

도시철도 역사 내 철도안전사상사고 위험도 관리 방안

김진태* · 김시곤** · 김연규***

Kim, Jin Tae*, Kim, Si Gon**, Kim, Yeon Kyu***

Risk Management for Casualty Accident at Urban Railway Stations

ABSTRACT

The paper suggests risk management methodology for alleviating casualty accidents at urban railway stations. Risk management deals with countermeasures for reducing accident probability or consequences to reach at the certain level of risk. First of all, Economic evaluations using cost and benefit for all the alternatives are performed. The alternatives exceeding B/C ratio greater than 1, each alternative is applied in the order of higher B/C ratio. this process is repeated when the level of risk is reduced as low as reasonably practical (ALARP). In order to determine the level of ALARP, Level of Service (LOS) for casualty risk at urban railway stations is proposed. The ALARP level is set to the LOS "C". Finally, a case study is applied to the Jongno 3-ga station, which is a highest risky station among all the stations operated by Seoul Metro and Seoul Metropolitan Rapid Transit Cooperation (SMRT).

Key words : Urban railway stations, Risk management, Cost-benefit analysis, ALARP Level

초 록

본 논문에서는 도시철도 역사 내 철도안전사상사고의 위험도관리방안을 도출하였다. 위험도 관리는 사고확률을 낮추는 예방대안과 피해가능규모를 줄이는 대안을 활용하여 위험도를 일정 수준까지 낮추는 방법을 제시하였다. 우선, 각 대안별로 편익과 비용을 계산하여 경제성 분석을 수행하였다. 편익비용비가 1을 초과하는 대안에 국한하여 편익비용비가 높은 순서대로 우선순위를 결정하였다. 대안별 우선순위로 철도안전사상사고 위험도가 일정수준(ALARP수준)까지 낮추어질 때까지 하나씩 적용하는 방안을 제시하였다. 위험도의 ALARP수준을 결정하기 위하여 역사 내 철도안전 서비스수준(LOS)을 정립하였다. ALARP수준은 철도안전 서비스수준(LOS) "C"로 결정하였다. 최종적으로는 서울시 서울메트로와 서울도시철도공사가 운영하고 있는 역사 중 위험도가 가장 높은 역사에 대하여 사례연구를 수행하였다.

검색어 : 도시철도역사, 위험도관리, 비용편익분석, 위험도 최저관리수준

* 정희원 · 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)

*** 정희원 · 한국교통연구원 선임연구위원 (The Korea Transport Institute · yeonkyu@koti.re.kr)

Received April 4, 2016/ revised April 23, 2016/ accepted May 11, 2016

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

전국 도시철도 일일 이용객은 2010년 631만 3천명에서 2014년에는 701만 9천명으로 증가하였으며 현재도 꾸준히 증가하는 추세이다. 이러한 도시철도 이용객의 증가 추세에 따라 도시철도 역사 내 철도안전사상사고 역시 증가하고 있다. 2010년 스크린도어 설치 등 대대적인 안전강화 대책 이후 대폭 감소하였으나 현재도 반복, 지속적으로 발생하고 있다. 2016년 2월 발생한 서울역 스크린도어 사망사고 이후 도시철도 운영기관 및 정부에서도 역사 내 철도안전사상사고 감소를 위한 정책 및 대책을 지속적으로 강구하여 실행하고 있으나 그 효과는 미미한 실정이다. 이는 도시철도 역사의 위험도 수준을 정의하고 비용편익 분석 및 ALARP 수준을 고려한 적정 수준의 위험도를 유지할 수 있는 체계적인 관리방안이 미흡하기 때문이다. 현재 도시철도 운영기관에서 시행중인 예방대책은 도시철도 역사의 위험도 및 시행효과와는 상관없이 사고피해 규모가 높은 시설물을 대상으로 계획되어 있기 때문에 체계적인 위험도 관리 방안이 필요한 실정이다. 본 논문의 목적은 위험도 관리 방법론의 제시, 위험도 저감 대안별 편익분석, 도시철도 역사 내 철도안전사상사고의 LOS를 설정하고 위험도가 높은 역사 1개소에 대한 사례연구를 통하여 효율적인 도시철도 역사 내 철도안전사상사고의 위험도를 관리하는 방안을 제시하는 것이다.

