

■ 論 文 ■

**교통량과 통행길이를 고려한 고속도로 교통사고 예측 연구**

Estimation of Freeway Traffic Accident Rate using Traffic Volume and Trip Length

**백 승 길**

(한국도로공사  
도로교통기술원 책임연구원)

**장 현 호**

(서울지방경찰청 교통개선기획실)

**강 정 규**

(한국도로공사  
도로교통기술원 연구위원)

목 차

- |                                      |                      |
|--------------------------------------|----------------------|
| I. 서론                                | 예측방법                 |
| II. 기존연구의 검토                         | IV. 사례분석             |
| 1. 도로 기하구조 조건                        | 1. 사례분석 노선 및 분석자료    |
| 2. 교통조건과 기후조건                        | 2. 교통사고와 통행행태 분석     |
| 3. 운전자 조건                            | 3. 사고율-교통량-PAR의 관계분석 |
| III. 통행길이분포와 잠재사고율을 고려한<br>교통사고 예측기법 | 4. 교통사고율 예측모형의 구축    |
| 1. 통행길이분포와 잠재사고율                     | V. 결론                |
| 2. 통행길이분포를 이용한 잠재사고율의                | 참고문헌                 |

Key Words : 고속도로 교통사고, 잠재사고비율(PAR), TLFD, 교통량, 심리적·생리적 운전상태

요 약

교통사고는 도로기하구조, 교통특성, 운전자 특성, 주변환경 등이 복합적인 상호작용을 통하여 발생하게 된다. 고속도로는 양호한 도로기하구조 조건을 가지고 있으나 고속주행 특성으로 인해 사고원인 중 부주의, 졸음, 과속 등 운전자의 인적요인(Human Factor)에 의한 사고비율이 매우 높다고 보고되고 있다. 그러나 고속도로 교통사고 추정에 대한 기존연구들은 주로 특정지점에서의 도로기하구조조건, 교통 및 환경조건들과 교통사고와의 관계를 설명하기 위한 모형의 개발에 초점을 두어왔으며, 운전자 조건을 고려한 교통사고 추정에 대한 연구는 지금까지 거의 수행되지 않았다. 따라서 기존 연구들은 도로와 교통조건이 양호한 구간에서의 높은 교통사고율을 설명하기 어렵다는 한계를 가지고 있다.

본 연구의 목적은 개별 기·종점 쌍간의 통행길이분포(Trip Length Frequency Distributions)를 이용하여 공간적 시간적으로 변화하는 운전자의 심리적·생리적 인적요인을 고려하여 보다 현실적으로 교통사고발생율을 예측하는데 있다. 이를 위해 사고분석변수로 구간교통량에 대한 사고위험교통량의 비율인 잠재사고비율(PAR: Potential Accident Ratio)이라는 새로운 개념을 제시하였으며, 서해안 고속도로에 대한 사례분석결과 PAR, 교통량과 교통사고는 서로 밀접한 관계를 갖는 것으로 분석되었다.

Road accidents are considered as the result of a complex interplay between road, vehicle, environments, and human factors. Little study, however, has been carried out on the attributes of human factor compared to the road geometric conditions and traffic conditions. The previous researches focused on mainly both traffic and geometric conditions on specific location. Therefore, it's hard to explain phenomenon of the high traffic accident rates where road and traffic conditions are good. Because of these reasons, accident analysis has contributed on geometric improvement and has not contributed on traffic management such as selection of attention section, driver napping alert, etc. The freeway incident management is also associated with reliable prediction of incident occurrences on freeway sections. This paper presents a method for estimating the effect of trip length on freeway accident rate. A PAR (Potential Accident Ratio), the new concept of accident analysis, considering TLFDs (Trip Length Frequency Distributions) is suggested in this paper. This approach can help to strengthen freeway management and to reduce the likelihood of accidents.

## I. 서론

교통사고는 도로기하구조, 교통특성, 운전자 특성, 주변환경 등의 복합적인 상호작용을 통하여 발생하게 된다. 2003년 우리나라 고속도로에서 발생한 교통사고는 총 3,638건으로서 사망자는 456명에 달했으며, 평균 1건당 0.125명의 사망자를 기록하였다.

고속도로 교통사고예측에 대한 기존연구들은 주로 특정지점에서의 도로 기하구조 조건, 교통 및 환경조건들과 교통사고와의 관계를 설명하기 위한 모형의 개발에 초점을 두어왔다. 예를 들어, 기존연구에서는 교통사고율에 영향을 미치는 변수로 토지이용, 교통량, 날씨, 도로선형 등을 이용하였다. 그러나 고속도로는 최상급도로로서 국도, 도시도로 등에 비하여 양호한 도로 기하구조 조건을 가지고 있기 때문에 사고요인중 부주의, 졸음, 과속 등 운전자의 인적요인(Human Factor) 등의 비율이 약 80%에 이르는 것으로 보고되고 있다(한국도로공사, 2003). 따라서 인적요인에 의한 고속도로 교통사고 비율이 매우 높기 때문에 기존의 모형들은 교통사고 발생을 설명하기에는 한계를 가지고 있다.

도로기하구조나 교통조건이 교통사고에 미치는 영향에 대한 연구에 비하여 운전자의 심리적·신체적 상태를 고려한 연구는 거의 수행되지 않았다. 본 연구에서 고려하고자 하는 교통사고의 인적요인은 통행길이에 따른 운전자의 운전능력 저하이다. 차량운전은 단조로운 동작의 반복적 과정이기 때문에 2시간 이상의 운전작업을 수행하였을 경우 부주의한 상태나 졸음상태에서 운전을 수행할 확률은 매우 높아진다. 이러한 인적요인에 의한 연구를 수행하기 위해서는 보다 상세한 교통사고자료의 수집·가공에 많은 시간이 요구되는데, 우리나라 고속도로의 경우 한국도로공사의 TCS(Toll Collection System)를 이용하면 TG간의 기종점 통행(OD, Origin and Destination Trip)의 획득이 가능하다.

본 연구의 목적은 OD통행자료가 포함하고 있는 개별 기·종점 쌍간의 통행길이분포(Trip Length Frequency Distributions, 이하 TLFD)를 이용하여 시공간적으로 변화하는 운전자의 심리적·신체적 인적요인을 고려함으로써 보다 현실적으로 교통사고를 분석하는 것이다. OD통행자료의 TLFD를 적용하기 위하여 기존의 교통사고분석에서 이용되었던 지점분석(Point

Analysis)을 링크 또는 고속도로 IC/JC간 구간인 중시적(Meso-scopie) 차원의 분석으로 확장하였으며, 사고분석변수로 구간교통량에 대한 사고위험교통량의 비율인 잠재사고비율(Potential Accident Ratio, 이하 PAR)이라는 새로운 개념을 제시하였다.

