



변수변환 기법을 이용한 고속도로 트럼펫IC 유출연결로 교통사고율 예측모형 개발

Development of Traffic Accident Rate Forecasting Models for Trumpet IC Exit Ramp of Freeway using Variables Transformation Method

윤 병 조*

Yoon, Byoung Jo

Abstract

In this study, It is focused on development of the forecasting model about trumpet InterChange(IC) ramp accident because of the frequency of accident in ramp more than highway basic section and trend the increasing accident in ramp. The independent variables was selected through statistical analysis(correlation analysis, multi-collinearity etc) by ramp types(direct, semi-direct and loop). The independent variables and accident rate is non-linear relationship. So it made new variables by transformation of the independent variables. The forecasting models according to exit-ramp type (direct, semi-direct and loop) are built with statistical multi-variable regression using all possible regression method. And the forecasts of the models showed high accuracy statistically. It is expected that the developed models could be employed to design trumpet IC ramp more cost-efficiently and safely and to analyze the causes of traffic accidents happened on the IC ramp.

Keywords : freeway, trumpet IC, ramp, accident rate, accident forecasting model

요 지

본 연구는 도로연장측면에서 본선에 비해 상대적으로 연결로에서 발생하는 사고빈도가 높고, 교통사고가 증가하는 추세인 고속도로 연결로의 교통사고 예측모형의 개발에 초점을 두었다. 연결로 유형별(직결, 준직결, 루프)로 통계적으로 유의한 사고인자를 선정하고, 사고율과의 관계가 비선형임을 분석하여 변수를 변형(Variables Transformation)하여 All possible 방식으로 예측모형을 개발하고, 통계적 진단 및 검증을 거쳐 유의성을 확인하였으며 이에 기존 개발 모형에 비해 예측력이 더욱 우수한 결과를 보였다. 개발된 사고예측모형은 보다 비용면에서 효율적이고, 안전한 트럼펫형 IC 연결로의 설계와 연결로 교통사고 원인분석에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어: 고속도로, 트럼펫형 IC, 연결로, 사고율, 사고예측모형

* 정희원 · 시립인천전문대학 토목과 전임강사 · 공학박사 (E-mail: bjyoon@icc.ac.kr)



1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

고속도로는 고속의 이동성을 주요기능으로 하는 도로로, 사람과 물자의 이동에 매우 중요한 도로이다. 우리나라에는 현재 현재 3,132km(2008년 3월 기준)의 고속도로가 건설되어, 다양한 형태의 인터체인지(IC, Interchange)가 운영되고 있다.

고속도로에서 발생하는 교통사고는 대형 인명피해 및 이동성 저하를 일으켜 막대한 사회손실비용이 소요된다. 따라서 고속도로 안전성 제고를 통하여 인적 피해를 경감하고, 사회적 비용을 감소시키기 위한 방안으로 교통사고 예측모형개발, 고속도로 안전진단 등에 관한 연구가 진행되고 있다.

표 1에서 보는 바와 같이 연결로 교통사고는 매년 증가 추세에 있으며, 본선에 비하여 선형이 복잡한 고속도로 연결로의 경우 선형조건이 사고에 미치는 영향은 매우 크다고¹⁾ 할 수 있다.

표 1. 연도별 연결로 사고건수

연 도	1999	2000	2001	2002	2003	전 체
전체 사고건수	3,797	3,910	3,638	3,957	3,585	18,887
연결로 사고건수	174	201	208	234	276	1,093
(%)	(4.58)	(5.14)	(5.72)	(5.91)	(7.70)	(5.79)

선형조건은 연결로 설계시 고려되는 것이 바람직하나, 교통사고는 도로완공 후 발생하는 것으로 사전에 교통사고의 정도를 진단 및 예측할 수 있는 교통사고예측모형의 개발은 매우 유용할 수 있다. 하지만, 연결로 관련자료의 수집과 분석의 어려움으로 인해 교통사고 예측모형에 대한 연구는 주로 고속도로 본선에 국한하여 수행되고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 연결로 중에서도 유입사고

율에 비해 약 2.84²⁾배 높은 유출연결로에 대한 연구가 필요하므로, 우리나라 고속도로 IC의 대부분을 차지하는 트럼펫형 IC³⁾ 유출연결로의 주요 설계요소들을 이용한 교통사고 예측모형을 개발하고자 한다.

1.2 연구내용 및 수행과정

본 연구는 1999년~2003년(5년)간 영동·중앙·남해·서해안·중부내륙고속도로의 트럼펫형IC 99개소에서 발생한 교통사고자료를 분석하여 고속도로 트럼펫IC의 선형조건과 교통량 조건에 따른 진출연결로 형태별 교통사고예측모형을 개발하는데 초점을 두고 있다.

본 연구의 수행과정은 다음과 같다. 1단계는 국내외의 기존 고속도로 본선 및 연결로 관련 사고모형을 검토하여 교통사고에 영향을 주는 영향인자를 검토하여 연구방향을 정한다.

2단계는 모형 변수로 적용할 주요설계요소를 선정하고, 설계요소에 대한 충분한 자료를 확보하기 위하여 시공간적인 범위를 설정하여 고속도로 노선의 IC 연결로 선형자료, 연도별 교통사고 속보자료, 연도별 TCS(Toll Collection System) OD자료(대/일), 연도별 고속도로 네트워크자료를 수집 및 가공한다.

3단계는 주요설계요소의 정규성, 상관도 등 통계적 검증을 통하여 모형의 적정 설명변수를 선정한다.

4단계는 연결로 유형별로 설명변수와 사고율(AR, Accident Rate; 건/백만대)과의 산점도(단변량회귀분석)을 통하여 관계도를 분석한다.

마지막으로, 5단계에서는 4단계에서 정의된 관계(변수변환, Variables Transformation)식을 활용하여 최종 다중회귀분석을 통한 사고예측모형을 개발하고, 개발모형의 회귀진단 및 시·공간적 전이성을 통계적으로 검증한다.

