

# 철도 건널목 사고의 발생빈도 특성분석 연구

박준태<sup>†</sup> · 강팔문 · 박성호

한국철도협회

(2013. 12. 10. 접수 / 2014. 3. 28. 채택)

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

Jun-Tae Park<sup>†</sup> · Pal-Moon Kang · Sung-Ho Park

Korea Railway Association

(Received December 10, 2013 /Accepted March 28, 2014)

**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

**Key Words :** railroad traffic accidents, level-crossing, time-series, accident frequency, ARIMA

### 1. 서론

철도 선진국에서는 철도건널목 정보화·지능화 연구가 지속되고 있으며 유럽철도안전지침(RSD), ISO/IEC 및 MIL-Std[6-8] 등 국제표준에서 철도안전을 우선시하고 있다. 반면 우리나라는 철도건널목제어 열차위주의 일률적인 차단이 대부분이며, 철도건널목의 안전성에 대한 기술적 발전 투자가 선진국에 비해 상당히 미흡한 실정이다. 또한 철도안전에 대한 관심부족, 열악한 운행환경(관제) 등도 해외 시스템엔지니어링 설계·운영에 비해 뒤떨어져 있는 실정이다. 임의적 발생으로 볼 수 있는 철도사고 특성상 예방차원의 감시체계구축과 다양한 기술개발, 시설개량이 사고감소에 큰 영향을 미치는 것으로 국내에서도 외국과 같이 지속적인 노력이 필요한 시기이다.

국내 철도사고 특성 중 하나로 철도 건널목사고는 열차사고에 비해 큰 폭으로 발생하고 있다. 특히, 인명 피해 사상자가 발생하는 대형사고로 직결된다는 위험

성이 높다. 철도 건널목사고는 열차와 진입차량이 건널목에서 충돌 또는 접촉하는 충돌사고의 한 형식으로서, 인적물적 피해 뿐만 아니라 열차지연에 따른 사회적 손실도 크게 나타나고 있다.<sup>1)</sup> 유럽연합을 중심으로 한 철도선진국은 철도사고의 예측과 기술적응에 따른 철도안전사태 보급에 전념하고 있다.<sup>2)</sup> 우리나라의 경우도 철도안전에 관한 체계적이고 명확한 철도안전체계 정립이 필요하나 철도운영 및 고속열차 개발에 가려 아직까지 구체적이지 못하다.

국내 철도사고(국토해양통계누리)는 2003년 710건에서 2012년 247건으로 지속적인 감소추세를 보였으나, 최근 사고발생 빈도를 살펴보면 향후에는 큰 폭으로 감소하지 않을 것으로 예측할 수 있다. 본 연구에서는 국내 철도사고 유형 중 가장 큰 문제점으로 지적되고 있는 철도 건널목 사고의 발생현황을 살펴보고, 시계열적 특성을 분석하여 국내 철도건널목 사고추세를 분석하였다.

단기적 예측과 계절적 감소형태의 패턴을 파악하였으며 철도안전강화를 위한 철도사고 통계의 개선필요

<sup>†</sup> Corresponding Author : Jun-Tae Park, Tel : +82-2-3487-7923, E-mail : pjt724@naver.com  
Korea Railway Association, 214, Wangsan-no, Dongdaemun-gu, Seoul 130-851, Korea

성을 제시하였다.

## 2. 선행연구 검토

### 2.1. 철도사고관련 문헌 고찰

철도사고에 관한 기존 문헌은 개별사고 위주/인적요인 위주로 요약할 수 있으며 철도건널목 사고빈도에 대한 연구로는 철도 선진국인 유럽과 미국에서 많은 연구가 수행되고 있다.

국내의 경우 과거 철도청(2003)<sup>3)</sup>에서 건널목 구조의 위험요인 분석 및 개량방안에 대해 연구하였으며 건널목의 기하구조 특성과 사고와의 관련성을 알아보고자 하였다. 이는 국외의 연구를 바탕으로 분석이 이루어져 국내실정을 반영하기에는 미흡하다고 할 수 있다. 그 외 교통사고를 분석하거나 예측하는 연구는 전무한 실정이다. 이는 사고당시의 통계자료집계가 단순 발생건수 위주로 구축되어 접근이 쉽지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

강승규(1995)<sup>4)</sup>의 연구에서는 건널목의 종류에 따라 1종 건널목에서는 안내원의 유·무가 사고확률을 결정하는 가장 큰 요인으로 조사되었고, 2종 건널목에서는 열차 속도, 시거, 종단구배, 교차각도, 철도와 도로교통량 및 조명설비 등이 사고확률을 결정하는 변수로 제시하였다.

