

철도 건널목 사고의 발생빈도 특성분석 연구

Analysis of the Characteristic of Railroad(level-crossing) Accident Frequency

박정상*, 박준태*†, 김일권*, 임삼진**

Jung-Sang Park*, Jun-Tae Park*†, Il-Kwon Kim*, Sam-Jin Lim**

Abstract Railroad traffic accident consists of train accident, level-crossing accident, traffic death and injury accident caused by train or vehicle, and it is showing a continuous downward trend over a long period of time. As a result of the frequency comparison of train accidents and level-crossing accidents using the railway accident statistics data of Railway Industry Information Center, the share of train accident is over 90% in the 1990s and 80% in the 2000s more than the one of level-crossing accidents. In this study, we investigated time series characteristic and short-term prediction of railroad crossing, as well as seasonal characteristic. The analysis data has been accumulated over the past 20 years by using the frequency data of level-crossing accident, and was used as a frequency data per month and year. As a result of the analysis, the frequency of accident has the characteristics of the seasonal occurrence, and it doesn't show the significant decreasing trend in a short-term.

Keywords : Railroad traffic accidents, Level-crossing, Time-series, Accident Frequency, ARIMA

초 록 철도교통사고(railroad traffic accidents)는 열차 또는 차량의 운전에 의해 발생하는 열차사고(train accident), 건널목사고(level-crossing accident), 교통사상사고(traffic death and injury)로 구분되며 장기간 지속적 감소추세를 보이고 있다. 철도산업정보센터의 철도사고 통계자료를 활용하여 열차사고와 건널목사고의 발생빈도를 비교해보면 1990년대 90%이상, 2000년대 80%이상 건널목 사고빈도의 점유율이 높은 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 건널목사고의 시계열적 특성을 살펴보고 단기예측 및 계절적 특성에 대해 살펴보았다. 분석자료는 과거 20년간 집계된 건널목 사고빈도자료를 이용하여 월별발생 빈도와 계절적 빈도자료로 활용하였다. 분석결과 사고빈도는 계절형발생 특성을 보이며, 단기적 큰 감소추세를 보이지 않는 것으로 나타났다.

주요어 : 철도교통사고, 철도건널목, 시계열, 사고빈도, 자기회귀이동평균모형

1. 서 론

국내 철도사고(국토해양통계누리)는 2003년 710건에서 2012년 247건으로 지속적인 감소추세를 보이고 있다. 임의적 발생으로 볼 수 있는 철도사고특성상 예방차원의 감시체계구축과 다양한 기술개발, 시설개량이 사고감소에 큰 영향을 미치는 것으로 판단할 수 있다. 철도 사고 중 건널목사고는 열차사고에 비해 큰 폭으로 발생하고 있으며 특히, 인명피해 사상자가 발생하는 대형사고로 직결된다는 위험성이 높다. 본 연구에서는 철도 건널목 사고의 발생현황을 살펴보고 시계열적 특성을 분석하고, 이를 통해 단기적 예측과 계절적 감소형태의 패턴을 파악하고자 한다.

† 교신저자: 한국철도협회 정책 및 대외협력팀(pjt724@naver.com)

* 한국철도협회 정책 및 대외협력팀

** 한국철도협회 사무국

2. 본 론

2.1 건널목 사고 현황

2.1.1 사고발생현황

건널목 사고 발생현황의 특성을 분석하기 위해 철도산업정보센터(www.kric.or.kr)의 연도별 사고데이터를 활용하였다. 건널목 사고빈도는 1992년 278건으로 집계되었으며 최근 2011년에는 14건으로 연평균 13%수준으로 감소한 것으로 나타났다. 그리고 열차사고(충돌, 접촉, 탈선, 화재)는 13건에서 2건으로 감소, 연 5%수준의 감소율을 보이고 있다. 건널목사고와 열차사고의 총계에서 건널목 사고빈도가 차지하는 비중은 90%수준으로 열차사고에 비해 건널목사고의 발생빈도가 매우 높게 나타나고 있음을 알 수 있다.

