

■ 論 文 ■

고속도로 시설물 구간의 교통혼잡도와 사고율의 관계 분석
(신갈-안산 고속도로를 중심으로)

Relationship between V/C and Accident Rate for Freeway Facility Sections
(focused on Shingal-Ansan Freeway)

오 철 장 재 남 장 명 순
(한국건설기술연구원 토목연구부) (한국종합기술개발공사 도로부) (한양대학교 교통공학과 교수)

목 차

- | | |
|----------------|------------------------|
| I. 서론 | 2. 자료정리 |
| 1. 연구의 배경 및 목적 | 3. 자료분석 |
| 2. 연구의 범위 | 4. 교통혼잡도와 사고율 관계 비교 분석 |
| 3. 연구 수행 방법 | III. 결론 |
| II. 본론 | 참고문헌 |
| 1. 기존 연구 고찰 | |

요 약

고속도로 시설물 구간의 교통혼잡도(V/C)와 사고율의 관계를 분석하는 것이 본 연구의 목적이다. 본 연구에서 분석된 사고율과 V/C의 관계는 교통사고의 예측과 예방을 위한 기초 자료로 유용하게 쓰일 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 신갈-안산간 고속도로의 개통시(92년)부터 97년까지의 교통량과 사고 자료를 이용하였으며, 시간당 사고율과 V/C를 계산하여 기본구간, 터널구간, 영업소구간의 V/C와 사고율(AR)을 비교·분석하였다.

V/C와 사고율의 관계는 모든 구간에서 "U"형의 곡선 형태를 나타냈다. 분석 결과를 보면 V/C가 낮을 때 사고율이 가장 높았으며 V/C가 증가함에 따라 사고율이 감소하다가 일정수준 이상에서는 다시 사고율이 증가하는 것으로 나타났다. 영업소구간의 사고율이 V/C의 전 범위에 걸쳐 기본구간이나 터널구간보다 높게 나타났다. 터널구간의 경우 기본구간과 비교 시 V/C=0.67을 기준으로 그 이하에서는 기본구간이, 그 이상에서는 터널구간이 기본구간보다 사고율이 높은 것으로 분석되었다. V/C가 0.5~0.8 구간에서는 기본구간과 터널구간의 사고율이 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 기본구간, 터널구간, 영업소구간의 V/C가 각각 0.78, 0.75, 0.57일 때 사고율이 가장 낮은 것으로 나타났다.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

급증하는 교통량과 함께 교통사고의 증가는 중요한 현대 사회 문제로 대두되고 있다. 수많은 사람이 교통사고로 인명 피해를 입고 있어 신중 재앙중의 하나라고도 일컬어지기도 한다. 교통안전 분야의 연구는 인간의 생명과 관련된 분야로서 다른 어떤 연구 분야보다도 우선 시 되어야 한다. 그 동안의 교통분야 연구들은 차량의 소통 원활화 및 정체 최소화 등 운영적 측면에 초점이 맞추어져 있었으며 안전 분야는 다소 소홀했던 것도 사실이다. 근래에 들어서 안전분야의 중요성을 인식하고 이 분야에 대한 관심과 중요성이 증대되고 있는 것은 대단히 고무적인 일이라 할 수 있다.

국내의 고속도로는 1968년 12월 경부고속도로 서울-수원구간이 처음 개통된 이후 지속적인 설계와 건설을 거듭하여 아직도 많이 미흡하지만, 어느 정도의 골격을 갖추어 나가고 있는 실정이다. 1997년말 현재 고속도로의 총연장은 1,889km이다. 건설교통부¹⁾는 2001년까지 441.8km, 2006년까지 1,722km, 2011년까지 1,107.1km를 신설하여 2011년에는 '97년 고속도로 연장 1,889km의 2.7배 수준인 5,157km의 고속도로를 확보하여 국가 고속도로 기본골격인 7×9을 완성할 계획이라고 한다. 97년 한 해에 고속도로 전체 구간에서 6,019건의 교통사고가 발생하여 798명이 사망하고 4,269명이 부상하여 96년과 비교

