

■ 論 文 ■

고속도로 진출램프 부근의 충격흡수시설 설치여부 판단기준 개발에 관한 연구

Development of Determination Criteria Installing
Crash Cushion on Freeway Off-Ramp

하 태 준

(전남대학교 토목공학과 조교수)

박 제 진

(전남대학교 토목공학과 박사수료)

오 재 철

((주)동아기술공사 교통부)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구 배경 및 목적
 - 2. 연구 내용 및 방법
 - II. 기존 연구문헌 고찰
 - 1. 고속도로 진출램프 안전관련 요소
 - III. 충격흡수시설 설치여부 판단기준의 개발
 - 1. 고속도로 진출램프 사고예측모형
 - 2. 고속도로 진출행동모형
 - 3. 충격흡수시설 설치여부의 판단
 - IV. 결론 및 향후 연구과제
 - 1. 연구의 결과
 - 2. 연구의 향후과제
- 참고문헌

Key Words : 충격흡수시설, 고속도로 진출램프, 음이향분포, 사고예측모형, 고속도로 진출과정

요 약

충격흡수시설(Crash Cushion)은 고속도로 진출램프의 고어(Gore)지역과 같이 차량이 주행차로를 벗어나 도로상의 구조물과 충돌할 위험이 있는 곳에 설치하여 충돌 전 충격에너지를 흡수하는 역할을 하는 도로변 안전 시설물이다. 시설의 설치효과를 높이기 위해서는 사고 발생 가능성을 고려하여 설치여부를 판단하는 기준이 필요하다. 그러나 현재의 충격흡수시설 설치기준은 이와 같은 과정을 제시하지 못하고 있다. 이에 착안하여 본 연구에서는 충격흡수시설의 설치여부 판단기준 개발을 위해 두 가지 형태의 연구를 수행하였다. 첫 번째는 고속도로 진출램프 사고예측모형의 개발이다. 충격흡수시설이 설치되는 고속도로의 고어(Gore)지역에서 발생하는 교통사고와 도로환경적 요인과의 관계를 고려한 사고예측모형을 개발하는 과정으로 교통통계학자들 사이에서 교통사고의 특성을 잘 반영하여 준다고 알려진 음이향분포를 사용하였다. 두 번째는 고속도로 진출행동모형의 개발이다. 운전자에 의한 고속도로 진출과정을 단계별로 가정하고 가정된 진출과정에 의해 발생하는 변수들과 사고와의 상관관계를 고려하여 운전행동모형을 개발하였다. 개발된 두 가지 형태의 모형으로 위험도를 수치화하고 편익-비용분석 과정을 통하여 충격흡수시설을 설치여부 판단기준을 제시하였다. 도로환경적 요인파 인적요인을 동시에 고려한 본 연구의 접근방법을 통해 효과적으로 충격흡수시설의 설치여부를 판단할 수 있다.

I. 서론

1. 연구배경 및 목적

충격흡수시설(Crash Cushion)은 차량이 주행차로를 벗어나 도로상의 구조물과 충돌할 위험이 있는 곳에 설치하여 충돌 전 충격에너지를 흡수하는 역할을 하는 도로변 안전시설물이다.

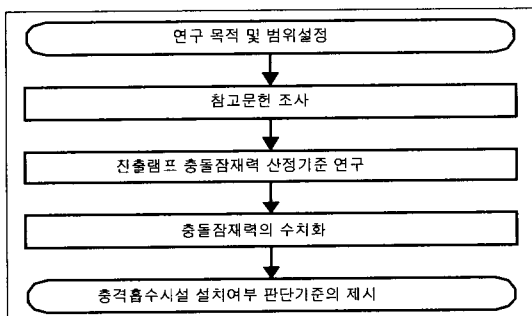
고속도로의 진출램프는 진출과정 중에 발생하는 차선변경, 감속과 같은 운전행위로 인해 사고 발생가능성이 높아지며 이에 따라 충격흡수시설 설치를 고려해야한다. 시설의 설치효과를 높이기 위해서는 각 진출램프의 사고 가능성을 고려하여 설치여부를 판단하는 기준이 필요하다. 그러나 현재의 충격흡수시설 설치기준은 이와 같은 과정을 제시하지 못하고 있다.

이에 본 연구에서는 도로안전에 관련된 요인들을 고려한 충돌잠재력을 산정하여 고속도로 진출램프 부근의 충격흡수시설에 대한 설치여부 판단기준을 제시하고자 한다.

2. 연구내용 및 방법

고속도로에서 발생하는 교통사고는 인적요인, 차량요인, 도로환경적 요인에 의해서 또는 이들의 상호간의 복합적 관계에 의해서 일어난다 본 연구에서는 고속도로를 진출하는 차량의 안전에 영향을 주는 요인과 사고와의 관계를 평가하기 위하여 도로환경적 요인과 운전자요인을 고려한 두 가지 형태의 모형을 개발하여 고속도로 진출램프 Gore지역에 대한 충돌잠재력을 수치화하고 이를 바탕으로 편익-비용분석을 실시하여 충격흡수시설의 설치여부를 판단하고자 한다.

