



교통사고 위험도 지수 산정 모델 개발

- 춘천시 교차로를 중심으로 -

Development of Computation Model for Traffic Accidents Risk Index - Focusing on Intersection in Chuncheon City -

심 관 보* 황 경 수**
Shim, Kywan Bho Hwang, Kyung soo

Abstract

Traffic accident risk index Computation model's development apply traffic level of significance about area of road user group, road and street network area, population group etc.. through numerical formula or model by countermeasure to reduce the occurrence rate of traffic accidents. Is real condition that is taking advantage of risk by tangent section through estimation model and by method to choose improvement way to intersection from outside the country, and is utilizing being applied in part business in domestic. However, question is brought in the accuracy being utilizing changing some to take external model in domestic real condition than individual development of model. Therefore, selection intersection estimation element through traffic accidents occurrence present condition, geometry structure, control way, traffic volume, turning traffic volume etc. in 96 intersections in this research, and select final variable through correlation analysis of abstracted estimation elements. Developed intersection design model taking advantage of signal type, numeric of lane, intersection type, analysis of variance techniques through ANOVA analysis of three variables of intersection form with selected variable lastly, in signal crossing through three class intersection, distinction variable choice risk in model, no-signal crossing risk distinction analysis model and so on develop .

Keywords : *traffic accident risk, risk index model, signal intersection, no-signal intersection, distinction analysis model*

요 지

교통사고 위험도 지수 산정 모델의 개발은 교통사고와 사상자수의 발생률을 줄이기 위한 대책으로 도로이용자 그룹, 도로와 가로망의 구역, 인구집단 등에 대한 교통위험도를 수식 또는 모델화를 통해 사전에 적용하여 효과를 극대화하고자 한다. 국외에서는 위험도평가모형을 통해 단일로 및 교차로에 개선방안 우선순위를 선정하는 방법으로 활용하고 있으며, 국내에서도 일부 사업에 적용되어 활용하고 있는 실정이다. 하지만 모형의 독자적인 개발보다는 국외의 모형을 국내 실정에 맞추어 일부 변형하여 활용하고 있어 그 정확성에 의문이 제기되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 춘천시의 96개의 교차로를 대상으로 교통사고 발생 현황, 기하구조, 통제방식, 교통량, 회전교통량 등을 통해 교차로 평가요소를 추출하였으며, 추출된 평가요소들의 상관분석을 통해 최종적인 변수를 도출하였다. 최종적으로 도출된 변수를 바탕으로 신호 구분, 차로수, 교차로형태의 세변수의 선형모형 분석을 통한 분산분석 기법을 이용하여 교차로 디자인 모형을 개발하였으며, 교차로의 계층분류, 판별변수 선정을 통해 신호교차로 위험도 모형, 비신호교차로 위험도 모형을 개발하였다.

핵심용어 : *교통사고 위험도, 위험도 지수 모형, 신호교차로, 비신호교차로, 판별분석 모형*

* 정희원 · 도로교통공단 교통과학연구원 책임연구원 공학박사(E-mail : shimkb4@paran.com)
** 비희원 · 제주대학교 행정학과 교수(E-mail : ddongpal@choi.com)



1. 서론

자동차 교통의 증가와 일치하는 형태로 교통사고와 사상자수가 증가하는 경향을 나타내는 우리나라는 그동안 산업사회의 고도화에 따른 도로교통의 팽창에 대처하기 위해 주로 도로와 가로에 대한 투자의 형태로 시책이 이루어져왔다. 그 결과 교통사고의 증가와 교통 장애자 발생이라는 심각한 사회문제를 낳았다. 사고발생시 상해의 심각도를 줄이기 위해 속도 제한과 안전벨트와 헬멧착용 등 교통단속과 법제정의 형태로 후속시책이 이루어져 왔고, '92년부터는 교통사고 줄이기 5개년 계획운동이 범정부적으로 추진되고는 있으나 교통선진국에서처럼 사고와 사상자수에 있어 감소로의 대반전은 이루어 지지 않고있다.

사고와 사상자의 형태로 나타나는 도로교통의 부정적인 결과들은 복권추첨이나 운으로 간주될만하다. 즉 많은 도로이용자들이 해마다 도로교통으로 사망하거나 부상 당한다는 것은 누구나 명백히 인식하고 있으면서도 그 각각의 사고가 발생하는 시간, 장소, 결과를 예측할 수 없다는 데 문제의 심각성이 있다고 하겠다. 그러나 도로이용자 그룹, 도로와 가로망의 구역, 인구집단 등에 대한 위험을, 즉 교통위험도를 수식이나 모델화하여 기술할 수 만 있다면, 그에 상응하는 적절한 실행계획을 사전에 적용할 수 있어 대책의 효과를 극대화할 수 있기에 각 나라마다 많은 연구가 이루어지고 있고, 실제 교통대책의 수립시 이를 반영해 나가고 있는것이 현실이다. 교통 안전도를 평가함에 있어 일반적으로 사용되는 평가 방법은 노출도(Exposure), 위험율(Risk), 결과심각도(Consequence) 등이며, 이 중에서 관심을 끄는 위험을 방법에 있어 많은 연구문헌들은 대부분의 의사결정을 이미 발생된 사고의 심각도나 사고건수에 기초를 두고 있다.

본 연구는 도로 환경 요인에 따른 위험도를 도로의 형태, 기하구조 및 교통특성에 따라 지수화(Risk Index)하고, 이를 통한 위험도 모델을 제시함으로써 효과적인 교통안전대책의 수립에 기여하고자 하는

데 목적이 있다.

연구의 시간적 범위로는 2006년 교통사고 자료를 활용하였으며, 공간적 범위는 강원도 춘천시를 대상으로 교통사고기록, 도로 기하구조 및 교통특성을 조사하여 연구를 진행하였다.

본 연구는 첫째, 이론적 고찰을 통하여 기존의 모형을 검토하고, 둘째, 현장조사 항목과 교통사고와의 상관분석에서 지수산정 및 모형개발을 위한 지표를 설정하였으며, 셋째, 지표와 위험도 지수 및 위험도 모형을 개발하는 순으로 연구를 진행하였다.

