

■ 論 文 ■

도로안전개선사업의 공간적 범위에 따른 도로안전시설물의 효과도 비교

Comparing the Effectiveness of Road Safety Features by Spatial Scope of Safety Improvement Project

박 규 영

(서울시립대학교 교통공학과 박사과정)

김 태 희

((주)포스코건설 SOC사업팀 팀장)

김 성 욱

(한양대학교 응용수학전공 교수)

이 수 범

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

목 차

- I. 연구의 개요
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구추진방법
- II. 문헌고찰
 - 1. 한국의 교통안전개선사업
 - 2. 안전개선사업 효과분석방법론
- III. 효과도 분석모형 개발
 - 1. 분석대상 시설물 선정
 - 2. 시설물별 분석 사고유형 선정
 - 3. 사고예측모형 구축
- IV. 사례연구
 - 1. 분석자료
 - 2. 사고예측모형 구축
 - 3. 사업단위별 시설물별 효과도 산정
 - 4. 구간사업의 지점사업 대비 상대효과도 산정
- V. 결론
참고문헌

Key Words : 구간단위안전개선사업, 도로안전시설물, 상대효과도, 경험적베이즈, 승산비
Section-based safety improvement project, Road safety features, Relative effectiveness, Empirical bayes, Odds ratio

요 약

본 연구는 도로안전개선사업의 공간적범위(지점단위/구간단위)에 따른 도로안전시설물의 효과도 비교를 목적으로 한다. 분석자료는 전라북도 지역 국도를 대상으로 사고찾은지점개선사업과 국도17호선 구간안전개선사업 시행도로에 대한 사전·사후 사고자료와 도로·교통특성자료를 이용하였다. 경험적베이즈기법(Empirical Bayes:EB)을 이용한 시설물별 효과도 산정모형을 구축하고, 비교를 위해서는 승산비(Odds Ratio)를 이용하여 상대효과도 산정기법을 제시하였다. 분석결과 구간사업에서 설치한 안전시설물이 지점단위 개선사업보다 상대적으로 7.09%~77.27% 안전성을 개선시키는 것으로 나타났다. 사업의 공간적 범위에 상관없이 구간특성을 가지는 시설물인 중앙분리대와 가드레일은 상대효과도가 크게 나타났으나, 대표적인 지점설치 시설물인 갈매기표지나 미끄럼방지포장 등은 구간사업에서 그 상대효과도가 매우 크게 나타나 향후 시설물 설치시 구간측면에서 고려가 필요함을 알 수 있었다. 이와 같은 연구결과를 토대로 보았을 때 향후 안전시설물 설치와 같은 도로안전개선사업은 구간단위 사업이 확대되어야 할 것으로 보인다.

The purpose of this study is to compare the effectiveness of road safety features by spatial scope: Spot & Section-based Safety Improvement Project. Empirical data was collected from black-spot study of Jeonbuk and "Traffic Safety Improvement Project on National Highway 17". Evaluation model of effectiveness was developed by using Empirical Bayes(EB) method. And Relative Effectiveness was measured by Odds Ratio. The result indicates that Section-based safety improvement was 7.09~77.27% more effective than the spot-based. It means that section-based improvement projects should be expanded while considering the characteristics of the section in spot based improvement.

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구사업(R01-2005-000-10141-0) 지원으로 수행되었음.

1. 연구의 개요

1. 연구의 배경 및 목적

도로의 안전성을 증진시키기 위해서는 인적 요인, 도로환경적 요인 및 차량요인의 각 부분에서 다각적이고 복합적인 노력이 이루어져야 한다. 인적요인은 교육, 단속, 홍보 등을 통해 운전자의 행태를 변화시켜야 하는 대책으로 그 효과가 나타나기까지는 오랜 시간과 많은 노력이 요구된다. 차량요인은 차량기술의 발전으로 교통사고에 미치는 영향정도가 점차 감소추세이다. 반면에 도로환경적 요인은 물리적인 개선으로 도로관리청 또는 정부의 교통사고감소 의지만 있으면 비교적 용이하게 채택할 수 있는 대안이고 효과도 즉각적이며 비교적 예측가능한 형태로 나타난다.

우리나라에서는 도로환경 개선사업의 일환으로 사고 잦은곳 개선사업, 위험도로개량사업 등 지점(Spot)위주의 개선사업이 이루어져 왔으며, 최근 한국의 교통사고 감소에 크게 기여한 것으로 판단되어지고 있다. 그러나 지점단위 개선사업은 특정지점 또는 짧은 구간에 대한 문제점 파악과 개선대안 제시로 사업집행효율이 떨어진다는 한계를 가지고 있다(교통개발연구원, 2003). 또한 도로는 속성상 연속성을 가지게 되므로 한 지점의 개선은 타지점으로 사고가 전이(Migration)되는 현상이 발생할 수 있으므로 지점개선사업 시행시 주의가 필요하다. 외국에서는 지점개선사업의 효과도 분석시 이 사고 전이효과를 하나의 교란인자(Confounding factor)¹⁾로 보고 이를 효과도에서 제거하기 위한 노력이 이루어지고 있다(Elvik, 1997).

지점단위 안전개선사업의 한계를 극복하기 위한 노력이 구간(Section)단위 안전개선사업과 면(Network)단위 안전개선사업이라 할 수 있다. 우리나라에서 도로위계를 고려한 종합적인 면단위 안전개선사업은 개념을 도입하는 초기단계라 할 수 있다.

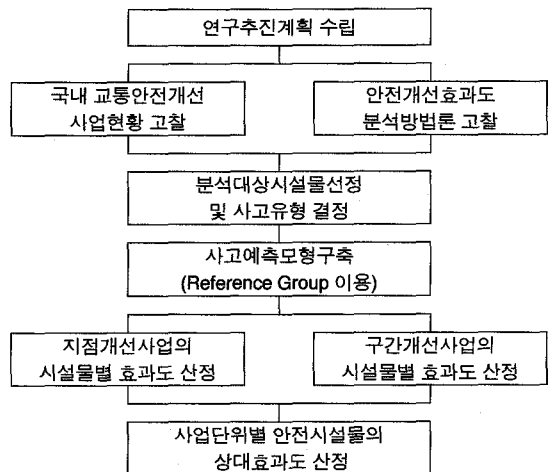
구간단위 개선사업의 사례로는 고속도로 안전진단과 일부 국도를 대상으로 수립한 교통안전개선기본계획을 들 수 있다. 2001년 「제5차 교통안전기본계획(2002~2006)」에 안전진단 도입근거가 명문화 되었고, 이를 법제화하기 위하여 교통안전법 개정을 추진중이다. 따라서 도로안전진단과 같은 구간안전개선사업은 지속적으로 시

행확대가 이루어질 것으로 보인다.

