

교량관리체계 개선 및 LCC분석을 위한 생애주기 성능이력 회귀함수의 산정

Regression Analysis of Life Cycle Profile for Life Cycle Cost and Bridge Management System

공정식* 박흥민** 이광균*** 박창호**** 신재인*****
Kong, Jung-Sik Park, Heung-Min Lee, Kwang-Kyun Park, Chang-Ho Shin, Jae-In

요약

국내 교량구조물의 대부분은 구조물 자체에 의한 열화, 손상과 같은 물리적인 수명에 의하여 공용수명이 결정될 수 있어야 하지만, 이에 대한 연구가 미비하여 교량의 유지관리시 최적 유지관리 시나리오를 선정하는데 많은 어려움이 있다. 최적의 유지관리 시나리오를 선정하기 위해서는 부재별 열화에 의한 상태변화 및 유지관리를 위한 보수보강 효과를 고려한 상태/성능 분석이 반드시 요구되며, 본 연구에서 제안된 상태변화모델을 기반으로 기존에 구축된 DB 및 현재 운용중인 고속도로교량관리시스템(Highway Bridge Management System;HBMS)에 LCC분석을 접목한 시스템 개선의 효과 증대를 이룰 수 있을 것으로 고려된다.

키워드: LCP, HBMS, LCC, 상태/성능변화, 유지관리

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

사회기반 시설물의 효율적 유지관리를 위해서는 육안점검, 내하력평가, 정기점검, 정밀진단, 상시거동 분석 등 다양한 평가 방법들이 개발되어 왔으나 대부분 연구단계에 머물러 있고 일반 공학자들이 접근하기에는 너무 복잡하거나 또는 지나치게 단순화되어 있어 유지관리의 최소요건을 갖추지 못하는 경우가 많은 것으로 판단되었다. (Ang & De Leon 1997, Frangopol et al. 2001, Furuta et al. 2002, Ito et al. 2002, Maunsell 1999, Miyamoto et al. 2000)

따라서 본 연구에서는 기존 교량의 보수·보강 또는 교체 등의 유지관리 조치시기의 의사결정을 함에 있어 교량의 형식별, 부재별 LCP(Life Cycle Cost Profile)을 개발하여 교량의 현재상태를 고려한 적절한 보수, 보강, 교체 등의 유지관리를 효율적으로 수행할 수 있도록 하고자 한다.

1.2 연구의 대상 및 범위

본 연구에서 수행된 회귀분석은 상부구조 형식 RA, PSCI, STB, RCS, PF, PSCB 등으로 전체 고속도로 교량의 90.5%를 차지하는 교량을 대상으로 하였다.

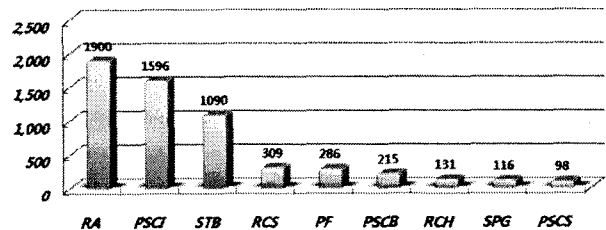


그림 1. 상부구조 형식별 교량현황

각 교량 부재는 교량 형식별 약간 차이는 있으나 크게 주요 구조부재인 거더, 바닥판과 공통부재인 교량받침, 2차 부재, 기초, 신축이음, 난간 및 연석, 교면포장, 하부구조, 배수시설 등으로 나누어 각 부재별로 회귀분석을 수행하였다.

2 연구수행 방법

본 연구의 수행방법은 다음 그림과 같다.

* 일반회원, 고려대학교 건축사회환경공학과 조교수, 공학박사
jskong@Korea.ac.kr
** 일반회원, 아이엠기술단 VE사업부, 공학박사수료
*** 일반회원, 아이엠기술단 VE사업부, 공학석사
**** 일반회원, 도로교통기술원 구조지반연구팀, 공학박사
***** 일반회원, 도로교통기술원 구조지반연구팀, 공학박사
본 연구는 한국도로공사 연구비 지원에 의한 연구의 일부임.