오주택(2005)<sup>5)</sup>의 연구에서도 건널목의 기하구조자료를 조사하여 사고와의 관련성을 도출하였다. 차량교통량과 철도교통량, 경보시간차, 과속방지턱 등 현장자료를 수집하고 카운트모형(포아송)을 이용하여 사고빈도 영향계수를 도출하였다. 국외에서도 철도건널목 위험요소를 분석하는 Peabody Dimmick모델<sup>6)</sup>과 New Hampshire Index모델<sup>7)</sup> 등이 있다. 그러나 이러한 분석 모델은 단기간 집계자료에 의존 시계열적 고정효과와 랜덤효과 파악을 못하는 한계점이 있다.

### 2.2. 철도사고관련 통계 수집

사고집계 측면에서는 현재 철도사고 및 장애, 사고 원인분석, 사고결과 등 다양한 철도안전과 관련된 정보를 축척하고 있다. 과거에는 철도운영기관별로 자체적으로 관리해왔으나 2004년 제정된 철도안전법으로 인해 과거보다 체계적으로 관리하고 있으나 자료의 공유 및 공개는 아직까지 활발하게 이루어지지 못하고 있다. 또한 사고통계집계방법도 국제기준(UIC)과 달라 국가간 비교도 어려운 실정이다.

유럽연합의 경우 2006년 이후 발생한 철도사고부터는 철도사고에 대한 기준을 통일하여 국가별로 공유하고 공개하고 있다.<sup>8)</sup> 아시아 국가의 경우 철도운영기관

별로 유럽연합과 동일한 절차를 위한 노력이 2011년부터 추진되고 있으며, 이러한 정보공유를 통한 철도안전정보의 효율적 활용을 위한 방안을 모색 중에 있다. 유럽연합의 가입국에서는 철도사고 정보 이외에 선로 파손 및 변형, 신호장애, 차축 및 차륜파손, 기관사의 신호위반 등 대형 사고로 연결될 수 있는 준사고관련 정보를 수집하여 공개하고 있다. 향후에는 단순한 사고 및 장애정보의 공유를 넘어 사고의 원인 및 대책의 효용성에 대한 정보공유로 확대추진을 계획하고 있다. 국내도 이러한 국외추세에 따라 철도사고에 대한 정보 공개가 이루어져야 할 것이며, 이는 철도안전을 제고할 수 있는 방안이라고 판단된다.

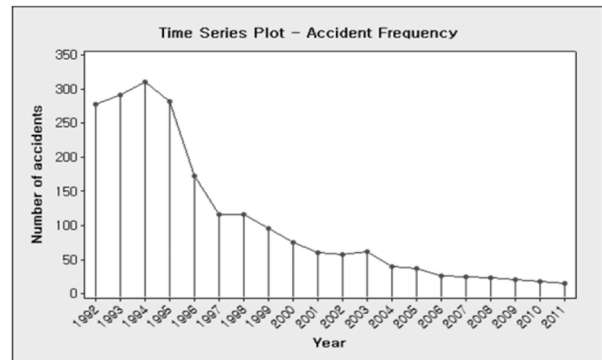
## 3. 건널목 사고 현황

### 3.1. 건널목사고 발생 현황

건널목 사고 발생현황의 특성을 분석하기 위해 철도

Table 1. Annual State of Railroad Level-crossing Accidents

Year	collision accident	minor collision	Derailment	Train Fire	Level crossing
1992	1	0	12	0	278
1993	0	0	13	0	292
1994	2	0	10	0	311
1995	1	0	14	0	282
1996	0	0	5	0	172
1997	0	1	4	0	116
1998	1	0	7	0	116
1999	0	0	6	0	95
2000	0	0	5	0	75
2001	1	0	3	0	60
2002	1	0	1	0	57
2003	1	0	3	0	61
2004	0	0	2	0	39
2005	0	0	4	0	37
2006	0	0	6	0	26
2007	2	0	4	0	24
2008	1	0	4	0	23
2009	0	0	3	0	20
2010	0	0	2	0	17
2011	0	0	2	0	14



Railroad Level-crossing Accidents

산업정보센터(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.

즉, 건널목사고의 발생빈도 감소율은 높은 수치이나 전체사고에서 차지하는 구성비는 매년 가장 높은 수준으로 건널목사고의 집중 개선이 열차사고를 큰 폭으로 감소시킬 수 있는 요인이 될 수 있다고 할 수 있다.

