■ 論 文 ■

중앙분리대 설치에 따른 사고전환효과 분석

Accident Conversion Effect Analysis of Installing Median Barriers

박 민 호
(서울시립대학교 교통공학과 석사)

박 규 영
(서울시립대학교 교통공학과 박사과정)

장 일 준
(삼성교통안전문화연구소 수석연구원)

이 수 범
(서울시립대학교 교통공학과 교수)

목 차

Ⅰ. 서론
1. 연구의 배경 및 목적
2. 연구범위 및 방법
Ⅱ. 기존연구고찰
1. 중앙분리대 사고감소효과분석사례
2. 사고감소 효과분석 방법
Ⅲ. 효과분석방법론 정립
1. 분석방법론 선정
2. EB 개념을 적용한 분석방법
Ⅳ. 자료구축 및 검정
1. 분석자료의 수집 및 정리
2. 자료의 독립성 검정
Ⅴ. 사고전환효과분석
1. 사고유형별 SPF 모형구축 및 검정
2. 사고심각도별 SPF 모형구축 및 검정
3. 사고전환효과분석
Ⅵ. 결론 및 향후 연구과제
참고문헌

Key Words : 중앙분리대, 사고전환효과, 경험적 베이즈(Empirical Bayes)방법, 사고유형, 심각도

요 약

교통안전시설 중 중앙분리대는 정면충돌 사고 예방에 효과가 있다고 인식되어 4차로 이상 국도를 대상으로 설치가 이루어지고 있다. 중앙분리대 설치효과분석에 관한 연구는 국내·외에서 지속적으로 이루어지고 있는데, 주로 해당구간의 전체적인 사고감소효과를 제시하고 있다. 즉, 지점에서 사고유형별 또는 심각도별로 사고발생형태가 어떻게 변화되는지에 대한 연구가 미미한 실정이다. 국외에서는 주로 중앙분리대 설치유형에 따른 사고감소효과를 산정하고 있으며, 국내에서는 일부 사고유형별 감소효과를 산정한 사례가 있기는 하나 시설물 설치전·후 각 1년만의 사고자료만을 이용함으로써 도출된 값의 통계적 신뢰성을 확보하지 못하고 있다. 이에 본 연구에서는 중앙분리대 설치에 따른 사고유형별·사고심각도별 사고전환효과를 추정하고자 한다. 이를 위하여 중앙분리대가 설치된 국도 4차로 108.6km에 대하여 사업전·후 총 7년간의 교통사고자료, 안전시설물 설치이력과 도로선형요소에 대한 조사와 자료수집이 이루어졌다. 다음으로 경험적베이즈(Empirical Bayes)기법을 이용한 모형구축과 사고유형·심각도의 사고전환효과를 추정하였다. 연구결과는 향후 중앙분리대 관련 정책집행과 시설기준제시에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Among the traffic safety facilities, median barriers are installed above 4-lane national roads due to the awareness of having an effect on preventing the front collision. Studies about the installation effect analysis of median barrier have been carried out through both at home and outside, mainly indicating total accident reduction effect on pertinent sections. In sum, study about how the accident occurrence form is changed at the point classified by the accident type or severity is insignificant. In the case of outside the country, calculating the accident reduction effect according to the type of median barriers is main research and in domestic, though there is a part of researches assessing reduction effect by accident types, it is not reliable in the view of statistics because of using only 1year's before-after data installing the facility. So in this paper, it is the main purpose to presume the accident conversion effect. For this, we conduct an investigation and collect data about 7-year's accident data containing before-after project, safety facilities' foundation records and index of road alignment on the subject of 4-lane national roads(108.6km) existing median barrier. Next, using the empirical bayes method, we estimate a model construction and accident conversion effect of accident type · severity. We expect the result of this paper will be applied for a policy execution and presentation of facility standard related to median barrier from now on.

Ⅰ. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

교통안전시설물 중 중앙분리대는 다양한 형식으로 설치되어 도로의 안전도향상에 많은 기여를 하고 있다. 중앙분리대 설치효과에 관한 연구는 국·내외에서 지속적으로 이루어지고 있는데, 국내에선 중앙분리대 설치 전과 후 각 1년의 사고건수를 이용한 사고감소효과에 관한 연구가 이루어진 바 있다. 하지만, 이는 교통안전 분야에서 사고감소효과 분석에 유의한 년도라고 알려져 있는 개선 전·후 각 3년의 자료가 아닌 1년 자료를 이용하여 관측당시 갑자기 늘어나거나 줄어든 사고를 고려하지 못하였다는 한계가 있다. 선진 외국에선 다년간 누적된 사고자료를 이용한 사고감소효과 뿐만 아니라, 중앙분리대의 폭이나 형식 등이 사고에 미치는 영향까지 고려하는 다각적인 연구가 이루어지고 있다.

기존의 연구들은 중앙분리대 설치에 따른 총체적인 사고건수감소효과(%)만을 제시하고 있으며, 사고유형이나 사고심각도 변화에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 중앙분리대를 설치함으로써 전체 사고 건수 및 심각도는 줄어들지만, 설치 전과 후에 발생하는 사고의 유형 및 심각도 수준은 달라 질 것이다. 하지만 이에 대한 연구는 사고유형 및 심각도별로 사고증감효과가 다르게 나타날 수도 있을 것이라는 추측만 있고, 정량화된 수치는 없는 실정이며, 이러한 전체적인 사고감소효과(%)만을 바탕으로 중앙분리대가 과도하게 설치되고 있다는 논란이 있어왔다.

이에 본 연구에서는 4차로 일반국도의 중앙분리대 설치현황과 사고자료를 이용하여 중앙분리대 설치에 따른 사고유형별·심각도별 사고전환효과를 분석하여 제시하고자 한다.

2. 연구범위 및 방법

1) 연구의 범위

본 연구의 범위는 다음과 같다.

