

Bayesian 방법을 이용한 노면요철포장 설치에 따른 사고전환 효과분석

이수일* · 김태호** · 정국영***

An Analysis on the Effect of Installing Rumble Strips on Reduction in Accident Severity Using a Bayesian Method

Soo-Il Lee* · Tae-Ho Kim** · Kook-Young Jeong***

요약 : 본 연구는 갓길에 설치된 노면요철포장 설치에 따른 사전-사후 비교 분석에 관한 연구로서, 현재 국내 교통사고 개선효과 분석시 사용되고 있는 단순사고비교분석법의 문제점을 보완할 수 있는 방안을 모색하고 있으며, 현재 국내의 교통사고 개선효과 분석에서 고려하지 못하고 있는 교통사고의 자연적 변화추세 및 교통특성 변수 등을 고려하여 합리적으로 개선효과를 평가하고자 하였다. 본 연구의 분석은 사고심각도 모형을 기반으로 한 Empirical Bayesian 방법을 이용하여 기존 사고이력자료(Historical Accident Data)와 참조집단(Referencing Group)의 사고예측모형을 종합하는 방법으로 진행하였다. 연구결과, Empirical Bayesian을 이용한 사고심각도(EPDO) 모형식과 가중치가 개발되었으며, 현재 국내의 사고개선효과 분석시 사용되고 있는 단순 사고건수 비교법에 의하면 40~50% 정도의 개선효과를 보이는 것으로 분석된 것에 반해, Empirical Bayesian 방법으로 효과분석을 실시한 결과는 14~28%의 개선효과가 있는 것으로 나타났다. 이러한 개선효과의 차이는, 기존의 사전·사후 효과분석이 사고의 자연적인 시간변화 특성인 사고 증가 및 감소추세를 반영하지 못하기 때문인 것으로 보인다. 따라서 본 연구에서 제시하고 있는 베이지안 분석방법론은 과대 산정되는 효과분석 결과를 개선하기 위해서, 또 교통안전시설물과 관련된 교통사고 개선효과 분석시 널리 이용될 수 있으며, 보다 합리적인 효과측정도 가능하게 해줄 것이다.

주제어 : 노면요철포장, 근사적 베이지안 방법, 사고전환효과 분석, 사전-사후효과 분석

ABSTRACT : This study examined the limit of before-after comparison analysis of the effect of rumble strips installed on shoulders and presented the results of effect analysis by new Bayesian Method. The Bayesian Analysis Method developed formulas for forecasting the number of accidents by taking into account the changes in traffic conditions and trends of accident fluctuations that were not considered by existing methods and it estimates the number of post accidents by weight-averaging historical data of accidents on the above. The effects were measured at 20% lower than those of the existing effect analysis when Bayesian Method is used. It can be said that existing before-after effect analysis measured the effects somewhat excessively. This Bayesian method can be widely used with measuring the effect after installing traffic safety facilities and it will make it possible to analyze the effect more rationally.

Key Words : rumble strip, empirical Bayesian method, accident conversion effect analysis, before-after effect analysis

* 한국건설기술교통평가원 전문위원(Expert Adviser, Korea Institute of Construction & Transportation Technology Evaluation and Planning)

** 한국도로공사 도로교통연구원 박사후 연구원(Post Doctor Researcher, Expressway & Transportation Research Institute, Korea Highway Corporation), 교신저자(E-mail: traffix@hanmail.net, Tel: 031-371-3399)

*** 한국도로공사 차장(Assistant Chief, Korea Highway Corporation)

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

갓길에 설치된 노면요철포장(Shoulder Rumble Strip)은 무의식중에 도로에서 이탈하려는 차량의 운전자에 대한 일종의 경고 장치로서 탁월한 효과를 보이는 것으로 밝혀지고 있다.

도로를 이탈하여 차량이 전복되거나, 고정된 물체와 충돌하여 발생하는 소위 도로 이탈사고(RORC: Run-off-road crashes)로 인한 사망자수는 미국 전역에서 발생하는 총 교통사고 사망자의 약 1/3¹⁾에 이르며, 이러한 도로 이탈의 40~60%가 졸음운전, 운전자 부주의에서 기인하는 것으로 알려져 있다. 노면요철포장 설치는 이러한 이탈사고를 적게는 20%, 많게는 50%까지 감소시키고 있는 것으로 나타났다.²⁾

그러나 노면요철포장 설치에 따른 효과분석 연구는 국·내외에서 시작단계이며, 국내의 경우는 노면요철포장 설치 전과 후의 단순 사고건수를 바탕으로 산출하는 사고감소효과에 대한 연구만이 이루어지고 있는 실정이다. 하지만, 이는 단순히 설치 전후의 교통사고건수를 직접비교하는 방식이므로 사고의 실질적이고 순수한 효과를 파악하기에는 그 신뢰성이 떨어진다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 노면요철포장 설치의 시행효과

를 근사적 베이지안 방법(Empirical Bayesian Method)³⁾을 이용하여 보다 합리적인 시행효과를 분석하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 2006년 현재 노면요철포장이 설치되어 있는 고속도로 중 교통사고 자료를 바탕으로 효과분석이 가능한 15개 노선을 대상으로 노면요철 포장에 설치된 지점을 분석대상도로(Treatment Sites)로 선정하고, 그 외의 구간을 참조집단 대상도로(Referencing Sites)⁴⁾로 선정하였다.

