

■ 論 文 ■

# 고속도로 교통사고의 계절성 검증과 요인분석 (중부고속도로 사례를 중심으로)

Analysis of Seasonal Variation Effect of the Traffic Accidents on Freeway

**이 용 택**

(서울대학교 환경대학원 박사과정)

**김 양 지**

(서울대학교 환경대학원 석사과정)

**김 대 현**

(여수대학교 교통물류시스템공학부 전임강사)

**임 강 원**

(서울대학교 환경대학원 교수)

## 목 차

- I. 서론
    - 1. 연구의 배경 및 목적
    - 2. 연구의 범위 및 수행방법
  - II. 문헌고찰
    - 1. 계절성 관련인자 고찰
    - 2. 교통사고의 계절성분석 고찰
  - III. 자료의 수집 및 정리
    - 1. 분석구간선정
    - 2. 자료의 정리
  - IV. 자료분석 및 해석
    - 1. 계절성 유무검증
    - 2. 계절성 적정 그룹수 결정
    - 3. 계절군집별 모형 개발
    - 4. 모형의 해석 및 정책적 시사점
  - V. 결론 및 추후 연구방향
    - 1. 결론
    - 2. 연구의 한계점 및 추후 연구방향
- 참고문헌

Key Words : 사고의 계절성, 군집분석, 사고율, 대물피해환산치, 자가조직지도

## 요 약

본 논문은 고속도로사고의 시간-공간적 반복성을 검증하고 이러한 현상의 원인을 규명하는 연구이다. 이를 위해 중부고속도로를 대상으로 계절성 유무검증과 계절성인자의 요인분석을 위한 계절군집별 모형을 개발, 해석하였다. 먼저 자가조직지도와 사고지표(월평균 사고율과 월평균 대물피해환산치) 분석을 통해, 국내 고속도로사고의 계절성이 존재하는 것을 확인하였으며, 집합적 계층적 군집분석기법을 사용하여 적정 계절군집수를 분석한 결과 겨울군집, 봄가을군집, 여름군집의 3개 군집으로 분리되었다. 또한 해당 군집의 대표값은 겨울군집이 사상자수와 사고차량수는 적은 반면, 사고의 치명도는 매우 높은 것으로 나타났으며, 여름군집은 사상자수와 사고차량수는 많은 반면, 사고의 치명도는 다소 낮은 것으로 나타났다. 또한 계절군집별로 회귀모형식을 개발하여 계절군집별 사고특성을 검토한 결과, 계절성 유발인자(교통량, 안개, 결빙일수, 강설량, 강우량)와 계절군집의 사고가 매우 밀접한 관계를 가지고 있었으며, 이들의 차이에 따라 국외 또는 지역별로 계절성의 특성이 다소 달라지는 것으로 분석되었다. 아울러, 이러한 연구결과는 사고다발지점선정기법, 사고예측 및 기술 모형 개발, 안전관리를 위한 재원의 배분문제 등의 사고안전관리계획을 합리화하는 기초자료로 활용되리라 판단된다.

## 1. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

우리나라는 97년 기준으로 인구 10만명 당 교통사고 사망자수가 23.5인으로 세계 3위의 교통사고다발국가로 분류되고 있으며, 지난 10년간 연평균 교통사고 증가율이 4.9%로 미국 -1.0%, 프랑스 -2.1%, 독일 0.7%, 일본 0.3%에 비해 매우 높은 것이 사실이다. 특히 사고의 치명도가 높은 고속도로교통사고의 경우 지난 10년간 연평균 사고증가율이 9.3%로 급성장하고 있으며, 지난 '98년에도 사망 663명, 부상 14,458명의 높은 인적피해를 입고있어 보다 적극적인 고속도로 안전관리대책이 요구되고 있다.

교통사고는 일반적으로 운전자, 차량, 도로 및 환경의 복합적 요인에 의해 시간-공간적으로 발생하므로 효과적인 안전관리대책을 수립하기 위해서는 발생 요인에 대한 자료를 데이터베이스화하여 사고에 미치는 영향을 파악하는 것이 필요하다.

Loeb(1984, 1985), Jovanis(1986), Zeeger(1988), Miao(1992), Mohammed(1998), Fred(1998), Alison(1998), 임(1995), 김(1998), 장(1999), 이(1999) 등에 의해 횡단면연구, 시계열연구, Panel 연구 등의 관련연구가 꾸준히 진행되어 왔으며, 이들 모형은 통계적으로 유의한 자료수를 확보하기 위해 1년 이상의 사고수를 누적하여 사용하고 있다. 그러나 경찰청(1999)보고에 따르면 98년도 기준으로 5월, 10월의 교통사고가 가장 많이 발생하고 있으며, 인사사고는 9월이 가장 많은 것으로 나타나, 교통사고 특성에 따라 시간적 변동의 가능성을 제시하고 있다. 국내 고속도로 안전대책은 교통안전기본계획과 교통안전시행계획을 통한 고속도로 사고다발지점 선정과 사고지점 관리, 안전시설물 확충에 집중되고 있으나 사고의 시간적 반복성을 고려치 않고 시간적 요인을 불변으로 가정하여 공간적 요인에 재원을 할당함으로써 비효율적인 결과를 초래하게되었다. 따라서 고속도로 사고 및 안전관리방안은 사고특성의 시간적 변동을 고려하여 사고에 노출되는 운전자의 모집단 수를 최대한 줄이는 방향으로 추진되어야 한다.

본 연구는 이러한 관점에서 국내 고속도로 교통사고의 시간적 반복성, 즉 계절성의 존재유무를 자가조직지도를 활용하여 검증하고 계절군집의 특성을 사고

지표를 이용하여 설명하였다. 또한 집합적 계층적 군집분석기법을 활용하여 적정 계절군집의 수와 항목을 결정하고, 계절군집별로 계절성 유발인자와 사고와의 관계를 설명하는 모형식을 개발, 해석함으로써, 계절군집별 사고특성을 분석하였다. 아울러 분석결과를 바탕으로 국내 고속도로 교통안전관리계획 합리화에 정책적 시사점을 제시하였다.

