

# 선진 위험도 평가 기반의 건널목사고 안전관리 전략 연구

## A study on the safety management method based on the risk assessment of KORAIL's level-crossing accidents

정도원†                      왕종배\*\*                      임재은\*\*\*  
Jung, Do-Won              Wang, Jong-Bae              Lhim, Jea-Eun

### ABSTRACT

Operation of KORAIL's level crossing is in charge of KORAIL. As taking over existing level crossing to KORAIL, they do not conduct risk assessments, so we do not know about any possibilities of inner risk. And present operation of safety of the level crossing is just regular checking of reaction and functions of safety equipments physically, we need to react to the changes of what's going on around of level crossing and investigation of traffic flow and surrounding conditions more spontaneously. So, we have to prepare the strategies against accidents of level crossing cost-effectively based on regular risk assessments for sustainable safety improvements and overcome operational problems of present level crossing's safety. Here, we're going to investigate the level of safety level and present risk factors of the level crossing using risk assessments for accidents/error of the equipments to show operational strategies of level crossing based on risk assessments.

## 1. 서 론

철도 건널목사고는 열차와 도로차량이 건널목에서 충돌 또는 접촉하는 충돌사고의 한 형식으로서, 건널목의 설치구조, 교통특성, 인적요인 등이 복합적으로 작용하여 발생한다. 최근 6년간 국내 철도 건널목 사고는 매년 평균 34.5건이 발생하여 6.6명의 사망자가 나타나고 있으며, 그 동안 건널목의 입체화, 안전설비의 신설·개량 및 홍보활동 강화 등으로 사고발생 건수 및 사망자의 수가 매년 감소하는 추세를 보이고 있다. 그러나 아직도 철도 건널목사고는 철도 운전사고의 대부분을 차지하면서 많은 잠재적인 위험요인이 존재하고 있으며, 사고발생에 따른 인적·물적 피해가 클 뿐만 아니라 열차지연에 따른 사회적 손실도 큰 실정이다.

하지만 한국철도공사의 건널목 관리현황을 살펴보면 설치는 한국철도시설공단이 주체가 되어 시행하지만 이후 운영/관리는 한국철도공사의 책임으로 이루어진다. 따라서 한국철도공사에서 건널목 인수시 사전 위험평가 없이 인수하여 건널목의 설계/설치 단계에서 내재된 고유위험을 모를뿐 아니라 정기적인 건널목 안전관리 활동의 미흡으로 교통량 조사, 공장 및 학교, 유흥가 등 주변 환경의 변화와 수목 및 기타설비 변화 등 건널목 설치환경의 변화에 능동적인 대응이 이루어지지 못하고 있다. 단지 건널목 안전설비의 주기적인 동작/기능점검 수준이 현실이다. 따라서 본 연구에서는 건널목 안전관리의 변화 및 개선을 위해 사전 위험도 평가에 의한 건널목 사고예방 전략을 제시하고자 한다.

† 정도원 : 정회원, 한국철도공사, 연구원, 차장  
E-mail : bluejdw@hanmail.net  
TEL : (042)615-4704 FAX : (042)615-4915

\*\* 정회원, 한국철도기술연구원, 책임연구원

\*\*\* 비회원, 한국철도공사, 여객본부, 차장

## 2. 본 론

### 2.1 위험도 평가 절차

한국철도공사의 안전관리체계를 선진국 수준으로 제고하고, 급증하는 기술적/사회적 안전 위협요소에 적극적으로 대응하기 위하여 철도시스템 위험(Hazard) 분석 및 위험도(Risk) 평가를 핵심 기반으로 하는 철도안전관리시스템의 구축이 필요하다. 또한 위험도 평가와 비용-효과 분석에 근거한 합리적인 안전개선 투자 및 안전기술을 기반으로 전략적 안전목표 및 중장기 안전프로그램을 수립함으로써 효율적인 안전개선 및 경제적, 사회적 이득을 증대할 수 있다.

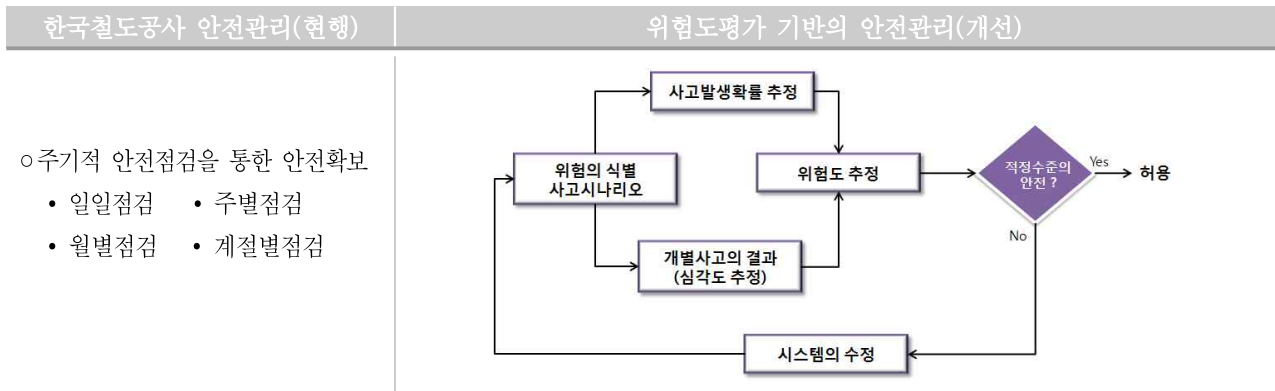


그림 1. 선진 위험도평가 기반의 안전관리

건널목 사고에 대한 위험도평가 기반의 안전관리 체계 확보를 위해서 국제적인 공통안전관리 CSM (Common Safety Management) 절차를 따른 그림2와 같은 건널목 사고 위험도 평가를 시행하였다. 그러기위해서 우선 건널목 사고/장애 위험분석으로 현재의 위험요인과 안전수준을 확인하고 위험도 경감을 위한 안전대책을 기술적 대책과 인적관리 대책, 운영/관리 대책으로 구분하여 검토하였다. 그리고 각 대책별 투자비용을 산출하였으며 마지막으로 비용-효율적으로 위험도를 관리하기 위한 위험도 평가 기반의 안전관리 시스템 도입 방안을 제시하였다.

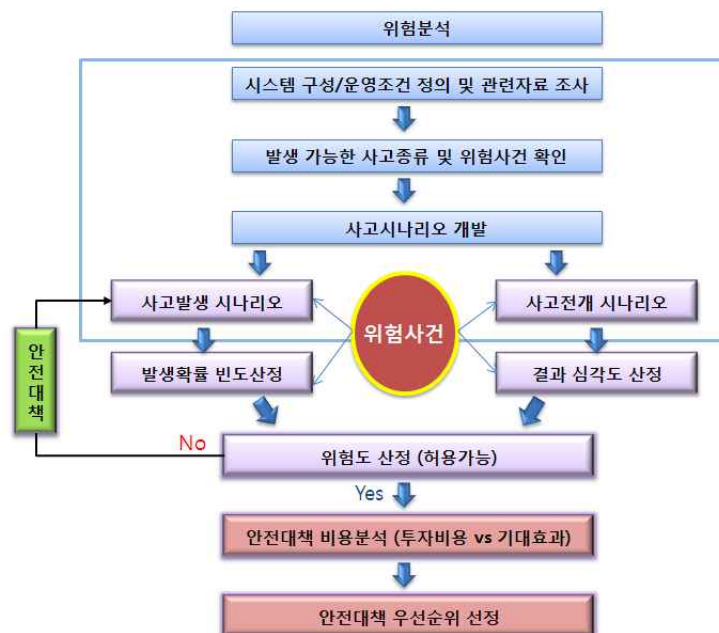


그림 2. 위험도 평가 절차

## 2.2 건널목 사고 위험분석

### 2.2.1 철도건널목 시스템 구성 및 운영조건 확인

건널목 사고의 위험분석 및 위험도 평가의 대상과 범위를 설정하기 위해서는 건널목 시스템의 구성과 기능을 이해하고, 운영조건 및 임무내용, 운영환경 등을 분석했다. 건널목은 여객철도와 화물철도가 모두 운영되며 여기에는 일반철도, 고속철도, 도시철도, 일반화물, 특수화물 등이 있다. 또한 건널목 하부시스템의 구성을 살펴보면 궤도, 노반과 같은 선로 및 구조물과 차단기 및 경보등과 같은 안전설비, 비상시 정보통신 설비 등이 있다.