시간적으로는 한국도로공사 통합정보시스템이 구축된 시점인 2006년을 기준으로 2002~2006년까지의 교통사고자료와 설치지점과 관련된 도면 자료를 조사하였다. 이때 분석기간 길이의 차이에 따른 조사오류 및 노면요철포장 설치공사(2004년)에 따른 영향을 감안하기 위하여 2003년을 노면요철포장 설치이전, 2005년을 설치이후 기간으로 한정하였다.

본 연구는 다음의 과정을 연구의 주요내용으로 포함하였다.

- 국내·외 노면요철포장의 개념 및 종류, 효

1) 미국의 통계자료에 의하면 지방도로 교통사고 사망자의 2/3가 도로이탈로 인한 교통사고로 사망한 것으로 집계되고 있음.

2) 박규영(2006) pp.32~35에서 도로안전시설물의 교통사고감소효과 사례 중 노면요철포장의 내용을 재인용함.

3) 이동민 외(2007)의 연구에서는 Shen과 Gan의 주장을 인용하여 다음과 같은 문제점을 제시하고 있음.

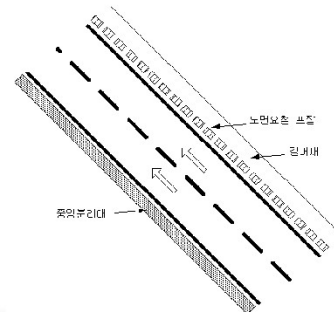
① 평균으로의 회귀(Regression to Mean): 수집된 자료선택의 오류로 인해 일시적인 교통사고의 변화를 전체교통사고의 변화로 잘못 해석할 수 있는 경우 발생하는 문제, ② 교통사고의 전이(Crash Migration): 분석대상도로의 교통사고변화가 인접도로의 영향 혹은 다른 교통안전사업의 시행으로 일어난 부가적인 효과에 의한 것일 경우 발생하게 되는 문제, ③ 교통사고 변화의 일반적인 추세(Maturation), 외부변화요인(External Causal Factors): 교통사고의 발생은 일반적인 추세에 따라 변할 수도 있고, 외부변화요인들(교통량 변화, 사회경제적 조건, 강우량 등)에 의해 교통사고 발생빈도가 변할 수도 있음.

이러한 단순사고건수법의 한계점을 보완하기 위해 일대일비교방법, 비교그룹방법, Bayesian방법 등이 이용되고 있다고 언급함.

4) Hauer(1997)는 참조집단 선정시 유의사항으로, 첫째, 과거의 사고발생특성이 개선지점과 유사해야 하고, 둘째, 사고 자료의 무작위변동(random fluctuation)을 최소화하기 위해 사고 자료가 충분해야 하고, 셋째, 분석대상기간동안 안전개선대안의 영향이 없을 것 등을 제시함.

과분석 사례고찰을 통하여 본 연구의 착안점을 도출하였다.

- 연구의 주요 착안점인 노면요철포장 설치 유·무에 관계없이 전반적인 교통사고 증감의 추세를 반영하기 위하여 고속도로의 교통사고, 교통량자료, 기하구조 및 시설물설치자료 등을 수집하였다.
- 수집된 자료를 바탕으로 노면요철포장 설치에 따른 효과분석 모형을 개발하며, 모형개발 및 효과분석 수행을 위해서는 단순사고건수비교방법과 Bayesian Method를 비교검토하여 적용하였다.
- 도출된 모형을 이용하여 사례연구를 실시하였으며, 연구결과를 기존 방법과 비교하여 시사점을 도출하였다.



〈그림 1〉 노면요철포장의 표준도

II. 노면요철포장관련 개념 및 선행연구고찰

1. 노면요철포장의 개념 및 종류

노면요철 포장⁵⁾은 잠재적인 위험을 지니고 있는 구간의 노면에 인위적인 요철을 만들어 차량이 통과할 때 타이어에서 발생하는 마찰음과 차체의 진동을 통해 운전자의 경각심을 높임으로써 차량이 안전하게 주행할 수 있도록 유도하는 시설이다. 졸음운전이 예상되거나 악천후 등으로 인한 시인성 저하가 우려되는 구간에 설치하며, 표준개념도는 〈그림 1〉과 같다.

노면요철 포장의 종류에 대해 도로설계편람(건설교통부, 2000)에서는 요철형, 물결형Ⅰ, 물결형Ⅱ, 골재노출의 4가지 종류를 제시하고 있으며, 미국 연방도로청(FHWA: Federal Highway Administration)의 노면 요철 포장 기술권고안(Technical Advisory)에서는 절삭형(Milled-in Type), 다짐형(Rolled-in Type), 틀형(Formed Type), 부착형(Raised Type)으로 노면 요철 포장의 종류를 분류하여 제시하고 있다. 이러한 다양한 종류 중 국내 및 국외에서 실제적으로 설치 운영되고 있는 것이 절삭형과 다짐형이다.

절삭형은 포장면을 지름 600mm의 회전드럼에 부착된 절삭장비로 깎아서 만드는 방식이다.

아스팔트, 시멘트콘크리트 포장 등 사용 재료에 관계없이 포장면이 견고하면 언제든지 설치할 수 있다. 절삭형은 가장 최근에 개발되었으며 설치방법이 용이하고 소음 및 진동 효과가 입증되어 미국 연방도로청(FHWA)에서 권장하는 방식이다.

