

강우와 통행량이 교통사고 발생에 미치는 영향 연구 -동해고속도로와 영동고속도로의 교통사고 발생 분석을 사례로-

곽하영 · 조창현

경희대학교 지리학과

(2015년 9월 4일 접수, 2015년 9월 18일 수정, 2015년 9월 22일 게재 확정)

A Study on the Impact of Rainfall and Traffic Volume on Traffic Accidents: A Case of Donghae and Yeongdong Expressways

Ha-Young Kwak · Chang-Hyeon Joh

Department of Geography, Kyung Hee University

(Received 4 September 2015, Revised 18 September 2015, Accepted 22 September 2015)

Abstract : Traffic accidents on the expressways during the high speed driving are severe and more damaging, compared with other traffic accidents. There has been much effort to reduce the traffic accidents by seeking for the cause of the accidents. Apart from drunk driving and driving while drowsy caused by personal carelessness, one of the main causes of the accidents on the expressways is the limit to the straight-ahead. The straight-ahead is much affected by climate and topography. Existing research on this subject investigates the accidents during the driving on the expressways under bad weather, the accidents on the freeways with design problems regarding the topology and grade and the accident frequency varying with traffic volume. The current study suggests a model including precipitation and traffic volume at a time and aims at examining their impacts on the traffic accidents on the expressways by using a binomial logistic regression analysis. The data used were the traffic accident frequency per day over a year on each link of two expressways, Donghae and Yeongdong, which represent Yeongdong and Yeongseo regions of Gangwon Province. The results tell that precipitation and traffic volume significantly affect the occurrence of the traffic accidents. The accident occurrence is also significantly different between the two expressways and even more significantly different between links within each expressway. Further research topics were identified, including the distinction between rainfall and snowfall, the inclusion of mediating variables such as the limit to the straight-ahead due to the precipitation and the differentiation between the degrees of fatality of the traffic accidents.

Key Words : rainfall, traffic volume, traffic accident, Donghae expressway, Yeongdong expressway, binomial logistic regression analysis

주요어 : 강우량, 통행량, 교통사고, 영동고속도로, 동해고속도로, 이항로지스틱 회귀분석

1. 서론

고속도로에서의 교통사고는 출구가 없는 도로 한 구간에서 자동차가 고속주행을 하는 중에 일어나는 사고이기에 일반적으로 매우 치명적인 피해를 입는다. 한국도로공사의 고속도로 통행권발급 및 통행차량현황 조사에 따르면 우리나라의 고속도로 이용 차량은 해마다 증가 추세로, 2014년 연

간 고속도로 이용 차량은 승용차와 화물차를 합해 약 15억 대를 초과하였으며, 이로 인한 교통사고 역시 연간 3000여 건을 꾸준히 넘는 통계를 갖고 있다. 도로교통공단의 자료에 따르면, 교통사고의 총 건수로 보면 국도나 지방도에 비해 적으나 (Figure 1), 전체 교통사고 대비 사망률은 고속도로가 매 해 국도와 지방도를 크게 웃도는 것을 알 수 있다(Figure 2).

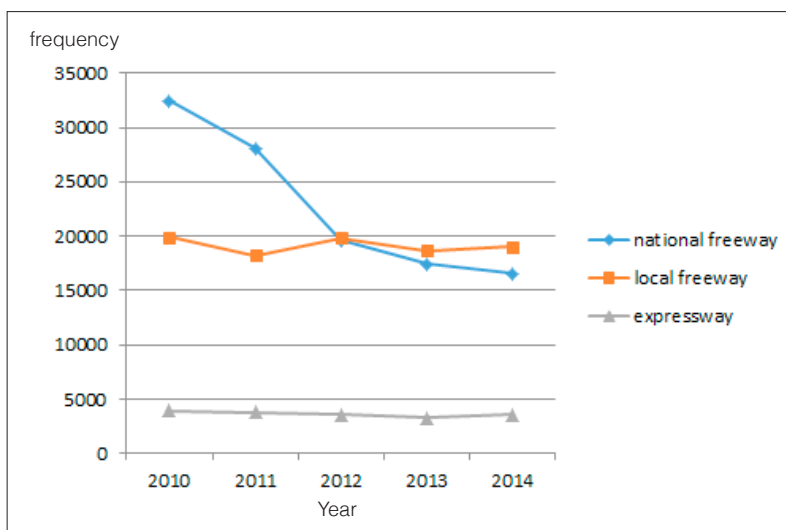


Figure 1. The annual number of traffic accidents by type of freeway.

