나, 이들 방법은 자료의 분산 즉 상관관계를 이용하여 유사집단을 분류하는 반면 군집분석은 단지 측정치의 차이를 이용한다는 점에서 다르다. 따라서 군집분석에서 유사성을 측정하는 기준이 되는 거리의 계산 시에는 자료의 표준화를 통하여 선정된 변수들의 중요도를 표준화해 주어야 한다.

또한 군집분석 시에는 다른 분석방법과는 달리 최종 해에 대한 통계적 유의성을 검증할 수 없기 때문에 변수의 선정이 매우 중요하므로 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 통상적으로는 인자분석이나 주성분분석 등에 의한 합성변수(인자득점, 주성분득점 등)를 이용하여 변량 간에 상관관계의 영향에 제거하는 절차를 거치게 되며, 군집분석 시 거리결정법으로 본 연구에서 사용한 방법으로는 최소공분산(Minimum Variance) 즉 군집중심 주변의 편차평방합이 최소가 되도록 다른 군집과 융합하는 Ward법을 이용하였다. 특히 이 방법은 거리행렬의 경우 유클리드 거리가 바람직한 것으로 되어 있으며 대상의 분포밀도가 높은 곳으로부터 그룹이 형성되고 공간 넓이는 반드시 같지 않은 특징이 있다.

또한 이러한 군집분석 결과를 통해서 지점특성별 집단의 수를 결정하는 일반적인 기준으로는 군집분석을 실시한 결과 나타나는 다음의 두 가지를 이용한다.

첫째로 군집의 수가 하나 줄어들으로써 즉 군집간의 병합으로 인한 결정계수의 감소분을 나타내는 부편결정계수의 증가폭이 급격히 변화하는 단계에서 최적 유형화 군집수를 결정하는 경우가

있고, 둘째로 초사각형 상에서 균일분포를 따르고 있다고 여겨지는 점들이 만일 어떤 군집을 이루고 있다면 이들은 대체로 초입방체 (Hyper-cube) 형태로 구분되어 있을 것이라고 가정하고 그 가정 하에 유도된 판정기준인 초입방형 군집판정기준의 값을 이용하는 경우가 있다. 특히 이 기준은 2 내지 N/10(단, N은 사례수) 정도의 군집수에 대해 플롯 했을 때 적절한 군집의 개수와 자료의 구조에 관한 유의한 정보를 제공하고 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구과정에서의 이 두 가지 기준을 동시에 고려하여 군집수를 결정하고 하였다.

#### 4.2 터널 내 교통사고 영향요인 분석

터널 내 교통사고의 주요 영향요인을 규명하기 위해서는 주성분 분석에 의해 주성분부하량을 구해야 한다. 이를 위해 먼저 주성분

석에 사용된 변수들을 보면 다음의 Table 3와 같다.

이들 변수를 이용하여 주성분분석을 실시한 결과, 고유치(Eigen Value)가 1이상, 누적기여율이 67.6% 수준에서 관련 변수군이 7개의 군으로 형성되었으며 각 주성분부하량은 Table 4과 같이 나타났다. 여기서 주성분분석의 분석정도를 나타내는 KMO치를 보면 0.702로써 앞 절의 Table 2에 의하면 주성분분석에 의한 분석단위의 유형화 정도는 보통수준에 있는 것으로 평가되었으며 Bartlett의 단위행렬 검정 값에 따른 유의확률 값을 보면 이 역시 분석에 도입된 변수들이 표본으로써 적합한 것으로 나타났다.

각 주성분별 특성을 살펴보면 제1주성분은 1차로폭, 2차로폭, 터널길이, 주행속도로써 도로, 터널구조 및 교통류 관련요인으로

Table 3. Introduction of Variables and Variable Values

Category		Variable	Variable value	
The dependent variable		Economic loss	Casualties+Amount of physical damage	
Independent variables	Human Factors	Driver age	1 : Less than 20 years 2 : 21 to 30 years old 3 : 31 to 40 years old 4 : 41 and 50 years old 5 : 51 to 60 years old 6 : 61 years and over	
		Driving experience	1 : less than 5 years 2 : Less than 5 to 10 years 3 : Less than 10 to 15 years 4 : Less than 15 to 20 years 5 : over 20 years	
	⋮	⋮	⋮	
	Vehicle factors	Perpetrator car	1 : a large truck 2 : Bus 3 : small vans 4 : Small truck 5 : Car 6 : Motorcycles 7 : Medium Truck 8 : Taxi	
		⋮	⋮	⋮
	Environmental factors	Road structure	1 Lane width	1 : 3.25m below 2 : 3.26 ~ 3.50m 3 : 3.50m excess
		Cross Section	2 Lane width	1 : 3.25m below 2 : 3.26 ~ 3.50m 3 : 3.51 ~ 3.75m 4 : 3.75m excess
			alignment of road	alignment
		Lighting	tunnel length	1 : 500m below 2 : 501 ~ 1,000m 3 : 1,001m more
		⋮	⋮	⋮

Table 4. Principal Component Analysis of the Introduction of Variable Results (Principal Component Loadings)