구간단위 개선사업의 필요성은 인정하면서도 지점단위 개선사업과 비교했을 때 보다 효과적이기에 대하여는 의문이 제기되고 있다. 이는 개선된 지점(또는 짧은 구간)에서 구현되는 시설물이 동일하다는 것에 착안한 오해에서 비롯된다. 비록 실제 설치된 시설물은 같지만, 해당 지점에 대한 원인분석과 진단이 단일 지점만을 대상으로 했느냐, 지점의 앞·뒤를 고려하여 종합적으로 이루어졌느냐의 차이가 있다는 것을 간과한 것이다. 본 연구에서는 이 차이가 안전효과도로 나타나는지 검증하고자 한다. 즉, 구간안전개선사업과 지점안전개선사업의 시행효과를 각 사업에 동일하게 설치된 도로안전시설물의 효과도를 비교하여 제시하고자 한다. 이를 위하여 우선 도로안전시설물의 효과도 산정방법론을 정립하여 각 사업단위별 시설물의 효과도를 산정하였다. 다음으로 개선사업의 공간적 범위에 따른 효과도를 비교할 수 있는 방법론을 구축하고, 이를 이용하여 상대효과도를 산정·제시하고자 한다.

2. 연구추진방법

본 연구에서는 구간단위안전개선사업의 지점단위사업 대비 개선효과도를 분석하기 위하여 우선 우리나라의 교통안전개선사업 추진현황을 살펴보았다. 다음으로 안전개선 효과도 분석방법론을 검토하여 본 연구 적용방법론 구축의 기초자료로 활용하였다. 이어서 분석모



(그림 1) 연구추진과정

1) 攪亂因子(Confounding Factor)란 혼란인자라고도 하며, 제3의 변수로서 존재하여 원인과 결과간의 관계를 교란시키는 것을 말한다.

형을 구축하였다. 분석모형은 2단계로 구축되었는데, 우선 사업단위별(구간단위, 지점단위) 시설물별로 사고 감소효과도를 산정하는 모형을 구축하였다. 다음으로 두 사업유형을 비교하여 구간개선 사업의 상대효과도를 산정하는 모형을 구축하였다. 개별 사업단위별 시설물별 사고감소효과도는 경험적 베이스 사전·사후분석(Before-and-After Study with Empirical Bayes) 방법을 적용하여 추정되었으며, 상대적 효과도는 범주형 자료의 대표적인 분석방법인 승산비(Odds Ratio)를 이용하여 산정하였다.

II. 문헌고찰

1. 한국의 교통안전개선사업

교통안전개선사업 유형을 공간적 범위를 기준으로 구분한다면 지점단위(Spot-Based) 사업, 구간단위(Section-Based) 사업, 지역단위(Area-Based) 사업으로 구분할 수 있다.

지점단위 교통안전 개선사업이라 함은 도로상의 특정 지점에서 발생한 교통사고를 개선할 목적으로 그 지점에서 발생한 사고원인을 조사하여 적절한 개선기법을 적용하는 사업을 말한다. 한국에서는 매년 시행되고 있는 교통사고 잦은 곳 개선사업과 위험도로 개량사업이 대표적인 지점위주의 도로교통안전 개선사업이라 할 수 있다.

구간단위 안전개선사업에서 "구간(Section)"은 개별 지점의 연속 또는 해당연장내 동일한 문제가 있는 구간(a series of individual sites or a route of having common problem throughout its length)으로 정의될 수 있다(RoSPA, 2002). 구간단위 안전개선사업은 도로측에서 발생하는 교통사고, 도로시설 및 교통운영상의 문제점을 종합 분석하여 문제구간을 선정하고 이에 대하여 일련의 교통안전 개선조치를 취하는 사업을 말한다. 한국에서는 1999년 처음으로 국도17호선(전주~남원)을 대상으로 구간단위 안전개선사업계획이 수립되어 중·단기개선사업은 시공이 완료된 상태이다. 또한 국도 2개 노선에 대한 구간안전개선사업계획²⁾과 고속도로 일부노선³⁾에 대한 도로안전진단이 이루어져 일

부에서 단기개선 사업 위주로 사업이 진행 중이다.

지역단위 사업은 도로망 차원의 교통안전 개선사업이라고 할 수 있다. 이는 기존의 지점위주 개선사업의 범위를 도로망 차원으로 확장하여 도로망내의 차량들을 재분배시키고 차량 속도를 조정하여 도로가 원래 설계된 기능에 맞게 사용되도록 유도하는 것이다. 특히 보행자 등 교통약자를 위한 공학적 시설을 적절히 제공함으로써 사고의 심각도 및 건수를 감소시키고자 하는 물리적인 개선사업을 말한다. 사업대상 범위에 따라 도시교통안전 개선사업과 구역교통안전 개선사업으로 분류할 수 있다. 한국에서 지역단위 안전개선사업은 일부 교통정온화(Traffic Calming) 기법이 도입되어 적용되고 있기는 하나, 도로위계를 고려한 종합적인 지역단위 안전개선사업은 아직 시행되지 못하고 있다(교통개발연구원, 2003).

유형	개념도	국내 시행예
단일지점		- 사고 잦은 곳 개선사업 - 위험및병목도로개선사업
도로측차원		- 국도교통안전개선사업 - 고속도로교통안전진단
도로망차원		- 시행사례 없음

자료 : 교통개발연구원(2003)

〈그림 2〉 교통안전개선사업의 공간적 유형구분

다음은 우리나라에서 시행된 사례를 정리한 것이다. 지점단위 개선사업은 교통사고잦은곳 개선사업을 대상으로 하였고, 구간단위 사업은 현재 단기사업이 시행 완료된 국도17호선 전주-남원 구간 안전개선사업을 대상으로 하였다.

1) 지점단위 안전개선사업; 사고잦은곳개선사업

한국의 사고 잦은 곳 개선사업은 1988년 시작되었다. 이 사업은 국무조정실(안전관리개선기획단) 주관하에, 건설교통부, 행정자치부, 경찰청, 도로교통안전관리공단

2) 건설교통부(2003), "국도1호선(무안-나주) 및 국도14호선(봉영-마산) 교통안전개선방안 기본조사", 교통개발연구원
3) 호남, 중부내륙, 서해안, 영동, 중부 및 제2중부, 경부 고속도로 도로안전진단 실시

이 각 기관별 업무분장에 의하여 추진하고 있다.

