

철도건널목 사고 위험도 평가를 위한 사고진전 시나리오 개발

Development of accident scenarios for level crossing risk assessment

왕종배* 박찬우** 곽상록** 박주남**
Wang, Jong Bae Park Chan Woo Kwak Sang Log Park, Joo Nam

ABSTRACT

In this paper, initial hazard events which determine a probability for level crossing accident were defined from the analysis of accident history data as a form of FTA. The type of initial event were classified by stagnant type and violative type. And the accident proceeding scenario of initial events which estimate the severity of accidents was proposed as a form of ETA. Resulting risk assessment model of level crossing accident will be produced by a probability and severity of initial event.

1. 서론

국내 철도의 운전사고 발생현황을 살펴보면 건널목 사고가 그 대부분을 점유하고 있으며, 그동안 건널목 사고는 입체화, 보안시설의 신설·개량 및 홍보활동 강화 등으로 사고건수는 매년 감소하였지만, 아직도 사고발생 잠재요인이 많고 건널목 사고의 대형화는 인적·물적 피해가 클 뿐만 아니라 열차지연에 따른 사회적 손실 또한 큰 실정이다.

건널목 사고는 지역특성, 교통특성, 건널목 구조, 인적 요인 등이 복잡하게 서로 얽혀서 발생하며, 일반적으로 (1) 경고 전에 건널목에 진입하여 정체 등으로 나올 수 없게 되는 형식과 (2) 경보가 울린 뒤에 건널목으로 진입하는 형식으로 나눌 수 있다. 특히 문제는 (2)의 위반형 사고(70% 점유)로서 건널목의 존재 또는 경보 표시를 깨닫지 못하고 진입하는 경우와 다른 하나는 경보 중인 건널목에 고의로 진입하는 경우이다.

철도 건널목 사고를 방지하기 위한 대책으로서 미연의 사고방지를 위한 “예방대책”과 사고 재발방지를 위한 “실시대책”을 생각할 수 있다. 우선 미연의 사고방지라는 관점에서 건널목 사고발생과 지역특성, 교통특성, 건널목 구조 등과의 관련성을 다변량 해석을 통해 정성적으로 분석하여 위험요인을 도출하고, 사고사례 분석과 위험사건 진전모델에 기초하여 정량적인 사고 위험도 평가를 통해 그에 따른 대책제안 및 개선효과를 산정할 수 있는 위험도 평가를 기본으로 하는 철도건널목 안전개선 체계를 시급히 마련해야 한다.

본 연구에서는 철도건널목 사고의 위험도를 평가하기 위하여 초기 위험사건을 정의하고 이들의 발생빈도를 결정하는데 필요한 사고이력 분석에 근거한 위험요인 분류체계를 제시하고, 초기 위험사건이 결과적인 사고피해로 이어지는 사고 진전 시나리오를 전개하여 사고 심각도를 산정하는 모델을 제시하고자 한다.

* 한국철도기술연구원 안전기술연구팀, 정희원

** 한국철도기술연구원 안전기술연구팀, 정희원

2. 철도건널목 특성 분석

철도건널목은 그림 1과 같이 운전자(기관사, 도로차량운전자), 차량(열차, 도로차량) 그리고 물리적 교차점의 기본 구성을 가지며, 도로 측 구성에서 운전자, 차량, 도로 및 보행자의 4가지 기본요소와 철도 측 구성에서 열차와 궤도로 세분할 수 있다.

도로와 철도 측의 구성요소가 교차하는 철도건널목은 도로차량과 열차에 대한 기본적 요건을 상호 만족하도록 설계되어야 한다. 즉, 열차 기관사는 고정된 경로를 제한적인 속도로 이동의 제약을 받기 때문에 도로 운전자는 열차와의 충돌회피에 대한 대부분의 책임을 감당해야 하고, 건널목 표시는 사실상 “정지”신호로서 도로운전자는 이를 준수해야할 의무가 있다.