Variable		1	2	3	4	5	6	7
Road, tunnel construction and traffic flow related factors	1 car width							
	Running speed	<b>0.902</b>	0.286	-0.159	0.104	-0.034	0.057	0.007
	2 car width	<b>0.902</b>	0.055	0.002	0.022	-0.050	0.073	0.009
	Tunnel length	<b>0.814</b>	-0.076	0.126	0.159	-0.059	0.121	0.016
Lighting and road construction related factors	Flat linear luminaire arrangement	-0.102	<b>-0.848</b>	0.047	-0.056	0.008	0.036	-0.015
	⋮	0.197	<b>0.837</b>	-0.210	0.072	-0.045	0.017	0.008
Atmosphere conditions and lighting-related factors	NOx	-0.013	-0.135	<b>0.834</b>	0.027	-0.027	0.052	0.072
	Roughness	0.219	0.313	<b>-0.527</b>	0.363	0.017	0.082	0.013
Human-related factors and time series	Accident type time	0.097	0.114	0.079	<b>0.782</b>	0.038	-0.073	0.014
	⋮	-0.093	0.026	0.162	<b>-0.773</b>	0.056	-0.010	-0.007
Human Factors	Driver age	-0.025	0.042	-0.034	0.069	<b>0.752</b>	-0.075	0.009
	Driving experience	-0.129	0.063	0.253	0.074	<b>0.681</b>	0.276	-0.195
	Driver Education	0.028	0.173	0.149	0.189	<b>-0.640</b>	0.078	-0.174
Vehicles and Traffic related factors	Perpetrator car	-0.148	-0.006	-0.032	-0.008	-0.096	<b>-0.681</b>	0.003
	Victims of car Traffic volume	-0.195	0.124	0.125	-0.005	0.132	<b>-0.674</b>	-0.009
Weather-related factors	Economic loss	0.042	0.177	0.263	-0.076	0.075	-0.012	<b>0.805</b>
	Cloudiness	-0.038	-0.213	-0.365	0.165	-0.060	0.112	<b>0.570</b>
Eigenvalues cumulative contribution		3.119	2.035	1.596	1.497	1.493	1.361	<b>1.065</b>
		17.3	28.6	37.5	45.8	54.1	61.7	<b>67.6</b>

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy = **0.702(Middling)**

Bartlett's Test of Sphericity = **3551.929**, Significance = **0.000**

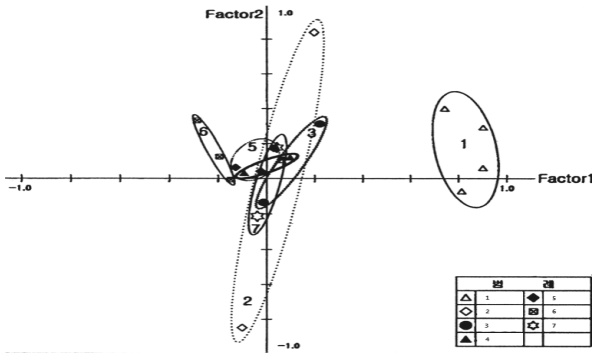


Fig. 8. Principal Component Loadings (1Principal Component -2Principal Component)

묶여 있고, 제2주성분은 등기구 배열방식, 평면선형으로 터널의 물리적 상태 중 조명시설 관련요인과 도로의 물리적 상태 중 도로구조 관련요인으로 구성되어 있다. 그리고 제3주성분은 NOx와 조도로써 터널 내 대기상태와 조명시설 관련요인으로 형성되어 있고, 제4주성분은 사고유형과 시간으로 인적 및 시계열 관련요인으로 구성되어 있으며, 제5주성분은 연령, 운전경력, 학력으로써 인적요인으로만 묶여져 있다.

그리고 제6주성분은 가해차량, 피해차량, 교통량으로 차량적 요인과 환경적 요인 중에서도 교통류 관련요인으로 구성되어 있고, 제7주성분은 운량으로써 기상요인으로 판명되었다. 이 중에서 부호가 -로 부의 성질을 가지고 있는 것은 제2주성분인 등기구 배열방식, 제3주성분인 조도, 제4주성분인 시간, 제5주성분인 학력, 제6주성분인 가해차량, 피해차량으로 나타나고 있다.

그리고 기여율이 높은 제1주성분과 다른 주성분과의 관련성을 알아보기 위해 이들 변수들의 주성분부하량을 Factor1과 Factor2의 좌표 상에 표시하여 주성분 상호간의 관련성에 의한 변수특성을 분류하여 본 것이 Fig. 8이다.

그 결과 제1주성분과 제6주성분은 상호 독립적인 범위를 가지고 명확하게 구분되어 있고 제2주성분은 각 축의 교점을 중심으로 Factor2 축과 평행하게 분포되어 강한 성격을 나타내며 제3주성분과 제7주성분은 제2주성분보다는 약한 성격을 보이면서 다른 주성분과 약간 중첩된 분포를 띠고 있다. 제4주성분과 제5주성분은 Factor2 축을 중심으로 원점 근방에 분포되어 있으며 다른 주성분과도 중첩된 부분을 보이고 있다.

## 5. 터널 내 교통사고의 예측모델 구축

### 5.1 예측모델의 이론적 배경

도시부 터널 내 교통사고 예측모델 구축을 위해 사용한 방법은 수량화 이론(Quantification Theory) 1류이며, 수량화 이론은

Table 5. Classification of Quantification Theory

Purpose	Technique used		
	Quantitative data	For the qualitative or quantitative data	Qualitative data
Discovery of Prediction, Amount estimated	Multiple Regression Analysis, Canonical Correlation Analysis	Quantification Theory I	-
Classification of the sample, Query estimation	Discriminant analysis	Quantification Theory II	Analysis division table Crust Analysis
General cleaning of the multivariate, Classification of the variance, Variance found in representative	Principal Component Analysis, Factors Analysis	Quantification Theory III	Latent structure analysis
Classification of a minimum dimensional space	Multidimensional scaling	Quantification Theory IV	-

1948년경 시작된 일본인의 읽기쓰기 능력조사 결과 분석에서 유래한 것으로 수량화이론은 일본의 통계수리연구소장인 하야시 치키오 박사에 의해 고안된 이론이다.

