

■ 論 文 ■

사고다발지점의 안전성능진단 및 위치별 사고요인분석 (수원시를 중심으로)

A Hierarchical Approach for Diagnose of Safety Performance and
Factor Identification for Black Spots (Based on Suwon-city)

김 속 희

(아주대학교 수원발전연구센터
전임연구원)

장 정 아

(한국전자통신연구원
텔레매틱스·USN연구단 연구원)

최 기 주

(아주대학교 환경건설교통공학부
교수)

목 차

- | | |
|--|--|
| <p>I. 서론</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 연구의 배경 및 목적 2. 연구의 방법론 및 흐름도 <p>II. 사고다발지점 선정기준</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 우리나라의 교통사고 잦은 곳 선정방법 2. 일반적인 교통사고다발지점 선정방법 3. 교통사고와 관련된 도로조건 특성 <p>III. 자료에 대한 설명</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 시공간적 범위 2. 수원시 사고다발지점의 교통사고 현황분석 | <ol style="list-style-type: none"> 3. 도로 및 교통조건 데이터 <p>IV. 사고유형 및 위치에 대한 진단법</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 사고유형 및 위치에 대한 진단모형 2. 사고진단과정에 대한 사례 검토 3. 사고진단결과 <p>V. 로지스틱판별모형을 이용한 사고요인분석</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 로지스틱판별모형 2. 모형의 적용결과 <p>VI. 결론 및 향후과제</p> <p>참고문헌</p> |
|--|--|

Key Words : 사고 진단, 사고유형, 사고원인, 로지스틱판별분석, 사고다발지점

요 약

교통사고를 조사하여 어떤 지역에 어떠한 문제가 있는지를 진단하고, 사고발생에 영향을 미치는 요인을 추출하는 것은 매우 중요하다. 본 연구는 사고지점의 파악 및 영향인자파악을 목적으로 수원시 2001년 사고다발지점을 대상으로 각 사고유형 및 위치별 P_i (각 사고가 발생할 때 특정의 사고와 관련된 특성이 나타날 확률)을 이항분포로 모형화하여 지점(도로구간 및 교차로)별로 특성적 사고가 발생한 것으로 판단되는 지점과 그렇지 않은 지점으로 진단하였고, 또한 지점별 안전성능함수(Safety Performance Function)를 구한 후 허용 임계치인 5%를 적용하여 임계치안에 드는 지점들을 진단하고 파악하였다. 이후 진단된 지점과 그렇지 않은 지점을 종속변수로 하고 주요 도로 환경적조건 및 교통조건을 독립변수로 하여 로지스틱 판별분석을 실시하여 분석 결과로 유의하다고 판단된 사고요인들을 도출하였으며 이를 기반으로 각 지점별 개선방안에 대한 대책수립가능성을 또한 검토하였다. 본 연구에서 제시된 진단방법과 로지스틱판별분석을 통한 요인추출 방법은 향후 유사연구에 활용 가능할 것으로 사료된다.

Accident type and/or factor identification is important in accident reduction planning. The aim of this paper is to apply the hierarchical approach with binomial distribution and logistic regression analysis to find out types and factors, respectively. Based on 2001 Suwon city black spot data, a binomial distribution modeling approach has been applied to diagnose the black spots, with the help of safety performance function. Then, the logistic regression analysis has been employed to identify the critical factors. Some accident remedies are also reviewed in the light of the model outcomes. The proposed research framework sheds light on a different accident related research and can also be successfully applied to similar studies and sites.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

오늘날 자동차가 우리에게 주는 여러 가지 편익들과 더불어 그 이면에는 여러 가지 부정적인 역기능들이 우리에게 당면한 사회문제로 대두되고 있다. 그 중에서 가장 심각하고 시급하게 해결해야 할 과제가 바로 교통사고로 인한 물적, 인적 손실이다. 교통사고로 인한 인적, 물적 손실은 2001년도 기준으로 사회적 비용이 약 8조 2,361억원에 달한다(도로교통 안전공단, 2001).

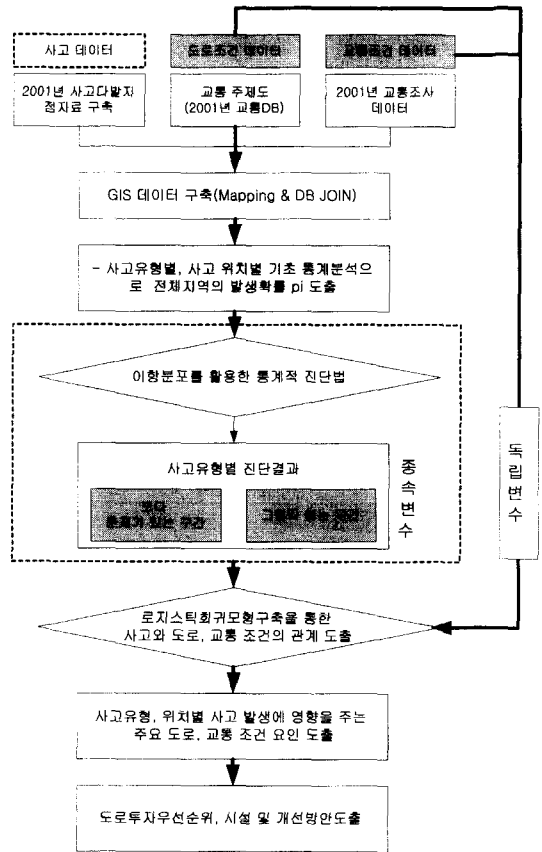
이러한 교통사고의 원인으로는 인적요인, 차량결함, 도로환경의 결함(도로구조 및 주변시설) 등 세 가지로 구분할 수 있다. 교통사고는 이들 요인이 단독으로 발생하기보다는 대부분 복합적으로 작용하여 발생하게 된다. 이중 도로 관리자에게 주된 관심이 되는 것으로 도로 환경적 조건이 교통사고에 어떠한 영향을 미치고 어떠한 조치를 먼저 취하게 되는 투자우선순위문제가 중요한 의사결정과정이다.

실제 여러 연구들에서는 지점별 충돌 등의 사고개별 자료들을 데이터베이스화하고 총체적인 사고원인분석을 실시하는 방법론을 취하며 이러한 작업은 막대한 시간과 비용이 소요되는 작업이다. 이러한 작업의 한 일환으로 우리나라에서는 1987년 국무총리실 주관의 '교통안전 종합대책'의 사업 이후 교통사고 잦은 곳 개선사업을 지속적으로 추진하고 있는 실정이다. 이러한 사업을 통하여 일정기간동안 발생된 많은 사고를 통계적으로 다양하게 분석해 보고 이를 통해 사고유발요인들을 발견하는 작업을 수행하고 투자우선순위의 의사결정에 활용되고 있다.

즉 도로상에서 발생하는 교통사고를 조사하여 어떤 지역이 어떠한 문제가 있는지를 진단하고, 사고발생에 영향을 미치는 요인을 추출하는 것은 매우 중요한 문제이다. 본 연구에서는 이러한 점에 목적으로 두고 사고유형¹⁾과 사고위치²⁾별로 위험한 지역을 선정하는 진단법을 소개하고 이후 주요 사고원인을 추출하고 분석하는 방법론을 소개하고 있다.