### 2. 연구의 범위 및 수행방법

본 연구의 내용적 범위는 고속도로사고의 계절성 존재유무를 검증하고, 해당 계절군집의 수, 항목 및 특성을 분석, 모형화하여 계절성 인자의 영향을 분석하는 것이다. 공간적 범위는 분석대상지를 중부고속도로로 제한하며, 시간적 범위는 1992년부터 1997년까지의 6년간으로 자료의 수집은 한국도로공사 고속도로사고통계자료 및 교통량조사통계연보, 기상청 기상월보를 활용하였다. 본 연구는 다음과 같이 추진되었다.

- (1 단계) 교통사고의 계절성 유발인자의 특성과 계절성분석에 관한 문헌고찰을 수행한다.
- (2 단계) 분석대상지를 선정하여 사고, 교통량, 기후 자료를 수집, 정리한다.
- (3 단계) 사고계절성 유무검증과 계절군집의 특성을 분석하기 위해 자가조직지도기법과 군집별 사고지표를 비교, 분석한다.
- (4 단계) 집합적 계층적 군집분석기법을 활용, 계절군집의 적정수와 항목을 결정하고, 해당군집 특성을 반영한 모형식을 개발, 해석한다.
- (5 단계) 모형식의 분석결과를 바탕으로 합리적 교통안전관리대책 수립을 위한 정책적 시사점을 제시한다.

## II. 문헌고찰

### 1. 계절성 유발인자 고찰

고속도로사고의 계절성은 특정 사고유형이 시간-공간적으로 주기적, 반복적으로 발생하는 것을 의미한다. 계절성의 원인은 고속도로사고의 계절성을 유발하는 인자들에 의한 것으로 <표 1>을 살펴보면, 교통량, 강우, 강설, 안개, 기온 등이 주요인이라 할 수 있다.

〈표 1〉 고속도로사고의 주요인자

사고 주요인	관련 세부 인자
운전자 요인	① 성별 ② 나이 ③ 운전이력 ④ 사고이력
차량 요인	① 차종 ② 운행이력 ③ 안전장치 설치여부
도로 및 환경 요인	① 도로기하구조 - 평면, 종단선형, 구배 등 ② 교통조건 - 교통량*, 속도 등 ③ 기후조건 - 눈*, 비*, 안개*, 기온* ④ 도시밀도 ⑤ 포장종류

주 : \*)는 계절성 관련 인자를 의미함.  
: Peter D. Loeb, etc(1994). pp.14~42.

1) 교통량

교통량과 사고지표 사이의 직접적인 관계를 밝히는 연구들은 다수가 있다. 먼저 Vitaliano와 Held(1991)는 뉴욕의 도로를 대상으로 일평균교통량(ADT)과 사고건수가 유의하게 양의 관계를 가지고 있다고 보고하고 있다. 이러한 기본적인 설정 하에 시계열연구(Loeb and Gilad, 1984 ; Crandall, 1986; etc), 횡단면 연구(Peltzman, 1975 ; Zlatoper, 1991 ; Loeb 1985, Fowel and Loeb, 1989 ; Gabacz, 1992; etc), Panel 연구(Saffer and Grossman, 1987 ; Wilkison, 1987)가 진행되었으며, 교통량이 사고지표(사고건수, 사고율)와 유의하게 양의 관계를 가지고 있음을 증명하였다. Gwynn(1967), Ceder(1982)는 시간당 교통량과 사고율의 함수가 U자 형태를 나타내는 것을 밝혔으며 Minzhou(1997), 오(1999)는 교통량대 용량비와 사고율의 함수 역시 U자 형태를 나타내는 것으로 보고하였다.

2) 기후조건

NHTSA(National Highway Transportation Safety Administration)는 미국 1990년도의 기후별 사고건수를 정리한 결과, 정상기후시 81%, 강우시 15%, 강설시 1%, 안개 1%의 사고가 발생한다고 보고하고 있다.

먼저 강우에 의한 영향을 살펴보면, Loeb(1985)는 횡단면연구를 통하여, 고속도로상의 사망자수와 강우

량이 음의 관계를 나타내고 있다고 밝혔다. 이와 반대로, Alexander(1992)는 해당 주의 강수일수와 사고율의 관계를 다중회귀분석을 통해 분석한 결과, 강수일수와 사고율이 매우 유의하게 양의 관계를 가지고 있으며, 그 이유로는 시계 불안정, 노면의 마찰력 저하에 기인하는 것으로 분석하였다.

심(1999)은 강우시와 비강우시 포장상태에 따른 사고율을 검토한 결과, 포장상태가 낮은 도로에서는 비강우시 보다 강우시 사고율이 24~27배 이상 높았으며, 포장상태가 우수한 도로에서도 강우량 10mm 이상인 경우에 25배까지 높은 사고율을 나타내는 것으로 보고하고 있다.

강설에 의한 영향을 살펴보면, Alexander(1992)는 해당 주의 강설일수와 사고율의 관계를 다중회귀 분석을 통해 분석한 결과, 강설과 사고율이 음의 관계를 가지는 것으로 보고하고 있다. Lasse(1991)는 노르웨이의 19개 카운티의 도로를 대상으로 확률회귀 모형을 이용하여 사고지표와 강설의 관계가 음의 관계를 가지고 있음을 밝혔으며, 그 원인으로 교통량감소, 운전자의 주의개선, 노측면의 눈더미가 단일충돌 차량의 영향을 줄여준다고 분석하고 있다.

기온에 의한 영향을 살펴보면, Koshal(1976), Zlatoper(1991)는 횡단면연구를 통해 총고속도로 사고율과 평균기온이 유의하게 양의 관계를 가지고 있는 것으로 분석하였으며, Loeb(1992) 역시 기온이 높은 시기의 사고율이 높게 나타난다고 보고하고 있다.