1) 폭선구간의 사고율은 폭도의 변화에 따라 직선구간의 사고율보다 약 2배~12배정도 높은 것으로 나타났다(R. Lamm (1988)).

2) 수집된 104건의 연결로 사고 중 유출 연결로 사고는 77건으로 약 74%로 나타났다.

3) 2004년 말 한국도로공사판내 폐쇄식 구간의 IC는 총 221개소로 조사되었으며, 트럼펫형 IC는 188개소로써 전체의 85.1%를 차지하였다.



2. 기존연구 고찰

2.1 트럼펫형 IC

트럼펫형 IC는 3지 완전입체 교차로의 대표적인 형식으로서 그림 1과 같이 Loop연결로, 준직결(S형)연결로, 그리고 2개의 직결연결로로 구성된다. 그림 1은 트럼펫A형을 나타내며 트럼펫B형은 A형과 유출입 방향이 뒤바뀐 형태이다. 일반적으로 교통량이 많은 연결을 우선적으로 직결, 준직결, 루프의 형태가 되도록 트럼펫 A형과 B형을 결정하게 된다.

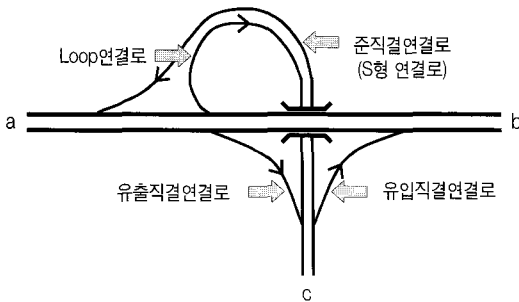


그림 1. 트럼펫A형 IC의 연결로 형태

2.2 국외 연구

1960년 미국 연구에 의하면 유입연결로에 비해 유출연결로의 사고율이 1.61배 높게 보고되었으며⁽¹⁵⁾, 아시아에서는 비슷한 시기에 일본에서 명신(明信) 고속도로의 자료를 분석한 결과 트럼펫A형의 사고율이 B형보다 약 5배 높은 것으로 보고되었다⁽⁶⁾.

Cirillo(1969) 등은 교통량과 IC 형식별 기하구조에 의해 교통사고 발생이 다르게 나타난다는 결론을 내렸고, Morganstein(1978) 등은 구체적인 자료를 체계화하여 다중회귀분석을 이용한 교통사고예측모형을 개발하였으며, 1980년대 Harwood (1982)에 의해 고속도로 및 간선도로 IC의 안전을 고려한 설계지

침 등에 관한 연구로 발전하였다. Twomey(1992) 등에 의하여 사고요인에 대한 분석이 수행되었으며, Miao(1992)는 기하구조와 사고와의 관계를 포아송 분포를 이용하여 모형을 구축하였고, Bauer와 Harwood(1997)는 IC연결로와 가/감속 차로구간의 사고예측모형의 개발 연구를 수행하였으며, IC에서의 사고발생 요인을 수학적으로 규명하여 제시하였다. 또한 개발된 모형을 이용하여 기하구조와 사고율의 관계를 제시함과 더불어 IC 연결로 교통사고영향 인자로 교통량, 연결로의 형식, 연결로의 기하구조 등이라는 결론을 제시하였으며, Karlaftis(2002)는 지방도로의 사고율에 대해 수평기반 회귀(hierarchical tree based regression)기법을 이용하여 분석하였다.

2.3 국내 연구

국내의 경우, 기본 구간에 관한 연구는 김태원(1996), 이점호(2000) 등 꾸준한 연구가 이루어지고 있으나, IC 연결로의 교통사고 원인을 규명하기 위한 연구는 매우 미진한 실정이다.

박병호, 류승옥(2002)은 경부고속도로 일부 트럼펫형 IC를 대상으로 IC형식별 교통사고예측모형을 개발하였으나, 준직결 및 Loop 연결로 곡선반경의 1개의 설명변수로 고려하였고, 분석자료가 매우 제한되었으며, 통계적 검증(분산분석, 다중공선성 등)이 미흡하였다. 또한 경부고속도로 IC만을 연구대상으로 선정함으로써 공간적 적용성에 대한 한계가 있다.

윤병조(2006)는 5년간의 5개 고속도로자료를 이용하여 곡선반경, AADT 등을 이용하여 선형 사고예측모형을 개발하고 서해안선에 적용하여 공간적 유의성까지 통계적 검증(유의도 0.08~0.35, 상관계수 0.87)을 하였다. 하지만, 사고인자와 사고율과의 관계를 선형으로 가정하여 사고와 설명변수간의 비선형성을 설명하지 못하였으며, 예측된 사고율이 음수가 될 수 있는 문제를 안고 있다.



2.4 고찰결과

사고예측모형에서 주로 사용되는 변수는 도로설계 및 교통조건변수로 나눌 수 있는데, 고찰결과 주요 사용빈도는 표 2와 같다. 도로설계조건은 곡선반경(R), 도로폭, 길어깨폭, 종단경사 순으로 적용빈도가 높았으며, 교통조건은 교통량의 적용빈도가 가장 높았다. 특히, 교통량(17.6%)과 곡선반경(23.5%)을 동시에 설명변수로 적용한 연구의 비중이 높았으며, 두 설명변수의 사용빈도는 전체 설명변수 사용빈도의 41.1%에 달했다.

표 2. 설명변수 사용 빈도

구 분	교통량	곡선 반경	도로폭	길어깨 폭	종 단 경사	기 타	합 계
사 용 건	9	12	7	4	3	16	51
빈 도 %	17.6	23.5	13.7	7.8	5.9	31.4	100.0

우리나라 고속도로사고는 대부분 본선에서 발생한다. 하지만, 본선의 사고건수는 줄어드는 추세이고 연결로의 사고건수는 늘어나는 추세로 연결로에 대한 사고예측모형의 필요성이 증가하고 있다. 또한, 기존 선형모형식은 사고율이 음수가 될 수 있는 가능 영역이 있어 적용에 한계가 있다.

