

도로교량의 안전등급 결정요인에 관한 연구

A Research for the Determinant Factors of Safety Ratings in Road-Bridge

허윤경¹⁾ 이홍일^{2)*} 신주열³⁾ 박철한⁴⁾
Hur, Youn Kyoung Lee, Hong Il Shin, Ju Yeoul Park, Cheol Han

Abstract

This study analyzes the factors that affect the safety condition level of road-bridges, one of the important infrastructures. Utilizing Binary Logit model, this report empirically identifies the key factors that has influenced the recent assessed safety condition level of the first and the second major types of road-bridges, managed by public agencies, and the changes of the safety level for last six years. As a result of the analysis, the most important factor that influences the safety condition level is not the physical characteristics, but the management quality. As road-bridges are getting older and older, the management quality tends to bring about more differentials in assessing the safety condition level. The safety condition level, C or D, is likely to be improved the level, A or B, is likely to become degraded. To achieve the goal that keep the safety condition level, A and B, more than 90%, it should be considered to make the degrading rate from B to C lower. However, this study includes the limitation on data. It is essential to collect structure data that are spread out in many agencies to complement the limitation for further research.

Keywords : Safety and Maintenance Management, Road Bridge, Maintenance agency, Binary Logit Model

1. 서론

사회기반시설물들은 도시개발, 인구의 증가 등에 따라 지속적으로 신규 건설이 이루어져왔고 앞으로도 꾸준히 증가할 것으로 예상된다. 사회기반시설물의 본격적인 안전 및 유지관리 체계는 1995년 “시설물 안전 및 유지관리 특별법(이하 시특별법)” 제정을 계기로 제도화되었다. 그러나 여전히 관리주체별 시설물의 안전 및 유지관리를 위한 조직 및 전문성 등 역량의 편차가 크고 예산확보의 어려움을 겪고 있는 등 다양한 문제점을 내포하고 있다.

2000년을 기준으로 선진국은 건설투자 중 유지관리투자비중이 10%를 넘어서고 있고 우리나라도 유사한 패턴을 보일 가능성이 크다 하겠다. 하지만 선진국도 지속적으로 증가하는 기반시설물에 대비한 효율적인 유지관리 시스템을 갖추고 있는 것은 아니다. 미국은 2006년 현재 구조적인 결함이 있거나 기능적으로 노후한 교량이 25% 이상으로 추정되고 있으며 일본도 14만개의 교량 중 건

Table 1 the ratio of maintenance in construction investment(2000)

	이탈리아	영국	독일	일본	미국	프랑스	한국	포르투갈
투자비율	57.2	38.0	26.0	21.7	15.8	10.0	8.0	6.0

자료 : 권오현, 2002, 건설저널 4월호, 한국건설산업연구원.

설 후 50년 이상 되는 교량이 2016년이면 1만개에 달할 것으로 예상되고 있다. 즉, 미국과 일본도 보수·보강 또는 교체가 필요하나 예산의 지원이 따라가지 못하는 상황에 직면하고 있다(한국건설기술연구원, 2008).

따라서 우리도 현시점에서 사회기반시설물의 효율적인 안전 및 유지관리를 위한 시스템을 개발하고 운용하기 위한 다각적인 노력을 기울이는 것은 시급한 문제이다. 특히, 시설물의 수가 늘어남에 따라 관리주체가 다양화될 수밖에 없다. 그러나 현재는 관리주체의 안전 및 유지관리 역량에 따라 시설물의 안전상태가 달라질 수 있는 구조이다. 물론, 특별시도, 고속도로, 국도, 시도/지방도/국도 등 노선의 과적 또는 중차량 출입 여부와 같은 교량이

1) 정회원, 한국건설산업연구원, 연구위원
2) 정회원, 한국건설산업연구원, 연구위원
3) 정회원, 한국시설안전공단, 부장
4) 정회원, 한국건설산업연구원, 연구위원

* Corresponding author : hilee@cerik_re.kr 02-3441-0611

• 본 논문에 대한 토의를 2010년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 2011년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

용 상황에 따라 교량 손상도는 다를 수 있고 안전등급에 미치는 영향도 적지 않을 것이다. 그러나 본 연구는 관리주체의 특징에 초점을 맞추어 분석하고자 한다. 이를 통해 관리주체별 안전 및 유지관리 특성을 파악하고 시사점을 도출하는 것은 향후 제도 개선을 위한 기반이 될 수 있을 것이다. 그러나 지금까지의 연구들은 개별시설물 관점의 LCC 연구가 주류를 이루어져 이러한 관리특성과 관련한 연구는 극히 미미한 실정이다.

지금까지 시설물 안전 및 유지관리와 관련된 선행연구는 개별시설물의 유지관리비용 효율화 관점에서 생애주기비용(Life-Cycle Cost; LCC) 연구가 주류를 이루고 있다. 건설교통부(2001)는 교량 및 공동주택에 대한 생애주기비용 분석 결과 예방유지관리가 국가 차원에서 경제적 이익을 가져다주는 것으로 주장한 이후 건설교통부(2002)에서는 경제적 요인인 할인율 적용지침과 비용 추정 방법을 제시하고 이와 함께 민감도 분석과 몬테카를로 시뮬레이션을 이용한 분석 모델 정립과 소프트웨어 개발 및 DB 구축 방안을 제시하였다. 이후 구조적 관점의 천용현 외(2003)를 비롯하여 도로교량의 LCC와 관련한 다수의 연구들이 수행되었다(박경훈 외, 2005, 이강민 외, 2006). 현재는 철도교량(이동욱 외, 2004, 신태균 외, 2007, 박수명 외 2009 등), 터널 및 지하차도(한국시설안전기술공단, 2007, 이찬영 외, 2008), 건축물(한국건설기술연구원, 1998, 최민수 외, 2006) 등으로 대상을 확대하여 다수의 연구들이 수행되고 있다.