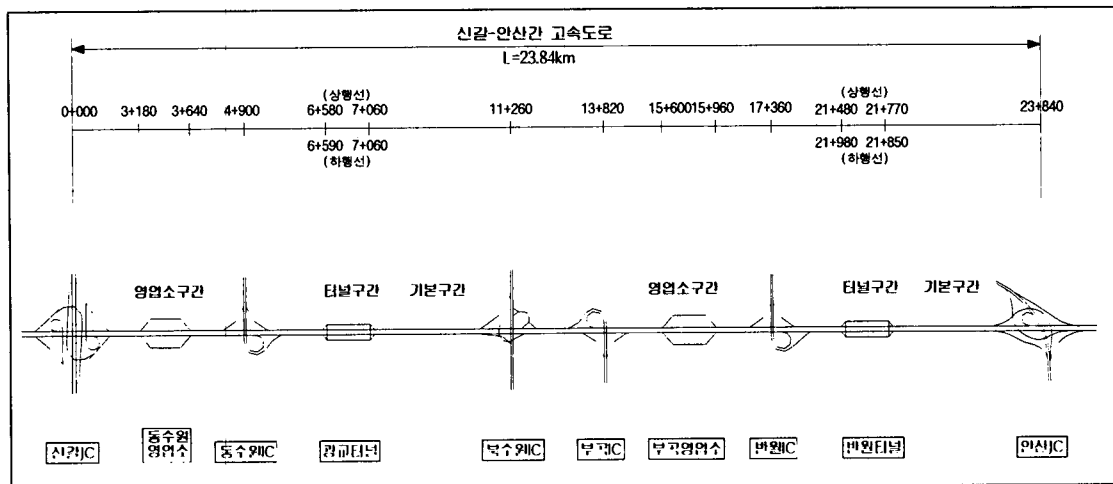
하면 사고전수는 14.0%, 사망 18.2%, 부상 13.1%로 감소하였다²⁾. 그러나 선진 각국과 비교시 우리의 교통사고 통계가 보여주는 수치들은 아직도 대단히 위험한 실정이다. 고속도로 연장의 증가와 함께 이에 따른 고속도로의 안전문제는 더욱 강조되어야 할 부분이다.

본 연구에서는 신갈-안산간 고속도로를 중심으로 교통혼잡도(V/C) 및 사고자료를 분석하여, 개방식 고속도로인 본 노선의 주요 시설물인 영업소, 터널의 영향구간에서의 사고율을 기본구간과 비교·분석하여 교통 안전 측면에서의 시설물간의 특성을 분석하는 것이 목적이다.

2. 연구의 범위

본 연구는 고속도로 기본 구간과 시설물간의 V/C비와 사고율 변화를 규명하는데 목적이 있고 시설물 중에서도 영업소와 터널에 초점을 맞추었다. 고속도로 영업소 전후의 교통특성을 잘 반영된 자료를 얻기 위해 개방식으로 운영되는 신갈-안산 고속도로를 연구의 대상으로 선정하였으며 개통시기인 1992년부터 1997년까지의 사고 자료와 교통량 자료를 이용하였다.

본 연구의 대상인 신갈-안산간 고속도로는 1992년 개통되었으며 본선의 설계속도는 100km/시, 연결로의 설계 속도는 40~60km/시인 지방부 고속도로이다. 총 연장은 23.84km이며 왕복 4차로 고속도로이다. 신갈JC~안산JC까지 총 4개의 IC가 있으며, 본



〈그림 1〉 신갈-안산간 고속도로

연구에서는 2개의 영업소(동수원, 부곡)와 2개의 터널(광교터널, 반월터널), 그리고 기본구간 2개를 선정하여 자료를 정리·분석하였다.

〈그림 1〉은 본 연구의 대상인 신갈-안산간 고속도로를 나타내고 있다.

3. 연구 수행 방법

본 연구는 다음과 같은 절차와 방법을 이용하여 수행되었다.