2. 연구의 방법론 및 흐름도

연구의 주요 방법론으로 크게 두 가지의 통계적 분석 방법론을 취하고 있다. 첫째, 이항분포를 이용한 사고유형 및 위치에 대한 진단법, 둘째, 로지스틱회귀분석을 통한 분석론을 활용하였다. 또한 연구의 주요 DB 구축 등은 GIS기반으로 이루어졌다. 주요 연구의 흐름도는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 연구의 흐름도

II. 사고다발지점 선정기준

1. 우리나라의 교통사고 잦은 곳 선정방법

도로교통안전관리공단에서 정의하고 있는 "교통사고 잦은 곳"³⁾이란 교통사고 발생건수(인피사고+물피사

1) 차대사람, 차대 차의 정면충돌, 추돌, 나란히 접촉, 측면직각, 접촉, 차로변경 접촉, 기타

2) 유입부, 유출부, 횡단보도, 교차로내, 기타

3) 본 연구에서는 교통사고 잦은 곳을 사고다발지점(Black Spot)이라는 용어와 동일하게 사용하였다.

고)가 동일지점에서 1년간 특별시 및 광역시 7건, 일반시 5건, 기타지역은 3건 이상 발생한 지점이다. 이 지점의 공간적 범위는 교차로 및 횡단보도는 차량 정지선에서 후방으로 30m 이내이고, 단일로는 시가지의 경우 반경 100m 이내, 기타 단일로와 고속도로의 경우 반경 200m 이내를 기준으로 한다.

교통사고 잦은 곳으로 규정이 되면 이들 지역에 대하여 "도로시설 환경적 측면에서 문제점이 있어 개선시 뚜렷한 사고감소 효과가 기대되는 지점"을 대상으로 우선순위결정방법에 따라 개선사업을 실시하고 있다. 우선순위 결정방법이라 함은 제 1순위(최우선지역)는 각 시도 도로관리부서와 협의하여 개선설계 요구지점 및 교통안전 시범도로 지정구간, 제 2순위는 사망사고 많은 지점 및 다수의 민원제기 지역, 제 3순위는 교통사고(인적+물적) 다발지점 및 사고위험이 예상되는 개선 필요지점의 순위로 결정하고 있다.

이러한 개선 우선순위 결정에 대한 방법론은 각 지점과 지역에 대한 상세한 이해를 바탕으로 하고 있어 매우 경험적이고 현실적이다. 이러한 측면도 중요하지만 본 연구에서는 보다 거시적인 측면에서 도로, 환경적 데이터와 사고데이터의 관계를 규명함으로써 이러한 거시적 통계적 방법론의 사용가능함을 보이고 있다.

2. 일반적인 교통사고다발지점 선정방법

1) 사고건수에 의한 방법(Number of Accidents Method)

규모가 작은 도시나 큰 도시의 외곽지역 등 교통량이 적은 도로에 적용할 수 있는 방법이며, 교통량의 변화가 중요하지 않은 지역에 적용한 방법으로 단순히 사고건수가 많은 지점을 말한다. 단점은 사고 잦은 지역의 우선권 선정시 교통량을 고려하지 않는다는 것이다(교통량에 따라 구분이 되어야 할 필요성이 있다).

2) 사고율에 의한 방법(Rate of Accidents Method)

사고율이 높은 지역⁴⁾을 사고다발지점으로 선정하는 이 방법은 기회(Exposure)를 고려한 것이며, 교통사고의 기본적인 자료와 위치 이외에 모든 지역의 교통량도 필요하다. 사고율이라 함은 다음과 같다.

- 도로구간

$$\text{사고율} = \frac{(\text{사고건수}) \times 10^6}{\text{ADT} \times (\text{조사일수}) \times (\text{구간길이})} \quad (\text{단위: } \#/10^6\text{대.km/년})$$

- 지점

$$\text{사고율} = \frac{(\text{사고건수}) \times 10^6}{\text{ADT} \times (\text{조사일수})} \quad (\text{단위: } \#/10^6\text{대/년})$$

3) 사고건수율에 의한 방법 (Number-Rate Accidents Method)

사고건수 및 사고율에 의한 방법은 사고건수에 의한 방법과 사고율에 의한 방법의 단점을 보완할 수 있는 방법으로 이 방법은 교통사고 발생건수가 기준을 초과하는 지점(구간)을 선정 한 후, 1차로 선정된 지점(구간)에 대하여 사고율을 적용하여 기준 초과여부를 판단하게 된다. Number-Rate 방법의 첫 번째 과정은 교차로와 도로구간에서 발생한 모든 사고에 대하여 전 지역을 모두 기록한다. 두 번째는 기준치를 정하여 그 이상의 사고건수를 기록한 지역만을 남긴다. 기준치는 전체평균 사고건수의 2배를 적용한다. 다음은 남은 지역을 사고율 순으로 재배열한다. 같은 방법으로 사고율의 기준치를 정하고 기준치에 못 미치는 지역을 제외시킨다.

4) 대물피해환산법 (EPDO: Equivalent Property Damage Only)

사망사고, 부상사고, 대물사고의 각 피해 종류를 등가로 환산해서 하나의 피해단위로 나타내어 산정하는 방법이다. 부상사고 1건당 전국의 평균비용을 대물사고만 발생한 사고 1건당 평균피해액으로 나누어 부상사고 및 사망사고의 대물사고에 대한 가중치(SE: Severity Factor)를 구하게 된다. 사고심각도 계수는 도로사고형태에 기인한 국가적 경제손실에 따라 결정한다.

5) 한계사고율 이용법(Rate Quality Control Method)

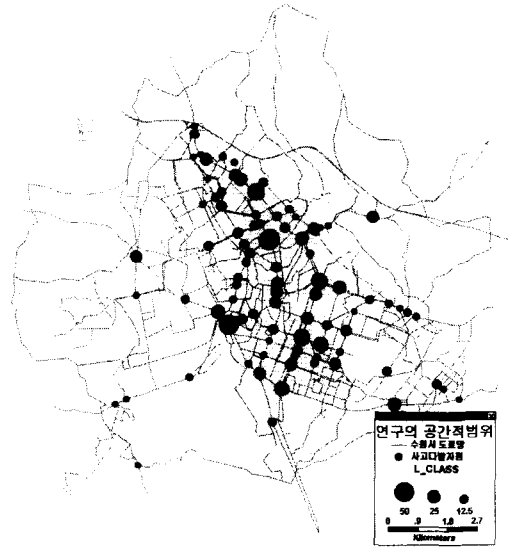
모든 크기의 도시에서 교통량의 변화에 따라 적용이 가능한 방법으로서 한 지역 또는 도로구간이 이미 설정된 평균사고율 보다 비정상적으로 높은지를 통계적 방법으로 분석하여 사고다발지역의 여부를 결정하는 방법이다.

4) 실제 사고율이 설정된 최소 사고율보다 크면 그 지역은 사고 잦은 지역으로 선정한다.