2. 교통사고의 계절성분석 고찰

계절성에 대한 연구를 살펴보면, 사고요인분석에 비해 매우 드물다. 먼저 Bruce와 Karsten(1997)은 캐나다 퀘벡지역의 고속도로 교통사고의 30~50%가 계절적 요인(비, 눈, 해일, 결빙)에 기인한다는 사실을 바탕으로 89~92년 퀘벡지역 사고자료를 월별로 사고유형별(사망, 중상, 경상, 대물피해) 백만 차량-Km당 사고율로 정리하였다. 분석결과, 겨울에는 사고율이 높은 반면 물피와 경상사고가 많이 발생하여 대물피해환산치가 낮았으며, 반면 여름에는 사고율은 낮으나 사망과 중상사고가 많이 발생하여 대물피해환산치가 높은 것으로 보고하고 있다.

Alison과 Carolyn(1998)은 교통사고의 연령별,

계절별 특징을 분석하기 위해 1994년 캐나다 온타리오주 운전자를 대상으로 3일간 통행이력파일 자료를 수집하여 6개 연령(16~19세, 20~24세, 25~29세, 60~69세, 70~79세, 80~89세)에 따라 계절별 사고율을 산정하였다. 분석결과, 겨울철 사고율(22.4)은 가을의 사고율(6.7)에 비해 3배 이상 높고, 봄의 사고율(13.4)은 여름과 가을의 사고율보다 2배 높은 것으로 분석되어, 겨울과 봄의 사고율이 매우 높은 것으로 나타났다. 연령별로 보면, 80~89세의 노령운전자가 사고율이 가장 높은 반면, 25~59세와 60~69세의 운전자는 모든 계절에서 사고율이 낮은 것으로 분석되었으며, 가장 젊은 운전자집단(16~19)과 가장 노령운전자집단(80~89세)을 비교했을 때, 80~89세 노령운전자집단이 겨울에는 2배 가량, 봄에는 1.5배 가량 사고율이 더욱 높은 것으로 보고하고 있다.

### III. 자료의 수집 및 정리

#### 1. 분석구간선정

중부고속도로는 98년 기준으로 총연장 117.8Km, 4차로로 국내 충고속도로 연장의 6%에 해당한다. 교통사고건수는 438건으로 충고속도로사고의 7%를 차지하고 있어 경인, 경부, 신갈-안산고속도로 다음으로 높은 사고율을 나타내고 있다. 자료수집은 계절성 이외의 사고요인의 영향을 최소화하기 위해 교량, 터널, 램프구간 및 선형이 불량한 구간을 배제하였다. 따라서 중부고속도로의 직선기본구간 중, 서울을 기점으로 5.0~10.0Km구간(하남-광주:A구간)과 29.0~34.0Km구간(곤지암-호법:B구간)을 분석대상구간으로 선정하였다.

#### 2. 자료의 정리

##### 1) 사고자료

한국도로공사 고속도로 사고통계자료를 근거로 중부고속도로 분석대상구간에 대해 '92년부터 '97년 사이의 72개 월사고자료를 수집하였다. 6년간 총사상자수와 총사고차량수를 살펴보면, A구간이 사망 15명, 중상 24명, 경상 58명, 사고차량수 165대, B구간이 사망 15명, 중상 28명, 경상 45명, 사고차량수 132

대로 나타났다.

##### 2) 교통량자료

한국도로공사 고속도로 교통량조사통계연보를 근거로 분석대상지에 대해 '92년부터 '97년 사이의 72개 월교통량자료를 수집하였다. 6년간 월평균 교통량은 A구간이 71,591대/일, B구간이 57,031대/일로 나타났다. 모든 구간에서 8월과 10월의 교통량이 가장 많은 것으로 나타났다.

##### 3) 기후자료

기상청의 기상월보자료를 근거로 분석대상구간의 '92년부터 '97년 사이의 월간 강수량(일수), 강설량(일수), 기온, 안개일수자료를 수집하였다. 6년간 월기후자료를 살펴보면 최대적설량 232mm, 최대강수량 767mm, 최대강설일수 9일, 최대강우일수 18일, 최대결빙일 31일, 최대안개일수 20일, 월평균기온은 -5~29℃로 나타났다.

### IV. 자료분석 및 해석

#### 1. 계절성 유무검증

##### 1) 자가조직지도(Self-Organizing Map)기법에 의한 분석

고속도로교통사고가 특정공간에 대해 시간적으로 반복적인 유사성을 가짐을 검증하기 위해 자가조직지도기법을 이용하였다. 자가조직지도는 신경망(Neural Network)의 경쟁학습기법(Competitive Learning Method)의 일종으로, 입력벡터의 유클리언 거리를 유사성의 기준으로 설정하여 입력 항을 분류하도록 학습하는 군집분석기법이다. 계절성 유무검증을 위해 4개항(사망, 중상, 경상자수, 사고차량수)의 월별 사고자료를 입력자료로 사용하여 사고특성이 유사한 월이 인접하도록 2차원(Display)의 지도에 투사한다. 분석 과정에서 1계층(Layer)으로 망을 구성, Kohonen (1995)의 학습기법을 사용하여 1000회 학습한 후 <그림 1, 2>와 같은 5×5지도를 산출하였다. 지도상의 월별분포로 사고의 유사성을 살펴보면, 해당 월에 인접하게 투사된 월들이 유사성이 높은 것으로, 봄·가을에 비해 여름과 겨울그룹의 사고유사성이 높은 것으로 분석된다.

