



고속국도 국가기반시설 보호계획을 위한 재난유형별 위험분석 및 등급화방안

Risk Analysis and Ranking Method for an Expressway Infrastructure Protection Plan

이재준* · 김경석** · 윤홍식*** · 송문수****

Lee, Jaejoon*, Kim, Kyungsuk**, Yun, Hongsik***, and Song, Moonsoo****

Abstract

Critical infrastructure has established the protection plan by designating nine areas such as transportation and energy. State infrastructure is normalized when it is organically moved by referring to the facilities that are of core importance to the country. There are railways, highways, air transportation, and others in the transportation sector. Korea Expressway Corporation is a disaster management authority responsible for highways nationwide. For the normal operation of critical infrastructure, it is necessary to conduct risk assessment of management facilities and establish protection plans. The government requires the selection of key risks through the assessment of relative risk by facility type and disaster type. According to the Guidelines for Establishing Critical Infrastructure Protection Plan, it is necessary to judge the probability of occurrence and the scale of damage (human, economic, and functional) in the risk analysis stage. In this study, we analyze disaster cases and determine the degree of likelihood and the consequences in order to assess the risks according to the characteristics of highways of critical infrastructure. Risk assessment was conducted through the creation of a reference table, and the result of relative risk for each disaster type was derived.

Key words : Critical Infrastructure, Hazard Analysis, Risk Assessment, Expressway

요 지

국가기반시설은 교통수송, 에너지 등 9개 분야를 지정하여 보호계획을 수립하고 있다. 국가기반시설은 국가에 핵심적인 시설을 말하는 것으로 유기적으로 움직일 때 국가기반체계는 정상화된 상태이다. 교통수송기능은 고속국도, 철도, 항공등을 포함하여 한국도로공사는 고속국도를 담당하는 재난관리 책임기로서 국가기반체계의 정상적인 작동을 위해 관리시설의 리스크 평가를 진행하여 보호전략과 계획의 수립이 필요하다. 재난유형별, 시설물별 상대적 리스크 평가를 통한 중점 리스크 선정을 요구하는 정부 국가기반시설 보호계획 수립지침은 리스크 분석 단계에서 발생가능성과 피해규모(인적, 경제적, 기능적)의 판단이 필요하다. 본 연구에서는 국가기반시설인 고속국도 시설특성에 맞는 리스크 평가를 위해 재난사례를 분석하여 발생가능성과 피해규모의 급간을 결정하고 리스크 판단을 위한 기준표 작성을 통해 리스크 평가를 진행 하여 재난유형별 상대적 리스크 결과를 도출하였다.

핵심용어 : 국가기반시설, 위험분석, 리스크평가, 고속국도

*정회원, 성균관대학교 방재안전공학협동과정 박사과정(E-mail: lunevocal@naver.com)

Member, Ph.D Candidate, Interdisciplinary Program in Crisis, Disaster and Risk Management, SungKyunKwan University

**교신저자, 정회원, 한국도로공사 도로교통 연구원 책임연구원(Tel: +82-31-8098-6367, Fax: +82-31-8098-6369, E-mail: kskim2k4@ex.co.kr)

Corresponding Author, Member, Ph.D Senior Researcher, Road Safety and Disaster Management Research Division, Korea Expressway Corporation Research Institute

***정회원, 성균관대학교 건설환경공학부 교수(E-mail: yoonhs@skku.edu)

Member, Professor, School of Civil, Architectural Engineering and Landscape Architecture, SungKyunKwan University

****정회원, 성균관대학교 방재안전공학협동과정 석박통합과정(E-mail: songms0722@gmail.com)

Member, Ph.D Candidate, Interdisciplinary Program in Crisis, Disaster and Risk Management, SungKyunKwan University

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

국가기반체계가 재난으로부터 피해를 받을 경우 에너지, 교통, 통신, 금융, 식용수 등의 9개 분야의 상호 연계된 국가기반시설이 필수적인 기능이 마비되어 국가에 치명적인 피해를 주어 국민의 생명, 재산피해를 발생 시킨다. 우리나라의 경우는 9.15 대규모 정전사건, 농협 전산장애, 서해대교 케이 블화재사건 등 국가기반시설 기능마비로 인해 큰 피해가 발생하였다(Yu, 2011). 국내에서도 국가적인 손실을 최소화하기 위해 국가기반체계 법·제도, 상호연계성, 국가기반시설 지정, 리스크분석 등에 관하여 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 재난으로 인하여 국가기반시설물의 피해를 줄이기 위하여 리질리언스 비용의 정량화의 필요성을 언급하여 미국의 평가사례를 통해 리질리언스 비용을 반영한 평가방법을 연구하였다(Yu, 2011). 또한, Choi et al. (2014)은 효율적인 국가기반체계 보호를 위하여 보호계획과 관련된 법과 제도의 역할 명확화와 시설간의 상호의존도를 고려한 보호계획 작성을 제안하였다. 또한, 국가기반체계 기능은 개별단위의 시설관리를 넘어서 체계화된 안전관리를 위한 것으로 국가기반시설의 상호연계성 분석연구를 수행하였다(Shin et al., 2014). 행정안전부의 국가기반체계 보호지침상의 리스크 평가는 발생가능성과 피해규모를 활용한 리스크 평가를 제안하고 있다. 국외 재난관리 선진국의 경우 공통적으로 국가기반체계의 리스크 평가를 실시하는 전담기관이 있고, 시설간·시설별로 평가하고 있다(Choi et al., 2014). Song and Park (2017)에 따르면 교통분야의 리스크분석 절차가 선언적으로만 제시되어 있고, 시설물의 특성을 감안한 리스크분석이 미흡하여 리스크평가가 형식적으로 수행되는 경우가 있어서 국가기반시설의 기능유지에 한계점을 드러냄을 지적하고 있다.