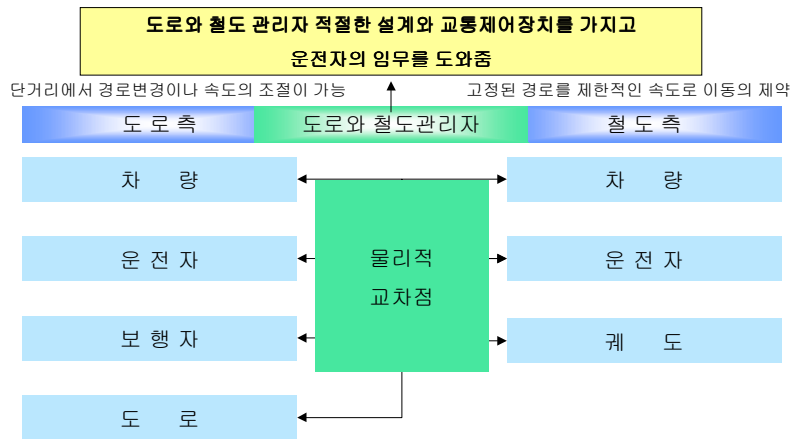


그림 1. 철도건널목의 구성요건과 특징

2.1 국내 철도건널목의 종류 및 설치기준

철도건널목이란 철도와 도로법에서 정한 도로가 평면교차(level crossing)하는 곳을 건널목이라 하며, 정거장 구내에서 직원 또는 여객의 통행과 화물의 운반만을 목적으로 사용되는 구내통로는 제외한다. 철도건널목은 「건널목개량촉진법 및 동법 시행령」과 「건널목 설치 및 설비기준 규정」에 의거 설치하며, 표 1의 건널목을 통과하는 교통량 및 안전설비 설치 여부에 따라 1종, 2종, 3종 건널목으로 종별 구분하고 있다.

표 1. 국내 철도건널목 설치기준

| 종별 | 내용 | 종별 설치기준 | | 신설조건 |
|----|--|---------------------------------|---------------------------------|---|
| | | 철도교통량 | 도로교통량 | |
| 1종 | 차단기, 경보기 및 건널목 교통안전표지를 설치하고 그 차단기를 주야간 계속 작동하거나 또는 관리원이 근무하는 건널목 | 1 ~ 50미만 50 ~ 100미만 100이상 | 15,000이상 10,000이상 5,000이상 | <input type="checkbox"/> 인접 건널목과의 거리 : 1,000m 이상 <input type="checkbox"/> 열차투시거리 : 당해 선로의 최고 열차 속도로 운행할 때 제동거리 이상 확보 - 100km/h 이상 : 700m 이상 - 90km/h : 500m 이상 - 기타 : 400m 이상 |
| 2종 | 경보기와 건널목 교통안전표지만 설치된 건널목 | 1 ~ 50미만 50 ~ 100미만 100이상 | 10,000이상 60,000이상 4,000이상 | <input type="checkbox"/> 건널목의 최소폭 : 3m 이상 <input type="checkbox"/> 교차각(선로-접속도로) : 45도 이상 <input type="checkbox"/> 접속도로 직선구간 : 선로중심(복선이상인 경우 최외방 선로)에서 30m까지 <input type="checkbox"/> 구간 종단구배 : 3% 이하 |
| 3종 | 건널목 교통안전표지만 설치된 건널목 | 2종 건널목 설치기준 미만 | | |

(3) 안전표지의 종류와 설치

| 종류 | 용도 | 설치기준 |
|----------------|------------------|-------------------------|
| 철길건널목 표지(105호) | 철도건널목이 있음을 알림 | 건널목 15~20m 및 50~120m 전방 |
| 위험표지(128호) | 도로교통상 각종 위험 알림 | 건널목 50~120m 전방 |
| 일시정지 표지(224호) | 자동차 일시정지 장소 지정 | 건널목 15~20m 전방 |
| 일단정지표시(614호) | 건널목전방 일단정지도로상 표기 | 건널목 또는 횡단도로 5~10m 전방 |