본 연구에서는 도로환경요인에 따른 위험도를 도로 및 교통특성에 따라 지수화 함으로써 교통사고를 예측하고 효과적인 사고예방대책을 수립하고자 하는 것이다. 따라서 현장조사와 사고기록조사는 본 연구의 수행에 있어 가장 기본적이고 중요한 과정이다.

현장조사 자료는 연구의 결과에 큰 영향을 미치게 되므로, 현장조사 전에 충분한 자료검토를 실시하였고 조사계획을 수립하여 합리적이고 효과적인 조사가 이루어지도록 하였다.

2. 기존 연구 검토

2.1 교통안전평가의 개념

교통사고 발생과정은 그림 1과 같이 운전자, 차량 및 교통환경의 여러 변수들이 도로상에 노출되어 사고가 발생된다. 또한 위험도 모델, 위험그룹, 위험수준 등은 각각 그림1에서 제시한 지표로 설명 또는 표현된다(Thulin 등, 1995).

그림 2는 노출과 위험확률, 결과심각도의 상관관계를 그림을 통하여 설명하고 있다. 각각의 안전대책이나 교통상황의 변화는 교통안전상태(도)를 바꿀수 있다. 즉 노출도의 변화, 사고위험 확률의 변화, 사고 혹은 부상결과의 변화(심각도)가 그것이다(Hauer, 1982).

- 노출도(Exposure) : Vehicle Kilometer = E
- 사고율(Accident Rate) : Accidents/ Exposure = A/E

- 결과심각도(Consequence) : Injured/ Accidents = I/A

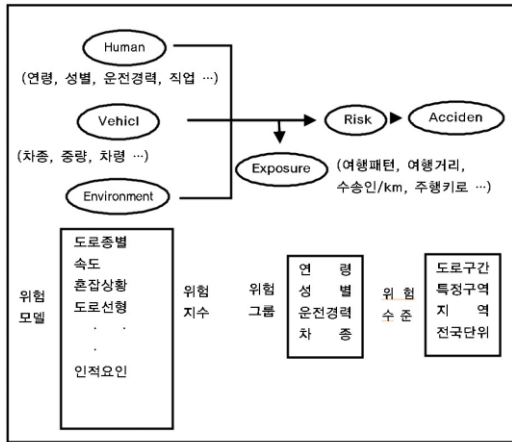


그림 1. 교통사고 발생 과정

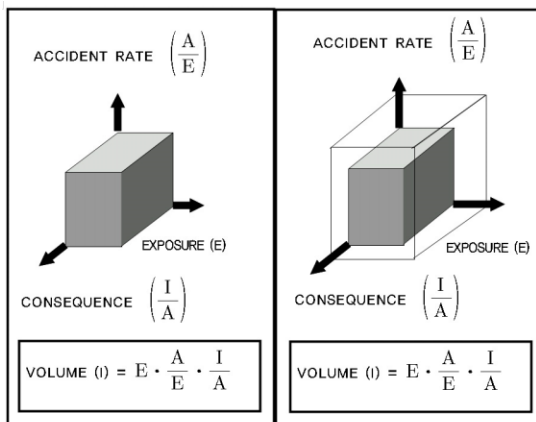


그림 2. 교통안전의 개념

예를 들어 자동차의 연료가격이 상승되면 노출도가 변화되고, 도로설계 기준을 강화하게 되면 위험확률은 줄어들게 된다. 또한 안전벨트 착용을 의무화하게 되면 교통사고 발생후의 사고 심각도를 줄여줄 수 있게 된다. 한편 속도제한은 노출도, 위험확률, 심각도 모두에 영향을 미친다.

2.2 외국의 위험도 모형 검토

2.2.1 H. Douglas Robertson, and Everett C. Carter의 모형

Robertson과 Carter는 보행자 교통안전에 대하여 지점의 상대적 안전도를 표현하기 위한 위험도 지수를 개발하였다.

보행자 위험도 지수의 일반형태는 다음과 같다 (Davis 등).

$$\Phi = \sum_{i=1}^n \frac{(WF_i \times Hv_i)}{\sum_{i=1}^n WF_i}$$

Φ : 연구대상교차로에 대한 위험도 지수

WF_i : 위험요인 i 에 대한 가중요소

Hv_i : 위험요인 i 에 대한 위험값

$\sum_{i=1}^n$: 연구대상 교차로에서 이용된 위험요인의 가중요소의 합

n : 위험요인의 수

각 위험지표는 교차로에서 장래 보행자 사고에 대한 잠재성의 부분적 척도이다. 지표에 대한 위험값은 0에서 100까지이고 위험값이 크면 위험도도 크다. 위험도 지표는 다음과 같다.

- 보행자 교통사고 건수
- 보행자 사고율
- 특정 집단(어린이, 노인)의 보행자 횡단비율
- 신호위반
- 보행자/차량 상충

위험지표의 기초자료를 0에서 100까지의 위험값으로 전환하는 과정은 테일러와 톰슨(1976)에 의해 시도되었던 것과 유사하다. 위험값의 범위는 주어진 표 1과 같다. 예를 들어 '0'은 위험없음, '33'은 보통, '67'은 매우 위험 또는 임계값, '100'은 극도의 위험 등이다.

다섯가지 카테고리에 대해 분류된 위험도값은 다소 임의적인 것이다. 설정된 위험값과 지표에 따라 각 위험도 지표에 대하여 상응하는 기초데이터 값을 결정하여야 한다. 이는 다섯 개의 위험지표에 대하여 각각 유용한 기초데이터를 분석하고 주관적으로 평가하는 것에 의해 수행되었다.

제어값(Control Value)은 보행자 위험도 지수를 계산하기 위해 이용될 수 있는 위험값이다.



표 1. 위험값의 범위

구 분	위험값	등 급
위험없음	0	위험없음
위험	1 ~ 32	낮은 위험
	33 ~ 66	위험
매우 위험	66 ~ 99	높은 위험
	100	극도의 위험

위험지표에 대한 가중치는 위험도지수의 이용자에 의해 설정되고 지역적 위치와 상황을 반영한다. 각 위험지표에 대하여 로버트슨과 카터가 설정한 가중치는 다음과 같다.