		12	1	
9			2	
5		7		3
	6			
11	8	10		4

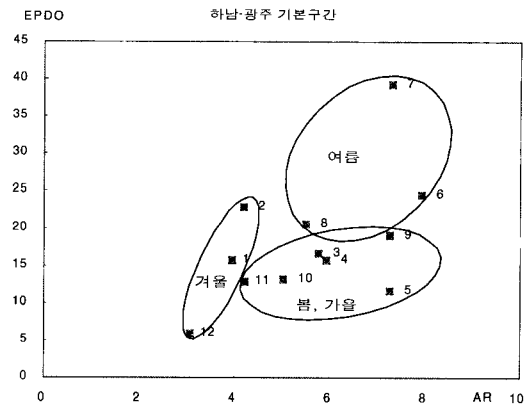
〈그림 1〉 자가조직지도(A구간)

	2		12	1
	4	11		
9		8		3
10		6		
7		5		

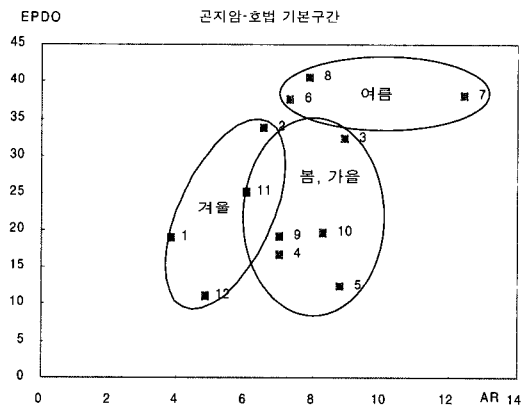
〈그림 2〉 자가조직지도(B구간)

2) 사고지표에 의한 분석

계절군집에 따른 사고유형의 유사성이 있다면, 군집별로 유사성의 속성을 검토할 필요가 있다. 이러한 측면에서 월별 사고율<sup>1)</sup>과 대물피해환산법<sup>2)</sup>을 계산하여 6년간 월별 평균사고율과 평균대물피해환산치를 두축으로 나타내면 〈그림 3, 4〉와 같이 봄·가을, 여름, 겨울이 유사한 사고군집을 형성함을 알 수 있고 이들 계절군집별 평균사고율과 평균대물피해환산치를 산출하여 〈표 2〉에 제시하였다. 계절군집별 사고특성을 살펴보면, 겨울군집의 경우 자료분포가 〈그림 3, 4〉와 같이 대물피해환산치 축으로 기울어 있으며, 〈표 2〉의 구간별 평균사고율은 각각 3.74, 5.05로 타 계절군집에 비해 낮으나, 평균대물피해환산치는 14.80, 21.29로 높게 나타난다. 봄·가을군집은 여름, 겨울군집 중간에 분포하고 평균사고율축으로 기울어있으며, 〈표 2〉의 평균사고율은 5.91, 7.67로 겨울군집에 비해



〈그림 3〉 AR과 EPDO 분포도(A구간)



〈그림 4〉 AR과 EPDO 분포도(B구간)

〈표 2〉계절별 사고지표 비교분석

사고지표 \ 계절 구분	A 구 간		B 구 간	
	평균 사고율	평균대물피해환산치	평균 사고율	평균대물피해환산치
겨울 (12,1,2월)	3.74	14.80	5.05	21.29
봄,가을 (3,4,5,9,10,11월)	5.91	14.80	7.67	20.88
여름 (6,7,8월)	6.91	28.06	9.20	38.77

1) 사고율은 일정구간의 사고의 발생빈도를 나타내 것으로 다음과 같이 산출된다.

$$AR = \frac{N_i \times 100}{V_i \times L}$$

여기서, AR : 100만대·km당 사고율,  $V_i$  : 월 평균 교통량(대/시), L : 분석대상구간 길이(km),  $N_i$  : 월별 사고건수

2) 대물피해환산법은 일정구간의 사고발생빈도에 사고의 치명도(Severity Factor)를 곱하여 사고율을 산정한 것으로 다음과 같이 산출된다.

$$EPDO = \frac{12 \left( \frac{\text{사망사고}}{\text{건수}} \right) + 3 \left( \frac{\text{부상사고}}{\text{건수}} \right) + \left( \frac{\text{대물사고}}{\text{건수}} \right)}{V_i \cdot L} \times 10^6$$

높고 여름에 비해 낮으며, 평균대물피해환산치는 14.80, 20.88로 계절군집 중 가장 낮게 나타나고 있다. 여름 군집의 경우, 자료의 분포가 사고율과 대물피해환산치측의 상부에 위치하고, 평균사고율이 6.91, 9.20으로 봄·가을, 겨울군집에 비해 높은 사고율을 보였으며, 평균대물피해환산치 역시 28.06, 38.77로 매우 높은 것으로 분석되었다.

지금까지 사고지표와 자가조직지도기법을 이용하여 고속도로사고의 계절성을 검토한 결과, 사고특성의 유사성에 따라 계절군집으로 구분될 수 있으며, 계절군집의 특성은 여름군집은 사고율이 높지만 사고의 치명도가 낮은 반면, 겨울군집은 사고율이 낮은 반면 사고의 치명도가 높은 것으로 분석되었다.

**2. 계절성 적정 그룹수 결정**

사고특성의 유사성에 의한 계절의 군집수와 항목을 결정하기 위해 다변량 분석기법인 군집분석(Cluster Analysis)을 적용하였으며, 이중 결합적 계층적(Agglomerative Hierarchical) 방법의 일종인 Ward 연결법(Ward's Method)을 사용하였다. 이 방법은 각 관측치를 하나의 군집으로 간주하여 자료의 유사성(유클리언 거리)이 큰 자료를 군집 내 편차가 최소가 되도록 차례로 결합하는 방법으로, 적절한 사고군집의 수와 항목을 결정하는데 유용한 분석기법이라 할 수 있다. Ward 연결법에 의한 군집분석을 수행한 결과는 <표 3>에 제시하였다. 적정 계절군집수를 결정하기 위해서 3 가지 통계량( $R^2$ , pseudo F, pseudo  $t^2$ )을 검토하였다. 첫째, 군집수 증가에 따른  $R^2$ 의

