

## 도시철도 역사 내 철도안전사상사고 위험도 평가 및 저감방안

김진태\* · 김시곤\*\* · 오재경\*\*\* · 고승렬\*\*\*\*

Kim, Jin Tae\*, Kim, Si Gon\*\*, Oh, Jae Kyoung\*\*\*, Go, Seung-ryul\*\*\*\*

### A Study on Risk Analysis and Countermeasures for Urban Railway Casualty Accident

#### ABSTRACT

The paper suggests to measure the risk of pedestrians inside urban railway stations. The level of risk is calculated in manner of both an average risk and average weighted risk of 9 different facility inside urban railway stations. Based on these level of risk, top 10 stations are chosen out of all the stations operated by Seoul Metro and Seoul Metropolitan Rapid Transit Cooperation (SMRT). In order to alleviate the level of risk, countermeasures for those risks are surveyed for 60 experts who are now involved in safety issues in those 2 railway operation companies. A countermeasure survey for the accidents is done into 2 ways. One is to lower the probability of making accidents and the other is to alleviate the consequence for accidents. The effectiveness of those alternatives is surveyed between 1 to 5 yardsticks and converted into one value for each alternative.

**Key words :** Urban railway stations, Risk analysis, Countermeasures for casualty accident, Average weighted risk

#### 초록

본 논문에서는 도시철도역사 내 철도안전사상사고의 위험도를 분석하였다. 위험도분석을 위하여 9가지 역사 내 시설물의 위험도를 단순 평균한 값과 시설물별 가중치를 감안한 가중평균값을 사용하였다. 이를 바탕으로 서울메트로와 서울도시철도공사가 운영하는 도시철도역중 위험도가 높은 상위 10개역을 도출하였다. 이러한 위험도를 낮추기 위한 방안으로 서울메트로와 서울도시철도공사에서 역사 내 사상사고와 관련된 업무를 담당하는 60명의 전문가 설문조사를 실시하였다. 역사시설물별로 크게 사고확률을 낮추는 방안과 피해규모를 낮추는 방안으로 정리하였다. 각 대안별 위험도저감 효과를 5개 척도로 나누어 설문조사가 이루어졌다. 최종적으로 각 대안별 효과는 가중평균값으로 도출하였다.

**검색어 :** 도시철도역사, 위험도 분석, 위험도 저감 방안, 가중평균 위험도

\* 정회원 · 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도경영정책학과 박사과정  
(Seoul National University of Science&Technology · skyblue8541@naver.com)

\*\* 종신회원 · 교신저자 · 서울과학기술대학교 철도전문대학원 교수

(Corresponding Author · Seoul National University of Science&Technology · sigonkim@seoultech.ac.kr)

\*\*\* 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도경영정책학과 박사과정 (Seoul National University of Science&Technology · ohjklove@nate.com)

\*\*\*\* 정회원 · 한국교통연구원 (The Korea Transport Institute · flygsr83@koti.re.kr)

Received March 23, 2016/ revised April 23, 2016/ accepted May 11, 2016

# 1. 서론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

도시철도가 운행을 시작한 이래 도시철도 역사 내 설치된 보행시설 및 편의시설에서도 크고 작은 안전사고들이 반복, 지속적으로 발생하고 있다. 이는 도시철도 운영기관의 사고확률 및 피해규모 감소를 위한 예방대응체계가 미흡한 것을 의미하는 바, 역사 내에서 발생하는 철도안전사상사고의 효과적인 감소를 위해서는 역사별 위험도 분석 및 현실적인 위험도저감 방안이 도출되어야 한다. 이를 기반으로 위험도가 높은 역사를 우선적으로 관리하고 점진적으로 확대해 나가야 할 필요성이 있다. 본 논문의 목적은 도시철도 역사 내 철도안전사상사고의 위험도저감 대책 및 시설물별 위험도의 가중치 설문조사, 역사별 위험도 분석, 위험도저감 대책의 효과분석을 통하여 도시철도 역사 내 철도안전사상사고 위험도 평가 및 위험도저감 방안을 제시하는 것이다.