국내에서 수행된 국가기반체계, 국가기반시설과 관련된 연구는 주로 법 제도, 상호연계성에 대한 연구가 주로 진행되었다. 국가기반시설 보호를 위하여 행안부의 보호계획 지침에 따라 국가기반시설 보호계획 수립을 위해서 리스크 평가가 이루어져야 하지만 동일한 방법론으로 9개 모든 분야의 국가기반시설에 대한 리스크 평가가 이루어지고 있으며, 국가기반시설별 리스크 평가에 관한 연구 활동은 미비한 수준이다.

국외의 경우에 국가기반시설 각 분야별 연구가 활발히 진행이 되고 있다. 독일은 2009년 중요인프라 시설의 리스크 평가 가이드라인을 개발하여 리스크 분석과정을 단계적이고 세부적으로 제시하고 있다. 실제실무자가 국가기반시설 건물 설비, 지리적, 물리적인 항목을 확인하여 상습침수지역, 노후화수준, 침수대비계획 수립 등에 관한 체크리스트를 작성하여 리스크 평가를 진행하고 있다. 유럽연합(EU)의 국가중요인프라 위협평가지침은 ISO 31000을 기반으로 개

발된 리스크평가기법을 적용하여 빈도와 강도의 조합으로 리스크 평가를 수행하고 있다. 리스크 등급이 판정되면 리스크 등급별로 대응방법을 결정하여 국가기반시설을 보호하고 있다. 미국의 경우 위험분석 역시 빈도와 강도를 조합하여 위험도 등급을 결정하여 대응전략을 수립하고 있다. 미국의 경우 교통수송분야 위험도 평가연구를 Virginia Transportation Research Council에서 2002년 주요 교통 기반시설 리스크 평가 프레임워크 개발하였다(Haimes et al., 2002). 리스크 평가 절차는 리스크 가능성 평가, 리스크평가, 리스크분석 및 우선 순위 지정, 최고 리스크 관리 정의, 리스크 모니터링의 순서로 진행된다. Risk Filtering, Ranking and Management (RFRM) 방법을 활용하여 리스크 평가를 수행한다. 시나리오작성부터 사례데이터를 통하여 발생가능성(Likelihood)과 피해규모(Consequence)를 결정하여 리스크 평가를 수행한다.

리스크 평가만을 전담하는 기구가 부재한 국내는 국가기반시설인 고속국도 리스크 평가 방법론의 정립이 필요하다. 본 연구에서는 국가기반시설인 고속국도 시설물의 리스크 평가는 국제표준이며, 국내 국가기반체계 보호계획 위험도 평가 지침의 기반이 되는 ISO 31000을 통해 평가 방법론을 정립하고 리스크 식별, 리스크 분석, 리스크 사정의 단계로 수행하였다. 재난유형별 상대적인 리스크를 결정하기 위하여 리스크 분석단계에서 활용하는 피해규모의 판단기준표를 재난 사례로부터 도출하고, 발생빈도 및 피해규모를 결정하여 재난유형별 리스크 평가를 통해 재난유형별 상대적인 리스크를 결정 하고자 한다.

1.2 연구 대상 및 방법

본 연구는 보호지침에서 정하고 있는 국가기반체계 분야 중 교통수송분야의 한국도로공사의 고속국도(민자 고속국도 제외)를 대상으로 하였다. 고속국도의 경우 발전소, 혈액원, 항만과는 달리 넓은 범위의 다양한 토목시설과 전국적인 범위에 걸쳐 존재하는 시설물이므로 발생하는 재난과 사고 유형이 다양하다. 도로는 전국적인 네트워크 가지고 있으며 4,113 km에 달하는 고속도로 노선과 9,200여개의 교량, 1,000여개의 터널, 9,800개의 비탈면, 1,500여개의 옹벽 등 몇 만개에 이르는 시설물 각각 리스크 평가를 수행하기에는 어려움이 있다. 따라서 재난유형별로 피해규모와 발생가능성을 확인하여 리스크 평가를 진행하고 중요 리스크를 결정한 후 재난유형에 따라 Table 1과 같이 재난유형별로 피해가 발생할 수 있는 시설을 확인하여 보호전략수립 근거를 제공 하고자 하였다.

국가기반시설 리스크평가를 수행 시 행정안전부에서 제공하는 지침상의 리스크평가 방법론의 피해규모 및 발생가능성을 판단하기 위한 판단기준 근거가 불명확하며, 고속국도에 적용하기에는 어려움이 있기에 판단기준표의 급간을 결정하기 위한 방안을 제시하여 판단기준을 결정한 후 리스크 평가를 수행하고자 한다. 국가기반시설 계획 수립을 위한

리스크 평가는 단일재난의 리스크 평가 방법과는 다르게 Baccarini and Archer (2001)의 리스크 랭킹(Risk Ranking) 방법론을 활용하여 재난유형간의 더 높은 리스크를 우선순위를 결정 하여 상대적 리스크를 확인하고 효과적인 전략수립이 가능하도록 수행하였다.