주) 진입금지 표지(210호) 차량통행이 금지된 건널목에 한함

(4) 건널목 보안설비

| 보안설비 | 용도 | 건널목 보안장치 설비기준 |
|----------------------|--|---|
| 지장물 검지장치 (자동식) | 철도건널목 위에 자동차 고장, 보판이탈, 경보중 위반진입 등으로 건널목내 정차나 다른 지장물이 있을 때 작동하여 특수신호 발광기 동작 | -철도교통량 10회, 도로교통량 1,000회 이상 개소 중 ·최고속도기준 최소제동거리까지 열차투시거리 미확보개소 ·인접교차로 50m이내 ·고속열차(KTX) 운행구간 ·기타 상습정체 개소 및 사고발생 또는 우려 취약개소 |
| 출구측차단 간검지기 | 차단기 하강전 진입한 차량이 출구 측으로 빠져나가도록 차단기를 서서히 하강 | -건널목 교행이 불가능한(도로폭 5m이하) 개소 중 ·철도교통량 10회, 도로교통량 100회이상 ·고속열차(KTX) 운행구간 ·기타 사고발생 또는 우려 취약개소 ·제어시분부족개소 제어거리연장 |
| 정시간 제어기 | 열차의 속도차이에 관계없이 경보장치 공보시분을 30초 기준으로 일정하게 해주는 설비 | -열차종별에 따라 경보시분이 현격하게 차이나는 건널목으로 저속 및 고속열차 제어시분 차가 40초 이상인 개소 중 철도교통량 10회, 도로교통량 1,000회 이상으로 시점에서 종점까지의 속도변화의 차이가 30% 이내인 개소 |
| 고장 감시장치 | 건널목 동작정보를 실시간으로 저장 및 분석 | -1중, 2중 건널목(원격감시장치 설치구간 제외) |
| 원격 감시장치 | 건널목 동작정보를 실시간으로 원격검지하는 설비 | -1중, 2중 건널목 |
| 긴급 신고전화 | -건널목 관리원이 근무하지 않고 | 사고발생 및 사고발생 우려가 많은 취약개소 |
| 음성 안내장치 | 건널목통과차량에게 열차운행 사실을 음성으로 알려주는 장치 | -현수형, 가교형 경보기에 설치 -야간 소음기준 및 주변여건 감안 시간조정 |

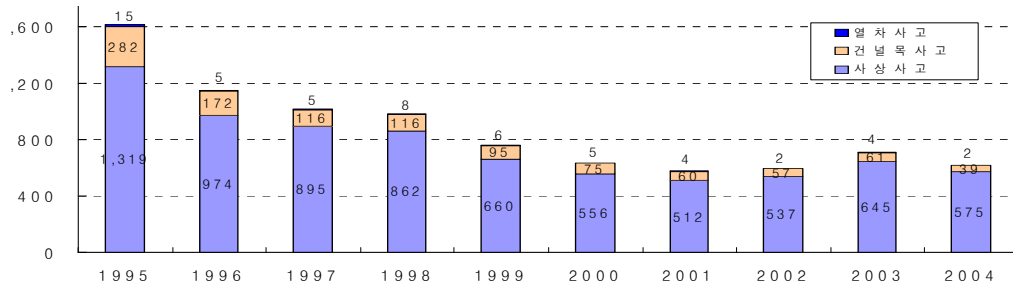
3. 철도건널목 사고발생 현황 및 위험요인 분석

3.1 철도건널목 사고발생 현황 및 원인 분석

그림 2는 최근 10년('95~'04년) 동안의 국내 철도사고 발생 현황으로서 건널목사고의 경우 '95년 282건 발생이후 매년 10~20%씩 감소하여 '04년에는 39건이 발생하여 전년대비 36.1%(22건) 감소하였다. 그러나 건널목 100개소 당 사상자 수를 외국 철도와 비교 해보면 표 2에서 알 수 있듯이 우리나라는 1.98명으로 일본(0.34명)이나 미국(0.17명)에 비해 인명피해 수준이 현저히 높은 상황이다.

한편 철도건널목 사고의 원인을 분석해보면 경보장치 동작 중 무단횡단 57%(616건), 건널목 보판이탈 등 운전부주의 22%(231건), 차단기돌파 17%(181건), 기타 3%(29건), 건널목내 자동차 고장 1%(16건) 순으로 발생하고 있음을 표 3에서 알 수 있다. 특히, 무단횡단, 차단기 돌파 등 자동차 운전자가 철도건널목에서 교통법규를 준수하지 않아 발생한 사고가 74%(797건)로 철도건널목 사고발생 원인의 대부분을 차지하고 있다.

따라서 철도건널목 사고의 주요 원인인 운전자의 위반형 사고를 예방하기 위해서는 철도건널목 통행에 따른 교통법규 준수 철저, 운전습관 및 안전의식의 개선을 위한 공중 교통안전 교육훈련이 절실히 요망되며, 아울러 운전자의 주의를 환기시킬 수 있는 경보위반 단속시스템의 도입이나 건널목 부근의 지체 상황을 운전자에게 정확히 전달하여 건널목 사고를 방지할 수 있는 지체정보시스템의 도입 등에 대한 연구와 검토가 필요하다.



| 구 분 | '95 | '96 | '97 | '98 | '99 | '00 | '01 | '02 | '03 | '04 |
|--------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 합 계 | 1,616 | 1,151 | 1,016 | 986 | 761 | 636 | 576 | 596 | 710 | 616 |
| 열 차 사고 | 15 | 5 | 5 | 8 | 6 | 5 | 4 | 2 | 4 | 2 |
| 건널목사고 | 282 | 172 | 116 | 116 | 95 | 75 | 60 | 57 | 61 | 39 |
| 사 상 사고 | 1,319 | 974 | 895 | 862 | 660 | 556 | 512 | 537 | 645 | 575* |