본 연구의 수행은 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 연구수행 흐름도

II. 기존 연구문헌 고찰

1. 고속도로 진출램프 안전관련 요소

1) 고속도로 본선의 안전관련 요소

(1) 곡선반경 - 한국도로공사(1994)

곡선반경이 500m이하인 구간의 사고율은 곡선반경이 500m인 이상인 구간보다 10.6배 높다.

(2) 종단경사 - 한국도로공사(1994)

종단경사 5%이하인 구간의 사고율은 1.96건/km 인 반면 5%이상에서는 오르막구간의 경우 3.10건/km, 내리막구간의 경우 4.08건/km이다.

2) 고속도로 진출램프의 안전관련 요소

(1) 평면선형

① Yate(1970)

곡률이 없는 램프의 사고율은 곡률이 있는 램프보다 적다.

② Lundy(1967)

진출램프는 진입램프보다 일반적으로 높은 사고율을 보이고 Loop형 연결로의 평균사고율이 직결형 연결로 보다 높다.

(2) 종단선형

① Lundy(1967)

상향 진출램프가 하향 진출램프보다 사고율이 적다.

(3) 변속차로

① Cirillo(1968)

Weaving구간과 변속차로길이가 증가함에 따라 사고율은 감소한다.

3) 속도관련 요인(Human Factor)

(1) 속도

① Lamm(2000)

80km/h까지는 설계속도가 증가할수록 사고율은 감소한다. 반면에 사고비용율은 설계속도가 증가할수록 증가한다.

(2) 속도 분산

① Cerrelli(1981)

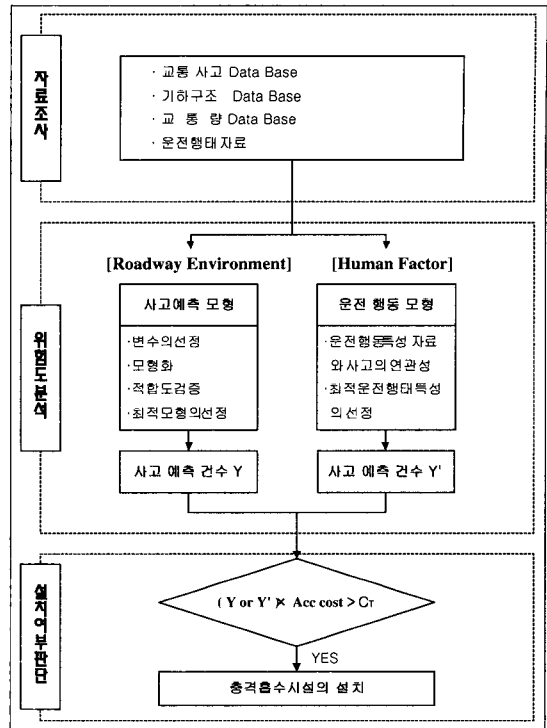
속도 분산은 사고율과 통계적으로 유의한 상관관계를 가지며, 평균 속도가 최저값을 갖는 U-모양의 그래프를 결과로 나타내었다. 여기서 평균 속도로부터 멀리 떨어질수록 사고위험은 높고, 평균 속도에 가까울수록 사고 위험은 낮다.

② 강정규 외 2인(1999)

속도 분산과 교통사고건수와의 상관관계 분석에서 상관계수는 0.84로 비교적 높은 상관관계를 보였다.

(3) 가속도

Rice and Alianello는 운전자들의 가·감속능력에 관한 연구를 수행하고, 여러 형태의 운전자들에 대한 가속도, 감속도 및 곡선부에서의 가속도 등을 나타내는 g-g diagram을 제시하였다. '운전자의 요구'라고 표시되는 부분은 실제 도로상에서의 운전자들이 희망하는 운전자의 가속도 변화를 나타내고, 차량 속도에 따라 이 부분의 면적은 변화한다.



〈그림 2〉 충격흡수시설 설치여부 판단기준 개발과정

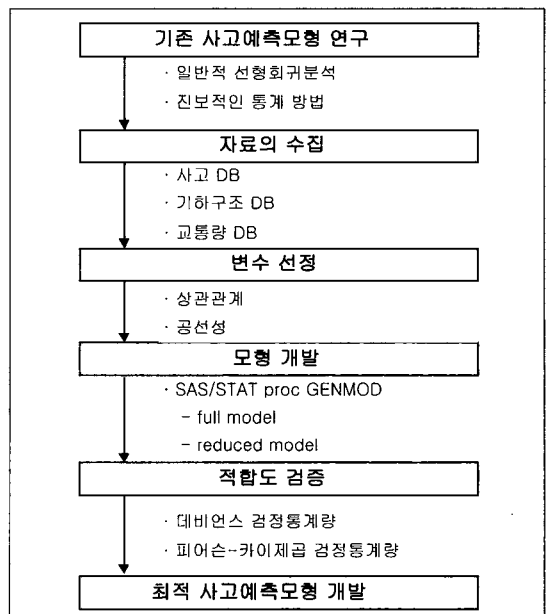
Ⅲ. 충격흡수시설 설치여부 판단기준의 개발

고속도로 진출램프 위험도 산정기준을 제시하기 위하여 본 연구에서는 두 가지 형태의 연구를 제시한다. 첫 번째는 고속도로 진출램프 사고예측모형으로 도로 환경적 요인에 따른 위험도를 산정한다. 두 번째는 고속도로 진출행동 모형으로써 실제 진출과정에서 발생하는 운전자 요인에 따른 사고위험도를 산정한다. 충격흡수시설 설치여부 판단기준 개발과정을 〈그림 2〉에 나타내었다.