최근에는 개별 구조물의 개체적 관점에서 벗어나 시설물을 관리주체의 자산으로 인식하여 자산관리 절차 및 의사결정을 위한 연구들이 최근 들어 등장하고 있다. 박경훈 외(2008)는 LCC개념 하에선 자산관리 기능을 지원할 수 있는 교량관리시스템을 제시하였다. 그러나 지금까지의 자산관리 관련 연구들은 종합적 실증분석까지는 이루어지지 않고 있으며 외국 시스템의 소개 및 개념의 제시 수준에 머무르고 있다.

본 연구와 가장 유사한 관점의 연구는 강인석 외(2008)의 연구가 유일하다. 강인석 외(2008)는 지방도 교량의 유지관리체계에 대한 문제점 및 개선방안을 제시하였다. 특히, 2002~2007년 지방도 유지관리 예산을 분석하여 도로예산상에서 교량에 대한 유지관리 비용 비중은 증가하였으나, 실질적으로 지방도 교량의 보수에 투입되는 금액은 부족한 실정임을 밝혀냈다. 이러한 예산문제를 해결하기 위한 법적 제도적 방안을 제시하였다. 그러

나 강인석 외(2008)의 연구는 예산 부족 실태의 현황 파악 수준에 그치는 한계를 보여주고 있다.

따라서 본 연구는 실질적으로 시설물의 관리에 있어 영향력이 적지 않으나 기존 연구에서는 관심을 받지 못했던 관리 특성에 초점을 맞추고자 한다. 더욱이 실제 자료를 활용하여 실증분석을 실시하였다는 점에서 선행연구와의 차별성과 의의를 찾을 수 있을 것이다. 이에 본 연구는 공공관리주체의 1·2종 도로교량의 안전 및 유지관리의 결과라 할 수 있는 안전등급을 대상으로 하여 안전등급 등에 영향을 미치는 요인을 파악하고자 하였다. 안전등급은 개별 시설물의 재원적 특징과 관리주체의 관리시스템에 모두 영향을 받을 것이다. 그러므로 재원특성을 통제한 상태에서 관리특성을 파악하고자 한다. 또한, 최근등급과 등급변화를 각각 분석하여 시설물 관리 관련 자료의 부재와 한계를 극복하고 다양한 관점에서의 관리시스템을 분석하였다.

연구의 구성은 2장에서는 시설물의 안전 및 유지관리와 관련한 선행연구를 살펴보고 3장에서는 실증분석을 위한 이항 로짓모형을 설정하고 분석 자료에 대한 정의를 실시하였다. 제4장에서는 공공관리주체의 1·2종 도로교량을 대상으로 실증분석을 실시하였다. 마지막으로 제5장에서는 연구결과를 요약하고 시사점을 제시하였다.

2. 분석모형 및 자료

2.1 분석 모형

선형회귀모형의 경우 종속변수가 연속이고 독립변수와 의 선형성을 가정하나, Binary Logistic Model은 이러한 취약점을 보완하기 위해 식(1)과 같은 관계를 가정한다.

$$y^* = \sum_{k=1}^K \beta_k x_k + \epsilon \quad (1)$$

단, ϵ 는 $E(\epsilon) = 0$ 인 대칭분포이며, CDF = $F(\epsilon)$ 여기서 y^* 는 관찰 불가능한 응답변수이고, 응답자가 관찰 가능한 응답 y 를 선택하는 기준을 제공한다. 즉, 응답자가 선택 가능한 응답(y)이 j 개가 존재한다고 하면, 아래 식

5) 시트법의 적용은 받는 시설물은 중요도 및 규모를 고려하여 선정한 1·2종 시설물에 한함. 도로교량의 경우 1종시설물은 특수교량(현수교, 사장교, 아치교, 최대결간장 50미터 이상의 교량) 및 연장 500미터 이상의 교량이며 2종 시설물은 연장 100미터 이상의 교량으로서 1종 시설물에 해당하지 않는 교량임.

(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$if = \begin{cases} 1 & \text{if } y^* > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

여기서, y^* 을 이항으로 구분짓는 기준을 0으로 보고 $y^* > 0$ 의 경우에 관찰 가능한 응답변수 $y=1$ 로 나타나게 된다.

$$\begin{aligned} Prob(y=1) &= Prob\left(\sum_{k=1}^K \beta_k x_k + \epsilon > 0\right) \\ &= Prob\left(\epsilon > -\sum_{k=1}^K \beta_k x_k\right) \\ &= 1 - F\left(-\sum_{k=1}^K \beta_k x_k\right) \\ &= F\left(\sum_{k=1}^K \beta_k x_k\right) \end{aligned} \quad (3)$$

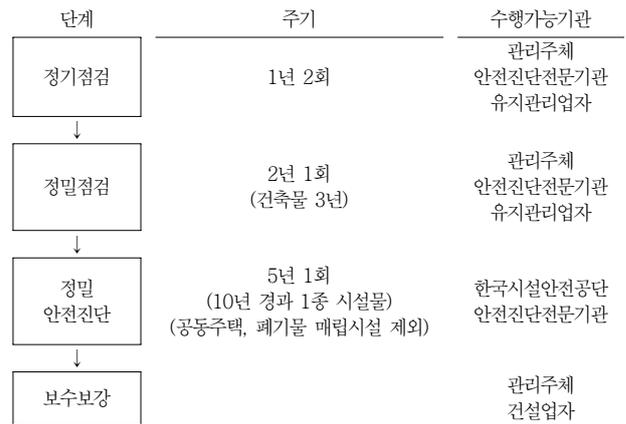
여기서 F를 누적 로짓분포함수로 바꾸어 준 후 이항 로짓 모형을 유도하면 아래 식(4)와 같이 된다.