- (1단계) 기존의 연구자료를 고찰하여 본 연구에서 새롭게 분석하거나 새로운 대안제시를 위한 방법론과 연구의 흐름을 정립한다.
- (2단계) 도로의 기하구조와 교통량자료를 이용하여 보정계수를 계산한 후 이상적인 도로용량을 실제의 도로용량으로 환산하고 시간대별 V/C를 계산한다.
- (3단계) 사고자료를 시간대별, 시설물의 영향권별로 정리하여 각 시간대의 100만대·km당 사고건수로 사고율을 계산한다.
- (4단계) 수집된 자료를 정리하고 V/C와 사고율의 관계 모형을 회귀분석 기법을 이용하여 정립한다.
- (5단계) 정립된 관계식을 이용하여 시설물간 사고율의 특성을 비교·분석한다.

II. 본론

1. 기존 연구 고찰

본 연구에서는 각 시설물간의 사고율을 비교함으로써 어떠한 고속도로 시설물이 사고율이 가장 높은가? 즉, 가장 위험한 구간인가를 판정하여 도로의 설계시 안전적인 요소를 최대한 반영할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다.

오랜 동안 교통량과 사고율의 관계를 규명하기 위한 연구가 계속되었다. 1960년대 중반 Gwynn⁶⁾은 뉴저지의 분리 4차로도로에서 5.9km 구간에 걸쳐 조사 분석한 결과 교통량이 적은 시간대에 사고율이 가장 높고, 교통량과 사고율은 U형의 곡선을 나타낸다고 하였다. Ceder, A. 등⁷⁾은 시간당 교통량과 사고

율의 함수가 U형을 나타낸다고 보고한 바 있다. 그리스의 Frantzeskakis, J. 등⁸⁾은 서비스수준 A,B, 그리고 C(V/C < 0.65)에서는 거의 일정하고 V/C > 1인 구간에서는 V/C=0.65일 때 보다 사고율이 두배 이상되는 것으로 보고한바 있다. Hall과 Pendleton⁹⁾은 뉴멕시코의 지방부도로에서 교통량이 증가하고 V/C가 증가할수록 사고율은 떨어지는 것으로 결론내렸다. 최근에 Min과 Virginia¹⁰⁾ 등은 주말과 주중, 단독사고와 다차량사고, 사고형태에 따른 V/C와 사고율의 관계가 U형으로 V/C가 낮을 때와 높을 때 사고율이 높고 일정구간 사이에서는 이와는 상대적으로 낮은 것으로 연구의 결과를 보고한 바 있다. 이 연구에서는 요일별 또는 주말/평일, 시간대별로 비교 분석되어 있다.

일반적으로 교통량이 증가함에 따라 사고율도 단순 증가할 것이라고 생각하기 쉽다. 그러나, 위의 연구들에서 알 수 있듯이 교통량과 사고율의 상관관계는 단순하지 않음을 알 수 있다. 특히 본 연구에서 분석하려고 하는 영업소, 터널 그리고 기본구간에서의 사고율에 관한 비교는 연구된 바 없어 본 연구를 통한 고속도로 시설물(영업소, 터널)의 사고율 측면에서의 위험도를 기본구간과 비교하고 분석하는 것은 의미있는 작업이라고 판단된다.

2. 자료정리

1) 교통혼잡도(V/C)

한국도로공사의 '92년부터 '97년까지의 교통량 자료("고속도로 교통량 조사"³⁾)를 시간대(24시간)별로 연평균 시간당 교통량(대/시)을 계산한다. 신갈-안산간 고속도로는 신갈 시점에서 안산 종점까지 동수원, 복수원, 부곡, 반월의 4개 IC가 있다. 본 연구에서는 〈그림 1〉에서와 같이 기본구간, 터널구간, 영업소구간을 각각 2지점씩 선정하여 각 구간별로 도로 용량을 구하였다. 이때 용량은 주어진 시간 내에 주어진 도로조건, 교통조건 아래에서 도로 또는 차량의 균일 구간이나 어떤 지점을 통과할 수 있는 최대 교통량, 즉 이상적인 조건하의 용량이 아닌 실제 서비스 용량을 사용하였다.

