

# Empirical Bayes Method를 활용한 개선기술 가드레일에 대한 효과분석(고속도로를 대상으로)

## The Effect Analysis on the Guardrail Using Empirical Bayes Method

김다희\*\* · 손영태\*\* · 이상화\*\*\* · 김홍상\*\*\*\*

Kim, Da Hee · Son, Young Tae · Lee, Sang Hwa

### 1. 서론

최초로 국내에 자동차가 보급된 1903년 이후, 자동차 등록대수는 1980년대 후반부터 꾸준히 증가하였으며, 최근 2009년 통계자료에 따르면 자동차 등록대수가 17,330,000대로 나타났다. 연도별 자동차 등록대수는 다음 그림 1과 같으며, 그래프 추세로 보아 지속적으로 증가할 것으로 보인다.

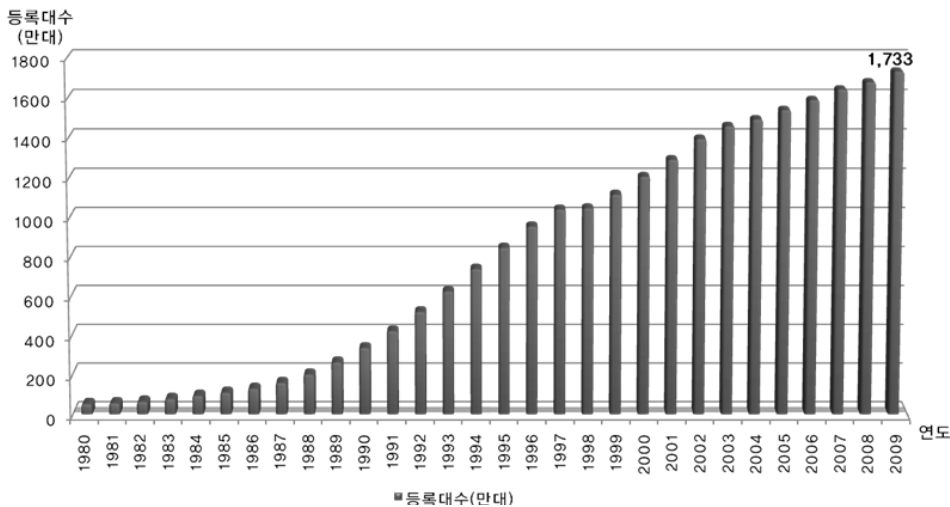


그림 1. 연도별 자동차 등록대수(1980년 ~ 2009년)

자동차 등록대수가 증가함에 따라 교통사고 또한 증가하였으며, 1990년대에는 교통사고가 심각한 사회문제로 대두되었다. 정부에서는 교통사고를 예방 및 줄이기 위하여 교통안전시설물 개선, 어린이보호구역 정비, 운전자 행태 개선 등의 사업 및 단속을 실시하였으며, 다음 그림 2에 따르면, 2000년 290,481건에서 2008년 215,822건으로 감소하였다가 최근 2009년에는 231,990건으로 증가하였다.

\* 명지대학교 교통공학과 석사과정(E-mail:maryco@naver.com)  
 \*\* 정회원·명지대학교 교통공학과 교수·공학박사(E-mail:son@mju.ac.kr)  
 \*\*\* 명지대학교 교통공학과 박사수료(E-mail:soboru2@hotmail.com)  
 \*\*\*\* 명지대학교 교통공학과 교수·공학박사(E-mail:hskim@mju.ac.kr)

