

## 관찰적 사전·사후 평가연구 방법의 비교 연구: 공용중인 고속도로 안전진단사업 효과평가를 사례로

문승라\* · 이영인

서울대학교 환경대학원

### The Comparison Study on Observational Before-After Studies: Case Study on Safety Evaluation on Highways

MUN, Sung Ra\* · LEE, Young-Ihn

Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

#### Abstract

This study is to perform empirical analysis on observational before-after studies in Naive Method, Comparison Group(CG) Method and Empirical Bayes(EB) Method, and to compare with their results and to propose ways to apply to evaluation researches. For this purpose, the evaluation of road safety audit executed on Yöng-dong freeway in 2005 and 2006 was performed. As a result, all three methods have showed improved effects due to safety treatments. The safety effectiveness of Naive method is the largest, CG Method is the second and EB method is the last. The results of Naive method are overestimated due to the trend of reducing traffic accidents and those of CG method are affected by the external casual effects of comparison group. In the EB method, as “regression to the mean” phenomenon are controlled by reference group’s accident model, it’s result is relatively more accurate than that of other methods. In the conduct of evaluation studies, the analysts have to understand the pros and cons of each evaluation method. And after leading the survey on accident trends of related all sites, evaluation analysis is performed to be able to minimize bias.

본 연구는 관찰적 사전·사후 평가연구의 세 방법인 단순비교법, 비교그룹에 의한 방법 그리고 경험적 베이스 방법에 대한 실증 분석을 수행하고, 그 결과를 비교하며, 평가연구에 적용 방안을 제시하고자 한다. 이를 위해 2005년과 2006년에 영동고속도로에서 시행된 안전진단사업의 평가를 수행하였다. 분석결과 세 가지 방법 모두 안전진단조치로 인한 개선효과가 나타나고 있으며, 단순비교법이 개선효과가 가장 크고 그 다음이 비교그룹에 의한 방법, 경험적 베이스 방법의 순으로 나타났다. 단순비교법의 결과는 교통사고 감소추이가 반영되어 과대 추정되었으며, 비교그룹방법의 결과에는 비교그룹의 외부우연요인이 내재되어 있다. 경험적 베이스 방법은 참조그룹의 사고예측모형에 의해 평균으로의 회귀 현상이 통제되므로, 두 방법과 비교해 결과가 비교적 정확하다. 평가연구의 수행에서, 분석가는 평가방법별 장·단점을 잘 이해하고, 관련된 모든 지역에서 사고추이의 검토를 선행한 후에 평가 분석을 수행하여야 한다.

#### Keywords

comparison group method, empirical bayes method, naive method, observational before-after studies, regression to the mean, road safety audit

비교그룹에 의한 방법, 경험적 베이스 방법, 단순비교법, 관찰적 사전·사후 평가연구, 평균으로의 회귀, 도로교통 안전진단.

\* : Corresponding Author  
mun7007@hanmail.net, Phone: +82-02-834-1488, Fax: +82-02-871-8847

Received 30 August 2013, Accepted 14 November 2013

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

도로교통 안전개선사업의 효과평가는 사업전과 사업 후의 교통사고 변화의 측정을 주요한 효과척도로 한다. 이를 위해서는 도로 및 교통시설에서 목적으로 하는 안전개선조치(safety treatments)를 실행하여, 사전과 사후의 사고 발생의 변화를 관찰하는 방법인 관찰연구(observational studies)를 적용한다. 관찰적 사전·사후 평가 연구(observational before-after studies)에는 단순비교법, 비교그룹에 의한 방법, 경험적 베이즈(Empirical Bayes) 방법이 있다(Hauer, 1997). 단순비교법은 개선조치 전과 후에 사고건수의 변화를 단순히 비교하는 방법으로서, 사고 추이나 외부요인의 영향을 고려하지 않아 편이되고 부정확한 결과를 도출함에 따라 특정한 경우를 제외하고는 많이 적용하지 않는다. 이에 따라 도로교통 안전개선사업의 효과평가 연구에는 비교그룹에 의한 방법이나 경험적 베이즈 방법을 적용하는 것이 일반적이다. 이 두 방법은 비교그룹과 참조그룹이라는 개선사업이 시행되지 않은 구간을 정의하고 이를 활용하여 대상구간(treated sites)의 미시행시 사고 발생을 예측하여 효과분석에 적용한다는 점에서 개념적으로 유사하다. 그러나 경험적 베이즈 방법이 참조그룹의 미시행시 사고발생 추이에 대해 확률통계이론에 의한 사고예측모형을 구축하여 적용한다는 점에서 중요한 차이가 있다. 즉 사고예측모형에 의해 미시행시 사고의 평균 기댓값을 효과분석에 반영함에 따라 사고 자료에서 나타나는 평균으로의 회귀(regression to the mean) 현상을 통제할 수 있게 됨에 따라 이로 인해 발생하는 편이가 제거되어 보다 정확한 결과를 도출할 수 있게 된다.

도로교통 안전개선사업의 효과평가에 대한 선행연구에서는 실제 개선 여부와 정량적인 효과지표의 측정이 목표이므로 분석가의 선택에 따라 한 가지 평가방법을 적용하여 분석하는 것이 일반적이다. 몇몇 국외 연구에서 단순비교법과 비교그룹에 의한 방법, 경험적 베이즈 방법 중 두 가지 이상을 적용하고 결과를 비교한 사례가 있다(Harwood et al., 2003; Sayed and El-Basyoun, 2006; Sharma and Datta, 2007). 국내에서는 안전 시설 설치에 대한 개선효과 분석을 위해 단순비교법과 비교그룹에 의한 방법을 적용하고 그 결과를 비교한 연구로서 Lee et al.(2011)의 연구가 있다. 관찰적 사

전·사후 평가 연구의 세 가지 방법을 모두 적용하여 효과분석을 수행한 사례로는 Sharma and Datta(2007)의 연구가 있다. 이 연구에서는 경험적 베이즈 방법과 비교하여 나머지 두 가지 연구방법에서 나타나는 평균으로의 회귀 효과가 어느 정도인지에 대한 정량적인 분석도 수행하였다.

본 연구에서는 아직 국내에서 시도되지 않은 관찰적 사전·사후 평가 연구의 세 가지 방법을 모두 적용한 효과평가가 연구를 수행하고자 한다. 이 연구를 통해 단순비교법, 비교그룹에 의한 방법 그리고 경험적 베이즈 방법의 분석 결과가 어떻게 차이가 나는지를 비교하고자 한다. 나아가 이러한 비교를 통해 각 방법이 가진 장·단점을 확인해보고, 실제 연구에서 어떤 방법을 적용하는 것이 올바른지를 진단해 보고자 한다. 특히 우리나라는 매년 전체적인 사고 발생이 지속적으로 감소하는 추세에 있다. 단순비교법이나 비교그룹에 의한 방법을 적용할 경우 이러한 사고의 감소 추이가 효과분석에 반영되어 사업의 효과가 과장되어 평가될 우려가 있다. 따라서 객관적이고 올바른 평가를 위해서는 각 평가방법이 가진 장·단점을 명확하게 이해하고, 현재의 사고 추이에 맞는 방법을 선택하여 분석하며, 결과의 한계점을 명확히 진단해 줄 수 있어야 한다. 본 연구의 과정과 결과를 통해 각 평가방법의 장·단점을 파악하고 효과평가를 올바르게 수행할 수 있는 기초연구가 되도록 하고자 한다.

### 2. 연구의 내용 및 방법

본 연구는 관찰적 사전·사후 평가 연구인 단순비교법과 비교그룹에 의한 방법, 경험적 베이즈 방법을 모두 적용한 안전개선사업 효과평가 연구를 수행하고자 한다. 평가 대상사업은 공용중인 고속도로 안전진단사업으로 하였으며, 2005년과 2006년에 시행된 영동고속도로의 안전진단 개선조치에 대해 각 평가방법별로 분석을 수행하였다. 분석결과에 의거해 각 평가방법이 가지는 차이점과 장·단점 등을 도출해내었고, 무엇보다 사고 자료에서의 '평균으로의 회귀' 현상이 각 평가 결과에서 어느 정도 차이를 가져오는지를 규명하고자 하였다. 이러한 연구내용에 따른 분석 절차는 Figure 1과 같다. 이들 분석은 총사고 감소효과와 사상자발생사고 감소효과의 두 가지 효과척도로 나뉘어 수행하였다.

영동고속도로 안전진단사업은 2004년에 계획되어 개선조치는 2005년부터 이루어졌다. 본 연구에서는 2005

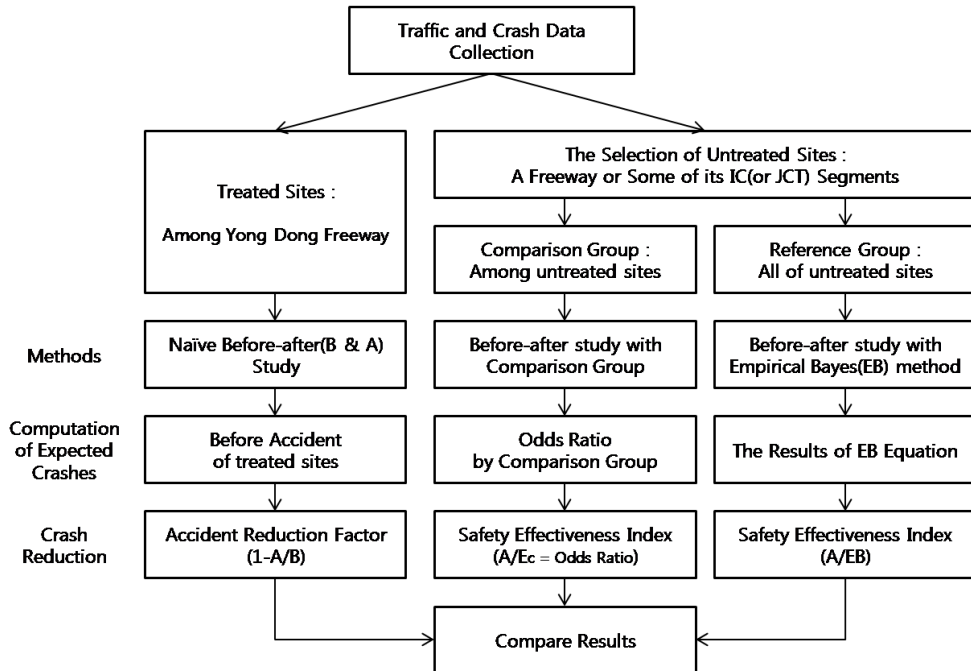


Figure 1. Study flow

년도와 2006년도 시행된 개선조치를 평가 대상으로 하였고, 2003년부터 2007년까지를 사전 및 사후의 분석 기간으로 하였다. 비교그룹방법에서의 비교그룹과 경험적 베이스 방법에서의 참조그룹은 분석기간 동안 안전진단사업이 시행되지 않은 고속도로 전 노선이 가능한 대상이 된다. 이들 중 기하구조 및 교통류 등에서 유사한 특성을 지닌 노선 및 구간을 1차로 선정하였고, 비교그룹은 영동고속도로의 각 IC(혹은 JCT) 단위구간 별로 유사한 특성을 지닌 구간을 1차로 선정된 노선 및 구간 중에서 별도로 추려내었다.

## II. 도로교통 안전개선사업 효과평가 방법

### 1. 관찰적 사전·사후 평가 방법

평가 연구 방법에는 실험연구(experimental studies)와 관찰연구(observational studies)가 있다. 실험연구는 표본설계나 실험조건이 완전한 통제가 가능한 경우에 적용하는 방법이다. 외부환경 조건의 완전한 통제 상태를 구현하여 실험하는 것이 어려운 경우, 실제 현장에

서 목적으로 하는 '개선조치'를 실행하여 그 변화를 관찰하는 방법이 관찰연구이다. 여기에는 사전·사후 평가연구(before-after study)와 횡단면 평가연구(cross-section study)가 있다. 도로 및 교통시설에 대한 정책과 개선조치가 가져오는 변화, 특히 안전성 개선에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 사전·사후의 변화에 대한 관찰연구가 바람직하다. 이는 도로 및 교통시설은 완전한 통제가 불가능한 환경이기 때문이다. 관찰적 사전·사후 평가 연구에는 다음의 세 가지 방법이 있다(Hauer, 1997).

- ① 단순비교에 의한 사전·사후 평가  
(naive before-after study)
- ② 비교그룹에 의한 사전·사후 평가  
(before-after study with comparison group)
- ③ 경험적 베이스 방법에 의한 사전·사후 평가  
(before-after study with Empirical Bayes method, EB method)

사전·사후 단순비교법은 도로구간이나 교차로 등의 개체(entity)<sup>1)</sup>에 시행된 안전 개선조치에 대해 사전기간 사고건수와 사후기간 사고건수의 변화를 단순히 비

1) Entity(개체)는 하나의 도로구간, 교차로 한 개, 개별 운전자, 버스 한 대 등 도로 및 교통의 주체를 분석을 위해 구분한 개별 단위를 의미한다.

교하는 방법이다. 단순비교법은 통계기법이 없는 분석방법이어서 해당 지역의 사고 추이의 영향(maturation)이나 외부우연요인(external casual factor) 등이 고려되지 않아 결과의 정확도를 신뢰하기 어렵다는 단점이 있다. 따라서 이 방법은 제한적으로 적용하는 것이 바람직한데, 사고가 지속적으로 감소추세이거나 사고추이의 변동이 심한 지역에서의 적용은 부적합하다.

