

■ 論 文 ■

베이지안분석을 이용한 철도건널목 Accident Modification Factors (AMF)에 관한 연구

Analysis of Accident Modification Factors (AMF) for Roadway-Rail Grade Crossing Accidents with Bayesian Method

오 주 택 (교통개발연구원 책임연구원) **최 재 원** (대한주택공사 강원지역본부) **박 동 주** (공주대학교 건설환경공학부 조교수)

목 차

- I. 서론
- II. 선행연구의 검토
 - 1. Accident Modification Factor(AMF) 관련 선행연구
 - 2. 개선대안 문헌고찰
 - 3. 베이지안 통계분석 이론고찰
- III. 베이지안 통계기법을 적용한 개선대안 분석방법론 개발
- IV. 분석결과
 - 1. 베이시안 분석 선정단계
 - 2. 공학적 평가단계
 - 3. 평가 및 결과 분석
- V. 결론
- 참고문헌

Key Words : 베이지안 통계분석, 개선대안, Accident Modification Factor, Kormogorov-Smirnov 동질성검정, 철도 건널목 사고

요 약

본 논문에서는 철도건널목에서 일어나는 사고를 줄이기 위해 새롭게 시도되는 개선대안(Countermeasure)들의 안전성 및 효율성을 베이지안 분석방법론을 이용하여 안전전문가들의 평가결과를 정량화 시키는 방법론을 제시하였다. 이를 위해 전문가 개개인의 사전지식에 논리에 기초한 정보를 제공할 수 있는 개선대안 분석방법론을 개발하였다. 분석방법론은 우선적으로 철도건널목 안전성을 향상 시킬 수 있는 개선대안 선정, 개선대안을 평가 할 전문가 선정, 그리고 개선대안의 AMF를 평가하기 위한 건널목 사고를 선정하였다. 다음 단계로 안전전문가가 공학적인 개선대안 평가를 수행할 수 있도록 사고이력메뉴얼과 개선대안 평가메뉴얼을 개발하였다. 마지막 단계로, 평가된 개선대안의 통계적 검정을 통해 합리적 AMF를 추출함에 따른 정량화된 안전도를 나타내었다. 개선대안의 통계적 검정은 비모수통계분석의 일종인 Kolmogorov-Smirnov(K-S)동질성 검정을 적용하였으며, 그 결과 안전전문가 개 인간의 분포는 동일한 분포를 나타내지 않는 경우가 많이 발생하였다. 반면 개인과 그룹의 분포는 대부분 동일한 분포를 하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 철도건널목 개선대안의 AMF값은 전문가 개개인이 평가한 값을 전체적으로 평균한 값을 사용함이 타당한 것으로 연구되었다.

본 논문에서 보여주는 AMF의 정량화과정은 철도건널목에서 뿐만 아니라, 교차로 및 도로구간에서 추후 시도되고자 하는 개선대안들의 안전성 평가에도 사용 가능하리라 판단된다.

I. 서론

철도건널목사고는 일반 도로사고보다는 상대적으로 사고의 발생도는 적으나, 사고의 심각도면에서는 대형사고로 연결될 수 있다는 점에서 철도건널목에서의 안전성 확보는 결코 소홀히 다루어질 수 없다. 철도건널목에서 철도사고를 줄이기 위해서는 건널목 차단기술의 향상, 인접교차로와의 신호연계 등 다양한 안전성관련 수단들을 시도해야 하는데, 이렇게 안전성 향상을 위해 추구되는 다양한 시도들을 일반적으로 Accident Reduction Factors (ARF) 혹은 Accident Modification Factors (AMF)라고 정의한다.

교통안전전문가들은 안전관련 시스템의 효율성을 평가하는데 ARF 또는 AMF를 많이 이용한다. 이상적인 ARF 또는 AMF의 개발은 사전-사후(Before-After) 분석을 통한 개선대안(Countermeasure)의 효율성 평가가 바람직하지만, 때로는 포아송(Poisson) 이나 음이항 모형(Negative Binomial Regression)의 회귀계수(Regression Coefficients)에서도 ARF 또는 AMF를 도출해낸다. 그러나 ARF 또는 AMF의 개발에 있어서 통계적인 결과를 도출해 낼 수 없거나 도출된 결과에 대해서 믿을 수 있는 신뢰를 줄 수 없는 결과가 상당수 발생할 수 있다. 즉, 연구를 진행함에 있어 연구자가 시도하고자 하는 개선대안에 대한 안전성 및 효율성 평가가 시간적 또는 예산상의 문제로 인해 정량화가 어려운 경우가 발생할 수 있다. 이러한 경우, 사고분석에 있어서 사고의 원인을 분석하는 전문가는 사고의 근본적인 원인을 이해하고 있다는 측면에서, 안전전문가에 의한 주관적인 평가는 교통안전분야에서 중요한 역할을 한다.

그러나 안전전문가의 주관적인 평가에 의존한 사고분석은 판단결과를 정량화 시키는데 많은 어려움을 나타낼 수 있으며, 이는 결과적으로 신뢰할 수 있는 AMF의 개발에 제약으로 작용한다. 최근 교통안전분야의 동향을 살펴볼 때 AMF의 개발에 있어서 이러한 문제점을 해결하기 위해 다양한 노력들을 시도하고 있는데, 최근 미국에서 활발하게 연구가 이루어지고 있는 Interactive Highway Safety Design Model (IHSDM)의 개발이 이를 대표하는 좋은 사례라 할 수 있을 것이다. 이 연구에선 경험적 베이지기법 (Empirical Bayes' Method)을 통해 전문가의 의견을 수렴한 AMF 개발의 예들을 많이 제시하고 있다. 그러나 경험적 베이지 절차는 기존

의 사고이력 등 추가적인 자료를 요구할 뿐 아니라, 이 방법론의 사용에 있어서 많은 기술적인 어려움을 나타냄으로써 실제 사용에 있어서 많은 제약을 갖는다.

반면, 경험적 베이지 절차의 근간을 이루고 있는 베이저안 통계분석 기법은 기존의 연구결과에 기초한 전문가의 주관적인 평가를 정량화시킨다는 점에서 AMF 개발에 보다 수월한 접근을 가능케 한다. 이는 AMF에 관하여 많은 정보들이 신뢰할 수 없거나 존재하지 않을 시 이루어져야 하는 안전전문가의 주관적인 안전성평가를 베이저안 통계분석 기법을 통해 평가결과를 정량화 시킴으로써 새로운 안전모델의 개발 및 응용을 가능케 한다는 점에서 사고분석에 중요한 의미를 갖고 있다.