1.2 연구의 범위

1.2.1 내용적 범위

본 논문은 도시철도 역사 내 철도안전사상사고 위험도 관리방안을 제시하는 것으로 연구의 범위는 다음 네 가지로 정리 될 수 있다. 첫째, 도시철도 역사 내 위험도 관리 방법론을 7단계로 구분하여 제시하고 각 단계별 수행내용을 정의하였다. 둘째, 현재 시행 중이거나 계획 중인 사고확률 및 피해규모 감소 대책의 비용편익 분석을 수행하여 실행 효과가 확보된 대책을 선별하였다. 셋째, 기존 연구에서 분석된 도시철도 246개소의 가중평균 위험도 값을 바탕으로 도시철도 역사 내 철도안전사상사고 서비스수준을 설정하고 LOS “C”수준의 위험도 값을 정의하였다. 마지막으로 가중평균 위험도 값이 가장 높은 역사 1개소에 대하여 비용편익 분석을 통하여 효과가 입증된 대안을 적용하여 대안 적용 전후 위험도 값을 산출하였다.

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. 또한 사례연구는 가중평균 위험도 값이

가장 높은 종로3가역 1개소를 대상으로 한다.

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

Item	Seoul	Gyeonggi	Incheon
Number of Station	221	23	2
Case Study	Jongno 3-ga		

2. 연구의 방법론

2.1 위험도 관리 방법론 정의

위험도 관리 방법론은 일반 산업현장에서도 많이 사용하고 있는 전통적인 위험도 관리기법의 개념을 도입하여 도시철도 역사 내 철도안전사상사고 위험도 관리에 적용 할 수 있도록 변형한 것이다. 본 논문에서 제시하는 위험도 관리 방법론은 사고유형별 또는 시설물별 사고확률저감 대안, 피해저감 대안을 도출하고 ALARP 수준을 적용하여 최적대안을 도출하는 것이며 세부내용은 다음 Fig. 1과 같다.

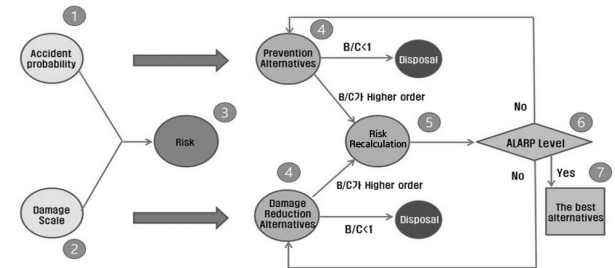


Fig. 1. Procedures of Risk Management Techniques

2.2 단계별 수행 절차

본 논문에서 제시하는 위험도 관리 방법론은 크게 사고확률분석, 피해가능규모 분석, 위험도 분석, 사고확률 감소대안 및 피해규모저감 대안 도출, 대안별 비용편익 분석, 위험도 재산정, ALARP수준 적용 및 최적대안 도출 등 7단계로 이루어진다. 단계별 세부내용은 다음과 같다.

첫째, 도시철도 역사 내 철도안전사상사고의 확률을 기존의 사고데이터와 통행량을 분석하여 도출하는 것이다. 둘째, 만약의 경우 철도안전사상사고가 발생하였을 시 철도안전사상사고의 상태를 분석하는 것이다. 즉, 부상자와 사망자수의 분포를 보고 피해 가능한 규모를 산정하는 것이다. 셋째로 위험도 분석은 도시철도 역사 내 9가지 시설물의 사고확률 및 사고 피해규모를 고려하여 가중평균 위험도를 산출하는 단계이다. 넷째, 3단계는 도시철도 운영기관에서 시행 중인 시행 중이거나 시행 예정인 예방대책을 바탕으로 사고확률 및 피해규모 감소대책을 도출하고 정량적 효과

를 평가하는 단계이다. 다섯째, 사고확률 및 피해규모 감소대책의 비용편익 분석을 통하여 경제성을 분석하는 단계이며, 경제성이 확보되지 못한 대안은 폐기한다. 여섯째, 경제성이 확보된 대안을 ARALP 수준을 적용하여 실행의 우선순위를 결정하는 단계이다. 일곱째, 선택된 대안을 바탕으로 위험도 감소의 효과를 극대화할 수 있는 최적대안 조합을 도출 하는 것이다.