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

### 3.2. 월별 사고 현황

과거 사고발생 자료를 바탕으로 분석한 결과, 겨울철

의 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.

겨울철 철도건널목에서 도로이용자 자동차의 시동 꺼짐 및 미끄러짐(음영영향) 등 알려진 위험요소 외 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.

Fig. 2는 1992년 1월부터 2012년 12월까지의 월별 건널목사고의 발생 플롯이며, Fig. 3은 겨울철과 여름철의 사고발생 차이분석 결과이다.

월별 발생특성에 대한 분석 전 건널목 사고에 대한 연도별 단기에측을 알아보았다. 앞서 살펴본 바와 같이

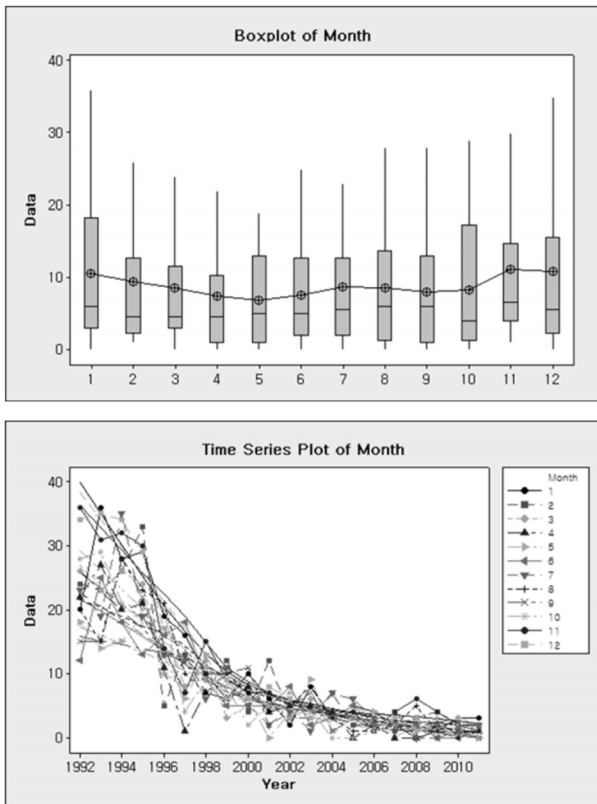
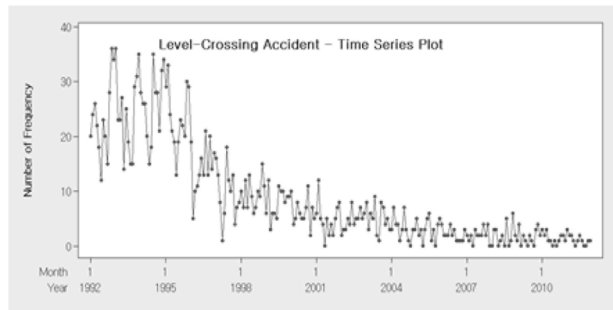
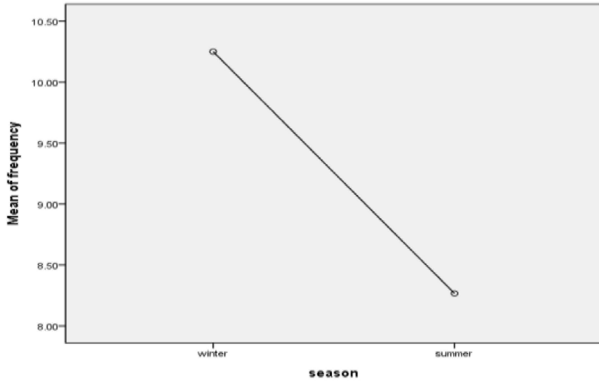


Fig. 1. Monthly Accident Frequency of Railroad Level-crossing



classification	Mean	Std. Dev.
Jan	10.55	10.58
Feb	9.4	9.62
Mar	8.5	8.82
Apr	7.35	8.39
May	6.85	6.28
Jun	7.55	7.16
Jul	8.65	9.18
Aug	8.6	8.41
Sep	8.05	7.9
Oct	8.3	9.63
Nov	11.15	11.45
Dec	10.8	12.11

