

■ 論 文 ■

트럼펫 IC형식 연결로 교통사고 특성분석에 관한 연구

A Study on the Characteristics of Traffic Accidents on Trumpet IC Ramp

윤 병 조

(대한측량 도로교통 소장)

오 영 태

(아주대학교 환경건설교통공학부 교수)

이 승 환

(아주대학교 환경건설교통공학부 교수)

지 동 한

(한국도로공사 대전-당진건설사업소 소장)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구의 범위 및 방법
- II. 기존연구의 고찰
 - 1. 트럼펫 IC형식
 - 2. 국내의 연구
- III. 자료수집 및 분석방법
 - 1. 주요 설계요소 설정
 - 2. 자료수집 및 가공
- IV. 교통사고특성 분석결과
 - 1. 트럼펫 IC형식별 사고특성
 - 2. 직결 유출연결로 사고특성
 - 3. 준직결 유출연결로 사고특성
 - 4. Loop 유출연결로 사고특성
- V. 결론 및 향후연구
참고문헌

Key Words : 트럼펫 IC, 유출입 연결로, 주요 설계요소, 사고율(AR), 교통사고 특성분석
trumpet-IC, entering and exit, main road, Accident Rate, traffic accidents

요 약

본 논문에서는 고속도로 트럼펫 IC형식의 연결로 선형조건 및 교통조건에 따른 교통사고특성에 관한 기초연구를 수행하였다. 교통사고 특성분석은 트럼펫 IC형식의 유입 및 유출 연결로 형태의 도로선형조건 및 교통조건에 따른 다양한 거시적 미시적 교통사고분석을 수행함으로써 연결로의 형태(직결, 준직결, 루프 연결로)별로 도로선형조건(곡선반경, 곡률차, 본선 구배)과 교통조건(교통량)이 교통사고에 미치는 영향을 규명하였다. 거시적으로 사고율은 트럼펫 IC A형과 B형이 거의 유사하게 나타났으나, 사고건수는 B형이 A형보다 약 1.5배 높게 나타났다. 그리고 유출연결로의 사고율은 유입연결로보다 약 3배 이상 높게 나타났다. 거시적으로 유출연결로의 사고율은 교통량, 곡률차, 첫 번째 곡선반경의 증가에 따라 지수형으로 감소하였다. 그러나 사고율과 두 번째 곡선반경의 관계는 \cap 형의 관계를 보였으며, 본선구배에 따른 사고율은 본선구배 -0.15~-0.5%에서 높게 나타났다. 고속도로 트럼펫 IC형식 연결로의 교통사고 특성분석 결과는 비용-효율적인 트럼펫 IC 연결로의 설계를 위한 평가의 수단으로 이용될 수 있을 뿐 만 아니라, 사고취약 고속도로 연결로에 대한 개선 대안의 수립에도 기여할 것으로 기대된다.

In this paper, a fundamental study on the characteristics of traffic accidents according to the alignment and traffic conditions on the ramp of freeway is addressed. The macro-and-micro scope analysis of characteristics about traffic accidents on the trumpet-IC ramps is conducted depending on the entering and exit ramp types under the various conditions of traffic volume and alignment. And it is turned out that the conditions of alignment, such as radius, differences of curvatures, and main road grade, and traffic volume relate to the ramp accidents of trumpet IC according to ramp types, such as direction, semi-direction, and loop. Macroscopically, AR (Accident Rate) according to trumpet IC types, A and B, is analyzed nearly equal, but Number of accidents occurred in IC type B shows about 1.5 times higher than type A. And AR of exit ramps shows three times more than entrance ramps. Microscopically, ARs for each exit-ramp type, according to the increment of traffic volume, the difference of curvatures, and the first radius, exponentially decrease respectively. But relationships between AR and the second radius of exit ramp shows inverted U-shaped. AR according to main-road grade peaks between -1.5% and -0.5%. It is expected that the developed models not only are employed to make design of trumpet-IC ramp more cost-efficiently and safely, but also contribute to making alternatives to the reduction of traffic accidents on trumpet IC ramps under the conditions of high traffic accident rate.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

고속도 고용량의 이동성 기능을 담당하는 고속도로는 고품격의 도로로서 교통사고 등의 유고상황으로 인하여 그 기능이 일시적으로 중단되었을 경우 인적·물적 사회적 비용에 매우 크다. 그리고 교통사고는 도로 선형, 교통조건, 기후 및 날씨조건, 운전자의 신체적·심리적 상태 등의 복합적인 상호간의 연쇄(Chain)과정을 통해 발생하게 된다.

일반적으로 도로의 선형조건은 교통사고에 영향을 미치는 주요한 교통사고영향인자로 알려져 있으며, 본선에 비하여 복잡한 선형으로 구성되는 고속도로 연결로의 경우 선형조건에의 영향은 매우 크다고 할 수 있다. 선형조건은 연결로의 설계시 고려되는 것이 바람직하며, 기 운영 중인 연결로의 선형개량 및 확장의 경우에도 고려되어야 한다. 그러나 교통사고의 특성상 신설도로의 완공 후 (또는 선형개량 후) 일정기간이 소요되고 나서야 사고발생의 정도를 파악할 수 밖에 없다.

이러한 사후분석의 한계를 극복하고 사전분석을 통한 선형 설계 및 개량 등 사전대응을 수행하기 위하여 고속도로 사고특성분석에 관한 연구가 수행되고 있다. 또한 고속도로 진입연결로, 본선, 진출연결로에 이르는 공간적으로 연속적인 사고분석이 수행되는 것이 바람직하며, 이러한 분석을 수행하기 위해서는 IC (Interchange) 연결로의 사고특성에 관한 연구는 불가피하다. 그러나 기존의 국내 연구는 고속도로 본선의 교통량, 선형과 관련된 변수의 조합과 고속도로 본선의 교통사고와의 관계에 관한 연구가 대부분의 연구를 차지하였으며, 고속도로 IC 연결로의 사고특성분석에 관한 연구는 연구의 필요성에도 불구하고 매우 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 우리나라 지역간 고속도로의 대부분을 차지하는 트럼펫 IC형식¹⁾ 연결로의 설계시 교통사고 사전 진단(Diagnosis), 사고취약 연결로의 사고원인 분석 및 개선효과 등에 활용할 수 있는 기초 연구로서 연결로의 주요 설계요소들에 따른 교통사고 분석을 통하여 연결로 형태별 주요 설계요소에 따른 교통사고행태를 도출하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구는 한국도로공사관내 5개 노선의 67개 트럼펫 IC를 대상으로 연결로의 형태별 주요 설계요소에 따른 교통사고 특성분석에 초점을 맞추며, 연구수행과정은 다음과 같다.