본 논문에서는 철도건널목에서 일어나는 사고를 줄이기 위해 새롭게 시도되는 개선대안들의 안전성 및 효율성을 베이저안 통계분석 기법을 통해 안전전문가들의 평가결과를 정량화 시키는 과정을 보여준다. 본 연구를 위해서 Melcher et al.의 연구에 기초한 연구수행의 방법론을 새롭게 개발하여 11명의 안전전문가들을 통해 차량 대 열차사고를 줄이기 위해 시도되는 18개의 개선대안에 적용함으로써, 각 개선대안에 대한 정보가 없거나 부족 시 AMF의 개발을 위해 이루어져야 할 새로운 방법론을 제시한다.

II. 선행연구의 검토

본 단원에서는 AMF 개발을 위해 이루어진 선행연구들의 결과와 본 연구에서 제시하는 18개 개선대안의 문헌고찰 그리고 본 연구의 기본 방법론인 베이저안 분석론에 대한 이론적 측면을 검토한다.

1. Accident Modification Factor (AMF)관련 선행 연구

Harwood et al.(2000)은 2차로 지방부 도로 중 3지 그리고 4지 정지표지로 통제되는 교차로와 4지 신호교차로에서 발생하는 차량 사고의 빈도와 심각도를 통계적 분석을 통해 분석함에 있어 교통류만을 고려한 기본모델인 Y_0 와 각 교차로 및 도로구간 특성을 반영한 AMF, 그리고 각 분석 지역의 개별적 특성을 반영한 교정값 C_r 로 모델을 구성하여 차량 사고를 분석하였는데, Harwood et al.에 의해 제시되는 AMF는 주로 안전 전문가 집단의 자문을 토대로 개발되었다.

Harwood et al.에서 제시되는 사고 모델의 기본형태는 다음과 같다.

$$Y = Y_b C_r (AMF_{1r} AMF_{2r} \dots AMF_{nr}) \quad (1)$$

Craig et al. (2003)에서는 기존 AMF 추정 시 Before-After 방법을 통해 산출을 가장 바람직한 방법으로 정의하고 있으나, Data 부족 시 기존의 Before-After 방법을 통해서 AMF를 개발할 수 없는 한계를 언급하고 교통량, 도로기하구조 및 사고발생 예측에 영향을 미치는 변수 등을 고려한 새로운 AMF 산출 방법론을 제시하고 있다. Craig et al.은 AMF를 개발함에 있어 기본 모델 Y_b 를 구성하기 위한 기본기하구조 조건들이 만족되었을 경우, 다음의 식을 새롭게 제시함으로써 AMF 산출을 산출하도록 하고 있다.

$$AMF = \frac{Y}{Y - \beta} \quad (2)$$

Hauer, E. (1997)는 AMF 산출과 관련하여 구체적인 개선대안 적용 이전의 안전도와 적용한 이후의 안전도에 대한 비율을 통해 나타내는 방법론을 제시하였다.

$$\theta = \frac{S_A}{S_B} \quad (3)$$

θ : AMF (Accident Modification Factor)

S_B : 개선대안을 적용하기 전의 안전도

S_A : 개선대안을 적용한 후의 안전도

Melcher et al. (2001)은 같은 개선대안에 대한 평가 대상지역에 따라 달라짐에 따라 효과적인 AMF 산출의 어려운 문제점을 개선하기 위하여 베이지안 방법론을 적용하여 사고 환경이 서로 다른 사고 발생지점에 대한 합리적인 AMF를 산출할 수 있는 연구를 수행하였다. Melcher et al.에서는 우선적으로 전문가는 추돌된 사고와 관련하여 개선대안 효과정도를 평가하며, 전문가 개개인에 따른 사전지식에서 발생하는 오차를 줄이기 위한 방안으로 전문가 그룹에 의한 평가 결과의 평균값을 최종 AMF값으로 사용함이 타당함을 통계적 분석을 통해 확인하였다.

2. 개선대안(Countermeasure) 문헌고찰

철도건널목에서 발생하는 사고를 줄이기 위하여 본

연구에서는 철도건널목에서 평가되어 질수 있는 경보종시점과 차단기 작동 시점의 시간차의 재설정, 정시간 제어방식 도입, 지장물 검지장치의 설치 등 18개 개선대안 선정과 관련한 몇몇 연구 및 문헌고찰을 간략히 살펴보면 다음과 같다.

조봉관(2002)은 건널목에 초음파 지장물 검지장치를 설치함으로써 입구측 차단기와 출구측 차단기 사이에 차량의 고립여부를 검지하여 하강중이거나 하강이 완료된 출구측 차단기를 정지 및 상승 시킴에 따른 건널목 안전성을 향상시킬수 있음을 소개하였다.

이재식(2002)은 차량내 추돌 경고 시스템의 효과에 관한 연구에서 추돌 가능 상황을 시뮬레이션을 통해 인위적으로 재현한 후, 다섯 가지 유형의 추돌 경고 시스템 조건들과 통제 조건에서 관찰한 운전자의 추돌 회피 효율성을 비교/분석하였다.

Carroll et al(2002)은 철도건널목에 위반차량을 검지하기 위한 장치를 설치한 결과 6개지역에서 위반 감소율이 34%에서 92%까지임을 보여줌에 따라 위반차량 검지 장치의 설치는 건널목 안전성을 향상시킬수 있음을 보여주었다.

Heathington et al(1990)은 철도건널목상에서 사전-사후분석을 통하여 4분할 차단기 설치후 일반형 2분할 차단기 설치시 나타난 위반차량의 수가 감소함을 보여주었으며, 또한 건널목상에 마지막 차량이 횡단한 후 열차가 도착한 시간 차이의 경우 4분할 차단기 설치후 증가되었음을 보여주었다.

Richards et al(1990)은 열차를 검지하는 정거리 제어 방식에 비하여 정시간 제어 방식은 평균 열차 경고시간을 줄이며, 경고등 작동후의 위반차량 수가 감소함을 보여주었으며, 이에따라 건널목 안전성을 향상시킬 수 있음을 보여주었다.

Coleman III et al(1996)은 건널목에서 4분할 차단기의 경보종시점 후 작동시간까지의 시간차이와 앞차단기 동작시점과 뒷차단기 동작시점까지의 시간차이 설계와 관련하여 딜레마 존의 개념을 적용하여 차량이 건널목을 안전하게 빠져 나갈 수 있는 차단기 작동 시간 설계에 관한 연구를 수행하였다.

이외에도 본 연구에서 제시한 개선대안 선정 항목과 관련하여 미 연방교통국에서 발간한 'The Railway-Highway Grade Crossing Handbook', 'MUTCD' 결과 및 효과 그리고 국내 연구사례 등을 파악하였다.