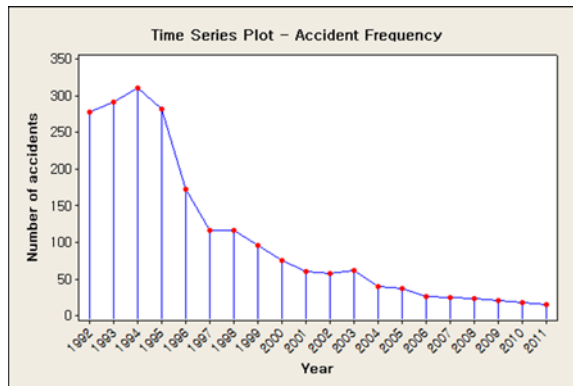


Fig. 1 Annual State of Railroad Level-crossing Accidents

Fig. 1과 같이 건널목 사고는 1999년 처음부터 100건 이하로 감소하였으며, 월별 세분화하여 살펴보면 각 월별 발생 분포가 차이가 나타나고 있음을 알 수 있다. 월별 발생빈도에 대한 상자그림을 작성한 결과 Fig. 2와 같이 겨울철에 발생빈도(평균)가 높고 여름철에 낮아지는 특성이 있는 것으로 판단할 수 있다.

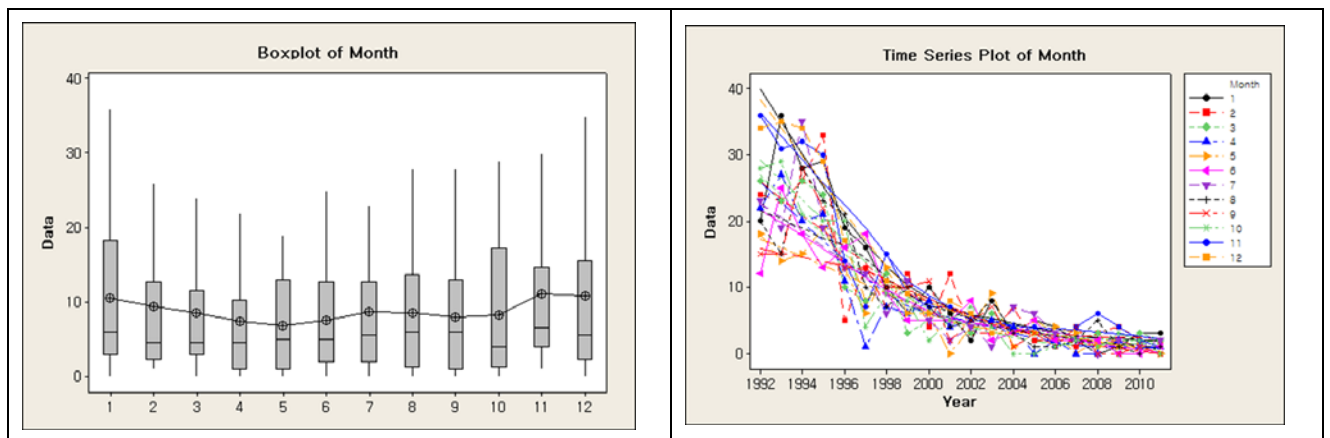
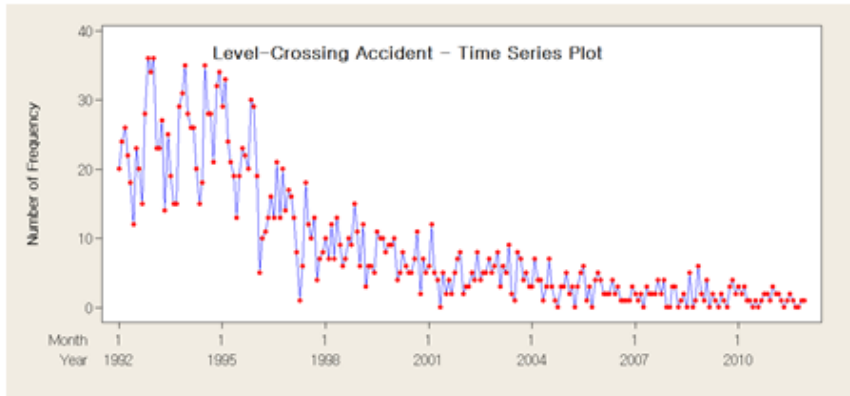