$$\begin{aligned} Prob(y=1) &= 1 - L\left(-\sum_{k=1}^K \beta_k x_k\right) \\ &= L\left(\sum_{k=1}^K \beta_k x_k\right) = \frac{e^{\sum_{k=1}^K \beta_k x_k}}{1 + e^{\sum_{k=1}^K \beta_k x_k}} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} Prob(y=0) &= 1 - Prob(y=1) \\ &= L\left(-\sum_{k=1}^K \beta_k x_k\right) = \frac{1}{1 + e^{\sum_{k=1}^K \beta_k x_k}} \end{aligned}$$

2.2 안전 및 유지관리 절차 및 단계

시특법에서 규정하고 있는 안전 및 유지관리 단계는 크게 점검·진단과 이에 따라 행해지는 보수·보강 단계로 나눌 수 있으며 점검·진단은 세부적으로 정기점검, 정밀 점검, 정밀안전진단으로 구성된다. 정기점검은 법적으로 1년에 2회 실시를 의무화하고 있으며 정밀점검은 2년에 1회 실시하고 있다. 정밀안전진단은 경과연수가 10년 이상 된 1종 시설물에 한해 5년에 1회 실시를 의무화하고



주 : 단계가 겹치는 시기에는 상위단계로 하위단계를 갈음함.

Fig. 1 the safety management process

있다. 본 연구의 분석 대상인 안전등급은 정밀점검과 안전진단의 결과로 부여받게 되며 이에 따라 시설물별로 등급을 부여받은 시기는 다를 수 있다. 세부적으로 위의 4가지 단계에 파생하여 발생하는 비용을 법규상 안전 및 유지관리 비용으로 볼 수 있다. 본 연구에서는 이를 분석 대상 안전 및 유지관리 비용으로 설정하여 분석을 실시하였다. 정기점검은 관리주체에서 직접 수행하는 경우가 다수를 차지하나, 일부의 경우 안전진단전문기관이나 유지관리업자에게 외주를 주는 경우도 발생하고 있다.

정기점검을 제외한 상위 단계는 외주가 일반적이며 일부 기술을 보유한 기관에 한해서만 직접 수행하고 있다. 따라서 일반적으로 점검 및 진단과 관련해서는 정밀점검 및 정밀안전진단 비용이 큰 비중을 차지한다.

2.3 분석 자료

분석자료는 한국시설안전공단의 시설물정보관리 종합시스템(Facility Management System : 이하 FMS)의 2009년 8월 기준의 자료를 활용하였다. 분석의 효과성을 높이기 위하여 도로교량만을 대상으로 한정하였고 비교적 시설물 정보를 명확하게 확보할 수 있는 공공관리주체의 1·2종 시설물을 대상으로 제한하였다. 안전등급에 영향을 미칠 수 있는 변수로 크게 재원특성과 관리특성으로 나눌 수 있다. 본 분석의 독립변수로는 재원특성 중 구조, 연장, 준공연도를 채택하였고 관리특성으로는 관리주체 분류와 비용을 사용하였다. 다만, 비용정보의 경우 안전 및 유지관리 단계에 따라 점검 및 진단 주기를 달리하고 과거 자료의 경우 입력상의 오류가 다수 존재함에 따라

이를 통제하기 위하여 자료를 일정 범위로 한정하였다. 따라서 본 연구에서는 안전진단을 1회 포함을 주기⁶⁾로 보아 2002년에서 2006년까지 6년간 발생하는 비용자료를 사용하였다. 그리고 시설물의 개선과 직접적으로 연관성이 있는 보수·보강 비용과 시설물의 상태를 점검하는 점검 및 진단비용⁷⁾을 구분하여 사용하였다.

또한 정밀안전진단 대상이 10년 경과 1종 시설물로 정하고 있음에 따라 정밀안전진단 여부에 따른 영향력을 통제하고 분석의 정확도를 높이기 위하여 준공년도를 1999년 이전으로 제한하여 최종 2,955개의 도로교량 자료를 활용하여 분석을 실시하였다. 그러나 현재 FMS 자료는 점검·진단 여부는 의무사항이나 비용과 관련해서는 몇 가지 입력 오류를 내포하고 있다. 먼저, 관리주체들이 여러 시설물을 동시에 발주할 경우 일반적으로 낮은 용역비를 지불하고 있으나 이를 통제할 변수를 가지고 있지 않다. 또한, 보수·보강의 비용 사항 역시 입력 의무사항이 아님에 따라 누락과 오류를 포함하고 있는 것으로 판단된다. 그러나 이러한 오류에도 불구하고 현재 안전 및 유지관리와 관련된 비용 정보는 FMS 자료가 유일하고 일정한 추이는 보일 수 있을 것으로 판단하여 분석을 실시하였다.

3. 실증분석

3.1 시설물 안전 및 유지관리의 일반적 특징

먼저, 정밀점검 및 정밀안전진단의 결과로 판정 받게 되는 가장 최근의 안전등급의 실태를 살펴보았다. A등급은 문제점이 없는 최상의 상태라고 하면, 가장 낮은 E등급은 주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 및 개축을 해야 하는 상태를 말한다. 현재 시설물의 99.1%가 C(보통) 이상의 등급을 유지하고 있으며 B(양호) 이상은 85.6%에 이르고 있다. 그러나 제2차 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획의 목표인 A·B등급 이상 90%에는 미치지 못하고 있다. 다음으로, 본 분석의 대상 기간인 6년 동안의 안전등급 변화를 살펴보았다. 안전등급 변화는 최초 등급과 가장 최근 등급을 비교하였다. 안전등급을 1회만 받은 13개의 시설물은 제외하여 총 2,942개의 도로교량 자료를 가지고 분석을 실시하였다.