표 2. 위험지표에 대한 가중치

위험지표	가중치
보행자 사고건수	0.25
보행자 사고율	0.25
특정연령층의 비율	0.20
신호위반	0.15
차대보행자 상충	0.15
계	1.0

2.2.2 Scott E.Davis, H. Douglas Robertson and L. Ellis King의 모형

판별분석모형을 사용하여 개발된 워싱턴 D.C와 시애틀의 3그룹과 2그룹의 모형은 차량 및 보행자 잠재사고 또는 사고없는 교차로를 예측하는데 의미 있는 결과를 얻고 있다. 시애틀 모형은 교통상충수, 보행자교통량, 차량교통량, 차로수를 기초로 설계된 모형이다(Davis 등).

① 시애틀 3그룹 모형

- 그룹 1 : zero accident intersection
- 그룹 2 : one- and two-accident intersections
- 그룹 3 : three-or more-accident intersections

$$\text{Group 1: } G1 = 0.0943C + 0.0023P - 0.0047V + 1.6625L - 9.4869$$

$$\text{Group 2: } G2 = 0.0533C + 0.0058P - 0.0065V + 2.0950L - 14.0488$$

$$\text{Group 3: } G3 = 0.0675C + 0.0155P - 0.0058V + 2.4968L - 27.3187$$

여기서, C : 상충수, P : 보행자 교통량,
 V : 교통량, L : 차로수

② 시애틀 2그룹 모형

- 그룹 1 : zero accident intersection
- 그룹 2 : one-and more-accident intersections

$$\text{Group 1: } G1 = 0.0934C - 0.0013P - 0.0052V + 1.5888L - 8.5028$$

$$\text{Group 2: } G2 = 0.0535C + 0.0024P - 0.0070V + 2.0441L - 13.4090$$

2.2.3 DOT(Department of Transportation) 모형

DOT모형은 철도건널목의 위험도 모델이지만 건널목사고는 교통사고의 한 유형이고 위험도 지수모델의 개발과정은 매우 유사하기 때문에 검토모델로 선정하였다. 평면교차 되는 철도건널목은 우선순위에 따라 입체교차로 전환되고 있는데, 우선순위의 결정은 위험도계수(Hazard Index)를 이용한다. 이는 컴퓨터에 입력된 철도건널목자료(AAR Crossing Inventory Form)와 각 건널목에서 사고를 유발할 수 있는 다른 요소를 회귀분석한 함수를 개발하여 각 철도건널목의 예측되는 사고율(Expected Accident Rate: EAR)을 계산한 다음, 유사한 건널목에서의 평균사고율과 각 건널목에서의 사고율의 상대지수로 환산한 것이다.

예측사고율(EAR)을 예측하는 함수는 DOT(Department of Transportation) 모형 등 여러 기관에서 개발되어 13개의 모형이 실무에 활용되고 있는데, 그 중에서도 비선형모형인 DOT모형이 실제 사고확률과 가장 일치하고 있다.

각 건널목의 도로교통량과 철도교통량의 상충기회(EI), 주간의 철도교통량(DT), 열차의 최대속도(MS), 선로수(MT), 교차로의 포장상태(HP), 교차로의 차로수(HL) 등에 계수(k)를 감안하여 설정된(식 1)과 같은 사고 예측모형과 각 건널목에서 최근 T년간 발생한 N건의 사고를 연간평균사고건수로 환산하고 사고에 대한 가중치(T_0)를 감안하여(식 2)



로 예상사고율을 예측하며, 다시 건널목의 교통통제 설비에 따라 (식 3)과 같이 계수의 곱으로 최종적인 각 건널목의 예상되는 사고율을 추정한다.

$$a = k \times EI \times DT \times MS \times MT \times HP \times HL \quad (\text{식 1})$$

$$B = \frac{T_0}{T_0 + T} \cdot a + \frac{T}{T_0 + T} \cdot \left(\frac{N}{T}\right) \quad (\text{식 2})$$

$$\begin{aligned} A &= 0.8644 \cdot B \quad (\text{수동적인 통제설비일 때}) \quad (\text{식 3}) \\ &= 0.8887 \cdot B \quad (\text{점멸등으로 통제될 때}) \\ &= 0.8131 \cdot B \quad (\text{차단기가 설치되었을 때}) \end{aligned}$$

DOT모형에서는 예상사고율을 이용하여 건널목사 고당 사망사고(FA)와 부상사고(IA)의 확률모형을 제시하고 있으며, 주요 독립변수로서 열차의 속도를 적용하고 있다. 즉, 열차속도가 증가하면 사망사고 또는 부상사고가 발생할 확률이 높고 특히 지방부 건널목에서 사망사고와의 비례가 현저하게 나타나며, 도시부 건널목에서는 부상사고가 점차 비례관계에서 열차의 속도가 더 증가하면 사고확률의 증가율이 다소 둔화되는 추세를 보이고 있다.

예상되는 사망 및 부상사고를 종합한 총사상지수(Combined Casualty Index; CCI)를 (식 4)에서 계산된 총사상지수(CCI)를 이용하여 건널목의 교통통제설비의 개선이나 입체교차 등의 구조개선이 필요한 우선순위를 결정하게 된다.

$$CCI = k \times FA + IA \quad (\text{식 4})$$

3. 적합한 Data 조사 및 분석

3.1 조사 개요

현장조사 일정은 예비조사와 본조사로 나누며, 예비조사는 6.14~6.15 (2일간) 실시되었으며, 본조사는 6.17~7.6 (3주)간 실시되었다.

현장조사 장비로는 교통특성을 분석하는 스피드

건, 계수기, 스톱워치 등이 있으며, 도로 기하구조 조사를 위한 굴림자, 클라이노메타, 철도정규 등이 있다. 기타 장비로는 1:3,000 축척의 지도와 조사지점도, 도로교통량 통계연보 등의 문헌도 포함된다.

현장조사 내용으로는 96개의 시지역 교차로를 대상으로 교통사고 발생지점 사진 촬영(일부구간), 경사, 속도, 평면선형, 차로 및 차도폭, 길어깨폭, 교통량, 안전시설 조사(중앙분리대, 도로횡단시설, 시선 유도시설 등), 기타(조명시설, 주변 토지이용 등)이 있다.