본 연구에서는 총 7단계 중 4, 5, 6, 7단계를 적용하는 것이다. 1단계, 2단계, 3단계는 본 논문의 “도시철도 역사 내 철도안전사상사고 위험도 평가 및 저감방안” 논문지에 수록되어있다.

3. 위험도 저감 대안별 비용편익 분석

3.1 편익분석

위험도저감 대안의 경제성 분석을 위하여 먼저 편익항목을 정의하여야 한다. 도시철도 역사 내 철도안전사상사고의 편익은 대안 적용에 따른 사고감소 건수, 대안의 적용기간, 사고 1건당 처리비용 등이 영향을 받는다고 할 수 있다. 왜냐하면 도시철도 역사 내 철도안전사상사고 발생시 사상사고자는 대부분 1명에 국한되는 특성이 있기 때문이다.

도시철도 역사 내 철도안전사상사고의 편익은 1건당 사고발생 처리비용으로 설정하였다. 사고발생 처리비용은 서울도시철도공사의 통계자료를 활용하여 설정하였다. 서울도시철도공사 자료에

따르면 3년간 처리비용을 지급한 사고건수는 450건이며, 지급된 비용은 201,309,657원이다. 세부내용은 Table 2와 같다.

다음으로 사고감소 건수는 실제 도시철도 역사 내 시설물에서 발생한 사고건수를 바탕으로 대안별 개선효과율을 적용하여 산출한다. 개선효과율은 전문가 설문조사를 통하여 분석된 5점 척도에서 척도별로 10점을 부과하여 적용하였다. 예컨대, 5점 척도의 평균값이 3.6이면 36% 개선되는 것으로 가정하였다. 예방대책별 5점 척도 평균값은 본 논문의 “도시철도 역사 내 철도안전사상사고 위험도 평가 및 저감방안” 논문지에 수록되어있다. 마지막으로 대안별 적용기간은 도시철도 운영기관에서 자체적으로 설정하며, 본 논문에서는 편익 계산의 편의를 위하여 5년으로 고정하였다. 이상의 내용을 정리하면 편익은 다음 수식으로 산출할 수 있다.

$$\text{편익}(B) = A \times N \times 447,335 \text{원} \quad (1)$$

여기서, A : 사고감소 건수(현재사고건수×개선효과율)

N : 대안의 적용기간(5년으로 고정)

현재 총 편익이 산출되었다면 경제성 분석을 위하여 대안 적용에 따라 발생하는 총 편익을 현재가치로 전환하여야 한다. 총 편익의 현재가치는 할인율과 적용기간을 고려하여 계산하며 다음 수식으로 산출할 수 있다.

Table 2. Cost of Handling An Accident by Year (Unit: Won/ Casualty)

Item	2013	2014	2015	Total	Payment Cost by 1 Casualty
Number of Accidents	185	95	170	450	447,355
Provision of Expense	127,108,084	48,743,460	25,458,113	201,309,657	

Table 3. An Example of Benefit Analysis by Risk Reduction Alternatives

Risk Damage Reduction Alternatives		Coverage Period	Effect of improving	Reduce of accidents	1st year Benefits	The present value of total benefits
Prevention Alternatives	Attach 7 types of safety promotion and covers	5	36.00%	7.2	3,220,812	13,753,783
	Install body and belonging jamming prevention protector	5	40.67%	8.1	3,638,623	15,537,955
	Promote safety use by allocating helpers, national working university students, and volunteers	5	34.50%	6.9	3,086,612	13,180,711
	Modifying slow escalator speed	5	32.67%	6.5	2,922,887	12,481,559
	Install escalator entrance prevention bar	5	39.17%	7.8	3,504,422	14,964,879
	Install safety rug on starting and end of entrance escalator during rain	5	37.83%	7.6	3,384,537	14,452,936
Damage Reduction Alternatives	Install automatic alarm device and monitor when malfunction occurs	5	40.33%	8.1	3,608,204	15,408,058
	Prepare quick correspondence system	5	39.67%	7.9	3,549,156	15,155,906

$$\sum Bi = B \left(\frac{r^{n-1} - 1}{r - 1} \right) \quad (2)$$

여기서, B : 초기 1차 년도의 편익
 n : 대안의 적용기간(5년으로 고정)
 r : 사회적 할인율(5.5%)

이상의 수식을 활용하여 도시철도 역사 내 시설물 중 에스컬레이터 위험도저감 대책의 편익을 예시로 분석해 보았다. 예시로 사고건수를 20건으로 가정하고 편익을 산출한 결과는 Table 3과 같다.