Table 2 the basic statistics about the safety condition level

구분	시설물 개수	비중(%)
A 등급(우수)	594	20.1
B 등급(양호)	1,934	65.5
C 등급(보통)	400	13.5
D 등급(미흡)	26	0.9
E 등급(불량)	1	0.0
합계	2,955	100.0

- A : 문제점이 없는 최상의 상태
 - B : 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
 - C : 주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태
 - D : 주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용 제한 여부를 결정하여야 하는 상태
 - E : 주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태
- 주 : 시설물의 안전관리에 관한 특별법 시행령 별표 3의2

안전등급을 유지한 시설물이 56.8%로 과반수를 넘어섰고 32.9%가 1단계 이상의 안전등급이 악화하였다. 반면, 10.2%는 안전등급이 향상되었다. 등급변화 측정 연수의 평균은 5.2년으로 정밀안전점검의 법적 주기와 동일하게 나타났다. 또한 개선과 악화간의 안전등급 변화 측정 기간 차이가 크게 발생하지 않고 있다. 즉, 안전등급 변화 측정 기간이 장기간임으로 인해 노후도가 증가하여 개선보다 악화가 될 가능성이 실제로는 크지 않은 것으로 판단된다.

도로교량의 안전등급에 영향을 미칠 수 있는 변수는 크게 재원특성과 관리특성으로 나눌 수 있다. 먼저 도로교량의 재원특성을 살펴보면, 1종 시설물과 2종 시설물은 3:7 정도의 비율이다. 1990년대 준공된 시설물이 가장 많은 것으로 나타나 분석대상 중 71.9%를 차지하고 있으며 다음으로 1980년대 시설물이 20.4%인 것으로 조사되었다. 구조는 강교와 특수교는 각각 26.6%, 0.7%로 70% 이상이 콘크리트교인 것으로 나타났다. 도로 관리에 중요한 변수 중 하나인 도로연장은 중 구간의 단위인 500m를 기준으로 90% 이상이 500m 이하이며 특히, 100~300m 사이의 교량이 가장 많은 것으로 조사되었다. 재원적 특징만으로도 보면, 1990년대에 준공된 연장 100~300m 사이의 콘크리트교가 가장 일반적인 것으로 판단된다.

다음으로 관리특성 중 하나인 관리주체는 조직의 시스템, 기술보유력, 인력현황 등에 따라 다각적인 측면에서 안전등급에 영향을 미칠 수 있다. 그러나, 인력현황 등 조직의 구체적인 자료는 구득이 불가능하다. 따라서, 도로

6) 안전진단을 1회 포함하기 위해서는 5년간의 주기를 가지게 되나 실제 안전진단기간이 길어짐에 따라 6년동안 1회의 안전진단이 발생하기도 함.
7) 정기점검비용, 정밀점검비용, 정밀안전진단비용을 합산하여 사용함.

Table 3 the basic statistics about the change of safety condition level

구분		시설물 개수	비중(%)	등급 변화 평균 연수
개선 (301개, 10.2%)	4단계 개선	1	0.0	4.0
	3단계 개선	2	0.1	5.5
	2단계 개선	24	0.8	5.3
	1단계 개선	274	9.3	5.0
유지		1,672	56.8	5.2
악화 (969개, 32.9%)	1단계 악화	890	30.3	5.3
	2단계 악화	78	2.7	5.6
	3단계 악화	1	0.0	6.0
합계		2,942	100.0	5.2

교량을 관리하는 조직의 전문성 등을 종합적으로 고려하여 도로공사, 국토유지사무소, 서울시, 지자체 및 기타⁸⁾로 분류하였다. 지자체 중 서울시를 세분한 것은 사회적 관심이 큰 한강교량을 다수 관리하고 있으며 성수대교 사고 이후 도로교량의 안전 및 유지관리를 위한 비교적 선진적인 시스템을 갖추고 있기 때문이다. 지자체 및 기타에서 약 45.3%의 가장 많은 시설물을 관리하고 있으며 다음으로 도로공사 29.7%, 국토유지사무소 19.9%를 관리하고 있는 것으로 나타났다. 비용은 재원의 특징, 준공연도, 관리주체 등 변수 특징에 따라 달라질 수 있으나, 점검·진단 비용이나 보수·보강 비용 모두 천만원 이하가 가장 높은 비중을 차지하고 있다. 다만, 비교적 비용이 많이 소요되는 보수·보강 단계는 2억원 이상 소요된 시설물도 18.5%에 이르고 있다.

3.2 분석 결과 및 해석

본 절에서는 이항 로짓모형을 이용하여 가장 최근의 안전등급에 영향을 미치는 요인과 6년간의 등급 변화에 영향을 미치는 요인을 분석하였다. 전자는 최근의 등급을 A·B등급과 그 외로 나누어 분석한다. 따라서 최근의 시설물 등급 상태 결정요인 분석이라 할 수 있다. 시간적 개념으로 보면 준공 이후 안전 및 유지관리와 관련된 모든 행위들에 의해 영향을 받을 수 있다. 이에 비해, 후자는 6년 동안의 등급변화를 유지·개선과 악화로 나누어 분석을 실시하였다. 즉, 최근 6년간 투입된 요인에 의해 등급변화가 결정될 것이기 때문이다. 전자가 장기적 시간 개념

8) 국방부 및 관광공사 등 일부 기관에서 분석대상 도로교량 7개를 관리하고 있으나 재고수가 극히 미미하고 도로공사 및 국토유지사무소와 같은 전문성을 갖추고 있다고 판단하기 어려워 지자체에 편입함.