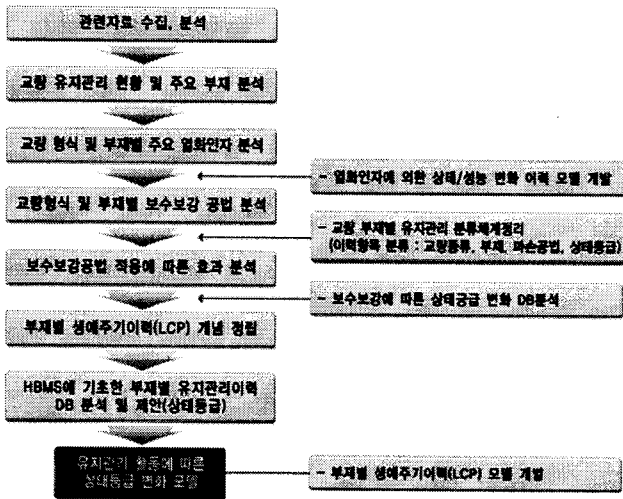


그림 2. 본 연구의 연구수행 방법

고속도로 교량관리 시스템(HBMS)에 산재 되어있는 유지관리조치 이력에 대한 통계분석을 통하여 공용수명간 각 교량의 부재별 상태변화를 예측할 수 있도록 열화요인 및 보수보강에 의한 부재상태와 성능변화에 대한 분석을 수행 하였다.

그리고 설문조사 및 회귀분석을 통하여 주요교량 형식별 주요부재별 열화인자에 대한 LCP모형을 개발 하였다.

3. 국내외 연구동향 및 문제점

3.1 국내외 연구동향

현재 국내에서는 시설안전기술공단(도로교의 공용수명 연장방안)에서 다음과 같이 강교, 콘크리트교, PSC교량에 대하여 전문가 의견에 기초한 3차 회귀분석식을 제안하고 있다.

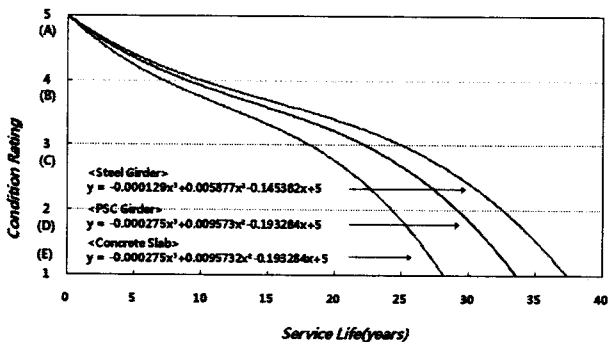


그림 3 시설안전기술공단 LCP제안 모델

또한 교량등급(2등급, 3등급, 전체교량)별 LCP 제안(무리식)이 개발(안영기, 2003) 되어 있다.

미국의 각 기관의 경우 공용수명간 상태등급변화를 1차 함수로 나타내고 있으며 초기 상태등급저하보다는 일정시간이후의 상태등급저하속도가 가속화된다고 보고 있다.

표 1. 미국 기관별 LCP제안 모델

연구기관	교량 자료	평균열화율			비고
		바닥판	상부	하부	
Massachusetts TSC	151,933	0.125	0.10	0.10	-
Wisconsin DOT	4,463	0.07			0~45년
		0.19			45~70년
New York DOT	-	0.122	0.122	0.122	-
Virginia TRC	571	-	-	-	자료없음
UA/ALDOT (주정부 소유)	3,540	0.076	0.082	0.078	0~46년
		0.225	0.178	0.182	46~77년
UA/ALDOT (주정부 미소유)	7,150	0.093	0.096	0.085	0~40년
		0.320	0.447	0.695	40~53년
AU/ALDOT	143	≒ 0.01			0~40년
		0.21	0.13	0.18	40~60년

3.2 DB(HBMS)의 문제점

현재 국내에서 사용하고 있는 HBMS의 경우 00년부터의 유지관리조치 자료가 축적되어 있으므로 회귀분석사용을 위한 DB로는 범위가 작고 '00년 이전의 보수보강이력 자료 부족으로 인해 선행 유지관리조치 확인이 어렵다.

