

# 판별분석을 활용한 노면요철포장의 교통사고감소 효과분석

박제진<sup>†</sup> · 서임기 · 강동윤<sup>\*</sup> · 이재훈

한국도로공사 도로교통연구원 · \*한국지능형교통체계협회 컨설팅실  
(2014. 12. 8. 접수 / 2015. 2. 25. 수정 / 2016. 2. 4. 채택)

## A Safety Evaluation of Shoulder Rumble Strips on Expressway using Discriminant Analysis

Je Jin Park<sup>†</sup> · Im ki Seo · Dong Yun Kang<sup>\*</sup> · Jae Hoon Lee

Research Institute, Korea Expressway Corporation

<sup>\*</sup>Project Consulting Dept., ITS Korea

(Received December 8, 2014 / Revised February 25, 2015 / Accepted February 4, 2016)

**Abstract :** In general, the crash reduction effect of the rumble strip is reported to be about 30% in Korea, while it is about 40-60% in the United States. However, the effect is erroneously overestimated because the simple comparison was only made before and after the installation. Accordingly, this study will reassess the crash reduction effect of the rumble strip. The study will also examine the former's geometric characteristics as well as its effect on the causes of the crash. This study analyzed the crash effect while taking into consideration the changes in the horizontal and vertical alignment, including the width of pavement shoulders, using the crash data for two years before and after the installation of the rumble strip. The types of crash caused by the rumble strip were identified using the classification discriminant function. The crash effect on the rumble strip is estimated to be 28.3%, but the pure effect, with the exception of the effect by other elements, was analyzed to be 7.4%. For each expressway design element, the downhill section (2.0-3.0%), the section with less than 3,000 m and more than 10,000 m of the curve radius, and the section with less than 3.0 m of the pavement shoulder width were found to be effective in crash reduction. For each cause of crash, the rumble strip was analyzed to be effective in the reduction of crash caused by "not keeping the safe distance", "sleeping", "negligence in keeping eyes forward", and "excessive handle operation". In particular, the rumble strip was analyzed and seen to be especially effective in preventing crash caused by "not keeping a safe distance," and "sleeping". The installation of the rumble strip was found to be effective in the prevention of crash caused by "not keeping the safe distance" and "sleeping". The results of this study may thus be used in deciding the causes of crash and the installation location of the tailored rumble strip that would be suitable for the geometric characteristics of the roads. This study will also be helpful in the establishment of future traffic safety measures.

**Key Words :** traffic safety, rumble strip, crash cause factor, crash reduction effect, discriminant analysis

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

고속도로는 일반 도로와 달리 도로선형이 비교적 우수한 고규격 도로로서 차량의 주행속도가 높아 교통사고 발생 시 사고심각도가 크게 나타난다. 고속도로의 교통사고는 대부분 운전자 부주의에 의해 약 80% 이상이 발생되고 있으며, 운전자 과실로는 주시태만, 졸음, 피로, 과속 등의 요인이 이에 해당된다. 운전자 부주의에 의한 교통사고를 감소시키기 위해 횡방향 그루

빙, 교통안전표지, 과속카메라, 노면요철포장 등 다양한 교통안전시설을 고속도로 상에 설치하여 교통사고를 저감하고자 지속적으로 노력하고 있는 실정이다. 그 중 노면요철포장(Shoulder Rumble Strips)<sup>1)</sup>은 길어깨 포장부분에 일정한 간격으로 홈을 뚫으로써 본선 주행 차량이 갓길 방향으로 차로를 이탈할 경우 운전자에게 소음 및 진동을 전달하여 주의를 환기시키고, 이를 통해 가드레일과 충돌하는 기회를 최소화하여 교통사고를 감소시키는 기능을 가지고 있다. 노면요철포장은 최초로 미국에서 1955년 New Jersey's Garden State

<sup>†</sup> Corresponding Author : Je Jin Park, Tel : +82-31-371-3315, E-mail : jjpark@ex.co.kr

Research Institute, Korea Expressway Corporation, 208-96, Dongbu-daero 922beon-gil, Dongtan-myeon, Hwaseong-si, Gyeonggi-do 18489, Korea

Parkway에 40 km 구간에 시공하였으며, 그 이후부터 각 州에서 다양한 설치형태로 시공되었다. 1980년대 중반부터 노면요철포장에 대한 설치효과 평가 및 관련 시방기준을 수립하는 등 운전자 부주의 및 졸음사고를 예방하기 위해 설치하고 있는 추세이다. 국내 고속도로의 경우, 2000년도에 제2중부고속도로 일부구간(5 km)에 노면요철포장의 시범 적용을 통해 처음으로 시공되었다. 시범 시공된 일부구간을 대상으로 2003년에 노면요철포장에 대한 사고감소효과 및 운전자의 각성 효과 등을 평가하였으며, 그 이후 고속도로 상에 점차적으로 확대 적용하여 2011년 12월 기준 923 km 구간에 설치 운영되고 있다. 국내외에서 노면요철포장이 교통사고를 저감하는데 큰 효과가 있다고 제시되었지만, 기하구조 특성 및 교통사고의 원인 등 미시적 관점에서의 효과평가를 위한 연구가 필요한 실정이다. 즉, 노면요철포장은 다양한 평면, 종단, 길어깨 폭 등의 기하구조 조건과 이에 따른 사고원인 등이 달리 발생되고 있는 관점에서의 사고특성을 규명하고자 한다.

이에 본 연구에서는 국내 고속도로 35개 노선 상에 설치되어 운영 중인 노면요철포장에 대해서 효과평가를 수행하였다. 효과평가는 설치년도를 기준으로 전·후 2년 간의 교통사고자료를 비교하는 사전/사후 비교 분석(Hauer)<sup>2)</sup> 방법을 활용하였다. 고속도로 기하구조 조건 및 사고원인이 교통사고 감소에 유효한 조건을 지니고 있는지를 통계적 검정을 통해 분석하였다. 그리고 노면요철포장 설치로 인한 교통사고 발생에 어느 정도의 영향을 미치는지와 어떤 요인이 더 직접적인지를 규명하기 위해 정준판별분석을 수행하였다. 그리고 노면요철포장의 설치 전과 후의 교통사고의 특성 변화를 명확하게 파악할 수 있는 분류판별함수를 분석하였다. 본 연구는 향후 고속도로의 기하구조 특성 및 사고원인에 따른 설치위치를 결정하고, 교통안전대책을 수립하는데 활용이 가능할 것으로 판단된다.

