

건물에 대해서 내진성능을 진단하고 필요하다면 보강하여야 한다. 모든 건물에 대해 진단을 실시하기에는 현실적으로 무리가 있기 때문에 우선 중요도가 높은 용도의 건물부터 실시해야 한다. 중요도가 높은 건물로는 지진피해시 피해복구 대책반의 사령탑이 될 주요행정관서, 대피소 역할을 할 학교건물 그리고 의료기관, 방송통신시설, 발전시설, 가스관련시설, 문화재 등이 있다.

우선 이러한 건물에 대한 내진성능 진단기법 및 평가기법을 만들고 우리나라 실정에 맞는 내진 보수·보강공법을 정립하는 것이 시급하다고 본다. 이를 위해서는 정부주도하에 지진방재 대책기구를 구성하여 지진발생시에 총체적인 대책을 만들고 국민들을 안전하게 대피할 수 있도록 유도하여야 한다.

이와 관련하여 향후 다음과 같은 사항들에 대해서 검토, 연구해야 한다고 생각한다.

- (1) 현행 국내 내진설계기준이 우리실정에 맞는 지 재검토
- (2) 지진피해 건물 또는 무피해 기존건물에 대한 내진성능 진단기법 및 판정기법의 제정
- (3) 내진 보수·보강공법에 대한 이론적·실험적 연구의 활성화
- (4) 신뢰성 이론에 근거한 지진피해 예측기법에 관한 통계적 연구
- (5) 건물 용도에 따른 내진성능 진단 우선순위 부여 등 ☞

#### 참고문헌

1. 한국건설기술연구원, "지진피해를 받는 구조물의 보수·보강 공법," 1994.
2. 한국건설기술연구원, "내진설계기준 연구(Ⅰ)," 1996. 9.
3. ATC-14, "Evaluating the Seismic Resistance of Existing Buildings," 1987.
4. 小倉弘一郎, "既存RC建物の耐震補強と診断," 技術書院, 1988.
5. 日本コンクリート工學協會, "既存鐵筋コンクリート構造物の耐震補強ハンドブック," 技報堂, 1984.

## 차종별 교통사고 예측 모형 개발

변상철(도로연구실 연구원)

### 1. 머리말

우리 나라의 교통사고 발생 건수는 1995년 약 24만 8천 건으로 1980년에 비해 약 2배로 증가하였으며, 교통사고 사망자 수는 2배, 부상자 수는 3배로 증가하였다. 이것은 1980년대 들어 급격히 증가하기 시작한 교통수요에 부응한 각종 교통안전 대책이 부진했기 때문이다. 특히, 자동차화 시대에 걸맞는 교통질서나 문화가 아직 정착되지 않았으며, 사고 예방에 필요한 안전시설의 공급도 크게 부족한 실정이다.

따라서, 교통사고의 심각성에 대한 재인식과 아울러 현재의 교통정책에 대한 평가 및 예측으로 교통사고 감소 정책의 방향을 제시해야 한다. 이를 위해서는 무엇보다 교통사고를 예측, 판단하고 감소 방향을 모색하여 지속적인 교통사고 정책을 시행하기 위한 교통사고 예측 모형의 개발이 필수적이다.

본고는 교통류의 기본식을 바탕으로 차종별 교통사고 예측 모형을 정립하는 데 중점을 두고 있다. 이 예측 모형은 교통사고의 예측과 아울러 교통안전 정책을 수립할 때 중요한 판단 자료를 구하는 데 이용할 수 있다.

## 2. 교통사고 예측 모형 검토

### 2.1 국외 관련 이론의 검토

교통사고 예측 모형으로 가장 널리 알려진 모형은 영국의 Smeed 모형<sup>(6)</sup>으로, 유럽 20개국 38년간의 교통사고 자료를 이용해 개발한 일종의 곱함수(Multiplicative Function) 모형이다. 그는 차량 한 대당 사망자 수(D/V)를 종속 변수로 하고 일 인당 차량 대수(V/P)를 독립 변수로 설정하여 다음과 같은 식을 개발하였다.

$$D/V = 0.0003(V/P)^{-2.3}$$

여기서, D는 연간 사망자 수(인)이고, V는 차량 대수(대)이며, P는 인구 수(인)를 나타낸다. 이 식은 차량 한 대당 교통사고가 차량 보유 수준(일 인당 차량 보유대수)이 높아짐에 따라 감소하는 특성을 지니고 있다.