수량화 이론이란 보통 외적기준이 있는 경우와 없는 경우로 나누어서 설명된다. 외적기준이란 문제로 하고 있는 복수의 속성에 기여하고 있는 양을 결정하기 위해서 외적으로 존재하는 기준이라는 것이고, 예측되어야 할 속성변수 혹은 여기에 개체가 판별되어야 할 균을 의미한다. 외적기준이 존재하고 이것이 정량적인 변수인 경우 수량화 이론 1류, 복수의 균으로 판별하는 경우를 수량화이론 2류라 한다.

수량화 1류는 모든 설명변수를 순서척도인 질적 변수를 흔히 1, 2, 3, ... 등과 같은 수치로 각 범주에 단순히 부여 하는 것으로 기본적으로 중 회귀분석과 동일하고, 2류는 동일한 순서척도를 이용한 판별분석과 동일하다. 외적기준이 존재하지 않는 경우에도 문제의 속성 상호간의 외부관계에 기초한 수량화를 행하여 속성 혹은 개체의 상호관계를 명확하게 하는 것에 의미가 있는 경우가 있다. 이 경우 사용되는 것이 수량화 이론 3류와 수량화 이론 4류이다. 수량화이론 1류, 2류에서 외적기준에 대한 설명변수의 기여도는 각 변수에 부여된 카테고리 스코어(Category Score)의 범위(Range)의 순위로 표현되는데 카테고리 스코어의 범위가 클수

록 외적기준에 대한 영향력이 크게 나타나며 반대로 범위의 순위가 작은 항목은 외적기준에 대한 영향력이 작다고 볼 수 있다. 카테고리 스코어(Category Score)를 따르지 않을 경우에는 중 회귀분석과 동일하게 편상관계수를 사용할 수 있으며, 편상관계수가 큰 항목일 수록 외적기준에 대한 영향정도의 평가에 있어서도 중요한 요인으로 작용한다고 판단할 수 있다. Table 5는 분석목적에 따라서 수량화이론을 분류한 것이다.

수량화 이론 1류의 기본적인 개념을 살펴보면, 각각의 개체가 어느 Item, Category에 반응했는지를 표현하기 위해서는 다음과 같은 Dummy변수를 정의한다.

$$\delta_i(jk) = \begin{cases} 1 : \text{개체 } i \text{가 } j \text{ Item의 } k \text{ Category에 반응한 경우} \\ 0 : \text{그 외의 경우} \end{cases}$$

$j$  Item의  $k$  Category에 부여하는 수량(Category 수량이라고 함)을  $a_{jk}$ 로 할 경우 외적기준  $y_i$ 의 예측치(Explained value)  $y_i$ 는 위에서 정의한 Dummy 변수를 이용하여 다음과 같이 표현된다.

$$Y_i = \sum_{j=1}^R \sum_{k=1}^{c_j} a_{jk} \delta_i(jk), (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

외적기준의 값  $\{y_i\}$ 를 최소자승법의 의미에서 가장 정도 있게 예측하기 위하여

$$Q = \sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2 \rightarrow \text{최소} \quad (2)$$

를 만족시키기 위한 Category 수량  $\{a_{jk}\}$ 를 정한다. 여기서, Eq. (1)을 Eq. (2)에 대입하여  $Q$ 를 각  $a_{uv}$ 로 편미분하여 0으로 두면 다음과 같은 정규방정식이 얻어지게 된다.

$$\sum_{j=1}^k \sum_{k=1}^{c_j} f(uv, jk) a_{jk} = \sum_{i=1}^n y_i \delta_i(uv) \quad (3)$$

(u=1, 2, ..., R: v=1, 2, ..., c<sub>u</sub>)

여기서,  $f(uv, jk) = \sum_{i=1}^n \delta_i(uv) \delta_i(jk)$ 라고 놓으면 이것은  $u$  Item의  $v$  Category와  $j$  Category의 양쪽에 반응한 개체의 수를 표시하며 요인에 대한 2원 분류표 혹은 크로스 집계표(Cross Table)로써 얻어진다.

위의 정식화는 수학적으로 외적기준  $\{y_i\}$ 의  $\sum c_j$ 개의 Dummy 변수  $\{\delta_i(jk)\}$ 에의 (상수항이 없는) 회귀를 구하는 것과 마찬가지로이다. 그런데 각 개체는 하나의 Item내에서 반드시 하나의 Category에만 반응하므로

$$\sum_{k=1}^{c_j} \delta_i(jk) = 1, (j=1, 2, \dots, R: i=1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

와 같은 항등적인 관계가 성립하여 Eq. (3)의 해는 일률적으로 정해지지 않는다. Eq. (3)의  $\sum c_j$ 개의 방정식 사이에는 각 Item내의 Category에 대응하는 식의 합계가 모든 요인에 대해서 같다고 하는 (R-1)개의 선형제약식이 성립한다. 실제 Category에 부여하는 수량으로 각 Item내에서 원점을 취하는 방법은 임의적이고, Item내의 상대적인 차가 일률적으로 정해진다.

따라서 통상 2에서 R번째의 Item에 대하여 어느 것인가 하나의 Category (예를 들면, 1번째의 Category)의 수량을 0으로 놓고 Eq. (4)로부터 그러한 Category에 대응하는 (R-1)개의 식을 제외하고  $\sum c_j - R + 1$ 차 연립방정식으로 해서 Eq. (3)을 푼다.

$\sum c_j$ 다음에 해석의 편의상 각 Item내의 Category 수량에 상수를 가감하여 평균이 0이 되도록 조정한다.