건널목 시스템의 기능을 살펴보면 열차접근 중 통행자나 자동차의 진입을 막기위한 차단기와 열차의 접근을 알려주는 경보등이 있으며 이를 총괄 제어 및 감시하는 건널목 관리원도 배치되어 있다. 건널목에 접근하는 기관사는 각종 안전설비의 동작상태에 주시하면서 건널목 지장여부를 반드시 확인해야 하며, 건널목 감시원은 열차의 접근시 건널목 상태를 기관사에게 알려주어 주의운전을 유도해야 한다.



그림 3. 건널목 사고 위험도 평가 대상 및 시스템 구성

‘철도 사고보고 및 조사에 관한 지침’에서 건널목사고의 정의는 건널목에서 열차 또는 철도차량과 도로를 통행하는 자동차(동력을 가진 모든 차량을 말한다)와 충돌하거나 접촉한 사고를 의미한다. 한국철도공사의 건널목은 총 1,369개가 있으며 건널목 안전설비의 설치여부와 표 1의 교통량 기준에 따라 1, 2, 3종 건널목으로 구분하여 관리하고 있다. 이 중 1종 건널목이 1,242개로 전체의 약 90%이상을 차지하고 있다. 표1을 보면 알 수 있듯이 교통량이 많은 건널목은 지속적인 입체화 개량으로 해마다 건널목의 총 개수는 감소하고 있으며, 열차 운행횟수는 조금씩 증가하고 있다.

표 1. 철도건널목 분류 및 종별 설치기준

종 별 구 분		종별 설치기준 총교통량
1종	보관, 차단기 및 경보기, 교통안전표지판 설치, 건널목 관리원	500,000회 이상
2종	보관, 경보기, 교통안전표지판 설치	300,000회 이상 500,000회 미만
3종	보관, 교통안전표지판 설치	300,000회 미만

표 2. 한국철도공사 건널목 운영현황('03-'08)

구 분		'03년	'04년	'05년	'06년	'07년	'08년	6년 평균	
종합	건널목개소	1,657	1,577	1,537	1,510	1,455	1,369	1,517.5	
1종	건널목 개소	1,538	1,467	1,428	1,393	1,344	1,242	1,402	92.3%
2종	건널목 개소	24	27	27	25	20	13	22.6	1.5%
3종	건널목 개소	95	83	82	92	91	114	92.8	6.2%
열차운행거리(백만km)		108.3	113.8	116.4	116.2	117.9	120.7	115.6	
궤도길이(km)		7,529.8	7,745.9	7,871.7	7,889.9	7,950.0	7,980.8	7,828.0	
운행횟수 (열차운행거리/궤도길이)		14,382.8	14,689.0	14,787.1	14,726.4	14,825.5	15,123.8	14,767.5	

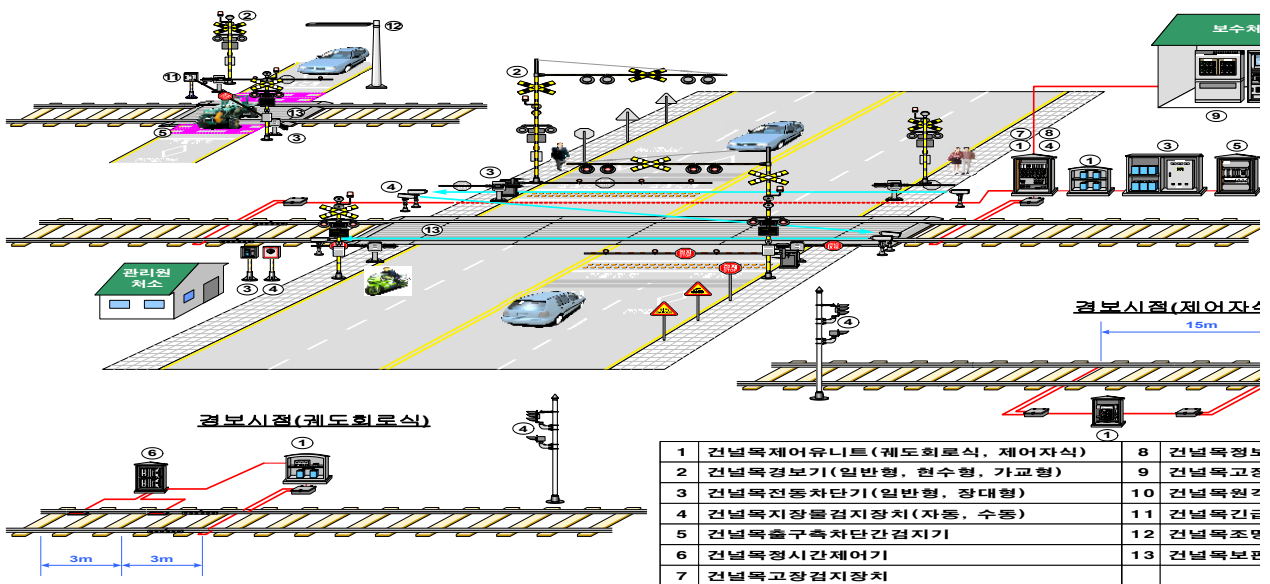


그림 4. 건널목 구성도

## 2.2.2 철도건널목 사고발생 및 운영 현황

### ① 사고분석

표3은 한국철도공사 운영정보시스템(KROIS: Korean Railroad Operating Information System)에 등록된 최근 6년간('03-'08년)의 철도건널목 운영 및 사고현황을 분석한 것이다. 국내 철도건널목은 매년 입체화로 폐지되어 2008년 기준 총 1,369개소가 있으며, 1종 건널목이 1,242개소(90.7%), 2종 건널목 13개소(1.0%), 3종 건널목 114개소(8.3%)가 운영되고 있다. 철도건널목 사고발생은 2003년 61건 발생이후 매년 감소하여 2008년 23건으로 연평균 34.5건이 발생하였고, 이로 인해 연평균 5.8명의 사망자와 21.7명의 부상자가 발생하였다.

표 3. 국내 철도건널목 사고발생 및 철도운영 현황('03-'08)

구 분		'03년	'04년	'05년	'06년	'07년	'08년	6년 평균	
총 합	건널목개소	1,657	1,577	1,537	1,510	1,455	1,369	1,517.5	
	사고발생(건)	61	39	37	25	22	23	34.5	
	사망/부상(명)	11/21	7/46	7/18	3/12	4/25	3/8	5.8/21.7	
1종	건널목 개소	1,538	1,467	1,428	1,393	1,344	1,242	1,402	92.3%
	사고발생(건)	58	35	32	22	20	21	31.3	91%
	사망/부상(명)	11/21	6/43	7/16	3/11	4/21	3/8	5.7/20	96.6%/92.2%
2종	건널목 개소	24	27	27	25	20	13	22.6	1.5%
	사고발생(건)	3	4	4	3	1	2	2.8	8.1%
	사망/부상(명)	/	1/3	0/1	0/1	0/4	/	0.2/1.5	3.4%/7.1%
3종	건널목 개소	95	83	82	92	91	114	92.8	6.2%
	사고발생(건)	/	/	1	/	1	/	0.3	1.0%
	사망/부상(명)	/	/	0/1	/	/	/	0/0.2	0%/0.9%

주) 한국철도공사/수도권전철(한국철도공사관할구간) 포함, 도시철도제외

② 철도건널목 사고의 위험사건 및 안전방벽 확인

최근 6년간('03-'08년)의 철도건널목 사고특성을 정밀 분석한 결과 위험사건은 크게 건널목 간힘, 경보중 진입, 차단기 돌파/우회 등이 있었으며 사고발생 특성과 피해심각도는 표4와 같음을 알 수 있었다.

표 4. 건널목 사고의 위험사건 정의 및 안전방벽 확인

사고형식	위험사건	정 의
건 널 목 사 고	자 동 차 와 충 돌	건널목 간힘 도로차량이 열차진입 경보이전에 건널목에 진입하였으나 운전자 부주의나 교통정체 등으로 빠져 나오지 못함. - 위험상황의 조기인지로 운전자 탈출/대피 가능성이 높음
	경보중 진입	운전자가 교통법규(건널목 통과방법)를 위반하여 열차진입 경보가 울린 이후에 진입 - 운전자 탈출/대피 가능성 보통
	차단기돌파/우회	차단기가 내려온 후에 운전자가 고의적으로 차단기를 부수거나 끝단으로 돌아서 진입 - 운전자 탈출/대피 가능성이 낮음
안전방벽		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 건널목 입체화로 사고발생 기회 차단</li> <li>• 철건널목 차단기, 경보기 등 안전설비 보강</li> <li>• 건널목 구조개량 (접근거리, 가시거리 확보)</li> </ul>

상기 3가지 위험사건중 “건널목 간힘”은 자동차의 고장이나 운전자 부주의로 발생하는 사고로 간힘 즉시 위험상황 인지 후 탈출 및 대피 할 시간적 여유가 있으며, 건널목 지장물검지장치가 설치되어 있는 경우 기관사에게 경고를 하여 급제동을 체결하도록 하여 인명피해가 다소 적다. 하지만 “경보중 진입”과 “차단기 돌파/우회”는 위험상황 발생 후 운전자가 탈출할 시간적 여유가 적으며, 기관사도 사전 경보나 통보가 없어서 고속으로 자동차와 충돌할 확률이 높기 때문에 인명피해가 크게 발생하고 있다.