첫째, 기존연구의 고찰을 통하여 연구의 방향을 설정하고, 고속도로 교통사고에 영향을 미치는 주요 설계요소관련 교통사고영향인자를 선정한다.

둘째, 충분한 진출입로 교통사고 자료의 수집이 가능한 시·공간적 범위를 설정한 후 분석대상 IC형태, 고속도로 노선 및 IC, 유·출입 연결로 형태를 구분한다.

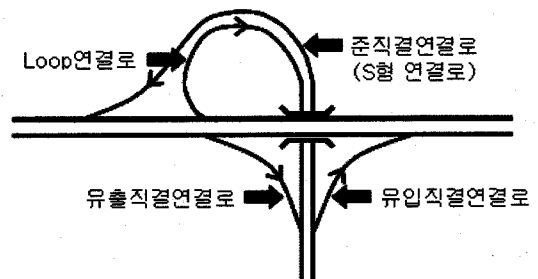
셋째, 수집된 기초자료를 취합/분석하여 연도별·IC별·연결별 선형, 사고건수 및 유형, AADT(연평균일교통량, 대/일), 사고율(AR; Accident Rate) 자료를 구축하고, 통계적 검증 과정을 통하여 구축된 교통사고자료의 신뢰성을 검증한다.

넷째, 선정된 주요 설계관련 교통사고영향인자에 대하여 카테고리를 설정한 후 구축된 교통사고관련 자료를 이용하여 트럼펫 IC형식 및 연결로 형태에 따른 사고특성분석을 수행하도록 한다.

II. 기존연구 고찰

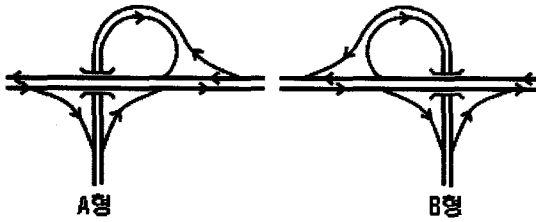
1. 트럼펫 IC형식

기존문헌 고찰에 앞서 트럼펫 IC의 형태 및 연결로 체계에 대하여 간략히 살펴보기로 한다. 트럼펫 IC형식은 3지 완전입체 교차로의 대표적인 형식으로서 <그



<그림 1> 트럼펫 IC형식 연결로 형태

1) 2004년 말 한국도로공사관내 폐쇄식 구간의 IC는 총 221개소로 조사되었으며, 트럼펫 IC형식은 188개소로서 전체의 85.1%를 차지하였다.



〈그림 2〉 트럼펫 IC형식

림 1)과 같이 Loop연결로, 준직결(S형)연결로, 그리고 2개의 직결연결로로 구성된다.

전형적으로 트럼펫형 IC는 A형과 B형으로 구분된다. A형의 경우 진입연결로는 루프, 진출연결로는 준직결 연결로로 구성되며, B형의 경우 진입연결로는 준직결 연결로, 진출연결로는 루프로 연결된다. 연결로의 형태는 IC가 위치하는 지형지물과 연결로의 교통량 수요를 고려하여 설계된다.

2. 국내·외 연구

IC관련 교통사고에 관한 연구는 1960년대 후반 미국을 중심으로 시작되었으며, 캘리포니아 고속도로 772개의 IC연결로에 대한 3년간의 조사가 초기의 연구이다. 조사결과, 전체 교통사고의 약 18%가 IC에서 발생하였으며, 이중 유출연결로의 사고율은 0.95건/백만대, 유입연결로의 사고건수는 0.59건/백만대로 나타나 유출연결로 사고율이 유입연결로에 비하여 약 1.61배 높게 보고되었다. Cirillo 등은 13개 인터체인지 구성요소를 설정하고, 다중회귀모형을 이용하여 IC 교통사고예측모형을 개발하였으며, 교통량과 IC 형식별 기하구조에 의해 교통사고 발생이 다르게 나타난다는 결론을 내렸다.

Morganstein 등은 구체적인 자료를 체계화하여 다중회귀분석을 이용한 교통사고예측모형을 개발하였으며, 1980년대 Harwood에 의해 고속도로 및 간선도로 IC의 안전을 고려한 설계지침 등에 관한 연구로 발전하였다. 1990년대에는 Twomey 등에 의하여 사고요인에 대한 분석이 수행되었다. Bauer와 Harwood (1997)은 IC연결로와 가/감속 차로구간의 사고예측모형의 개발 연구를 수행하였으며, IC에서의 사고발생 요인을 수학적으로 규명하여 제시하였다. 또한 개발된 모형을 이용하

여 기하구조와 사고율의 관계를 제시함과 더불어 IC 연결로 교통사고영향인자로 교통량, 연결로의 형식, 연결로의 기하구조 등이라는 결론을 제시하였다.

일본에서도 1960년대부터 IC구간의 교통사고 조사와 분석이 수행되었다. 일본의 명신(明信) 고속도로의 IC 사고율 분석을 위해 1963년부터 5년간 트럼펫 IC에서 발생한 교통사고자료를 이용하여 사고율을 분석하였으며, 트럼펫 A형의 사고율이 B형보다 약 5배 높은 것으로 분석되었다²⁾.

국내의 경우, IC 연결로의 교통사고 원인을 규명하기 위한 연구는 매우 미진한 실정이다. 박병호, 류승욱(2002)은 설명변수로 곡선반경, 본선의 종단경사, 본선의 곡선반경 등을 이용하여 트럼펫 IC형식에 따른 교통사고예측모형을 개발하였다. 또한 분석과정에서 트럼펫형 IC의 형식과 교통사고율의 관계는 트럼펫 B형의 사고율(0.244 건/백만대)이 트럼펫 A형의 사고율(0.157 건/백만대)보다 약 1.5배 높다는 결과를 도출하였다. 그러나 준직결 및 Loop 연결로의 대원과 소원의 관계를 고려하지 않고 1개의 최소곡선반경 만을 설명변수로 고려하였으며, 제한된 분석자료로 인하여 통계적 유의성을 확보하지 못 하였다. 또한 경부고속도로 일부 트럼펫 IC만을 연구대상으로 선정함으로써 공간적 적용성에 대한 한계가 있다.