본 연구의 구성은 2장에서 교통사고예측과 관련된 기존연구를 살펴보고 3장에서 통행길이분포와 잠재사고율을 고려한 교통사고 예측기법을 제시하였다. 4장에서는 제시한 기법을 적용한 사례분석을 하였으며, 5장에서 연구요약과 연구의 성과, 향후연구에 대해 기술하였다.

## II. 기존연구의 검토

고속도로 교통사고에 영향을 주는 주요인자는 다음과 같이 운전자 및 차량조건, 교통조건, 도로 및 환경조건으로 크게 구분할 수 있다. 이러한 사고영향 조건에 대한 분류에 따라 각 조건들에 대한 기존 연구를 검토하였다.

〈표 1〉 교통사고 영향 주요조건

사고영향 조건	세부조건
도로기하구조 조건	- 평면선형 - 종단선형 - 구배
교통조건 및 환경조건	- 교통량, 속도 등 - 기후조건 : 눈, 비, 안개, 기온 - 토지이용조건
운전자 및 차량조건	- 성별, 나이 - 운전이력, 사고이력 - 차종 및 운행이력

### 1. 도로 기하구조 조건

도로 기하구조조건에 초점을 둔 도로설계와 위험지점의 제거를 목표로 하는 연구로, 교통안전에 영향을 주는 설계요소로는 횡단구배, 종단구배, 차로폭 등이 연구되어왔다. 강정규(1985)는 종단구배가 6% 이상이면 사고율이 급격히 증가하는 것으로 분석하였다. 강정규와 이성관(2002)은 곡선반경, 곡선장, 직선도로구간의 길이 등이 고속도로 사고에 영향을 주는 것으로 분석하였다. 공선희(2002)는 호남고속도로에 대한 도로기하구조(유출입지점여부, 종단구배, 편구배, 곡률)

와 교통량을 이용하여 사고모형을 개발하고 이를 기존 모형들과 비교 평가하였으며, 곡률을 제외한 변수들이 사고율과 강한 비선형적 상관관계를 갖는 것으로 분석하였다.

## 2. 교통조건과 기후조건

교통조건과 사고율간의 관계에 대한 연구로 오철 등(1999)은 신갈-안산 고속도로를 대상으로 기본구간, 터널구간, 영업소구간의 V/C(Volume/capacity)와 사고율과의 관계를 비교분석하였으며, 모든 구간에서 V/C와 사고율과의 관계가 U형의 곡선형태를 나타냄을 보였다. Ivan(2004)은 교통량과 사고율은 선형적인 관계가 아닌 상당히 복잡한 비선형 관계가 도출되는 것으로 분석하였다.

이용택 등(2000)은 중부고속도로를 대상으로 계절성 유무검증과 계절성 인자의 요인분석을 제시하였다. 이를 위해 자가조직지도와 사고지표(월평균사고율과 월평균 대물피해환산치) 분석을 통해 고속도로 교통사고의 계절성이 존재하는 것으로 제시하였으며, 계절군집별로 회귀모형식을 개발하여 계절별 유발인자(교통량, 안개, 결빙일수, 강설량, 강우량)와 계절군집의 사고가 매우 밀접한 관계를 가지고 있음을 보였다. Kondri 등(2003)은 교통량과 화물차구성, 기상 등의 함수로 구성된 교통사고 예측모형을 개발하였으며, 교통량은 사고와 비선형적 관계임을 제시하였다.

## 3. 운전자 조건

Kim 등(2001)은 사고자료와 보험청구기록을 이용하여 운전자피로와 관련된 교통사고를 분석하였다. 분석결과 피로관련 교통사고와 운전자 특성간에는 명확한 시공간적 특성이 있음을 보였다. Lord(2002)는 교통량이 증가함에 따라 사고를 일으킬 수 있는 운전자의 위험성은 감소한다는 연구결과를 제시한 바 있다.

대부분의 기존 연구들은 도로기하구조나 교통조건에 초점을 두어왔으며, 고속도로에서의 교통사고 대책도 대부분 사고다발지점에 대한 도로기하구조, 표지판 등의 개선에 중점을 두어왔다. 이로인해 도로 및 교통조건이 양호한 구간에서 발생하는 교통사고율을 설명하기 어려웠다. 또한 노선별 통행특성과 그에 따른 운전자 특성을 고려하지 않음으로써 종합적인 교통사고 분석이

이루어지지 않으며, 교통사고분석결과가 교통관리차원에서의 대응방안에 활용되지 않았다.

교통사고분석에 대한 접근기법은 교통공학, 교통계획, 인간공학적인 기법으로 구분할 수 있다. 교통공학적인 접근은 도로 기하구조, 교통량 등과 교통사고와의 관계분석에 초점을 두며, 교통계획적인 접근은 통행길이, 도로망 특성 등과 교통사고와의 관계분석에 초점을 두는 것이라 할 수 있다. 인간공학적인 접근은 각성수준, 심리행태특성과 교통사고와의 관계분석에 초점을 두는 것이라 할 수 있다.

본 연구는 그동안 연구가 적었던 교통계획과 인간공학적인 측면에서의 교통사고 분석을 시도하였다. 즉, 기종점 통행길이, 교통량 중 기종점 통행량 비율 등 고속도로 통행특성 등을 고려하여 고속도로 교통사고를 분석하였다. 이를 통해 교통사고 분석 및 사고다발지점의 관리를 향상시키고, 돌발상황 집중관리대상 구간 및 대응 등 교통관리차원에서의 대응책을 지원할 수 있을 것으로 판단된다.

## III. 통행길이분포와 잠재사고율을 고려한 교통사고 예측기법

### 1. 통행길이분포와 잠재사고율

인간이 일정한 작업에 집중할 수 있는 평균시간은 생리학적으로(Physiological) 2시간 정도이며, 차량운전과 같은 친숙하고 반복되는 작업과 같은 단조로운 작업환경은 피로하고 졸리는 경향이 있다(심관보 등, 1998). 고속도로상에서 2시간 이상의 운전행위는 정신적·신체적 피로감을 야기하며, 고속도로는 도시가 도로, 국도 등보다 단조로운 기하구조와 상대적으로 변화가 적은 주위환경을 가지고 있기 때문에, 부주의한 운전으로 인한 사고발생확률은 높아지게 된다.

