

도로안전시설의 사고감소효과 메타분석 : 신호교차로를 대상으로

최지혜 · 임준범 · 이수범*
서울시립대학교 교통공학과

A Meta Analysis of the Effects of Road Safety Facilities on Accident Reduction: Focusing on Signalized Intersection

CHOI, Ji Hye · LIM, Joon Beom · LEE, Soo Beom*

Department of Transportation Engineering, University of Seoul, Seoul 02504, Korea

*Corresponding author: mendota@uos.ac.kr

Abstract

The number of traffic accidents at intersections has been increased over the past decade, and in 2014, accounted for 44% of the total traffic accidents. In addition, since most of road accident black spots include signalized intersections, the improvement of safety on signalized intersection is top priority for national road safety program in Korea. For the decision of most effective action plan for the safety of signalized intersection, this study conducted meta-analyses to assess the effects of various road safety facilities at signalized intersection on traffic accidents. We selected 19 articles regarding the prediction of traffic accidents at signalized intersection and calculated 34 individual effect sizes on 8 variables included in the articles. The results found that there was a statistically significant negative relationship between the occurrence of traffic accident and the presence of all of road safety facilities except an exclusive left turn bay. It shows that most of the road safety facilities could prevent traffic accidents, and intersection channelization has the most effective on the reduction of traffic accidents followed by left-turn acceleration lane, lightning, crosswalk, exclusive right-turn lane and median barrier.

Keywords: effect of reducing accidents, effect size, meta-analysis, road safety facilities, signalized intersection

초록

교차로에서 발생한 교통사고건수는 최근 10년간 지속적으로 증가하였고, 2014년 전체 교통사고의 44%를 차지하면서 교차로는 교통안전에 취약한 도로형태로 주목되고 있다. 특히 선정된 사고다발지점 대다수가 신호교차로를 포함하고 있어, 신호교차로의 안전개선 노력이 우선적으로 필요한 실정이다. 이에 정부는 주로 도로안전시설 개선사업을 시행하여 주어진 예산 내에서 단기간에 높은 효과를 얻을 수 있는 안전개선사업을 수행하고자 한다. 이를 위하여 도로안전시설의 사고감소효과를 확인하는 연구가 지속적으로 등장하고 있으나 독립적으로 수행된 연구별 특성은 종합하기 어렵고, 각 연구결과가 대표성을 갖는데 한계가 있기 때문에 여전히 한정된 예산과 불확실한 도로안전시설 설치효과로 인해 선뜻 안전개선사업을 진행하지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 메타분석을 통해 기존의 신호교차로 교통사고발생에 영향을 미치는 변인을 활용한 여러 사고예측연구 결과를 종합적으로 검토하고, 각 변인이 대표할 수 있는 개선효과를

J. Korean Soc. Transp.
Vol.34, No.4, pp.291-303, August 2016
<http://dx.doi.org/10.7470/jkst.2016.34.4.291>

pISSN : 1229-1366
eISSN : 2234-4217

Received: 5 February 2016

Revised: 18 April 2016

Accepted: 22 July 2016

Copyright ©
Korean Society of Transportation

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

도출하고자 하였다. 본 연구에서는 신호교차로 전체 사고건수를 종속변수로 하는 연구 중 19건의 논문을 선정하고 8개 변인에 대한 34개의 개별효과크기(effect size)를 산출하였다. 메타분석 결과, 도로안전시설 설치와 신호교차로 교통사고의 관계는 좌회전 전용차로를 제외하고는 모두 통계적으로 유의하게 감소한 사고영향을 나타내어, 도로안전시설이 사고감소에 영향을 준다는 통계적인 결과자료를 도출하였다. 그 중 도류화설치의 효과크기가 가장 높았으며, 좌회전차로 가속구간, 조명시설, 횡단보도, 우회전 전용차로, 중앙분리대 순으로 효과가 높은 것으로 나타났다.

주요어: 사고감소효과, 효과크기, 메타분석, 도로안전시설, 신호교차로

서론

1. 연구배경 및 목적

도로교통공단 교통사고통계에 따르면, 과거 10년간(2005-2014) 교차로에서 교통사고로 인하여 14,869명이 사망하였고, 교통사고건수도 최근 10년간(2005-2014) 지속적인 증가추세를 보이고 있다. 특히 교차로 교통사고건수 증가추세는 단일로의 교통사고건수 증가추세보다 급격한 형태를 보이고 있다. 2014년 작년 한 해 동안에만 교차로에서 99,068건 발생하면서 전체 총 사고건수의 44%를 차지하였으며, 이는 10년 사이 5%p증가한 수치로 교차로 사고건수의 증가하고 있음을 설명한다.

일반적으로 교차로는 정상적인 교통의 진행뿐만 아니라 횡단, 회전 등 교통현상이 매우 복잡하게 나타나 사고발생 가능성이 높다. 게다가 교차로의 교통사고는 단순히 교차로의 사고로 끝나지 않고 그 교차로가 속하고 있는 도로축의 교통 체증을 불러일으켜 막대한 경제적 손실을 일으킬 수 있기 때문에 교차로 안전개선노력이 반드시 필요하다.

실제로 매년 교차로를 포함한 교통사고 다발지점의 안전개선을 위하여 사고 잦은 곳 개선사업, 교통안전 특별실태조사를 통해 효과적인 개선사업을 수행하고자 노력하고 있다. 그러나 교통사고 다발지점의 안전개선사업은 그 지점이 속한 지자체의 한정된 예산을 통해 시행되는 것이기 때문에 전문가들이 제시한 개선대안을 모두 시행하지 못하고 있는 실정이다. 우선적으로 도로의 증설, 확장 및 선형개량 등의 대규모 사업을 시행하는 것은 금전적, 시간적으로 한계가 있기 때문에 지자체는 단시간에 비교적 적은 비용으로 효과를 볼 수 있는 도로안전시설 설치·보수사업을 꾸준히 선호하고 있다. 그러나 여전히 한정된 사업예산과 불확실한 개선안의 사고감소효과로 인해 비교적 저예산의 도로안전시설 설치·보수사업 또한 선뜻 진행하는데 어려움을 겪고 있다.

이를 해결하기 위해 최근 학계에서 도로설계 시 교통조건, 도로조건, 교통운영상의 조건 등 교차로 교통사고에 관련한 변인에 대한 연구가 지속적으로 등장하고 있다. 그러나 각 연구의 표본 수로는 전체에 대한 대표성을 갖기에 한계가 있으므로, 분석자에 따라 다양한 연구 결과값을 임의로 값을 적용하게 되어 합리성이 결여될 수 있다. 연구마다 연구조건, 시기, 지역 등의 연구 특성이 다르며, 각각의 연구들이 독립적으로 이루어져 교통사고에 영향을 미치는 변인에 대해 종합적인 결론을 끌어내는데 어려움이 있기 때문이다.