다짐형은 아스팔트 포장에 사용되며 원형(또는 사각형)의 강봉을 길이 방향으로 잘라 부착한 롤러를 사용하여 고온의 아스팔트 표면을 다짐으로써 반원형 모양의 홈을 만드는 방식이며, 아스팔

5) 현재 「도로안전시설 설치 및 관리 지침」과 「도로설계편람」에는 노면요철 포장 또는 감속 유도시설 등의 용어가 혼용되어 사용되고 있으나 본 연구에서는 「도로안전 설치 및 관리지침」의 노면요철 포장(Rumble Strip)이라는 용어를 사용하기로 함.

트의 온도가 너무 높거나 낮을 경우 흙의 깊이 및 모양이 제대로 형성되지 않을 수가 있고 또한 불량 시공면 발생 시 보완시공이 곤란하므로 주의를 요한다.



철삭형(a) 다집형(b)

〈그림 2〉 노면요철포장의 종류별 그림

2. 노면요철포장 관련 국내·외 개선 효과 연구

국내의 노면요철포장에 대한 개선효과 분석 연구는 이동민 외(2007)의 연구를 제외하고는 현재 시작단계라 할 수 있다.

이동민 외(2007)는 서해안고속도로 일부구간에 설치된 길어깨-노면요철포장의 교통사고 개선 효과를 분석하기 위해 C-G(Comparison-Group: Hauer)방법을 적용하였다. 분석결과, 설치로 인해 사고건수가 2.43건 감소한 것으로 나타나 개선효과가 있음을 보여주었다. 다음으로 국외의 노면요철포장 관련 연구를 살펴보면, Harwood(1993)가 펜실베이니아 주의 폐도를 대상으로 다양한 크기의 노면요철포장 설치효과를 시험하였다. 〈표 1〉은 노면요철포장 설치 직후 약 18개월 동안의 사고 감소효과를 측정한 것으로 노면요철포장의 설치로 약 20% 이상의 차도이탈사고의 감소가 이루어졌고, 사막위의 고속도로와 같이 단조로운 주행 조건하에서는 50%까지 차도이탈 사고에 대한 감

소효과가 있는 것으로 나타났다.

〈표 1〉 노면요철포장 설치에 따른 도로 이탈사고 변화 비교 결과

구간길이 (mile)	설치(전) 사고수	설치(후) 사고수	교통량(AADT)		도로이탈사고비율 (사고100MVM)	
			설치(전)	설치(후)	설치(전)	설치(후)
3	21	8	29,500	30,056	26.0	6.9
4	16	1	27,360	34,913	13.0	1.5
10	20	2	18,376	17,164	9.7	2.6
5	2	5	28,913	26,597	13.5	8.2
6	12	1	15,79	16,103	11.6	2.4

주) MVM: Million-Vehicle-Mile

Griffith(1999)는 펜실베이니아 Turnpike의 노면요철포장 설치 후 연도별 도로 이탈사고건수를 분석하였으며, 노면요철포장으로 방지할 수 없는 사고(이상기후, 폭설과 같은 악천후 등)에 대해서는 노면요철포장이 도로이탈사고 방지에 도움을 주지 못하는 것으로 나타났다. 다음으로 노면요철포장에 의해 개선이 가능한 사고(줄음)는 노면요철포장의 설치비율이 증가함에 따라 도로이탈 사고가 57%감소(1990년 172건에서 1995년 74건)하는 것으로 나타났다으며, 자세한 내용은 〈표 2〉와 같다.

연도	1990	1991	1992	1993	1994	1995
항목						
노면요철포장에 의해 개선없는 사고	141	79	119	175	202	223
노면요철포장에 의해 개선되는 사고	172	172	161	125	68	74

〈표 2〉 노면요철포장 설치후 연도별 도로 이탈사고 추이

기타 미국의 노면요철포장에 의한 교통사고 감소현황에 대한 연구를 종합하면 〈표 3〉과 같다.⁶⁾

6) 이동민 외(2007)의 연구에서 Wyoming Effectiveness Report를 재구성함.

〈표 3〉 미국의 기타 노면요철포장관련 교통사고 감소현황

구분	도로유형	차도이탈사고 감소율(%)
Pennsylvania(1994)	지방부도로	70
New Jersey(1995)	고속도로	34
New York(1994)	지방부도로	72
Massachusetts(1997)	고속도로	42
Washington(1991)	지방부도로	18
California(1985)	고속도로	49
Kansas(1991)	고속도로	34

이와 같이 미국의 다양한 도로유형에 설치되어 있는 노면요철포장은 차로이탈사고의 발생률을 현저하게 감소시켜 교통사고 감소에 긍정적인 영향이 있다는 것을 알 수 있었다.

3. 도로안전 시설물관련 국내·외 효과분석 연구

국내에서는 다양한 도로안전시설물을 대상으로 효과분석연구가 이루어지고 있다. 그러나 노면요철포장에 대한 직접적인 연구는 미비하여, 노면요철포장과 가장 유사한 시설물인 미끄럼방지시설을 포함한 교통안전시설물의 개선효과에 대하여 살펴보았다.

건설교통부(1999)는 “국도 17호선 진주~남원 간 국도의 교통안전 개선방안 연구”에서 본 연구의 대상인 노면요철포장과 가장 유사한 미끄럼방지시설의 개선효과(사고감소율)를 분석하였다. 분석결과(〈표 4〉와 같은데, 미끄럼 방지시설이 42.11%의 감소효과를 보여 안전시설물 중 가장 높은 개선효과를 보이는 시설로 나타났다.