### 2.2.3 철도건널목 사고시나리오 전개

철도건널목 사고시나리오는 발생사고 이력을 종합 분석하여 발생 가능한 위험상황과 이를 초래할 수 있는 각 가지 위험요인을 정의하고 이를 기반으로 3가지 위험사건별 사고발생 시나리오를 전개하여 시나리오에 따른 발생빈도를 산정할 수 있다. 우선 사고시나리오 전개를 위해 과거의 철도건널목 사고현황을 조사·분석한 결과 위험사건별 위험상황은 그림5와 같다.

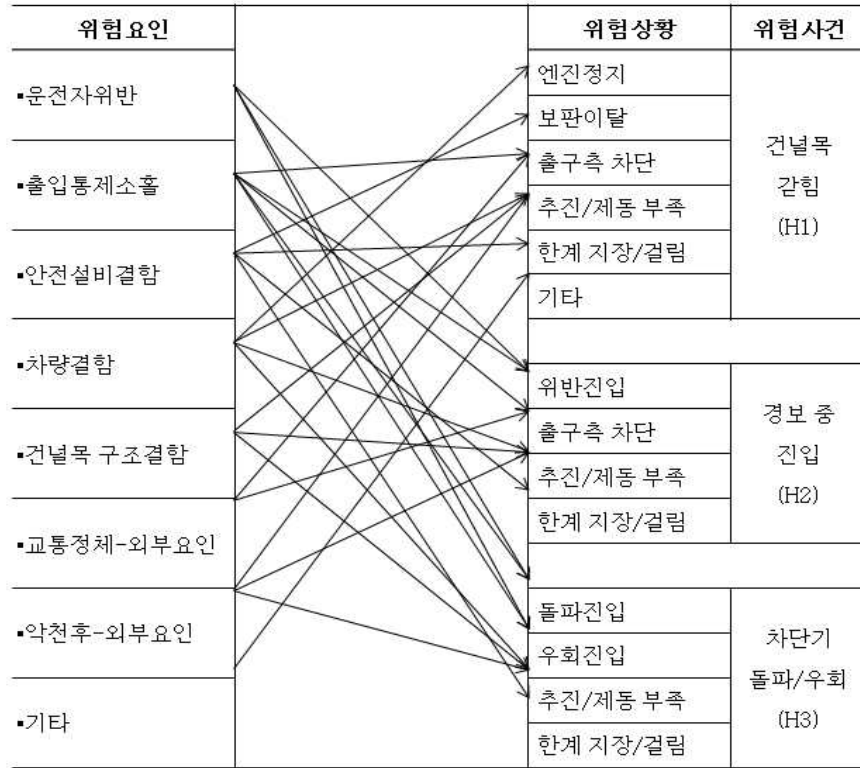


그림 5. 건널목 사고의 위험사건별 위험상황 및 위험요인

또한 사고 심각도에 영향을 미치는 영향인자는 이미 2009년 7월 한국철도연구원에서 분석한 결과 다음과 같다.

#### ① 열차 운행속도와 제동취급거리

열차 기관사가 열차를 정지시킬 수 있는 충분한 제동 취급거리의 확보와 당시의 열차 운행속도가 충돌 발생 및 사고결과를 결정한다. 제동취급거리는 기관사가 건널목상의 지장물 발견과 동시에 비상제동을 체결하였다는 가정하에 산정하였다.

#### ② 도로차량 탑승자의 사전대피

제동 취급(거리)이 미흡한 경우 열차가 도로차량과 충돌하기 이전에 차량운전자의 탈출/대피 시, 열차운행속도와 제동취급거리 및 도로차량 운전자의 상황에 따른 대피시간 확보여부가 인명피해를 지배한다.

#### ③ 열차-도로차량 충돌에너지(충격량)

열차가 도로차량과 충돌하는 경우 충돌에너지(E)가 결과적인 사고피해를 지배하며, 여기서 충돌시의 열차속도(V)와 열차 및 도로차량의 크기(M1, M2)에 따라 사고규모와 인명피해가 결정된다.

$$E = \frac{1}{2} \frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2} V^2$$

M<sub>1</sub> : Total Mass of the train

M<sub>2</sub> : Total Mass of the vehicle

V : Speed of the train

지금까지의 위험사건과 영향인자를 종합하여 사고 시나리오를 전개하면 그림6과 같다.

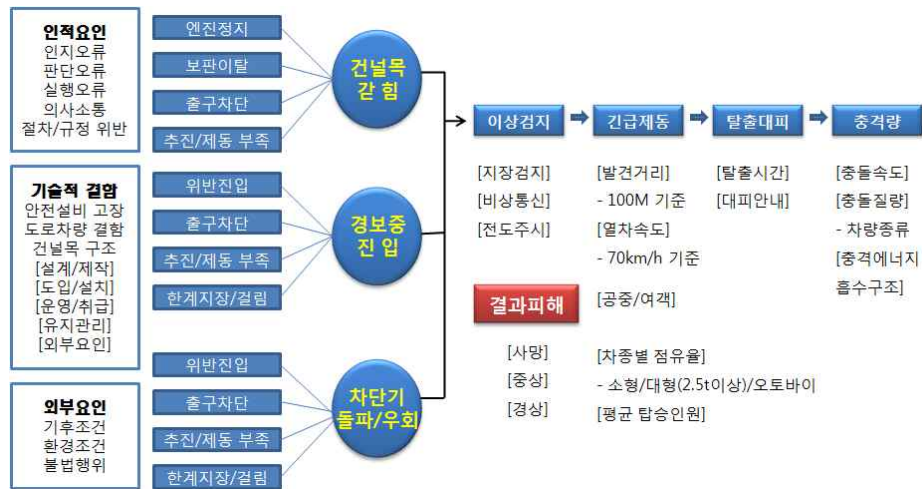


그림 6. 철도건널목 사고 시나리오

### 2.3 사고이력 기반의 건널목 사고 위험도 평가 및 안전수준 측정

앞서 제시한 사고 시나리오를 기반으로 사고이력을 통해 분석한 각 시나리오별 발생빈도와 심각도를 입체적으로 평가하여 각 위험사건별 위험도를 평가할 수 있으며, 각 위험사건별 위험도를 합하면 건널목 사고에 대한 위험도가 어느 수준인지 알 수 있다. 이미 2009년 7월 한국철도기술연구원에서 '03-'07년까지의 철도건널목 사고에 대해 위험도평가를 실시하였으므로 본 연구에서는 한국철도기술연구원에서 실시한 위험도평가에 '08년도 사고이력을 추가 반영하여 위험사건별 위험도를 분석하였으며 그 결과는 표5와 같다.

표 5. 철도건널목 사고 위험사건 형식별 위험도('03-'08)

위험사건 - 형식		'03-'08발생건수		인명피해			등가환산	사상율(%)			물적피해/건	시간지연/건
		누적	평균	死	重	輕	EF	死	重	輕	(천원)	시:분
건널목 간힘 (R1)	엔진정지	11	1.8	1	4	2	1.4	9.1	36.4	18.2	540	00:15
	보판이탈	15	2.5	0	0	0	0	0.0	0.0	7.7	5,758	00:25
	출구측차단	13	2.2	0	1	0	0.1	0.0	11.1	0.0	435	00:11
	추진/제동부족	4	0.7	0	1	1	0.1	0.0	33.3	33.3	2,076	00:12
	한계지장/결림	4	0.7	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	1,136	00:09
	기타	3	0.5	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	6,271	00:06
소 계		50	8.3	1	6	3	1.6	2.3	14.0	9.3	2,658	00:14
경보중 진입 (R2)	위반진입	41	6.8	4	7	13	4.7	9.4	18.8	25.0	3,853	00:14
	출구측차단	23	3.8	2	3	13	2.3	9.1	18.2	22.7	2,560	00:17
	추진/제동부족	5	0.8	0	4	16	0.4	0.0	80.0	360.0	3,716	00:36
	한계지장/결림	5	0.8	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0	00:08
소 계		74	12.3	6	14	42	7.4	7.9	22.2	49.2	3,146	00:14
차단기 돌파/ 우회 (R3)	돌파진입	26	4.3	5	9	21	5.9	18.2	27.3	81.8	8,427	00:25
	우회진입	46	7.7	21	13	15	21.1	50.0	30.0	32.5	979	00:13
	출구측차단	2	0.3	1	1	1	1.1	50.0	50.0	50.0	3,976	00:16
	추진/제동부족	6	1	1	1	1	1.1	0.0	20.0	20.0	768	00:00
	한계지장/결림	3	0.5	0	0	1	0	0.0	0.0	0.0	0	00:16
소 계		83	13.8	28	24	39	30.4	34.7	27.8	45.8	3,283	00:17
합 계		207	34.5	35	44	84	39.4	17.4	22.5	38.2	3,084	00:16

이것을 다시 위험사건 형식별 Risk 우선순위를 판별하기 위하여 발생건수 과다순위와 심각도가 높은 순위로 각각 재분류하면 표6, 7과 같다.