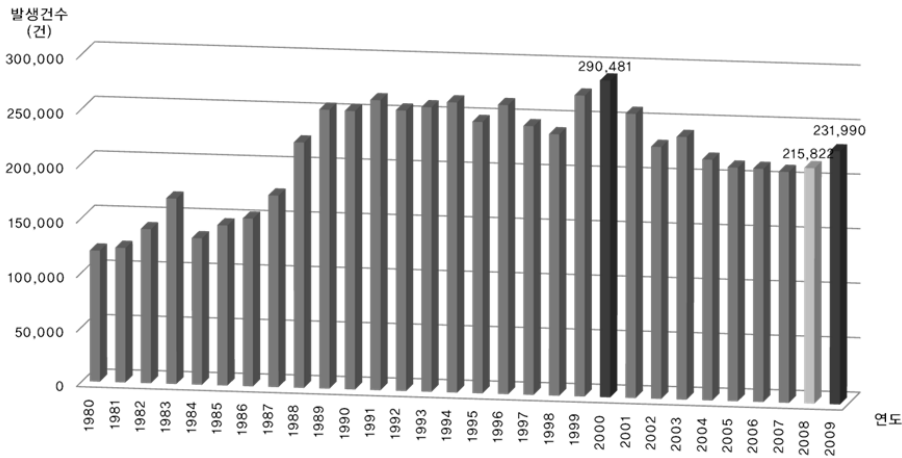


그림 2. 연도별 교통사고 발생건수(1980년~2009년)

영국 등의 교통 선진국의 경우, 사고원인을 운전자뿐만 아니라 도로 및 교통안전시설물 등으로 판단하고, 도로에 대한 안전진단을 실시한 후 문제점 및 원인을 파악한 후, 적합한 개선기술을 적용하여 추후의 교통사고를 예방하고자 노력하고 있으며, 개선기술 적용 후 사고 감소효과를 분석하고 있다.

국내에서는 해마다 ‘교통사고 잦은 곳 개선사업’을 국도를 대상으로 시행하고, 단순사고건수비교 및 B/C분석을 통한 개선기술 적용 효과평가를 실시하고 있으며, 고속도로의 경우, ‘운영단계 노선에 대한 도로교통안전진단 시행’이라는 과업명으로 각 노선별 또는 구간별로 수행되어 왔다.

그러나 고속도로의 경우, 안전진단 후에 조치사항으로 적용되는 개선기술에 대한 효과평가가 제대로 이루어지지 않고 있으며, 효과평가 시 단순사고건수비교를 활용하고 있다. 단순사고건수비교의 경우, 개선기술 적용에 따른 효과를 어떠한 원인으로 인하여 발생한 효과인지 명확히 분석할 수 없기 때문에 본 연구에서는 고속도로에 적용된 개선기술에 대하여 단순사고건수 비교뿐만 아니라 Empirical Bayes Method를 이용하여 개선기술 적용 효과를 분석하고자 하였다.

단, Empirical Bayes Method는 사고건수뿐만 아니라, 사고건수와 연관된 교통량, 도로조건, 기상조건 등의 자료가 있어야 하므로, 2003년 고속도로 안전진단 자료를 활용하여, 개선기술 ‘가드레일’에 대하여 효과평가를 수행하였으며, 개선기술 적용 전·후 2년간의 자료를 활용하였다.

## 2. 연구의 내용

### 2.1 단순사고건수 비교 방법

개선효과를 분석하고자 하는 지점의 사업 전과 후의 사고건수만을 단순 비교하는 방법으로 <식 1>과 같은 방법으로 계산된다.

$$ARF = \frac{(N_b - N_a)}{N_b} = 1 - \frac{N_a}{N_b} \quad \text{<식 1>}$$

여기서, ARF : 사고감소효과 (Accident Reduction Factor)

$N_a$  : 개선 후 사고건수

$N_b$  : 개선 전 사고건수

실제 적용시에는 사전·사후 교통량비로 보정하여 사용하며, 단순사고건수 비교방법은 계산과 이해가 용이한 반면, 우연히 발생할 수 있는 사고건수를 비교할 가능성이 높아 산출된 값에 대한 대표성 확보가 어려운 단점이 있다.

## 2.2 Empirical Bayes Method

교통사고는 고정된 값이 아니라 시시각각으로 변화하는 불확실성(Uncertainty)을 가지고 있으며 기상상황의 변화나 도로공사 등으로 교통사고가 갑자기 증가 혹은 감소하는 현상을 고려하지 않고 사고감소효과를 산정하게 되면 효과가 과대 혹은 과소 추정될 수 있다.

현재 국내에서 사용하고 있는 효과평가 기법은 개선기술 적용 전·후 1년 사고 자료를 활용하여 효과를 분석하므로 위와 같은 과오를 범할 수 있다.