그렇게 조정된 Category 수량을  $a^*_{jk}$ 라고 쓰기로 하면 각 개체의 예측치  $y_i$ 는

$$Y_i = \bar{y} + \sum_{j=1}^R \sum_{k=1}^{c_j} a^*_{jk} \delta_i(jk) \quad (5)$$

의 형태로 된다. 여기에서  $\bar{y}$ 는 외적기준치의 평균이고  $\{a^*_{jk}\}$ 는 Item 내의 하나의 Category에 대한 Category 수량을 0으로 놓고 구한  $\{a_{jk}\}$ 를 이용하여

$$a^*_{jk} = a_{jk} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n n_{ji} a_{ji} \quad (6)$$

여기서,  $n_{ji}$  :  $j$  Item l Category에 반응한 개체의 수와 같이 계산된다.

Category 수량  $a^*_{jk}$ 를 이용했을 때 외적기준치  $\{y_i\}$ 가 어느 정도 잘 예측되고 있는가에 대해서는 회귀분석의 경우와 마찬가지로 관측치  $\{y_i\}$ 와 예측치  $\{y_i\}$ 와의 상관계수  $R$  - 이것은 외적기준  $\{y_i\}$ 와 Dummy 변수인 Category 변량  $\{\delta_i(jk)\}$  사이의 중상관계수(multiple correlation coefficient)라고 할 수 있다. - 혹은 이것의 자승인 결정계수  $R^2$ 에 의해 평가할 수 있다.

그리고 외적기준  $\{y_i\}$ 에 대한 각 요인의 영향의 크기는 Item내의 Category 수량  $a^*_{jk}$ 의 범위(range)

$$(\text{range})_j = \max(a^*_{jk}) - \min(a^*_{jk}), (j=1, 2, \dots, R) \quad (7)$$

에 의해 측정할 수가 있다. 이 범위가 큰 Item 일수록 어느 Category에 반응하는가에 따라 예측치가 크게 변화하고 그 만큼 외적기준에 대한 영향이 크다. 또한, Category 수량  $a^*_{jk}$ 에 의해 Item을 수량화



해서(즉, j Item의 k Category에 반응했을 때 j Item의 값으로써  $a_{jk}^*$ 가 관측되었다고 생각하여) 회귀분석의 경우와 마찬가지로 각 Item과 외적기준 사이에 평상관계수(partial correlation coefficient)를 계산할 수 있다.

### 5.2 전체 예측모델의 구축

터널 내 교통사고의 예측모델을 구축하기 위해 채택한 수량화이론 1류는 독립변수의 개수가 많을수록 중상관계수 값의 증가를 도모할 수는 있으나 보다 적은 수의 독립변수로도 종속변수인 경제적 손실을 가장 잘 설명할 수 있도록 경제적인 모델을 구축하기 위하여 이미 주성분분석에서 도출한 각 주성분 중에서 주성분부하량이 가장 큰 변수만을 하나씩 채택하여 이를 독립변수로 하고

Table 6. Prediction Model of Tunnel Traffic Accidents by the Quantification Theory 1(all)

Variable	Category	Data	Category Unit	Range	Partial correlation coefficient
Driver age	~20	6	-1285.002	3956.026	0.069
	21~30	161	148.518		
	31~40	227	-93.387		
	41~50	114	-279.055		
	51~60	42	431.248		
	61~	7	2671.024		
Perpetrators car	Large trucks	56	1608.594	3760.338	0.155
	Bus	10	1249.974		
	Small vans	55	-1206.227		
	Small Truck	47	1464.822		
	Car	292	-174.182		
	Motorcycle	12	-2151.744		
	Medium Truck	29	-790.538		
Taxi	56	-97.813			
Accident type	Pedestrian	2	2434.025	5188.438	0.116
	Head-on collision car alone	9	3843.244		
	Side contact	44	-1345.195		
	Trailing collision	49	-599.461		
		453	108.399		
1 car width	~ 3.25m	89	-494.052	606.712	0.038
	3.26~3.50m	289	112.660		
	3.50m ~	179	63.754		
Luminaire arrangement	Symmetrical arrangement	547	-50.470	2811.180	0.066
	Central arrangement	10	2760.710		
Cloudiness	Sunny(0-2)	190	-302.220	1048.800	0.071
	Mostly Cloudy(3-7)	75	25.563		
	Many Cloudy(6-7)	72	-600.107		
	Cloudy(8 to 10)	220	448.692		
NOx	~ 0.500ppm	22	-1287.074	2834.552	0.100
	0.501~1.000ppm	38	-617.472		
	1.001~1.500ppm	261	-233.933		
	1.501~2.000ppm	170	496.644		
	2.001~2.500ppm	40	-295.691		
	2.501ppm ~	26	1547.478		
Constant = 4582.388		correlation coefficient = 0.2360			

교통사고로 인한 경제적 손실을 종속변수로 하여 분석한 결과 다음의 Table 6과 같이 나타났다.

전체 예측모델은 중상관계수 값이 0.2360으로 낮은 상관력을 보이고 있는 바 이는 경제적 손실을 설명하는 영향요인들이 집단별로 나누어져 제 각각 영향을 작용시킴으로 인해 전체적으로 영향정도가 명확하게 드러나지 않는 것으로 추정된다(독립변수 전체를 투입할 경우 중상관계수 값은 0.3807로 높아짐). 따라서 중상관계수 값이 높은 모델을 얻기 위해서는 집단별로 세분화하여 예측모델을 구축하는 것이 보다 더 효과적인 것으로 판단된다.