Trinca<sup>(7)</sup>는 교통사고의 지역별 다양성을 설명할 모형으로 다음 식을 제안하였다.

$$P = T \times M$$

여기서, P는 개인의 사망 위험성(사망자 수/인), T는 차량 한 대당 사망사고의 위험성(사망자 수/대) 그리고 M은 차량 보유수준(차량 보유대수/인)을 나타낸다. Trinca는 P와 T가 차량 보유수준(M)과 밀접한 관계가 있다는 것을 지적하였다.

Koornstra<sup>(8)</sup>는 총 사망자 수(F)를 평가하기 위해 운행거리(D)와 운행거리에 따른 사망자 수(R=F/D)를 이용하여 다음 식을 개발하였다.

$$F = D \times R$$

Navin<sup>(9)</sup>은 교통사고와 차량 보유수준 간에 밀접한 관계가 있다는 기존 이론을 바탕으로, T와 M의 관계를 다음과 같이 지수함수로 표현하였다.

$$T = T_1 \cdot \text{EXP}(-M/M_0)$$

이 모형에서 T<sub>1</sub>는 자동차가 도입된 시기의 사망률(이론적 수치)을 나타내며, M<sub>0</sub>는 최대의 교통사고율(P<sub>max</sub>)에 대한 M값(차량 보유수준)을 나타낸다.

### 2.2 국내 관련 이론의 검토

교통사고를 예측하는 국내 모형에는 임현연과 이일병이 개발한 모형<sup>(1)</sup>을 들 수 있다. 그들은 1962년~1989년의 자료를 근거로 다음과 같은 일종의 곱함수 형태의 모형을 개발하였다.

$$D = 17.415V^{0.438}$$

그들은 교통사고의 추이를 장기 추이('76~'89)와 단기 추이('82~'89)로 구분하여, 차량 대수(V)를 독립 변수로 사용하여 교통사고 예측 모형을 개발하였다.

또한, 그들은 부산시의 교통사고 예측 모형<sup>(2)</sup>으로 전술한 모형 외에 시계열 ARIMA 모형과 Logistic 모형을 적용한 결과, Logistic 모형이 부산시의 교통사고 예측에 가장 적합한 것으로 기술하고 있다.

구체적인 모형식은 다음과 같다.

$$A = \frac{32922}{1 + \text{EXP}(1.46 - 0.16t)}$$

$$D = \frac{432}{1 + \text{EXP}(1.22 - 0.21t)}$$

$$I = \frac{37386}{1 + \text{EXP}(3.63 - 0.16t)}$$

여기서, A는 교통사고 발생 건수, D는 사망자 수, I는 부상자 수, t는 예측 목표 연도에서 기준 연도를 뺀 값(t=1, 2, 3, ..., n)을 나타내고 있다.

표 1. 한국의 교통사고 예측 모형

분 류	장기('76~'89)	단기('82~'89)
사고 건수	8.209(V) <sup>0.7</sup> R <sup>2</sup> =0.9837	19.55(V) <sup>0.64</sup> R <sup>2</sup> =0.9865
사망자 수	17.415(V) <sup>0.438</sup> R <sup>2</sup> =0.9716	3933.71+0.003199(V) R <sup>2</sup> =0.861
부상자 수	18.925(V) <sup>0.69</sup> R <sup>2</sup> =0.9878	72886+0.09765(V) R <sup>2</sup> =0.9848

이 모형식은 부산시의 교통 여건의 변화 추이가 장래에도 계속된다는 전제에서 성립된다. 이들 모형식은 차량 대수 및 시간이 증가함에 따라 교통사고가 많아지는 특성을 지니고 있다.

박병호는 차량 보유수준(M)과 개인의 사고 위험성(P) 간의 두 가지 유형의 모형, 즉 M값이 증가함에 따른 P값의 Inverted-U(중 모양) 곡선과 P값의 증가(혹은 감소) 곡선을 검증하였다<sup>(3)</sup>. 그 결과 중 모양의 곡선에서는 Navin이 제시한 지수함수식이, 그리고 증가(혹은 감소) 곡선에서는 멱함수식이 통계적 유의성과 민감도 분석에서 가장 적합한 것으로 결론짓고 있다.

