

■ 論 文 ■

구조방정식모형을 활용한 단속류 시설의 교통사고 유형별 유발요인 분석

Factor Analysis of Accident Types on Urban Street using Structural Equation Modeling(SEM)

김 상 록

(연세대학교 도시공학과 석사과정)

배 윤 경

(연세대학교 도시공학과 박사과정)

정 진 혁

(연세대학교 도시공학과 부교수)

김 형 진

(연세대학교 도시공학과 교수)

목 차

- | | |
|--|--|
| <p>I. 서론</p> <p>II. 기존 연구 및 방법론 고찰</p> <p style="padding-left: 20px;">1. 기존 연구 분석</p> <p style="padding-left: 20px;">2. 방법론 고찰</p> <p>III. 구조방정식모형 설정</p> <p style="padding-left: 20px;">1. 자료 수집 및 점검</p> <p style="padding-left: 20px;">2. 모형 설정</p> | <p>IV. 모형의 추정</p> <p style="padding-left: 20px;">1. 모형의 추정 및 적합도 평가</p> <p style="padding-left: 20px;">2. 모형의 결과 및 해석</p> <p style="padding-left: 20px;">3. 연구결과 비교 및 시사점</p> <p>V. 결론 및 향후 연구</p> <p>참고문헌</p> |
|--|--|

Key Words : 교통사고, 단속류, 구조방정식, 요인분석, 사고유형
Traffic Accident, Interrupted Traffic Flow, SEM, Factor Analysis, Accident Type

요 약

우리나라의 교통사고 발생현황은 2008년 기준 215,822건으로 예년에 비하여 소폭 감소하는 추세이나 주요 선진국에 비해서는 여전히 높은 수준이다. 그 중 단속류 시설에서 발생하는 사고는 보행자들이 직접적으로 차량에 노출되어 차대사람 사고의 비율이 높아 심각한 결과를 유발하기 때문에 이를 방지하기 위한 추가적인 고려가 필요하다. 이에 교통사고의 유형별로 영향을 미치는 인자를 분석하였다. 단속류 시설에서 교통사고는 크게 차대차 사고와 차대사람 사고로 그 성격과 특성이 구분될 수 있다. 따라서 교통사고 유형을 크게 두가지로 구분하고, 2005년부터 2007년까지 서대문구에서 발생한 교통사고 자료 분석을 통해 교통사고의 심각도와 외생적 변수들간의 관계를 추정하였다. 본 연구에서는 단속류 시설에서 교통사고 유형별 요인을 구조방정식모형(SEM : Structural Equation Modeling)을 이용하여 도출해내고, 모형을 구축하여 유형별로 사고의 주요인들을 파악하여 비교하였다. 최종 모형에서 도출된 결론은 차대차 사고에서는 도로 요인이, 차대사람 사고에서는 환경 요인이 크게 영향을 미치고 있는 것으로 분석되었다.

In 2008, Korea has observed total 215,822 traffic accidents. Although the number has decreased since then, the crash rate is still higher than those of other advanced countries. In particular, high rate of pedestrian accidents occurred on urban streets is recognized as a serious problem. The previous studies, however, are not entirely considerate of accident factors by accident type. Inspired by the fact, this study analyzes factors affecting traffic accident by accident type. Using the accident data collected on urban streets in Seodaemun-gu, this paper classifies the accidents into two groups (i.e., vehicle-vs-vehicle and vehicle-vs-person crashes), and analyzes relationships between severity and exogenous variables. For the analysis, Structural Equation Modeling (SEM) is employed to estimate relationships among exogenous factors of traffic accident by each type on urban streets. The resulting model reveals that roadway related factors are highly correlated with the severity of vehicle-vs-vehicle crashes whereas environment factors are with vehicle-vs-person crashes.

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

우리나라의 교통사고 발생현황은 2008년 기준 215,822건으로 예년에 비하여 소폭 감소하는 추세이나 주요 선진국에 비해서는 여전히 높은 수준이다. 그 중 고속도로에서 발생하는 사고는 전체의 7%에 불과하며 대부분의 사고가 일반국도, 지방도 등의 단속류 시설에서 발생하고 있다.

단속류 시설에서 발생하는 교통사고는 보행자의 진출입이 통제되는 연속류와는 다르게, 보행자들이 직접적으로 차량에 노출되어 차대사람 사고의 비율이 높아 심각한 결과를 유발하기 때문에 이를 방지하기 위한 추가적인 고려가 필요하다.

교통사고의 유형은 크게 차대차 사고와 차대사람 사고로 그 성격과 특성이 구분되며, 이러한 사고의 유형에 따라서 요인들이 상호 복합적으로 작용하는 관계가 다르고, 사고 규모에 영향을 미치는 정도도 각각 다르기 때문에 이에 대한 신중한 고려가 필요하다. 따라서 교통사고의 예방을 위해서는 사고의 유형별로 각기 다른 요인을 분석하고, 이에 맞는 적절한 대책을 세워야 한다.

