

철도 PC Beam교량의 전이확률을 이용한 상태저하 모델개발

The Development of Condition Degradation Model of Railway PC Beam Bridge Using Transition Probability

권세곤¹⁾

박미연²⁾

김두기³⁾

진남희⁴⁾

구소연⁵⁾

Kwon, Se-Gon

Park, Mi-Yun

Kim, Do-Kie

Jin, Nam-Hee

Ku, So-Yeun

ABSTRACT

Recently, as a method of green-development and reduction of carbon dioxide emissions, increased interest has been focused on a railway. Furthermore, an intensive study has been processed on capabilities of maintenance activities, economic efficiency of maintenance on rail structure and a design of railway structure as well as the development of materials. The purpose of this paper is to develop a deteriorated model of PC Beam Bridge due to timely changes and maintenance activities.

Typically, there is definite difference between maintained bridges and non-maintained bridges. As a result of proper maintenance activity, a life time of a structure can be enhanced. In this study, we will research and analyze structures with ongoing maintenance. We will also process same procedures on structures without maintenance. Therefore, we can establish the significant role in a conditional change of a structure. Based on a study, we accomplish the development of a condition-deteriorated model. To develop deteriorated model of PC Beam Bridge, We apply Marcov Theory and develop a transition probability to show the life time of bridge. This study will provide a great benefit to decision making for maintenance activities on the railway bridges for future.

1. 서 론

최근 녹색성장 및 친환경 저탄소대책의 일환으로 철도에 대한 관심이 세계적으로 높아지고 있다. 이와 더불어 철도 구조물의 유지관리 효율성 및 경제성에 대한 관심 또한 설계영역 뿐만 아니라 소재 개발 등에서도 매우 깊이 있는 연구가 진행되고 있다. 특히 철도교량에 대한 유지관리 중요성과 더불어 유지보수우선 순위 및 시기의 결정, 그리고 합리적인 유지관리비용의 결정 등에 대한 의사결정관련 문제의 제기가 지속적으로 관심의 초점이 되고 있다.

이에 본 연구는 철도 PC BEAM교량의 상태등급의 변화에 따른 유지관리내용을 조사 분석하여 시간 변화에 따른 상태저하모델을 개발하고자 하였다. 통상적으로 유지보수 조치시와 무조치시의 상태등급 변화양상은 확연히 차이가 있으며 이러한 유지보수의 결과는 결국 구조물의 수명을 좌우하게 된다. 이러한 상태변화추이와 구조물의 수명, 그리고 적정한 유지보수 조치시기 및 비용결정 등은 최근 늘어나는 유지관리비용을 효율적으로 절감할 수 있는 최적의 방안이 될 수 있다.

본 연구에서는 시설물정보관리종합시스템(Facility Management System; 이하 FMS)의 철도교량 자료를 조사 분석하였으며 유지보수 조치시와 무조치시의 상태등급 변화를 조사 분석하여 상태등급 변화에

1) 정회원 · 군산대학교 토목공학과 · 박사과정 · 한국철도공사 · E-mail : tibobkr@korail.com 발표자
2) 정회원 · 아이엠기술단 기술연구소장 · 공학박사 · E-mail : momo6238@hanmail.net
3) 정회원 · 군산대학교 토목공학과 조교수 · 공학박사 E-mail: kim2kie@chol.com
4) 정회원 · 코레일테크 · 공학박사 E-mail: nhjin70@hanmail.net
5) 비회원 · 아이엠기술단 기술연구소 연구원 · 박사과정 E-mail: kitigu@hanmail.net

핵심적인 역할을 하는 부재 및 보수 행위를 규정하고 이를 분석하여 상태저하모델개발을 수행하였다. PC BEAM교량의 상태저하모델개발을 위해 마코브 이론을 활용한 전이확률을 개발하여 이를 바탕으로 교량 수명 추이를 보여주하고자 하였다.