3. 자료수집 및 정리

3.1 시·공간적 범위

시간적 범위는 충분한 교통사고 확보를 위해 1999년부터 2003년(5년)까지로 하였으며, 연결로의 주행에 영향을 미치는 선형개량, 차로확장 등의 도로공사가 적고, 폐쇄식 요금징수체계가 적용되는 영동·중앙·남해·서해안고속도로와 중부내륙고속도로 일

부구간의 유출연결로를 공간적 범위로 하여 표 3과 같이 설정하였다.

표 3. 대상 고속도로 노선 및 대상 IC개소

노 선	영 동	중 앙	남 해	서해안	중부내륙
IC개소	18 (23,22)	11 (22,18)	11 (28,20)	23 (26,24)	4 (15,15)

주: 총 IC개소, 트럼펫형 IC개소 - 2004년 1월 기준

3.2 주요설계요소 설정

트럼펫형 IC의 연결로는 직결, 준직결, 루프 연결로로 구성되며, 연결로 곡선부의 선형조건을 반영하기 위하여 곡선반경(r_1, r_2, m)을, 곡선간의 연속성을 고려하기 위하여 곡률차(ρ)⁴⁾를, 속도자료 수집의 현실적인 한계로 진출연결로의 진입속도를 반영하기 위해 본선의 경사($g, \%$)를, 연결로 이용행태(주방향)을 반영하기 위한 교통량(AADT, Annual Average Daily Traffic)을 표 4와 같이 주요설계요소로 선정하였다.

표 4. IC연결로의 주요 설계요소

구 분	주요 설계요소
선형 및 교통조건	곡선반경(r_1, r_2, m), 본선경사($g, \%$) 일평균교통량(AADT, 대/일)
곡선의 조합	곡률차(ρ)

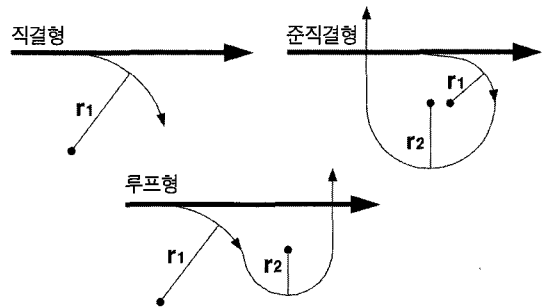


그림 2. 유출연결로 형태별 곡선반경

4) 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 갖는다. 따라서 본 논문에서는 곡률차를 $(1/r_1 - 1/r_2) \times 100$ 으로 정의하여 적용하도록 한다.



연결로를 주행하는 차량이 첫 번째 주행하는 곡선 반경을 r_1 , 두 번째 주행하는 곡선반경을 r_2 로 정의하였으며, 그림 2에서와 같이 연결로 형식별 진행방향별로 설정하였다.

3.3 자료가공방법

본 연구에서 사용된 IC기하조건 및 교통량, 사고건수 자료는 한국도로공사의 지리정보시스템(HGIS, Highway Geographic Information System)의 IC 및 본선의 평면도 및 종평면도, TCS 교통량, 교통사고 속보자료, IC별 이점자료를 이용하였으며, 수집자료의 출처는 표 5와 같다.

표 5. 수집자료 및 출처

수 집 자 료		자 료 출 처
도로선형	곡선반경 (r_1, r_2)	IC 평면도
	본선의 경사 (g)	본선 종평면도
교통조건	교통량 OD	TCS 교통량
교통사고	연결로별 사고건수	교통사고속보자료

주: 교통량OD 및 사고건수는 연도별 자료임.

도로선형자료는 IC평면 및 본선종평면도를 이용하였으며, IC 연결로별 사고건수는 교통사고속보자료와 IC별 이점자료를 이용하여 1차 수집·정리하고 속보 내용을 기준으로 연결로 사고자료를 추출하였다. 또한, IC연결로에는 차량검지기 미설치로 실제 교통량 정보의 수집이 어려워 TCS시스템의 교통량 OD자료를 연구의 시간적 범위(1999~2003년)동안 고속도로망에 전량통행배정기법을 이용하여 연도별 연결로별 일평균교통량(대/일)을 산정하였다. 이와 같은 교통량이 참값은 아니지만, 연구의 시간적 범위가 중부 내륙고속도로 개통 이전의 단일경로 고속도로망 환경이며, TCS 교통량자료가 전수에 가깝고, 산출한 교통량이 일평균교통량(AADT,대/일)인 점을 고려하면 적용에는 무리가 없을 것으로 판단된다.

교통량에 비하여 사고건수(건/5년)는 매우 작기

때문에 본 연구에서는 사고율로 건/MV(Million Vehicle)를 이용하도록 하며, 산정식은 아래와 같이 산정한다.

$$AR(\text{건/백만}) = \frac{N}{365 \times V} \cdot \text{백만} \quad (1)$$

N : 사고건수(건/5년), V : 연도별 AADT 합

4. 사고예측모형 개발

4.1 자료분석

4.1.1 정규성검증(Normality)

일반적으로 교통사고자료의 분포는 발생빈도가 적고 이산형 정수이기 때문에 포아송 분포(Poisson Distribution)를 따르는 것으로 알려져 있으나, 본 연구에서는 사고건 수를 교통량으로 나눈 사고율을 활용했기 때문에 이에 대한 통계적 검증과정이 요구된다. 이는 모집단의 분포가 정규분포를 따른다는 가정이 성립되면 그 표본의 분포가 정규분포에 조금 위배되더라도 회귀분석에 크게 문제를 일으키지 않기 때문이다.

