

□ 論 文 □

## 鐵道건널목의 事故豫測模型 開發에 關한 研究

Developing An Accident Prediction Model  
for Railroad-Highway Grade Crossings

姜 承 圭

(啓明大學校 都市工學科 助教授)

### 目 次

- |                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| I. 序論                | 3.2 資料管理 Software    |
| II. 文獻調査             | IV. 資料分析 및 事故豫測 確率模型 |
| 2.1 國內 鐵道건널목 現況      | 4.1 資料分析             |
| 2.2 外國의 關聯研究         | 4.2 事故豫測 確率模型        |
| III. 鐵道건널목 資料蒐集 및 管理 | V. 結論                |
| 3.1 資料蒐集範圍 및 方法      | 參考文獻                 |

### ABSTRACT

This paper discusses some of the results of investigation of railroad-highway grade crossing accidents and accident-related inventory information that was collected from the Pusan District Office of the Korean National Railroads. Established statistical techniques were applied to tabulate data to obtain an accident prediction equation that estimates the expected probability of accidents at each crossing under various grade crossing situations.

It was found that the most significant factor that influences the railroad crossing accidents was flagger. The other factors were train and traffic volumes, number of tracks, crossing angle, maximum timetable train speed, algebraic grade difference, and lighting facility. No significant effect was identified with railroad crossing gates. The results of the analysis and the uses of the prediction equation for the development of warrants for safety improvements are also discussed.

## I. 序論

지난 10년간 전국의 모든 도로에서 연평균 20% 이상의 차량증가율로 말미암아 심각한 교통체증을 겪고 있고 증가된 차량과 증편된 열차가 철도건널목에서 상충회도 찾아졌다. 철도건널목은 立體化등으로 점차 줄어들고 있으나, 많은 철도건널목이 평면에서 교차하고 있어 철도건널목의 安全對策이 시급한 실정이다. 앞으로도 계속 증가추세인 차량과 열차가 건널목에서 상충으로 인한 사고는 다른 교통사고와는 달리 致死率이 매우 높고 대형사고일 경우가 많으므로 각별히 관리되어야 한다.

철도청의 『보선관계규정집』의 건널목설치 및 설비기준규정에 의하면 교통관제시설과 안내원의 유무에 따라 1종부터 3종까지 분류하여 관리·운영되고 있다. 1종 건널목은 차단기, 경보기 및 건널목 교통 안전표지를 설치하고 차단기를 주·야간 계속작동 시키거나 또는 건널목 안내원이 근무하는 건널목이고, 2종 건널목은 경보기와 건널목 교통안전 표지판을 設置하는 건널목이며, 3종 건널목은 건널목 교통안전표지만 設置하는 건널목을 말한다.

매년 증가하는 철도건널목사고는 차량이 건널목에서 일단정지의 無視가 가장 큰 원인으로 지적될 수 있는데, 이는 주로 차단기와 안내원이 없는 건널목에서 주로 발생하였다. 또한, 視距가 불량하여 차량운전자가 열차를 확인할 수 없는 경우, 부적절하고 수동적(passive)일 뿐만 아니라 노후한 교통관제시설, 차량운전자의 교통표지판에 대한 인식부족과 표지판의 시인성 불량, 부적절한 도로의 기하구조등도 건널목사고의 원인으로 지적할 수 있다.

철도건널목에서의 예상되는 사고에 대한 가장 確實한 안전대책은 立體交叉로 轉換하는 것이나, 많은 건널목을 단기간에 입체교차로 轉換하기에

는 財源調達등 기타 여건이 불충분하고 경제성이 없기 때문에, 기존건널목의 구조개선사업에 더 많은 연구와 투자가 이루어져야 한다. 건널목의 구조개선은 교차도로의 기하구조 개선, 시거의 확보, 능동적인(active) 교통통제기법으로의 전환이 필요하나, 건널목 구조개선사업의 우선순위는 단순한 경험적 판단이 아니라 공학적인 검증에 의한 예상되는 사고율과 이를 통계적으로 數値化한 위험도계수의 순에 의해서 선정되어야 한다.

본 연구의 내용은 효율적인 철도건널목 관리와 構造改善을 위하여 퍼스날컴퓨터를 이용하여 모든 건널목의 효율적인 관리방법을 제안하고, 통계학적인 방법으로 각 건널목의 예상되는 사고확률을 계산한 다음, 사고확률이 높은 건널목부터 입체교차등과 같은 구조개선이나, 차단기등 교통통제설비를 設置하는등 種別變更이 필요한 건널목을 選定할 수 있는 방법을 提案한다.

## II. 文獻調査

### 2.1 國內 철도건널목 現況

1994년말 현재 우리 나라의 철도건널목은 1,953개소로서 해마다 철도건널목수가 지속적으로 감소하였는데, 이는 철도건널목의 사고의 深刻性과 건널목에서의 遲滯로 인한 損失을 고려하여 지속적인 입체교차시설의 擴充이 계속되었기 때문이다. 하지만 폭증하는 도로교통량과 철도교통량으로 인하여 철도건널목의 구조개선에도 불구하고 1994년에는 철도건널목사고가 310건, 사망자수가 94명으로서 <표 1>에 제시된 것과 같이 1989년부터 1993년까지 5년간 평균 140건에서 사고건수는 3.0배, 사망자수는 1.5배, 부상자수는 1.8배로 1994년에 갑자기 증가하였다.

<표 1> 년도별 ('89~'91) 철도건널목 사고건수와 사상자수 추이

	'89	'90	'91	'92	'93	'94
사고수 (건)	116	113	90	98	105	310
사망자수(명)	62	66	63	62	55	94
부상자수(명)	110	187	138	132	132	250

철도건널목사고가 현재도 증가추세에 있고 사고의 주원인이 운전자의 일단정지무시에 있는데, 2종과 3종건널목 경보장치의 작동을 위한 制御距離는 선로특성에 따라 차이는 있으나 보통 700~1000m로 되어 있으며 열차속도에 관계없이 경보시분(경보개시후 열차가 건널목에 도달하는 시간)이 최소 20초에서 최대 60초로 되어있어 저속열차 접근시 운전자가 지루함과 동시에 무단횡단을 유발하고 있다. 또한, 차량운전자가 철도건널목의 先行警告標識에 대한 인식부족과 표지판의 是認性 부족도 건널목사고의 원인이 되고 있다. 특히, 도시내에 위치한 건널목의 경우에 선행 경고표지가 設置되어 있더라도 주변의 건물과 건물에 부착된 간판등으로 표지판을 시인하기 어려울 뿐만 아니라, 設置되어 있더라도 유지관리가 제대로 되지 않아서 차량운전자가 전방에 위치한 건널목의 존재를 시인하기 어려운 실정이다.