- 공간적 범위 : 지방부 일반국도 4개 노선 108.6km
- 시간적 범위 : 1997~2003년(자료수집기간)
- 내용적 범위 :
  - 중앙분리대의 사고감소효과 산정사례분석
  - 사고감소효과 분석방법론 정립
  - 사고유형별 사고전환효과분석
  - 사고심각도별 사고전환효과분석

2) 연구의 방법

우선 전라북도에 위치한 일반국도 4개 노선(108.6km)의 단일로 구간에 대한 현장조사를 실시하여 중앙분리대가 설치된 166개 지점을 선정하였다. 선정된 지점에 대하여 설치이력 및 사고자료(1997~2003년)를 수집하였다. 수집된 자료를 지점별로 구분하였으며, 지점별로 중앙분리대 설치 전·후의 사고유형·심각도별 사고건수변화에 대한 신뢰성분석을 위해 통계적 검정을 실시하였다. 이와 함께 사고감소효과분석에 관한 기존연구를 고찰하여 분석방법론을 선정하였다. 다음으로 앞서 구축된 자료 중 통계적으로 유의한 사고유형·심각도 자료를 이용하여 사고유형 및 심각도별로 사고전환효과를 도출하였다.

Ⅱ. 기존연구고찰

1. 중앙분리대 사고감소 효과분석 사례

Donnell & Mason Jr.(2004)는 펜실베니아 州間도로(Interstate Highway)를 대상으로 도로기하구조와 사고자료를 이용하여 중앙분리대 관련사고 심각도 예측모형을 구축하였다. 중앙분리대 관련사고는 중분대를 넘어가는 사고(Cross-Median Crash, 정면충돌사고)와 중앙분리대 충돌사고(Median Barrier Crash)로 설정하였다. 각 설명변수의 효과도는 승산비(Odds Ratio)로 설명되었는데, 분석결과 중앙분리대를 넘어가는 사고발생여부는 약물, 곡선, 날씨, 종단경사도가 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 중앙분리대 충돌사고의 심각도는 노면, 약물, 램프존재여부, 사고유형, 교통량 등에 영향을 받는 것으로 나타났다.

도로교통안전관리공단(2004)은 사고잦은 지점 개선사업에서 시행된 중앙분리대 시설에 대하여 단순사고건수법에 의하여 사고감소효과도를 제시하고 있다. 중앙분리대 설치로 약 41%의 사고가 감소한다고 제시하고 있다.

김경석·강승림(2003)은 사고율, 사고점유율, 대물피해환산법(Epuivalent Property Damage Only: EPDO)을 효과척도로 하여 사고빈도뿐 아니라 사고강

도의 효과분석을 시행하였다. 분석결과로 정면충돌사고, 야간사고, 사망사고에 효과적이라고 제시하고 이에 근거한 중앙분리대 설치를 제안하고 있다.

Donnell 등(2002)은 델파이조사를 통해 중앙분리대 설치에 따른 도로설계요소를 고려해야 한다는 결론을 도출하고, 음이항회귀모형을 이용하여 중앙분리대폭과 형식에 따른 사고특성을 분석하였다. 중앙분리대폭이 넓어 질수록 사고율은 감소하는 것으로 나타났다.

Martin 과 Quincy(2001)은 프랑스의 도시간 연결 고속도로를 대상으로 중앙분리대의 형식별 효과를 분석하였다. 1985년부터 매년 중앙분리대 연장이 증가함에 따라 전체사고율과 중앙분리대 관련 사고율은 감소하였다. 형식별 비교에서는 콘크리트 중앙분리대가 부상자수를 늘리는 것으로 나타났다.

Taylor 등(2001)은 미시간주 도시부 양방향 중앙분리대 교차(Bidirectional Median Crossover)를 분리된 방향별 중앙분리대 교차로 개선했을때의 사고감소효과도를 단순사고건수법을 이용하여 제시하였다. 교통량, 구간길이, 교차밀도 등이 다른 8개 구간이 선택되었고, 분석결과, 방향별 중앙분리대 교차가 사고감소효과가 있는 것으로 나타났다.

Hunter 등(2001)은 케이블형 중앙분리대 사고감소효과를 회귀형태 모형을 이용하여 사고유형별로 사고건수와 사고율로 나타냈다. 기존에 주로 금속형 가드레일(Metal Guardrail)이나 콘크리트형 가드레일(Concrete Guardrail)을 사용해 왔는데, 새롭게 케이블형 가드레일을 도입하면서 그 효과도를 제시한 것이다. 정면충돌사고는 사고건수가 워낙 적어 분석이 어려웠지만 사고건수가 감소한 것으로 나타났고, EPDO는 증가했지만 사고 심각도 지수(Severity Index)는 적어져 전체적으로 안전도는 증가한 것으로 제시하고 있다.

이수범과 박규영(2000)은 1997년 사고잦은지점 개선사업 시행지점 272개 지점 자료를 단순사고건수법으로 분석하고 이를 외국자료와 평균하여 중앙분리대의 사고감소효과를 제시하였다. 분석결과 사망사고는 48.2%, 부상사고는 21.2% 감소시키는 것으로 나타났다.

Bonneson과 McCoy(1997)는 음이항회귀모형을 이용하여 중앙분리대 형식에 따른 사고건수 추정모형을 구축하였다.

Elvik(1994)는 1956년부터 1993년까지의 중앙분리대, 가드레일, 충격흡수시설의 효과분석 연구결과를 토대로 메타분석(Meta Analysis)을 실시하였다. 중앙