III. 자료수집 및 분석방법

1. 주요설계요소 설정

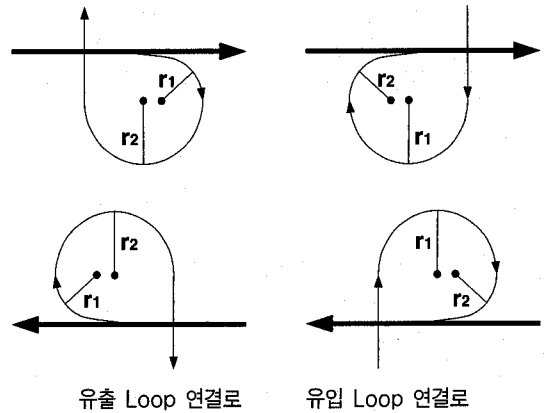
트럼펫 IC의 연결로는 직결, 준직결, 루프 연결로로 구성되며, 이들 연결로는 고속도로 본선과 여러 개의 곡선이 연속적으로 결합되는 복잡한 기하구조를 가지기 때문에 곡선반경은 주요한 설계요소라 할 수 있다. 준직결 및 Loop 연결로는 대원과 소원의 조합으로 구성되어 있기 때문에 곡선부의 선형조건을 반영하기 위하여 곡선반경(r_1, r_2, m)을 연결로의 선형조건으로, 그리고 곡선간의 연속성을 고려하기 위하여 곡률차를 선정하였다.

r_1, r_2 는 〈그림 3〉에서 〈그림 5〉와 같이 연결로 형식별 진행방향별로 설정하였으며, 연결로를 주행하는 차량이 첫 번째 주행하는 곡선반경을 r_1 , 두 번째 주행하

2) '인터체인지 계획과 설계'(武部健一 등, 1967, pp.146~147)

는 곡선반경을 r_2 로 정의하였다. 준직결 및 루프 연결로는 곡선과 곡선이 연속적으로 결합된다. 따라서 연속적인 두 곡선간의 관계를 설명할 수 있는 설계요소가 필요하다. 이를 위해 곡률간의 차인 곡률차(ρ)³⁾를 이용하여 곡선과 곡선의 관계를 설명하도록 한다. 그리고 속도자료 수집의 현실적인 한계로 인하여 상류부의 선형조건과 간접적으로 진출연결로의 진입속도를 반영하기 위해 본선의 경사($g, \%$)를 선정하였다.

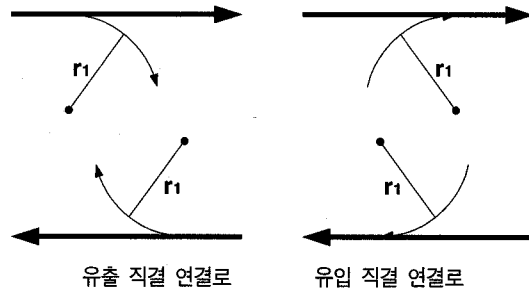
연결로 용량의 크기는 직결, 준직결, Loop의 순이며, 연결로 형태의 결정에는 방향별 교통량이 주요한



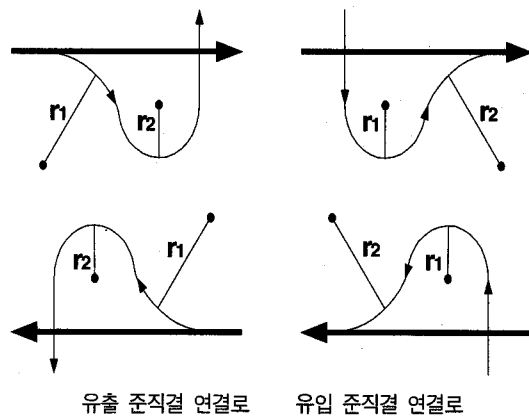
〈그림 5〉 Loop연결로 형태별 곡선반경

〈표 1〉 IC연결로의 주요 설계요소 정의

구분	주요 설계요소
선형 및 교통조건	곡선반경(r_1, r_2, m), 본선경사($g, \%$) 교통량(AADT)
곡선조합	곡률차(ρ)



〈그림 3〉 직결연결로 형태별 곡선반경



〈그림 4〉 준직결연결로 형태별 곡선반경

설계요소가 되어 연결로의 형태를 결정함으로써 트럼펫 IC의 대표적인 형태인 A형과 B형을 결정하게 된다. 또한 연결로에서 교통량·사고율(AR) 분석을 위하여 주요 설계요소로 교통량(AADT)를 선정하였다.

이상의 IC 설계특성과 현실적인 자료수집의 한계를 고려하여 〈표 1〉과 같이 트럼펫 IC연결로의 주요 설계요소를 설정하였다.

2. 자료 수집 및 가공

1) 시·공간적 범위

시간적 범위는 충분한 트럼펫형 IC 연결로 교통사고 건수를 확보하기 위하여 1999년~2003년의 5개 년도로 설정하였다. 공간적 범위는 연결로의 주행행태에 영향을 미치는 본선의 선형개량, 차로확장 등의 도로공사가 적어야 한다는 점, 한국도로공사의 요금징수시스템인 TCS (Toll Collection System)에서 수집되는 TG간 교통량 OD를 이용하여 연결로 교통량을 산정하게 됨으로 폐쇄식 요금징수체계가 적용되는 IC이어야 한다는 점, 그리고 전반적인 연결로 교통사고행태를 설명할 수 있을 정도의 충분한 공간적 범위가 요구된다. 따라서 경부·중부·호남고속도로는 공간적 범위에서 제외하고, 영동·중앙·남해·서해안고속도로와 개통이전의 중부내륙고속도로 일부구간을 공간적 범위로 설정하였으며, 선정된 고속도로 노선 및 IC는 〈표 2〉와 같다.

3) 곡률은 $1/r$ 을 의미하지만 매우 작은 값을 가진다. 곡률차(ρ)는 차량의 진행방향에 대해 1번째 주행하는 곡선의 곡선반경(r_1)의 역수에서 2번째 주행하는 곡선의 곡선반경(r_2)의 역수를 뺀 값을 말하며, 매우 작은 값을 가진다. 따라서 본 연구에서는 $(1/r_1 - 1/r_2) \times 100$ 을 곡률차로 정의하여 적용하도록 한다.

〈표 2〉 대상 고속도로 노선 및 선정 IC개소

노선	영동	중앙	남해	서해안	중부내륙
IC개소	18 (23,22)	11 (22,18)	11 (28,20)	23 (26,24)	4 (15,15)

주: (총 IC개소, 트럼펫 IC개소) 2004년 1월 기준

2) 자료 수집 및 가공

〈그림 6〉은 자료의 수집 및 가공과정을 보여주고 있으며, 본 연구에서 이용된 IC설계특성, 교통량, 사고건수 자료는 한국도로공사의 HGIS의 IC 평면도와 본선의 중평면도, TCS OD 교통량, 교통사고속보자료, IC별 이점 자료를 이용하였으며, 수집자료의 출처는 〈표 3〉과 같다.