비교그룹에 의한 사전·사후 평가방법은 개선사업이 시행되지 않은 대상구간과 유사한 비교그룹(혹은 통제그룹, comparison group 혹은 control sites)을 선정하여 개선 사업 전·후 사고건수의 변화를 비교하는 방법이다. 즉 비교그룹의 사전·사후 사고의 변화 비율에 의해 대상구간의 “사후 개선사업 미시행(after-period-with-no-treatment)”의 사고건수를 추정하며, 이 추정치와 사후 대상구간의 실제 사고건수의 차이가 개선 효과가 된다. 여기에는 비교그룹의 선정 방식에 따라 일대일대응비교(Yoked Comparisons)와 비교그룹(Comparison Group) 방법이 있다(Griffin과 Flowers, 1997). 전자는 하나의 개선 구간에 대해서 하나의 비교 구간을 선정하는 방법이고, 후자는 하나의 개선 구간에 대해 유사한 특성을 지닌 다수의 비교그룹을 선정하여 분석하는 방법이다. 각각의 분석 방법은 Harwood et al.(2002)의 연구에 구체적으로 기술하고 있다. 이 방법은 비교그룹을 통해 사고 추이의 영향이나 외부우연요인 등이 분석에 반영될 수 있으며, 이것이 단순비교법과 비교할 때 주요한 장점이다. 그러나 단순비교법과 비교그룹에 의한 방법은 모두 사고 자료에서 나타나는 “평균으로의 회귀”현상<sup>2)</sup>을 반영하지 못하며, 이로 인해 분석 결과에 편이가 발생된다.

교통사고 자료에 의한 효과분석에서는 사전·사후 2-3년간을 비교하게 되므로, 해당 기간의 사고 추이가 결과에 영향을 주어 편이가 발생할 수 있다. 이러한 편이를 최소화하기 위해 사고예측모형을 통해 사고의 평균적 특성을 분석에 반영할 수 있는 경험적 베이스 방법이 있다. 이는 비교그룹에 의한 방법과는 개념적으로는 같으나, 비교그룹방법에서의 사전·사후 사고발생 비율을 사고예측모형의 평균 기댓값으로 대체하여 효과분석을 한 다는데 차이가 있다. 이 방법은 Abbess and Wright (1981)에 의해 처음 제안되었으며, Hauer(1997)가 논리적으로 발전시켰다. 제안된 EB 방법은 이미 개선사업이 실

행된 대상구간에 대해서, “사후 개선사업 미시행시”에 몇 건의 사고가 발생하는지 알 수 없으므로, 대상구간의 이력사고 자료와 유사한 통행 및 기하구조 특성을 지닌 참조그룹(reference group)을 선정하여 이 그룹의 사고예측모형을 통해 대상구간의 “사후 개선사업 미시행시”의 예측치를 추정하는 과정이다. 이러한 예측치와 대상구간의 사후 실제 사고건수를 가중 평균하여 대상구간의 사후 미시행시 기대사고건수를 추정한다. EB 방법은 현재까지 제안된 평가 방법 중 유일하게 평균으로의 회귀 현상을 통제할 수 있으며, 이로 인해 단순평가방법이나 비교그룹방법 보다 정확도와 신뢰도가 높은 결과를 도출한다. EB 방법의 적용 방법과 장·단점은 Hauer(1997)와 Harwood et al.(2002)의 연구에 구체적으로 기술하고 있다.

## 2. 연구사례

관찰적 사전·사후 평가방법에 의한 효과평가 연구는 교통안전개선사업 뿐만 아니라 교통운영 및 기하구조개선, 교통시설설치 등의 다양한 사업에 적용되었다. 이에 대한 국내·외 선행연구를 대상사업과 적용된 분석방법을 중심으로 Table 1과 Table 2에 간략히 요약하였다.

외국의 선행연구로는 회전교차로 구조변경(Persaud et al., 2001; Brabander and Vereeck, 2007), 교차로 운영방식의 개선(Lovell and Hauer, 1986; Persaud et al., 2003; Sayed and El-Basyoun, 2006), 교차로 접근로의 개선(Yuan et al., 2001; Harwood et al., 2003), 고속도로 차로운영방식의 변경(Bauer et al., 2004), 노면안전시설 설치(Persaud et al., 2004a), 노면요철포장의 설치(Persaud et al., 2004b; Patel et al., 2007), 여러 가지 안전시설개선(Sharma and Datta, 2007) 등의 사례가 있다. 각 연구에 적용된 평가방법을 살펴보면 경험적 베이스 방법이 가장 많으며, Harwood et al.(2003), Sharma and Datta(2007)의 연구에서는 비교그룹 방법과 경험적 베이스 방법을 함께 적용하였다. 특히 Sharma and Datta(2007)는 관찰적 사전·사후 평가 연구의 세 방법에 의한 결과의 비교를 통해 평균으로의 회귀현상이 어느정도인지를 규명하기도 하였다.

국내에서의 교통안전개선사업 효과평가의 대표 사례

2) 이것은 Galton, F.(1877)에 의해 처음으로 밝혀졌으며, 어떤 자료가 확률변수일 때 연속되는 자료는 이전 자료의 변동 추이에 영향을 받기 보다는 결국 평균값으로 되돌아가는 현상을 의미한다.

**Table 1. Previous research according to observational before-after studies (Foreign)**

Authors (year)	Target programs for safety effects analysis	observational before-after studies			
		N	YC	CG	EB
Lovell, Hauer (1986)	Conversion from two-way to all-way stop control at both urban and rural intersections			○	
Persaud et al. (2001)	Conversions of intersections to roundabouts				○
Yuan et al. (2001)	Intersection approach realignments on two-lane rural highways				○
Persaud et al. (2003)	Contemplated traffic signal installations				○
Harwood et al. (2003)	Left- and right-turn lane improvements at intersections in eight states in the USA		○	○	○
Bauer et al. (2004)	The conversion of a shoulder lane to a travel lane on an urban freeway				○
Persaud et al. (2004a)	The installation of permanent raised snow-plowable pavement markers				○
Persaud et al. (2004b)	The installation of centerline rumble strips on rural two-lane roads				○
Sayed, El-Basyoun (2006)	The Stop Sign In-Fill (SSIF) program implemented in British Columbia in Canada		○	○	
Brabander, Vereeck (2007)	The roundabout built in Flanders between 1994 and 2000			○	
Patel et al. (2007)	The installation of shoulder rumble strips on two-lane rural highways				○
Sharma, Datta(2007)	Various low-cost safety improvements applied to high-crash intersections in the USA	○		○	○

note: N(Naive method), YC(Yoked comparison method), CG(Comparison group method), EB(empirical Bayes method)

**Table 2. Previous research according to observational before-after studies (Domestic)**

Authors (year)	Target programs for safety effects analysis	observational before-after studies			
		N	YC	CG	EB
Kim, K. S., Kang, S. R.(2003)	Installing Median Barrier on national roads	○			
Park, K. Y. et al. (2006)	Safety improvement project on national roads				○
Park, M. H. et al. (2006)	Installing Median Barrier on national roads				○
Im, B. I. et al. (2007)	Anti-skid facilities in Black Spot programs				○
Lee, D. M. et al. (2007)	Installing shoulder rumble strips on freeways			○	
Oh, H. U., Chang, J. H. (2007)	Installing rumble strips on freeways	○			
Lee, S. B. et al. (2008)	The School Zone Improvement Project			○	
Kim, T. Y., Park, B. H. (2009)	Installing red light camera in Chung Buk				○
Lee, D. M. et al. (2011)	Various traffic safety facilities on national roads	○	○	○	
Yun, I. S. et al. (2011)	Point-to-point speed enforcement systems on freeways			○	
Kwon, S. K. et al. (2012)	Zig-zag Marking in Seoul			○	
Mun, S. R. (2012)	Road Safety Audit on existing Freeway				○
Park, B. H. et al. (2012)	The All-Red Clearance Interval Operation at the intersection in Chung-Ju			○	

notes : N(Naive method), YC(Yoked comparison method), CG(Comparison group method), EB(empirical Bayes method)

로는 도로교통공단에서 시행되는 「교통사고 잦은 곳 개선사업」을 들 수 있다. 이는 2001년부터 매년 사업시행에 대한 평가 보고서를 발간하고 있는데, 여기에서는 사

업의 단기적 특성을 고려하여 사업 시행 전·후 각 1년간의 사고를 비교하는 단순비교방법에 의해 효과분석을 수행하고 있다. 그 외에도 국내에서 여러 유형의 안전개

선사업이 시행됨에 따라 이에 대한 효과분석 연구가 꾸준히 진행되었으며, 이에 대한 최근 연구사례는 Table 2와 같다. 이를 살펴보면 Park, K. Y.(2006), Im, B. I.(2007), Lee, D. M.(2011), 그리고 Kwon, S. K.(2012)의 연구에서와 같이 교통안전시설설치의 개선 효과 분석 연구가 많다. 또한 단일시설설치사업으로써, 국도에 중앙분리대설치의 효과분석(Kim, K. S.과 Kang, S. R. 2003 ; Park, M. H, 2006), 노면요철포장의 효과분석(Lee, D. M., 2007 ; Oh, H. U.과 Chang, J. H., 2007)에 대한 연구도 있다. 특정한 안전개선사업에 대한 효과분석 연구로써 어린이 보호구역 개선사업(Lee, S. B., 2008)과 공용중인 고속도로 안전진단사업(Mun, S. R., 2012)에 사례가 있다. 마지막으로 교통운영개선 및 시설설치에 대한 평가로써 Kim, T. Y.(2009), Yun, I. S.(2011)와 Park, B. H.(2012)의 연구가 있다. 이들 연구에 대한 평가기법으로는 비교그룹에 의한 방법과 경험적 베이스 방법이 다양하게 적용되었다. 그러나 Lee, D. M.(2011)의 연구에서 단순비교법과 비교그룹의 두 가지 방법(일대일 대응비교와 비교그룹방법)을 함께 적용하여 분석한 연구 외에는 대부분 한 가지 평가방법에 의해 연구를 수행하였다. 이는 평가 연구를 통해 해당 시설 설치나 개선사업의 효과가 얼마인지를 파악하는 것이 연구의 주목적이기 때문인 것으로 판단된다.

### 3. 연구의 필요성

관찰적 사전·사후 평가연구의 세 가지 방법은 Shen and Gan(2003)이 주장한 사고 자료의 특성인 사고 추이나 외부우연요인, 평균으로의 회귀 현상을 단계적으로 개선해나간 방법들으로써, 이로 인해 각 방법에 의한 효과 평가에서 결과의 차이가 상당할 것이다. 특히 평균으로의 회귀현상을 반영할 수 있는 경험적 베이스 방법의 결과가 가장 편이가 적고 정확할 것으로 예상되는데, 다른 방법과의 차이가 어느 정도이고 여기에 내재된 편이가 얼마인지를 분석해내는 것이 효과평가에서 중요한 의미를 갖는다. 그런데 선행연구를 검토한 바에 따르면, 특히 국내연구에서는 단일 평가방법에 의해서만 분석이 수행되었을 뿐, 평가방법 간의 결과의 차이를 규명한 연구사례는 Lee et al.(2011)의 연구 외에는 없다. 이 연구에서도 경험적 베이스 방법에 의한 연구는 수행되지 않아 각 방법 간에 정확한 비교 연구는 수행되지 않았다.

따라서 본 연구에서 단순비교법, 비교그룹에 의한 방법과 경험적 베이스 방법을 모두 적용하여 효과평가를 수행하고, 결과의 비교를 통해 각 방법의 차이점과 장·단점을 진단해 보고자 한다. 이를 통해 어떤 방법이 정확한 한지와 결과가 얼마나 과장되었는지 등도 분석해낼 수 있을 것이다.

## III. 관찰적 사전·사후 평가 연구에 의한 고속도로 안전진단사업의 효과평가

### 1. 영동고속도로 안전진단사업의 개요

관찰적 사전·사후 평가연구의 적용은 공용중인 고속도로 안전진단사업을 대상으로 하였다. 이 사업은 2002년도에 호남고속도로 시범진단을 시작으로 해서 2011년에 개통 확정(예정) 및 건설공사 사후평가 계획에 포함된 노선을 제외한 전 고속도로에 시행이 완료되었다. 공용중인 도로의 안전진단사업은 교통안전법 제36조에 따른 특별교통안전진단에 해당하며, 이는 기준 이상의 교통사고가 발생하거나 위험요인이 있다고 판단되는 경우 교통행정기관에 의해 수행 가능한 사업으로써, 안전진단이 완료된 도로에 대해서도 위험요인을 판정하여 지속적으로 시행할 수 있다.

본 연구에서는 2004년에 계획되어 2005년과 2006년에 시행된 영동고속도로 안전진단을 분석 대상으로 하였으며, 이에 대한 개선조치결과는 Table 3과 같다. 영동고속도로 본선의 15개 구간에서, 2005년에 28개와 2006년에 16개로 총 44개의 개선조치가 시행되었다. 개선항목은 내용에 따라 속도, 기하구조, 안전시설, 표지 및 가변정보표지판(VMS), 운전조건, 포장 등으로 분류하며 이중 안전시설 개선이 19개로 가장 많고, 포장이 12개, 표지 및 가변정보표지판이 8개 등으로 개선이 이루어졌다.