〈표 1〉 중앙분리대 설치효과 분석사례

연구	분석자료	효과도	비고
Donnell & Mason (2004)	펜실베니아 주간도로	-	중앙 분리대 관련사고 심각도별 원인분석
도로교통 안전관리 공단 (2004)	2002년 사고잦은곳 공사지점	-41%	설치 전·후 1년간 사고비교
김경석과 강승림 (2003)	'00~'01 사고잦은곳 개선사업 지점	총사고 -35.5% 주간사고 -31.3% 야간사고 -43.2% 인피사고 -36.2% 정면충돌 -53.5% 추돌 -34.9% 차량단독 -18.7%	-
Donnell et.al. (2002)	펜실베니아 주 중분대 설치지점	-	효율적인 중앙분리대폭 설정
Martin & Quincy (2001)	프랑스 고속도로	중앙분리대 연장증가에 따라 관련사고율 감소	
Taylor et.al (2001)	미시간주 도시부	-30%	중앙분리대 형식 전환 효과
Hunter et.al. (2001)	노스캐롤라이나 주 사고자료	총사고율 증가 정면 감소 심각도지수 감소 후미 증가	
이수범 · 박규영 (2000)	1997년 사고잦은곳 시행지점	사망사고 -48.2% 부상사고 -21.2%	
Bonneson & McCoy (1997)	Phoenix 시와 Omaha시 자료	TWLTL 형식과 연석처리가 사고를 감소시킴	
Elvik (1995)	1965~1993까지 효과도 분석 연구자료	〈신설〉 사고율 +29% (+25~+32) 사망사고-32% (-14~-46) 부상사고-2% (-7~+4)	〈교체〉 사고율 +37% (+31~+44) 사망사고+10% (-24~+61) 부상사고-26% (-21~-31)
Knuiman et.al. (1993)	일리노이주와 유타주 자료	폭증가에 따라 사고율 증가 차대차사고 감소 차량단독사고 증가	현황적 분석결과라 방향성만 해석
Highway Safety(1985)	Fatal: -85~-90% Injury: -5~-10%		
Safer Roads -고속교차로 (1996)	접근로, 회전충돌, 후미충돌 : -20~-30% 보행자 : -30~-40%		
KENTUCKY (1998)	사망 : -60% 부상 : -10%		

분리대에 대한 분석결과 새로 설치했을 때 사고율은 29%(+25%~+32%) 증가하고, 사망사고는 32% (-14%~-46%) 감소하며, 부상사고는 2%(+4%~7%) 감소하는 것으로 나타났다.

Knuiman 등(1993)은 일리노이주와 유타주의 HSIS (Highway Safety Information System)를 이용하여 중앙분리대폭과 사고율과의 관계를 로그선형모형(Log-Linear Model)을 이용하여 제시하였다. 방호울타리가 없는 경우 중앙분리대 폭이 증가할 수록 사고율은 감소하는 것으로 나타났다. 전체적으로 차량간의 사고는 감소하였으나, 차량단독사고는 증가하거나 변화가 없었다.

Highway Safety(1985)에서는 중앙분리대 설치가 fatal 사고는 85~90%, injury사고는 5~10%의 감소효과가 있다고 밝히고 있다.

Ogden의 Safer Roads(1996)에서는 여러 안전시설물의 효과분석에 대해서 제시되어 있는데, 고속교차로에 설치된 중앙분리대의 경우 4가지로 구분하여 감소효과를 제시하고 있다. 접근로, 회전충돌, 후미추돌의 경우 20~30%, 보행자사고의 경우 30~40%의 감소효과가 있다고 제시하고 있으며, KENTUCKY의 연구보고서에는 사망 60%, 부상 10%의 감소효과가 있다고 제시하고 있다.

국내·외 사고감소 효과분석 사례에서 알 수 있듯 사고감소에 대한 영향만을 제시함으로써 중앙분리대의 긍정적인 영향에 대해서만 제시되어 있을 뿐, 설치에 따라 증가하거나 감소하는 사고유형 및 심각도에 대한 언급은 전무하다. 또한, 특정 주(州) 또는 지역에 국한된 자료를 이용함으로써 대표성이 부족하거나, 그 지역 특성에만 국한된 결과를 도출하였다. 국내의 경우, 교통안전분야에서 사고분석 자료로 유의하다고 알려져 있는 시설물 설치 전·후 3년 자료가 아닌 당해 년도 또는 짧은 기간 동안의 자료를 이용함으로써 교통사고의 특성에 대한 고려가 미흡하다. 본 연구에서는 일반국도 4개 노선자료 및 중앙분리대 설치 전·후 7년의 자료를 이용함으로써 앞에서 언급한 문제점을 해결하고자 한다.

2. 사고감소 효과분석 방법

사전·사후비교를 통한 사고감소 효과분석 방법은 크게 단순사고건수 비교방법, 한쌍비교방법, 비교그룹방법, 경험적베이즈방법의 4가지로 구분할 수 있다 (Shen, 2003).

1) 단순 사고건수 비교방법(Simple Before-After Study Method)

단순 사고건수 비교방법은 개선사업 전과 후의 사고건수를 단순 비교하는 방법으로 식(1)과 같이 표현된다.

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

ARF :사고감소효과
N_a :개선 후 사고건수
N_b :개선 전 사고건수

이 방법은 계산방법과 이해가 용이하지만, 우연히 발생하는 사고건수를 비교할 가능성이 높아 대표성 확보가 어렵다. 또한 평균으로의 회귀(Regression to the Mean) 현상을 설명할 수 없다.

2) 한쌍비교방법(Before-After Study with Yoked Comparisons: YC)

한쌍비교방법은 개선된 지점과 개선되지 않은 지점의 일대일(One-to-One)비교를 통해 감소효과를 도출하는 방법이다. 비교할 지점은 유사한 도로·교통특성을 나타내는 지점을 선택해야한다.

이 방법의 장점으로는 개념이 단순하여 적용이 쉽고, 필요한 데이터가 분명하다는 것이다. 반면 하나의 비교지역에 의존하여 비교대상지역 선정 오류가능성이 높아 분석결과의 신뢰성 확보가 어렵고, 사고건수가 "0"인 값을 다룰 수 없다는 한계가 있다.

3) 비교그룹방법(Before-After Study with Comparison Group: CG)

비교그룹방법은 YC비교방법과 달리 여러 지점을 비교대상으로 선택하여 감소효과를 도출하는 방법이다. YC비교방법에서 한 지점을 선택함으로써 발생할 수 있는 오류는 보완할 수 있으나, 도로특성이 유사한 비교그룹을 선정하는데 어려움이 있어 실제 적용에는 많은 한계를 가지고 있다.

4) 경험적베이즈 방법(Empirical Bayes: EB)

경험적베이즈 방법은 앞선 한쌍비교방법, 비교그룹방법과는 달리 비교그룹의 사고건수 자료가 필요 없다. 대신 참조집단(Reference Group)을 대상으로 구축한

안전효율함수(Safety Performance Function: SPF)를 이용하여 기대사고건수를 추정하고, 이를 실제 개선된 지점의 관측사고건수와 비교하여 개선 효과도를 산정하는 방법이다. 모형구축이 복잡하고, 많은 자료가 필요하지만, 앞선 3가지 방법의 단점을 극복할 수 있는 방법이다.

