[UCI]I804:24011-200000234319

2007年 8月
碩士學位論文

RC교량의 외관상태지수가 내하력에 미치는 영향

朝 鮮 大 學 校 大學院

土 木 工 學 科

金 鉉 洙

2007年 8月
碩士學位論文

RC교량의 외관상태지수가 내하력에 미치는 영향

The Influence of RC Bridge's Outward Condition Index on the LCCD

2007年 8月 日

朝 鮮 大 學 校 大學院

土 木 工 學 科

金 鉉 洙

RC교량의 외관상태지수가 내하력에 미치는 영향

指導敎授　朴　吉　鉉

이 論文을 工學碩士學位 論文으로 提出함.

*2007*年　*8*月　　日

朝 鮮 大 學 校 大學院

土 木 工 學 科

金　鉉　洙

李汪載의 碩士學位論文을 認准함.

委員長 朝鮮大學校 敎授 _____印

委　員 朝鮮大學校 敎授 _____印

委　員 朝鮮大學校 敎授 _____印

*2007*年　*8*月　　日

朝 鮮 大 學 校　大 學 院

목 차

ABSTRACT

제 *1* 장 서 론 ····· *1*

제 *2* 장 이론적 배경 ····· *3*

2.1 계층분석의 개념 ····· *3*

2.1.1 AHP 모델의 특성 ····· *3*

2.1.2 의사 결정순서 ····· *4*

2.1.3 계층구조의 결정 ····· *5*

2.1.4 분석과정 ····· *6*

2.2 내하력 평가 ····· *12*

2.2.1 허용응력 설계법에 의한 내하력 평가 ····· *13*

2.2.2 강도 설계법에 의한 내하력 평가 ····· *15*

제 *3* 장 *AHP*에 의한 외관상태평가 ····· *17*

3.1 평가항목의 선정 및 정형화. ····· *17*

3.1.1 평가항목의 선정 ····· *17*

3.1.2 평가항목의 정형화 ····· *17*

*3.2 AHP*에 의한 상태평가시스템의 구성 및 구현 ····· *27*

3.2.1 상태평가시스템의 구조 ····· *28*

3.2.2 평가항목의 중요도 ····· *29*

3.2.3 AHP에 의한 상태평가 ····· 33
3.3 누락자료에 의한 상태평가 시스템 ····· 35
3.3.1 누락자료 문제 ····· 35
3.3.2 중요도 재산정에 의한 누락자료 처리 ····· 36
3.4 사례적용 ····· 38
3.4.1 적용대상교량 ····· 38
3.4.2 적용 사례 ····· 40

제 4 장 분 석 ····· 52
4.1 AHP에 의한 외관상태지수 ····· 52
4.2 구조해석에 의한 내하력 평가 ····· 52
4.2.1 구조해석 ····· 54
4.2.2 응력 검토 ····· 54
4.2.3 내하력 평가 결과 ····· 56
4.3 SPSS를 이용한 통계분석 ····· 60
4.3.1 상관 분석 ····· 60
4.3.2 회귀 분석 ····· 60

제 5 장 결 론 ····· 65

참고문헌 ····· 66

표 목 차

표 2.1 이원 비교시 중요도의 척도 ····· 7
표 2.2 이원 비교 행열 ····· 8
표 2.3 평균무작위지수 ····· 10
표 2.4 응력보정계수 K_s ····· 14
표 2.5 노면상태에 따른 보정계수 ····· 14
표 3.1 아스팔트 포장의 상태평가 기준 ····· 18
표 3.2 콘크리트 포장의 상태평가 기준 ····· 19
표 3.3 배수시설의 상태평가 기준 ····· 20
표 3.4 난간 및 연석의 상태평가 기준 (강재) ····· 20
표 3.5 난간 및 연석의 상태평가 기준 (콘크리트) ····· 21
표 3.6 콘크리트 바닥판의 상태평가 기준 ····· 22
표 3.7 신축이음장치 본체의 상태평가 기준 (고무형) ····· 23
표 3.8 신축이음장치 본체의 상태평가 기준 (강재형) ····· 24
표 3.9 신축이음장치 후타설재의 상태평가 기준 ····· 25
표 3.10 받침장치의 상태평가 기준 (강재) ····· 25
표 3.11 받침장치의 상태평가 기준 (고무재) ····· 26
표 3.12 AHP 작성 ····· 30
표 3.13 AHP에 의한 상태평가 예제 ····· 34
표 3.14 특정항목 누락시 AHP에 의한 상태평가 예제 ····· 37
표 3.15 시스템 적용 대상 교량 ····· 39
표 4.1 AHP에 의한 외관상태지수 ····· 52
표 4.2 교량별 내하력 평가 결과 ····· 59
표 4.3 교량별 내하력 감소율 ····· 59
표 4.4 외관상태지수에 따른 내하력감소율 ····· 60
표 4.5 외관상태지수에 내하력 감소율 의한 상관분석 ····· 61
표 4.6 균열 발생 처짐비와 균열밀도 회귀식의 적합성 검증 ····· 63

그 림 목 차

그림 2.1 AHP 계층도 ····· 5
그림 2.2 K_m 산정 도표 ····· 16
그림 3.1 상태평가 시스템의 일반적인 평가과정 ····· 27
그림 3.2 상태평가 시스템의 전체적인 상태 평가 과정 ····· 28
그림 4.1 RC 슬래브 교량의 격자 모델링 모형의 예 ····· 54
그림 4.2 단철근 직사각형 보 ····· 55
그림 4.3 AHP에 의한 외관상태지수와 내하력감소율의 회귀 곡선추정 ····· 63

ABSTRACT

The Influence of RC bridge's Outward Condition Evaluation on the LCCD

Kim, hyun-soo
Advisor : Prof. Park, Kil-Hyun, Ph.D.
Department of Civil Engineering,
Graduate School of Chosun University

In a regularly intervaled check service, sight checking may not be the best way to check internal problems, but it is a very fit process to examine objectively in a economical point of view. Since sight checking is limited by its quality and quantity, it is necessary to use the small numbers of uncertainties in many different points with our instinct and experiences. Since sight checking is limited by its quality and quantity, it is necessary to use the small numbers of uncertainties in many different points with our instinct and experiences. Because of these certain situations, the condition and the reliability have been evaluated by professional instinct and scientific decisions. Properties of the selected items were standardized with reference to the existing research results and actual data. As for the item that is difficult to represent quantitatively, word variable of the Analytic Hierarchy Process was introduced and standardized so that the objectivity of the

subjective valuation was acquired. Results from this study are as followed. It is possible to acquire very reliable appraisal results of the reinforced concrete bridges according to the Analytic Hierarchy Process defined in this study. Result from this study can be applied practically through the application and analysis of the appraisal technique and the procedure with actual data. Verification through the practical uses and improvements are required for the development in this field.

제 1 장 서 론

현재 국내에서는 시설물의 내구년한에 관한 특별한 규정이 없지만, 대부분의 철근 콘크리트 교량 구조물은 50년 이상 장기간 공용될 수 있도록 건설되는 것이 일반적이다. 그러나 산업의 고도성장과 더불어 교통량의 증가, 차량의 대형화, 고속화, 기상 및 환경조건의 변화, 설계 및 시공의 엄밀성 결여, 유지관리 소홀 등으로 인하여 내하력이 감소하게 되어 안전성 및 사용성에 심각한 문제점을 초래하고 있으며, 심지어 교량이 20년만에 재가설 되거나 폐쇄 또는 붕괴되는 사례도 있다. 이러한 짧은 기간에 교량 구조물의 안정성을 위협하는 내구성 저하에 대한 문제가 대두됨에 따라 수명예측을 비롯한 내하력 평가 및 유지관리의 중요성이 부각되고 있는 실정이다.

일반적으로 콘크리트 구조물은 반영구적이며 내구성이 우수한 것으로 인식되어 왔으며, 실제로 수십년이 경과한 구조물이 아직 건재한 것이 많다. 그러나 콘크리트 구조물은 장기간 사용되는 동안에 여러 가지 요인에 의하여 콘크리트나 철근의 재료 및 구조체에 크고 작은 변질, 열화가 생기고 손상이 진행되어 가고있다. 콘크리트 구조물에 있어서 이러한 손상이 사용에 지장을 주거나 큰 사고로 직결된다고는 말할 수 없으나 구조물의 안전성 또는 내하력 감소에 크게 영향을 미치게 된다.

이와 같은 교량 구조물의 내하력 감소의 원인은 매우 많으며 보통 이들의 인자가 서로 복잡하게 연결되어 있으므로 콘크리트 구조물의 손상과 인자와의 관계를 명확히 밝히기 어려운 경우가 많다. 콘크리트 구조물이 내하력 감소에 영향을 미치는 인자는 구조물의 현장위치 및 외적작용이 원인이 되는 외부로부터의 충격, 지반 조건, 외부 환경에 의한 성능저하와 구조물 자체의 콘크리트 내부에서 발생되는 균열, 알칼리 골재 반응, 동결 융해, 염해, 중성화 및 피로 등에 의한 내적 요인이 있으며 교량 구조물의 내하력 감소의 기본적인 원인으로는 균열 및 균열에 의한 누수, 변형, 외관손상을 초래하며 이러한 열화는 철근과 콘크리트 일체성과 부착강도의 저하, 콘크리트의 중성화 및 철근의 부식 등으로 인하여 내하력을 감소시킨다.

우리나라의 경우 시설물의 안전관리에 관한 특별법 및 동법 시행령·시행규칙에 따

라 일정규모 이상의 구조물에 대해 초기점검, 정기점검, 정밀점검, 정밀안전진단, 긴급점검 등의 안전관리 행위를 정기적으로 시행하도록 규정되어 있다.

안전관리 행위 중 6개월 간격으로 실시하도록 되어 있는 정기점검은 육안점검에 의해 수행되는 가장 기본적인 안전관리 행위로서 점검결과 교량의 기능적 상태가 현재의 사용요건을 충족하지 못하는 경우에는 신속하게 보수계획 및 대책을 강구함으로써 내구성 향상과 이를 통한 교량의 수명연장을 꾀할 수 있으며, 중대한 이상이 발견되어 안전성에 침해가 있다고 판단되는 경우에는 정밀점검이나 정밀안전진단 등의 상위수준의 진단을 조속히 실시함으로써 효율적인 유지관리를 도모할 수 있다.