### 2. 평가 방법의 정립

영동고속도로 교통안전진단사업에 대한 효과평가는 개선조치 전과 후의 사고건수 변화를 비교함에 의해 이루어진다. 이를 위해 단순비교법, 비교그룹에 의한 방법과 경험적 베이스 방법을 적용하였고 그 결과를 비교하고자 한다. 평가를 위한 효과적도로는 사고건수 외에 사상자발생 사고건수를 포함하였다. 이는 개선조치 전과

**Table 3. Safety audit treatment results of the Yöng-dong freeway**

between Junctions(JCT)	segment	Length (km)	treatment results	
			2005*	2006
Seochang JCT - Ansan JCT	Seochang JCT - Walgot IC	5.4	safety facilities(1)** pavement(2)	-
	West ansan IC - Ansan IC	3.3	safety facilities(1) road signs/VMS(1)	-
Ansan JCT - Shingal JCT	Ansan JCT - Gunpo IC	6.4	safety facilities(1)	-
	Bugok IC - North suwon IC	2.8	safety facilities(1)	-
	North suwon IC - Suwon IC	6.1	safety facilities(5) road signs/VMS(1)	-
Shingal JCT - Yeosu JCT	Yongin IC - Yangji IC	8.0	driving conditions(1)	-
	Icheon IC - Yeosu JCT	8.7	-	safety facilities(4) pavement(1)
Yeosu JCT - Manjong JCT	Yeosu JCT - Yeosu IC	6.2	-	pavement(1)
	Yeosu IC - Munmak IC	20.0	-	pavement(6) driving conditions(1)
	Munmak IC - Manjong JCT	9.1	pavement(2)	-
Manjong JCT - Gangneung JCT	Manjong JCT - Wonju IC	6.6	safety facilities(1)	-
	Wonju IC - Saemal IC	12.7	safety facilities(2)	-
	Saemal IC - Dunnae IC	17.1	safety facilities(2) road signs/VMS(2), speed(1) road geometry structure(2)	-
	Dunnae IC - Meonon IC	17.0	safety facilities(1)	road signs/VMS(1)
	Hoenggye JCT - Gangneung JCT	22.6	road signs/VMS(1)	road signs/VMS(2)
	Total	152	28(64%)	16(36%)

Note : \* execution year

\*\* ( ) is the number of executions

후에 사망자나 부상자가 발생하는 중대사고의 변화를 비교함에 의해 교통사고 심각도의 감소 효과를 분석하기 위함이다.

효과평가에서 분석기간은 개선 전과 후 3년 미만, 2년 정도를 기준으로 하는데, 이는 관찰적 사전·사후 평가방법이 통제된 환경이 아니므로 분석기간이 길 경우 외부환경 변화가 결과에 반영될 수 있기 때문이다(Shen and Gan 2003). 또한 사전·사후 기간을 동일하게 하여 분석하는 것이 일반적이다(Hauer, 1997). 그러나 선행연구 사례를 살펴보면 이들 조건은 실제 분석에서 잘 지켜지지 않는 경우가 많다. 이는 개선조치의 시행기간이 각각 다르거나 사전·사후 분석 자료의 가용한 기간이 다를 수 있기 때문에 발생하게 된다. 이러한 사례를 살펴보면, Yuan et al.(2001)의 연구에서는 교차로 접근근로의 선형개선이 지역에 따라 각기 다른 연도에 시행되었으며, 평가를 위한 사전기간은 3년, 사후기간은 7개월로 정하여 효과분석을 수행하였다. Bauer et al.(2004)는 고속도로 길어깨를 주행차로로 전환하는 사업에 대해 사전기간은 2년, 사후기간은 7년으로 정하여 분석을 하였다.

이렇듯 사전·사후 분석기간이 같지 않는 경우에는 분석기간의 차이로 인해 발생하는 사고 자료의 편차에 대해 보정을 수행하여야 하며, 본 연구에서는 Harwood et al.(2002, 2003)의 방법을 적용하였다.

영동고속도로의 안전진단 개선조치는 Table 3에서와 같이 2005년과 2006년에 시행된 것을 대상으로 하였다. 분석을 위한 자료의 구축은 2003년에서 2007년까지로 하였다. 이에 따라 분석기간은 시행연도 2005년 기준으로는 사전은 2003-2004년, 사후는 2006-2007년으로 하였고, 시행연도가 2006년인 경우에 사전은 2003-2005년, 사후는 2007년으로 하였다. 2006년도 개선조치의 경우 사전·사후 분석기간의 차이에 대해서는 각 평가방법별로 보정절차를 거쳤으며 Harwood et al.(2002)의 연구에서 제안된 방법을 활용하였다. 분석대상은 Table 3에서 보듯이 본선의 15개 IC(혹은 JCT) 구간이며, 이를 단위구간(i)으로 하여 효과분석을 수행하였다.

**1) 단순비교법**

이 방법은 도로구간이나 교차로에서 시행된 안전개선

조치에 대해 사전기간과 사후기간의 사고건수 변화만을 비교하는 단순한 방법이다. 이에 따른 사고감소효과 (accident reduction factors,  $ARF$ )는 식(1)과 같이 계산한다.

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

여기서,  $N_b$ 와  $N_a$ 는 연구 대상구간에서 개선조치가 시행되기 전과 후의 사고건수이다. 식(1)에 의해 사고건수와 사상자발생사고건수에 대한 감소효과  $ARF$ 을 산정하며 이는 개선조치 시행 후에 연구 대상구간에서 개선 전보다 감소한 사고의 양을 의미한다. 따라서  $ARF > 0$ 이면 개선조치로 인한 사고감소효과가 있고,  $ARF < 0$ 이면 개선조치의 효과가 없는 것으로 해석한다.

## 2) 비교그룹에 의한 방법

비교그룹에 의한 방법은 사업 대상구간과 유사한 특성을 가지면서 개선사업이 시행되지 않은 그룹을 선정하고, 이들의 사전·사후 사고 변화비율을 산정하며, 이를 활용하여 대상구간에서 개선사업이 시행되지 않았을 상황에서 발생하게 될 기대사고건수를 추정해낸 후, 이 값을 개선후의 실제 발생 사고와 비교하여 효과를 측정한다. 비교그룹의 선정 방식에 따라 일대일대응비교(Yoked Comparisons, YC)와 비교그룹(Comparison Group, CG) 방법이 있다. 선행연구에서 비교그룹에 의한 방법은 적용되는 관계식의 형태에 따라 다양한 방법이 제안되었다(Benekohal and Hashmi, 1992; Al-Masaeid, 1997; Griffith, 1999; Griffin and Flowers, 1997; Hauer, 1997). 본 연구에서는 Hauer(1997)가 정의한 비교그룹 방법의 개념과 관계식을 기초로 Griffin and Flowers(1997)가 제안한 방법을 결합하여 분석을 수행하였으며, 이 방법의 적용에 대한 구체적인 설명은 Harwood et al.(2002, 2003)의 연구를 참고로 한다.

이 방법의 적용을 위해서는 개선사업 시행 여부에 따라 다음과 같은 네 개의 평가그룹이 존재한다. 여기서  $i=1, 2, \dots, n$ 은 사업 대상구간이나 비교그룹에 속한 개체이다. 본 연구에서는 고속도로의 IC(혹은 JCT)간의 단위구간이다.

$K_i$  : 개선사업 시행전(사전), 대상구간  $i$ 의 사고건수  
 $L_i$  : 개선사업 시행후(사후), 대상구간  $i$ 의 사고건수

$M_i$  : 사전기간에  $i$ 에 대한 비교그룹의 사고건수  
 $N_i$  : 사후기간에  $i$ 에 대한 비교그룹의 사고건수

사후 개선사업 미시행시에 대상구간에서 발생하게 될 기대사고건수를  $\hat{\pi}_i$ 라 하고, 대상구간의 개선후 기대사고건수를  $\hat{\lambda}_i$ 라 할 때, 이는 식(2)와 같이 산정할 수 있다.

$$\hat{\pi}_i = K_i \times \frac{N_i}{M_i} \quad (2)$$

$$\hat{\lambda}_i = L_i$$

대상구간  $i$ 의 사고감소효과는 대상구간의 미시행시 기대사고건수( $\hat{\pi}_i$ )와 개선후의 실제 사고건수( $\hat{\lambda}_i$ )의 비율로 평가되며, 식(3)과 같고 오즈비(odds ratio)라 한다.

$$\hat{\theta}_i = \frac{\hat{\lambda}_i}{\hat{\pi}_i} = \frac{M_i/N_i}{K_i/L_i} \quad (3)$$

식(3)에서  $\hat{\theta}_i < 1$ 일 때 사고가 감소하여 개선사업이 효과가 있는 것이며,  $\hat{\theta}_i > 1$ 이면 효과가 없는 것으로 해석한다. 이러한 사고감소효과를 비율( $E_i$ )로 나타낼 수 있으며, 이는 식(4)와 같다.

$$E_i = 100(\theta_i - 1) \quad (4)$$

식(4)에서  $E_i < 0$ 이면 그 값만큼 사고율이 감소한 것이며,  $E_i > 0$ 이면 사고율이 증가함을 의미한다.

지금까지 단일구간  $i$ 에 대한 효과를 측정하였으며, 이 결과를 바탕으로 전체 구간(혹은 소그룹 구간)에 대한 평균효과지표  $\theta_{mean}$ 와  $E_{mean}$ 을 산정할 수 있다. 전체 구간에 대한 평균효과의 측정은 가중평균을 사용하여 단위구간의 효과 추정치로부터 도출할 수 있다. 각 구간에 대한 가중치  $w_i$ 는 로그 오즈비  $R_i$ 의 표준오차 제곱의 역수로 나타낸다.

$$R_i = \ln\left(\frac{L_i M_i}{K_i N_i}\right) = \ln \hat{\theta}_i \quad (5)$$

$R_i$ 에 대한 표준오차 제곱은 식(6)과 같이 계산된다.

$$R_{i(se)}^2 = \frac{1}{K_i} + \frac{1}{L_i} + \frac{1}{M_i} + \frac{1}{N_i} \quad (6)$$



식(6)으로부터 가중치  $\omega_i$ 는 간단하게 계산된다.

$$\omega_i = \frac{1}{R_i^2(sc)} \quad (7)$$

따라서 모든 구간  $n$ 에 대해서 가중평균 로그 오즈비는 식(8)과 같이 계산된다.

$$R_{mean} = \frac{\sum \omega_i R_i}{\sum \omega_i} \quad (8)$$

식(8)을 지수화하면,  $n$ 개 구간에 대해 개선사업 효과 지수인 평균 오즈비  $\theta_{mean}$ 와 평균사고감소비를  $E_{mean}$ 은 식(9), 식(10)와 같다.

$$\theta_{mean} = e^{R_{mean}} \quad (9)$$

$$E_{mean} = 100(\theta_{mean} - 1) \quad (10)$$

이상의 분석 절차는 일대일대응비교방법과 비교그룹 방법이 동일하다. 이 과정에서 기본적으로 대상구간과 비교구간의 사전과 사후의 교통량과 분석기간이 같음을 전제로 하나, 교통량 차이가 일치하지 않는 것이 일반적이며 분석기간이 다를 수도 있다. 이러한 경우 단위구간 별로 사전과 사후의 교통량과 분석기간의 차이에 대한 보정을 수행한 후  $\hat{\theta}_i$ 와  $E_i$ 을 산정한다. 일대일대응방법은 사전과 사후의 교통량이나 분석기간의 비를 보정계수로 적용하나 비교그룹방법은 교통량을 독립변수로 한 안전성함수(Safety Performance Function)에 의해 예측된 사고건수의 비를 기초로 교통량을 보정한다. 이러한 보정방법에 대해서는 Harwood et al.(2002, 2003)의 연구에 구체적으로 기술되어 있다.

### 3) 경험적 베이지 방법

단순비교법과 비교그룹방법은 사고이력자료 만을 사용하여 효과분석이 수행되었다. 따라서 사고발생에 영향을 미치는 교통여건 및 기하구조 등의 외부요인이 배제되어 분석 결과에 편이가 발생한다. 경험적 베이지 방법은 효과분석을 위해 사고이력자료와 통행 및 기하구조 요인을 모두 고려할 수 있는 방법이다. Hauer(1997)가 제안한 EB 방법에서는 대상구간의 이력사고 자료와 통

행 및 기하구조 특성이 유사하며 개선사업이 시행되지 않은 참조그룹을 선정한다. 이는 이미 개선사업이 실행된 대상구간에 대해서, “사후 개선사업 미시행시”에 몇 건의 사고가 발생하는지 알 수 없으므로, 참조그룹의 사고예측모형을 통해 대상구간의 기대사고건수를 예측하여 적용하기 위한 목적이다. 이러한 참조그룹의 예측치와 대상구간의 실제 사고건수를 가중 평균하여 대상구간의 사후 미시행시 기대사고건수를 추정한다. 이를 공식화하는 절차는 다음과 같다.

어떤 개체에 대해 주어진 기간에서의 기대사고건수  $\kappa$ 을 추정하고자 할 때, 가용한 두 가지 정보가 있다. : 첫째 교통류 및 기하구조, 통행특성 등의 속성에서 대상구간 개체와 유사한 참조그룹, 참조그룹의 개체군은 평균  $E\{\kappa\}$ 와 분산  $VAR\{\kappa\}$ 인  $\kappa$ 을 가진다. 둘째 분석기간에 대상구간의 개체는  $K$ 건의 사고를 기록한다. EB 방법을 통해 이들 두 정보가 결합되어 대상구간 개체의  $\kappa$ 에 대해서 기대사고건수와 분산인  $E\{\kappa|K\}$ 와  $Var E\{\kappa|K\}$ 가 추정된다.  $E\{\kappa|K\}$ 는 참조그룹의  $E\{\kappa\}$ 와 대상구간의  $K$ 의 두 요소에 대해서 식(11)과 같이 결합된다.

$$E\{\kappa|K\} = \alpha E\{\kappa\} + (1-\alpha)K \quad (11)$$

여기서,  $\alpha$ 는 두 요소의 결합을 위한 가중치이며, 0과 1 사이의 값을 가진다.  $\alpha$ 가 1에 가까우면 이때 대상개체의  $\kappa$ 는 참조그룹의 평균  $E\{\kappa\}$ 에 가깝고,  $\alpha$ 가 0에 가까우면 대상개체의  $\kappa$ 는 실제 사고건수  $K$ 을 반영한다. 가중치  $\alpha$ 는 참조그룹에서의  $\kappa$ 의 평균과 분산의 함수로써 식(12)과 같다. 이때  $K$ 와  $\kappa$ 에 대한 분석기간은 같다.

$$\alpha = \frac{1}{1 + \frac{VAR\{\kappa\}}{E\{\kappa\}}} \quad (12)$$

또한  $E\{\kappa|K\}$ 의 분산은 식(13)과 같다.

$$Var E\{\kappa|K\} = (1-\alpha) E\{\kappa|K\} \quad (13)$$

$E\{\kappa\}$ 가 음이항분포에 의한 추정치인 경우, 도출되는 과분산 파라메타(dispersion parameter,  $\phi$ )<sup>3)</sup>를 적용하여 가중치  $\alpha$ 를 식(14)과 같이 산정할 수 있다.