Fig. 2 Monthly Accident Frequency of Railroad Level-crossing

2.1.2 월별사고현황

겨울철의 시작인 12월부터 2월까지 사고빈도는 9건~11건, 여름철인 6월부터 8월은 7건~8건 수준으로 여름철에 비해 겨울철 사고빈도가 높다고 할 수 있다. 겨울철(1)과 여름철(2)의 사고빈도 차이에 대한 분산분석 결과(Levene sta. 1.12, p-value 0.33) F=3.771, p-value 0.028로서 $\alpha=0.05$ 에서 기각, 모분산의 동질성을 만족하고 계절간 차이가 있다고 할 수 있다.



classification	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Mean	10.55	9.40	8.50	7.35	6.85	7.55	8.65	8.60	8.05	8.30	11.15	10.80
Std. Dev.	10.58	9.62	8.82	8.39	6.28	7.16	9.18	8.41	7.90	9.63	11.45	12.11

Fig. 3 Average Frequency of Railroad Level-crossing per month

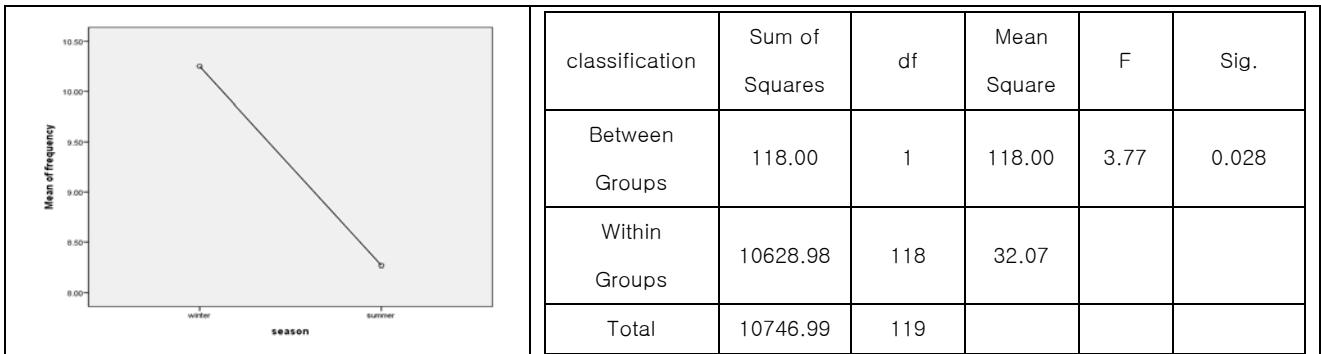


Fig. 4 Seasonal Variance Analysis Results of Frequency Difference of Railroad Level-crossing

겨울철 철도건설목에서 자동차의 시동 꺼짐 및 미끄러짐(음영영향) 등 알려진 위험요소의 직접적인 노출(exposure)의 비교는 자세히 알려지지 않고 있다. 보행자의 경우도 추위로 인해 몸을 움츠리며 주머니에 손을 넣고 보행하는 전방시야 주의력 감소와 겨울철 안개로 인한 기관사의 시야확보저하 등의 계절적 문제점이 보고되었으나 미미한 수준이다. 선로위에 쌓인 눈이나 빙설은 마찰력을 감소시켜 제동거리를 증가시키는 위험성을 높게 하여 겨울철 시설점검에 많은 시간과 비용이 투입되고 있다.