HGIS는 본선의 중·평면도 자료를 제공하지만 IC는 평면도 자료 만을 제공하고 있다. 따라서 IC 평면도를 이용하여 선정된 노선의 선정된 트럼펫 IC의 형식(A형, B형)과 IC연결로의 형식(직결, 준직결, Loop), 직결연결로의 곡선반경(r, m), 준직결 및 Loop 연결로의 곡선반경(r_1, r_2)과 곡률차(ρ)를 수집하였다. 그리고 본선경사($g, \%$)는 본선 중평면도를 이용하여 수집하였다.

IC 연결로별 사고건수는 교통사고속보자료와 IC별

〈표 3〉 수집자료 및 출처

	수집자료	자료 출처
도로선형	곡선반경(r_1, r_2)	IC 평면도
	본선의 경사(g)	본선 중평면도
교통조건	교통량 OD	TCS 교통량OD
교통사고	연결로별 사고건수	교통사고속보자료

주: 교통량 OD 및 사고건수는 연도별 자료임.

이정자료를 이용하여 수집·정리하였다. 고속도로 본선에서 발생한 교통사고의 경우 본선상의 IC이정과 사고발생지점 이정을 이용하면 수집·정리가 매우 용이하다. 그러나 IC 연결로의 사고는 사고발생지점 이정에 여러 개의 연결로가 중복되게 됨으로 어떤 연결로에서 사고가 발생했는지 알 수 없다. 따라서 본 연구에서는 IC이정과 동일한 고속도로 본선 이정의 $\pm 1km$ 내에서 발생한 모든 교통사고자료를 1차로 정리한 후, 사고속보자료의 상/하행 주행방향, 사고내용, 해당 IC의 방향별 연결로 형태 등을 분석하여 IC별 연결로별 사고건수(건/5년) 자료를 구축하였으며, 사고발생 연결로가 명확하게 일치하지 않는 일부자료는 제외하였다⁴⁾.

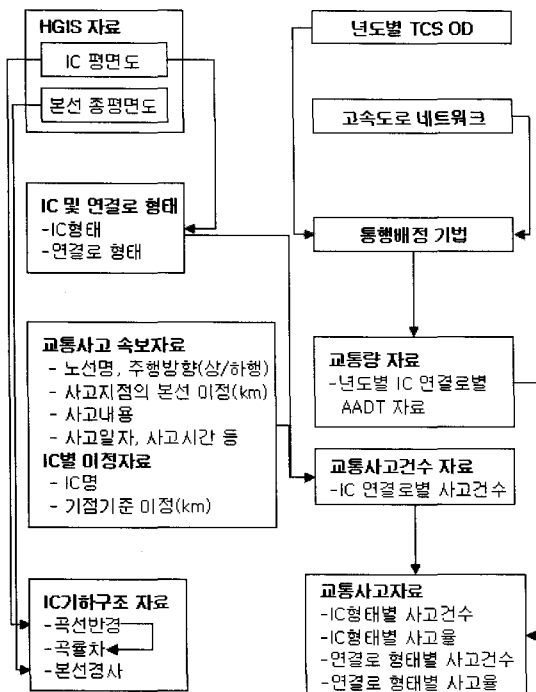
고속도로 본선과 달리 IC연결로는 차량검지기가 설치되어 있지 않아 연결로 관련 교통량 정보를 직접적으로 수집할 수 없었다. 그러나 TCS시스템은 폐쇄식 고속도로 구간의 TG를 이용하는 모든 개별 차량의 진입 TG와 진출 TG 정보를 추적·관리·기록하게 됨으로 거의 100%에 가까운 교통량 OD자료를 수집한다. 따라서 연도별 TCS AADT OD와 고속도로 네트워크를 구축한 후, 연구의 시간적 범위(1999~2003년) 동안 고속도로망은 단일경로 환경이었으므로 전량배정 통행배정기법을 이용하여 연도별 연결로별 AADT(대/일)을 산정하였다.

이와 같은 기법으로 산정된 연도별 연결로 교통량은 실제 참값이라는 조건을 만족할 수는 없으나, 연구의 시간적 범위는 중부내륙고속도로 개통 이전의 단일경로 고속도로망 환경이라는 점, TCS 교통량 OD의 정확도가 거의 100%에 가까운 점, 그리고 연결로 교통량이 AADT(대/일)인 점을 고려하면 적용에는 무리가 없을 것으로 판단된다.

3. 교통사고특성 분석방법

1) 사고관련자료 분류

수집된 사고관련 자료는 연결로 형식별로 선정된 설



〈그림 6〉 자료 수집/가공 과정도

4) 총 115건의 연결로 사고중 사고발생 연결로가 불명확한 11건의 자료를 제외한 104건의 연결로 교통사고 자료를 구축하였음.

명변수에 따른 교통사고 특성분석을 수행하기 위하여 <표 4>와 같은 카테고리로 분류하였다.

<표 4> 연결로 형태별 특성변수 카테고리

연결로 형식	교통량 (천대/일)	곡선반경 (m)	곡률차 (ρ)	본선경사 (%)	
직결	범위	1.0미만 1.0~10.0 10.0이상	60미만 60~210 210이상	-	-3.5미만 -3.5~+2.5 +2.5이상
	계급값	1.0	30	-	1.0
준직결	범위	1.0미만 1.0~10.0 10.0이상	60미만 60~200 200이상	-1.2미만 -1.2~-0.2 -0.2이상	-2.5미만 -2.5~+1.5 +1.5이상
	계급값	1.0	20	0.2	1.0
Loop	범위	1.0미만 1.0~10.0 10.0이상	45미만 45~80 80이상	+0.2미만 +0.2~+1.2 +1.2이상	-3.5미만 -3.5~+2.5 +2.5이상
	계급값	1.0	5	0.2	1.0

2) 사고율(AR)

선정된 특성변수(i) 카테고리(j)의 교통량에 비하여 사고건수(건/5년)는 매우 작기 때문에 사고율은 일반적으로 이용하는 건/MV, 건/MVK 대신 건/천만대를 이용하도록 한다. 따라서 특성변수(i)의 카테고리(j)의 사고율 (AR_{ij})은 설명변수(i)의 카테고리(j)에 해당하는 사고건수(건/5년)와 연도별 교통량(AADT, 대/일)의 합을 이용하여 다음과 같이 산정하였다.

$$AR_{ij} = \frac{N_{ij}}{365 \times V_{ij}} \cdot \text{천만}$$

여기서,

N_{ij} : 특성변수(i) 카테고리(j)의 사고건수(건/5년)

V_{ij} : 특성변수(i) 카테고리(j)의 연도별 AADT 합

IV. 교통사고특성 분석결과

교통사고특성 분석은 사고자료 분포분석을 수행한 후 트럼펫 IC형식별 사고특성 분석, 그리고 대부분의 연결로 교통사고가 발생하는 유출 연결로의 형태에 따른 특성분석을 수행한다⁵⁾.