Table 4 the basic statistics about the physical characteristics and the management quality

구분		시설물 개수	비중(%)
재원 특성	종별	1종	922 31.2
		2종	2,033 68.8
	구조	콘크리트교	2,149 72.7
		강교	786 26.6
		특수교	20 0.7
		연장	500m 미만
		500m 이상	274 9.3
	준공 연도	1970년 이전	59 2.0
		1970-1979년	169 5.7
		1980-1989년	602 20.4
1990-1999년		2,125 71.9	
관리 주체	도로공사	878 29.7	
	국토유지사무소	589 19.9	
	서울시	149 5.0	
	지자체 및 기타	1,339 45.3	
관리 특성	비용	천만원 이하	1,165 39.4
		천만원-5천만원 미만	1,039 35.2
		5천만원-1억원 미만	392 13.3
		1억원-2억원 미만	222 7.5
		2억원 이상	137 4.6
		보수·보강	천만원 이하
		천만원-5천만원 미만	408 13.8
		5천만원-1억원 미만	217 7.3
		1억원-2억원 미만	209 7.1
		2억원 이상	547 18.5

이라 하면 후자는 단기적으로 이해할 수 있다. 한편, 절대적 등급으로는 A·B 수준이어야 하나 실제적으로 C등급 상태인 시설물이 6년간 등급 변화가 없다고 가정하면 최근 6년동안의 관리상태는 유지·개선으로 보아야 한다. 이를 통제하기 위하여 최초등급을 독립변수로 사용하였고 등급 부여시기가 시설물마다 다름으로 인해 발생하는 요인을 통제하기 위하여 최소등급 부여 연도와 최근등급 부여 연도 차를 변수로 채택하였다.

장기자료의 부재와 같은 FMS의 자료적 한계 등을 보완하기 위하여 2가지 분석을 동시에 실시하였다. 최근의 등급에 영향을 미치는 요인과 단기적 등급변화에 영향을 미치는 요인 모두 확인하기 위한 장치이다.

3.2.1 최근등급과 시설물 안전 및 유지관리

최근의 등급에 영향을 미치는 요인을 살펴보자. Table 5의 최근등급은 A·B등급 여부를 종속변수로 하는 이항 로짓분석 결과이다. A·B등급까지는 기능 발휘에 지장이

Table 5 the basic statistics about the safety condition level by facilities' ages

등급	경과연수(년)			
	평균	최소	최대	표준편차
A	13.8	10.0	69.0	5.9
B	17.1	10.0	77.0	7.2
C	22.9	11.0	79.0	9.4
D	31.2	14.0	75.0	15.1
E	46.0	46.0	46.0	-
합계	17.4	10.0	79.0	8.0

없는 상태인 반면, C등급부터는 기능이 저하되는 단계이므로 시설물의 안전관리에 있어 중요한 임계치가 되고 있다. 분석에 앞서, 종 구분은 구조와 연장에 의해 결정되므로 다중공선성이 나타날 가능성이 있어 제외하였다. 준공연도는 자료 기준일인 2008년의 경과연수로 변환하여 사용하였고 도로교량의 연장은 종구분 단위에 따라 구분하였다.

최근등급으로 추정된 모형의 설명력을 나타내는 $-2\log L$ 은 3,728.867으로 나타났으며 OLS의 R2와 유사한 개념의 \tilde{R}_2 는 0.2174으로 나타났다. 또한, 모형 추정치의 검정 결과, Likelihood Ratio 검정과 Score 검정 및 Wald 검정 결과 모두 1% 유의수준 하에서 유의한 것으로 나타나 추정모형은 적절한 것으로 판단된다.

분석결과, A·B등급에 유의한 영향을 미치는 변수는 재원특성 중 구조의 강교, 경과연수로 나타났고 관리특성으로는 모든 관리주체와 일부 점검진단 비용 변수가 유의한 것으로 나타났다. 재원특성의 구조 중에서는 강교는 A·B등급이 될 확률이 높은 것으로 나타났다. 안전관리에 주의를 필요한 것으로 알려졌던 강교의 특성과는 다른 것으로 나타났다. 경과연수는 오래될수록 A·B 등급이 될 확률이 낮아지는 것으로 나타났다. 등급별 평균 경과연수를 살펴봐도 동일한 결과를 예상할 수 있다. A등급 평균 13.8년, B등급 17.1년, C등급 22.9년, D등급 31.2년, E등급 46.0년으로 나타났다. C등급 이하의 비율을 최소화시키기 위해서는 준공연도가 20년을 넘어가는 시점부터 집중적인 관리가 필요한 것으로 해석된다.

관리특성 중 관리주체는 서울시가 등급이 높을 확률이 가장 높으며 다음으로 도로공사, 국토유지사무소, 지자체 및 기타의 순으로 나타났다. 표준화계수를 보면, 모든 계수 중에서 관리주체 계수 값이 가장 크게 나타나고 있어 가장 중요한 변수임을 알 수 있다. 특히, 서울시의 경우 지자체 및 기타 관리주체에 비해 Odd Ratio가 21.964로

나타났다. 이는 다른 요인이 동일하다고 하면, 서울시가 지자체 및 기타에 비해 A·B 등급이 될 확률이 21.96배에 이르는 것으로 해석할 수 있다. 도로공사도 지자체 및 기타에 비해 7.512배 확률이 높은 것으로 분석되었다. 이는 다른 어떤 요인보다 최근등급 결정에 있어 관리주체의 중요성을 보여주고 있다.

다음으로 관리특성 중 하나인 비용부문을 살펴보자. 점검·진단 비용은 5천만 원에서 1억 원 미만 구간을 제외하고 유의한 것으로 나타났으나 점검·진단 비용이 높을수록 A·B 등급이 될 확률이 낮아지는 것으로 분석되었다. 이는 점검·진단 비용이 일정금액 이상 소요된다는 것은 등급상대가 낮아 점검·진단 횟수와 비용이 늘어나기 때문인 것으로 파악된다. 그러나 보수·보강 비용은 유의미하지 않은 것으로 나타났다. 이는 준공 이후 전체 보수·보강 비용이 최근등급에 영향을 미치나 현재 FMS 상의 자료 한계로 인하여 6년간의 보수·보강만을 사용한 결과로 판단된다.