따라서 안전개선사업 시행자의 사업시행 결정에 대한 근거를 제시하기 위하여 기존의 교차로 교통사고 변인에 관한 연구에 대해 누적된 연구결과들을 종합적으로 검토하는 연구를 수행할 필요가 있다.

한편, 교차로는 신호운영의 유무에 따라 통행패턴 및 사고특성이 다르게 나타나기 때문에 도로안전시설 효과 또한 다르게 나타날 것이라 예상된다. 이에 본 연구는 우리나라의 교차로 대부분이 신호교차로로 운영된다는 점과 사고다발지점으로 선정되는 지점 대부분이 신호교차로인 점에 주목하여 신호교차로의 도로안전시설의 사고감소효과를 연구한 논문을 종합하고자 한다.

2. 연구의 목적

첫째, 본 연구는 선행연구들을 종합, 정리하여 신호교차로 교통사고에 영향을 미치는 변인에 대한 비슷한 연구들

이 반복되는 비효율성을 감소시키고 교통사고에 영향을 미치는 변인에 대해 포괄적으로 연구를 확대할 수 있는 계기 마련하고자 한다.

둘째, 각 안전시설물 설치의 사고 관련 효과를 종합하여 일반적인 결론을 도출하고, 신호교차로 안전개선사업 시행자가 안전개선사업의 근거자료로 활용할 수 있도록 한다.

3. 용어의 정의

1) 도로안전시설

도로안전시설이란 도로교통의 원활한 소통과 안전도를 높이고, 도로의 구조 상태를 보완하여 도로이용자에게 안전을 도모하기 위해 설치하는 시설물로 『도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 제37조(구, 도로구조령 제32조)』에서는 “교통사고의 방지를 위하여 필요하다고 인정되는 경우에는 횡단보도육교, 교통안전표지, 방호울타리, 조명시설, 시선유도시설, 표지병, 도로반사경, 충격흡수시설 및 과속방지시설 등의 교통안전시설을 설치하여야 한다”고 규정하고 있다. 도로교통상의 위험과 장애를 제거하고 안전하고 원활한 교통을 확보하기 위한 도로안전시설은 크게 차량방호안전시설, 교통관리안전시설, 시선유도 및 시인성 증진시설, 기타 안전시설로 구분할 수 있다.

연구방법

1. 연구과정

본 논문은 신호교차로를 대상으로 도로안전시설의 사고감소효과에 대해 메타분석한 연구이다. 메타분석이란 선행연구들의 결과를 객관적이고 통계적으로 요약하여 종합·고찰하는 방법이다. 기존 1차 자료를 사용하는 대신 선행연구의 결과물들을 분석대상으로 사용하고, 다양한 통계적 방법을 사용하여 분석된 연구결과를 통합하기 위해 각 연구에 제시된 개별 요약 통계값을 동일한 측정단위로 표준화시킨 효과크기로 환산하여 분석하는 방법이다.

그러나 메타분석은 단순히 연구 결과에 대한 통계적 분석만을 시도하는 것이 아니라 통계적인 분석 이전에 거쳐야 할 여러 단계들이 있는데, Jackson(1980)은 연구를 위한 질문이나 가설 설정, 연구논문 표집 또는 선정, 연구자료들의 특성 변인 코딩, 연구결과의 메타통계 분석, 통계 분석된 자료 해석, 메타분석을 통해 얻어진 결과를 작성하는 여섯 단계의 절차를 제시하였다(윤연희, 2008). 정애경(2007)은 Jackson(1980)의 연구절차를 기반으로 연구문제 설정, 연구자료의 수집 및 선정, 분석대상 논문 특성 확인, 메타분석, 분석결과의 제시 및 해석, 연구결과의 기술로 연구절차를 정리하였으며, 본 연구는 정애경(2007)의 연구절차를 따른다.

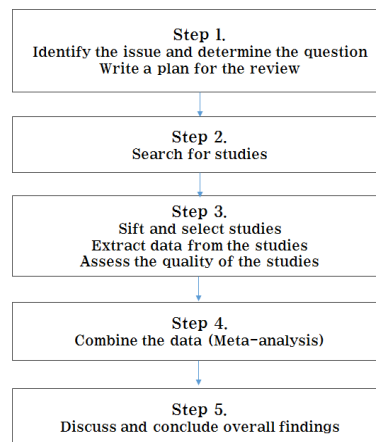


Figure 1. Procedure of study

2. 연구 대상 및 자료수집방법

1) 연구대상

이 연구에서 우선적으로 현재 간행된 모든 교차로 교통사고를 종속변인으로 하는 논문을 대상으로 수집하였다. 도로안전시설의 사고감소효과에 대한 기존 연구방법은 현황적 분석(Cross-Sectional Analysis)방법과 사전·사후비교(Before-and-After Study)방법으로 구분할 수 있다(Hauer, 1997).

현황적 분석방법은 어떤 개선대안이 적용된 지점그룹과 적용되지 않은 지점그룹간의 교통사고 경험을 비교하는 것이다. 현황적 분석방법은 일반적으로 회귀분석을 사용하며, 개선 전·후에 대해 도로구간의 특성변수에 따른 교통사고발생건수를 추정·비교하여 개선효과로 산정한다. 현황적 분석방법은 적용된 모형에 따라 선형회귀분석법, 로그 선형모형(포아송, 음이항 모형 등), 사고 '0'지점 고려모형, 베이지안 방법 등이 있다.

사전·사후분석방법은 개선사업이 시행되지 않았을 때의 예측사고건수와 실제 관측된 사후 사고건수를 비교하여 효과도를 추정하는 방법이다. 최근 사전·사후분석방법을 활용한 연구가 많이 등장하고 있으나, 대부분의 연구에서 메타분석에 필요한 표준편차 정보가 불충분하게 제시되고 있었다. 따라서 본 연구에서 수집된 자료의 통계학적 분석은 현황적 분석에 따른 회귀모형을 이용한 다변량 분석법을 이용하여 실험-비교그룹 연구형태로 분석하고 있다. 본 연구의 분석대상이 되는 각 논문에서 제시한 모형은 신호교차로의 총 사고건수에 관련한 여러 독립변인을 포함하며, 하나의 독립변인 계수는 하나의 효과크기로 산출한다.

2) 자료수집방법

교차로 사고예측모형을 규명한 연구에 대하여 국내학술지의 경우 연구재단 등재 학술지에 게재된 논문으로 한정하고, 국외의 SCI, SCIE급의 학술지 및 박사논문으로 한정하여 총 134건의 논문을 수집하였다. 이들 문헌의 검색을 위해 한국교육학술정보원 학술연구정보서비스(RISS), 누리미디어(DBPIA), Science Direct 등 학술데이터베이스를 이용하였으며, 검색 키워드는 "intersection"를 필수 키워드로 검색하여 사고예측모형을 중심으로 연구논문을 수집하였다.