### 1.2 연구의 내용 및 방법

노면요철포장은 주행차량이 차로이탈 시 소음과 진동을 운전자에게 전달하여 주의를 각성시키는 방안으로 고속도로 길어깨 부분에 일정한 간격과 홈을 두어 설치하는 교통안전시설물이다. 노면요철포장 설치로 인한 교통사고는 미국의 경우 40~60%, 한국은 30% 이상의 교통사고 감소효과가 있는 것으로 보고되고 있다. 하지만, 이는 운전자의 의식변화, 교통정책, 제반 교통안전시설물 설치 등의 감소율을 고려하지 않고 노면요철포장 설치 전·후 분석을 수행함으로써 과대추정에 의한 오류가 발생된 것으로 판단된다. 따라서 본

연구에서는 노면요철포장의 교통사고 감소효과를 재수립하고, 기하구조 특성 및 교통사고 원인에 따른 감소효과를 체계적으로 수립하고자 한다. 이를 위한 연구의 방법은 다음과 같다.

첫째, 노면요철포장이 설치된 연도를 기준으로 전·후 2개 년도의 교통사고 자료를 활용하여 공용 중인 고속도로의 사고감소율을 산출하고, 노면요철포장이 설치된 구간의 사고감소율을 산출하여 순수한 노면요철포장의 교통사고 감소효과를 제시하였다.

둘째, 운전자의 시거 및 차량의 가감속 등으로 인해 속도 차이를 유발하는 종단 및 평면선형을 세밀하게 구분하여 노면요철포장 설치로 인한 교통사고 저감 효과를 분석하였다.

셋째, 노면요철포장은 주행차량이 차로를 이탈하여 가드레일과 충돌하는 교통사고를 저감하기 위한 시설물로 횡방향 정지거리를 결정하는 길어깨 폭의 변화에 따른 교통사고 감소효과를 분석하였다.

넷째, 노면요철포장 설치로 인해 교통사고를 감소시킬 수 있는 주요 사고요인이 무엇인지를 파악하여 노면요철포장의 설치효과를 제시하였다.

다섯째, 노면요철포장을 설치하기 전과 후에 교통사고가 발생하는 원인이 어떻게 변화하였는지를 파악하기 위해 판별분석을 수행하였다. 즉, 노면요철포장의 설치 전에 발생한 교통사고 원인 중에서 설치 후에 어떠한 교통사고 원인이 감소하였는지를 분류판별함수를 이용하여 규명하였다. 이를 통해 노면요철포장의 설치효과를 객관적으로 평가함과 더불어 고속도로의 기하구조 특성에 적합한 노면요철포장 설치위치를 결정하는데 활용이 가능한 것으로 판단된다.

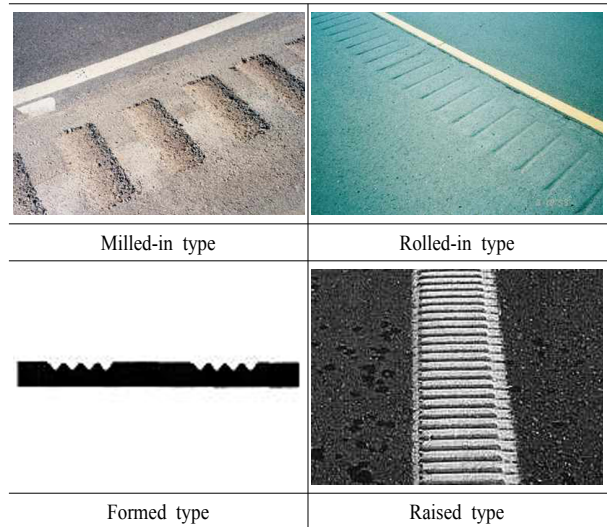


Fig. 1. Installation of rumble strip type.

### 1.3 노면요철포장 현황

노면요철포장은 도로의 길어깨 포장에 차량 진행방향과 직각으로 홈을 파거나 볼록하게 부착하여 노면에 요철을 생성하는 교통안전시설이다. 이는 졸음 및 과대핸들 조작과 같은 운전자 부주의로 인한 차로를 이탈할 경우 요철에 의한 소음 및 진동을 차량에 전달하여 운전자의 주의를 각성시킴으로써 차량이 원래 차로로 복귀하도록 유도하는 기능을 가지고 있다. 노면요철포장의 종류는 Fig. 1과 같이 절삭형(Milled in type), 다짐형(Rolled-in type), 틀형(Formed type), 부착형(Raised type) 4가지 종류로 구분하고 있으며, 국내 고속도로에는 대부분 절삭형으로 설치되어 있다.

고속도로의 차로이탈 사고를 저감시키기 위해 2000년 12월에 노면요철포장을 제2중부고속도로 하남~호법(5 km) 구간에 시험 적용한 이후로 2003년부터 꾸준히 설치하고 있다. 고속도로 상에 설치된 노면요철포장은 2011년 12월 기준 총 연장은 923.632 km, 설치구간은 1,232개 구간에 설치 운영 중에 있으며, 노선별

설치현황은 Table 1과 같다.

## 2. 국내외 노면요철포장 기준

### 2.1 국내 노면요철포장 기준

도로의 안전시설은 교통사고를 방지하기 위하여 필요하다고 인정되는 경우에 미끄럼방지시설, 긴급제동시설, 노면요철포장 등을 설치하여 도로교통의 안전하고 원활한 소통을 확보하고, 도로의 미비한 구조 상태를 보완하여 도로이용자의 안전을 도모하는데 설치하는 시설물로 규정하고 있다. 이 중 노면요철포장은 도로의 종류와 차로 수 등에 관계없이 연속적인 주행으로 운전자의 주의저하가 예상되는 구간에 설치하여 차선의 이탈 방지를 예방한다. 노면요철포장과 관련한 설치기준 및 지침은 국토해양부 “도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설, 2009”과 한국도로공사 “도로설계요령, 2009”의 설계기준을 적용하고 있다. 그리고 노면요철 포장 설치하는 가능한 바깥차선에서 가깝게 설치