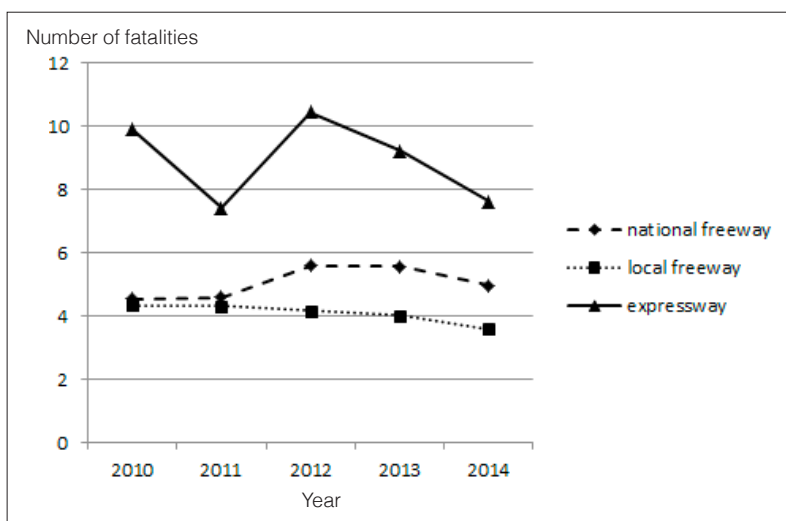


Figure 2. The fatality of traffic accidents by type of freeway.

고속도로 사고의 위험성이 이처럼 크기 때문에 이를 줄이려는 많은 노력이 있어 왔다. 고속도로 교통사고를 일으키는 원인은 크게 운전자 개인의 부주의와 보다 구조적인 문제로 구분할 수 있다. 운전자 개인의 부주의는 전방 주시 태만에서 기인 하는데, 이는 주로 음주나 졸음 등 많은 부분이 구조적인 문제라기 보다는 개인적인 이유로서, 본 연구에서는 다루지 않는다. 개인 부주의와는 달리 구조적인 문제에 기인한 교통사고는 구조적인 원인으로 인한 전방시야 제한에 의한다. 전방시야의 제한은 주로 기후나 지형의 영향을 많이 받는다. 교통사고의 원인을 연구한 논문은 크게 기후의 영향, 지형의 영향 그리고 교통량의 영향 등에 관한 것으로 나눌 수 있다. 먼저 기후 변화에 따른 교통사고 발생을 분석한 연구로, Back *et al.*(2008)은 2006년 1년간 전국적 강우일의 고속도로 통행 특성 분석에서, 폭우, 강설, 동결 및 안개 등의 기상 상황이 운전자의 행동을 위축시키고, 도로 조건을 열악하게 함으로써 교통사고와 정체의 원인이 되고 있음을 밝혔다. Park *et al.*(2008)은 교통사고 예방을 위한 고속도로 가변제한속도 적용 방안을 제시한 연구에서, 비, 눈, 안개 등으로 고속도로 노면의 상태가 습윤 또는 결빙 상태가 되면 최대적지 마찰계수의 감소와 최소정지거리의 증가 등의 원인으로 차량이 제동하는데 소요되는 거리가 길어져 사고의 위험이 증가할 수 있음을 밝혔다. Lee *et al.*(2006)은 안개 영향에 따른 안전성 제고에 관한 연구에서, 교통사고의 요인에는 인적 요인, 차량적 요인, 도로환경적 요인이 있음을 주장하고, 도로에서의 기상 여건은 교통사고의 심각도에 큰 영향을 미치며, 이상 기후 시에는 맑은 날보다 시계 및 노면 상태가 불량하여, 보행자, 과속과 급정지 시의 추돌사고, 도로 이탈 등 치사율이 높은 사고가 발생함을 밝혔다. 특히 안개 시에는 연쇄 충돌과 같은 대형 사고의 발생 확률이 높아짐을 밝혔

다. 보다 구체적으로, 전체 교통사고 발생 건수는 맑은 날이 가장 많고 안개 시보다 비가 올 때 많이 발생하지만, 사고 100건당 사망자 수인 치사율은 안개 낀 날이 14.3명으로 가장 높게 나타났음을 확인하였다.