졸음(Sleepiness or Drowsiness)과 피로(fatigue)는 다소 차이를 보인다. 졸음은 잠에 빠지는 상태로 정의되며, 생리적 피로는 작업수행능력의 감소로 정의된다. 그러나 교통사고의 경우 졸음과 피로는 도로, 교통, 주위 환경에 대한 운전자의 집중력의 감소가 주된 원인이 되기 때문에, 교통사고에 있어서는 졸음과 피로의 결과는 유사하다(Kim and Yamashita, 2001). 따라서 본 연구에서는 이러한 상태를 부주의한 운전상태로 정의한다.

통행특성을 고려한 사고위험지역을 운전자들에게 미리 알리는 것은 위험에 노출된 정도가 크더라도 위험이 지속적이고 운전자가 정보를 알고 있을 때 사고율이 줄어든다는 불예측법칙(the law of the unpredictable)(Elvic, 1989)에 이론적 근거를 두고 있다(이용택 등, 2000).

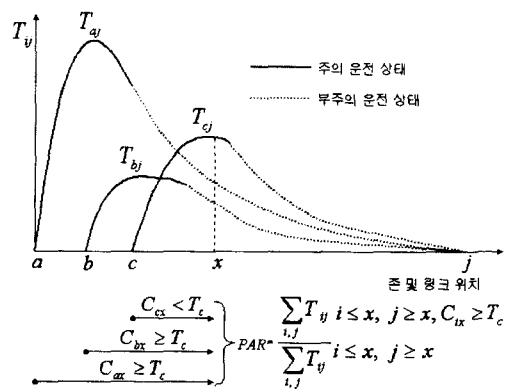
일반적으로 교통량이 증가함에 따라 사고율도 단순 증가할 것으로 판단하기 쉬우나, 기존 연구들에 의하면 교통량과 사고율의 상관관계는 단순하지 않다. 본 연구에서는 통행특성 분석을 통해 통행의 시공간적 위치특성에 따라 사고율이 영향을 받을 수 있음을 분석하고자 한다.

개인적인 차이는 있지만 운전시간이 증가할수록 운전 에 대한 집중력은 감소된다. 일반적으로 운전자는 생리적 운전시간의 임계치인 임계통행시간(Threshold,  $T_c$ )에 도달하면 부주의한 운전을 수행한다. 따라서 본 연구에서 임계치는 주의운전(Cautious Driving)과 부주의 운전(Careless Driving) 상태를 구분하는 경계값으로  $T_c$ 을 이용하며,  $T_c$ 는 부주의한 운전이 시작되는 운전 시간 또는 통행시간(분)으로 정의한다. 시·공간적으로 변화하는 부주의한 운전상태를 직접 분석하기는 매우 어렵기 때문에, 본 연구에서는 이와 관련된 변수로 통행길이(Trip Length)를 이용하였다. 통행길이는 TLFD로 표현되며, TLFD는 OD통행에서 도출할 수 있다. 또한 운전자들의 사고위험확률을 나타내기 위해 잠재사고율(PAR : Potential Accident Ratio)이라는 개념을 제시하였다. PAR는 도로의 특정지점이나 구간에서 전체 교통량에 대한 부주의한 운전자의 비율이다.

〈그림 1〉은 존  $a, b, c$ 에서 존  $j$ 의 방향으로 고속도로를 일방향 축으로 표현하고 있다. 지점  $x$ 에서 TLFD와  $T_c$ 을 이용하여 PAR를 예측하는 개념을 보여주고 있으며, PAR산정 개념을 설명하기 위하여 출발지 존( $i$ )에서 도착지 존( $j$ )의 존쌍집합( $T_{ij}$ ) 중에서  $T_{ai}$ ,  $T_{bj}$ ,  $T_{cj}$ 만을 고려하고, 존  $a, b, c$ 에서 지점( $x$ )까지의 통행시간을  $C_{ax}$ ,  $C_{bx}$ ,  $C_{cx}$ 라 정의한다. 지점  $x$ 를 통과하는 통행량은 식(1)로 산정된다.

$$PT_n(x) = \sum_{i,j} T_{ij} \quad \forall i, j, \text{ and } i \leq x, j \geq x \quad (1)$$

존( $i$ )에서 지점  $x$ 에 도착하는데 소요된 통행시간



〈그림 73〉 TLFD를 이용한 PAR의 산정 개념

( $C_{ix}$ )이  $T_c$ 보다 크면 운전자는 부주의한 운전상태로 지점  $x$ 를 통과하게 된다. 따라서 지점  $x$ 를 통과하는 부주의한 운전상태의 통행량은 식(2)과 같이 산정된다.

$$PT_{ct}(x) = \sum_{i,j} T_{ij} \quad \forall i, j, \text{ and } i \leq x, j \geq x, C_{ix} \geq T_c \quad (2)$$

따라서 지점  $x$ 에서 교통량에 대한 사고위험교통량의 비율인 PAR(잠재사고비율)는 전체 통행량에 대한 부주의한 운전상태로 통과하는 통행량의 비율로 다음과 같이 산정된다.

$$PAR(x) = PT_n(x)/PT_{ct}(x) \quad (3)$$

## 2. 통행길이분포를 이용한 잠재사고율의 예측기법

본 연구는 고속도로를 대상으로 하고 TG(Toll Gate)간 OD 교통량을 이용하기 때문에 TG를 존으로 정의한다. TG 주변의 교통상황, 토지이용, 사회경제적 활동체계의 다양성으로 인하여 TG 접근시간은 다양하며, 개별 운전자들의 운전경력, 생리적 상태 등의 차이로 인하여 운전자의 임계통행시간( $T_c$ ) 또한 다양하기 때문에 단일 값으로 접근시간 및  $T_c$ 을 표현하기는 비현실적이다. 그리고 시·공간적 변화로 인하여 접근시간비용분포는 TG별로 다르게 나타날 것이며,  $T_c$ 분포 또한 정확한 분포를 정의하기는 어려운 일이다. 따라서 접근시간과  $T_c$ 의 다양성을 고려하기 위하여 접근시간과  $T_c$ 을 표준편차  $\delta = M(\text{평균})/4$ 인 정규분포(Normal Distribution)로

가정한다. 따라서  $-3\delta \sim +3\delta$ 구간의 확률은 약 0.998, 그리고  $-4\delta \sim -3\delta, +3\delta \sim +4\delta$ 구간의 확률은 각각 약 0.001이다.  $-4\delta$ 은 접근시간분포의 경우 고속도로 TG까지  $\delta$ 구간만큼 최소한의 접근시간을 고려하는 것이며,  $T_c$ 분포의 경우  $\delta$ 구간만큼 최소한의 주의 운전상태를 담보하기 위한 것이다.

