

# 위험도 개념을 적용한 교량 자산관리의 성능평가방법 연구

## A study on Risk-based Bridge Performance Evaluation Method for Asset Management

최 현 호\*                      선 종 원\*\*                      박 경 훈\*\*\*  
Choi, Hyun-Ho                      Sun, Jong-Wan                      Park, Kyung-Hoon

### Abstract

Generally, asset management procedure consists of exact information collection, decision of service level, analysis of aspiration level, analysis of financial condition and available budget, preparation of asset management plan, and value of modified asset. In this study, for the risk-based asset management, condition assessment and performance measuring, assessment of failure modes and risks, evaluation/selection of treatment options, and implementation of optimum solution are additionally included. For this, bridge inventory and performance measure considering risks are classified and method of quantitative/qualitative performance measure is suggested. Also, evaluation method of risk analysis for bridge asset management is suggested and basic research is carried out for applicable method of risk-based asset management. Using suggested risk procedure and method of risk-based bridge service level evaluation, it is possible to perform reasonable asset management. Moreover, it is concluded that the proposed applicable method of risk-based asset management will provide a solution to contribute the development of systematical asset management for optimal decision making and prototype asset management system.

**Keywords :** Risk Analysis, Asset Management, Bridge, Performance Measures, Level of Service

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

국내 사회기반시설물(infrastructures)의 재고는 2007년 약 1,800조원에 달하고 있으며, 신규 건설투자는 약 85조원에 이르는 것으로 추정되고 있다(최육과 지승구 2007). 유지관리 수요를 시설물 재고에 대하여 약 1%만을 적용하더라도 소요 유지관리비용은 약 18조원이며, 이는 신규건설 투자 85조원의 약 21%에 이른다. 하지만 국내의 시설물 자산가치 대비 유지관리비용 투자는 일반적인 선진국 대비 약 1/3 수준에 머물고 있으며(한국시설안전기술공단 2005), 이는 신규건설의 약 7% 정도에 불과한 수준이다.

사회기반시설물 중에서 교량은 파손·붕괴에 따른 인적·물적 피해규모와 사회·경제적인 파급효과로 인해 유지관리의 중요성이 특히 강조되고 있다. 우리나라의 교량 건설물량은 경제 고도화에 따른 도로망 확충과 맞물려 최근 비약적으로 증가해왔으며, 전체 교량수의 약 77.6%가 최근 20년 내, 37.3%는 최근 10년 내 건설된 것으로 조사되었다(국토해양부 2012). 이러한 교량의 공용기간이 증가함에 따라 노후화에 따른 유지보수 수요가 발생될 것이며, 그 시기와 소요비용은 건설시점에서 일정한 주기를 가지고 특정시기에 집중될 것으로 예상된다. 따라서 유지관리에 필요한 예산의 확보, 예방적 유지관리를 통한 예산의 절감 및 소요예산의 특정시기 집중방지 등을 위하여 보다 효율적인 관리기법의 적용이 요구된다(박경훈 외 2009,

\* 일반회원, 한국도로공사 기술심사처 기술심의팀 책임연구원, 공학박사, padre@ex.co.kr

\*\* 일반회원, 한국건설기술연구원 SOC성능연구소 인프라구조연구실 박사후연구원, 공학박사, jwsun@kict.re.kr

\*\*\* 일반회원, 한국건설기술연구원 SOC성능연구소 인프라구조연구실 수석연구원, 공학박사(교신저자), paul@kict.re.kr

이민재 외 2010). 사회기반시설물의 노후화의 증대와 유지관리 예산의 부족을 일찍이 경험한 선진국에서는 사회기반시설물의 유지보수에 필요한 예산의 효율적인 관리 및 운영을 위해 자산관리 개념을 도입하여 운영 중에 있다(INGENIUM and IPWEA 2006, TRB 2009). 이러한 사회기반시설의 자산관리는 자산의 현황정보에 근거한 재정적인 예산의 흐름만을 고려한 기본적인 방법과 자산의 상태 및 성능을 파악하고 파손모드와 위험도를 고려하여 최적의 의사결정 대안을 제시하는 진보된 방법으로 구분할 수 있다(INGENIUM and IPWEA 2006, 박경훈 외 2009).

국내에서도 교량, 도로 등 사회기반시설물의 자산관리에 대한 연구가 최근 들어 관심을 받고 있으나, 개별 시설물 또는 관리주체에 최적화된 구체적인 방법론이 마련되지 않고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 교량의 발전된 자산관리 적용방안 정립을 위한 기초연구의 일환으로 자산관리 과정의 주요소인 교량 성능평가에 위험도를 고려하기 위한 구체적인 방법론을 제시하고 사례연구를 통해 현실적인 절차의 적용성을 확보하고자 한다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 현실적이고 일반적으로 적용이 가능한 위험도 개념이 고려된 교량 자산관리 절차를 제안하고, 교량 성능평가를 위하여 기본현황정보 및 성능척도(Performance Measures; PM)<sup>1)</sup>의 정량적·정성적 위험도 평가 기준 및 방법을 제안하고, 실제 적용 사례를 제시하였다.

현재 국내 교량관리체계와 국내외 관련문헌의 고찰을 통해 국내 실정에 적합한 교량 위험도를 고려한 자산관리 절차를 개발하였다. 제안된 절차에 따라 교량의 자산관리를 위하여 현실적으로 적용 가능한 평가지표들을 정의하고, 각 지표들의 판단 기준을 제시하였다. 정량적 위험도분석을 위하여 위험도 매트릭스 방법을 적용하였으며, 지표들 간의 상대적인 가중치를 결정하기 위하여 AHP 방법을 적용하였다. 실제 교량에 대한 자료수집과 현장조사를 통해 취득된 정보를 바탕으로 제안된 방법의 실 적용성을 고찰하였다.

## 2. 교량 자산관리 및 위험도 관련 연구고찰

근래 들어 국내에서도 한국시설안전기술공단(2005)에서 교량의 자산가치평가에 기반한 자산관리시스템 개발에 대한 연

구를 수행하였으며, 서울시정개발연구원(신성일과 이병훈 2008)에서는 자산관리기법을 통한 서울시 도로시설물 관리전략을 수립한 사례가 있다. 이러한 연구에서 다루고 있는 자산관리의 개념은 상태등급이나 내하력 등의 기술적인 지표나 회계학적 가치(book value)를 이용해 최적 유지관리 전략을 수립하는 방식으로 적용되고 있다. 그러나 최근까지 대부분의 국내 자산관리 연구사례에서는 위험도에 대한 고려를 찾아보기 어려운 실정이다.

이에 비해 국외에서는 사회기반시설물 대부분이 사용자에게 편의를 제공하기 위해 건설된 것이기 때문에 이러한 목적을 달성하기 위해 사용자나 관리자가 요구하는 서비스수준(Level of Service; LOS)<sup>2)</sup>을 체계적으로 정의하고 이를 달성하기 위한 방법을 모색하는 방식으로 자산관리 개념이 적용되고 있다(선종완 외 2011).