1. 트럼펫 IC형식별 사고특성

1) 사고자료 분포분석

본 연구에서는 교통사고가 발생한 54개 트럼펫IC 연결로의 사고율을 분석에 이용하기 때문에, 사고율 자료에 대한 통계적 검증과정이 요구된다. 정규성(Normality) 검증은 램프유형별(직결, 준직결, 루프)로 K-S(Kolmogorov-Smirnov)검증을 수행하였다.

램프유형별(직결, 준직결, 루프)로 95% 유의수준으로 정규성 검증을 실시한 결과는 <표 5>와 같으며, 모든 p-value가 유의수준 0.05보다 크게 나타나 정규분포를 따르는 것으로 분석되었다.

<표 5> 정규성 검증 결과 사고특성 분석결과

구분	평균	표준편차	p-value
직 결	0.735	0.842	0.067
준직결	0.450	0.313	0.320
루 프	1.287	1.026	0.645

2) IC형식별 사고특성 분석결과

<표 6>은 트럼펫 IC형식별 유·출입 연결로 형식별 사고특성 분석결과를 보여주고 있다. 총 104건의 사고 중에 A형 43(건/5년), B형 61(건/5년)로서 B형의 사고건수가 A형보다 약 1.42배 높게 나타났다. 그러나 사고율은 A형과 B형 모두 약 1.5로 나타나 사고율의 차는 뚜렷하게 나타나지 않았다.

A형 직결연결로의 사고율은 유출 2.75, 유입 0.21로 나타나 유출의 사고율이 유입보다 약 13.2배 높은 것으로 분석되었으며, B형의 경우 유출 1.09, 유입 0.33으로 나타나 유출의 사고율이 유입보다 약 3.3배 높은 것으로 분석되었다. 준직결 연결로의 경우 사고율은 A형 유출 1.83, B형 유입 1.0, Loop 연결로의 경우 A형 유입 1.99, B형 유출 3.77로 나타나 유출연결로의 사고율이 유입연결로 보다 높게 분석되었다. B형의 사고건수가 A형의 사고건수보다 높게 나타난 것은 B형 진출 Loop연결로의 사고율이 A형 진출 준직결연결로의 사고율보다 높기 때문으로 판단된다.

전체 104(건/5년)의 사고건수 중 유출연결로 77(건/5년), 유입연결로 27(건/5년)로 유출연결로는 유

5) 분석에 이용된 104건의 연결로 사고 중 유출 연결로 사고는 77건으로 약 74%로 나타남.

〈표 6〉 트럼펫 IC형식별 사고특성 분석결과

IC 형식	유/출입	연결로 형식	사고건수 (건/5년)	사고율 (건/천만대)
A형	유출	직 결	13	2.75
		준직결	18	1.83
		루 프	-	-
		합(평균)	31	(2.12)
	유입	직 결	2	0.21
		준직결	-	-
		루 프	10	1.99
합(평균)	12	(0.82)		
합(평균)		43	(1.47)	
B형	유출	직 결	13	1.09
		준직결	-	-
		루 프	33	3.77
		합(평균)	46	(2.23)
	유입	직 결	3	0.33
		준직결	12	1.00
		루 프	-	-
합(평균)	15	(0.71)		
합(평균)		61	(1.46)	
합계(평균)		104	(1.47)	

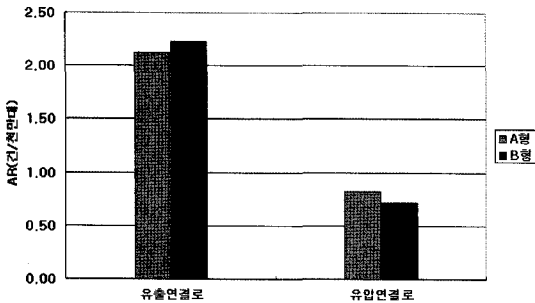
2.84배 높게 분석되었다. 또한 IC형식에 관계없이 유출 및 유입 연결로의 사고율은 유사하게 나타났다. 또한 B형 유출의 사고율이 A형 유출의 사고율에 비하여 높은 것은 Loop연결로의 사고율이 준직결 유출연결로의 사고율보다 높기 때문으로 판단된다.

IC형식에 따른 연결로별 사고율은 〈그림 8〉과 같이 준직결 연결로의 경우 A형이 B형보다 1.82배 높게 나타났다. Loop연결로의 경우 B형이 A형보다 1.89배 높게 나타났다. A형의 경우 준직결연결로, B형의 경우 Loop연결로 모두 유출연결로라는 점을 고려해보면 유출연결로의 사고율이 유입연결로의 사고율에 비하여 약 1.85배 높게 나타남을 알 수 있다. 직결연결로의 경우 A형이 B형보다 다소 높게 나타났으나 이는 연결로의 특성보다는 교통사고의 개별적 임의적 특성으로 인한 것으로 판단된다.

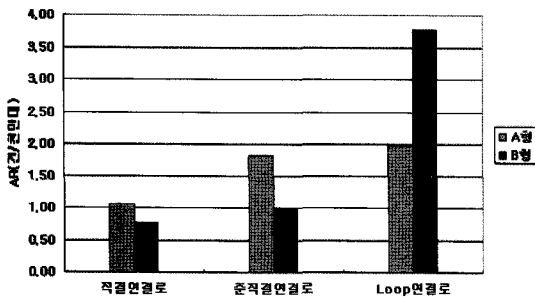
2. 직결 유출 연결로 사고특성

고속도로 본선은 오철 등 (1999, 2000), 백승걸 등(2005)에 의해 U형의 교통량-사고율 관계로 보고되었다. IC연결로의 사고율은 〈그림 9〉와 같이 교통량이 증가함에 따라 완만하게 최저 사고율에 도달한 후 다시 증가하고 있어, 기존의 고속도로 기본구간과 유사한 U자형의 관계를 가지는 것으로 분석되었다. 그러나 직결 유출연결로의 교통량-사고율(AR)의 관계는 〈그림 10〉과 같이 교통량이 증가함에 따라 사고율이 둔화되는 음지수(Exponential) 형태를 보였다.