표 6. 발생건수 기준 건널목 사고 위험도 우선순위

순위	위험사건 - 형식	'03-'08 발생건수		인명피해			등가환산
		누적	평균	死	重	輕	EF
1	R3 우회진입	46	7.7	21	13	15	21.1
2	R2 위반진입	41	6.8	4	7	13	4.7
3	R3 돌파진입	26	4.3	5	9	21	5.9
4	R2 출구측차단	23	3.8	2	3	13	2.3
5	R1 보판이탈	15	2.5	0	0	0	0
6	R1 출구측차단	13	2.2	0	1	0	0.1
7	R1 엔진정지	11	1.8	1	4	2	1.4
8	R3 추진/제동부족	6	1	1	1	1	1.1
9	R2 추진/제동부족	5	0.8	0	4	16	0.4
	R2 한계지장/걸림	5	0.8	0	0	0	0
10	R1 추진/제동부족	4	0.7	0	1	1	0.1
	R1 한계지장/걸림	4	0.7	0	0	0	0
11	R1 기타	3	0.5	0	0	0	0
	R3 한계지장/걸림	3	0.5	0	0	1	0
12	R3 출구측차단	2	0.3	1	1	1	1.1

표 7. 심각도 기준의 건널목 사고 위험도 우선순위

순위	위험사건 - 형식	등가환산	인명피해			'03-'08 발생건수	
		EF	死	重	輕	누적	평균
1	R3 우회진입	21.1	21	13	15	46	7.7
2	R3 돌파진입	5.9	5	9	21	26	4.3
3	R2 위반진입	4.7	4	7	13	41	6.8
4	R2 출구측차단	2.3	2	3	13	23	3.8
5	R1 엔진정지	1.4	1	4	2	11	1.8
6	R3 출구측차단	1.1	1	1	1	2	0.3
	R3 추진/제동부족	1.1	1	1	1	6	1
7	R2 추진/제동부족	0.4	0	4	16	5	0.8
8	R1 출구측차단	0.1	0	1	0	13	2.2
	R1 추진/제동부족	0.1	0	1	1	4	0.7
9	R1 보판이탈	0	0	0	0	15	2.5
	R1 한계지장/걸림	0	0	0	0	4	0.7
	R1 기타	0	0	0	0	3	0.5
	R2 한계지장/걸림	0	0	0	0	5	0.8
	R3 한계지장/걸림	0	0	0	1	3	0.5



## 2.4 위험도 기반의 안전관리 전략

철도건널목 사고를 유발하는 위험사건에 대한 위험도를 저감하기 위하여 여러 가지 안전대책들이 이미 적용되고 있다. 하지만 전체 건널목 중 일부에서만 적용되고 있으며, 건널목 사고는 전체 건널목에서 산발적으로 발생하므로 건널목 사고에 대한 안전을 확보하기에는 아직까지 미흡한 실정이다. 따라서 본 장에서는 건널목 사고 안전대책에 대한 종합적인 검토와 함께 비용-효율적인 안전대책 수립을 위한 위험도 기반의 안전관리 전략을 제시하고자 한다.

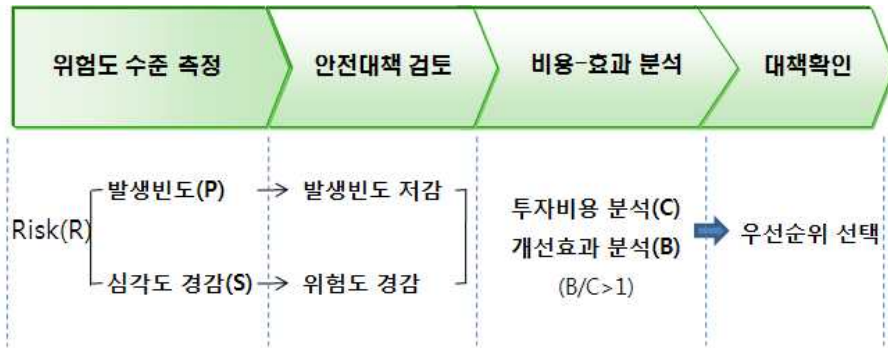


그림 7. 위험도 평가기반의 안전관리 전략

### 2.4.1 Risk 경감을 위한 안전대책의 정의 및 구분

건널목 사고의 Risk 경감을 위한 안전대책으로는 크게 기술적 대책과 인적관리 대책, 운영/관리 대책으로 구분하여 정의하였다. 기술적 대책에는 건널목 지장물검지장치와 같은 안전설비들이 포함되며, 인적관리 대책으로는 도로운전자 홍보 및 기관사, 건널목 관리원 교육/훈련 등이 포함된다. 그리고 마지막으로 운영/관리 대책으로는 도로운전자의 건널목 통과시 위규운전을 방지하기위한 단속활동 강화 및 건널목 시인성 향상, 건널목 구조개선 등이 있다.

표 8. Risk 경감을 위한 안전대책

구분	안전대책
기술적 대책 (Technique)	○ 지장물검지장치----- T1
	○ 출구측 차단기검지기-----T2
	○ 교통신호 연동-----T3
	○ 차단기 전폭확대 설치----- T4
	○ 정시간 제어기-----T5
인적관리 대책 (Human)	○ 도로운전자 홍보-----H1
	○ 건널목 관리자 교육 -----H2
	○ 기관사 교육/훈련-----H3
운영/관리 대책 (Management)	○ 단속강화(CCTV)-----M1
	○ 시인성 향상----- M2 (표지도색/경광등/수목제거/차단기 형광도색 및 구경확대)
	○ 건널목 구조개선----- M3 (투시지장 해소/올타리 보강/교차각 개선)

### 2.4.2 건널목 사고 위험과 안전대책 연계

앞에서 언급한 기술적 대책, 인적관리 대책, 운영/관리 대책 등과 위험사건간의 상관관계를 살펴보면 그림8과 같다. 대부분의 위험사건이 1~3개의 안전대책을 가지고 있음을 알 수 있다. 따라서 이러한 안전대책들 중 가장 비용-효과적인 안전대책을 찾아서 적용하는 것이 합리적인 안전관리 방안이라 할 수 있다.