본 연구에서는 단속류에서의 교통사고 예방을 위해 단속류에서 발생한 교통사고 자료를 통해 차대차 사고와 차대사람 사고의 유발요인을 비교하여 분석하고, 사고 유형별 유발요인의 차이점과 이에 따른 개선책을 제시하였다.

사고 자료는 2005년부터 2007년까지 서대문구에서 발생한 2,784건의 교통사고 자료를 이용하였으며, 교통사고의 규모와 유발요인들의 관계를 규명하기 위하여 LISREL 8.80의 PRELIS 및 SIMPLIS 프로그램을 이용해서 요인분석과 회귀분석을 통합하여 영향 요인들 간의 상호관계를 분석할 수 있는 구조방정식 (Structural Equation Modeling)을 적용하여 모형을 추정하였다.

II. 기존 연구 및 방법론 고찰

1. 기존 연구 분석

교통사고에 관한 연구는 오래전부터 꾸준히 이루어져

왔으며, 그 원인을 분석하고 사고를 예방하기 위한 연구들이 활발히 이루어졌다.

국토연구원(1996)의 연구에서는 도로의 기하구조 중 교통안전 관련 설계요소로서 차로폭, 곡선반경, 선형의 연속성, 종단경사, 시거, 길어깨폭, 중앙분리대의 7가지 도로기하구조 요인을 교통사고의 주요영향요인으로 선정하고 있다. 이 7가지 요인에 대한 상대적인 사고위험도를 나타내는 "사고위험도 판단지수"를 설명변수로 채택하여 단순회귀모형을 제시하였다.

박정순(2007)은 도로환경요인과 교통사고의 상관분석을 통하여 사고추정모형을 개발하였다. EPDO(대물피해사고 환산법)를 종속변수로 하여 상관분석 및 다중회귀분석을 통하여 모형을 분석 결과, ADT, 주도로 평균차로폭, 상향종단경사, 제한속도 차이 등 4개 변수가 주요 요인으로 분석되었다.

이주연(2008)은 구조방정식 모형을 이용하여 고속도로의 교통사고 심각도에 영향을 미치는 요인들을 분석하였다. 사고 심각도를 구조모형의 내생잠재변수로, 도로 요인 및 운전자 요인, 환경 요인을 외생 잠재변수로 설정하여 모형을 추정하였다. 추정 결과, 평면선형과 종단구배, 노면상태 및 날씨의 사고 심각도와 음의 관계에 있는 것으로 나타났으며, 주야와 원인차 차종, 운전자 연령대는 사고 심각도와 양의 관계에 있는 것으로 나타났다.

조정일(2008)은 구조방정식 모형을 이용하여 보행자 사고의 심각도에 영향을 미치는 요인들을 분석하였다. 분석 결과, 차량 요인과 보행자 요인 중 차량 요인만이 영향을 미치며, 그중 충돌속도가 가장 큰 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다.

Julia B. Edwards(1998)은 기상청의 날씨자료와 교통사고 자료를 통해 교통사고의 심각도와 날씨와의 관계를 분석하였다. 교통사고 1,000건당 사망자와 중상자의 비율을 통해 사고심각도를 판단하였고, 분석 결과 맑은 날 발생한 교통사고가 비가 오는 날 발생한 교통사고에 비해 심각도가 큰 것으로 나타났다.

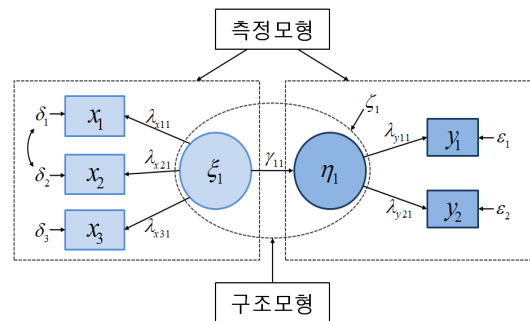
Kelvin K. W. Yau(2003)은 사고차종을 개인차량, 화물차량, 오토바이 3가지로 구분하여 stepwise logistic regression model을 사용하여 각 사고의 요인을 비교분석하였다. 개인 차량은 표지판 설치상태와 운전자 성별, 차량 연식, 사고발생 시간과 신호등 운영 여부가 주 요인으로 분석되었으며, 화물차량은 안전벨트 착용여부, 사고발생 요일이 사고의 심각도에 영향을 끼치는 주 요인으로 분석되었다.

2. 방법론 고찰

구조방정식 모형은 사회학 및 심리학에서 개발된 측정이론에 토대를 둔 확인적 요인분석과 계량경제학에서 개발된 연립방정식 모델에 토대를 둔 다중회귀분석 및 경로분석 등이 결합된 성격을 갖는 방법론이라고 할 수 있다(배병렬, 2005.). 구조방정식 모형은 측정모형과 구조모형으로 구성되어 있다. 측정모형(Measurement model)은 각각의 관측변수가 특정 잠재변수에 대해 어떻게 적재되어 있는가를 설정한 확인적 요인분석의 성격을 갖고 있어서, 관측변수들의 측정속성인 신뢰도 및 타당도를 평가할 수 있다. 구조모형(Structural model)은 어떤 잠재변수가 다른 잠재변수의 변화에 직접적으로 또는 간접적으로 영향을 주고 있는가를 설정한 다중회귀분석 및 경로분석의 성격이 반영되어 잠재변수들 간의 관계를 설정한 것이다.