### 5.3 터널 내 교통사고의 예측식

터널 내 교통사고에 있어 전체지점과 집단별로 구축한 예측모델을 7개 변수와 34개의 카테고리로 요약하여 다음의 Table 7에서 보는 바와 같이 예측식으로 나타내었다. 전체지점과 5개 집단 모두에 대해서 어떤 카테고리가 터널 내 교통사고에 영향을 주로 미치는지 개략적으로 살펴보면 연령에서는 20세 이하와 61세 이상이 가해차량은 각 카테고리별로 고르게 분포되어 있고 사고유형은 정면충돌과 후미추돌이 1차로 폭은 3.26~3.50m에서, 등기구 배열 방식은 중앙배열이, 운량은 흐림(8~10시)에서, NOx는 0.501~1.000ppm이 가장 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

## 6. 개선방향 및 대책

### 6.1 개선방향

교통사고는 일차적으로 운전자 즉 인적요인에 있지만 터널 내 교통사고는 기존도로의 교통사고와 비교해 볼 때 교통사고의 구성요인 중 인적, 차량적 요인보다는 도로환경적 요인이 우선적으로 고려되어야 할 것으로 판단된다. 이는 터널이 갖는 특성 중 터널에 진입 및 진출 할 때 운전자의 시각에 일어나는 복잡한 지각특성 변화 및 심리적 반응 등이 도로환경적 요인의 변화에 기인하기 때문이다.

따라서 터널 내 교통사고를 감소 및 예방하기 위한 기본적인 개선방향은 터널을 둘러싼 도로환경적 요인의 검토 및 개선에 초점을 맞출 필요가 있을 것이다.

### 6.2 항목별 대책

터널 내 교통사고의 감소 및 예방대책은 앞에서 분석한 예측모델 중 편상관계수의 절대값이 0.2(약한 상관) 이상인 항목(주성분) 중에서 도로환경적 요인이 포함된 변수를 체크하여 아래의 Table 8과 같이 각 집단별로 주요대상 터널, 도로환경적 요인, 검토항목을 기술하였고, Table 9에서는 Table 8에서 제시한 검토항목의 내용을 중심으로 해당되는 집단을 명시하고 이에 대한 문제점과 대책을 기술하였다.

Table 7. Prediction of Traffic Accidents in the Tunnel

Factors		Total	1group	2group	3group	4group	5group
Driver Age	~ 20	-1285.002	-3579.723	25708.550	774.025	-1566.827	3888.021
	21 ~ 30	148.518	530.503	-1121.441	-957.224	-37.199	-675.559
	31 ~ 40	-93.387	-173.587	701.813	633.431	130.984	-200.769
	41 ~ 50	-279.055	-1017.751	-826.203	4671.691	-433.751	2098.691
	51 ~ 60	431.248	753.372	-8879.752	-133.339	924.276	-8648.723
	61 ~	2671.024	5559.051	-8057.678	-6394.022	-	-
Perpetrators car	Large trucks	1608.594	605.730	54.839	-972.524	2333.415	495.069
	Bus	1249.974	4290.948	4206.514	-2199.246	-3412.664	2410.249
	Small vans	-1206.227	455.587	-8622.570	3567.514	-1387.347	1537.617
	Small Truck	1464.822	2759.463	6051.727	696.818	-217.698	-2293.003
	Car	-174.182	-246.229	-878.834	-963.638	-2.363	-32.750
	Motorcycle	-2151.744	-351.968	-2787.226	2607.420	9022.897	-927.914
	Medium Truck	-790.538	-2169.438	4679.876	1643.808	-641.430	-4372.547
	Taxi	-97.813	-530.951	2894.789	1787.816	-529.027	4573.206
Accident type	Pedestrian	2434.025	-	-	3773.436	-	-
	Head-on collision	3843.244	-2376.118	27728.010	-476.505	-	-
	car alone	-1345.195	-1434.075	-503.572	201.699	-1772.895	-2534.630
	Side contact	-599.461	-419.204	-6727.842	-2479.310	-969.845	856.789
	Trailing collision	108.399	124.397	329.064	-1045.352	65.034	517.625
1 car width	~ 3.25m	-494.052	-386.863	-9551.838	899.836	-1956.173	-855.804
	3.26 ~ 3.50m	112.660	115.184	3636.666	932.936	2725.846	1854.241
	3.50m ~	63.754	-540.955	8880.209	-1513.766	-40.591	-
Luminaire arrangement	Symmetrical arrangement	-50.470	10.777	234.868	-55.029	-64.766	-
	Central arrangement	2760.710	-1584.287	-3914.475	623.657	4857.435	-
Cloudiness	Sunny(0-2)	-302.220	-17.684	-40.269	-246.901	-336.683	1631.971
	Mostly Cloudy(3-7)	25.563	1867.875	2854.642	588.892	-776.158	-526.935
	Many Cloudy(6-7)	-600.107	399.110	-7003.888	-1214.360	48.622	-302.188
	Cloudy(8 to 10)	448.692	-667.234	903.217	763.047	467.826	30.811
NOx	~ 0.500ppm	-1287.074	-469.447	7018.704	-4723.835	-1740.205	1897.645
	0.501 ~ 1.000ppm	-617.472	-1374.195	35711.260	-310.548	8920.673	1114.682
	1.001 ~ 1.500ppm	-233.933	-81.557	2240.504	168.364	136.936	1732.195
	1.501 ~ 2.000ppm	496.644	690.263	6257.066	-186.337	-2527.950	416.311
	2.001 ~ 2.500ppm	-295.691	-1341.424	4182.375	5712.548	-537.400	-3618.311
	2.501ppm ~	1547.478	-1856.949	-6832.000	-	-	-
Constant		4582.388	3979.068	11932.690	3064.702	3908.750	1259.367

### 6.2.1 교통량 및 주행속도

현재의 도로계획 및 교통운영은 설계에 의거 도로가 완공만 되면 도로설계자의 의무는 종료되고 교통의 흐름에 미치는 영향은 교통기술자에 의해 연구 검토되고 있다. 즉 교통 흐름의 특성을 도로설계 시 반영하지 못함으로 인해 도로의 기능은 저하되고 교통체증과 교통사고를 초래하는 과정이 늘 반복되고 있는 것

이다.