Table 1. Installation of rumble strip

Route name	Direction	Extension (number of section)	Route name	Direction	Extension (number of section)
Gyeongbu	Busan	44,359 m(39)	Ulsan	Eonyang	800 m( 2)
	Seoul	43,267 m(52)		Ulsan	600 m( 1)
Nam hae feeder	Sanin	2,600 m( 2)	Jung bunaeryuk	Masan	13,244 m(23)
	Cheongwon	600 m( 1)		Yang pyeong	28,071 m(33)
Nam hae	Pusan	4,750 m( 9)	Jungbu	Tong yeong	13,866 m(17)
	Suncheon	6,970 m(12)		Ha nam	23,697 m(20)
Dae nam	Sannae	670 m( 4)	Jungang	Busan	34,260 m(61)
	Seodaejeon	800 m( 4)		Chun cheon	29,459 m(47)
Donghae	Donghae	9,020 m(11)	Tongyeong-dae jeon	Dae jeon	24,610 m(44)
	Sok cho	9,075 m(11)		Tongyeong	38,495 m(51)
Seoul ring	Ilsan	3,650 m( 3)	Pyeongtaek-jecheon	Je cheon	20,628 m(37)
	Pan gyo	6,740 m( 6)		Pyeongtaek	19,004 m(38)
Seo haean	Mokpok	56,155 m(74)	Honam	Sun cheon	24,200 m( 9)
	Seoul	65,003 m(96)		Non san	800 m( 1)
Yeongdong	Gang neung	27,580 m(35)	Honam feeder	Cheonan	3,700 m( 4)
	In cheon	28,380 m(33)		Non san	2,700 m( 3)
Dangjin-daejeon	Dang jin	43,075 m(45)	Gochang-damyang	Go chang	1,820 m( 6)
	Dae jeon	46,855 m(46)		Dam yang	1,510 m( 6)
Jung bunaeryuk feeder	Daegu	974 m( 3)	Kwangju-muan	Kwagju	26,673 m(52)
	Hyeonpung	4,430 m( 7)		Muan	35,205 m(67)
Dang jin-yeongdeok	Dangfin	6,528 m(16)	Seocheon-gongju	Goju	20,562 m(42)
	Daejeon	5,648 m(15)		Seo cheon	19,537 m(47)
Sun cheon-wanju	Sun cheon	14,659 m(24)	Iksan-jangsu	Iksan	25,800 m( 8)
	Wanju	14,380 m(24)		Jang su	22,300 m(10)
Dangjin-sangju	Sangju	13,300 m(27)	Daegu-pohang	Daegu	32,623 m( 4)

**Table 2.** Rumble strip guideline(Korea) (unit : cm)

Division	Milled-in type				Rolled-in type			
	L	W	D	I	L	W	D	I
Ministry of land, infrastructure and transport(2011. 7)	40	18	1.3	12	40	5	2.5	15
Korea expressway corporation (concrete pavement)	40	18	1.3	12	25	10	1.0	10
Korea expressway corporation (asphalt pavement)	30	18	1.3	12	40	5	1.5	25

※ L:length, W:width, D:depth, I:interval

하도록 규정하고 있다. 하지만 도로의 포장은 도로단면과 길어깨부의 포장단면이 단절되어 절삭형으로 설치할 경우 포장의 깨짐 및 균열 등으로 포장파손의 원인이 된다. 따라서 한국도로공사에서는 콘크리트포장의 재포장 및 신설도로 포장 시에만 전압형의 설치방법으로 바깥차선에서 20 cm 이격시켜 설치하고 있다. 노면요철포장의 설치기준은 4가지 방법 중에서 2가지의 설치기준만을 제시하고 있으며, Table 2에 제시하고 있다. 국토해양부의 설치기준은 포장재질에 따른 분류를 제시하지 않고 있지만, 한국도로공사는 콘크리트와 아스팔트포장에 따른 길이 및 넓이 등을 상세하게 제시하고 있다.

**2.2 국외 노면요철포장 기준**

국외의 노면요철포장의 설치기준은 4가지의 설치형태 중 가장 널리 사용되고 있는 절삭형과 전압형 2가지에 대한 기준을 수립하고 있다. 특히, 미국 버지니아 DOT는 노면요철포장 설치로 인한 교통사고를 저감하고자 도로의 재포장이 될 때까지 기다려야 하는 다짐형과 달리 언제든지 설치가 가능한 절삭형 설치를 권고하고 있다. 미국의 노면요철포장의 설치기준은 주마다 설치기준을 수립하여 시공하고 있으며, 설치위치는 외곽차선에서 0 cm(콜로라도, 텍사스), 45 cm(펜실베이니아, 캘리포니아)로 이격시켜 설치하고 있다. 스웨덴은 다른 국가와 달리 노면요철포장의 단면이 깊고, 길이가 길며, 설치간격이 긴 특징을 보이고 있으며, 핀란드는 단면의 길이 및 폭이 좁은 설치기준을 적용하고 있다. 일본은 노면요철포장의 폭 및 간격을 조밀하게 설치하고 있으며, 설치구간의 길어깨 폭이 1.2 m 이상인 도로에 설치하는 것을 권장하고 있다. 국외의 노면요철포장의 설치기준을 검토한 결과 국가 및 지역 특성에 적합한 설계기준을 수립하여 설치·운영하고 있는 것으로 나타났다.

**Table 3.** Rumble strip guideline(Foreign) (unit : cm)

Division	Milled-in type				Rolled-in type				
	L	W	D	I	L	W	D	I	
U S A	California	30	12.7	0.8	30	30	12.7	0.8	30
	New York	40	18	1.2	30	30	4.0	1.2~1.9	20~30
	Kentucky	40	18	1.3	30	60	3.8	1.9	22.8
	Texas	40	18	1.3	30	60	5.0	2.5	20~23
	Colorado	30	18	1.0	30	30	6	1.3	10
Sweden	50	30	2.0	53	-	-	-	-	
Finland	17.5	2	1.5	30	-	-	-	-	
Japan	35	8	0.9	23					

**2.3 기존문헌 고찰**

노면요철포장과 관련한 연구는 교통사고 감소효과, 운전자 각성효과에 관한 연구들이 주로 이루어지고 있으며, 이와 관련하여 국내·외 연구내용은 다음과 같다. 국내에서는 한국도로공사에서 시험시공 구간을 설치주행실험을 통해 운전자의 각성효과를 분석한 결과, 미설치구간보다 약 80~100% 각성효과가 있는 것으로 제시하였다.