3.2 비용분석

위험도저감 대책의 비용은 실제 대책의 실행에 필요한 비용으로 운영기관의 자료 및 인터넷 검색을 통하여 산출하였다. 세부내용은

Table 4와 같다.

본 논문에서는 비용 산출을 위하여 노임단가는 『2016년 상반기 정부노임단가』의 보통 인부 단가를 적용하였으며, 안전요원의 인건비는 2016년 최저임금을 적용하고 재료비는 인터넷을 통하여 근사값을 적용하였다.

3.3 경제성 분석

예방대책의 효과를 정량적으로 분석하기 위하여 앞서 산출된 편익 및 비용을 바탕으로 경제성을 분석하였다. 일반적으로 경제성은 투자비용 대비 편익을 계산하는 것으로 결과는 Table 5와 같다.

경제성 분석결과 사고감소대책은 에스컬레이터 속도하향조정 및 안전감판 설치가 각각 5.29, 1.61으로 경제성이 확보되는 것으로 나타났으며, 이외 대안들은 경제성을 없는 것으로 분석되었다. 또한 사고규모 저감 대책은 모두 경제성이 확보되지 못하는 것으로 분석되었다.

Table 4. Cost Calculation by Risk Reduction Alternatives

Risk reduction alternatives		Installation costs (won)	Calculated Basis
Prevention Alternatives	Attach 7 types of safety promotion and covers	22,750,000	A3 size, Design 40 pieces, Posters, Seven kinds
	Install body and belonging jamming prevention protector	20,608,000	Material costs, wages ratio, five places, 2 times a year / 5-year
	Promote safety use by allocating helpers, national working university students, and volunteers	72,360,000	The minimum hourly wage, workers 5, 2 hours / day, 240 days, 5 years
	Modifying slow escalator speed	2,358,450	Wages ratio, Five places, 1 time a year / 5-year
	Install escalator entrance prevention bar	24,250,000	Material costs, Wages ratio, Five places, 1 time a year / 5-year
	Install safety rug on starting and end of entrance escalator during rain	8,984,000	Material costs, Wages ratio, Five places, 1 time a year / 5-year
Damage Reduction Alternatives	Install automatic alarm device and monitor when malfunction occurs	30,000,000	Development and maintenance cost estimates
	Prepare quick correspondence system	30,000,000	Development and maintenance cost estimates

Table 5. The Result of Economic Analysis

Risk reduction alternatives		Installation costs	Benefits	B/C
Prevention Alternatives	Attach 7 types of safety promotion and covers	22,750,000	13,753,783	0.60
	Install body and belonging jamming prevention protector	20,608,000	15,537,955	0.75
	Promote safety use by allocating helpers, national working university students, and volunteers	72,360,000	13,180,711	0.18
	Modifying slow escalator speed	2,358,450	12,481,559	5.29
	Install escalator entrance prevention bar	24,250,000	14,964,879	0.62
	Install safety rug on starting and end of entrance escalator during rain	8,984,000	14,452,936	1.61
Damage Reduction Alternatives	Install automatic alarm device and monitor when malfunction occurs	30,000,000	15,408,058	0.51
	Prepare quick correspondence system	30,000,000	15,155,906	0.51

4. 도시철도 역사 내 철도안전사상사고의 LOS 설정

4.1 가중평균 위험도 값 분포 분석

본 논문에서는 도시철도 역사 내 철도안전사상사고의 서비스수준(LOS)을 설정하기 위하여 도시철도 역사 246개소에 대한 가중평균 위험도 값의 분포를 활용하였다. 분석결과는 다음 Fig. 2와 같다. 종로 3가역이 31.10으로 가장 높은 곳에 위치하고 있으며, 동묘앞이 12.74, 이수 11.40, 신길 8.20 순으로 위치되어 있다. 가중평균 위험도 값이 1.0미만인 역이 206개소로 약 전체 역사 대비 83.33%로 가장 많은 것으로 나타났다.