3) 음이항분포 모형의 조건부 평균  $\mu_i$ 와 조건부 분산  $\mu_i + \alpha^{-1}\mu_i^2$ 에서, 과분산 파라메타  $\phi = \alpha^{-1}$ 에 해당하는 값이다.

$$\alpha = \frac{1}{1 + \frac{E(\kappa)}{\phi}} \quad (14)$$

식(11)에 의해 대상노선의 “사후 개선사업 미시행시”의 기대사고건수  $E\{\kappa|K\}$ 가 추정되면 이 값을 활용하여 개선 효과를 평가한다. 개선 효과는 개선 후 실측 사고건수  $K$ 와 기대사고건수  $E\{\kappa|K\}$ 의 비로 정의하며 이를 안전효과지수(safety effectiveness index)라 한다. 구간  $i$ 에 대한 안전효과지수를  $\hat{\theta}_i$ 라 하면 식(15)과 같이 정의할 수 있다.

$$\hat{\theta}_i = \frac{K_i}{E\{\kappa|K\}_i} \quad (15)$$

이 식에서 구간  $i$ 에 대해 사전과 사후의 교통량 변화와 분석기간의 차이에 대해 보정을 수행하며, 보정후의  $E\{\kappa|K\}_i$ 을  $\hat{\pi}_i$ , 개선후의 실측 사고건수  $K_i$ 을  $\hat{\lambda}_i$ 로 대체하면  $\hat{\theta}_i$ 는 식(16)과 같다. 또한 구간  $i$ 의 사고건수 감소율  $E_i$ 는 식(17)과 같다.

$$\hat{\theta}_i = \frac{\hat{\lambda}_i}{\hat{\pi}_i} \quad (16)$$

$$E_i = 100(\hat{\theta}_i - 1) \quad (17)$$

식(16)에서  $\hat{\theta}_i < 1$ 이면 개선사업이 효과가 있는 것이며, 반대로  $\hat{\theta}_i > 1$ 이면 개선사업이 사고감소 효과에 영향을 주지 못하는 것으로 해석한다. 또한 식(17)에서  $E_i$ 가 음의 값이면 개선사업 후 그만큼의 사고 감소율을 나타내며 반대로 양의 값이면 그만큼의 비율로 사고가 증가함을 나타낸다. 단위구간  $i$ 에 대한 전체 구간의 평균안전효과지수  $\theta_{mean}$ 와 평균사고감소율  $E_{mean}$ 은 식(18), 식(19)와 같다. 여기서,  $\hat{\lambda} = \sum \hat{\lambda}_i$ ,  $\hat{\pi} = \sum \hat{\pi}_i$ 으로써 각 단위구간의 합이다.

$$\theta_{mean} = \frac{\frac{\hat{\lambda}}{\hat{\pi}}}{1 + \frac{VAR\{\hat{\pi}\}}{\hat{\pi}^2}} \quad (18)$$

$$E_{mean} = 100(\theta_{mean} - 1) \quad (19)$$

식(18)에서  $\hat{\pi}$ 의 분산  $VAR\{\hat{\pi}\} = \sum VARE\{\kappa|K\}_i$ 이며,  $E\{\kappa|K\}_i$ 의 분산은 식(13)을 적용한다. 또한 사전

과 사후의 교통량 변화와 분석기간의 차이에 대한 보정은 Harwood et al.(2002, 2003)의 연구를 참고로 한다.

### 3. 비교그룹과 참조그룹의 선정

비교그룹에 의한 방법과 경험적 베イズ 방법을 적용하기 위해서는 각각 비교그룹과 참조그룹을 선정하여야 한다. 비교그룹과 참조그룹은 교통량, 기하구조, 통행방법, 교통운영방법 등 여러 조건에서 대상구간과 유사한 구간 혹은 지점이면서, 개선사업이 시행되지 않아야 한다. 이러한 유사성을 기준으로 선정하더라도 비교그룹 평가방법에서는 분석에서 비교그룹의 사고이력자료만을 활용한다. 그러나 경험적 베イズ 방법에서는 비교그룹의 개체군이 가진 속성자료(교통량, 기하구조 등)를 모형 추정 과정에서 반영한다는 점에서 비교그룹방법과 차별화된다. 이러한 의미에서 경험적 베イズ 방법에서 선정된 비교그룹을 참조그룹(reference group)이라 한다.

Hauer(1997)는 비교그룹이 다음 조건을 충족해야 한다고 주장하였다.

- 사전·사후 분석기간이 같도록 한다.
- 대상구간과 비교그룹의 사고 발생에 영향을 주는 요소(가령, 교통량)의 변화가 유사해야 한다.
- 비교그룹에서 사고건수는 대상구간의 사고건수와 비교해서 충분히 커야 한다.
- 이력 사고 자료로부터 산정되는 오즈비(odds ratio)의 표본평균은 1에 근접하고 분산은 작아야 한다. 이는 대상구간과 비교그룹의 사고발생 추이가 유사해야 함을 의미한다.

위 조건에서 사전과 사후에 분석기간이 다를 수 있으며 사전과 사후에 교통량 추이가 크게 다를 수 있는데, 이러한 차이는 각 방법의 분석에서 보정과정을 거쳐야 한다. 중요한 문제는 유사한 속성을 가지면서 충분한 수의 비교그룹을 확보해야 한다는 것이다. 본 연구에서는 비교그룹을 선정하기 위해 먼저 대상노선인 영동고속도로의 노선 특성을 검토해보았다.

영동고속도로의 총 234.5km, 30개 구간 중에 2005년과 2006년에 안전진단이 시행된 구간은 152km, 15개 구간으로써, 이들의 구간길이와 차로수, 일교통량(AADT)은 Table 4와 같다. 일교통량은 2003년부터 2007

**Table 4. The characteristics of the Yöng-dong freeway (treated sites)**

between Junctions	segment	Length(km)	lane	AADT (Min)	AADT (Max)
Seochang JCT - Ansan JCT	Seochang JCT - Walgot IC	5.4	6	114,804	156,866
	West ansan IC - Ansan IC	3.3	6	110,613	128,926
Ansan JCT - Shingal JCT	Ansan JCT - Gunpo IC	6.4	6	93,007	135,688
	Bugok IC - North suwon IC	2.8	6	110,637	127,018
	North suwon IC - Suwon IC	6.1	6	120,174	157,912
Shingal JCT - Yeosu JCT	Yongin IC - Yangji IC	8.0	4	68,367	81,001
	Icheon IC - Yeosu JCT	8.7	6-8	79,876	95,232
Yeosu JCT - Manjong JCT	Yeosu JCT - Yeosu IC	6.2	4	65,093	78,372
	Yeosu IC - Munmak IC	20.0	4	49,973	58,060
	Munmak IC - Manjong JCT	9.1	4	47,070	55,790
Manjong JCT - Gangneung JCT	Manjong JCT - Wonju IC	6.6	4	30,322	34,514
	Wonju IC - Saemal IC	12.7	4	26,808	31,069
	Saemal IC - Dunnae IC	17.1	4	28,168	30,896
	Dunnae IC - Meonon IC	17.0	4	22,239	28,187
	Hoenggye IC - Gangneung JCT	22.6	4	18,546	24,858
The Range of Values		2.8-22.6	4/6/8	18,546	156,866

Note : AADT includes Min and Max value until 2003 to 2007 in each segment.

**Table 5. Statistics of untreated freeway until 2007**

line (section)	length (km)	sample size	number of section (per year)	number of accident	section length(km)	lane	AADT(veh/day)
Kyungbu	292	138	27-28	253	1.7-17.8	4,6,8	29,500-153,092
Seohaean	195	108	23	88	1.2-19.7	4,6	18,006-154,617
Kyungin	23.9	25	7	13	2.2-4.9	6,8	50,946-155,445
Kyungin 2	26.7	40	8	11	2.1-4.5	6,8	61,124-148,557
Seoul Outer Circular	91.7	80	25	64	1.0-9.2	8	82,917-159,537
Honam	194.2	115	22-25	144	1.4-16.8	4	20,469-67,004
Honam-branch	54	30	6	32	3.7-22.5	4	21,602-49,423
Jungbu inland	151.2	53	7-11	66	3.5-23.0	4	18,715-45,126
total	1,028.7	589	6-28	671	1.0-23.0	4,6,8	18,006-159,537

Note : Kyungbu (between Kuseo IC and OkCheon IC, between Kihung IC and YangJae IC), Seohaean (between Gunsan and Keumchon), Seoul Outer Circular (between Pangyo and Toegyewon, between Pangyo and Ilsan), Jungbu (between Gimcheon and Yeosu)

년까지 기간에 최소치와 최대치를 나타낸 것이다.

개선조치가 이루어진 15개 IC(혹은 JCT) 구간은 5개 분기점 구간으로 구분하여 평균 개선효과( $\theta_{mean}, E_{mean}$ )를 산정하였다. 영동고속도로는 4,6,8차로로 구성되어 있으며, 전구간이 교통량이 많은 편이다. 서창분기점부터 시작되는 수도권 구간은 구간길이가 짧고 교통량이 많아 혼잡한 구간이 대부분이며, 4차로 구간(용인 IC)부터는 구간길이가 길어지고 교통량이 감소하나, 그래도 용량대비 교통량은 다른 4차로 고속도로에 비해 많은 편이라 전구간이 혼잡한 노선에 해당한다.

영동고속도로의 이러한 교통량 및 기하구조 특성에 부합하여야 하며, 2007년까지 안전진단사업이 시행되지 않은 고속도로 노선이나 구간 중에서 비교그룹을 선정하

여야 한다. 또한 분석기간이 2003년부터 2007년까지이므로 데이터가 가용하도록 비교그룹은 2003년 이전에 건설된 노선이어야 한다. 2007년 기준으로 도로공사 관내 총 25개 노선 3,127.5km 구간 중 안전진단 사업이 계획되어 완료되었거나 진행 중에 있는 노선은 11개 노선, 총 1,584.7km이고 미계획 노선은 17개 노선, 총 1,542.8km이었다. 이중 신설노선을 제외하고 나면, 비교 그룹이나 참조그룹으로 가능한 노선은 Table 5와 같다. 고속도로 단위 구간에 대한 유사성의 기준으로써 Table 4에서 제시된 구간길이, 차로수와 일교통량을 검토하였다. 이에 따라 Table 5는 이와 유사한 범위의 값을 충족하는 구간을 선정한 것이다. 차로수는 4,6,8차로로 제한하였고(10차로 구간 제외), 구간길이는 1.0-23.0km의

**Table 6. The selection of comparison group**

	Treated sites' segment	Length(km)	lane	AADT	Number of segment in CG	Total length of CG (km)
	Comparison Group(freeway)					
TS 1	Seochang JCT-Walgot IC	5.4	6	114,804-156,866	5	24.3
CG 1	Kyungin 2, Seohaean	3.1-7.7	6	84,328-125,051		
TS 2	West ansan IC-Ansan IC	3.3	6	110,613-128,926	5	20.5
CG 2	Kyungin 2, Seohaean	3.1-5.0	6	93,793-125,051		
TS 3	Ansan JCT - Gunpo IC	6.4	6	93,007-135,688	7	32.6
CG 3	Kyungin 2, Seohaean	3.1-7.7	6	84,328-125,051		
TS 4	Bugok IC - North suwon IC	2.8	6	110,637-127,018	5	18.5
CG 4	Kyungin 2, Seohaean	3.0-4.4	6	94,234-125,051		
TS 5	North suwon IC - Suwon IC	6.1	6	120,174-157,912	6	28.2
CG 5	Kyungin 2, Seohaean	3.1-7.7	6	84,328-125,051		
TS 6	Yongin IC - Yangji IC	8.0	4	68,367-81,001	5	34.8
CG 6	Seohaean, Honam, Honam-branch	4.9-8.4	4	35,552-99,583		
TS 7	Icheon IC - Yeosu JCT	8.7	6-8	79,876-95,232	5	37.2
CG 7	Seohaean, Kyungbu	5.0-11.8	6-8	57,867-118,919		
TS 8	Yeosu JCT - Yeosu IC	6.2	4	65,093-78,372	5	30.7
CG 8	Seohaean, Honam, Honam-branch	4.2-8.4	4	35,552-99,583		
TS 9	Yeosu IC - Munmak IC	20.0	4	49,973-58,060	4	69.3
CG 9	Kyungbu, Honam, Honam-branch	12.8-22.5	4	33,571-56,230		
TS 10	Munmak IC - Manjong JCT	9.1	4	47,070-55,790	5	42.3
CG 10	Kyungbu, Seohaean, Honam	6.6-10.4	4	36,122-65,538		
TS 11	Manjong JCT - Wonju IC	6.6	4	30,322-34,514	4	27.2
CG 11	Honam	5.9-8.6	4	29,618-38,573		
TS 12	Wonju IC - Saemal IC	12.7	4	26,808-31,069	4	46.6
CG 12	Seohaean, Honam	10.7-13.7	4	24,607-32,603		
TS 13	Saemal IC - Dunnae IC	17.1	4	28,168-30,896	3	50.2
CG 13	Seohaean, Honam	13.7-19.7	4	23,180-32,603		
TS 14	Dunnae IC - Meonon IC	17.0	4	22,239-28,187	4	70.2
CG 14	Seohaean, Honam	12.0-19.7	4	21,190-32,603		
TS 15	Hoenggye IC - Gangneung JCT	22.6	4	18,546-24,858	3	54.9
CG 15	Seohaean, Honam-branch	12.7-22.5	4	21,290-25,784		

Note: TS denotes a Treated sites in the Yöng-dong freeway and CG does its Comparison Group

범위에 있고, 교통량은 18,006-159,537(대/일)의 범위인 구간을 선정하였다. 경부, 서해안, 경인, 제2경인, 서울외곽순환, 호남, 호남지선과 중부내륙고속도로에서 총 1,028.7km, 589개 구간(표본 규모)이 선정되었다.