분석결과 전체교량 5,548개소 중 1,315개소의 교량에 대한 보수보강 이력이 있고 보수보강이력의 경우 대부분 교량받침과 신축이음장치(78.4%) DB이다. 그러나 상당수 DB가 유지관리조치 구분이 안되어 있어 이력자료로 활용하는데 어려움이 있다. 이러한 DB의 문제점을 정리하면 다음과 같다

- i) 각 교량의 보수·보강이력자료가 해당하는 교량의 공용수명간 실제 수행된 보수·보강이력 자료를 모두 포함하고 있지 않다.
- ii) 보수·보강이력 자료의 경우 일반적인 부재의 열화에 의한 보수·보강과 특정 사건으로 인한 긴급 유지관리조치의 구분이 힘들다.
- iii) 각 교량의 정밀진단결과는 '00년부터 '06년까지 나타나 있지만 조사된 기간중 그에 따른 유지관리조치 실시여부가 불명확하다.
- iv) 일반적인 교량 유지관리시 C등급 이상으로 유지하기 때문에 실제 DB의 경우 A등급, B등급의 데이터 편중이 심하게 나타나 B→C등급, C→D등급, D→E등급의 상태등급변화 경향을 판단하기 힘들다.
- v) 초기 시공불량 또는 유지관리미흡으로 초기상태등급이 B, C등급으로 시작되는 경우와 예상되는 상태등급저하 속도보다 빠르게 열화가 발생하는 경우는 일반적인 열화범위로 포함시키기에는 적합한 DB로 판단하기 어렵다. 그러므로 모든 DB를 분석 DB로 활용할 경우 일반적 범위의 DB자료까지 포함된 회귀분석을 할 가능성이 있다.

위와 같은 문제로 인해 기존 DB에 대한 회귀분석을 통하여 각 교량형식 및 부재별 상태등급곡선을 제안하는데 제약이 따르게 된다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 실제 교량유지관리 업무를 수행중인 전문가들의 의견을 반영하여 DB를 분류하였다. 또한, 교량

별 열하상태를 예측하여 v항과 같은 초기 상태저하형태가 나타나는 자료는 별도로 분류하여 Bad Case에 대한 DB Sorting을 실시하고 초기 교량상태에 따른 회귀분석을 실시하였다.

4. 설문조사 및 결과분석

4.1 설문조사

HBMS(DB)의 경우 위에서 언급한 문제로 인하여 회귀 분석시 활용하는데 한계를 가지고 있다.

DB활용의 문제점을 보완하기 위하여 전문가의견 수렴을 위한 설문조사를 실시하였다. 설문대상은 한국도로공사 및 유지관리업체의 교량유지관리 관련 업무 경력 10년 이상의 경력자 30여명으로 하였으며 교량별/부재별 공용수명, 상태등급변화시기 및 효과, 주요 열화요인 등의 내용을 포함하고 있다.

4.2 설문결과

회귀분석을 위한 DB구성을 위해 설문조사 내용 중 각 교량별/부재별의 상태등급변화 시기를 도출하였으며 다음 표2는 교량의 각 부재별 상태등급변화 시기를 나타내고 있다.

표 2. PSC교량의 부재별 상태등급변화 시기(년)

구분	A→B		B→C		C→D		D→E		
	평균	σ	평균	σ	평균	σ	평균	σ	
바닥판	6.1	3.2	17.3	5.2	31.9	9.5	46.8	12.2	
신축이음	4.3	2.8	12.1	4.7	22.8	7.7	35.5	12.2	
교좌장치	5.5	3.3	16.0	6.3	30.1	10.0	44.6	12.3	
난간/중앙분리대	6.3	3.4	15.4	4.8	28.6	7.8	42.9	12.2	
배수시설	4.6	3.5	12.4	4.6	23.8	7.1	36.8	11.6	
교대 및 교각	8.9	6.2	22.8	5.9	38.6	9.1	55.4	12.1	
PSC 교량	강선	8.5	5.8	21.5	6.4	36.4	9.5	49.8	12.9

표2에서 보여지듯이 PSC교량 거더의 경우 A에서 B등급으로 상태변화가 이루어지는 시기는 공용후 평균 6.1년, B에서 C등급으로 상태변화가 이루어지는 시기는 공용후 평균 21.3년이 소요된 것으로 나타나고 있다.

본 설문조사 결과를 통하여 HBMS상의 '00년 이전 DB의 유지관리 조치 수행여부를 가정할 수 있었다.