Table 1. Disaster Risk Assessment Scope

| Disaster Type | | Infrastructure at Risk |
|---------------|-----------------------------------|---|
| H-1 | Storm, Flood, Inundation, Erosion | Bridge, Tunnel, Slope, retaining wall, Highway road |
| H-2 | Snow Damage | Highway road |
| H-3 | fire | Bridge, Tunnel, Highway road |
| H-4 | Hazardous accident | Highway road |
| H-5 | Fog | Highway road |
| H-6 | Traffic accident | Highway road |
| H-7 | Thunderbolt | Bridge, Highway road |
| H-8 | Blocking Traffic | Highway road |
| H-9 | Earthquake | Bridge, Tunnel, Slope, retaining wall, Highway road |

국내외 가장 많이 활용되는 리스크 평가 방법으로 ISO 31000에서는 리스크 평가의 표준을 제시하고 있다. Fig. 1과 같이 리스크 관리는 리스크평가 목표수립(establish context), 리스크 식별(risk identification), 리스크 분석(risk analysis), 리스크 사정(risk evaluation), 리스크 관리전략(risk treatment)의 5단계로 이루어지고 있다. 국내 국가기반시설 보호계획의 지침상에 나타난 방법론과 동일한 방법론으로 각 단계를 수행하기 위해 리스크를 관리하는 주체가 단계마다 적절한 방법론을 활용하여 재난유형별 리스크를 평가하고자 한다.

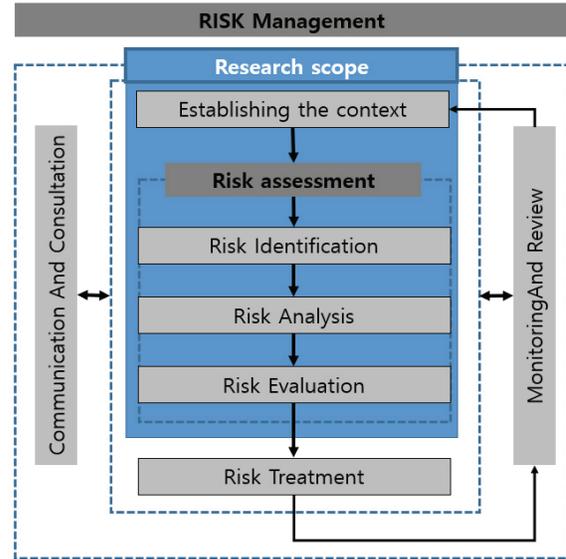


Fig. 1. Risk Assessment Process Flowchart

2. 리스크 평가(risk assessment)

2.1 목표수립(establish context)

고속국도를 보호하기 리스크평가는 목표 수립단계를 거치게 된다. 고속국도 상 교통수송 기능을 저해하는 재난 또는 그에 준하는 비상사태 발생 시, (1) 목표시간 내에 최소 1차로 교통수송 용량이 확보될 수 있도록 한다. (2) 고속국도 시설 결함으로 인해 소통이 어려울 경우, 타 고속국도 또는 국도, 지방도 우회 계획을 실행하여 교통 수송 기능이 연속되도록 리스크 관리 전략 수립을 하고자 한다.

2.2 리스크 식별(risk identification)

고속국도는 광범위적인 시설물로서 재난유형의 특성이 다양하게 나타난다. 사전에 발생한 사건뿐만 아니라 발생할 수 있는 가능성을 지닌 리스크를 검토하여 고속도로에 치명적인 피해를 초래하며, 실제로 발생할 수 있는 가능성을 확인하기 위하여 Table 2 단계에 걸친 리스크 식별을 진행하

Table 2. Identify Risks

| stage | step.1 | step.2 | step.3 | step.4 |
|----------|--|---|--|--|
| | Create Risk pool | Eliminate redundancy | Categorization | Identify Risks |
| plan | Investigation of domestic and overseas infrastructure risk list | Reflect disaster expert opinions, utilize internal meetings and reports | | |
| contents | <ul style="list-style-type: none"> - Disaster and Safety Management Basic Law - National Crisis Management Basic Guidelines - Natural Disaster Countermeasures Act - Guidelines for the Protection of National Infrastructure Systems - Information Communication Infrastructure Protection Act - Overseas infrastructure risk | <ul style="list-style-type: none"> - Construction and association analysis - The primary risk identification result | <ul style="list-style-type: none"> - Similar risk classification - Second risk identification result | <ul style="list-style-type: none"> - Final risk identification result |

였다. 리스크 POOL작성은 법적 재난 및 해외 기반시설리스크들에 대한 검토를 거쳤으며, 중요리스크요인 제거 및 리스크의 카테고리화를 통한 리스크식별은 재난전문가 및 한국도로공사 재난안전처, 도로교통연구원의 안전연구실 연구원의 자문을 통하여 최종적으로 리스크를 식별하였다. 리스크식별 단계를 진행한 결과 고속도로에서 발생한 가능한 리스크로 자연재난으로 풍수해(태풍·호우), 설해, 지진, 안개, 낙뢰가 리스크로 식별되었다. 사회재난의 경우 화재, 위험물사고, 교통사고, 도로점거가 국가기반시설인 고속도로에 기능마비 발생시킬 수 있음을 확인하였다.

2.3 리스크 분석(risk analysis)

고속도로에 대한 리스크 분석은 발생가능성과 피해규모를 판단이 필요한 단계이다. 판단을 위해서는 판단기준표가 필요하다. 정량적인 리스크 분석은 오랫동안 수집된 데이터가 존재하거나, 수치적인 해석을 통한 공학적인 시뮬레이션 통하여 리스크분석이 이루어진다. 본 연구는 재난유형별 사례의 구축된 데이터를 활용해 피해규모와 발생가능성에 대한 정성적인 판단기준표를 작성하여 리스크 분석을 수행하였다.