3.2.2 등급변화와 시설물 안전 및 유지관리

다음으로 6년간의 등급변화에 영향을 미치는 요인을 살펴보자. Table 6의 등급변화는 등급의 개선·유지 여부를 종속변수로 하는 이항 로짓분석 결과이다. 매년 경과연수가 늘어나기 때문에 최초등급보다 최근등급은 악화될 가능성이 크다. 그러나, 동일한 기간 동안 등급을 유지하거나 개선시킨다고 하면 이는 단기적 관리의 성과로 판단해야 할 것이므로 이를 임계치로 정하고 분석을 실시하였다.

등급변화로 추정된 모형의 $-2\log L$ 은 3,728.867으로 나타났으며 \tilde{R}_2 도 0.2197로 나타났다. 그리고 모형 추정치의 검정 결과, Likelihood Ratio 검정과 Score 검정 및 Wald 검정 결과 모두 1% 유의수준 하에서 유의하여 자료를 해석하는 것에는 무리가 없는 것으로 판단된다.

분석결과, 유의한 변수는 최근등급 분석 결과와 유사하게 나타났고 등급변화 분석을 위해 추가한 등급관련 변수는 모두 유의한 것으로 나타났다. 재원특성 중 강구조 교량은 등급변화에 있어서는 악화될 가능성이 큰 것으로 분석되었다. 앞서 최근등급 분석과는 반대의 결과로 이를 종합하면, 실제 강교의 특성은 다른 구조물과 비교할 때 비교적 단기간에 상태등급이 악화될 가능성이 크다는 점에서 관리에 주의를 요하는 것으로 판단된다. 경과연수도 오래될수록 개선·유지될 가능성이 큰 것으로 나타났다.

이는 최근등급과는 반대의 결과로 중요한 시사점을 제

Table 6 the factors on the safety level change(the analysis result from Binary Logit model)

구분		최근등급			등급변화			
		Estimate	Standard Error	Odds ratio	Estimate	Standard Error	Odds ratio	
Intercept		2.9515**	0.1921		-0.1092	0.3228		
재원 특성	구조 (콘크리트 = 0)	강교	0.5295**	0.1779	1.6980	-0.3095**	0.1024	0.7340
		특수교	-0.5359	0.5993	0.5850	-0.6738	0.5076	0.5100
	연장(500m 미만 = 0)		0.4398	0.2571	1.5520	-0.3967**	0.1569	0.6730
	경과연수		-0.0799**	0.0071	0.9230	0.0455**	0.0076	1.0470
관리 특성	관리주체 (지자체 = 0)	도로공사	2.0165**	0.2532	7.5120	0.9296**	0.1301	2.5330
		국도유지사무소	0.8469**	0.1633	2.3320	0.5338**	0.1229	1.7050
		서울시	3.0894**	0.4573	21.9640	0.7762**	0.2370	2.1730
	비용 점검 진단 (천만원 이하 = 0)	1천만원-5천만원 미만	-0.4327**	0.1543	0.6490	-0.4246**	0.1095	0.6540
		5천만원-1억원 미만	-0.3585	0.1957	0.6990	-0.2007	0.1524	0.8180
		1억원-2억원 미만	-1.0221**	0.2293	0.3600	0.0015	0.2012	1.0010
		2억원 이상	-0.8653**	0.2834	0.4210	-0.3822*	0.2325	0.6820
	보수 보강 (천만원 이하 = 0)	1천만원-5천만원 미만	0.0569	0.186	1.0590	-0.0624	0.1292	0.9400
		5천만원-1억원 미만	-0.3408	0.2156	0.7110	0.2894*	0.1763	1.3360
		1억원-2억원 미만	-0.0737	0.2248	0.9290	0.0709	0.1764	1.0730
2억원 이상		-0.2025	0.1703	0.8170	0.1985	0.1342	1.2200	
등급 특성	최초등급과 최근등급의 기간		-			-0.3008**	0.0510	0.7400
	최초등급 (D·E등급 = 0)	A·B등급	-			1.5936**	0.1428	4.9220
		C·D등급	-			2.9793**	0.2639	19.6740
-2logL		2,441.128			3,728.867			
\tilde{R}_0^2		0.2813			0.2174			
Likelihood Ratio		Chi-Square = 508.7493**(df=15)			Chi-Square = 499.5398**(df=18)			
Score		Chi-Square = 511.7282**(df=15)			Chi-Square = 424.0746**(df=18)			
Wald		Chi-Square = 331.4101**(df=15)			Chi-Square = 338.9395**(df=18)			

주 : *는 유의수준 5%에서, **는 유의수준 1%에서 각각 통계적으로 유의함.

공해 주고 있다. 절대적인 등급은 노후화에 의한 상태 등급 악화라는 일반적인 관점과 동일하나, 등급의 변화는 이와는 다를 수 있다는 것이다. 즉, 경과연수가 오래되어도 관리 행위를 통해 등급을 유지하거나 개선할 가능성이 더 크다는 것이다. 관리특성 중 관리주체는 최근등급과는 순서가 바뀌어서 도로공사가 가장 개선·유지될 가능성이 높은 것으로 나타났다. 다음으로 서울시, 국도유지사무소, 지자체 및 기타 순으로 분석되었다. 도로공사가 지자체 및 기타 관리주체에 비해 등급변화가 개선·유지될 확률이 2.533배인 것으로 분석되었다. 이는 장기적 관점의 안전 및 유지관리에는 서울시가 가장 우수한 것으로 나타났으나 단기적 관점의 안전등급 개선에는 도로공사가 우수한 것으로 해석된다.