이수범·박규영(2000)은 1997년 사고 잦은 지점 개선사업 시행지점 272개 지점 자료를 단순사고건수법 및 외국자료를 종합적으로 평균하여 미끄럼방지포장의 사고감소효과를 제시하였다. 분

〈표 4〉 안전시설물 유형별 사고감소율 비교표

개선사업 유형			사고감소율(%)
교통 관리 관계 시설	표지판		16.5
	신호등	설치	47.44
		운영개선	25
	감시카메라	속도	28
		신호	25
교통 안전 시설	채도색		21.5
	가드레일		31.03
	표지병		14.18
	미끄럼방지시설		42.11
	시선유도시설		19.71
도로 구조 개선 (교차로)	가감속차로		29.5
	좌회전포켓		29.5
	버스정류장		39.45
	중앙분리대	사망	48.2
		부상	21.2

석결과, 42.1%의 사고감소효과가 있는 것으로 나타났다.

건설교통부(2002)의 “사고 잦은 곳 개선사업 업무편람 작성연구”에서 효과 분석한 결과를 요약하면 〈표 5〉와 같으며, 분석결과 미끄럼 방지 포장은 29.1%, 39.5%의 높은 사고감소율을 보이는 것을 알 수 있다.

〈표 5〉 사고 잦은 곳 개선사업 업무편람 작성연구 효과분석 사례 (단위:%)

개선대책	일반국도 / 지방도		광역시도 / 시·군도	
	단일로	교차로	단일로	교차로
표지병설치	48.1	29.9	23.0	24.2
시선유도봉설치	45.9	45.5	48.9	32.1
미끄럼 방지포장	39.5	-	29.1	-
중앙분리대 신설	50.0	25.0	-	-
교통안전표지신설	-	48.8	-	24.1
교통안전표지증설	-	53.8	-	23.1

도로교통안전관리공단(2005)은 2005년 사고잦

은 곳 공사 지점을 대상으로 단순사고건수법을 이용하여 미끄럼 방지포장 개선사업의 효과도를 분석하였다. 분석결과, 미끄럼방지포장 설치로 31.7% 사고감소 효과가 있는 것으로 나타났다.

국내의 도로안전시설물 효과분석 연구는 주로 단순사고비교 분석방법을 사용하고 있으며, 단지 전·후 1년의 사고건수 증감을 이용한 분석을 실시하였다는 한계점이 있다.

국외의 경우 국내 연구들과 차별화되게 단순한 전체사고 감소효과뿐만 아니라, 관련사고 유형별로 구분하여 사고에 미치는 영향을 분석하고 있는 추세이다.

4. 연구의 착안점 및 분석방법 비교

국내의 교통안전시설물 설치에 따른 효과분석 연구를 고찰해본 결과, 다음과 같은 한계점을 가지고 있는 것으로 나타났다. 첫째, 국내의 일부 연구를 제외하고는 교통안전시설물 설치 개선효과 분석시 사용되는 자료의 수집범위가 설치전과 후

의 각 1개년도 사고건수(사고율)만을 대상으로 하고 있어 이에 대한 보완이 필요하다.

둘째, 교통안전시설물 개선효과 분석시 단순사고비교분석법을 이용, 직접비교하여 사고증감율(%)을 분석하고 있어 분석방법적인 측면의 보완이 필요하다고 판단된다.

이러한 한계점을 보완하기 위해 교통안전시설물의 설치에 관계없이 교통사고의 자연적 변화를 고려할 수 있도록 전체사고 증감 추세, 교통 환경적 요인을 이용한 사고모형, 사고의 유동성을 극복하기 위한 2~3년 전후사고 자료를 취득하여 Empirical Bayesian방법(이하 Bayesian방법)을 적용한 노면요철포장 설치에 따른 사고감소효과를 산출하고자 한다.

앞서 언급하였던 연구의 한계점을 바탕으로 <그림 3>의 연구 착안점에 대한 개념도를 작성하였다.

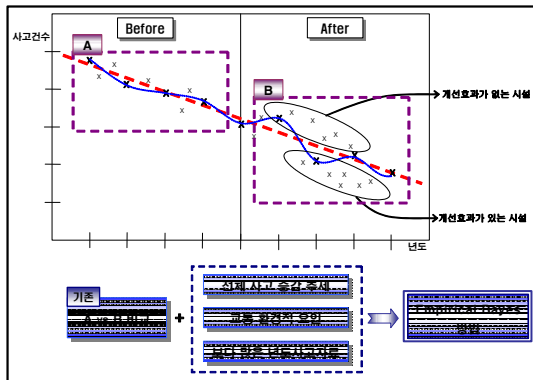
<표 6> Ogden(1996)의 효과분석 결과 종합표

구분	개선기법	사고유형	감소율(%)	개선기법	사고유형	감소율(%)
교차로 (고속)	회전금지된 중앙분리대	접 근 로	20~30	시선유도 안내표지	접근로	20~30
		대향차량 회전충돌			대향차량 회전충돌	
		유턴			평형차로, 회전	
		후미추돌			차로변경	
		평형차로회전			영구장애물	
일반구간 (저속)	시선유도	차선변경	15~25	속도제한 구역	보행자	15~30
		후미추돌			직선구간 이탈	10~25
		보행자			곡선구간 이탈	10~25
		영구장애물			조작불가(곡선)	10~25
		직선구간이탈		미끄럼 방지포장	후미추돌	40~60
		곡선구간이탈			곡선구간 이탈	10~20
		조작불가			조작불가	10~20