3) 자료 선정

수집된 논문 중 본 연구의 주제에 맞춰 신호교차로 교통사고 발생건수를 종속변인으로 하고 그에 영향을 미치는 도로환경적 요인들을 독립변인으로 하는 논문을 선정하였다. 최적의 결과를 도출하기 위하여 전문가의 자문을 얻어 주관적으로 연구사례를 선별하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

- 1) 비신호 교차로에 대한 연구나 교차로 신호운영에 관계없이 전체 교차로에 대해 연구한 것은 제외하였다.
- 2) 신호교차로 교통사고에 대한 연구이지만 종속변인이 사망사고나 부상사고, 물피사고 등 사고심각도별로 분석한 연구는 제외하였다.
- 3) 사고유형별 사고건수, 특정 차종에 대한 사고건수 등 특정 대상에 대한 연구는 제외하였다.
- 4) 학위논문과 학술지에 중복 게재된 경우 분석결과의 질을 고려하여 학위 논문을 제외하였다.
- 5) 연구방법에 있어서 통계적으로 수량화한 연구 논문이지만 메타분석 시 공동단위(unit)로 변환에 필요한 표준편차나 t값 등의 정보가 없는 등 정보가 부족한 연구논문을 제외하였다.
- 6) 현황적 분석은 설명력 높은 모형적합이 어려울 경우 효과도의 신뢰성을 확보하기 어렵기 때문에 확률오차가 큰 선형모형(linear regression model)를 이용하여 교통사고건수를 예측 연구한 사례도 제외하였다.

위와 같은 선정 기준에 의해 총 41개의 논문을 본 연구의 분석대상으로 선정하였고, 분석대상 논문은 코딩 후 총 238개의 효과크기가 추출되었다. 그리고 본 연구의 통일성 및 일관성 있는 종합분석을 위하여 아래와 같은 이유로 다음 변인들을 제외하였다.

- 1) 교통특성 및 도로구조와 관련한 변인 118개 효과크기를 제외하였다. 수집된 연구에서 제시한 모형의 독립변수로서 교통량(AADT), 평균접근속도, 중차량 비율 등의 교통특성과 종단경사, 차로수, 교차로 면적 등의 도로구조, 안전시설물에 대한 변수가 다수 포함되어 있었으나, 본 연구는 비용적, 시간적 문제가 적은 도로안전시설의 설치에 따른 사고감소효과 산정을 목적으로 하고 있기 때문에 교통특성, 도로구조 관련한 변인은 본 메타분석 대상에서 제외하였다.
- 2) 연속형 변수 및 범주화 방식에 차이가 있는 변인 61개 효과크기를 제외하였다. m, m², 개 등의 단위를 가진 연속형 변수인 경우 종속변수인 사고발생건수와 연속형 이원적 데이터를 이름으로써 상관계수(r)의 유형으로 효과크기를 산출하고 해석하여야 한다. 그러나 상관계수(r)을 활용하여 독립변수의 효과도를 해석하는 것은 한계가 있기 때문에 메타분석 대상에서 제외하였으며, 더미변수 중 범주화 방식에 차이가 있는 경우는 효과크기 산정하는 범위가 연구마다 다양하게 나타나기 때문에 연구 대상에서 제외하였다.
- 3) Shapiro(1965)에 따라 유의성 검정(Z-검정)은 관측치의 대표성을 판단하는데 표본 수가 최소 3개인 경우에 검증이 가능함을 가정하여 같은 변인에 대한 연구사례가 3건 미만인 총 25개의 효과크기를 제외하였다. 따라서 본 연구는 논문간 통합에 필요한 효과크기(effect size)가 적어도 3편 이상의 논문에서 수집되는 결과변인에 대해서만 분석을 시행하였다.

논문주제에 적합한 변인을 선정하는 과정을 통해 19개 논문에서 8개 독립변인에 대한 총 34개의 효과크기를 산출한다.

3. 자료처리

1) 자료의 코딩

자료의 코딩은 연구대상 논문을 일괄적으로 정리하기 위해서 일정한 code book을 만들어 코딩 양식에 따라 연구 논문을 정리하였다. 코딩표는 개별 연구의 효과크기에 영향을 미칠 것으로 예상되는 개별 연구의 특징적인 정보를 입력하였다. 코딩 구성은 일련번호, 연구자, 출판연도, 국적, 연구대상, 대상지점 수, 지역구분, 교차로 형태, 분석방법, 독립변인, 종속변인, 통계값 등을 포함하였다.

연구자별 각기 다른 용어와 방법으로 측정된 독립변인은 그 의미를 최대한 유지할 수 있도록 하는 범위 내에서 통합분류 하였다. 코딩표에서 독립변인과 종속변인의 관계를 측정한 각종 통계치는 메타분석의 공통단위인 효과크기(effect size, ES) 변환을 위해 대상지점 수, 회귀계수(β) 및 표준오차(se), t값, 상관계수(r), p값, CI 등을 전산 입력하였다.

Table 1과 같이 선정된 19편 연구의 출처는 국내 9건, 국외 10건이며, 3지 교차로나 4지 교차로만을 대상으로 연구한 경우와 가지 수를 고려하지 않고 연구한 논문을 모두 포함한다. 한편, 선정된 연구 중 사고예측모형으로 Negative Binomial Regression model을 활용한 연구가 8건으로 가장 많았으며, Poisson model을 활용한 연구가 7건이 포함되었다.

2) 자료의 변환

분석자료의 연구 결과들이 다양한 형태로 제시하고 있는 통계 값들을 종합하기 위해서는 하나의 통일된 효과크기로 변환시켜야 한다. 효과크기를 공통 지수로 나타내는 방법은 표준화된 평균차(standardized mean difference)로 나타내는 효과크기(ES_d), 상관계수(correlation coefficient)의 효과크기(ES_r), 오즈비(Odd Ratio)의 효과크기 등이 널리 쓰이고 있다. 표준화된 평균차(Cohen's d)는 연속형 일원적 데이터, 상관관계 계수(r)은 연속형 이원적 데이터에 대하여 쓰일 수 있으며, 오즈비(Odd Ratio) 및 상대위험도(Risk Ratio)는 이분형 데이터에 쓰일 수 있다.

(1) 효과크기 산출

연구자별 각기 다른 용어와 방법으로 측정한 독립변인은 그 의미를 최대한 유지할 수 있도록 하는 범위 내에서 통합·분류 효과크기를 표현하는 방법이나 각각의 효과크기 유형에 따라 효과크기의 산출방식은 다르므로, 메타분석의 연구 목적에 맞게 효과크기의 유형을 결정하고 각 유형에 따른 효과크기를 산출하는 방식을 결정해야 한다.