변화를 보는 방법으로  $R^{2(3)}$ 의 변화량이 급격히 증가하는 경우의 군집수를 최적으로 판단하며 <그림 5>에서 군집수가 3개 일 때  $R^2$ 가 급격히 증가하였다. 둘째, Pseudo  $F^{(4)}$ 는 국지적 극대점을 나타내는 군집수를 최적으로 결정하는 방법으로 <그림 6>에서 군집수가 3개일 때 국지적 극대점을 이루고 있다. 셋째, Pseudo  $t^{(5)}$ 가 국지적 극대점을 나타내거나 혹은 급격히 변화할 때의 군집수를 최적으로 판정하는 방법으로 <그림 7>에서 군집수가 7개일 때,  $t^2$ 가 국지적 극대점을, 군집수가 3개 일때  $t^2$ 가 급변하는 것으로 나타났다. 따라서 통계량을 종합적으로 분석할 때, 군집수를 3개로 구분하는 것이 적합한 것으로 나타났다. 또한 군집항목을 살펴보면, <표 3>과 같이 군집 1은 주로 겨울철의 월로 구성되며, 사상자수와 사고차량수가 적지만, 사망자수는 높은 것으로 나타났다. 군집 2는 주로 봄·가을의 월로 구성되어 있으며 군집 1과 3의 평균적인 값을 나타내었다. 군집 3은 여름철의 월로 구성되며, 타 군집에 비해 사망자 수는 낮게 나타난 반면, 사상자수(중상·경상자)와 사고차량수는 급격히 증가하고 있다.

<표 3> 계절군집의 군집수와 해당 항목의 대표값

지구명	군집수	군집 항목	대 표 값
A 구간	군집 1	12, 1, 2	$M_{A1}(1.05, 0.7, 2.4, 7.0)$
	군집 2	3, 4, 8, 10, 11	$M_{A2}(1.0, 1.4, 2.0, 11.0)$
	군집 3	5, 6, 7, 9	$M_{A3}(1.2, 2.5, 3.75, 15.5)$
B 구간	군집 1	12, 1, 3	$M_{B1}(1, 0.7, 1.0, 7.7)$
	군집 2	2, 4, 8, 9, 11	$M_{B2}(1, 2.4, 2.8, 10.4)$
	군집 3	5, 6, 7, 10	$M_{B3}(0.75, 2.5, 3.0, 14.0)$

주 : M(사망, 중상, 경상자수, 사고차량대수)

3)  $R^2$ 는 추정식이 자료를 어느 정도까지 설명하는 지를 나타내는 통계량으로 전체분산에 대한 설명 가능한 분산의 비로 나타난다.

$$R^2 = \frac{\sum (\text{군집평균} - \text{전체평균})^2}{\sum (\text{개체의 추정값} - \text{전체평균})^2} = \frac{\sum_{j=1}^k n_j (\bar{X}_j - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (X_{ij} - \bar{X})^2}$$

4) Pseudo F값은 군집간에 차이가 있다는 것을 검정하기 위해 군집간 분산이 군집내 분산보다 얼마나 큰가를 나타내는 통계량이다. 군집간의 차이를 분석하기 위해서는 군집내 분산과 군집간 분산을 자유도로 나눈 평균분산(mean square)을 구해야 하는데 이 값을 pseudo F라 한다.

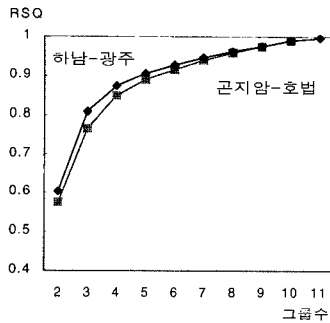
$$\text{pseudo F} = \frac{\text{군집간 평균분산}}{\text{군집내 평균분산}} = \frac{\sum_{j=1}^k n_j (\bar{X}_j - \bar{X})^2 / (k-1)}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (X_{ij} - \bar{X}_j)^2 / (N-k)}$$

$$\bar{X}_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} X_{ij} : j\text{번째 군집의 평균}, \quad \bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k X_{ij} : \text{전체 평균}$$

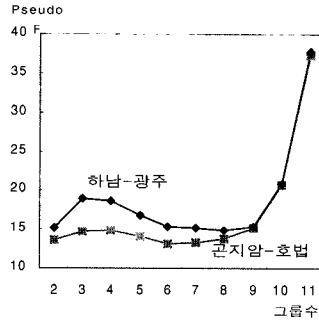
5) pseudo  $t^2$ 값은 2개의 군집을 묶을 때 2개 군집의 평균과 새로 생성된 군집의 평균의 차이를 나타내는 통계량으로 계층적 군집분석에서만 출력되며 p군집과 q군집이 결합될 때의 pseudo  $t^2$ 값은 다음과 같이 산정된다.

$$\text{pseudot}^2 = \frac{W_m - W_p - W_q}{(W_p + W_q) / (n_p + n_q - 2)}, \quad W_p = \sum_{i=1}^{n_p} (X_{ip} - \bar{X}_p)^2$$

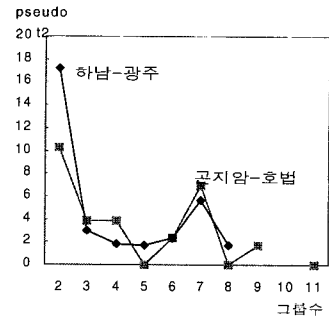
m : p군집과 q군집이 결합하여 생성된 군집



〈그림 5〉 R<sup>2</sup>통계치



〈그림 6〉 Pseudo F 통계치



〈그림 7〉 pseudo t<sup>2</sup> 통계치

### 3. 계절군집별 모형 개발

적정군집수는 3개로 겨울군집(군집1), 봄가을군집(군집2), 여름군집(군집3)으로 구분되고 있으나, 계절군집의 특성은 Bruce와 Karsten(1997), Alison과 Carolyn(1998)의 캐나다 사례연구와 반대의 결과를 나타내고 있다. 캐나다와 국내 계절성의 차이는 계절성 유발인자가 계절군집에 미치는 영향의 차이에 기인하는 것으로 사료되어, 국내 고속도로의 계절성에 영향을 미치는 사고인자의 요인분석을 수행하였다. 즉, 계절군집의 사고요인에 대한 영향을 파악하기 위해, 3개의 계절군집에 대해 구간별로 선형회귀모형식을 개발하였다. 계절성에 관한 사고인자는 〈표 1〉에 제시하였으며, 이는 식(1)과 같이 표현된다.