사업추진절차는 우선 선정기준에 합당한 지점을 선정하여, 교통사고 발생특성 분석 및 현장조사를 통해 문제점을 도출한다. 다음으로 도로의 기하구조적 측면과 안전시설, 운영 등 시설적 측면에서의 지점별 기본개선계획을 수립한다. 이를 해당 도로관리청에서 개선공사를 시행하고, 개선공사 전후 효과분석을 시행하고 있다. 1988년부터 2001년까지 13년간 총 총 8,056개소의 사업이 완료되었으며, 사업시행 효과분석결과 발생건수는 24.3% 감소하고, 사망자는 38.0% 감소한 것으로 분석되고 있다.

〈표 1〉 사고찾은곳 개선사업 사업시행효과

구분	개선전(B)	개선후(A)	A-B	감소율
발생건수	119,997	90,860	29,137	24.3%
사망자	2,438	1,512	926	38.0%
부상자	90,267	70,686	19,581	21.7%

자료 : 안전관리개선기획단(2001)

사고찾은지점 개선사업은 정부에서 시행중인 안전정책중 효과적인 정책으로 평가받고 있다. 그러나 단일지점 위주로 사고분석 및 현장조사가 이루어지고 개선기본계획이 작성되고 있어, 사고건수가 적은 앞뒤 지점의 특성이 고려되지 않아, 효율적인 개선방안이 적용되지 못하는 경우도 있으며, 위험이 타지점으로 이전되는 경우도 발생하고 있을 것으로 추정된다.

2) 구간안전개선 사업; 국도17호선 교통안전개선사업

국도 17호 전주~남원구간은 km당 사고발생건수와 치사율이 전국평균대비 각각 2배와 3배가 되는 위험도로 판단되어 구간안전개선 사업이 이루어지게 되었다. 1998년~1999년에 걸쳐 도로기하구조 및 시설물 조사와 사고자료분석을 통해 문제점 도출과 개선방안이 제시되었다. 이를 토대로 1999년 하반기부터 2002년까지 대부분의 중·단기개선사업이 이루어진 것으로 조사되었다.

사업구간 연장은 43.3km 이며, 개선계획 수립 당시 중앙분리대가 없는 4차로 국도로 일평균교통량은 21,000~34,000대/일의 분포를 나타내고 있었다. 전라북도내 여객과 화물수송의 중심축으로 중차량 구성비가 매우 높은 도로이다.

〈표 2〉 국도17호선 사업추진계획

사업기간	사업규모	주요내용
단기 ('99-'00)	소규모안전 시설설치사업	안전표지·노면표시개선, 시선유도시설, 미끄럼방지포장 등
중기 ('00-'03)	일부 용지확보 또는 측량이 필요한 사업	중앙분리대, 가드레일설치, 좌회전차로신설 등
장기 ('04 이후)	대규모 선형개량 등	종단선형조정, 교량구조 변경 등

자료 : 건설교통부(1999)

안전개선사업은 단기, 중기, 장기를 목표로 제시되었으며, 구체적인 사업추진계획은 〈표 2〉와 같다.

아직까지 우리나라에서 구간안전사업에 대하여 사전·사후 사고자료를 토대로 한 효과도를 분석한 사례는 없었다. 이는 구간개선사업이 시행초기여서 분석가능 사고자료를 확보할 수 있는 사업이 없었기 때문이다. 이제 국도 17호선(전주-남원)구간의 중·단기 사업이 완료되고 2~3년이 경과되어 사고자료가 누적어 분석이 가능하게 되었다.

2. 안전개선사업 효과분석 방법론

도로안전시설의 사고감소효과 추정을 위해 사용하고 있는 방법론은 크게 현황적(Cross-Sectional) 접근방법과 사전·사후비교(Before-and-After Study; BAS) 방법으로 구분하고 있다(Persaud, 2001, Shen, 2003).

현황적 접근방법은 일반적으로 회귀분석을 사용하며, 개선전·후의 도로구간의 특성변수에 따른 사고발생건수를 추정·비교하여 개선효과로 산정한다. 현황적 분석방법의 예는 너무 방대하여 모두 열거할 수는 없고 최근의 논문을 보면, Council 과 Stewart(1999)는 2차로 도로를 4차로로 확장했을때 안전개선효과를 현황적 분석을 통해 제시하였다. 여기서 각각 2차로와 4차로 도로의 사고건수 예측모형(4)을 만들고 동일 교통량 수준에서의 사고건수를 비교하여 사고감소효과로 추정하였다. 이러한 현황적 분석은 설명력 높은 모형적합이 어려울 경우 효과도의 신뢰성을 확보하기 어렵다. 또한 적합된 모형이 사례의 특성에 따라 적합하지 않을 수도 있다는 것이 문제로 제기되고 있다(Persaud, 2001).

이와 같은 한계로 인해 최근에는 사고감소효과 추정을 위해서는 현황적 접근방법보다는 사전·사후비교(BAS)가 주로 사용되고 있다. BAS는 개선사업이 시

4) 2차로 도로 예측모형 $A = (\text{구간길이}) \times e^{b_0} \times (\text{ADT})^{b_1} \times e^{b_2} (\text{길어깨폭}) \times e^{b_3} (\text{도로폭})$ 4차로 모형에는 중앙분리대 폭을 설명변수로 포함

행되지 않았을때의 예측사고건수와 실제 관측된 사후 사고건수를 비교하여 효과도를 추정하는 방법이다. 이는 개선사업이 시행되지 않았을 때의 사후사고건수 예측방법에 따라 다음과 같이 구분된다(Hauer, 1997).

- 단순 BAS(Naive Before-and-After Study Method: Naive BAS)
- 그룹비교BAS(Before-and-After Study with Comparison Group Method: Comparison BAS)
- 경험적베이즈 BAS(Before-and-After Study with Empirical Bays: EB BAS)

단순 BAS는 개선사업 전의 사고건수가 개선사업이 시행되지 않으면 그대로 유지된다고 가정하고, 사업 미시행시 사고건수를 사전사고건수로 채택하는 방법이다. 단순BAS의 효과도 산정식은 식(1)과 같다(Davis, 2000).

$$ARE = \frac{(N_b - N_a)}{N_b} = 1 - \frac{N_a}{N_b} \quad (1)$$

ARE : 사고감소효과

N_a : 개선후 사고건수

N_b : 개선전 사고건수

단순 BAS는 사고전이(Accident migration) 현상, 분석기간 중의 해당 도로구간의 여건변화를 반영하지 못하는 문제, 평균으로의 회귀 문제⁵⁾(Regression to mean bias: RTM) 등으로 인하여 분석결과의 신뢰성에 대하여 문제가 제기되어 왔다(Shen & Gan, 2003).