부적절한 교차도로의 기하구조 역시 중요한 건널목사고의 원인이 되고 있다. 건널목에서의 시거는 『도로구조령』제30조에 10m 길이의 차량이 1.0 m/sec<sup>2</sup>의 加速度로 발진하여 속도가 15 km/h의 속도로 진행했을 때 50%의 안전을 考慮한 통과시간을 기준으로 산정되었다. 한편 철도청에서 경보시분을 결정하는 방법은 차량이 건널목횡단시의 통과속도는 6 km/h이며, 통과차량의 길이는 20m를 기준으로 하고 있어 서로 다른 설계 기준에 의한 교통운영방법으로 인한 사고의 위험성도 排除하지 않을 수 없다.

『도로구조령』제28조에는 철도와 교차도로의 교차각은 45도 이상이어야 하고, 可視區間의 길

이(건널목 전방 5미터 지점의 도로중심선상 1.0미터 높이에서 가장 멀리 떨어진 선로의 중심선을 볼 수 있는 곳까지의 길이를 선로방향으로 측정한 길이)는 건널목에서 철도등의 차량의 최고 속도에 따라 <표 2>의 길이이상으로 하되, 건널목차단기 기타 보안설비가 設置되는 부분이나 자동차교통량과 철도등의 운행횟수가 적은 부분에 있어서는 例外로 하고 있다. 『보선관계규정집』에서 "건널목설치 및 설비기준규정"에 의한 列車透視距離는 선로의 最外側 軌道の 중심선과 도로의 중심선과의 交點으로부터 도로의 중심선상 5m 되는 지점의 1.4m되는 높이에서 그 궤도의 중심선상 2m되는 높이를 장애물없이 볼 수 있는 최대거리로 규정되어 있어 『도로구조령』의 기준과 다소 차이가 있고 열차의 투시거리와 가시거리는 같은 의미이나 서로 다른 용어를 사용하고 있어 기준과 용어의 통일이 시급하다.

<표 2> 열차속도에 따른 가시거리

건널목에서 열차의 최고속도 (km/h)	가시구간의 최소길이 (m)
50 미만	110
50 - 70	160
70 - 80	200
80 - 90	230
90 - 100	260
100 - 110	300
110 이상	350

철도건널목의 중단선형도 건널목사고를 誘發시킬 수 있는 또다른 요인이다. 『도로구조령』제28조 2항은 건널목의 양측에서 각각 30미터이내의 구간(건널목을 포함)은 직선으로 하고, 그 구간의 도로의 중단구배는 2.5퍼센트이하로 하되, 자동차 교통량이 적거나 지형상황등으로 인하여 부득이하다고 인정하는 경우는 예외로 하고 있다. 건널목은 배수등의 이유로 건널목을 橫斷하는 도로의 중단구배가 불룩한 형상(Hump-back)을 하게 되는데, 軸距가 길고 상대적으로 바닥높이(ground-clearance; 노면과 차량의 밑바닥과의 간격)가 낮은 차량(low-clearance vehicle)은 건널목을 횡단하다가 차량바닥이 노면에 닿아서 움직일 수 없게 되는 경우도 있다. 이러한 Hang-Up 현상은 철도건널목에서 대형사고를 유발할 수 있다. 특히, 횡단하는 차량이 대형차량일 경우에는 차량뿐만 아니라, 차량과 적재물의 重量으로 인하여 열차가 탈선하거나 전복될 수 있다.

『보선관계규정집』에서 "건널목설치 및 설비기

준규정"에 의하면 철도건널목에서 철도교통량의 換算方法은 건널목을 통과하는 1일 평균 열차의 수에 <표 3>에 정한 환산율을 곱한 값이 된다. <표 3>에서 일반열차의 정의는 그 건널목을 통과하여 진행하는 열차를 의미하며, 입환열차는 역구내등에서 객차의 연결등을 위해서 저속으로 운행하는 열차를 의미한다. 도로교통량은 건널목을 횡단하는 1일 평균 인마 및 차량수(계속 3일간 조사한 것을 평균하여 산출)에 <표 4>에 정한 환산율을 곱한 값이 되는데, 총교통량은 철도교통량과 도로교통량의 합이 된다. 또한 도로와 철도 교통량에 따른 각종별 건널목의 設置기준은 <표 5>와 같다.

<표 3> 철도교통량 환산표

종 별	환산율
입환열차	0.5
일반열차	1.0

<표 4> 도로교통량 환산율표

종 별	환산율	기 사
보행자	1	일반보행자 및 아동 (단, 마부, 운전수, 차량탑승자, 업힌 유아등은 제외)
자전거	2	자전거 및 수레를 끌지 않은 우마 (단, 자전거를 타고 가는 사람, 마부등은 제외)
우마차	3	우마차, 손수레, 리어카 (단, 마부, 수레를 끄는 사람은 제외)
이륜자동차	4	원동기가 붙은 자전거, 오토바이등
삼륜차	8	삼륜(자동)차, 경운기등
자동차	소형	10 택시, 쪼, 세단, 반트럭, 마이크로버스등
	대형	12 버스, 트럭, 중장비차등

<표 5> 종별 교통량에 따른 건널목의 설치기준

종별	철도교통량	도로교통량
1종	1이상 - 50미만	15,000 이상
	50이상 - 100미만	10,000 이상
	100이상	5,000 이상
2종	1이상 - 50미만	10,000 이상
	50이상 - 100미만	6,000 이상
	100이상	4,000 이상
3종		2종 미만