1. 고속도로 진출램프 사고예측모형

도로환경(기하구조, 교통량 등)요인이 교통사고에 미치는 영향을 알아보기 위하여 음이항 분포에 기반한 Log-linear Model을 개발하였다.

모형의 개발과정은 〈그림 3〉과 같다.



〈그림 3〉 사고예측모형 개발과정

1) 사고예측모형

(1) 기존 사고예측모형 연구

사고예측모형의 개발단계에서 중요한 논점은 변수

의 선정 및 변수의 분포에 대한 가정을 들 수 있다. 그러나 기존의 다중회귀분석방법은 사고분포에 대한 가정에서 다음과 같은 문제점이 발생한다.

- 사고율을 정규분포로 가정하였다. 교통사고는 임의적이고 산발적으로 일어나는 경향을 보임으로 사고율은 정규분포형태로 일어나지 않는다.
- 사고빈도가 작을 경우 정규분포를 따르지 않는다. 선행된 여러 연구에서 사고빈도는 일반적으로 매우 작거나 전무한 경우가 대부분을 차지한다. 사고횟수가 없거나 0에 가까운 횟수인 경우에 사고는 정규분포를 따르지 않는다.
- 교통사고특성을 반영하지 못하는 부분이 존재한다. 양의 수인 사고빈도와 사고율로부터 예측한 기존의 다중회귀모형은 음의 값이 나올 수 있다.

기존의 연구에서 사용된 다중회귀모형은 사고율은 도로에 관련된 변수와의 연관성 여부에 관계없이 선형관계를 지니고 있는 정규분포라고 가정하였다. 이러한 이유로 인하여 독립변수(도로인자)와 종속변수(사고율)와의 관계를 적합하게 분석해 내지 못하고 있다. 이에 따라 사고예측모형의 개발과정에서 다중회귀를 기본으로 한 접근방법에서 벗어나서 사고율과 부합하는 분포를 따르는 방식으로 전환이 필요하다.

(2) 새로운 접근방법

① 포아송분포 예측모형

Miaou와 Lum은 트럭사고와 도로기하구조요소의 관계를 평가한 네 가지 형태의 모형을 개발하여 검증한 결과 지수함수 형태의 포아송 모형이 트럭과 도로기하구조와의 관계를 잘 설명해 준다는 결론에 도달했다. 그러나 포아송 모형은 기본적으로 평균과 오차의 분산분포가 동일하다는 가정을 채택하고 있어 실제 자료에 적용하면 분산이 포아송 모형에서 추정된 평균보다 큰 과대산포(Over-Dispersion)가 발생할 수 있다.

② 음이항분포 예측 모형

Miaou는 트럭사고와 기하구조간의 상관성을 포아송과 음이항 회귀모형에 의해 비교하여 분석한 결과 자료가 적당히 과산포인 경우 사고모형에 대하여 음이항 모형은 적절한 접근방식임을 제시하였다. 그러나 모형추정과정에서 회귀계수는 포아송과 음이항 접근 두 방식이 서로 상당히 근접하여 어느 경우에서든지 모형화의 초기단계에는 포아송회귀를 사용하고 음이항 모형은 모형의 타당성 검증에 사용할 것을 제안하고 있다.

2) 음이항 모형

(1) 음이항모형의 형태

음이항모형에서 사고확률은 식(1)과 같다.

$$Pr(Y_i = y_i; \alpha, k) = \frac{(y_i + k - 1)!}{y_i! (k - 1)!} \frac{\alpha^{y_i}}{(1 + \alpha)^{y_i + k}}$$

$$y_i = 0, 1, 2, \dots$$

평균 = $E(Y) = \mu_i = ka$

분산 = $Var(Y) = ka + ka^2 = \mu_i + \frac{\mu_i^2}{k}$ (1)

각 Parameter는 로그우도의 음수를 최소화시켜서 얻을 수 있으며 log likelihood의 음이항분포공식은 식(2)와 같다.

$$\log(L) = \sum_{i=1}^n y_i \log[a/(1+a)] - nk \log(a+a) + \text{function of } y_i, k$$
 (2)

$\log[a/(1+a)]$ 에 $a = \mu_i/k$ 를 대입하면

$$\log(\mu_i/(\mu_i + k)) = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_p X_{ip}$$
 (3)

음이항 분포의 Parameter α 와 k 는 일반화된 선형모형과 공식에 의하여 간접적으로 추정되고 회귀계수 $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ 또한 같은 과정을 통하여 얻어지게 된다.

(2) 모형의 검증방법

본 연구에서는 수립된 모형의 검증을 위하여 다음과 같은 통계량을 사용하였다.