곡선반경-사고율의 관계는 〈그림 11〉과 같이 곡선반경이 증가함에 따라 급격히 감소하다 곡선반경 150m 이상에서는 감소폭이 둔화되는 음지수 관계로 분석되

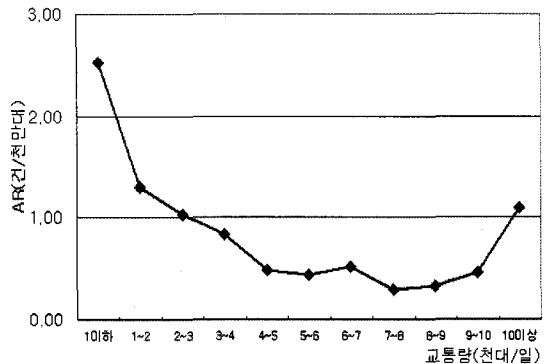


〈그림 7〉 IC형식별 유출입 연결로별 사고율

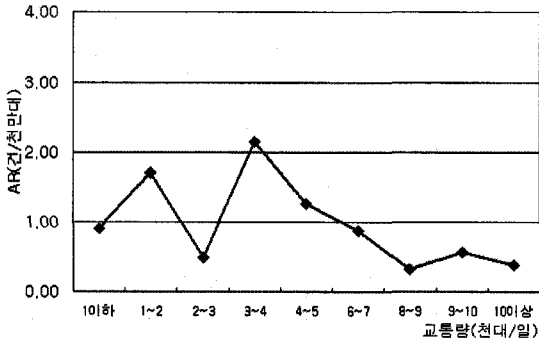


〈그림 8〉 IC형식별 유출입 연결로 형태별 사고율

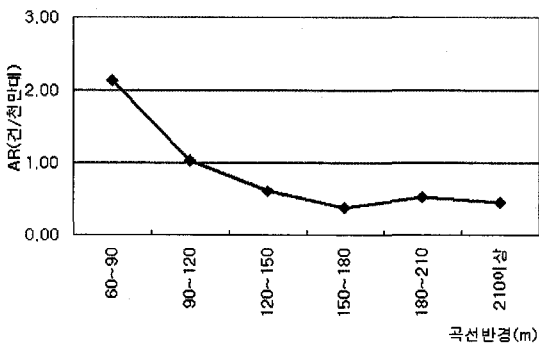
입연결로에 비하여 약 2.85배 높게 나타나 전체 연결로 교통사고의 약 74%를 차지하였다. IC형식별 유·출입 연결로별 사고율은 〈그림 7〉과 같이 A형과 B형 모두 유출의 사고율이 유입의 사고율에 비하여 약



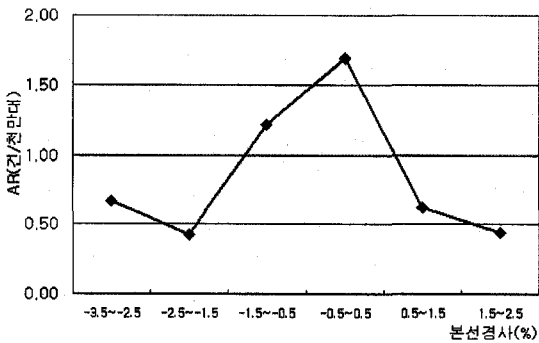
〈그림 9〉 연결로 교통량-AR관계



〈그림 10〉 직결 유출연결로 교통량-AR관계



〈그림 11〉 직결 유출연결로 곡선반경-AR관계



〈그림 12〉 직결 유출연결로 본선경사-AR관계

어, 곡선반경을 150m이상으로 증가시킬 경우 교통사고 감소효과는 미비할 것으로 판단된다.

본선경사-사고율의 관계는 〈그림 12〉와 같이 역U형의 관계를 보였으며, -중단경사의 경우 사고율이 높게 나타났다. 이는 운전자가 본선의 -경사를 주행하면서 증가한 주행속도에서 충분히 감속하지 않고 연결로에 진입하기 때문으로 판단된다.

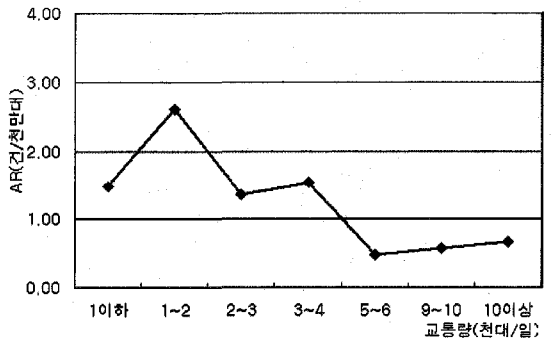
3. 준직결 유출 연결로 사고특성

〈그림 13〉의 준직결 유출연결로의 교통량-사고율의 관계는 직결 유출연결로의 교통량-사고율과 유사한 음수 관계로 분석되었다.

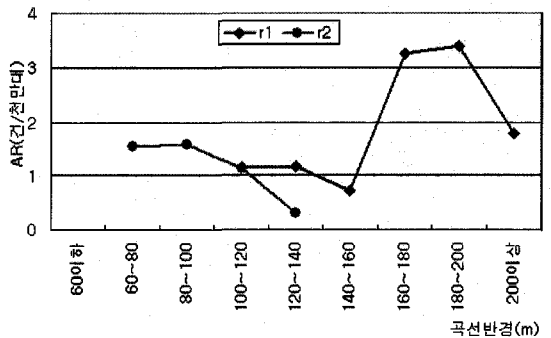
준직결(S형) 연결로는 2개의 곡선반경을 가지며, 대원(r_1)에서 소원(r_2)으로 주행하기 때문에 곡률차(ρ)⁶⁾는 -값을 가지게 된다.

〈그림 14〉는 곡선반경(r_1, r_2)-사고율의 관계 그리고 〈그림 15〉는 곡률차-사고율의 관계를 보여주고 있다. r_1 -사고율의 관계는 곡선반경이 증가함에 따라 사고율은 증가 후 감소하는 역U형의 관계를 그리고 r_2 -사고율의 관계는 곡선반경이 증가함에 따라 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 곡률차-사고율의 관계는 곡률차 -0.8에서 사고율은 급격히 감소하여 양분화되는 결과를 보였다.