이동민은 서행안 고속도로 일부구간을 연구범위로 선정하여 C-G Method을 이용한 노면요철포장이 설치된 구간의 차로이탈사고가 설치하지 않은 구간에 비해 2.43건 감소하며, 사고감소율은 38.0%의 효과가 있는 것으로 분석되었다<sup>3)</sup>.

오홍운은 노면요철포장이 2005년도 이전에 설치된 282 km를 대상으로 기상상태, 지역적 분류, 사고원인 별로 단수비교 사전/사후 분석 방법을 이용하였으며, 교통사고 감소효과는 32.3%임을 제시하였다<sup>4)</sup>.

이수일은 Empirical Bayesian 방법을 적용한 노면요철포장 설치에 따른 교통사고 감소효과를 분석한 결과, 전체사고는 14%, 졸음사고는 28% 교통사고 감소효과가 있는 것으로 분석되었다<sup>5)</sup>.

오홍운은 고속도로에 노면요철포장이 설치된 14개 구간을 선정하여 선형조건에 따른 교통사고 감소효과를 분석한 결과, 하향경사구간에서 64%, 하향경사구간 후 상향경사구간에서 66.7%의 교통사고 감소효과가 우수하다고 제시하였다<sup>6)</sup>.

그리고 외국의 경우, 노면요철포장을 최초로 도입한 미국에서 연구가 활발하게 진행되었다. 미국 FHWA의 조사결과에 따르면, 음주, 졸음, 운전자 부주의에 의한 차로이탈사고가 전체사고의 40~60%가 발생한 것으로 보고되고 있다<sup>7)</sup>. 이러한 유형의 교통사고를 저감시키기 위해 Neal Wood는 펜실베이니아주의 폐도를 대상으로 다양한 구간 길이 및 형태별로 분류 설치하여 현재

와 같은 형태의 노면요철포장을 개발하였다. 노면요철포장 설치 전과 후의 1개월 교통사고자료를 활용하여 교통사고 감소효과를 분석하였으며, 약 70%의 교통사고 감소효과가 있음을 제시하였다<sup>8)</sup>. 또한, Harwood는 펜실베이니아주의 교통사고 원인에 따른 교통사고 감소효과를 분석하였으며, 노면요철포장은 운전자의 부주의에 의한 차로이탈 사고는 감소시킬 수 있지만, 과속과 핸들과대조작에 의한 사고에는 영향을 주지 않는다고 보고하였다<sup>9)</sup>.

New York DOT에서는 노면요철포장의 설치 전과 후의 교통사고 건수 및 사고심각도를 분석한 결과, 사고건수는 70% 이상, 부상자는 68% 이상, 사망자는 76% 이상 높은 교통사고 감소효과가 있다고 보고하고 있다<sup>10)</sup>.

Griffith는 캘리포니아의 고속도로와 지방부 도로 구간에서의 교통사고 감소효과를 분석하였으며, 고속도로는 18.3%, 지방부 도로는 21.1%의 효과가 있는 것으로 제시하였다<sup>11)</sup>.

Cheng은 미국 유타 고속도로에서는 노면요철포장으로 인한 교통사고 감소효과는 33.4%로 보고하고 있다<sup>12)</sup>.

이상의 연구결과를 살펴본 결과, 노면요철포장으로 인한 운전자 부주의 및 졸음 등과 같은 운전자 과실에 의한 교통사고 감소효과가 우수한 것으로 제시되고 있다. 국외에서는 1980년대부터 노면요철포장에 대한 연구가 진행되었으나, 국내의 경우 노면요철포장이 2000년도에 처음으로 고속도로 상에 설치되어 일정구간의 표본을 대상으로 교통사고 감소효과를 수행하는 등 많은 연구가 이루어지고 있지 않은 실정이다. 또한, 노면

요철포장 설치로 인한 전체사고를 이용한 교통사고 감소효과를 제시함으로써 다른 교통안전시설 및 운영정책 등의 영향요인을 고려하지 못한 결과라고 판단된다. 그리고 도로 기하구조 및 사고원인별 교통사고 감소효과를 제시하고 있지만, 설치 전과 후의 교통사고에 미치는 영향 정도를 규명하는데 한계가 존재하는 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 노면요철포장만의 순수 교통사고 감소효과를 제시하였으며, 노면요철포장 설치 전과 후의 교통사고 특성을 판별하기 위한 판별분석을 실시하였다. 이는 노면요철포장 설치 전과 후의 교통사고 발생 형태를 비교함으로써 교통사고 감소원인을 파악할 수 있다는 점에서 기존 연구와의 차별성을 지니고 있다고 볼 수 있다.

### 3. 노면요철포장 설치효과 분석

#### 3.1 분석 개요

고속도로 노면요철포장 설치에 따른 교통사고 감소효과 분석을 위해 설치 전·후 2개 년도의 교통사고 속보자료(2001~2010년)를 활용하였다. 그리고 노면요철포장이 고속도로 개통년도와 같은 구간, 고속도로 개통 후 2년 이내에 설치된 구간, 2009년 이후에 설치된 구간은 설치 전·후 2개년도의 사고자료가 존재하지 않음으로 인해 분석대상 범위에서 제외하였다. 따라서 본 연구의 효과분석에 적합한 구간은 Table 4와 같이 총 368개 구간, 269.151 km가 선정되었으며, 이를 대상으로 노면요철포장에 대한 사전/사후 분석을 수행하였다.

Table 4. Analysis section of rumble strip

Route name	Direction	Extension(km)	Number of section	Route name	Direction	Extension(km)	Number of section
Gyong bu	Busan	7,200	10	Jungbu naeryuk	Masan	7,400	5
	Seoul	10,170	14		Yang pyeong	9,900	9
Namhae feeder	Sanin	2,600	2	Jungbu naeryuk feeder	Daegu	410	2
	Cheongwon	600	1		Hyeon pung	1,830	5
Namhae	Busan	4,750	9	Jungbu	Tong yeong	24,366	25
	Sun cheon	4,370	8		Hanam	12,500	17
Dong hae	Dong hae	730	5	Jungang	Busan	15,480	28
	Sokcho	785	5		Chun cheon	13,860	29
Seoul ring	Ilsan	3,650	3	Pyeong taek-jecheon	Jecheon	400	1
	Pangyo	6,740	6		Pyeon taek	1,400	6
Seo haean	Mok pok	45,820	56	Honam	Sun cheon	17,650	9
	Seoul	35,830	55		Cheonan	400	1
Yeong dong	Gang Neung	15,220	28	Honam feeder	Nonsan	1,200	1
	Incheon	19,550	25		Cheonan	1,200	1
Ulsan	Eonyang	200	1	Daegu-pohang	Daegu	2,940	1