3. 베이지안 통계분석 이론고찰

베이지안 분석 방법론은 주관적인 견해와 기존의 사전지식을 결합하여 의사결정에 유용한 사후 결과를 산출하는 방법으로 1950년 이래로 경제학, 경영학, 통계학, 의학 등의 많은 학문분야에서 괄목할 만한 성과를 창출한 통계학적 기법이다. 베이스 정리의 기본 원리는 사건 A가 일어날 확률을 P(A)라 하고 사건 D가 일어날 확률을 P(D)라 하면 통계학에서 P(A/D), P(D/A)을 동시에 포함하여 하나의 조건부 확률에 의해 다른 하나의 조건부확률을 구하는 문제가 많이 다루어지며

$$P(A \cap D) = P(D \cap A) \quad (4)$$

$$\text{조건부 확률 정의에 의해 } (P(D/A) = \frac{P(A \cap D)}{P(A)})$$

$$P(A)P(D/A) = P(D)P(A/D) \quad (5)$$

가 되며, 이를 P(A/D)로 정리하면

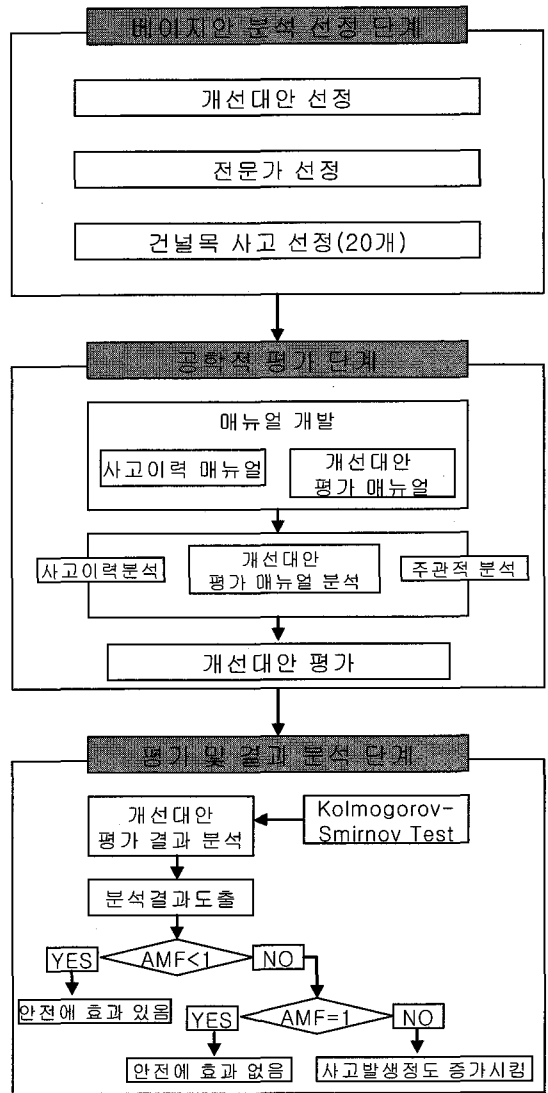
$$P(A/D) = \frac{P(A)P(D/A)}{P(D)}, P(D) > 0 \quad (6)$$

P(A/D)를 구하기 위해서는 P(D/A)외에 P(A)가 필요하며, P(A)를 사전확률, 베이스 정리에 의해 얻은 P(A/D)를 사후확률이라 한다.

교통안전분야에서 베이지안 통계분석방법론이 본격적으로 적용되기 시작한 것은 Ezra Hauer부터이며, 이후 여러 연구자들에 의해 도로 안전성 문제평가에 적용하기 시작하였다. Pruzek(1997)는 사후지식을 얻기 위한 방법의 하나로 전문가 평가와 기존연구의 결합을 통한 베이지안 추론 방법론의 적절성을 언급하였으며, Georgia Institute of Technology는 기존 연구 결과에 기초한 AMF를 결정하기 위하여 베이지안 안전성 평가 방법론을 개발 적용하였다.

III. 베이지안 통계기법을 적용한 개선대안 분석 방법론 개발

본 연구는 베이지안 통계분석 기법을 적용하여 합리



〈그림 1〉 본 연구의 개선대안 평가 방법론

적인 개선대안의 AMF 추출하는 방법을 개발한다. 이를 위해 본 연구에서 시도하는 연구방법론은 크게 3 단계로 나누어지는데, 우선 1단계로 철도건널목 안전성을 향상 시킬 수 있는 개선대안 선정, 개선대안을 평가할 전문가 선정, 그리고 개선대안의 AMF를 평가하기 위한 철도건널목사고 선정과정 등이 필요하다. 다음 2 단계로 안전전문가가 공학적인 개선대안의 평가를 수행할 수 있도록 사전 지식을 주는 매뉴얼 개발과정이 필요하다. 마지막 단계로, 평가된 개선대안의 통계적 검정을 통해 합리적 AMF를 추출함에 따른 정량화된 안전도를 나타낸다. 〈그림 1〉은 본 연구의 수행방법론을 나타내고 있다.

1. 베이지안 분석 선정단계

베이지안 분석 선정단계는 앞에서 언급한 것과 같이 철도건널목 안전성 증진에 효과가 있을 개선대안 선정, 개선대안을 평가할 전문가 선정 및 건널목 사고 선정의 3단계로 나누어진다

1) 개선대안 선정

본 연구에서는 철도건널목을 도로부문, 건널목 운영 부문, 그리고 건널목 안전설비부문으로 나누어, 각 부문에서 건널목의 안전성을 향상시킬 수 있다고 판단되는 세부 개선대안 18개를 기존 문헌조사를 통해 선정하였다. 한 예로 '정시간 제어방식 도입'의 경우, 기존의 국내 건널목제어가 채택하고 있는 정거리 방식의 문제점을 개선할 수 있는 방식으로 국외의 연구결과(Richards et al)를 토대로 건널목 운영의 효율을 높일 수 있는 개선대안에 포함시켰고, 과속방지턱 및 가시거리제한 지장물 제거 등은 미 연방교통국의 *the Railway-Highway Grade Crossing Handbook*에서 권고하는 시설물 설치항목으로, 역시 도로부문의 안전

〈표 1〉 본 연구에서 선정한 18개의 개선대안

Category	개선대안
도로부문	1. 과속방지턱 설치 및 개선
	2. 철도건널목의 도로구배 제거
	3. 철도와 도로 교차 시 직각에 가까운 교차각 설치
	4. 열차가시거리제한 지장물 제거
	5. 건널목 가시거리제한 지장물 제거
건널목 운영부문	6. 기존 표지 및 설치기준에 근거한 전방 50~120m지점의 예고 표지 설치
	7. 일시정지 표지(224호)의 설치 기준(15~20m)에 근거한 재설치
	8. 정시간 제어방식 도입
	9. 경보종 시점과 차단기 작동 시점의 시간차인 Time delay의 재설정
	10. 4분활 차단기의 앞/뒤차단기동작시점의 Time Interval 재설정
	11. 열차 접근 시 인접교차로와의 교통신호 연계
건널목 안전설비 부문	12. 지장물 검지장치의 설치
	13. 보행자 차단기 설치
	14. 4차로 이상 도로의 4분활 자동차단기 설치
	15. 4차로 미만 도로의 장대형 2분활 차단기 설치
	16. 조명장치 설치 및 기존제시 장치의 기능 향상
	17. 위반차량 검지장치 설치
	18. IVW(In-Vehicle Warning) System 설치

성을 향상시킬 수 있다고 판단되어 개선대안에 포함시켰다. 〈표 1〉은 본 연구에서 선정한 18개의 개선대안을 나타내고 있다.