터널의 경우 유입 및 유출부에서 기존도로와 접속하게 되는데 접속되는 도로에서 교통류의 처리가 적절하지 못하게 되면 이 현상은 터널 내 교통류에도 악영향을 미쳐 결국 터널 내 교통류가 불안정하게 되어 교통사고가 유발될 수 있는 것이다.

따라서 지형적 조건, 터널의 유입 및 유출부에 접속한 도로의

Table 8. The Main Target Group-Specific Tunnel, Road Environmental Factors, Review Items

Category	Target tunnel	Road environment factors	Review Item
1group	Mandeok 1, Busan	Traffic Volume	Suitable for traffic handling
2group	Daeti, Suyoung	Traffic Volume, running speed, one car wide, 2 car width, tunnel length, NOx, roughness	Suitable for traffic handling, trans-configuration (car width), the tunnel structure (tunnel length), ventilation, lighting
3group	Kwang-an, Mandeok 1	Traffic Volume, running speed, one car wide, 2 car width, tunnel length, alignment, NOx, luminaire arrangement	Suitable for traffic handling, trans-configuration (car width), the tunnel structure (tunnel length), linear road, ventilation, lighting
4group	Kwang-an	Traffic Volume, NOx, roughness	Suitable for traffic handling, ventilation, lighting
5group	Daeti	Traffic Volume, running speed, one car wide, 2 car width, tunnel length, NOx, roughness	Suitable for traffic handling, trans-configuration (car width), the tunnel structure (tunnel length), ventilation, lighting

Table 9. The Minimum width of the Drive According to the Design Speed

Design speed (km / h)	The minimum width of the car(m)
80 or more	3.50
Less than 60 to 80	3.25
Less than 60	3.00

구조 등에 따라 교통류의 상태가 달라지겠지만 터널에서의 교통류는 가능한 한 접속도로 특히 교차로와 같은 교통류의 영향을 가급적이면 적게 받을 수 있도록 검토되어야 할 것이다.

교통량이 500vphpl미만이거나 1,000vphpl 초과에서는 교통사고가 적은 반면 500~1,000vphpl 사이에서는 교통사고가 집중적으로 발생했으며, 주행속도는 50km/h 이하가 전체 교통사고의 90.8%를 차지한 것으로 나타났다. 이는 교통의 흐름이 정체가 가깝거나 어느 정도의 흐름에서는 사고의 발생빈도가 낮은 것으로 해석할 수 있을 것이다.

따라서 교통류(교통량, 주행속도)를 안정된 상태로 만들기 위해서는 도시고속도로의 경우 적절한 개수의 유입램프설계, 교통량의 분산을 도모할 수 있는 유출램프 설치, 톨게이트에서 서비스 대기시간을 최소화할 수 있는 방안 등이 마련되어야 할 것이며, 일반도로에서는 교통량 분산을 위한 우회도로 개설, 터널 유출부에서 교차로와 접속하게 될 경우 신호현시 최소화, P턴 실시, 좌회전을 위한 전용고가도로의 건설 등 교차로 운영을 보다 합리화할 수 있는 방안이 검토되어야 할 것으로 판단된다.

6.2.2 차로폭

차로의 폭은 차량의 추월 또는 주행에 대하여 충분한 여유를 갖추어야 한다. 그러나 너무 넓은 차로 폭을 사용하게 되면 차량이 차로를 일렬로 주행하지 않아 교통사고를 일으키는 원인 될 수

있다. 또 차로 폭은 도로의 횡단면 구성요소 중에 교통용량이나 쾌적성 등에 대해서도 가장 큰 영향을 미치는데 설계속도에 따른 차로 폭의 최소치는 아래의 Table 9과 같다.

최소 차로 폭은 차량의 통행에 필요한 최소한의 값으로써 바람직한 값은 아니기 때문에 터널의 경우 아래의 표를 참고하여 도로관리자의 판단에 따라 적절하게 최속 폭을 조정하여 운영하는 것이 바람직할 것이며, 본 연구에서는 1차로 폭이 3.50m를 초과하고 2차로 폭은 3.26~3.50m에서 사고의 발생 빈도가 낮은 것으로 나타났다. 이는 1차로의 경우 다른 차로에 비해 일반적으로 주행속도가 높고 운전석이 좌측에 있어 운전자가 터널 벽면에 대한 중압감 내지 심리적 영향을 받아서 이러한 결과가 나온 것으로 분석된다.

따라서 터널의 설계 시에는 1차로의 폭을 3.50m, 2차로의 폭은 3.26~3.50m로 설계함을 검토하고, 터널 벽체에는 페인트 또는 타일 같은 시설물의 설치와 노면 및 노측에는 시선유도시설인 표지병, 텔리네이트, 차선도색 등을 시설하여 운전자의 심리적 부담을 덜어야 할 것으로 판단된다.

6.2.3 평면선형 및 터널길이

도로의 선형은 자동차의 안전한 주행뿐만 아니라 주행의 쾌적성도 고려되어야 하는데 이러한 관점에서 도로의 평면선형은 자동차의 주행 궤적과 비슷한 직선, 원곡선 및 완화곡선으로 구성된다.

평면선형의 직선은 지형과의 관계에 유의하여 그 연장이 적당한 길이를 넘지 않는 범위에서 다음과 같은 구간에 적용할 수 있다.

- ① 평탄지 및 산과 산 사이에 존재하는 넓은 골짜기
- ② 시가지 또는 그 근교 지대로써 가로망 등이 직선적인 구성을 이루고 있는 지역
- ③ 장대교량 구간
- ④ 터널 구간

직선은 일반적으로 용통성이 적은 기하학적 형태로 평면적으로 부조화된 선형이 되기 쉬운 결점을 갖고 있고 지형의 변화에 대해 순응하기 어렵기 때문에 그 적용에는 자연히 제약을 받게 된다. 그리고 직선 구간이 긴 경우 운전자는 단조로운 운전에 권태를 느껴 주의력을 상실함으로써 결국 지각반응의 저하로 인한 교통사고가 발생할 수 있다.