〈표 7〉 기타 국외의 효과분석 연구결과 종합표

(단위: %)

개선사업유형			LASEK	LOUICK	KENTUKY	FHWA
교통관리 관계시설	표지판		-	8	10	23
	신호등	설치	-	-	32	18
		운영개선	21	21	10	18
교통안전 시설	재도색		-	-	-	13
	가드레일		10	10	-	13
	표지병		-	-	2.5	-
	미끄럼방지		-	-	-	48
	시선유도시설		-	3	10	-
교차로도로 구조개선	가감속차로		25	-	5	23
	좌회전포켓		5	-	15	23
	버스정류장		-	-	-	-
	중앙분리대	사망	9	27	60	91
		부상	9	27	10	6



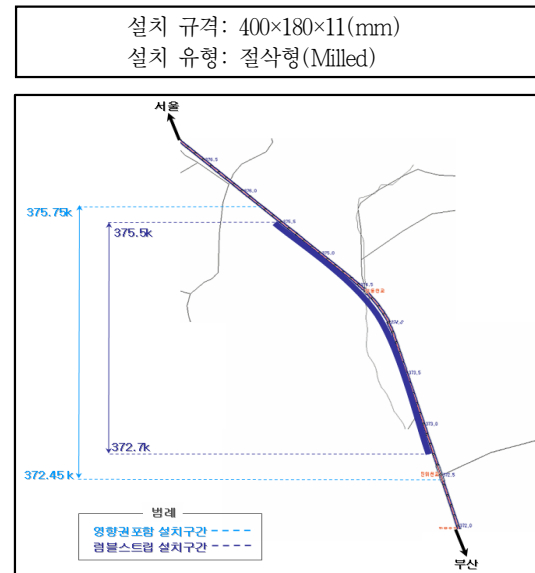
〈그림 3〉 연구의 착안점 개념도

III. 분석자료 개요 및 사고자료 분석

1. 사례연구지역의 노면요철포장 설치 현황

본 연구의 분석 자료를 수집한 대상지역⁷⁾의 기하구조 및 교통여건을 설치위치, 규격, 유형을 중

심으로 살펴보았으며, 설치지점에 대한 예시는 〈그림 4〉와 같다.



〈그림 4〉 노면요철포장 설치 예시도 (경부선 일부구간)

7) 대상 노선은 남해선, 경부선, 서울외곽순환선, 서해안선, 영동선, 88선, 제2경인선, 제2중부선, 구마선, 호남선, 익산포항선, 중부내륙선, 중부선, 중앙선, 평택충주선이며, 대상구간 중 노면요철포장이 이미 설치되어 있는 지점을 대상으로 하였으며, 그 외 지역을 참조집단(Referencing Group)으로 설정하였음.

2. 교통사고 자료의 수집 및 분석

1) 노면요철포장 설치 전/후 전체 교통사고 분석결과
분석대상구간 전체를 기준으로 노면요철포장 설치전과 후에 교통사고 발생건수를 비교해 보면, 설치후 2년 동안 200건이 감소한 것으로 나타나 약 32.3%의 개선효과가 있는 것으로 분석되었다. 자세한 내용은 <표 8>과 같다.

<표 8> 노면요철포장 설치 전/후 교통사고 발생건수 비교

구분	교통사고 발생(건/2년, %)			비고 (통계검증결과)	
	설치(전)	설치(후)	증감건수 (비율: %)	P	T
전체 구간	619	419	-200 (-32.3%)	0.0000	○

출처: 설계처-2959(2006.11.16)의 관련 자료 분석결과임.
주: 통계검증 T-검정, $\alpha=0.05$, N=377, 단측 결과임
(P: 확률, T: 수용여부).

2) 노면요철포장 설치 전/후 원인별 교통사고 비교
분석대상구간의 원인별, 사고등급별 노면요철 포장 설치전·후에 대한 교통사고건수를 단순 비교해 보면 <표 9>, <표 10>과 같다.

원인별 분석에서는 전체사고 중 졸음, 음주, 주시태만⁸⁾에 해당하는 유형으로 한정하여 분석하였다.

분석결과, 졸음이 58(33.5%)건 감소로 가장 높은 개선효과가 있는 것으로 나타났다.

사고등급별 분석결과를 살펴보면, 전체사고 등급 중 C급에 해당하는 유형이 176건(39.5%)감소로 가장 높은 개선효과가 있는 것으로 나타났다.

<표 9> 노면요철포장 설치 전/후 원인별 교통사고 발생건수 비교

구분	교통사고 발생(건/2년, %)				비고 (통계검증결과)	
	설치(전)	설치(후)	증감건수	증감비율(%)	P	T
전체	619	419	-200	-32.3	0.0000	○
졸음	173	115	-58	-33.5	0.0008	○
주시태만	74	42	-32	-43.2	0.0117	○
음주	7	3	-4	-57.1	0.1832	○

출처: 설계처-2959(2006.11.16)의 관련 자료 분석결과임
주: 통계검증 T-검정, $\alpha=0.05$, N=377, 단측 결과임
(P: 확률, T: 수용여부)

<표 10> 노면요철포장 설치 전/후 교통사고내용 비교

구분	교통사고 발생(건/2년, %)				비고 (통계검증결과)	
	설치(전)	설치(후)	증감건수	증감비율(%)	P	T
전체	619	419	-200	-32.3	0.0000	○
A급	8	2	-6	-75.0	0.0173	○
B급	68	44	-24	-35.3	0.0352	○
C급	446	270	-176	-39.5	0.0000	○

출처: 설계처-2959(2006.11.16)의 관련 자료 분석결과임
주: 1. 통계검증 T-검정, $\alpha=0.05$, N=377, 단측 결과임
(P: 확률, T: 수용여부)

2. 사고등급은 인피, 도로시설물 피해액, 관련차량 등 다양한 분류기준이 있음.
3. 인피기준 사고등급은 다음과 같이 분류함.
A급 사망3명, 사상 10명이상, 부상 20명 이상
B급 사망1명, 부상 5명 이상, C급 부상 1명 이상
해당하는 경우임.