또한, 설문조사 결과에 의해 나타난 각 부재의 등급별 상태등급변화시기결과에 따라 각 등급의 표준편차 이내의 범위의 DB는 분석 DB로 분류하였으며 표준편차 이외의 DB는 일반적인 교량 부재의 상태등급변화가 아닌 파다설계 또는 시공불량 등으로 일반적인 상태등급변화가 나타나지 않은 DB로 판단하여 회귀분석 DB로 활용하지 않았다.

5. DB(HBMS)를 이용한 회귀분석

5.1 회귀분석 모델

(1) 단변수 회귀분석 모델

단변수 회귀분석 모델은 시간 변수에 대해 상태등급을 회귀분석한 결과로 공용년수별 상태등급을 회귀분석하였다. 최초 단변수 회귀분석 모델은 다항함수의 경우 2, 3, 4차 비선형 다항식까지 수행이 되었으며 이외에 안영기(2003, 교량의 생애주기비용 산정을 위한 열화예측모델에 관한 연구)에서 제안한 무리함수를 고려하여 수행하였다.

$$\text{다항함수: } y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x^i \quad (\text{여기서 } n=2,3,4) \quad (1)$$

$$\text{무리함수: } y = \sqrt{5^2 + ax} \quad (2)$$

일반적으로 회귀분석결과 선정되는 함수의 경우 결정계수(Coefficient of Determination)에 의해 결정된다. 그러나 본 연구에서의 다항함수의 경우 차수 증가에 따른 자유도의 증가로 고차로 갈수록 결정계수가 높아지나 결정계수 이외의 상태등급곡선이 가지는 특성을 고려하여 최종 제안되는 회귀분석 모델을 선정하였다. 상태등급곡선이 가지는 특성을 요약하면 아래와 같다.

- i) 교량 및 부재의 상태등급변화는 특정 유지관리조치가 없을 시에는 상태등급이 상승하지 않는다. 즉 상태등급곡선의 기울기는 항상 음(-)의 값을 가진다.
- ii) 공용수명간 상태등급변화는 최초의 유지관리조치가 요구되는 C등급부터 열화의 가속화로 인해 등급이 저하될수록 상태등급저하 속도가 가속화 된다. 즉, 상태등급곡선의 기울기의 절대값이 증가한다.
- iii) 공용수명간 기울기의 감소량이 변화하는 변곡점이 1회 존재한다.

이러한 특성을 회귀분석 모델에 제약조건으로 추가하여 회귀분석을 실시한 결과 2차 다항식과 무리식의 경우 iii) 항의 제약조건을 만족하지 못하였으며 4차 다항식의 경우 DB범위내에서 만족하지만 D등급에 대한 DB가 없는 경우 공용수명내 i)항에 대해 만족하지 못하였다. 따라서 본 연구에서는 각 부재별 단변수 회귀모델을 위의 제약조건을 추가한 3차 다항식으로 선정하여 회귀분석을 수행하였다.

(2) 다변수 선형회귀분석 모델

상태등급변화에 영향을 미치는 주요변수인 시간(x_1), 교장(x_2), AADT(Annual Average Daily Traffic, x_3)에 대해 상태등급 곡선식을 산정하기 위해서 식3과 같은 회귀분석 모델을 선정하였다.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \text{CrossTerm} \quad (3)$$

각 변수들은 비상관(Uncorrelated)되어 있지만 통계적인 독립(Statistically Independent) 여부의 판단이 모호하므로 식4와 같은 각 변수들의 CrossTerm을 보완하여 모델을 구성하였다. 식3,4에서 $i=1,2,3$ 을 나타내며, α, β 는 회귀계수로 각 항들의 상수이다.

$$CrossTerm = a_1 x_1 x_2 + a_2 x_1 x_3 + a_3 x_2 x_3 \quad (4)$$

(3) 다변수 비선형회귀분석 모델

다변수 비선형회귀분석 모델은 시간변수인 x_1 에 대해서 2, 3차항까지 고려하였으며 이외의 변수인 x_2, x_3 는 1차항까지 고려하였다. 각 변수들 간의 상관관계를 알기위해 변수에 관한 Cross Term을 적용하였으며, 다변수 2차 비선형 모델의 함수식은 식5와 같다.

$$y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^3 \beta_{ijk} x_j^k + CrossTerm \quad (5)$$

$$CrossTerm = a_1 x_1 x_2 + a_2 x_1 x_3 + a_3 x_2 x_3 + a_4 x_1^2 x_2 + a_5 x_1^2 x_3 \quad (6)$$

다변수 비선형 회귀분석 모델은 기존의 시간에 따른 교량 열화를 교량의 다른 요소의 변화와 함께 고려함으로써, 복합적 변수에 의한 교량 상태등급 변화모델을 구축할 수 있다.