2.2 연도별 사고 예측

2.2.1 건널목 사고 단기에측

앞서 살펴본 바와 같이 건널목 사고빈도는 하향감소 추세의 비정상 시계열형태이다. 단기 예측은 지수평활법(exponential smoothing method)을 이용하여 모수를 추정하였으며 2000년 이전 감소폭이 큰 변화량의 가중치를 지수함수적으로 가소시키고 가까운 과거에 큰 가중치를 부여(진폭감소)하기 위함이다. 모수추정 결과 $\alpha=0.701$ 로 나타났으며 2014년부터 2016년까지 11건으로 예측되고 있다.

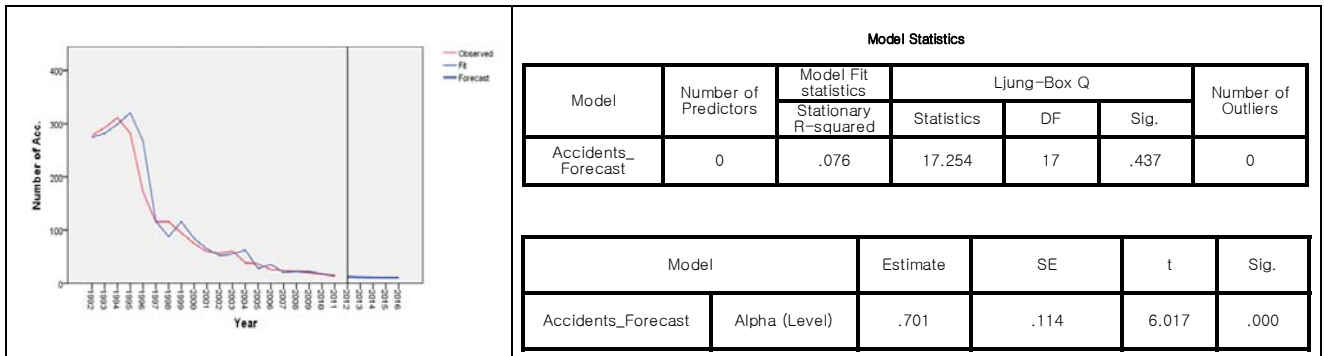


Fig. 5 Exponential Smoothing Result(Short-term prediction)

2.2.2 건널목 유형 상관

건널목 사고의 감소패턴은 운영기관의 안전대책과 기술적 진보 등 다양한 노력에 의한 결과로 볼 수 있다. 무엇보다 사고와 관련된 상대적 지표가 필요하나 통과교통량을 중심으로 한 노출량의 정확한 수집은 어려움이 있다. 따라서 선행지표로 건널목 유형에 따른 교차상관을 살펴보았다. 건널목 유형은 1종부터 5종까지 안전시설 규모에 따라 구분이 되며, 최근 추세는 1종 건널목으로 개량하는 방식을 따르고 있다.

먼저 1992년 건널목(평균) 개수는 2010개소이며 개소당 0.13건/년의 사고가 발생하였으며, 2011년에는 총 1219개소에 개소당 0.01건이 발생하여 많이 사고감소가 이루어진 것으로 볼 수 있다. 건널목 유형 중 1종건널목의 비율은 1992년 29.9%로 나타났으며 2011년에는 89.17%로 과거 건널목이 상당수 입체화되거나 1종으로 개량 또는 철거된 것으로 판단된다.