노후교량이 많은 미국을 중심으로 자산관리 연구가 활발히 진행 중이며, 자산관리에 위험도 분석을 포함한 연구도 일부 진행되고 있다. 위험도기반 자산관리의 대표적인 연구라 할 수 있는 “Risk Based Bridge Asset Management” (Coe 2002)에서는 교량 자산관리를 효과적으로 수행하기 위해 위험도분석이 포함된 복합적인 관리시스템의 필요성을 기술하고 있다. 그리고 위험도분석을 위해 정규화된 점검 프로그램, 점검간격, 보수 및 보강을 위한 비용의 적절한 배분, 우선순위 결정 등이 요구된다고 기술하였다. Coe가 제안한 주요 위험도분석 절차는 자료수집 및 분석과 위험도분석에서 발생규모 및 빈도를 고려한 위험점수를 개략적으로 산정하고, OBC(Overall Bridge Condition) 점수를 이용해서 구조물의 남은 생애주기를 추정하며, 경험적인 손상곡선을 이용하여 평가 후, 매년 유지관리 비용을 산출하는 시스템 등으로 구성된다. 비록 교량유지관리 시스템(Bridge Management System; BMS)의 위험도기반 확장 개념이며, 직접적인 상태등급 및 내하력만을 이용하여 위험도분석을 수행하였지만 위험도기반 교량관리의 기본적인 틀을 제시한 것에 의의가 있다.

호주와 뉴질랜드의 자산관리 위원회(National Asset Management Steering Committee; NAMS)에서 발간된 International Infrastructure Management Manual(IIMM) (INGENIUM and IPWEA 2006)은 사회기반시설물 자산관리의 대표적인 연구 및 실행 결과이며, 위험도분석과 관련된 분야가 일부 포함되어 있다. 그림 1과 같이 IIMM에서 제시한 사회기반시설물의 기본적인 자산관리 절차는 기존 자산에 대한

1) 자산관리에서 성능척도(PM)는 대상 자산의 서비스수준을 정량적 또는 정성적으로 평가하기 위한 지표를 의미한다.

2) 자산관리에서 서비스수준(LOS)은 계량되어질 수 있는 서비스 성능에 대응하는 특정한 활동 또는 서비스 영역에 대해 정의된 서비스의 질을 의미한다.

명확한 정보획득, 서비스수준의 설정, 요구수준의 분석, 재정 상태와 가용예산의 분석, 자산관리 계획의 준비, 수정된 자산의 정보 획득 순으로 구성된다. 위험도분석을 포함한 진보된 자산관리 절차에서는 상태평가 및 성능측정, 파손형태 및 위험도의 평가, 대응 방법의 평가 및 선정, 최적대안의 이행과 같은 절차가 추가된다. 여기서는 개략적인 위험사건의 결과를 획일적으로 비용으로 환산하여 위험도 순위를 정하고 관리하는 방법을 도입하였다. 본 연구에서는 현재까지 가장 일반적인 사회기반시설물의 자산관리절차인 IIMM의 진보된 자산관리 절차를 기본으로 하여 교량의 실제적인 자산관리를 위한 위험도를 고려한 평가절차를 제시하였다.

Baker(2009)는 "Risk Management Strategy for Bridges and Structures"에서 위험도분석을 위하여 Business Plan Network(BPN)라는 도로분류 지표와 상태등급을 묶어서 범주(category)를 구성하고, 이를 이용하여 BPN과 상태등급을 결합한 위험도지수를 제안하였다. 제안된 위험도분석방법은 크게 두 가지로 분류된다. 첫 번째는 교량의 내하력, 세굴 등 직접적인 기능과 교량하부 현황, 우회도로 등 간접적인 기능을 모두 고려하여 위험도점수를 산정하는 방법이며, 두 번째는 구조물의 상태등급에 따른 구조적 결함에만 초점을 맞추어 분석하는 방법이다. Baker(2009)의 연구는 단순히 상태등급, 내하력 등 직접적인 기능에만 국한된 위험도분석 연구를 간접적인 기능까지 위험요소로 확장하여 적용하였다. 본 연구에서도 교량의 서비스수준에 직간접적으로 영향을 주는 위험인자를 규명하였으며, 이를 바탕으로 실제 적용 가능한 성능척도의 위험도를 고려한 서비스수준 평가방법을 제시함으로써 보다 발전된 개념의 위험도가 고려된 교량 자산관리 적용방안을 제안하였다.

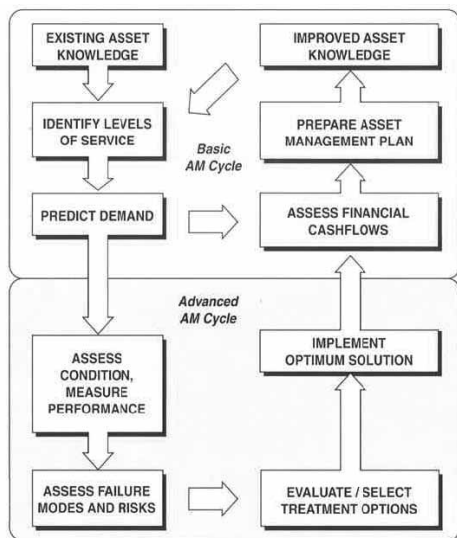


그림 1. IIMM의 자산관리 절차

### 3. 교량 자산관리의 성능평가를 위한 위험도 고려 방법

기존 연구에서 제안한 기본적인 교량 자산관리 절차(박경훈 외 2009)와 서비스수준의 평가(선종완 외 2011)에서는 위험도에 대한 고려가 이루어지지 않았다. 보다 합리적이고 실제적인 교량 관리 의사결정의 지원을 위해서는 단순히 서비스수준의 설정 및 요구수준의 분석에 국한하는 것이 아니라 서비스수준에 따른 요구수준에 적절한 위험도를 분석하고 이에 대응하는 최적의 관리 대안을 찾을 수 있어야 한다.

본 연구에서는 위험도분석이 추가된 교량 자산관리를 위하여 그림 2와 같은 절차를 제안하였다. 먼저 합리적인 자산관리의 수행은 현재 보유하고 있는 교량의 태생적인 고유한 특성 정보(건설연도, 위치, 설계등급 등에 좌우되는 정보를 의미하며, 기본현황정보(inventory)로 칭함.)를 정확히 확보하는 것이 필요하다. 또한 교량 관리주체의 교량 관리 정책과 목표가 설정되면 사용자에 적합한 서비스수준을 설정하게 된다. 서비스수준의 정량적인 평가를 수행하기 위한 성능척도를 결정하고 위험도 분석을 수행하게 된다. 위험도분석은 해당교량의 기본현황정보와 앞서 결정된 성능척도에 따라 두 가지 방식으로 이루어진다.

교량 기본현황정보에 근거한 위험도의 판단은 정보항목별로 사전에 정의된 위험도 산정기준과 가중치를 고려하여 위험도점수를 산정한다. 서비스수준의 정량화를 위하여 제안된 다양한 성능척도에 대한 위험도분석은 성능척도별 발생가능성과 위험정도를 고려한 매트릭스방법에 의해 정량화된 위험도점수를 산정하게 된다. 도출된 위험도점수는 우선순위 결정 등의 사결정을 위한 데이터로 사용된다. 실제로 대안이 선택되어 적용되어지면, 실행결과에 따라 변경된 정보가 반영되어 차기(일반적으로 1년 단위) 관리 전략 수립에 고려되어진다.

일반적으로 자산관리 절차에서 유지관리비용과 자산의 가치 변화가 고려되어질 수 있다. 비용과 관련된 인자는 교량의 성능인자와 더불어 의사결정의 주된 인자이다. 통합적인 교량 자산관리체계에서는 교량에 투입되는 유지관리비용과 자산가치 변화가 성능과 연계되어 의사결정이 이루어져야 할 것이다. 그림 2는 교량 자산관리의 성능평가에 있어서 위험도를 고려하는 방법에 한정되어 자산관리 절차를 도시한 것이다.