Hauer(1997)가 주장한 조건에서 비교그룹의 사고건수는 대상구간의 사고건수와 비교해서 충분히 커야 한다는 것이 있다. 이는 비교그룹이 대상구간에 비해 충분히 큰 규모이어야 함을 의미한다. 일대일대응비교방법에서는 선정된 단일 비교구간의 사고 추이에 의해 결과가 좌우되어, 편이된 결과를 도출할 가능성이 높다.

반면 비교그룹방법에서는 충분한 크기의 비교구간이 선정되므로 인해 평균적인 사고추이가 반영됨으로써, 보다 정확한 결과는 도출할 수 있다. 이러한 일대일대응비교방법과 비교그룹방법의 장·단점과 결과의 차이점에 대해서는 Lee et al.(2011)의 연구 결과에 잘 설명되어

있다. 본 연구에서는 개별 단위구간에 대해 여러 비교구간을 선정하여 비교하는 비교그룹방법을 적용하였다. Table 5에 선정된 구간 중에서 단위 IC(혹은 JCT)구간별로 구간길이, 차로수와 일교통량을 검토하여 유사한 몇 개 구간을 선정하였다. 영동고속도로가 다른 고속도로에 비해 구간길이와 차로수 대비해서 워낙 교통량이 많은 노선인지라 유사한 구간을 선정하는 것이 쉽지는 않았으나, 단위 IC구간별로 구간길이, 차로수와 교통량이 어느 정도 수준에서 근사하는 3-7개 정도의 구간을 비교그룹으로 선정하였으며, 그 결과는 Table 6과 같다.

참조그룹은 유사한 속성에 의해 선정된 비교그룹에 대해, 이들이 가진 사고의 평균적인 추이를 예측하여 반영한다는 점에서 그 의미가 비교그룹과 비교된다. 또한 사고의 평균적 추이를 예측하는 것이 목표이므로 속성이 완전하게 일치하지 않더라도 어느 정도 유사성이 보장되

**Table 7. A description of the safety performance function in the previous EB research**

Authors (year)	Function	Road Type	Explanatory variables
Persaud et al. (2001)	Exponential / Power	Intersection	Total entering AADT, Minor road proportion of AADT
Yuan et al. (2001)	Exponential / Power	Intersection	Average daily traffic vehicle entering each intersections
Persaud, McGee (2003)	Exponential / Power	Intersection	AADT entering the major road
Harwood, Bauer (2003)	Exponential / Power	Intersection	AADT entering both the major road and the minor road
Bauer, Harwood (2004)	Exponential / Power	Freeway	AADT, Segment length
Persaud, Bahar (2004)	Exponential / Power	Two-lane roadways	AADT, Degree of curve, Shoulder width in feet, Terrain
		Four-lane freeway	AADT
Persaud, Retting (2004)	Exponential / Power	Rural two-lane roads	AADT, Segment length, Shoulder width in feet, Terrain
Patel, Council(2007)	Exponential / Power	Rural two-lane roads	AADT, yearly factors
Sharma, Datta(2007)	Exponential / Power	Intersection	Total ADT of intersection, Ratio of minor-street ADT to total ADT of intersection
Park, K. Y. et al. (2006)	Exponential / Power	Four-lane roadways	AADT, Degree of curve
Park, M. H. et al. (2006)	Exponential / Power	Four-lane roadways	AADT, Degree of curve
Im, B. I. et al.(2007)	Exponential / Power	Intersection and curve segment	AADT
Kim, T. Y., Park, B. H.(2009)	Exponential / Power	Intersection	ADT, The number of outbound connections, Yellow time of the minor road

는 구간을 선정하면 된다. 이에 따라 Table 5에 선정된 8개 노선의 데이터를 모두 참조그룹으로 활용하였다.

참조그룹은 대상구간의 사전·사후와 같은 기간에 대해 사고예측모형을 추정하는 경우가 일반적이며 Table 1에 서는 Persaud et al.(2003), Persaud et al.(2004a), Sharma와 Datta(2007)의 연구가 해당된다. 그러나 참조그룹은 개선사업이 시행되지 않은 유사 지역에 대한 사고모형이면서 시간적 전이성(temporal transferability)이 전제된다면 대상구간의 분석기간과 다른 기간에 추정된 모형도 EB 분석에 활용할 수 있다. 이에 해당하는 연구로는 Persaud et al.(2001), Yuan et al.(2001), Patel et al.(2007) 등이 있다. 본 연구에서는 대상구간의 연구기간과 같은 2003-2007년까지의 사고 자료에 대해 참조그룹의 사고모형을 구축하였다.

**4. 참조그룹의 사고예측모형 구축**

경험적 베イズ 관계식(11)에 의해 효과평가를 수행하기 위해서는 참조그룹의 사고예측모형  $E\{\kappa\}$ 가 필요하

다. 사고예측모형은 사고 발생에 영향을 미치는 공변량(covariates)과 사고와의 관계에 대해 특정한 통계모형을 적용하여 추정한 결과이다.

사고예측모형은 일반화선형(Generalized linear models, GLM) 이론에 의하며, 교통사고는 통계적으로 독립적인 확률사건이므로 포아송이나 음이항 분포가 적합함이 선행 연구를 통해 입증되었다(Jovanis and Chang, 1986 ; Hauer et al., 1986).

사고예측모형은 연구의 목적과 활용방법에 따라 예측 모형과 해석모형으로 구분한다. 예측모형은 계획도로에 의 적용 혹은 개선사업의 평가에 활용되므로 일교통량 등 예측가능하거나 기하구조 등 고정된 요인을 설명변수로 적용한다. 반면에 해석모형은 사고 발생에 영향을 미치는 요인과 그 정도의 분석이 주목적이므로 교통요인, 기하구조요인, 환경요인 등 사고발생에 영향을 미치는 모든 요인을 고려하여 최대한 많은 변수로 모형을 구축한다. 본 연구에서 구축하는 참조그룹의 모형은 개선사업 평가에 적용하기 위한 사고건수 예측이 주된 목적이므로, 설명변수는 일교통량과 기하구조 요인을 중심으로

선정하였다. 선행연구에서 EB 관계식에 적용을 위해 구축된 사고예측모형의 사례를 정리하면 Table 7과 같다. 표에서 보듯이 대부분의 연구에서 지수식의 여러 함수 중에서 Power 함수를 적용하였다. 도로 유형에 따라 교통류와 기하구조 특성이 달라지므로, 모형의 설명변수 구성이 차별화된다. 즉 고속도로와 2차로 도로 등의 연속류 구간모형은 교통량과 구간길이 등을 주요 변수로 하고 기타 특징적인 기하구조 요인을 설명변수로 추가하여 모형을 구축하였다(Bauer et al., 2004 ; Persaud et al., 2004a ; Persaud et al., 2004b ; Patel et al., 2007). 반면 교차로 모형은 주도로 교통량과 부도로 교통량을 주요 변수로 하고 그 외 특징적인 기하구조 요인을 추가하여 모형을 구축하였으며 이는 Table 7의 교차로모형 연구사례에서 확인할 수 있다.

본 연구에서도 선행연구에서와 같이 사고건수와 교통량 등 변수의 관계에 대해 지수관계식을 적용하였으며, 고속도로를 대상으로 하므로 교통량과 연속류 특성을 나타내는 기하구조 요인을 변수로 선정하여 모형을 구축하였다. 고속도로 IC(혹은 JCT) 구간을 분석 단위로 하며, 모형의 기본 관계식은 식(20)과 같다. 효과평가에서의 효과척도가 총사고건수와 사상자발생 사고건수이므로 이들을 각각 종속변수로 한 참조그룹의 사고예측모형을 구축한다. 모형은 기대사고건수 예측에 적용되므로 설명변수는 예측 가능하거나 고정된 값이어야 한다. 이에 따라 예측 가능한 요인으로써 교통류 특성과 고정적 요인으로써 기하구조 특성에 한정하여 설명변수를 선정하였다.

$$E(\kappa) = \alpha_0 L_i^{\beta_1} F_{L_i}^{\beta_2} e^{\sum_{p=3}^p X_{pL_i} \beta_p} \quad (20)$$

여기서  $i$ 는 IC(혹은 JCT) 단위구간이고  $F_{L_i}$ 은 양방향 구간 일교통량(AADT),  $L_i$ 는 구간길이,  $X_{pi}$ 는 기하구조 속성을 나타내는 일련의 변수이고  $\alpha_0, \beta_1, \beta_2, \beta_p$ 는 추정된 회귀계수이다. 교통량 변수  $F_{L_i}$ 과 구간길이  $L_i$ 은 각각 power 함수를 적용하였다.  $E(\kappa)$ 는 단위 IC(혹은 JCT) 구간에 대한 예측치 즉, 연간 기대사고건수와 기대사상자발생사고건수이다.

종속변수가 IC(혹은 JCT) 구간 단위로 발생하는 연간 사고건수이므로, 기하구조 속성  $X_{pL_i}$ 도 IC(혹은 JCT) 단위로 집계 가능한 변수이어야 한다. 이에 따라 고속도로 본선의 구간별 기하구조 특성으로써 IC(혹은 JCT)간 구간길이, IC(혹은 JCT)내 곡선구간수와

IC(혹은 JCT)내 유출입 연결로수를 적용하였다. 고속도로 조사통계에서 IC는 '본선에서 영업소로 빠져나가는 출구 노즈부', JCT는 '본선에서 접속하는 다른 고속도로로 빠져나가는 출구 노즈부'를 기준으로 IC(혹은 JCT)간 구간길이를 산정하고 있다. IC(혹은 JCT)간 구간길이가 길어지면 해당 구간에 포함되는 사고발생건수도 많아지기 때문에, 이러한 구간길이와 사고건수 분포에 대해 특정한 함수 관계가 성립한다. 사고예측모형 연구에서 구간길이의 사고건수에 대한 함수관계를 적용한 사례로는 Hauer(2004), Lord(2000), Lord and Persaud (2004), Chatterjee et al.(2005)와 Parajuli et al.(2006) 등이 있으며, 본 연구에서도 이를 변수로 선정하였다. 둘째 IC(혹은 JCT) 구간에서 평면선형의 영향을 변수로 적용할 수 있는 방법으로써 구간 내에 곡선부가 얼마나 존재하는가를 기준으로 하였다. 이러한 IC/JCT 구간내 곡선구간수는 운전자가 주행 중에 곡선부로 인지할 수 있을 것으로 판단되는 구간의 수를 IC/JCT 구간별로 집계하였다. 셋째 고속도로 본선에 접속하는 모든 진출입로는 교통류에 변화를 줄 수 있는 기하구조 요인이다. 즉 짧은 구간에 진출입 연결로가 많으면 교통류 변화가 심하고, 진출입 연결로가 적은 경우 교통류에 영향이 적어진다. 이에 따라 IC(혹은 JCT) 구간내 유출입 연결로수를 교통류 변화와 이에 따른 사고발생에 영향을 미치는 요인으로 선정하였다. 이를 각각  $X3_{L_i}, X4_{L_i}, X5_{L_i}$ 로 정의하면 식(20)은 식(21)와 같이 전개할 수 있다.

$$E(\kappa) = \mu_i = \alpha_0 L_i^{\beta_1} F_{L_i}^{\beta_2} e^{(\beta_3 X3_{L_i} + \beta_4 X4_{L_i} + \beta_5 X5_{L_i})} \quad (21)$$

여기서  $\alpha_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ 는 추정된 회귀계수이다. 기대사고건수 및 기대사상자발생사고건수  $E(\kappa)$ 의 확률구조는 음이항분포를 적용하며 이때 선형 예측치(linear predictor,  $\eta_i$ ) 추정을 위한 연결함수(link function)는 로그이므로 식(21)은 식(22)과 같이 전개된다.

$$\eta_i = \ln(\mu_i) = \ln(\alpha_0) + \beta_1 \ln(L_i) + \beta_2 \ln(F_{L_i}) + \beta_3 X3_{L_i} + \beta_4 X4_{L_i} + \beta_5 X5_{L_i} \quad (22)$$

식(22)의 모형 추정결과 도출된  $\eta_i$ 는  $\hat{\mu}_i = \exp(\hat{\eta}_i)$ 의 관계에 의해 기대사고건수 혹은 기대사상자발생사고건수  $\hat{\mu}_i$ 가 산정된다. 모형의 추정은 최우추정법(maximum likelihood estimates)에 의하며, SAS STATS에서

**Table 8. Accident prediction model of reference group**

Estimation results ( $\eta_i$ )	Parameter	Total Accident Model			Casualty-occurred Accident Model		
		Estimate	Standard Error	Pr>ChiSq	Estimate	Standard Error	Pr>ChiSq
	Intercept ( $\ln(\alpha_0)$ )	-7.648	1.035	<.0001	-8.564	1.728	<.0001
	lnlength ( $\ln L_i, \beta 1$ )	0.981	0.099	<.0001	1.249	0.152	<.0001
	lnAADT( $\ln F_{Li}, \beta 2$ )	0.513	0.084	<.0001	0.460	0.140	0.001
	number of curve( $X3_{Li}, \beta 3$ )	0.085	0.030	0.005	-	-	-
	dispersion parameter ( $\phi$ )	0.151	0.062	-	0.258	0.177	-
Model statistics		DF	Value	Value/DF	DF	Value	Value/DF
	Deviance	585	641.539	1.097	586	470.115	0.802
	Pearson Chi-square( $X^2$ )	585	583.558	0.998	586	592.216	1.011
	Log Likelihood	-	-470.360	-	-	-393.431	-

Note : DF(Degree of freedom)

GENMOD Procedure를 활용하였다.