6) 회귀분석모형법

위험도를 평가하는 통계적 방법으로 교통사고에 영향을 주는 도로조건 및 교통조건요인(교통량, 주행속도, 보행자수, 차도폭, 혼잡도, 교차밀도, 도로주변여건, 도로종류 등)을 설명변수로 하는 전국적인 중회귀 예측모형을 만들고 이 모형에 의한 예측치와 그 장소의 실제사고율 간의 차이가 통계적으로 유의한지를 검토하여 위험도를 평가하는 방법이다.

본 연구에서는 검토한 사고다발지점의 경우 사건건수에 의한 방법으로, 도로교통안전관리공단에서 정의하고 있는 "교통사고 잦은 곳" 선정기준에 의거하여 교통사고 발생건수(인피사고+물피사고)가 동일지점에서 1년간 5건이상 발생한 지점을 대상으로 하였다.



〈그림 2〉 연구의 공간적 범위

3. 교통사고와 관련된 도로조건 특성

도로 환경적 조건에 해당되는 도로 요인은 일반적으로 평면선형, 종단선형, 횡단면으로 구분되는데 평면선형으로는 곡선반경, 곡선길이, 곡선부 편경사, 화폭, 완화구간, 직선거리, 시거가 주요 구성이다. 종단선형으로는 직선 및 곡선구간의 경사, 경사구간의 길이, 종단곡선, 시거 등이 주요 구성요소이며, 횡단면에 있어서는 주행차로(차로폭, 차로수, 횡단경사, 포장상태, 미끄럼저항), 부가차로(좌회전차로, 등판차로, 가감속차로), 노면(노면폭, 횡단경사, 포장상태), 중앙분리대(분리대 폭, 형식, 방호시설, 분리대개구부, 차광막), 노측(측면경사, 측구, 진출입시설 및 통제, 진입로, 성토높이) 등을 주요 설계요소로 들 수 있다. 기존 관련 연구 분석에서는 종단경사, 곡선반경이 주요 요인항목으로 제시된 바 있다(김경석, 1997).

본 연구에서는 이러한 모든 도로조건에 대한 항목을 지점별로 현황 조사한 데이터를 근거로 하지 못하였고 이 중 일부만이 구축된 교통주제도의 도로조건 데이터를 근거로 하였다. 반영된 도로조건에 대한 항목은 〈표 2〉와 같다.

III. 자료에 대한 설명

1. 시공간적 범위

연구의 시간적 범위는 2001년 한 해 동안 전국에서

발생한 인적 및 물적 피해사고 총 451,001건을 대상으로 2001년도에 교통사고 잦은 곳으로 선정된 10,125개를 대상으로 하였다. 본 연구의 공간적 범위는 수원시 행정 구역을 대상으로 하였다.

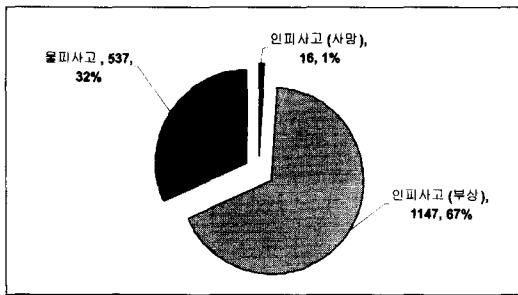
교통사고 잦은 곳으로 선정된 사고다발지점수는 수원 중부경찰서 관할 66개 지점과 수원남부경찰서 관할 77지점의 총 143개의 지역을 대상으로 한다. 이러한 지역에 대하여 GIS(Geographic Information System, 지리정보시스템)으로 mapping 및 각 자료에 대하여 구축하였다.

이러한 공간적 범위는 〈그림 2〉와 같다. 그림에서 사고다발지점으로 구축된 지역의 총 사고건수에 따라 크게 세 가지로 심볼의 크기를 변화시켜 표시하고 있다.

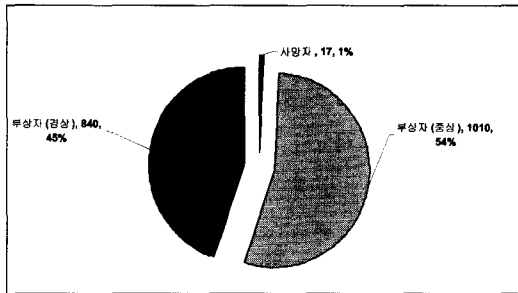
2. 수원시 사고다발지점의 교통사고현황분석

1) 교통사고의 발생현황

선정된 사고다발지점 143개의 지점에서 총 사고건수는 2001년 1,700건이 발생하였다. 〈그림 3〉과 같이 1,700건에서 인피 사고로 사망사고의 건수는 16건(0.94%), 부상사고건수는 1,147(67.5%)이며, 물피 사고건수는 537(31.6%)건으로 부상사고건수가 전체의 67.5%로 가장 높은 비율을 차지하는 것으로 나타났다. 또한 〈그림 4〉와 같이 총 사상자 수는 1,859명으로, 사망자는 17(0.9%)명, 부상자 중 중상은



〈그림 3〉 수원시 물피/인피사고 비율



〈그림 4〉 수원시 사망자수/부상자수 비율

1,010(53.3%)명, 경상은 840(45.2%) 명으로 나타났다.⁵⁾

2) 사고유형에 대한 분석

사고유형이라 함은 ①차대사람, ②차대 차의 정면충돌, ③차대 차의 추돌, ④차대 차의 나란히 접촉, ⑤차대 차의 측면직각, ⑥차대 차의 접촉, ⑦차대 차의 차로변경 접촉 그리고 ⑧기타 차대 차사고 ⑨차량 단독 사고로 유형분류를 할 수 있다. 2001년도에 수원시에서 발생한 교통사고유형별 데이터를 분석해보면 〈표 1〉과 같이 차 대차 교통사고가 1,479건으로 가장 높은 86.0%를 차지하였고, 그 다음 차대사람 209건으로 12.3%, 그리고 차량단독 사고가 0.7%, 차내 사고는 한 건도 발생하지 않은 것으로 나타났다.

3) 사고위치에 대한 분석

연구에서는 ①유입부, ②유출부, ③횡단보도, ④교차로내, ⑤기타로 구분하여 사고위치를 구분하였다. 2001년 사고데이터를 위치에 따라 구분하면 교차로에서 발생한 사고는 교차로 내에서 발생한 사고가 619건으로 전체의 36.2%이고, 그 다음 교차로 유입부가

〈표 1〉 사고유형 및 위치별 기초통계분석

구분	총 사고건수	지점당 평균사고 건수(건)	발생비율(%)		
			비율	합계	
사고 위치	유입부	607	4.24	100	
	유출부	253	1.77		
	횡단보도	125	0.87		
	교차로내	619	4.33		
	기타	97	0.68		
사고 유형	차대사람	209	1.46	100	
	차 대차	정면충돌	73		0.51
		추돌	456		3.19
		나란히 접촉	156		1.09
		측면직각	493		3.45
		접촉	94		0.66
		차로변경접촉	164		1.14
		기타	43		0.30
	차량단독	13	0.09		

607건으로 35.7%, 유출부가 253건으로 14.4%, 횡단보도가 125건으로 7%, 기타가 5.6%를 차지하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 〈표 1〉과 같다.