본 연구에서 수집된 연구들의 종속변수는 교통사고건수이므로 연속형 변수이며, 자료 선정과정에서 선정된 설명 변수는 이분형 변수이므로, 표준화된 평균차의 효과크기를 산출한다. 표준화된 평균차의 효과크기는 통합연구에 있어서 연속형 자료를 사용하여 측정된 두 집단 사이 상대위험도의 양, 반응관계를 비교할 때 사용되는 방법으로, 각각의 통계값을 표준화된 평균차 효과크기(d)로 변환한다. 본 연구에서는 주로 설명변수의 회귀계수와 표준오차를 계산하여 구한 표준화계수를 효과크기로서 사용한다. 즉, 각 독립변인 계수를 평균=0, 표준편차=1의 분포로 표준화시켜 분석하고, 여러 표준화 계수의 절대값을 통해 종속변수에 대한 영향력을 비교하며, 효과크기로 변환하는 공식을 제시하면 다음과 같다.

Table 1. Review the selected studies

Author(year of publication)	Nation	Year of Data	Section	#- way	# of intersec-tion	Model	Road safety features (Independent variable)
Lee. D. M.(2008)	South Korea	2004	rural	3	93	Gamma	Crosswalk, Lighting, left-turn lanes
Park. J. S.(2006)	South Korea	2004	A	4	181	Multiple linear regression	left-turn lanes
Oh. J. T.(2013)	South Korea	2006	rural	4	117	Poisson	Crosswalk, Lighting, Lighting, right-turn lanes
Lee. S. H.(2015)	South Korea	2007-2012	urban	-	89	Negative Binomial regression	right-turn lanes
Park. B. H.(2010)	South Korea	2005	A	A	140	Poisson	left-turn lanes, right-turn lanes, channelization, Lighting
Kim. E. C.(2008)	South Korea	2004	rural	4	103	Poisson	Crosswalk, Lighting
Oh. J. T.(2005)	South Korea	since 2001	rural	-	77	Poisson	median
Lee. K. H.(2015)	South Korea	2007-2010	rural	-	156	Negative Binomial regression	left-turn lanes, Crosswalk
Kim. T. Y.(2012)	South Korea	2000-2007	A	-	24	Poisson	surveillance camera, left-turn lanes
Mohamed Abdel-Aty(2006)	U.S.A	1999-2000	A	-	476	Negative Binomial regression	left-turn lanes, right-turn lanes
Oh. J. T.(2004)	U.S.A	1991-1998	rural	4	100	Poisson and Negative Binomial regression	Lighting
Mark Poch(1996)	U.S.A	1987-1993	urban	-	63	Negative Binomial regression	left-turn lanes
Hoong Chor Chin(2003)	Singapore	1992-1999	A	4	52	Negative Binomial regression	Acceleration section on left-turn lanes, surveillance camera
S.S.P. Kumara(2005)	Singapore	1992-2000	urban	3	312	Poisson	channelization, Acceleration section on left-turn lanes, median, surveillance camera
Helai Huang(2013)	Singapore	1997-2006	A	4	582	Hierarchical Poisson(AR-1)	surveillance camera
S.S.P. Kumara(2002)	Singapore	1992-2000	A	3	104	Zero-Inflated Negative Binomial	channelization, Acceleration section on left-turn lanes, median
Helai Huang(2006)	Singapore	-	A	4	15	Binary logit	surveillance camera
Sudeshna Mitra(2012)	India	2001-2004	urban	-	291	Random-parameter Negative Binomial	left-turn lanes
Tim De Ceunynck(2011)	Belgium	2000-2003	A	-	213	Negative Binomial regression	median

$$\text{Regression coefficient}(\beta) : ES_d = \frac{\beta}{se \sqrt{n-1}} \tag{1}$$

$$\text{Correlation}(r) : ES_d = \frac{2r}{\sqrt{1-r^2}} \tag{2}$$

또한 변인별 개별효과크기의 평균값을 산출하는 데에 연구의 타당도를 높이기 위해 Hedges(1985)가 제안한 분산의 역수를 가중치로 부여한다.

$$\text{역분산 가중치 } w_i = \frac{1}{v_i} \tag{3}$$

w_i : 역분산가중치.

n : 많은 연구일수록 분산값 작다는 원리

이상의 방법을 통해 산출된 효과크기와 역변량 가중치를 사용하여 아래와 같이 변인별 평균 효과크기(\overline{ES})를 계산한다.

$$\text{가중평균치 } \overline{ES} = \frac{(ES_1 * w_1) + (ES_2 * w_2) + \dots + (ES_n * w_n)}{w_1 + w_2 + \dots + w_n} \tag{4}$$

$$\text{표준오차 } SE(\overline{ES}) = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^k w_i}} \tag{5}$$

(2) 효과크기 해석

서로 다른 척도를 사용한 연구라 할지라도, 효과크기는 두 집단의 평균 차이를 공통의 기준에 의거하여 나타낸 점수이므로, 효과크기의 수치들은 서로 의미 있게 비교하고 해석할 수 있게 된다. 개별 표준화 평균차의 효과크기에 대한 해석은 평균 0, 표준편차 1인 정상분포곡선에서 표준점수 Z에 관한 해석을 하는 것과 같다. 효과크기를 해석하는 방법은 Cohen(1988)의 기준을 활용하는데, 표준화 평균차의 효과크기는 $ES \leq 0.20$ 은 적은 영향, $ES = 0.50$ 은 중간 정도의 영향, $ES \geq 0.80$ 은 많은 영향이라고 해석하였다. 그러나 표준화된 평균차의 효과크기를 의미있게 해석하기 어렵기 때문에 본 연구에서는 비중복 백분위(U_3 : percentile of nonoverlap)를 함께 제시한다. 비중복 백분위는 효과크기가 정규분포를 따른다는 전제하에 정규분포표에서 효과크기 값에 상응하는 Z값을 찾아 이를 다시 백분율로 표시하여 해석하는 것으로, 메타분석의 결과를 보다 직관적으로 확인하는데 도움을 준다(김보영, 2009). 이것은 정상분포곡선에서 평균수준을 50.0%로 했을 때, 실험집단의 사고발생과 비교집단의 사고발생 가능성을 비교할 수 있다. 예를 들면, 조명시설의 설치 효과크기 -0.31는 Z에 해당하는 값이 -4.60가 되고 백분율로 고친 비중복백분위 U3값은 37.72%가 된다. 이것은 정상분포곡선하에서 평균 수준을 50.0%로 했을 때, 조명시설이 설치된 지점 중 교통사고가 발생할 가능성은 설치되지 않은 지점과 비교할 때 37.72%에 해당한다는 의미로, 조명시설 설치 지점이 설치되지 않은 지점보다 사고날 경우가 12.28%만큼 낮다는 것을 의미한다.