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_7, X_8) \quad (1)$$

여기서,

- Y : 대물피해환산치
- X<sub>1</sub> : 월평균일교통량(백대)
- X<sub>2</sub> : 강설량(mm)
- X<sub>3</sub> : 강설일수
- X<sub>4</sub> : 강우량(mm)
- X<sub>5</sub> : 강우량수
- X<sub>6</sub> : 안개일수
- X<sub>7</sub> : 결빙일수
- X<sub>8</sub> : 평균기온(℃)

회귀모형식의 분석결과는 〈표 4〉에 제시하였다. 그러나 본 모형은 사고 요인의 계절성 이외의 복합적인 사고요인을 간과하고 있어 모형의 설명력이 다소 떨어

어지는 한계점을 나타냈다. 이로 인해 모형의 상수 값이 크게 나타났으며, 결정계수(R<sup>2</sup>) 역시 0.29~0.74로 매우 낮게 나타났다.

### 4. 모형의 해석 및 정책적 시사점

계절군집별 계절성 유발인자가 사고의 치명도에 미치는 영향을 회귀모형식을 통해 추정하였다. 추정 결과 계절성과 교통량, 강우량(일수), 강설량(일수), 안개, 기온 등 계절성 유발인자들은 사고와 매우 밀접한 관계를 가지고 있었으나, 계절군집별로 특성이 매우 상이하게 나타났다. 먼저 교통량(X<sub>1</sub>)을 살펴보면, 겨울군집은 교통량이 낮을수록 사고의 치명도가 높게 나타났다. 이는 교통량이 적을수록 속도가 높아지므로 사고의 치명도가 높아지는 것을 의미한다. 그러나 여름군집의 경우 교통량이 높을수록 사고의 치명도가 높게 나타나는데, 이는 Vitaliano(1991)의 연구결과와 일치하는 것으로 교통량의 증가로 인한 전체사고수의 급격한 증가에 기인한다.

강설량(X<sub>2</sub>)과 강설일수(X<sub>3</sub>)를 살펴보면, 겨울철에 강설량과 강설일수가 많을수록 사고의 치명도가 높아지는데 이는 겨울철 교통량이 적어 평균통행속도가 높은 반면 잦은 결빙일수로 인해 노면의 마찰력이 크게 저하되기 때문으로 판단된다. 그러나 Alexander(1992), Lasse(1991)의 연구결과와는 반대로, 국내의 경우 높은 결빙일수 등의 계절적 요인과 함께 계절적 이외의 요인에 큰 영향을 받는 것으로 판단된다.

강우량(X<sub>4</sub>)과 강우일수(X<sub>5</sub>)를 살펴보면, 겨울에는 강우량과 강우일수가 높을수록 사고의 치명도가 높아지며, 이는 Alexander(1992), 심(1999)의 연구결과와 일치하지만 Loeb(1985)의 연구와는 상반

〈표 4〉 계절군집 및 구간별 모형 추정계수 및 통계량

구분	A 구간						B 구간					
	군 집 1		군 집 2		군 집 3		군 집 1		군 집 2		군 집 3	
계수	132 (1.08)	73.1 (0.9)	52.4 (1.1)	46.2 (0.9)	-61.2 (-0.95)	6.88 (0.163)	4.87 (2.27)	-32.6 (-1.09)	117 (3.58)	73.6 (1.80)	-152.5 (-1.92)	-143.3 (-1.97)
$X_1$	-0.15 (-1.52)	-0.14 (-1.9)	-0.1 (-1.65)	-0.14 (-2.21)	0.07 (1.2)	0.08 (1.37)	-0.11 (-1.20)	-0.11 (-1.69)	-0.14 (-3.03)	-0.11 (-2.02)	0.24 (2.49)	0.19 (1.68)
$X_2$	0.31 (2.04)	-	-	-	-	-	0.06 (1.52)	-	-	-	-	-
$X_3$	-	14.84 (2.63)	-	-8.7 (-1.9)	-	-	-	0.24 (0.51)	-	7.44 (2.01)	-	-
$X_4$	0.21 (0.98)	-	0.13 (2.52)	-	-1.0 (-1.34)	-	0.02 (0.93)	-	0.03 (0.99)	-	-0.07 (-1.59)	-
$X_5$	-	2.71 (1.0)	-	1.15 (0.86)	-	-0.24 (-0.65)	-	0.31 (1.44)	-	-0.77 (-0.67)	-	-0.32 (-0.24)
$X_6$	-	2.66 (0.56)	-	0.21 (0.4)	-	2.494 (2.03)	-	1.65 (1.53)	-	0.49 (0.62)	-	0.51 (0.65)
$X_7$	-	-1.46 (-0.86)	-	2.96 (1.69)	-	-	-	-0.57 (-1.1)	-	0.06 (0.8)	-	-
$X_8$	-2.93 (-1.03)	-3.43 (-1.42)	-2.19 (-1.90)	2.03 (1.1)	2.41 (1.54)	2.65 (1.94)	-0.18 (-0.92)	-1.04 (-1.32)	0.58 (0.61)	1.39 (1.53)	1.38 (0.94)	2.39 (1.7)
관측수	18	18	29	29	23	23	18	18	29	29	23	23
결정계수	0.58	0.65	0.46	0.35	0.32	0.38	0.74	0.44	0.34	0.31	0.29	0.36

주 : ( )는 t통계량

되는 것이다. Alexander(1992) 등은 이러한 원인은 교통량 감소, 시계 불안정, 잦은 결빙일수로 인한 노면 마찰력 저하에 의한 것으로 보고하고 있다. 그러나 여름은 강우량과 강우일수가 많을수록 사고의 치명도가 떨어지고 있으며 Loeb(1985)의 연구결과와 동일하다. 이러한 이유로 장마 등의 지속적인 사고요인에는 큰 영향을 받지 않는 것으로 보고되고 있다.