기본구간과 터널구간의 용량은 식(1)을 이용하여 구하였으며, 이때 기본구간과 터널구간의 측방여유폭보정계수(f_w)는 한국도로용량편람(KHCM)⁴⁾

의 보정계수표를 이용하여 각각 1.00, 0.98을 적용하였다.

트럭의 승용차 환산계수(E_T)와 버스의 승용차 환산계수(E_B)는 측방여유폭 보정계수와 마찬가지로 KHCM의 보정계수표를 이용하여 구했다. 신갈-안산간 고속도로는 종단선형의 범위가 -1.961%~+2.772%로서 전구간이 일반지형의 평지부라 판단할 수 있으며, 이에 따라 $E_T=1.5$, $E_B=1.3$ 값을 적용하였다.

$$C = 2,200 \times N \times f_w \times f_{HV} \quad (1)$$

C : 교통용량(대/시)

$$f_{HV} = \frac{1}{[1 + P_T(E_T - 1) + P_B(E_B - 1)]}$$

중차량보정계수

N : 차로수

f_w : 차로폭 및 측방여유폭 보정계수

영업소구간의 경우에는 부스의 서비스시간을 고려하여 용량이 산정되어야 하므로 한국도로공사의 도로 설계요령⁵⁾에서 제시하는 균일 요금제를 실시하는 영업소의 평균서비스시간인 8초를 적용하여 식(2)를 이용하여 산출하였다.

$$C_{\text{영업소}} = \frac{3600}{8} \times (\text{부스의 수}) \quad (2)$$

$C_{\text{영업소}}$ = 영업소 구간의 용량(대/시)

V/C는 시간대별 연평균 교통량을 위의 식들로 산출된 실제 용량으로 나누어 구하였다. 단순히 교통량을 사용하지 않고 V/C를 적용한 이유는 V/C가 교통량보다 도로의 운영적 특성과 기하구조를 잘 반영할 수 있기 때문이다.

$$(V/C)_{i=} = \frac{AAV_i}{2,200 \times N \times f_w \times f_{HV}} \quad (3)$$

$(V/C)_i$: i 시간대의 교통량 대 용량비

AAV_i : i 시간대 연평균 교통량(대/시)

이상의 과정을 거쳐 산출된 분석 대상 구간의 교통량, 교통용량, V/C는 <표 1>과 같다.

<표 1>에서 알 수 있듯이 기본구간의 V/C는 0.1

6~1.04, 터널구간의 V/C는 0.16~1.04, 영업소구간의 V/C는 0.10~0.80으로서 본 연구에서 분석하고자 하는 바와 같이 다양한 V/C 범위를 나타냈다. 기본구간과 터널구간에서 용량이 변화하는 것은 사고 발생 당시의 시간대 V/C를 분석하고자 이때의 교통량으로 용량을 산출하였기 때문에 시간대별로 차량의 구성비가 달랐으며 이것을 중차량 보정계수(f_{HV})의 P_T 와 P_B 에 반영시켰기 때문이다.

2) 사고율(AR)

신갈-안산간 고속도로의 개통시기인 92년부터 97년까지의 사고자료("고속도로 교통사고 통계"(2))를 정리하면 <표 2>와 같다.

시간대별로 정리된 V/C와 사고율을 비교하기 위해 사고자료를 시간대별로 분류하여 아래 식을 이용하여 시간당 사고율을 계산하였다.

$$AR = \frac{N_i \times 100\text{만}}{V_i \times L} \quad (4)$$

여기서,

AR : 100만 대·km당 사고율
(Hourly Accident Rate)

N_i : i 시간대 사고건수

V_i : i 시간대 교통량(대/시)

L : 분석구간 길이(km)

본 연구를 위한 시설물의 영향구간 길이는 영업소와 터널의 시·종점으로부터 전·후에 일정거리를 합한 구간의 길이로 하는 방법과 고속도로의 각 시설물을 인지할 수 있는 거리(시설물 또는 표지에 대한 거리)를 이용하는 방법이 있을 수 있다. 후자의 경우 대기행렬(Queue)에 의해 영향거리가 변할 수 있으므로 본 연구에서는 일정한 영향거리를 유지하기 위해 전자의 방법을 사용하였다. 일정거리는 750m로 하였으며, 여기에서 750m를 기준으로 한 것은 일반적으로 독립된 연결로에서 영향거리를 750m로 보기 때문이다. 이에 따른 각 시설물의 길이는 광교 터널은 1,980m, 반월터널 1,870m, 동수원 영업소 1,960m, 부곡 영업소 1,840m로 나타났으며, 고속도로 기본구간은 각 시설물의 길이를 고려하여 2.0km를 기준으로 하였다.