그러나, 본 연구에서 제안한 Empirical Bayes Method는 기존의 효과평가 기법의 문제점을 최소화할 수 있는 방법으로 SPF를 활용하여 비교 대상사고건수의 대표성을 높이고, Regression to the mean을 해결/개선할 수 있는 장점을 가지고 있다. Empirical Bayes Method의 분석과정은 다음 그림 4와 같다.

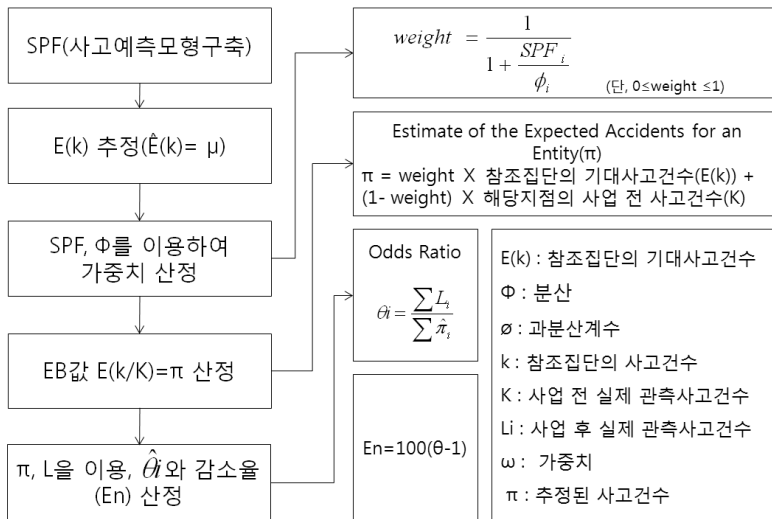


그림 4. Empirical Bayes Method 분석과정

## 3. 개선기술 ‘가드레일’의 개요

가드레일은 ‘도로안전시설 설치 및 관리 지침’에 따르면 개선기술 ‘방호울타리’에 포함되며, 방호울타리는 주행 중 진행방향을 잘못 잡은 차량이 길 밖, 대향차도 또는 보도 등으로 이탈하는 것을 방지하여 차량 탑승자 및 차량, 보행자 또는 도로변의 주요 시설을 안전하게 보호하기 위하여 설치하는 시설을 말한다.



그림 5. 개선기술 ‘가드레일’의 형태

주요 기능은 제어를 잃은 차량이 길 밖으로 이탈하는 것을 방지하는 것이며, 부가적으로 충돌한 차를 정상적인 진행 방향으로 복원, 충돌한 차에 타고 있는 탑승자의 안전 확보, 도로변 시설물 보호, 사고차량에 의한 2차



사고 예방 등의 기능을 한다.

#### 4. Empirical Bayes Method를 활용한 개선기술 ‘가드레일’ 적용 효과평가

##### 4.1 SPF(사고예측모형, Safety Performance Function) 개발

SPF 모형을 구축하기에 앞서 변수 선정 및 상관분석을 실시하였으며, K-S(Kolmogorov-Smirnov) 검증을 통하여 ‘사고자료는 포아송 분포다’라는 결론을 얻었다.

SPF 모형 구축을 위한 분석시 통계패키지인 Limdep 8.0을 이용하였으며, 모형 개발을 위해 사용된 변수로는 앞서 상관분석 결과 도출된 결과를 이용하여 최종적으로 선정된 변수들은 ln직선길이, ln교통량 등이었고, 이 변수들을 이용하여 과분산 검정을 한 결과 과분산계수(Alpha( $\phi$ )) 값이 0에 가까워 포아송 회귀모형이 적합한 것으로 나타났다. 추정된 모형의 종속변수와 독립변수 사이의 관계(부호의 방향)의 적합성을 검토하였다.

최종적으로 선정된 모형식은 다음과 같다.

$$SPF_i = \exp(-6.77249 + 0.655987X_1 + 0.0924806X_2) \quad \text{<식 2>}$$

여기서,  $SPF_i$  : i 지역의 SPF

$X_1$  : ln교통량

$X_2$  : ln직선길이

그러나, SPF로 도출된 결과값은 그대로 사용할 수 없으며, 이는 과분산 파라메타 때문이다. 즉, 지역별로 SPF를 결정하기 위해 주어진 기간 내에 발생한 교통사고건수의 근원적인 분포에 대한 가정이 필요하다.