그림 2. 국내 철도사고 발생현황 (단위 : 건)

표 2. 건널목 100개소당 사상자수의 국가간 비교('99년 기준)

| 구 분 | 우리나라 | 일본 | 미국 | 독일 | 프랑스 |
|-------|------|------|------|------|------|
| 사상자 수 | 5.24 | 0.34 | 0.17 | 0.35 | 0.24 |

표 3. 국내 철도건널목 사고발생 원인 분석

| 구 분 | '95년 | '96년 | '97년 | '98년 | '99년 | '00년 | '01년 | '02년 | '03년 | '04년 | 계 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 무 단 횡 단 | 199 | 117 | 68 | 69 | 55 | 35 | 26 | 15 | 22 | 10 | 616 |
| 차 단 기 돌 과 | 27 | 16 | 17 | 19 | 19 | 18 | 16 | 17 | 20 | 12 | 181 |
| 차 량 류 고 장 | 5 | 3 | - | 4 | 1 | - | 2 | - | - | 1 | 16 |
| 운 전 부 주 의 | 50 | 35 | 29 | 22 | 17 | 20 | 10 | 21 | 14 | 13 | 231 |
| 기 타 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 6 | 4 | 5 | 3 | 29 |
| 계 | 282 | 172 | 116 | 116 | 95 | 75 | 60 | 57 | 61 | 39 | 1,073 |

3.2 철도건널목 사고발생 메커니즘 분석

현행 철도건널목 사고의 원인 분류방식이 주로 도로운전자 측 위반요인에 중점을 둔 차단기 돌과, 직전횡단, 운전부주의 등으로 결과적 측면만을 분석하고 있지만, 근본적으로는 운전자가 사고를 유발 할 수 있는 건널목의 구조적 위험요인과 운영환경상의 위험요인이 배경요인으로 작용하고 있다.

표 4는 철도건널목의 구조형식에 따른 사고유발 위험요인을 분석한 것이며, 철도건널목의 구조적 위험요인을 운전자의 위반요인과 연계하여 철도건널목의 사고발생 메커니즘을 그림 3에 제시한다.

표 4. 철도건널목의 구조형식에 따른 사고유발 위험요인 분석

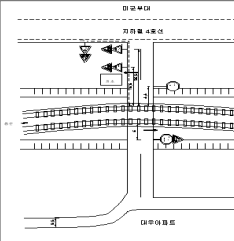
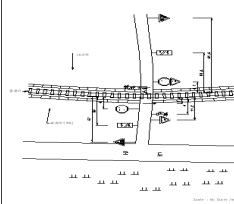
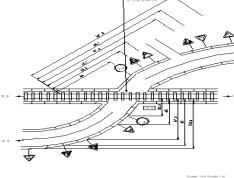
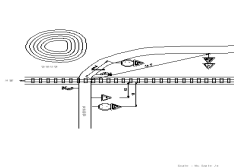
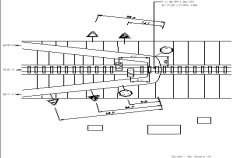
| | 구조형식 | 주요 사고원인 | 개선방안 검토 |
|-----|---|---|---|
| I-형 |  | <ul style="list-style-type: none"> -야간 차단기 돌파 -근접교차로에서 음주, 과속, 졸음 상태로 진입한 운전자의 일단정지무시, 돌파사고 -주간 차단기 돌파 -도심 근접교차로 정체로 인한 무모한 직진횡단 시도 및 차단기돌파(위반형 사고) -건널목 갇힘, 운전부주의 | <ul style="list-style-type: none"> -위반형 사고가 다발하는 도심지는 입체화 대책 요구 -입체화이전까지는 위반단속과 강력한 처벌조치 필요 |
| Y-형 |  | <ul style="list-style-type: none"> -주간 차단기 돌파 -큰 도로에서 직각으로 형성된 급곡선 진입도로 진입도로 직선거리 미확보 또는 병목현상, 차량정체, 직진횡단, 차단기돌파 초래 -야간 차단기 돌파 -과속,음주,졸음에 의한 돌파, 운전부주의 초래 | <ul style="list-style-type: none"> -충분한 예고거리를 확보한 건널목 안내표지판 정비 -과속방지를 위한 진입도로 속도제한 조치 |
| S-형 |  | <ul style="list-style-type: none"> -급곡선, 하구배 도로 구조 -야간 시계확보 불량상태 -차량과속, 건널목 발견 및 긴급정지 대응 지연 -차단기돌파나 건널목 갇힘 | <ul style="list-style-type: none"> -건널목안내표지류 정비(충분한 예고거리 감안) -차량운행속도제한 |
| F-형 |  | <ul style="list-style-type: none"> -장애물(산굽이, 공장) 돌아 곧바로 건널목 위치 -열차-운전자 상호간 접근 미인식 상태, 도로차량 급작스런 건널목 진입, 충돌 -진입차량발견거리가 불과 20~30m 정도 -저속 운행열차의 긴급제동도 충돌 불가피 | <ul style="list-style-type: none"> -시야장애, 급곡선, 상구배 등 건널목구조적 위험요인 제거 |
| M-형 |  | <ul style="list-style-type: none"> -도로와 철도선로 평행상태 -열차접근 속도도판 유도, 과속진입, 직진횡단 -건널목 보관상태 불량, 급곡선의 직선로 미확보 -직진횡단, 차량정지, 열차충돌 위험초래 | <ul style="list-style-type: none"> -건널목 구조개량에 의한 좁은통과도로, 급곡선, 상구배 등 대형차량 정지초래 위험요인 제거 |