정기점검 단계에서 주로 의존하는 육안점검은 구조물에 내재한 결함을 평가하기에는 충분하지 않지만, 신속한 점검 및 경제적인 관점에서 보았을 때 구조물의 상태에 대한 객관적인 평가를 위한 가장 포괄적이고 합당한 방법이라 할 수 있다. 그러나, 육안점검으로부터 얻을 수 있는 자료는 양과 질에 있어 충분하지 못하므로 활용 가능한 소수의 불확실한 자료를 여러 측면에서 검토하고 직관과 경험을 살려 평가를 수행할 필요가 있다. 이러한 현실적인 상황에 의해 구조물의 상태 및 신뢰성 평가는 경험이 풍부한 전문가의 직감과 공학적 판단에 의존하여 주로 수행되어 왔다.

이러한 상황을 고려하여 본 논문에서는 철근콘크리트 교량에 대하여 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침상의 정기점검 단계의 점검자료와 점검 이력자료를 바탕으로 AHP개념에 기반하여 교량의 외관상태지수를 산정하여 외관상태지수와 내하력과의 관계를 통계·분석하여 RC슬래브 교량의 외관상태지수에 따른 교량의 전반적인 내하력을 예측하고자 한다.

더 나아가 외관상태지수를 통하여 교량의 전반적인 내하력 평가를 할수 있으므로 교량의 수시점검을 통하여, 정밀 안전 진단의 시기를 판단 할 수 있으며, 저렴한 유지관리 비용, 교량의 노후도 평가 및 안전도 평가에 중요한 자료가 된다.

제 2 장 이론적 배경

2.1 계층분석방법(Analytic Hierarchy Process)

2.1.1 AHP 모델의 특성

AHP는 미국 펜실베니아 대학의 사티(Thomas L. Saaty)교수가 창안한 의사결정 방법이다. 이 기법은 원인-결과모형이나 계량적 접근이 어려운 분야의 의사결정을 하는 경우 경험을 조직화, 구조화 및 체계화하여 평가 요소의 가중치를 설정하는 방법론으로 의사결정단계에서 수학적 모델로 접합 시키도록 고안한 계층화 의사 결정법이다.

계층분석기법은 문제의 해결에 있어서 문제의 요소를 최종목적 평가기준 및 대체안의 계층구조로 만들어 최종목표에서 보아 평가기준의 중요도를 구하고 그 다음 각 평가기준에서 보아 대체안의 중요도를 측정한 후, 이 최종목표에서 대체안의 평가치를 환산한 결과로서 판단을 하는 정량화 의사결정기법이라고 할수 있다. AHP 방법의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

동일한 상부구조의 도입으로 종합성적의 일관성 유지를 도모할 수 있고 지표간의 중첩효과를 고려해 줄 수 있으며 가중치 설치에 관계되는 사람이 모두 참여할 수 있게 됨으로써 일방적인 부여를 피할 수 있으며 복잡한 Network에서 서로 다른 여러 종류의 함수적 관계를 양적으로 다룰 수 있는 실제적 방법이다.

Hard data를 감지할 수 없는 요소들에 대한 주관적 판단을 종합시킬 수 있으며 관련 부문 사람들의 판단을 종합하고 그들 사이의 대립되는 사항을 해결 할 수 있다.

미래를 투영하고 위험과 불확실로부터의 방어를 위한 다양한 체제의 단일 지배치가 가능하고 목표의 동적 구성형태 방안을 진단하고 조직적인 수행지도를 위한 수단을 제공한 다는 점이다. 가중치 설정작업에 소요되는 기간이 길며 영향요인의 구조화 작업이 매우 어렵다는 점이다.

2.1.2 의사 결정순서

AHP 이용하여 의사 결정을 하는 순서를 살펴보면 다음과 같다

1) 문제를 분석할 때에는 계층도를 먼저 그린다.

2) 계층도의 각 수준 요소를 앞 단계 수준 요소의 각 요소에서 보아 개별 비교를 하고 행열 만든다.

3) 각 개별비교의 행열에서 요소의 각 가중치의 일관성(Consistency Index: C.I)을 계산하여 C.I가 클 때는 둘째의 비교판단을 다시 해볼 필요가 있다.

4) 개별비교의 결과에서 가중치를 합성하여 평가기준에서 보아 대체안의 통합지중을 구한다.

5) 이 계산에서 얻은 결과 중 가중치가 큰 것을 선택한다. 그 외에 예산분배 등의 경우 가중치나 계층도를 면밀히 되풀이 수행하며 검토한다.

2.1.3 계층구조의 결정

AHP를 이용하여 의사 결정을 할 때는 다음 그림2.1과 같이 최종목표, 평가 기준 및 대체안으로 계층도를 만든다.

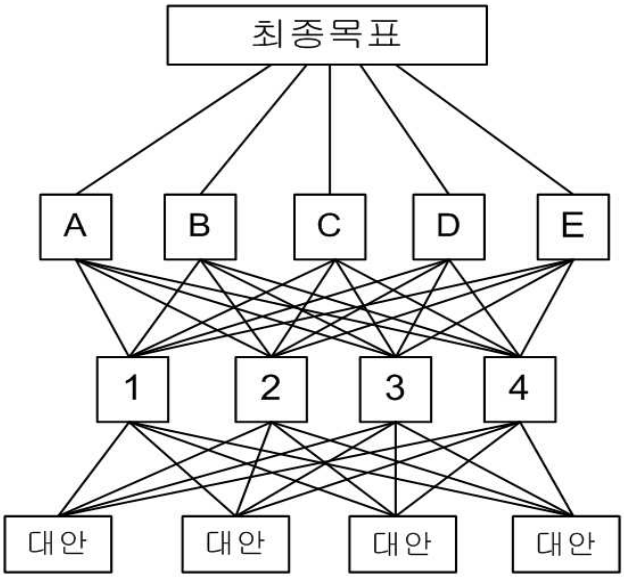

그림*2.1 AHP* 계층도

계층도의 작성시에는 먼저 최종목표를 나타내고 그 밑에 문제해결의 대체안을 선택하기 위한 평가기준을 옆으로 나열한 다음 위 최종목표와 선을 연결한다. 그리고 그 밑에 나열하여 평가기준의 각 요소를 선으로 연결한다. 그림에서처럼 4개의 층을 수준으로 하고 Level 1,2,3,4 라고 부르며 여기서 평가기준이 다시금 세부적으로 나누어질 수도 있다.

수준 2이하의 요소의 수는 보통 7±2개 정도까지 둘 수 있으며 그 수가 많게 되면 요소상호간에 판단이 어려워지는데 이것은 같은 수준의 요소만 생길 뿐 독립성 있는 요소가 생기기 어렵기 때문이다.

계층은 구조적인 것과 기능적인 것 2가지 종류로 나눌 수 있다. 구조적 계층에서는 그의 구조적 특성에 따라 내림차순으로 그들의 구성부분 안에 구조화 되며, 기능적 계층은 복잡한 시스템을 그들의 본질적인 관련성에 따라 구성 부분으로 분해한 것이다. 계층구조에 있어서 수준의 수에는 제한이 없다. 최상이 수준은 전체적인 목적(또는 목표)을 나태 내며 최하위 수준 1은 중간 요소 상에서 그들의 영향을 통하여 주목적에 긍정적으로 또는 부정적으로 기여할 것인가 하는 최종적인 수단이나 대체적인 계획을 포함하여, 분야의 수는 보통 5~9개이다.

이러한 계층은 의사결정이 필요한 어떤 문제에 있어서 여러 요소들간의 상호 의존성이 그래픽으로 설명되며, 관련 요소들을 분석하고, 요소 상호간 또는 전체 시스템에의 관련성을 표시해 줌으로써 모든 요소들의 상대적인 중요성을 판단하게 해 준다.

2.1.4 분석과정

1) 이원비교

AHP 계층도(AHP구조)가 결정되면 각 기능들의 상위목적을 달성하는데 있어서 얼마만큼의 중요도를 갖는지를 설문을 통하여 조사하고, 각 계층의 AHP 프로그램으로 차례 차례 계산되어 최종적 목표를 달성하는데 있어서 최종지표가 갖는 우선순위를 알아볼 수 있게 한다.

즉 수준 1의 최종목표를 달성하기 위하여는 먼저 어떤 안을 선택할 것인가를 표2.1에서와 같이 각 요소간 가중치를 구한다. 이 가중치의 결정방법에 AHP의 최대의 특징이 있다.

표 *2.1* 이원 비교시 중요도의 척도

척도	정의	언어적 표현
1	동등하게 비교(equally)	요인간 중요도가 무차별한 경우
3	약간 중요(slightly)	요인간 중요도에 약간의 차이가 있다고 판단되는 경우
5	매우 중요(strongly)	요인간 중요도 차이가 상당하다고 판단되는 경우
7	확실히 중요(certainly)	어느 한 요인이 확실하게 중요하다 고판단되는 경우
9	절대적 중요(absolutely)	어느 한 요인이 절대적으로 중요하다 고 판단되는 경우
2,4,6,8	1,3,5,7,9 척도들의 중간척도에 해당	
위 척도의 역수	역 비교시 판단자의 일관성 존재를 가정하기 위한 척도	

이 방법의 각 수준의 비중을 한번에 전체 비교하여 결정하기가 어렵기 때문에 각 요소를 서로 하나씩 차례로 개별 비교를 실시한다.

의사결정자에게“요소 i는 요소 j에 비교하여 얼마정도 중요한가?”를 물어 그 반응을 표 2.2에서 나타난 수치 a_{ij}를 가입하고 X_{xn} 행 열 $A=[a_{ij}]$를 만든다. 이때 표 2.1에서 ‘중요하다’라는 표현은 상황에 따라 ‘가능성이 있다.’등으로 바꾸어 나타낼 수도 있다.

그리고 $a_{ii}=1$, $a_{ji}=a_{ij}$이라고 가정한다. 또한 위에서 n개의 요소가 있다면 이때 비교되는 개수는 $n(n-1)/2$가 성립되고 행열 A가 생긴다.