3. 도로 및 교통조건 데이터

도로 및 교통조건에 대한 데이터는 크게 2001년 교통주제도의 도로 속성정보와 2001년 수원시 교통정비중기계획의 보고서를 참고로 GIS의 Join 기능과 matching 기능을 이용하여 구축하였다. 구축한 속성 정보는 〈표 2〉와 같으며 이중 요인분석(로지스틱 판별 분석)에 활용된 설명변수는 표에서 "O"표시로 하였다. 그리고 일부 사고다발지점의 교차로의 도로접속유형, 횡단보도수, 현시수의 자료는 CAD 도면과 현황조사 기반으로 각 지점별로 별도로 구축하였다. 여기서 도로 접속 유형이라 함은 교차로가 주도로와 주도로가 만났는지, 주도로와 부도로가 만났는지, 부도로와 부도로가 만난 교차로인지에 대하여 구분하였다.

IV. 사고유형 및 위치에 대한 진단법

1. 사고유형 및 위치에 대한 진단모형

사고유형 및 사고위치에 대한 진단모형의 기본 개념

5) 그림에서 "물피사고, 537, 32%"로 표시된 것은 "항목, 항목에 해당하는 발생건수(건), 비율(%)"을 의미한다.

〈표 2〉 도로 및 교통조건에 대한 데이터구조

구분	변수명	설명	모형사용 여부
고유키	ID	id	X
교통주제도	LOCATION_N	위치명	X
현황 조사	ROAD_NO	도로축번호	X
	ROAD_TYPE	도로접속유형	O
	CROSS_NO	횡단보도수	O
	PHASE	현시 수	O
교통주제도	DISTRICT_I	지역번호	X
	ROAD_NAME	도로명	X
	WIDTH	도로폭	O
	LENGTH	길이	O
	LANES	차로수	O
	ROAD_RANK	도로등급 ⁶⁾	X
	ROAD_NO	도로번호	X
	UPLANES	상행차로수	O
	DOWNLANES	하행차로수	
	BUSLANE	버스전용차로유무	O
	REVERSIBLE	가변차로유무	O
	SHOULDERLA	갓길유무	O
	BICYCLELAN	자전거도로유무	O
	UP_MAXSPEE	속도	O
ROADCAPACI	용량	O	
교통정비 기본(중기) 계획	ROAD_NA	도로축명	X
	BOUND	방향정보	X
	DIST_KM_	거리	O
	LAND_NO	차로수	O
	CAPACITY1	용량1	O (평균값 사용)
	CAPACITY2	용량2	
	M_VOL1	오전교통량1	O (평균값 사용)
	M_VOL2	오전교통량2	
	E_VOL1	오후교통량1	
E_VOL2	오후교통량2		
MAX_V_C	V/C최대값	X	

은 각 도로구간 및 교차로 특성을 나타낼 수 있는 일종의 안전성능함수(Safety Performance Function, SPF)를 개발하여 나타내는 것이다(Hauer E. and B. Persaud, 1997). 이 함수는 지점별로 사고의 발생(및 감소)에 대하여 확률적으로 확인이 가능하다. 기존 연구에서는 교통의 노출정도와 사고의 발생은 비선형관계가 있다고 한다(Jake Kononov and Bruce N. Janson, 2001; Jake Kononov, 2001). 본 연구에

서도 이러한 개념을 적용하여 수원시 사고 발생지역(본 연구에서는 특별히 사고다발지점으로 적용됨)에 대한 SPF를 산출하였다. 먼저 본 연구에서 사용한 주요 기호를 살펴보면 다음과 같다.

〈기호〉

- i : 도로구간 또는 교차로 i
- SPF_i : 도로 구간 또는 교차로를 나타내는 특정의 안전성능함수(SPF)를 나타냄.
- $X_{ai}[X_{a1}, X_{a2}, X_{a3}, \dots, X_{an}]$: 각 지점별 사고 유형 및 지점에 대한 데이터⁷⁾
- $P(SPF_i)$: SPF_i 로 나타날 확률
- $P(N_{ai}/SPF_i)$: SPF_i 가 주어졌을 때 특정 유형의 N_{ai} 사고의 확률
- P_i : 각 사고가 특정의 사고유형 및 위치에 관련되어 나타날 베르누이 확률
- $P(SPF_i/N_{ai})$: 특정 유형의 N_{ai} 사고를 포함하는 특정 벡터 X_{ai} 가 주어졌을 때 안전성능함수 SPF_i 로 나타날 조건부 확률

여기서, 특정 벡터 X_{ai} 가 안전성능함수 SPF_i 에 의해 도로 시설로부터 초래된 하나의 사고가 과거에 발생한 이력(history) 샘플을 나타내는 것으로 가정한다. 그리고 각 i 에서 개별 사고의 확률이 P_i 인 베르누이 시행을 따르게 된다. 그러면 특정 유형을 정확하게 N_{ai} 사고가 전체 N_{ti} 사고로부터 관찰되어 질 확률은 다음과 같은 이항분포를 따르게 된다.

$$X_{ai} \in SF_{ai} \therefore P(N_{ai}, N_{ti}, P_i) = \binom{N_{ti}}{N_{ai}} P_i^{N_{ai}} (1 - P_i)^{N_{ti} - N_{ai}} = P(N_{ai}/SF_i)$$

여기서, $N_{ai} = 0, 1, 2, \dots, n$ 사고건수

$$\binom{N_{ti}}{N_{ai}} = \frac{N_{ti}!}{(N_{ti} - N_{ai})! N_{ai}!}$$

여기서 N_{ai} 번의 베르누이 시행으로 N_{ai} 나 그보다 작은 사고가 관찰될 확률은 다음과 같이 계산되어질 수 있다.

6) 2:국도 3:지방도 5:시군도 999:미분류

7) 도로 참조 시스템에 관계하여 방향성 있게 정리된 도로구역의 사고 목록으로 구성되거나 혹은 어떤 교차로에서 사고 목록을 반영하는 특정 벡터를 나타냄.

$$P(X \leq N_{ai}, N_{ii}, P_i) = \frac{N_{ii}!}{(N_{ii} - N_{ai})! N_{ai}!} P_i^{N_{ai}} (1 - P_i)^{N_{ii} - N_{ai}}$$

N_{ai} 나 그보다 많은 사고가 관찰될 확률은 다음과 같이 표현되어진다.

$$P(X \geq N_{ai}, N_{ii}, P_i) = 1 - P(X \leq N_{ai}, N_{ii}, P_i) = 1 - \frac{N_{ii}!}{(N_{ii} - N_{ai})! N_{ai}!} P_i^{N_{ai}} (1 - P_i)^{N_{ii} - N_{ai}} = P(SF_i / N_{ai})$$

if $P(X \geq N_{ai}, N_{ii}, P_i) \leq P_{er}$

여기서 P_{er} 라는 것은 어느 수준까지 다른 지역에 비해 특정하게 유발된다는 수준을 나타내는 경계 값이다. 이를 통하여 각 지점의 사고에 대한 특징 벡터인 $X_{ai}[X_{a1}, X_{a2}, X_{a3}, \dots, X_{an}]$ 는 특정의 안전성능함수는 SPF_i 에 속하지 않는 것으로 구분될 수 있다. 잠재적으로 내재하는 사고에 대한 가능성을 진단하는데 있어 기존의 교차로의 사고목록에서 P_{er} 의 값은 본 연구에서는 5%로 선정하였다(1~5%내에서 가능).