Ⅲ. 효과분석 방법론 정립

1. 분석방법론 선정

앞 절에서 설명한 분석방법의 장·단점을 종합하면 〈표 2〉와 같다. 본 연구에서는 모형구축이 복잡하고 많은 자료가 필요하기는 하나, 다른방법의 한계를 극복할 수 있는 경험적베이즈(EB)방법을 채택한다.

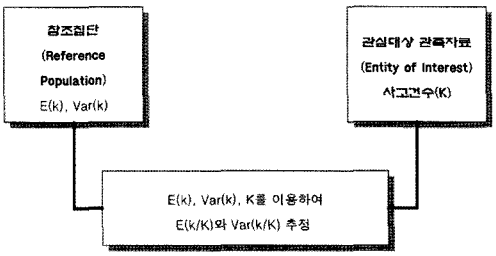
〈표 2〉 분석방법론 종합비교

구분	장점	단점
단순 사고 건수 비교 방법	· 계산과 이해가 용이	· 우연히 발생한 사고건수 비교 =〉대표성 확보어려움 · Regression to the mean bias 존재
한쌍 비교 방법	· 개념이 단순하여 적용이 쉬움 · 필요 데이터가 잘 알려져 있음	· 사고건수가 "0"인 지점을 다룰 수 없음 · 비교대상이 한지점에 의존 =〉오류 가능성 높음 · Regression to the mean bias 존재
비교 그룹 방법	· 한지점을 선택함으로써 발생할 수 있는 오류보완가능	· 유사한 특성을 가진 비교지점을 찾는 것이 현실적으로 어려움 · Regression to the mean bias 존재
Empirical Bayes Method	· Reference group에 의한 SPF 활용으로 비교대상사고건수의 대표성 높임 · 유사한 특성을 가진 비교지점을 찾을 필요 없음 · Regression to the mean bias문제없음	· 모형구축이 복잡 · 많은 자료가 필요

2. EB개념을 적용한 분석방법

1) 경험적베이즈 방법의 기본개념

경험적베이즈방법(Empirical Bayes Method: EB)의 기본개념은 어느 지점의 사전사고 건수를 참조집단의 사고예측모형(Safety Performance Function: SPF)을 관측사고건수와 가중평균하여 산정하고, 이를 개선사업이 이루어지고 난 후의 사고건수와 비교하여 효과도를 산정하는 것이다(Hauer, 1997).



자료 : Hauer(1997)

〈그림 1〉 경험적베이즈 방법의 기본개념

EB방법의 가장 큰 장점은 평균으로의 회귀편의(Regression to the Mean: RTM)를 제거하여, 보다 적합한 시설물(개선사업)의 효과도를 산출할 수 있다는 것이다. 평균으로의 회귀문제(Regression to the 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 윗 자료의 특성과 상관없이 평균으로 회귀한다는 것이다. 교통사고 자료에 대하여 이 법칙이 성립함을 Hauer 등이 증명하였다. 어떤 지점에서 과거 몇 년간 많은 교통사고가 발생하였다 하더라도 교통사고의 불확실성 때문에 그것이 일시적인 현상일 수 있고 장래에는 전혀 다른 교통사고 특성을 보일 수가 있다. 이러한 교통사고의 불확실성으로 인한 도로의 안전도 평가의 왜곡현상은 교통특성 및 도로의 구조가 비슷한 참조집단(Reference group)의 교통사고 현황을 이용하여 극복될 수 있는데 이때 사용되는 개념이 Bayes이론이다. Bayes방법은 사전분포(Prior distribution)의 불확실성을 사후분포(Posterior distribution)를 통하여 보정할 수 있다는 논리를 기반으로 하고 있다. Bayes방법은 어떤 특정지역의 교통사고 현황을 그 특정지점과 참조집단(Reference group)의 교통사고 기록과 결합하여 교통사고의 불확실성으로 인한 문제를 극복할 수 있고 확률적 해석이 가능하다는 측면 때문에 평균으로의 회귀문제를 해결 할 수 있는 방법이다.

2) 경험적베이즈 방법의 분석과정

우선 참조집단을 이용하여 SPF를 구축한다. SPF (Safety Performance Function)란 유사지역의 평균 사고빈도(E(k))를 나타내는 함수로 교통량 등 사고에 영향을 미치는 도로교통환경 특성을 설명변수로 하여 구축할 수 있다. 즉, 개선사업이 이루어지지 않았을 경우의 비슷한 지점(참조집단, Reference Group)의 기대사고건수 예측모형을 말하는 것으로 일반적으로 식(2)와 같이 반응변수(사고건수)와 설명변수(교통량, 기하구조 등)로 구성된다.

$$\text{Acc-Count} = f(\text{Volume, Radius, Grade....}) \quad (2)$$

추정된 모형은 적합도 검정을 하게 되는데, 우선 반응변수와 설명변수 사이의 관계(부호의 방향)의 적합성을 검토하였다.

- 사고건수와 교통량은 양(+)의 관계를 가짐
- 사고건수와 곡선반경은 음(-)의 관계를 가짐
- 사고건수와 |종단경사|는 양(+)의 관계를 가짐

반응변수와 설명변수의 관계의 적정성을 파악한 후, 추정된 계수에 대한 적합도 검정을 시행하였다.

계수값에 대한 검정은 귀무가설 'H_0: $\beta=0$'으로 설정한 후, x^2검정을 시행하였으며, p-value값이 작을수록 계수값이 잘 추정된 것이므로, p-value값이 작은 변수를 SPF에 이용하였다.