그러나 이 논문에서도 두 모형 중 어떤 모형이 우리나라 교통사고에 더 적합한지 언급하지 않았으며, “교통사고의 수준은 해당 지역의 차량 보유 수준과 그 지역에서 수행하는 교통안전 정책의 결과”라고 기술하고 있다.

### 3. 교통사고 예측 모형의 개발 및 적용

#### 3.1 교통사고 예측 모형의 분석

교통사고 예측 모형의 형태는 지역 특성에 따라 다양할 뿐 아니라, 설명변수도 경제, 사회, 문화, 제도 및 기술적 요인 등 다양하다. 교통사고를 설명할 다양한 변수들과 함수식들을 기준으로 교통사고 모형을 일반화하면 다음과 같다.

$$D = f(X_i; t), i = 1, 2, 3, \dots, n$$

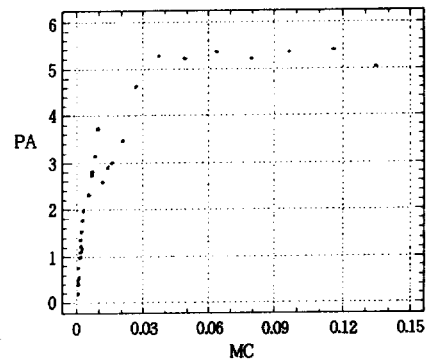
여기서,  $X_i$ 는 독립 변수들이며,  $t$ 는 시간을 나타내는 변수이다.

이러한 예측 모형의 정립을 위해서 본고에서는 P, T, M간의 관계를 이용하였다. 앞에서 설명한 바와 같이 Trinca의 P, T, M 관계에서 P와 T는 차량 보유수준과 밀접한 관계가 있음을 지적하였고, 김홍상의 경우 교통사고 모형에는 자동차 보유수준의 설명력이 매우 높다는 것이다.<sup>(4)</sup>

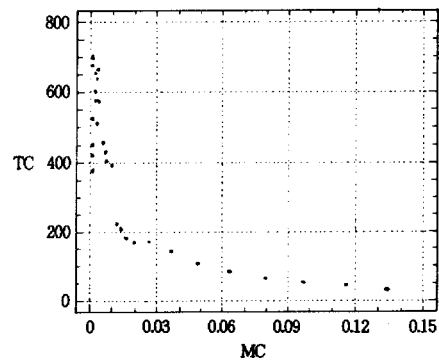
그는 가급적 많은 국가들을 모델에 포함시키기 위해 인구수, 자동차 보유대수, 도로연장, 도로 교통 부분의 예산액으로 독립변수의 수를 감소시

켜 43개국을 포함시켰다. 그 결과 자동차 보유대수 하나만으로 교통사고 사망자수의 95%를 설명할 수 있음을 발견하였으며, 그 외의 변수는 결정계수를 1% 이상 올리는 데 기여하지 못함을 밝혀 냈다. 즉, 교통사고의 설명변수에는 차량 보유수준이 가장 중요하다는 것이다.

이상에서 교통사고 예측 모형으로 Trinca의 PTM공식을 이용하고, 설명변수로 P, T와 밀접한 관계에 있는 차량 보유수준(M)을 이용하였다. 그리고, T는 차종별 천 대당 차종별 사고건수(TV)와 차종별 천 대당 차종별 사고건수를 모두 합친 총 사고건수(TA)로 구분하여 통계분



(a) P와 M의 관계

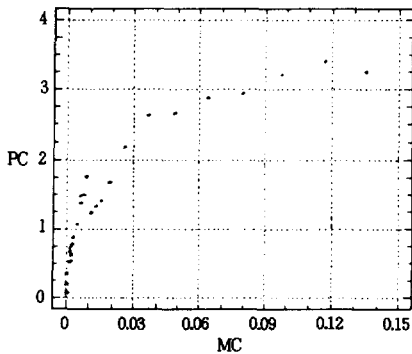


(b) T와 M의 관계

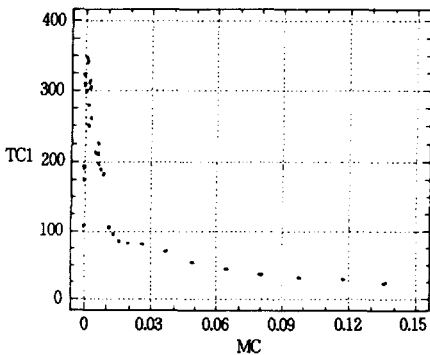
그림1. PTM 관계(차종별 차량 대수당 총 사고 건수)