지금까지는 사고건수가 포아송 분포를 따르는 것으로 가정되었으나, 포아송 분포를 이용하여 예측된 사고건수와 실제사고건수가 차이가 있고 사고에 있어서는 많은 경우 분산이 평균보다 크게 나타나는 과분산현상이 발생하는 것으로 선행연구에서 지적하고 있다.

최근 연구에서 사고건수의 분포는 음이항 분포가 더 적합한 것으로 조사되었는데 실제 사고건수와 근원적인 확률 분포가 일치하려면 과분산 파라메타를 적용해야 하며, 과분산 파라메타는 다음의 <식 3>을 이용하여 계산할 수 있다.

$$\phi_i = \Phi_i \times SPF_i^r \quad \text{<식 3>}$$

여기서,  $\phi_i$  : 과분산 파라메타

$SPF_i$  : i 지역의 SPF

$\Phi_i$  : 분산

위의 식에서 r값이 0이면 음이항 분포가 되고, r값이 0보다 크면 SPF 값이 증가할 때 감마분포의 변화량은 감소하게 된다. 여러 선행 연구에서 사전-사후 결과를 비교하기 위해 과분산 파라메타를 사용했고 보다 정확한 결과를 도출하였다.

베이저안 통계방법은 기존의 자료 정보를 현대의 자료 정보와 함께 이용하여 보다 참값에 가까운 근사해를 찾아내는 방법으로, 기존의 이력자료와 현재 자료의 적정한 비율(가중치)를 찾아 가중 평균한 값을 이용하였다. 이는 지점별 교통특성이 다르기 때문에 지점마다 과분산 파라메타와 유사지역의 평균교통사고건수를 이용하여 가중치를 산정하도록 한다.

가중치 값의 계산식은 다음 <식 4>와 같다.

$$\alpha_i = \frac{1}{1 + \frac{SPF_i}{\phi_i}} \quad \text{<식 4>}$$

여기서,  $\alpha_i$  : i 지역의 가중치

$SPF_i$  : i 지역과 유사한 지역의 평균교통사고건수

$\phi_i$  : i 지역의 과분산 파라메타

i 지역의 예상 사고 건수( $\pi$ )는 유사지역의 평균교통사고건수(SPFi)와 i 지역의 실제 사고건수( $\lambda_i$ )의 가중치에 의해서 산정되며, I 지역의 예상사고건수는 다음의 식을 이용하여 계산할 수 있다.

예상 사고 건수라 함은 개선기술이 적용되지 않았을 때의 사고건수를 의미하며, 다음 <식 5>와 같이 산정한다.

$$\pi = \alpha(\text{참조집단사고예측건수}) + (1-\alpha)(\text{분석지점과거이력사고건수}) \quad \text{<식 5>}$$

지점별 개선기술 적용 전/후의 효과분석은 SPF 모형을 이용하여 추정된 기대사고건수와 설치 실제사고건수의 비를 이용하여 사고감소 효과를 산정하였으며, 추정된 기대사고건수와 사업 후 실제사고건수와의 비(Odds Ratio)를 이용하여 사고감소효과( $\theta$ )를 구하며, 지점이 여러 개일 경우 평균값을 이용하여 산출하도록 하였다.

$$\hat{\theta}_i = \frac{\sum \hat{\lambda}_i}{\sum \hat{\pi}_i} = \frac{\hat{\lambda}}{\hat{\pi}} \quad \text{<식 6>}$$

여기서,  $\lambda_i$  : i 지역의 가중치

SPFi : i 지역과 유사한 지역의 평균교통사고건수

$\phi_i$  : i 지역의 과분산 파라메타

**표 5. 개선기술 적용 지점별 사고감소 효과**

구분	설치지점		가중치(w)	예상사고건수( $\pi$ )	사고감소효과	
	설치 전 사고건수	설치 후 사고건수			odds ratio( $\theta$ )	변화율(%)
1	3	8	0.89	3.79	2.11	110.87
2	3	2	0.00	2.00	1.00	0.00
3	3	4	0.00	4.00	1.00	0.00
4	3	4	0.67	2.47	1.62	61.71
5	7	2	0.00	2.00	1.00	0.00
6	2	2	0.00	2.00	1.00	0.00
7	3	2	0.00	2.00	1.00	0.00
8	4	3	0.33	2.53	1.18	18.45