① 데비언스 검정통계량

데비언스 검정통계량은 귀무가설이 참일 때 자유도가 $n - p$ 인 카이제곱분포를 따르게 되며 $n - p$ 를 초과할 정도로 충분히 클 때 모형은 과산포가 된다. 데비언스 검정통계량을 자유도로 나눈 값이 1보다 클 때 과산포를 의미하게 되고 1에 가까울수록 모형은 적절하다.

② 피어슨-카이제곱 검정통계량

피어슨-카이제곱 통계량 $X^2 = \sum_i \frac{(y_i - \mu_i)^2}{\mu_i}$ 이 $n-p$ 에 근접할 때 모형은 유의하게 된다. 여기서 이 값이 1보다 클 때 과산포를 의미하고 0.8~1.2 사이에 있으면 그 모형은 적절하다고 간주할 수 있다.

3) 고속도로 진출램프 사고예측모형의 개발

(1) 자료조사

① 조사지점의 선정

본 연구에서는 최근에 도로환경의 변화가 적은 것으로 판단되는 호남고속도로의 249km의 상·하행선 34개 진출램프를 연구대상으로 선정하였다.

<표 1> 연구대상 지점

지점	위치 (km)	형식			비고
		인터체인지	감속차로		
			상행	하행	
익산	64.30	이중트럼펫형	평행식	평행식	
삼례	72.63		직접식	직접식	
서전주	84.70	이중트럼펫형	평행식	평행식	
김제	91.30	트럼펫형	직접식	직접식	
금산사	96.00	트럼펫형	평행식	직접식	
태인	106.55	트럼펫형	직접식	평행식	
정읍	119.39	트럼펫형	직접식	평행식	
백양사	137.62	트럼펫형	직접식	직접식	
광산	154.45	트럼펫형	평행식	평행식	
서광주	170.68	트럼펫형	직접식	직접식	
동광주	174.83	트럼펫형	직접식	직접식	
창평	184.85	트럼펫형	직접식	직접식	
옥과	196.30	트럼펫형	평행식	평행식	
곡성	207.73	트럼펫형	직접식	평행식	
석곡	219.80	트럼펫형	직접식	직접식	
주암	227.21	트럼펫형	평행식	평행식	
승주	239.02	트럼펫형	평행식	평행식	

② 조사내용

각 연구대상 지점에 대하여 <표 2>와 같이 사고자료, 교통량자료, 기하구조자료를 수집하였다.

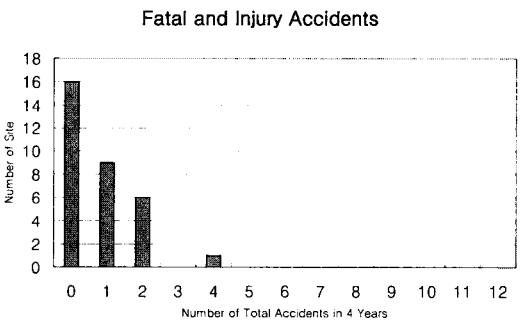
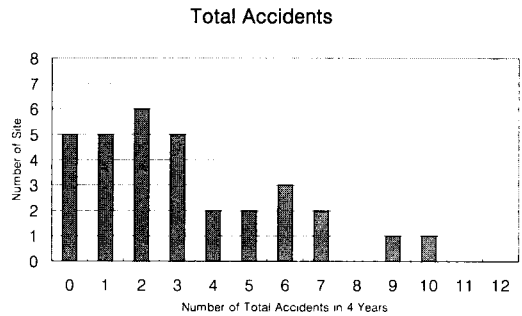
<표 2> 자료수집

구분	DB	내용
교통사고 자료	고속도로 교통사고통계	1997년 1월 1일부터 2000년 12월 31일까지 진출램프 분기점(Gore 지점)상향 300m 하향 100m이내에서 발생한 사고
교통량 자료	고속도로 교통량 통계	고속도로 I.C간 교통량 영업소별 교통량
기하구조 자료	설계도면 준공도면	현장조사를 통하여 보완

③ 기초분석

· 사고빈도 분석

사고 자료에 대한 빈도분석을 실시한 결과 정규 분포의 형태보다는 포아송 분포의 형태를 보이고 있다.



<그림 4> 사고자료 빈도분석(1997년~2000년)

· 기초통계분석

본 연구에 사용된 변수에 대한 기초통계분석의 결과는 <표 3>과 같다.

<표 3> 기초통계분석 결과

변수	N	mean	Standard Deviation	Sum	Minimum	Maximum
Y1	34	3.15625	2.68940	101.00000	0	10.00000
Y2	34	0.78125	0.97499	25.00000	0	4.00000
X1	34	9.71544	0.32056	310.89420	9.20880	10.21650
X2	34	8.10035	1.19591	259.21119	6.67466	10.23066
X3	34	0.43797	0.50359	14.01520	0	1.00000
X4	34	-0.36490	1.51586	-11.67700	-4.19300	2.02100
X5	34	0.78125	0.79248	25.00000	0	2.00000
X6	34	0.04019	0.17522	1.28610	0.0003000	1.00000
X7	34	-0.14430	2.95556	-4.62000	-5.03600	4.69300
X8	34	1.85847	0.44736	59.47100	1.27800	3.44000
X9	34	1.53125	0.56707	49.00000	0	2.00000
X10	34	0.90625	0.29614	29.00000	0	1.00000

(2) 변수의 선정

각 독립변수는 사고예측모형의 정확도를 높이기 위하여 종속변수와와의 상관관계, 변수들간의 상관관계, 그리고 다중공선성을 검증하여 선택하였다.