다음으로, 지형의 영향을 받는 교통사고의 특성을 분석한 연구로, Kang *et al.*(2002)는 호남고속도로의 기하구조와 연관된 사고 사례 분석에서, 고속도로의 교통사고는 도로의 기하구조적 특성에 기인하는 바가 크며, 배향곡선 구간의 사고율이 단일곡선 구간에서의 사고율보다 높음을 밝혔다. Lee *et al.*(2000)은 평면곡선부에서 속도 변화와 도로의 기하구조 영향 분석에서, 곡선부에서의 속도 변화 폭이 클수록 사고 위험성은 크고, 실제 교통사고 발생 건수도 높음을 밝혔다. Hong(2009)은 지형에 따른 사고 심각도 분석을 통해, 평지부에서는 곡선 반경이 교통사고 심각도에 미치는 영향이 크며, 산지부에서는 종단경사가 사고 심각도에 미치는 영향이 크다는 것을 밝혔다. 그의 연구에 따르면, 운전경력이 많고, 곡선반경이 크며, 종단경사가 낮을수록 사고 건수는 낮게 나타나는 것을 알 수 있었다. Lee *et al.*(2008)은 교통사고 심각도에 영향을 미치는 지형 요인들에 대한 분석을 통해, 대체적으로 평면선형이 직선부이고, 종단구배는 높을수록 교통사고의 심각도가 높아진다는 것을 확인하였다. Kang and Park(2003)은 고속도로의 사고 위험 지수 예측과 이를 GIS와 결합해 프로그래밍하는 연구에서, 도로의 선형요소(곡선반경, 종단경사, 곡선길이, 직선길이, 누적길이, 곡률차, 평균곡률 등)와 사고율 간의 관계를 세밀하게 분석하였다. 이들의 평가프로그램은 구간별 사고율, 사고위험도지수, 위험도등급을 자동적으로 결정하고 이를 시각적으로 보여주어 이용자의 이해와 사용을 쉽게 하였다.

마지막으로, 통행량과 교통사고 간의 관계를 분

석한 연구로, Beak *et al.* (2005)은 서해안고속도로 통행행태와 교통사고 사례 분석을 통해, 교통량이 적은 곳은 상호작용이 낮아 사고율이 증가하고, 교통량이 많은 곳은 오히려 부주의한 운전자들의 주의가 높아지는 것을 밝혔다. Oh *et al.* (1999)은 신갈-안산 간 고속도로를 대상으로 사고율과 교통혼잡도(시간당 통행량) 간 관계를 분석한 연구에서, 교통혼잡도가 낮을 때 사고율이 가장 높으며, 혼잡도가 증가함에 따라 사고율이 감소하다가 일정수준 이상에서 사고율이 다시 증가함이 밝혀졌다.

이들 선행 연구들은 교통사고의 다양한 원인들에 대한 깊이 있는 분석을 통해 교통사고 감소에 중요한 정보를 제공하는 것으로 평가할 수 있다. 그러나 이들 연구들은 기후, 지형, 교통량 등 각각의 중요 변수와 교통사고 간의 관계를 독립적으로 분석한 결과로서, 이들이 결합적으로 영향을 미치는 것에 대해 상세한 연구 결과를 제시하지 않았다. 그러나 교통사고를 일으키는 직접적인 원인인 전방시야 제한이 이들 중 어느 하나만이 아닌 여러 가지의 복합적인 상황에서 일어나는 경우가 빈번하다면, 이를 분석에서 고려하는 것이 타당할 것이다. 이에 본 연구는 강수와 교통량이 교통사고 발생에 동시에 영향을 미치는 것으로 보고 이를 로그선행모형으로 분석하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 본 연구는 섹션 2에서 연구 방법을 간략히 소개한 후 섹션 3에서 연구 결과를 상술한다. 섹션 4는 연구 결과를 요약하고 앞으로의 연구 과제를 제시한다.