가드레일의 경우 기존 연구 결과를 살펴보면 사고등급과 곡선부 내에서 존재하는 사고 감소에 영향이 있다고 분석되었으며, 본 연구에서 가드레일 설치로 인한 개선기술의 효과가 존재하는 곳은 직선부와 사고등급이 높은 구간이었다.

또한 가드레일의 경우, 안전진단 후 도출된 개선기술인 가드레일의 효과를 분석한 결과, 사고가 증가한 지점은 3개소, 변화가 없는 지점은 5개소로 나타났으며(위의 표 5에서 변화율 참조), 단순 사고건수 비교 방법으로 총 사고건수의 감소효과는 약 43%로 나타났으며, Empirical Bayes Method의 경우, 신뢰도 95% 수준에서의 사고감소효과는 최소 -13% 최대 93%의 범위 내인 것으로 분석되었다.

이는 Empirical Bayes Method의 경우 개선기술에 영향을 미치는 요소를 분석하여 그에 따른 사고감소효과를 산정함을 의미하며, 단순효과평가 결과 전체 사고 감소효과가 약 13%로 나타났으나, 이를 사고에 영향을 주는 요인인 평면선형, 사고등급 등으로 분류하면 사고 감소효과가 더 많은 것으로 나타났다.

## 5. 결 론

본 연구는 고속도로에 적용된 개선기술 ‘가드레일’에 대한 적용 효과평가를, 사고감소효과를 대상으로 평가하였으며, 국내에서 흔히 사용되고 있는 단순사고건수 비교뿐만 아니라, Empirical Bayes Method를 활용하여 평가하였다. 그 결과, 단순 사고건수 비교 방법으로 총 사고건수의 감소효과는 약 43%로 나타났으며, Empirical Bayes Method의 경우, 신뢰도 95% 수준에서의 사고감소효과는 최소 -13% 최대 93%의 범위 내



인 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 Empirical Bayes Method를 활용하기 위하여 한국도로공사의 안전진단 자료를 열람하였으나 안전진단 자료는 내부 자료로서 열람하기가 어려운 실정이었으며, 자료를 수집하여 개선기술 항목 분류시 담당 지사별 동일 개선기술 항목이라 하더라도 사용하는 명칭이 상이하어, 효과평가를 하기 위해 데이터 구축시 많은 어려움이 존재하였다.

따라서, 이를 해결하기 위해 사고와 관련된 많은 자료를 필요로 하는 Empirical Bayes Method를 이용하여 보다 정확한 효과평가를 수행하기 위해서는 자료 열람이 용이하도록 개선되어야 할 것이다. 또한, 실무자 교육을 실시하여, 안전진단시에 동일한 개선기술 명칭을 사용하도록 유도해야 할 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 도로교통 안전진단 및 관리를 위한 통합정보시스템 구축(05기반구축D02)의 지원으로 이루어졌습니다.

### 참고 문헌

1. 고속도로 교통안전진단 연구: 한국도로공사 도로교통기술원, 2002
2. 박규영, 서울시립대 박사학위논문, 2006,8, 도로안전시설물의 교통사고감소효과 평가 및 사고감소계수 추정 모형 구축
3. Empirical Bayes Method를 이용한 사고 잦은 지점 사전-사후 개선효과 분석에 관한 연구, 2006, 한양대학교 도시대학원 석사논문, 박영훈
4. 삼성교통안전문화연구소, 2004, 도로 안전시설물의 사고감소 효과도 분석
5. 임병인, 명지대학교, Empirical Bayes Method를 이용한 미끄럼방지 포장의 효과분석에 관한 연구
6. 임병인, 명지대학교, Empirical Bayes Method를 이용한 개선기술 효과분석에 관한 연구
7. 임병인, 명지대학교, 효율적인 안전진단을 위한 연속류와 단속류의 통합된 개선기술 항목에 관한 연구