곡선반경-사고율, 곡률차-사고율의 분석결과, 준직결 유출연결로의 설계시 r_1 을 160m 이상으로 증가시킬

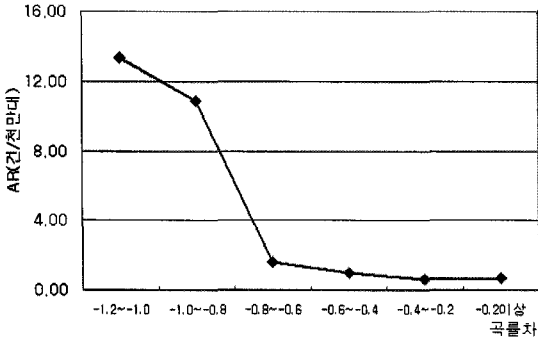


〈그림 13〉 준직결 유출연결로 교통량-AR관계

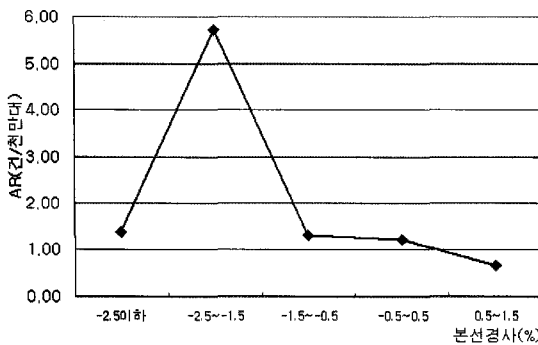


〈그림 14〉 준직결 유출연결로 곡선반경-AR관계

6) 곡률차 = $(1/r_1 - 1/r_2) \times 100$



〈그림 15〉 준직결 유출연결로 곡률차-AR관계



〈그림 16〉 준직결 유출연결로 본선경사-AR관계

경우 사고율은 높게 나타나 곡선반경의 증가는 사고율 감소로 이어지지 않으며, r_1 과 r_2 의 곡률차를 $-0.8 \sim -0.2$ 로 조합할 경우 사고율을 현저히 낮출 수 있을 것으로 판단된다.

본선경사-사고율의 관계는 〈그림 16〉과 같이 본선경사 $-2.5 \sim -1.5\%$ 에서 매우 높게 나타났으며, 이는 운전자가 본선의 내리막 경사를 주행하면서 증가한 주행 속도에서 충분히 감속하지 않고 연결로에 진입하기 때문으로 판단된다.

4. Loop 유출 연결로 사고특성

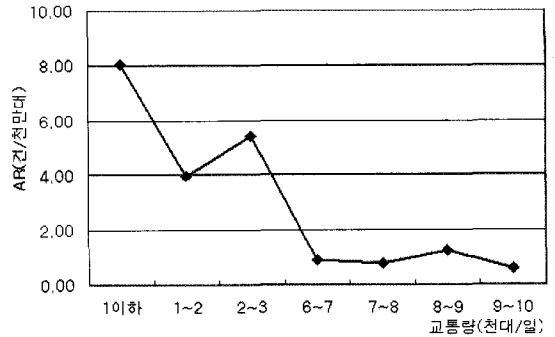
〈그림 17〉의 루프 유출연결로의 교통량-사고율의 관계는 (준)직결 유출연결로의 교통량-사고율 관계와 유사하지만 급격한 음지수 관계로 분석되었다.

Loop 연결로는 2개의 곡선반경을 가지며, 소원(r_1)에서 대원(r_2)으로 주행하기 때문에 곡률차(ρ)는 +값을 가지게 된다. 〈그림 18〉은 곡선반경(r_1, r_2)-사고율의 관계 그리고 〈그림 19〉는 곡률차-사고율의 관계를 보여주고 있다.

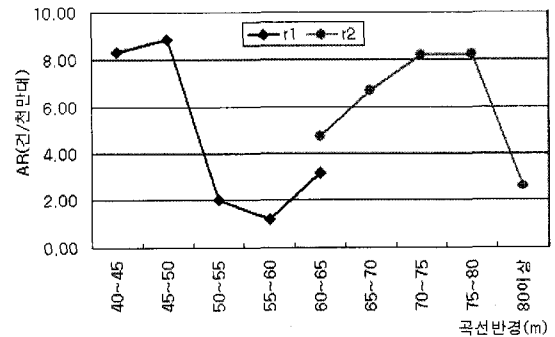
r_1 -사고율의 관계는 곡선반경이 50m보다 크면 급격히 감소하는 것으로 나타났으며, r_2 -사고율의 관계는 곡선반경이 증가함에 따라 사고율은 증가 후 감소하는 역U형의 관계로 분석되었다. 그리고 곡률차-사고율의 관계는 곡률차 $+0.8$ 에서 사고율은 급격히 감소하여 양분화되는 결과를 보였다.

곡선반경-사고율, 곡률차-사고율의 분석결과, 루프 유출연결로의 설계시 r_1 을 50m 이상으로 하고,

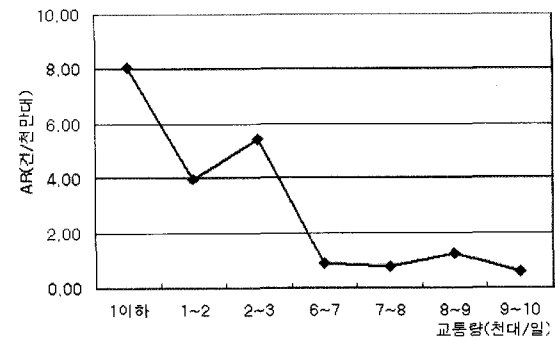
r_1 과 r_2 의 곡률차를 $0.8 \sim 1.0$ 로 조합할 경우 사고



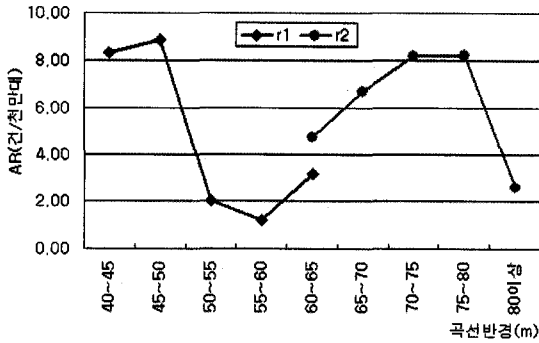
〈그림 17〉 Loop 유출연결로 교통량-AR관계



〈그림 18〉 Loop 유출연결로 곡선반경-AR관계



〈그림 19〉 Loop 유출연결로 곡률차-AR관계



(그림 20) Loop 유출연결로 본선경사-AR관계

율을 현저히 낮출 수 있을 것으로 판단된다.

본선경사-사고율의 관계는 <그림 20>과 같이 본선경사가 0.5%보다 작을 경우 사고율은 높게 나타났으며, 특히 본선경사 -1.5~-0.5%에서 사고율은 매우 높게 나타났다. 이는 운전자가 본선의 내리막 경사를 주행하면서 증가한 주행속도에서 충분히 감속하지 않고 연결로에 진입하기 때문으로 사료된다.