(3) 동질성 검증

분석대상이 되는 연구물들에 대한 평균 효과크기가 구해지고 나면 전체 집단 혹은 그룹별 평균 효과크기에 대한 평균차를 검정한다. 즉, 분석대상이 되고 있는 효과크기들이 모집단의 효과크기를 잘 나타내 주고 있는가의 여부를 위해 다음과 같이 효과크기의 동질성 검사(test for homogeneity of effect size)의 실시한다. 동질성 검정 통계량(Q) 값에 대한 해석은 χ^2 분포(df=k-1)에 근거하며, Q값의 유의수준 p값이 χ^2 의 한계값(critical value, 0.05)보다 작으면 메타분석의 대상이 되는 각각의 연구들이 동질한 경우로 판단하고 평균 효과크기를 그대로 사용하였으며, 이질적인 경우 동일한 모집단으로부터 무작위로 표집된 연구라는 가정하에 랜덤효과 모형을 사용하여 효과크기를 산출하였다.

(4) 신뢰도 검증

출판편의(Publication bias)로 인한 결과의 편향 위험성을 평가하기 위해 안전계수공식을 활용하였다. 메타분석으로 종합된 효과는 일반적으로 유의하나, 병합된 효과크기가 유의하지 않은 것으로 나타나기 위해 숨겨진 연구들이 얼마나 더 필요한지 계산하는 방법이다(Orwin, 1983). 본 연구에서 안전계수(fail-safe number, N_{fs})는 Cohen(1988)이 제시한 효과크기의 해석 기준을 적용하여 산출하며, 안전계수를 구하기 위한 효과크기(d_c)는 Cohen(1988)의 해석방법 중 작은 효과크기를 나타내는 .05으로 설정하였다. ‘안전하다’ 판단할 수 있는 기준은 일반적으로 $5n+10$ (n =분석에 포함된 연구의 수) 이상이어야 한다. 안전계수가 큰 경우 숨겨진 논문이 그렇게 많을 수 없으므로 메타분석 결과가 의미있다고 판단하고, 작은 경우 적은 수의 논문을 추가함으로 쉽게 결과가 바뀔 수 있기 때문에 메타분석 결과를 신뢰하기 힘들다고 판단할 수 있다.

$$N_{fs} = k(d - d_c) / (d_c - 0) = k(d - d_c) / d_c \tag{6}$$

여기서, d : 효과크기의 평균
 d_c : 평균효과크기의 최소값

4. 통계처리방법

본 연구에서는 Excel 2013을 이용하여 수집된 연구결과들의 입력 및 본 연구에서 수행된 메타분석 등을 통계 처리하였다.

메타분석 결과

본 절에서는 총 19건의 논문에서 34개의 개별효과크기(effect size)를 산출하여 변인별로 통합효과크기(effect size), 표준편차, 비중복 백분위 등을 산출한 결과를 종합 제시하였다.

본 연구의 자료 선정 결과, 신호교차로 사고에 대한 관련 도로안전시설로 조명시설, 좌회전차로, 좌회전차로 가속구간, 도류화, 횡단보도, 중앙분리대, 우회전차로, 단속카메라가 추출되었으며, 대상 변인별로 계산된 회귀계수(β)와 표

Table 2. A result of meta-analysis for road safety features

Road safety features	# of Study	# of Intersection	Q(p)	SMD	95%CI	Z(p)	U_3	fail-safe n
Lighting	6	670	2.59 (0.76)	-0.31	-0.45~-0.18	-4.60 (<0.001)	37.72 (-12.28%)	32
Left-turn lane	6	1,260	193.15 (0.0)	0.26	-0.37~0.88	0.80 (0.43)	60.07 (+10.07%)	95
Acceleration section on left-turn	3	468	1.15 (0.56)	-0.33	-0.48~-0.17	-4.15 (<0.001)	37.13 (-12.87%)	17
Channelization	3	556	1.61 (0.45)	-0.50	-0.67~-0.33	-5.80 (<0.001)	30.78 (-19.22%)	28
Crosswalk	4	469	0.04 (1.00)	-0.24	-0.45~-0.03	-2.27 (0.02)	40.55 (-9.45%)	16
Medians	4	706	0.97 (0.81)	-0.20	-0.33~-0.07	-2.97 (<0.001)	42.08 (-7.92%)	12
Right-turn lane	3	1,041	5.00 (0.08)	-0.24	-0.37~-0.05	-2.57 (0.01)	40.62 (-9.38%)	12
Surveillance camera	5	985	42.47 (0.00)	-0.45	-0.73~-0.17	-3.14 (<0.001)	32.60 (-17.40%)	35

준오차(standard error)를 계산하여 각 변인의 효과크기(effect size)을 병합하였다. 그리고 수량적으로만 제시하는 메타분석의 단점을 보완하기 위해 선정된 연구의 결론을 종합하여 변인별 메타분석 결과에 대한 원인 등을 조사하였다.

‘조명시설’의 교통사고감소효과크기는 총 6개 연구에서 총 670개의 지점을 대상으로 분석하였으며, 각 논문으로부터 얻어진 자료는 동질성을 나타내었다. 통합된 표준화 평균차는 -0.31 (95% CI: $-0.45 \sim -0.18$)로 조명시설의 사고감소효과는 유의하게 나타났다($P < 0.001$). 표준화된 평균차 -0.31 이 Z에 해당하는 값, 즉, 비중복 백분위(U_3)가 37.72%로 나타나면서 조명시설이 설치된 교차로에서 사고가 발생할 가능성은 설치되지 않은 교차로보다 12.28%만큼 낮은 것으로 해석할 수 있다. 조명시설은 가시범위가 제약되어 돌발상황에 대한 운전자의 인지반응 시간이 감소하는 야간시간 등에 대하여 운전자의 시야확보할 수 있도록 도로를 밝혀줌으로써 메타분석 결과와 같이 사고감소효과에 기여한다고 판단된다. 그러나 Nfs는 약 25편으로 나타나, 평균효과크기 -0.31 를 해석하는데 출판편의의 개연성을 완전히 배제할 수 없는 결과값이라 할 수 있다.

총 6개 연구에서 총 1,260개의 지점을 대상으로 ‘좌회전 전용차로’의 교통사고감소효과를 분석하였으며, 동질성 검정결과 Q통계량은 193.15($P=0.00$)로 각 논문으로부터 얻어진 자료는 이질성을 보였다. 따라서 각 논문별 표준화된 평균차 통합하기 위해 랜덤효과모형을 사용하였다. 랜덤효과모형에 따라 통합된 표준화 평균차는 0.26(95% CI: $-0.37 \sim 0.88$), Z 통계량은 0.80($P=0.43$)로 좌회전 전용차로의 사고증가효과는 유의하지 않은 것으로 나타났다. 한편, 좌회전 전용차로는 이러한 결과는 연구마다 좌회전 전용차로의 설치에 따른 교통사고 관계 양상이 다르게 나타나면서 서로의 부호가 상쇄된 것으로 보인다. 이는 좌회전 전용차로를 설치함으로써 대향차량 및 직진차량과 좌회전차량과의 상충이 감소되기도 하나, 좌회전 차량 대기 시 직진차량의 시야제한이 발생하고, 좌회전 전용차로의 길이가 충분히 제공되지 못한 경우 직진차량과 추돌사고 등 상충이 오히려 발생할 가능성이 증가하기 때문으로 분석된다.