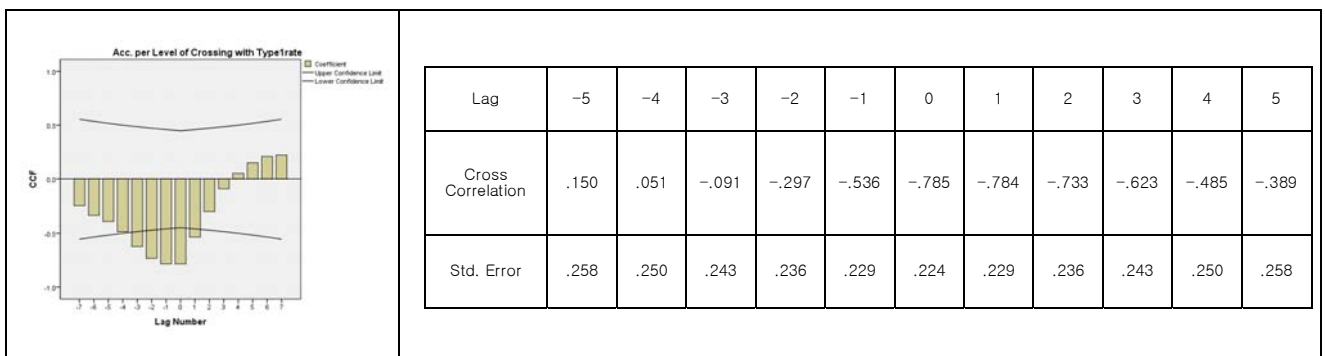


Fig. 6 Cross Correlations

Fig. 6은 1종 건널목의 점유율(%)과 건널목사고의 교차시간상관을 분석한 것으로 동시상관 외에 1종 건널목 비율이 2년의 시차를 두고 선행하고 있다는 것을 확인할 수 있다. 즉, 음의 관계인 두 변수는 1종 건널목의 비율이 높을수록 건널목 사고는 감소하는 상관성을 보이고 있다고 할 수 있다.

2.3 건널목 사고빈도에측 시계열 모형 개발

2.3.1 분석자료 검토

앞서 살펴본 바와 같이 연도별 발생빈도는 비정상적(nonstationary) 시계열 구조를 보이고 있다. 즉 정상적(stationary) 시계열구조로 변환 후 예측모형을 추정해야 하기 때문에 본 연구에서는 데이터 특성에 따라 계절특성을 고려한 ARIMA(auto-regressive moving average model)을 적용하였다. 비정상적 자료를 제외하고 가능한 많은 데이터를 확보하기 위해 2000년 이후 월별데이터를 활용하였으며, 자기상관 및 편자기상관 그래프를 작성, 계절성이 존재하는 것으로 판단된다.

자기상관 그래프를 보면 1시차 이후 급격하게 감소하고, 편자기함수에서는 12시차에서 상관이 나타남을 보여주고 있다. 이를 통해 12개월 즉, 연도별 동일 시간대에 유사한 발생빈도가 나타난다고 볼 수 있으며 이는 계절형 계열의 특성이다. 자기함수의 첫 시차에서 상관 계수가 유의한 것으로 나타나 모형 개발에서는 MA(moving-average)를 고려해야 할 필요가 있다.