구조방정식 모형분석의 기본적인 과정은 측정변수를 통한 잠재요인을 발견하고 잠재요인 간에 인과관계의 가설을 설정하는 것이다. 일반적인 구조방정식의 구성요소는 <표 1>과 같으며, <그림 1>은 구성요소들을 경로도형으로 나타낸 것이다.

경로도형에서 동그라미는 잠재변수를 나타내며 사각형은 관측변수를 나타낸다. 도형을 잇는 화살표는 변수들 간의 인과관계를 나타내며 인과방향에 따라 반영지표(reflective indicator)와 조형지표(formative indicator)로 나뉜다. <그림 1>과 같이 잠재변수에서 관측변수 방향으로 화살표가 연결되어 있는 경우, 잠재변수가 관측변수를 야기하는 것으로 가정된다.



<그림 1> 구조방정식 모형

III. 구조방정식모형 설정

1. 자료 수집 및 점검

본 연구에서는 2005년부터 2007년까지 서대문구에서 발생한 교통사고자료를 이용하였다. 해당 자료는 사고 발생지, 발생시간, 사고차종, 운전자와 피해자의 성별과 나이, 면허경과, 범규위반내용, 도로선형, 기상상태, 노면상태, 신호기운영, 사고개요, 음주운전 여부, 사망자 수, 중상자 수, 경상자 수 등 다양한 정보를 담고 있다. 이 중 운전자 나이와 면허경과, 기상상태와 도로의 노면상태 같은 경우는 매우 밀접한 관계를 갖고 있기 때문에 다중공선성이 존재할 가능성이 있다. 따라서 상관분석과 VIF 지수를 활용하여 다중공선성을 진단하고, 이에 따라 면허경과 변수와 도로의 노면상태 변수를 제거하였다.

이러한 자료의 점검을 통해 11개 변수(횡단선형, 중단구배, 신호기운영, 침두시간, 주야, 기상상태, 운전자 나이, 성별, 음주운전 여부, 사망자 수, 부상자 수)를 선정하였다. 결측 값과 이상 값이 있는 자료를 제외한 총 2,784개 자료를 사고의 유형에 따라 차대차 사고와 차대사람 사고로 분류하여 이용하였다.

구조방정식의 모형의 추정에 앞서 각 변수들 간의 기초 통계분석을 실시하였다. <표 2>에 요약된 기초 통계 분석 결과를 살펴보면, 우선 각 변수 별 사고빈도의 구성이 사고유형 간 차이가 적다는 것을 알 수 있다. 예를 들어 직선구간에서 발생한 교통사고는 차대차 사고와 차대사람 사고 모두 전체 사고 중 약 90% 정도의 비율을 차지한다. 하지만 사고유형별 평균 사상자 수를 살펴보면 다른 양상이 나타난다.

차대사람 사고가 차대차 사고에 비해 평균 사망자 수가 많고 평균 경상자 수가 적은 것을 확인할 수 있다. 이

<표 1> 구조방정식의 구성요소

측정 모형	x	외생관측변수들의 q×1 벡터
	y	내생관측변수들의 p×1 벡터
	ξ	잠재외생변수들의 n×1 벡터
	η	잠재내생변수들의 m×1 벡터
	δ	x 측정오차들의 q×1 벡터
	ε	y 측정오차들의 p×1 벡터
	Λx	n 외생잠재변수를 측정하도록 설계된 q 관측변수와 관련된 q×n 회귀행렬
구조 모형	Λy	m 내생잠재변수를 측정하도록 설계된 p 관측변수와 관련된 p×m 회귀행렬
	Γ	n 외생잠재변수와 m 내생잠재변수를 연결해주는 m×n 행렬계수
	B	m 내생잠재변수를 연결해주는 m×m 행렬계수
	ζ	방정식오차를 의미하는 m×1 벡터