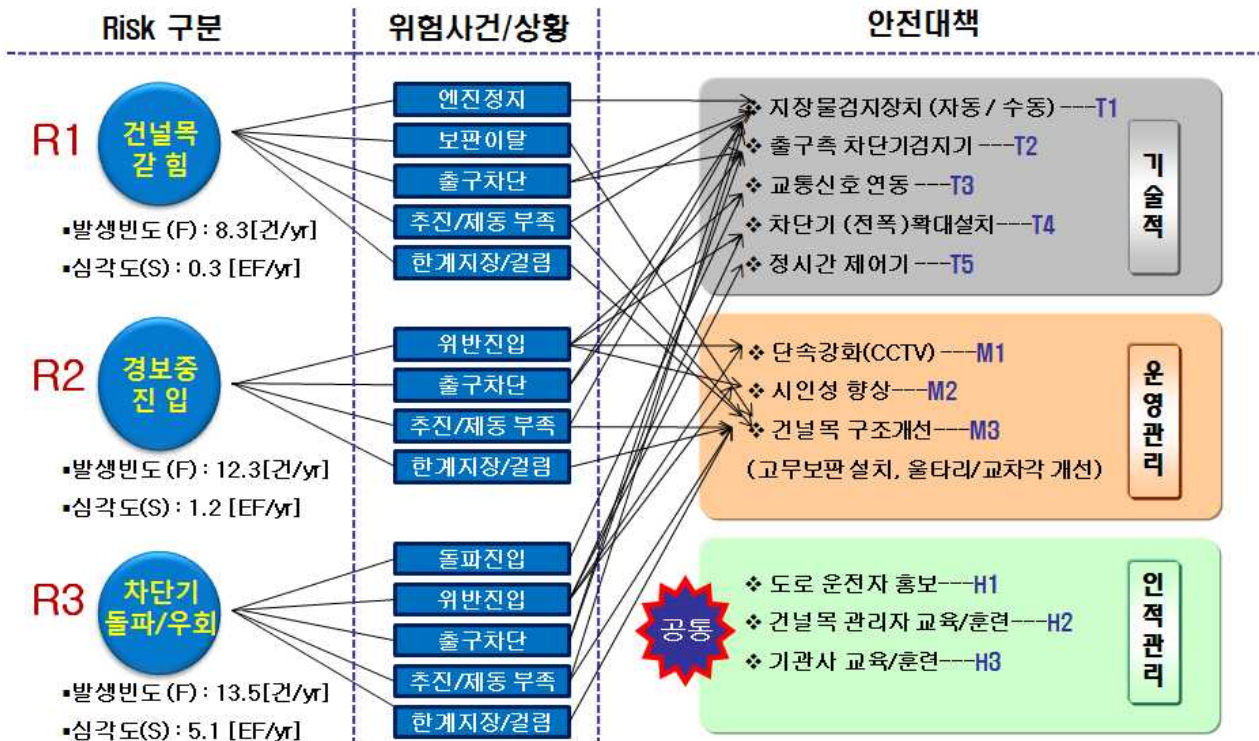


그림 8. 건널목 사고 위험과 안전대책 연계

### 2.4.3 안전대책의 비용-효과 분석

건널목 사고를 예방하기 위해 건널목 사고에 대한 여러 가지 안전대책을 모두 적용하기에는 막대한 비용이 소요되므로 사실상 불가능하다. 따라서 여러 가지 안전대책 중 비용-효율적인 안전대책을 선별하여 우선 적용하는 것이 바람직하다. 그러기 위해서는 가장먼저 각각의 안전대책별 투자비용을 알아야 한다.

#### ① 안전대책별 투자비용 산정

##### 가. 기술적 대책의 투자비용

건널목 사고 Risk 경감을 위한 기술적 대책은 대부분 건널목 안전설비로써 투자비용이 매우 높다. 따라서 전체 건널목 1,369개에 모든 안전설비를 설치하는 것은 막대한 투자비용이 발생하기 때문에 비효율적이다. 따라서 본 연구에서는 모든 건널목 대장의 사고이력을 조사하여 건널목 사고가 3회 이상 발생한 건널목을 취약건널목으로 분류하여 기 설치된 안전설비 현황을 파악하고, 필요한 안전설비를 구비하는데 소요되는 투자비용을 분석하였다. 전체 1,369개의 건널목 중 건널목 사고가 3회 이상 발생한 취약건널목은 총 268개소이며 각 개소별 안전설비 설치현황은 표9와 같다.

표 9. 기술적 대책의 투자비용 산정

우선순위	NO	본부	선별	구간	건널목	사고빈도	지장물검지	출구측차단기	정시간제어기
1	634	부산경남	동해남부선	호계-모화	신천	16	○	X	X
2	628	부산경남	동해남부선	남창-덕하	개산	15	○	○	X
3	167	수도권동부	경원선	의정부-덕정	녹양동	13	X	X	X
4	166	수도권동부	경원선	청량리-성북	휘경4	13	○	X	X
5	1131	전남	경전선	보성-명봉	명봉	13	X	X	X
6	1261	경북	영동선	영주-문단	하망1	12	○	X	X
7	366	대전충남	충북선	청주-오근장	외남2	12	○	X	X
8	671	부산경남	장생포선	울산-장생포	고사리	11	X	X	X
9	635	부산경남	동해남부선	호계-모화	이화	11	X	X	X
10	1170	충북	태백선	송학-입석리	영월가도1	11	X	X	X
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
262	1177	충북	태백선	쌍용-연당	도동	3	○	○	X
263	1160	충북	충북선	공전-봉양	주포리	3	X	○	X
264	1157	충북	중앙선	고명-삼곡	고명	3	X	X	X
265	1152	충북	충북선	충주-목행	청원	3	○	X	○
266	1150	충북	충북선	충주-목행	칠금	3	○	○	X
267	1149	충북	충북선	달천-충주	달신	3	X	○	X
268	1144	충북	중앙선	연교-구학	구학	3	X	○	X

한국철도공사의 취약건널목 268개의 안전설비를 조사한 결과 지장물검지장치는 84개소에 설치되어 있고, 출구측차단기는 75개, 정시간제어기는 50개가 설치되어 있는 것으로 조사되었다. 건널목 사고의 Risk 경감을 위하여 정시간제어기를 전 취약개소에 설치하는데 239억 이상의 투자비용이 발생하여 가장 높게 나타났으며, 지장물검지장치의 경우 101억 정도 소요되며, 출구측차단기가 48억 소요는 것으로 분석되었다. 그리고 전폭차단기 투자비용이 16억으로 가장 적게 나타났으며, 이는 건널목에서 차단기 우회로 인한 사고가 많이 발생하는 실정이므로 투자 우선 순위가 높을 것으로 예상된다. 그리고 교통신호연동은 주변에 도로교통신호가 존재하면 경찰청에서 배선을 연계해주므로 별도의 비용이 들지 않음을 알 수 있었다.

표 10. 사고다발 건널목 268개소의 기술적 대책 투자비용 산정

	안전대책	기설치 개소 (A)	미설치 개소 (B)	개소별 설치비용 (C)	총 설치비용 (T)	비고
기술적 대책 (T)	지장물검지장치(T1)	84	184	55백만원	10,120백만원	T=B×C
	출구측차단기(T2)	75	193	25백만원	4,825백만원	"
	교통신호연동(T3)	14	254	-	-	도로교통신호 존재시 신호만 연계하므로 비용안됨
	전폭차단기(T4)	0	268	6백만원	1,608백만원	T=B×C
	정시간제어기(T5)	50	218	110백만원	23,980백만원	"

\*근거자료 : “철도시설 유지보수비 과학적 산정을 위한 연구” 최종보고서('07)

나. 인적관리 대책 투자비용

인적관리 대책에 소요되는 비용을 살펴보면 우선 도로운전자의 안전의식 제고를 위한 건널목 안전캠페인을 현행 2회에서 12회로 늘리면 연간 소요비용이 240백만원의 투자비용이 발생하며, 다음으로 983명의 건널목 관리원 교육비용 및 점검비용이 242백만원이 소요되는 것으로 분석되었다.

그리고 건널목 주의운전 및 신속한 사고 후속처리를 위한 기관사 교육비용이 742백만원으로 가장 많이 소요됨을 알 수 있었다. 여기서 건널목 관리원과 기관사의 교육단가가 다소 차이가 있는 것은 전원 비정규직인 건널목 관리원에 비해 기관사는 정규직/전문인력으로서 운전수당 및 위험수당 등이 포함되어 평균임금이 높기 때문이다.

기술적 대책에 비해 인적관리 대책의 투입비용이 매우 적다는 장점이 있지만 투입효과가 비교적 정량적으로 나타나는 기술적 대책에 비해 인적관리 대책의 투입효과는 정성적으로밖에 가늠할 수 없다는 단점도 있다. 하지만 도로운전자 홍보활동은 Risk 경감 효과와 동시에 지역시민의 교통문화 발전에도 영향을 미치고, 또한 한국철도공사의 이미지 쇄신에도 좋은 효과가 있으므로 지속적으로 확대 실시할 필요성이 있다고 사료된다.

표 11. 인적관리 대책의 투자비용 산정 (홍보 및 교육비)

	안전대책	총인원	구분	비용	비고
인 적 관 리 대 책 (H)	도로운전자 홍보비(H1)	불투명	(년12회)	240백만원	건널목안전캠페인 소요비용 1회당 : 20백만원
	건널목 관리원(H2) (관리원 250개소 배치)	983명	대체비	79백만원	- 대체비 : 79백만원 (983명×8h×1만원)
			교재비	10백만원	- 교재비 : 1만원×1,000개
			점검비	153백만원	- 점검비(년간) · 불시점검 : 월 1회 · 점검자 인건비 : 153백만원 (62백만원×2인)
			소계	242백만원	· 점검자 출장비 : 29백만원 (여비+유류비)
	기관사(H3)	3,987명	대체비	702백만원	- 대체비 : 702백만원 (3,987×8h×2.2만원)
			교재비	40백만원	- 교재비 : 1만원×4,000개
소계			742백만원		

※근거자료 : '09년도 한국철도공사 교육예산 편성 자료 참조

다. 운영/관리 대책 투자비용

운영/관리 대책에서는 건널목 사고에서 가장 심각도가 높은 위반진입과 차단기 돌파/우회진입 사고의 발생빈도를 저감하기 위한 대책으로 아직까지 철도건널목에 적용되지 않았던 단속용 CCTV 적용 방안을 고려하였다. CCTV는 운전자의 위규운전 의지를 1차적으로 저감시켜 사고발생 가능성을 감소시킬 것으로 판단된다. CCTV 적용 비용은 총 80억으로 산정된다. 또한 건널목 시인성 향상을 위하여 안전표지판 도색과 경광등 설치, 수목제거, 차단기 형광도색, 구경확대 등에 소요되는 비용은 개소별로 다소 차이가 있겠지만 평균 3백만원으로 산정하여 취약건널목 전개소를 일괄정비하는데 소요되는 비용은 8억 정도이다. 건널목 구조개선은 보판이탈 사고를 방지하기위한 고무보판 설치와 차단기 우회진입 사고를 예방하기위한 안전울타리 설치, 교차각 개선을 위한 건널목 설계변경 등이 있으나, 안전울타리 및 교차각 개선은 막대한 비용이 소요되며 개소별로 차이도 커서 본 연구에서는 고무보판 설치만을 고려하여 투자비용과 비용-효과를 분석하였다. 취약건널목 전개소에 고무보판을 설치하는데는 106억 이상 소요된다.