〈표 4〉 모형에 적용한 변수

구분	변수	정의	형태
사고	Y1	Total Accidents	
	Y2	Fatal and Injury Accidents	
교통 특성	X1	고속도로 본선의 AADT	연속형
	X2	고속도로 진출램프의 AADT	연속형
도로 특성	X3	고속도로 본선 곡선반경의 역수(1/R)	연속형
	X4	고속도로 본선 경사(%)	연속형
	X5	고속도로 본선형태(좌향1, 우향2, other 0)	범주형
	X6	진출램프 곡선반경의 역수(1/R)	연속형
	X7	진출램프 종단경사(%)	연속형
	X8	감속차로 길이(m)	연속형
	X9	감속차로 형식(평형1, 직접:2, other:0)	범주형
	X10	진출램프의 차로수(1차선:1, other:0)	범주형

(3) 모형의 구조

선행된 여러 연구에 의하면 Poisson과 음이항 모형에서 교통량을 log(AADT)로 처리할 때 모형의 적합도가 높아지게 된다. 본 연구에서는 여러 형식의 모형식을 비교한 결과 식(4)와 같이 모형식의 형태를 정의하였다.

$$function(\mu_i) = \exp(\beta_0) \cdot (AADT_{main})^{\beta_1} \cdot (AADT_{ramp})^{\beta_2} \cdot \exp(\beta_3 X_{i3}) \cdot \dots \cdot \exp(\beta_q X_{iq}) \quad (4)$$

변수의 추정에는 음이항모형의 처리가 가능한 통계

관련 프로그램인 SAS/STAT의 Proc Genmod(일반화된 선형모형과정) 과정을 이용하였다.

(4) 모형개발의 결과

① 모형의 적합도검증

〈표 5〉에 의하면 Total Accidents를 종속변수로 사용할 경우보다 단순물피사고를 제외한 Fatal and Injury Accidents를 사용한 경우 모형의 적합도가 높다. 즉, 데이언스 검정통계량은 1.2342로 1에 가까우며 피어슨-카이제곱 검정통계량은 1.1251로 0.8 ~ 1.2의 범위에 들어 10개의 변수를 사용하였음에도 모형의 적합도가 높은 것으로 판단된다.

〈표 5〉 Goodness of Fit

Criterion	Value/DF	
	Total	Fatal/Injury
Deviance	1.8233	1.2342
Scaled Deviance	1.8233	1.2342
Pearson Chi-Square	1.6755	1.1251
Scaled Pearson X2	1.6755	1.1251

② 모형개발의 결과

계수 추정의 결과에 의하면 본선이 좌향인 경우의 사고에 미치는 영향은 $\exp(0.9985) = 2.7142$ 이고 우향인 경우는 $\exp(1.9970) = 7.3669$ (1인 경우 영향이 없는 것으로 판단함)로 본선의 곡선이 우향인 지점에 설치된 진출램프의 위험도가 2.7배 가량 높음을 알 수 있다. 추정된 계수를 모형식 형태로 제시하면 식 (5)과 같다.

〈표 6〉 Analysis of Parameter Estimates

Parameter	DF	Estimate	Standard Error	Wald 95% Confidence Limits		Chi-Square	Pr > ChiSq
Intercept	1	-20.2185	15.6792	-50.9492	10.5123	1.66	0.1972
x1	1	1.5675	1.6319	-1.6309	4.7659	0.92	0.3368
x2	1	0.3797	0.2680	-0.1455	0.9049	2.01	0.1565
x3	1	0.7402	1.2318	-1.6740	3.1544	0.36	0.5479
x4	1	-0.0463	0.1690	-0.3776	0.2849	0.08	0.7839
x5	1	0.9985	0.7090	-0.3912	2.3881	1.98	0.1591
x6	1	3.1786	1.7163	-0.1853	6.5425	3.43	0.0640
x7	1	-0.1147	0.1301	-0.3696	0.1402	0.78	0.3779
x8	1	0.3467	0.6746	-0.9756	1.6689	0.26	0.6074
x9	1	-0.8595	0.4751	-1.7906	0.0716	3.27	0.0704
x10	1	0.8355	0.9754	-1.0762	2.7472	0.73	0.3917
Dispersion	0	0.0010	0.0000	0.0010	0.0010		

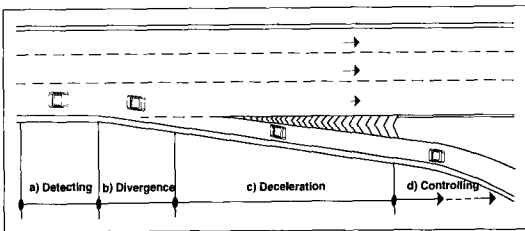
$$Y = e^{-20.2185 \cdot (X_1)^{1.5675} \cdot (X_2)^{0.3797}} \cdot \exp(0.7402X_3) \cdot \exp(-0.0463X_4) \cdot \exp(0.9985X_5) \cdot \exp(3.1786X_6) \cdot \exp(-0.1147X_7) \cdot \exp(0.3467X_8) \cdot \exp(-0.8595X_9) \cdot \exp(0.8355X_{10}) \quad (5)$$

2. 고속도로 진출램프 운전행동모형

교통사고에서 인적요인이 차지하는 비중은 매우 높다. 그러나 기존의 연구들은 인적요인보다는 정량화하기 쉬운 도로환경과 사고와의 관계를 분석하는 것이 대부분이었다. 이에 본 연구에서는 사고예측모형의 개발과 함께 실제 운전자의 진출과정을 반영한 진출행동모형을 개발하였다.