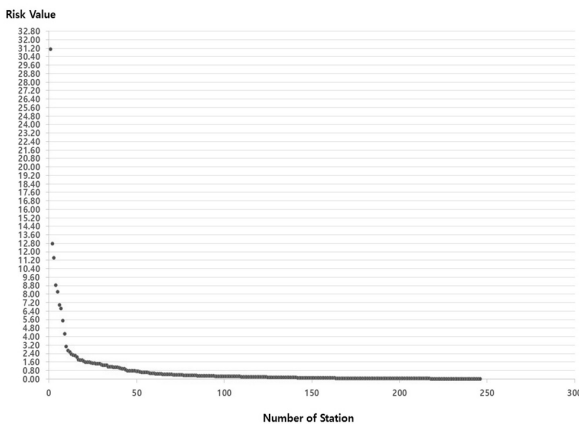


Fig. 2. Distribution of Weighted Average Risk Value

4.2 서비스수준 설정

가중평균 위험도 값 분포 분석결과 0.99이하의 역사가 206개소로 전체의 83.33%를 차지하고 있고 1.0~3.0 사이는 30개소로 역사 개소가 확연하게 떨어지는 것을 볼 수 있었다. 따라서 본 논문에서는 서비스 수준을 1.0 초과~3.0 미만 사이를 LOS “C” 수준으로 정의하고 허용 가능한 위험도 구간으로 설정하였으며, Table 6과 같이 5등급의 LOS 테이블을 제시하고자 한다.

5. 사례연구

본 논문에서는 위험도가 가장 높고, LOS “F” 등급에 해당되는 종로3가 역사에 대하여 앞서 경제성이 확보된 예방대책을 적용하여 대책 실행 전후의 위험도 값의 변화를 살펴보았으며, 시설물 중 에스컬레이터에 한하여 사례연구를 하였다. 먼저 종로3가의 역사 내 시설물의 가중평균 위험도 값은 Table 7과 같다.

현재 상태에서 종로3가역은 에스컬레이터의 위험도가 20.631로 가장 높은 것으로 나타났다. 앞서 경제성이 확보된 대안 2가지 에스컬레이터 속도하양조정 및 안전감판 설치를 적용하였다. 두 가지 대안을 모두 적용 할 경우 사고감소 효과는 14.1건으로 적용결과는 다음 Table 8과 같다.

두 가지 대안을 적용한 결과 에스컬레이터에서의 사고감소로 인한 가중평균 위험도가 개선효과는 26.7%로 분석되었다. 또한 사례연구를 통하여 각 대안별 효과가 30%넘는다 하더라도 중복 적용은 되지 않고 사고감소 건수로 가중평균 위험도가 개선되는

Table 6. LOS by Weighted Average Risk

LOS	Section	The number of stations	Level
A	0.00 More than ~ 0.03 under	45	Very safe
B	0.03 More than ~ 1.0 under	161	Safe
C	1.0 More than ~ 3.0 under	30	Reasonable
D	3.0 More than ~ 10.0 under	7	Danger
E	10.0 More than	3	Very Danger

Table 7. Current Risk for Facilities of Jongno 3-ga

Facility	Gate	Stair	Waiting Room	Screen Door	Platform	Escalator	Elevator	Passage	Rest Room
Number of Accidents	5	65	19	1	25	98	0	3	1
Weighted Average Risk	0.026	6.703	0.365	0.002	0.924	20.631	0.000	2.375	0.077
Total	31.10								

Table 8. Risk Reduction by Alternatives

Facility	Number of Accidents	Effect of improving	After Applying Alternative	New Weighted Average Risk	Reduction
Escalator	98	14.1	83.9	25.202	26.7%

것을 알 수 있었다. 따라서 종로3가의 경우 현재 가중평균 위험도가 가장 높은 역사로 LOS “C” 수준에 도달하기 위해서는 위험도 가중치가 높은 에스컬레이터의 사고감소효과를 위한 효율적인 대책이 실현되어야 하며 사고 건수가 두 번째로 높은 계단의 사고건수 감소도 필요하다.