안개일수( $X_6$ )를 살펴보면 안개일수가 많을수록 사고의 치명도가 높아지며, 이는 시계의 불안정에 기인한다. 결빙일수( $X_7$ )와 기온( $X_8$ )을 살펴보면, 겨울군집의 경우 결빙일수가 많을수록 사고의 치명도가 낮은 것으로 나타났으며, 이는 결빙일이 증가할수록 운전자가 제동장치와 서행을 하는 등 결빙에 대한 안전운전을 준비하는 반면, 봄가을 군집의 경우, 일시적인 결빙은 사고의 치명도가 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 기온의 경우 겨울군집은 평균기온이 낮을수록 사고의 치명도가 높는데 이는 기온이 낮을수록 교통량 감소로 인한 속도증가와 잦은 노면결빙으로 인해 노면마찰력이 크게 저하하는데 기인한다. 반면, 여름의 경우 기온이 높을수록 사고율이 높아지는데

이는 Koshal(1976), Zlatoper(1991)의 연구결과와 동일하며, 교통량 증가로 인해 절대적인 사고의 수가 크게 증가하기 때문으로 보고되고 있다. 계절성 관련 사고요인분석결과 국내의 경우, 강설량과 강설일수, 강우량, 강우일수, 결빙일수의 영향이 국외 연구결과와 차이가 있었으며, 이로 인해 국외 또는 지역별로 계절성의 특성이 달라지는 것으로 판단된다.

본 연구 결과가 교통안전관리정책에 제시하는 시사점을 고찰하여 보자. 우리나라의 교통안전관리정책은 건교부가 5년마다 계획하는 교통안전관리기본계획을 바탕으로 매년 시행계획이 마련되고 있다. 고속도로의 경우, 한국도로공사가 건교부와 연계하여 고속도로안전관리대책을 수립하고 있으며 주요 내용은 사고다발지점 선정 후 운전자에게 도로의 위험을 주지도록 하고 해당 구간의 안전시설물을 확충해 나아가는 것으로 본 연구의 결과는 다음과 같은 시사점을 제공하고 있다.

첫째, 현행 안전관리 시행계획은 사고다발지점의 안전시설물확충에 1996년만도 671억원을 지원, 매년 투자를 늘려가고 있다. 그러나 사고의 계절성이



무시됨으로써 사고특성과 발생시기에 적합한 인적, 물적 자원 투입의 효율화를 달성하지 못하고 있는 것으로 판단된다. 또한 사고다발지점 선정문제는 안전분야의 지속적인 연구과제로 계절성에 따라 시간-공간적 사고특성변화와 전이를 고려하는 방안도 연구되어야 한다고 판단된다. (Marian etc, 1996; 1999)

둘째, 사고다발지점을 선정하여 운전자에게 주시시키는 것은 갑작스런 환경변화보다 위험에 노출된 정도가 크더라도 위험이 지속적이고 운전자가 정보를 알고 있을 때 사고율이 줄어든다는 불예측법칙(the law of the unpredictable)(Elvic, 1989)에 이론적 근거를 두고 있다. 따라서 사고다발지점을 선정하고 운전자에게 주시시키는 것은 매우 중요한 사안으로 판단된다. 그러나 현행 사고다발지점선정방식처럼 1년 이상 장기간의 시간을 고정한 후 공간적인 사고다발지점을 선정한다는 것은 사고의 계절성을 무시한 것으로, 운전자에게 완벽한 정보를 제공하는 것이 아니라고 할 수 있다. 따라서 사고의 복합적 요인중 사고의 계절성이 드러나는 구간에 대해서는 사고다발지점표시와 함께 주요 관련 인자를 표기함으로써 운전자에게 완벽한 안전정보를 제공하는 것이 바람직하다. 특히 장(1999)은 고속도로를 주행하는 운전자의 서비스수준을 통행시간과 운행비용절감 뿐만 아니라 교통류의 상충횟수를 줄임으로 사고에 관한 위험을 줄일 수 있는 안전도 역시 서비스수준의 개념으로 인식하고 있는데, 이러한 견지에서 살펴보면, 향후 고속도로교통관리체계(FTMS)에서 제공하는 통행속도, 노선 등의 정보 서비스보다 우선적으로 교통안전관련 정보를 제공하는 것이 바람직하다.

셋째, 장기간 안전관리계획을 수립하기 위해서는 사고의 기술 및 예측모형의 개발이 필수적인데, 고속도로 사고자료의 데이터베이스화로 자료를 지속적으로 축적한다면 이러한 계절성을 반영한 모형 개발이 가능하리라 판단된다.

## V. 결론 및 추후 연구방향

### 1. 결론

본 연구의 결과는 다음과 같이 정리할 수 있다.

첫째, 자가조직지도 분석결과, 국내 고속도로사고의 계절성이 존재하였다. 사고지표분석을 통해 6년

월평균 사고율과 월평균 대물피해환산치를 분석한 결과, 겨울군집은 사고율은 낮지만, 사고의 치명도가 높게 나온 반면, 여름군집은 사고율과 사고의 치명도가 비교적 높은 것으로 분석되었다.