〈표 2〉 단속류 사고자료 기술통계량

변수	구분	차대차					차대사람					변수값
		빈도	%	사상자 수 (평균)			빈도	%	사상자 수 (평균)			
				사망	중상	경상			사망	중상	경상	
횡단 선형	직선 (곡선반경 ≥ 500m)	1,805	90	0.002	0.462	1.199	702	89	0.036	0.553	0.463	1
	커브 (곡선반경 < 500m)	167	8	0.024	0.635	1.251	62	8	0.032	0.532	0.468	0
종단 구배	평지 (경사도 -3 ~ 3%)	1,541	77	0.003	0.461	1.186	633	81	0.036	0.537	0.474	1
	오르막 (경사도 > 3%)	180	9	0.006	0.522	1.194	65	8	0.015	0.646	0.385	0
	내리막 (경사도 < -3%)	278	14	0.014	0.532	1.273	87	11	0.034	0.563	0.460	0
신호기 운영	있음	816	41	0.001	0.501	1.189	248	32	0.048	0.605	0.399	1
	없음	1,183	59	0.007	0.460	1.205	537	68	0.028	0.523	0.495	0
사고 발생시간	첨두 (07~09시, 18~19시)	395	20	0.005	0.466	1.119	173	22	0.040	0.555	0.474	1
	비첨두 (10~17시, 20~06시)	1,604	80	0.004	0.479	1.218	612	78	0.033	0.547	0.462	0
주야	주	950	48	0.008	0.515	1.147	405	52	0.044	0.578	0.393	1
	야	1,049	52	0.001	0.442	1.245	380	48	0.024	0.518	0.542	0
기상 상태	맑음	591	30	0.003	0.518	1.212	235	30	0.047	0.502	0.506	1
	흐림	1,408	70	0.005	0.460	1.193	550	70	0.029	0.569	0.447	0
운전자 성별	남	1799	90	0.004	0.501	1.233	683	87	0.036	0.472	0.533	1
	여	200	10	0.005	0.470	1.116	102	13	0.020	0.502	0.567	0
운전자 나이	20대	276	14	0.004	0.529	1.065	175	22	0.006	0.606	0.457	0
	30대	444	22	0.007	0.559	1.119	198	25	0.040	0.525	0.485	0
	40대	611	31	0.002	0.445	1.285	200	25	0.045	0.560	0.430	1
	50대	476	24	0.004	0.405	1.267	140	18	0.043	0.471	0.514	0
	60대	192	10	0.010	0.490	1.130	72	9	0.042	0.597	0.431	0
음주 운전	음주	219	11	0.000	0.534	1.219	26	3	0.038	0.462	0.692	1
	정상	1,780	89	0.005	0.470	1.196	759	97	0.034	0.552	0.457	0

를 통해 차대사람 사고의 경우 큰 인명피해가 발생하는 사례가 많다고 판단할 수 있다. 하지만 사망자 수의 비교만을 통해서 사고 심각도를 판별하기에는 무리가 있다. 차대차 사고의 경우 사망자 수가 상대적으로 적기는 하지만, 부상을 당하는 사람의 수가 더 많기 때문에 어떤 사고가 더 심각하다고 판단할 기준이 명확치 않다. 따라서 기존의 연구들에서 사용된 사고 심각도라는 개념 대신 사고의 피해를 사회적 비용으로 환산하여 사고 규모라는 개념을 적용하였다.

사고 규모를 산정하기 위하여 예비타당성조사에서 사고비용 산출 시 사용되는 한국교통연구원의 교통사고비용을 적용하였다.

〈표 3〉에서 알 수 있듯이 경상사고에 비해서 사망사고의 경우 33.86배, 중상사고의 경우 6.04배의 비용이 들고 있다. 이 비율을 적용하여 사고의 정도를 표준화시켰다. 또한 차대차 사고에서 많은 경우 1명 이상의 중상자와 경상자가 동시에 발생하였기 때문에 두 변수의 상관계수가 0.85 이상으로 매우 높게 나타나서 다중공선성의 문제가 발생하였다. 따라서 중상자 수와 경

〈표 3〉 교통사고비용 산정

건당	사망사고	중상사고	경상사고
손실생산	24,672.64	535.20	106.58
의료비용	1,591.49	2,333.52	604.43
차량손실비용	258.46	332.31	184.62
행정비용	530.45	128.04	125.39
교통비용	10,280.15	3,329.07	81.68
총계	37,333.19	6,658.14	1,102.70

자료 : 한국교통연구원, "2001 교통사고비용", 2004.

상자 수를 비용으로 표준화 시킨 뒤, 부상자 수 변수에 통합하였다.

사고자료에서 주어진 변수들은 대부분 범주형 변수이기 때문에 구조방정식에 적용하기 위하여 0과 1의 값만을 갖는 이항변수 형태의 더미변수로 변환하였다. 일반적으로 더미변수의 개수는 변수의 범주 개수보다 1개 적은 수만큼 설정한다. 하지만 본 연구에서는 사전 분석을 통해 모형의 설명력을 낮추고 통계적 유의성을 갖지 못하는 더미변수를 제거하고 범주를 통합하여 〈표 2〉와 같이 변수값을 설정하였다.

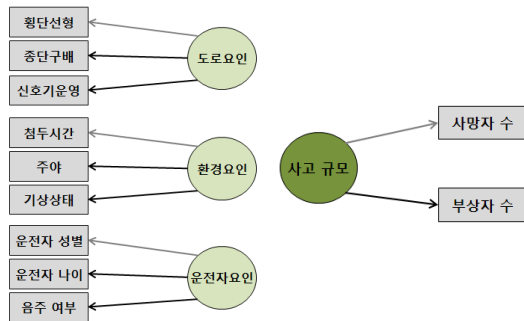
2. 모형 설정

기초 통계분석 결과와 기존 연구들의 이론적 근거를 토대로 모형을 설정하기 위한 잠재변수로 사고 규모, 도로 요인, 환경 요인, 운전자 요인을 설정하였다.