‘좌회전차로 가속구간’은 차량이 좌회전하여 진입하는 도로에 중앙분리대가 충분히 넓은 경우 좌회전차량이 본차로로 합류할 수 있도록 전용 가속구간을 설치한 것을 말한다. 이러한 좌회전차로 가속구간에 대하여 총 3개 연구에서 총 468개의 지점을 대상으로 분석하였으며, 각 논문으로부터 얻어진 자료는 동질적이었다. 따라서 고정효과모형에 따라 통합된 표준화 평균차는 -0.33 (95% CI: $-0.48 \sim -0.17$)로 좌회전 전용차로의 가속구간 사고감소효과는 유의하게 나타났다. 평균 효과크기에 대한 비중복 백분위(U_3)가 37.13%로 나타나면서 좌회전 전용차로의 가속구간이 설치된 교차로그룹에서 사고가 발생할 가능성은 설치되지 않은 비교그룹보다 12.87%만큼 낮다는 것으로 해석할 수 있다. 이는 교차도로의 교통류와 좌회전 합류차량의 속도차를 줄여 보다 안전한 합류를 가능하게 함으로써 교차로 사고감소에 기여하는 것으로 판단된다. 그러나 ‘좌회전차로 가속구간’의 Nfs는 17편으로, 안전계수보다 낮게 나타나 결과에 대한 신뢰성은 안전하지 않은 것으로 나타났다.

‘도류화’에 대하여 총 3개 연구에서 총 556개의 지점을 대상으로 분석하였으며, 동질성을 검정한 결과, 동질적인 것으로 나타났다. 고정효과모형에 따라 통합된 표준화 평균차는 -0.50 (95% CI: $-0.67 \sim -0.33$)로 도류화 설치 시 사고감소효과는 유의하게 나타났다. 평균효과크기에 대한 비중복 백분위(U_3)가 30.78%로 나타나면서 도류화가 설치된 교차로그룹에서 사고가 발생할 가능성은 설치되지 않은 비교그룹보다 29.22%만큼 낮다는 것으로 해석할 수 있다. 이는 도류화를 통해 일반적으로 상충하는 교통류를 분리시키거나 규제하여 명확한 통행경로를 지시함으로써 차량과 보행자를 안전하고 질서있게 이동시킬 수 있는 것으로 알려져 있는 것과 같은 양상을 보이고 있다.

‘횡단보도’는 총 4개 연구에서 총 469개의 지점을 대상으로 분석하였으며, 각 논문으로부터 얻어진 자료는 동질성을 보였다. 따라서 고정효과모형에 의해 통합된 표준화 평균차는 -0.24 (95% CI: $-0.45 \sim -0.03$)로 횡단보도의 사고감소효과는 유의하게 나타났다. 비중복 백분위(U_3)가 40.55%로 나타나면서 횡단보도가 설치된 교차로그룹에서 사고가 발생할 가능성은 설치되지 않은 비교그룹보다 9.45%만큼 낮다는 것으로 해석할 수 있다. 횡단보도는 보행자의 횡단을 보장해주는 역할뿐만 아니라 교차로 접근차량의 정지위치를 후퇴시켜 상충발생 가능성을 감소시킬 수 있기 때문에 이러한 감소효과가 나타나는 것으로 판단된다. 그러나 Nfs가 16편으로 나타나 결과의 신뢰성을 확보하기 위하여 보다 많은 수의 연구결과를 병합해야할 필요가 있다.

‘중앙분리대’의 설치효과는 총 4개 연구에서 총 708개의 지점을 대상으로 분석하였으며, 동질성검정결과 Q통계량은

0.97($P=0.81$)로 각 논문으로부터 얻어진 자료는 동질적이었다. 따라서 각 논문별 표준화된 평균차 통합하기 위해 fixed effect 모형을 사용하였다. 고정효과모형에 따라 통합된 표준화 평균차는 $-0.20(95\% \text{ CI: } -0.33 \sim -0.07)$, Z 통계량은 $-2.97(P<0.001)$ 로 중앙분리대의 사고감소효과는 유의하게 나타났다. 비중복 백분위(U_3)가 42.08%로 나타나면서 중앙분리대가 설치된 교차로 그룹에서 사고가 발생할 가능성은 설치되지 않은 비교그룹보다 7.92%만큼 낮다는 것으로 해석할 수 있다. 그렇지만 안전성 계수(Nfs)에 의해 분석된 가중평균 효과크기 값을 효과크기 0.05이하로 떨어뜨리기 위해서 평균 효과크기가 0에 가까운 연구의 필요한 개수는 12편인 것으로 나타나 다소 신뢰도가 낮은 결과라 판정되었다. 교차로에서의 중앙분리대는 보행자의 무단횡단을 막고 양방향 차선을 분리함으로써 차량간의 상충을 방지하고 교차로 통행시 차량의 연속성을 유지하면서 가장 위험한 정면충돌사고를 방지하는 기능을 함으로써 교차로 사고감소에 기여하는 것으로 판단되었다. 그러나 교차로에서 발생하는 사고는 주로 측면충돌, 추돌사고의 형태로 발생하기 때문에 중앙분리대의 교차로 전체 교통사고 감소효과는 상대적으로 낮게 나타난 것으로 보인다.

‘우회전 전용차로’에 대하여 총 3개 연구에서 총 1,041개의 지점을 대상으로 분석하였으며, 동질성검정결과 Q통계량은 5.00($P=0.08$)로 각 논문으로부터 얻어진 자료는 동질적이었다. 따라서 각 논문별 표준화된 평균차 통합하기 위해 fixed effect 모형을 사용하였다. Fixed effect 모형에 따라 통합된 표준화 평균차는 $-0.45(95\% \text{ CI: } -0.37 \sim -0.05)$, Z 통계량은 $-2.57(P=0.01)$ 로 우회전 전용차로의 사고감소효과는 유의하게 나타났다. 표준화된 평균차 -0.45 가 Z에 해당하는 값, 즉, 비중복 백분위(U_3)가 40.62%로 나타나면서 우회전 전용차로가 설치된 교차로그룹에서 사고가 발생할 가능성은 설치되지 않은 비교그룹보다 9.38%만큼 낮다는 것으로 해석할 수 있다. 일반적으로 우회전차량의 사고는 동일방향의 직진차량과 후면추돌사고, 대향차량의 측면충돌형태로 주로 발생한다. 우회전차량은 교차도로로 진입하기 위해 감속해야 하는데 이 때 같은 차로로 이동하는 차량 중 속도를 유지하려는 차량과 속도차를 보이면서 후면추돌사고가 발생하며, 교차도로 진입 시 교차도로의 직진차량과 측면추돌사고 발생하는 것이다. 이에 따라 우회전 전용차로를 설치함으로써 우회전차량은 우회전 전용차로는 동일방향의 직진차량이나 대향차량과 우회전차량을 구분하여 차량간 상충을 줄임으로써 사고를 감소시킬 수 있다고 판단할 수 있다. 그러나 Nfs가 약 12편으로 유의하지 않은 12편이 추가됐을 때 쉽게 번복될 수 있기에 결과에 대한 신뢰성은 안전하지 않은 것으로 나타났다.