표*2.2* 이원 비교 행열

	A	B	C	D	E
A	1	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}
B	a_{21}	1	a_{23}	a_{24}	a_{25}
C	a_{31}	a_{32}	1	a_{34}	a_{35}
D	a_{41}	a_{42}	a_{43}	1	a_{45}
E	a_{51}	a_{52}	a_{53}	a_{54}	1

이 행렬에 대해 n개 요소의 가중치를 wr=(w1,w2,⋯,wn) 라하고 W_i/W_j를 aij로 추정하며 행렬 A의 요소 aij를 W_i/W_j 에 두고 역을 취하여 구한 w를 오른쪽부터 곱하면

$$\mathrm{A}_w = \begin{pmatrix} 1 & w_1/w_2 & w_1/w_3 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & 1 & w_2/w_3 & \cdots & w_2/w_n \\ w_3/w_1 & w_3/w_2 & 1 & \cdots & w_3/w_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & w_n/w_3 & & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix}$$

$$= n\ (w_1,\ w_2,\ w_3,\ \cdots\cdots,\ w_n)^T = nw$$

혹은 $(A - nI)w = 0$ 이고 n는 선형대수에서 고유치 λ값과 같고 w는 이에 대해 고유 Vector이다.

또한 λ=(A의 대각선 요소의 합)= n 이므로 $(A - nI)w$ 가 0이 아닌 유일한 λ를 $\lambda_{\max}$에 대한 고유 Vector w를 가중치라 한다. AHP에서 개별비교를 할때에는 관계자가 모여서 행동하는 것이 좋은데 이때 비교를 많은 사람들이 할 때에는 의논을 통하여 값을 정하기도 하고 다수결에 의해서 하기도 하며, 지위나 책임에 각자의 점수를 부과하기도 하는데 Saaty의 경우는 기하평균을 취하여 비교하는 것이 편리하다고 하였다. 예를 들면 2명의 개별비교 값이 6,5,3,3이 나왔다면 6,5,3,3=4.1로 하는 방법인데 이것은

대칭이 되는 가치의 값이 기하평균이 되는 원리이다.

이상과 같은 방법으로 수준 2의 각 요소별 가중치가 산출되고 이것이 평가 기준에 대한 비중이 되면서 수준 3과 다시 가중치를 비교 산출하는데 이에 이때 수준 2의 각 요소와 수준 3의 각 요소별로 행렬 값을 각각 구하여 그것으로 다시 종합 행렬식을 만들어 수준 2에서 산출되었던 값을 행렬계산을 하면 최종목표설정을 위한 대체 안이 산출된다.

2) 일관성 검정

비일관성의 문제는 이원비교에 의한 판단요소가 정성적으로 표현될 수밖에 없어 비교결과가 판단자의 주관에 의해 결정되는 경우에 발생한다. 이러한 비일관성의 문제를 검토하기 위해서 고유행렬벡터, 최대 고유행렬값, 일관성 지수, 무작위 지수, 일관성 비율 등의 개념이 사용된다.

이하에서는 이러한 개념들에 대해 살펴보고 일관성 검정절차를 간략히 살펴보도록 한다.

고유 행렬 값은 이원비교 측정값의 신뢰도를 나타내는 것으로 일관성에서 벗어나는 정도를 측정함으로써 행렬의 상대적 일관성을 검정하는데 사용된다. 최대 고유 행렬값은 일관성의 측정치를 제공하는데 이 값은 가중치가 무작위로 기대되는 것보다 큰가를 확인하는데 사용된다.

일관성지수(consistency index) 는 최대 고유 행렬 값과 각 단계별 이원 비교 요소의 개수(n)에 대한 함수로서,

$$C.I = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{n-1} \qquad (2.1)$$

여기서, $\lambda_{\max}$: 이원비교 행렬의 최대 아이겐 값

n : 이원비교의 개수

$C.I$: 일관성 지수 (consistency index)

로 표현되는데, 계층분석과정을 개발한 사타는 일관성비율(consistency ratio, C.R)에 의해서 각 단계별 의사 결정 요소들에 대한 주관적 쌍비교 결과, 즉 쌍비교 행렬에 대한 일관성을 검정할 수 있음을 밝혔다. 일관성 비율은 일관성지표(C.I)의 값이 10% 이내인 경우에만 쌍비교시의 서수적 순위에 무리가 없는 신뢰할 수 있는 결과라고 하였다. 여기서 일관성 비율은 다음 식

$$C.R = \frac{C.I.}{R.I.} \tag{2.2}$$

여기서, $C.R$: 일관성 비율

RI : 무작위지수

$C.I$: 일관성지수

으로 계산된다. 한편 여기서 사용되는 무작위지수(R.I.)는 다음 표 2.3과 같이 경험적으로 계산될 수 있다고 알려져 있는데, 주어진 쌍비교 대상요소의 개수에 따라서 다음과 같이 무작위지수의 값이 주어진다.

표*2.3* 평균무작위지수

행렬의 차원(쌍비교 요소의 개수)	무작위 지수(R.I)
2	0.00
3	0.58
4	0.90
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41
9	1.45
10	1.51
원자료:T.L Saaty& L.G> Vargas, "The logic of priorities" Kluwer-Nijhoff publishing, 1982	

무작위지수(R.I)는 경험적 실험자료로부터 얻어진 기대값으로 1부터 9까지의 정수들을 무작위 추출하여 쌍비교 행렬을 작성한 후 이러한 무작위수치를 가지고 일관성지수 산식에 의해 계산된 지수를 말한다.

만약 일관성 비율이 10% 이상 이라면 새로운 쌍비교 행렬을 작성하는 등의 조정절차를 거쳐야 한다. 전문가들로부터의 쌍비교 자료를 수집하는 경우 대체적으로 일관성이 존재하겠지만, 그렇지 않은 경우 전문가의 기존 평가를 무시하고 새로운 평가를 재요구하는 것은 현실적 문제점으로 지적된다.

2.2 내하력 평가

교량의 내하력 평가는 교량을 구성하는 상부구조, 하부구조, 기초 등 주요구조 부재의 정밀 육안 검사, 비파괴 현장시험 및 재료시험의 결과를 토대로 종합적으로 이루어져야 한다.

일반적으로 교량은 준공되어 사용되면서 하중조건의 변동, 환경조건의 적용, 시간 종속적인 변화 등으로 지속적인 열화가 진행된다. 특히 중차량의 통과는 구조물의 손상을 가중시키며 노후화를 가속시키는 결정적인 원인으로 대두됨에 따라 교통량과 하중에 대한 효율적인 제한의 필요성이 교량의 안전도 확보 측면에서 대단히 중요하게 된다. 내하력 및 내구성의 조사와 측정은 이미 열화손상이 현저하게 진행된 교량에서는 열화손상의 정도 및 그 원인을 조사하여 보수의 여부를 판정하고, 아직 열화손상이 현저하지 않는 구조물에서는 장래의 열화손상 경향을 예측하고 예방대책을 검토하기 위한 자료를 얻기 위하여 행하는 것으로서 필요에 따라 단순진단에서 상세 진단에 이르기까지 단계별로 체계적으로 수행되어야 한다. 안전진단의 결과를 토대로 한 교량의 내하력 평가는 열화손상 구조물의 보수, 보강의 방침 및 대책을 수립한다는 관점에서 교량의 유지관리체계의 핵이 되는 주요분야로서 그 기법의 합리성 및 결과의 신뢰도가 중요한 문제로 대두된다. 현재 사용되고 있는 교량의 내하력 평가기법은 공용하중에 대한 내하율을 구하기 위한 허용 응력법이나 강도 설계법에 의한 방법으로 대별될 수 있다.

교량 구조물의 내하력 평가방법으로는 허용 응력법과 강도 설계법을 동시에 사용함으로써 두 방법의 결과를 서로 비교·보완하여야 한다. 교량 구조물에 대한 실제적인 내하력 평가를 위하여 재하 시험을 수행한 경우에는 재하시험 결과를 이용하여 이론에 의한 내하력을 보정하고, 교량 구조물의 내하력은 교량구성 부재에 대하여 각각 산정 된 내하력의 최소값에 의해 결정되며 최소 공용 내하력을 평가하여 총 중량을 산출할 수가 있다.

2.2.1 허용응력 설계법에 의한 내하력 평가

허용응력 설계법에 의한 교량 구조물의 내하율 산정시에 하중조합으로는 D+L(1+i)를 사용하므로 하중계수는 각각 1.0이 된다. 사용재료의 허용 응력은 강재의 경우 사용재료에 따른 항복응력, 부재의 종류에 따라 결정한다. 사하중과 활하중에 의한 응력은 대상 부재 단면에 있어서 철근 및 강재 부식, 콘크리트의 중성화, 염해, 동결 융해 등에 의한 강도저하와 단면손실 등을 고려하여 계산한다. 이때 사하중은 현재 교량에 작용하고 있는 모든 사하중을 가능한 한 정확히 고려한다. 그리고, 활하중은 현행 도로교 표준시방서의 설계 활하중을 사용한다. 허용응력 개념에 의한 내하율은 강부재의 내하력 산정시 사용하는 것이 바람직하다.

기본 내하력은 교량의 현재 강도를 나타내는 값이므로 응력계산에 있어서 부식 등에 의한 단면 감소가 있을 경우 이를 고려하여 계산하여야 한다.

허용응력 설계법에 의한 교량 구조물의 기본 내하력은 다음 식으로 계산한다.

$$\text{기본 내하력}(P) = DB\text{하중} \times \frac{f_a - f_d}{f_l(1+i)} \qquad (2.3)$$

여기서, f_a = 실측 허용응력

f_d = 실측 사하중에 의한 응력

$f_l(1+i)$ = 충격을 고려한 하중에 의해 계산된 응력(DB하중)

위의 기본 내하력은 단순히 해석만을 위한 허용최대하중을 의미하는 것이며, 교량의 노후도, 노면 및 교량상태 등의 기타사항 등을 고려하지 않은 것이다. 따라서 이들 인자의 영향을 고려할 경우의 내하력을 공용 내하력이라 한다. 허용응력 설계법에 의한 교량 구조물의 공용 내하력은 다음 식으로 계산한다.