2. 연구방법

본 연구는 기후 조건의 변화와 통행량이 고속도로 교통사고에 미치는 영향을 분석하기 위해 기후

조건 변화의 대리변수로 강수량을, 교통량을 나타내는 변수로 고속도로 상행선과 하행선의 링크별 교통량을 채택하였다. 서론에서 언급한 대로 교통사고 당시의 직접적인 사고 원인은 전방시야 제한이다. 전방시야 제한은 고속도로에서의 운전자의 운전 행태에 큰 변화를 일으킨다(Sohn and Jun, 2013). 개인의 운전 습성이나 기타 임의적 원인을 제외하고는, 악천후나 지형 조건 등 구조적인 운전 저해 요소로 인해 먼저 시정거리의 제한을 받은 후 그것이 교통량과 통행 속도 등에 영향을 미쳐 결국은 교통사고 발생을 유발하는 과정을 거친다고 볼 수 있다. 이를 강우의 예를 들어 Figure 3에 표현하였다. 이와 같은 모형에서는 강우가 그 양에 따라 교통사고 발생에 직접적인 영향을 미치거나 시정거리, 교통량, 통행 속도 등을 거쳐 교통사고 발생에 영향을 미치는 것을 이론화할 수 있다. 특히 강우에 따른 통행량 증감에 대해서는 많은 선행연구가 있었다(Agarwal *et al.*, 2005; Hassan and Barker, 1999). 이론에서 설정하여 화살표로 표시한 원인과 결과 간의 인과관계는 경로분석을 통해 그 유의성을 확인하고 유의한 것만 모형의 결과로서 받아들이고 해석하면 된다(Kwak *et al.*, 2015).

그러나 본 연구는 Figure 4와 같은 간단 모형을 채택하였다. 이는 가용한 링크별 시정거리 자료가 부재한 이유도 있으나, 우선 이러한 궁극적인 모형을 구축하기에 앞서 모형의 가장 기본이 되는 구조적인 변수 및 통행량이 교통사고 발생에 유의한 영향을 미치는지 여부가 먼저 확인할 필요가 있기 때문이다. 또한 이 두 독립변수에 의한 모형 자체가 갖는 의미는 그 자체로부터 다양한 정책적 변수의 개발이 가능한 것에도 있다. 본 연구는 또한 강수량과 통행량이 고속도로 교통사고 발생에 대해 갖는 영향에 더해 고속도로가 지나는 지역의 특성 및 각 고속도로의 링크 특성이 고속도로 교통사고를 어떻게 더 설명할 수 있는지 역시 확인한다.

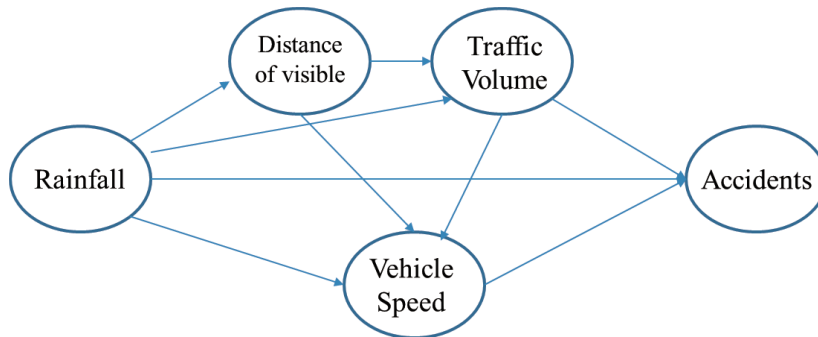


Figure 3. A hypothetical analysis structure of rainfall impacts on traffic accidents with intermediate variables.

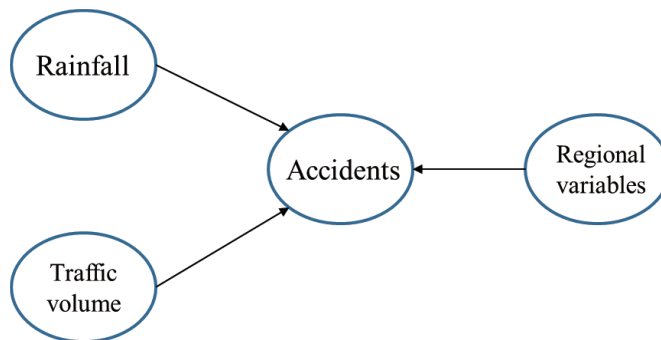


Figure 4. The analysis structure of the current study.

이를 위해 본 연구는 교통사고 발생일수를 설명하기 위한 독립변수로 일별 강수량과 상, 하행선 각각의 교통량, 그리고 고속도로 내의 각 링크별 교통량, 강수량, 교통사고 발생 여부 등을 채택하여, 이들 변수 간의 관계를 회귀분석과 교차분석을 통해 확인하도록 한다.