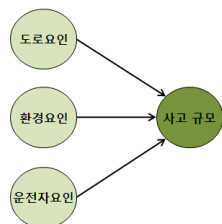
사고 규모는 교통사고로 인한 피해의 정도이며, 비용으로 표준화된 사망자 수와 부상자 수 두 반영지표를 통해 나타내어지는 내생잠재변수(endogenous latent variable)로 설정하였다.

도로 요인, 환경 요인, 운전자 요인은 외생잠재변수(exogenous latent variable)이며 각 관측변수들을 반영지표로 삼는다. 도로 요인은 시간이나 환경적 변화에 영향을 받지 않고 도로의 구조적 요소에 영향을 미치는 잠재변수로서 횡단선형과 종단구배, 신호기 운영 변수를 지표로 설정하였다. 환경 요인은 교통상황이나 날씨 등 도로 외적인 환경의 변화를 통해 교통시설의 상태나 교통상황에 영향을 미치는 잠재변수로서 사고 발생시간과 주/야간, 기상상태 변수를 지표로 설정하였으며, 운전자 요인은 운전자의 행태에 영향을 미치는 요인으로 운전자 성별과 운전자 나이, 음주운전 여부 변수를 지표로 설정하였다. 따라서 본 연구의 구조모형과 측정모형은 <그림 2>, <그림 3>과 같다.

이렇게 설정한 잠재변수들과 관측변수들의 관계를 검



<그림 2> 차대차/차대사람 사고 유발요인 측정모형



<그림 3> 차대차/차대사람 사고 유발요인 구조모형

<표 4> 탐색적 요인분석 결과

변수	요인 1	요인 2	요인 3
횡단선형	-0.018	0.655	0.105
종단구배	0.059	0.667	-0.031
신호기운영	-0.041	0.553	-0.053
시간	0.459	0.025	-0.110
주야	0.726	-0.040	0.100
기상상태	0.675	-0.002	0.255
운전자 성별	-0.264	0.230	0.379
운전자 나이	-0.172	0.027	0.562
음주여부	-0.537	0.034	-0.552

증하기 위해 탐색적 요인분석을 수행하였다. <표 4>에 나타난 요인분석의 결과를 보면, 사고 발생시간과 주야, 기상상태 변수는 요인 1에서 높은 요인적재량을 가졌고, 횡단선형과 종단구배, 신호기 운영 변수는 요인 2에서 가장 높은 요인적재량을 가졌다.

그리고 사고차종과 운전자 나이, 음주운전 여부는 요인 3에서 높은 요인적재량을 갖고 있어서, 사전에 가정 한 것과 동일한 형태로 9개의 외생관측변수가 3개의 요인으로 분류되었다. 따라서 앞서 설정한 관측변수와 잠재변수의 관계는 타당하다고 판단된다.

IV. 모형의 추정

1. 모형의 추정 및 적합도 평가

구조방정식 모형을 적용하기 위해 PRELIS를 사용하여 원자료를 분석하고 다변량정규성을 실험하였다. 모든 외생관측변수가 바이너리 데이터이고 두 내생관측변수가 연속형 자료이기 때문에 PRELIS를 사용하여 polychoric correlation matrix를 계산할 수 있고, 또한 가중최소제곱법에 쓰이는 점근공분산행렬을 계산할 수 있다 (Joreskog and Sorbom, 2000). PRELIS를 통한 다변량정규성 실험 결과는 <표 5>에 요약되어 있다.

자료의 왜도와 첨도의 Z-score가 95% 유의수준에서

<표 5> 다변량정규성 분석결과

	Value	Z-score	P-value	Chi-Square
Skewness	236.26	174.09	0.000	-
Kurtosis	466.19	92.19	0.000	-
Skewness and Kurtosis	-	-	0.000	42845.13

±1.96을 초과하면 분포가 정규성을 이룬다는 가정을 기각할 수가 있다. 따라서 본 연구에 사용된 자료는 다변량 정규성을 갖지 않는 것으로 나타났고, 자료의 분포적 가정을 요구하지 않는 가중최소제곱법을 이용하여 모형을 추정하였다.

최종적으로 추정된 모형은 <그림 4>, <그림 5>와 같다. 본 연구에서는 도로 요인과 환경 요인, 운전자 요인을 외생잠재변수로, 사고 규모를 내생잠재변수로 설정하여 구조방정식 모형을 구축하였다. 모형의 구조상 잠재변수들간의 효과는 직접효과만이 도출되었으며, 간접효과는 산출되지 않았다. 추정된 모수들은 모두 표준화 해(standardized solution)이며, 이를 통해 외생잠재변수들이 내생잠재변수에 미치는 상대적 영향력을 파악할 수 있다.

본 연구모형의 적합도 평가는 <표 6>에 나타나 있다. LISREL에서 전반적인 검정은 표본공분산행렬(S)과 추정공분산행렬($\Sigma(\Theta)$) 사이의 불일치의 평가에 의해 이루어진다. 카이제곱 통계량은 그 값이 크고 확률값이 작으면(p<0.05) 모델이 적합하지 않다고 평가하지만 카이제곱 분포를 이루는 통계량 T가 다변량정규성이 위배되는 경우에는 카이제곱 분포를 따르지 않을 수도 있다. 따라서 다른 여러 가지 적합지수를 함께 고려하여 판단하는 것이 바람직하다.