〈표 1〉 산출된 구간별 자료

구분	구분	교통량(대/시)	교통용량(대/시)	V/C	구간길이(km)
기본구간	기본 1	774-5613	4998-5520	0.16-1.04	2.0
	기본 2	723-5430	4623-6007	0.16-0.90	2.0
터널구간	광 교	774-5613	4898-5410	0.16-1.04	1.98
	반 월	723-5430	4530-5887	0.16-0.92	1.87
영업소구간	동수원	836-5819	8550	0.10-0.68	1.96
	부 곡	577-4333	5400	0.11-0.80	1.84

〈표 2〉 연도별 사고건수

구간 \ 연도	92	93	94	95	96	97
기본 1	3	6	1	4	3	1
기본 2	2	5	8	5	4	3
광교터널	9	16	16	3	4	3
반월터널	4	15	4	3	3	3
동수원영업소	5	5	17	12	15	8
부곡영업소	9	11	14	12	31	9

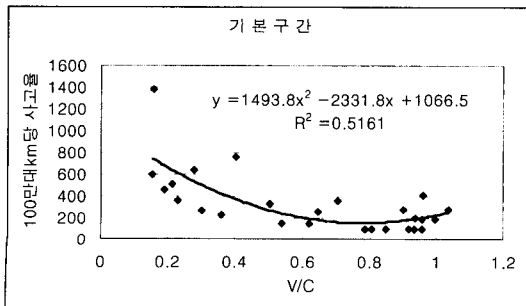
3. 자료분석

1) 기본 구간

각 시설물의 영향거리를 시·중점으로부터 750m로 간주하고, 이 영향권에 들어가지 않는 구간을 선정하여 기본구간으로 분석하였다. 선정된 고속도로 기본구간은 동수원IC~북수원IC 사이의 8.00~10.00km 구간과 반월IC~안산JC 사이의 18.00~20.00km 구간이 선정되었다.

V/C는 0.16~1.04이며, 사고율(AR)은 99.34~1383.99의 범위인 것으로 나타났다.

회귀분석을 통해서 얻어진 V/C와 사고율의 관계는 기존의 연구와 마찬가지로 U형의 2차 곡선 형태로 나타났으며 결정계수 값(R^2)은 0.5161로 분석되었다.



〈그림 2〉 고속도로 기본구간의 V/C와 사고율 관계

사고율이 최저점을 나타내는 V/C는 모형을 미분하여 얻었으며 그 값은 0.78인 것으로 나타났다. 고속도로 기본 구간에서 V/C가 낮은 구간에서 사고율이 높은 것은 V/C가 낮은 경우 운전자의 속도선택이 자유롭고 주행에 장애를 초래할 수 있는 차량이 적어 운전자가 방심하고 주의력이 떨어지기 때문에 사고율이 높게 나타난 것으로 판단된다.

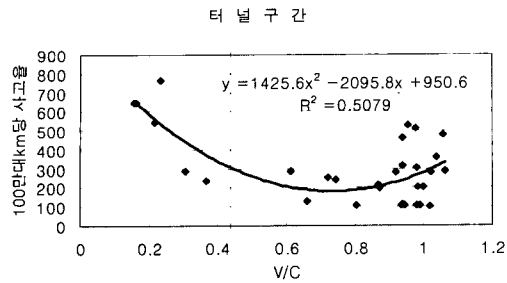
2) 터널 구간

신갈-안산간 고속도로에는 광교 터널과 반월 터널 2개가 있다. 각 터널의 영향 구간 길이 산정은 다음의 과정을 거쳤다. 광교터널은 6+580~7+060의 구간으로 터널만의 길이는 480m이며 이 구간에 상하행으로 750m를 더하면 영향 구간의 길이는 1,980m이며, 반월터널은 21+480~21+850의 구간으로 터널만의 길이는 370m이고 상하행으로 750m씩을 추가하면 1,870m로 나타났다.