5.2 회귀분석 결과-PSCI 거더

본 연구의 회귀분석을 위해 Matlab 7.0의 Regression ToolBox와 추가적인 제약조건의 추가를 위해 Optimize ToolBox를 사용하여 수행하였다.

본 절에서는 PSCI교량의 거더부재에 대한 회귀분석 결과만을 논한다.

(1) 회귀분석 DB 정리

HBMS자료를 설문조사 자료에 의한 필터링을 거쳐 가용 DB를 선정하였다. 또한 대부분의 이력자료의 경우 A등급(5등급)의 자료이기 때문에 데이터 편중이 발생하므로 회귀분석시에는 각 등급의 데이터들의 분포도에 의해 분석하였다. 그림4,5는 필터링 전의 HBMS DB와 필터링후의 DB의 분포를 나타내고 있다.

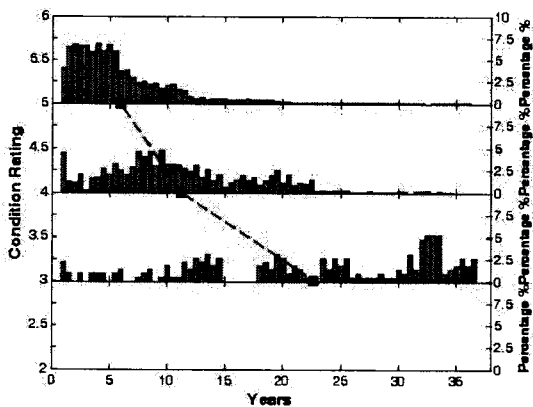


그림 4 기본 HBMS(DB) 분포도

DB정리 결과 A등급에서 C등급으로 갈수록 표준편차(Standard Deviation)가 크게 나왔다. 이는 DB를 구성하는

각각의 교량들의 초기상태 및 환경변수들에 의해 상태저하의 가속화가 상이하게 나타기 때문인 것으로 판단된다.

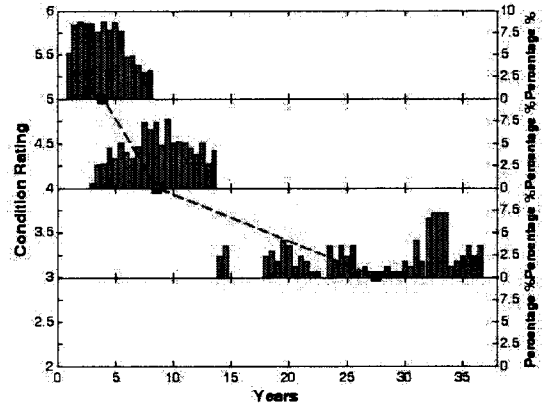


그림 5 필터링 후 HBMS(DB) 분포도

또한 시공불량 및 환경변수에 의한 초기 상태저하를 고려하기 위해 각 부재의 DB를 1차 회귀분석하여 그림6과 같이 도출한 뒤 하위 10%의 교량군을 Bad Case로 가정하여 그림7과 같이 별도의 DB분포도를 도출하였다.