식(21), 식(22)에 대한 음이항분포모형의 추정 결과는 Table 8과 같다. 총사고모형은 모형구축 단계에서 정의한 5개의 설명변수 중에 IC(혹은 JCT)간 구간길이 ( $\ln L_i$ ), 일교통량( $\ln F_{Li}$ ), IC(혹은 JCT)내 곡선구간수 ( $X3_{Li}$ )가 유의한 변수로 추정되었다. 나머지 변수는 5% 유의수준에서 계수가 유의하지 않은 것으로 나타나 결과에서 제외하였다. 또한 과분산 파라메타는 0.151이고 표준오차가 0.062로 추정되어 유의한 수준이므로 참조 그룹의 데이터에 대해 음이항 분포의 적용이 적합하다. 두 번째 사상자발생사고모형은 IC(혹은 JCT)간 구간길이( $\ln L_i$ ), 일교통량( $\ln F_{Li}$ )이 모형의 변수로 선택되었다. 과분산 파라메타 0.258은 표준오차가 0.177로써 유의한 수준에서 벗어나는 것으로 나타났다.

일반화선형모형의 적합도를 나타내는 통계로는 Deviance와 Pearson Chi-Square( $X^2$ )가 있다. Deviance는 실측치( $y$ )와 회귀계수 예측치( $\mu$ )의 각 최대 우도값(maximum log likelihood)의 차이에 두 배로 정의되며 식(23)와 같다. 다른 모형과의 비교에서는 이 값이 작을수록 추정이 더 잘 된 것으로 해석한다.

$$D(y, \mu) = 2\{L(y) - L(\hat{\mu})\} \tag{23}$$

Pearson Chi-Square는 식(24)와 같이 정의된다.

$$Pearson - X^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(y_i - \hat{\mu}_i)^2}{\hat{\mu}_i} \tag{24}$$

Cameron and Trivedi(1998)에 의하면, 평균과 분산이 적절하다면,  $E[\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{\mu}_i)^2 / \hat{\mu}_i] = (n - p - 1)$  ( $n$ 은 표본수,

$p$ 는 추정된 파라메타의 수)의 관계가 성립한다. 이는 계산된  $Pearson - X^2 / (n - p - 1)$ 가 1에 근사한 값이어야 모형이 적합함을 의미한다. 이에 따라 Table 8에서 두 모형의  $Pearson - X^2$ 의 Value/DF가 각각 0.998과 1.011로써 1에 근사하므로 음이항분포로 추정할 것이 적합하다고 할 수 있다.

Table 8의 모형 추정 결과를 식(21)에 적용하여 기대 사고건수 및 기대사상자발생 사고건수  $\hat{\mu}_i$ 을 산정하며 이 값은 식(11)의 경험적 베이스 관계식에서  $E(\kappa)$ 에 해당한다. 또한 두 모형의 과분산 파라메타  $\phi$ 는 식(14)에 적용되어 가중치  $\alpha$ 를 산정하는데 적용된다.

### 5. 영동고속도로 안전진단사업의 효과평가

관찰적 사전·사후 평가연구의 세 가지 방법인 단순 비교법, 비교그룹에 의한 방법 그리고 경험적 베이스 방법에 의한 영동고속도로 교통안전진단사업의 효과평가를 수행하였으며 그 결과는 Table 9, Table 10, Table 11, Table 12, Table 13와 같다. 각 방법에 의한 주요 결과와 차이를 비교하여 설명하고자 한다.

#### 1) 단순비교법에 의한 사고감소효과

단순비교법에 의한 사고감소효과(Accident Reduction Factor, ARF)는 Table 9와 같다. 사고감소효과인 ARF는 개선조치 시행 후에 대상구간에서 개선 전보다 감소한 총사고건수와 사상자발생사고건수의 양을 의미하며, 0보다 커야 개선효과가 있는 것이다. Table 9에서 보면 총사고건수와 사상자발생사고건수는 여주JCT-여주IC(ARF가 각각 -0.5와 -2)를 제외한 모든 구간에서

**Table 9. Accident reduction effects using Naive method**

between Junctions	segment	overall accident					casualty-related accident				
		$N_b$	$N_a$	$ARF$	$E_i$	$E_{mean}$	$N_b$	$N_a$	$ARF$	$E_i$	$E_{mean}$
Seochang JCT - Ansan JCT	Seochang JCT-Walgot IC	1.0	0.0	1	-100	-100	0.0	0.0	0	0	0
	West ansan IC-Ansan IC	0.0	0.0	0	0		0.0	0.0	0	0	
Ansan JCT - Shingal JCT	Ansan JCT-Gunpo IC	3.0	3.0	0	0	-38	1.0	0.0	1	-100	-100
	Bugok IC-North suwon IC	0.0	0.0	0	0		0.0	0.0	0	0	
	North suwon IC-Suwon IC	5.0	2.0	0.6	-60		1.0	0.0	1	-100	
Shingal JCT - Yeosu JCT	Yongin IC-Yangji IC	2.0	1.0	0.5	-50	-70	0.0	0.0	0	0	-100
	Icheon IC-Yeosu JCT	1.3	0.0	1	-100		0.7	0.0	1	-100	
Yeosu JCT - Manjong JCT	Yeosu JCT-Yeosu IC	1.3	2.0	-0.5	50	-29	0.7	2.0	-2	-200	-18
	Yeosu IC-Munmak IC	6.0	4.0	0.33	-33		2.0	0.0	1	-100	
	Munmak IC-Manjong JCT	4.0	2.0	0.5	-50		1.0	1.0	0	0	
Manjong JCT - Gangneung JCT	Manjong JCT-Wonju IC	4.0	3.0	0.25	-25	-58	0.0	0.0	0	0	-73
	Wonju IC-Saemal IC	4.0	2.0	0.5	-50		2.0	0.0	1	-100	
	Saemal IC-Dunnae IC	2.0	0.0	1	-100		2.0	0.0	1	-100	
	Dunnae IC-Meonon IC	6.0	3.0	0.5	-50		3.0	1.0	0.67	-67	
	Hoenggye IC-Gangneung JCT	10.0	3.0	0.7	-70		4.0	2.0	0.5	-50	

Note :  $E_i = -(ARF \times 100)$

**Table 10. Accident reduction effects using comparison group method (MOE : overall accident)**

between Junctions	segment	After Period	Treated Sites		Comparison Group		$\hat{\theta}_i$	$E_i$	$\hat{\theta}$	$E_{mean}$
			$K_i$	$L_i$	$M_i$	$N_i$				
Seochang JCT - Ansan JCT	Seochang JCT-Walgot IC	2006-2007	1	0	5	6	0.42	-58	0.66	-34
	West ansan IC-Ansan IC	2006-2007	0	0	6	5	1.20	20		
Ansan JCT - Shingal JCT	Ansan JCT-Gunpo IC	2006-2007	3	3	9	8	1.13	13	0.75	-25
	Bugok IC-North suwon IC	2006-2007	0	0	7	4	1.75	75		
	North suwon IC-Suwon IC	2006-2007	5	2	7	7	0.40	-60		
Shingal JCT - Yeosu JCT	Yongin IC-Yangji IC	2006-2007	2	1	9	13	0.35	-65	0.38	-62
	Icheon IC-Yeosu JCT	2007	1.3	0	9.3	8	0.44	-56		
Yeosu JCT - Manjong JCT	Yeosu JCT-Yeosu IC	2007	1.3	2	8.7	6	2.17	117	0.71	-29
	Yeosu IC-Munmak IC	2007	6	4	18	20	0.60	-40		
	Munmak IC-Manjong JCT	2006-2007	4	2	15	15	0.50	-50		
Manjong JCT - Gangneung JCT	Manjong JCT-Wonju IC	2006-2007	4	3	7	10	0.53	-48	0.55	-45
	Wonju IC-Saemal IC	2006-2007	4	2	10	7	0.71	-29		
	Saemal IC-Dunnae IC	2006-2007	2	0	14	7	0.50	-50		
	Dunnae IC-Meonon IC	2006-2007	6	3	10	6	0.83	-17		
	Hoenggye IC-Gangneung JCT	2006-2007	10	3	8	7	0.34	-66		

Note 1) 0 is not available as the denominator of the  $\hat{\theta}_i$ . Therefore, in cases the value of  $K_i$ ,  $L_i$ ,  $M_i$  and  $N_i$  is 0, these are set to 0.5.

2) The number of overall accident in Icheon IC-Yeosu JCT, Yeosu JCT-Yeosu IC and Yeosu IC-Munmak IC are adjusted according to the difference of the before and After study period. This is the cause of the decimal point.

감소효과를 나타내고 있다. 단 일부 구간에서  $ARF$ 가 0으로써 사전과 사후의 차이가 없다. 사고감소율  $E_i$ 는  $ARF$ 에 대한 (-)비율로써, 개선전과 비교한 개선후의 사고건수 감소율을 의미한다.

이를 분기점 구간별로 살펴보면, 신갈JCT-여주JCT은 개선후 70%( $E_{mean} = -70$ )와 100%( $E_{mean} = -100$ )

의 사고감소 효과를 그리고 만종JCT-강릉JCT은 58% ( $E_{mean} = -58$ )와 73%( $E_{mean} = -73$ )의 사고감소 효과를 나타내어 개선효과가 큰 것으로 나타났다. 반면 여주 JCT-만종JCT는 사고감소효과가 각각 29%( $E_{mean} = -29$ )와 18%( $E_{mean} = -18$ )로써, 개선효과가 가장 낮은 것으로 나타났다.



**Table 11. Accident reduction effects using comparison group method (MOE : casualty-related accident)**

between Junctions	segment	After Period	Treated Sites		Comparison Group		$\hat{\theta}_i$	$E_i$	$\hat{\theta}$	$E_{mean}$
			$K_i$	$L_i$	$M_i$	$N_i$				
Seochang JCT - Ansan JCT	Seochang JCT-Walgot IC	2006-2007	0	0	1	2	0.50	-50	1.00	0
	West ansan IC-Ansan IC	2006-2007	0	0	2	1	2.00	100		
Ansan JCT - Shingal JCT	Ansan JCT-Gunpo IC	2006-2007	1	0	3	3	0.50	-50	0.80	-20
	Bugok IC-North suwon IC	2006-2007	0	0	2	0	4.00	300		
	North suwon IC-Suwon IC	2006-2007	1	0	2	2	0.50	-50		
Shingal JCT - Yeosu JCT	Yongin IC-Yangji IC	2006-2007	0	0	1	3	0.33	-67	0.42	-58
	Icheon IC-Yeosu JCT	2007	0.7	0	2.7	4	0.50	-50		
Yeosu JCT - Manjong JCT	Yeosu JCT-Yeosu IC	2007	0.7	2	2.7	2	4.00	300	0.61	-39
	Yeosu IC-Munmak IC	2007	2	0	4.7	8	0.15	-85		
	Munmak IC-Manjong JCT	2006-2007	1	1	2	5	0.40	-60		
Manjong JCT - Gangneung JCT	Manjong JCT-Wonju IC	2006-2007	0	0	3	1	3.00	200	0.79	-21
	Wonju IC-Saemal IC	2006-2007	2	0	2	3	0.17	-83		
	Saemal IC-Dunnae IC	2006-2007	2	0	5	0	2.50	150		
	Dunnae IC-Meonon IC	2006-2007	3	1	5	2	0.83	-17		
	Hoenggye IC-Gangneung JCT	2006-2007	4	2	6	4	0.75	-25		

Note 1) 0 is not available as the denominator of the  $\hat{\theta}_i$ . Therefore, In cases the value of  $K_i$ ,  $L_i$ ,  $M_i$  and  $N_i$  is 0, these are set to 0.5.  
 2) The number of casualty-related accident in Icheon IC-Yeosu JCT, Yeosu JCT-Yeosu IC and Yeosu IC-Munmak IC are adjusted according to the difference of the before and After study period. This is the cause of the decimal point.

**2) 비교그룹방법에 의한 사고감소효과**

비교그룹방법에 의한 사고 및 사상자발생사고의 감소 효과는 각각 Table 10, Table 11과 같다. 안전효과지수 (safety effectiveness index)인  $\hat{\theta}_i$ 는 개선조치 미시행 시 발생하게 될 사고 1건당 사후(개선후) 사고 발생건수이며, 0에 가까울수록 개선효과가 높은 것이며 1보다 크면 개선후 사고가 더 많이 발생하는 것이므로 개선효과가 없는 것이다. 이는 단순비교법의 ARF와는 의미가 다르다. ARF는 개선전과 비교하여 개선후의 감소된 사고의 양으로써, 1 이하의 값으로써 클수록 개선후 사고가 많이 감소하여 효과가 좋은 것이다. 사고감소율  $E_i$ 는 0보다 작고 그 절대값이 클수록 개선효과가 좋은 것이며, 단순비교법의  $E_i$ 와는 산정방식은 다르나 의미는 같다.

개선효과를 단위구간(segment) 별로 살펴보면,  $\hat{\theta}_i$ 는 일부 구간을 제외하고 대부분의 구간에서 1 보다 작아 사고 및 사상자발생사고의 감소효과가 나타나고 있다. 그러나 여주JCT-여주IC의 경우에는 사고의  $\hat{\theta}_i$ 는 2.17, 사상자발생사고의  $\hat{\theta}_i$ 는 4.00으로써 개선조치 후에도 사고가 많이 발생하는 것으로 나타나 단순비교법에서와 같은 결과를 나타내고 있다. 분기점 구간별로 평균 개선효과를 살펴보면, 모든 분기점 구간에서  $E_{mean}$ 가 0보다 작아 사

고와 사상자발생사고에 대한 개선효과가 나타나고 있다. 이중에서도 신갈JCT-여주JCT이 개선 후에 사고는 62% ( $E_{mean} = -62$ ), 사상자발생사고는 58% ( $E_{mean} = -58$ ) 감소함으로써 개선효과가 가장 큰 구간이며, 이는 단순 비교법의 결과와도 일치한다.