2) 전문가 선정

Melcher et al.(2001)에 의하면 개선대안의 안전성을 평가할 전문가의 수는 각 개인에 따른 주관적인 견해에 의한 오차를 최소화하기 위하여 최소 4명 이상 구성할 것을 추천하고 있다. 본 연구에서는 개선대안을 평가할 전문가 구성을 교통안전분야의 연구경험이 있는 석사학위 이상 9명, 철도분야 학사 취득 후 철도안전관련 실무 2년 이상 경력을 가진 2명, 총11명의 전문가가 개선대안을 평가하게 된다. 〈표 2〉는 본 연구에서 선정된 전문가들의 직업 및 학위관련 사항을 나타내고 있다.

〈표 2〉 선정된 전문가의 직업 및 학위관련 사항

직업	학위
교통개발연구원 책임연구원	박사
교통개발연구원 책임연구원	박사
교통개발연구원 책임연구원	박사
교통개발연구원 책임연구원	박사
교통개발연구원 책임연구원	박사
교통개발연구원 책임연구원	박사
교통개발연구원 연구원	석사
대학 교수	박사
대학원생	석사
철도 관련 업체 차장	석사
철도 관련 업체 과장	학사

3) 사고자료 선정

본 연구에서 추구하는 분석의 핵심은 철도건널목에 있어 차량 대 열차사고와 관련한 개선대안의 효과 정도를 평가하는 것이다. 이를 위해 본 연구에서는 1998년부터 2002년까지의 5년간 국내 철도건널목에서 발생한 철도건널목 사고의 전수를 수집하여, 이 중 20개의 건널목사고를 추출하였다. 사고자료 선정을 위해 본 연구에서는 무작위 추출(Random Selection)을 실시하였으며, 이는 철도건널목사고의 분석을 위한 전문가 평가의 일관성 유지와 작은 표본 수(Sample Size)에서 발생하는 오차를 줄이기 위함이다. 〈표 3〉은 본 연구에서 무작위 추출된 건널목 관련 사고 내용을 나타내고 있다.

〈표 3〉 무작위 추출된 사고

사고번호	발생년도	노선	관계열차	사고원인
1	1998	장항선	무궁화열차	차량운전 부주의
2	1998	충북선	무궁화열차	차단기 강하 직전 차량의 진입
3	1999	충북선	통일호열차	열차진입 직전 차량횡단
4	1999	호남선	무궁화열차	차단기 하강중 차량횡단
5	2001	호남선	새마을열차	오토바이 운전자의 직전횡단
6	2002	호남선	무궁화열차	후진 중 열차에 접촉
7	2002	경원선	통일호열차	차량의 차단기 돌파
8	2002	경부선	새마을열차	직전횡단/진입 후 후진중 접촉
9	1998	경의선	통일호열차	차량의 일시정지 무시
10	1998	경부선	새마을열차	승용차 건널목 내 정차
11	1999	경부선	무궁화열차	화물차 건널목 내 정차
12	2001	경북선	무궁화열차	차량의 차단기 돌파
13	2000	경원선	통일호열차	차량의 차단기 돌파
14	1999	호남선	무궁화열차	직전횡단/진출 차단기 앞 정차
15	2000	장항선	무궁화열차	직전횡단
16	2001	장항선	화물열차	직전횡단/ 경보동작 중 진입
17	2001	경원선	통일호열차	차량의 일시정지 무시
18	2002	경원선	통일호열차	차단기돌파/보판에 빠짐
19	2001	장항선	무궁화열차	화물차 건널목 내 정차
20	2001	경춘선	통일호열차	눈길로 인한 화물차의 미끄러짐

2. 공학적 평가 단계

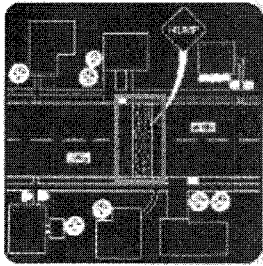
전문가의 공학적 개선대안 평가를 돕기 위한 방안으로 다음의 3가지 개발을 수행하였다.

- 본 연구에서 선정된 18개 개선대안의 정의 및 기

존연구결과 내용을 포함하는 개선대안 평가매뉴얼 (Evaluation Manual) 개발;

- 20개의 단순(Random) 추출된 건널목사고와 관련하여 사고 상황을 전문가가 쉽게 이해 할 수 있도록 기술한 사고이력매뉴얼 개발;

〈표 4〉 과속방지턱 평가 매뉴얼 내용 구성

항목	내용
정의	■ 도로구간에서 통행차량의 과속주행을 방지하고, 일정 지역에 통과차량의 진입을 억제하기 위하여 설치하는 시설
설치장소	■ 낮은 속도로 운영하는 것이 바람직하며 합리적인 장소에 설치함 ■ 집산 및 국지도로의 기능을 가진 도로구간에 도로·교통상황과 지역 조건 등을 종합적으로 검토하여, 도로관리청이 필요하다고 판단되는 장소에 한하여 최소로 설치함
기존 연구결과	■ 밴쿠버의 과속방지턱 설치 전과 후의 85% 차량 속도 분석을 통한 결과 평균 11km/hr의 속력이 줄어드는 것으로 나타남 ■ 외국의 경우 speed hump 폭을 기준한 12-foot hump와 14-foot hump의 효과를 측정된 결과를 살펴보면 다음과 같음 ▶ 12-foot hump 설치 결과 1) 179개 지점 대상 85% 통행속도 변화: 35 mph → 27.4mph, 평균 22% 감소 2) 49개 지점 대상 사고 변화: 2.7건/년 → 2.4건/년, 평균 11%의 감소 ▶ 14-foot hump 설치 결과 1) 15개 지점 대상 85% 통행속도 변화: 33.3 mph → 25.6mph, 평균 23% 감소 2) 5개 지점 대상 사고 변화: 4.4건/년 → 2.6건/년, 평균 41%의 감소
관련이미지	

- 제시된 개선대안 평가매뉴얼 및 사고 이력 매뉴얼을 읽고 각 전문가가 개선대안에 대한 효과정도를 평가할 평가양식 개발

1) 개선대안 평가매뉴얼 개발

개선대안 평가매뉴얼(Evaluation Manual)은 개선대안에 대한 전문가의 주관적(Subjective) 지식에 여러 다른 장소와 상황에 따른 개선대안 효과를 평가할 수 있는 논리적인 자료 역할을 하며, 개선대안 각각에 대한 정의, 적용 사용 환경, 그리고 기존 연구 결과 및 효과를 제시한다. 전문가들은 본 매뉴얼을 우선적으로 읽고 추출된 사고와 관련하여 개선대안 각각을 분석하게 된다. <표 4>는 본 연구에서 선정한 18개의 개선대안 중 과속방지턱에 대한 평가 매뉴얼 내용을 나타내고 있다.