그림 3. 철도건널목의 사고발생 메커니즘

4. 위험도 평가에 기반한 철도건널목 안전개선 관리절차 개발

정량적 위험도 분석(QRA)은 건널목 안전개선 우선순위를 정하는 적절한 기반을 제공한다. 이것은 사고 위험도를 평가하여 건널목 안전개선의 우선순위를 정하는 것으로서, 즉 높은 위험도를 가진 건널목은 재원 할당의 자격(만족할 만한 비용/이익 결과와 연관됨)을 가질 것이며, 반면에 위험도가 낮은 부분은 재원 할당의 우선순위가 떨어질 것이다. 그림 4는 위험평가에 기반한 건널목 안전개선 관리절차를 나타낸다.

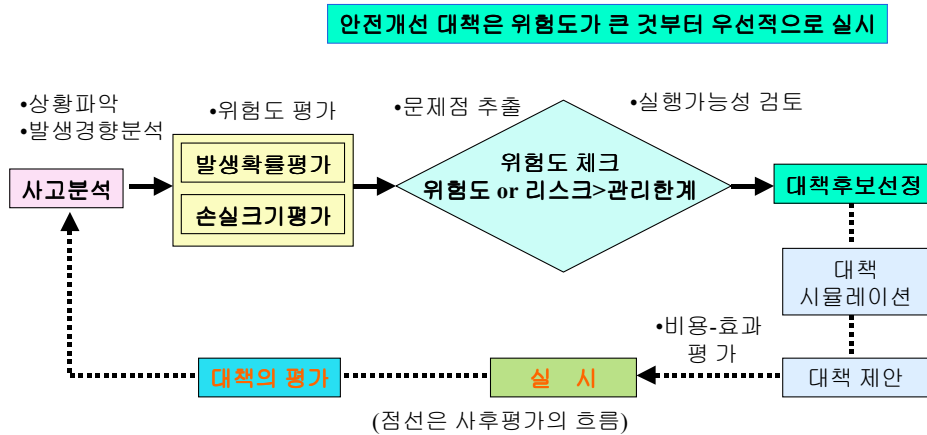


그림 4. 위험도 평가에 기반한 건널목 안전개선 관리절차

4.1 사고발생 확률(발생빈도) 산정 : 고장수목 분석(FTA)

고장수목분석(FTA)은 주요(최고) 위험사건 발생 시 반드시 존재하는 환경, 설비고장 및 인적오류사이의 논리적 관계성을 검증한다. FTA는 최고 사건(즉 열차와 차량의 충돌)을 초래하는 연속적 사건을 판별하며 지수자료가 반드시 사고 발생 빈도와 확률을 계산하기 위해 얻어져야만 한다.

우선 건널목을 통과하는 열차와 도로차량의 일일 통과량이 주어지면 그 위치에서 둘 사이의 충돌 확률을 계산할 수 있다. 그리고 특정 건널목에 대한 사고발생 이력을 알고 있다면 사고발생 확률은 연간 교통량(일일 열차 통과수×일일 도로차량 통과수×365일)의 비율로서 계산될 수 있다. 예로서 매일 6000대의 도로차량과 70회의 열차가 통과하는 건널목의 경우 충돌확률은 6,000/420,000 (70×6000) 또는 100회중 1.4로서 매우 높은 빈도이다. 이때 특정 건널목에 대해 연간 10회 충돌이 운전자의 차단기 돌파에 의해 발생한다면 사고발생 확률(Prc)은 $10/(420,000 \times 365) = 15.3$ 백만분의 1이다.