V. 결론 및 향후연구

IC연결로는 고속도 구간과 저속도 구간을 연결하는 전이구간으로서 복잡한 기하구조를 가지게 때문에 고속도로 본선과 다른 주행행태 및 사고행태를 보이게 된다. 그러나 IC연결로의 교통사고 특성에 관한 연구는 그 필요성에도 불구하고 고속도로 본선과 달리 복잡한 기하구조와 장기간의 교통사고 누적자료가 필요하고, 자료수집 및 분석이 용이하지 않으며, 연결로 교통자료(교통량, 속도 등)의 부재 등으로 인하여 연구가 매우 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 우리나라 지역간 고속도로의 트럼펫 IC를 대상으로 IC 및 연결로 형식, 그리고 주요 연결로 설계요소에 따른 사고특성 분석을 수행했으며, 다음의 결과를 도출하였다.

트럼펫 IC형식의 A형과 B형의 사고율은 큰 차이를 보이지 않았으며, 연결로의 유입·유출 방향 그리고 연결로의 형식에 따라 사고율은 차이를 보이는 것으로 분석되었다. 연결로 형식별 사고는 루프, 준직결, 직결의 순으로 나타났으며, 유출연결로의 사고건수는 연결로 사고의 약 74%를 차지하였으며, 사고율은 유입연결로에 비해 2.84% 높게 나타났다.

교통량과 사고율의 관계는 연결로 전체의 경우 본선과 유사한 U형의 사고행태를 보였으나, 유출연결로의

경우 음지수행태의 관계를 보였다. 본선이 내리막경사일 때 유출연결로의 사고율은 오르막경사일 때 보다 약 3배 높게 분석되었으며, 본선경사가 -2.5~0.5%일 때의 사고율이 높게 나타났다. 곡선반경의 증가는 교통사고 감소로 이어지지 않으며, 사고율을 증가시킬 수 있는 것으로 분석되었다. 그리고 준직결과 루프 유출연결로의 경우 대원과 소원의 관계인 곡률차는 사고율이 높고 낮은 영역에 대한 임계값이 존재하는 것으로 분석되었다.

연구한계로는 수집자료의 한계로 보다 광범위한 교통사고관련 자료(연결로 구배, 연결로 유입속도, 연결로 교통량 및 속도, 연결로상의 정확한 사고지점 등)를 장기간 축적하지 못하였기 때문에 준직결과 루프 연결로의 r_1 과 r_2 의 다양한 조합에 의한 사고율 분석과 같은 보다 미시적이고 다양한 특성분석을 수행하지 못하였다. 그리고 IC연결로의 사고특성분석은 연결로의 기하구조, 교통조건 뿐만 아니라 본선의 기하구조, 교통조건을 동시에 고려함이 바람직하다고 판단됨으로 향후에는 이에 대한 보다 심도깊은 사고특성분석이 수행되어야 할 것이다. 또한 장기간의 연결로 사고자료가 축적되면 타 IC 및 JC 형식의 다양한 연결로 형태에 대한 교통사고 특성분석이 추가적으로 수행하여 다양한 IC 및 JC의 형식과 연결로의 형태에 따른 보다 광범위하고 미시적인 교통사고 특성분석을 수행하고, 그 분석결과를 기반으로 IC 및 JC의 교통사고 예측모형, 설계지침 등에 적용하는 연구가 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 강정규(1995), 고속도로의 기하구조가 교통사고발생에 미치는 영향에 관한 연구, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
2. 김경석(1996), 도로설계요소와 교통사고의 상호관계에 관한 연구, 국토연구 제26권.
3. 김태완(1996), 도로의 기하구조가 교통사고에 미치는 영향에 관한 연구, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
4. 오 철·장재남·장명순(1999), 고속도로 시설물구간의 교통혼잡도와 사고율의 관계분석(신갈-안산 고속도로를 중심으로), 대한교통학회지, 제17권 제2호, 대한교통학회, pp.21~27.

5. 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침 (2000), 건설교통부.
6. 강승림(2002), 고속도로 선형조건과 GIS기반 교통사고 위험도 지수 분석, 대한교통학회지, 제20권 제5호, 대한교통학회, pp.247~258.
7. 강정규·이성관(2002), 고속도로 선형조건별 교통사고 위험도 평가모형개발, 대한교통학회지, 제20권 제4호, 대한교통학회, pp.163~175.
8. 박병호·류승욱(2002), 트럼펫 인터체인지의 형식과 교통사고율의 관계, 한국 지역개발학회지 제14권, 제1호, pp.107~124.
9. 강승림·박창호(2003), 고속도로 선형조건과 GIS기반 교통사고 위험도지수 분석(호남·영동·중부고속도로를 중심으로), 대한교통학회지, 제21권 제1호, 대한교통학회, pp.21~40.
10. 백승걸·장현호·강정규(2005), 교통량과 통행거리를 고려한 고속도로 교통사고 예측 연구, 대한교통학회지, 제 25권 제1호, 대한교통학회, pp.95~105.
11. 武部健一 등(1967), 인터체인지 계획과 설계, pp.146~147.
12. Solomon, D. (1964), Accidents on main rural highways related to speed, driver, and vehicle Federal highway administration, Washington, DC.
13. Juyanda F., et al.(1983), Multivariate Statistical Analysis of Highway Accident and Highway conditions, University of Puerto Rico, Mayaguez School of Engineering Research Center, Report DOT-RSPA-DMA-50/84/9, Puerto Rico.
14. Shankar V., et al. (1995), Barfield, Effect of roadway geometrics and environment factor on rural freeway accident frequencies, Accident analysis and prevention, Vol. 2 No3.
15. AASHTO (2000), A Policy on Geometric Design of Highways and Streets.
16. Clark S. (2003) Traffic prediction using multivariate Nonparametric Regression, Journal of Transpor. Engineering.
17. Filip Casaer, Geert Wets (2004), Isabelle Thomas, Road Traffic Accident Clustering With Categorical Attributes, Annual Meeting CD-ROM 83rd Annual Meeting of the Transportation Research Board, 2004

✉ 주 작성자 : 윤병조
 ✉ 교신저자 : 윤병조
 ✉ 논문투고일 : 2006. 7. 3
 ✉ 논문심사일 : 2006. 9. 29 (1차)
 2006. 10. 30 (2차)
 ✉ 심사판정일 : 2006. 10. 30
 ✉ 반론접수기한 : 2007. 4. 30