접근시간분포 및  $T_c$ 분포를 적용하기 위해서는 확률 밀도함수를 이용하여야 한다. 그러나 프로그래머언어를 이용하여 PAR를 산정하기 위해서 본 연구에서는 접근 시간분포는 연속적인 구간을  $n$ 개의 구간으로 세분화한 다음 확률밀도함수를 이용하여 구간확률을 계산하여 적용하도록 하며,  $T_c$ 분포는 확률밀도함수를 이용한다.

PAR의 예측을 위하여 다음과 같이 변수를 정의한다.

- $Z(x)$  : 존  $(i)$ 의 집합,  $Z(i) \in Z$
- $T_{ij}$  :  $Z(i)$ 에서  $Z(j)$ 의 통행량(대/일)  $\forall i, j$
- $L_x$  : 링크  $(x)$ 의 집합,  $L_x \in L$
- $P_{ij}$  :  $Z(i)$ 에서  $Z(j)$ 의  $m$ 개의 링크로 구성된 경로집합,  $P_{ij} = \{L_1, \dots, L_m\} \forall i, j \ i \neq j$
- $D_a(i)$  : 평균  $M_a(i)$ , 표준편차  $\delta_a(i)$ 을 가지는  $Z(i)$ 의 접근시간분포
- $\alpha(i)$  : 평균  $M_a(i)$ , 표준편차  $\delta_a(i)$ 을 가지는  $Z(i)$  접근시간분포의 확률구간길이(분)  
 $\alpha(i) = \delta_a(i)/n \quad n = \{1, 2, \dots\}, \forall i$
- $N(i)$  :  $Z(i)$  접근시간분포의 확률구간의 개수  
 $N(i) = 2 \times M_a(i) / \alpha(i) \quad \forall i$
- $C_a(i, r)$  :  $Z(i)$  접근시간분포의  $r$ 번째 접근시간(분).  $M_a(i)$ 와  $\delta_a(i)$ 의 값에 따라 접근시간이  $C_a(i, r) < 0$ 인 경우가 발생할 수 있으므로  $C_a(i, r) < 0$  구간의  $r$ 을 0으로 적용함.  
 $C_a(i, r) = r \times \alpha(i) \quad C_a(i, r) \geq 0,$   
 $r \in \{0, 1, 2, \dots, N(i) - 1\}, \forall i, r$
- $P(C_a(i, r))$  :  $Z(i)$  접근시간분포의  $r$ 번째 접근시간인  $C_a(i, r)$ 의 확률.  $P(C_a(i, r))$ 은 구간확률이며 확률구간은  $r$ 과  $r + \alpha(i)$ 로 정의되며, 다음과 같이 계산됨.  
 $P(C_a(i, r)) = P(C_a(i, r) \leq X \leq C_a(i, r + \alpha(i)))$   
 $\forall i, r$

$F_{ad}(i)$  :  $C_a(i, r) < 0$ 인 경우와  $Z(i)$ 의 확률구간에서  $\sum_r P(C_a(i, r)) \neq 1.0$ 인 경우가 발생할 수 있다. 따라서  $Z(i)$  접근시간분포의  $r$ 번째 접근시간의 구간확률  $P(C_a(i, r))$  보정값  $F_{ad}(i)$ 을 다음과 같이 적용함.

$$F_{ad}(i) = 1.0 / \sum_r P(C_a(i, r))$$

$$C_a(i, r) \geq 0, \forall i, r$$

$C_l(x)$  :  $L_x$ 의 통행시간비용(min)

$C_m(i, x)$  :  $Z(i)$ 에서 링크  $L_x$ 까지 통행시간비용(TTC, min)  $C_m(i, x) = \sum_{k=i}^x C_l(k)$

$C_l(i, r, x)$  : 접근시간분포의  $r$ 번째 접근시간  $C_a(i, r)$ 을 포함하는  $Z(i)$ 에서 링크  $L_x$ 까지 총 통행시간비용(TTTC, min).  $C_l(x)$ 는  $T_{ij}(x)$ 와 BPR함수를 이용하여 산정하거나 실측통행시간을 이용할 수 있을 것임.

$$C_l(i, r, x) = C_a(i, r) + C_m(i, x) \quad \forall i, r, x$$

$T_c$  : 부주의한 운전이 시작되는 임계치(분),  $T_c = 120$ 분으로 가정.

$D_t$  : 평균  $M_t = T_c$ , 표준편차  $\delta_t$ 을 가지는  $T_c$ 분포

$T_{ij}(x, C_l(i, r, x))$  :  $L_x$ 을 통과하는  $Z(i)$ 에서  $Z(j)$ 의 부주의한 운전 통행량.  $C_l(i, r, x)$ 는  $T_c$ 분포의  $C_l(i, r, x)$ 에서 다음과 같은  $P(C_l(i, r, x))$ 의 확률을 가짐.

$$P(C_l(i, r, x)) = P(0 \leq X \leq C_l(i, r, x))$$

$$\forall i, r, x$$

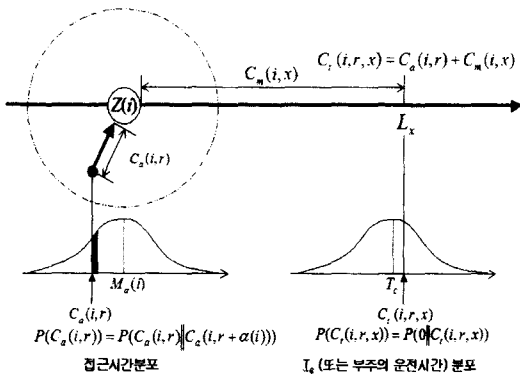
$T_{ij}(x)$  :  $L_x$ 을 통과하는  $Z(i)$ 에서  $Z(j)$ 의 통행량(대/일)  $L_x \in P_{ij}$

$R_{par}(x)$  :  $L_x$ 의 PAR(잠재사고비용)