유사한 계산이 신호기나 차단장치의 고장 등 다른 위험사건에서 기인되는 특정 건널목에서의 충돌 확률 계산을 위해 수행되며, 자료의 이용성과 관련하여 승용차, 버스, 트럭과 같이 도로차량의 특정 형식을 포함한 세부적인 충돌확률과 그 충돌의 결과인 사망과 부상 확률을 마찬가지로 계산 할 수 있다.

4.2 사고손실정도(피해심각도) 산정 : 사건수목(ETA) 분석

사건수목분석(ETA)은 사건의 결과 심각도와 그 환경 또는 위치 사이에 보다 복합된 관계성이 있는 경우에 사용된다. 특히 초기 사건이 어떻게 사건의 지형적 위치, 다양한 대응 활동의 성공적 수행, 포함된 도로차량의 종류 및 관련 보호 안전 시스템의 성능과 같은 인자에 의존하는 상이한 결과발생을 보여준다.

ETA는 시간경과 순으로 각 판별 인자를 배열하고 모든 가능한 인자들을 조합하여 가능한 최종 사건의 수를 생성하고, 그런 후 확률을 사건 수목의 각 가지에 할당하여 결과출력의 최종 빈도를 계산한다. 결국 ETA는 특정 건널목에서의 사고피해의 심각도 계산에 필요한 정보를 제공하며, 이들 확률은 건널목 안전강화 수단에 대한 우선순위를 지시해 줄 것이다.

4.3 건널목 안전개선 우선순위(위험도) 및 개선대책 평가

위험도 평가는 사고발생확률[사고발생건수(예측치)/년]과 상정된 사고손실정도(심각도)를 함께 고려해야 한다. 사고로 인한 손실이 정량적으로 부여된다면 다음 식과 같이 각 건널목에 대한 위험도를 새로운 평가지표로서 정의할 수 있다.

$$\text{위험도} = \sum \text{사고발생시의 손실정도} \times \text{사고발생확률}$$

안전개선 대책은 위험도가 큰 것부터 우선적으로 실시하는 것을 생각할 수 있다. 그러나 평가에서 대책으로 행동을 취하는 데에는 일반적으로 위험도의 크기뿐만 아니라 위험도와 그 대책의 난이도를 고려해야 하며, 그리고 대책의 실행에 따르는 비용-효과 분석을 실시해야 한다. 즉 “대책에 드는 총비용(난이도) C가 일정한 것을 바탕으로 총 위험도 R을 얼마나 최소화하느냐”와 같이 정식화한다.

예로서 전체 위험도가 N개의 위험도 RA, RB...RN으로 구성되며 그 대책 비용이 각각 CA, CB...CN라고 한다면, 이때 C=CA+CB+...+CN(일정하다)는 전체 하에 전체 위험도: R=RA+RB+...+RN → Min가 되는 대책 A, B...N을 선택해 내는 것을 생각한다. 즉 비용 대 효과(단위 비용당 위험도 감소율)가 높은 것 순으로 대책을 선택하고 비용한계를 초과한 부분에서 자르면 된다는 것을 알 수 있다.

5. 철도건널목 위험사건의 정의와 사고진전 시나리오 개발

5.1 철도건널목 사고의 위험사건 정의와 위험요인 분류체계 검토

철도건널목 사고는 지역특성, 교통특성, 건널목 구조, 인적 요인 등이 복잡하게 서로 얽혀서 발생한다. 건널목 사고발생 확률에 영향을 미치는 주요 인자로서 다음 사항을 고려해야 한다.

- 철도 교통밀도(24시간 동안 건널목을 통과하는 최대 열차수)
- 도로 교통밀도(24시간 동안 건널목을 통과하는 모든 형식의 최대 자동차 수)
- 도로 사용자에게 대한 제도, 경보 표지판 및 신호기의 가시성을 제한하는 물리적 장애물의 존재
- 건널목에 차단기 보호가 없음
- 건널목에 경광등과 경고음 장치가 없음.
- 건널목에 도로 표면 상태가 나쁨(낮은 높이 차량이 지면에 부딪힘)
- 제도를 통과하는 도로의 평면과 구배가 나쁨(교차각 또는 상/하구배 불량)

철도건널목 사고의 위험사건은 (1) 경고 전에 건널목에 진입하여 정체 등으로 나올 수 없게 되는 형식과 (2) 경보가 울린 뒤에 건널목으로 진입하는 형식으로 구분하고, 초기사건으로서 위험상황을 표 5와 같이 정의하였다. 그리고 이들 위험상황을 초래할 수 있는 위험요인과의 관계성을 사고발생 이력을 기반으로 체계화하여 초기 위험사건의 발생빈도를 산정하기 위한 고장수목분석(FTA)에 적용하고자 한다.