## 2.2 外國의 關聯研究

철도건널목 안전에 관한 연구는 미국에서 가장 활발히 진행중인데, 이미 1970년에 전국의 철도 건널목을 효율적으로 유지관리하기 위해서 전산화를 시작하여 1975년에 초기의 건널목화일을 완성하였다. 그 후 계속 화일이 보완되어 81년말에는 39만여개소의 건널목이 전산관리되고 있다. 미국에서는 철도건널목의 統制技法을 크게 2가지로 구분하고 있다. 첫 번째는 수동적인(passive) 통제로서 교통안전표지등을 이용하여 운전자 또는 보행자에게 철도건널목의 存在를 경고하는 것이고, 두 번째는 능동적인(active) 통제로서 운전자 또는 보행자에게 열차의 存在 또는 접근을 경고하는 것이다. 능동적인 통제방법에는 점멸등(flashing light)과 경보기, 차단기(gate)등이 포함된다. 1970년대부터 건널목의 안전성을 인식하여 지속적인 연구와 교육, 시설의 보완으로 건널목사고는 급격히 줄고 있다. 1975년에 11,354건의 건널목사고가 발생하여 987명의 사망자와 4,168명의 부상자가 발생하는데 그쳐, 1987년까지 12년 동안 1975년을 기준으로 전체 자동차의 평균주행거리, 교통사고수, 사망자와 부상자는 증가하였지만 건널목의 사고건수로는 48.4%, 사상자는 38.9%, 부상자는 44.5%가 감소한 것으로 나타났다. 건널목당 사고건수는 87년에 0.017건으로서, 이를 국내의 사고건수와 비교하면 87년의 34.7%, 91년의 14.4%에 지나지 않는다.

미국에서는 철도건널목사고의 심각성을 인식하여 87년에 철도건널목에서의 안전에 관한 법률(Section 159 of the Surface Transportation and Uniform Relocation Assistance Act)을 제정하여 건널목의 안전에 관한 연구투자, 안전시설 확충, 과학적인 유지관리를 시행하고 있다. 이 법률에 명시된 건널목에 관한 사항 중 중요한 내용은 기존 건널목의 상태와 그 건널목에서 발생

한 사고와의 상관관계검토, 응급차량의 출동에 지장여부검토, 건널목에서 운전자의 행동(behavior)과 효과적인 對處方案의 검토등 여러 가지 사항을 점검하도록 명시되어 있다. 이 법률에 따라 철도관계기관(Association of American Railroads; AAR, Federal Railroad Administration; FRA, American Short Line Railroad Association; ASLRA)과 도로관계기관(American Association of State Highway and Transportation Officials; AASHTO, 각 주정부의 Department of Highways)이 유기적으로 협조하여 전체 건널목의 방대한 자료가 컴퓨터에 입력되어 건널목 구조개선을 위한 財源配分模型(Resource Allocation Model)을 수립하여 효과적으로 운영관리되고 있다.

평면교차되는 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 유발시킬 수 있는 다른 요소를 回歸分析한 함수를 개발하여 각 철도건널목의 예측되는 사고율(Expected Accident Rate; EAR)을 계산한 다음, 유사한 건널목에서의 평균사고율과 각 건널목에서의 사고율의 상대수치로 환산한 것이다. EAR을 예측하는 함수는 DOT(Department of Transportation)모형등 여러 기관에서 개발되어 13개의 模型이 실무에 활용되고 있는데, 그 중에서도 비선형모형인 DOT모형이 실제사고확률과 가장 일치하고 있다. DOT모형은 각 건널목의 기하구조, 시거, 열차의 속도 및 교통통제설비등 DOT와 AAR의 대형컴퓨터에 입력된 기본자료(Crossing Inventory Data)와 FRA의 사고기록자료(Crossing Accident Data)를 이용하여 개발된 모형이다. 각 건널목의 도로교통량과 철도교통량의 상충기회(EI), 주간의 철도교통량(DT),

열차의 최대속도(MS), 선로수(MT), 교차도로의 포장상태(HP), 교차도로의 차선수(HL) 등에 계수(k)를 감안하여 설정된 <식 1>과 같은 사고 예측모형과 각 건널목에서 최근 T년간 발생한 N건의 사고를 연간평균사고건수로 환산하고 사고에 대한加重值(T0)를 감안하여 <식 2>로 예상사고율을 예측하며, 다시 건널목의 교통통제설비에 따라 <식 3>과 같이 계수의 곱으로 최종적인 각 건널목의 예상되는 사고율을 추정한다.

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

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

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

DOT모형에서는 예상사고율을 이용하여 건널목사고당 사망사고(FA)와 부상사고(IA)의 확률모형을 제시하고 있는데 주요 獨立變數로서 열차의 속도를 적용하고 있다. 즉, 열차속도가 증가하면 사망사고 또는 부상사고가 발생할 확률이 높는데 특히 지방부 건널목에서 사망사고와의 비례가 현저하게 나타나며, 도시부 건널목에서는 부상사고가 점차 비례관계에서 열차의 속도가 더 증가하면 사고확률의 증가율이 다소 둔화되는 趨勢를 보이고 있다. 계속해서 예상되는 사망사고와 부상사고를 종합한 총사상지수(Combined Casualty Index; CCI)를 <식 4>에 대입하여 각 건널목의 위험도를 나타내고 있다. 사망사고는 부상사고 보다 사고의 심각도가 크므로 가중치(k)를 적용하도록 되어 있는데, 사망사고의加重值는 상황에 따라 다르게 적용할 수 있는데 대략 50정도를 추천하고 있다. 따라서 <식 4>에서 계산된 총사상지수(CCI)를 이용하여 건널목의 교통통제설비의 개선이나 입체교차등의 구조개선이 필요

한 우선순위를 결정하게 된다.