링크  $L_x$ 의 통행량( $T_{ij}(x)$ )은 주어진  $T_{ij}, P_{ij}$ 을 이용하여 다음과 같이 산정된다.

$$T_{ij}(x) = \sum_r \sum_j T_{ij} \quad L_x \in P_{ij}, \forall i, j, x \quad (4)$$

<그림 2>는 접근시간 분포의 확률과 고속도로 링크 통행시간을 고려한 존에서 링크  $L_x$ 까지 통행시간과  $L_x$ 에서  $T_c$ 분포의 확률을 적용한  $T_c$ 의 적용과정을 보여주고 있다.  $Z(i)$ 의  $D_a(i)$  중  $r$ 번째 접근시간( $C_a(i, r)$ )인



〈그림 2〉 접근시간분포와  $T_c$ 분포를 이용한 PAR 예측과정

차량이  $Z(i)$ 을 출발하여 링크  $L_x$ 에 도착하는데 소요되는 총 주행시간 ( $C_i(i, r, x)$ )은 접근시간 ( $C_a(i, r)$ )과 본선 주행시간 ( $C_m(i, x)$ )의 합으로 다음과 같이 계산된다.

$$C_i(i, r, x) = C_a(i, r) + C_m(i, x) \quad (5)$$

이때 링크  $L_x$ 에서 차량의 대수는  $r$ 번째 접근시간 ( $C_a(i, r)$ )의 구간확률과  $T_{ij}(x)$ 을 이용하여 다음과 같이 계산된다.

$$T_{ij} \cdot P(C_a(i, r)) \quad (6)$$

링크  $L_x$ 을 경유하는 차량 중 부주의한 운전상태로 주행하는 차량의 대수는  $T_c$ 분포의  $P(C_i(i, r, x))$ 만큼의 확률이므로 다음과 같이 계산된다.

$$T_{ij} \cdot P(C_a(i, r)) \cdot P(C_i(i, r, x)) \quad (7)$$

따라서 링크  $L_x$ 을 통과하는 부주의한 운전상태의 통행 ( $T_{ij}(x, C_i(i, r, x))$ )은  $F_{ad}(i)$ 을 고려하면서 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} T_{ij}(x, C_i(i, r, x)) &= \sum_j \sum_r \sum_x T_{ij} \cdot P(C_a(i, r)) \cdot F_{ad}(i) \cdot P(C_i(i, r, x)) \\ L_x &\in P_{ij} \quad \forall i, j, r, x \end{aligned} \quad (8)$$

PAR ( $R_{par}(x)$ )는 링크  $L_x$ 를 통과하는 전체 통행량

( $T_{ij}(x)$ )에 대한 부주의한 운전상태로 통과하는 통행량 ( $T_{ij}(x, C_i(i, r, x))$ )의 비율이므로 다음과 같이 산정된다.

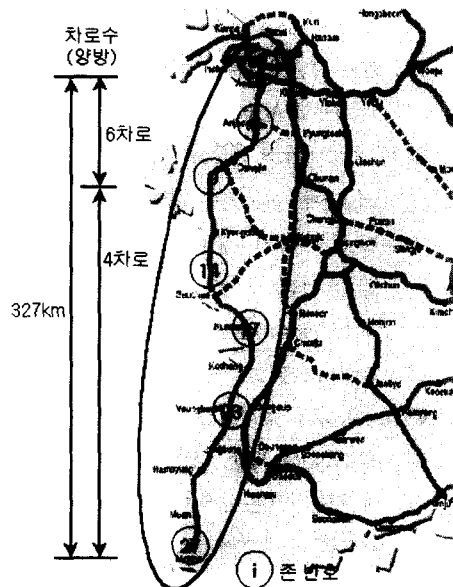
$$R_{par}(x) = T_{ij}(x, C_i(i, r, x)) / T_{ij}(x) \quad \forall x \quad (9)$$

## IV. 사례분석

### 1. 사례분석 노선 및 분석자료

사례분석 노선은 〈그림 3〉과 같이 서울과 목포를 연결하는 서해안 고속도로로서 총 연장은 327km이고, 설계속도는 120kph이다. 사례분석 노선의 톨게이트는 27개, 링크는 26개로 구성되며, 존  $Z(i)$ 와 존  $Z(i+1)$ 을 연결하는 링크는  $L(i)$ 로 구성된다.

분석을 위한 변수는 사고율(AR, 사고건수/백만대·km), 구간교통량(대/일/차로), PAR를 이용하였다. 교통사고 관련자료는 2002-2003년 2개년도의 한국도로공사의 교통사고발생 속보현황자료를 이용하였다. 속보현황자료는 교통사고정보(발생지점 및 일시, 사고유형, 사고원인, 사상자수 등)뿐만 아니라, 도로조건(노면상태, 구배 등), 교통조건(기상, 일광 등)정보가 포함되어 있다. 차량 OD는 TCS(Toll collection system)에서 획득한 자료를 이용하였으며, 링크통행시간(분)은 〈표 2〉과 같은 BPR합수를 이용하였다.



〈그림 3〉 사례분석 대상 고속도로 노선

〈표 2〉 링크통행비용 산정함수

차로	BPR 모형
2	$60 \cdot D / 117.0 \cdot (1 + 0.645 \cdot (AADT / (2200 / 0.78 \cdot 2))^{2.047})$
3	$60 \cdot D / 118.6 \cdot (1 + 0.601 \cdot (AADT / (2200 / 0.78 \cdot 3))^{2.378})$

D : 도로구간 거리(km)  
 자료: 한국도로공사(1998)

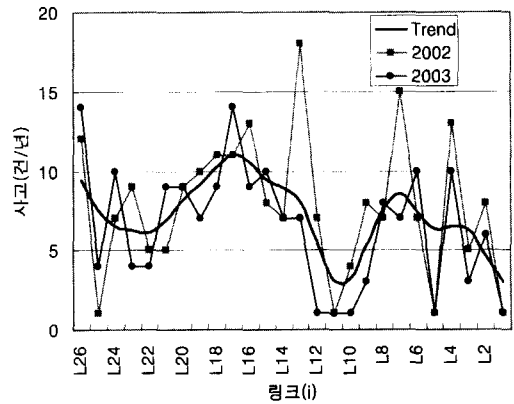
본 연구는 PAR의 개념을 도입하고 산정하는 방법론의 소개를 목적으로 하고 있고 현실적으로 TG접근시간은 TG 접근도로의 시간적 교통상황변동, TG 주변의 토지이용형태의 다양성 등으로 측정하기 어려운 한계가 있기 때문에, 고속도로 TG간 거리를 고려하여 (대)도 시권은 40분, 지방부는 30분으로 가정하였다.