**3) 경험적 베이지 방법에 의한 사고감소효과**

경험적 베이지 방법에 의한 사고 및 사상자발생사고의 감소효과는 각각 Table 12, Table 13과 같다. 안전효과지수(safety effectiveness index)인  $\hat{\theta}_i$ 와 사고감소율  $E_i$ 의 의미는 비교그룹방법과 같다. 경험적 베이지 방법의 분석결과는 전반적으로 단순비교법과 비교그룹방법의 그것과 다르며, 무엇보다 개선효과가 전구간에서 훨씬 작게 나타나고 있다는 점이 중요하다. 이는 참조그룹의 사고예측모형에 의해 평균적인 사고분포 특성이 EB 관계식을 통해 효과분석에 반영되었기 때문인 것으로 볼 수 있다.

단위구간별 개선효과를 살펴보면, 사고 및 사상자발생사고 모두  $\hat{\theta}_i < 1$ 은 몇몇 구간이 있으나 대부분 효과가 미미한 수준이며,  $\hat{\theta}_i > 1$ 으로써 개선효과가 없는 구간도 있다. 그러나 개선후 사고 및 사상자발생사고가 0건으로써  $\hat{\theta}_i = 0$ 인 구간이 많아 이들 간에 값이 서로 상쇄된다.

**Table 12. Accident reduction effects using empirical bayes method (MOE : overall accident)**

between Junctions	segment	After Period	$E\{\kappa\}$	$E\{\kappa K\}$	$\hat{\lambda}_i$	$\hat{\pi}_i$	$\hat{\theta}_i$	$E_i$	$\hat{\theta}$	$E_{mean}$
Seochang JCT - Ansan JCT	Seochang JCT-Walgot IC	2006-2007	2.24	0.27	0	0.29	0	-100	-	-
	West ansan IC-Ansan IC	2006-2007	1.45	0.25	0	0.27	0	-100		
Ansan JCT - Shingal JCT	Ansan JCT-Gunpo IC	2006-2007	2.91	2.99	3	3.34	0.90	-10	0.84	-16
	Bugok IC-North suwon IC	2006-2007	1.17	0.24	0	0.25	0	-100		
	North suwon IC-Suwon IC	2006-2007	3.05	2.09	2	2.20	0.91	-9		
Shingal JCT - Yeosu JCT	Yongin IC-Yangji IC	2006-2007	2.63	1.17	1	1.25	0.80	-20	0.58	-42
	Icheon IC-Yeosu JCT	2007	1.69	0.14	0	0.15	0	-100		
Yeosu JCT - Manjong JCT	Yeosu JCT-Yeosu IC	2007	0.91	0.99	1	0.93	1.08	8	0.98	-2
	Yeosu IC-Munmak IC	2007	3.40	2.06	2	2.03	0.98	-2		
	Munmak IC-Manjong JCT	2006-2007	2.36	2.04	2	1.94	1.03	3		
Manjong JCT - Gangneung JCT	Manjong JCT-Wonju IC	2006-2007	1.45	2.73	3	2.62	1.14	14	1.04	4
	Wonju IC-Saemal IC	2006-2007	3.07	2.10	2	1.97	1.01	1		
	Saemal IC-Dunnae IC	2006-2007	5.44	0.29	0	0.28	0	-100		
	Dunnae IC-Meonon IC	2006-2007	3.19	3.02	3	2.78	1.08	8		
	Hoenggye IC-Gangneung JCT	2006-2007	7.01	3.16	3	2.84	1.06	6		

**Table 13. Accident reduction effects using empirical bayes method (MOE : casualty-related accident)**

between Junctions	segment	After Period	$E\{\kappa\}$	$E\{\kappa K\}$	$\hat{\lambda}_i$	$\hat{\pi}_i$	$\hat{\theta}_i$	$E_i$	$\hat{\theta}$	$E_{mean}$
Seochang JCT - Ansan JCT	Seochang JCT-Walgot IC	2006-2007	0.74	0.30	0	0.33	0	-100	-	-
	West ansan IC-Ansan IC	2006-2007	0.40	0.22	0	0.24	0	-100		
Ansan JCT - Shingal JCT	Ansan JCT-Gunpo IC	2006-2007	0.87	0.32	0	0.36	0	-100	-	-
	Bugok IC-North suwon IC	2006-2007	0.30	0.19	0	0.20	0	-100		
	North suwon IC-Suwon IC	2006-2007	0.89	0.33	0	0.34	0	-100		
Shingal JCT - Yeosu JCT	Yongin IC-Yangji IC	2006-2007	0.93	0.33	0	0.35	0	-100	-	-
	Icheon IC-Yeosu JCT	2007	0.56	0.18	0	0.19	0	-100		
Yeosu JCT - Manjong JCT	Yeosu JCT-Yeosu IC	2007	0.30	0.68	1	0.64	1.56	56	1.00	0
	Yeosu IC-Munmak IC	2007	1.21	0.21	0	0.21	0	-100		
	Munmak IC-Manjong JCT	2006-2007	0.89	0.95	1	0.91	1.10	10		
Manjong JCT - Gangneung JCT	Manjong JCT-Wonju IC	2006-2007	0.47	0.25	0	0.24	0	-100	0.79	-21
	Wonju IC-Saemal IC	2006-2007	1.00	0.34	0	0.32	0	-100		
	Saemal IC-Dunnae IC	2006-2007	1.49	0.38	0	0.38	0	-100		
	Dunnae IC-Meonon IC	2006-2007	1.35	1.10	1	1.02	0.98	-2		
	Hoenggye IC-Gangneung JCT	2006-2007	1.78	1.94	2	1.76	1.14	14		

여주JCT-여주IC는 사고 및 사상자발생사고 모두  $\hat{\theta}_i > 1$  (각각 1.08과 1.56)으로써 개선효과가 없는 것으로 나타났다. 이는 단순비교법 및 비교그룹방법의 결과와 일치한다. 반면에 만종JCT-원주IC, 황계IC-강릉JCT, 문막IC-만종JCT 등은  $\hat{\theta}_i > 1$ 인데, 이는 단순비교법 및 비교그룹방법과는 상반된 결과이다.

분기점 단위로 개선효과를 측정할 경우 사고의  $\hat{\theta}$ 는 0.84, 0.58, 0.98, 1.04(서창JCT-안산JCT 제외)이고 사상자발생사고의  $\hat{\theta}$ 는 1, 0.79(서창JCT-여주JCT 제외)으로써 개선효과가 나타나고 있다.4) 사고 감소율 ( $E_{mean}$ )은 사고의 경우 -16, -42, -2, 4이고 사상자발생사고는 0, -21으로써, 대체로  $E_{mean} < 0$ 이므로 EB방

4) Table 12, Table 13에서 사후 관측사고인  $\hat{\lambda}_i = 0$ 인 구간은  $\hat{\theta}_i = 0$ ,  $E_i = -100$ 이 된다. 이런 단위구간이 많을 경우 개선효과가 과대하게 평가

**Table 14. Mean percentage accident reduction ( $E_{mean}$ )**

between Junctions	MOE	overall accident			casualty-related accident		
	Method	Naïve	CG	EB	Naïve	CG	EB
Seochang JCT - Ansan JCT		-100	-34	-	0	0	-
Ansan JCT - Shingal JCT		-38	-25	-16	-100	-20	-
Shingal JCT - Yeosu JCT		-70	-62	-42	-100	-58	-
Yeosu JCT - Manjong JCT		-29	-29	-2	-18	-39	0
Manjong JCT - Kangneung JCT		-58	-45	4	-73	-21	-21
Total		-50	-38	-3	-65	-28	-10

범으로 분석하여도 대체적으로 안전진단사업의 효과가 나타나고 있으나 그 크기는 다른 두 방법과 비교했을 때 훨씬 작다는데 차이점이 있다.

### 6. 평가 결과에 대한 제언

단순비교법, 비교그룹에 의한 방법과 경험적 베이스 방법에 의해 안전진단사업의 효과평가 결과, 세 방법 모두 개선조치로 인한 사고감소효과가 나타나고 있다. 그러나 각각의 측정값에는 차이가 크게 나타나고 있어 이로부터 각 평가방법이 가진 장·단점과 차이점을 유추해 볼 수 있다. 분기점 구간별로 각 평가방법별 평균사고감소율( $E_{mean}$ )을 비교한 결과는 Table 14와 같다.

Table 14의 결과를 종합하면, 평가방법별 개선효과는 경험적 베이스 방법이 가장 낮고 그 다음이 비교그룹에 의한 방법이고 단순비교법이 개선효과가 가장 크다. 이는 현재(2007년까지)의 교통사고 발생추이와 연관 지어서 설명할 수 있다. 즉 우리나라의 교통사고 발생은 지속적으로 감소하는 추세에 있고 이것은 분석기간(2003-2007년) 동안에도 마찬가지였다. 단순비교법은 대상구간의 사전과 사후의 사고변화만을 비교함에 따라 해당 구간의 사고추이에 의해 결과가 좌우된다. 즉 해당 대상구간이 사고가 지속적으로 감소하는 추세인 경우 이것이 개선사업의 효과인지 아니면 평균적인 사고추이의 영향인지 구분하기 어렵다. 이러한 현상은 Figure 2로써 설명이 가능하다.

단순비교법은 (a), (b)의 경우는 개선효과가 옳게 평가되나 (c)의 경우에는 분석에서 사고감소 추이가 반영되므로 개선효과가 과대 추정된다. 따라서 Table 14에서 단순비교법의 평가 결과가 높게 나온 것은 (c)의 경우와 같

이 사고감소추이가 반영되어 개선효과가 과장되어 나온 것으로 볼 수 있다.

비교그룹에 의한 방법은 개선사업이 시행되지 않은 유사 그룹에서 발생하는 사고추이의 영향을 고려하여 상대적으로 비교하므로 외부우연요소(external casual factor)와 시간에 따른 사고추이(maturation)를 고려할 수 있어 결과의 편이를 줄일 수 있다고 Shen and Gan(2003)이 주장하였다. Table 14에서 보듯이 단순비교법의 과장된 평가결과와 달리 비교그룹방법에 의한 효과 측정값은 대부분 작게 산출되어 Shen and Gan(2003)의 주장을 뒷받침하고 있다. 이렇듯 단순비교법과 비교해 편이가 많이 줄어든 결과를 산출한다고 할지라도 비교그룹에 의한 방법은 분석과정에 내포된 단점으로 인해 편이가 발생함을 인정해야 한다. 첫째 각 단위구간별로 설정된 비교그룹이 최대한 유사성이 확보된 그룹으로 선정하였다 할지라도 각각에 대해 일관성 있는 기준을 적용하는데 한계가 있으므로 이로 인해 결과에 편이가 발생하게 된다. 즉 유사한 속성을 가진 비교그룹을 찾는 것이 물리적으로 어렵고, 어떤 비교그룹이 선정되는가에 따라 결과가 상이하게 달라진다는 것이 이 방법의 한계이다. 두 번째 비교그룹에 의한 방법은 사고건수가 0인 지점을 다루기 곤란하다. 즉 비교그룹에 의한 오즈비 산정식(3)에서  $K_i$ 와  $L_i$ ,  $N_i$ 가 0이면 분모가 0이 되어, 오즈비 자체가 계산이 되지 않는다. Harwood et al.(2002)는 세 가지 관찰적 사전·사후 분석기법의 장·단점에 대해 상술하면서, 비교분석법을 적용한 선행 연구에서 사고건수가 0인 경우 0.5로 대체하여 분석을 수행하고 있다고 기술하였다. 그렇지 않으면 아예 분석 단위구간에 0값이 포함되지 않도록 구간범위를 크게 잡고 분석하기도 한다. 본 연구에서도 Table 10, Table

될 수 있다. 따라서 분기점 단위로 분석할 때, 모든 단위구간의  $\hat{\lambda}_i=0$ 인 경우에는 결과에 대한 해석을 제외하였다.

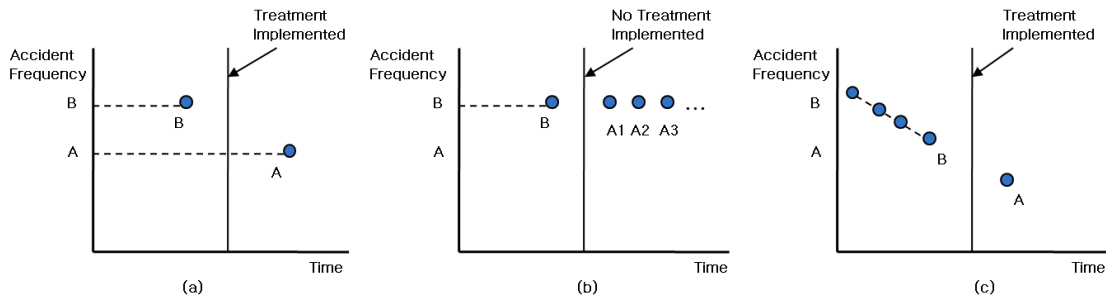


Figure 2. Effects of accident trends on accident reduction estimation (Shen, 2003)

11에서  $K_i$ 와  $L_i$ ,  $N_i$ 의 0값을 일괄적으로 0.5로 대체하여 분석을 수행하였으며, 이로 인한 결과 값의 편이는 어느 정도 존재할 수는 있으나 결과의 방향성과 일관성에는 문제가 없는 것으로 나타났다.