모형전체의 적합도 검정은 이탈도(Deviance)와 Pearson-x^2 검정을 시행하였다. 이탈도는 포화모형과 적합된 모형을 비교하는 우도비검정(LRT: Likelihood Ratio Test)이며, 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Deviance} = -2(\text{LM-LS}) \quad (3)$$

LM : 적합모형의 로그 우도함수의 최대값
LS : 포화모형의 로그 우도함수의 최대값

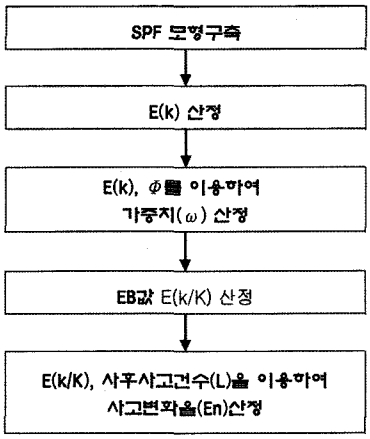
x^2은 관측값과 기대값을 비교하여 모형 적합도를 판단하는 것으로 식(4)와 같다.

$$\chi^2 = \sum \frac{(A_o - (\widehat{A}_e)^2)}{Y} \quad (4)$$

A_o : 관측사고건수
$\widehat{A}_e$: 기대사고건수

Deviance와 x^2은 자유도(Degree of Freedom)와 가까우면 유의한 모형으로 판단할 수 있다.[1)]

x^2과 자유도를 이용한 적합도 검정에서 귀무가설 'H_0 : 모형이 적합하다' 하에서 p-value가 커지면 커질수록 H_0를 채택하게 되므로 유의한 모형으로 판단할 수 있다.



자료 : Hauer(2002)에서 정리

〈그림 2〉 EB를 이용한 사고감소효과분석과정

사고모형은 일반적으로 포아송분포를 따른다고 가정하고, 포아송분포는 평균과 분산이 같다는 특성이 있다. 그런데 실제 사고자료를 분석하여 보면 분산과 평균이 다르게 나타나는 경우가 있는데, 이때 이 다른 정도를 과분산 계수(Overdispersion Parameter: Φ)라 한다. SPF를 이용하여 E(k)를 추정한 후, E(k), Φ를 이용하여 가중치를 산정한다.

$$\omega = \frac{1}{(1+\Phi \times E(k))} \quad (5)$$

E(k) : 평균사고건수
Φ : 과분산계수

가중치 산정 후, 기대사고건수(π=E(k/K))를 식(6)과 같이 추정한다.

1) SAS Manual, p1441

$$\pi = E(k/K) = wE(k) + (1-w)K \quad (6)$$

K : 실제사고건수

Odds비(Odds Ratio: θ)를 구하고, 사고감소율(En)을 산정한다.

$$\theta = \frac{\Sigma L_i}{\Sigma E(k/K)} \quad (7)$$

Li : 사후사고건수

$$E_n = 100(\theta - 1) \quad (8)$$

〈표 3〉 Empirical Bayes Method의 Data작성법

지점 번호	개선된 지점		기대 사고건수	사고감소효과	
	사전 사고건수	사후 사고건수		Odds Ratio	감소율
1	K_1	L_1	π_1	θ_1	E_1
2	K_2	L_2	π_2	θ_2	E_2
:	:	:	:	:	:
i	K_i	L_i	π_i	θ_i	E_i
:	:	:	:	:	:
n	K_n	L_n	π_n	θ_n	E_n

마지막으로, 산출된 효과도를 구간(Range)으로 표현하기 위하여 E값의 신뢰구간(95%)을 산정하였다. 즉, 사고변화율이 아래구간안에 있을 가능성이 95%라는 의미를 뜻한다.

$$(\bar{E} - 1.96\frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \bar{E} + 1.96\frac{\sigma}{\sqrt{n}}) \quad (9)$$

$\bar{E}$: 지점별 사고변화율의 평균값

σ : 지점별 사고변화율의 표준편차

n : 지점수

Ⅳ. 자료구축 및 검정

1. 분석자료의 수집 및 정리

현장조사를 통해 중앙분리대가 설치된 166개 지점을 추출하여 중앙분리대 설치이력, 도로선형 자료 및 사고자료를 사업전·후 7년간(1997~2003년)수집하였다. 수집된 자료의 개요는 〈표 4〉와 같다.수집된 자료는 지점별 사고자료 및 기하구조와의 매칭(Maching)을 통하여 본 연구에 적용하였다.

2. 자료의 독립성 검정

사고유형·심각도별로 중앙분리대 설치 전과 후의 사고변화율 산정에 적합한가를 검정하기 위해 사고건수 차이가 통계적으로 유의한지를 분석하였다.

우선 사고유형별 사고건수 변화에 대한 통계적 유의성을 분석하였다. 분석방법은 지점별로 중앙분리대 설치 전과 후의 사고건수차이비교를 위해 2)대응표본 t-검정(신뢰수준: 95%)을 실시하였다.

지점별 설치전과 후의 사고건수 차이변화가 유의한 사고유형에 대해서만 분석을 실시하였고, 심각도의 경우 유의한 사고유형에 대한 심각도별 건수를 분석하였다.

사고유형에 대하여 대응표본 t-검정을 실시한 결과 〈표 5〉와 같은 결과를 도출 할 수 있었다. 분석결과 평균차이의 95%신뢰구간은 후미(1.83~3.78), 정면(0.37~0.78), 측면(0.99~1.96)이며, 이는 0을 포함하고 있지 않으므로 중앙분리대 설치전과 후 동일 지점의 사고유형별 사고건수에 변화가 있다라고 할 수 있

〈표 4〉 분석 대상자료 개요

노선	연장(km)	ADT(2003)	사고건수 ('97~'03)	도로폭 (m)	곡선구간		종단경사구간	
					구간수	곡률분포	구간수	경사분포
1(전주-금구)	16.0	19,108	137	18.5	4	0~20.47(R=280)	19	0~±3.80
17(전주-남원)	43.3	22,080	1,129	17.5~19.8	29	0~22.93(R=250)	16	0~±5.21
22(정읍-흥덕)	16.1	10,381	201	18.5	7	0~11.46(R=500)	11	0~±3.93
26(전주-부귀)	33.2	16,849	276	18.5~20.0	15	0~28.66(R=200)	16	0~±4.96
합계	108.6	14,084.20	1,840	-	-	-	-	-

2) 대응표본 t-검정이란, 동일한 표본에서 두 변수의 개별 평균의 차이를 비교할 경우, 흔히 사전, 사후검사의 평균 차이를 검증할 때 사용하는 방법이다.