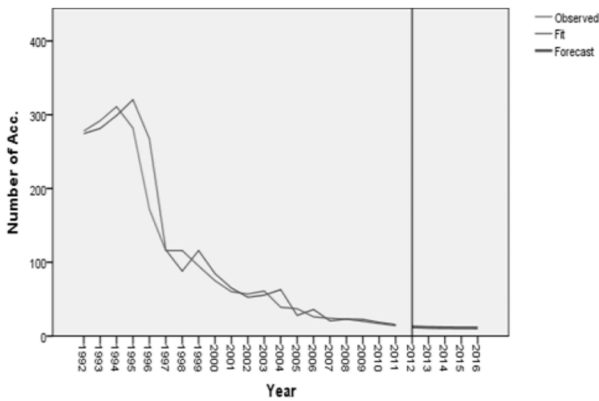
Fig. 2. Average Frequency of Railroad Level-crossing per month



classification	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	118.00	1	118.00	3.77	0.028
Within Groups	10628.98	118	32.07		
Total	10746.99	119			

Fig. 3. Seasonal Variance Analysis Results of Frequency Difference of Railroad Level-crossing

건널목 사고빈도는 하향감소 추세의 비정상 시계열 형태이다. 단기예측은 지수평활법(exponential smoothing method)을 이용하여 모수를 추정하였으며 2000년 이전 감소폭이 큰 변화량의 가중치를 지수함수적으로 감소시키고 가까운 과거에 큰 가중치를 부여(진폭감소)하기 위함이다. 모수추정 결과  $\alpha=0.701$ 로 나타났으며 2014년부터 2016년까지 11건으로 예측되고 있다. 즉, 과거의



Model Statistics							
Model	Number of Predictors	Model Fit statistics		Ljung-Box Q			Number of Outliers
		Stationary R-squared	Statistics	DF	Sig.		
Accidents Forecast	0	.076	17.254	17	.437	0	

Model		Estimate	SE	t	Sig.
Accidents Forecast	Alpha (Level)	.701	.114	6.017	.000

Fig. 4. Exponential Smoothing Result(Short-term prediction)

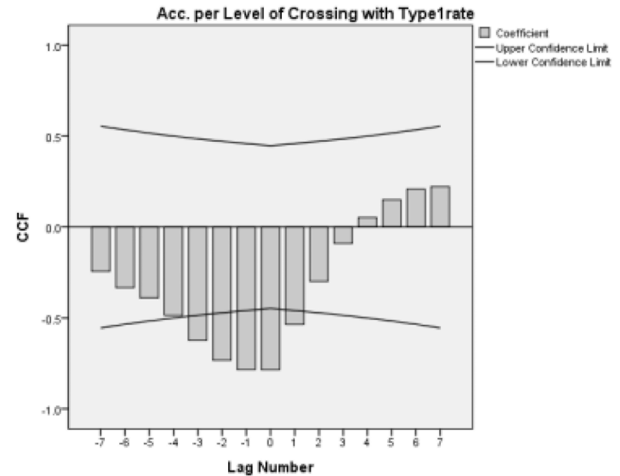
패턴으로 단기적 예측을 실시한 결과, 철도건널목사고는 10여건으로 예측되며, 과거와 같은 5% 이상의 큰 감소율은 보이지 않을 것으로 판단된다.

#### 4. 철도건널목 사고 시계열 분석

##### 4.1. 건널목 유형 교차상관

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

먼저 1992년 건널목(평균) 개수는 2,010개소이며 개소당 0.13건/연의 사고가 발생하였으며, 2011년에는 총 1,219개소에 개소당 0.01건이 발생하여 큰 폭의 사고감소가 이루어진 것으로 볼 수 있다. 건널목 유형 중 1종 건널목의 비율은 1992년 29.9%로 나타났으며 2011년에



Lag	Cross Correlation	Std. Error
-5	0.15	0.258
-4	0.051	0.25
-3	-0.091	0.243
-2	-0.297	0.236
-1	-0.536	0.229
0	-0.785	0.224
1	-0.784	0.229
2	-0.733	0.236
3	-0.623	0.243
4	-0.485	0.25
5	-0.389	0.258

Fig. 5. Autocorrelation and Partial Autocorrelation Graph

는 89.17%로 과거 건널목이 상당수 입체화되거나 1종으로 개량 또는 철거된 것으로 판단된다.

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.

#### 4.2. 건널목 사고빈도예측 시계열 모형 개발

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 사고감소의 안정화 시기인 2000년 이후 월별데이터를 활용하였으며, 자기상관 및 편자기상관 그래프를 작성, 계절성이 존재하는 것으로 판단된다. 2000년을 중심으로 사고감소의 변곡점을 계산할 수 있으며 본 분석의 분석기간 시점으로 설정하였다.