2) 사고이력매뉴얼 개발

사고이력매뉴얼은 건널목사고 자료와 사고발생 건널목의 제원을 전문가가 자세히 이해할 수 있도록 구성하였다. 이를 위해 본 연구에서는 1998년부터 2002년까지 5년간의 건널목 사고에 대한 사고이력부문과 철도청에서 보관하는 건널목 제원에 대한 2가지 정보를 이용하여 사고이력매뉴얼을 개발하였다. <표 5>는 사고이력매뉴얼에서 제시하는 건널목 사고관련 항목을 나타낸다.

3) 개선대안 평가양식 개발

개선대안 효과분석은 안전전문가가 개선대안 평가매뉴얼과 사고이력매뉴얼을 분석한 후, 각 개선대안의 도

<표 5> 건널목 사고관련 제시 항목

철도건널목 사고 관련 제시 항목	
사고번호	사고 건널목 이름 및 사고 번호 부여
발생일시	사고 년도, 월, 일, 시간과 날씨 상태에 대한 정보 제공
발생장소	철도 노선 정보, 사고 발생 지점에 대한 정보 제공
관계열차	사고 관계 열차 번호 및 열차 종류에 대한 정보 제공
사고원인	건널목 사고 원인에 대한 정보 제공
사고개황	건널목 사고시의 상황에 대한 정보 제공
조치상황	사고와 관련한 조치 상황 및 시간에 대한 정보 제공
피해상황	인명피해, 사고차량, 시설피해에 대한 정보 제공
지장열차	건널목 사고로 인해 운행에 지장을 받은 열차 정보 제공
운전자 인적사항	운전자 성별 및 나이, 동승자 수에 대한 정보 제공
처리의견	사고와 관련한 관계자의 의견 제시

<표 6> 개선대안 효과정도를 평가하기 위한 Rating Scale

평가 척도	개선대안의 효과정도	Theta (θ)
NA	개선대안은 효과를 결정할 수 없음	NA
-1	개선대안은 사고 발생 정도를 증가시킴	1.33
0	개선대안은 효과가 없음	1.00
+1	개선대안은 사고 방지를 하지 않지만, 사고발생 정도를 줄일 가능성이 있음	0.67
+2	개선대안은 사고 방지를 하지 않지만, 사고발생 정도를 줄임	0.33
+3	개선대안은 사고를 방지함.	0.00

<표 7> 각 사고별 개선대안 평가 형식

개선대안 번호	평가척도					
	NA	-1	0	+1	+2	+3
1	NA	-1	0	+1	+2	+3
2	NA	-1	0	+1	+2	+3
3	NA	-1	0	+1	+2	+3
4	NA	-1	0	+1	+2	+3
5	NA	-1	0	+1	+2	+3
6	NA	-1	0	+1	+2	+3
7	NA	-1	0	+1	+2	+3
8	NA	-1	0	+1	+2	+3
9	NA	-1	0	+1	+2	+3
10	NA	-1	0	+1	+2	+3
11	NA	-1	0	+1	+2	+3
12	NA	-1	0	+1	+2	+3
13	NA	-1	0	+1	+2	+3
14	NA	-1	0	+1	+2	+3
15	NA	-1	0	+1	+2	+3
16	NA	-1	0	+1	+2	+3
17	NA	-1	0	+1	+2	+3
18	NA	-1	0	+1	+2	+3

입 시 건널목사고의 발생 상황들을 고려하여 안전전문가로 하여금 개선대안의 효과정도를 평가하도록 한다.

본 연구에서는 개선대안 효과를 평가하기 위한 AMF의 평가척도를 Melcher et al. (2001)의 연구 결과에 기초한 값을 적용하였다. <표 6>은 개선대안 효과정도를 평가하기 위한 척도를 나타내고 있다.

Theta(θ)는 AMF를 나타내며, Theta의 값이 1보다 클 경우 안전성 효과가 없음을 의미하고, 1보다 작을 경우 안전성에 효과가 있음을 의미한다. <표 7>은 각 사고별 개선대안을 평가하기 위해 전문가에게 제시되는 평가양식을 나타내고 있다.

3. 평가 및 결과 분석

본 연구에서는 합리적인 평가 결과도출을 위하여 개

선대안 효과를 반영하는 AMF에 대하여 통계적인 분석을 실시한다. 통계적 분석은 무작위로 추출된 20개의 사고 각각에 대한 개선대안의 평가가 전문가 개개인에 따라 조금씩 달라질 수 있는 문제점을 해결하고자 전문가 개개인을 그룹으로 묶어서 각 사고에 대한 개선대안의 AMF를 평가한다. 이를 위해 개인과 그룹 두 집단간 분포의 동질성검정을 수행하며, 그 방법으로 두 표본 Kolmogorov-Smirnov (K-S) 동질성검정을 실시한다.

1) Kormogorov-Smirnov 동질성검정

비모수 통계분석은 일반적으로 모집단 분포에 관한 가정하에 Z검정, t검증 또는 F검정을 실시하는 모수통계분석과 달리 현실적으로 모집단에 대한 가정이 충족된다고 볼 수 없는 상황 혹은 모집단에 관한 특별한 가정을 필요로 하지 않을 경우에 적용하는 통계적 분석 방법으로 K-S 동질성검정은 여기에 속한다.

K-S 검정은 두 집단 분포의 동질성을 평가하는데 유용하게 이용되며, 연속형 분포에 주로 사용되나 본 연구에서 추구하는 이산형 분포의 경우에도 합리적이다. 이 통계적 분석법은 두 집단간 알려져 있지 않는 분포사이의 값 차이를 이용하여 두 분포사이에 존재하

는 값 중 가장 큰 차이값과 K-S의 신뢰수준에 따라 제시되는 임계치의 값을 비교하여 두 분포의 동질성 여부를 판단한다. 본 연구에서는 동질성 여부를 판단하기 위한 귀무가설 및 대립가설은 다음과 같이 설정한다.