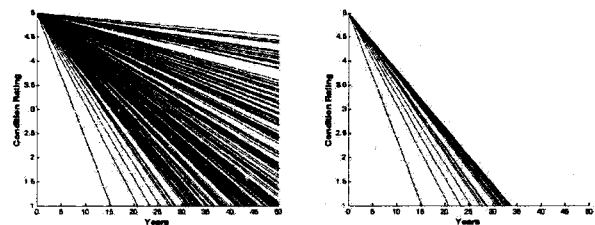


그림 6 PSCI 각 교량의 상태저하형태 및 Bad Case

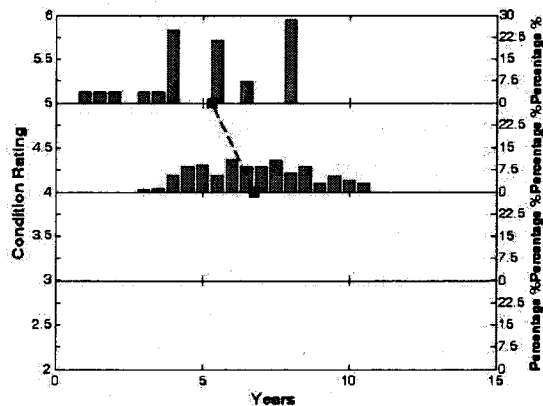


그림 7 Bad Case의 HBMS(DB) 분포도

이와 같이 기본 DB에서 1차 Sorting을 통하여 일정 분포내에서 가용한 DB를 선정하였으며 2차 Sorting을 통해 Bad Case에 속하는 DB를 표3과 같이 선정하였다.

DB Sorting을 통해 일반적인 교량/부재의 상태등급곡선과 초기 상태저하가 나타나는 교량/부재의 상태등급곡선을 제안하였다.

표 3. DB 필터링 결과

구분		A등급	B등급	C등급	D등급
기본 DB	개수	11,513	2,165	227	-
	Ave.	5.94	11.20	22.68	-
	Std.	4.51	6.49	10.27	-
수정 DB	개수	8,947	1,336	168	-
	Ave.	4.02	8.63	27.59	-
	Std.	2.71	3.75	8.21	-
Bad Case DB	개수	28	280	-	-
	Ave.	5.32	6.78	-	-
	Std.	2.12	1.82	-	-

(2) 단변수 회귀분석 결과

식1과 같은 회귀분석 모델을 통해 PSCI교량의 거더부재를 회귀분석한 결과 표4와 그림8와 같은 결과를 얻었다.

표 4. 단변수 회귀분석 결과

구분		β_0	β_1	β_2	β_3	R^2
시설안전기술공단		5.00	-1.93e-1	9.57e-3	-2.75e-4	-
회귀분석 결과	Origin	5.00	-1.61e-1	9.14e-3	-2.10e-4	0.694
	1st Sorting	5.00	-1.55e-1	9.43e-3	-2.59e-4	0.597
	Bad Case	5.00	-1.10e-1	2.13e-02	-1.38e-3	0.216

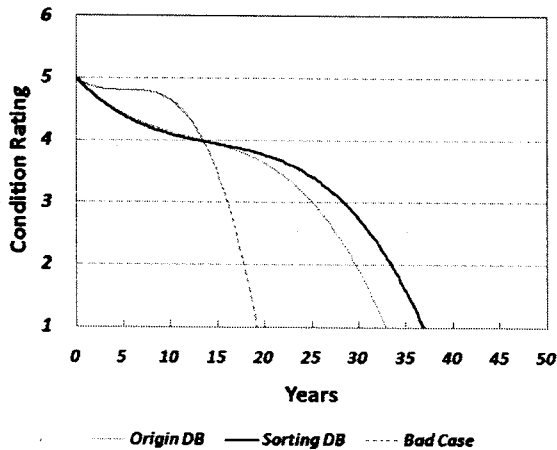


그림 8 단변수 회귀분석 결과

각 회귀분석에 따른 상태등급 변화 시기는 표5와 같다.

표 5. 다변수 회귀분석 결과

DB	A→B	B→C	C→D	D→E
Origin	13.5년	25.2년	29.7년	32.9년
1st Sorting	12.9년	28.5년	33.5년	36.9년
Bad Case	13.5년	16.1년	17.8년	19.2년

Bad Case DB에 의한 회귀분석 결과, 최초 보수조치가 예상되는 시점(C등급)과 보강조치가 이루어지는 시점(D등급)은 각각 약 16년, 18년으로 1차 DB Sorting에 의한 회

귀분석결과인 약 29년, 33년보다 13년 15년정도 선행조치가 이루어지는 것을 알 수 있다. 또한 Bad Case의 경우 B등급까지 상태가 저하되는 속도는 일반적인 경우와 유사하나 이후 유지관리조치 미흡 또는 환경적인 변수에 의해 급속한 열화가 진행되어 상태등급저하의 기울기가 급속하게 증가하는 것이 나타난다. 이러한 결과를 통해 초기 시공상태 및 적절한 유지관리조치가 필요한 것을 알 수 있다.