일반적으로 운전은 운항, 안내 및 제어의 세 가지 수행 단계로 구분할 수 있으며 고속도로 진출과정에서는 제어단계에 특별한 주의가 요구된다. 본 연구에서는 고속도로 진출과정에서 발생하는 제어단계를 다음과 같이 가정하였다.

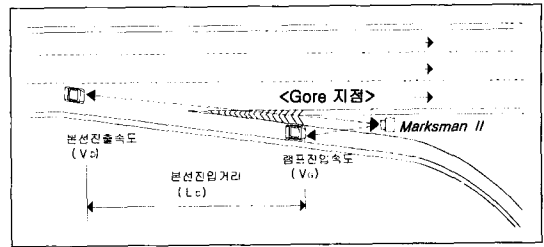
- 고속도로 진출과정
 - a) 진출램프의 발견(Detecting)
 - b) 본선에서 감속차로로의 분기(Divergence)
 - c) 감속차로에서 진출램프에 진입하기 위한 충분한 감속(Deceleration)
 - d) 진출램프로의 조향(Controlling)



〈그림 5〉 고속도로 진출과정

차량과 운전자의 상호작용 결과는 방향 및 속도의 조절로 나타난다. 본 연구에서 정의된 진출과정중에 발생하는 다음과 같은 자료를 수집하였다.

- 고속도로 진출과정에서 발생하는 변수
 - a) 충격흡수시설이 설치되는 진출램프 Gore지점에



〈그림 6〉 영향변수 수집과정

- 서 분기를 시작한 지점까지의 거리(L_D)
- b) 고속도로 본선에서 분기시 차량의 속도(V_D)
- c) Gore지점 통과시 차량의 속도(V_G)

1) 자료수집 및 기초분석

(1) 자료수집

호남고속도로상의 진출램프 중에서 현장여건을 고려 조사 가능한 15개 진출램프를 선정하였다. 각 진출램프에 대하여 휴대용 속도측정기인 Speed Gun (Marksman II)을 사용하여 본선에서 분기하는 차량의 속도와 거리 그리고 Gore지점을 통과할 때 차량의 속도를 현장조사하였다. 조사결과는 〈표 7〉과 같다.

〈표 7〉 조사결과

지점	분기지점		Gore 속도(km/h)	표본수 (개)
	속도(km/h)	분기거리(m)		
익산(상)	80.50	182.70	52.10	59
익산(하)	89.24	205.71	72.16	62
김제(상)	76.04	122.20	64.55	50
태인(상)	80.84	166.12	67.96	37
정읍(상)	79.84	181.56	69.82	63
백양사(상)	77.39	188.40	66.52	33
광산(상)	76.76	163.66	57.22	60
광산(하)	80.70	265.56	70.32	58
서광주(하)	76.44	124.98	70.47	66
동광주(상)	85.68	143.21	75.26	73
옥과(상)	78.41	149.09	55.52	32
곡성(상)	86.38	111.99	75.55	39
곡성(하)	83.80	148.75	63.04	65
석곡(하)	84.02	134.71	70.43	42
주암(상)	79.61	143.35	57.31	50
평균	81.04	162.13	65.88	

(2) 기초분석

조사결과에 의하면 본선 분기속도는 본선의 설계속도 100km/h보다 낮은 평균 81.04km/h로 조사되었다. 이는 운전자들이 감속차로에 진입하기 이전에 안정된 진출을 위하여 감속하여 접근하고 있음을 보여준다. 그러나 최종 분류단인 Gore지점을 통과하는 속도는 평균 65.88km/h로 진출램프 설계속도가 50km/h인 점을 감안할 때 본선에서의 고속주행에 익숙해진 운전자가 변속차로에서 충분한 감속을 하지 않고 있음을 알 수 있다.

2) 사고와의 상관관계 분석

수집된 변수들의 사고와의 상관관계를 알아보기 위하여 조사된 속도와 거리, 분기지점에서 Gore지점까지의 감속도, 속도차, 속도분산차 등의 사고와의 상관관계를 SAS/STAT의 Proc Corr 과정을 이용하여 분석하였다.