### 3.2 고속도로 교통사고 통계적 분석

#### 3.2.1 고속도로 교통사고 증감을 분석

고속도로의 교통사고를 저감시키기 위해 한국도로공사에서는 노면요철포장, 선형개량, 과속단속 등 다양한 교통운영 및 정책 등을 도입하고 있다. 이에 운전자의 운전의식 수준의 변화로 인해 자연적인 감소 등을 고려한 노면요철포장의 효과 정도를 파악하는 것이 필요하다. 따라서 노면요철포장 설치년도를 기준으로 공용 중인 전체 고속도로의 교통사고의 증감률을 비교·분석하고자 한다. 공용 중인 고속도로의 총 교통사고를 노면요철포장 효과분석과 동일하게 자료를 구성하여 증감률을 산출하였다. 즉, 노면요철포장을 2003년도에 설치하였다고 가정하면, 前년도(2001년, 2002년) 2개 년도, 後년도(2004년, 2005년) 2개 년도의 고속도로 총 교통사고를 통합하여 Table 5와 같이 증감률을 산출하였다.

각 기준년도의 전·후 2개 년도를 분석한 결과, 고속도로 교통사고는 지속적으로 6.7~28.2% 감소하는 경향을 보이며, 평균 20.9% 감소하는 것으로 나타났다. 이는 교통사고 저감을 위한 다양한 교통운영, 교통정책, 교통안전시설물 확충, 운전자 의식 변화 등으로 인한 감소효과라고 볼 수 있다.

#### 3.2.2 노면요철포장 총 교통사고 효과분석

노면요철포장의 효과분석은 노면요철포장이 설치된 년도를 기준으로 전·후 2개 년도 기간, 총 4년의 기간을 설정하여 분석하였다. 노면요철포장 설치에 따른 사전/사후 분석결과, 기준년도마다 7.1~46.2% 감소하는 경향을 보였다. 특히, 2004, 2005, 2007년도의 교통사고는 노면요철포장 설치구간의 교통사고가 40% 이상 감소하고 있어 교통사고 저감 효과가 매우 높은 것으로 판단된다.

Table 5. Accident reduction effects in expressway

Year	Accidents(Accident/2year)		Percentage change(%)	Statistical testing
	Before	After		
2003	7,595	6,122	-19.4	t-value 15.162  p-value 0.000**
2004	7,542	5,412	-28.2	
2005	6,827	5,082	-25.6	
2006	6,122	4,668	-23.8	
2007	5,412	4,492	-17.0	
2008	5,082	4,742	-6.7	
Total	38,580	30,518	-20.9	

\*\* 99% level of confidence

Table 6. Effects of rumble strip

Year	Number	Accidents(Accident/2year)		Percentage change(%)	Statistical testing
		Before	After		
2003	36	28	26	-7.1	t-value 21.153  p-value 0.000**
2004	69	115	63	-45.2	
2005	15	15	9	-40.0	
2006	93	72	60	-16.7	
2007	15	13	7	-46.2	
2008	140	121	96	-20.7	
Total	368	364	261	-28.3	

\*\* 99% level of confidence

Table 7. Minimum effect of rumble strip

Division	Average accident reduction by rumble strip	Average accident reduction in expressway	Effects
Percentage change(%)	-28.3	-20.9	-7.4

노면요철포장 설치로 인한 교통사고 감소효과가 매우 높게 발생되고 있지만, 이는 고속도로의 종합적인 개선 및 시간적 변화에 따른 교통사고의 자연적 감소로 판단된다. 따라서 순수 노면요철포장 설치효과를 파악하기 위해 노면요철포장 설치 전·후 효과에서 공용 중인 고속도로의 사고감소율을 뺀 값이 설치효과라고 볼 수 있다. 결과적으로, 순수 노면요철포장의 설치효과를 산출한 결과는 Table 7과 같이 7.4%의 교통사고 감소효과가 있는 것으로 확인되었다. 이는 고속도로의 총 교통사고 감소율에는 노면요철포장의 사고감소율도 일정부분 포함됨으로 최소 7.4% 이상이 노면요철포장으로 인해 교통사고 감소효과가 나타나는 것을 의미한다.

### 3.3 고속도로 설계요인별 설치효과 분석

도로의 기하구조 요소 중 종단 및 평면선형은 도로의 설계속도를 결정하는 중요한 지표로 도로의 안전성에 매우 밀접한 상관관계를 지니고 있다. 도로의 선형조건에 따라 운전자의 시거와 주행차량의 감속, 가속에 영향을 주기도 하여 연속류 도로에서는 차량 간에 속도차이를 증가시키는 원인이 되기도 한다. 따라서 종단경사 및 곡선반경의 특성에 따라 차량들의 주행패턴이 다르므로 모든 차량이 원활하게 주행할 수 있도록 설계된다. 고속도로의 다양한 도로조건에 따라 교통사고의 발생빈도 및 원인이 다르게 발생되므로 도로 선형 조건별로 노면요철포장의 설치효과를 세밀하게 파악하는 것이 필요하다. 이에 본 연구에서는 도로설

Table 8. Installation effects by vertical alignment

Division(%)	Accidents(Accident/2year)			Statistical testing	
	Before	After	(%)	t-value	p-value
S<-3.0	37	26	-29.7	-3.666	0.000**
-3.0≤S<-2.0	41	20	-51.2	-4.065	0.000**
-2.0≤S<-1.0	62	43	-30.6	-3.552	0.001**
-1.0≤S< 0.0	40	30	-25.0	-2.877	0.005**
0.0≤S< 1.0	78	47	-39.7	-5.150	0.000**
1.0≤S< 2.0	29	23	-20.7	-2.855	0.005**
2.0≤S< 3.0	60	58	-3.3	-1.371	0.177
3.0≤S	17	14	-17.6	-1.800	0.083

\*\* 99% level of confidence

계요소 중 종단, 평면, 길어깨 폭의 변화에 따른 효과를 평가하였다.