3.2 자료분석

96개의 교차로 가운데 공사로 인해 조사자료의 신뢰도가 낮거나, 기하구조 특성에 따른 비교가 곤란한 교차로는 제외하였다. 즉, 춘천시 중앙로 일원의 교차로와 3지 교차로 중 Y형 교차로, 5지 교차로 등을 제외하고, 총 61개 교차로를 연구대상 교차로로 선정하였다.

3.2.1 교차로 현황 및 교통사고 발생현황

선정된 교차로 현황 및 2006년의 교차로 교통사고는 표 3과 같다. 61개 교차로에서 2006년 한 해 동안 발생한 교통사고는 총 159건이었으며, 대상 교차로 중 가장 많은 교통사고를 발생시킨 교차로는 효자교차로(20건)와 온의교차로(14건)인 것으로 조사되었다.

표 3. 교차로 교통사고 발생현황

교차로 번호	교차로명	사고 건수	교차로 번호	교차로명	사고 건수
1	우리약국	1	9	한림전문대진입로	0
2	대림연탄	0	10	유성약국	0
3	요선터널	2	11	현대1차,2차 APT	5
4	향교앞	0	12	운교교차로	5
5	영국마트	0	13	후평교차로	6
6	캠페이지남문	2	14	효자교차로	20
7	세경2,3차APT	0	15	호반동사무소	0
8	엘리트 APT입구	3	16	강원대 정문	6

<표 계속>



교차로 번호	교차로명	사고건수	교차로 번호	교차로명	사고건수
17	캠페이지 정문	1	40	현대자동차	2
18	춘천세무소앞	6	41	야성다방	1
19	온의교차로	14	42	축협도지회	3
20	남춘천중사거리	3	43	중앙파출소	0
21	춘천교회	1	44	신성감리교회	2
22	지적공사	4	45	한신APT	1
23	보안교차로	2	46	청실APT	1
24	현대2차 APT	1	47	지성병원	1
25	칠전로타리	3	48	소양로1가 교차로	5
26	신동삼거리	3	49	직업훈련원	2
27	약사삼거리	4	50	동아생명	1
28	수도국앞	6	51	금호빌리지	1
29	동부APT	3	52	고려석재	0
30	석사APT	2	53	석사교	1
31	신우APT	1	54	소양 APT	3
32	춘천주유소	6	55	시립도서관	1
33	매일수퍼	1	56	그린파크예식장	5
34	쌍용자동차	3	57	한진 APT	2
35	외환은행	3	58	서울목욕탕	0
36	새한약국	0	59	여성회관	3
37	강원수퍼	0	60	시민담갈비	4
38	농협도지회	1	61	한주APT	1
39	김인구정형외과	1			

또한 교통사고가 발생하지 않은 교차로는 대림연탄교차로, 향교앞 교차로 등 12개 교차로인 것으로 나타났다.

3.2.2 교차로 기하구조 및 통제방식

61개 연구대상 교차로 중 십자형 교차로가 37개, T형 교차로 24개였고, 제어방식에 따라 신호교차로 21개, 비신호 교차로 40개 였다. 또한 차로수 별로는 주도로와 부도로가 모두 2차로인 교차로 11개, 4차로인 교차로 6개, 주도로가 4차로이고 부도로가 2차로인 교차로가 44개였다.

표 4. 교차로 형태별 분포

차로수	계	십자형	T형
2×2	11	5	6
4×4	6	3	3
4×2	44	29	15
계	61	37	24

연구대상 교차로의 형태별 분포 및 신호 제어방식에 따른 분포는 표 4, 표 5와 같다.

표 5. 교차로 신호 제어방식별 분포

차로수	계	십자형	T형
2×2	11	0	11
4×4	6	6	0
4×2	44	15	29
계	61	21	40

차로수와 제어방식에 따른 분류에서는 '4×2' -비신호 교차로가 29개로 가장 많은 분포를 보였고 다음으로 '4×2' -신호교차로가 15개를 나타내었다. 그러나 신호이면서 '2×2' 차로인 교차로와 비신호이면서 '4×4' 차로인 교차로는 존재하지 않았다.

3.2.3 시거

39개의 비신호 교차로를 대상으로 시거를 조사하였다. 본 연구에서의 시거는 교차로 차량정지선에서 좌·우측 시거 중 위험하다고 판단되는 짧은 쪽의 시거를 기준으로 하였다. 조사된 시거와 교차로별 분포는 표 6과 같다.

표 6. 시거별 교차로수

시 거	교차로수
10 ~ 25	5
25 ~ 50	9
50 ~ 75	11
75 ~ 100	3
100 ~ 150	5
150 ~ 200	3
200 ~ 250	1
250 ~ 300	2
계	39

전체시거의 평균은 85(m)로 이는 교차로수와 시거를 곱한 후 그 합을 전체 교차로수로 나누는 과정을 통하여 산정하였다.

한편, 시거실측의 어려움과 본 연구가 도시부의 교차로를 대상으로 하였다는 관점에서 신호교차로의 시거는 조사를 실시하지 않았다.



3.2.4 교통량 및 회전교통량

회전교통량이 많은 교차로에서 교통상충이 많이 일어난다는 가정에 따라 회전교통량 비율을 분석하였다. 교통상충은 교통사고의 잠재성을 의미하고, 그 발생빈도는 사고 가능성의 척도가 된다. 회전교통량 비율은 교차로를 통과하는 전체 교통량에 대한 좌·우회전 교통량의 비율이다. 회전교통량을 위협값으로 결정하기 위한 자료로써 각 교차로에 대한 통과교통량과 좌·우회전 교통량을 조사하였다. 각 교차로의 회전교통량비율별 분포는 표 7과 같다.

표 7. 회전교통량 비율별 교차로수

회전교통량비율(%)	교차로수
0 ~ 10	14
10 ~ 20	17
20 ~ 30	7
30 ~ 40	8
40 ~ 50	5
50 ~ 60	5
60 ~ 70	4
70 ~ 80	1

3.3 평가요소 선정

도로 및 교통환경과 교통사고와의 관련에 있어 미국 자동차안전재단의 연구결과에 의하면 교통량, 차도폭원, 경사, 길어깨, 중앙분리대, 방호책 등이 교통사고에 많은 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

또한 일본 토목연구소는 일본내 1,013개 교차로를 대상으로 교통사고를 분석한 결과 교통량, 신호의 유·무, 교통상충수, 교차점의 길이, 차도폭원 등 다섯 가지 요인이 교통사고와 가장 상관관계가 높음을 밝혀내었다.