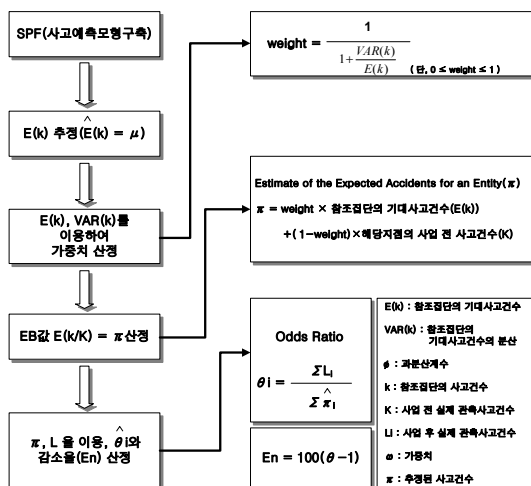
8) 미국 연방도로청(FHWA)은 40~60%의 차도이탈사고가 음주운전, 피로 및 주의산만에 의해 발생하며, 이러한 교통사고 유형은 노면요철포장 설치를 통해 효과적으로 감소시킬 수 있는 것으로 보고 있음. 또한 미국 와이오밍 주의 사례에서도 차도이탈사고를 15~70% 감소시키는 것으로 언급됨.

IV. 효과분석을 위한 Bayesian 모형개발 및 적용

1. 효과분석을 위한 Bayesian 모형개발방법 검토

Bayesian 방법을 이용하기 위해 다음 <그림 5>와 같은 흐름을 토대로 모형을 개발하였다.

Bayesian 방법의 기본개념은 어느 지점에 개선사업이 이루어지지 않았을 경우의 기대사고건수를 참조집단(Reference Group의 SPF)을 이용하여 산정하고 이를 개선사업이 이루어지고 난 후의 사고건수와 비교하여 효과도를 산정하는 것이다. Empirical Bayesian Method를 이용한 분석과정은 <그림 5>와 같다.



<그림 5> 사고감소효과를 위한 Bayesian 분석과정

다양한 모형 개발을 위해 상관분석, 다중회귀분석⁹⁾을 이용하였으며, 회귀 분석개발 예시는 다음과 같다.

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.824 ^a	.605	.082	.62663

a. Predictors: (Constant), 교통량, 곡선반경, 종단경사

Coefficients ^a					
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		Sig.
	B	Std. Error	Beta	t	
1 (Constant)	.243	2.009		.121	.904
곡선반경	-.757	.217	-.314	-3.487	.001
교통량	.047	.226	.018	1.207	.017

a. Dependent Variable: EPDO

개발된 모형 중 사고심각도(EPDO)를 이용한 모형이 통계적으로 유의하게 도출되어 효과분석에 적용하였다.

$$y = 8.708 - 0.219X_1 - 0.567X_2$$

여기서,

$$y: \text{EPDO}, X_1: \ln \text{곡선반경}, X_2: \ln \text{교통량}$$

다음은 졸음·주시태만과 관련된 사고심각도(EPDO) 모형 결과식이다.

$$y = 8.502 - 0.269X_1 - 0.532X_2$$

여기서,

$$y: \text{EPDO}, X_1: \ln \text{곡선반경}, X_2: \ln \text{교통량}$$

2. 가중치 산정 및 효과분석 모형종합

Bayesian 방법은 기존의 자료 정보를 현대의 자료 정보와 함께 이용하여 보다 참값에 가까운 근사 해를 찾아내는 방법이다. 여기서 기존의 이력자료와 현재 자료의 적절한 비율(가중치)을 찾

9) 회귀모형개발을 위해 교통량, 곡선반경, 곡선구간길이, 종단경사, 날씨, 노면상태, 운전자 성별 등을 중심으로 상관분석(Correlation Analysis)을 수행하였음. 상관분석 결과 종속변수와 상관성이 가장 유의한 독립변수들은 곡선반경(-0.426), 교통량(0.565), 곡선구간 길이(-0.341)로 선정되었으며, 단계별 변수투입방식(Stepwise Regression Analysis)을 이용한 회귀분석결과 교통량과, 곡선반경이 포함된 회귀분석 모형이 개발되어 본 연구의 효과분석 방법에 적용함. 단, 종속변수에 교통량 변수가 일부 포함되어 있으나 예측모형의 특성상 적합도를 높이기 위해 포함하였으며, 향후 연구과제를 언급할때 변수에 대한 부분을 한계점으로 지적하였음.

아 가장 평균한 값을 이용한다.