2.3.1 피해규모 및 발생가능성 분석

기반시설 리스크 평가 시 피해규모의 요인들에 대한 결정이 필요하다. 피해규모 요인을 결정은 U.S Department of Energy는 1998년도에 인적, 기능적, 연계적, 환경적 요인을 고려하였다. 2002년 Virginia Department of Transportation은 A Risk Assessment Methodology for Critical Transportation Infrastructure를 통해 리스크 평가시 인적, 경제적, 대응복구 운영에 대하여 고려하였다(Haimes et al., 2002). 미국고속도로 연방청(Federal Highway Administration, FHWA)의 2012년 Transportation risk Management에 따르면 시간적, 경제적, 운송적 요인을 고려하고 있다(Curtis et al., 2012). European Union은 2015년 인적, 경제적, 환경적, 사회적, 정치적 요인 등을 고려하였다(Theocharidou and Giannopoulos, 2015). 요인선정은 국내외 사례를 반영 및 전문가 자문을 통해 결정하였다. 그 결과 고속국도 위험도 평가에 적합한 피해규모 요인으로 인적, 경제적, 기능적 피해를 결정하였다. 재난 유형별 피해규모를 결정하기 위해 Fig. 2와 같이 3가지 피해규모의 요인별 판단기준표의 급간을 결정하는 과정이 필요하다. 본 연구에서는 일반적으로 사용되는 지극히 정성적인 판단기준에 의한 분석이 아니라 재난 사례를 분석하여 최대값과 최소값을 고려하여 판단기준표의 급간을 결정하고 재난 유형별로 상대적인 리스크를 확인하였다. 발생가능성은 선행연구에서 살펴본 미국, 유럽연합, 독일의 경우 국가기반시설 리스크 평가시 발생가능성에 대한 정성적으로 판단기준표를 작성하였다. 본 연구에서도 조사된 통계를 기반으로 재난의 특성을 확인하여 발생가능성을 4등급으로

분류하여 리스크 평가를 수행하였다. 피해규모와 발생가능성의 급간을 결정하기 위하여 재난사례에 대한 분석이 필요하며, 한국도로공사 내부 통계자료를 토대로 9개 재난유형에 대하여 고속국도에서 발생한 사례에 대한 조사·분석 결과는 아래와 같다.

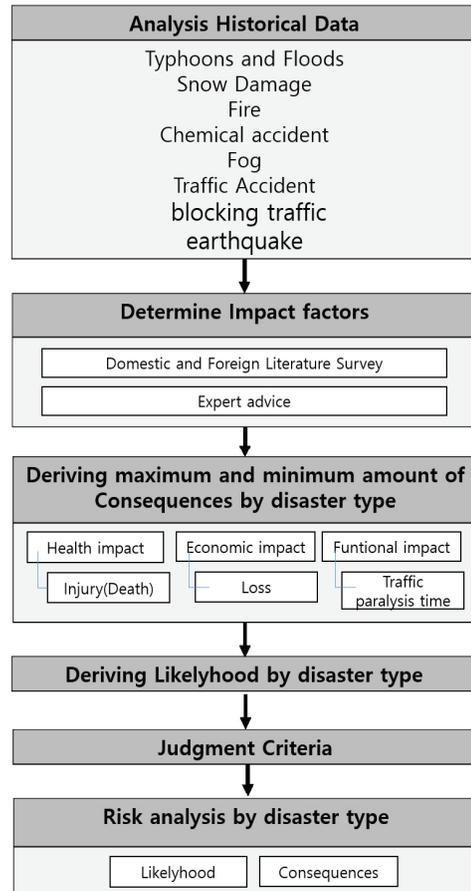


Fig. 2. Risk Analysis Process

2.3.1.1 H-1: 풍수해

고속도로상에 발생하는 풍수해 재난은 2009년부터 2013년까지 5년간 총 1,000여건 이상의 피해가 발생하였다. 피해 유형은 산사태, 토석류, 비탈면 붕괴 및 구조물의 붕괴, 부분 지역 침수와 같이 다양한 유형으로 재난이 발생하였다. 풍수해 재난의 특성을 확인하기 위하여, 20건의 사례를 분석한 결과 4명의 사상자가 발생하였으며, 가장 긴 마비시간으로 21시간이다. 피해 복구는 2012년부터 2014년 까지 총 1,058건으로 지역본부에서 소요되는 복구 예산 통계에 따르면 사용된 예산은 1천20억원 정도이며, 최대 재산피해액은 8억700만원 정도이다. 분석 결과는 Table 3과 같다.

2.3.1.2 H-2: 설해

대설 사고 사례분석 대상은 2001년부터 2015년까지 15년간의 재난 사례이며, 총 18건 사례를 통해 2001년부터 2015년

까지 재난 사례 중 2011년과 2012년에 가장 많이 발생하였다. 총 사상자는 112명 사망자 1건 7명이며, 재산피해액은 1,500만원이다. 총 마비시간은 114시간이며 가장 긴 마비시간은 27이다. 분석 결과는 Table 4와 같다.