터널 구간에서 사고율의 형태도 기본구간과 마찬가지로 U형으로 나타났으며 V/C는 0.16~1.04, 사고율(AR)은 105.45~766.13 범위인 것으로 나타났다.

회귀분석을 통하여 얻어진 V/C와 사고율의 관계는 2차함수형태로 나타났으며 결정계수 값(R^2)은 0.5079로 나타났다.

사고율이 최저점을 나타내는 V/C는 계산 결과 V/C=0.75에서 사고율이 180.37로 가장 낮으며 V/C=0.75 이전에서는 사고율이 감소하다가 그 이후부터는 사고율이 증가하는 것으로 나타났다.

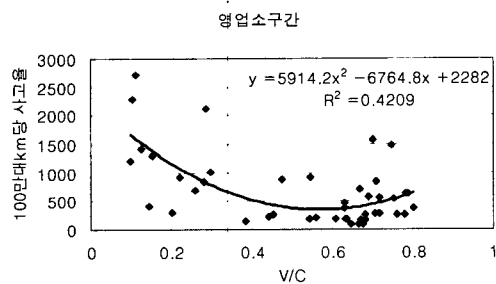


〈그림 3〉 고속도로 터널 구간의 V/C와 사고율 관계

3) 영업소 구간

신갈-안산 고속도로에는 터널과 마찬가지로 2개의 영업소가 있으며, 동수원 영업소는 3+180~3+640에 위치해 있으며 길이는 460m, 부곡영업소는 15+620~15+960에 위치해 있고 길이는 340m이다. 영향권을 시·종점으로부터 대략 750m를 기준으로 각 영업소의 영향구간 길이는 동수원 영업소 구간은 1,960m, 부곡 영업소 구간은 1,840m로 나타났으며 이를 기준으로 V/C와 사고율의 관계를 분석하였다.

영업소 구간의 V/C와 사고율의 관계를 살펴 보면 V/C는 0.10~0.80, 사고율(AR)은 89.83~2713.77 범위인 것으로 나타났다. 회귀분석을 통하여 얻어진 V/C와 사고율의 관계는 다른 구간과 마찬가지로 U형의 2차 곡선 형태로 나타났으며 결정계수 값(R²)은



〈그림 4〉 고속도로 영업소구간의 V/C와 사고율 관계

〈표 3〉 V/C와 AR의 관계식

시설물	V/C와 AR의 관계식	결정계수(R ²)
기본 구간	AR=1493.8(V/C) ² -2331.8(V/C)+1066.5	0.5161
터널 구간	AR=1425.6(V/C) ² -2095.8(V/C)+950.6	0.5079
영업소 구간	AR=5914.2(V/C) ² -6764.8(V/C)+2282	0.4209

주 : AR : 교통사고율

0.4209로 나타났다. V/C=0.57에서 사고율이 가장 낮았다.

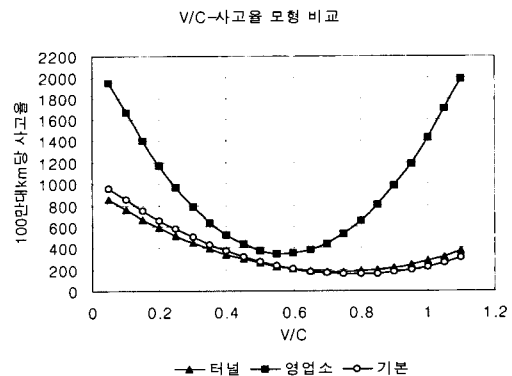
4. 교통혼잡도와 사고율 관계 비교

각 시설물의 V/C와 사고율의 관계식은 〈표 3〉과 같다.

회귀분석을 통해 산정된 각 시설물의 V/C와 사고율의 관계를 그림으로 표현하면 〈그림 5〉와 같다.