그러나 전체적인 Odd Ratio가 줄어들어 관리주체별 특성에 따른 영향력은 최근등급에 비해 적은 것으로 해석할 수 있다. 이는 6년이라는 비교적 짧은 기간 동안의

관리 차이보다는 장기간 관리가 상태등급 차이에 영향이 큰 것이다.

비용은 최근등급 분석과 유사하게 점검·진단 비용은 등급변화가 악화될 가능성이 크고 보수·보강비용은 유의미하지 않은 것으로 나타났다. 보수·보강비용이 유의미하지 않지만, 5천만 원 이상 구간에 있어서는 최근등급과 부호를 달리하고 있다. 이는 일정금액 이상의 보수·보강비용은 상태등급 개선의 연관성이 적지 않음을 간접적으로 보여주고 있다.

마지막으로 등급과 관련해서는 최초등급과 최근등급 부여 기간이 길어질수록 경과연수가 증가함에 따라 등급 개선·유지 가능성이 낮아지는 것으로 나타났다. 안전등급을 위한 중요한 의사결정 단초를 제공해줄 수 있는 최초등급 분석결과 C·D일 때 등급이 개선·유지될 가능성이 가장 큰 것으로 나타났다. D·E에 비해서 19.6714배 높고 A·B보다도 높은 것으로 분석되었다. 이는 최초등급

Table 7 the safety level change ratio

(단위 : %)				
	개선	유지	악화	합계
A	-	39.0	61.0	100.0
B	6.7	78.1	15.1	100.0
C	59.6	38.3	2.2	100.0
D	65.2	30.4	4.3	100.0
E	100.0	-	-	100.0

별 등급변화 비율을 살펴보면 보다 가시적으로 나타나는데 C등급과 D등급의 경우 개선된 시설물의 비율이 개별 등급 내에서 60%에 이르고 있다. 이는 A·B 등급 이상을 목표로 하는 현재 시스템하에서 C·D 등급 시설물의 집중적인 유지관리가 이루어지고 있는 것으로 판단된다. 그리고 A·B 등급의 악화 비중은 높게 나타나고 있다. 일정 경과연수가 지나고 나면 A등급을 유지하는 것이 어렵다고 하면, A·B등급 90%라는 기본계획의 목표를 달성하기 위해서는 B등급의 C등급으로의 악화 비중을 낮추는 방안도 함께 고려하는 것이 도움이 될 것으로 판단된다.

4. 결론 및 시사점

본 연구는 중요한 사회기반시설물인 도로교량의 상태 등급에 영향을 미치는 요인을 분석하여 향후 유지·관리에 시사점을 제공하고자 수행되었다. 공공관리주체가 관리하는 1·2종 도로교량에 대한 최근등급과 6년간의 등급변화 결정요인 분석을 통해 도출한 연구결과와 시사점은 다음과 같다.

첫째, 최근등급과 등급변화에 가장 영향을 크게 미치는 것은 관리주체이다. 두 가지 분석 모두에서 계수 값이 컸고 최근등급의 경우 양호한 유지관리 상태를 보여준 서울시와 열악한 지자체 및 기타 관리주체와의 편차가 21.964배에 이르고 있다. 또한, 장기적 관점에서는 서울시가 단기적 등급관리에서는 도로공사가 우수한 것으로 나타나, 시설물의 관리에 중점 목표를 설정하고 이에 맞추어 서울시와 도로공사 관리 시스템에 대한 벤치마킹이 필요한 것으로 판단된다.

둘째, 관리주체 간 편차는 최근등급에서 더 크게 나타나고 있어 장기적 관점의 관리가 중요함을 시사하고 있다. 최근등급이 절대적·장기적 관점의 분석이라면, 등급변화는 6년간의 상대적·단기적 관점의 분석이다. 그런데, 최근등급의 계수값의 편차가 더 크게 나타나고 있다는 것은 관리주체에 따라 장기적으로 판단할 때 등급 차가 더

커질 가능성이 크다는 것이다.

셋째, 경과연수가 늘어나 노후도가 높아지면 절대등급은 낮아질 수 있으나, 등급변화는 오히려 개선·유지될 확률이 크다. 이는 노후화된 도로교량이라 하더라도 등급 개선·유지 노력 여하에 따라 달라질 수 있음을 시사한다. 또한, B등급 이상 유지가 목표라고 하면, C등급의 평균 준공연도가 22.9년으로 나타나고 있으므로 준공연도가 20년을 넘어가는 시점부터는 집중적인 관리가 필요한 것으로 판단된다.

넷째, 노후도에 따라 C·D등급 시설물에 대한 집중 관리가 등급향상이라는 효과를 발휘하고 있으나 A·B등급은 상대적으로 악화되는 비중이 높게 나타나고 있다. 이는 비용의 효율성 측면에서 제도적 검토가 이루어져야 할 사안으로 판단된다. 비교적 관리가 양호한 상태로 볼 수 있는 A·B 등급의 개선 및 유지는 낮은 비용으로 효과적인 유지관리 성과를 낼 수 있다는 점을 고려해야 할 것이다.

다섯째, 안전 및 유지관리와 관련한 비용 특성은 최근 등급과 등급변화에 직접적인 관련성을 확인할 수는 없었다. 그러나 현재 FMS 자료는 일정부분 한계를 내포하고 있으며 오류 가능성도 배제할 수는 없다. 향후 FMS 자료 개선을 통해 보다 정확한 분석이 요구된다. 또한, 점검·진단은 후행하여 실행되는 보수·보강의 효율성과 맞물려 있기 때문에 보다 심도 깊은 연구가 수반되어야 할 것이다. 더욱이 자산관리개념을 포괄한 시설물관리의 필요성이 대두되고 있는 측면에서 보면 비용자료의 구축과 준비는 더 이상 미룰 수 없는 과제이다.