석을 실시하였다. 1961~1995(35개년) 자료<sup>(5)</sup>를 이용하여 P, T, M 간의 관계를 도식화하면, 다음 그림1과 그림2와 같다.(승용차만 표시) 여기서, PA는 천 인당 총 사고건수, TC는 승용천대당 총 사고건수, MC는 일 인당 승용차량 대수, PC는 천 인당 승용사고 건수, TC1는 승용천대당 승용사고 건수를 나타내고 있다.

P, T, M간의 관계를 그림에서 보면, MC가 증가함에 따라 PA와 PC는 증가하는 경향을 보이고 있으며, TC와 TC1의 경우 감소하는 경향을 보이고 있다.



(a) P와 M의 관계



(b) T와 M의 관계

그림2. PTM 관계(차종별 차량 대수당 차종별 사고 건수)

### 3.2. 예측 모형의 통계처리 및 분석

통계분석은 1961~1995(35개년) 자료를 이용하여 단순 회귀 분석을 실시하였다. 회귀식은 교통사고의 산포도를 그린 결과(그림1, 그림2) 지수함수식, 역함수식, 멱함수식이 적합하다고 판단되었으며, 통계분석 결과 통계적 유의수준이 가장 높은 함수식을 이용하였다. 또한 차종은 승용, 승합 및 화물로 구분하고, 그밖에 이륜차를 포함한 특수 차종은 제외하였다.

회귀분석의 유의성 검정은 유의수준 5%에 대해 t-검정 및 F-검정을 실시하였다. 따라서 t-검정의 경우, 자유도  $\infty$ ,  $\alpha=5\%$ 의 t 임계값 1.645, F-검정의 경우,  $\nu_1=1$ ,  $\nu_2=33$ ,  $\alpha=5\%$ 의 F 임계값 4.17에서 귀무가설을 기각할 것인가를 결정하였다. 이상의 통계처리에 STATGRAP-HICS version 4.0을 이용하였다.

지수함수, 멱함수, 역함수의 3가지 함수식을 적용하여 T와 M간의 회귀 분석을 실시한 결과 역함수 모형의 통계적 유의성이 가장 높았으며, 본고에서는 역함수 모형의 통계 처리 결과만 요약하였다.(표2, 표3) 모형식에서 상수값은 회귀

표2. 차종별 1,000대당 총 사고건수

구분 차종	TA	t-검정		R <sup>2</sup>	F
		a	b		
승용	$1/(1.4600^{-3}+0.17672MC)$	11.93	58.14	99.03	3308.10
승합	$1/(4.7047^{-4}+0.14931MB)$	10.74	17.94	90.70	321.72
화물	$1/(1.5493^{-3}+0.14122MT)$	11.72	15.47	87.88	239.20

표3. 차종별 1,000대당 차종별 사고건수

구분 차종	TA	t-검정		R <sup>2</sup>	F
		a	b		
승용	$1/(3.9128^{-3}+0.27814MC)$	11.85	33.93	97.21	1151.88
승합	$1/(1.5584^{-3}+1.11531MB)$	4.01	15.08	87.33	227.55
화물	$1/(4.2658^{-3}+0.61076MT)$	9.62	19.93	92.33	397.21