〈그림 5〉의 모형에서 알 수 있듯이 V/C의 전 범위에서 영업소 구간이 터널 구간이나 기본 구간보다 사고율이 높게 나타났다.

터널 구간과 기본 구간을 비교해보면, V/C=0.67을 기준으로 그 이하에서는 기본 구간이, 그 이상에서는 터널 구간의 사고율이 높은 것으로 나타났다. 고속도로 각 시설물 구간의 사고율이 최저가 되는 V/C는 〈표 4〉와 같다.



〈그림 5〉 V/C에 따른 시설별 사고율의 모형 비교

〈표 4〉 사고율이 최저인 V/C

구간	기본구간	터널구간	영업소구간
V/C	0.78	0.75	0.57

III. 결론

본 연구의 목적은 고속도로의 영업소 구간, 터널 구간 그리고 기본 구간의 교통혼잡도(V/C)와 사고율의 관계를 규명하는 것이었다. 이를 토대로 각 구간의 V/C와 사고율의 관계를 회귀분석을 통하여 모형화하였다.

고속도로에서 영업소 구간과 터널 구간 및 기본 구간과의 사고율 비교를 위하여 신갈-안산간 고속도로의 '92년부터 '97년까지의 교통량자료와 사고자료를 이용하여 V/C와 사고율(AR)을 산정 하였으며, 분석결과 사고율이 "U"형의 곡선을 나타냈다. 영업소구간의 사고율이 전반적으로 높게 나타났으나, V/C의 변화에 따라 사고율도 변화함을 알 수 있었다. 본 연구에서 분석된 사고율과 V/C의 관계는 교통사고의 예측과 예방을 위한 기초자료로 유용하게 쓰일 수 있을 것으로 판단된다. 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 터널 구간과 기본 구간

터널 구간의 경우 기본구간과 비교시 사고율의 관점에서 더욱 위험하다고 단정적으로 말할 수는 없지만, V/C가 높은 경우, 즉 V/C=0.67 이상인 경우에는 터널 구간이 기본 구간보다 사고발생 가능성이 높은 것으로 분석되었다. V/C가 0.5~0.8구간에서는 기본구간과 터널구간의 사고율이 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

2) 영업소 구간과 터널 구간

조사된 자료의 전 범위의 V/C에서 영업소 구간의 사고율이 높았으며, 영업소 구간에서는 V/C=0.57, 터널구간에서는 V/C=0.75 일 때 사고율이 가장 낮은 것으로 나타났다.

3) 연구의 한계

정립된 회귀식의 결정계수가 0.42~0.52로 나타나 V/C에 의한 교통사고를 충분히 설명하지는 못했으며 이것은 교통사고의 원인이 여러 가지 요인이 복합적으로 작용하기 때문인 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 건설교통부, "도로정비 기본계획", 1998, 12.
2. 한국도로공사, "고속도로 교통사고 통계", 92~97년.
3. 한국도로공사, "고속도로 교통량 조사", 92~97년.
4. 건설부, "도로용량편람", 1992.
5. 한국도로공사, "도로설계요령", 1992, 12.
6. Gwynn, D.W. "Relationship of Accident rate and Accident Involvements with Hourly Volumes", Traffic Quarterly, July 1967, pp.407~418.
7. Ceder, A., and M. Livenh. "Relationship Between Road Accident and Hourly Traffic Flow-I and II", Accident Analysis and Prevention, Vol.14, No.1, 1982, pp.19~44.
8. Frantzeskakis, J.M., and D.I.Iordanis. "Volume-to-Capacity Ratio and Traffic Accident on Interurban Four-Lane Highways in Greece", TRR 1112, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1987, pp.29~38.
9. Hall, J.W., and O.J. Pendleton. "Relationship Between V/C Ratios and Accident Rates", Report FHWA-HPR-NM-88-02. FHWA, U.S. DOT, June 1989.
10. Min Zhou, and Virginia P. Sisiopiku "Relationship Between V/C Ratios and Accident Rates", TRR 1581, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1997, pp.47~52.