- 귀무가설 : 두 집단의 분포는 동일하다.
- 대립가설 : 두 집단의 분포는 동일하지 않다.

K-S의 임계치 값과 두 분포사이의 값을 비교하여 임계치 값보다 작거나 같을 경우 두 분포는 동일하다는 귀무가설을 기각할 수 없으며, 임계치 값보다 클 경우에는 귀무가설을 기각하게 된다.

2) 개선대안 평가 결과 분석 및 결과 도출

개선대안의 안전성 평가와 관련하여 전문가 개개인 과 집단간의 개선대안평가에 대한 분포의 동질성 여부를 S-Plus를 이용하여 K-S 검정을 실시하였다.

IV. 분석결과

본 연구에서 선정한 18개의 개선대안에 대한 11명의 전문가가 20건의 사고에 기초하여 AMF를 평가하

<표 8> 과속방지턱 평가 결과표

사고번호	전문가 번호											그룹
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	0.33	0.67	0.67	0.33	0.33	0.33	1.00	1.00	1.00	0.67	0.33	
2	1.00	0.67	1.00	1.00	0.33	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
3	1.00	0.67	1.00	0.33	0.67	0.67	1.00	1.00	1.00	0.67	1.00	
4	1.00	1.00	1.00	1.00	0.67	0.67	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
5	1.00	1.00	1.00	0.67	1.00	0.67	1.00	1.00	0.67	0.67	0.67	
6	0.33	1.00	0.67	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.67	0.67	0.33	
7	1.00	0.33	0.33	1.00	0.67	0.33	0.33	0.33	0.33	1.00	0.33	
8	1.00	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	1.00	0.67	0.67	0.67	0.33	
9	1.00	0.67	0.67	0.67	1.00	1.00	1.00	1.00	0.67	0.33	0.67	
10	0.67	0.67	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.67	0.67	1.00	
11	1.00	1.00	1.00	0.67	0.67	1.00	1.00	0.67	0.67	0.67	0.67	
12	1.00	0.67	0.33	0.33	1.00	0.33	1.00	1.00	0.33	0.67	0.33	
13	1.00	1.00	0.33	0.33	NA	0.67	0.33	1.00	0.33	0.33	0.67	
14	0.67	0.33	1.00	0.67	1.00	0.67	0.67	1.00	0.67	0.67	1.00	
15	1.00	0.67	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.67	1.00	1.00	1.00	
16	0.33	1.00	1.00	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	NA	0.67	0.67	
17	1.00	1.00	0.67	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.67	1.00	1.00	
18	1.00	0.67	1.00	1.00	0.67	1.00	0.67	1.00	NA	0.67	0.67	
19	1.00	0.67	1.00	0.67	0.67	1.00	1.00	0.67	0.67	1.00	0.67	
20	1.00	0.67	0.67	1.00	0.67	1.00	1.00	1.00	0.67	0.67	0.67	
Mean	0.87	0.75	0.80	0.75	0.77	0.78	0.88	0.88	0.71	0.74	0.70	0.78
Std.Dev.	0.25	0.21	0.25	0.26	0.22	0.25	0.22	0.20	0.23	0.21	0.26	0.23

였으며, 개선대안의 AMF 선정의 타당성을 인정받기 위하여 통계적 검정을 실시하여 개선대안의 합리적 AMF를 추출하였다. <표 8>은 11명의 전문가가 평가한 개선대안 과속방지턱 AMF 평가 결과를 나타내고 있다.

1. 통계적 분석 결과

K-S 검정은 두 집단 분포의 동질성을 평가하는데 이용된다는 사실을 이미 언급하였다. 본 연구에서는 효과적인 개선대안의 AMF를 추출하기 위하여 개인과 개인의 분포와 개인과 그룹의 분포의 동질성검정을 실시하였다.

1) 개인과 개인의 평가 분포 동질성검정

두 집단 분포의 동질성을 검정하기 위하여 개인과 개인의 개선대안 평가 분포는 동일하다는 귀무가설을 설정하고 K-S분석을 실시하였다. 평가 방법으로 평가자 1번과 나머지 개개인과 각각 K-S분석을 실시하였으며, 평가자 2번등 나머지 평가자에게도 같은 방법으로 K-S분석을 실시하였다. 본 연구에서는 유의수준을 0.05로 정하고, 관찰 대상 수(사고건수)가 20개임을 고려할 때 K-S 임계값은 0.3으로 나타났다.

K-S분석 결과 개선대안 과속방지턱의 경우 K-S 임계값 0.3보다 큰 값이 14개나 존재하며, 평가자 9와 평가자1의 경우 K-S값이 0.47로 나타났다. 이를 통해 과속방지턱의 경우 개인간의 분포는 동일한 분포를 나타내지 않는 경우가 많음을 확인 할 수 있다. <표 9>는 18개 개선대안에 대하여 K-S분석을 실시하여 개인과 개인을 비교한 값 중 가장 큰 K-S값 (예: 과속방지턱의 경우 평가자 9와 평가자 1의 K-S 값(0.47)이 가장 큼)을 가지는 결과만을 나타내고 있다. <표 9>에 나타난 비교 그룹수 55개중 임계 K-S 값 만족 그룹수를 확인함으로써, 각 개선대안에 따른 개인과 개인의 분포에 대한 동질성 정도를 확인할 수 있으며, 많은 개선대안이 K-S분석 결과 임계값 0.3보다 큰 값을 가지고 있는 것으로 나타났다. 따라서 개인과 개인의 분포는 동일하지 않는 경우가 많음을 알 수 있다.