종단경사는 상향(+), 하향(-), 편평 구간으로 분류할 수 있지만, 종단경사의 변화율을 1% 단위로 구분하여 효과평가를 수행하여 Table 8에 나타내었다. 분석결과를 보면 종단경사의 변화와 상관없이 모든 구간에서 감소하고 있는 것으로 분석되었다. 특히, -3.0~-2.0%의 구간에서는 51.2%가 감소하는 것으로 나타나 교통사고 감소효과가 가장 높은 것으로 분석되었다. 노면요철포장의 설치로 인한 교통사고는 감소하는 것으로 나타났다지만, 통계적으로 유의한지를 파악하기 위해 동질성(t-test)검정을 수행하였다. 그 결과, 상향 2% 미만의 경사구간에서는 노면요철포장의 설치전과 후의 교통사고 감소효과가 유의수준 95%에서 유의한 것으로 나타났다, 상향 2% 이상의 오르막 경사에서는 유의하지 않은 것으로 분석되었다. 이는 일반적으로 상향 경사보다 하향경사에서 주행 차량의 감속 및 가속에 의한 속도차이가 높아 교통사고 감소효과가 높은 것으로 판단된다.

평면선형의 과도한 직선 및 작은 곡선반경 등은 운전자들이 속도를 선택하는데 있어서 가장 큰 영향을 미치는 요인이다. 일반적으로 평면선형은 직선과 원곡선으로 구분할 수 있으며, 원곡선은 굽은 형태에 따라 좌곡선, 우곡선으로 구분할 수 있다. 고속도로는 100~110 km/h의 속도로 주행하는 고규격화된 도로로서 본선구간의 평면선형은 대부분 1,000 m 이상이며, 설계속도는 도로의 안전성을 고려한 최고제한속도 120k m/h 이상으로 설계되어진다. 원곡선은 주행차량이 원활한 곡선주행을 위해 곡선 설치 전에 완화곡선을 설치하여 자연스럽게 원곡선에 진입할 수 있도록 설치하는 곡선이다. 하지만, 곡선반경이 설계속도 대비 일정 크기 이상일 경우에는 완화곡선을 설치하지 않아

Table 9. Installation effects by horizontal alignment

Division(m)	Accidents(Accident/2year)			Statistical testing	
	Before	After	(%)	t-value	p-value
R≤1,000	112	67	-40.2	-6.222	0.000**
1,000<R≤ 2,000	89	65	-27.0	-4.456	0.000**
2,000<R≤ 3,000	45	32	-28.9	-3.262	0.002**
3,000<R≤10,000	14	13	-7.1	-1.783	0.088
10,000< R	104	84	-19.2	-4.376	0.000**

\*\* 99% level of confidence

도 차량이 원곡선을 주행하는데 영향을 받지 않는다. 따라서 고속도로에서 완화곡선을 설치하지 않아도 되는 곡선반경의 길이는 설계속도 120 km/h일 때 3,000 m이다. 이에 본 연구에서는 곡선반경 3,000 m보다 작은 구간을 1,000 m 단위로 구분하고, 곡선반경 10,000 m 이상의 곡선은 직선구간으로 간주하여 분석하였다.

평면선형별 노면요철포장 설치에 따른 교통사고 감소효과를 분석한 결과, Table 9와 같이 평면선형의 변화와 상관없이 모든 구간에서 감소하고 있는 것으로 분석되었다. 특히, 곡선반경이 작은 1,000 m 미만에서 40.2%가 감소하는 것으로 나타나 교통사고 감소효과가 높은 것으로 분석되었다. 그리고 통계적 유의성 분석에서는 3,000~10,000 m 구간을 제외한 나머지 구간에서 유의수준 99%에서 유의한 것으로 분석되어 곡선반경이 작거나, 직선구간에서 노면요철포장에 의한 교통사고 감소효과가 있는 것으로 나타났다.

길어깨는 도로의 바깥차선에서 가드레일이 설치되는 지점까지를 말한다. 이는 주행차량이 주행 시 측방 여유폭을 가지므로 차로이탈 시 가드레일과 충돌하는 시간의 증대와 운전자의 여유공간 확대에 교통안전성을 확보하는데 기여한다. 하지만, 길어깨의 폭이 좁거나 넓을 경우, 주행차량이 차로 이탈 시 횡방향 정지거리로 인한 교통사고의 위험이 달라질 수 있다. 따라서 본 연구에서는 고속도로의 길어깨 폭의 변화에 따른 교통사고 저감효과를 분석하였다. 그 결과 Table 10과 같이 길어깨의 폭이 3.0 m 미만인 구간에서는 노면요철포장 설치로 인한 교통사고가 감소하는 것으로 분석되었지만, 4.0 m의 구간에서는 교통사고 저감 효과가 없는 것으로 나타났다. 이는 주행차량이 차로이탈 시 길어깨의 폭이 가드레일과 충돌하기 위한 횡방향 정지거리보다 넓어 노면요철포장에 의한 설치효과가 없는 것으로 판단된다. 통계적 검정 결과 2.5 m와 3.0 m에서 유의수준 99%에서 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다.

Table 10. Installation effects by shoulder width

Division(m)	Accidents(Accident/2year)			Statistical testing	
	Before	After	(%)	t-value	p-value
2.5	53	33	- 37.7	4.100	0.000**
3.0	307	222	- 27.7	8.397	0.000**
4.0	3	6	+100.0	N/A	N/A

\*\* 99% level of confidence

Table 11. Reduction effect analysis by cause

Division	Accidents(Accident/2year)			Statistical testing	
	Before	After	(%)	t-value	p-value
Speeding	68	72	+5.9	0.337	0.737
Safety distance	18	7	-61.1	-3.491	0.002**
Drunk	3	3	0.0	N/A	N/A
Drowsy	124	59	-52.4	-8.012	0.000**
Negligence in keeping eyes forward	42	29	-31.0	-3.260	0.002**
Improper passing	3	7	+133.3	0.655	0.529
Tire defect	32	19	-40.6	-3.327	0.002**
Excessive handling of a steering wheel	52	39	-25.0	-3.286	0.001**
Vehicle defect	7	9	+28.6	-0.293	0.774
Others	15	17	+13.3	0.767	0.449