둘째, 적정 계절군집의 수와 항목을 결정하기 위해 집합적 계층적 군집분석기법을 수행한 결과, 군집수가 3개로 구분되었으며, 겨울, 봄·가을, 여름으로 계절별로 분리되었다. 또한 해당군집의 대표값은 겨울군집이 사상자수와 사고차량수는 적은 반면, 사고의 치명도는 매우 높은 것으로 나타났다. 여름군집은 사상자수와 사고차량수는 많은 반면, 사고의 치명도는 다소 낮은 것으로 나타났으며 이는 캐나다의 연구사례에 반대되는 것으로 나타났다.

셋째, 계절군집별로 회귀모형식을 개발하여, 국내 계절군집별 사고의 특성을 검토하였다. 분석결과 계절성 유발인자와 계절군집의 사고와 매우 밀접한 관계를 가지고 있었으며 강설량과 강설일수, 강우량, 강설량, 결빙일수의 영향의 차이에 따라 국외 또는 지역별로 계절성의 특성이 다소 달라지는 것으로 분석되었다. 넷째, 이러한 연구결과는 사고다발지점선정기법, 사고예측 및 기술 모형 개발, 안전재원의 배분 등 향후 사고안전관리계획을 합리화하는 기초자료로 활용되리라 판단된다.

### 2. 연구의 한계점 및 추후 연구방향

교통사고는 운전자, 차량, 도로 및 기타환경 등 복합적인 요인에 의해 발생하는 것으로 이를 포괄하여 사고의 계절성을 검증하고 요인을 분석하는 것은 자료수집, 분석기법 측면에서 매우 어려운 것이 사실이다. 특히 분석초기 계절요인 이외의 사고요인이 적은 대상지를 선정(Screening)하여 통계적으로 유의한 사고자료수를 충분히 확보하기 어려운 점으로 인하여, 사고군집별 회귀모형식의 통계적 유의성이 다소 떨어지는 연구의 한계점이 발생하였다. 그럼에도 불구하고 본 연구에서 군집분석, 계절군집별 사고요인분석을 수행한 결과, 계절성 및 계절인자와 사고의 관계를 나타내는 통계치들이 고속도로 교통사고의 계절성을 나타내는 개연성 높은 결과를 제시하고 있다. 또한 사고의 계절성유무를 자가조직지도를 통해 시각적으로 검증하고, 이들의 속성을 사고지표(사고율, 대물피해환산치)로 분석하였는데, 이때 대물피해환산치

를 국내 실증적인 연구를 통해 산출된 사고유형별 가중치로 적용해볼 수 있다. 이러한 접근법은 본 연구의 논지와는 다소 차이가 있고, 결과에 대한 영향도 미비한 것으로 판단되어 분석에서 배제되었으나, 향후 제고해 볼만한 접근방법으로 사료된다.

향후 연구과제로 계절성의 영향을 사고안전관리정책에 반영하기 위하여, 국내 전구간에 대해 계절성을 검증하여 계절성이 극명히 나타나는 도로를 선별하여 사고모형 추정 또는 사고다발지점분석과 안전제원 배분과정에 이러한 영향을 반영하여야한다. 이를 위해 지속적이고 폭넓은 사고자료 수집과 분석방법을 개발하고 이에 따라 합리적인 안전대책을 수립, 시행하며 모니터링하는 종합적이고, 체계적인 교통안전관리체계를 정립하는 연구가 필요하다.

## 참고문헌

1. 도철웅(1996), 교통공학원론(하), 청문각.
2. 장명순외 2인(1999), "고속도로 사고모형의 개발과 적용", 제36회 학술발표회 논문집, 대한교통학회.
3. 이기영외 2인(1999), "치명적 트럭사고의 요인분석", 안전연구논집 제18권, 도로교통안전관리공단.
4. 임평남외 3인(1995), "사망사고에서의 도로환경 요인분석에 관한 연구", 도로교통안전관리공단.
5. 오철외 2인(1999), "고속도로 시설물 구간의 교통혼잡도와 사고율의 관계 분석, 대한교통학회지, 제17권 제2호, 대한교통학회.
6. 홍중선외 2인(1999), "교통사고에 대한 인지도 분석", 대한교통학회지, 제17권 제1호, 대한교통학회.
7. 심관보외 1인(1999), "강우량과 포장상태에 따른 습윤노면사고율 비교분석", 교통안전연구논집 제18권, 도로교통안전관리공단.
8. 건설교통부(1999,2000), 교통안전기본계획.
9. 경찰청(1999), 도로교통안전백서.
10. 한국도로공사, 고속도로 교통량조사통계연보, 90년~97년.
11. 한국도로공사, 고속도로교통사고통계,90년~97년.
12. 기상청, 기상월보, 90년~97년.
13. Bruce Brown, etc(1997), "Seasonal Variation in Frequencies and Rates of highway Accidents as Function of Severity", TRR1581.
14. Alison Smiley, etc(1998), "Seasonal Variation in age-related collision risk of Ontario driver", TRR1635, pp.58~62.
15. Peter D. Loeb, etc(1994), "Cause and Deterrents of Transportation Accidents", Quorum book.
16. Lasse Fridstrøm(1991), "An aggregate accident model based on pooled, regional time series data", Accident Analysis and Prevention Vol23, No5, pp.363~378.
17. Marian Traz etc(1999), "Comparison of results of methods of the identification of high risk road section", ISTTT.
18. Veli Himanen, Peter Nijkamp(1998), "Neural Networks in Transportation Application", Ashgate.
19. Teuvo Kohonen(1995), "Self-Organizing Maps", Springer.
20. Johnson R.A and Wichern D.W(1992) "Applied Multi-variate Statistical Analysis", Prentice-Hall, New Jersey, pp.578~581.
21. Mathworks Inc.(1996), MATLAB-Neural Network toolbox User Guide Ver5.

✉ 주 작 성 자 : 이용택

✉ 논문투고일 : 2000. 3. 14

논문심사일 : 2000. 5. 15 (1차)

2000. 7. 10 (2차)

2000. 7. 31 (3차)

심사완료일 : 2000. 7. 31