$$CCI = k \times FA + LA \quad \text{<식 4>}$$

### III. 鐵道건널목의 資料蒐集 및 管理

#### 3.1 資料蒐集範圍 및 方法

본 연구의 수행을 위한 철도건널목의 자료수집은 부산지방철도청 산하 465개소의 건널목에 대한 자료수집을 실시하였다. 우선 부산지방철도청을 방문하여 건널목카드를 열람하고, 효율적인 자료입력을 위한 소프트웨어개발에 착수하였으며, 개발된 철도건널목자료관리 소프트웨어를 이용하여 모든 건널목에 대한 기본적인 자료와 2년 주기로 조사된 철도와 도로교통량 및 건널목별 사고기록을 입력하였다. 본연구가 제안된 시점에는 철도건널목이 1종부터 4종까지 4등급으로 분류하였으나, 연구가 시작된 시기에는 3등급으로 변환 중이었고, 변환 후에 개발된 프로그램을 이용하여 부산지방철도청에서 건널목카드를 열람하며 휴대용 컴퓨터에 입력하였다. 사고자료는 1970년대부터 기록되어 있으나 1970년대의 사고기록이 제대로 보존되지 못하여 자료로서의 신빙성이 문제가 될 수 있으며, 1980년대는 1970년대보다 기록된 사고건수는 많으나, 1985년 이전의 사고자료가 다소 기록되지 않아 자료로 활용할 수 없을 것으로 판단되었다.

총 465개소의 건널목 중에서 1994년말 현재는 <표 6>에 제시된 것과 같이 종별로 1종, 2종, 3종건널목이 각각 213개소, 211개소, 41개소이다. 경부선과 같이 열차교통량이 많고 열차속도가 빠르며 複線인 노선은 거의 1종건널목이었으며 3종건널목은 1개소도 없었다. 건널목수로는 동해선과 경전선이 100개소를 상회하고 있으며, 동춘비행장선을 비롯한 많은 지선으로 구성되어 있다.

<표 6> 각 노선별 철도건널목 등급

노 선		1종	2종	3종	계
1	경부선	38	2	0	40
3	대구선	32	13	0	45
3	동춘비행장선	1	0	0	1
4	중앙선	7	17	1	25
5	동해선	70	44	0	114
6	경전선	31	78	0	109
7	진해선	3	6	0	9
8	우암선	16	3	14	33
9	부산진부두선	0	1	6	7
10	금장삼각선	0	2	0	2
11	영천삼각선	0	1	0	1
12	괴동선	2	1	0	3
13	온산선	2	1	1	4
14	장생포선	1	1	1	3
15	울산항선	3	2	2	7
16	사비선	3	26	2	31
17	탄약고선	1	2	1	4
18	제1전용선	0	0	1	1
19	신창원탄약고선	1	0	0	1
20	임항선	1	4	4	9
21	사천비행장선	0	5	4	9
22	통해선	0	2	4	6
23	미전선	1	0	0	1
계		213	211	41	465

### 3.2 資料管理 Software

철도건널목자료를 손쉽게 휴대용 컴퓨터에 입력하고 효율적인 관리와 분석을 위하여 철도건널목 관리프로그램인 OKNR을 개발하였다. 프로그램은 데이터베이스용 전문 컴파일러인 CA-Clipper를 이용하여 프로그램의 개발기간을 줄이고 데이터를 효율적인 관리를 도모하였다. 개발된 OKNR은 입력기능, 자료검색기능, 출력기능으로 분류하여 풀다운메뉴의 형태로 개발되었다.

OKNR은 데이터의 입력도 손쉽게 개발되었지만, 철도건널목의 관리와 분석에 효율적으로 개발된 소프트웨어이다. 각 노선별, 종별, 기간별, 원인별 등 사용자가 원하는 형태의 자료를 손쉽게 확인할 수 있으며, 사용자대화식으로 개발되어 항상 도움말이 화면에 나타내게 되며, 전체자료의 검색은 물론 개별적인 자료의 검색도 가능하며 複合檢索도 가능하다. 복합검색이라함은 지정된 건널목에서 기간별과 원인별, 또는 다른 여러 가지 선택을 자유롭게 지정하여 원하는 자료만 검색이

가능하다. 또한, 확인된 자료를 다른 프로그램에 서도 쉽게 받아쓸(download) 수 있도록 화일에 저장하거나 프린터로 출력이 가능하다.

분리하여 저장하여 분석이 용이토록 하였다. 아울러 465개소의 건널목에 대한 기본적인 자료 및 교통량자료도 別途의 화일로 분리하였다.

#### IV. 資料分析 및 事故豫測 確率模型

#### 4.1 資料分析

철도건널목 사고통계는 최근 5년간 발생한 자료를 사용해야 되는데, 이는 5년 이전 자료는 주변상황 및 통제설비의 交替등 건널목 특성이 변하기 때문이다. 입력된 부산지방철도청 관내 총 465개소의 철도건널목에 대한 자료 중에서 건널목관리소프트웨어인 OKNR의 자료검색기능을 이용하여 1990년 1월 1일부터 1994년 12월 31까지의 관내에서 발생한 사고자료를 별도의 화일로

자료의 효과적인 분석을 위하여 常用 통계소프트웨어인 SAS를 이용하였다. 분석기간인 5년 동안 부산지방철도청 관내 철도건널목에서 발생한 사고는 총 495건이었으며 사망이 111명, 부상이 314명이었다. 각 종별 철도건널목에 대한 최근 5년간 건널목당 事故推移는 <표 7>과 같다. 부산지방철도청 管内 건널목은 평균 5년에 1회의 건널목사고가 발생하는 것으로 나타났다.

<표 7> 5년간('90~'94) 종별 건널목당 사고추이

	1종건널목			2종건널목	3종건널목	계
	차단기	안내원	소 계			
개소	109	104	213	211	41	465
사고(건)	205	89	294	191	10	495
사고율	1.88	0.86	1.38	0.91	0.24	1.06
사망자(명)	67	19	86	25	0	111
사망자율	0.61	0.18	0.40	0.12	0.0	0.24
부상자(명)	156	35	191	122	1	314
부상자율	1.43	0.34	0.90	0.58	0.02	0.68

건널목당 연간 평균사고건수는 0.21건/년으로서 1987년도 미국의 0.017건과 비교하면 도로교통량을 고려하지 않은 건널목당 절대사고건수로 12배 이상이 되어 우리 나라 철도건널목사고의 頻度와 問題點을 반영하고 있다. 또한 건널목당 사망자율은 0.24명/5년, 부상자율은 0.68명/5년이고, 건널목사고당 사망자비율인 치사율은 22.4%로 조사되어 1994년도 우리 나라 전체건널목사고 치사율인 30.3% 보다 8% 정도 낮았다.