#### 3.1 교량 자산관리를 위한 위험도 규명

위험도 규명은 '어떤 프로젝트에 내재되어 있는 위험사건에 대한 존재여부를 인식하고 그 위험사건들에 대한 특성을 정의하는 과정'으로 이해되고 있으며(최현호 2004), 사회기반시설

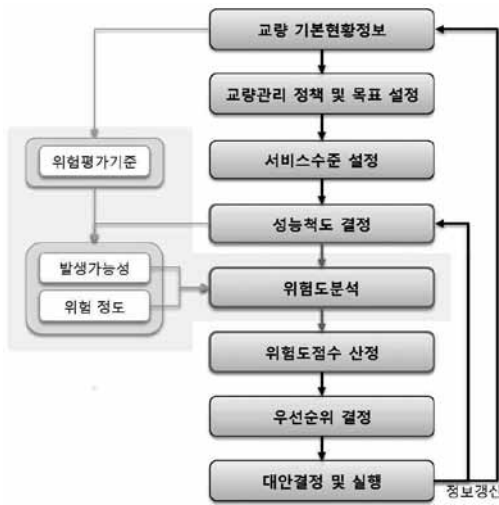


그림 2. 위험도가 고려된 교량 자산관리 절차

물에 잠재되어 있는 위험사건이 규명 되어야 위험도분석이 가능하다. 따라서 교량의 잠재적인 위험사건들과 사건들이 발생하였을 때의 모든 가능한 결과에 대한 정의가 선행되어야 한다. 이러한 과정이 어느 정도 합리적이며 체계적인가에 따라 위험도분석의 정확성과 신뢰성이 좌우된다.

공용중인 교량에 내재되어 있는 위험사건들에 대해 보다 구체적으로 인식하고 위험사건을 간과하지 않도록 하기 위해서는 위험사건의 분류가 필요하다. 내재된 위험사건은 각 교량이 건설되기까지의 태생적 조건에 좌우되는 문제와 공용 중인 환경에 좌우되는 문제로 구분할 수 있다. 우선 기본적인 교량 현황정보(Bridge Inventory; BI)를 통해 내재된 위험사건을 도출하기 위하여 Baker(2009)의 연구를 참고하여 국내 교량관리 실정에 적합하도록 다음과 같이 6가지의 위험항목을 정의하였다. 실제 보유하고 있는 모든 교량에 대해서 제도적·필수적으로 관리되고 있는 정보항목이다. 이러한 항목들은 공용단계에서 교량에 대한 조치를 통해 위험도의 경중을 조정하는 것이 불가능한 경우가 대부분으로, 각 교량마다 기본적으로 내재된 위험도라 할 수 있다.

- BI 1. 교량등급<sup>3)</sup>
- BI 2. 교량 준공연도
- BI 3. 교량 제원 및 특수교량 여부
- BI 4. 교량하부 주요시설물(도로·철도 등) 통과 여부
- BI 5. 홍수 가능구간 포함여부
- BI 6. 과적허가차량 통과교량

3) 교량은 적용되는 설계하중의 규모에 따라 최고수준을 1등급, 최하수준을 3등급으로 정의하고 있다.

한편 선종완 등(2011)은 교량의 서비스수준을 정량화하기 위하여 21개의 다양한 성능척도(PM)를 제안하였다. 교량주위소음, 외관 및 주변경관과의 조화, 환경 및 생태에 대한 영향, 유해물질 배출정도, 에너지 효율성, 차량통행제한 여부, 접근수단의 다양성, 도로와 효율적으로 연계, 교량관리에산투입의 적정성, 교량 통행 비용의 적정성, 공용내하력, 상태등급, 재해취약도, 기상변화 민감도, 운전자의 안전운행 가능여부, 보행자 등 안전한 사용 여부, 안전한 점검·진단 가능여부, 교통정보 제공여부, 긴급사항 발생시 대응정도, 서비스요구에 대한 적절하게 응대, 민원발생정도 등 교량이 공용 중에 발생할 수 있는 위험사건들의 대부분을 고려할 수 있는 수준에서 분류되고 정의되었다.

그러나 제시된 성능척도들은 교량의 상위수준인 도로시설 전체에 대한 성능지표로 적정한 항목, 사용자 지향의 서비스 관련 항목, 정성적인 측면을 정량화하는 것의 합리성을 획득하기 어려운 항목 등 국도 상 교량의 성능지표에 위험도를 고려하는 방법론을 제시하고 사례를 설명하기에 한계가 있는 항목들이 다수 포함되어있다. 따라서 본 연구에서는 위험도를 분석하기 위해서 기존의 성능척도 중에서 최대한 현실적으로 정량화 할 수 있는 지표 5가지를 아래와 같이 선정하였으며, 각 성능척도에 대한 위험도분석을 통한 정량화를 수행하여 신뢰도를 높이고 우선순위 결정에 활용하고자 한다. 실제적인 정량화가 가능한 성능척도들을 위험도분석방법에 따라 평가하여 조합하는 것이 위험도를 고려한 교량 자산관리의 핵심이 된다.

- PM 1. 교량주위소음
- PM 2. 공용내하력<sup>4)</sup>
- PM 3. 상태등급<sup>5)</sup>
- PM 4. 재해 취약도
- PM 5. 안전한 점검·진단 가능여부

### 3.2 교량 자산관리를 위한 위험도분석 방법

위험도분석은 위험정도(consequence), 즉 보수비용, 수입의 감소, 서비스수준 미달, 인명 손실, 자산에 대한 위협, 지속적인 요구수준 미달, 제3자 손실 등을 고려하여 가능한 경우 파손확률을 산출하여 분석하는 것이 가장 합리적이다. 그러나

4) 내하력은 교량의 활하중 지지능력을 나타내며, 공용중인 교량의 현재상태를 고려하여 평가된 내하력을 공용내하력이라고 한다.

5) 현장점검을 통해 현재의 교량 상태를 나타내는 지표로서, 한 개별 교량 전체를 대표하는 대표상태등급은 대문자 A~E의 다섯 단계로 표시하며, 교량을 구성하는 부재별 상태등급은 소문자 a~e 또는 a~d의 4, 5단계로 표시한다.

파손확률을 구하기가 불가능한 경우 위험사건을 정성적 및 정량적으로 구분하여 정성적인 위험도는 여러 단계로 등급화(예, A~E) 하거나 정량적인 확률(예, 0.02)로 나타내고 이를 등급화 하는 것이 일반적인 방법이다(Seo and Choi 2008, Baker 2009). 본 연구에서는 교량 기본현황정보에 대한 위험도분석을 위하여 정성적인 위험도 산정방법을 적용하였다. 앞서 제시된 기본현황정보 항목(BI 1~6)에 대하여 객관적인 분류 기준과 정보가 존재하는 경우에는 이에 근거해서 등급분류를 수행하였으며, 일부 항목은 교량이 위치한 환경적인 요건에 따라 분류하였다. 위험도점수 산정기준은 위험정도가 가장 높은 경우를 5점, 낮은 경우를 1점으로 하여 5단계로 구분하였다.