2) 개인과 그룹의 평가 분포 동질성검정

두 집단 분포의 동질성을 검정하기 위하여 개인과 그룹의 개선대안 평가 분포는 동일하다는 귀무가설을 설정하고 K-S분석을 실시하였다. 평가 방법으로 평가자 1번과 나머지 평가자 2~11번 모두를 그룹으로 설정한 후 두 집단의 K-S분석을 실시하였다. K-S분석 결과는 개선대안 과속방지턱의 경우, <표 10>에서 나

<표 9> 개선대안 전체에 대한 개인과 개인의 K-S분석 요약 표

개선대안	N	K-S 임계값	비교 그룹수	K-S 임계값 만족 그룹수	개선대안 최대 K-S분석 값	P-value
1. 과속방지턱 설치 및 개선	20	0.30	55	42	0.47	0.02
2. 건널목의 도로구배 제거	20	0.30	55	38	0.55	0.00
3. 직각에 가까운 교차각 설치	20	0.30	55	41	0.5	0.01
4. 적정거리건널목 예고표지	20	0.30	55	37	0.5	0.01
5. 적정거리 일시정지 표지	20	0.30	55	33	0.5	0.01
6. 열차가시거리 지장물 제거	20	0.30	55	30	0.54	0.00
7. 건널목 가시거리 지장물 제거	20	0.30	55	41	0.5	0.01
8. 정시간 제어방식 도입	20	0.30	55	30	0.5	0.01
9. Time delay 재설정	20	0.30	55	43	0.43	0.06
10. 4분활 앞/뒤차단기 Time interval 설정	20	0.30	55	26	0.5	0.01
11. 인접교차로와의 교통신호 연계	20	0.30	55	46	0.5	0.01
12. 지장물 검지장치 설치	20	0.30	55	42	0.47	0.03
13. 보행자 차단기 설치	20	0.30	55	36	0.45	0.03
14. 4분활 차단기 설치	20	0.30	55	28	0.56	0.00
15. 장대형 2분활 설치	20	0.30	55	32	0.45	0.03
16. 조명장치 설치 및 시설개선	20	0.30	55	44	0.4	0.09
17. 위반차량 검지장치 설치	20	0.30	55	36	0.53	0.00
18. IVW System 설치	20	0.30	55	32	0.45	0.03

〈표 10〉과속방지턱에 대한 개인과 그룹의 K-S분석 결과

평가자 번호	그룹 번호	K-S 임계값
01	01	0.29
02	02	0.20
03	03	0.06
04	04	0.06
05	05	0.09
06	06	0.03
07	07	0.28
08	08	0.25
09	09	0.25
10	10	0.22
11	11	0.17

타난 것과 같이 K-S 임계값 0.3보다 큰 값이 존재하지 않으므로 개인과 그룹의 분포는 동일한 분포를 나타내고 있음을 알 수 있다.

〈표 11〉은 18개 개선대안 모두에 대하여 개인과 그룹을 비교한 값 중 가장 큰 K-S값 (예: 과속방지턱의 경우 평가자 1과 그룹 1의 K-S 값(0.29)이 가장 큼)을 가지는 결과만을 나타내고 있으며, 〈표 11〉에 나타난 비교 그룹수 11개 중 임계 K-S 값 만족 그룹수를 확인함으로써, 각 개선대안에 따른 개인과 그룹의 분포에 대한 동질성 정도를 확인할 수 있으며 대부분의 개선대안이 K-S 임계값 0.3보다 작으며, K-S 분석값이 임계값보다 큰 경우를 보더라도 임계값 초과정도가 미

미한 수준으로 나타났다. 따라서 개인과 그룹의 분포는 대부분 동일한 분포를 하고 있음을 알 수 있다.

2. 안전전문가 분석 결과

개선대안 효과를 반영하기 위하여 합리적인 AMF값 도출하기 위하여 K-S 동질성검정을 실시한 결과 개인

〈표 12〉 18개 개선대안의 AMF값

개선대안	AMF	
	평균 값	표준편차
1. 과속방지턱 설치 및 개선	0.78	0.23
2. 건널목의 도로구배 제거	0.89	0.19
3. 직각에 가까운 교차각 설치	0.92	0.12
4. 적정거리건널목 예고표지	0.73	0.15
5. 적정거리 일시정지 표지	0.71	0.20
6. 열차가시거리 지장물 제거	0.70	0.22
7. 건널목 가시거리 지장물 제거	0.71	0.23
8. 정시간 제어방식 도입	0.61	0.23
9. Time delay 재설정	0.61	0.24
10. 4분활 앞/뒤차단기 Time interval 설정	0.63	0.28
11. 인접교차로와의 교통신호 연계	0.87	0.22
12. 지장물 감지장치 설치	0.50	0.26
13. 보행자 차단기 설치	0.86	0.19
14. 4분활 차단기 설치	0.78	0.26
15. 장대형 2분활 설치	0.72	0.24
16. 조명장치 설치 및 시설개선	0.79	0.23
17. 위반차량 감지장치 설치	0.55	0.19
18. IVW System 설치	0.53	0.22

〈표 11〉 과속방지턱에 대한 개인과 그룹의 비교를 통한 K-S test 결과

개선대안	N	K-S 임계값	비교 그룹수	K-S 임계값 만족 그룹수	개선대안 최대 KS분석 값	P-value
1. 과속방지턱 설치 및 개선	20	0.30	11	11	0.29	0.07
2. 건널목의 도로구배 제거	20	0.30	11	10	0.33	0.02
3. 직각에 가까운 교차각 설치	20	0.30	11	10	0.34	0.02
4. 적정거리건널목 예고표지	20	0.30	11	11	0.29	0.10
5. 적정거리 일시정지 표지	20	0.30	11	10	0.30	0.05
6. 열차가시거리 지장물 제거	20	0.30	11	10	0.32	0.03
7. 건널목 가시거리 지장물 제거	20	0.30	11	10	0.30	0.06
8. 정시간 제어방식 도입	20	0.30	11	10	0.33	0.03
9. Time delay 재설정	20	0.30	11	10	0.31	0.05
10. 4분활 앞/뒤차단기 Time interval 설정	20	0.30	11	9	0.31	0.04
11. 인접교차로와의 교통신호 연계	20	0.30	11	11	0.28	0.09
12. 지장물 감지장치 설치	20	0.30	11	11	0.28	0.19
13. 보행자 차단기 설치	20	0.30	11	9	0.33	0.02
14. 4분활 차단기 설치	20	0.30	11	9	0.32	0.03
15. 장대형 2분활 설치	20	0.30	11	10	0.31	0.05
16. 조명장치 설치 및 시설개선	20	0.30	11	11	0.29	0.08
17. 위반차량 감지장치 설치	20	0.30	11	10	0.31	0.05
18. IVW System 설치	20	0.30	11	9	0.33	0.03

과 개인의 평가 분포는 같지 않음을 확인하였고, 그룹과 개인의 평가 분포는 대부분 동일한 것으로 나타나 개선대안의 AMF값은 전문가 개개인이 평가한 값 전체를 평균하여 나타내는 것이 타당하다. <표 12>는 전문가 개개인이 평가한 값을 평균한 각 개선대안의 AMF 값을 나타내고 있다.

V. 결론

철도건설목 안전관리 개선대안의 효율성을 평가하는데 있어 현장의 자료를 이용한 사전-사후분석이 바람직하지만, 여러 제약사항 등으로 사전-사후분석을 실행할 수 없을 경우가 많다. 이러한 경우, 대부분 안전전문가에 의한 주관적인 평가에 의존하나, 전문가 개개인에 의한 주관적 평가로는 신뢰할 수 있는 AMF의 값 추출에는 한계가 따른다.