\*\* 99% level of confidence

### 3.4 사고원인별 설치효과 분석

고속도로의 교통사고는 운전자과실, 도로 기하구조, 교통환경, 차량결합 등의 요인이 독립적으로 발생하는 것이 아닌 상호간의 복합적인 관계에 의해서 발생된다. 교통사고가 발생하는 원인 중 노면요철포장 설치로 교통사고를 감소시킬 수 있는 주요 원인을 파악하는 것이 필요하다. 즉, 고속도로의 교통사고가 발생하는 주요 요인을 규명하고, 이에 따른 맞춤형 교통안전시설물 설치를 통해 교통사고 저감 및 무분별한 시설확충을 방지할 수 있기 때문이다. 노면요철포장이 설치된 구간에서 발생한 교통사고의 원인을 분석한 결과, Table 11과 같이 안전거리 미확보, 졸음, 주시태만, 타이어파손, 핸들과대조작 요인이 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 유의수준 99%에서 유의한 것으로 분석되었으며, 운전자 과실요인 중 과속, 음주, 추월불량은 노면요철포장 설치 시 교통사고 저감 효과가 없는 것으로 나타났다. 이는 차량이 노면요철포장을 주행한 후 가드레일과 충돌하기 전에 원래의 주행경로로 복귀해야 하지만, 주행속도가 높거나 음주 시에는 인지반응 시간이 상대적으로 긴 시간을 필요로 하기 때문에 교통사고를 예방하는데 어려움이 있는 것으로 판단된다.

그리고 추월은 대부분 도로상에서 차로를 변경하는 운전행위로 길어깨에 설치된 노면요철포장과는 별개의 사고원인이라고 판단된다.

## 4. 노면요철포장 설치 전 · 후 판별분석

### 4.1 개요

판별분석(Discriminant Analysis)은 분류되어 있는 집단 간의 차이를 의미있게 설명해 줄 수 있는 독립변수들을 찾아내고 이들의 선형결합(Linear Combination)으로 식 (1)과 같은 판별식을 만들어 분류하고자 하는 대상들이 속하는 집단을 찾아내는 방법이다. 즉, 이미 알려진 기존 집단을 규명하는 사례들로부터 각 집단의 특성을 구분하는 판별함수를 추출함으로써 종속변수의 범주를 규명할 수 있으며, 어느 집단에 속하게 될 가능성이 높은가를 판별이 가능하다. 또한 집단을 구분하는데 영향을 미치는 독립변수가 무엇인지를 판별할 수 있다.

$$Z = W_1X_1 + W_2X_2 + \dots + W_nX_n \quad (1)$$

따라서, 본 연구에서는 노면요철포장이 설치되었을 때 독립변수(도로설계 요소, 사고원인) 중 어떤 요인이 변화하는지를 판단함으로써, 그 효과를 평가할 수 있다. 이에 본 연구에서는 노면요철포장을 설치하기 전과 후를 집단(1)과 집단(2)로 분류하여 교통사고가 발생하는 유형을 파악하고자 한다. 이를 위해 앞 절에서 통계적으로 유의한 변수를 독립변수로 설정한 후 판별분석을 수행하였다. Table 12는 판별분석의 표준화된

Table 12. Canonical discriminant function

Division	Standardized canonical discriminant function factor	Structure matrix
Accident severity	-0.086	0.091
Horizontal alignment	-0.362	-0.260
Vertical alignment	-0.404	-0.331
Shoulder width	-0.189	-0.164
Safety distance	0.408	0.297
Drowsy	0.961	0.653
Negligence in keeping eyes forward	0.330	0.037
Excessive handling of a steering wheel	0.271	0.045
Box's M	69.929	
F-value	3.315(0.001)	
Wilk's Lambda	0.964(0.004)	



정준판별함수와 구조행렬을 나타낸 것이며, 여기서 구조행렬은 판별함수의 변수들 간의 상관관계 계수를 나타낸 것으로 계수 값이 클수록 판별함수에 영향을 크게 미친다고 볼 수 있다. 그리고 표준화된 정준판별함수의 계수는 노면요철포장 설치구간의 사고현황을 설명하는데 있어 판별요인들의 상대적 중요도를 나타내는 계수이다.

판별 분석결과, 두 집단 간에 동질성을 검증하는 F-value와 Wilk's Lambda의 유의수준이 99%에서 유의한 것으로 분석되어 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 또한 노면요철포장 설치구간의 사고에 영향을 미치는 요인으로는 졸음사고(0.653), 중단선형(-0.331), 안전거리미확보(0.297), 평면선형(-0.260) 순으로 교통사고에 영향을 미치고 있는 것으로 분석되었다.

#### 4.2 분류 판별함수 개발

판별분석에 의한 분류 판별함수 식은 각 집단별로 산출할 수 있도록 집단별로 함수식이 개발되고, 집단별 함수식에 독립변수를 대입하여 각각 판별점수를 산정하게 된다. 즉, 종속변수의 집단(1)과 집단(2) 중 어느 집단에 속할 것인가를 판별하고자 할 때 판별점수 중 높은 값의 집단에 포함함을 의미한다. 따라서 노면요철포장이 설치되기 전과 후의 분류함수 식을 이용하여 사고유형이 변화하는 사고특성을 파악하고자 한다. 분석결과, Table 13과 같이 노면요철포장의 설치 전과 후의 분류계수의 부호조건이 안전거리미확보와 졸음사고 요인에서 각각 달리 나타나고 있음을 볼 수 있다. 이는 노면요철포장 설치 전에는 안전거리미확보와 졸음요인의 부호조건이 정(+)의 부호로 교통사고가 많이 발생되었다고 볼 수 있다. 하지만, 노면요철포장을 설치한 후에 안전거리미확보와 졸음요인의 부호조건이 부(-)의 부호로 변화하면서 안전거리미확보와 졸음은 전이 아닌 다른 교통사고의 요인일 때, 교통사고가 발

생하는 것으로 분석되었다. 이는 노면요철포장의 설치로 인해 교통사고의 특성이 변화함을 알 수 있으며, 특히 안전거리미확보 및 졸음의 교통사고 원인을 저감하는데 큰 효과가 있는 것으로 판단된다.