공용 내하력$(P_n) = K_s \times K_r \times K_t \times K_o \times P$ (2.4)

여기서, $K_s = \frac{\varepsilon_{이론값}}{\varepsilon_{실험값}} \cdot \frac{1+i_{이론값}}{1+i_{실험값}}$: 응력 보정계수

K_r = 노면상태에 따른 보정계수

K_t = 교통상태에 따른 보정계수

K_o = 기타조건에 의한 보정계수

표 *2.4* 응력보정계수 K_s

구 분	부 재	K_s
주 형	주 형	1.2
상 판	Slab	1.2
	가로·세로보	1.6

표 *2.5* 노면상태에 따른 보정계수

노 면 상 태	K_r
약간의 요철이 있는 상태	1.00
포장에 다소의 박리가 있고 차량통과시 약간의 진동이 있는 경우	0.95
포장에 박리가 심하고 그 부분에서 차량통과시 차체에 진동이 많은 경우	0.90
포장 파손이 심하여 차량 통과시 차체의 진동이 극심한 경우	0.85

2.2.2 강도설계법에 의한 내하력 평가

강도설계법에 의한 교량 구조물의 내하율 산정시 하중조합으로는 1.3D+2.15L를 사용하므로 하중계수는 각각 1.3, 2.15가 된다. 단면강도는 단면의 현재상태, 즉 재료의 강도와 단면손실 등을 고려하여 도로교 표준시방서의 공칭강도와 강도 감소계수에 따라 계산한다. 교량 설계시의 부재의 강도 감소계수는 부재강도의 산정에 있어서 재료강도에 대한 불확실성, 설계와 시공단면의 오차 등을 고려하는 계수이나 내하력 평가시에는 그러한 불확실성은 상당히 감소하므로 오히려 공용중에 부재단면의 손상 정도에 따라 결정되어야 한다. 그러나 부재단면의 손상정도를 정량적으로 평가하기가 어려우므로 공칭강도의 산정시는 교량의 현재상태에 따른 단면감소와 재료강도를 고려하고, 강도 감소계수는 설계시의 값을 그대로 사용한다. 사하중과 활하중에 의한 단면력은 현재 작용하고 있는 사하중과 현행 도로교 표준시방서의 설계 활하중(DB하중)을 사용하며 구조해석을 통하여 구한다. 강도설계법에 의한 내하율은 콘크리트 부재의 내하력 산정시 사용하는 것이 바람직하다.

$$\text{내하율}(RF) = \frac{\Psi M_n - \gamma_d M_d}{\gamma_l M_l (1+i)} \qquad (2.5)$$

여기서 ΨM_n : 극한 저항 모멘트 (ψ = 0.85)

M_d : 실측 사하중 모멘트

M_l : 구조해석을 통하여 얻은 설계 활하중에 의한 모멘트(DB하중)

γ_l : 활하중 계수 = 2.15

γ_d : 사하중 계수 = 1.30

i : 충격계수

강도 설계법에 의한 교량부재의 공용 내하력은 다음 식으로 계산한다.

$$\text{공용 내하력}(P) = \frac{K_s}{K_m} \times RF \times P_r \qquad (2.6)$$

여기서, $K_s =$ 응력보정계수 $= \frac{\varepsilon_{\text{이론치}}}{\varepsilon_{\text{실험치}}} \cdot \frac{1+i_{\text{이론치}}}{1+i_{\text{실험치}}}$

$K_m =$ 공용년수, 활하중 동시재하확률, 교통량, 차선수 등의 보정계수

$P_r =$ 설계 활하중(DB 하중)

$Pb =$ 동시재하 확률 $= T_p = \frac{\lambda_1 n_2 + \lambda_2 n_1}{n_1 + n_2}$

$T_p =$ 차량의 1경간 평균통과시간(초) $= 3.6 \times \frac{\text{경간장}\ (m)}{\text{차량주행속도}\ (km/h)}$

$\lambda_1 =$ 상행선의 차량 통과율(대/초) $= n_1(24 \times 3,600)$

$\lambda_2 =$ 하행선의 차량 통과율(대/초) $= n_2(24 \times 3,600)$

$n_1, n_2 =$ 상・하행선의 평균 1일 교통량(대)

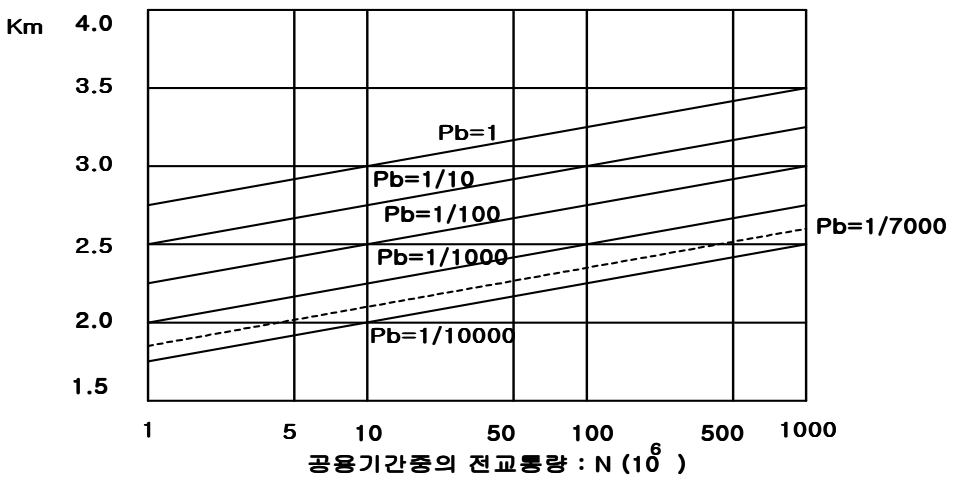

그림 2.2 K_m 산정 도표

제 3 장 AHP에 의한 외관상태평가

3.1 평가항목의 선정 및 정형화

3.1.1 평가항목의 선정

본 연구에서는 정기점검 단계의 점검결과와 이에 대한 이력정보로부터 교량 상부구조물의 현상태를 평가하기 위한 시스템 구성을 목적으로 하였으며, 이에 합당한 평가항목은 특별한 시험이나 장기간의 검토를 유하지 않는 범위에서 세밀한 육안조사에 의해 조사 가능한 기본적인 항목으로서 특별법 상의 정기점검 단계의 점검항목을 중심으로 선정하였다.

또한 상태평가를 위한 평가항목들은 교량유지관리시설물의 안전관리에 관한 특별법에 의해 바닥판하면의 균열과 백태, 교면포장, 배수시설, 난간・연석, 신축이음으로 여섯가지로 선정하였다.

3.1.2 평가항목의 정형화

안전관리행위의 결과의 전산화 및 데이터 분석을 통한 상태평가 및 예측을 위해서는 평가항목의 선정 및 각 평가항목의 정량적인 정형화 과정이 필수적이다. 본 연구에서는 앞 절에서 선정한 평가항목에 대해 이들의 속성을 기존의 연구결과, 규준상의 제한 및 안전진단 실무자료를 참고하여 평가지수로 정량화 하였다.

평가지수란 기존교량을 준공시의 상태와 비교하여 기술하는 것으로서 정확한 평가지수를 산정하기 위하여 평가부위의 노후화 및 파손의 정도뿐만 아니라 그 발생원인과 평가부위 주위의 전반적인 상태를 고려하여 구조물 전체에 미치는 영향도를 평가하여야 한다. 상태평가는 손상의 범위 및 정도에 따라 A(0.9), B(0.7), C(0.5), D(0.3), E(0.1)의 5가지로 등급으로 하였다.

(1) 교면포장

점검은 노면의 상태, 포장의 파손되는 모양, 파손원인을 파악하기 위한 것으로 전에

기록한 손상을 참고로 하여 진행여부를 판단한다. 교량 노면 위에서의 장비에 의한 점검은 일반적으로 교통량이 적은 시간이나 야간에 교통 규제를 실시하여 할 수 있고, 제약된 장소에서 제약된 시간내에 시행한다. 교면포장의 점검은 주로 포장체의 균열, 요철 및 단차, 함몰에 주안점을 둔다.

교면 포장에 사용되는 아스팔트 혼합물과 콘크리트는 재료적인 특성과 포장체 자체의 거동에서 상이한 면이 있으므로 아스팔트콘크리트 및 콘크리트 포장으로 구분하여 상태등급을 설정하였다. 그리고 상태등급을 적용할 때는 구분된 내용 중 한 가지에 해당되면 그 등급에 해당되는 것으로 한다.

아스팔트와 콘크리트 포장에 대한 상태평가 지수은 다음과 같다.

표 *3.1* 아스팔트 포장의 상태평가 기준

등급	균 열	요철, 단차	함 몰	평가지수
A	없음, 미세균열	없음	없음	0.9
B	일방향, 균열율 20%미만	없음	없음	0.7
C	균열율 20～30%	경미	부분적 얕은 함몰	0.5
D	거북등균열, 균열율 30% 이상	주행성 저하	깊이 30mm이상 함몰	0.3
E	거북등균열, 균열율 30% 이상	심한충격	전반적인 함몰, 탈락	0.1

균열율은 점검대상 면적(정기점검의 경우 한 경간의 교상면적, 정밀안전진단 육안점검의 경우 각 조사칸의 면적)에 대한 균열 발생 면적의 비율이다.

표 *3.2* 콘크리트 포장의 상태평가 기준

등급	균 열	요철, 단차	함 몰	평가지수
A	없음, 미세균열	없음	없음	0.9
B	0.3mm이하 다수발생	없음	없음	0.7
C	0.3mm이상 다수발생	부분적으로 발생	없음	0.5
D	0.3mm이상 다수발생	심화, 골재마모	부분적인 표면손상	0.3
E	0.3mm이상 다수발생		전반적인 표면파손	0.1

2) 배수시설

배수시설 점검시에는 다음 사항에 유의한다.

가. 배수구

- 뚜껑의 파손 유무
- 배수구 주위의 파손 유무

- 배수구의 설치 높이 상태
- 배수구의 설치 위치 상태
- 배수구 주변의 토사 퇴적 상태

나. 배수관

- 관의 파손 및 어긋남의 유무
- 관이 이물질에 의해 막혔는지의 유무
- 관 이음부의 파손 유무
- 지지 철물의 상태
- 배수관 길이 부족

표 *3.3* 배수시설의 상태평가 기준

등급	파손, 배수관 길이	누수, 체수	오 염	평가지수
A	양호	없음	없음	0.9
B	양호	다소의 퇴적물	없음	0.7
C	상태불량, 길이부족	퇴적물, 일시적인 체수	상판하면 부식	0.5
D	일부파손, 길이부족	많은 퇴적물, 누수	주구조물 부식 초기	0.3
E	파손	심한 누수와 체수	전반적인 부식	0.1

3) 난간 및 연석

난간부는 연속교의 경우 부모멘트가 최대로 작용하는 부위로 균열이 발생하기 쉽다.

난간부의 손상은 구조상으로 큰 중요도를 갖지는 않으나, 교량 외관상 보기가 흉하고 보행자에게 위험을 줄 수 있다. 특히 차량충돌 등 외부의 강한 하중에 의한 손상일 경우에는 상판에도 손상이 발생할 수 있으므로 주의 깊게 점검한다.