한편 성능척도의 위험도분석을 통한 실제적인 정량화를 수행하기 위하여 위험도 매트릭스 방법을 이용하였다. 위험도 매트릭스방법은 발생가능성(occurrence)과 위험정도에 의해 평가된다(INGENIUM and IPWEA 2006). 일반적으로 사회기반시설물 자산관리와 같은 광범위한 네트워크 개념의 위험도 분석을 위해서는 실제 위험도 측정에 너무 오랜 시간이 소요되고, 어떤 경우에는 데이터가 절대적으로 부족하기 때문에 위험도의 정확한 측정은 사실상 불가능할 수도 있다. 따라서 실제적인 적용성을 고려하여 최대한 합리적이며 실행 가능성 있는 앞서 제시된 성능척도(PM 1~5)들로 제한하여 개별 맞춤형 형태의 위험도 평가기준을 설정하고 적용하였다.

기본현황정보에 대한 위험도와 성능척도와 관련된 위험도의 결합은 두 위험도 항목의 명확한 상관관계를 규명하는 것이 불가하므로 상호독립으로 가정하였고, 각 위험도분석의 결과는 분석수행단계에서 각각의 중요도를 고려하여 가중치를 결정하고, 가중곱의 합으로 최종적인 위험도를 산정할 수 있다.

### 3.3 교량 기본현황정보에 따른 위험도분석

교량 기본현황정보의 위험도분석을 위하여 제시된 교량 기본현황정보 항목(BI 1~6)에 따라 표 1과 같이 평가기준과 판단조건을 제안하였다. 자산관리를 수행하는 관리주체 또는 교량의 관리정책과 목표에 따라 평가기준과 판단조건은 적절하게 변경되어 적용될 수 있다. 본 연구에서는 기본적인 교량 설계 및 가설환경 등을 고려하여 평가기준을 분류하고, BI 1과 같이 설계기준(도로교설계기준 2010) 상에 명확하게 구분되는 항목에 대해서는 각각에 대한 판단조건을 적용하였고 BI 2, 3에 대해서는 기존 교량현황의 통계분석을 통해 누적확률분포를 고려하여 적정 구간을 제안하였다. 또한 BI 4~6은 위험도의 포함 여부를 주로 고려하여 판단조건을 제안하였으나, 보다 구체적인 대상 현황에 대한 구분이 정량화되면 세분화가 가능할 것이다.

기본현황정보별 가중치를 결정하기 위하여 전문가 설문조사 및 인터뷰를 실시하였고, 조사된 자료를 바탕으로 AHP(Analytic Hierarchy Process) 기법을 적용하여 가중치를 결정하였다. 가중치 결정을 위한 AHP분석을 위하여 교량전문가 17인을 대상으로 설문을 실시하였으며, 엔지니어링 전문가 4인, 연구원 5, 본 연구참여자 8인으로 구성하였다. 분석결과 일관성비율(Consistency Ratio; CR)은 0.175가 도출되었다. 이는 통상적인 허용기준치인 0.1보다 높아 일관성 확보를 위한 Delphi기법을 적용하기 위하여 교량 관리주체의 교량관리 담당자 3인을 추가한 2차 설문을 실시하였으며, CR 값은 0.075가 도출되었다. 도출된 가중치는 그림 3에서 알 수 있는 바와 같이 준공연도(BI 2), 하부 주요시설물 통과여부(BI 4), 과적허가차량 통과여부(BI 6) 등이 상대적으로 높은 가중치를 나타내고 있으며, 교량등급(BI 1)과 홍수 가능구간 포함여부(BI 5)에 따른 차이는 크지 않은 것으로 판단하고 있다.

표 1. 교량 기본현황정보에 따른 위험도 산정기준

구분	평가기준	판단조건	가중치
BI 1	1, 2, 3 등급	1등급 1점, 2등급 3점, 3등급 5점	0.07
BI 2	공용수명	30년 이상 5점, 30년 미만~20년 이상 3점, 20년 미만~10년 이상 1점	0.19
BI 3	최대지간장	100m 이상 5점, 100m 미만~50m 이상 3점, 50m 미만 1점	0.13
BI 4	주요시설물 통과	Yes-5점, No-1점	0.30
BI 5	하천 횡단	Yes-5점, No-1점	0.08
BI 6	과적허가차량 통과	Yes-5점, No-1점	0.23

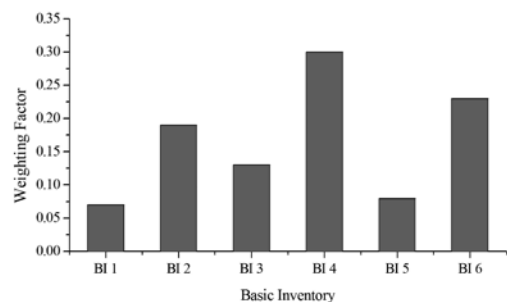


그림 3. 기본현황정보 항목별 가중치

### 3.4 교량 성능척도별 위험도분석

#### 3.4.1 교량주위소음에 대한 위험도분석

국내의 소음관련기준은 크게 “환경정책 기본법”과 “소음진동 규제법 시행규칙” 그리고 환경부 국가소음정보시스템

(noiseinfo.or.kr)의 “교통 소음·진동한도” 등이 있다. 이와 같은 기준들이 제시하는 도로소음의 정량적 기준에 대해서 분석한 결과, 일반거주 주민들이 교량의 차량통과에 의하여 발생하는 소음에 대한 최저수준은 약 40dB 정도로 판단하였으며, 약 60~70dB 정도가 한계수준으로 고려되어 이를 초과하면 위험정도가 높아지는 것으로 고려하였다.

표 2와 같이 교량주위소음 위험정도 범위에 따라 위험도 매트릭스 방법에서 가장 일반적인 5가지 범주로 구분하였다. 교량소음피해 발생가능성에 대해서는 교량이 위치한 지역적 특성과 소음을 발생시키는 주원인인 차량 교통량을 고려하여 표 3과 같이 5개의 범주로 구분하였다.

위험도는 발생가능성과 위험정도에 대한 평가에 근거하여 위험도 매트릭스 방법에 따라 표 4와 같이 발생가능성과 위험정도를 연계하여 하나의 최종 위험도로 평가할 수 있다. 예를 들어 교량 주위 소음이 65dB로 측정되면 표 2에서 위험정도는 'Level 3'로 평가되며, 교량이 지방부 비시가지에 위치한다면 발생가능성은 표 3에 의해 'Low'로 평가되어 최종적으로는 표 4의 등급기준에 따라 'Medium' 위험도로 평가된다.

위의 방식에 의해 평가된 교량주위소음 위험도를 바탕으로 교량은 표 5와 같이 총 5개로 구성된 위험도 범주(category)에 속하게 되며, 이외의 성능척도(PM 2~5)에서도 유사한 위험도 범주가 정의된다. 관리주체는 개별 성능척도에 대한 위험도등급이 최고치(E등급)가 아닐 경우 전체적인 위험도분석의 결과에 따라 우선순위를 결정하고 각각의 성능을 개선시키기 위한 대응조치를 수립하여 시행하게 된다.