3. 분석결과

연구 개념의 분석을 위하여 본 연구는 동해고속도로와 강원도 내 영동고속도로에서의 강수량, 상하행선 교통량, 사고 유무를 링크별 및 일자별로 2014년 1년간의 자료를 확인하였다. 강수량 자료는 기상청, 고속도로 교통량과 교통사고 자료는

한국도로공사 도로교통연구원으로부터 제공받았다. 동해고속도로는 동해-망상-옥계-남강릉-강릉-강릉-북강릉-현남-하조대-양양 등 9개의 링크로 구성되어 있으며, 강원도 내 영동고속도로는 강릉-횡계-진부-속사-장평-면온-둔내-새말-원주-만종-문막-여주 등 11개의 링크로 구성되어 있다. 이 중 동해고속도로의 하조대-양양 링크와 영동고속도로의 강릉-횡계, 문막-여주 링크는 해당 기간에 강수량 자료를 연구자가 확보하지 못하여 분석에서는 제외하였다. 동해고속도로는 양양IC에서 동해IC까지 총 88.5km의 길이이며, 영동고속도로는 여주IC에서 강릉JC까지 139.4km의 길이로서, 동해고속도로에 비해 약 1.57배 길다. 동해고속도로의 2014년 링크별 일평균 교통량은 상행선이 5428대, 하행선이 5572대, 전체

13,140대였으며, 영동고속도로의 경우는 상행선이 19,005대, 하행선이 17,916대, 전체 36,921대인 것으로 집계되어, 영동고속도로가 동해고속도로에 비해 링크별로 2.8배 많았다. 링크별 총 사고 일수는 동해고속도로가 116일, 영동고속도로가 224일인 것으로 집계되어, 1.91배 많아 영동고속도로가 동해고속도로에 비해 사고 일수가 노선 길이에 비해 다소 많았다.

1) 고속도로 교통사고의 지역적 차이

Figure 5는 동해고속도로와 영동고속도로 각각의 링크 분포를 확인하여 주며, 또한 링크별 교통사고 발생 일수 자료를 제공한다. 실제로 두 고속도로의 링크별 연간 교통사고 발생 일수를 비교해보면, 동해고속도로가 116일로 9개 링크 1년 전체

(3285일)의 3.5%, 영동고속도로가 224일로 11개 링크 1년 전체(4015일)의 5.6%로서 차이를 보인다. 이 차이는 $\chi^2=17.063$ ($df=1$; $p=0.000$)으로 통계적으로 유의한 차이임을 확인하였다. 이러한 차이는 각각의 고속도로 전 구간에 걸친 사고의 총 수를 비교한 것으로, 영동고속도로가 동해고속도로보다 노선 길이에 비해서도 월등히 큰 교통사고 발생 일수를 나타내는 것이다. 즉 영서지방의 산지를 동서로 달리는 영동고속도로에서의 교통사고가 영동지방의 해안선을 따라 남북으로 달리는 동해고속도로에 비해 일수로 교통사고가 더 자주 발생하는 것으로 볼 수 있는 것이다. 이는 영동고속도로가 동해고속도로에 비해 링크별 교통량이 2.8배 많은 것을 고려하면 비교적 적은 교통사고 발생 일수라고 볼 수도 있으나, 사고 발생 일수 자체가 유의하게