반면 터널구간은 지형 및 경관과의 적응관계를 고려할 필요가 없으므로 시공시의 편의와 경제성을 우선적으로 고려하고 지질 등과의 관계에서 가능하다면 직선을 활용해야 할 것이다. 그러나 터널 내에서는 경관에 의해 거리를 쬐 수 없기 때문에 목적에 의한 차간거리를 오판하여 교통사고를 일으킬 가능성이 있으므로 이 점도 충분히 유지하지 않으면 안 된다.

본 연구에서는 터널길이가 500m 이하에서 상당수의 교통사고가 발생되었는데 이는 운전자가 터널에 진입하고 터널을 벗어가는 동안 운전자의 시각에는 명순응과 암순응에 필요한 시간과 함께 급격한 변화에 대한 적응능력을 터널 길이에 반비례하여 요구하고 있으며, 도로의 선형은 직선이 곡선에 비해 운전자가 심리적으로 해이해 질 수 있는 가능성이 높고 상기에서 살펴본 바와 같이 운전자가 차간거리를 정확하게 계산하지 못하여 발생한 결과로 해석된다.

따라서 이에 대한 대책은 가급적 구간이 짧은 터널의 설계는 지양하여 최소 500m 이상이 되도록 하고, 직선구간은 차간거리의 정확한 판단을 제고하기 위해 터널 입구에 '라이트를 켜시오' 등과 같은 안내표지를 설치해야 할 것으로 판단된다.

### 6.2.4 환기시설

자동차의 배기가스 중에는 일산화탄소, 이황산가스, 질소산화물, 알데히드, 납화합물 등 인체에 유해한 성분이 포함되어 있는데 특히 디젤엔진의 매연은 시거에도 영향을 준다. 이 중 질소산화물은 탄화수소 및 햇빛과 반응하여 광화학스모그를 발생시키는데 우리나라에서는 환경정책기본법 시행령 제3조에 환경기준 항목으로 설정하여 관리하고 있다. 터널 내에는 교통량과 터널길이에 따라 일정수준의 환기설비를 설치하게 되는데 비록 기계식 환기설비의 설치가 불필요한 것으로 예견되는 경우에도 장래교통량을 고려하여 환기설비를 여유 있게 설계하는 것이 바람직하다.

또한 터널의 종단경사도 터널 내 환기와 밀접한 관계가 있는데 기계식 환기시설이 필요한 장대터널에서는 자동차 매연량이 상향 종단경사 3% 부근에서 급격히 증가하는 경향이 있으므로 대형차의 매연발생 등 자동차의 배기가스를 고려하여 종단경사를 2% 이하로 하는 것이 바람직하다.

본 연구에서는 NOx가 1,000ppm 이상일 때 기하급수적으로 교통사고가 증가하는 경향을 보이는 바 비록 터널 안이지만 터널

입구와 출구 부근에서 형성된 스모그가 터널 내에 영향을 전혀 미치지 않았다고는 보기 힘들 것으로 추측된다.

따라서 대기오염 물질 중 질소산화물은 1,000ppm 이하로 관리할 필요가 있으며, 환기시설은 교통량, 터널길이 및 종단경사를 고려하여 적절한 설계를 해야 할 것으로 판단된다.

### 6.2.5 조명시설

터널에 설치하는 조명시설은 설계속도, 교통량, 야회회도, 선형 등을 고려하여 적절하게 계획함으로써 운전자가 터널에 유입 및 유출 또는 터널 내 주행 시 불편함을 느끼지 않도록 하여야 한다. 터널 조명은 입구부, 기본부, 출구부, 접속도로 및 비상조명으로 구성된다. 기본부 조명에서 노면의 휘도 분포를 양호하게 유지하는 것은 도로조명의 경우와 같이 매우 중요하다.

노면의 휘도분포를 양호하게 유지하기 위해서는 조명기구의 설치 높이를 높게 하는 것이 바람직하며 실용적으로 지장이 없는 휘도 분포를 얻기 위해서는 조명기구의 설치높이를 4.5m 이상으로 하는 것이 바람직하다.

본 연구에서는 기본부 조도가 높더라도 사고가 줄어들지 않는 현상을 보이고 있다. 따라서 에너지 소비 등을 감안한다면 기본부의 적정 조도는 전구교체 및 주기적인 청소를 통하여 60LX 수준에서 입구부 및 출구부 조도와 연계하여 관리하고 등기구의 배열방식, 설치높이, 설치간격 등은 휘도분포, 휘도균제도, 조명기구의 보수, 플리커 등을 고려해야 할 것으로 판단된다.

## 7. 결론

본 연구는 통계적 분석기법을 통하여 부산시내에서 운영 중인 11개 터널에서 발생한 교통사고 456건을 대상으로 교통사고의 발생특성, 유형화 및 예측모델을 구축하였는바 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

시간대별 교통사고 발생특성으로 터널 내 교통사고는 08~18시 사이가 전체의 64.9%를 차지하고 있어 기존도로의 45.8~46.1%에 비해 상당히 다른 양상을 보였다. 사고유형별 교통사고 발생특성으로 터널 내 교통사고는 차대차 사고가 대부분을 차지하고 있으며, 차량단독 사고는 기존도로에 비해 다소 높게 나타났다.

운전자의 연령층별 교통사고 발생특성으로 터널 내 교통사고는 기존도로에 비해 21~40세의 구성비가 높게 나타났다. 제1당사자 차종별 교통사고 발생특성으로 터널 내 교통사고는 화물차의 비중이 기존도로에 비해 다소 높게 나타났다.