2. 교통사고와 통행형태 분석

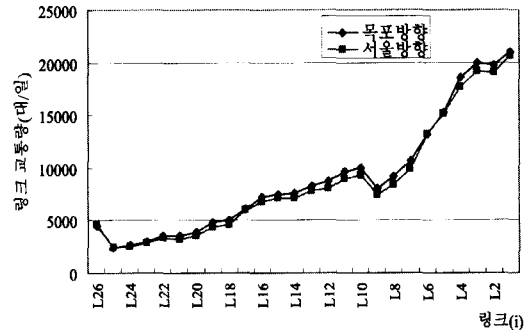
〈표 3〉은 교통사고와 통행형태 분석에 이용된 구간별 교통량, 사고건수, 사고율(AR), PAR를 나타낸다.

〈표 3〉 분석에 이용된 자료 (목포방향, 2002년)

링크	거리 (km)	차로	교통량 (대/일)	사고건수 (건/년)	사고율 (AR)	PAR
1	1.2	3	20,997	1	0.11	0.09
2	8.9	3	19,756	8	0.12	0.07
3	4.1	3	19,914	5	0.17	0.08
4	13.6	3	18,544	13	0.14	0.10
5	7.1	3	15,277	1	0.03	0.12
6	7.2	3	13,229	7	0.20	0.14
7	12.3	3	10,614	15	0.31	0.16
8	8	3	9,118	7	0.26	0.19
9	16	2	8,084	8	0.17	0.23
10	10.7	2	9,968	4	0.10	0.27
11	13.7	2	9,595	1	0.02	0.30
12	10.8	2	8,663	7	0.20	0.32
13	19.7	2	8,288	18	0.30	0.39
14	20.7	2	7,561	7	0.12	0.44
15	12	2	7,491	8	0.24	0.47
16	15.2	2	7,177	13	0.33	0.51
17	8.4	2	6,134	11	0.58	0.53
18	12.5	2	5,031	11	0.48	0.48
19	14	2	4,790	10	0.41	0.49
20	16.1	2	3,898	9	0.39	0.52
21	9.9	2	3,542	5	0.39	0.53
22	7.9	2	3,591	5	0.48	0.50
23	18.9	2	2,995	9	0.44	0.52
24	24.3	2	2,586	7	0.31	0.54
25	10.3	2	2,399	1	0.11	0.51
26	23.5	2	4,520	12	0.31	0.26



〈그림 4〉 연도별 링크별 교통사고 빈도수

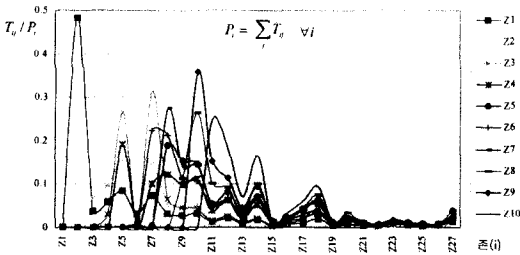


〈그림 5〉 링크 교통량(2002년)

〈그림 4〉와 같이 서해안 고속도로의 공간에 따른 교통사고 패턴은 연도별로 사고건수의 차이는 있지만 전반적으로 유사하게 나타났다.

〈그림 5〉는 2002년 방향별 교통량으로, 링크교통량은 유사하며 이점이 증가할수록 교통량이 급격하게 감소하는 것을 나타낸다. 〈그림 4〉과 〈그림 5〉의 관계에서 교통량이 증가할수록 사고건수는 상대적으로 감소하고 교통량이 감소할수록 사고건수는 상대적으로 증가한다는 것을 알 수 있다. 또한 〈그림 4〉의 교통사고빈도와 〈그림 5〉의 링크교통량 패턴에서 교통량과 교통사고율의 관계를 직접적으로 파악하기 어렵다는 것을 알 수 있다.

〈그림 6〉는 출발존 (i), (i) ∈ {1, ..., 10}에서 존(j), (j) ∈ {1, ..., 27}로의 통행길이분포(TLFD)를 나타낸다. TLFD는 존간 사회경제적인 활동관계를 반영하며, 일반적으로 고속도로의 TLFD는 도시부 네트워크의 TLFD보다 길다.



〈그림 6〉 통행길이분포(TLFDs) (2002년)

3. 사고율-교통량-PAR의 관계분석

본 연구의 목적은 고속도로 네트워크 수준의 교통사고 분석을 위한 구간별 교통사고예측모형을 개발하는 것이기 때문에, 교통사고예측을 위한 MOE로서 다음과 같은 교통사고율(AR, Accident Rate)을 이용하도록 한다.

$$AR(i) = \frac{\text{백만} \times N(i)}{365 \times AADT(i) \times D(i)}$$

여기서,

AR(i) : 링크(i)의 백만대·km당 사고건수(건/백만대·km)

N(i) : 링크(i)의 교통사고건수(건/년)

AADT(i) : 링크(i)의 연평균 일 교통량(대/일)

D(i) : 링크(i)의 길이(km)

〈그림 7〉에서 교통량에 대한 사고율의 관계를 U형의 비 선형적인 관계로 보여주고 있으며, 이는 기존연구와 유사한 결과를 보이고 있다.

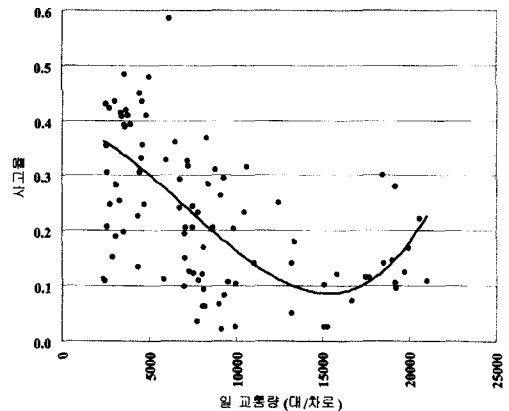
〈그림 8〉은 분석대상 구간의 교통량-AR-PAR의 관계를 링크별로 보여주고 있으며, 교통량이 낮은 구간의 AR과 PAR는 높게 나타나고 있으며, 교통량이 높은 구간의 AR과 PAR는 낮게 나타나고 있다. 변수들간의 상관관계는 교통량-AR의 상관관계(-0.73)보다 교통량-PAR의 상관관계(-0.88)가 더 밀접하게 나타나고 있으며, PAR와 AR의 상관관계는 0.81로 높게 나타났다. 〈그림 9〉는 교통량에 대한 PAR와 AR의 관계를 보여주고 있으며, 다음과 같은 관계를 가지는 것으로 분석되었다.