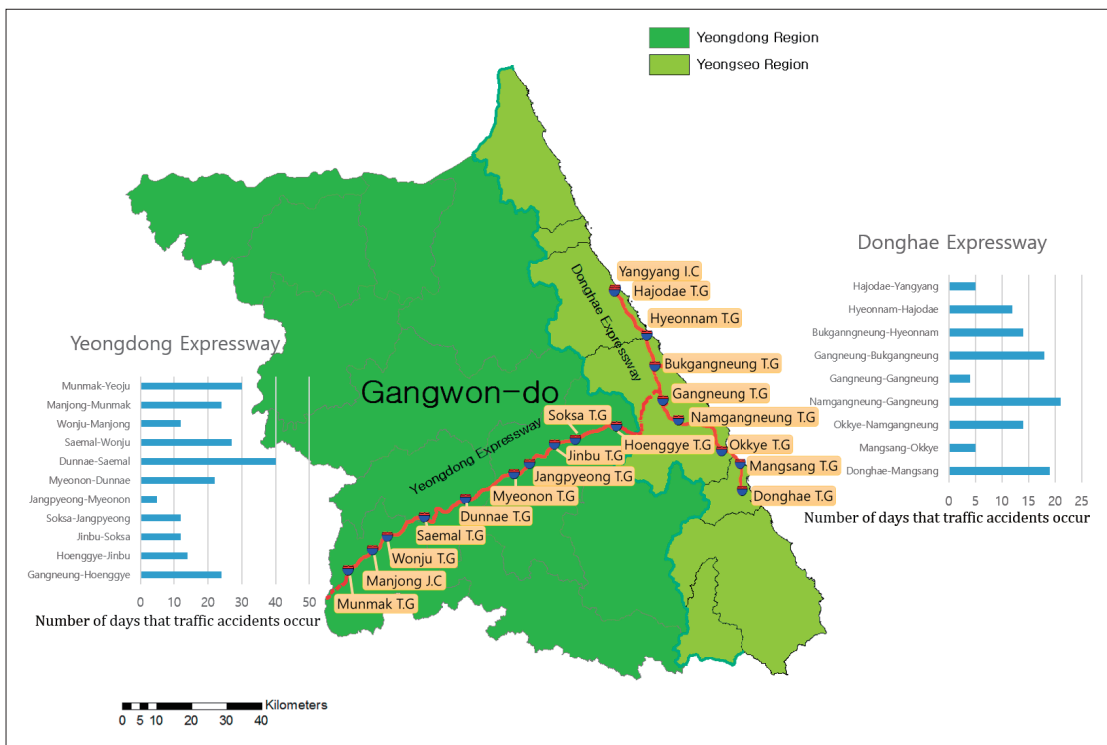


Figure 5. The number of days that traffic accidents occur on each link of Donghae and Yeongdong Expressways.

Note: The dotted lines have no information of rainfall.

많은 것은 개선이 필요한 부분이라 보인다.

소속 링크 전체를 포함하는 노선 전체로서의 교통사고 발생 일수를 비교한 것에 이어서, 이제는 각 노선 내에서 링크별로 연간 교통사고 발생 일수에서 차이가 있는지를 확인하여 보았다. 그림의 오른쪽에 동해고속도로의 링크별 사고발생 일수가, 왼쪽에는 영동고속도로의 사고발생일수가 그래프로 표시되어 있다. 각 고속도로 노선에서 기점이나 종점으로 갈수록 사고 일수가 지속적으로 줄거나 늘어나는 규칙은 발견되지 않는다. 다만 링크별로 그 차이가 분명하게 드러나고 있다. 따라서 이는 종점으로 갈수록, 혹은 기점으로 갈수록 등의 고속도로 전 구간을 통하는 규칙보다는 개별 링크의 특성에 의해 사고 발생이 큰 영향을 받고 있음을 나타내는 것으로 볼 수 있다. 동해고속도로의 경우 남강릉-강릉 링크가 22일로 가장 많은 교통사고 발생 일수를 나타냈다. 영동고속도로

는 둔내-새말 링크가 42일로 가장 많은 교통사고 발생 일수를 기록하였다. 영동고속도로가 동해고속도로에 비해 링크 간 사고 일수의 편차가 크고, 절대적인 사고 일수 규모가 전반적으로 큰 규모인 것을 알 수 있다. 연간 교통사고 발생 일수의 링크 간 차이를 통계적으로 검증한 결과는 동해고속도로가 $\chi^2=30.633(df=8; p=0.000)$, 영동고속도로가 $\chi^2=58.278(df=10; p=0.000)$ 등으로 각각 유의하다는 것이 확인되었다.

2) 고속도로 교통사고에 대한 강우와 교통량의 영향

이 소절에서는 고속도로 교통사고 발생에 대한 강우량과 교통량의 영향을 살펴본다. 이를 위해 종속변수는 각 링크에서의 각 날짜의 교통사고 발생 유무이며, 설명변수는 해당일의 해당 링크에서 측정된 강우량과 상행과 하행 각각의 교통량으

Table 1. A binomial logistic regression analysis of the impact of rainfall and traffic volume on traffic accidents.

Total (Nagelkerke R-square=0,015)						
	B	S.E.	Wals	d.f.	sig.	Exp(B)
Rainfall	.019	.004	23,761	1	.000	1,019
Up-traffic	.000	.000	7,521	1	.006	1,000
Down-traffic	.000	.000	.409	1	.522	1,000
(constant)	-3,385	.124	744,108	1	.000	.034
Donghae Expressway (Nagelkerke R-square=0,010)						
	B	S.E.	Wals	d.f.	sig.	Exp(B)
Rainfall	.014	.005	7,278	1	.007	1,014
Up-traffic	.000	.000	2,384	1	.123	1,000
Down-traffic	.000	.000	1,690	1	.194	1,000
(constant)	-3,436	.244	198,860	1	.000	.032
Yeongdong Expressway (Nagelkerke R-square=0,021)						
	B	S.E.	Wals	d.f.	sig.	Exp(B)
Rainfall	.034	.007	24,803	1	.000	1,034
Up-traffic	.000	.000	3,156	1	.076	1,000
Down-traffic	.000	.000	1,197	1	.274	1,000
(constant)	-3,099	.238	170,097	1	.000	.045