표 2. 교량주위소음 위험정도

구 분	위험정도
Level 1	50dB 미만으로 위험정도가 매우 낮음
Level 2	50dB ~ 60dB 미만으로 위험정도가 낮음
Level 3	60dB ~ 70dB 미만으로 위험정도가 보통
Level 4	70dB ~ 90dB 미만으로 위험정도가 높음
Level 5	90dB 이상으로 위험정도가 매우 높음

표 3. 교량주위소음 발생가능성

구 분	발생 가능성
'Very High'	도심부 시가지에 위치, 교통량 50,000대/일 이상
'High'	도심부 비시가지에 위치, 교통량 25,000대/일 이상
'Medium'	지방부 시가지에 위치, 교통량 10,000대/일 이상
'Low'	지방부 비시가지에 위치, 교통량 5,000대/일 이상
'Very Low'	인구가 거의 없는 지역에 위치, 교통량 5,000대/일 미만

표 4. 교량주위소음 위험도 등급

구 분	위험정도					
	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	
발생 가능성	Very Low	Very Low	Very Low	Low	Medium	Medium
	Low	Very Low	Low	Medium	Medium	High
	Medium	Low	Medium	Medium	High	High
	High	Medium	Medium	High	High	Very High
	Very High	Medium	High	High	Very High	Very High

표 5. 교량주위소음 위험도 범주

범주	위험도	등급	정 의	대 응
1	매우 높음	E	위험도등급이 Very High	즉각적인 대처 필요
2	높음	D	위험도등급이 High	각별한 주의 필요
3	보통	C	위험도등급이 Medium	평상시와 같은 주의 필요
4	낮음	B	위험도등급이 Low	다른 위험에 주의 필요
5	매우 낮음	A	위험도등급이 Very Low	다른 위험에 주의 필요

3.4.2 공용내하력 및 상태등급에 대한 위험도분석

사회기반시설물 중에서도 붕괴에 따른 위험성과 피해규모가 막대한 교량은 안전성 판단기준이 “안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토해양부 2009)”에 명확하게 제시되어 있다. 성능척도와 관련된 위험사건으로 구분된 공용내하력과 상태등급은 교량의 구조적인 안전성과 내구성, 사용성 등을 대변하는 지표로서 활용된다.

공용하중에 대한 안전성을 나타내는 공용내하력의 정량화를 위한 위험도분석 방법으로는 공인된 내하력평가 방법에 의해 직접적으로 산출된 결과를 활용한다. 내하력을 판정하는데 중요한 것은 적용된 설계지침뿐만 아니라 보수보강 이력 등 해당 교량의 유지관리 이력을 충분히 파악하여 종합적으로 결정하여야 한다. 내하력은 설계할하중 대비 비율로 나타낸 내하율(=공용내하력/설계할하중)로 표현하기도 한다. 설계할하중과 같은 내하력을 보유하고 있으면 내하율은 1.0이 되고, 내하율이 높을수록 할하중 지지능력이 높은 것으로 판단한다. 따라서 내하력에 대한 위험정도는 표 6과 같이 정의하였다.

개별 교량의 대표상태등급은 부재별·경간별 상태평가 결과에 근거하여 도출된다. 부재별 상태평가 기준은 교량의 구성부재와 콘크리트의 탄산화와 염화물에 대한 평가항목을 포함하

표 6. 공용내하력 및 상태등급 위험정도

구 분	공용내하력 위험정도	상태등급 위험정도
Level 1	2.0 ≤ 내하율	대표상태등급 A
Level 2	1.5 ≤ 내하율 < 2.0	대표상태등급 B
Level 3	1.0 ≤ 내하율 < 1.5	대표상태등급 C
Level 4	0.75 ≤ 내하율 < 1.0	대표상태등급 D
Level 5	내하율 < 0.75	대표상태등급 E

고 있으며, 부재별 중요도를 고려하여 차등 적용함으로써 가능한 현 상태를 합리적으로 나타내고자 한다. 교량의 안전에 직접적인 영향을 미치는 바닥판, 거더, 하부구조 및 받침은 평가기준을 a~e의 5등급으로 적용하고, 사용성에 주로 영향을 미치는 신축이음, 배수시설, 교면포장과 2차부재인 가로보와 세로보는 a~d의 4등급으로 적용하고 있다. 대표상태등급은 A~E의 5등급으로 구분되므로 표 6과 같이 위험정도의 구분과 병치하여 적용하는 것으로 제안하였다.

공용내하력과 상태등급의 발생가능성은 앞선 교량주위소음의 위험도평가와 마찬가지로 교량의 위치와 교량을 통행하는 차량에 크게 좌우될 수 있다. 따라서 표 3과 동일한 발생가능성 구분을 활용하는 것으로 하였다. 공용내하력과 상태등급에 대한 위험도 등급의 결정을 위하여 표 4와 같은 위험도 매트릭스를 활용할 수 있으며, 위험도 범주에 따른 위험도 구분과 등급, 각 위험도 범주에 따른 대응방안을 표 7과 같이 정의하였다.

표 7. 공용내하력 및 상태등급 위험도 범주

범주	위험도	등급	대 응
1	매우 높음	E	• 즉각 사용 금지하고 보강 및 개축
2	높음	D	• 주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요
3	보통	C	• 주요부재에 내구성·기능성 저하 방지를 위한 보수필요
4	낮음	B	• 보조부재의 내구성 증진을 위하여 일부 보수가 필요
5	매우 낮음	A	• 문제점이 없는 최상의 상태

3.4.3 재해 취약도에 대한 위험도분석

현재 또는 미래의 재난에 대한 위험도를 평가하기 위해서는 그 시점에서의 재난 위험도에 대한 정보, 즉 재난 유형에 따른 피해규모별 재난 발생빈도(주기)와 발생확률, 이로 인한 사회적·경제적 파급 등을 고려한 사회적 위험지수와 같은 재난발생 양상을 정량적으로 나타낼 수 있는 재난위험지표가 필요하다(방재연구소 2008). 본 연구에서는 교량에 발생할 수 있는 재해를 지진과 홍수로 한정하고, 이러한 재해에 대한 취약도를 정량화하기 위하여 내진설계 여부 및 하천통과 교량의 여유고와 여유장을 고려하여 표 8과 같이 위험정도를 구분하였다. 기타 바람, 쓰나미 등의 다른 재해에 대해서는 국내에서 발생 가능성이 낮아 제외하였다.

당초 설계시 내진설계가 적용되었거나 유지관리 단계에서 내진보강 등을 수행한 교량은 위험정도가 낮고, 내진설계가 고려되지 않은 교량은 위험정도가 높은 것으로 구분하였다. 홍수에 의한 위험정도는 하천관리를 담당하고 있는 관리관청(국가하천은 국토해양부, 지방하천은 해당 시도)이 주기적(일반적으로 10년)로 수립하는 하천기본계획에서 요구되는 계획하폭, 계획홍

수량, 계획홍수위 등에 따라 해당교량이 여유고와 여유장을 만족하는지 여부를 고려하여 결정할 수 있다. 두 종류 재해가 동시에 발생할 가능성이 매우 낮기 때문에, 재해에 대한 피해발생 가능성은 각각의 인자별 위험정도 중 최댓값을 사용하였다.

재해 취약도에 대한 피해정도도 교통량에 많은 영향을 받으며 도심지에 위치하는지 혹은 지방부에 위치하는지에 따라 발생가능성의 변동성이 크므로, 재해 취약도 발생가능성에 대해 앞선 표 3과 같은 범주로 구분하였다. 또한 이에 대한 위험도 등급도 역시 앞선 표 4에서 제시된 위험도 매트릭스와 같은 표를 사용하였다.