(3) 다변수 회귀분석 결과

식3, 4와 같은 회귀분석 모델을 통해 1차 Sorting된 DB에 대해 시간, 교통량, 경간장의 3개의 변수를 선정한 선형/비선형 다변수 회귀분석을 수행하였다. 회귀분석시 교통량과 경간장을 차례로 고정하여 시간변수 이외의 변수에 대한 상태등급곡선의 변화 경향을 그림8과 같이 살펴보았다.

표 6 다변수 회귀분석 결과

구분	항	계수값	항	계수값
선형	x_1	-1.3949e-01	x_1x_3	-3.1376e-07
	x_2	-1.2198e-02	x_2x_3	-1.8487e-08
	x_3	2.0439e-06	β_0	5.5891
	x_1x_2	2.1099e-03	R^2	0.4772
2차 비선형	x_1	-4.3076e-02	x_1x_3	-6.7721e-07
	x_1^2	-3.7979e-03	x_2x_3	7.1344e-08
	x_2	-6.4411e-03	$x_1^2x_2$	7.0628e-06
	x_3	3.5076e-08	$x_1^2x_3$	3.2448e-08
	x_1x_2	5.8868e-04	β_0	5.2865
			R^2	0.5046
3차 비선형	x_1	2.0151e-01	x_2x_3	4.2261e-08
	x_1^2	-3.3113e-02	$x_1^2x_2$	4.2987e-04
	x_1^3	9.8030e-04	$x_1^2x_3$	-1.1302e-07
	x_2	4.8322e-03	$x_1^3x_2$	-1.5609e-05
	x_3	-2.1970e-06	$x_1^3x_3$	3.9303e-09
	x_1x_2	-3.5524e-03	β_0	4.7415
	x_1x_3	7.6206e-07	R^2	0.5698

선형, 비선형 회귀분석결과 그림8과 같은 결과를 도출하였다. 분석결과 3차 비선형 다변수 회귀분석의 경우 변수에 따라 상태등급이 상승하는 부분이 나타나며 변수변화에 따라 일관된 경향이 나타나지 않아 상태등급모델로 제안하기에는 어려움이 있다고 판단된다. 그러나 선형 및 2차 비선형의 경우 각 Case별 변수에 따른 경향을 보여주는 것을 볼 수 있다. 선형 및 2차 비선형 다변수 회귀분석시 교통량 변화시 PSCI 거더의 상태등급변화가 경간장장 변화시보다 민감하게 나타났으며 통계적인 독립 여부를 고려하기 위한 CrossTerm에서는 시간과 경간장부에서는 거의 상관관계가 발생하지 않았으며 시간과 교통량의 경우 어느 정도의 상관관계가 있는 것으로 판단된다. 각 변수에 따른 상태등급 변화는 경간장의 경우 경간장이 증가할수록 상태등급변화가 완만하였으며 교통량의 경우 선형 다변수 회귀분석의

경우 교통량 증가에 따라 상태등급저하가 증가되었으나 비선형 다변수의 경우 교통량 증가에 따라 상태등급저하가 완만한 형태로 나타나 일관된 경향을 도출하기는 힘들다. 단, PSCI 거더의 경우 표준단면에 의한 설계로 다른 거더 부재와는 달리 설계변수(경간장, 교통량)에 따라 불연속(Discrete)적으로 단면을 구성함으로써 다변수 회귀분석의 연속적인 변수구성에 의한 함수결정에는 차후 추가적인 불연속 변수에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다.