사고 분석 차원에서 이는 $X_{ai}[X_{a1}, X_{a2}, \dots, X_{ai}]$ 으로 부터 발생된 도로구역이나 교차점은 통계적 분포에 의하면 5%이내에 확인되는 그룹과 그렇지 않은 그룹으로 진단 가능하다. 예를 들어 한 지점의 사고가 추돌 사고가 다른 지역에 비해 더 발생하는 지를 진단하기 위해서는 이 지역에 대한 확률 분포 값을 찾고, 이 값을 5%와 비교하여 5%이내에 들면 추돌 사고가 특

이성 있게 더 발생한다고 진단하게 된다.

2. 사고진단과정에 대한 사례 검토

예를 들어 사고위치가 교차로지점에서 발생하는 경우 <표 1>에서 살펴보듯이 수원시 전체의 평균적인 발생 비율은 약 36.2%정도 된다. 이 때 지점 당 평균 사고건수는 약 5.41건 정도이다. 이 경우 전체 143지점에서 교차로 사고가 다른 지역보다 더 발생하게 된 지역과 일반적으로 발생할 수 있는 지역으로 진단하기 위해 다음의 식을 계산한다.

N_{ii} : 1700건(전체 수원시에서의 사고건수)

N_{ai} : 사고지점 i에서의 교차로지점에서 사고가 발생한 사고건수

$$P(X \geq N_{ai}, N_{ii}, P_i) = 1 - P(X \leq N_{ai}, N_{ii}, P_i) = 1 - \frac{N_{ii}!}{(N_{ii} - N_{ai})! N_{ai}!} P_i^{N_{ai}} (1 - P_i)^{N_{ii} - N_{ai}} = P(SF_i / N_{ai})$$

를 지점별로 산출하면 <표 3>과 같이 도출되며, $P(SF_i / N_{ai})$ 의 값을 0.05와 비교하여 진단 결과를 확인한다. 0.05보다 작게 나타난 지역은 다른 지역보다 교차로지점에서 발생한 사고가 보다 많이 나타나고 있다고 진단된 지점이다. 이를 지점으로 표시하면 <그림 7>과 같이 총 12개 지점이 다른 지역보다 교차로 사고에 문제가 있다고 판단되었다.

(그러면 이러한 진단 결과 다른 지역보다 어떠한 요인에서 보다 사고유형이나 사고위치에 대하여 문제가

<표 3> 교차로지점에서 발생한 사고의 진단과정 표

지점번호	지역명	총사고수	N_{ai}	P_i	$P(X \leq N_{ai}, N_{ii}, P_i)$	$P(SF_i / N_{ai})$
1	수원시 장안구 영화동 장안문 로타리	53	31	58%	0.000261497	1
2	수원시 권선구 매산동 수원역 광장	49	26	53%	0.004883933	1
3	수원시 장안구 조원동 장안구청 사거리	38	7	18%	0.984914613	0
4	수원시 권선구 권선동 시청 사거리	36	11	31%	0.689234347	0
5	수원시 팔달구 인계동 동수원 사거리	34	10	29%	0.729123512	0
143	수원시 팔달구 인계동 농협 사거리	32	8	25%	0.868119891	0
합계		1700		36.2%		

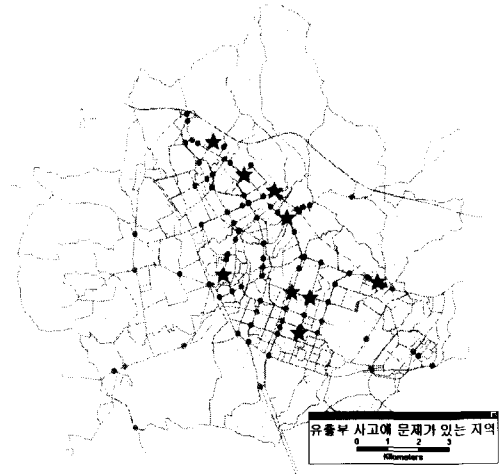
있다고 어떻게 판단할 것인가? 이것에 대한 판별은 5장에서 제시하고 있는 로지스틱 판별모형을 이용하게 되었다.)

3. 사고진단결과

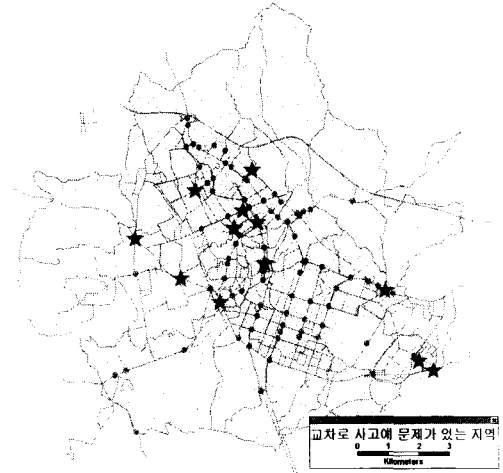
〈표 3〉과 같은 계산과정을 총 5개의 사고위치와 8개의 사고유형별로 각각 총 143개 지점(총 13×143개)에 대한 SPF_i 를 산정하여 임계치인 P_{er} 와 비교하여 진단하였다. 이때 13가지에 대한 P_i 의 값은 〈표 1〉의 발생비율의 평균을 사용하였다. 진단된 결과는 〈표 4〉와 같고 이를 GIS로 표출하면 〈그림 5〉~〈그림 10〉과 같다.

〈표 4〉 사고위치 및 유형별 진단결과

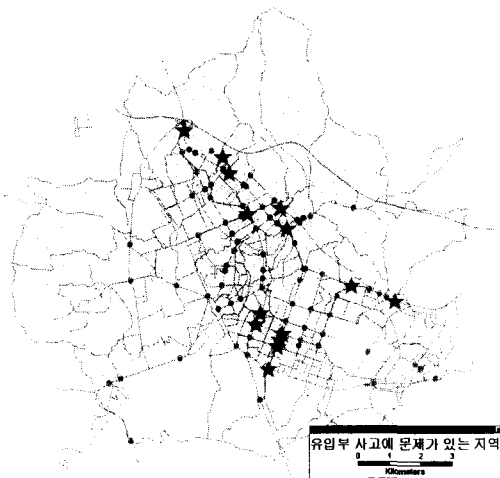
구분		진단결과(지점수)	비고	
사고 위치	유입부	14	〈그림 5〉	
	유출부	9	〈그림 6〉	
	횡단 보도	2	-	
	교차로내	12	〈그림 7〉	
	기타	11	-	
사고 유형	차 대차	차대사람	14	〈그림 8〉
		정면충돌	19	-
		추돌	15	〈그림 9〉
		나란히접촉	18	-
		측면직각	11	〈그림 10〉
		접촉	13	-
		차로변경접촉	13	-
		기타 원인	16	-