		AR_직결
N		17
Normal Parameter ξ^b	Mean	.7353
	Std. Deviation	.84183
Most Extreme Differences	Absolute	.316
	Positive	.316
	Negative	-.225
Kolmogorov-Smirnov Z		1.303
Asymp. Sig.(2-tailed)		.067

(a) 직결

		AR_준직결
N		14
Normal Parameter ξ^b	Mean	.4500
	Std. Deviation	.31317
Most Extreme Differences	Absolute	.255
	Positive	.255
	Negative	-.154
Kolmogorov-Smirnov Z		.956
Asymp. Sig.(2-tailed)		.320

(b) 준직결



		AR_루프
N		23
Normal Parameter $\hat{\epsilon}^b$	Mean	1.2870
	Std. Deviation	1.02616
Most Extreme Differences	Absolute Positive	.154
	Negative	-.124
	Kolmogorov-Smirnov Z	.793
Asymp. Sig.(2-tailed)		.645

(c) 루프

그림 3. 정규성 검증결과

따라서 본 연구에서는 사고율자료의 정규성을 파악하기 위해 K-S(Kolmogorov-Smirnov)검증을 수행하였으며, 그 결과 직결형, 준직결형, 루프형 각각 사고율자료의 근사유의확률이 0.065, 0.320, 0.645로 유의수준 0.05로 볼 때 유의한 차이가 없으므로 정규분포성을 갖는다 할 수 있다.

4.1.2 상관도분석

연결로 유형별 영향인자 중 사고율에 대한 설명력이 떨어지는 변수가 존재할 수 있으며, 또한 다른 영향인자간의 과중한 상관관계로 다중공선성의 문제를 발생시킬 수 있으므로 교통사고 영향인자에 대한 상관분석을 실시하였다.

직결 연결로는 AADT와 상관성이 높고 사고율과 상관성이 적고 적용현실성을 감안하여 본선경사를 제외한 r_1 , AADT를 교통사고영향인자로 선정하였다.

표 6. 직결 연결로의 상관분석 결과

구분	r_1	본선경사	AADT	사고율
r_1	-	-	-	-
본선경사	-0.281	-	-	-
AADT	0.222	-0.461	-	-
사고율	-0.677	0.213	-0.519	-

준직결 연결로와 루프형 연결로는 변수간 상관도가 낮거나 다중공선성을 일으킬 소지가 큰 본선경사와 곡률차를 제외한 r_1 , r_2 , AADT를 교통사고 영향인자로 선정하였다.

표 7. 준직결 연결로의 상관분석 결과

구분	r_1	r_2	곡률차	본선경사	AADT	사고율
r_1	-	-	-	-	-	-
r_2	-0.316	-	-	-	-	-
곡률차	-0.757	0.848	-	-	-	-
본선경사	0.134	0.393	0.242	-	-	-
AADT	-0.355	0.876	0.772	0.272	-	-
사고율	0.810	-0.721	-0.953	-0.325	-0.708	-

표 8. 루프형 연결로의 상관분석 결과

구분	r_1	r_2	곡률차	본선경사	AADT	사고율
r_1	-	-	-	-	-	-
r_2	0.513	-	-	-	-	-
곡률차	-0.316	0.521	-	-	-	-
본선경사	0.164	0.502	0.499	-	-	-
AADT	0.517	0.745	0.414	0.420	-	-
사고율	-0.426	-0.662	-0.527	-0.298	-0.755	-

4.2 사고율과 설계요소와의 관계

4.2.1 AADT (Annual Average Daily Traffic)

AADT가 많으면 사고율(AR)이 매우 작지만 AADT가 적은 경우에는 사고율이 급격히 증가하는 음의 누승형태($Y=a \cdot X^{-b}$)를 나타낸다. 다른 설계요소에 비해서도 관계성이 뚜렷하여 설명력이 높은 변수이다.

표 9. 연결로 유형별 사고율 vs AADT 관계

모형번호	유형	R ²	관계식
AADT-1	직결형	0.623	$Y = 1,019.74 \cdot X^{-0.932}$
AADT-2	준직결형	0.821	$Y = 537.34 \cdot X^{-0.909}$
AADT-3	루프형	0.813	$Y = 3,916.53 \cdot X^{-1.1326}$

4.2.2 곡선반경(r_1, r_2)

유출램프의 곡선반경(r_1, r_2)과 사고율의 관계는 모두 2차 다항식의 형태를 가지며, 곡선반경이 증가함에 따라 사고율이 감소하나 특정치 이상으로 증가



할 경우에는 오히려 사고율이 늘어나는 특성을 나타낸다.

표 10. 연결로 유형별 사고율 vs $r_1(r_2)$ 관계

모형번호	유형	R ²	관계식
R1-1	직결형	0.824	$Y=0.00018X^2-0.0678X+6.268$
R1-2	준직결형	0.767	$Y=0.00017X^2-0.042X+2.775$
R1-3	루프형	0.296	$Y=0.0122X^2-1.2752X+33.836$
R2-2	준직결형	0.616	$Y=0.00025X^2-0.0659X+4.329$
R2-3	루프형	0.632	$Y=0.00061X^2-0.1590X+10.067$

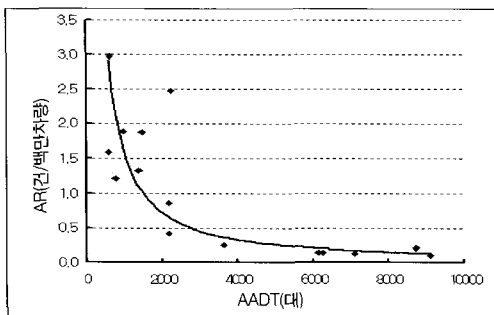
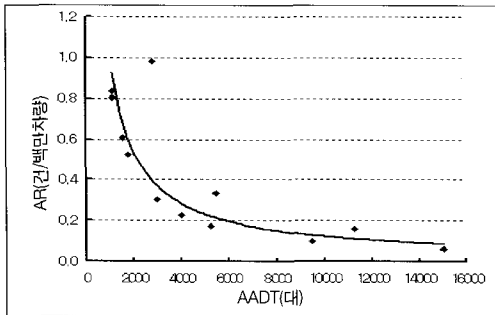
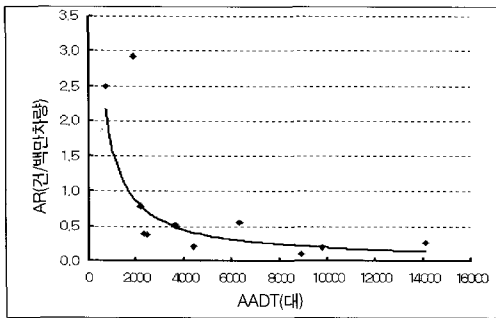