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 상관계수가 유의한 것으로 나타나 모형 개발에서는 MA(moving-average)를 고려해야 할 필요가 있다.

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

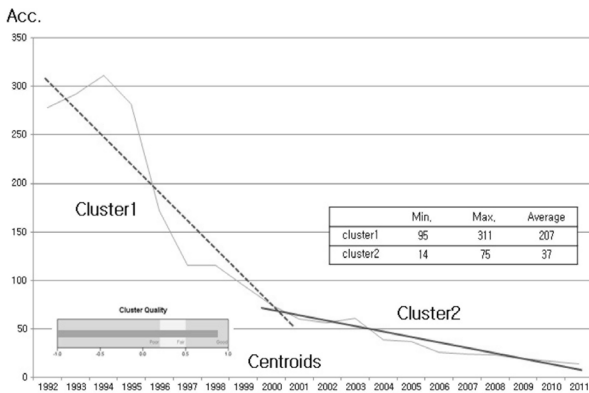


Fig. 6. Stabilization Period of Accident Reduction

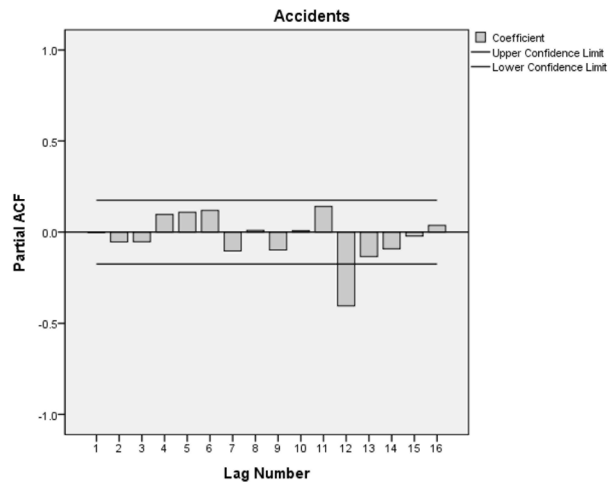
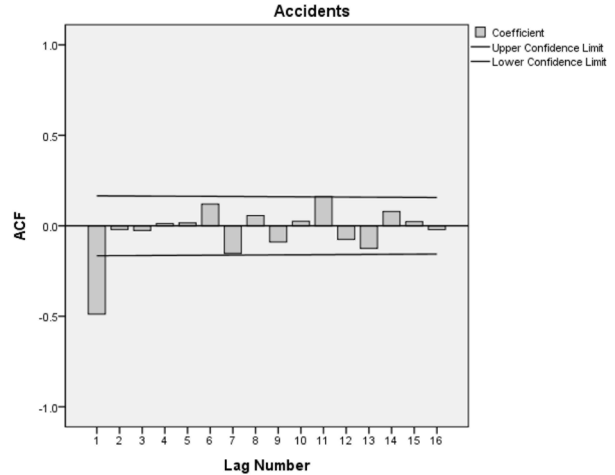


Fig. 7. Monthly Accident Frequency of Railroad Level-crossing

0.704로 유의수준 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. 즉, 국내 철도건널목 사고는 감소추세를 보이며 계절성 또한 내포하고 있는 것으로 나타났다.

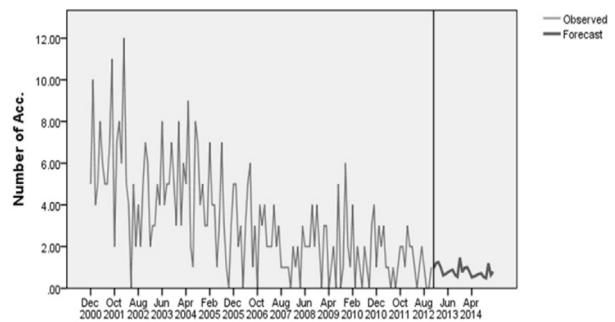


Fig. 8. Short-term Prediction Graph

Table 2. ARIMA Model Results

Classification	Statistics					
Fit	Fit Statistic	Stationary R-squared	R-squared	RMSE	Normalized BIC	
	Mean	.864	.813	2.389	1.810	
Model	Model	Model Fit statistics	Ljung-Box Q			Number of Outliers
		Stationary R-squared	Statistics	DF	Sig.	
	Acc.	.864	12.571	17	.704	0
ARIMA Model Parameters	Parameters		Estimate	SE	t	Sig.
	Constant		1.582	.085	18.604	.000
	MA, Seasonal	Lag 1	-.345	.084	-4.087	.000

### 5. 결론

국내의 경우 선진국에 비해, 철도건널목 안전성 분석에 대한 신뢰할 수 있는 방법론이 부재한 상태이며, 안전전문가에 의한 주관적인 방법에 의해 안전성 평가가 주를 이루고 있다. 이는 보다 체계적이고 시스템적인 사고관리 통계가 집계되지 못하고 있기 때문으로 건널목사고의 구조적 문제점을 파악하기에는 한계점으로 작용할 수 있다.