경험적 베イズ 방법은 단순비교법과 비교그룹에 의한 방법보다 정확도와 신뢰도가 높은 결과를 도출하는 것으로 알려져 있다. 이는 참조그룹의 사고예측모형에 의해 사고에 영향을 미치는 외부요인을 기대치 추정에 반영하고 분석기간 동안 사고의 평균 기대치를 적용함에 의해 평균으로의 회귀현상을 통제할 수 있기 때문이다. 다시 말하면 Figure 2의 (a), (b), (c) 등 어떤 경우라도 결과에는 평균적인 사고 추이가 반영되므로 인해 공정한 효과분석이 가능하다는 것이다. Table 14에서 EB방법의 분석결과는 앞의 두 방법보다 대부분 효과가 작게 도출되었는데, 이는 분석기간 동안 사고추세의 영향이 배제되어 편이가 제거된 결과로 해석할 수 있다. 마지막으로 EB방법이 가진 주요한 장점으로는 사고건수가 0인  $K_i$ 을 인위적으로 0.5로 대체하여 분석하지 않아도 된다는 것이다. 이는 EB관계식(11)에서  $E\{K_i\}$ 가 항상 0보다 큰 값으로 도출되기 때문이다. 이로 인해 EB방법은 단위구간이 작은 지점까지 세분화해서 분석이 가능한 반면, 단순비교법과 비교그룹에 의한 방법은 단위구간에 0인 데이터의 포함이 최소화되도록 분석 단위구간을 설정하여야 하는 단점이 있다. 그러나 EB 방법이 분석과정에서 나타날 수 있는 모든 편이를 최대한 제거할 수 있는 방법이라 하더라도 사고예측모형을 구축하여야 한다는 문제가 있다. 즉 통계적 유의성이 확보된 사고예측모형을 구축하기 위해서는 일정 규모 이상의 표본수가 확보되어야 하므로, 데이터를 구축하는 과정에서 난관에 부딪칠 수 있다. 이러한 경우에 단순비교법과 비교그룹에 의한 방법을 적용하여 분석할 수 있는데, 이때 분석가는 해당 연구기간 동안 사고추이를 반드시 검토해 보아야 할 것이다. 이러한 사

고 자료의 사전검토를 통해 효과분석 결과에서 어느 정도 오류가 발생할 수 있는지를 함께 설명해 주어야 정확한 분석이 될 수 있다. 지금까지는 단순하게 효과평가방법만을 적용하고 그 결과를 해석하는 것으로 연구를 수행하였다면, 향후 평가연구에서는 각 방법이 가진 장·단점을 숙지하고 결과에서 이들의 단점을 최대한 제거하거나 어느 정도의 편이가 내재함을 설명해 주어야 할 것이다.

#### IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 관찰적 사전·사후 평가 연구의 세 가지 방법인 단순비교법, 비교그룹에 의한 방법과 경험적 베イズ 방법에 의해 공용중인 고속도로 안전진단사업의 효과분석을 수행하였다. 2005년과 2006년에 시행된 영동고속도로의 안전진단사업을 공간적 대상으로 하였으며, 2003-2007년을 연구의 시간적 범위로 하였다. 분석결과 세 가지 방법 모두 안전진단조치로 인한 개선효과가 있는 것으로 나타나고 있으나, 방법별로는 단순비교법이 개선효과가 가장 크고 그 다음이 비교그룹에 의한 방법, 경험적 베イズ 방법의 순으로 나타났다. 이러한 개선효과 차이를 통해 평가방법별 장·단점과 차이점을 파악할 수 있다. 단순비교법의 경우 분석기간 동안 사고의 감소추세가 평가결과에 반영되어, 개선효과가 과대 추정되었다. 비교그룹방법은 단순비교법에 비해 효과가 작게 산출되었으나 선정된 비교그룹 사고추이의 영향에 의한 편이가 결과에 내재되어 있다. 마지막으로 경험적 베イズ 방법에 의한 분석에서 효과가 가장 작게 도출되었는데 이는 참조그룹의 사고예측모형에 의해 평균적 사고 추이가 분석에 반영되었기 때문이다. 즉 경험적 베イズ 방법의 결과와 단순비교법이나 비교그룹방법에 의한 결과의 차이를 평균으로의 회귀현상에 의해 편이된 정도로

해석 할 수 있다(Yuan et al., 2001).

안전개선사업의 효과평가에서 본 연구에서 검토한 관찰적 사전·사후 평가 연구의 세 방법 중 어떤 것을 적용 하더라도 무방하다. 다만 분석가는 평가방법을 정할 때 사업 대상구간과 분석에 포함할 비교 지역의 전체적인 사고 추이를 먼저 검토해 보아야 한다. 즉 이들 사고추이가 일정한 패턴을 나타내고 있는지 그렇지 않은지를 먼저 분석해본 후, 여기에서 발생할 수 있는 편이를 최소화 할 수 있는 평가방법을 선정하는 것이 옳다. 특히 우리나라는 매년 전체적인 사고 발생이 지속적으로 감소하는 추세임에 따라 단순비교법의 적용은 바람직하지 않다. 또한 비교그룹에 의한 방법을 적용할 경우 편이가 발생하지 않도록 충분한 수의 비교그룹을 확보하여야 한다. 세 방법 중에 사고 자료의 평균으로의 회귀 효과를 통계할 수 있는 경험적 베이스 방법이 정확하고 신뢰할 수 있는 결과를 얻을 수 있으므로 이의 적용이 바람직하다. 그러나 사고예측모형의 구축이 어려운 경우, 다른 두 방법을 적용하고 사고추이의 패턴을 분석한 후, 결과에 편이가 내재될 수 있음을 입증해주어야 한다. 분석기간 동안 사고추이에 일정한 패턴이 발견될 경우 여러 평가방법으로 분석한 후 비교하는 것도 좋은 방법이다.

## REFERENCES

- Abess C., Wright C. C. (1981), Accident at Blackspots : Estimating the Effectiveness of Remedical Treatment, With Special Reference to the Regression-to-the-mean Effect, *Traffic Engineering and Control* 22(10), 535-542.
- Al-Masaeid H. (1997), Performance of Safety Evaluation Methods, *Journal of Transportation Engineering*, 123(5), 364-369.
- Bauer K. et al. (2004), Safety Effect of Narrow Lanes and Shoulder-Use Lanes to Increase Capacity of Urban Freeways, *Transportation Research Record* 1897, 71-80.
- Benekohal R. F., Hashmi A. M. (1992), Procedures for Estimating Accident Reductions on Two-Lane Highways, *Journal of Transportation Engineering*, 118(1), 111-129.
- Brabander B., Vereeck L. (2007), Safety Effect of roundabouts in Flanders : Signal type, speed limits and vulnerable road users, *Accident Analysis and Prevention* 39, 591-599.
- Cameron A. C., Trivedi P. K. (1998), *Regression Analysis of Count Data*, Cambridge University Press.
- Chatterjee A. et al. (2005), *Planning Level Regression Models for Crash Prediction on Interchange and Non- Interchange Segments of Urban Freeways*, Center for Transportation Research, The University of Tennessee, Knoxville, TN.
- Galton Sir F. (1877), Typical Laws of Heredity, *Proc. Roy. Inst.*, 8, 282-301.
- Griffin L. I., Flowers R. J. (1997), *A Discussion of Six Procedures for Evaluating Highway Safety Projects*, Federal Highway Administration, Publication, U.S. Department of Transportation.
- Griffith M. S. (1999), Safety Evaluation of Continuous Shoulder Rumble Strips Installed on Freeways, *Transportation Research Record* 1665, 28-34.
- Harwood D. et al. (2002), Safety Effectiveness of Intersection Left- and Right-Turn Lanes, Report FHWA-RD-02-089, Federal Highway Administration, Publication, U.S. Department of Transportation.
- Harwood D. et al. (2003), Safety Effectiveness of Intersection Left- and Right-Turn Lanes, *Transportation Research Record* 1840, 131-139.
- Hauer E. (1997), *Observational Before-After Studies in Road Safety*, Pergamon, Oxford, UK.
- Hauer E. (2004), *Statistical Road Safety Modeling*, *Transportation Research Record* 1897, 81-87.
- Hauer E., Lovell J., Persaud B.(1986), *New Directions for Learning About Safety Effectiveness*, FHWA-RD-86-015, U.S. DOT.
- Im B. I., Son Y. T., Kim H. S. (2007), An Effect Analysis on the Improvement Strategics Using Empirical Bayes method, *Korean Society of Civil Engineering, Regular Conference*, 1555-1558.
- Jovanis P., Chang H. (1986), Modeling the Relationship of Accidents to Miles Traveled, *Transportation Research Record* 1068, 42-51.
- Kim G. S., Kang S. L. (2003), A Study of the Analysis on the Accident Reduction Effect of the Median, J.

- Korean Soc. Transp., 21(2), Korean Society of Transportation, 45-60.
- Kim T. Y., Park B. H. (2009), Effects on the Accident Reduction of Red Light Camera Using Empirical Bayes Method, *Journal of the Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, 8(6), 46-54.
- Kwon, S. K., Lee, Y. I., Cho, S. J. (2012), Estimation of Traffic Accident Effectiveness of Zig-zag Marking Using a Comparison Group Method, *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, 14(6), 149-158.
- Lee D. M. et al. (2007), A Safety Evaluation of Shoulder Rumble Strips on Freeway Using C-G Method, *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, 9(2), 77-87.
- Lee D. M., Kim D. H., Song K. S. (2011), Analysis of Effects From Traffic Safety Improvement on Roadways Using C-G Method, *J. Korean Soc. Transp.*, 29(3), Korean Society of Transportation, 31-40.
- Lee S. B., Jung D. Y., Kim D. G. (2008), The Effects of a School Zone Improvement Project on Crash Reduction Regarding Land Use Characteristics, *J. Korean Soc. Transp.*, 26(3), Korean Society of Transportation, 109-117.
- Lord D. (2000), The Prediction of Accidents on Digital Networks: Characteristics and Issues Related to the Application of Accident Prediction Models, Ph.D Dissertation, Department of Civil Engineering, University of Toronto, Toronto.
- Lord D., Persaud B. (2004), Estimating the Safety Performance of Urban Road Transportation Networks, *Accident Analysis and Prevention* 36, 609-620.
- Lovell J., Hauer E. (1986), The Safety Effect of Conversion to All-Way Stop Control, *Transportation Research Record* 1068, 103-107.
- Mun S. R. (2011), Development of a Traffic Accident Casualty Prediction Model on Freeway, Ph.D Dissertation, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, Seoul.
- Mun S. R. (2012), Evaluation of Road Safety Audit on existing Freeway by Empirical Bayes Method, *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, 14(2), 117-129.
- Oh H. U., Chang J. H. (2007), Probable Effect of Rumble Strips on Reduction of Traffic Accidents, *Journal of the Korean Society of Road Engineers*, 9(4), 65-74.
- Parajuli B., et al. (2006), Safety Performance Assessment of Interchanges, Ramps, and Ramp Terminals, Annual Conference of the Transportation Association of Canada.
- Park B. H., Jung Y. I., Kim K. H. (2012), Traffic Accident Reduction Effects of the All-Red Clearance Interval (ARCI) Operation, *J. Korean Soc. Transp.*, 30(2), Korean Society of Transportation, 21-27.
- Park K. Y., Kim T. H., Kim S. W., Lee S. B. (2006), Comparing the Effectiveness of Road Safety Features by Spatial Scope of Safety Improvement Project, *J. Korean Soc. Transp.*, 24(4), Korean Society of Transportation, 31-42.
- Park M. H., Park K. Y., Chang I. J., Lee S. B. (2006), Accident Conversion Effect Analysis of Installing Median Barriers, *J. Korean Soc. Transp.*, 24(2), Korean Society of Transportation, 113-124.
- Patel R., Council F., Griffith M. (2007), Estimating Safety Benefits of Shoulder Rumble Strips on Two-Lane Rural Highways in Minnesota, *Transportation Research Record* 2019, 205-211.
- Persaud B. et al. (2001), Observational Before-After Study of the Safety Effect of U.S. Roundabout Conversions Using the Empirical Bayes Method, *Transportation Research Record* 1751, 1-8.
- Persaud B. et al. (2003), Development of a Procedure for Estimating Expected Safety Effects of a Contemplated Traffic Signal Installation, *Transportation Research Record* 1840, 96-103.
- Persaud B. et al. (2004a), Safety Evaluation of Permanent Raised Snow- Plowable Pavement Markers, *Transportation Research Record* 1897, 148-155.
- Persaud B., Retting R., Lyon C. (2004b), Crash reduction following installation of centerline rumble strips on rural two-lane roads, *Accident Analysis and Prevention* 36, 1073-1079.
- SAS 9.2 GENMOD Procedure Manual.

- Sayed T., El-Basyouny K. (2006), Safety Evaluation of Stop Sign In-Fill Program, Transportation Research Record 1953, 201-210.
- Sharma S. L., Datta T. K. (2007), Investigation of Regression-to-Mean Effect in Traffic Safety Evaluation Methodologies, Transportation Research Record 2019, 32-39.
- Shen J., Gan A. (2003), Development of Crash Reduction Factors-Methods, Problems, and Research Needs, Transportation Research Record 1840, 50-56.
- Washington S. P., Mannering F. L. (2003), Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis, Chapman & Hall/CRC.
- Yuan F. et al. (2001), Safety Benefits of Intersection Approach Realignment on Rural Two-Lane Highways, Transportation Research Record 1758, 21-29.
- Yun I. S. et al. (2011), Study of the Effect of the Point-to-Point Speed Enforcement System Using a Comparison-Group Method, Journal of the Korean Society of Road Engineers, 13(4), 177-185.

- ☞ 주 작성 자 : 문승라  
 ☞ 교 신 저 자 : 문승라  
 ☞ 논문투고일 : 2013. 8. 30  
 ☞ 논문심사일 : 2013. 10. 17 (1차)  
                   2013. 11. 14 (2차)  
 ☞ 심사판정일 : 2013. 11. 14  
 ☞ 반론접수기한 : 2014. 4. 30  
 ☞ 3인 익명 심사필  
 ☞ 1인 abstract 교정필