표 12. 취약건널목 268개소에 대한 운영/관리 대책 투자비용 산정

	안전대책	기설치 개소 (A)	미설치 개소 (B)	개소별 설치비용 (C)	총 설치비용 (T)	비고
운영 / 관리 대책 (M)	단속강화/CCTV(M1)	0	268	3천만원	804천만원	T=B×C
	시인성 향상(M2) - 표지도색 - 경광등 - 수목제거 - 차단기 형광 도색 구경확대	-	268	0.3천만원	80천만원	" (전개소 일괄정비)
	건널목 구조개선(M3) (고무보판 설치)	55	213	5천만원	1,065천만원	"

※ 근거자료 : 한국철도공사 시설기술단 선로관리팀 자료 참조

② 안전대책별 위험도 경감효과 분석

건널목 사고 Risk 경감을 위한 각 안전대책별 정확한 비용-효과 분석을 위해서는 실제 Risk 감소율을 알아야 한다. 하지만 Risk 감소율을 알기 위해서는 사전 위험도평가 후 실제적인 타당성 검증 과정이 수행되어야 한다. 하지만 본 연구는 사전 위험도평가 단계이므로 실제적인 타당성 검증을 통한 Risk 감소율 적용이 불가능하므로 연구의 목적달성을 위하여 각 안전대책별 Risk 감소율을 정성적으로 평가/가정하여 비용-효과 분석을 진행하였다. 이후 본 연구를 통하여 분석된 건널목 사고의 위험도평가 및 비용-효과의 신뢰성 확보를 위해서는 실제 운영환경에서 사고이력의 지속적인 추적/관리와 안전대책 적용 후 상시 모니터링 실시로 실제적인 타당성 검증 과정이 필요하다.

비용-편익 분석(CBA)을 적용한 교통안전대책의 타당성 평가는 교통사고의 결과로서 초래되는 ‘사고비용’을 근거로 한다. 즉 어떤 안전대책에 의한 교통사고의 회피는 경제적 이익을 만들어 내며, 이들이 가져오는 이익의 규모를 확인하려면 사고비용을 제거해야 한다. 여기서 안전대책 비용은 그 실행과 후속(유지관리) 비용을 포함하는 것이며, 비용-편익 비율은 해당 안전대책의 경제적 이득을 나타낸다.

$$\text{비용-편익 비율} = \text{이익} / \text{비용} = (\text{경감된 사고비용}) / (\text{대책 비용})$$

가. 기술적 대책의 위험도 경감효과 분석

건널목 사고 Risk 경감을 위한 기술적 대책의 비용-효과 분석결과 전폭차단기가 122.4억으로 개선효과 비용이 가장 높게 나타났다. 이는 현재 건널목 차단기가 건널목의 3/4만을 차단하기때문에 오토바이 운전자들이 차단기를 우회하여 통과하다 열차에 충돌하여 인명피해가 많이 발생하고 있다. 따라서 건널목 전폭차단기를 설치하면 이러한 사고의 발생빈도가 80% 가까이 줄어들기 때문에 그만큼 Risk 개선효과가 높게 나타난다.

반면에 건널목 지장물검지장치와 출구측차단기검지기, 정시간제어기는 10~25억 정도의 개선효과 비용이 나타나는 것으로 분석되었다. 이러한 안전설비는 실제 Risk 감소효과는 높지만 한국철도공사의 최근 6년간의 사고이력을 분석한 결과, 사고로 인명피해가 발생한 경우가 다소 적었기 때문에 그만큼 비용-효과는 적게 나타났다. 따라서 기술적 대책중에서 가장 우선적으로 적용을 검토해야할 대책은 전폭차단기이며 오토바이의 통행량이 많은 주택가 위주로 확대 설치하면 차단기 우회 진입으로 발생하는 건널목 사고를 많이 저감하여 전체 건널목 위험도 경감에 큰 영향을 미칠 것으로 사료된다.

표 13. 기술적 대책의 비용-효과 분석

안전대책		Risk 감소율		Risk 개선 효과	비용 환산	개선효과 비용한계 VIF=30억(영국기준)
		발생빈도 경감	심각도 경감			
기술적 (T)	지장물검지장치(T1)	×	R1 : 80%	$R1(0.3) \times 0.8 = \mathbf{0.24}$	7.2억	25.2억
			R2 : 50%	$R2(1.2) \times 0.5 = \mathbf{0.6}$	18억	
			R3 : 0%	$R3(5.1) \times 0 = \mathbf{0}$	-	
	차단기검지기(T2)	×	R1 : 80%	$R1(0.3) \times 0.8 = \mathbf{0.24}$	7.2억	25.2억
			R2 : 50%	$R2(1.2) \times 0.5 = \mathbf{0.6}$	18억	
			R3 : 0%	$R3(5.1) \times 0 = \mathbf{0}$	-	
	교통신호연동(T3)	×	R1 : 0%	$R1(0.3) \times 0 = \mathbf{0}$	-	10.8억
			R2 : 30%	$R2(1.2) \times 0.3 = \mathbf{0.36}$	10.8억	
			R3 : 0%	$R3(5.1) \times 0 = \mathbf{0}$	-	
	전폭차단기(T4)	×	R1 : 0%	$R1(0.3) \times 0 = \mathbf{0}$	-	122.4억
			R2 : 0%	$R2(1.2) \times 0 = \mathbf{0}$	-	
			R3 : 80%	$R3(5.1) \times 0.8 = \mathbf{4.1}$	122.4억	
	정시간제어기(T5)	×	R1 : 0%	$R1(0.3) \times 0 = \mathbf{0}$	-	10.8억
			R2 : 30%	$R2(1.2) \times 0.3 = \mathbf{0.36}$	10.8억	
			R3 : 0%	$R3(5.1) \times 0 = \mathbf{0}$	-	

※국내 1EF(Vpf) 기준이 없으므로 영국기준 적용

나. 인적관리 대책의 위험도 경감효과 분석

인적관리 대책의 주된 활동은 교육 및 홍보이다. 이러한 활동은 기술적 대책과는 달리 대략적인 Risk 감소율도 예측하기 어려우며, 발생빈도나 심각도에 큰 영향을 미친다고 단정하기도 어려워서 최대 감소율을 30%로 한정하고 이하 15%, 10% 수준으로 소극 적용하였다. 그렇게 분석한 결과 인적관리 대책의 비용-효과 분석에서는 도로운전자 홍보가 가장 Risk 개선효과가 큰 것으로 나타났다. 이는 차단기 돌파/우회 사고의 경우는 도로운전자의 안전불감증에서 기인한 고의적 위반사고이므로, 주기적으로 건널목 안전캠페인을 실시하여 철도건널목 사고의 위험성을 인식시키고 도로운전자로 하여금 건널목 통과시 불법위반 행위의 위험요인을 알리는 것이 사고 예방에 효과적이기 때문이다.

또한 위반진입이나 우회진입의 경우 건널목 관리원의 철저한 통제가 있으면 발생빈도를 감소할 수 있으며, 건널목 간헐시에도 관리원의 신속한 대피유도에 의해 사고심각도를 줄일 수 있다. 그리고 기관사를 대상으로한 안전교육으로 책임의식을 강화하고 위급상황시 대처능력을 향상시키면 8.1억까지 개선효과 비용이 나타날 것으로 예상된다.