가중치 값의 계산식은 다음과 같으며, 전체사고와 죽음·주시태만에 대한 가중치를 산정하였다.

$$w = \frac{1}{\frac{\text{분산}}{1 + \frac{\text{평균}}{\text{평균}}}}$$

계산결과, 전체사고 가중치(w)는 0.44, 죽음·주시태만 가중치(w)는 0.60으로 산정되었다.¹⁰⁾

참조집단의 사고예측모형과 계산되어진 가중치를 이용하여 Bayesian모형을 구축하면 다음과 같다.

$$\pi = w(\text{참조집단사고예측건수}) + (1-w)(\text{분석지점과거이력사고건수})$$

다음은 전체 사고심각도(EPDO)에 대한 Bayesian모형을 표현한 수식이다.

$$\pi = 0.44(y = 8.708 - 0.219\ln X_1 - 0.567\ln X_2) + 0.56(\text{사고이력건수})_{(EPDO)}$$

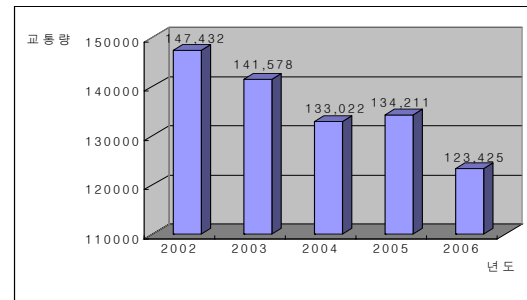
다음은 죽음·주시태만 사고심각도(EPDO)에 대한 Bayesian 모형을 표현한 수식이다.

$$\pi = 0.60(y = 8.502 - 0.269\ln X_1 - 0.532\ln X_2) + 0.40(\text{사고이력자료})_{(EPDO)}$$

앞서 언급하였던 15개 구간의 교통사고 관련 자료를 바탕으로 Bayesian 모형을 개발하였다. 본 연구의 실제 사례연구를 위해 분석구간은 경부선 이점 375.5~372.7k(구간길이 약: 2800m)로 한정

하였다.

사례연구 지역의 교통량을 분석한 결과는 <그림 6>과 같다.



<그림 6> 사례 분석구간 교통량 조사결과

또한, 노면요철포장의 설치 전후의 교통량으로 2002년~2003년 교통량 평균 144,505대와 2005년~2006년 교통량 평균 128,818대를 이용하였다.

노면요철포장의 사전·사후 사고건수와 사고심각도(EPDO)를 계산하였는데, 분석결과를 간략하게 정리하면 <표 11>과 같다.

<표 11> 사전·사후 사고건수 변화 비교분석표(사례연구 결과)

구분	사전사고		사후사고	
	전체사고	죽음사고	전체사고	죽음사고
사고건수	10건	6건	6건	3건
사고심각도	부상: 8건 물피: 2건	부상: 5건 물피: 1건	부상: 6건	부상: 3건
EPDO	0.493	0.322	0.404	0.213

$$EPDO = \frac{[12(\text{사망사고건수}) + 3(\text{부상사고건수}) + 1(\text{물피사고건수})] \times 10^6}{\text{일교통량} \times 365}$$

Bayesian방법을 이용하여 노면요철포장 사후 사고 EPDO를 계산하면 다음과 같다. 먼저, 전체 사고(EPDO)에 대한 효과분석 결과이다.

10) 전체사고의 경우 평균 0.342, 분산 0.428이며, 죽음·주시태만의 경우 평균 0.254, 분산 0.171임.

전체사고(EPDO)

$$= 8.708 - 0.219(\ln 1500) - 0.567(\ln 128818) = 0.439$$

$$\pi = 0.44(\text{유사지역 사고 EPDO})$$

$$+ 0.56(\text{기준 사고이력 EPDO})$$

$$= 0.44 (0.439) + 0.56 (0.493) = 0.469$$

$$\pi = 0.44(\text{유사지역 사고 EPDO})$$

$$+ 0.56(\text{기준 사고이력 EPDO})$$

$$= 0.44 (0.439) + 0.56 (0.493) = 0.469$$

다음으로 줄음사고(EPDO)에 대한 개선 효과 분석 결과이다.

줄음사고(EPDO)

$$= 8.502 - 0.269(\ln 1500) - 0.532(\ln 128818) = 0.279$$

$$\pi = 0.60 (\text{유사지역 사고 EPDO})$$

$$+ 0.56(\text{기준 사고이력 EPDO})$$

$$= 0.60 (0.279) + 0.40 (0.322) = 0.296$$

기존의 사전·사후 효과분석을 단순사고건수법으로 수행할 경우 40~50%에 해당하는 개선효과가 나타나는 것을 알 수 있으며, 세부적인 사항은 <표 12>와 같다.

하지만, Bayesian 방법을 이용해 개선효과를 분석해 보면, 14%~28%로 기존의 단순사고건수 비교법의 결과 18~34%보다 다소 낮게 추정된 것을 알 수 있다. 이러한 차이의 원인은 사전·사후 효과분석에서는 교통량의 변화와 전반적인 사고율 감소부분을 반영하지 못하기 때문에 대부분 효과가 과대하게 분석되고 있기 때문이다.