본 연구는 향후 철도 교량의 유지관리 의사결정을 위한 기준 마련에 큰 역할을 할 것으로 사려된다.

2. 연구방법 및 내용

2.1 연구방법

본 연구에서는 시설물정보관리종합시스템(Facility Management System; 이하 FMS)에 입력되어 있는 데이터를 수집 및 분석하여 완공된 시점을 기준으로 유지보수 행위수행유무를 근간으로 보수조치 및 무보수조치를 구분하여 각 상황에 맞는 상태평가 전이모델을 개발하고자 하였다. 일정 공용년수 내의 유지보수 내역을 분석하여 각 주어진 기간별 상태등급의 변화과정을 가중치 및 빈도를 분석하여 확률적인 변화수치를 얻었으며 이를 수명 및 상태등급관련 도식화를 시도하여 전이확률에 따른 개략적인 수명을 추정하고 유지관리의사결정에 활용하고자 하였다.

2.2 철도교의 상태평가

철도 교량에 대한 전이확률모델을 개발하기 위해서는 우선적으로 구조물의 상태를 정량적으로 표현할 수 있는 지표가 필요하다. 교량의 유지관리에 있어 구조물의 건전성 및 역학적 상태를 표현하기 위해 A 등급으로부터 E등급까지의 상태등급 지표를 이용하고 있다. 그러나 현행 점검 및 진단 결과는 관리자 및 점검자의 수준 및 경험 정도에 의해 주관적인 판단이 많이 작용하고 있으며 실제적인 구조물의 성능의 열화정도를 알아낼 수는 없다고 판단된다. 따라서 상태평가에 따른 전이확률의 추정은 현실적으로 적용하기 적합한 표면적인 모델의 성격을 가진다고 볼 수 있다. 그러나 이와 같은 모델의 구성은 향후 기능저하까지를 포함하는 성능모델이 연구될 경우 실제 유지관리 의사결정에 지대한 영향을 줄 것으로 사료된다. 특히, 한국시설안전기술공단(2003)에서는 이와 같은 제반 문제점을 해결하기 위해 교량 구조물의 안전점검 및 안전진단 시 책임기술자의 주관적인 견해를 최소화하고, 객관적인 입장에서 구조물의 상태평가를 수행할 수 있도록 결합지수(0~1)로 표현되는 새로운 평가기준을 제시하여 공용년수에 따른 상태등급의 전이를 정량적으로 판단할 수 있도록 하였다.

표 1. 상태평가등급 기준

상태평가 등급	상태 및 안전성
A	문제점이 없는 최상의 상태
B	보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능발휘에는 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 보수보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태
E	주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물 안전에 위협이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태

2.3 전이확률 이론

2.3.1 마코브 체인모형이론 개요

마코브 과정(Markovian Process)모델은 반복되는 상황에 대해 특정 시스템의 변화나 발전과정을 연구

하는데 유용한 분석기법으로 어떤 사건이나 실험결과가 바로 이전 사건이나 실험결과에 의해서만 결정되는 확률론적인 과정에 관한 이론을 최초로 전개한 러시아의 수학자 A.A Markov(1856-1922)의 이름을 따라 붙여졌다. 마코브 과정은 어떤 시스템이 한 상황에서 다른 상황으로 변화하는 확률 값을 나타내는 전이확률표(Transition Matrix)를 이용하여 특정 시스템의 변화나 발전과정을 분석하는데, 마코브 과정을 통해 분석될 수 있는 의사결정문제는 반드시 어떤 사건의 결과가 바로 이전에 발생한 사건에 의해서만 결정되고 또 이들 결과 값이 이산적 확률변수 중의 하나에 해당되어야 한다.