그룹비교BAS는 개선사업 시행지점과 유사한 도로특성을 갖는 지역의 동일시기 사고건수변화를 이용하여 개선효과를 추정하는 방법으로 산정식은 식(2)와 같다(FHWA, 2002).

$$ARE = \frac{L}{K \times N/M} - 1 \quad (2)$$

K : 개선지점의 사전사고건수

L : 개선지점의 사후사고건수

M : 비교그룹의 사전사고건수

N : 비교그룹의 사후사고건수

그룹비교BAS는 비교지점을 한지점만 선택하는 한쌍비교 방법(Before-After Study with Yoked Comparisons: YC BAS)과 비교지점을 여러 개 선택하여 평균을 채택하는 그룹비교방법(Before-After Study with Comparison Group: CG BAS)으로 구분할 수 있다. 이 기법은 도로 특성이 유사한 비교그룹을 실제 현장에서 찾기에는 어려움이 있어, 적용에는 많은 한계를 가지고 있다. 또한 비교 그룹의 사전사고건수가 '0'인 값을 다룰 수 없으며, 이 방법 역시 평균으로의 회귀(RTM) 문제를 가지고 있다(FHWA, 2002).

단순BAS와 비교지점BAS의 한계를 보완할 수 있는 방법으로 EB BAS가 개발되었다. 이는 개선지점의 사업미시행시 사고건수를 유사지역의 사고건수 예측모형을 통해 산정한 예측값과 실제관측값을 가중평균하여 산정하는 방법이다(Hauer, 1997). EB BAS는 도로 환경특성 변화를 반영할 수 있고, 평균으로의 회귀문제를 고려할 수 있는 장점이 있다. <표 3>은 각기법의 장 단점을 정리한 것이다.

<표 3> 사고감소효과도 분석방법론의 장·단점

구분	장점	단점
Naive BAS	- 계산과 이해가 용이	- 우연히 발생한 사고건 수 비교⇒대표성미확보 - RTM 존재
YC BAS	- 개념이 단순하여 적용이 쉬움 - 필요한 자료가 잘 알려져 있음	- 비교대상이 한 지점에 의존⇒오류가능성높음 - 사고건수가 0인 지점은 다룰 수없음 - RTM 존재
CG BAS	- YC의 한지점을 선택함으로써 발생할 수 있는 오류보완가능	- 유사한 특성을 가진 비교 지점을 찾는 것이 현실적으로 어려움 - RTM 존재
EB BAS	- 사고예측모형 활용으로 비교 대상 사고건수의 대표성 높임 - RTM 해결	- 모형구축이 복잡 - 많은 자료가 필요

자료 : 삼성교통안전문화연구소, 2004

5) 평균으로의 회귀문제(Regression to mean bias)란 F. Galton이 1877년 유난히 신장이 큰 부모들의 자식들의 신장을 조사한 결과 부모의 신장과는 상관없이 전체 평균과 유사하게 나타나는 것을 토대로 제시한 개념이다. 즉, 어떤 자료가 확률변수일때, 계속되는 자료는 원자료의 특성과 상관없이 평균으로 회귀한다는 것이다. 교통사고 자료에 대하여 이법칙이 성립함을 Hauer 등이 보였는데, 일정기준보다 사고건수가 많은 지점에 아무 개선사업을 시행하지 않아도 다음해에는 사고건수가 평균으로 회귀하는 것을 보였다(Hauer and Persaud, 1983). 즉, 안전개선사업은 사고많은 지점이 선택되는데, 이 지점에 아무런 개선사업을 시행하지 않아도 다음해에는 사고건수가 감소되어 나타나게 된다. 따라서 이 지점에 개선사업 시행후 감소된 사고건수를 그대로 효과로 반영하는 단순BAS 등은 평균으로 회귀된 부분까지 사업효과도 포함하여 사업효과를 과대 추정하게 되는 문제가 발생하게 되는 것이다.

안전개선사업의 효과도 분석모형을 고찰한 결과 모형구축이 복잡하고 많은 자료가 필요하다는 단점이 있지만, 사고예측모형 활용으로 추정결과의 신뢰성이 높고, 평균으로의 회귀 문제가 없는 경험적 베이스 기법을 이용하여 사고감소효과도를 추정하는 것이 바람직 할것으로 판단된다.

III. 효과도 분석모형 개발

본 연구에서는 지점개선사업과 구간개선사업의 안전시설물 설치시의 개선효과를 비교하기 위하여 각 사업단위별 시설물별 개선효과를 우선 산정하였다. 다음 단계로 두 사업단위의 비교는 승산비(Odds Ratio)를 이용하여 제시하고자 한다.

1. 분석대상 시설물 선정

분석대상 시설물 선정을 위해 전국 국도에 많이 설치되어 효과도 분석이 필요한 시설물을 분석대상 시설물로 선정하였다. 또한 본 연구에서 활용하게 될 자료 수집구간에서도 해당 시설물이 많이 설치되었는지 검토하여 최종적으로 분석대상 시설물을 선정하였다.

전국국도의 시설물 설치 현황은 설치금액⁶⁾으로 정리하였다. <표 4>에 의하면 1998년부터 2003년 사이에 전국국도에 중앙분리대가 가장 많이 설치되었고, 다음으로 가드레일, 갈매기표지 순으로 나타났다.

본 연구에서 분석대상구간은 IV. 사례연구에 구체적으로 제시되어 있는데, 구간단위 사업은 국도17호(전주~남원) 구간이고, 지점단위 사업은 전라북도내 국도4개 노선 65.3km에서 시행된 사업을 대상으로 하였다. 분석대상구간에서도 전국 국도와 마찬가지로 중앙분리대가 가장 많은 개소에 설치되었고, 다음으로 가드

<표 4> 전국 국도 도로안전시설물 설치현황('98-'03)

시설물	금액(백만원)	시설물	금액(백만원)
중앙분리대	156,901	표지병	14,060
가드레일	44,196	시선유도봉	4,930
시선유도표지	7,404	도로반사경	377
갈매기표지	14,368	미끄럼 방지포장	46,443
충격흡수시설	3,419		

자료 : 건설교통부 내부자료

<표 5> 분석대상도로 도로안전시설물설치현황('99-'01)

시설물	설치개소	시설물	설치개소
중앙분리대	166	주의신호등	11
가드레일	96	시선유도봉	23
미끄럼 방지포장	13	사고찾은곳 표지	13
갈매기표지	33	속도규제표지	28
단속카메라	22	경찰경광등	6

자료 : 삼성교통안전문화연구소, 2004

레일, 갈매기표지, 속도규제표지의 순으로 많이 설치된 것으로 나타났다.

전국 국도와 분석대상구간의 안전시설물 설치현황을 검토하여, 중앙분리대, 가드레일, 미끄럼방지포장, 갈매기표지, 속도규제표지를 분석대상 시설물로 선정하였다.