적합지수(GFI)는 표본공분산행렬의 상대적인 분산과 공분산의 양을 측정하는 척도로써 다변량정규성의 위반에 별로 영향을 받지 않으며 일반적으로 0~1 사이의 값을 갖는다(Jöreskog and Sörbom, 1989.).

보편적으로 권장되는 수용수준은 0.90 이상으로 본 연구모형의 적합도 판단에 무리가 없는 것으로 나타났다. GFI를 자유도를 이용하여 조정한 조정적합지수

(AGFI) 또한 권장 수용수준 이상인 것으로 나타났으며, 비교적합지수(CFI) 값도 0.896~1로 적합하게 나타났다. RMSEA 지수는 표본의 크기가 상당히 큰 제안모형을 기각시키는 카이제곱 통계량의 한계를 극복하기 위한 적합지수이며 Critical N은 카이제곱 검정을 위해 주어진 유의수준에서 구조방정식 모형이 수용할 수 있는 적절한 표본크기를 나타내주는 지수로, 모두 적합도 판단에 무리가 없는 것으로 나타났다.

2. 모형의 결과 및 해석

추정 결과에 의하면 차대차 모형에서는 도로 요인이 사고 규모에 미치는 총 효과는 -0.48(표준오차 0.14, t-value -3.18)으로 계수의 부호가 음의 값을 가지며 가장 큰 영향을 미치고 있다. 이는 도로 요인이 증가할수록, 즉 도로 구조가 직선이고 평지, 신호기가 운영되는 곳의 차대차 사고의 규모는 작아지는 것을 의미한다.

또한 환경 요인이 사고 규모에 미치는 총 효과는 양의 값인 0.35(표준오차 0.21, t-value 1.75)로, 환경 요인이 커지는 맑은 날 주간 침두시의 차대차 사고의 규모는 커지는 것으로 분석되었다. 운전자 요인도 양의 관계로 40대 남자 음주운전자의 경우 사고 규모가 커지는 것으로 나타났으며, 총 효과가 0.06(표준오차 0.18, t-value 1.81)로 가장 적은 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

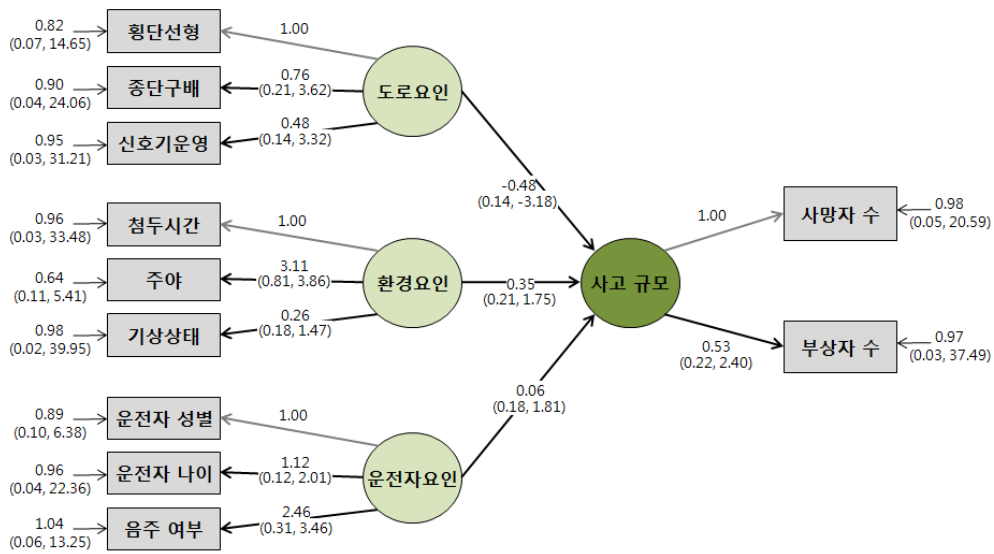
반면에 차대사람 모형에서는 다른 양상이 나타났다. 차대차 모형에서는 가장 큰 영향을 미쳤던 도로 요인의 경우, 총 효과가 0.25(표준오차 0.22, t-value 1.63)으로 환경 요인에 비해 적은 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 부호도 차대차 모형과 달리 양의 값으로 정반대의 양상을 띄는 것으로 분석되었다.