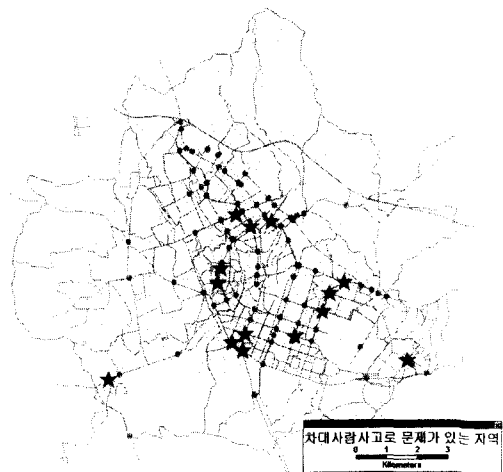
〈그림 6〉 유출부 사고로 인해 개선이 필요한 지점



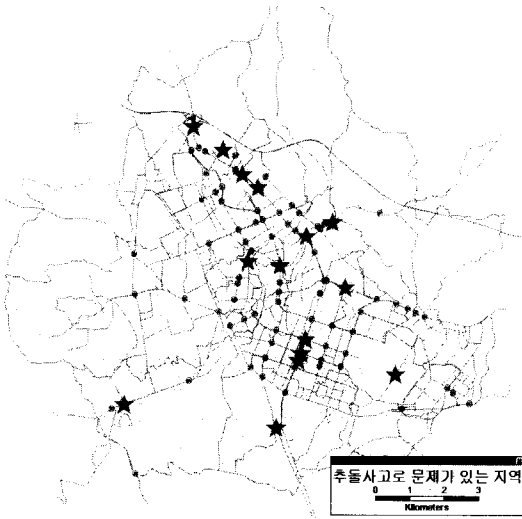
〈그림 7〉 교차로사고로 인해 개선이 필요한 지점



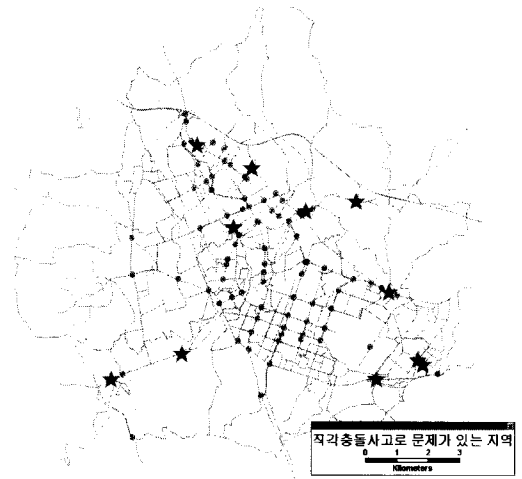
〈그림 5〉 유입부 사고로 인해 개선이 필요한 지점



〈그림 8〉 차대사람사고로 인해 개선이 필요한 지점



〈그림 9〉 추돌사고로 인해 개선이 필요한 지점



〈그림 10〉 측면직각 충돌사고로 인해 개선이 필요한 지점

V. 로지스틱판별모형을 이용한 사고요인분석

1. 로지스틱판별모형

로지스틱판별모형은 종속변수는 범주형 자료이고 독립변수는 연속성 자료인 경우 정규분포를 따르지 않는 경우에 사용한다. 다음 식은 두개의 집단을 대상으로 하는 모형으로 정의한 것이다(성운현, 2001).

$$\ln\left(\frac{f_1(x)}{f_2(x)}\right) = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 + \dots + \beta_p x_p$$

위의 식에서 $\alpha + \ln(p_1/p_2)$ 을 β_0 로 치환하여 얻은 식은 $\beta'x$ 와 같아진다. 여기서 $f_1(x), f_2(x)$ 는 두 집단 g_1, g_2 의 확률밀도함수이고, $p_1, p_2 (p_1 + p_2 = 1)$ 는 관측치 x 가 두 집단 g_1, g_2 에 속하게 되는 사전확률을 나타낸다.

만약 $\ln(f_1(x)/f_2(x)) > \ln(p_2/p_1)$ 이면 첫 번째 집단인 g_1 에 분류되고 이것은 또 $\beta'x > 0$ 일 때 관측치 x 가 첫 번째 집단 g_1 에 속할 사후확률을 $q_1(x)$ 이라고 하고, 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$q_1(x) = \frac{\exp(\beta'x)}{\exp(\beta'x) + 1}$$

두 번째 집단 g_2 에 속할 사후확률은 $q_2(x)$ 라 하고 식은 다음과 같다.

$$q_2(x) = 1 - q_1(x) = \frac{1}{1 + \exp(\beta'x)}$$

그러므로 첫 번째 집단에 속하지 않을 확률에 대한 첫 번째 집단에 속할 확률은 $q_1(x)/q_2(x)$ 이며 사후승산(posterior odds)라고 한다. 이것은 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$\ln\left[\frac{q_1(x)}{q_2(x)}\right] = \beta'x$$

$$q_1(x)/q_2(x) = \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_p x_p)$$

여기서 계수 β_k 는 나머지 독립변수들의 수준이 일정하게 하였을 때 k 번째 독립변수를 한 단위 증가시켰을 때 사후승산은 $\exp(\beta_k)$ 만큼 증가한다는 의미이다. 본 연구에서 x_i 는 〈표 2〉에서 검토된 독립변수를 의미한다.

2. 모형의 적용결과

사고유형과 사고위치에 문제가 있는 지역은 다른 지역과 비교하여 어떠한 요인이 문제가 되어 발생하는지를 확인하기 위해 로지스틱 판별모형을 적용하였다.

여기서, 앞 절에서 각 사고유형과 사고위치에서 문제가 있다고 진단된 지역(종속변수=1)과 그렇지 않은

〈표 5〉 로지스틱판별분석의 모형의 계수값 추정결과 및 정분류율(%)