2. 시설물별 분석 사고유형 선정

분석대상시설물의 사고감소효과를 분석하기 위하여 지점의 전체 사고건수를 대상으로 비교할 경우 사고감소 효과가 과대추정될 수 있다. 예를 들어 어떤 지점에서 총 3건의 사고가 발생하고, 이 사고유형이 정면충돌 2건, 전복 1건이라고 가정하면, 중앙분리대 설치로 감소시킬 수 있는 사고는 정면충돌 사고가 해당된다. 따라서 중분대의 순수사고감소효과를 도출하기 위하여 정면충돌 사고만을 대상으로 효과도를 분석하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 각 분석대상시설물별로 대표적인 사고유형을 선정하기 위해 χ^2 -검정⁷⁾을 실시하였다. 이를 통해 시설물 설치전·후 사고유형별로 사고건수 변화가 유의⁸⁾한 사고유형을 선정하여 해당 사고건수만을 분석대상으로 하였다. 시설물별 분석 사고유형은 <표 6>과 같다.

<표 6> 시설물별 분석사고유형 선정결과

시설물	사고유형	시설물	사고유형
중앙분리대	정면충돌	속도규제표지	추돌
가드레일	측면충돌	미끄럼 방지포장	추돌
갈매기표지	측면충돌		

3. 사고예측모형구축

문헌고찰에서 살펴본 바와 같이 경험적 베이스방법은

6) 시설물 설치량이 종류에 따라 연장(km) 또는 개소수로 정리되어, 동일단위로 비교가 가능한 금액으로 정리하였음

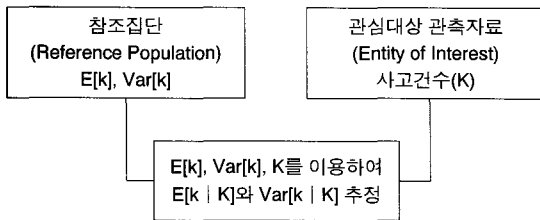
7) 범주형 자료에 대하여 독립성을 검정하고자 할 때 이용하는 통계기법

8) 95% 신뢰수준에서 유의한 사고유형만을 채택

교통안전개선사업의 효과도 분석시 기존 방법의 한계를 극복할 수 있는 방법론이다. 따라서 본 연구에서 시설물 설치된 사고건수를 예측하는 모형은 경험적베이즈(EB) 방법을 이용하여 구축하고자 한다. 이는 교통사고 예측시 교통사고 발생특성⁹⁾상 관측자료(Entity of Interest)를 직접 사용할 경우 야기할 수 있는 판단오류를 방지하기 위한 적절한 방법론이다. 기본개념은 참조집단(Reference Group)에서 구축된 평균사고건수추정모형($E[k]$ 추정모형)을 이용해 해당지점특성을 반영한 추정치를 구하고, 이 추정치와 관측치 K 를 가중평균하여 해당지점의 기대사고건수 $E[k | K]$ 를 구하게 된다. 경험적베이즈 방법의 추정논리는 <그림 3>과 같다.

$$E[k | K] = \omega E[k] + (1 - \omega)K \quad (3)$$

- ω : 가중치
- $E[k]$: 예측된 평균사고건수
- K : 관측사고건수



자료 : Hauer(1997)

<그림 3> EB 추정의 논리

기대사고건수 $E[k | K]$ 추정모형에서 가중치(ω)는 0~1의 값을 가지며, 해당지점의 분산 ($\hat{Var}[k]$) 또는 과분산계수(ϕ)¹⁰⁾를 이용하여 설정하게 된다. 가중평균시는 해당지점의 관측자료 K 의 오차($K - \hat{E}[k]$)가 클 경우 추정치 ($\hat{E}[k]$)의 비중이 높아지게 되는 구조이다. 여기서 해당지점의 가중치는 식(4)에 의해 산정한다.

$$\omega = \frac{1}{1 + \frac{VAR[k]}{E[k]}} \quad (4)$$

참조집단의 교통사고추정모형 $E[k]$ 를 이용하여 개선사업이 이루어지지 않았을 경우 해당지점의 도로교통 특성에 따른 교통사고건수를 예측할 수 있다.

교통사고건수는 포아송 분포를 따른다는 것이 일반적 견해이다. 따라서 본 연구에서는 교통사고건수를 포아송 확률분포를 따르는 랜덤성분으로 인식할 수 있는 일반화 선형모형(Generalized Linear Models; GLM) 중 대수선형모형(Log-linear model)을 이용하여 평균교통사고건수 예측모형을 구축하였다. 또한 대수선형모형은 항상 예측값이 양(+)¹¹⁾의 값으로 나타나는 구조이므로 사고예측모형에 적합하다 하겠다¹¹⁾.

GLM은 반응변수(Response Variable)를 정의하는 랜덤성분(Random component), 설명변수를 명시하는 체계성분(Systematic component), 랜덤성분과 체계적 성분간을 연결하는 연결함수(Link function)로 구성된다(Alan Agresti, 1999). 본 연구에서 랜덤성분인 반응변수는 사고건수가 되고, 이는 확률분포를 가정하게 되는데, 여기서 사고건수 자료에 일반적으로 적용되는 포아송 분포를 가정하였다. 대수선형모형의 일반적 형태는 식(5)와 같다.

$$\log(\mu) = \alpha + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k \quad (5)$$

모형의 적합도 검정을 위해서는 이탈도(Deviance), χ^2 -value를 이용할 수 있다. 여기서 이탈도는 포화모형(Saturated Model)과 적합된 모형을 비교한 우도비검정(LRT; Likelihood ratio test) 값으로 식(6)과 같이 산정된다.

$$Deviance = -2(L_M - L_S) \quad (6)$$

- L_S : 포화모형의 로그우도함수 최대값
- L_M : 적합모형의 로그우도함수 최대값

χ^2 -value는 식(7)과 같이 관측값과 기대값의 차이를 제곱평균하여 구한 값으로 자유도(degree of freedom; d.f)와 비슷한 값이면 모형이 적정하다고 판단한다(SAS Inc., 1999).

9) 교통사고는 드물게(rare) 발생하고, 무작위적(random)으로 일어나며, 여러요인이 복합적으로 작용(multifactor events)하여 우연히 발생하는 것이라는 특성(Rospa, 2002).