<표 12> 기존연구의 효과분석 결과비교표 :
단순사고비교법(건수)

구분	사전 사고건수 (A)	사후 사고건수 (B)	기존 효과분석 ($\frac{A-B}{A}$)
전체사고	10	6	40%
줄음사고	6	3	50%

<표 13> 본 연구의 효과분석 적용결과 :
Bayesian 방법(사고심각도)

구분	사전사고 EPDO (A)	사후사고 EPDO (B)	Bayesian 방법의 사후사고 EPDO (C)	기존 효과분석 ($\frac{A-B}{A}$)	본 연구 효과분석 ($\frac{C-B}{C}$)
전체 사고	0.493	0.404	0.469	18%	14%
줄음 사고	0.322	0.213	0.296	34%	28%

V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 고속도로의 갓길에 설치된 노면요철 포장 설치의 사전 사후 교통사고 비교 분석 시 현재 고려하지 못하여 과다 혹은 과소 추정될 수 있는 효과를 전체사고 증감추세 및 교통특성 변수 등을 고려하여 합리적으로 평가하고자 하였다.

분석방법론으로는 사고심각도(EPDO)를 기반으로 한 Bayesian 모형을 이용하였으며, 다음과 같은 연구결과를 도출하였다.

첫째, 현재 개선효과 평가시 사용되고 있는 단순사고건수비교법을 적용할 경우 사례지역의 사고건수 감소수준이 40~50%로 나타나 다소 과대 추정되고 있는 것을 알 수 있었다.

둘째, 본 연구에서 개발한 모형은 사고심각도 모형이므로, 사고심각도로 환산한 결과 값을 바탕으로 단순비교법과 Bayesian 방법을 비교분석 하였는데, 단순사고건수비교법이 약 4~6%정도 과

대 추정되고 있는 것을 알 수 있었다.

이러한 결과의 차이를 살펴보면, 기존의 사전·사후 효과분석은 사고의 자연적인 시간변화 특성인 사고 증가 및 감소추세를 반영하지 못한다는 것을 알 수 있다.

셋째, 본 연구에서 제안한 Bayesian 방법을 이용한 간편 모형식을 제시하자면 다음과 같다.

사후추정사고건수

$$= w(\text{같은노선의 평균사고건수}) \\ + (1 - w)(\text{기존의 사고이력건수})$$

따라서 본 연구에서 제시하고 있는 Bayesian 분석방법론을 이용하여 과대 산정되는 효과분석 결과를 개선할 수 있으며, 이러한 방법은 교통안전시설물 개선효과 분석시 널리 이용될 수 있을 것이라 판단된다. 위의 간편식의 결과와 사후사고건수를 비교하여 효과분석을 실시하면 예측 모형식을 만들지 않고도 쉽게 효과분석이 가능할 것이다.

본 연구에서는 시간적, 공간적 한계로 다루지 못하였지만 향후에 다음과 같은 연구가 필요하다고 본다.

첫째, 사고건수에 대한 예측모형의 개발을 바탕으로 보다 이해하기 쉬운 효과분석 모형 도출이 필요하다.

둘째, 사고건수 및 심각도 예측 모형식에 교통정책 및 추가적인 변수를 고려하여 국가정책과 다양한 교통사고 변화요인에 따른 사고증감 요인을 고려할 필요가 있다고 판단된다.

참고문헌

- 건설교통부, 1999, 「국도 17호선 전주~남원간 국도의 교통안전 개선방안 연구」.
- 건설교통부, 2000, 「도로설계편람」.
- 건설교통부, 2005, 「도로안전시설 설치 및 관리지침-노면요철포장」.
- 건설교통부, 2002, 「사고 잦은 곳 개선사업 업무편람」.
- 도로교통안전관리공단, 2005, 「2005년 교통사고 잦은 곳 기본개선계획 및 효과분석」.
- 박규영, 2006, “도로안전시설물의 교통사고감소효과 평가 및 사고감소계수 추정모형 구축”, 서울시립대학교 박사학위논문.
- 백중호, 1999, “노면요철포장의 설치 및 효과”, 「월간교통」, 5월, 한국교통연구원.
- 이동민·강재홍·성낙문·정봉조, 2007, “C-G Method를 이용한 고속도로 노면요철 포장의 교통사고감소 효과분석”, 「한국도로학회논문집」, 제9권 2호.
- 이수범·박규영, 2000, “도로안전시설의 교통사고 감소효과 측정에 관한 연구”, 「대한토목학회논문집」, 제25권 제1D호.
- Bhagwant, N. Persaud, Richard A. Retting, and Craig A. Lyon, “Crash reduction following installation of centerline rumble strips on rural two-lane roads”, *Accident Analysis and Prevention* 36, 1073~1079.
- FHWA, 1985 “Cost-Effectiveness Techniques for Highway Safety : Resource Allocation”, Report No. FHWA/RD-84/011 Final Report June.
- Griffith, M. S., 1999, *Safety Evaluation of Continuous Shoulder Rumble Strips Installed on Freeway*, Transportation Research Record 1665, National Research Council.
- Harwood, D. W., 1993, *Use of Rumble Strips to Enhance Safety : A Synthesis of Highway Practice*, National Cooperative Highway Research Program Synthesis 191 Transportation Research Board, National Research Council.
- Hauer, E., 1997, “Observational Before-After Studies in road safety”, Pergamon/Elsevier Science Inc., Tarytown.

- Newyork.
- Ogden, K. W., 1996, "Safer Roads : A Guide to Road Safety Engineering" http://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/rumble/states/state__wyom.htm
- Shen, Joan and Albert Gan, "Development of Crash Reduction Factors Methods, Problems, and Research Needs", TRR1840, Paper No. 03-4345.
- 원 고 접 수 일 : 2008년 8월 21일
1차심사완료일 : 2008년 10월 8일
최종원고채택일 : 2008년 10월 13일