1991년에 국내의 전체건널목사고중 2종(당시는 3종)건널목사고가 183건으로 전체의 69%를 차지할 정도로 2종건널목에서 많이 발생하였으나, 분석결과는 2종건널목사고는 39%에 지나지 않는데 이는 상대적인 2종건널목수의 감소에 기인한다. 또한 종별사고율은 예상과는 달리 차단기가 設置되었거나 안내원이 근무하는 1종건널목이 1.38건/5년으로 가장 높고, 2종건널목이 0.91건/5년, 3종건널목이 0.24건/5년의 순이었다. 사망자



율과 부상자율도 같은 순이었다. 특히 1종건널목의 사망자율은 0.40건/5년으로서 부산지방철도청 산하 1종건널목에서는 1년에 평균 0.08명이 사망하는 것으로 분석되어 철도건널목사고의 深刻性을 나타내고 있다. 1종건널목을 안내원의 유무에 따라 비교한 결과 차단기만 설치된 1종건널목에서의 사고율이 1.88건/5년으로서 매우 높은 사고율을 나타내고 있으며 안내원이 근무하는 1종건널목에서는 0.86건/5년으로 조사되었다. 차단기만 설치된 1종건널목의 사망자율과 부상자율은 각각 0.61, 1.43건/5년으로 조사되었다.

기존 건널목카드의 도로교통량환산법에서 소형차와 중형차의 가중치를 확인하기 위하여 열차와 충돌한 충격물별로 사고건수, 사망자, 부상자별로 구분하면 <표 8>과 같다. 승용차의 경우 총 224건의 사고중 사망자는 38명으로서 치사율은 17%였고, 트럭 역시 136건중 23명으로서 치사율이 17%로 조사되었다. 하지만 높은 치사율을

기록할 것으로 예상되었던 대형버스의 경우 사망자가 1명도 없었고 부상자는 13건에 19명으로 부상율은 148%로 매우 높게 기록되었다. 이는 입력된 버스의 건널목사고빈도가 너무 적기 때문으로 해석할 수 있다. 지난 1995년 4월 12일 전남 화순에서 발생한 버스의 건널목사고는 1회의 사고로 14명의 사망자와 19명의 부상자를 내기도 했다. 따라서 부산지방철도청의 5년간 건널목 사고자료로는 車種別 가중치를 환산하기 어렵고 국내전체의 건널목사고자료를 이용하여 차종별 가중치를 적용해야 보다 정확한 분석이 가능할 것으로 사료된다. 한편, 차종별로 분류한 건널목 사고에서 승용차가 전체사고의 48%를 차지하고 있고, 승용차와 트럭이 73%, 소형버스(승합차)까지 합하면 91%를 나타내고 있다. 1건의 사고는 충격물이 기록되지 않아서 사고건수의 계는 494건으로 기록되었다.

<표 8> 충격물별 사고추이

충격물	사고건수	사망자수	치사율	부상자수	부상율
경운기	13	3	0.23	2	0.15
대형버스	13	0	0.0	19	1.48
보행자	12	10	0.83	2	0.17
승용차	224	38	0.17	119	0.53
소형버스	64	24	0.38	78	1.22
이륜차	19	11	0.58	5	0.26
트럭	136	3	0.17	87	0.64
트레일러	3	1	0.33	1	0.33
특수차	10	1	0.10	1	0.10
계	494	111	0.22	314	0.64

건널목사고의 주원인은 건널목전방에서 일시정지를 하지 않고 건널목으로 진입하기 때문에 발생하는데, <표 9>는 이러한 원인을 잘 설명해 주고 있다. 즉, 총 495건의 건널목사고 중에서

473건인 96%의 건널목사고가 운전자의 운전부주의로 발생하고 있으며 이로 인한 사망자는 103명으로서 전체사망자의 93%, 부상자는 313명으로서 전체부상자중에서 1명만 제외하고 전부 이

에 속한다. 하지만 원인별 분류에서 운전부주의를 細分할 필요가 있다고 판단된다. 즉 고의적인 일 시정지무시와 건널목의 시인불량등으로 세분되어

야 공학적인 자료로서 활용이 가능할 것으로 사료된다.

<표 9> 사고원인별 사고추이

원 인	사고건수	사망자	부상자
무단횡단	9	8	1
선로상정차	1	0	0
선로장애	1	0	0
운전부주의	473	103	313
정비불량	10	0	0
충격물방치	1	0	0
계	495	111	314

<표 10>는 5년간의 건널목사고자료를 월별로 발생한 사고건수, 사망자수, 부상자수로 분류한 것이다. 겨울철(12월-2월)의 사고건수가 148건으로 전체사고의 30%를 차지하고 있고 사망자와 부상자도 다른 계절에 비해 겨울철에 많이 발생한 것을 나타나고 있다. 특히 부상자의 경우 125명으로서 전체부상자 40%가 겨울철에 발생하는 것으로 분석되었다. 일년중 가장 낮은 기

온인 1월중에는 60건의 사고건수, 17명의 사망자, 55명의 부상자수로서 연중 최고의 건널목사고가 발생하고 있어 겨울철에 건널목사고가 많이 발생하는 보다 구체적인 원인을 분석해야 한다. 여름철의 휴가기간인 7월과 8월에도 겨울철보다는 적지만 다른 계절보다는 많은 사고건수와 부상자수를 기록하고 있다.