〈표 5〉 중앙분리대 설치전·후 독립성 분석결과

구 분		대응차 평균	표준 편차	차이의 95% 신뢰구간	
				하한	상한
사고 유형별	후미	2.808	5.386	1.835	3.782
	정면	0.575	1.128	0.371	0.779
	측면	1.475	2.701	0.987	1.963
	후진	0.050	0.314	-0.007	0.108
사고 심각도별	사망	0.072	0.464	0.031	0.114
	부상	0.598	1.440	0.469	0.727

다. 즉, 중앙분리대 설치로 인해 후미·정면·측면사고에 변화가 있음을 알 수 있게 해준다.

사고심각도별 검정에 이용되는 자료는 사고유형별 검정을 통해 통계적으로 유의하다고 할 수 있는 후미·정면·측면사고의 심각도별 사고건수를 이용하였다. 분석결과 평균차이의 95%신뢰구간은 사망(0.03~0.11), 부상(0.47~0.73)이며, 이는 0을 포함하고 있지 않으므로 중앙분리대 설치 전과 후 동일지점의 사고심각도별 사고건수에 변화가 있다 라고 할 수 있다.

중앙분리대 설치 전·후의 독립성 분석결과를 바탕으로 후미·정면·측면사고건수의 변화율과 그에 따른 사망·부상사고건수에 대한 분석을 하고자 한다.

V. 사고전환효과분석

중앙분리대 설치에 따른 사고전환효과는 앞장에서 통계적으로 유의하다고 검정된 후미·정면·측면사고 및 사망·부상사고에 대해서 분석하고자 한다.

1. 사고유형별 SPF 모형구축 및 검정

1) 사고유형별 SPF구축

SPF구축에 앞서 사고유형별 사고건수와 설명변수와의 상관분석을 실시하였다. 상관분석결과는 〈표 6〉과 같으며, 사고유형별 사고건수와 상관관계가 높게 나타난 변수를 이용하여 사고예측모형인 안전효율함수(SPF)를 구축하였다. 자료에 따라 직선구간과 곡선구간을 구분하거나 통합하여 제시하였으며, 정면충돌의 경우, 자료수가 적어 구간을 구분할 경우 신뢰성에 문제가 있다고 판단하여 통합하였다. 사고유형별로 추정된 SPF는 〈표 7〉과 같다.

추정된 SPF에 대한 검정은 Chi-square값과 df(자유도)에 의해 계산되는 P-value를 이용하였으며, 사고심각도별로 추정된 SPF모형은 P-value가 1에 가까운 값을 나타내므로 적합하다고 판단된다.

〈표 6〉 상관분석결과(사고유형별)

구 분		사고 건수	교통량	곡선반경	종단경사
후미추돌 (직선구간)	상관계수	1.000	.616	·	-.128
	유의확률 (양쪽)	·	.000	·	.168
후미추돌 (곡선구간)	상관계수	1.000	.726	-.615	-.110
	유의확률 (양쪽)	·	.000	.000	.396
정면충돌 (직선·곡선 구간)	상관계수	1.000	.759	-.632	.040
	유의확률 (양쪽)	·	.000	.000	.774
측면충돌 (직선구간)	상관계수	1.000	.506	·	-.082
	유의확률 (양쪽)	·	.000	·	.447
측면충돌 (곡선구간)	상관계수	1.000	.567	.007	.099
	유의확률 (양쪽)	·	.000	.964	.493

〈표 7〉 사고유형별 SPF추정

구 분		추정된 SPF
후미	직선	exp{-0.1848+0.0345×(Vol)}
		Chi-sq:116.42, df:55, p-값:0.99
	곡선	exp{0.0294+0.0346×(Vol)-0.0003×(Rad)}
		Chi-sq:59.59, df:73, p-값:0.87
정면	전체	exp{-0.2735+0.0357×(Vol)-0.0003×(Rad)}
		Chi-sq:20.02, df:54, p-값:0.99
측면	직선	exp{0.0054+0.0163×(Vol)}
		Chi-sq:35.33, df:90, p-값:0.99
	곡선	exp{-0.1110+0.0242×(Vol)}
		Chi-sq:20.91, df:54, p-값:0.99

자료 : Vol: 교통량(대/일), Rad: 곡선반경(m)

2) 사고유형별 SPF모형의 검정

사고유형별 추정치와 실제 사고 자료를 검정하는 방법으로 최소 제곱근오차(Root Mean Square Error: RMSE)를 이용하였다.

$$SE=\sqrt{\frac{1}{n}\Sigma[O_i-E_i]^2} \quad (10)$$

O_i : 관측치
E_i : 예측치
n : 관측 자료수

사고유형별로 구축한 SPF모형을 검정한 결과, 〈표

8)과 같이 후미사고 직선구간(0.232), 후미사고 곡선구간(0.347), 정면사고 전체구간(0.553), 측면사고 직선구간(0.309), 측면사고 곡선구간(0.433) 모두 양호한 추정력을 보였다.

〈표 8〉 각 사고유형별 최소 제곱근 오차

구 분		RMSE
후미	직선	0.232
	곡선	0.347
정면	전체	0.553
측면	직선	0.309
	곡선	0.433

2. 사고심각도별 SPF 모형구축 및 검정

1) 사고심각도별 SPF구축

〈표 9〉 상관분석결과(사고심각도별)

구 분		사고 건수	교통량	곡선반경	종단경사
사망사고 (직선구간)	상관계수	1.000	.550	·	-.112
	유의확률 (양쪽)	·	.001	·	.535
사망사고 (곡선구간)	상관계수	1.000	.730	.006	.110
	유의확률 (양쪽)	·	.000	.098	.609
부상사고 (직선구간)	상관계수	1.000	.424	·	.042
	유의확률 (양쪽)	·	.000	·	.572
부상사고 (곡선구간)	상관계수	1.000	.428	-.091	.107
	유의확률 (양쪽)	·	.000	.413	.338

〈표 10〉 사고심각도별 SPF추정

구 분		추정된 SPF
사망	직선	exp[-2.108+0.0111×(Vol)]
		Chi-sq:31.27, df:55, p-값:0.99
	곡선	exp[-3.1896+0.0692×(Vol)]
		Chi-sq:14.98, df:31, p-값:0.99
부상	직선	exp[0.6848+0.0127×(Vol)]
		Chi-sq:122.42, df:143, p-값:0.89
	곡선	exp[0.2248+0.0355×(Vol)]
		Chi-sq:182.71, df:196, p-값:0.74

사고심각도별 SPF구축과정은 앞선 사고유형별 SPF 구축과정과 동일하다.