첫째, 교통량이 적으면 PAR와 AR은 상대적으로 높으며, PAR는 AR보다 높게 나타난다.

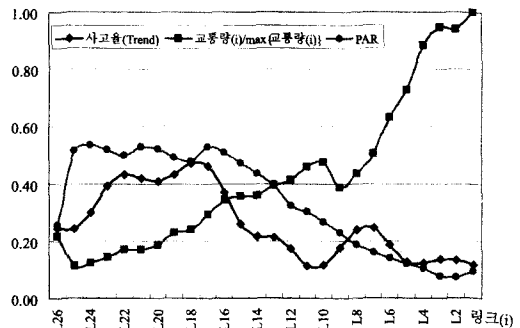
둘째, 교통량이 보통이면 일정시점에서 PAR와 AR의 관계는 역전된다.

셋째, 교통량이 많으면 PAR와 AR은 상대적으로 낮으며, PAR는 AR보다 낮게 나타난다.

첫 번째 관계는 부주의한 운전자비율이 높는데 비하여 교통량이 적어 차량간 상호작용(Interaction)이 낮아지기 때문에 사고율은 증가한다는 것을 나타낸다. 두 번째 관계는 비록 부주의한 운전자의 비율은 높지만 교통량의 증가에 따라 차량간 상호작용이 증가함으로 인해 부주의한 운전자들이 주의를 기울이기 때문이며, 세 번째 관계는 교통량이 많기 때문에 차량간 상호작용이 높아 충분히 부주의한 운전자에게 주의를 기울이게 하기 때문으로 파악된다. 본 연구의 도출된 관계에서 지역간 고속도로 교통사고율의 분석에는 교통량과 PAR를 동시에 고려하여야 한다고 할 수 있다.

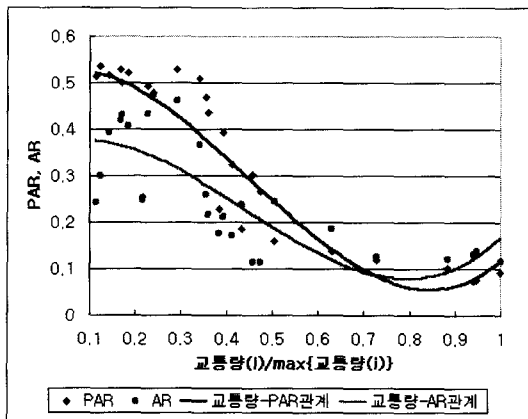


〈그림 7〉 교통량-사고율의 관계



〈그림 8〉 사고율-링크교통량-PAR의 관계





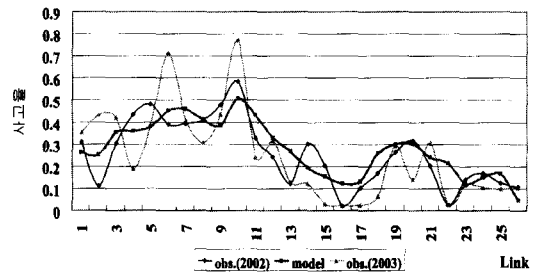
〈그림 9〉 교통량-PAR, 교통량-AR의 관계

#### 4. 교통사고율 예측모형의 구축

교통사고율을 종속변수로, PAR( $X_1$ )와 차로당 교통량( $X_2$ )을 독립변수로 적용하여 교통사고율 예측모형을 구성하였다. 교통사고는 교통량과 비선형적인 관계를 가지기 때문에 교통사고율, 교통량, PAR에 대한 비선형모형을 설정하여 모형설명력과 변수의 유의수준이 가장 높은 모형을 선정하였다. 교통사고율 예측모형 구축 결과는 〈표 4〉와 같으며, 교통량과 통행길이를 동시에 고려한 모형3이 PAR나 교통량을 독립변수로 구성한 모형보다 모형설명력 및 변수의 유의성이 높게 분석되었다. 또한 설명변수의 수가 많아질수록 결정계수의 값이 커지기 때문에 모형의 설명력과 함께 변수증가에 따른 효율성 저하를 고려하여 모형의 적합성을 판단하기 위해 AIC(Akaike Information Criterion)를 이용하였다. 〈그림 10〉은 모형3을 이용한 예측결과를 실제 사고율과 비교한 것으로, 실제 사고율의 공간적 분포를 비교적 잘 설명하고 있다.

〈표 4〉 사고율 예측모형 구축결과

모형	구축된 예측모형	모형설명력 및 유의성	AIC
모형1	$Y = 0.178 - 0.388X_1 + 1.487X_1^2$ (1.735) (0.640)* (0.258)*	$R^2 = 0.441$ * = 유의하지 않음.	-1.086
모형2	$Y = -4.518 + 1.217(\ln X_2) - 0.076(\ln X_2^2)$ (-0.981)* (1.173)* (-1.305)*	$R^2 = 0.389$ * = 유의하지 않음.	-0.998
모형3	$Y = -23.979 - 5.046X_1 + 7.756X_1^2 + 5.828(\ln X_2) - 0.339(\ln X_2^2)$ (-3.996) (-3.902) (4.259) (4.076) (-4.104)	$R^2 = 0.693$	-1.528



〈그림 10〉 실제 사고율과 예측값의 비교

#### V. 결론

도로기하조건이나 교통조건에 비해 운전자 조건을 고려한 교통사고 예측에 대한 연구는 지금까지 거의 수행되지 않았다. 따라서 기존 연구들은 도로와 교통조건이 양호한 구간에서의 높은 교통사고율을 설명할 수 없다는 한계를 가지고 있다. 이러한 이유로 교통사고에 대한 분석은 기하구조의 개선에 치중되어 왔고 위험구간의 선정과 운전자 졸음주의경보 등 교통관리에 활용되지 못해왔다.

본 연구에서는 사고발생지점을 대상으로 그 지점의 기하구조, 교통량만을 설명변수로 분석한 기존의 교통사고분석기법의 한계를 제시하고 이러한 문제를 개선하기 위해 사고의 복합적 요인 중 통행특성이 중요한 영향을 미칠 수도 있다는 것을 제시하였다.