<표 10> 월별 사고추이

계절	월	사고건수	사망자수	부상자수
봄	3	44	13	22
	4	33	4	16
	5	34	4	9
여름	5	26	12	6
	6	39	8	38
	7	47	14	28
가을	9	32	6	10
	10	39	9	15
	11	53	11	45
겨울	12	48	7	34
	1	60	17	55
	2	40	6	36
계		495	111	314

### 4.2 事故豫測 確率模型

사고예측을 위한 확률모형의 개발은 철도건널목의 사고유무를 구분하고(1=사고발생, 0=사고없음), 사고발생을 결정하는 특성을 파악하고자 한다. 종속변수가 사고여부를 나타내는 선택변수이므로 일반회귀분석이 적절하지 못하다고 판단된다. 여기서는 두 가지 선택대안, 즉 사고발생과 사고없음 중 어떤 요인이 선택에 영향을 미치는가를 분석하는 것이므로 이항로짓모형(binary logit model)이 적절하다고 판단된다. 이항로짓모형은 두 대안(k와 j)중 어느 것을 선택할 확률은 <식 5>와 같은 효용함수를 기초로 도출된다.

$$U_{kn} = V_{kn} + E_{kn} \quad <식 5>$$

이를 기초로 이항로짓의 경우 대안 k 를 선택할 확률은 <식 6>과 같이 계산된다.

$$P_n(k) = prob[E_{jn} - E_{kn} \leq V_{kn} - V_{jn}] \quad <식 6>$$

특히 이항로짓모형의 경우는 <식 7>과 같이 확률이 계산된다.

$$P = \frac{e^{-V_{jn}}}{1 + e^{-V_{kn}}} \quad <식 7>$$

부산지방철도청 산하 465개소에서 1990년 1월부터 1994년 12월까지 5년동안 발생한 건널목사고(495건)에 대한 사고기록과 건널목카드에 기록된 모든 자료를 건널목종별로 분류하여 사고와 相關關係를 분석하였다. 사고와 관련된 주요요소로는 안내원의 유무, 도로교통량, 철도교통량, 건널목투시거리, 철도와 도로의 교각, 접속도로의 종단구배, 선로수, 열차의 최고속도, 조명설비 등이다.

건널목사고의 원인분석을 위한 요소 중에서 사고당시 건널목을 횡단하는 도로교통량과 철도교통량은 철도청의 『보선관계규정집』에 의하면 건널목의 교통량조사는 2년마다 3일간 조사된 교통량의 평균을 적용하도록 규정되어 있어 교통량조사가 되지 않은 해의 도로교통량은 전년과 후년의 평균값을 적용하였다. 또한 『보선규정집』에 의한 도로교통량의 환산은 <표 4>에 제시된 것과 같이 보행자의 횡단을 1로하여 상대적인 환산을 적용하고 있으나, 本稿에서는 소형자동차를 1로하고, 대형자동차의 경우에는 『도로교통용량편람』에서 제시된 환산법을 적용하였다. 즉, 교차도로의 종단구배에 따라 ±2% 이내인 경우에 트럭은 1.5, 버스는 1.3을 적용하였으며, ±2% 이상 ±5% 미만의 종단구배시 트럭과 버스는 3으로, ±5% 이상은 5로 적용하였고, 열차교통량의 경우에는 <표 3>에 제시된 것과 같은 방법으로 적용하였다.

건널목에 접근하는 차량이 열차의 접근을 시인할 수 있는 건널목투시거리(이하 시거)는 모든 건널목사고마다 접근도로에 대한 정확한 사고기록이 없어 분석시 적용할 시거는 양측 교차도에서 측정된 2개의 시거중에서 가장 짧은 거리의 시거를 적용하였다. 1종건널목에서 안내원의 유무에 따라 0 (안내원없음) 또는 1 (안내원근무)을 입력하였고, 철도와 도로의 교각은 90도를 기준으로 상대적인 絕對角度를 이용하였으며, 도로의 구배는 0%를 기준으로 상대적인 오르내림의 %절대값을 적용하였다. 건널목통과열차의 최고속도는 건널목카드에 분류된 6등급의 절대수치를 적용하였다.

상기 언급된 사고요인을 분석한 결과 1종과 2종건널목의 상관관계의 분석 및 통계적 유의수준은 <표 11>과 <표 12>와 같다. 이러한 로짓모형은 예측의 정확성이 각각 74.6%, 82.8%로 나타났다. 3종건널목은 41개소에 불과하고 5년간 사고건수도 10건에 불과하여 통계적 분석의미

가 없는 것으로 판단되어 분석에서 除外시켰다. 種別로 건널목을 분류하여 같은 방법으로 상관관계의 분석결과는 지난 5년간 294건의 사고가 발생한 1종건널목의 경우 안내원의 유무, 열차의 최고속도, 교차각도, 종단구배등이 99%, 시거 및

철도와 도로교통량은 95%, 선로수는 90%의 연관성이 있고, 2종건널목에서는 철도와 도로교통량 및 열차의 최고속도가 99% 이상 연관성이 있으나 선로수는 대부분 단선이어서 분석의 의미가 없는 것으로 조사되었다.

<표 11> 1종 건널목의 확률모형을 이용한 사고요인의 추정

항 목	Parameter Estimate	Standard Error	Wald Chi-Square	Pr > Chi-Square	Standard. Estimate
상수	1.8023	0.8676	4.3158	0.0378	
안내원	1.9148	0.3614	28.0780	0.0001	0.512620
열차의 최고속도	-0.3817	0.1055	13.0797	0.0003	-0.267846
시거	-0.00326	0.00164	3.9614	0.0466	-0.190193
교차각도	-0.0271	0.00905	8.9501	0.0028	-0.251018
종단구배	0.00715	0.00283	6.3803	0.0115	0.175546
철도와 도로교통량	-0.1944	0.1009	3.7098	0.0541	-0.176858
선로수	-0.4272	0.2605	2.6902	0.1010	-0.120701

<표 12> 2종건널목의 확률모형을 이용한 사고요인의 추정

항 목	Parameter Estimate	Standard Error	Wald Chi-Square	Pr > Chi-Square	Standard. Estimate
상수	8.1117	2.4156	11.2767	0.0008	
열차의 최고속도	-0.3529	0.1366	6.6741	0.0098	-0.279300
시거	-0.00088	0.000841	1.0884	0.2968	-0.079258
종단구배	0.0762	0.0393	3.7573	0.0526	0.171961
교차각도	-0.0097	0.00899	1.1622	0.2810	-0.082868
철도와 도로교통량	-0.9006	0.1293	48.4827	0.0001	-0.866343
조명설비	-0.2469	1.0287	1.3263	0.2495	-0.087159