표 5. 철도건널목 사고유발 위험사건 정의 및 위험요인 분류체계(안)

| 위험사건 | 위험상황 | 위험요인1 | 위험요인2 | 위험요인3 |
|--------|---------|----------|----------|-----------|
| 건널목 갇힘 | 엔진정지 | 차량고장 | 정비불량 | |
| | | 운전부주의 | 포장/배수불량 | |
| | 보관이탈 | 구조결함 | 포장불량 | 단부경사/단차 |
| | | | 통과폭부족 | 교차각 부족 |
| | | 설비결함 | 배수불량 | |
| | | 운전부주의 | 조명불량 | |
| | 교통정체 | 진/출입통체소홀 | 근접교차로혼잡 | 교통사고/악천후 |
| | | | 장시간건널목차단 | 장대열차/연속통과 |
| | 제동/가속부족 | 상구배 추진부족 | 구조결함-상구배 | |

| | | | | |
|--------|----------------|----------|----------|-------------|
| | | | 차량결함 | 추진부족, 과적 |
| | | 하구배 제동부족 | 구조결함-하구배 | |
| | | | 차량결함 | 제동부족-과속 |
| | | 악천후 | 강설/결빙/강우 | |
| | 안전설비결함 | 출구차단기강하 | 차단기고장 | 검지기 고장 |
| | | 입구차단기개방 | 취급오류 | |
| | | 입구경보기결함 | 경보기고장 | |
| | | | 취급오류 | |
| | 차량한계초과 | 상부구조물지장 | 차량높이초과 | 트럭집간상승/화물초과 |
| | | 하부구조물지장 | 차축높이/거리 | 트레일러 |
| | | 회전반경부족 | 차량길이과다 | |
| | | 진/출입통제소홀 | 위반차량단속 | |
| | | | | |
| 건널목 진입 | 차단기돌파 | 일단정지무시 | 신호/지시위반 | 과속/음주/졸음 |
| | | | 안전설비미비 | 차단/표지/경고/조명 |
| | | | 운전자판단착오 | 평행선로/교차각부족 |
| | (우회진입) | 진/출입통제소홀 | 교통정체 | 근접교차로혼잡 |
| | | | 장시간건널목차단 | 장대열차/연속통과 |
| | | | 단방향/반쪽차단 | 오토바이 |
| | | 제동/가속부족 | 구조결함-급구배 | |
| | | | 구조결함-급곡선 | 투시지장/과속 |
| | | | 차량결함 | 추진/제동력부족 |
| | | | 악천후 | 강설/결빙/강우 |
| | 직전횡단 | 일단정지무시 | 신호/지시위반 | 음주/졸음 |
| | (차단/경보 동작중) | | 운전자판단착오 | 평행선로/교차각부족 |
| | | | 안전설비미비 | 표지/경고 미비 |
| | | | | 단방향/반쪽 차단 |
| | | 진/출입통제소홀 | 교통정체 | 근접교차로혼잡 |
| | | | 장시간건널목차단 | 장대열차/연속통과 |
| | | | 단방향/반쪽차단 | 오토바이 |
| | | 안전설비결함 | 입구차단기개방 | 고장/취급오류 |
| | | | 입구경보기결함 | 고장/취급오류 |
| | 보행자무단횡단 | 무단통행 | 안전설비결함 | 선로변을타리/경고표지 |
| | | | 보행자통행위반 | 안전교육/홍보 미흡 |
| | | 진/출입통제소홀 | 안내원 근무소홀 | 위반자 단속/감시 |

5.2 철도건널목 사고심각도 평가를 위한 사고진전 시나리오 검토

철도건널목 사고에서 열차와 차량의 충돌의 피해심각도를 판단하기 위한 사고진전 시나리오는 열차 기관사나 운전자가 취하는 초기 회피행동(이상검지, 열차방호, 제동취급 등), 충돌시 열차의 속도, 도로차량의 형식과 크기를 고려하고, 또한 대형차량과의 고속충돌의 경우에는 열차탈선에 의한 2차 충돌의 발생가능성을 고려하여 표 6과 같이 사고에 대한 최종결과를 ETA 형식으로 전개하고자 하였다.