본 연구는 교통사고 예측모형에 인적요인인 운전자의 생리학적 상태를 고려하기 위한 새로운 변수로 PAR를 교통량과 함께 고려함으로써 기존 예측모형의 한계를 극복하고자 하였다. 서해안 고속도로에 대한 사례분석결과 PAR, 교통량과 교통사고는 서로 밀접한 관계를 갖는 것으로 분석되었다. 본 연구의 연구성과는

다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 교통량이 적고 기하구조가 양호한 고속도로에서 발생하는 사고에 대한 사고예측모형의 설명력을 높일 수 있었다.

둘째, 도로기하구조 및 교통량을 이용한 기존의 사고예측 방법론에서 고려하지 않았던 시공간의 변화에 따른 운전자의 생리학적 변화를 인적요인으로 고려하였다. 우리나라 고속도로 교통사고 중 약 80%가 운전자 과실인 점을 고려하면 시공간적 변화에 따른 운전자의 생리적 시·공간 변화를 고려한 사고분석 방법론은 사고원인 파악과 사고예방 및 관리에 효과적으로 적용할 수 있을 것이다.

셋째, 제시된 기법은 기종점 통행량 자료를 이용하기 때문에 토지이용, 사회경제적 활동의 변화에 의한 통행패턴의 변화에 따른 공간적인 사고율의 변화에 대한 예측에 활용될 수 있을 것이다. 또한 기종점 통행량 자료를 이용하여 사고율의 공간적 분포를 예측하기 때문에 고속도로 노선계획단계, 운영단계의 사고분석에 활용이 가능할 것이다.

넷째, 제시된 기법을 이용하여 통행특성이 큰 영향을 미치는 구간을 파악하여 사고다발지점 분석시 이를 고려하고, VMS 등을 통해 운전자들에게 관련정보를 제공할 수 있을 것이다.

다섯째, 장래 첨단교통관리체계로 차량의 통행길이 및 시간 등을 실시간으로 파악할 수 있는 환경이 확보될 경우, 본 연구에서 제시된 개념을 통해 특정시간대에 특정공간에 대한 교통관리 우선순위를 설정하는 등 교통관리의 기능을 향상시킬 수 있을 것이다.

연구한계로는 첫째, 운전자의 휴게소 이용을 포함하지 못 하였다. 본 연구에서는 고속도로 본선을 운행하는 운전자의 전반적인 운전상태를 PAR를 이용하여 분석하는데 의의가 있을 것이다. 그러나 추후 휴게소 이용에 대한 운전자의 휴게소별 선호도, 휴게소를 이용할 때의 운전상태, 그리고 휴식 후 다시 부주의한 운전상태가 시작되는 분포 등의 조사연구가 수행된다면 이를 고려할 수 있을 것이다.

둘째, IC별 접근시간을 지방부와 도시부 각각 30분, 40분으로 가정하였으나 지방부와 도시부의 IC별 접근시간에 관련한 조사가 수행되어지면 보다 정확한 분석이 가능할 것이다.

향후 연구로는 제시된 기법을 다른 고속도로 노선에 대해 적용하여 모형분석결과를 보다 일반화할 필요가

있으며, 화물차, 승용차, 버스 등 차종별 통행특성을 고려한 교통사고 분석도 필요하다.

## 참고문헌

1. 강정규(1985), 고속도로의 기하구조가 교통사고발생에 미치는 영향에 관한 연구, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
2. 강정규·이성관(2002), 고속도로 선형조건별 교통사고 위험도 평가모형 개발 (호남고속도로를 중심으로), 대한교통학회지, 제20권 제4호, 대한교통학회, pp.163~175.
3. 공선희(2002), 고속도로 사고예측모형의 비교평가에 관한 연구, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
4. 심관보·김의식·김진현(1998) 대형차량의 줄음운전 방지대책에 관한 연구, 도로교통안전관리공단.
5. 오 철·장재남·장명순(1999), 고속도로 시설물 구간의 교통혼잡도와 사고율의 관계 분석 (신갈-안산 고속도로를 중심으로), 대한교통학회지, 제17권 제2호, 대한교통학회, pp.21~27.
6. 이기영·이용택(2004), 확률회귀모형을 이용한 고속도로의 사고요인 분석, 「도로교통」 제94호.
7. 이용택·김양지·김대현·임강원(2000), 고속도로 교통사고의 계절성 검증과 요인분석 (중부고속도로 사례를 중심으로), 대한교통학회지, 제18권 제5호, 대한교통학회, pp.7~16.
8. 한국도로공사(1998), 고속도로 Network Analysis 모형 적용을 위한 자료구축 및 실용화 연구.
9. 한국도로공사(2003), 고속도로 교통사고 통계.
10. Kim K. E., Yamashita E. Y., (2001) *Asleep At The Wheel: Spatial And Temporal Patterns Of Fatigue-Related Crashes In Honolulu*, Annual Meeting of the Transportation Research Board.
11. Filip Casaer, Geert Wets (2004), Isabelle Thomas, Road Traffic Accident Clustering With Categorical Attributes, Annual Meeting of the Transportation Research Board, 2004.
12. Ivan J. (2004), A new approach for including traffic volumes in crash rate analysis and forecasting, Annual Meeting of the Transportation Research Board.
13. Kononov J. and Allery B. K.(2004) Explicit

- Consideration of Safety in Transportation Planning and Project Scoping, Annual Meeting of the Transportation Research Board 2004.
14. Lord D.(2002) Issues related to the approach of accident prediction models for the computation of accident risk on transportation networks, Annual Meeting of the Transportation Research Board 2002.
15. Oh C., Oh J. S. Ritchie S. G. and Chang M. S. (2001) Real-time estimation of freeway accident likelihood, 80th Annual Meeting of The Transportation Research Board.
16. Konduri Sravanthi, Labi Samuel, Sinha Kumares C. (2003) *Incident Occurrence Models For Freeway Incident Management*, 82th Annual Meeting of the Transportation Research Board.

✉ 주 작 성 자 : 장현호

✉ 논문투고일 : 2004. 10. 19

논문심사일 : 2004. 12. 17 (1차)

2005. 3. 9 (2차)

2005. 3. 28 (3차)

심사판정일 : 2005. 3. 28

✉ 반론접수기한 : 2005. 8. 31