Roberston과 Carter(1988)는 상충수와 보행자 및 차량교통량, 교차로 제어형태, 차로수, 보행자 위반 등을 위험지표로 보행자 교통사고 위험도 지수모형을 제시하였다. 문헌고찰을 통해 본 연구에서는 위험도 평가요소로 표 8과 같은 평가항목을 선정하였다.

표 8. 교차로 평가요소

비신호 교차로	신호 교차로
시거	교통량
교통량	현시수
차로수	차로수
차로폭	차로폭
도로폭	도로폭
교차로 형태(십자형, T형, Y형)	교차로 형태
교차각	혼잡도(v/c)
회전교통량 비율	회전교통량 비율

3.4 상관관계로부터 평가요소 항목 도출

3.4.1 교차로 평가요소

교차로의 평가요소는 비신호의 경우 시거, 교통량, 차로수, 차로폭, 도로폭, 교차로 형태(십자형, T형, Y형), 교차각 등을 선정하였으며, 신호교차로는 교통량, 현시, 차로수, 도로폭, 교차로 형태, 혼잡도 등을 선정하였다.

표 9. 교차로 상관분석 결과

평가요소	교통사고	지역구분	교차로형태	보차도구분
교통사고	1.0000	-0.1664	-0.0242	-0.1894
지역구분		1.0000	0.0286	0.2802
교차로형태			1.0000	-0.0406
보차도 구분				1.0000
교통량				
차로수				
시 거				
교차각				
현 시				

평가요소	교통량	차로수	시거	교차각	현시
교통사고	0.3325	0.3794	0.3839	-0.0830	0.4804
지역구분	-0.3828	-0.1248	0.1827	-0.1506	0.1703
교차로형태	-0.0674	-0.0665	0.1501	0.1905	0.0542
보차도 구분	-0.2242	-0.4759	-0.0982	-0.0809	-0.1358
교통량	1.0000	0.3717	0.1905	-0.3412	0.3305
차로수		1.0000	0.4800	-0.1306	0.5301
시 거			1.0000	-0.1471	0.8533
교차각				1.0000	-0.2379
현 시					1.0000



교통사고와의 상관분석 결과(표9) 교통량, 차로 수, 시거, 현시 만이 $\alpha=0.05$ 에서 유의하였다. 따라서 표 10과 같이 위험도 설명변수를 1차적으로 선정하였다.

표 10. 상관분석 결과 1차 변수선정

지 표	제 외	선 택
지역구분	●	
교차로형태	●	
보차도구분	●	
교통량		●
차로수		●
시거		●
교차각	●	
현시		●

3.4.2 최종 평가요소 도출

1차 상관분석결과 지역구분, 교차로 형태, 보차도구분, 교차각 등은 유의하지 않아, 평가요소에서 제외하였다. 또한 교통량 데이터는 Log교통량을 사용하고, 주도로의 도로폭과 부도로 도로폭, 평균 도로폭, 전체 도로폭, 회전교통량비율 등 6개 변인을 추가하여 2차 상관분석을 수행하였다. 상관분석 결과를 토대로 2차적으로 변수를 선택한 현황은 표 13과 같다.

표 11. 2차 변수선택 (변수추가 후)

지표	제 외	선 택
회전교통량비율		●
로그교통량		●
교통량	●	
도로폭 평균		●
주도로 도로폭	●	
부도로 도로폭	●	
전체 도로폭	●	
평균 차로폭	●	
시거		●
현시		●
차로수		●

Log교통량과 교통량은 상관값에 차이가 없어 Log 교통량 하나만을 취하였으며, 도로폭 평균의 상관값이 주도로 도로폭, 부도로 도로폭 보다 월등히 높아 차로폭 평균을 취하였다. 또한 평균 차로폭은 상관이 낮아 변수에서 제외하였다. 선택된 6개 설명변수를 차대차 교통사고와의 상관분석 결과는 표 12와 같다. 상관값이 높지 않으나 유의수준 0.05를 모두 만족하고 있다.

표 12. 최종 상관분석 결과

구분	교통사고	차로수	시거	현시
교통사고	1.00000	0.37935	0.38386	0.48899
차로수		1.00000	0.48000	0.53276
시거			1.00000	0.84821
현시				1.00000
도로폭 평균				
회전율(%)				
Log 교통량				

구분	도로폭 평균	회전율(%)	Log 교통량
교통사고	0.26633	0.16761	0.30058
차로수	0.71102	0.28146	0.27543
시거	0.39408	0.1712	0.18633
현시	0.46414	0.35013	0.28683
도로폭 평균	1.00000	0.34220	0.32428
회전율(%)		1.00000	-0.08341
Log 교통량			1.00000

표 13. 최종 변수 선택 및 데이터 분류

변수	데이터 분류
차로수(Lannum) 교차로 형태(Crossty)	범주형 데이터(카테고리)
시거(Sight) 도로폭 평균(Roadave) 회전교통량 비율(VolumeT) Log교통량(Logvol)	명목형 데이터(실측데이터)
현시(Split)	명목 및 범주형 데이터



4. 위험도 지수 모형 개발

4.1 디자인 모형을 이용한 위험도 지수 산정

카테고리 데이터인 신호 현시구분, 차로수, 교차로 형태의 세변수의 선형모형 분석을 통한 분산분석(ANOVA)기법의 디자인모형 개발을 시도하였다. 분석에 이용된 카테고리 변수 각각에 대한 교차로 분포 및 구분은 표 14~표 16과 같다.