‘단속카메라’는 신호, 과속에 대해 모두 단속하기 위해 설치된 카메라로, 단속카메라의 효과를 연구한 총 5개 논문에서 총 985개의 지점을 대상으로 분석하였다. 동질성검정결과, 각 논문으로부터 얻어진 자료는 이질성을 보여 랜덤 효과모형으로 효과크기를 통합하였다. 통계결과, 표준화 평균차는 $-0.45(95\% \text{ CI: } -0.73 \sim -0.17)$ 로 단속카메라(신호·과속)의 사고감소효과는 유의하게 나타났다. 비중복 백분위(U_3)가 32.60%로 나타나면서 단속카메라가 설치된 교차로에서 사고가 발생할 가능성은 설치되지 않은 교차로보다 17.4%만큼 낮다는 것으로 해석할 수 있다. 김태영(2012)는 미설치교차로에 단속카메라가 설치될 경우 40개 지점 중 33개 지점에서 사고감소를 예측하였으며, 그 중 7개 교차로에서 10건 이상의 사고감소를 예측하였다. 이와 같이 단속카메라(신호·과속)는 신호위반 및 과속을 억제하면서 운전자의 조심스러운 운전을 유도하는 역할을 하는 것으로 판단된다.

결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 도로안전시설 설치 따른 일반적인 사고감소효과를 도출하고자, 신호교차로를 대상으로 총 교통사고 건수에 대한 도로안전시설의 영향을 연구한 논문 19건을 대상으로 메타분석하였다. 자료 선정을 통해 도출된 변인은 도로안전시설로 분류되는 조명시설, 좌회전 전용차로, 좌회전차로 가속구간, 도류화, 횡단보도, 중앙분리대, 우회전 전용차로, 단속카메라를 포함하고 있다.

메타분석 결과, 도로안전시설 설치와 신호교차로 교통사고의 관계는 좌회전 전용차로를 제외하고는 모두 통계적으로 유의하게 감소한 사고영향을 나타내어, 도로안전시설이 사고감소에 영향을 준다는 통계적인 결과를 도출하였다. 그 중 도류화설치의 사고감소효과크기가 가장 높았으며, 단속카메라, 좌회전차로 가속구간, 조명시설, 횡단보도, 우회전 전용차로, 중앙분리대 순으로 효과가 높은 것으로 나타났다.

본 연구결과는 많은 연구결과들을 전체적으로 병합함으로써 시설물 설치와 교통사고의 인과관계를 보다 명확히 설명할 수 있는 근거자료라 판단되며, 교차로 설계시나 기존교차로 개선사업 시행시 도로안전시설의 사고 관련효과를 각종 정책자료로 유용하게 쓰일 것을 기대한다.

그러나 본 메타분석은 몇 가지 한계점을 가지고 있으며, 내용은 다음과 같다.

첫째, 기존의 사전-사후분석을 이용한 연구사례들 대부분은 평균 및 결과 값만 제시했을 뿐, 표준편차 등 효과크기를 산출하기 위해 필요한 통계 값을 제시하지 않아 분석사례로 선정하지 못하였다. 이에 따라 본 연구결과는 다변량 분석방법에 의한 연구결과를 자료로 산출되었는데 이는 이미 다중공선성문제가 있는 연구를 포함할 수 있기 때문에 정확한 효과크기에 대한 오차가 발생할 가능성이 높은 한계가 있다.

둘째, 본 메타분석은 도로안전시설물 설치유무에 대한 더미변수형태의 독립변인을 대상으로 한 것이나, 각 논문에서 중복설치나 설치위치에 대한 정보를 상세히 제공하지 않아 상호효과 등의 문제를 고려하지 못하는 한계가 있다.

셋째, 본 메타분석을 위해 수집된 연구 중 좌회전 전용차로가 포함된 연구간 특성이 이질성을 보였으며, 정적(+), 부적(-)관계가 동시에 나타나 통합효과크기 산출 시 상쇄현상이 발생하고 좌회전 전용차로의 효과도가 유의하지 않은 결과가 나타났다. 따라서 향후 연구에서 좌회전 전용차로의 사고감소효과도 연구를 추가적으로 수집하여 이질성의 원인을 분석하고, 타당성과 신뢰성을 동시에 확보할 수 있는 효과크기를 산출할 수 있어야 한다.

넷째, 메타분석은 다른 수량적 연구와 마찬가지로 결과에 초점을 맞추며, 중재 변인의 개입이나 상호작용 효과를 무시하고, 연구결과를 지나치게 단순화시킨다는 한계를 가진다. 즉, 본 연구의 종속변수는 신호교차로 총 사고발생 건수로 각 도로안전시설이 어떠한 사고유형 및 사고형태를 감소시키는지 설명하는데 한계가 있다. 향후 연구에서는 특정 사고 유형이나 사고형태에 관한 변인에 대한 메타분석을 진행하여 좀 더 체계적이고 정밀한 결과를 도출하여야 할 것이다.

다섯째, 수집된 연구는 국내 뿐만 아니라 다양한 국가에서 연구된 자료를 통합한 것이며, 연구된 연도 또한 다양하다. 때문에 본 연구에서 조사된 변인들은 시대적, 상황적 환경을 전혀 반영하지 못하고 있다. 따라서 사회적, 문화적 환경이 다른 상황에서 관련변인들의 효과크기 변화에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

마지막으로, 분석 대상의 변수 중 조명시설, 좌회전차로 가속구간, 횡단보도, 중앙분리대, 우회전 전용차로는 메타분석 결과 통계적 유의성에도 불구하고 안전계수(Nfs) 기준에 의거, 출판 편의가 있는 것으로 나타났다. 이는 분석 논문의 양적 부족이 주요한 원인으로 사료되며, 동질성검증 과정에서 적지 않은 자료의 탈락이 편의현상에 영향을 미쳤을 것으로 보인다. 이로써 결과가 뒷받침될 수 있는 효과크기 병합을 위해 추후 더 많은 도로안전시설 사고감소효과 연구의 축적이 필요하며, 본 연구는 아직 미개재된 연구 결과나 알려지지 않은 연구에까지 확대 해석하는 것에 제한될 수 있음을 제언한다.