사고유형별 SPF와 마찬가지로 p-value가 1에 가까운 값을 나타므로 적합하다고 판단된다.

2) 사고심각도별 SPF모형의 검정

RMSE로 사고심각도별로 구축한 SPF모형을 검정한 결과, 〈표 11〉과 같이 직선구간 사망사고(0.555), 곡선구간 사망사고(0.063), 직선구간 부상사고(0.566), 곡선구간 부상사고(0.665) 모두 양호한 추정력을 보였다.

〈표 11〉 각 사고심각도별 최소 제곱근 오차

구 분		RMSE
사망	직선	0.055
	곡선	0.063
부상	직선	0.566
	곡선	0.665

3. 사고전환효과분석

상관분석을 통해 추출된 변수를 가지고 각 사고유형별·심각도별로 SPF를 추정하였다. 이를 이용하여 사고전환효과를 산출하고자 한다.

1) 사고유형별 사고전환효과

우선 추정된 SPF를 이용하여 지점별로 기대사고건수를 추정한다. 후미추돌 곡선구간의 SPF는 식(11)과 같다.

$$Acc_Count = \exp[0.0294+0.0346\times(Vol)-0.0003\times(Rad)] \quad (11)$$

SPF에 의한 중앙분리대가 설치되지 않았을 경우의 기대사고 건수를 구하면 〈표 12〉와 같다.

〈표 12〉 후미추돌 곡선구간의 기대사고건수 추정(예시)

지점	사업전			μ	유형의 평균산정	가중치 (w)	기대사고건수 (π)
	건수	곡선 반경	교통량				
1	1.00	280	25,701	2.3755	2.37559	0.05681	1.0057
:	:	:	:	:	:	:	:
n	0.75	700	20,970	2.0007	2.00072	0.06674	0.7586

기대사고 건수와 중앙분리대가 설치되고 난 후의 사고건수를 이용하여 사고전환효과 값을 도출한다.

〈표 13〉 후미추돌 곡선구간의 사고전환효과(예시)

지점	개선된 지점		기대사고 건수	사고전환효과	
	사전사고 건수	사후사고 건수		Odds ratio(θ)	변화율(%)
1	1.00	0	1.00766	0.00	-100
:	:	:	:	:	:
n	0.75	2	0.76145	2.64	163.64

사고유형별로 사고전환효과를 분석한 결과, 후미추돌(직선구간), 정면충돌(전체구간)의 경우에는 사고가 감소하는 것으로 나타났다. 반면, 후미추돌(곡선구간), 측면충돌(전체구간)은 오히려 사고가 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 중앙분리대가 곡선구간에서 운전자의 시거를 제약하여 후미추돌사고가 증가한 것으로 판단되며, 또한 장애물로 인식되어 측면사고가 증가하는 것으로 판단된다.

〈표 14〉 사고유형별 사고전환효과

구 분		사고변화율 (%)	변화범위 (95%신뢰구간)
사고유형	도로유형		
후미	직선구간	-47.17	-55~-40
	곡선구간	12.24	-5~30
정면	전체구간	-68.00	-75~-60
측면	직선구간	6.46	0~15
	곡선구간	14.58	1~30

2) 사고심각도별 사고전환효과

사고심각도별로 사고전환효과를 분석한 결과, 사망사고는 감소하는 것으로 나타나 중앙분리대 설치효과가 사망사고에 효과적인 것으로 분석되었다. 반면, 부상사고는 증가하는 것으로 나타났다.

〈표 15〉 사고심각도별 사고전환효과

구 분		사고변화율 (%)	변화구간 (95%신뢰구간)
사고유형	도로유형		
사망	직선구간	-83.50	-90~-80
	곡선구간	-72.72	-85~-60
부상	직선구간	4.26	0~10
	곡선구간	17.32	10~25

3) 종합

중앙분리대 설치로 인한 사고유형과 사고심각도 전환효과를 분석한 결과, 사고유형에서는 정면충돌사고는 줄어드나 후미추돌 및 측면충돌 사고는 오히려 증가하는 것으로 나타났다. 사고심각도 측면에서는 사망사고는 감소하나 부상사고는 증가하는 것으로 분석되었다. 결론적으로 중앙분리대 설치로 인한 사고전환이 실제로 일어나는 것으로 분석되었다. 따라서 향후 중앙분리대 설치 시, 이를 반영한 설치기준이 제시되어야 할 것으로 판단된다.

〈표 16〉 사고유형·심각도별 사고증감 종합

사고유형별		증감	사고심각도별		증감
사고유형	도로유형		사고유형	도로유형	
후미	직선구간	감소	후미	직선구간	감소
	곡선구간	증가		곡선구간	감소
정면	전체구간	감소			
측면	직선구간	증가	측면	직선구간	증가
	곡선구간	증가		곡선구간	증가

Ⅵ. 결론 및 향후연구과제

본 연구에서는 일반국도에 설치된 중앙분리대의 사고전환효과를 산정하였다. 실제 현장조사를 통해 중앙분리대가 설치된 지점을 파악하였고, 설치이력 및 사고자료를 수집하였다. 사고자료의 경우, 교통안전분야에서 사고감소 효과 비교에 유의하다고 알려져있는 개선전·후 3년의 자료를 이용하여 실질적인 감소효과를 산출하였다. 사고자료는 통계적 검정을 실시하여 유의한 사고유형(후미·정면·측면)에 대해서만 경험적 베이즈(Empirical Bayes)방법을 사용하여 효과도를 산출하였다. 그 결과 중앙분리대 설치로 인해 일반적으로 알려져 있는 정면충돌 사고에는 사고감소효과가 있다는 것을 다시 한번 확인 할 수 있었다. 반면 정량적인 수치는 없이 단지 그럴 것이라는 추측만 있었던 곡선부에서의 후미추돌사고 그리고 측면사고는 증가한다는 것을 알 수 있었다. 또한, 사고심각도 측면에서 심각도가 높은 사망사고는 감소하지만, 심각도가 다소 낮은 부상사고는 증가한다는 것을 본 연구를 통해 밝혔다.