표 14. 인적관리 대책의 비용-효과 분석

안전대책		Risk 감소율		Risk 개선 효과	비용 환산	개선효과 비용한계 VIF=30억
		발생빈도 경감	심각도 경감			
인적 관리 (H)	도로운전자 홍보(H1)	R1 : 0%	R1 : 10%	$R1(0.3) \times 0.1 = \mathbf{0.03}$	0.9억	23.4억
		R2 : 10%	R2 : 10%	$R2(1.2) \times 0.2 = \mathbf{0.24}$	7.2억	
		R3 : 10%	R3 : 0%	$R3(5.1) \times 0.1 = \mathbf{0.51}$	15.3억	
	건널목관리원 교육(H2) (관리원 250개소 배치) $250/1,300 = \mathbf{0.183}$	R1 : 30%	R1 : 30%	$R1(0.3) \times 0.6 = \mathbf{0.18}$	5.4억	31.5억 × 0.183 = 5.8억
		R2 : 15%	R2 : 15%	$R2(1.2) \times 0.3 = \mathbf{0.36}$	10.8억	
		R3 : 10%	R3 : 0%	$R3(5.1) \times 0.1 = \mathbf{0.51}$	15.3억	
	기관사 교육/훈련(H3)	R1 : 0%	R1 : 30%	$R1(0.3) \times 0.3 = \mathbf{0.09}$	2.7억	8.1억
		R2 : 0%	R2 : 15%	$R2(1.2) \times 0.15 = \mathbf{0.18}$	5.4억	
		R3 : 0%	R3 : 0%	$R3(5.1) \times 0 = \mathbf{0}$	-	

다. 운영/관리 대책의 위험도 경감효과 분석

운영/관리 대책의 비용-효과 분석에서는 건널목에 단속용 CCTV를 설치하면 도로운전자의 위반진입 의지가 1차적으로 감소되어 사고발생 빈도를 줄여서 63.9억의 Risk 감소에 따른 개선효과 비용이 발생한다. 또한 한국철도공사의 건널목 안전관리 현황을 살펴보면 건널목 인수 후 각종 안전설비의 동작/기능 여부만 점검하는 수준이지 주변환경 변화에 따른 시설보완은 다소 미흡한 실정이다. 따라서 건널목 사고 다발개소의 건널목 시인성 향상을 위하여 안전표지를 잘 보이게 도색 및 위치를 조정하고 어두운 곳은 경광등도 설치하며, 주변 수목의 제거로 확인성을 향상시키고, 건널목 차단기도 형광도색 및 구경을 확대하면 지금보다 Risk가 많이 감소할 것으로 판단된다.

건널목 구조개선 사항에서는 건널목과 도로가 수직교차하는 것이 가장 바람직하나 수직교차를 위한 시설개량 사업에 막대한 비용이 발생하므로 본 연구에서는 실제 한국철도공사에서 적용하고 있는 고무보판 설치만을 고려하여 개선효과 비용을 분석한 결과 4.5억 효과가 있는 것으로 분석되었다.

표 15. 운영관리 대책의 비용-효과 분석

안전대책		Risk 감소율		Risk 개선 효과	비용 환산	개선효과비용한계 VIF=30억
		발생빈도 경감	심각도 경감			
운영 / 관리 (M)	단속강화/CCTV(M1)	R1 : 0%	×	R1(0.3)×0=0	-	63.9억
		R2 : 50%		R2(1.2)×0.5=0.6	18억	
		R3 : 30%		R3(5.1)×0.3=1.53	45.9억	
	시인성 향상(M2) - 표지도색 - 경광등 - 수목제거 - 차단기 형광도색, 구경확대	R1 : 0%	×	R1(0.3)×0=0	-	33.9억
		R2 : 30%		R2(1.2)×0.3=0.36	108억	
		R3 : 15%		R3(5.1)×0.15=0.77	231억	
	건널목 구조개선(M3) (고무보판 설치)	R1 : 50%	×	R1(0.3)×0.5=0.15	45억	4.5억
		R2 : 0%		R2(1.2)×0=0	-	
R3 : 0%		R3(5.1)×0=0		-		

2.4.4 안전대책 확인 - 타당성 검토

지금까지 분석한 안전대책별 투자비용 분석결과와 비용-효과 분석결과를 종합하여 안전대책별 투자 우선순위를 살펴보면 Table. 34와 같다. 투자비용 대비 기대효과가 가장 큰 높은 것은 “도로운전자 홍보”로 무려 9.75배의 기대효과가 나타나는 것으로 분석되었다. 하지만 이는 정성적인 Risk 감소율이 적용된 것으로 100% 신뢰할 수는 없지만 확실히 사고감소 및 안전의식 향상에는 큰 효과가 있는 것으로 판단된다.

두번째로 우선순위가 높은 것은 “전폭차단기 설치”이며 이것은 차단기 우회로 발생하는 오토바이 사고를 대부분 예방할 수 있어 Risk 감소 효과가 매우 크다. 다음으로는 “건널목 시인성 향상”이 8억의 투자비용으로 33.9억의 비용효과를 나타내어 기대효과가 4.2 정도 나타나며 “건널목 관리원 교육/점검” 및 “기관사 교육/훈련”이 각각 2.42와 1.09의 기대효과를 나타내어 4, 5순위에 올라있다.

그리고 나머지 대책들은 투자비용 대비 비용효과가 적어서 우선순위를 부여하지 않았다. 전반적으로 건널목 사고의 위험도를 저감하기 위해서는 인적관리 대책에 투자를 하는 것이 비용-효과적으로 분석되며 기술적 대책인 “전폭차단기 설치”는 통행량이 많은 주요 건널목 위주로 필요에 따라 점차적으로 설치를 증가하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.



표 16. 안전대책별 투자 우선 순위

안전대책		Risk 개선효과	비용한계 (Benefit)	미설치개소 전수 투자비용 (Cost)	기대효과 (B/C)	적용순위
기술적 (T)	지장물검지장치(T1)	0.84	25.2억	101.2억	▽0.25	-
	차단기검지기(T2)	0.84	25.2억	48.3억	▽0.52	-
	교통신호연동(T3)	0.36	10.8억	0	△ ∞	0 (즉시시행)
	전폭차단기(T4)	4.1	122.4억	16.1억	△7.6	2
	정시간제어기(T5)	0.36	10.8억	239.8억	▽0.04	-
인적 관리 (H)	도로운전자 홍보(H1)	0.78	23.4억	2.4억	△9.75	1
	건널목 관리원 교육(H2)	0.19	5.8억	2.4억	△2.42	4
	기관사 교육/훈련(H3)	0.27	8.1억	7.4억	△1.09	5
운영 / 관리 (M)	단속강화/CCTV(M1)	2.13	63.9억	80.4억	▽0.79	-
	시인성 향상(M2) - 표지도색, 경광등 - 수목제거 - 차단기 형광도색, 구경확대	1.13	33.9억	8억	△4.2	3
	건널목 구조개선(M3) (고무보판 설치)	0.15	4.5억	1,06.5억	▽0.04	-

### 3. 결론

현재 건널목은 사전 위험평가 전혀 이루어지지 않고있어서 건널목 고유의 위험을 모르고 운영되고 있고, 체계적인 안전관리 활동도 미흡하여 교통량 및 주변환경 변화에 따른 능동적 대응이 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 따라서 건널목 안전관리의 변화 및 개선을 위해 주기적인 사전 위험도 평가에 의한 건널목 사고예방 전략이 필요하다.

본 연구에서는 위험도 평가기반의 건널목 안전관리 개선을 위하여 선진 안전관리에서 요구하는 위험도 평가 절차에 따라 건널목 사고의 위험분석과 정량적인 위험도 평가를 수행하였다.

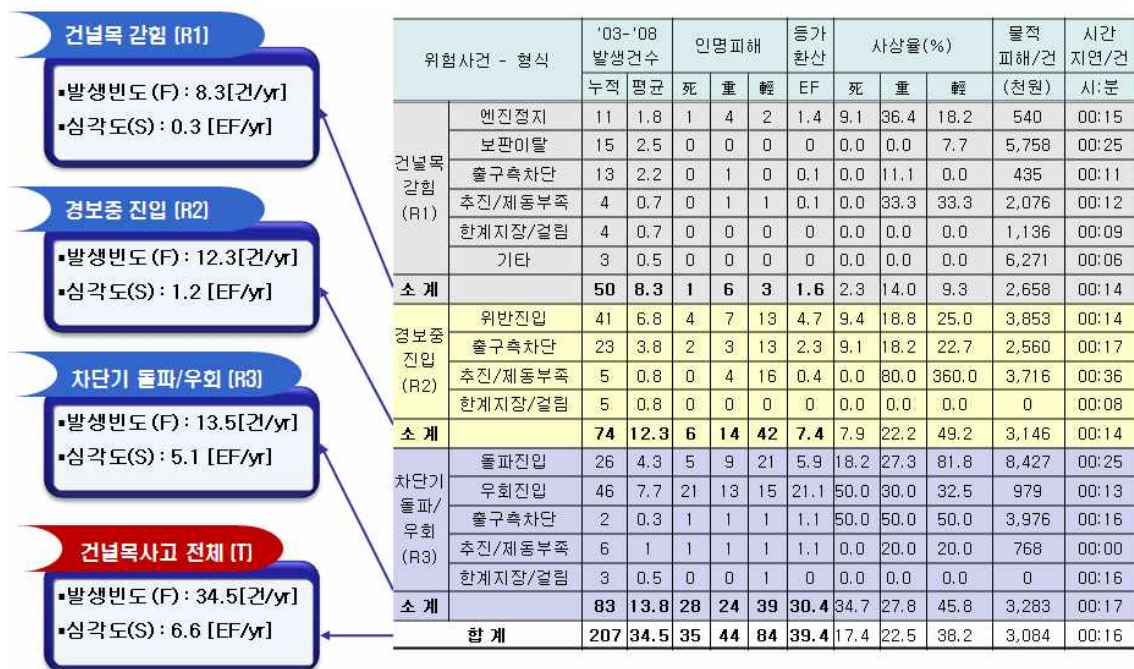


그림 9. 한국철도공사 건널목 사고 위험도 평가



또한 위험도 기반의 비용-효율적인 안전관리 전략 제안을 위해 Risk 경감을 위한 안전대책을 정의/구분하여 건널목 사고의 위험사건과 연계하였다.