운량별 교통사고 발생특성으로 터널 내 교통사고의 구성비는 날씨가 맑은 날을 제외하면 비가 오는 날이 흐린 날 보다 더욱 높은 수치를 보였다. 교통사고 영향요인에 대하여 주성분분석을

실시한 결과, 제1주성분은 도로, 터널구조 및 교통류 관련요인이, 제2주성분은 조명시설 및 도로구조 관련요인이, 제3주성분은 대기 상태 및 조명시설 관련요인이, 제4주성분은 인적 및 시계열 관련요인이, 제5주성분은 인적요인이, 제6주성분은 차량적 요인과 교통류 관련 요인이, 제7성분은 기상요인으로 대별되었다.

교통사고 발생지점에 대하여 유형화를 실시한 결과, 최적 집단수는 5개로 구분지어 졌으며, 터널별로 고유한 특성을 가지는 것으로 파악되었다. 집단별로 수량화이론 1류를 적용하여 분석한 결과, 1집단은 예측모델의 설명력이 낮은 반면 제4집단은 예측모델의 설명력이 중간정도, 제2, 제3, 제5집단은 높은 설명력을 가진 예측모델이 구축되었으며, 예측모델의 편상관계수 절대값이 0.2(약한 상관) 이상인 항목(주성분) 중에서 도로환경적 요인이 포함된 변수를 체크하여 분석한 결과, 주요 검토 항목은 적절한 교통류 처리, 횡단구성(차로폭), 터널구조(터널길이), 도로의 선형, 환기시설, 조명시설로 요약되었다.

주요 검토항목별 개선대책은 적절한 교통류 처리는 적정 유입램프수를 고려한 설계, 교통량의 분산을 도모할 수 있는 유출램프의 설치, 톨게이트에서의 서비스 대기시간 최소화, 교통량 분산을 위한 우회도로 개설, 터널 출구부에 위치한 교차로 운영의 합리화이고, 횡단구성 중 차로폭은 1차로 3.50m, 2차로 3.26~3.50m로 설계검토, 터널 벽체를 페인트 또는 타일 처리, 노면 및 노측에 시선유도시설인 표지병, 델리네이트, 차선도색 등을 시설하고, 평면 선형 및 터널길이는 터널입구에 ‘미등을 켜시오’ 등의 안내표지 설치, 터널길이는 최소 500m 이상으로 설계 검토하고, 환기시설은 NOx를 1,000ppm 이하로 관리, 교통량, 터널길이, 종단경사를 고려한 환기시설을 설치하며, 조명시설은 기본부 조도를 60LX 수준에서 입구부 및 출구부 조도와 연계하여 관리, 조명기구의 배광, 노면의 휘도분포, 플리커, 조명기구의 보수 등을 고려한 후 등기구 배열방식을 결정해야 할 것이다.

상기의 연구결과를 종합해 볼 때 기존에 건설되어 있는 수많은 터널의 유지관리와 개선 및 새로운 터널의 건설 시에는 기존 터널 구간에 대한 교통사고의 발생특성과 지점유형별 주요 영향요인에 대해 철저한 사전 검토가 필요할 것으로 판단된다. 특히 본 연구가 갖는 성과로는 터널 구간에서 교통사고 감소와 예방을 위한 세부적이고 구체적인 적용기준이 제시되지 못한 현실에서 볼 때 보다 과학적이고 체계적으로 수치화된 검토기준을 마련할 수 있었다는 점에 큰 의의를 둘 수 있을 것이다. 그러나 본 연구는 관련 기관의

조사된 자료에서 근본적으로 누락이 많아 근측 자료를 활용할 수밖에 없으므로 인해 완벽한 모델의 구축이 이루어지지 않았다는 점이 가장 큰 한계라고 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 영산대학교 연구비 지원을 받아 수행된 연구입니다.

## References

- AASHTO (1994). *A policy on geometric design of highways and streets* (American Society of State Highway and Transportation Officials).
- Bak, J.-H. (2012). *Development of traffic accident models in freeway tunnels*, Chonnam National University Master's Thesis (in Korean).
- Busan (2009~2013). *Traffic volume survey* (in Korean).
- Heo, M.-H. (1992). *Understanding of how to quantification, freedom academy* (in Korean).
- Kim, H.-G. and Lee, C.-U. (2004). "Domestic road traffic accident occurred in the tunnel." *Journal of the Korea Society of tunnels underground space* (in Korean).
- Kim, K.-Y. (1990). *SAS principal component analysis, Freedom Academy* (in Korean).
- Kim, S.-G. and Bak, J.-H. (2011). "Analysis of traffic accidents in highway tunnel." *Society of Civil Engineers*, Vol. 2011, No. 1 (in Korean).
- Ministry of Construction and Transportation (1996). *Korea lighting electrical installation engineers, design criteria for road tunnel lighting, agenda* (in Korean).
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2009). *Commentary on the road structures and facilities standards* (in Korean).
- No, H.-J. (1990). *Multivariate Analysis, Seokjung* (in Korean).
- Road Traffic Authority (2009~2013). *Traffic accident Analysis System Statistical Analysis (TAAS)*
- Seo, I.-K., Park, J.-J., Ahn, B.-H. and Lee, J.-Y. (2012). "A Study on the traffic accident characteristics analysis in expressway longitudinal tunnel using a logit model." *Society of Civil Engineers*, Vol. 32, No. 6 (in Korean).
- Sin, Y.-G. (1996). Highway geometry influence on the behavior of the driver structure, *Road Traffic Safety Association* (in Korean).
- The Korea Expressway Corporation (1990). *Road design guidelines* (in Korean).