표 8. 재해 취약도 위험정도

구 분	위 험 정 도
Level 1	내진설계가 되어 있으며, 연장 및 여유고 기준 만족
Level 2	내진설계가 되어 있으며, 홍수피해위험도 <sup>6)</sup> ≤ 0.3
Level 3	내진설계가 되어 있으며, 0.3 < 홍수피해위험도 ≤ 0.6
Level 4	내진설계가 되어 있으며, 0.6 < 홍수피해위험도 ≤ 0.9
Level 5	내진설계가 되어 있지 않거나, 홍수피해위험도 > 0.9

3.4.4 안전한 점검·진단 가능여부에 대한 위험도분석

교량의 안정적인 운용을 위한 기능 확보 및 사용효율 증진을 위해서는 관리주체의 주기적인 점검·진단, 일상적인 보수 등이 적절하게 이루어져야 한다. 일상적 보수 행위에 앞서 관리주체의 일상점검이 효율적으로 이루어져야 하며, 일상점검을 통해 발견된 열화·손상의 보다 구체적인 원인분석 및 대응방안 마련을 위하여 정밀 점검 및 진단을 실시하게 된다. 이러한 점검·진단 행위의 안전성과 용이성의 확보를 위한 노력이 다양하게 이루어지고 있다.

안전한 점검·진단을 위해서는 열화손상의 조기발견을 목적으로 교량관리자에 의한 일상적인 육안조사(일상점검)의 가능 여부를 파악해야 한다. 그리고 점검차·비계 등을 이용하여 중성화·철근부식·표면강도·과대처짐 등을 육안조사와 비파괴검사를 통해 열화현상을 진단하는 것이 용이하여야 한다.

앞선 위험사건의 경우와 마찬가지로 위험정도는 5단계로 구분하여 설정하였으며, 교량의 안전한 점검·진단 가능 여부에 대한 발생가능성 또한 교통량에 많은 영향을 받으며 교량의 위치에 따라 변동성이 크므로 표 3과 같은 조건을 적용하였고 동일한 위험도 매트릭스를 사용하는 것으로 하였다.

6) 홍수피해위험도 = MIN(연장위험도, 여유고위험도)  
 연장위험도 = 미확보여유장/계획하폭  
 여유고위험도 = 미확보여유고/기준여유고

### 4. 위험도를 고려한 교량 자산관리 사례

위험도 개념을 적용한 교량 자산관리 방법을 실제 공용중인 교량에 적용하여 실적용성과 합리성을 검토하였다. 본 연구 결과를 효과적으로 표출하기 위하여, 그림 4와 같은 일반국도 상에 위치한 4개 교량을 대상으로 분석된 결과를 제시하였다. 관리주체의 교량관리시스템(BMS)을 통해 표 9와 같이 기본 현황 및 제원 정보를 획득하였고, 위치 및 환경에 따른 특성 분석을 위하여 현장조사를 수행하였다.

표 9의 대상교량 기본정보에 근거하여 표 1에 제시된 기본현황정보별 위험도 평가기준에 따라 분석을 실시하여 표 10에 나타내었다. 표 1에 나타난 기본현황정보별 판단조건과 가중치에 따라 표 10의 현황정보 결과를 점수화하고 가중치를 고려한 최종적인 기본현황정보 위험도점수를 표 11 및 그림 5에 나타내었다. 표 11과 같이 A교는 2.22, B교는 1.96, C교는 1.90, D교는 0.81로 위험도점수가 산정되었다. 단순히 교량에 기본적으로 내재되어 있는 현황정보 위험도만 고려하면 위험도점수가 가장 높은 A교가 가장 위험하며, 상대적으로 D교가 가장 안전하다는 것을 의미한다.

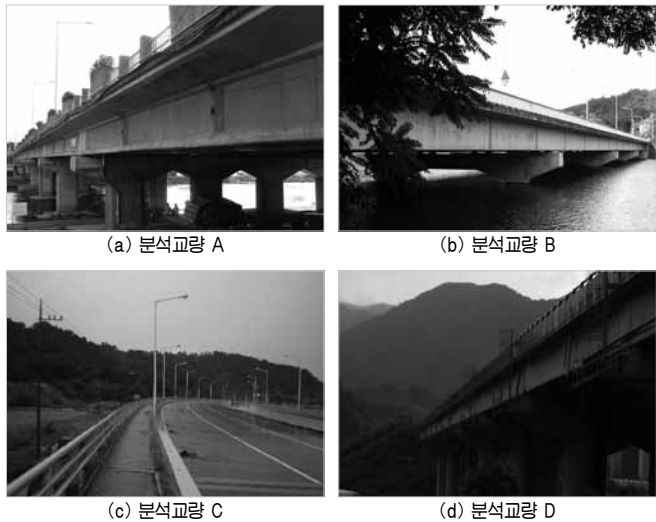


그림 4. 분석 대상교량 전경

표 9. 분석 대상교량 기본정보

교량명	A교	B교	C교	D교
상부형식	PSC*	SPG**	RCS***	PSC
설계하중	DB-18	DB-24	DB-18	DB-24
교장(m)	168	200	20	270.3
경간구성	7	4	2	9
최대지간장(m)	24	50	10	30.1
총폭(m)	28	27	10	20
유효폭(m)	23	22	7.1	19
교고(m)	7	11	2	16.8
준공연도	1970	1992	1968	2006

\*PSC(Pre-Stressed Concrete I-shape), \*\*SPG(Steel Plate Girder), \*\*\*RCS(Reinforced Concrete Slab)

표 10. 분석 대상교량 기본현황정보 평가

구분	평가기준	A교	B교	C교	D교
BI 1	1, 2, 3 등교	2등교	1등교	2등교	1등교
BI 2	공용수명	43년	21년	45년	7년
BI 3	최대지간장	50m미만	50m이상	50m미만	50m미만
BI 4	주요시설물 통과	No	No	No	No
BI 5	하천 횡단	Yes	Yes	No	No
BI 6	과적하가차량 통과	No	No	No	No

표 11. 교량 기본현황정보에 따른 위험도점수

구분	가중치	위험도점수				위험도점수×가중치			
		A교	B교	C교	D교	A교	B교	C교	D교
BI 1	0.07	3	1	3	1	0.21	0.07	0.21	0.07
BI 2	0.19	5	3	5	0	0.95	0.57	0.95	0.00
BI 3	0.13	1	3	1	1	0.13	0.39	0.13	0.13
BI 4	0.30	1	1	1	1	0.30	0.30	0.30	0.30
BI 5	0.08	5	5	1	1	0.40	0.40	0.08	0.08
BI 6	0.23	1	1	1	1	0.23	0.23	0.23	0.23
합계	1.00	-	-	-	-	2.22	1.96	1.90	0.81

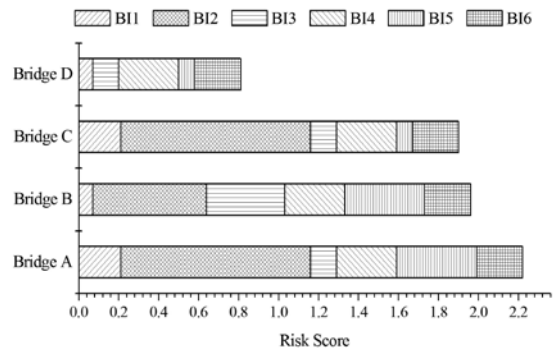


그림 5. 교량별 기본현황정보에 따른 위험도점수

다음은 위험도 매트릭스 방법을 적용한 성능척도별 정량적 위험도분석을 수행하였다. 적용된 다섯 가지의 성능척도별 (PM 1~5) 평가항목은 BMS와 현장조사를 통해 수집된 정보를 활용하여 표 12와 같이 평가하였다. 각 성능척도별 특성을 고려한 위험정도 및 발생가능성을 평가하고 표 4와 같은 위험도 매트릭스를 이용하여 성능척도별로 위험도점수를 산정하였다.