## 1.2 연구의 범위

### 1.2.1 내용적 범위

본 논문은 도시철도 역사 내 철도안전사상사고 위험도 평가 및 위험도저감 방안을 제시하는 것으로 연구의 범위는 다음 세 가지이다. 첫째, 도시철도 운영기관의 관련 전문가를 대상으로 위험도저감 대책 및 시설물별 가중치 도출을 위한 설문조사를 수행한다. 둘째, 수도권 소재 246개의 도시철도 역사를 대상으로 역사시설물 별 위험도를 산출하고 이를 기반으로 시설물별 가중평균 위험도를 산출한다. 마지막으로 사고확률감소 및 피해규모저감 대책 등 위험도저감 대책의 대안별 효과 분석을 수행한다.

### 1.2.2 공간적 범위

본 논문의 공간적 범위는 서울, 경기, 인천 지역 등 수도권 소재 도시철도 역사 246개소를 대상으로 하며 각 지역의 역 개소는 다음 Table 1과 같다.

Table 1. Number of Urban Railway Stations by Cities or Province

Item	Seoul	Gyeonggi	Incheon
Number of Station	221	23	2

## 2. 역사별 위험도 분석

### 2.1 위험도 분석 방법론

본 논문에서 활용한 위험도 분석 방법론은 크게 2가지이다. 우선은 역사 내 시설물별 위험도를 단순히 평균한 역사별 평균위험도를 산출하는 것이다. 이는 시설물별 위험도의 가중치가 고려되지

않은 것이다. 다음으로는 전문가 설문조사를 통하여 산출된 시설물별 위험도의 가중치를 적용한 역사별 가중평균위험도를 산출하는 것이다. 먼저 역사별 평균 위험도는 다음 수식으로 나타낼 수 있다.

$$\overline{R}_j = \frac{\sum R_i}{n}, \quad R_i = P_i \times C_i \quad (1)$$

여기서  $\overline{R}_j$  : j 역사의 평균 위험도

$R_i$  : 역사 내 i 시설물의 위험도

$P_i$  : 역사 총통행이용객 대비 i 시설물에서 발생한 사고확률

$C_i$  : i 시설물에서 발생한 사고의 피해규모

$n$  : j 역사의 시설물 개수(9개)

다음으로 시설물별 위험도의 가중치를 적용하여 역사별 가중평균위험도를 산출하는 것으로 다음 수식으로 나타낼 수 있다. 시설물별 위험도의 가중치는 전문가 설문조사를 통하여 도출하였다.

$$\overline{WR}_j = \frac{\sum W_i R_i}{W}, \quad R_i = P_i \times C_i \quad (2)$$

여기서  $\overline{WR}_j$  : j 역사의 가중평균위험도

$R_i$  : 역사 내 i 시설물의 위험도

$W_i$  : i 시설물의 가중치

$P_i$  : 역사 총통행이용객 대비 i 시설물에서 발생한 사고확률

$C_i$  : i 시설물에서 발생한 사고의 피해규모

$W$  : 시설물 가중치의 총합

### 2.2 역 시설물별 위험도 가중치 분석

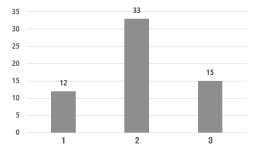
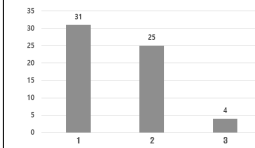
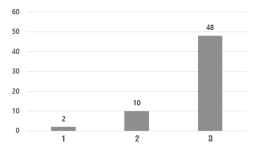
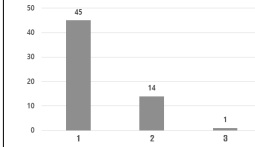
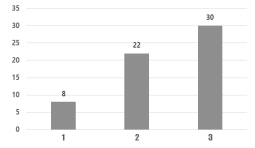
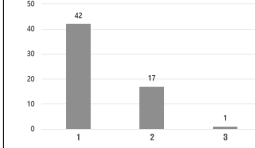
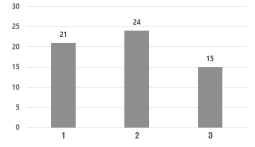
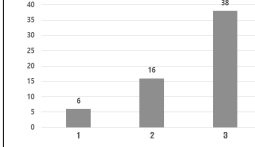
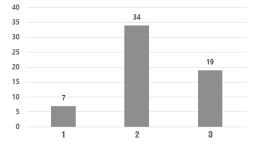
역사 내 설치된 보행시설 및 편의시설의 위험도 가중치 산정을 위하여 전문가 설문조사를 수행하였다. 역사 내에서 철도안전사상 사고가 발생했을 때 위험도의 정도를 상대적으로 평가하기 위한 것이다. 설문결과의 전문성을 확보하기 위하여 설문대상은 도시철도 운영기관의 안전업무에 종사하는 전문가로 하였으며 참여인원은 운영기관별 30명으로 하였다. 설문조사의 세부내용은 Table 2와 같다.