6. 결론 및 향후연구과제

6.1 결론

본 논문에서는 크게 위험도 관리 방법론 정립, 위험도 저감 대안별 비용편익 분석, 도시철도 역사 내 철도안전사상사고의 LOS 설정, 사례연구 등 4가지를 수행하였다.

먼저 위험도 관리 방법론은 전통적인 위험도 관리기법의 개념을 본 논문의 연구방향에 맞게 재설정 하였다. 위험도 관리 방법론의 절차를 사고확률분석, 피해가능규모 산정, 위험도 분석, 사고확률 및 피해규모 감소대책 도출, 도출된 대안의 비용/편익분석, ALARP 수준을 적용한 대안별 우선순위 결정, 최적대안 조합도출 등 7단계로 제시하였다. 둘째, 위험도저감 대안별 비용편익 분석을 위하여 편익분석 항목 및 편익 산정을 위한 산정식을 제시하였다. 또한 비용 산정을 위하여 위험도 저감 대책별 실행 비용을 도출하였다. 이를 바탕으로 각 대안별 경제성 분석을 수행하였으며, 그 결과 사고감소대책은 에스컬레이터 속도 하양조정, 우천 시 출입구 에스컬레이터 초입 및 하단에 안전갈판 설치가 각각 B/C는 5.29, 1.61으로 경제성이 있는 것으로 분석되었으며, 사고규모저감 대책은 모두 경제성이 없는 것으로 나타났다.

셋째, 도시철도 역사 내 철도안전사상사고의 LOS 설정을 위하여 도시철도 역사 246개소에 대한 가중평균 위험도 값의 분포를 분석하였다. 분석 결과 위험도 값이 1.0 미만인 역사가 206개소로 전체 역사 대비 83.33%로 가장 높았으며, 1.0~3.0사이 12.19, 3.0~10.0사이 0.04%순으로 나타났다. 이를 바탕으로 가중평균 위험도 값 1.0 이상~3.0 미만을 LOS “C” 구간으로 설정하고 허용가능 위험도 구간으로 설정하였다. 또한 A~E 까지 5등급의 LOS Table을 제시하였다.

마지막으로 가중평균 위험도가 가장 높은 종로3가역을 대상으로 사례연구를 수행하였다. 사례연구는 역사 내 시설물 중 위험도

가장 높은 에스컬레이터에 한정하였으며 경제성이 확보된 두 가지 대안에 대하여 사고감소효과를 적용하여 위험도 값의 변화를 비교하는 것으로 진행하였다. 사례연구 결과 경제성이 확보된 두 가지 대안을 적용할 경우 가중평균 위험도 값은 26.7%감소하는 것으로 나타났으나, 허용가능 범위인 LOS “C” 수준에 도달하기에는 그 효과가 약하였다. 종로 3가의 경우 위험도 가중치가 가장 높은 시설물인 에스컬레이터에 사고가 몰려있어 이를 집중적으로 관리할 수 있는 대책이 실현되고 에스컬레이터뿐만 아니라 사고발생 빈도가 높은 계단의 예방대책이 병행되어야 가중평균 위험도가 대폭 감소되는 효과가 있을 것으로 판단된다.

6.2 향후연구과제

본 논문에서는 도시철도 역사 내 시설물 중 에스컬레이터에 국한하여 경제성 분석 및 사례연구를 진행하였다. 그러나 이는 도시철도 역사에 설치되어 있는 시설물 중 하나에 불과하다. 따라서 종합적인 가중평균 위험도 값의 변화를 파악하여 위험도 관리 방안을 제시하는데 한계점이 있다. 비용 분석 시 각 대안별로 도시철도 운영기관에서 제공하는 자료를 활용하여야 조금 더 신뢰성 있는 비용을 산출 할 수 있으나 본 연구에서는 개략적인 값을 사용한 한계점이 있다.

마지막으로 본 연구에서는 서비스수준(LOS) 구간 설정 시 가중평균 위험도 값을 기반으로 하였으나, 이를 조금 더 발전시키기 위해서는 본 연구를 바탕으로 역사의 보행특성 및 이용객의 통행특성 등이 반영되는 연구를 지속되어야 한다고 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).