표 14. 신호현시별 분포

코드	구분	교차로		코드	구분	교차로	
		지점수	구성비(%)			지점수	구성비(%)
0	비신호	40	65.5	0	비신호	40	65.5
3	3현시	12	19.7	1	신호	21	34.5
4	4현시	9	14.8				
계		61	100.0	계		61	100.0

표 15. 차로수별 분포

코드	구분	교차로	
		지점수	구성비(%)
2	2×2 차로	11	18.1
3	2×4 차로	44	72.1
4	4×4 차로	6	9.8
계		61	100.0

표 16. 교차로형태별 분포

코드	구분	교차로	
		지점수	구성비(%)
1	십자형	37	60.7
3	T형	24	39.3
계		61	100.0

종속변수(y) '교통사고'에 대하여 전체 교차로 61개를 분석한 결과 2개 지점의 교차로가 이상치로 발견되었다. 따라서 59개 교차로에 대한 모형개발을 시행하였으며, 이에 따른 디자인 모형은 (식 5)와 같다.

$$Model \quad y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\beta\gamma)_{jk} + \epsilon_{ijk} \quad (식 5)$$

여기서,

y : crash로써 교통사고건수

α_i : Split 효과 $i = 1, 2, 3(0, 3, 4)$

β_j : Lannum 효과 $j = 1, 2, 3(2, 3, 4)$

γ_k : Crossty 효과 $k = 1, 2(1, 3)$

μ : 모수추정치

ϵ_{ijk} : 에러항

또한, 1차적으로 각각의 조합에 대한 분산 분석을 수행한 결과는 표 17과 같다.

표 17. ANOVA Table I (결과)

Source	SS	df	MS	F	P-Value($p_r > F$)
현 시	40.2	2	20.1	8.38	0.0007
차로수	24.7	2	12.3	5.14	0.0094
교차로 형태	6.2	1	6.2	2.57	0.1152
현시×교차로 형태	4.6	2	2.3	0.95	0.3927
교차로 형태×차로수	20.6	2	10.3	4.29	0.0192
오 차	117.5	49	2.4		

주) SS:제곱합, df:자유도, MS:평균제곱

'교차로형태'와 '신호현시×교차로형태'는 유의하지 않았다($p < 0.05$). 따라서 신호현시×교차로형태, 즉 $(\alpha\beta)_{ij}$ 를 삭제하고 2차 분산분석을 시도하였고, 결과는 표 18과 같다.

표 18. ANOVA Table II (결과)

Source	SS	df	MS	F	P-Value($p_r > F$)
현 시	40.2	2	20.1	8.40	0.0007
차로수	24.7	2	12.3	5.15	0.0092
교차로 형태	6.2	1	6.2	2.58	0.1146
교차로 형태×차로수	20.6	2	10.3	4.30	0.0189
오 차	122.1	51	2.39		

2차 분석에서 바람직한 결과가 도출되었으며, $R^2=0.4286$, Crash Mean=3.067이고 MS(Error)는 2.39로 나타났다. 따라서 모형은 (식 6)와 같이 성립되었다.

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\beta\gamma)_{jk} + \epsilon_{ijk} \quad (식 6)$$



$$\text{즉, } Crash = 3.067 + (Split)_i + (Lannum)_j + (Crossty)_k + (Lannum \times Crossty)_{jk}$$

의 선형모형식이 만들어졌다.

4.1.1 변수수준간의 유의성 검정

표 19. 현시/차로수/교차로형태 변수 수준

현 시	비신호(0)	Split(3)	Split(4)
Mean	2.5	4.3	4.1
obs	40	12	7
α_i			
차로수	2×2(2)	2×4(3)	4×4(4)
Mean	2.0	3.2	4.6
obs	11	43	5
β_j			
교차로 형태	십자형(1)	T형(3)	
Mean	2.8	3.5	
obs	35	2.4	
γ_k			

각 그룹간의 차이를 분석하기 위해 최소유의차 다중비교(LSD)를 이용한 T-test를 수행하였다. T-test수행 결과는 다음과 같다.

• 각 신호현시에서의 교통사고의 비교

현 시	y(0)	y(3)	y(4)
mean	2.5	4.3	4.1

3현시, 4현시 모두 비신호와와는 차이를 보였으나, 3현시와 4현시간에는 유의수준 0.05에서 차이가 없는 것으로 나타났고, 유의수준 0.1에서는 차이를 보이는 것으로 나타났다.

• 각 차로에서의 교통사고의 비교

차로수	y(2)	y(3)	y(4)
mean	2.0	3.2	4.6

차로와 교통사고는 유의수준 0.05의 수준에서 2차로 집단은 3차로나 4차로집단과는 차이를 보였으나,

3차로와 4차로 간에는 유의한 차이를 보이지 않았다. 그러나 유의수준 0.1에서는 모두 차이를 보이는 것으로 나타났다.

• 교차로 형태와 교통사고의 비교

교차로 형태	y(1)	y(3)
mean	2.0	3.2

교차로 형태는 하나의 그룹으로 묶여졌다. 즉 유의수준 0.05에서 차이를 보이지 않았다.

따라서 디자인모형을 이용한 교통사고건수에 대한 추정치 y_{ijk} 는

$$(Crash)y_{ijk} = 3.067 + (Split)_i + (Lannum)_j + (Crossty)_k + (Lannum \times Crossty)_{jk}$$

이고 각 변수별 위험도 지수는 표 20~표 23과 같다.

표 20. 현시별 위험도 지수

현 시	비신호	Split(3)	Split(4)
α_i	0.56	1.24	1.04

표 21. 차로별 위험도 지수

차로수	2×2(2)	2×4(3)	4×4(4)
β_j	-1.06	0.14	1.54

표 22. 교차로 형태별 위험도 지수

교차로 형태	십자형(1)	T형(3)
γ_k	-0.26	0.44

표 23. 차로별, 교차로 형태별 위험도 지수

$(\beta\gamma)_{jk}$		γ_k		
		2×2	2×4	4×4
β_j	십자형(1)	0.2756	-0.065	-0.400
	T형(3)	-0.4664	0.060	0.6776

$$(\hat{\beta}_i)_{21} = \bar{y}_{21} - \bar{y}_2 - \bar{y}_1 + \bar{y}$$



각 모형에 위험도 지수값을 적용한 결과 예측치가 실측치에 근접한 결과를 얻었다.

4.2 신호 교차로 위험도 모형 개발

4.2.1 그룹 분류

판별분석을 통한 모형을 개발하기 위하여 범주형 데이터가 아닌 수량화 데이터만을 이용하여 판별변수를 추출하였다. 연구대상 교차로 61개를 다음과 같이 세 그룹으로 나누었다.