Table 3. Storm, Flood, Inundation Case Analysis

| Likelihood | number of occurrences | duration |
|-------------------|-----------------------------------|----------|
| | 1000 | 5years |
| Consequence | minimum | maximum |
| Human impact | Casualties(death) | |
| | - | 2 |
| economic impact | amount of damage(hundred million) | |
| | 0 | 8.07 |
| functional impact | Functional paralysis time(hours) | |
| | 0.32 | 14 |

Table 4. Snow Damage Case Analysis

| Likelihood | number of occurrences | duration |
|-------------------|-----------------------------------|----------|
| | 18 | 15years |
| Consequence | minimum | maximum |
| Human impact | Casualties(death) | |
| | - | 34 |
| economic impact | amount of damage(hundred million) | |
| | 0 | 0.15 |
| functional impact | Functional paralysis time(hours) | |
| | 1.15 | 27 |

2.3.1.3 H-3: 화재

화재는 2004년부터 2016년까지 13년간의 재난 사례이며, 주로 터널내의 화재가 많은 피해를 발생 시켰다. 총 115건의 사례를 통해 2004년부터 2016년까지 발생한 사고 중 2012년에 가장 많이 발생했다. 총 재산피해액은 35억원이며 집계된 데이터의 평균값은 3,000만원이다. 45명의 사상자가 발생해 평균값은 0.4명이며 9명의 사망자가 발생했다. 총 마비시간은 78시간인 것을 확인할 수 있었으며, 마비시간의 평균값은 약 1시간이며, 가장 적은 시간의 마비시간은 3분이며, 가장 긴 마비시간은 20시간이다. 분석 결과는 Table 5와 같다.

2.3.1.4 H-4: 위험물 사고

위험물 사고는 2004년부터 2017년까지 14년간의 총 87건

이 발생했다. 사망자는 35명, 부상자는 147명으로 총 사상자는 182명이 발생하였으며 사상자의 평균값은 2명이다. 총 23억원의 피해가 발생한 것을 확인할 수 있었으며, 재산피해액의 평균값은 2천 6백만원이다. 총 마비시간은 약 72시간이며, 평균값은 50분이며, 사례 중 가장 긴 마비시간으로는 12시간이다. 분석 결과는 Table 6과 같다.

Table 5. Fire Case Analysis

| Likelihood | number of occurrences | duration |
|-------------------|-----------------------------------|----------|
| | 115 | 13years |
| Consequence | minimum | maximum |
| Human impact | Casualties(death) | |
| | - | 20(1) |
| economic impact | amount of damage(hundred million) | |
| | - | 18 |
| functional impact | Functional paralysis time(hours) | |
| | - | 20 |

Table 6. Hazardous Accident Case Analysis

| Likelihood | number of occurrences | duration |
|-------------------|---------------------------------------|----------|
| | 87 | 14years |
| Consequence | minimum | maximum |
| Human impact | Casualties(death) | |
| | - | 21 |
| economic impact | amount of damage(hundred million won) | |
| | - | 1.7 |
| functional impact | Functional paralysis time(hours) | |
| | - | 12 |

2.3.1.5 H-5: 안개

안개사고 사례분석은 2006년부터 2016년까지 11년간의 재난 사례이며, 총 9건의 사례를 통해 2006년부터 2016년까지 사고 중 2016년에 가장 많이 발생했다. 총 사망자수는 14명이며 사상자수는 186명으로 사상자의 평균값은 20명이다. 재산피해액은 40억원이며, 평균값이 약 4억4천만원인 것을 확인할 수 있었다. 마비시간은 총 42시간이며, 평균값은 약 6시간이며 사례 중 가장 긴 시간으로는 24시간이다. 분석 결과는 Table 7과 같다.

2.3.1.6 H-6: 교통사고

교통사고 사고사례 실제 1년에 10,000여건 이상 발생하였

다. 그 중 조사 대상은 피해의 유형 및 세부적인 기록이 포함되어있는 자료를 분석하였다. 교통사고에 사용한 데이터는 2008년부터 2016년까지 9년간 총 122건이 발생했다. 총 사상자는 243명으로 중 48명의 사망자가 발생하였으며 합산된 평균 사상자수는 2명이다. 재산피해액은 200억원으로 재산피해액의 평균값은 약 1.7억이다. 총 마비시간은 89시간으로 평균값은 대략 43분이며, 6시간이 가장 길다. 분석 결과는 Table 8과 같다.

Table 7. Fog Case Analysis

| Likelihood | number of occurrences | duration |
|-------------------|-----------------------------------|----------|
| | 9 | 11years |
| Consequence | minimum | maximum |
| Human impact | Casualties(death) | |
| | 1 | 60(11) |
| economic impact | amount of damage(hundred million) | |
| | - | 40 |
| functional impact | Functional paralysis time(hours) | |
| | - | 24 |

Table 8. Traffic Accident Case Analysis

| Likelihood | number of occurrences | duration |
|-------------------|---------------------------------------|----------|
| | 10,000 | 1years |
| Consequence | minimum | maximum |
| Human impact | Casualties(death) | |
| | - | 41(4) |
| economic impact | amount of damage(hundred million won) | |
| | - | 0.55 |
| functional impact | Functional paralysis time(hours) | |
| | - | 6 |

2.3.1.7 H-7: 낙뢰

낙뢰 사례분석은 2015년에 발생하였으며 사례분석 최대 기간인 15년간의 재난 사례이며, 총 1건의 사례인 것을 확인하였다. 사례 중 사상자를 알 수 있는 데이터는 1건이며, 발생한 사망자수는 1명이다. 384시간가량 서해대교의 진출입이 통제되었으나, 1.3시간만에 우회도로를 확보하여 교통수송기능을 유지하였기에 목포 수립의 (2)내용을 고려하여 기능적 피해는 1.3시간으로 결정하였다. 낙뢰로 인한 차량피해는 없다. 총 재산피해는 23억원이다. 분석 결과는 Table 9와 같다.