설문조사 분석결과 시설물별 평균 위험도는 에스컬레이터가 2.77점으로 가장 높은 것으로 나타났다. 이는 엘리베이터의 사고 피해규모가 다른 시설물 보다 심각하다고 인식하는 것을 의미한다. 다음으로 스크린도어가 2.53점으로 높은 것으로 분석되었으며, 최근 발생한 서울역, 이수역의 스크린도어 사망사고가 영향을 준 것으로 판단된다. 이외에 열차출입문 2.37점, 엘리베이터 2.20점,

Table 2. Survey Overview for Comparative Weighting Values of Risk between Facility

Classification	Content
Affiliation	Seoul Metropolitan Rapid Transit Corp, Seoul Metro
Departments	Safety Management Division
Number of Sample	60
Survey Method	1:1 Interview and 5-point scale
Facilities	Stair, Escalator, Elevator, Gate, Screen door, Restroom, Waiting rooms and passageways, Platform, Train doors

Table 3. Comparative Risk by Facility Types

Facility	Average	Distribution	Facility	Average	Distribution
Stair	2.05		Restroom	1.55	
Escalator	2.77		Waiting rooms and passageways	1.27	
Train door	2.37		Gate	1.32	
Platform	1.90		Screen door	2.53	
Elevator	2.20			-	

계단 2.05점 순으로 위험도가 높은 것으로 분석되었으며 세부 분석결과는 Table 3과 같다.

다음으로 시설물별 평균 위험도를 기반으로 평균 위험도가 가장 낮은 대합실 및 통로의 평균 위험도 값을 1로 적용하여 상대적 가중치를 산출하였다. 이 가중치 값은 대합실 및 통로에 비하여 상대적으로 얼마나 위험한지를 의미하는 것이다. 가중치 산출결과 에스컬레이터가 2.17로 대합실 및 통로에 비하여 2.17배 위험한 것으로 평가되었다. 다음으로 스크린도어가 1.99배, 열차출입문 1.86배 순으로 평가되었으며 시설물별 세부 가중치 산출 결과는 다음 Table 4와 같다.

Table 4. Weighted Risk Values Based on Waiting Room and Passageways

Facility	Average	Weight
Stair	2.05	1.61
Escalator	2.77	2.18
Train Door	2.37	1.86
Platform	1.90	1.50
Elevator	2.20	1.73
Restroom	1.55	1.22
Waiting Rooms and Passageways	1.27	1.00
Gate	1.32	1.04
Screen Door	2.53	1.99

### 2.3 위험도 분석 결과

본 논문에서는 위험도 분석방법론에서 제시한 산식을 적용하여 역사별 위험도를 분석하였다. 위험도 분석은 역사별 사고빈도, 시설물별 위험도, 시설물별 기중평균 위험도로 나누어 수행하였다. 산식에 적용한 사고건수는 2010~2014년 동안(5년) 도시철도 운영 기관(서울도시철도공사, 서울메트로)의 사상사고 데이터를 활용하였으며, 역사 통행 이용객은 2016년 1월 기준의 승하차 수송실적의 5년 값을 적용하였다.

분석결과를 살펴보면 역사별 사고빈도의 경우 신길역이 백만 명 당 4.99건으로 가장 높게 나타났으며, 종로3가역 3.63건, 동묘역 2.69건, 온수역 2.56건 순으로 나타났다. 사고의 피해규모는 기본적으로 부상자 1명으로 가정하였다. 왜냐하면 지난 5년 동안 서울메트로와 서울도시철도공사의 역사내 철도안전사상사고중 사망자는 1명도 없었기 때문이다.