마코브 체인 모델(Markov Chain Model)은 원래 특정 상태에서 다음의 상태로 어떻게 변화할 것인가를 확률적으로 예측하는 기법이다. 이러한 모형은 마코브 과정을 여러 가지 다양한 의사결정문제에 응용할 수 있는데 예를 들면 특정한 조직이 과거에 어떠한 인원변동의 패턴을 보여왔는가를 바탕으로 확률을 구하여 장래에 어떠한 인원 변동이 일어날 것인가를 예측하는 데 활용되고 있다.

2.4 PSC Beam교량의 상태평가를 통한 전이확률의 구성

2.4.1 무보수조치에 따른 전이확률의 변화추이분석

철도 PSC 빔교에 있어서 일정기간 유지보수 조치가 이루어지지 않은 교량들의 정보를 활용하여 무보수조치시의 교량의 상태변화추이를 분석하였다. 즉, 준공년도를 기준으로 일정기간 유지보수 기록이 없는 교량들을 대상으로 년도별 상태변화를 분석하였다. 표 2는 유지보수 기록이 누락된 대상교량들을 무보수조치로 규정하여 일정공용기간동안의 상태등급의 현황을 조사한 것이다

표 2. PSC 빔교의 무보수조치대상교량의 상태등급 현황

교량명	1-5년차	6-10년차	11-15년차	16-20년차	21-25년차
A1		B→C			
A2			B→B	B→B	B→C
A3			B→C		
A4			B→C		
A5			A→B		
A6			B→C		
A7			B→B	B→C	
A8			A→B		
A9			A→A	A→A	A→B
A10			A→B		
A11			A→A	A→A	A→B
A12			A→A	A→B	
A13			A→B		
A14			A→B		
A15			A→B		
A16		A→B			
A17			A→B		
A18			A→B		
A19			B→C		
A20			A→A	A→A	A→B
A21		B→C			
A22		A→B			
A23		A→B			
A24		A→B			
A25		A→B			
A26		A→B			
A27			B→C		

매 5년 단위기간을 분류기준으로 하여 주어진 설정 기간에서의 상태등급을 파악하고 이들 기록을 근간으로 주어진 기간 별 상태등급 변동을 파악하였다. 이를 위해 본 분석에서는 2가지 가정을 설정하여

분석을 수행하였다.

가정.1 각 교량별 상태등급이 누락되어 있는 이전기간동안의 상태등급을 모두 A상태였던 것으로 설정함
 가정.2 각 상태등급에 대한 정량적인 접근을 위해 각 상태등급의 가중치를 부여하여 전이확률수치를 설정함

표 3. 주어진 설정기간별 상태등급의 변화추이 분석 및 빈도분석

등급 변화	가중치	6-10년		11-15년		16-20년		21-25년	
		빈도	FREQUENCY	빈도	FREQUENCY	빈도	FREQUENCY	빈도	FREQUENCY
A→A	1	19	0.7037	6	0.3158	4	0.6667		
A→B	0.8	6	0.2222	8	0.4211	1	0.1667	3	0.75
B→B	0.8	0	0	2	0.10526	1	0.1667	0	0
A→C	0.6	2	0.0741	5	0.2632	1	0.1667	1	0.25
TOTAL		27	1	19	1	6	1	4	1

위 분석에서는 기존 유지보수 기록 및 안전 정밀 진단기록 등에서 누락된 상태등급에 대해서는 모두 A등급으로 가정하여 분석을 수행하였다. 즉, 공용 기간 중 6년에서 10년차에 대한 교량기록에는 모두 27개의 교량 중 8개만이 상태등급 정도가 유지되고 있으며 나머지는 기록이 없는 상태이다. 이들 교량에 대해서는 모두 A등급을 부여하였으며 11년에서 15년차 교량에 대해서는 13개의 교량에 대한 상태등급기록을 적용하여 실제적인 상태등급 변화추이를 분석하였다. 또한 상태등급에 대한 가중치를 등급별로 부여하여 A등급의 경우 1값을, B와 C등급의 경우 각각 0.8과 0.6을 부여하여 전이빈도가중치를 부여하였다. 이를 통해 철도 PSC 범교의 상태등급에 기초한 기능저하모델을 구축하기 위해 설정 년도별 상태등급 변화치를 가중치수치로 정량화하고 이들 값의 추세식을 유도하여 무보수시의 전존수명 예측 및 관리기준의 수립을 도모하고자 하였다. 다음 표는 각 설정년도별 상태등급간 별 상태등급변화 가중치를 결정한 것이다.