10) 가중치 산정시 과분산계수(ϕ)를 이용하는 경우는 평균 사고건수예측모형을 음이항회귀로 적합시켰을 경우가 해당

11) 선형회귀모형(Linear Regression)은 설명변수중 계수값이 (-)값이 있을 경우, 예측값이 부(-)의 값으로 추정될 수 있다.

$$X^2 = \frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{\hat{Y}} \quad (7)$$

Y: 관측값, \hat{Y} : 기대값

4. 시설물별 효과도 분석기법

사업단위별 시설물별 효과도 산정은 우선, 앞에서 구축된 E(k) 산정모형을 이용하여 개별 지점별 평균사고건수를 예측한다. 다음으로 E(k)와 분산(VAR(k))을 이용하여 가중치(ω)를 구한다. 이를 이용하여 지점별 기대사고건수값 E(k | K), 즉 개선사업이 시행되지 않았을 경우의 사후사고건수를 추정하고, 이를 관측 사후사고건수와 비교하여 지점별 사고발생률 (IE_{ijh})을 산정하게 된다.

$$IE_{ijh} = \frac{L_{ijh}}{E[k | K]_{ijh}} \quad (8)$$

L_{ijh} : h사업단위, i시설물, j지점의 사후관측사고건수

$E[k | K]_{ijh}$: h사업단위, j지점, i시설물의 기대사고건수

I : 시설물 종류, j = 지점

h : 사업단위(R: 구간, S: 지점)

사업단위별 시설물별 개선효과도는 앞에서 산정한 지점별 사고발생률(IE_{ijh})을 합산하고, 이를 지점수로 나누는 값을 사업단위별 시설물별 효과(IE_{ih})로 한다.

$$IE_{ih} = \frac{\sum_{j=1} L_{ijh}}{\sum_{j=1} E[k | K]_{ijh}} \quad (9)$$

IE_{ih} : 사업단위별 시설물별 효과

5. 시설물의 상대효과도 분석기법

사업단위별 시설물별 사고감소효과를 산정하면 각 시설물별로 2x2의 분할표(Contingency Table)가 도출된다. 분할표를 해석하는 방법에는 비율의 차이를 이용하

는 방법, 상대위험도방법(Relative Risk)과 승산비(Odds Ratio)를 이용하는 3가지 방법이 있다(Agresti, 1996).

<표 7> 2x2 분할표 분석 예

구분		변수2		비율의 차이 : $p_{11} - p_{21}$ 상대위험도 : p_{11}/p_{21} 승산비 : $\frac{p_{11}/p_{12}}{p_{21}/p_{22}}$
		1	2	
변수1	1	p_{11}	$1-p_{11}$	
	2	p_{21}	$1-p_{21}$	

비율의 차이 방법은 행간 성공확률의 차로 정의할 수 있는데, 행간에 사고건수 규모를 반영하지 못하므로, 행간 사고건수가 같은 때에만 적용할 수 있다. 상대위험도방법은 고정된 표본크기(N)를 가질 때 적용할 수 있는 방법으로, 행간 성공확률의 비로 정의된다.

승산비(Odds Ratio)는 범주형 자료를 분석할 때 가장 많이 이용하는 방법이다(Agresti, 1996, Al-Ghamdi, 2002). 산정방법은 우선 각 행별로 성공확률을 실패확률로 나눈 오즈(Odds)를 산정한다. 각 행의 오즈를 나누어 구한 것이 승산비(Odds Ratio; θ)가 되고, 승산비가 1보다 크면($\theta > 1$) 윗행의 성공확률이 아래행의 성공확률보다 크게 된다. 승산비는 항상 음이 아닌 실수값을 가지며, 행의 위치가 바뀌면 승산비는 역수가 된다. 그러나 행과 열을 전치시키더라도 승산비는 변하지 않게 된다. 이것이 상대위험도와의 가장 큰 차이점이자 장점이다.

이와 같은 승산비의 특성을 활용하여 본 연구에서는 구간개선사업의 지점개선사업대비 상대효과도를 구하고자 한다. 승산비는 식(10)과 같이 산정된다.

$$\theta_{R/S} = \frac{\sum IE_{Rij}}{\sum IE_{Sj}} = \frac{\frac{\sum L_{Rij}}{\sum E[k | K]_{Rij}}}{\frac{\sum L_{Sj}}{\sum E[k | K]_{Sj}}} \quad (10)$$

R: 구간개선사업, S: 지점개선사업

L: 개선사업 시행후 관측사고건수

최종적으로 시설물 i의 상대효과도($ER_{i,R/S}$)는 식(11)과 같이 산정된다. 시설물 i의 승산비가 $\theta_{i,R/S} > 1$ 이면 구간개선사업의 사고감소효과가 지점개선사업에 비해 적은 것이므로 상대적으로 효과가 적음을 의미한다.

$$ER_{i,R/S} = 100(\theta_{i,R/S} - 1) \quad (11)$$

IV. 사례연구

1. 분석자료

본 연구에서는 구간안전개선사업의 상대효과도를 산정하기 위하여 지점개선사업과 구간개선사업의 사고감소효과도를 산정·비교하고자 한다.

따라서 구간개선사업과 지점개선사업 시행 구간의 사고자료와 도로교통특성 자료가 필요하다. 구간개선사업 시행에는 국도 17호선 전주~남원 구간이다. 비교대상이 될 지점개선사업 선정할 때는 일반적으로 CG BAS에서 비교그룹을 선정할 때 고려되는 요소인 도로·교통특성, 운전자 행태특성이 유사한 지점을 선정하고자 하였다. 또한 안전시설물 설치시기가 유사한 지점을 선택하여 시간차로 인한 분석오류를 최소화하고자 하였다.

구간개선사업 시행사례인 국도17호선 전주~남원구간과 유사한 도로를 선택하기 위하여 도로특성은 동급도로인 국도를 선택하였고, 교통특성의 유사성 확보를 위해 모두 4차로 도로를 선정하였다. 행태특성의 유사성을 위해 국도 17호선과 동일지역인 전라북도 지역의 도로가 선정되었으며, 안전시설물이 1999~2002년에 설치된 구간을 선정하였다. 분석대상구간은 <표 8>과 같다.

<표 8> 분석대상구간 개요

구분	노선	연장 (km)	ADT (2003)	사고건수 ('97~'03)	지점수
지점 사업	1(전주-금구)	16.0	19,108	137	22
	22(정읍-홍덕)	16.1	10,381	201	32
	26(전주-부귀)	33.2	16,849	276	39
	소계	65.3	-	614	93
구간 사업	17(전주-남원)	43.3	22,080	1,129	-

2. 사고예측모형구축

우선 동일지역(전라북도)내 안전시설물이 설치되지 않은 4차로 국도의 사고자료를 토대로 평균사고건수 $E(k)$ 추정모형을 구축하였다. 본 연구에서는 반응변수로 사고건수, 설명변수로는 도로선형자료에서 구득 가능한 연속형 변수인 교통량, 곡선반경을 채택하였다. 모형은 모두 GLM의 대수선형모형중 포아송회귀로 적합되었다. 모형의 기본형태는 식(12)와 같다.

$$E[k]_{FT} = \text{EXP}(\beta_0 + \beta_1 \text{VOL} + \beta_2 \text{RAD}) \quad (12)$$

VOL: 교통량, RAD: 곡선반경

F: 시설물종류, T: 사고유형

앞장에서 선정한 시설물별 유의한 사고유형을 대상으로 모형을 적합한 결과는 <표 9>와 같다.