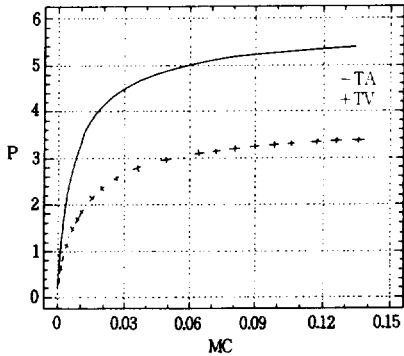
TA : 차종별 1,000대당 총 사고건수

TV : 차종별 1,000대당 차종별 사고건수

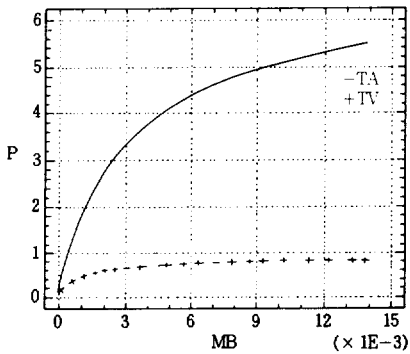
MC : 일 인당 승용차량 대수, MB : 일 인당 승합차량 대수

MT : 일 인당 화물 차량 대수

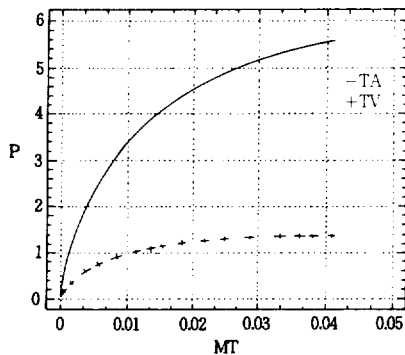
계수값이며,  $t$ 는 계수값(a와 b)에 대한  $t$  검정 값,  $R^2$ 와  $F$ 값은 각각 통계적 유의성을 나타내고 있다.



(a) 승용



(b) 승합



(c) 화물

그림3. P와 M의 관계

전체적으로 볼 때,  $R^2$ 값은 대부분이 87% 이상의 높은 값을 나타내고 있어 통계적 신뢰성이 높은 것으로 판단되며,  $t$ -검정 및  $F$ 검정값 또한  $\alpha = 5\%$ 에서의 임계값 1.645, 4.17보다 큰 값을 나타내고 있어 통계적 유의성이 있는 것으로 판단하였다.

그리고, 그림3은 표2와 표3에서 도출된 TA와 TV값을 이용하여 P와 M과의 관계를 차종별로 도식화한 것이다.

여기서, P값은 Trinca의 P, T, M 관계를 이용하여 TA와 TV값에 M을 곱하여 P와 M과의 식을 도출하였다.

이 모형식의 결과로 볼 때, 차종별 차량 보유 수준(M)의 증가에 따라 천 인당 총 사고 건수(PA) 및 차종별 사고 건수(PC, PB, PT)는 일정 시기가 지나면, 증가율이 감소하여 (0)에 수렴하고 있음을 보여주고 있다.

실제로 1961년부터 1989년까지 PA의 경우, 0.218과 5.273을 나타내어 연 평균 약 15%의 증가율을 보여왔으나, 1990년부터 1995년까지는 5.232와 5.009를 나타내어 연 평균 약 -4%의 증가율을 나타내고 있다. 여기서, -4%의 수치는 과거 6년간의 수치가 증감률이 적고, 증가와 감소를 반복하고 있어 지속적인 감소 추세로 보기 어렵다. 따라서, 차종별 차량 보유수준이 계속 증가하고 있는 현 추세로 볼 때, 우리나라 P의 증가율은 지속적으로 감소하여 (0)에 수렴할 것으로 전망된다. 물론 캐나다, 영국, 미국 등 선진국의 현황 및 예측 모형의 결과, 일정 시점에서 감소하는 추세를 보이고 있다<sup>4)</sup>. 그러나 우리나라는 교통 여건의 변화 추세와 교통사고 감소 정책이 단기간 동안에 변화 없이 기존 상황을 유지할 것으로 본다면, P값의 증가율이 감소보다는 일정 수치를 유지하며 (0)에 수렴할 것으로 전망된다.

이렇게 P값의 증가율이 감소하게 된 원인은 교통사고에 따른 인적, 물적인 피해의 심각성을

1990년도 이후부터 크게 인식하고, 교통안전시설의 설치와 1992년부터 범국민적으로 실시된 “교통사고 줄이기 운동”을 벌이는 등 여러 가지 정책 변수에서 찾을 수 있다. 이것은 1990년대에 실시되고 있는 교통정책이 P값 증가율의 감소에 중요한 역할을 하고 있음을 잘 보여주고 있다.