본 연구는 그동안 중요도에 비해 관심을 받지 못했던 관리주체별 사회기반시설물의 안전 및 유지관리 특성을 분석하고 향후 제도 운영을 위한 시사점을 제공하고 있다는 데에서 의의를 찾을 수 있을 것이다. 그러나 분석 자료의 한계로 인해 분석결과 전체를 일반화하기에는 아직 부족하고 과적차량의 출입여부와 같은 교량의 이용상황을 통제하지 못하였다. 특히, 비용자료와 관련해서는 여러 가지 한계를 내포하고 있다. 그러므로 자료의 범위를 넓히고 정확도를 높이기 위해서는 여러 기관에 산재되어 있는 시설물 통합 DB 구축은 필수적인 과제로 판단된다. 이를 통해 보다 진일보한 후속연구를 기대한다.

감사의 글

본 연구는 한국시설안전공단 “시설물 관리주체 안전

및 유지관리 실태조사(2010)”의 지원에 의해 수행 되었 으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 건설교통부, LCC 개념을 도입한 시설안전관리체계 선진화방 안 연구, 2001.
2. 강인석, 이상현, 김슬기, 배철원, 이양규, “지방도 교량의 유지 관리체계에 대한 문제점 및 개선방안에 관한 연구”제34회 대한토목학회 정기 학술대회, pp.1826-1829.
3. 박경훈, 이종순, 조효남, 황윤국, “교량 LCC의 도로이용자비용 추정을 위한 회귀모델 개발”, 2005년도 대한토목학회 정기 학술대회 논문집, 2005, pp.2251-2254.
4. 박경훈, 이상윤, 선종완, 박철우, 임종권, 공정식, “생애주기를 고려한 교량 유지관리체계에 관한 연구”, 제34회 대한토목학회 정기 학술대회, pp.3337-3340.
5. 박경훈, 선종완, 박철우, 이민재, “사회기반시설물자산관리의 교량구조물 적용방안에 관한 연구”, 대한토목학회논문집 제26 권 제6D호, 2009. pp.727-736.
6. 박수명, 김승태, “철도차량 LCC분석을 통한 경제적 내구연한 설정 연구”, 한국철도학회 2009년도 추계학술대회논문집 2009, pp.846-859.
7. 신태균, 구정산, 이승훈, 홍태훈, 구교진, 현창택, “LCC분석을 통한 철도 교량의 최적 대안 선정에 관한 연구”, 한국철도학회 2007년도 춘계학술대회논문집 2007. pp.31-36.
8. 오병환, 신경준, 김광수, 김지상, 이상철, “교량의 외관 조사에 의한 상태평가기준 개선안”, 한국구조물진단학회 제5권 제4 호. 2001. pp.205-213.
9. 이광민, 조효남, 차철준, 김성현, “생애 신뢰성에 기초한 강교 의 LCC최적설계”, 대한토목학회논문집 제26권 제1A호 2006, pp.75-89.
10. 이동욱, 이태식, “최적 철도 노선 선정을 위한 VE/LCC 평가 모델 개발. 한국철도학회”, 한국철도학회지 제7권 제3호 2004, pp.99-106.
10. 이찬영, 안태송, 김낙영, “터널 라이닝 콘크리트의 내화공법에 따른 VE/LCC 분석”, 제34회 대한토목학회 정기 학술대회 CIVIL EXPO 2008, pp.4116-4119.
12. 천용현, 이영대, 김성환, 박현, “LCC분석을 이용한 교량유지 관리수준에 관한 연구”, 2003 대한토목학회 정기학술대회, 2003.
13. 최민수, 김무한, “할인율과 불가변동율에 따른 사무실 건축물 LCC의 변동 특성”, 대한건축학회논문집 구조계 제22권 제2호, 2006, pp.131-137.
14. 한국건설기술연구원, 건축물의 총생애주기 관리기법연구, 1998.
15. 한국건설기술연구원, 교량의 성능 및 사용효율 증대를 위한 자산관리 기법 개발, 2008.
16. 한국기설안전기술공단, 지하도로시설물(터널, 지하차도)의 LCC 예측모델 및 시스템 개발, 2007.

(접수일자 : 2010년 7월 1일)
(심사완료일자 : 2010년 9월 10일)

요 지

본 연구는 중요한 사회기반시설물인 도로교량의 상태등급에 영향을 미치는 요인을 분석하였다. 이항로짓모형을 이용하여 공공관리주체가 관리하는 1·2종 도로교량의 최근등급과 6년간의 등급변화에 영향을 미치는 결정요인을 실증적으로 파악하였다. 분석한 결과, 등급에 가장 크게 영향을 미치는 것은 시설물의 재원특성이 아니라 관리특성으로 나타났다. 그리고 시간이 경과 할수록 관리특성 차에 의한 등급차가 커질 가능성이 있는 것으로 분석되었다. 그리고 C·D일 때 등급이 개선·유지 될 가능성이 높고 A·B등급은 상대적으로 악화 비중이 높게 나타났다. A·B등급 90%라는 기본계획의 목표를 달성하기 위해서는 B등급의 C 등급으로의 악화 비중을 낮추는 방안도 함께 고려하는 것이 도움이 될 것으로 판단된다. 그러나 본 연구는 분석자료의 한계를 내포하고 있으며 이를 보완하기 위해서는 여러 기관에 산재되어 있는 시설물 DB들을 통합하는 작업이 필수적으로 이루어져야 할 것이다.

핵심 용어 : 안전 및 유지관리, 도로교량, 관리주체, 이항로짓모형