그림 4. 연결로 AADT vs 사고율(직결, 준직결, 루프)

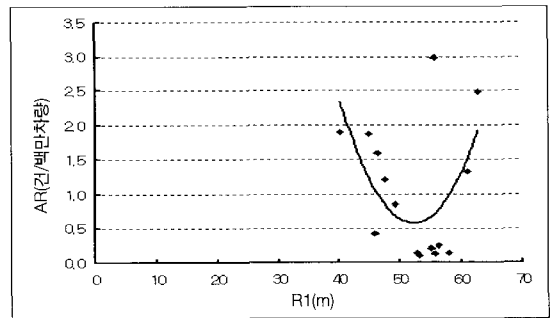
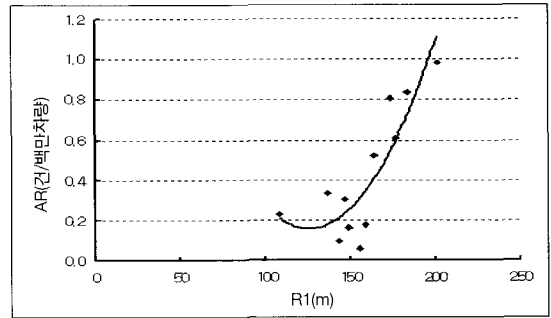
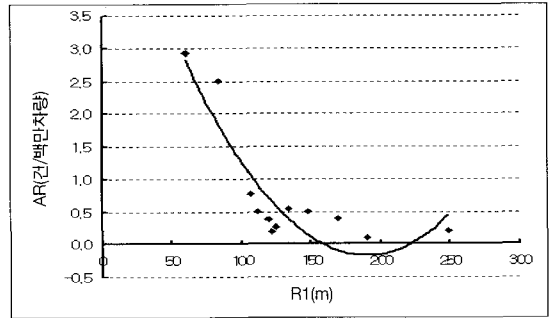


그림 5. 연결로 r_1 vs 사고율(직결, 준직결, 루프)

4.3 다중회귀식 도출

4.3.1 변수 선형화

일반적으로 독립변수와 종속변수간의 다중회귀모형은 분석 및 적용의 용이성으로 인해 대다수가 선형회귀식을 이용하게 된다. 하지만, 앞에서 이미 살펴본 바와 같이 사고영향인자와 사고율과의 관계는 비선형관계이기 때문에 이를 선형관계로 놓고 예측모형을 만들 경우 비선형관계 정도에 따라 예측오차가 증가하게 된다.



따라서, 본 연구에서는 예측력이 우수한 사고예측 모형을 도출하고자 식 (2)와 같이 사고인자를 선형화하는 작업을 거쳐 자료를 활용하고자 한다.

$$Y = a + b_1f(r_1) + b_2f(r_2) + b_3f(AADT) \quad (2)$$

$f(r_1)$ = 유형별 r_1 과 AR의 관계식 (R1-1~3)

$f(r_2)$ = 유형별 r_2 과 AR의 관계식 (R2-2~3)

$f(AADT)$ = 유형별 AADT와 AR의 관계식 (AADT-1~3)

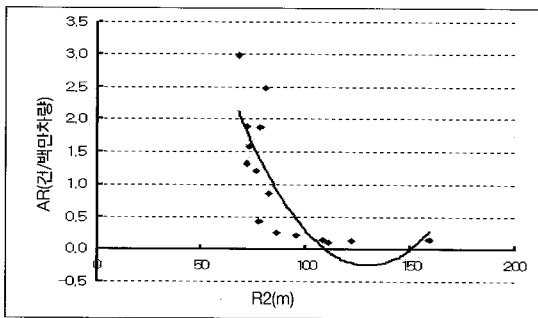
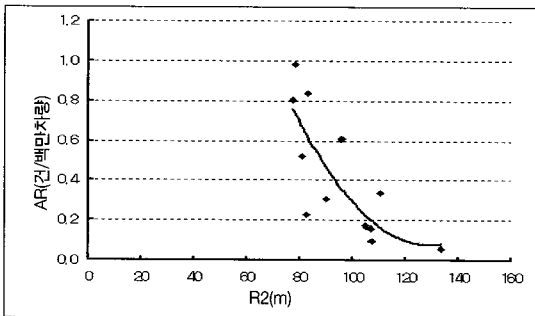


그림 6. 연결로 r_2 vs 사고율(준직결, 루프)

4.3.2 변수선택기법

다중변수 모형은 가능한 한 적은 수의 독립변수로서 이해하기 좋고 사용하기에 좋은 간편한 모형이 되도록 하기 위한 변수 선택법을 이용하여 종속변수(Y)에 영향을 미치는 독립변수(X)를 선택한다. 변수선택방법에는 All Possible Regression, Forward Selection, Backward Elimination, Stepwise 4가지 기법이 있으며 일반적으로 Stepwise 기법이 가장 널리 사용되

고 있으나, 본 연구에서는 활용가능한 변수가 매우 제약되므로 All-Possible방식을 적용하였다.