사고발생의 확률모형을 이용한 사고요인을 추정한 <표 11>과 <표 12>에 제시된 값을 이용하면, 1종건널목과 2종건널목에서 사고가 발생

할 확률은 각각 <식 8>과 <식 9>에서 계산된 사고확률모형값을 <식 7>에 대입하여 구할 수 있다.

$$V_{1n(1)} = k_0 + k_f F + k_t T + k_s S + k_a A + k_g G + k_v V + k_n N \quad <식 8>$$

$$V_{1n(2)} = k_0 + k_v V + k_a A + k_s S + k_t T + k_g G + k_l L \quad <식 9>$$

G : 선로와 접근도로의 구배차 (%)

k<sub>l</sub> : 조명설비에 대한 계수

L : 조명설비유무 (1 = 유, 2 = 무)

여기서,

V<sub>1n(1)</sub> : 1종건널목의 사고확률모형값

V<sub>1n(2)</sub> : 2종건널목의 사고확률모형값

k<sub>0</sub> : 상수

k<sub>f</sub> : 안내원유무에 대한 계수

F : 안내원유무 (1 = 유, 0 = 무)

k<sub>v</sub> : 철도와 도로교통량의 계수

V : 철도와 도로교통량 합 의 로그값

k<sub>a</sub> : 선로와 도로의 교차각도의 계수

A : 직각교차에 대한 상대적인 교차각도

k<sub>n</sub> : 선로수의 계수

N : 선로수

k<sub>s</sub> : 시거에 대한 계수

S : 시거 (m)

k<sub>t</sub> : 통과열차의 속도계수

T : 통과열차의 최고속도 등급 (1 ~ 6)

k<sub>g</sub> : 선로와 접근도로의 구배차에 대한 계수

<식 8>과 <식 9>을 이용하여 사고확률을 계산한 결과 2종건널목중에서 시급히 중별변경이나 통제설비의 보완이 필요한 대표적인 건널목은 <표 13>과 같다. 기존시설에 조명시설을 설치할 경우 사고확률이 다소 줄어들고 최대 30%까지 사고확률이 감소하는 것으로 분석되었다. 1종으로 중별변경시에는 안내원이 없고 차단기만 설치시에는 평균 10% 이상 사고확률이 감소하고, 안내원배치시에는 사고확률이 크게 낮아지는 것으로 분석되었다. 동해선의 입실2건널목의 경우, 기존의 시설과 교통량으로는 사고확률이 98.19%이고 지난 5년간 3회의 사고가 기록되었다. 개발된 모형식에 의하면, 이 건널목에 조명시설을 설치할 경우는 93.98%로서 4%의 감소효과가 있고, 1종으로 변경하여 차단기만 설치하면 88.36%로서 약 10% 감소하며, 안내원까지 상주시키면 52.81%로서 43%가 감소하는 것으로 분석되었다.

<표 13> 최대사고확률 2종건널목 및 보완시 사고확률(단위 : %)

선	건널목	5년간 사고건수	현재의 사고확률	조명설비시 사고확률	1중변경시 사고확률	
					차단기	안내원
동해선	입실2	3	98.19	93.98	88.36	52.81
사비선	풍호3	4	97.05	90.44	87.49	50.75
진해선	삼동	10	96.38	88.43	84.96	45.43
우암선	7부두1	0	95.49	85.89	80.01	37.09
울산항선	매암	3	95.22	85.14	87.75	51.36
사비선	이동3	6	95.10	84.80	84.56	44.66
	진창	1	93.78	81.25	71.76	27.25

2종건널목을 1종으로 변경시 사고확률모형의 독립변수의 특성상 차단기만 설치하는 경우, 사고확률이 증가하는 경우도 있으나 안내원이 상주시에는 사고확률이 확실히 감소하는 것으로 분석되어 안내원의 상주가 사고를 줄일 수 있는 가장 중요한 요인임을 나타내고 있다. 이와 같이 차단기만 설치된 1종으로 변경할 경우 사고확률이 증가하는 이유는 모형개발을 위해서 사용된 자료가 <표 7>에서 제시되었듯이, 기존 1종건널목에서 사고가 워낙 많이 발생하여 사고율이 2종건널목의 사고율 보다 높기 때문이다.

같은 방법으로 <식 9>와 <식 7>을 이용하여 높은 사고확률을 나타내고 있는 1종건널목은 <표 14>와 같이 안내원이 없고 차단기만 설치된 건널목에서 발생했다. 이러한 1종건널목에 건널목의 기하구조의 변경이나 통제설비를 보완하지 않고 안내원을 배치할 경우의 사고확률은 13%~45%로 감소하는 것으로 분석되었다. 경부선

의 가천1건널목의 경우 사고가 발생할 확률은 96.89%로서 분석기간인 5년간('90~'94) 사고건수는 1건도 기록되지 않았으나, 그 기간이 지난 후인 95년 3월 21일 1건의 사고가 발생하였다. 또한 경부선의 팔현건널목의 경우에는 94년에만 8건의 사고가 발생하여 95년부터 주간 12시간에만 안내원이 근무하고 있으나 95년에는 5월말 현재 3건의 사고가 발생하였는데, 안내원이 근무하지 않는 야간에 모두 발생하였다. 이는 1종건널목에서 차단기등 적극적인 통제설비 보다는 안내원의 근무여부가 철도건널목사고의 가장 큰 원인인 운전부주의를 사전에 예방할 수 있는 대책이라는 것을 입증한 결과이다. 안내원이 근무하고 있는 건널목에서 발생한 사고 역시 팔현건널목과 같이 근무시간외에 발생한 사고가 대부분일 것으로 추정되나 건널목카드의 사고기록에는 사고시간이 기록되지 않아서 확인은 기존자료로는 불가능하다.