REFERENCES

- Abdel-Aty M. (2006), Crash Estimation at Signalized Intersections Along Corridors, *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board*, 1953, 98-111.
- Chin H.C. (2003), Applying the Random Effect Negative Binomial Model to Examine Traffic Accident Occurrence at Signalized Intersections, *Accident Analysis & Prevention*, 35(2), 253-259.
- Cohen J. (1988), *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2nd ed.), Hillsdale, NJ: Erlbaum, 66.
- De Ceunynck T. (2011), Explanatory Models for Crashes at High-risk Locations, *ICTCT*, 1-17.
- Elvik R. (1995), The Safety Value of Guardrails and Crash Cushions: A Meta-analysis of Evidence From Evaluation Studies, *Accident Analysis and Prevention*, 27(4), 523-549.

- Elvik R. (1996), A Meta-analysis of Studies Concerning the Safety Effects of Daytime Running Lights on Cars, *Accident Analysis and Prevention*, 28(6), 685-694.
- Elvik R. (1999), The Effects on Accidents of Studded Tires and Laws Banning Their Use: A Meta-analysis of Evaluation Studies, *Accident Analysis and Prevention*, 31(1), 125-134.
- Erke A. (2009), A Meta-analysis of the Effects of Red-light Cameras on Crashes, *Accident Analysis and Prevention*, 41(6), 897-905.
- Hauer E. (1997), *Observational Before-After Studies in Road Safety*, Pergamon Press, Elsevier Science Ltd. Oxford, England.
- Hedges L. V., Olkin I. (1985), *Statistical Methods for Meta-Analysis*, Academic Press, Orlando, FL.
- Huang H. (2006), Effect of Red Light Cameras on Accident Risk at Intersections, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1969, 18-26.
- Huang H. (2009), Empirical Evaluation of Alternative Approaches in Identifying Crash Hot spots: Naïve Ranking Empirical Bayes and Full Bayes Methods, *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board*, 2103, 32-41.
- Hwang J. K. (1988), Theory and Methodology of Meta-Analysis, *Journal of Sunggok NonChong*, 19, 1-55.
- Jackson G. B. (1980), Methods for Integrative Reviews, *Review of educational Research*, 50, 438-460.
- Jang D. H., Lee I. S. (2011), Historical Development of Meta-analysis as an Educational Research Methodology, *The Journal of Curriculum & Evaluation*, 14(3), 309-332.
- Jin Y. A. (2014), *Meta-analysis With STATA*, Korea University Press(Seoul, Republic of Korea).
- Jo Y. S., Kim H. (2001), Relationship Between Exposure to Air Pollutants and Aggravation of Childhood Asthma: A Meta-Analysis, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 17(5), 425-437.
- Jung A. K. (2007), *Meta-analysis on the Studies of Career Indecision and its Related Variables*, Seoul National University, M.A.
- Kim B. J., Han M. W. (1995), Effects of Mental Practice on Motor Performance in Korea: A Meta-analysis, *Korean Journal of Sport Psychology*, 6, 67-88.
- Kim B. Y., Lee J. S. (2009), A Meta-Analysis of Variables Related to Suicidal Ideation in Adolescents, *Journal of Korean Academy of Nursing*, 39(5), 651-661.
- Kim D. H., Lee D. M., Sung N. M. (2008), Analysis of Accident Data and Development of Traffic Accident Frequency Models at Rural Intersections, *The 59th Conference of KST, Korean Society of Transportation*, 306-315.
- Kim E. C. (2008), Development of Traffic Accident Frequency Model for Evaluating Safety at Rural Signalized Intersections, *International J. Highw. Engineering*, 10(4), 53-63.
- Kim K. S. (2005), *Analysis of Big Data and Meta*, Hannarae(Seoul, Republic of Korea).
- Kim T. Y. (2012), Prediction on the Accident Reduction Effects of the Red Light Cameras Installation, *International J. Highw. Engineering*, 14(6), 67-73.
- Korea Transportation Safety Authority (2006), *A Study of Safety Improvement Plan for Intersections*.
- Kumara S.S.P. (2003), Modeling Accident Occurrence at Signalized Tee Intersections With special Emphasis on Excess Zeros, *Traffic Injury Prevention*, 4, 53-57.

- Kumara S.S.P. (2005), Application of Poisson Underreporting Model to Examine Crash Frequencies at Signalized Three-Legged Intersections, *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board*, 1908, 16-50.
- Lee K. H. (2015), Development of Traffic Accident Models at Rural Signalized Intersections by Day and Night, *International J. Highw. Engineering*, 17(3), 107-115.
- Lee S. H. (2015), A Study on Developing Crash Prediction Model for Urban Intersections Considering Random Effects, *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, 14(1), 85-93.
- Mitra S. (2012), On the Significance of Omitted Variables in Intersection Crash Modeling, *Accident Analysis & Prevention*, 49, 439-448.
- Oh J. T. (2004), Development of Accident Prediction Models for Rural Highway Intersections, *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board*, 1897, 18-27.
- Oh J. T. (2005), Development of Accident Prediction Models for Rural Signalized Intersections, *Journal of Korean Society of Civil Engineering*, 25(1), 9-15.
- Oh J. T., Kweon I., Hwang J. W. (2013), A Causation Study for Car Crashes at Rural 4-legged Signalized Intersections Using Nonlinear Regression and Structural Equation Methods, *J. Korean Soc. Transp.*, 31(1), Korean Society of Transportation, 65-76.
- Oh S. S. (2002), *Meta-analysis: Theory and Practice*, Konkuk University Press(Seoul, Republic of Korea).
- Orwin R. G. (1983), A Fail-Safe N for Effect Size in Meta-Analysis, *Journal of Educational Statistics*, 8(2), 157-159.
- Park B. H., Yoo D. S., Yang J. M., Lee Y. M. (2008), Analysis of Accident Characteristics and Development of Accident Models in the Signalized Intersections of Cheongju and Cheongwon, *J. Korean Soc. Transp.*, 26(2), Korean Society of Transportation, 35-46.
- Park J. S., Kim T. Y., Yoo D. S. (2007), Correlation Analysis and Estimation Modeling Between Road Environmental Factors and Traffic Accidents, *J. Korean Soc. Transp.*, 25(2), Korean Society of Transportation, 63-72.
- Park K. Y. (2006), Evaluation of Accident Reduction Effect of Road Safety Features and Development of Estimation Model for Accident Reduction Factors, University of Seoul, Ph.D.
- Persaud (2001), Statistical Methods in Highway Safety Analysis: A Synthesis of Highway Practice, *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board*, 73-74.
- Poch M. (1996), Negative Binomial Analysis of Intersection-accident Frequencies, *Journal of the Transportation Engineering*, 122(2), 105-113.
- Shapiro S. S., Wilk M. B. (1965), An Analysis of Variance Test for Normality(Complete Samples), *Biometrika*, 52(3/4), 591-611.
- Song H. H. (1998), *Meta-analysis*, Cheong Moon Gak(Seoul, Republic of Korea).
- Yoon Y. H. (2008), A Meta-Analysis of the Relationship Between Principals' Transformational Leadership and Job Satisfaction, Organizational Effectiveness, Ewha W. University, Ph.D.