표 4. 주어진 설정기간별 상태등급가중치

년도별	1-5년	6-10년	11-15년	16-20년	21-25년
무보수조치시의 등급가중치	1	0.91111	0.89975	0.8465	0.7
보수조치시의 등급가중치	1	0.97	0.89	0.87	0.79

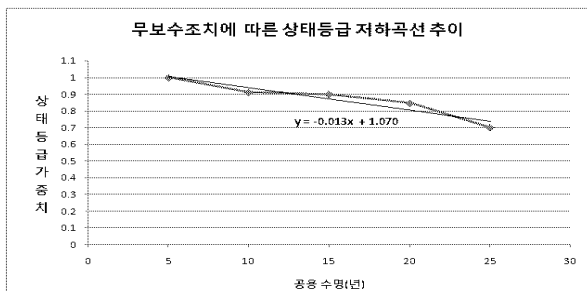


그림 1 무보수조치에 따른 상태등급저하곡선의 추이개관

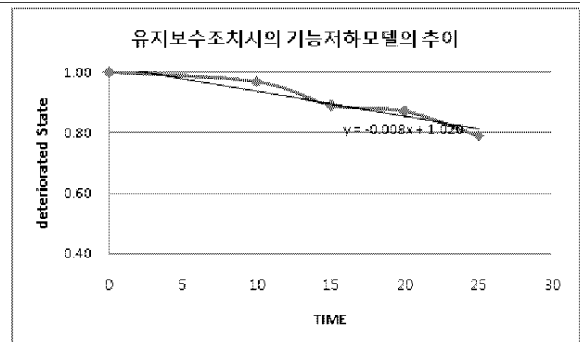


그림 2. 유지보수조치에 따른 상태등급저하곡선의 추이개관

2.4.2 보수조치에 따른 전이확률의 변화추이분석

한편 유지보수조치가 이루어진 교량들에 대한 데이터 분석을 근간으로 앞 절에서 언급한 유사한 상태 등급 기능저하 추세식을 구성하였으며 그 결과는 그림 1, 2와 같다.

4. 결 론

본 그림에서 알 수 있듯이 보수조치가 전무하다는 가정하에 이루어진 상태등급변화곡선은 구조물의 수명과의 관계로 표현할 수 있다. 즉, 상태등급이 D등급인 시점을 구조물의 해체폐기시기로 판단할 경우 약 40년 정도만에 구조물수명이 다한 것으로 규정할 수 있다. 본 모델의 경우 1,2종 PSC 빔교에 대해서만 분석을 수행하다 보니 교량 데이터가 충분하지 못하여 개략적인 상태기증저하 모델추세식을 제공한 부분이 있다. 그러나 이와 같은 전이확률에 기반한 시도는 전체교량 수명 예측 및 유지관리 의사결정에 활용가능토록 지속적인 연구가 이루어 져야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 박 미연(2007), 강건최적화 기법에 의한 고속철도 강합성 소수주형교의 LCC효율적인 최적설계
2. 김태희외 2인, 한국철도학회 춘계학술대회학술지, 철도트러스 교량의 유지보수주기분석을 통한 자산 관리 차원의 최적LCC에 관한 연구
3. 권세곤외 3인, 한국철도학회 춘계학술대회학술지, Project level에서의 PC Beam교량의 경년열화모델구성 및 유지관리비용 추정
4. 한국건설연구원, 마코브 이론의 응용 방안 세미나