이를 기초로 역사별 평균위험도를 구한 결과 종로3가역이 25.08로 가장 높게 나타났으며, 동묘역 9.39, 이수역 8.29 순으로 분석되었다. 다음으로 시설물별 위험도의 기중치를 적용한 기중평균 위험도는 종로3가역이 31.10으로 가장 높게 나타났으며, 동묘역 12.74 이수역 11.40, 고속버스터미널역 8.83 순으로 분석되었다.

세부 위험도 분석 결과는 Table 5와 같다. 신길역의 경우 백만 통행 당 사고건수는 가장 높았으나 시설물별 평균위험도를 적용할 경우 4위, 시설물별 위험도의 기중치를 적용하였을 경우 5위로 결과가 상이하게 나타났다.

### 3. 위험도 저감방안

#### 3.1 분석방법론

위험도는 위험확률과 사고피해규모의 곱으로 정의되므로 위험도를 저감하기 위해서는 위험확률과 사고피해규모를 저감하는 방안이 필요하다. 본 논문에서는 위험도저감 방안으로 각 시설물별 위험확률 감소 및 사고피해규모 대책을 도출하고 전문가 설문조사를 통하여 대책들의 효과를 측정하였다.

#### 3.2 위험도저감 설문조사

9가지 시설물의 위험확률 및 사고피해규모저감 대책을 서울도시철도공사, 서울메트로의 예방대책 자료를 활용하여 위험확률 저감, 사고피해규모 저감 2가지방향으로 예방대책을 도출하고 대책의 효과를 정량적으로 평가할 수 있는 전문가 설문조사를 수행하였다.

Table 5. Result of Risk Analysis (Unit: Causalities per Million Passengers)

Frequency per million		Average risk		Weighted average risk	
Station	Value	Station	Value	Station	Value
<b>Singil</b>	<b>4.99</b>	Jongno 3-ga	25.08	Jongno 3-ga	31.10
Jongno 3-ga	3.63	Dongmyo	9.39	Dongmyo	12.74
Dongmyo	2.69	Isu	8.29	Isu	11.40
Onsu	2.56	<b>Singil</b>	<b>6.80</b>	Express Bus Terminal	8.83
Dongdaemun History & Culture Park	2.24	Express Bus Terminal	7.41	<b>Singil</b>	<b>8.20</b>
Isu	1.56	Dongdaemun History & Culture Park	6.46	Dongdaemun History & Culture Park	6.99
Samgakji	1.49	Onsu	5.11	Onsu	6.63
Namtaeryeong	1.43	Sadang	4.46	Sadang	5.50
Gimpo Int'l Airport	1.42	Hapjeong	3.43	Hapjeong	4.26
Yeongdeungpo-gu Office	1.34	Gasam Digital Complex	2.25	Gasam Digital Complex	3.06

Table 6. Survey Overview

Classification	Content
Affiliation	Seoul Metropolitan Rapid Transit Corp, Seoul Metro
Departments	Safety Management Division
Number of Sample	60
Survey Method	1:1 Interview and 5-point scale
Facilities	Stair, Escalator, Elevator, Gate, Screen Door, Restroom, Waiting Rooms and Passageways, Platform, Train Doors

Table 7. An Example of Questionnaire

Prevention Alternatives		Effective measures				
		Very rare (1)	Rare (2)	Average (3)	Outstanding (4)	Very outstanding (5)
Non-slip installed on stair		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Entrance entrance stair rains and safety scaffolding installed at the bottom		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Suggestion		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Damage Reduction Alternatives		Effective measures				
Changes in stair noses material (elasticity in the material)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Suggestion		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Table 8. Magnitude of Effective Measures of Prevention Alternatives