4.3.3 모형개발

램프유형별로 개발된 사고예측모형은 표 11과 같으며, 모형의 R^2 가 0.70~0.90으로 설명력이 높은 것으로 나타났다. 일반적으로 다중회귀모형에서는 설명변수 개수에 따른 자유도를 고려한 adjusted R^2 를 주로 사용하나, 본 연구는 개발모형의 설명변수 및 자료의 수가 극히 제한적이기 때문에 R^2 로도 모형의 설명력을 판단하였다.

모형의 이차곡선반경(r_2) 계수값이 준직결은 (+), 루프는 (-)로 산출되어, 준직결 램프는 이차곡선반경이 클수록 사고율이 감소하나, Loop 램프는 이차곡선반경이 클수록 오히려 사고율이 증가하는 형태로 모형식이 구성되었다.

표 11. 사고예측 개발모형

램프 유형	설명변수			R^2	$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3$			
	X_1	X_2	X_3		a	b_1	b_2	b_3
직결	$f(r_1)$	-	$f(AADT)$	0.904	-0.1949	0.77570	-	0.58743
준직결	$f(r_1)$	$f(r_2)$	$f(AADT)$	0.907	0.22275	0.13697	-0.1282	0.26136
Loop	$f(r_1)$	$f(r_2)$	$f(AADT)$	0.707	-0.3418	0.53832	0.39988	0.41118

4.4 회귀진단

4.4.1 회귀식 진단(분산분석, ANOVA)

모형의 적합성을 분석한 결과 유의수준 5%에서 연결로 유형별로 개발된 모형이 '회귀식의 설명력 (R^2)'이 0이라는 귀무가설을 기각하게 되므로 회귀식이 종속변수를 설명하는데 유의하다고 할 수 있으며, F검증 결과는 표 12와 같다.

귀무가설(H_0) : $b_1 = b_2 = \dots = b_k = 0$

대립가설(H_1) : $b_1 \neq b_2 \neq \dots \neq b_k \neq 0$



표 12. 회귀식 진단

램프 유형	설명변수			회귀식 F검정(ANOVA)		
	X ₁	X ₂	X ₃	F-값	유의도	귀무가설 ($\alpha=5\%$)
직결	$f(r_1)$	-	$f(AADT)$	42.38	0.00%	기각
준직결	$f(r_1)$	$f(r_2)$	$f(AADT)$	25.95	0.02%	기각
Loop	$f(r_1)$	$f(r_2)$	$f(AADT)$	8.86	0.28%	기각

4.4.2 회귀계수 검증

종속변수와 독립변수가 서로 선형관계를 맺고 있는지, 회귀모형 각각의 독립변수들이 제대로 선택된 것 인지를 판단하기 위해 t검증을 시행한 결과, 일부 설명변수의 회귀계수가 유의하지 않은 것으로 나타났다.

표 13. 회귀계수 진단

램프 유형	회귀계수 t검정								
	b1			b2			b3		
	t-값	유의도 (%) ($\alpha=5\%$)	귀무가설 ($\alpha=5\%$)	t-값	유의도 (%) ($\alpha=5\%$)	귀무가설 ($\alpha=5\%$)	t-값	유의도 (%) ($\alpha=5\%$)	귀무가설 ($\alpha=5\%$)
직결	5.561	0.04	기각	-	-	-	2.732	2.32	기각
준직결	4.163	0.32	기각	-2.449	4.00	기각	1.445	-0.75	기각
Loop	1.526	15.53	채택	0.992	34.25	채택	1.437	17.85	채택

4.4.3 다중공선성 진단⁵⁾

공차한계값(Tolerance), 분산팽창요인(VIF), 상태수(Condition Index)값 등을 검토한 결과 다중공선성 문제는 없다고 볼 수 있다.

직결형 Model	Correlations			Collinearity Statistics	
	Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
(Constant)					
reg_r1	.908	.880	.574	.662	1.512
reg_aadt	.758	.673	.282	.662	1.512

준직결형 Model	Correlations			Collinearity Statistics	
	Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
(Constant)					
reg_r1	.812	.827	.449	.672	1.488
reg_r2	-.720	-.655	-.264	.525	1.906
reg_aadt	.808	.455	.156	.402	2.490

루프형 Model	Correlations			Collinearity Statistics	
	Zero-order	Partial	Part	Tolerance	VIF
(Constant)					
reg_r1	.536	.418	.249	.679	1.473
reg_r2	.787	.287	.162	.261	3.826
reg_aadt	.722	.398	.234	.327	3.063

그림 7. 다중공선성 진단 (a)직결, (b)준직결, (c)루프

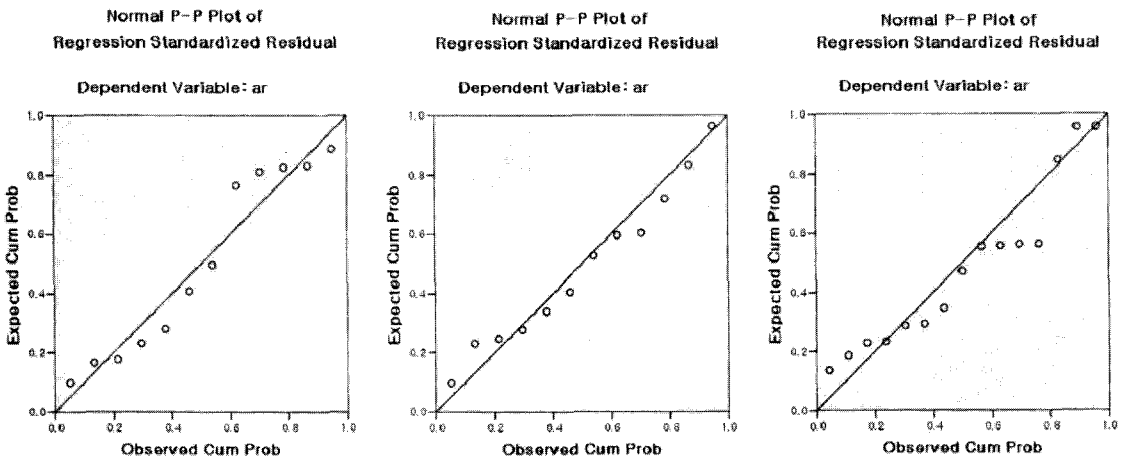


그림 8. 예측치 오차분포도

5) 일반적으로 통계학에서는 다중공선성 진단시 가장 많이 사용되는 지표는 공차한계(Tolerance), 분산팽창요인(variance inflation factor : VIF) 값이 있으며, 공차한계가 0.10 이하, 분산팽창요인이 10 이상이면 공선성이 문제될 수 있다고 본다.