로 정하였다. Table 1은 분석 결과를 요약한다. 먼저 두 고속도로의 모든 링크의 모든 일자를 포함하여 고속도로 교통사고 발생에 강우량, 상행교통량, 하행교통량 각각이 얼마만큼의 영향을 미치고 있는지를 확인하였다. 분석 결과 강우량과 상행교통량은 분명한 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 즉 강우량이 많을수록, 통행량이 많을수록 해당일 해당 링크에서 교통사고가 발생할 가능성이 커지는 것이다. 동일한 분석을 각 고속도로별로 나누어 실행한 결과는 강우량만이 분명한 영향을 미치고 있음을 확인해 주었다. 즉 각각의 고속도로 노선에서 통행량은 교통사고 발생에 큰 영향을 미치고 있지는 않음을 보여준 것인데, 이는 영동고속도로가 동해고속도로에 비해 링크별 교통량이 2.8배 많음에도 전체 교통사고 발생 일수는 1.9배 많은 것에 그친 앞 소절에서의 통계와 다르지 않은 결과로 해석된다.

4. 요약 및 결론

고속도로에서의 교통사고는 자동차 전용도로에서 고속 운행 중에 일어나는 사고이기에 다른 교통사고에 비해 치명적이다. 국도나 지방도에 비해 고속도로의 전체 교통사고 발생 건수에 비해 사망사고 발생 건수의 비율이 매우 높은 것은 그만큼 고속도로 교통사고의 위험성을 잘 나타내는 것이라 볼 수 있다. 교통사고 발생을 줄이는 노력을 위해 사고 발생의 원인에 대한 많은 연구가 있었다. 음주나 졸음 등 개인적인 운전부주의 외에, 고속도로 사고의 직접적인 원인 중 하나는 전방시야 제한이다. 전방시야의 제한은 주로 기후나 지형의 영향을 많이 받는다. 이를 분석하는 연구로서는 악천후에서의 고속도로 주행에 따른 사고, 설계에 문제가 있는 도로 주행에 따른 사고, 교통량에 따

라 변하는 사고 빈도와 내용 등에 관한 연구들이 있다. 본 연구는 강수와 교통량이 교통사고 발생에 동시에 영향을 미치는 것으로 보고 이를 이항로지스틱 회귀분석으로 분석하였다. 분석의 결과는 영서지방의 고속도로를 대표하는 영동고속도로와 영동지방의 고속도로를 대표하는 동해고속도로 간에 비교하였다.

분석 결과 강수와 교통량은 교통사고 발생에 통계적으로 유의한 영향을 미쳤으나, 이 중 강수량의 영향이 보다 분명함을 알 수 있었다. 이에 더해 본 연구는 영동과 영서 간에 고속도로 링크별 교통사고 발생 일수에 차이가 있는지를 확인하였는데, 영동고속도로가 동해고속도로보다 총 연장이 길어서 총 교통사고일수가 더 많기는 하지만, 그 길이 차이 이상으로 교통사고 일수가 더 큰 것을 알 수 있었다. 비록 영동고속도로의 통행량이 동해고속도로에 비해 월등히 많으나 링크 단위의 비교로 보아 영동고속도로의 교통사고 발생 일수를 줄일 개선이 필요한 것으로 보인다. 그러나 이보다 더 분명한 영향은 각 고속도로 노선 내의 링크별 특성으로 볼 수 있다. 동해고속도로의 경우 남강릉-강릉 링크가, 영동고속도로의 경우 새말-둔내 링크가 각각 가장 많은 교통사고 발생 일수를 기록하였다. 이는 동일 고속도로 노선 내의 다른 링크들과의 비교에서 통계적으로도 매우 유의한 높은 사고 발생 일수들이다. 해당 링크들에서의 교통사고 발생 억제를 위한 개선이 필요한 것으로 보인다.