표 6. 피해심각도 산정을 위한 철도건널목 사고진전 시나리오 전개 기본안

| 지장검지 | 열차방호 | 열차정지 | 차량탈출 | 후속열차탈선 | 결과 심각도 구분 |
|--------|--------|---------|------|--------|-----------|
| 설치(Y) | 기관사확인 | 제동-열차정지 | | | 충돌없음-사상없음 |
| | (지장경고) | 제동-저속충돌 | 차량탈출 | | 저속충돌-사상없음 |
| | | | 미탈출 | | 저속충돌-사상 |
| 미설치(N) | 긴급전화 | 제동-저속충돌 | 차량탈출 | | 저속충돌-사상없음 |

| | | | | | |
|--|------|---------|------|------|-------------|
| | | | 미탈출 | | 저속충돌-사상 |
| | | 제동-중속충돌 | 차량탈출 | | 중속충돌-사상(여객) |
| | | | 미탈출 | | 중속충돌-사상(복합) |
| | 방호없음 | 제동-중속충돌 | 차량탈출 | | 중속충돌-사상(여객) |
| | | | 미탈출 | | 중속충돌-탈선(복합) |
| | | 미제동고속충돌 | 차량탈출 | 탈선없음 | 고속충돌-사상(여객) |
| | | | | 탈선 | 고속충돌-탈선(복합) |
| | | | 미탈출 | 탈선없음 | 고속충돌-사상(여객) |
| | | | | 탈선 | 고속충돌-탈선(복합) |

| | |
|--|---|
| <p>* 위험사건 발생빈도 핵심인자</p> <p>-도로/철도 교통량 : 주간/야간, 계절</p> <p>-환경인자 : 건널목/도로 구조특성, 주변지역특성</p> <p>-안전설비 : 경보/차단/검지기 등</p> | <p>* 사고심각도 판단의 핵심인자</p> <p>-충돌대상(충격량) : 승용차, 트럭/버스, 트레일러</p> <p>-충돌속도 및 후속탈선에 의한 사상 여부</p> <p>-탑승인원 : 자동차, 후속탈선의 경우 여객</p> |
|--|---|

5. 결론

본 연구에서는 철도 건널목 사고의 위험도를 정량적으로 평가하기 위하여 위험사건의 발생빈도를 결정하기 위한 위험요인을 FTA 형식으로 분류하고, 피해 심각도를 산정하기 위한 사고진전 시나리오를 ETA 형식으로 전개하였다.

우선, 철도건널목 사고의 위험사건은 (1) 경고 전에 건널목에 진입하여 정체 등으로 나올 수 없게 되는 형식과 (2) 경보가 울린 뒤에 건널목으로 진입하는 형식으로 구분하여 각 초기사건에 대한 위험상황을 정의하였다. 그리고 이들 위험상황을 초래할 수 있는 위험요인의 관계성을 사고발생 이력을 기반으로 개발하여 위험사건의 발생빈도를 산정하기 위한 고장수목분석(FTA)에 적용하고자 한다.

그리고 철도건널목 사고의 피해심각도를 판단하기 위한 사고진전 시나리오는 열차 기관사나 운전자가 취하는 초기 회피행동(이상검지, 열차방호, 제동취급 등), 충돌시 열차의 속도, 도로차량의 형식과 크기를 고려하고, 또한 대형차량과의 고속충돌의 경우에는 열차탈선에 의한 2차 충돌의 발생가능성을 고려하여 ETA 형식으로 전개하였다.

6. 참고문헌

- (1) 한국철도기술연구원, “철도건널목 위험요인 분석 및 개량방안 연구”, 연구보고서, 2003
- (2) 한국철도기술연구원, “철도사고 위험요인분석기술(PHA) 개발”, 연구보고서, 2003
- (3) Railtrack, “Profile of safety risk on Railtrack PLC-Controlled infrastructure”, Railway Safety Issue, 2001,
- (4) 일본 교통대책본부(주), “건널목사고방지종합대책에 대해”(제7차), 2001.
- (5) UN ESCAP 보고서, “철도 건널목 보호를 위한 비용-효과적 시스템의 평가”
- (6) FRA, “Crossing Safety and Trespass Prevention Program”, RSAC Presentation, 2002
- (7) FRA and Volpe National Transportation Systems Center, “Assessment of Risks for High-Speed Rail Grade Crossings on the Empire Corridor”, 2000