환경 요인이 총 효과 0.72(표준오차 0.36, t-value 1.97)로 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 운전자 요인의 총 효과는 0.18(표준오차 0.21, t-value -1.70)로 차대차 모형과 마찬가지로 가장 적은 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

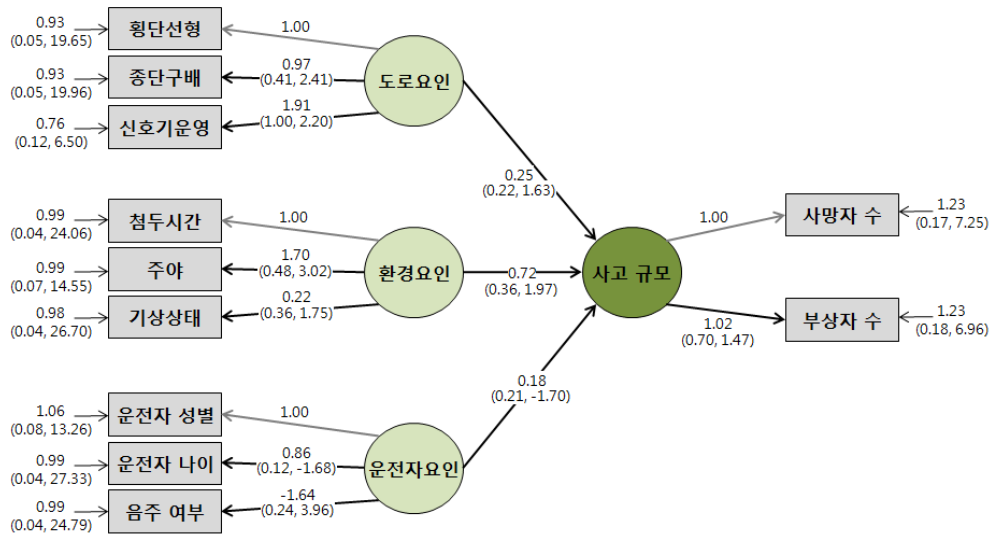
따라서 사고 규모에 가장 큰 영향을 미치는 요인이 차대차 사고에서는 도로 요인, 차대사람 사고에서는 환경 요인으로 각각 다르게 분석되었다. 이는 교통사고를 줄이기 위한 방법론이 사고의 유형에 따라 다르게 적용되어야 함을 보여준다.

<표 6> 모형의 적합도 지수

적합도 지수	차대차	차대사람	권장수준
카이제곱 통계량	60.35 (p=0.01)	38.05 (p=0.71)	p<0.05
적합지수 (GFI)	0.991	0.981	0.9 이상
조정적합지수 (AGFI)	0.987	0.972	0.85 이상
비교적합지수 (CFI)	0.896	1.000	0.9 이상
잔차평균자승 이중근 (RMR)	0.0213	0.0247	0.05 이하
근사오차평균자승의 이중근 (RMSEA)	0.0093	0.0	0.05 이하
Critical N (CN)	1746.20	1360.43	200 이상



〈그림 4〉 추정된 차대차 구조방정식 모형



〈그림 5〉 추정된 차대사람 구조방정식 모형

3. 연구결과 비교 및 시사점

도로 요인은 건설 위치의 지형이나 도시 구조 등으로 인해 조절이 힘들고 적용이 제한적이다. 그러므로 구조적인 요소보다는 TSM(교통체계관리) 기법을 통해 접근하는 방법이 효율적이다.

차대차 모형에서 추정된 도로 요인과 반영 지표와의 관계를 통해 살펴보면, 도로 요인은 도로의 횡단 선형, 중단 구배, 신호기 운영 여부를 통해서 나타난다. 도로

요인이 증가할수록 사고의 규모는 작아진다는 것은 도로 요인이 작은 도로는 규모가 큰 사고가 발생할 가능성이 높다는 것을 의미한다. 도로 요인과 지표들은 모두 양의 관계를 갖고 있으므로 지표에 해당하는 관측변수의 값이 낮은 곳, 즉 도로 구조가 곡선이고 경사로, 신호기가 운영되지 않는 단속류 도로에서는 차대차 사고 저감을 위한 더 많은 관리가 필요하다. 이는 도로의 선형이 좋지 않으면 사고의 위험도가 높은 사실을 반영한다.

환경 요인은 시간적 요소의 영향을 많이 받고 지역이

나 계절에 따라 많이 달라지기 때문에 그 특성에 맞는 다양한 방법이 요구된다. 차대사람 모형에서 추정된 환경 요인과 반영 지표와의 관계를 통해 살펴보면, 환경 요인은 사고의 발생시간과 기상 상태를 통해서 나타난다. 환경 요인과 사고 규모는 양의 관계이고, 환경 요인과 반영 지표를 역시 양의 관계이므로 지표에 해당하는 관측변수의 값이 높은 환경, 즉 침두시간, 주간, 날씨가 맑은 때를 고려한 보행자 보호시설이 보차 상충이 많은 지역에 특별히 더 필요하다.

차대차 사고와 차대사람 사고의 환경 요인에 대한 영향은 동일한 방향으로 나타났으며, 이는 날씨가 맑은 날은 노면 상태가 좋지 않고 시거를 확보하기 어렵기 때문에 차량의 속도가 떨어지고 운전자의 주의도가 올라가므로 사고의 심각도가 낮아진다는 Julia B. Edwards(1998)의 연구와 유사한 결과를 보여준다.