본 연구는 다음과 같은 추가적인 연구를 통해 더 심도 깊은 교통사고 억제 정책에 대한 자세한 정보를 추출할 것으로 보인다. 첫째, 강수를 강우와 강설로 구분하여 분석할 필요가 있다. 교통사고에 미치는 영향이 강우와 강설은 매우 다르게 벌어질 것으로 보인다. 비와 눈이 갖는 서로 다른 특성 자체로 인한 영향의 차이도 있겠으나, 비와 눈이 대표하는 계절의 차이가 사고 발생의 여건을 많이 다

르게 할 것으로 보인다. 둘째, 강수에 따른 전방시야 저감 등의 매개변수를 도입할 필요가 있다. 이는 앞의 Figure 3이 제시한 내용인데, 통행량이 교통사고에 미치는 영향은 강우량이 우선적으로 통행량에 영향을 미칠 것임을 짐작할 수 있고, 이는 그 사이에 전방 시야 저감이라는 매개변수를 필요로 한다. 전체적으로 다소 복잡하지만 보다 더 현실을 잘 반영한다면 이론의 현실 적용 가능성을 보다 더 높일 수 있을 것이다. 셋째, 새말-둔내 링크의 경우, 지형의 영향도 있을 것으로 보인다. 교통사고 저감 대책에서 기후와 지형을 함께 고려하는 종합적인 연구의 추가를 필요로 한다. 마지막으로, 교통사고의 내용을 사고의 경중에 따라 구분한다면 교통사고 억제를 위한 보다 더 구체적인 정책 변수를 개발하는 데 도움을 줄 것이라 판단한다.

사사

이 논문은 2013년 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2013S1A3A2052995).

참고문헌

- Agarwal, M., Maze, T. H., and Souleyrette, R., 2005, Impact of weather on urban freeway traffic flow characteristics and facility capacity, Center for Transportation Research Education, Iowa State University.
- Baek, S. G., Jang, H. H., and Kang, J. K., 2005, Estimation of freeway traffic accident rate using traffic volume and trip length, *Journal of Korean Society of Transportation*, 23(2), 95-105 (in Korean).
- Baek, S. G., Kim, B. J., and Lim, Y. T., 2008, Analysis of rain impacts on freeway trip characteristics, *Journal of Korean Society of Transportation*, 26(3), 119-128 (in Korean).
- Hassan, Y. A. and Barker, D. J., 1999, The impact of unseasonable or extreme weather on traffic activity with in Lothian Region, Scotland, *Journal of Transport Geography*, 7(3), 209-213.
- Hong, W. T., 2009, Inclusion of the highway terrain type in crash models and analysis of its safety effects, Master's thesis, University of Seoul, Seoul (in Korean).
- Kang, M. W., Sohn, B. S., Do, C. W., and Kang, J. K., 2002, Development of accident prediction models at freeway curve section based on geometric characteristics, *Journal of Korean Society of Civil Engineers D*, 22(6D), 1077-1088 (in Korean).
- Kang, S. R. and Park, C. H., 2003, A GIS-based traffic accident analysis on highways using alignment related risk indices, *Journal of Korean Society of Transportation*, 21(1), 21-39 (in Korean).
- Kwak, H. Y., Ko, J. H., Lee, S. H., and Joh, C. H., 2015, A modeling of the rainfall's impact on the air quality via changes of vehicle travel pattern, *Journal of Climate Research*, 10(2), 183-192 (in Korean).
- Lee, H. Y. and Choi, J. S., 2006, A study on safty improvement of highway design in a high frequency fogging area, Conference proceedings of Korean Society of Road Engineers, 8, 301-306 (in Korean).
- Lee, J. H., Lee, D. M., and Choi, J. S., 2000, The Effects of Horizontal Curves on Vehicle Speeds and Accidents, *Journal of Korean Society of Transportation*, 18(1), 35-43.
- Lee, J. Y., Jung, J. H., and Sohn, B. S., 2008, Analysis of traffic accident severity for Korean highway

- using structural equations model, *Journal of Korean Society of Transportation*, 26(2), 17-24 (in Korean).
 - Oh, C., Jang, J. N., and Jang, M. S., 1999, Relationship between V/C and accident rate for freeway facility sections focused on Shingal-Ansan Freeway, *Journal of Korean Society of Transportation*, 17(2), 21-27 (in Korean).
 - Park, J. H., Hwang, Y. W., Oh, C., and Jang, M. S., 2008, A study on the application of variable speed limits (VSL) for preventing accidents on freeways, *Journal of Korean Society of Transportation*, 26(4), 111-121 (in Korean).
 - Sohn, Y. T. and Jun, J. S., 2013, A study on traffic-flow characteristic changes on expressway by visibility, *Journal of Intelligent Transport System*, 12(6), 116-126.
- 책임편집: 이승호
영문교열: 조창현