- Low : 연간 인명피해사고가 0건 인 교차로
- Medium : 연간 인명피해사고가 1~3건 인 교차로
- High : 연간 인명피해사고가 4건 이상 교차로

그룹을 만들기 위하여 데이터의 적절한 배분문제를 고려하여 표 24와 같이 Low그룹 12개 지점, Medium그룹 35개 지점, High그룹 14개 지점으로 분류되었다.

표 24. 위험그룹별 교차로 분류

총돌건수	교차로		분류	교차로수	
	지점수	구성비(%)		지점수	구성비(%)
0	11	27.5	Low(0)	11	27.5
1	13	27.8	Medium(1~3)	19	47.5
2	6	13.1			
3	6	16.4			
4	1	4.9	High(4~)	10	25.0
5	3	6.6			
계	40	100.0	계	40	100.0

춘천시 차대차 사고는 대부분의 교차로에서 사고건수가 0~6건 사이에 있는 반면, 효자교차로 20건, 온의교차로에서는 14건이 발생하였다. 따라서 효자교차로와 온의교차로는 이상치이며, 분석을 위해서는 새로운 접근 방법이 고려되어야 할 것이다.

4.2.2 판별변수 선정

변수들이 모델에 추가될 때 일반적인 경향은 변수

들이 모델의 정확도를 증가시키는 긍정적인 결과를 가져온다는 사실이다. 그러나 어떤 변수의 값들은 여러 그룹에서 발견되기 때문에 항상 그런 것은 아니다. 따라서 변수를 추가, 삭제, 대치시키는 과정은 최적의 모델이 만들어 질 때까지 계속되어야 할 것이다.

판별변수 선정을 위해 자료조사에서 수집된 21개 변수 중 수량적인 10개의 변수 조합에 대한 에러 추정(Error count estimates)을 수행하였다. 에러추정이 수행된 10개의 변수는 교통량, 회전교통량 비율, Log교통량(Logvol), 넓은 쪽 도로폭, 좁은 쪽 도로폭, 도로폭평균(Roadave), 시거(Sight), 현시수(Split), 심각도(Severity), 사고율(MEV) 등이다.

판별변수 선정에 사용된 판별분석 방법은 세가지가 수행되었고, 그 각각은 “Linear Discriminant Method”, “Quadratic Discriminant Method”, “Nonparametric Method” 중의 하나인 “Nearest neighborhood method” (k=5)이며, 결과는 표 25와 같다.

표 25. 판별분석 방법별 에러추정표

판별변수	판별분석 함수		
	Linear	Quadratic	Non-parameter(k=5)
회전교통량 비율, 도로평균폭	0.5056	0.4198	0.4278
Log교통량, 도로평균폭	0.3770	0.3008	0.3016
회전교통량 비율, 도로평균폭, 시거	0.5008	0.3500	0.3127
교통량, 도로폭, 시거	0.3437	0.3690	0.2690
Log교통량, 도로폭, 시거	0.3635	0.2651	0.1984
Log교통량, 도로폭, 넓은 쪽 도로폭	0.3397	0.3397	0.3484
Log교통량, 도로폭, 좁은 쪽 도로폭	0.3302	0.397	0.3246
Log교통량, 도로폭, 심각도	0.4008	0.3254	0.2810
Log교통량, 도로폭, 현시수	0.3778	0.3413	0.2548
Log교통량, 도로폭, 시거, 현시수	0.3778	0.2706	0.2310



에러추정 결과, Log교통량, 도로폭평균, 시거의 조합이 “Linear Method”에서는 0.3635, “Quadratic Method”에서는 0.2651, “Non-parametric Method”에서는 0.1984로 에러평가 값이 가장 적어 이 세변수의 조합으로의 판별변수가 가장 적당한 것으로 나타났다.

즉, $Crash = f(Logvol, Roadave, Sight)$ 의 형태로 최종판별 변수는 Logvol, Roadave, Sight로 선정하였을때 모델의 정확도가 가장 높은 것으로 나타났다.

4.2.3 판별분석 모형 개발(세그룹)

“Quadratic Discriminant Function” 분석 결과 $x_2 = 28.91$, $p\text{-value} = 0.0041$, Total Error Rate=0.2651로 나타났다. 따라서 x_2 는 0.01수준에서 유의하였다. 또한 Non-Parametric($k=5$) 수행결과는 Total Error Rate=0.1984로 아주 양호하였다.

세그룹(low,medium,high)에 대한 교차로 위험도 모형은 다음과 같으며, 이 모델의 정확도는 81.6%로 나타나 결과평가의 신뢰도를 높여준다고 하겠다.

$$\begin{aligned}
 High &= -291.5 + 120.9Logvol + 1.13Roadave - 0.0026Sight \\
 Medium &= -260.6 + 115.0Logvol + 0.9159Roadave - 0.00762Sight \\
 Low &= -272.1 + 118.2Logvol + 0.6984Roadave - 0.01137Sight
 \end{aligned}$$

즉 춘천시 신호교차로 3그룹모형은 로그교통량, 도로폭 평균, 시거의 변수로 81.6%의 정확도의 모델로 설명하고 있으며, 특히 ‘high’ 그룹은 85.8%, ‘low’ 그룹은 84%의 높은 모델의 정확도를 나타내나, ‘midium’ 그룹은 교차로의 사고잠재성을 71%만 예측해주는 것으로 나타났다.

4.3 비신호 교차로 위험도 모형개발

4.3.1 그룹 분류

비신호교차로 40개소를 차대차사고건수 기준으로 세그룹으로 계층화한 결과는 표 26과 같다. ‘Low’

그룹 11개지점, ‘Medium’ 그룹 19개, ‘High’ 그룹 10개 지점으로 분류되었다.