구분	변형	Road type										정분류율 (%)				
		도로접속유형	횡단보도수	현시	도로폭	용량	avg_VOL	BUSLANE	REVERSIBLE	SHOULDERLA	BI-CYCLELANE		UP MAXSPEE			
사고 위치	유입부	계수추정값	-12.6579	2.2628**	-0.2967	0.3828	-0.00613	-0.00039	-0.00064	0.299	-8.6437	-14.0976	-0.7837	0.0738**	85.7	
		표준화값	0	(1.19)**	-0.23	0.36	-0.02	-0.21	-0.21	0.05	-0.50	-1.15	-0.22	0.72**		
	유출부	계수추정값	-2.7238	0.1506	0.3597	0.045	-0.1268**	0.000081	0.00157*	2.0867	-9.9282	-9.0122	0.2142	-0.03	91.2	
		표준화값	0	(0.0795)	(0.2825)	(0.0423)	(-0.4221)**	(0.0426)	(0.5134)*	(-0.3276)	(-0.5738)	(-0.7325)	(0.0588)	(-0.2947)		
	횡단보도	계수추정값	-41.3772	9.2818	-2.5962	-1.2983	0.0299	-0.00016	-0.00003	-8.6719	-1.1699	-11.3223	-0.0373	0.0205	-	
		표준화값	0	(4.897)	(-2.0386)	(-1.2193)	(0.0996)	(-0.00868)	(-0.0098)	(-1.3613)	(-0.0671)	(-0.9203)	(-0.0102)	(0.2014)		
	교차로내	계수추정값	4.6082	-0.9149***	1.1584*	-1.2102*	-0.1776*	0.000434	-0.00011	3.3155*	-0.0714	-5.0751***	0.9168	0.0438	89.0	
		표준화값	0	(-0.4827)***	(0.9096)*	(-1.1365)*	(-0.5911)**	(0.2283)	(-0.0376)	(0.5205)*	(-0.6227)	(-0.4125)***	(0.2515)	(0.4293)		
	기타	계수추정값	-2.3637	0.391	0.5549	-0.5148	0.1822*	0.000717	0.0019**	-0.7783	-12.9291	-11.1358	-0.1615	0.0478*	89.0	
		표준화값	0	(0.2063)	(0.4358)	(-0.4834)	(0.6064)*	(0.3776)	(0.6229)**	(-0.1222)	(-0.7472)	(-0.9051)	(-0.0443)	(0.4693)*		
	사고 유형	차대사람	계수추정값	-0.7084	0.1763	0.0478	-0.1536	0.3678***	0.000092	-0.00225**	-3.4957*	-15.8899	-11.7075	0.7038	-0.0784**	86.8
			표준화값	0	(0.093)	(0.0375)	(-0.1443)	(1.224)***	(0.0486)	(-0.7362)**	(-0.5488)*	(-0.9184)	(-0.9516)	(0.1931)	(-0.7696)**	
정면충돌		계수추정값	1.3326	-0.0917	-0.1256	0.1194	0.1389*	-0.00027	-0.00175**	-1.6293	13.2287	1.65	0.4109	-0.0238	82.4	
		표준화값	0	(-0.0484)	(-0.0987)	(0.1121)	(0.4622)*	(-0.1407)	(-0.5729)**	(-0.2558)	(0.7646)	(0.1341)	(0.1127)	(-0.2336)		
추돌		계수추정값	-4.9478	-0.5885	-0.453*	0.6963**	-0.0439	-0.00081	0.00127**	-1.8093	18.3283	-10.1535	0.7075	0.0826***	84.6	
		표준화값	0	(-0.3105)	(-0.3557)*	(0.654)**	(-0.1462)	(-0.4251)	(0.4164)**	(-0.284)	(1.0593)	(-0.8253)	(0.1941)	(0.8104)***		
나란히 접촉		계수추정값	-1.0845	-0.5286	-0.1943**	0.4187	0.00221*	0.000042	0.000285	0.4065	-11.9514	1.6177	-0.7669	0.0122	84.3	
		표준화값	0	(-0.2789)	(-0.1526)**	(0.3932)	(0.00735)*	(0.0222)	(0.0933)	(0.0638)	(-0.6907)	(0.1315)	(-0.2104)	(0.1199)		
측면직각		계수추정값	-7.0352	0.9334	4.0185	-6.6188	-0.1101*	0.00048	0.000046	3.2275*	-7.8787	-11.2164	-0.8154	0.0392	89.0	
		표준화값	0	(0.4925)	(3.1555)	(-6.216)	(-0.3665)*	(0.2529)	(0.015)	(0.5067)*	(-0.4553)	(-0.9117)	(-0.2237)	(0.3847)		
접촉		계수추정값	-1.625	0.3261	-0.0819	0.1976	0.0722	-0.00039	0.00233**	-13.9016	-10.7612	1.673	1.3685*	0.0231	86.8	
		표준화값	0	(0.1721)	(-0.0643)	(0.1856)	(0.2404)	(-0.2029)	(0.7513)**	(-2.1823)	(-0.6219)	(0.136)	(0.3754)*	(0.2269)		
차로변경접촉	계수추정값	-2.2598	0.0382	-0.6643	0.000546	-0.1514**	0.000743	0.00109*	4.5318**	-10.4195	-10.9388	-1.7623**	0.00881	89.0		
	표준화값	0	(0.0202)	(-0.5217)	(0.000513)	(-0.504)**	(0.3914)	(0.3555)*	(0.7114)**	(-0.6022)	(-0.8891)	(-0.4835)**	(0.0864)			
기타 원인	계수추정값	-9.1887	2.0944**	-1.2345	0.3776	0.0241	0.00011	-0.00033	2.7031*	-10.899	-12.5466	0.3884	-0.00937	81.0		
	표준화값	0	(1.105)**	(-0.9694)	(0.3547)	(0.0803)	(0.0579)	(-0.1096)	(0.4243)*	(-0.6299)	(-1.0198)	(0.1066)	(-0.092)			

주) 표의 각 셀 위 칸의 값은 각 추정치 값을 의미하며, 아래 칸의 값은 추정치를 표준화시킨 값임. P-값이 *는 0.1이하, **는 0.05이하, ***는 0.01이하를 의미함.

지역(중속변수=0)으로 분류하여 로지스틱 판별모형의 중속변수로 선정하였다. 그리고 〈표 2〉에서 살펴본 도로유형 등의 도로조건과 교통조건 등을 로지스틱 판별모형의 독립변수로 하여 모형을 구축하였다. 이때 선정된 모형의 계수(표준화시킨 계수 값, 유의수준 하에 있는 추정치 여부)는 〈표 5〉와 같다.

〈표 5〉에서 살펴보면 사고유형과 사고위치에 따라 앞에서 진단된 지역과 그렇지 않은 지역으로 분류한 중속변수에 대하여 영향을 미치는 개별 인자들을 확인할 수 있다. 각 변수들의 추정치를 표준화시키고 P-값을 살펴보면 어떠한 요인이 특정사고를 발생하는데 영향을 미치는 지를 확인할 수 있다.

예를 들어, 유출부 위치에서 발생한 사고의 경우 도로폭(p-값<0.05)과 교통량(p-값<0.1)이 유출부 사고의 발생에 영향을 미치는 중요 인자가 된다. 두 인자의 표준화된 추정치 값을 보면 도로폭은 -0.4221, 교통량은 0.5134 이므로 각 부호에 의해 도로폭은 줄수록 교통량은 많을수록 유출부 사고가 더 발생하는 경향을 보임을 알 수 있다. 또한 두 변수의 절대치를 보면 도로 폭보다는 교통량이 보다 사고 발생에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 〈표 5〉에서 살펴보면 유출부 모형의 정분류율은 91.2%로 매우 높은 예측치를 보이고 있다.