4.4.4 잔차분석

개발된 회귀식은 ① 평균=0, ② 동분산성, ③ 상호 독립적, ④ 정규분포라는 4가지 잔차 가정을 만족해야 하는데, 편회기 잔차 및 표준화 잔차를 그려본 결과 위의 잔차 가정을 대체로 만족하므로 샘플자료를 토대로 개발된 모형의 타당성이 입증되었다.

표 14. 개발모형의 적용 검증결과

램프 유형	95% 신뢰구간		t	자유도	유의도 (2-tailed)	귀무가설 ($\alpha=5\%$)
	Lower	Upper				
직결	-0.5013	0.4250	-0.262	3	0.810	채택
준직결	-1.437	1.327	-0.505	1	0.702	채택
Loop	-0.465	0.568	0.256	5	0.808	채택

5. 개발모형의 적용 및 검증

5.1 적용 및 검증을 위한 자료

본 연구에서 개발된 모형의 공간적 전이성, 현실 적용성을 검증하기 위해 서해안고속도로의 트럼펫형 IC형식 12개소 중 유출램프 사고건수 21건/5년을 대상으로 모형에 적용하였으며, 모형적용의 시간적 범위는 1999년~2003년으로 5년간이다.

5.2 개발모형의 적용성 검증

5.2.1 대응표본 t-검증(Paired Sample t-test)

대응표본 t-검증 결과, 표 14와 같이 귀무가설(H_0 : 사고율의 차이=0)을 채택하여 사고예측모형을 이용하여 추정된 사고율과 실제로 관측된 사고율에 차이가 없는 것으로 분석되었다.

5.2.2 산포도(Scatter-diagram)

실사고율자료와 개발모형자료를 산포도로 도식화해 본 결과는 그림 9와 같으며, 상관도는 0.924로 높게 나타나 개발모형은 이전 단순선형 사고예측모

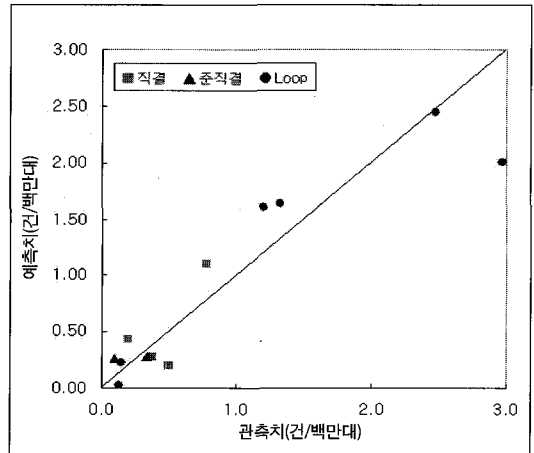


그림 9. 관측치와 모형예측치 산점도

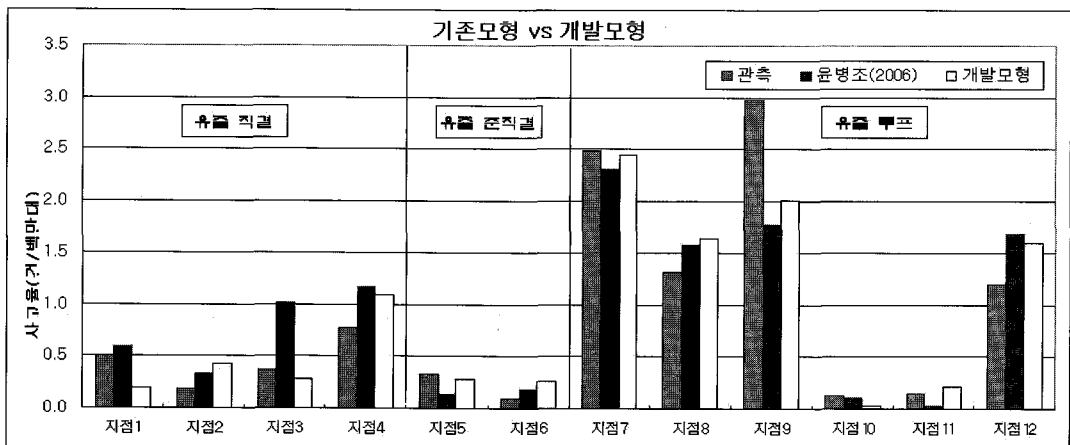


그림 10. 기존모형 vs 개발모형 예측치 비교



형(유의도 0.08~0.35, 상관계수 0.87)에 비해서도 더욱 우수한 예측력을 갖는 것으로 나타났다.