연석은 차량의 시선 유도, 차량의 차도이탈 방지, 사고시 완충작용 등의 역할을 하는 것으로서 난간의 점검시에 같이 조사를 행한다.

난간 점검시에는 재료에 따라 강재와 콘크리트로 구분한다. 난간 손상에 대한 상태판정 기준은 다음과 같다. 연석의 상태판정 기준은 콘크리트 난간의 경우와 같다.

표 *3.4* 난간 및 연석의 상태평가 기준 (강재)

등급	부 식	변 형	파 손	평가지수
A	없음	없음	없음	0.9
B	발생초기	국부적	없음	0.7
C	25% 이하	전반적	국부적	0.5
D	25%～40%	전반적	충돌에 의한 국부적	0.3
E	전반적	전반적	전반적	0.1

표 *3.5.* 난간 및 연석의 상태평가 기준 (콘크리트)

등급	균 열	박 리	파 손	철근노출	평가지수
A	없음	없음	없음	없음	0.7
B	0.3mm이하 다소발생	표면변색	없음	없음	0.5
C	0.3mm이상 다수발생	국부적	국부적	없음	0.3
D	0.3mm이상 다수발생	전반적	국부적	부분적, 부식 동반	0.5
E	0.3mm이상 다수발생	전반적	전반적	다수발생	0.1

4) 바닥판

가. 콘크리트

바닥판은 윤하중의 영향을 직접적으로 받는 부재이며, 바닥판은 한번 손상이 생기면 급속히 악화되므로 손상 상태를 정기적으로 조사, 점검하고 상황을 충분히 파악하여 손상이 발견되면 조기에 조치를 취하는 것이 중요하다.

바닥판의 점검은 일반적으로 사진이나 육안으로 점검한다. 그러나, 상세한 조사가 필요한 경우에는 공사용 비계나 점검차를 이용하여 균열의 밀도, 폭, 길이 및 철근 노출, 공동, 곰보 등을 조사하며 필요한 경우에는 슈미트 해머 등을 사용하여 콘크리트의 강도를 측정하도록 한다.

일반적으로 바닥판은 휨 모멘트에 대해 설계하고, 전단력은 고려하지 않는다. 따라서 균열이 없는 경우에는 충분한 내력이 있지만 균열이 생기면 전단력에 대한 내력의 저하 또는 휨내력의 저하가 진행되고 있는 상태이므로 충분히 주의한다.

바닥판의 균열폭은 0.1mm를 기준으로 하여 이상 여부를 판정토록 한다.

누수 및 백태현상은 균열과 연관되어 발생하는 현상으로 누수는 바닥판의 균열이 상하면을 관통하여 물이 스며드는 현상이며, 백태는 누수에 의하여 유리석회가 발생하는 현상을 말한다.

또한 점검시에는 다음 사항에 유의한다.

· 바닥판의 손상정도를 판단하는데 있어서 균열은 상당한 비중을 차지하므로 점검시

에는 단순히 균열모양을 관찰하는 것에 그치지 말고, 여러 상태에 대해 그 원인을 파악하고 그에 따른 적절한 조치방법을 수립할 수 있도록 주의 깊게 조사한다.

- 바닥판의 균열상황에 대해서는 정기적인 조사에 의해 진행상황을 파악하도록 한다. 그러기 위해서는 균열의 시점과 종점을 표시를 해 두는 것이 필요하다.
- 큰 균열일지라도 상당히 오래 전에 발생하여 안정된 것이 있는 반면에 미세균열일지라도 윤하중의 반복재하에 의해 점차 커지는 균열이 있으므로 균열 조사시에는 특별히 큰 균열에만 주목하지 말고 미세한 균열에도 주의한다.
- 조사시에는 가능한 한 바닥판 밑면에 접하여 점검한다.

콘크리트 바닥판 상태평가 기준은 다음과 같다.

표 *3.6* 콘크리트 바닥판의 상태평가 기준

등급	균 열		평가지수
	일방향 균열	이방향 균열	
A	없음, 0.1mm이하 부분적	없음	0.9
B	0.1～0.2mm 간헐적(30cm이하)	없음	0.7
C	0.1～0.2mm 길이 50cm이상 (20cm이하간격)	0.1～0.2mm 부분적	0.5
D	0.1～0.2mm 길이 50cm이상 (20cm이하간격)	0.2～0.3mm 망상균열 형태	0.3
E	0.4mm 이상 균열로 발전	0.2～0.3mm 망상균열 형태	0.1

등급	박 리	파 손	철근노출	평가지수
A	없음	없음	없음	0.9
B	없음	없음	없음	0.7
C	없음	국부적	없음	0.5
D	국부적	국부적	부분적, 부식동반	0.3
E	전반적	전반적	다수발생, 부식심화	0.1

등급	백 태	오 염	평가지수
A	없음, 보수 후 원상회복 상태 포함	없음	0.9
B	국부적 발생, 초기상태	없음	0.7
C	표면 전반에 얇은 백태	균열사이로 누수	0.5
D	균열 주변에 심한 백태	균열주변으로 누수 악화, 콘크리트 표면 부식	0.3
E	균열 주변에 심한 백태	균열 사이로 녹물이나 니토 발생, 부식에 의한 탈락	0.1

나. 강재

강재 바닥판 점검시에는 바닥판의 균열, 처짐, 변형 손상은 바닥판의 균열부에 기입하고, 표면상태 및 부식에 대한 손상은 바닥판 누수부에 기입한다.

5) 신축이음장치

가. 신축이음장치 본체

신축이음장치 본체의 손상원인 및 손상유형은 본체의 형식에 따라 상이하므로 각 형식에 따라 다음과 같이 상태등급을 적용한다.

표 *3.7* 신축이음장치 본체의 상태평가 기준 (고무형)

등급	누수, 오염	유 간	평가지수
A	없음	정상동작	0.9
B	없음	정상동작	0.7
C	물받이 파손으로 누수발생	유간사이 이물질로 기능 불량	0.5
D	누수로 인한 신축이음 하부 구조물 부식발생	유간이 폐쇄 혹은 비정상적으로 넓음	0.3
E	하부 구조물의 부식 심화	유간이 폐쇄 혹은 비정상적으로 넓음	0.1

등급	노 화	탈 락	평가지수
A	없음	없음	0.9
B	고무판 노화	없음	0.7
C	물받이 고무의 부분파손	없음	0.5
D	고무판 균열	볼트 또는 너트의 부분탈락	0.3
E	고무판 파손	신축이음 본체 탈락	0.1

표 *3.8* 신축이음장치 본체의 상태평가 기준 (강재형)

등급	누수, 오염	유간, 이상진동	평가지수
A	없음	정상동작	0.9
B	먼지, 토사 등으로 오염	정상동작	0.7
C	물받이 파손 혹은 미설치	유간사이 이물질로 기능 불량, 이상음 발생	0.5
D	누수로 인한 신축이음 하부 구조물 부식발생	강판 유동으로 이상음 커짐	0.3
E	하부 구조물의 부식 심화	강판 유동으로 이상음 커짐	0.1

등급	부식, 변형	균열, 파손	평가지수
A	없음	없음	0.9
B	없음	없음	0.7
C	없음	없음	0.5
D	국부적인 부식	볼트, 너트 부분 탈락	0.3
E	하부 전체적 부식, 국부적 변형	상부 강판 탈락, 본체유동	0.1

나. 신축이음장치 후타설재

후타설재에 대한 상태평가기준은 균열과 차량의 주행성을 기준으로 한다.

표 *3.9* 신축이음장치 후타설재의 상태평가 기준

등급	균 열	파 손	평가지수
A	없음	없음	0.9
B	0.2mm이하 균열 1m이하 간격	없음	0.7
C	0.3~0.5mm균열 50cm이하 간격	국부적인 파손	0.5
D	1mm이상 균열 30cm이하 간격	유간이 매몰, 단차에 의한 충격	0.3
E	-	전체적으로 파손 진행	0.1

6) 받침장치

받침장치 점검시에 있어서 주요 점검부위는 다음과 같다.

- 받침의 고정된 상태와 손상, 노화부재의 유무
- 앵커볼트의 변형 파손 유무, 너트의 이완 여부
- 교좌면 콘크리트와 충전 모르터의 균열발생 상황
- 받침의 녹, 부식상황
- 받침 부근의 토사퇴적으로 기능 장애 상황

표 *3.10* 받침장치의 상태평가 기준 *(강재)*

등급	받 침 장 치		받 침 부	평가지수
	부식, 변형	균열, 파손	균열, 파손	
A	없음	없음	없음	0.9
B	부분적 녹 발생	고정볼트 이완	미세균열	0.7
C	부분적 녹 발생	정상위치에서 이탈	박리, 토사퇴적	0.5
D	부식심화, 부분적 변형	균열, 경사발생 볼트탈락	토사퇴적 심화, 기능상 장애 발생	0.3
E	형태손상	부분적인 파손	기능상실	0.1

표 *3.11* 받침장치의 상태평가 기준 (고무재)

등급	받 침 장 치		받 침 부	평가지수
	노화, 균열	탈락, 파손	균열, 파손	
A	없음	없음	없음	0.9
B	측면에 미세균열	없음	미세균열	0.7
C	균열 확대	측면 부풀음	박리, 토사퇴적	0.5
D	균열심화, 최대 변형량이 받침 두께 이상	고무재의 기능상실	토사퇴적 심화, 기능상 장애 발생	0.3
E	-	고무파손, 단차발생	기능상실	0.1

3.2 AHP에 의한 상태평가시스템의 구성 및 구현

상태평가시스템은 주어진 대상에 대해 평가항목을 선정하고 적절한 평가기법을 이용하여 상태를 판정하는 시스템으로, 그림 3.1에서는 일반적인 평가과정을 개념적 절차와 구체적 절차로 나누어 도시하였다. 평가과정을 개념적으로 고찰하면, 평가대상을 평가기법을 이용하여 평가결과를 내는 것이고, 이를 좀더 구체적으로 고찰하면, 평가대상의 평가항목에 대해 각각의 평가치와 중요도를 구하고 이를 종합하는 기법을 이용하여 상태평가 결과를 도출하는 것이다.