표 12의 성능척도별 위험도점수는 항목별 가중치를 고려하여 가중곱의 합 형태로 각 교량별 대표 위험도점수를 산정하게 되며, 표 13은 최종적인 결과를 나타내고 있다. 여기서 성능척도별 위험도항목의 가중치는 앞선 기본현황정보 항목의 가중치 결정과 마찬가지로, AHP기법을 적용하여 2차에 걸친 전문가 설문조사 및 인터뷰를 실시하여 산정하였다. 표 13과 같이 A교는 3.75, B교는 1.44 C교는 1.67, D교는 3.21로 위험도점수가 산정되었다. 교량 기본현황정보에 비해 정량적이라 할 수



있는 성능척도에 따른 분석결과 A, D교의 위험도가 높고, B, C교의 위험도가 낮게 나타났다.

교량 현황정보 위험도점수와 각 성능척도 항목별 위험도분석 결과를 조합하기 위하여, 두 점수간의 상대적인 중요도를 결정하여야 한다. 실제로 다수의 교량 자산을 관리하는데 있어서 적정한 현황정보 항목 및 성능척도의 선정과 가중치의 결정은 관리주체의 장단기적인 목표관리수준에 근거하여 주기적(일반적으로 1년)으로 평가되어야 할 것이다. 따라서 특정 시기에 동일한 기준을 적용하여 분석된 결과는 각 교량 간의 상대적인 위험도를 나타내는 지표로 활용될 수 있으며 절대적인 위험성을 나타내지는 않는다.

본 논문의 분석대상 4개 교량을 비교하는데 있어서, 현황정보와 성능척도의 가중치 변화에 따른 최종 위험도 결과의 민감도를 알아보기 위하여 현황정보와 성능척도의 중요도를 5:5, 4:6 및 3:7로 변화시켜 분석한 결과 성능척도에 의한 위험도점수 분포가 높고, 교량별 편차가 커서 상대적인 순위 결과에 변화가 없는 것으로 나타났다. 현황정보 및 성능척도에 의한 위험도의 중요도를 동일하다고 가정하여 산출된 최종적인 각 교량의 위험도점수 결과는 표 14에 나타내었다.

최종적인 위험도점수는 A교 2.99, B교 1.70, C교 1.79, D교 2.01로 계산되었다. 즉 현황정보와 성능척도에 따른 위험도를 동시에 고려하면 A교가 가장 위험한 것으로 분석되었으며, 기본현황정보 위험도에서 가장 위험한 교량으로 분석된 A교는 성능척도에서도 가장 위험한 것으로 분석되었다. 하지만 기본현황정보 위험도에서 비교적 위험한 교량으로 분석된 C교는 성능척도에서 A교나 D교에 비해 상대적으로 안전한 것으로 나타났으며, 오히려 기본현황정보 및 성능척도를 전체적으로 고려했을 때 D교가 두 번째로 위험한 것으로 분석되었다.

한편 실제로 자산관리를 수행하는 관리주체는 관리대상 교량 전체에 대한 실제적인 성능척도 결정이 곤란할 경우에는 기본적으로 관리하고 있는 현황정보에 의한 위험도분석만을 수행하거나, 현황정보에 의한 위험도가 높게 나타난 일부 교량에 대해서만 현장조사를 통해 성능척도별 위험도를 산정하는 다단계방식이 고려될 수 있을 것이다. 이러한 분석과정을 거쳐 도출된 위험도 범주, 점수 등은 교량관리 의사결정을 위한 서비스수준의 평가, 노후교량의 개축 및 유지관리 대상의 선정과 관련된 예산투입 우선순위의 평가 등을 수행하는데 있어서 보다 합리적인 판단기준을 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

표 12. 성능척도별 평가결과

구분	A교	B교	C교	D교
<b>• 교량소음 위험분석(PM 1)</b>				
교통량	31,934	4,313	4,313	30,390
지역구분	도심부비시가지	시외	시외	시외
dB	69.4	22.4	22.4	68.2
위험정도	Level 3	Level 1	Level 1	Level 3
발생가능성	High	Very Low	Very Low	High
위험도계산	High	Very Low	Very Low	High
위험도점수	4	1	1	4
<b>• 공용내하력(PM 2)</b>				
내하율	1.5	1.5	1.5	1.5
위험정도	Level 2	Level 2	Level 2	Level 2
발생가능성	High	Very Low	Very Low	High
위험도계산	Medium	Very Low	Very Low	Medium
위험도점수	3	1	1	3
<b>• 상태등급(PM 3)</b>				
바닥판	b	b	c	c
거대	a	b	x	a
포장	b	c	c	b
교대/교각	b	b	b	b
받침	x	a	b	b
신축이음	b	c	c	b
난간/연석	a	a	a	a
배수시설	b	b	a	b
대표등급	B	B	C	B
위험정도	Level 2	Level 2	Level 3	Level 2
발생가능성	High	Very Low	Very Low	High
위험도계산	Medium	Very Low	Low	Medium
위험도점수	3	1	2	3
<b>• 재해취약도(PM 4)</b>				
내진설계여부	No	No	No	Yes
여유장위험도	0	0	-	-
여유고위험도	0	0	-	-
위험정도	Level 5	Level 5	Level 5	Level 1
발생가능성	High	Very Low	Very Low	High
위험도계산	Very High	Medium	Medium	Medium
위험도점수	5	3	3	3
<b>• 안전한 점검·진단 가능여부(PM 5)</b>				
최대교각높이	7m	11m	2m	16.8m
점검차필요유무	Yes	Yes	No	Yes
점검시설적정성	하	중	하	상
위험정도	Level 3	Level 2	Level 1	Level 1
발생가능성	High	Very Low	Very Low	High
위험도계산	High	Very Low	Very Low	Medium
위험도점수	4	1	1	3

표 13. 성능척도별 위험도점수

구분	가중치	위험도점수				위험도점수×가중치			
		A교	B교	C교	D교	A교	B교	C교	D교
PM 1	0.21	4	1	1	4	0.84	0.21	0.21	0.84
PM 2	0.24	3	1	1	3	0.72	0.24	0.24	0.72
PM 3	0.23	3	1	2	3	0.69	0.23	0.46	0.69
PM 4	0.22	5	3	3	3	1.10	0.66	0.66	0.66
PM 5	0.10	4	1	1	3	0.40	0.10	0.10	0.30
합 계	1.00	19	17	14	16	3.75	1.44	1.67	3.21

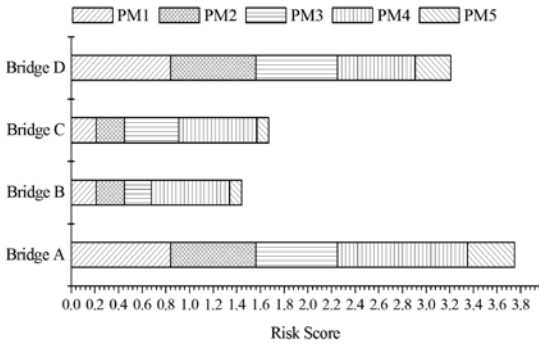


그림 6. 교량별 성능척도에 따른 위험도점수

표 14. 최종 위험도분석 결과

구 분	중요도	위험도점수			
		A교	B교	C교	D교
기본현황정보 위험도점수	0.50	2.22	1.96	1.90	0.81
성능척도별 위험도점수	0.50	3.75	1.44	1.67	3.21
최종위험도		2.99	1.70	1.79	2.01

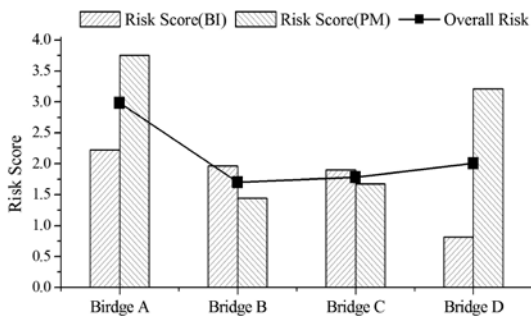


그림 7. 최종 위험도분석 위험도점수

## 5. 결론 및 향후연구

본 연구에서는 공용중인 교량에 내재된 잠재적인 위험도를 고려한 교량 자산관리를 위하여 위험도 개념을 적용한 자산관리 절차를 제안하였고, 적용을 위해 필요한 상태평가 및 성능 측정, 성능척도의 설정, 파손형태 및 위험도 평가 등에 대한 방법을 제시하고 실제 교량에 대한 사례 연구를 수행하여 적용 가능성을 검증하였다.