6. 결론

고속도로는 이동성을 주기능으로 하는 고속의 도로로, 발생하는 교통사고의 정도는 매우 심각하다. 이로 인한 인명피해와 혼잡으로 인해 발생하는 정체는 막대한 사회적 비용을 초래하게 된다. 이러한 교통사고의 진단 및 예방을 위하여 많은 사고예측모형이 개발되고 있으나, 대부분이 고속도로 본선에 대한 것으로 최근 연결로의 교통사고건 수가 증가함에도 불구하고 자료수집 및 분석의 어려움으로 인해 연결로에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 기존 관련 연구내용을 고찰하여 주요사고영향인자를 설정하고, 연결로 유형별 사고발생과 상관이 적은 변수와 다중공선성을 일으키는 변수를 제외한 유의미한 변수를 사고인자로 선정하여, 개별 변수와 사고율이 비선형 관계임을 분석하고, 비선형 변수를 선형화로 변형 (Variables Transformation)하여 All possible 방식으로 다중회귀모형식을 개발하였다. 개발모형은 유의수준 5%에서 회귀식이 유의한 것으로 진단되었으며, 공간적 전이성을 검증하기 위하여 서해안선에 적용하여 검증한 결과도 유의수준 5%이내에서 관측치와 예측치가 동일한 것으로 나타나 기존 모형 (유의도 0.08~0.35, 상관계수 0.87)보다 우수한 예측능력 (유의도 0.70~0.815, 상관계수 0.92)을 갖는다 할 수 있다.

하지만, 개발모형은 변수변환을 통하여 예측사고율이 음수가 나올 가능성을 크게 낮추었으나 완전히 배제하지는 못하였으며, 사고자료의 부족으로 유입연결로의 교통사고예측모형 개발이 제외되었다. 또한, 속도변화량, 사고의 심각도 및 유형, 날씨, 노면상태, 운전자의 운전상태 및 생리학적 특성, 차량상태 등 다양한 변수를 고려하지 못하였다.

이러한 한계에도 불구하고 개발된 사고예측모형은 교통사고를 최소화하는 비용-효율적인 유출연결로 형식 및 설계요소결정에 활용될 수 있으며, 사고취약 유출연결로에 대한 교통사고원인을 분석하고 개선대안 수립시 의사결정과정에 정량적 지표로서 활용이 가능할 것으로 사료된다.

향후에는 개발모형을 토대로 사고율을 최소화하는 유출램프 설계기준에 관한 연구가 필요하며, 앞으로 보다 양질의 교통사고 DB와 장기간의 이력자료를 확보하여 유입램프, 다양한 변수를 고려한 예측력이 보다 우수한 모형 개발이 필요하며, 나아가 이러한 모형의 조합을 통하여 IC유형별 사고예측모형까지 개발이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2008년도 시립인천전문대학 자체연구비 지원에 의하여 수행되었음.

참고문헌

1. 강승림, 박창호(2003), 고속도로 선형조건과 GIS기반 교통사고 위험도지수 분석(호남·영동·중부고속도로를 중심으로), 대한교통학회지, 제21권, 제1호, pp. 21~40.
2. 강정규(1985), 고속도로의 기하구조가 교통사고 발생에 미치는 영향에 관한 연구, 서울대학교 환경대학원 석사학위 논문.
3. 강정규, 이성관(2002), 고속도로 선형조건별 교통사고 위험도 평가모형 개발, 대한교통학회지, 제20권, 제4호, pp.163~175
4. 강근석, 김충락(1999), 회귀분석, 교우사.
5. 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침 (2000), 건설교통부
6. 武部健一 등(1967), 인터체인지 계획과 설계, pp. 146~147
7. 박병호, 류승욱(2002), 트립렛 인터체인지의 형식과



교통사고율의 관계, 한국 지역개발학회지 제14권, 제1호, pp.107~124

8. 오철, 장재남, 장명순(1999), 고속도로 시설물 구간의 교통혼잡도와 사고율의 관계분석(신갈-안산 고속도로를 중심으로), 대한교통학회지, 제17권 제2호, pp.21~27
9. 윤병조(2006), 고속도로 인터체인지 연결로 유형에 따른 교통사고 예측모형개발, 아주대학교 대학원, 박사논문
10. 윤병조(2006), 트럼펫 IC연결로 교통사고특성분석에 관한 연구, 대한교통학회지, 제24권 제7호, pp.41-51
11. 이점호, 이동민, 최재성(2000), 평면곡선부의 속도 및 교통사고 영향분석 연구, 대한교통학회지 제18권 제1호
12. 한국건설기술연구원(1985), 도로의 기하구조와 교통 안전성에 관한 미국 연방도로청의 보고서, 도로교통 안전 기술보고서
13. AASHTO (2000), A Policy on Geometric Design of Highways and Streets.
14. Bhagwnat N. P. and L. Dzbik(1993), Accident prediction models for freeways, Transportation Research Record 1401, TRB National Research Council, Washington D.C.
15. Cirillo, J.A., S.K. Dietz, and R.L. Beatty(1969), Analysis and Modeling of Relationships Between Accidents and the Geometric and Traffic Characteristics of the Interstate System, Fereral Highway Administration
16. Harwood, D.W., J.C. Glennon, and J.L. Graham(1982), Procedures and Guidelines for Rehabilitation of Existing Freeway-Arterial Highway Interchanges(Vol IV). Research Report, Report No. FHWA/RD-81/106, Federal Higway Administration
17. Linda Mountain, et al(1996), Accident Prediction Models for Road with Minor JUnctions, Accdent Analysis & Prevention, Vol. 28, No. 6, pp.695~707
18. Miaou S. and H. Lum(1993), Modeling vehicle accidents and highway geometric design relationship, Accident analysis and prevention, Vol. 25 No.6
19. Morgenstein, D.R., and J. Edmonds(1978), Analysis of Interstate System Accident Research (ISAR) Data, Final Report of Contact No. DOT-FH-11-9183, Federal Highway Administration
20. Shankar V., et al., Barfield(1995), Effect of roadway geomatrics and environment factor on rural freeway accident frequencies, Accident analysis and prevention, Vol. 2 No3.
21. Twomey, J.M., M.L. Heckman, and J.C. Hayward(1992), Interchanges of Safety Effects of Highway Design Features(Vol IV), Reports No. FHWA-RD-91-047, Federal Higway Administration

접 수 일: 2008. 6. 18
심 사 일: 2008. 7. 8
심사완료일: 2008. 12. 2