이와 관련하여 본 연구에서는 철도건설목에서 일어나는 사고를 줄이기 위하여 새롭게 시도되는 개선대안의 안전성 및 효율성을 베이지안 통계분석 기법을 통해 안전전문가들의 평가결과를 정량화 시키는 과정을 보여 주었고, 이러한 AMF의 정량화 과정은 철도건설목에서 뿐만 아니라 교차로 및 도로구간에서 추후 시도되고자 하는 개선대안들의 안전성 평가에도 사용 가능하리라 판단된다.

본 연구에서는 철도건설목 안전관리 개선대안의 효율성을 평가하기 위해 우선 개선대안 평가방법론을 개발하여 전문가 개개인의 사전지식에 따른 분산영역을 줄였으며, K-S검정을 적용하여 본 연구에서 개발한 AMF의 타당성을 검증하였다. 이러한 과정에 토대로 개발된 AMF의 결과를 살펴보면 다음과 같이 요약될 수 있다.

첫째, 베이지안 통계적 기법을 적용한 본 연구에 의해 얻어진 18개 개선대안에 대한 AMF의 값은 모두 1보다 작은 값을 가지는 것으로 평가되어 안전에 효과가 있는 것으로 평가되었다.

둘째, 본 연구에서 수행된 K-S 검정을 통한 결과 개인과 개인 두 집단의 분포가 동일하지 않는 경우가 많이 발생하였으며, 개인과 그룹의 두 집단에 대한 동질성검정 결과는 대부분 두 집단의 분포가 동일한 것으로 나타났다.

본 연구진이 연구를 수행함에 있어서 느꼈던 연구 진행상의 어려움 및 향후연구방향을 정리하면 다음과

같이 요약할 수 있다.

첫째, 건설목사고매뉴얼의 경우 평가에 사용된 몇 개의 상황들은 구체적으로 명확하게 제시되지 않음에 따라 안전전문가가 개선대안 평가측도 중 "NA" 즉 "평가불가"에 표시한 경우가 종종 발생하였다. 이렇게 평가된 결과는 AMF 산출과정에서 제외됨으로써 "NA"로 답한 안전전문가는 평가대상에서 제외된다. 본 연구에서는 이렇게 제외된 안전전문가가 각 개선대안 당 1-2명 이하였지만, "NA"로 답한 안전전문가가 많을 경우 합리적 K-S분석에 있어 잘못된 결과를 야기 시킬 수 있다. 따라서 사고매뉴얼 구성 시엔 보다 자세한 사고현황의 묘사가 중요하다.

둘째, 본 연구에서는 개선대안의 AMF값을 산출하기 위해 전문가 개개인이 평가한 값을 전체적으로 평균한 산술평균을 적용하였다. 이와 관련하여 산술평균 이외의 기하평균 등 다양한 기법의 적용을 통하여 각 기법간 설명력 분석을 실시하여 가장 설명력이 높은 기법의 적용이 필요하다고 판단된다.

셋째, 평가하고자 하는 개선대안에 대한 각 평가자의 사전지식 차이 정도는 개발하고자 하는 AMF의 신뢰성과 연결된다. 이는 평가자 개개인이 발생시키는 사전지식에 대한 오차 정도가 다른 평가자들에 비해 현격히 다를 경우, 대상 평가자는 예외결과(Outlier)로 처리되어 평가대상에서 제외되는 결과를 초래할 수 있다. 따라서 좀더 신뢰성 높은 AMF를 개발하기 위해서는 평가자 개개인의 사전지식 차이에서 발생하는 오차의 정도를 줄일수 있는 노력들이 병행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. Anya A. Carroll, et al(2002), "Photo Enforcement at Highway-Rail Grade Crossings in the United States", Transportation Research Record 1801, pp. 46~53.
2. Daniel J. Melcher., et al (2001), "Bayesian Analysis Development : The Feasibility of 'Subjective' Engineering Evaluation for Assessing Road Safety Improvements" The 80th annual meeting Transportation Research Board.
3. Federal Highway Administration(1999), "Prediction of the Expected Safety Performance of Rural Two-Lane Highways" FHWA-RD-99-128 October.

4. Federal Highway Administration(1986) "the Railway -Highway Grade Crossing Handbook" FHWA -TS-86-215 September.
5. Fred Coleman III. et al(1996), "Design of Gate Delay and Gate Interval Time for Four-Quadrant Gate System at Railroad-Highway Grade Crossings", Transportation Research Record 1553, pp.124~131.
6. Giulio D'Agostini (1999), "Bayesian Reasoning in High Energy Physics" CERN Yellow Report 99-03, July.
7. Hauer, E (1997), "Observational Before-After Studies in Road Safety" Elsevier Science/ Pergamon.
8. Harwood D.W.,et al(2000), "Prediction of the Expected Safety Performance of Rural Two-Lane Highways" FHWA-RD-99-207 December.
9. Heathington,K W. . et al(1990), "Field Evaluation of a Four-Quadrant Gate System for Use at Railroad-Highway Grade Crossings", Transportation Research Record 1244, pp.39~51.
10. Jutaeck, Oh.,et al (2003), "Empirical Investigation of the IHSDM Accident Prediction Algorithm for Rural Intersections" the 83th annual meeting Transportation Research Board.
11. Morris, C.N.,et al (1989), "Empirical Bayes Methodology in Traffic Accident Analyses" American Statistical Association Winter Conference
12. James O. Berger.(1985), "Statistical Decision Theory and Bayesian Analysis", Springer -Verlag, New York, second edition.
13. Stephen H. Richards. et al(1990), "Evaluation of Constant Warning Times Using Train Predictors at a Grade Crossing with Flashing Light Signals", Transportation Research Record 1254, pp.60~71.
14. <http://mutcd.fhwa.dot.gov/kno-proposed2000.htm>-MUTCD 2000(Millennium Edition) Home Page.
15. 김용대(2000), "(경제·경영을 위한) 베이지안 통계학", 자유아카데미.
14. 이재식(2002), "차량내 추돌 경고 시스템의 효과에 관한 연구", 한국실험 및 인지심리학회 여름학술대회 발표논문집, pp.113~121.
15. 조봉관(2002), "초음파로 건널목 장애물을 감지한다", 정보·신호통신기술특집, RRR.
16. 철도청(1998~2002), "철도사고이력카드".
17. 철도청, "철도건널목카드".

♣ 주 작 성 자 : 오주택

♣ 논문투고일 : 2004. 4. 2

논문심사일 : 2004. 5. 12 (1차)

2004. 6. 8 (2차)

2004. 6. 21 (3차)

심사판정일 : 2004. 6. 21

♣ 반론접수기한 : 2004. 12. 31