본 연구의 결과, 중앙분리대의 설치로 사고건수는 감소하지만, 사고 유형별 구성비(%)에서는 변화가 있는 것으로 나타났다. 이는 향후 중앙분리대 설치 시 고려하여야 할 사항(다른 안전시설물과의 조합 등)이라 판단된다. 즉, 곡선부 진입전에 설치되어 있는 중앙분리대는 높이를 낮추어서 전방의 시야확보를 가능하게 한다던지, 시선유도봉 및 안내표지판을 설치하는 방법 등이 제고되어야 할 것이다.

도로안전시설물이 운전자의 시선 및 집중력을 떨어뜨려 사고로 이어질 가능성이 높다는 사실에 입각해 시설물 설치 시, 그 수를 최소화 해야 한다는게 대다수 전문가들의 입장이다. 하지만, 현실적으로 이러한 조건을 적용시키기가 힘들기 때문에 사고감소에 효과가 있다고 연구된 시설물이 집중적으로 설치되고 있다. 한 지점에 많은 시설물이 설치되면 운전자의 안전운행에 악영향을 미치기도 하고, 예산이 필요 이상으로 낭비되는 현상을 초래한다. 이러한 현실을 고려 할 때 안전시

설물별 사고전환효과의 분석이 필요하며, 시설물들이 조합되었을 경우 사고에 미치는 영향에 관한 분석이 필요할 것이다. 이러한 연구가 이루어진다면 도로의 안전도 향상에 많은 도움이 될 것이며, 예산의 낭비도 줄일 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 건설교통부(2002), "교통사고 잦은 곳 개선사업 업무편람".
2. 김경석 · 강승림(2003), "중앙분리대의 사고감소효과 분석에 관한 연구", 대한교통학회지, 제19권 제5호, 대한교통학회, pp.45~60.
3. 도로교통안전관리공단(2004), 교통사고 잦은 곳 기본개선계획 및 효과분석.
4. 이수범 · 박규영(2000), "도로안전시설의 교통사고 감소효과 측정에 관한 연구", 대한토목학회 논문집 제20권 제2-D호, 대한토목학회, pp.139~147.
5. 박민호(2005), "중앙분리대 설치에 따른 사고전환효과분석", 서울시립대학교 대학원 교통공학과.
6. Donnell, E. T., J. M. Mason, Jr(2004), "Predicting the Severity of Median-Related Crashes in Pennsyvania by Using Logistic Regression", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1897, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.55~63.
7. Donnell, E., et. al.(2002), "Cross-median collisions on Pennsylvania interstates and expressways", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1784, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.91~99.
8. Elvik, R.(1997), "Evaluations of Road Accident Blackspot Treatment: A Case of the Iron Law of Evaluation Studies", Accident Analysis and Prevention, Vol.29, No.2, pp.191~199.
9. Elvik, R.(1994), "The safety value of guardrails and crash cushions: A meta-ana lysis of evidence from evaluation studies", Accid. Anal. and Prev. Vol.27 No.4, Elsvier Science Ltd., pp.523~549.
10. FHWA(1985), "Cost-Effectiveness Techniques for Highway Safety: Resource Allocation", FHWA-RD-84-011.
11. Fitzpatrick, M.S., K.L. Hancock, and M.H. Ray(1999), "Videolog Assessment of the Vehicle Collision Frequency with Concrete Median Barriers on an Urban Highway in Connecticut", TRB, National Research Council, Washing, D.C.
12. Forrest, M. Council and J.Richard Stewart (1998), "Safety Effects of the Conversion of Rural Two-Lane to Four-Lane Roadways Based on Cross-Sectional Models", TRB 78th Annual Meeting Jan. 10-14, 1999, Washing D.C.
13. Hauer, E.(1997), "Observation before-after Studies in Road Safety", Pergamon/Elsevier Science Inc., Tarytown, New Youk.
14. Hauer, E., et.al.(2002), "The Empirical Bayes Method for Estimating Safety: A Tutorial", TRR 1784, Washing D.C.
15. Hunter, W. W., et.al.(2001), "Three-Strand Cable Median Barrier in North Carolina: In-Service Evaluation", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1743, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.97~103.
16. Knuiman, M. W., et. al.(1993), "Association of Median Width and Highway Accident Rates", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1401, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.70~82.
17. Martin, J., Quincy, R.(2001), "Crossover crahes at median strips equipped with barriers on a French motorway network", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1758, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.6~12.

18. Ogden, K.W.(1996), "Safer Roads: A Guide to Road Safety Engineering", Cambridge, U.K.
19. Persaud(2004), "Crash Reduction Following Installation of Centerline Rumble Strips on Rural Two-lane Roads", Accident Analysis and Prevention 36 1073-1079.
20. Shen, J and Albert Gan(2003), "Development of Crash Reduction Factors Methods, Probl ems, and Research Needs", TRR 1840, Paper No. 03-4345.
21. Taylor, William C. Inkyu Lim, and Dale R. Lighthizer(2001), "Effect on Crashes After Construction of Directional Median Crossov ers", TRR 1758, Paper No. 01-3165.
22. Ulfarsson, G. F., Shankar, V. N.(2003), "Accident Count Model Based on Multiyear Cross-Sectional Roadway Data with Serial Correlation", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1840, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.193~197.

♧ 주 작 성 자 : 박민호
♧ 교 신 저 자 : 이수범
♧ 논문투고일 : 2006. 2. 20
♧ 논문심사일 : 2006. 3. 22 (1차)
2006. 4. 12 (2차)
♧ 심사판정일 : 2006. 4. 12
♧ 반론접수기한 : 2006. 8. 31