<표 14> 최대사고확률 1종건널목 및 안내원근무시 사고확률(단위 : %)

선	건널목	안내원	5년간 사고건수	현재의 사고확률	안내원근무시 사고확률
동해선	사방1	무	6	97.37	84.49
경부선	가천1	무	0	96.89	85.85
동해선	사방2	무	3	96.31	79.36
	분황사	무	4	96.28	79.22
경부선	중리	무	1	96.17	78.70
	하옥산	무	1	95.78	76.99
동해선	갑산1	무	5	95.74	76.80
경부선	팔현	무	8	95.50	75.78
동해선	유금1	무	3	94.99	73.64
대구선	시천	무	1	94.63	72.19

안내원이 근무하고 있으나 90% 이상의 높은 사고확률을 가진 1종건널목은 <표 15>와 같다. <표 15>에 제시된 11건의 사고원인으로 건널목카드에는 운전부주의로 기록되어 있으나 운전부주

의를 야기시키는 원인을 카드에 기록된 자료만을 이용하여 추정하면 철도와 도로교통량이 많고 접근도로의 교차각도가 예각이거나 열차를 확인할 수 있는 시거가 짧은 것으로 조사되었다.

<표 15> 안내원이 있는 높은 사고확률의 1종건널목

선	건널목	5년간 사고건수	현재의 사고확률(%)	추정되는 사고원인
경부선	창입구	1	93.17	많은 교통량 및 50도의 예각교차
	물금	4	91.88	많은 교통량 및 짧은 시거(30m)
괴동선	송동	6	90.36	많은 교통량 및 20도의 예각교차

V. 結論

철도건널목에서 안전은 더 이상 방지할 수 없는 시급한 사안이다. 철도건널목사고가 전체 교통사고중에서 차지하는 비중은 크지 않지만, 일단 발생하게 되면 사망사고로 이어질 확률이 높다. 실제로 '94년 건널목사고의 경우, 310건의 사고가 발생하여 사망 94명, 부상 250명으로서 사상자중 사망자비율이 27.3%나 되고 치사율은 30.3%로서 전체 교통사고(사고건수: 266,107건, 사망자: 10,087명)의 평균치사율 3.8% 보다 8배에 이른다. 또한, 교차도로를 횡단하는 교통량도 증가하고 차량도 대형화로 전환되는 추세이기 때문에, 건널목사고가 일단 발생하게 되면 대형사고를 誘發하게 된다.

본고에서 활용된 건널목자료에 의하면 사고예측확률은 1종건널목에서는 안내원의 유무가 사고확률을 결정하는 가장 큰 요인으로 조사되었고, 열차속도, 철도와 도로교통량, 시거, 교차각도, 선로수, 선로와 접근도로의 종단구배차등이 사고확률을 결정하는 요인이고, 2종건널목에서는 열차속도, 시거, 종단구배차, 교차각도, 철도와 도로교통량 및 조명설비등이 사고확률을 결정하는 요소로 분석되었다. 하지만, 철도건널목사고의 근본적인 원인은 운전자의 운전부주의에 기인하는데 제한된 건널목자료만을 이용하여 통계학적으로 상관관계를 수립하는 것은 어려운 일이다. 따라서

가능하면 많은 사고자료와 건널목자료가 필요하고, 현재 2년마다 조사해야 하는 도로교통량을 최소한 1년마다 조사해서 자료와 모형의 신뢰도를 높여야 한다. 또한 부산지방철도청 산하 465개소의 건널목뿐만 아니라, 전국의 1,953개소의 건널목자료가 모두 수록된다면 우리 나라 건널목사고의 특성을 반영할 수 있고, 정확한 사고예측을 할 수 있어 개발된 모형의 객관성이 향상될 뿐만 아니라 입체교차나 구조개선이 시급한 건널목의 순위를 지정할 수 있을 것으로 기대한다.

건널목카드 양식은 사고통계와 교통량에 대한 정보가 함께 기록하도록 구성되어 있는데 건널목의 기본적인 정보와는 분리되어야 한다. 사고통계의 경우 사고의 날짜, 原因, 충격물, 사망 및 부상만 기록하도록 되어 있어 사고의 원인을 분석하기 위한 공학적인 자료가 부족한 실정이다. 사고당시의 상황을 자세하게 수록되어야 한다. 예를 들면, 사고가 발생한 時刻, 날씨, 충돌열차와 차량의 진행방향, 충돌시 열차의 속도, 충돌후 충격물의 위치, 충격물의 승차인원, 노면상태, 운전자 및 승차자의 신원 및 음주여부는 물론이고 사고 후 조치상황등을 자세히 기록할 수 있는 양식이 필요하다. 또한 건널목에 대한 현장조사시 건널목 주변 교통정체도를 수시로 파악해야 하고 통학버스, 위험물 운반차량, 視距制限有無등을 추가적으로 조사하여 기록보존되어야 한다.

### 參 考 文 獻

- 1) American Association of State Highway and Transportation Officials, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, Washington, D.C., 1990, 1087 pages.
  - 2) Coleman, J.A., and B.F. George, "National Railroad-Highway Crossing Inventory," Public Road, Vol.47, No.2, September 1983, pp.66-68.
  - 3) Coulombre, R., J. Poage, E. Farr, and J. Hitz, Summary of the Department of Transportation Rail-Highway Crossing Accident Prediction Formulas and Resource Allocation Model, DOT-TSC-FRA-82-1, September 1982, 28 pages.
  - 4) Faghri, A., and M.J. Demetsky, "A Comparison of Formulae for Predicting Rail-Highway Crossing Hazards," Transportation Research Record 1114, 1987, pp.152-155.
  - 5) Farr, E. and J.S. Hitz, Accident Severity Prediction Formula for Rail-Highway Crossings, FHWA-RD-83-092, July 1984, 52 pages
  - 6) Federal Highway Administration, Manual on Uniform Traffic Control Devices, Washington, D.C., 1978.
  - 7) Federal Highway Administration, Rail-Highway Crossings Study, FHWA-SA-89-001, Washington, D.C., April 1989.
  - 8) 교통사고통계분석, 도로교통안전협회, 1994, 278쪽
  - 9) 도로교통용량편람, 건설부, 1992, 552쪽
  - 10) 도로의 구조, 시설기준에 관한 규정, 해설 및 지침, 건설부, 1990, 460 쪽.
  - 11) 보선관계규정집, 철도청, 1994.
- < 본 연구는 한국과학재단의 '94 핵심전문연구의 연구비지원에 의하여 수행되었음. >