#### 4. 결론 및 제언

본고에서는 국내의 관련 이론의 분석을 통해 차종별 교통사고 예측 모형을 정립하고, 통계적 분석기법을 활용하여 예측 모형을 개발하는 데 중점을 두고 있다. 여기서, 기존 국내의 이론을 종합 분석한 결과, 차종별 교통사고 특성을 설명하는 모형의 형태로 역함수의 형태가 통계분석에서 가장 적합한 것으로 나타났다. 그리고, P값의 증가율이 M값의 증가에 따라 (0)에 수렴하고 있다.

이 모형을 이용하여, 2000년도와 2010년도의 천 인당 총 사고건수를 예측하여 보면, 각각 5.468과 5.625로 1995년도에 비해 약 9%와 12% 증가한 값이다. 물론 이 수치를 연 평균 증가율로 계산하여 보면 낮은 수치이다. 그러나 여기서 주목해야 할 것은 차량 보유수준의 증가에 따라 계속하여 천 인당 교통사고 발생건수가 증가하고 있다는 것이다. 그리고 P값의 증가율은 일정 시점에서 자연적으로 감소하는 것이 아니라 지속적인 교통사고 감소 정책을 통해서 감소하게 된다는 것이며, 이러한 정책의 뒷받침이 없다면, P값의 증가율은 언제든지 다시 증가할 수 있다는 것이다.

이제는 차량 보유수준에 따른 P값의 증가율을 (+)에서 (-)로 전환하기 위한 정책을 시행할 시점이라고 판단된다. 이를 위해서는 지금까지 벌여 왔던 교통 안전 시설 확충과 교통사고 줄이기 운동 등 교통사고를 줄이기 위한 정책을 지속적으로 펼쳐 나가고, 차량 수요의 감소정책, 노약자 및 어린이의 교통안전 정책, 차량 위주의

교통정책에서 보행자 위주의 교통정책으로 전환 등 보다 적극적인 교통 안전 정책을 추가로 실시하여야 한다. 이러한 정책적 배려가 이루어진다면 P값의 증가율은 (+)에서 (-)로 전환될 것이다.

이상과 같이 본고에서 제시된 차종별 교통사고 모형과 그 결과는 교통안전 정책을 수립하는 근거로 활용할 수 있다. 그러나 본고에서 제시된 모형은 지역 및 내용적인 관점에서 볼 때 거시적 모형으로 지역적 특성이나 정책변수의 고려가 이루어지지 못하였다. 이러한 사고 모형 자체가 갖는 한계성을 극복하기 위해서는 사고 모형에 정책 변수를 포함시키는 노력과 아울러 세분화된 설명 변수들과 종속 변수들을 이용한 모형의 개발도 매우 중요하다. ☞

#### 참고문헌

1. 임현연·이일병, “한국의 교통사고 예측 모형 개발에 관한 연구”, 대한교통학회지 제8권 1호, 1990. p.76.
2. 임현연·이일병, “부산시 교통사고 예측 모형 개발에 관한 연구”, 대한교통학회지 제10권 3호, 1992.
3. 박병호, “충청권의 교통사고 예측 모형 개발에 관한 연구”, 대한교통학회지 제13권 1호, 1995. p.81.
4. 김홍상, 교통사고의 기술방법에 관한 연구, 서독 칼스루에 공과대학 박사 학위 논문, 1987.
5. 도로교통안전협회, 교통사고통계분석, 1992, 1993, 1996.
6. Smeed, R.J., “Some Statistical Aspects of Road Safety Research”, Journal of Royal Statistical Society, A ( I ). 1994. pp.296~300.
7. Trinca, G.W. and Johnston, I.R., “Reducing Traffic Injury-A Global Challenge”, An International Traffic Safety Project of the Royal Australasian College of Surgeon, 1989.
8. Koornstra, Matthijs, “The Evolution of Mobility and Road Safety”, The 6th World Conference on Transport Research, Lyon, France, July 1992.
9. Navin, F., Bergan, A. and Qi, J., “A Fundamental Relationship for Roadway Safety : A Model for Global Comparisons”, TRB, 73rd Annual Meeting, 1994. p.224.