<표 9> E(k) 추정모형 구축결과

시설물 (사고유형)	사고예측모형(E(k))			이탈도	χ^2	p-value
	β_0	β_1	β_2			
중앙 분리대 (정면충돌)	-0.2735	0.0357	-0.0003	17.31	20.02	0.99
가드레일 (측면충돌)	-0.1846	0.0214	-	20.97	23.45	0.99
미끄럼 방지포장 (후미충돌)	-1.4439	0.1647	-0.0014	5.70	5.69	0.99
갈매기 표지 (측면충돌)	-0.2076	0.0235	-	12.20	13.68	0.99
속도규제 표지 (후미충돌)	-0.1129	+0.0256	-	17.69	20.13	0.93

각 모형의 적합도는 χ^2 -value와 자유도(d.f)를 이용하여 산정한 p-value를 이용하여 검토하였다. P-value는 귀무가설(H0): '추정된모형'일때 귀무가설의 모형이 잘 적합할 확률을 의미한다. 적합결과 모두 0.9이상으로 분석되어 모형이 잘 적합되었음을 알 수 있다(홍종선, 최현집, 1999).

3. 사업단위별 시설물별 효과도 산정

사업단위(구간사업/지점사업)별 시설물별 효과도는 우선 개별 지점에 대한 사고감소효과 산정에서 시작된다. 우선 앞에서 구축된 평균사고건수 예측모형과 가중치를 이용하여 기대사고건수 $E(k|K)$ 를 지점별로 산정한다. 다음으로 관측된 사후사고건수와 기대사고건수를 이용하여 사고발생율(IE_{ih})을 구하고 이를 이용하여 사고감소효과도를 산정하게 된다. 여기서 사업단위 h, 시설물 i의 사고감소효과도(ER_{ih})는 식(13)과 같이 산정된다.

$$ER_{ih} = (IE_{ih} - 1) \times 100 \quad (13)$$

개별 지점별 개선효과도를 구한후 이를 평균하여 시설물 전체의 효과도로 한다. 중앙분리대는 지점사업이나 구간사업이나 비슷한 효과도를 보이는 것으로 나타났다. 가드레일은 구간개선사업과 지점사업의 효과도가 -15%와 -1%로 나타나, 지점사업의 경우는 효과도가 매우 적은 것으로 분석되었다. 속도규제표지는 구간개선사업에서는 사고가 6%정도 감소한 것으로 나타났으나, 지점단위사업에서는 오히려 19.8% 증가한 것으로 나타났다.

〈표 10〉 시설물별 사업단위별 사고감소효과도

시설물 (i)	사업 단위 (h)	관측사고 건수 L_{ih}	기대사고 건수 $E(k K)_{ih}$	사고 발생율 IE_{ih}	효과도 ER_{ih}
중앙 분리대	구간	4	17.19	0.23	-76.73
	지점	2.25	9.00	0.25	-75.00
가드 레일	구간	7.5	8.82	0.85	-15.00
	지점	4	4.04	0.99	-1.00
미끄럼 방지	구간	1	20.00	0.05	-95.00
	지점	2	9.09	0.22	-78.00
갈매기 표지	구간	7.3	16.18	0.45	-54.88
	지점	3	3.30	0.91	-9.00
속도규제 표지	구간	3	3.19	0.94	-6.00
	지점	4	3.34	1.20	19.82

정길이 이상 설치되게 되므로 사업단위에 따른 효과차이가 크지 않은 것으로 판단되었다.

대표적인 지점설치 시설물인 속도규제표지, 갈매기표지, 미끄럼방지포장도 구간개선사업이 보다 효과적인 것으로 나타나, 전체구간의 관점에서 앞뒤 상황에 대한 고려를 통해 시설물을 설치해야 하는 것으로 판단되었다.

〈표 11〉 구간개선사업의 지점개선사업 대비 상대효과도 산정 결과

시설물 (i)	사업단위 (h)	IE_{ih}	승산비 ($\theta_{R/S}$)	상대효과도 ($ER_{R/S}$)
중앙 분리대	구간(R)	0.23	0.93	-7.09
	지점(S)	0.25		
가드 레일	구간(R)	0.85	0.86	-14.36
	지점(S)	0.99		
미끄럼 방지	구간(R)	0.05	0.23	-77.27
	지점(S)	0.22		
갈매기 표지	구간(R)	0.44	0.48	-51.65
	지점(S)	0.91		
속도규제 표지	구간(R)	0.94	0.78	-22.08
	지점(S)	1.20		

4. 구간사업의 지점사업대비 상대효과도 산정

각 사업단위에 따라 시설물별 지점별 사고발생율 ($IE_{i,h}$)의 평균($IE_{i,R}$, $IE_{i,S}$)을 이용하여 사고발생율($\theta_{R/S}$)을 산정하였고, 이를 다시 상대효과도($ER_{R/S}$)로 추정하였다.

분석결과 5개 시설물 모두에서 구간개선사업이 지점 개선사업에 비해 안전개선효과가 큰 것으로 나타났다. 미끄럼 방지포장이 지점사업대비 구간사업의 상대효과도가 77.27%로 나타나 구간단위로 설치했을 때 가장 효과적인 시설물로 나타났다. 구간개선사업이 지점개선사업보다 갈매기 표지는 51.65%, 속도규제표지는 22.08% 효과적인 시설물로 나타났다. 중앙분리대의 경우는 구간개선사업이 지점개선사업에 비해 7.09% 정도 보다 효과적인 것으로 나타났다. 이와 같이 상대효과도는 7.09%~77.27% 까지 시설물별로 다양하게 나타났다.