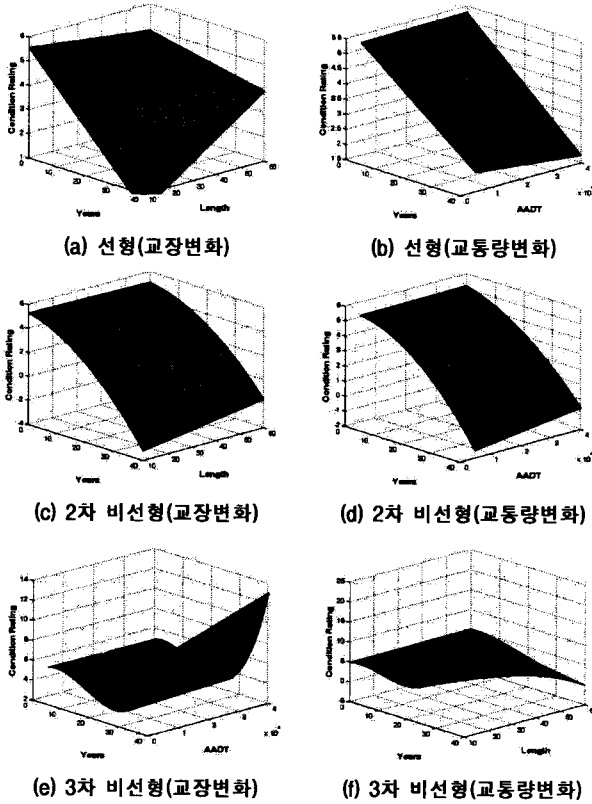


그림 8 다변수 회귀분석 결과

6. 결론

본 연구에서는 주요교량 및 부재에 대하여 도로공사의 HBMS DB를 분석하였다. DB의 회귀분석 수행시 야기되는 문제점 해결 및 현장여건 반영을 위해 전문가 의견을 수렴하여 통계처리하였으며, 처리된 DB를 통하여 단변수 및 다변수 회귀분석을 실시하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

i) HBMS DB를 활용하여 각 교량/부재별 상태등급모

델 정립을 위한 일련의 Process를 제안하였다.

- ii) 기존의 HBMS DB의 문제점을 도출하였으며 문제점 해결을 위한 설문자료를 취합 분석하였다. 이는 향후 HBMS 개선을 위한 준비자료로 활용할 수 있을 것이다.
- iii) 단변수/다변수 회귀분석을 통하여 교량부재단위별 상태등급모델을 제안하였다.
- iv) 일반적인 상태등급모델과 초기의 다양한 악영향을 고려한 Bad Case를 제안함으로써 실무활용에 있어 다양성을 확보하였다.
- v) 주요 설계변수인 교통량과 경간장에 대해 분석함으로써 각 변수에 대한 상태등급영향을 살펴보았다.
- vi) 제안된 상태등급모델을 통하여 공용수명간 각 부재의 유지관리조치시기를 예상함으로써 교량에 대한 합리적인 예방적 유지관리조치 수행을 지원할 수 있다.
- vii) 주요 교량별 부재별 생애주기 성능이력 회귀분석 결과는 실무자들의 부재별 상태등급저하에 의한 유지관리 조치시기 예측 및 유지관리조치에 따른 비용발생을 예측함으로써 LCC산정에 도움을 줄 수 있다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원 (2005), 강교량의 최적설계와 경제적 유지관리를 위한 Life Cycle Cost 분석 기법 및 시스템 개발.
2. 시설안전기술공단 (2000), 도로교의 공용수명 연장방안 연구.
3. 시설안전기술공단 (2000), 시설물의 상태평가 기준정립 (교량).
4. 안영기 (2003), 교량의 생애주기비용산정을 위한 열화예측모델에 관한 연구
5. 이승준 (2004), 응답면기법에 의한 구조물의 신뢰성 해석
6. Achintya Haldar (2000), Probability, Reliability, and Statistical Methods in Engineering Design.
7. Frangopol, D.M., Lin, K.Y. (1997), Life-Cycle Cost Design of Deterioration Structures.
8. George E. Ramey (1997), Bridge Deterioration Rates and Durability/Longevity Performance, Practice Periodical on Structural Design and Construction
9. Matlab 7.4.0, Regression Toolbox, Optimization Toolbox

Abstract

Service life of bridges should be evaluated by physical life considering damage/deterioration. But it is difficult to identify optimal maintenance scenario due to insufficient research related to that. To identify optimal maintenance scenario, it is needed to develop life cycle profile model of condition state variation by deterioration factor. The LCP model has been developed in consideration of regression analysis and survey in this study. It is expected that the LCP model could help to achieve HBMS system improvement.

Keywords : LCP, HBMS, LCC, Condition state variation, Maintenance