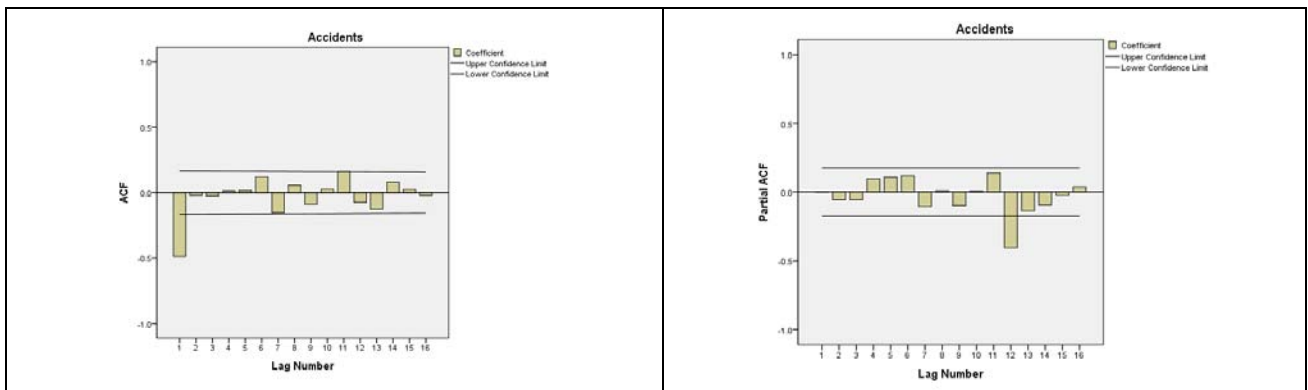


Fig. 7 Autocorrelation and Partial Autocorrelation Graph

2.3.2 모형 개발 결과

모형 개발 결과, 계절차분(seasonal differencing)을 적용하지 않은 ARIMA(0,0,0)(0,0,1) 형태가 가장 적합한 것으로 도출되었다. Ljung-Box Q 검증통계량이 p-value이 0.704로 유의 수준 5%보다 훨씬 크기 때문에 “백색잡음이 독립이다”는 귀무가설을 채택한다. 정상 R 제곱(Stationary R-squared)은 0.864로 나타났으며 계절적 이동평균계수는 -0.345로 나타나 12시차 즉, 1년 주기의 계절형 계열의 특성을 보이고 있다고 판단할 수 있다.

Table 1. ARIMA Model Results

Classification	Statistics								
Fit	Fit Statistic	Stationary R-squared	R-squared	RMSE	MAPE	MaxAPE	MAE	MaxAE	Normalized BIC
	Mean	.864	.813	2.389	0.887	2.767	1.882	8.467	1.810
Model	Model	Number of Predictors	Model Fit statistics		Ljung-Box Q(18)			Number of Outliers	
			Stationary R-squared	Statistics	DF	Sig.			
	Accidents	0	.864	12.571	17	.704	0		
ARIMA Model Parameters	Parameters			Estimate	SE	t	Sig.		
	Accidents-1	Constant		1.582	.085	18.604	.000		
		MA, Seasonal	Lag 1	-.345	.084	-4.087	.000		

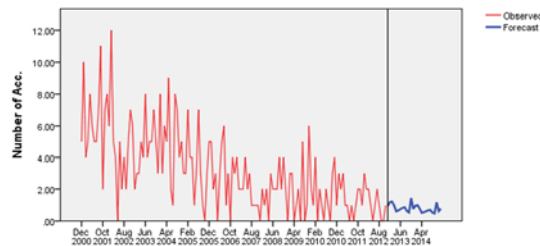


Fig. 8 Short-term Prediction Graph

3. 결론

국내 철도교통사고는 지속적으로 감소하고 있으며 철도안전 선진국수준으로 발전하였다. 사고추세 측면에서는 건널목사고가 열차사고에 비해 매년 높은 수준으로 발생하고 있다. 본 연구에서는 국내 철도 건널목관련 통계 자료를 이용하여 단기적 발생빈도의 예측 및 계절주기의 발생빈도 특성이 있음을 분석하였다. 활용자료 측면에서 시간적 추세흐름과 단순 빈도만을 사용하여 직접적 사고감소 영향요인의 분석에는 한계가 있다. 즉 정책적, 건널목 구조적 변화양상에 대한 시계열적 회귀분석을 통한 모수추정의 연구가 향후 필요하다.

참고문헌

- [1] Mather. R. A (1991) Seven Years of Illumination at Railroad-Highway Crossing, *Transaction Research Record 1316*, pp. 54-58.
- [2] M. Kim, et al. (2009) Development of the Risk Assessment Model for Railway Level-Crossing Accidents by Using The ETA and FTA, *Journal of the Korean Society for Railway*,12(6), pp. 936-943.
- [3] J. Oh, et al. (2005) A Study on Crash Causations for Railroad-Highway Crossings, *Journal of Korean Society of Transportation*, 23(1), pp. 33-44.
- [4] Rail Safety and Standard Board (2002), Guidance on the preparation of risk assessments within railway safety cases, Railway Group Guidance Note GE/GN8561
- [5] Roman Slovak (2007), SELCAT - Concept of level crossing safety performance monitoring, IRSC
- [6] Korea Railway Industry Information Center(<http://www.kric.or.kr>)