2.3.1.8 H-8: 도로점거

도로점거는 2003년에 발생하였으며 2018년까지 15년간 2건이 발생하였다. 도로점거는 발생한 사상자, 재산피해는 없으며, 구축된 마비시간 데이터는 2건이며, 건당 12시간가량의 교통마비가 발생하였다. 분석 결과는 Table 10과 같다.

Table 9. Thunderbolt Case Analysis

| Likelihood | number of occurrences | duration |
|-------------------|---------------------------------------|----------|
| | 1 | 15years |
| Consequence | minimum | maximum |
| Human impact | Casualties(death) | |
| | - | 1(1) |
| economic impact | amount of damage, hundred million won | |
| | - | 23 |
| functional impact | Functional paralysis time, hours | |
| | - | 1.3 |

Table 10. Blocking Traffic Case Analysis

| Likelihood | number of occurrences | duration |
|-------------------|---------------------------------------|----------|
| | 2 | 15years |
| Consequence | minimum | maximum |
| Human impact | Casualties(death) | |
| | - | - |
| economic impact | amount of damage(hundred million won) | |
| | - | - |
| functional impact | Functional paralysis time(hours) | |
| | - | 12 |

2.3.1.9 H-9: 지진

지진의 빈도의 경우 경부고속도로 준공을 기준으로 확인하고자 하였다. 기상청에 따르면 1970년 이후 규모 5이상의 지진은 총 10건 발생하였다. 따라서 지진의 빈도는 50년동안 10번을 확인하였다. 과거 고속국도 지진으로 발생한 피해에 대한 사례는 집계되지 않아 확인이 어렵다. 최근 2년간 한국도로공사 내부데이터를 확인한 결과, 2016년 울산, 경주, 2017년 포항에 발생한 규모 5 이상의 지진도 고속국도 기능을 중단시킬 수준의 피해는 발생하지 않았다. 분석 결과는 Table 11과 같다.

Table 11. earthquake Case Analysis

| | | |
|-------------------|---------------------------------------|----------|
| Likelihood | number of occurrences | duration |
| | 10 | 50years |
| Consequence | minimum | maximum |
| Human impact | Casualties(death) | |
| | - | - |
| economic impact | amount of damage(hundred million won) | |
| | - | - |
| functional impact | Functional paralysis time(hours) | |
| | - | - |

2.3.2 리스크 판단 기준표 급간 설정

리스크 평가는 판단기준표에 따른 리스크 판정이 이루어진다. 정성적인 리스크 평가 시 활용되는 판단기준표의 급간 구성은 명확한 기준이 없기 때문에 절대적인 값이 주어지지 않는다. 매우 높은, 높음, 낮음과 같은 정성적인 기준에 따라 전문가 그룹이나 재난관리 담당자가 경험적 판단 의존하여 리스크 평가를 수행하고 있다. 그러나 본 연구는 재난유형간의 상대적 리스크 평가결과를 도출하기 위해 데이터 기반의 판단기준의 급간을 결정하였다. 본 연구는 단일재난유형에 대한 리스크 분석이 아니며, 재난유형별 상대적인 리스크의 가중을 확인하기 위함이다. 9가지 유형의 재난피해 규모를 기준으로 작성하여 인적, 경제적, 기능적 피해의 최소값과 최대값을 고려해 피해 판단 기준 급간을 결정 하였다. 발생가능성의 급간 구성도 4단계로 구분하여 리스크 평가를 수행하여 재난유형별 상대적인 비교가 가능한 리스크 분석을 하였다. 재난유형별 우선순위 도출을 위해 피해규모와 발생가능성은 최대값과 최소값의 범위를 포함하며, 재난유형별 구분을 명확히 할 수 있는 적정분포를 위하여 4단계 급간으로 설정하였다.

2.3.2.1 피해규모 급간 설정

재난 사례분석을 통해 고속도로에서 발생할 수있는 최대 피해 사례를 분석해본 결과는 Table 12와 같다. Table 12와 같이 인적요인은 사상자수, 경제적으로인 억원, 기능적으로인 시간의 단위 나타낸 것이다.

상대적 리스크를 판단하기 위하여 고속국도에서 발생할 수 있는 재난유형별로 발생가능한 피해의 정도를 확인하여 각 요인별(인적, 경제적, 기능적)로 피해규모를 4등급으로 급간으로 구성하였다.

① 인적피해 구간설정

분석된 사례를 통해 인적피해의 경우 재난 유형별로 상이 하지만 인명피해가 발생하지 않은 도로점거와 안개로 인한 다중추돌사고로 최대값이 60명의 사상자가 발생한 사례가 있다. Table 13과 같이최대 피해인 60명을 기준으로 구간으

로 결정하였다.