<표 8> 상관관계분석에 사용된 변수

변수	내용	비고
L_D	진출램프 Gore지점에서 분기를 시작한 지점까지의 거리	
V_D	고속도로 본선에서 감속차선으로 분기시 차량의 속도	
V_G	최종 분류단인 Gore지점 통과시 차량의 속도	
D_{D-G}	분기지점과 Gore지점간의 감속도($\frac{V_D^2 - V_G^2}{2L_D}$)	
ΔV	분기지점과 Gore지점간의 속도차($V_D - V_G$)	
ΔVar	분기지점과 Gore지점간의 속도분산차($VAR_{V_D} - VAR_{V_G}$)	

<표 9> 운전행동자료와 사고와의 상관관계

	V_D	L_D	V_G	감속도	속도차	속도 분산차
Y	0.28026 0.3318	-0.03424 0.9075	0.31482 0.2729	-0.17726 0.5444	-0.17811 0.5424	-0.54017 0.0461
V_D		0.10932 0.70990	0.50121 0.0679	0.20991 0.4713	0.05275 0.8579	0.04451 0.8799
L_D			0.02508 0.9322	-0.36167 0.2039	0.02397 0.9352	-0.35140 0.2179
V_G				-0.63966 0.0138	-0.83475 0.0002	-0.07452 0.8001
감속도					0.87731 <.0001	0.29143 0.3121
속도차						0.07946 0.7872

* Pearson상관계수는 $\alpha = 0.05$ 수준(양측)에서 유의함.

검증 결과 분기지점과 램프진입지점간의 속도 분산차와 교통사고와의 상관관계수가 -0.54017로 가장 상관관계가 높은 것으로 나타났다. 이에 따라 운전행동모형은 고속도로 본선에서 감속차선으로 분기시의 속도분산과 램프에 진입시의 속도분산간의 차를 통하여 위험도를 결정하기로 하고 음이항 분포를 따르는 일반화된 로그선형모형으로 개발하였다.

$$Y = e^{1.9092} \cdot \exp(-0.0144\Delta Var) \quad (6)$$

Δvar : 분산차($\Delta var = var_D - var_G$)

var_D : 분기시 속도분산

var_G : 램프진입시 속도분산

모형의 데비언스 통계량은 1.0777이고 피어슨-카이제곱통계량은 1.0790으로 유의한 것으로 나타났다.

3. 충격흡수시설 설치여부의 판단

충격흡수시설의 설치여부를 효과적으로 판단하기 위하여 각 모형에 의해 예측결과를 통해 산정된 사고비용과 시설의 설치에 소요되는 비용을 이용 편익-비용분석을 실시하였다.

1) 교통사고비용

교통사고비용 추정방법은 여러 가지가 있으며 본 연구에서는 일반적으로 많이 쓰이는 인적자본법(Human Capital Approach)의 하나인 총생산손실법(Gross Output Method)을 사용하였다. 총생산손실법은 교통사고와 관련된 비용요소를 생산손실, 차량손실, 의료손실, 그리고 행정비용 및 피해자가족들의 고통(PGS: Pain, Grief and Suffering)까지 포함하여 추정하는 방법으로 대표적인 계산방법이다.

본 연구에서는 도로교통안전관리공단의 교통사고비용 추정연구를 기초로 하여 추정하였다. 도로교통안전관리공단에서 총생산손실법에 의해 분석한 결과에 따르면 2000년 한해 동안 고속도로에서 발생한 교통사고로 인한 평균사고비용은 43,570,000원/건이다.

〈표 10〉 도로종류별 교통사고 비용

도로종별	교통사고발생현황			교통사고 비용 (천원)	건당 평균비용 (천원/건)
	건수(건)	사망(명)	부상(명)		
계	290,481	10,236	426,984	5,662,506,268	19,459
고속도로	7,340	701	17,169	319,800,938	43,570
일반국도	73,466	3,901	113,010	1,877,036,113	25,550
지방도	25,489	1,450	37,416	672,105,550	26,368

자료 : 2001년 교통사고 통계(경찰청)

2) 충격흡수시설 설치비용

충격흡수시설의 설치에 의하여 발생하는 비용을 산출하기 위하여 초기설치비용과 유지관리에 소요되는 비용을 고려한 식(5)와 같은 산출방법을 제시한다.

$$C_T = C_I + C_M - C_S \quad (5)$$

C_T : 설치로 인하여 발생하는 총 비용

C_I : 초기설치비용

C_M : 시설물 유지관리 비용

C_S : 구조물 재활용 비용

세부비용은 시설물의 종류에 따라 그 차이가 크므로 본 연구에서는 자세한 비용에 대한 언급은 하지 않는다.

3) 충격흡수시설의 설치여부 판단과정

시설의 설치여부 판단을 위하여 다음과 같은 과정은 제시한다.

- ① 사고예측모형과 진출행동모형에 의하여 진출램프의 위험도 수치화
- ② 각 모형에 의해 산출된 위험도에 건수당 사고비용을 곱하여 교통사고 비용 계산.

$$Y(Y) \times \text{Accident Cost}$$

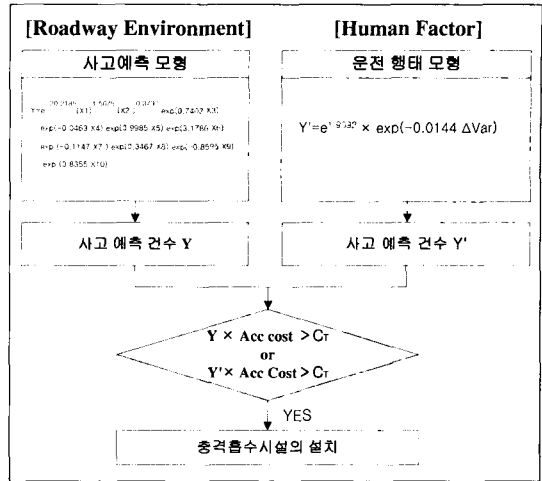
- ③ 충격흡수시설의 설치비용을 계산

$$C_T = C_I + C_M - C_S$$

- ④ 교통사고비용이 충격흡수시설 설치비용을 비교하여 설치 여부를 판단

$$Y(Y) \times \text{Accident Cost} > C_T$$

편익-비용분석에 의한 충격흡수시설 설치여부 판단 과정을 〈그림 7〉에 도시하였다.