침두 시간에 관해선, 혼잡으로 인해 차량의 속도가 떨어지고 이로 인해 심각도가 감소한다는 일반적인 연구결과와는 다른 양상의 분석결과가 나타났다. 하지만 Kelvin K. W. Yau(2003)의 연구에서 업무통행의 경우 운전자가 업무 스케줄을 맞추기 위해 공격적인 운전 성향을 갖는다고 분석하였듯이 침두시의 낮은 평균속도와 달리 사고 당시의 순간속도는 다른 패턴을 보일 수 있다.

운전자 요인은 차대차 사고와 차대사람 사고에서 모두 가장 영향이 적은 요인으로 나타났다. 이는 운전자와 관련된 변수를 설정할 때 1당차량의 정보만 고려하면서 발생한 한계점으로 판단된다. 차대사람 사고의 경우에는 2당차량이 존재하지 않기 때문에 차대차 사고의 2당차량과 비교가 불가하여 1당차량의 정보만 고려하였다.

V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 단속류 시설에서 교통사고 유형별 요인을 구조방정식모형(SEM : Structural Equation Modeling)을 이용하여 도출해내고, 모형을 구축하여 유형별로 사고의 주요인들을 파악하여 비교하였다. 최종 모형에서 도출된 결론은 차대차 사고에서는 도로 요인이, 차대사람 사고에서는 환경 요인이 사고의 규모에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

차대차 사고의 경우 도로 요인에 의해 가장 큰 영향을 받았으며, 이를 통해 곡선 반경이 500m 미만인 도로, 경사도가 ± 3 를 초과하는 도로, 신호기가 운영되지 않는 도로에서 규모가 큰 사고가 발생할 가능성이 높은 것으

로 판단된다. 반면 차대사람 사고의 경우 환경 요인에 의해 가장 큰 영향을 받았으며, 이를 통해 침두시간과 주간, 날씨가 맑은 때 규모가 큰 사고가 발생할 가능성이 높은 것으로 판단된다. 따라서 교통사고의 규모를 줄이기 위해서는 사고의 유형과 구조적/환경적 특성을 고려한 방법론이 필요함을 알 수 있다.

본 연구는 사고의 규모를 줄이기 위한 요인 분석으로 사고의 빈도를 줄이기 위한 방법론과는 구분이 필요하며, 운전자의 특성에 대한 변수만 취급되었기 때문에 사고 피해자에 대한 변수들을 고려한다면 더 현실을 잘 반영할 수 있는 모형이 나올 것이라고 생각한다. 이외에도 여러 요인의 관측변수들을 더욱 다양화하고 세분화하여 모형을 발전시킨다면 사고를 예측하고 그 피해를 줄이는데 기여할 수 있을 것이다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제61회 학술발표회 (2009.11.6)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

참고문헌

1. Ali S. Al-Ghamdi(2002), "Using logistic regression to estimate the influence of accident factors on accident severity", *Accident Analysis and Prevention* 34, pp.729~741.
2. Kelvin K. W. Yau(2004), "Risk factors affecting the severity of single vehicle traffic accidents in Hong Kong", *Accident Analysis and Prevention* 36, pp.333~340.
3. Ju-Yeon Lee(2008), "Analysis of traffic accident size for Korean highway using structural equation models", *Accident Analysis and Prevention* 40, pp.1955~1963.
4. Juan de Oña(2011), "Analysis of traffic accident injury severity on Spanish rural highways using Bayesian networks", *Accident Analysis and Prevention* 43, pp.402~411.
5. Julia B. Edwards(1998), "The Relationship Between Road Accident Severity and Recorded Weather", *Journal of Safety Research*, Vol. 29, No. 4, pp.249~262.

6. Samantha Islam(2006), "Driver aging and its effect on male and female single-vehicle accident injuries: Some additional evidence", *Journal of Safety Research* 37, pp.267~276.

7. 박정순·김태영·유두선(2007), "도로환경요인과 교통사고의 상관분석 및 사고추정보형 개발 (청주시 4지 신호교차로를 중심으로)", *대한교통학회지*, 제 25권 제2호, 대한교통학회, pp.63~72.

8. 이주연·정진혁·손봉수(2008), "구조방정식모형을 이용한 고속도로 교통사고 심각도 분석, *대한교통학회지*, 제26권 제2호, 대한교통학회, pp.17~24.

9. 배병렬(2006), "LISREL 구조방정식모델 - 이해, 활용 및 프로그래밍", 도서출판 청람.

10. Ullman JB & Bentler PM.(2006), *Structural Equation Modeling*. SAGE.

✎ 주 작성자 : 김상록
 ✎ 교신저자 : 배윤경
 ✎ 논문투고일 : 2010. 12. 14
 ✎ 논문심사일 : 2011. 1. 19 (1차)
 2011. 2. 28 (2차)
 2011. 4. 20 (3차)
 2011. 5. 11 (4차)
 ✎ 심사판정일 : 2011. 5. 11
 ✎ 반론접수기한 : 2011. 10. 30
 ✎ 3인 익명 심사필
 ✎ 1인 abstract 교정필