정량화된 통계집계 미구축의 한계점은 바로 국내 건널목사고의 대부분을 운전자 과실로 처리한다는 점에서 알 수 있다. 시설의 설치현황, 도로의 구조 등 사고원인을 규명할 수 있는 다양한 변수들이 통계DB로 구축되지 않아 이러한 문제점들을 해결하는데 상당한 어려움이 있다고 할 수 있다. 본 논문에서도 이러한 한계점으로 사고발생 자체의 목적변수만 활용하였다는데 한계점이 있다. 즉, 사고의 직접적 감소효과에 영향을 미친 팩터를 찾지 못하고 단기적 감소추세만 살펴볼 수 있었다.

열차는 큰 중량과 큰 출력을 가지고 있는 반면에 가감속이 매우 느리다. 이는 철로와 대차가 모두 쇠로 되어 있기 때문에 마찰력이 약하기 때문이다. 도로와 철로가 교차하는 철도 건널목에서 열차는 건널목 물체 때문에 정지하는 것은 불가능하다. 즉 사람과 건널목 이용 차량이 피해야 한다. 철도건널목 사고가 치사율이 높은 대형사고이고, 2000년대에 들어와 고속철도 시대가 열리고 철도안전의식이 나날이 높아지는 만큼 철도건널목의 입체교차화가 매년 시행되고 있으며 직접적인 사고감소 영향으로 판단할 수 있다.

국내 철도교통사고는 지속적으로 감소하고 있으며 철도안전 선진국수준으로 발전하고 있다. 이러한 사고감소에 영향을 주는 변수를 찾아내고 효과크기에 따른 투자확대가 필요한 시점이다.

영국의 경우 철도에 적용하는 안전대책의 대부분은 단시간에 효과가 나오기 보다는 장시간의 투자가 요구되는 경우가 많으며 사고예방을 위해 한가지 대책만을 적용하기 보다는 다수의 대책을 동시에 적용하고 있다. 국내의 경우도 사고원인을 인적요인인 부주의에서 찾기보다는 철도사고의 체계적관리, 사고원인의 통계DB화를 통해 구조적 접근을 실시해야 할 것이다.

본 연구에서는 국내 철도 건널목관련 통계 자료를 이용하여 단기적 발생빈도의 예측 및 계절주기의 발생빈도 특성이 있음을 분석하였으며, 활용자료 측면에서 시간적 추세흐름과 단순빈도만을 사용하여 직접적 사고감소 영향요인의 분석에는 한계가 있다. 즉 정책적, 건널목구조적 변화양상에 대한 시계열적 회귀분석을 통한 모수추정의 연구가 향후 필요하다.

### References

- 1) M. S. Kim, "Development of the Risk Assessment Model for Railway Level-Crossing Accidents by Using The ETA and FTA", Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 12, No. 6, pp. 936-943. 2009.
- 2) S. R. Kwak, "A Study on Setting Up National Railway Safety Target", Railway Journal, Vol. 14, No. 3, pp. 295-299. 2011.
- 3) J. T. Oh, "Risk Assessment for Railway Related Accidents in Korea", Railway Journal, Vol. 2, No. 23, pp. 99-106, 2004.
- 4) S. K. Kang, "Developing An Accident Prediction Model for Railroad-Highway Grade Crossings", Journal of Korea Transportation Research Society, Vol. 27, pp. 43-58, 1995.
- 5) J. T. Oh, "A Study on Crash Causations for Railroad-Highway Crossings", Journal of Korea Transportation Research Society, Vol. 23, No. 79, pp. 33-44, 2005.
- 6) S. Washington, "Validation of the FHWA Crash Models for Rural Intersection", FHWA-RD-03-037, 2005.
- 7) NCHRP Report 50 "Accident Prediction Formula", Railroad-Highway Grade Crossing Handbook - Revised Second Edition August, 2007.
- 8) C.W. Park, "A Study on the utilization of Railway Accident Data", The Korean Society for Railway Conference, 2013.