- Low : 1년에 인명피해사고가 0건 발생한 교차로
- Medium : 1년에 인명피해사고가 1~3건 발생한 교차로
- High : 1년에 인명피해사고가 4~5건 발생한 교차로

표 26. 비신호 교차로의 차대차사고 (Crash Frequency Table)

총돌건수	교차로		분류	교차로수	
	지점수	구성비(%)		지점수	구성비(%)
0	11	27.5	Low(0)	11	27.5
1	13	27.8	Medium (1~3)	19	47.5
2	6	13.1			
3	6	16.4			
4	1	4.9	High (4~5)	10	25.0
5	3	6.6			
계	40	100.0	계	40	100.0

4.3.2 판별변수 선정

변수를 추가하고, 삭제하고, 대치시키는 과정은 최적의 모델이 만들어 질때까지 계속되었으며 결과는 표 27과 같다.

표 27. 비신호교차로 에러추정 테이블

판별변수	판별분석 함수		
	Linear	Quadratic	Nonparametric
회전교통량 비율, 도로폭	0.5434	0.5209	0.4089
Log교통량, 도로폭	0.4810	0.3537	0.4094
교통량, 도로폭	0.5271	0.4535	0.4397
회전교통량 비율, 도로폭, 시거	0.5464	0.3760	0.5014
Volume, 도로폭, 시거	0.3968	0.3870	0.4665
Log교통량, 도로폭, 시거	0.3362	0.2295	0.4059
Log교통량, 도로폭, 넓은쪽 도로폭	0.4265	0.3786	0.4094
Log교통량, 도로폭, 좁은쪽 도로폭	0.4265	0.3768	0.3616
Log교통량, 도로폭, 심각도	0.3743	0.3344	0.2405

비신호교차로 40개소에 대한 에러평가를 수행한 결과 Log교통량(Logvol), 도로폭 평균(Roadave), 시거(Sight)의 변수조합에서 “Quadratic Method”에서 에러평가 값이 0.2295로 가장 적어 이들 세변수 조합의 판별변수가 가장 적당한 것으로 나타났다.

따라서 $Crash$ (비신호) = $f(Logvol, Roadave, Sight)$ 의 형태로 설명하는 것이 모델의 정확도를 높이는 가장 긍정적인 결과를 가져오는 것으로 나타났다.

4.3.3 비신호 교차로 모형 개발

“Quadratic Discriminant Function”에서 $x_2 = 25.237$, p -value 0.013, Total Error Rate 0.2295로 x_2 는 0.05수준에서 유의하였다. 비신호 교차로 판별분석 모형은 다음과 같다.

$High = -261.0 + 109.9Logvol + 0.7733Roadave + 0.075Sight$ $Medium = -236.9 + 103.4Logvol + 1.29Roadave + 0.068Sight$ $Low = -253.6 + 108.2Logvol + 0.859Roadave - 0.070Sight$
--

즉 춘천시 비신호교차로 3그룹모델 역시 로그교통량, 도로폭평균, 시거의 변수로 77%의 모델 정확도를 설명하고 있다. 그러나 특히 ‘high’ 그룹은 90%로 아주 높은 모델의 정확도를 보여 교차로 사고잠재성을 예측해주는 것으로 나타났다.

5. 결론

교통사고의 경향을 확인하기 위해 통계에 기초한 모형의 산정은 성공의 가능성이 매우 낮다. 따라서 본 연구는 교차로에 대한 위험도 모형개발에 주력하였다. 본 연구에서 위험도 모형은 도로환경요인에 따른 위험도 지수를 도로의 형태, 기하구조 및 교통특성에 따라 모형화 하려는 시도로써 각모형의 구성요소는 주어진 교차로에서 발생하는 교통사고의 가능성에 관련된 서로 다른 현상들을 평가하게 된다. 연구내용은 기존교차로의 표본조사에서 일반적인 평가

척도와 원칙을 도출하고 이를 몇 개의 그룹으로 나누어 교차로 위험도 모델을 제시하고자 하였다. 모형의 개발은 다양한 변수 모두를 고려한 통합모형이라기 보다는 각각의 카테고리 데이터에 의한 디자인 모형과 수치형 데이터에 근거한 판별분석 모형으로 접근하였다. 즉 본 연구에서 모형개발은 범주형데이터인 신호현시, 차로수, 교차로형태의 3변수의 선형모형과 다변량 자료를 이용한 판별분석을 활용하였다.

판별분석 모델링 기법을 이용하여 춘천시 신호교차로 3그룹모델과 비신호교차로 3그룹모델이 개발되었다. 춘천시는 교통량, 도로폭, 시거의 변수로 사고의 위험도를 신호교차로의 경우 81.6%, 비신호의 경우 77%까지 예측할 수 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 춘천시를 대상으로 하였다는 한계가 있으나 신호현시, 교차차로수, 교차로형태별 위험도 지수를 산정하였다는데 의의가 있으며, 또한 신호와 비신호 교차로의 위험수준별 사고예측모형을 제시하였다는데 있어 기존연구와 차별성을 갖는다고 하겠다. 향후 본 연구를 전국단위를 대상으로 확대하여 정형화 한다면 지역의 교통안전대책 수립시 신호교차로와 비신호교차로 개소수를 파악하여 위험수준을 파악하고 사고감소율을 추정하여 B/C 분석시 사고편익 산정이 가능해 지는 수준까지 발전할 수 있을 것으로 판단한다.

참고 문헌

백운봉(1987), “SAS 일반선형모형 분석” .
 허명희(1988), “SAS 회귀분석”
 허명희(1989), “SAS 범주형 데이터 분석”
 강승규(1995), “철도건널목의 사고예측모형 개발에 관한 연구”
 土木研究資料 第985號, “交通事故と道路交通要因との關連(その1)” - 直轄國道管理調査安全對策調査報告書 -, 昭和 49年 10月
 Ezra Hauer(1982), “Traffic Conflicts and Exposure”



Hans Thulin and Göan Nilsson(1995), "Risk Level in Traffic Clarified" V. F. BABKOV, "Road Condition and Traffic Safety "

Göan Nilsson(1984), "A Riview of the Traffic Safety Situation in Sweden with Regard to Different Strategies and Methods of Evaluating Traffic Safety Measures" Scott E. Davis, H. Douglas Robertson and L. Ellis King, "Pedestrian/Vehicle Conflicts : An Accident Prediction Model".

David Shinar(1984), "The Traffic Conflict Technique : A Subjective vs. Objective Approach" 접수 일: 2009. 3. 30
심사 일: 2009. 3. 30
심사완료일: 2009. 6. 29