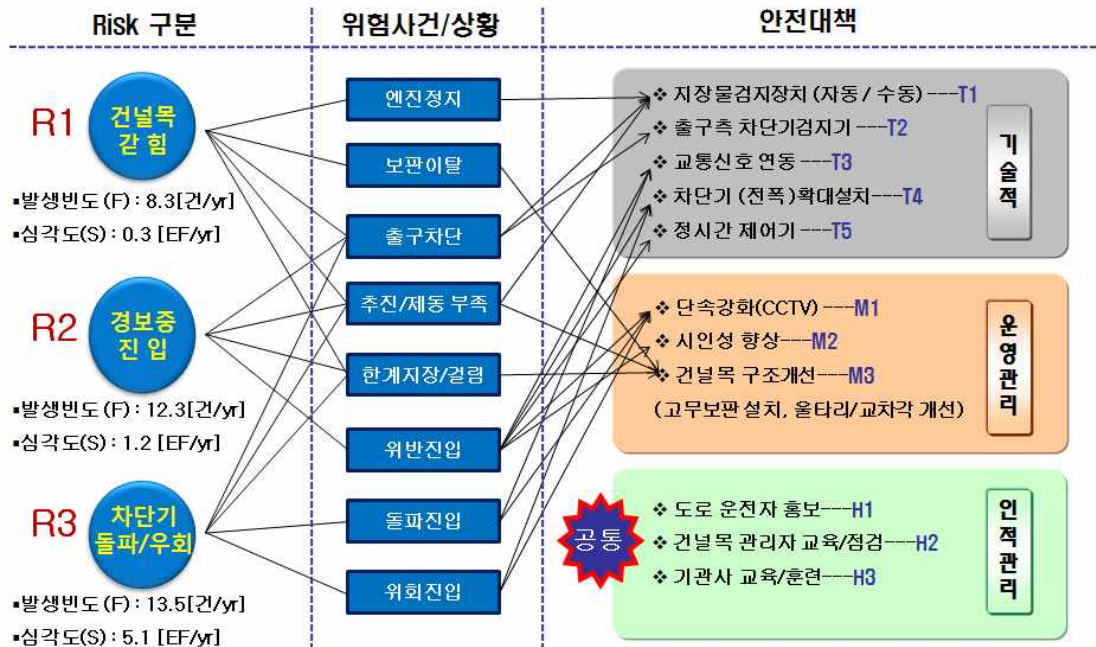


그림 10. 건널목 사고에 대한 위험사건 및 안전대책 연계

또한 안전대책별 투자비용을 산정하고 Risk 경감을 위한 안전대책별 비용-효과 분석을 시행하여 안전대책의 우선 적용순위를 판단하는 절차와 방법을 위험도관리 전략으로서 제안하였다.

Table. 19. 건널목 사고 Risk 경감을 위한 안전대책별 적용순위

안전대책	Risk 개선효과	비용한계 (Benefit)	미설치개소 전수 투자비용 (Cost)	기대효과 (B/C)	적용순위
도로운전자 홍보(H1)	0.78	23.4억	2.4억	△9.75	1
전폭차단기(T4)	4.1	122.4억	16.1억	△7.6	2
시인성 향상(M2) - 표지도색, 경광등 - 수목제거 - 차단기 형광도색, 구경확대	1.13	33.9억	8억	△4.2	3
건널목 관리원 교육(H2)	0.19	5.8억	2.4억	△2.42	4
기관사 교육/훈련(H3)	0.27	8.1억	7.4억	△1.09	5
단속강화/CCTV(M1)	2.13	63.9억	80.4억	▽0.79	-
차단기검지기(T2)	0.84	25.2억	48.3억	▽0.52	-
지장물검지장치(T1)	0.84	25.2억	101.2억	▽0.25	-
정시간제어기(T5)	0.36	10.8억	239.8억	▽0.04	-
건널목 구조개선(M3) (교무보판 설치)	0.15	4.5억	1,06.5억	▽0.04	-
교통신호연동(T3)	0.36	10.8억	0	△ ∞	0 (즉시시행)

향후 추가 연구 내용으로서 본 연구의 목적상 안전대책의 투자비용과 위험도 경감효과 산정 기준에 대한 실제적인 타당성 검증이 필요하다. 그러기 위해서는 실제 운영환경에서 발생하는 건물목 사고이력의 지속적인 추적관리가 필요하다. 또한 본 연구결과에서 도출한 우선순위 안전대책에 대하여는 100% 신뢰성이 있는 것이 아니므로 일부구간에 시범적용하여 실질적인 효과를 확인 후 비용-효율적으로 검증이 완료된 대책에 대하여 확대 설치하는 방안이 필요하다. 그리고 마지막으로 안전대책 적용 후에는 반드시 안전개선 효과를 모니터링하고 추적관리해야 다음 위험도평가 및 대책 수립시 현실정에 더 근접한 안전관리 방안이 수립 될 수 있다.

## 참고문헌

- 1) 국토해양부 (2004), 「철도안전법」, 제7245호.
- 2) 국토해양부 (2008), 「철도사고보고 등에 관한 지침」, 제2008-130호, 2008.
- 3) 국토해양부 (2008), 「철도시설 안전기준에 관한 규칙」, 국토해양부령 제4호.
- 4) 국토해양부 (2008), 「철도차량 안전기준에 관한 지침 제 16조 별표 13.
- 5) 김민수, 왕중배, 박찬우, 최돈범 (2009), 「철도건널목사고 위험도-발생빈도평가 모델 개발」, 한국안전학회지, 제24권, 제3호.
- 6) 박찬우, 왕중배, 김민수, 최돈범, 곽상록(2009), 「철도 사상사고 위험도 평가 모델 개발에 관한 연구」, 한국철도학회지, 제 12권 제 2호.
- 7) 한국철도기술연구원, 철도종합안전기술개발사업단(2009) 「철도시스템 위험도 평가 매뉴얼(안)」
- 8) 한국철도시설공단, 한국교통연구원(2007), 「철도시설유지보수비 과학적 산정을 위한 연구 용역 최종보고서」
- 9) 한국철도공사 시설기술단(2008), 「시설업무현황」 p. 41~42, 64~65.
- 10) 한국철도공사 전기기술단(2009) 「전기업무자료(제 16호)」
- 11) 한국철도공사(2003~2008), 「철도통계연보」
- 12) 한국철도공사(2003~2008), 「운전사고 및 운전장애 월보」
- 13) 정의진, 이종우, 김종기, 신덕호, 김양모, 「철도시스템의 위험도 평가를 위한 새로운 접근방안」, 한국철도학회.
- 14) 왕중배, 박찬우, 박주남, 곽상록(2007), 「철도건널목사고 위험분석 및 위험도 평가모델 개발」, 한국안전학회 추계학술대회, p. 160~165.
- 15) 한국철도기술연구원 (2006-2009), 「철도사고 위험도분석 및 평가체계구축」.
- 16) ISO/IEC Guide 73 (1999), 'Risk Management-Guidelines for Uses in Standards'.
- 17) ISO/IEC Guide 51 (1999), 'Safety Aspect-Guidelines for their inclusion in standards'.
- 18) Rail Safety and Standard Board (2002), Railway Group Guidance Note GE/GN8561, 'Guidance on the Preparation of Risk Assessments within Railway Safety Cases'.
- 19) European Railway Agency (2008), 'European Rail Agency Recommendation for the revision of Annex 1 to Directive 2004/49/EC : Common definitions for the CSIs and methods to calculate the economic impact of accidents'.