### 5. 결론

노면요철포장은 주행차량의 차로이탈 시 소음과 진동을 운전자에게 전달하여 주의를 각성시켜 가드레일과 충돌하는 교통사고를 예방하는데 효과적이라는 연구결과로부터 증명되었다. 국내에서도 고속도로의 노면요철포장에 대한 교통사고 감소효과를 분석하는 연구들이 이루어지고 있지만, 시간적 변화에 따른 감소율은 고려하지 않고 사고발생 빈도를 통해 효과를 분석하고 있다. 이에 본 연구에서는 도로운영기관이 교통사고를 저감하기 위해 다양한 교통안전시설물 설치와 선형 개량사업 등을 포함하는 감소율을 산출한 후 순수한 노면요철포장의 감소효과를 파악하였다. 또한 노면요철포장을 설치하기 전과 후의 교통사고 발생원인의 변화를 알아보려고 판별분석을 수행하였다. 본 연구의 결과를 다음과 같이 정리하였다.

첫째, 공용 중인 고속도로의 교통사고 감소효과는 평균 20.9%로 선형개량, 과속단속, 교통운영 및 정책을 통해 지속적으로 감소하였으며, 노면요철포장 설치구간의 교통사고 감소효과는 28.3%으로 분석되었다. 따라서 순수 노면요철포장의 설치효과는 7.4%이며, 노면요철포장 설치구간의 교통사고 감소효과 28.3%에는 최소 7.4% 이상의 순수 노면요철포장만의 교통사고 감소효과가 존재하는 것을 확인할 수 있었다.

둘째, 고속도로 설계요소별 설치효과를 분석한 결과, 중단선형은 상향 2.0% 이하에서 교통사고 감소효과가 존재하며, 특히 하향 3.0~2.0%에서 51.5%가 감소하는 것으로 분석되었다. 그리고 평면선형에서는 3,000 m 미만의 곡선반경과 10,000 m 이상의 곡선구간에서 교통사고 감소효과가 존재하는 것으로 나타났다. 즉, 평면선형이 작거나 직선(곡선반경 10,000 m 이상)과 같은 구간에서 교통사고 감소효과가 존재함을 알 수 있었다.

셋째, 고속도로의 길어깨 폭의 변화에 따른 교통사고 감소효과를 분석한 결과 3.0 m 미만의 길어깨 폭을 가진 기하구조에서 교통사고 감소효과가 존재하는 것으로 나타났지만, 길어깨 폭이 넓은 4.0 m에서는 오히려 교통사고가 증가함을 볼 수 있었다. 이는 주행차량이 차로이탈 시 길어깨의 폭이 가드레일과 충돌하기 위한 횡방향 정지거리가 충분히 확보되어 있어 노면요

Table 13. Fische's discriminant function

Division	Before	After
Accident severity	1.657	1.745
Curve radius	1.116	1.193
Vertical alignment	9.738	9.838
Shoulder	3.165	2.350
Safety distance	0.598	-0.233
Drowsy	0.163	-0.243
Negligence in keeping eyes forward	2.926	2.627
Excessive handling of a steering wheel	14.292	14.493
Constant	-24.845	-25.590

철포장에 의한 설치효과가 없는 것으로 판단된다.

넷째, 노면요철포장의 설치로 인한 교통사고를 해소시킬 수 있는 주요 원인을 분석한 결과, 안전거리미확보, 졸음, 주시태만, 핸들과대조작의 사고원인을 감소시킬 수 있는 것으로 분석되었다. 고속도로의 주요 사고원인인 과속은 주행속도가 높아 노면요철포장에서 가드레일까지의 구간 내에서 원래의 차로로 복귀하기 위한 인지반응시간이 상대적으로 짧아 교통사고를 예방하는데 한계가 존재하는 것으로 판단된다.

다섯째, 노면요철포장의 설치전과 후의 분류 판별함수를 분석한 결과, 안전거리미확보와 졸음요인의 부호조건이 상반되게 분석되어 노면요철포장의 설치로 인한 교통사고의 특성이 변화함을 알 수 있었다. 특히, 노면요철포장 설치 후에는 안전거리미확보 및 졸음 교통사고가 아닌 다른 사고원인에 의해 발생하는 것으로 분석되었다.

노면요철포장은 연속적인 주행으로 운전자의 주의가 저하되는 구간에 설치하도록 설치지침에 제시하고 있지만, 대부분 도로관리청이 필요하다고 판단되는 구간에 설치하도록 하고 있다. 따라서 도로관리청 관계자가 어느 구간에 설치하면 효과가 있는지를 판단하기 위한 자료가 부족한 실정이다. 본 연구의 결과는 교통사고 원인과 기하구조 특성에 적합한 맞춤형 노면요철포장의 설치위치를 결정하고, 시설의 무분별한 설치를 방지하는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

## References

- 1) NCHRP, "Guidance of the Design and Application of Shoulder and Centerline Rumble Strips", 2009.
- 2) E. Hauer, "Observation Before-After Studies in Road Safety", Pergamon/Elsevier Science Inc., Tarytown, New York, 1997.
- 3) D. M. Lee, "A Safety Evaluation of Shoulder Rumble Strips on Freeway Using C-G Method", Korean Society of Road Engineers, Vol.9, No.2, pp.77-87, 2007.
- 4) H. U. Oh, "Probable Effect of Rumble Strips on Reduction of Traffic Accidents", Korean Society of Road Engineers, Vol.9, No.4, pp.65-74, 2007.
- 5) S. I. Lee, "An Analysis on the Effect of Installing Rumble Strips on Reduction in Accident Severity Using a Bayesian Method", The Seoul Institute, Vol.9, No.4, pp.185-197, 2008.
- 6) H. U. Oh, "Accident Reduction Effect of Rumble Strips by Highway Geometric Characteristics", Korean Society of Civil Engineers. Vol.30. No.3D, pp. 289-294, 2010.
- 7) FHWA, "Cost-Effectiveness Techniques for Highway Safety : Resource Allocation", Report No. FHWA/ RD-84/ 011 Final Report June, 1985.
- 8) E. N. Wood, "Shoulder Rumble Strips : A Method to Alert Drifting Drivers", Pennsylvania Turnpike Commission. 1994.
- 9) D. W. Harwood, "Use of Rumble Strips to Enhance Safety", A Synthesis of Highway, 1993.
- 10) Practice, "National Cooperative Highway Research Program Synthesis 191", Transportation Research.
- 11) M. S. Griffith, "Safety Evaluation of Continuous Shoulder Rumble Strips Installed on Freeways", Transportation Research Record 1665, National Research Council, Washington D.C., pp. 28-34, 1999.
- 12) E. Y. Cheng et al., "Application and Evaluation of Rumble Strips on Highways", Utah Department of Transportation, pp. 10, 2001.