Facility	Prevention Alternatives	Average	Distribution
Stair	Install slip preventing spot on stairs (non-slip)	4.183	
	Install safety rug on starting and end of entrance stairs during rain	4.017	
	Special color treatment on stair nosing to strengthen stair visibility	3.850	
	Always remove objects and attached material on stairs	3.583	
	Improve lighting brightness of stairs	3.883	
Escalator	Attach 7 types of safety promotion and covers	3.6	
	Install body and belonging jamming prevention protector	4.067	
	Promote safety use by allocating helpers, national working university students, and volunteers	3.450	
	Modifying slow escalator speed	3.267	
	Install escalator entrance prevention bar	3.917	
	Install safety rug on starting and end of entrance escalator during rain	3.783	

Table 8. Magnitude of Effective Measures of Prevention Alternatives (Continue)

Facility	Prevention Alternatives	Average	Distribution
Train door	Voice broadcasting for 2 times in complicated stations and transfer stations when entrance door closes	3.867	
	Allocate social working agents, subway helpers for safety use in rush hours	3.867	
	Promotion by attaching promotion posters to prevent immoderate boarding	3.583	
	Install monitor to treat safe entrance door and education to minimize engineer human error	4.017	
Platform	Attach feet sinking caution sign	3.850	
	Operate platform safety guards	3.700	
	Automatic information broadcasting when train enters	4.017	
	Install platform rubber foothold	4.150	
	Arrange mobile safety foothold / Install automatic safety foothold	4.033	
Elevator	Install alarm system to customers when malfunction occurs	4.017	
Rest room	Improve falling prevention flooring	4.000	
	Regular management of floor foreign substances	4.100	
Waiting room & Passage	Regular inspection of facility by employees and remove risks beforehand	3.950	
	Provide umbrella vinyl cover to prevent electric chock by water during rain	3.667	
	Regular management of wait room and passage floor by cleaning service members	4.067	
Gate	Gate duty to prevent safety accidents during rush hours and customer contact service	3.867	
	Attach promotion material on gate to prevent gate flap crash accidents	3.367	
Screen door	Attach screen door adhesion prevention sensor	4.217	

설문결과의 전문성을 확보하기 위하여 설문대상은 도시철도 운영 기관의 안전업무에 종사하는 전문가로 하였으며 참여인원은 운영 기관별 30명으로 하였다. 설문조사의 개요는 Table 6과 같다.

설문지 구성은 위험확률 및 사고피해규모저감 대책의 효과를 평가 할 수 있도록 5점 척도로 구성하였으며, 응답자가 별도의 대책을 기술 할 수 있도록 하였다. 설문지 예시는 Table 7과 같다.

### 3.3 역 시설물별 위험확률저감 방안 및 효과측정

각 시설물별 4-5개의 위험확률저감 대책에 대하여 효과를 측정 한 결과 “스크린도어 협착 방지 센서 부착” 대안이 4.217점으로

시설물별 대안들 중 효과가 가장 높은 것으로 분석되었다. 이는 최근 발생한 스크린도어 관련 사망사고의 영향이 응답자에게 적용 된 것으로 판단된다. 각 시설물별 위험확률저감 방안의 효과는 Table 8과 같다.

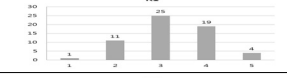
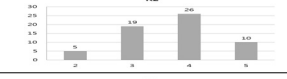
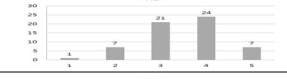
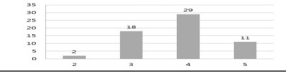
### 3.4 역 시설물별 사고피해규모저감 방안 및 효과측정

사고피해규모저감 방안은 “신속한 대응체계 마련”을 기본대안 으로 설정하였으며, 각 시설물별 1~2개의 위험확률저감 대책에 대하여 효과를 측정하였다. 각 시설물별 사고피해규모저감 방안의 효과는 Table 9와 같다.