로지스틱 판별모형에서 적합도를 평가하기 위해 도

〈표 6〉 진단지점의 개선이 요구되는 요인

구분	유의한 요인		
	유입부	도로접속유형, 속도	
유출부	도로폭, 교통량		
횡단보도	-		
교차로내	도로접속유형, 횡단보도, 현시, 도로폭, 버스전용차로, 길어깨		
기타	도로폭, 교통량, 속도		
차대사람	도로폭, 교통량, 버스전용차로, 속도		
사고 유형	차대차	정면충돌	도로폭, 교통량
		추돌	횡단보도, 현시, 교통량, 속도
		나란히접촉	횡단보도, 도로폭
		측면직각	도로폭, 버스전용차로
		접촉	교통량, 자전거도로
		차로변경접촉	도로폭, 교통량, 버스전용차로, 자전거도로
		기타 원인	도로접속유형, 버스전용차로

입된 정분류율은 관측결과와 예측결과를 비교하여 '전체 자료 수' 중 '관측결과와 예측결과가 동일한 자료수'의 비율을 환산한 것이다. 〈표 5〉에서 볼 수 있듯이 횡단보도에 대한 모형은 로지스틱 판별모형으로 구축이 되지 않았고(유의한 변수가 나타나지 않음) 그 외 12개의 모형들은 각각 정분류율이 81.0~91.2%로 비교적 혹은 매우 우수한 모형으로 평가되었다.

〈표 5〉의 결과는 결국 수원시 지역의 12가지의 사

고유형 및 사고위치에 대하여 특정 문제가 더 있다고 진단된 지역은 그렇지 않은 지역보다 다음의 요인들이 문제가 있기 때문에 이에 대한 개선방안 마련이 필요함을 알 수 있다. 즉 진단지점의 개선이 요구되는 요인을 정리하면 <표 6>과 같다.

VI. 결론 및 향후과제

도로상에서 발생하는 교통사고를 조사하여 어떤 지역이 어떠한 문제가 있는지를 진단하고, 사고발생에 영향을 미치는 요인을 추출하는 것은 매우 중요한 문제이다. 본 연구에서는 이러한 점을 목적으로 두고 사고유형과 사고위치별로 위험한 지역을 선정하는 진단법을 소개하고 이후 주요 사고원인을 추출하고 분석하는 방법론을 소개하고 있다. 연구에서는 사고에 대한 진단방법을 이항분포를 이용한 안전성능함수(SPF)를 계산하여 이후 로지스틱 판별분석을 통해 요인을 추출하는 것을 2001년 수원시 사고다발지점에 적용하여 분석하였다.

주요 연구 결과는 다음과 같다.

첫째 사고를 진단하는 방법으로는 각 사고유형 및 위치별 P_i (각 사고가 발생할 때 특징의 사고와 관련된 특징이 나타날 확률)를 이항분포로 모형화시켜 지점(도로구간 및 교차로)별로 특성적 사고가 발생한 것으로 판단되는 지점과 그렇지 않은 지점으로 구분하였다. 즉 지점별 안전성능함수(SPF)를 구하여 이를 통해 5%의 임계치와 비교하여 5%임계치안에 드는 지점들을 선별하여 진단하였다.

둘째 이후 진단된 지점과 그렇지 않은 지점을 종속 변수로 하고 주요 도로조건 및 교통조건을 독립변수로 하여 로지스틱 판별 분석을 실시하였다. 이를 통하여 주요 사고요인들을 추출하였으며, 이러한 유의한 요인들로 각 진단지점들의 개선방안 마련의 기준이 될 수 있다. 이러한 로지스틱 판별분석을 활용하고자 한다면 우선적으로 사고지점에 대한 좀더 문제가 있는 지점(본 연구에서는 진단된 지점)과 그렇지 않은 지점의 분류가 선행되어야 한다.

본 연구의 한계점을 설명하면 다음과 같다.

첫째 사고다발지점에 국한하여 적용하였기 때문에 진단의 의미가 이미 적용된 데이터를 대상으로 한 것이다. 이것은 결국 사고다발지점으로 선택된 지역만을 사용하여 분석한 일종의 sampling error를 포함할 수 있는 문제가 된다(그러나 사고다발지점 중 특정 사고유

형 및 위치에 보다 유의한 지점을 찾는 데에 의미를 두자면 이러한 점은 한계점만은 아니라고 사료된다). 따라서 전체 교차로에서의 사고자료를 모두 구축하여 이를 기반으로 본 연구에서 제시한 진단법과 로지스틱 판별모형을 활용하면 보다 우수한 결과를 가져올 것으로 사료된다. 즉 향후 이러한 방법을 사고다발지점이 아니라 모든 사고지점에 적용한다면 진단방법으로 보다 우수한 방법론으로 적용 가능할 것으로 판단된다.

둘째 사고에 대한 거시적 접근방법을 통해 사고의 요인을 추출하였기 때문에 도로 환경적 조건이외의 사고원인, 즉 인적요인이나 차량적 요인을 배제하고 요인을 추출하였기 때문에 개선이 요구되는 요인으로만 개선방안을 수립하기에는 한계가 있다.

이러한 한계점에도 본 연구는 사고다발지점을 통합적으로 분석하는 것을 사고유형이나 사고위치에 따라 보다 세부적인 요인을 통해 특정 사고에 대하여 진단하는 방법을 실제 사고데이터를 통해 분석하여 그 유효성을 입증하고 있다는데 중요한 의의가 된다. 또한 본 연구에서 입증된 로지스틱 판별분석의 유효성을 통해 향후 유사연구에 충분히 활용 가능한 시사점을 제시하고 있다.

참고문헌

1. 김경석(1997), "도로 설계요소와 교통사고의 상호관계에 관한 연구", 국토연구, 제26권, pp.147~160.
2. 도로교통안전관리공단(2001), "도로교통사고 사고비용의 추계와 평가".
3. 도로교통안전관리공단(2002), "2002년 교통사고 잦은 곳 기본개설계획 및 효과분석".
4. 도로교통안전관리공단(2002), "2002년 전국 시도 및 도로별 사고 잦은 곳 현황".
5. 성운현(2001), "응용 로지스틱회귀분석, 이론, 방법론, SAS활용", 탐진.
6. 수원시(2002), "수원시 교통정비 기본계획 변경 및 중기계획 수립".
7. 이수범·박규영(2000), "도로안전시설의 교통사고 감소효과 측정에 관한 연구", 대한토목학회지, 제20권 제2호, pp.139~147.
8. Ardeshir Faghri and Nanda Raman(1991), "A GIS-Based Traffic Accident Information System", Journal of Advanced Transportation, Vol.29, No.3, pp.321~334.

9. Hauer, E., and B. Persaud(1997). Safety Analysis of Roadway Geometric at Ancillary features, Transportation Association of Canada.
10. Jake Kononov and Bruce N. Janson(2001). "Diagnostic Methodology for the Detection of Safety Problems at Intersections". TRR 1784, pp.51~56.
11. Jake Kononov(2001), "Identifying Locations with Potential for Accident Reductions - Use of Direct Diagnostics and Pattern Recognition Methodologies". TRR 1784, pp.153~158.

✉ 주 작 성 자 : 김숙희

✉ 논문투고일 : 2004. 3. 23

논문심사일 : 2004. 5. 12 (1차)

2004. 10. 14 (2차)

2004. 11. 22 (3차)

심사판정일 : 2004. 11. 22

✉ 반론접수기한 : 2005. 6. 30