〈그림 7〉 충격흡수시설이 설치여부 판단과정

IV. 결론 및 향후 연구과제

1. 결론

본 연구의 결과로 제시된 고속도로 진출램프 위험도 산정기준으로 인하여 얻어질 수 있는 사항은 다음과 같다.

- 본 연구에서 제시된 충격흡수시설 설치유무 판단기준은 고속도로 진출시 발생할 수 있는 위험도를 수치화 하였다.
- 본 연구에서는 교통통계학자들에 의해 교통사고의 특성을 잘 반영하여 준다고 알려진 음이항분포를 사용하여 고속도로 진출램프 사고예측모형을 개발하였다. 개발된 모형은 교통사고와 관련 요인간의 관계를 비선형으로 가정하고 오차구조를 음이항으로 간주함으로써 실제 교통사고의 특성을 반영하였다. 이와 같은 접근 방식은 향후 개발될 사고예측 모형의 개발에도 이용될 수 있다.
- 고속도로 운행의 주체인 운전자 요인을 고려하기 위하여 고속도로 진출과정을 단계별로 가정하고 이에 따른 변수를 수집하여 Human Factor를 반영한 고속도로 진출행동모형을 개발하여 하였다.
- 도로환경적 요인과 인적요인을 동시에 고려한 본 연구의 접근방법을 통하여 효과적인 충격흡수시설의 설치여부 판단기준을 제시할 수 있으며 고속도로 본선구간이나 진입램프 등의 위험도 분석에도

사용될 수 있다.

2. 향후 연구과제

- 본 연구에서는 자료의 제약으로 고속도로 진출램프에 관련된 변수중에 수집가능한 변수를 중심으로 연구를 수행하였다. 따라서 향후에 관련변수를 증가시키고 다양한 변수처리방법을 이용한 분석방법을 통해 기준을 발전시키는 과정이 필요하다.

참고문헌

1. 강정규(1985), "고속도로 기하구조가 교통사고발생에 미치는 영향 연구", 서울대학교 환경대학원.
2. 공선희(2002), "고속도로 사고예측모형의 비교평가에 관한 연구", 서울대학교 환경대학원.
3. 도로교통안전관리공단(2001), "교통사고 사회적비용의 추계와 평가".
4. 건설교통부(1998), "도로안전시설 설치 및 관리지침(충격흡수시설편)".
5. 정광모·최용석(2000). "SAS를 활용한 범주형 자료분석, 자유아카데미.
6. AASHTO(1977), "Guide for Selecting, Locating and Designing Traffic Barriers", AASHTO.
7. AASHTO(1977), "Roadside Design Guide", AASHTO.
8. Bauer, K. M.(1996), and D. W. Harwood, "Statistical Models of At-Grade Intersection Accidents", FHWA-RD-96-125, FHWA.
9. Bauer, K.M.(1997), and D.W. Harwood, "Statistical Models of Accidents in Interchange Ramp and Speed-Change Lanes", FHWA-RD-97-106, FHWA.
10. James M.Twomey(1993), "Accidents and Safety Associated with Interchange", TRR 1385, TRB.
11. Miaou, S. H., and H. Lum, "Modeling Vehicle Accidents and Highway Geometric Design Relationships", Accident Analysis and Prevention, Vol. 25(6). pp. 689~709.
12. Miaou, S. P., et al.(1993), "Development of Relationship Between Truck Accidents and Geometric Design": Phase I, Report No. FHWA-RD-91-124, Federal Highway Administration, McLean, VA.
13. Nelder, J. A., and R. W. M(1972). "Wedderburn, Generalized Linear Models", JRSS A.
14. Nicholas J. Garber & Ravi Gadiraju(1989), "Factors Affecting Speed Variance and Its Influence on Accidents", TRR 1213, TRB.
15. R. Lamm et al(2000), "Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook, McGraw-Hill,
16. SAS Institute Inc.(1993), "SAS/STAT Software: The GENMOD Procedure, Release 6.09", SAS Technical Report P-243, Cary, NC. p.88.
17. SAS Institute Inc.(1999.), "SAS OnlineDoc Version 8.0e SAS/STAT User's Guide", Cary, NC.

✉ 주 작 성 자 : 하태준

✉ 논문투고일 : 2002. 11. 1

논문심사일 : 2002. 11. 16 (1차)

2003. 1. 3 (2차)

심사판정일 : 2003. 1. 3

✉ 반론접수기한 : 2003. 4. 30