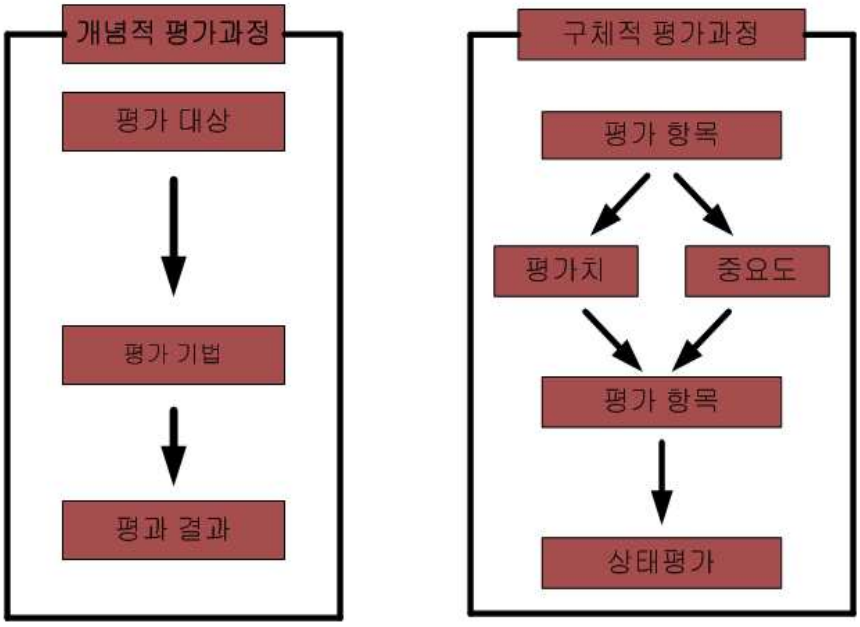

그림3.1 상태평가 시스템의 일반적인 평가과정

3.2.1 상태평가시스템의 구조

본 연구의 상태평가시스템의 상태평가 과정은 그림 3.2와 같다. 즉, 우선 각 평가항목인 바닥판 하면(균열, 백태), 교량포장, 배수시설, 난간 및 연석, 신축이음에 대하여 각각의 평가치를 구하고, 이들 평가치에 대해 각 평가항목이 전체평가에 기여하는 정도를 AHP를 사용하여 종합하고, 이로부터 구조물의 종합상태를 나타내는 상태지수를 구한다. 여기서 구한 상태지수는 대상 구조물의 정밀점검 또는 정밀안전진단과 같은 상위진단의 여부를 포함한 유지관리 지침을 판단하는데 쓰인다.

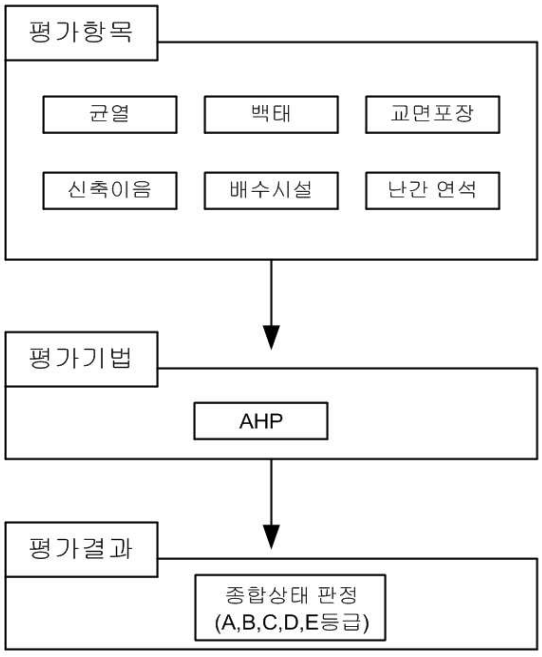

그림 *3.2* 상태평가 시스템의 전체적인 상태 평가 과정

3.2.2 평가항목의 중요도

평가시스템에서 평가항목의 중요도 또는 평가항목이 전체평가에 기여하는 정도를 산정하는 것은 중요한 문제이다. 특히 주관적인 평가에서는 중요도를 수식으로 명확하게 산정하는 것이 거의 불가능하며 이때는 전문가의 경험이나 지식이 큰 역할을 차지한다. 상태평가 과정은 일종의 의사결정 과정이며, 이때의 평가기준은 여러 조건을 만족해야 하는 다기준 의사결정(multicriteria decision making)문제이다. 가중치를 이용하는 방법은 다기준 의사결정문제에 대한 개념적으로 가장 쉽고 널리 쓰이는 방법이나, 여러 개의 평가항목에 대해 상대적인 비중이나 중요도를 모두 고려하여 가중치를 구한다는 것은 쉬운 문제가 아니다.

(1) 개별비교

같은 레벨 내에 있는 원소를 둘씩 취하여 직접 상위의 목적에 대하여 하나씩 개별비교를 실시한다. 의사결정자에게 "요소 A_i는 요소 A_j와 비교하여 어느 정도 중요한가(a_{ij})?"를 물어 그 대답을 표 4.2의 수치로 기입하여 표 4.1과 같은 정방행렬 $A=\{a_{ij}\}$를 구한다. 여기서 $a_{ii}=1\ \{i=1 \cdots n\}$이고, $a_{ij}=1/a_{ji}$이다. 표 4.1은 AHP 작성에 대한 예시이다.

표3.12 AHP 작성

	바닥판하면 (균열)	바닥판하면 (백태)	교면포장	배수시설	난간·연석	신축이음
바닥판하면 (균열)	1	3	5	5	7	3
바닥판하면 (백태)	1/3	1	3	3	5	1/3
교면포장	1/5	1/3	1	1	2	1/2
배수시설	1/5	1/3	1	1	3	1/2
난간·연석	1/7	1/5	1/2	1/3	1	1/3
신축이음	1/3	3	2	2	3	1

(2) 가중치 계산

개별비교에서 얻어진 행렬에 대하여 최대고유치와 이에 대응하는 고유벡터를 구하여 이를 각 평가항목의 가중치로 한다. 여기서의 가중치는 직접 상위항목에 대한 하위항목의 상대적인 중요도를 의미한다.

① 고유벡터 u를 선정(u)

$$A^1u(0)=\begin{pmatrix} 1 & 3 & 5 & 5 & 7 & 3 \\ 1/3 & 1 & 3 & 3 & 5 & 1/3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 1 & 2 & 1/2 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 1 & 3 & 1/2 \\ 1/7 & 1/5 & 1/2 & 1/3 & 1 & 1/3 \\ 1/3 & 3 & 2 & 2 & 3 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 1/6 \\ 1/6 \\ 1/6 \\ 1/6 \\ 1/6 \\ 1/6 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} 4 \\ 2.111 \\ 0.839 \\ 1.006 \\ 0.418 \\ 1.889 \end{pmatrix}$$

$$A^2u(0)=A(A^1u(0))=\begin{pmatrix} 1 & 3 & 5 & 5 & 7 & 3 \\ 1/3 & 1 & 3 & 3 & 5 & 1/3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 1 & 2 & 1/2 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 1 & 3 & 1/2 \\ 1/7 & 1/5 & 1/2 & 1/3 & 1 & 1/3 \\ 1/3 & 3 & 2 & 2 & 3 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 4 \\ 2.111 \\ 0.839 \\ 1.006 \\ 0.418 \\ 1.889 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} 28.15 \\ 11.699 \\ 5.129 \\ 5.547 \\ 2.796 \\ 14.499 \end{pmatrix}$$

$$A^3u(0)=A(A^2u(0))=\begin{pmatrix} 1 & 3 & 5 & 5 & 7 & 3 \\ 1/3 & 1 & 3 & 3 & 5 & 1/3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 1 & 2 & 1/2 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 1 & 3 & 1/2 \\ 1/7 & 1/5 & 1/2 & 1/3 & 1 & 1/3 \\ 1/3 & 3 & 2 & 2 & 3 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 28.15 \\ 11.699 \\ 5.129 \\ 5.547 \\ 2.796 \\ 14.499 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} 179.699 \\ 71.925 \\ 33.048 \\ 35.844 \\ 18.404 \\ 88.72 \end{pmatrix}$$

$$A^4u(0)=A(A^3u(0))=\begin{pmatrix} 1 & 3 & 5 & 5 & 7 & 3 \\ 1/3 & 1 & 3 & 3 & 5 & 1/3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 1 & 2 & 1/2 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 1 & 3 & 1/2 \\ 1/7 & 1/5 & 1/2 & 1/3 & 1 & 1/3 \\ 1/3 & 3 & 2 & 2 & 3 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 179.699 \\ 71.925 \\ 33.048 \\ 35.844 \\ 18.404 \\ 88.72 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} 1134.92 \\ 460.095 \\ 209.975 \\ 228.379 \\ 116.506 \\ 557.392 \end{pmatrix}$$

$$A^5u(0)=A(A^4u(0))=\begin{pmatrix} 1 & 3 & 5 & 5 & 7 & 3 \\ 1/3 & 1 & 3 & 3 & 5 & 1/3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 1 & 2 & 1/2 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 1 & 3 & 1/2 \\ 1/7 & 1/5 & 1/2 & 1/3 & 1 & 1/3 \\ 1/3 & 3 & 2 & 2 & 3 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 1134.92 \\ 460.095 \\ 209.975 \\ 228.379 \\ 116.506 \\ 557.392 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} 7194.69 \\ 2921.79 \\ 1330.42 \\ 1446.92 \\ 737.57 \\ 3442.21 \end{pmatrix}$$

$$A^6u(0)=A(A^5u(0))=\begin{pmatrix} 1 & 3 & 5 & 5 & 7 & 3 \\ 1/3 & 1 & 3 & 3 & 5 & 1/3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 1 & 2 & 1/2 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 1 & 3 & 1/2 \\ 1/7 & 1/5 & 1/2 & 1/3 & 1 & 1/3 \\ 1/3 & 3 & 2 & 2 & 3 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 7194.69 \\ 2921.79 \\ 1330.42 \\ 1446.92 \\ 737.57 \\ 3442.21 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} 45636.31 \\ 18520.583 \\ 8436.438 \\ 9174.005 \\ 4677.987 \\ 22473.175 \end{pmatrix}$$

$$A^6u(0)=A(A^5u(0))=\begin{pmatrix} 1 & 3 & 5 & 5 & 7 & 3 \\ 1/3 & 1 & 3 & 3 & 5 & 1/3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 1 & 2 & 1/2 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 1 & 3 & 1/2 \\ 1/7 & 1/5 & 1/2 & 1/3 & 1 & 1/3 \\ 1/3 & 3 & 2 & 2 & 3 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 45636.31 \\ 18520.583 \\ 8436.438 \\ 9174.005 \\ 4677.987 \\ 22473.175 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} 289415.714 \\ 117445.013 \\ 53503.796 \\ 58181.783 \\ 29668.856 \\ 142501.877 \end{pmatrix}$$

이 계산의 결과에서 알 수 있듯이 A를 곱하면 곱할수록

$$A=\begin{pmatrix} 4 \\ 2.121 \\ 0.842 \\ 1.004 \\ 0.416 \\ 1.888 \end{pmatrix}$$

의 스칼라배로 접근해 진다. 이것을 정규화하면

$$u=\begin{pmatrix}0.390\\0.206\\0.082\\0.098\\0.041\\0.184\end{pmatrix}$$

이 된다.