교량의 위험도를 고려한 자산관리 절차를 정립하기 위하여 단순히 기본현황정보로부터 도출되는 위험도뿐만 아니라 서비스수준을 결정하기 위한 성능척도의 판단에 위험도를 고려하는 방법을 제안하였다. 이러한 방법은 교량에 내재된 정량적·정성적 위험도를 효율적으로 고려하여 합리적인 분석 결과를 제공할 것으로 판단된다.

교량 기본현황정보에 따른 위험도 산정기준을 제시하고, 위험도 고려가 필요한 성능척도 항목으로 교량주위소음, 공용내 하력, 상태등급, 재해 취약도, 안전한 점검·진단 가능 여부를 선정하여 최대한 정량적인 평가가 가능하도록 성능척도의 판단기준을 제시하고 상대적인 중요도를 판단하기 위하여 가중치를 결정하였다. 교량의 설계 및 유지관린 관련기준에 근거하여 판단기준을 설정함으로써 실제 교량의 위험도 평가 기준 및 방법으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

제안된 분석방법 및 판단기준 등의 합리성을 검토하기 위한 사례분석을 위하여 공용중인 4개의 교량을 선정하고, 관리주체로부터 기본현황정보를 수집하고 현장조사를 수행하여 추가적으로 필요한 정보를 수집하였다. 분석결과 단순히 교량 기본현황정보로 부터의 위험도만을 고려하는 것에 비해, 위험도와 발생가능성을 고려하여 보다 정량적이라 할 수 있는 성능척도에 따른 위험도를 동시에 고려하는 것이 합리적인 결과를 제공하는 것으로 판단된다.

본 연구에서 제안된 정량적·정성적 위험도를 고려한 성능평가 절차 및 방법은 추후 자산관리에서 위험도 고려가 필요한 서비스수준을 결정할 때 유용하게 활용될 수 있다. 제안된 위험도분석 절차와 방법이 적용된 교량 서비스수준 평가방법을 이용하면 보다 합리적인 자산관리 의사결정이 가능하며, 향후 최적의 유지관리 의사결정을 위한 자산관리 체계 구축 및 시스템 개발에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업(교량의 성능 및 사용효율 증대를 위한 자산관리 기법 개발)과 한국연구재단 기초연구사업(No.2009-0090240)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다. 또한 자료를 협조하여 주신 해당 교량 관리주체에 감사의 뜻을 전하며, 본 연구내용은 실제 교량의 관리행위와는 무관한 연구목적의 결과임을 밝힙니다.

## 참고문헌

- 국토해양부 (2009). 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침.
- 국토해양부 (2010). 도로교설계기준.
- 국토해양부 (2012). 2012 도로 교량 및 터널 현황조사.
- 박경훈·선종완·박철우·이민재 (2009). “사회기반시설물 자산관리의 교량구조물 적용방안에 관한 연구”. 대한토목학회논문집 제29권 제6D호, pp. 727~736.
- 방재연구소 (2008). 리스크 곡선을 활용한 재난발생 특성분석

방안 연구, 국립방재연구원.

선종완 · 박경훈 · 이민재 · 박철우 (2011). “교량의 자산관리를 위한 서비스수준 및 성능척도 개발에 관한 기초연구”. 한국건설관리학회 논문집, 제12권 제2호, 한국건설관리학회, pp. 101~110.

신성일 · 이병훈 (2008). 자산관리시스템을 통한 서울시 도로 시설물 관리 전략, 서울시정개발연구원.

이민재 · 박경훈 · 박철우 · 선종완 · 이동열 (2010). “교량 자산관리를 위한 가치평가방법 및 체계수립에 관한 연구”. 한국건설관리학회 논문집, 제11권 제6호, 한국건설관리학회, pp. 35~44.

최육 · 지승구 (2007). “국내 시설물의 유지관리 제도 발전 방안”. 시설안전 2007년 겨울호, 한국시설안전공단.

최현호 (2004). 퍼지 및 불확실 신뢰도를 이용한 대형토목구조물의 위험도 및 안전도 분석방법, 한양대학교 박사학위논문.

한국시설안전기술공단 (2005). 생애주기비용에 기초한 시설물 최적 유지관리 시스템 개발.

Baker, Michael Jr. (2009). Risk Management Strategy for Bridges and Structures, Pennsylvania Department of Transportation.

Coe, David (2002). Risk Based Bridge Asset Management, Pitt & Sherry (<http://www.pittsh.com.au/documents/RiskBasedAsse%20>

Management.pdf).

INGENIUM & IPWEA (2006). International Infrastructure Management Manual (IIMM) – Version 3.0, ISBN 0-473-10685-X.

Seo, Jong Won & Choi, Hyun-Ho (2008). “A Risk-based Safety Impact Assessment Methodology for Underground Construction Projects in Korea”, Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 134, No. 1, pp. 72~81.

TRB (Transportation Research Board) (2009). An Asset-Management Framework for the Interstate Highway System, NCHRP (National Cooperative Highway Research Board) Report 632.

논문제출일: 2012.09.12  
 논문심사일: 2012.09.14  
 심사완료일: 2013.03.21

## 요 약

일반적인 사회기반시설물 자산관리 절차는 기존 자산의 명확한 정보획득, 서비스수준의 설정, 요구수준의 분석, 재정상태와 가용예산의 분석, 자산관리 계획의 준비, 수정된 자산의 정보 획득 순으로 구성될 수 있다. 본 연구에서는 실제적인 위험도분석 기반의 개선된 교량 자산관리를 위하여 필요한 상태평가 및 성능측정, 성능척도의 설정, 파손형태 및 위험도 분석 등에 대한 방법론을 제시하였다. 보다 효율적인 교량 관리를 위하여 위험도 고려가 필요한 교량 기본현황정보 및 성능척도 항목을 설정하였고, 정량적·정성적 위험도를 고려한 성능평가방법을 제안하였다. 위험도와 발생가능성을 고려한 위험도 매트릭스를 이용한 성능평가방법은 교량의 서비스수준을 보다 합리적으로 추정할 수 있다. 제안된 위험도분석 절차와 방법이 적용된 교량 서비스수준 평가방법을 이용하면 보다 합리적인 자산관리 의사결정이 가능하며, 향후 최적의 유지관리 의사결정을 위한 자산관리 체계구축 및 시스템 개발에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

**키워드** : 위험도분석, 자산관리, 교량, 성능척도, 서비스수준