Table 12. Analysis of Damage Scale by Disaster Type

| | | | |
|---------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Disaster Type | Human impact | Economic impact | Functional impact |
| | Number of Casualties (death) | amount of economic damage | Functional paralysis time |
| H-1 | 2 | 8.07 | 14 |
| H-2 | 34(7) | 0.15 | 27 |
| H-3 | 20(1) | 18 | 20 |
| H-4 | 21 | 1.7 | 12 |
| H-5 | 60(11) | 40 | 24 |
| H-6 | 41(4) | 0.55 | 6 |
| H-7 | 1(1) | 23 | 1.3 |
| H-8 | 0 | 0 | 12 |
| H-9 | 0 | 0 | 0 |

Table 13. Human Impact Criteria

| | |
|-------|----------------------|
| level | Description |
| | number of Casualties |
| 4 | > 60 |
| 3 | 40 - 60 |
| 2 | 20 - 40 |
| 1 | < 20 |

② 경제적 피해 구간 설정

경제적피해는 서해대교에서 2006년에 발생한 안개로 인한 다중추돌로 40여억원의 경제적 피해가 발생하였다. Table 14와 같이 40억원을 기준으로 4등급화 하여 급간을 결정하였다.

Table 14. Economic Impact Criteria

| | |
|-------|-----------------------------|
| level | Description |
| | amount of economic damage |
| 4 | > 40 hundred million won |
| 3 | 25 - 40 hundred million won |
| 2 | 10 - 25 hundred million won |
| 1 | < 10 hundred million won |

③ 기능적 피해 구간 설정

서해대교에 고립된 차량을 1시간 20여분만에 안전사고 없이 우회도로를 통해 진출시켰으므로 실제 서해대교의 교통마비 시간은 1.3시간으로 적용하였다. 따라서 그 다음 최대값인 설해 27시간을 기준으로 기능적 피해 구간을 4등급화 하였다.

Table 15. Functional Impact Criteria

| level | Description |
|-------|---------------------------|
| | Functional paralysis time |
| 4 | > 27 hours |
| 3 | 18 - 27 hours |
| 2 | 9 - 18 hours |
| 1 | < 9 hours |

2.3.2.2 발생가능성 급간 설정

발생하는 모든 재난이 어떠한 규모로 발생할 지는 알 수 없다. 따라서 본 연구는 대규모 피해를 발생시킨 재난사례만을 고려하지 않았다. 발생가능성의 판단기준 급간을 결정하기 위해 발생한 모든재난을 고려하여 발생가능성 급간을 결정하였다. 앞서 살펴본 재난사례는 재난 유형별로 1년부터 15년간의 데이터를 분석하여 발생한 건수를 확인한 결과는 Table 16과 같다.

Table 16. Analysis of Damage Scale by Disaster Type

| Disaster Type | number of occurrences | duration |
|---------------|-----------------------|----------|
| H-1 | 1000 | 5years |
| H-2 | 18 | 15years |
| H-3 | 115 | 13years |
| H-4 | 87 | 14years |
| H-5 | 9 | 11years |
| H-6 | 10,000 | 1years |
| H-7 | 1 | 15years |
| H-8 | 2 | 15years |
| H-9 | 10 | 50years |

Table 18. Analysis of Damage Scale by Disaster Type

| Disaster Type | | Human impact | Economic impact | Functional impact | Consequence avg | Likelihood | Risk Score | priority |
|---------------|-----------------------------------|--------------|-----------------|-------------------|-----------------|------------|------------|----------|
| H-1 | Storm, Flood, Inundation, Erosion | 1 | 1 | 2 | 1.33 | 3 | 3.99 | 4 |
| H-2 | Snow Damage | 2 | 1 | 4 | 2.33 | 2 | 4.67 | 2 |
| H-3 | fire | 2 | 2 | 3 | 2.33 | 2 | 4.67 | 2 |
| H-4 | Hazardous accident | 2 | 1 | 2 | 1.67 | 1 | 1.67 | 6 |
| H-5 | Fog | 4 | 4 | 3 | 3.67 | 1 | 3.67 | 5 |
| H-6 | Traffic accident | 3 | 1 | 1 | 1.67 | 4 | 6.67 | 1 |
| H-7 | Thunderbolt | 1 | 2 | 1 | 1.33 | 1 | 1.33 | 7 |
| H-8 | Blocking Traffic | 1 | 1 | 2 | 1.33 | 1 | 1.33 | 7 |
| H-9 | Earthquake | 1 | 1 | 1 | 1.00 | 1 | 1.00 | 9 |

Table 17. Likelihood Criteria

| level | Description |
|-------|------------------------|
| | likelihood |
| 4 | more than 1 in a day |
| 3 | more than 1 in a month |
| 2 | more than 1 in a year |
| 1 | less than 1 in a year |

2.3.3 리스크 사정(risk evaluation)

리스크 분석을 통해 상대적 리스크 결과는 Table 18과 같이 도출되었다. 교통사고가 가장 높은 리스크를 가지고 있으며, 높은 발생가능성과 시설관리만으로 완벽한 예방이 어렵기 재난유형이기 때문에 판단된다. 설해와 화재가 높은 리스크 점수를 갖는다. 설해는 예방부터 복구까지의 관리가 잘 이루어지더라도 불특정장 장소에서 발생하며, 모든 고속국도 네트워크에서 발생하는 재난유형 특성상 리스크저감에 한계가 있다. 화재의 경우도 시설물의 파괴를 발생시키며, 터널내부에서 화재가 발생할 경우 장기간에 걸친 교통마비가 발생하므로 설해와 같이 2번째로 높은 리스크를 갖는다. 풍수해의 경우 고속국도상에서 가장 많은 리스크를 가질 것으로 예상되었으나 안전관리활동, 재난관리체계 및 시설물점검 등 예방과 대비활동이 적극적으로 이루어져 관리수준이 높아 피해규모가 적은 것 때문이라 판단된다. 위험물사고가 리스크가 낮은 이유는 위험물 사고로 인해 발생한 화재의 경우 화재로 간주하여 사례분석을 진행하였기에 피해가 크게 발생하는 화재가 아닌 위험물 전복과 같은 사고만 고려하였기 때문에 판단된다. 최근 발생한 서해대교 낙뢰사고의 경우 장시간에 걸친 교량기능 마비가 발생하였으나, 실제적으로 교통수송기능유지를 위해 우회도로를 활용하였으므로 기능적 피해가 적게 나타났으며, 발생가능성 또한 아주 낮은 편으로 가장 낮은 리스크