Table 9. Magnitude of Effective measures of Damage Reduction Alternatives

Facility	Damage Reduction Alternatives	Average	Distribution
Stair	Change stair nosing material (elastic material)	3.750	
	Prepare quick correspondence system	3.850	
Escalator	Install automatic alarm device and monitor when malfunction occurs	4.033	
	Prepare quick correspondence system	3.967	
Train door	Install shock absorption protector on train door	3.583	
	Prepare quick correspondence system	3.900	
Platform	Install shock absorption protector on platform floor	3.067	
	Prepare quick correspondence system	3.700	
Elevator	Install automatic alarm device and monitor when malfunction occurs	3.850	
	Prepare quick correspondence system	4.033	
Rest room	Install shock absorption protector on restroom floor	3.217	
	Prepare quick correspondence system	3.683	
Waiting Room & Passage	Install shock absorption protector on accident frequent passage	3.283	
	Prepare quick correspondence system	3.767	

Table 9. Magnitude of Effective measures of Damage Reduction Alternatives (Continue)

Facility	Damage Reduction Alternatives	Average	Distribution
Gate	Install shock absorption protector in front and back of gate	3.233	
	Prepare quick correspondence system	3.683	
Screen Door	Install screen door shock absorption protector	3.483	
	Prepare quick correspondence system	3.817	

#### 4. 결론 및 향후과제

##### 4.1 결론

본 논문에서는 크게 역사별 위험도 분석, 위험도저감 방안 도출 등 2가지를 수행하였다. 먼저, 역사별 위험도 분석은 역사별 위험도 분석방법론을 크게 시설물별 위험도 및 시설물별 가중치를 적용한 위험도 분석의 2가지로 정립하고 도시철도 246개 역사에 대한 위험도를 분석하였다. 위험도 분석은 백만 통행 당 사고건수, 시설물별 평균 위험도, 시설물별 가중평균 위험도로 구분하여 수행하였다. 분석결과 3그룹에 대한 역사별 위험도 값이 상이하였다. 이는 단순 이용자 대비 사고건수로 역사 위험도를 평가하는 것은 위험도가 높은 시설물에 대한 가중치가 적용되지 않으므로 효과적인 위험도 저감을 위한 위험도 평가 방안이 아닌 것으로 판단되었다.

둘째, 역사별 위험도저감 방안 효과 평가를 위하여 위험도저감 방안을 위험확률 및 사고피해규모저감 방안으로 구분하여 도시철도 운영기관의 안전업무 종사자를 대상으로 설문조사를 진행, 효과를 도출하였다. 효과평가 결과 각 시설물별 대안들이 모두 3점 이상의 평균 효과를 가지고 있는 것으로 나타났으며 특히 스크린도어의 위험확률저감 대책인 “스크린도어 협착 방지 센서 부착” 대안이 4.217점으로 시설물별 대안들 중 효과가 가장 높은 것으로 분석되었다. 그러나 사고피해규모저감 방안의 경우 물리적, 공간적 문제 등으로 도출 할 수 있는 대책이 한정되어 있어 각 시설물별로 1~2개의 대안들로만 구성되는 한계점이 존재하였다.

마지막으로 본 연구의 위험도 분석방법 및 위험도저감 방안이 현실적으로 적용되기 위해서는 이를 바탕으로 도시철도 운영기관과 정부가 협조하여 역사 내 위험도 감소를 위한 구체적인 연구개발

이 필요할 것으로 판단된다.

##### 4.2 향후과제

본 논문에서는 역사별 가중평균 위험도 방법론을 통하여 역사별 위험도를 산출하고 이를 저감할 수 있는 대안의 효과를 평가하였다. 그러나 이는 역사 위험도를 저감 할 수 있는 방향을 제시하는 기초적인 데이터를 제공하는 것일 뿐 근본적인 역사 위험도 감소를 위한 방안은 아니다. 역사 위험도를 효율적으로 저감하기 위해서는 먼저 본 연구에서 산출된 역사 위험도 값을 기반으로 역사별 위험도 수준이 정의되어야 한다. 또한 제시된 위험도저감 방안에 대한 비용효과 분석이 선행되어야 하며, 이를 기반으로 ALARP 수준을 적용하여 최적대안을 결정하는 방법론이 제시되어야 한다. 이러한 연구가 뒷받침 되어야 역사 위험도 감소를 위한 최적대안이 결정되고 이를 토대로 역사 위험도가 지속적으로 관리 될 수 있을 것이라 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비 지원(15RTRP-B067918-03)에 의해 수행되었습니다.

#### References

Lim, K. K. and Kim, S. G. (2006). “The classification of railroad accident types and its standardization.” *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 26, No. 1D, pp. 133-140 (in Korean).