② 최대고유치($\lambda_{\max}$)

$\tilde{u}$를 A의 최대고유치 $\lambda_{\max}$에 대응하는 주 고유벡터의 근사 벡터라 하면

$$\lambda_{\max} \approx \frac{<\tilde{u}, \widetilde{\lambda u}>}{<\tilde{u}, \widetilde{u}>}$$

이고 이때 위 식의 우변의 내적비를 레일리의 몫(Rayleigh quotient)이라 부른다.

위의 예에서 근사 주고유벡터

$$\tilde{u}=\begin{pmatrix}45636.31\\18520.583\\8436.438\\9174.005\\4677.987\\22473.175\end{pmatrix}$$

가 얻어 졌다. 이 경우

$$A\tilde{u}=\begin{pmatrix}1 & 3 & 5 & 5 & 7 & 3\\1/3 & 1 & 3 & 3 & 5 & 1/3\\1/5 & 1/3 & 1 & 1 & 2 & 1/2\\1/5 & 1/3 & 1 & 1 & 3 & 1/2\\1/7 & 1/5 & 1/2 & 1/3 & 1 & 1/3\\1/3 & 3 & 2 & 2 & 3 & 1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}45636.31\\18520.583\\8436.438\\9174.005\\4677.987\\22473.175\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}289415.714\\117445.013\\53503.796\\58181.783\\29668.856\\142501.877\end{pmatrix}$$

로 되므로 이것을 위식에 대입하여

$$\lambda_{\max} \approx \frac{<\tilde{u}, \widetilde{\lambda u}>}{<\tilde{u}, \widetilde{u}>}$$

$$=\frac{13207865243+2175150111+451381457.7+533759968.2+138790522.7+32024620}{45636.3^2+18520.583^2+8536.438^2+9174.005^2+4677.987^2+22473.175^2}$$

= 6.321

가 얻어진다.

(3) 일관성 검증

쌍별 비교에 의한 방법이 오직 두 요소간의 비교를 반복함으로써 전체 요소간 상대적 중요도를 결정하는 것이므로 요소간의 일관성이 성립하지 않는 경우가 발생한다. 즉, 판단에 의한 논리적 모순이 발생할 수 있으며 이의 측정을 일관성 검증이라 한다. 일관성지수는 일관성비율(C.R : Consistency Ratio)을 이용하여 검증한다.

따라서

$$C.I = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} = \frac{6.32 - 6}{6-1} = 0.064 \leq 0.1$$

을 일관성지수(Consistency Index : C.I)라고 부르고 $C.I \leq 0.1$ 정도이므로 비교행렬 A의 일관성지수는 양호하다. 그리고 이 비교행렬은 신뢰성이 있다고 말할 수 있다. 여기에서 0.1이라는 수치는 경험적인 수치이다.

$C.I$는 일관성이 있으면 작아지고 일관성이 없으면 커지게 된다. 이와같이 $C.I$에 의해서 A가 일관적인지 아닌지를 판정할 수 있지만 n이 크게 되면 크게 되기 때문에 그대로 일관성의 판정에 이용하기에는 난점이 있다. 그래서 이것을 보완하기 위해서 일관성비율(Consistency Rate : $C.R$)을 이용한다. 일관성비율 $C.R$은 $C.I$를 랜덤 인덱스(Random Index : RI)로 나눈 값이다.

$$C.R = \frac{CI}{RI} = \frac{0.064}{1.25} = 0.051$$

여기서 $C.R$값이 $0.05 \leq C.R \leq 0.10$ 에 있으므로 일관성이 있다고 판단된다.

*3.2.3 AHP*에 의한 상태평가

평가항목의 중요도를 고려하여 가중평균법을 이용하여 표 4.2와 같이 교량구조물의 상부구조물의 상태평가를 실시하였다.

표3.13 AHP에 의한 상태평가 예제

구분		총물량		등급별 분포					
		수량	단위		A	B	C	D	E
교면포장		120	면적 (m^2)	수량		109.21	10.8		
				백분율		91	9		
배수시설		4	개소 (개)	수량			4		
				백분율			100		
난간•연석		24	길이 (m)	수량	24				
				백분율	100				
바닥판 하면	균열	132	면적 (m^2)	수량		118.8	13.2		
				백분율		90	10		
	백태	132	면적 (m^2)	수량	132				
				백분율	100				
신축이음		2	개소 (개)	수량		2			
				백분율		100			

		중요도	평가지수
평가항목	균열	0.390	0.68
	백태	0.206	0.9
	교면포장	0.082	0.682
	배수시설	0.098	0.5
	난간 및 연석	0.041	0.9
	신축이음	0.184	0.7
평가결과		0.721	

3.3 누락자료에 의한 상태평가 시스템

3.3.1 누락자료 문제

의사결정이나 상태평가문제에 있어서 의사결정요소나 상태평가항목을 모두 고려하지 못하는 경우가 발생한다. 한 두 요소나 항목에 대하여 전혀 판단할 수 없거나 자료가 손실되는 경우는 빈번히 발생하는 문제이다. 이러한 누락자료에 대한 처리 문제는 데이터 마이닝 분야에서 오랫동안 연구되어 왔다.(Berry 1997). 누락자료가 평가에 기여하는 정도가 적은 경우에는 이를 생략하고 평가하여도 큰 문제가 없으나 중요도가 큰 평가항목의 경우에는 문제가 심각하게 된다.

누락자료의 처리는 두 가지 방법에서 접근할 수 있다. 첫째는 누락자료를 생략하고 평가를 수행하는 것이고, 둘째는 누락자료를 새로운 값으로 대체하여 평가를 수행하는 것이다.

첫째 방법을 사용할 경우에는 누락자료를 제외한 나머지 평가항목들의 중요도 재산정에 관련된 또 하나의 새로운 문제가 대두한다. 이에 대한 가장 쉬운 해결책은 생략된 평가항목을 제외한 나머지 평가항목들의 중요도를 자신의 중요도 비율에 따라 일괄적으로 상향조정하는 방법이다. 그러나 이 방법은 생략된 항목의 중요도가 작을 때에는 별 문제가 발생하지 않으나 생략된 항목의 중요도가 클 경우에는 평가결과에 큰 영향을 미치게 된다. 이와 더불어 평가항목들이 서로간에 얼마나 독립적이냐에 따라서도 평가결과에 미치는 영향이 달라진다. 평가항목들이 완전히 독립적일 경우에는 평가항목의 생략은 그 분야에 대해 전혀 평가를 할 수 없다는 것을 의미하므로 평가결과의 신뢰성에 큰 문제를 야기한다. 반대로 평가항목들간에 중복성이 있을 경우에는 중복성의 크기에 따라서 미치는 영향이 달라진다. 중복성이 큰 경우에는 나머지 평가항목만으로도 충분히 신뢰성이 있는 평가를 수행 할 수 있으나,

중복성이 작아질수록 평가의 신뢰성이 낮아진다. 즉, 누락자료를 생략하고 평가하는 경우에는 모든 항목이 갖추어져 있을 때와 같은 평가는 불가능하며 평가결과에 대한 어느 정도의 신뢰성 저하는 반드시 발생한다. 따라서 이러한 평가에서는 평가결과를 산출함에 있어 신뢰성의 저하정도를 함께 고려하여야 한다.

두 번째 방법은 누락자료를 어떤 값으로 채울 것인가 하는 문제를 해결하여야 한다. 기존의 평가에 대한 이력자료가 있는 경우에는 이들 축적된 자료를 바탕으로 각 평가항목의 진행경향에 대한 상태예측을 실시하여 이 예측된 값을 누락자료의 값으로 사용할 수 있다. 그러나 축적된 이력자료가 없는 경우에는 이 방법은 적용이 어려우며 첫 번째 방법에 대한 적용을 고려하여야 한다.

본 연구에서는 누락자료의 처리방법으로서 누락자료를 제외하고 나머지 평가항목의 중요도를 재산정하는 위의 첫 번째 방법을 이용하였다.

3.3.2 중요도 재산정에 의한 누락자료 처리

본 항에서는 앞절에서 실시한 평가항목의 중요도 산정 예에서 특정 항목이 누락된 경우의 중요도 재산성 방법에 대하여 직접적인 예를 통하여 살펴보기로 한다.

표3.14 평가항목중 신축이음 누락되어 있을때 교량 상태평가 결과이다.

그리고 AHP로부터 구한 평가항목의 상대적인 중요도는 평가항목 균열의 가중치를 나머지 평가항목들에게 그들의 가중치에 비례하여 분배하면 된다.

표 *3.14* 특정항목 누락시 *AHP*에 의한 상태평가 예제

구분		총물량		등급별 분포					
		수량	단위		A	B	C	D	E
교면포장		120	면적 (m^2)	수량		109.21	10.8		
				백분율		91	9		
배수시설		4	개소 (개)	수량			4		
				백분율			100		
난간•연석		24	길이 (m)	수량	24				
				백분율	100				
바닥판 하면	균열	132	면적 (m^2)	수량		118.8	13.2		
				백분율		90	10		
	백태	132	면적 (m^2)	수량	132				
				백분율	100				
신축이음		누락	개소 (개)	수량					
				백분율					

		중요도	평가지수
평가항목	균열	0.478	0.68
	백태	0.252	0.9
	교면포장	0.101	0.682
	배수시설	0.120	0.5
	난간 및 연석	0.050	0.9
	신축이음	누락	
평가결과		0.725	

3.4 사례적용

본 장에서 상태평가시스템을 실제 사례적용을 통하여 그 성능을 분석하였고 전문가에 의한 실제 평가결과와 본 시스템에 의한 평가결과와 비교하였다.

3.4.1 적용대상교량

교량 상태평가시스템의 적용성 분석은 기존에 안전진단을 실시한 건물의 보고서상의 점검결과를 본 시스템에 입력하고, 보고서상의 평가결과와 본 시스템에 의한 평가결과를 비교하는 방법으로 수행하였다. 사례적용은 표 5.1에 제시하고 있는 전라남도 지역의 교량에 대하여 수행하였다.