점수를 갖게 된 것으로 판단된다. 지진의 경우 사례의 부족으로 데이터 분석에 기반을 둔 위험도 등급분석은 본 연구에서 한계점을 갖는다. 데이터 분석에 기반을 둔 위험도 등급 분석을 시간이 지남에 따라 변동될 가능성이 있으므로 정기적인 업데이트가 필요하다고 판단된다.

3. 결론

최근 국가기반체계 및 국가기반시설 보호를 위한 활동이 국내외에서 연구가 진행 중이다. 국내외 선행연구에서는 국가기반체계의 상호의존도 분석, 교통수송분야 재난관리 고도화 방안, 국가기반체계의 위험도 평가 방법론에 관한 거시적인 연구가 주를 이루었음 뿐 국가기반시설 각 분야에 맞는 리스크 평가방법론에 대한 구체적인 연구가 진행되지 않았다. 고속국도 국가기반시설 위험도 평가 시 피해규모와 발생가능성을 결정하기 위한 판단기준표 급간 설정에 관해서는 국내외 정부에서 제공하는 공통된 지표 외에 국내외 어디에서도 연구가 진행된 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 고속국도에서 발생한 재난사례의 분석을 통하여 피해 규모 항목을 도출하여 재난유형별 인적피해, 경제적피해, 교통마비시간에 대한 분석을 통해 피해규모 판단기준표의 급간을 결정하였다. 발생가능성 또한 현재까지 발생한 재난사례를 근거로 4등급으로 나누어 판단기준표를 작성하여 리스크 평가에 활용하였다. 각 재난유형별로 리스크 평가를 통해 점수화 하여 상대적인 리스크 점수를 확인하여 국가기반시설인 고속국도를 관리하기 위한 전략을 세우는데 합리적인 판단근거를 제시하였다. 고속국도의 특성상 몇 만개에 이르는 개별 시설에 대하여 각각 리스크 평가하기에는 어려움이 있어 재난유형별 리스크 평가를 통해 상대적인 리스크를 결정한 후 재난유형별 시설을 관리하기 위한 전략 수립에 도움이 되는 재난유형별 상대적 리스크를 도출하였다.

본 연구를 통해 리스크 평가를 필요로 하는 국가기반시설 관리기관이 한정된 데이터를 활용하여 다양한 재난의 상대적인 리스크 우선순위로출 가능한 방법론이 효율적으로 활용되길 기대한다. 향후 리스크 평가에 활용될 수 있는 신뢰도 높은 데이터가 갖추어 진다면 정성적, 정량적 리스크 평가를 수행하여 좀더 정확한 리스크 평가 및 상대적 리스크 평가가 아닌 절대적인 기준표를 활용한 정량적 리스크 평가를 통해 연구 결과 도출이 가능하다고 판단된다.

References

Baccarini, D., and Archer, R. (2001). The risk ranking of projects: A methodology. *International Journal of*

Project Management, Vol. 19, No. 3, pp. 139-145.

Choi, D.S., Yoon, K.H., and Shin, J.D. (2014). A study on law analysis for efficient critical infrastructure protection. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 14, No. 1, pp. 233-245.

Curtis, J.A., Dailey, J.S., D'Angelo, D., DeWitt, S.D., Graf, M.J., Henkel, T.A., et al. (2012). *Transportation risk management: International practices for program development and project delivery*. Report No. FHWA-PL-12-029, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.

Haimes, Y.Y., Lambert, J.H., Kaplan, S., Pikus, I., and Leung, F. (2002). *A risk assessment methodology for critical transportation infrastructure*. Report No. FHWA/VTRC 02-CR5, Virginia Transportation Research Council.

Shin, J.D., Choi, D.S., and Yoon, K.H. (2013). *Analysis of interdependencies and cascading failure effects on critical infrastructure*. Report No. NDMI-Primary-2013-05-01, National Disaster Management Institute.

Shin, J.D., Yoon, K.H., Choi, D.S. and Kim, H.J. (2014). Disaster consequence analysis on blackout considering interdependency matrix and resilience in critical infrastructure. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 14, No. 4, pp. 189-198.

Song, C.Y., and Park, S.H. (2017). Strategy for enhancement of a protection of national infrastructure in transportation. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 17, No. 1, pp. 193-202.

Theocharidou, M., and Giannopoulos, G. (2015). *Risk assessment methodologies for critical infrastructure protection. Part II: A new approach*. JRC Science and Policy Report, European Union.

Yu, S.Y. (2011). A review of critical infrastructure resilience study as the future area of geosciences. *Economic and Environmental Geology*, Vol. 44, No. 6, pp. 533-539.

| | |
|----------|-------------------|
| Received | October 24, 2018 |
| Revised | October 30, 2018 |
| Accepted | November 13, 2018 |