중앙분리대와 가드레일이 다른 시설물에 비해 지점 개선사업 대비 구간개선사업의 효과가 작은 것으로 나타났는데, 이는 시설물 특성상 사업단위와 상관없이 일

V. 결론

한국에서는 도로안전개선사업이 지점위주로 이루어져 왔으며, 최근에는 구간단위 개선사업이 이루어지고 있다. 구간단위 안전개선사업은 개선안 작성시 문제구간의 앞뒤구간도 함께 검토하여 포괄적인 대안제시가 가능하며, 실제 시공할 때도 도로구간 전체에 대하여 일정기간 동안 집중적으로 시행이 이루어져 개선효과를 극대화할 수 있다는 장점이 있을 것으로 예상된다. 본 연구는 실증분석을 통해 이와 같은 가정을 입증 하였다. 이를 입증하기 위해 구간단위 사업전체와 지점단위 사업 전체의 사전·사후 사고건수를 비교하는 방법이 있다. 본 연구에서는 여기서 한단계 더 나아가 설치된 시설물의 효과도가 사업의 공간적 범위에 따라 어떻게 차이가 나는가를 비교하였다. 동일 시설물도 설치된 도로의 특성과 사업성격에 따라 효과도가 다르게 나타나기 때문이다.

공간적 범위에 따른 효과도의 차이를 보이기 위하여 본 연구에서는 각 사업단위별로 동일하게 설치된 시설물의 효과도를 분석하고 이를 비교할 수 있는 상대효과도를 제시하였다. 이를 위하여 우선 시설물별 사고감소

효과도를 산정하는 모형을 개발하였고, 다음으로 사업 단위별로 개선효과도를 산정한 후, 이를 비교하기 위한 상대효과도를 산정하는 방법론을 개발하였다. 이를 이용하여 구간, 지점별 시설물별 효과도를 산정하고, 시설물별로 구간사업의 지점사업대비 효과도를 검증하였다.

사업단위별 시설별 안전개선효과도는 경험적베이스(EB) 방법으로 추정되었다. 이에 기반이 되는 평균사고건수에측모형은 포이송회귀로 적합되었다. 또한 효과도의 과대추정을 방지하기 위하여 시설물별로 사전·사후 사고건수변화가 유의한 사고유형만을 대상으로 하여 효과도를 추정하였다.

구간안전개선사업의 지점개선사업 대비 효과도산정 모형은 승산비를 이용하여 구축되었는데, 이는 향후 상대적인 안전개선효과도 산정할 때 적용 가능한 방법이 될 것으로 기대된다. 예를 들어 도로·교통환경 또는 지역특성이 다른 곳에 적용된 특정 안전개선사업이 어느 곳에서 보다 효과적인가를 판단할 수 있는 기법으로 활용될 수 있을 것이다.

상대효과도 산정결과 구간안전개선사업에서 설치한 안전시설물이 지점개선사업에 비해 7.09%에서 77.27% 감소효과가 더 큰 것으로 나타났다. 이는 향후 구간안전개선사업의 지속적인 확대가 필요하다는 것을 의미하며, 지점개선사업 시행할 때도 전체 구간을 고려한 안전시설물 설치가 필요하다는 것을 의미한다고 하겠다. 따라서 이에 따른 시설물 설치기준이 마련되어야 할 것으로 보인다.

본 연구결과 동일한 시설물을 설치한다면 구간단위 개선사업으로 시행하였을 때 보다 효과적인 것으로 나타났다. 따라서 향후에는 문제점진단과 개선방안이 도로구간 전체에 걸쳐 이루어질 수 있는 구간안전개선사업이 확대되어야 할 것으로 판단된다. 이를 위해서는 관련 법·제도의 정비가 따라야 한다. 최근 추진중인 교통안전법이 개정되면 구간단위 개선사업 시행 근거는 마련될 것으로 보인다. 구간단위 개선사업의 실효성을 확보하기 위해서는 사업절차, 사업대상구간 선정, 문제점 분석 및 개선대안 제시과정에서 참고할 수 있는 구체적인 방법론을 담은 지침이 마련되어야 한다.

참고문헌

1. 건설교통부(1999), "국도17호선 전주~남원간 국도의 교통안전개선방안 연구", 국토연구원·한국교통연구원, pp.88~164.

2. 한상진 등(2003), "네트워크 차원의 교통안전개선 사업을 통한 안전성 제고방안 연구", 한국교통연구원, pp.23~29.

3. 안전관리개선기획단(2001), "제3차 「교통사고 잦은 곳」 및 위험도로 개량사업 추진계획", 국무조정실.

4. 삼성교통안전문화연구소(2004), "도로안전시설물의 사고감소효과도 분석", 서울시립대학교, pp.65~92.

5. 홍종선, 최현집(1999), "로그선형모형을 이용한 범주형 자료분석", 자유아카데미, p.49.

6. Agresti, A(1996), "An Introduction to Categorical Data Analysis", John Wiley & Sons Inc., pp. 22~27, pp.71~97.

7. Al-Ghamdi, A. S.(2002), "Pedestrian-vehicle crashes and analytical techniques for stratified contingency tables", Acc. Anal. Prev. 34, Elsevier Science Ltd., pp.205~214.

8. Council, F. M., Stewart, J. R.(1999), "Safety effects of the conversion of rural two-lane to four-lane roadways based on cross-sectional models", TRR 1665, paper No. 99-0327, TRB, pp. 35~43.

9. Elvik, R.(1997), "Evaluations of road accident blackspot treatment: A case of the iron law of evaluation studies?", Acc. Anal. Prev. Vo.29, No.2, Elsevier Science Ltd., pp.191~199.

10. Hauer, E., B. Persaud(1983), "Common Bias in Before-After Accident Comparisons and Its Elimination", TRR 905, TRB, pp.164~174.

11. FHWA(2002), "Safety Effectiveness of Intersection Left-and Right-Turn Lanes", FHWA-RD-02-089, U. S. DOT, pp.64~97.

12. Davis, G.(2000), "Accident reduction factors and casual inference in traffic safety: a review", Acc. Anal. Prev. 32, Elsevier Science Ltd., pp.95~109.

13. Hauer, E.(1997), "Observational Before-After Studies in Road Safety; Estimating the effect of highway and traffic engineering measures on road safety", Pergamon, Elsevier Science Ltd., pp.175~218.

14. Persaud, B. N.(2001), "Statistical methods in highway safety analysis", NCHRP Synthesis 295, Transportation Research Board, National academy press, Washington D.C.
15. RoSPA(2002), "Road Safety Engineering Manual", RoSPA, England.
16. SAS Institute Inc.(1999), "SAS/STAT User's Guide", Version 8, pp.1363~1464.
17. Shen, J., A. Gan(2003), "Developemnt of Crash Reduction Factors: Method, Problem and Research Needs", Transportation Research Record 1840, Trransportation Research Board, Washington D.C, pp.50~56.

✉ 주 작 성 자 : 박규영

✉ 교 신 저 자 : 이수범

✉ 논문투고일 : 2006. 1. 6

✉ 논문심사일 : 2006. 4. 21 (1차)

2005. 5. 2 (2차)

2005. 5. 12 (3차)

✉ 심사판정일 : 2006. 5. 12

✉ 반론접수기한 : 2006. 10. 31