표 *3.15* 시스템 적용 대상 교량

구분	교량명	소재지	형식
1	미학1교	전라남도 해남군 송지면 미학리	3경간 RC 슬래브교
2	신학교	전라남도 완도군 신학리	단경간 RC 슬래브교
3	대문교	전라남도 완도군 군외면 대문리	3경간 RC 슬래브교
4	청룡교	전라남도 해남군 화원면 청룡리	RC 슬래브교
5	청학교	전라남도 완도군 고금면 덕암리	3경간 RC 슬래브교
6	주산교	전남 담양군 고서면 주산리	7견간 단순지지 RC 슬래브교
7	맹리교	전남 화순군 북면 맹리	5경간 연속지지 RC 슬래브교
8	제2읍내교	전남 곡성군 곡성읍 읍내리	3경간 단순지지 RC 슬래브교
9	제1읍내교	전남 곡성군 곡성읍 읍내리	3경간 단순지지 RC 슬래브교
10	서촌1교	전남 여천군 화양면 서촌리	2경간 단순지지 RC 슬래브교
11	수양교	전남 강진군 신전면 수양리	2경간 연속지지 RC라멘교
12	영광교	전남 강진군 신전면 영광리	2경간 단순지지 RC 슬래브교

3.4.2 적용 사례

(1) 미학1교

구분		총물량		등급별 분포					
		수량	단위		A	B	C	D	E
교면포장		360	면적 (m^2)	수량	115	245			
				백분율	31.9	68.1			
배수시설		12	개소 (개)	수량	7			5	
				백분율	58			42	
난간•연석		72	길이 (m)	수량	36	36			
				백분율	50	50			
바닥판 하면	균열	396	면적 (m^2)	수량		253	143		
				백분율		63.9	36.1		
	백태	396	면적 (m^2)	수량	396				
				백분율	100				
신축이음		2	개소 (개)	수량		2			
				백분율		100			

		중요도	평가지수
평가항목	균열	0.390	0.63
	백태	0.206	0.9
	교면포장	0.082	0.76
	배수시설	0.098	0.648
	난간 및 연석	0.041	0.8
	신축이음	0.184	0.7
AHP에 의한 평가		0.718	
전문가에 의한 평가		B등급	

(2) 신학교

구분		총물량		등급별 분포					
		수량	단위		A	B	C	D	E
교면포장		98.29	면적 (m^2)	수량		85.51	12.78		
				백분율		87	13		
배수시설		3	개소 (개)	수량		3			
				백분율		100			
난간•연석		22.2	길이 (m)	수량		2.00	3.33	16.87	
				백분율		9	15	76	
바닥판 하면	균열	94.91	면적 (m^2)	수량	94.91				
				백분율	100				
	백태	94.91	면적 (m^2)	수량	94.91				
				백분율	100				
신축이음		누락	개소 (개)	수량					
				백분율					

		가중치	평가지수
평가항목	균열	0.478	0.9
	백태	0.252	0.9
	교면포장	0.101	0.674
	배수시설	0.120	0.7
	난간 및 연석	0.050	0.366
	신축이음	누락	
AHP에 의한 평가		0.827	
전문가에 의한 평가		A등급	

(3) 대문교

구분		총물량		등급별 분포					
		수량	단위		A	B	C	D	E
교면포장		205.7	면적 (m^2)	수량		205.7			
				백분율		100			
배수시설		9	개소 (개)	수량			9		
				백분율			100		
난간•연석		48.4	길이 (m)	수량				48.4	
				백분율				100	
바닥판 하면	균열	242	면적 (m^2)	수량	242				
				백분율	100				
	백태	242	면적 (m^2)	수량	242				
				백분율	100				
신축이음			개소 (개)	수량					
				백분율					

		가중치	평가지수
평가항목	균열	0.478	0.9
	백태	0.252	0.9
	교면포장	0.101	0.7
	배수시설	0.120	0.5
	난간 및 연석	0.050	0.3
	신축이음	누락	
AHP에 의한 평가		0.803	
전문가에 의한 평가		A등급	

(4) 청룡교

구분		총물량		등급별 분포					
		수량	단위		A	B	C	D	E
교면포장		206.30	면적 (m^2)	수량		206.3			
				백분율		100			
배수시설		6	개소 (개)	수량	6				
				백분율	100				
난간•연석		50	길이 (m)	수량			50		
				백분율			100		
바닥판 하면	균열	225	면적 (m^2)	수량		225			
				백분율		100			
	백태	225	면적 (m^2)	수량		225			
				백분율		100			
신축이음		누락	개소 (개)	수량					
				백분율					

		가중치	평가지수
평가항목	균열	0.478	0.7
	백태	0.252	0.7
	교면포장	0.101	0.7
	배수시설	0.120	0.9
	난간 및 연석	0.050	0.5
	신축이음	누락	
AHP에 의한 평가		0.715	
전문가에 의한 평가		B등급	

(5) 청학교

구분		총물량		등급별 분포					
		수량	단위		A	B	C	D	E
교면포장		156.60	면적 (m^2)	수량		156.6			
				백분율		100			
배수시설		6	개소 (개)	수량	4	2			
				백분율	67	33			
난간•연석		36	길이 (m)	수량			25.6		10.4
				백분율			71		29
바닥판 하면	균열	166.32	면적 (m^2)	수량		27.72	138.60		
				백분율		16.67	83.33		
	백태	166.32	면적 (m^2)	수량		166.32			
				백분율		100			
신축이음		누락	개소 (개)	수량					
				백분율					

		가중치	평가지수
평가항목	균열	0.478	0.533
	백태	0.252	0.7
	교면포장	0.101	0.7
	배수시설	0.120	0.834
	난간 및 연석	0.050	0.384
	신축이음	누락	
AHP에 의한 평가 결과		0.621	
전문가에 의한 결과		B등급	

(6) 주산교

구분		총물량		등급별 분포					
		수량	단위		A	B	C	D	E
교면포장		413	면적 (m^2)	수량		395	18		
				백분율		96	4		
배수시설		42	개소 (개)	수량			42		
				백분율			100		
난간•연석		140	길이 (m)	수량		100	40		
				백분율		71	29		
바닥판 하면	균열	325	면적 (m^2)	수량			85	240	
				백분율			26	74	
	백태	325	면적 (m^2)	수량		270	55		
				백분율		83	17		
신축이음		4	개소 (개)	수량			2	2	
				백분율			50	50	

		중요도	평가지수
평가항목	균열	0.390	0.352
	백태	0.206	0.666
	교면포장	0.082	0.692
	배수시설	0.098	0.5
	난간 및 연석	0.041	0.642
	신축이음	0.184	0.4
AHP에 의한 평가		0.48	
전문가에 의한 평가		C급	

(7) 맹리교

구분		총물량		등급별 분포					
		수량	단위		A	B	C	D	E
교면포장		588	면적 (m^2)	수량			236	352	
				백분율			40	60	
배수시설		10	개소 (개)	수량		10			
				백분율		100			
난간•연석		139	길이 (m)	수량		139			
				백분율		100			
바닥판 하면	균열	410	면적 (m^2)	수량		170	115	125	
				백분율		42	28	30	
	백태	410	면적 (m^2)	수량		370	40		
				백분율		90	10		
신축이음		2	개소 (개)	수량		2			
				백분율		100			

		중요도	평가지수
평가항목	균열	0.390	0.524
	백태	0.206	0.68
	교면포장	0.082	0.38
	배수시설	0.098	0.7
	난간 및 연석	0.041	0.7
	신축이음	0.184	0.7
AHP에 의한 평가		0.602	
전문가에 의한 평가		C급	

(8) 제 2읍내교

구분		총물량		등급별 분포					
		수량	단위		A	B	C	D	E
교면포장		272	면적 (m^2)	수량			247.3	24.7	
				백분율			91	9	
배수시설		8	개소 (개)	수량			5		3
				백분율			62.5		37.5
난간•연석		40	길이 (m)	수량			40		
				백분율			100		
바닥판 하면	균열	216	면적 (m^2)	수량		98	35	63	20
				백분율		45	16	29	10
	백태	216	면적 (m^2)	수량		180	16	20	
				백분율		83	7.5	9.5	
신축이음			개소 (개)	수량					
				백분율					

		중요도	평가지수
평가항목	균열	0.478	0.492
	백태	0.252	0.647
	교면포장	0.101	0.482
	배수시설	0.120	0.35
	난간 및 연석	0.05	0.5
	신축이음	누락	
AHP에 의한 평가		0.514	
전문가에 의한 평가		C급	

(9) 제 1읍내교

구분		총물량		등급별 분포					
		수량	단위		A	B	C	D	E
교면포장		489	면적 (m^2)	수량		461	28		
				백분율		94	6		
배수시설		12	개소 (개)	수량		12			
				백분율		100			
난간•연석		72	길이 (m)	수량		72			
				백분율		100			
바닥판 하면	균열	413	면적 (m^2)	수량		258	100	55	
				백분율		62	24	14	
	백태	413	면적 (m^2)	수량		375	23	15	
				백분율		92	5	3	
신축이음			개소 (개)	수량					
				백분율					

		중요도	평가지수
평가항목	균열	0.478	0.596
	백태	0.252	0.678
	교면포장	0.101	0.688
	배수시설	0.120	0.7
	난간 및 연석	0.05	0.7
	신축이음	누락	
AHP에 의한 평가		0.644	
전문가에 의한 평가		B급	

(10) 서촌 1교

구분		총물량		등급별 분포					
		수량	단위		A	B	C	D	E
교면포장		96	면적 (m^2)	수량			78.2	16.5	1.3
				백분율			81.4	17.2	1.4
배수시설		2	개소 (개)	수량					2
				백분율					100
난간•연석		32	길이 (m)	수량			20	10	2
				백분율			62.5	31.2	6.3
바닥판 하면	균열	72	면적 (m^2)	수량		14	13	27	18
				백분율		20	18	37	25
	백태	72	면적 (m^2)	수량		62	5	5	
				백분율		86	7	7	
신축이음			개소 (개)	수량					
				백분율					

		중요도	평가지수
평가항목	균열	0.478	0.174
	백태	0.252	0.165
	교면포장	0.101	0.246
	배수시설	0.120	0.012
	난간 및 연석	0.05	0.020
	신축이음		
AHP에 의한 평가		0.419	
전문가에 의한 평가		D급	

(11) 수양교

구분		총물량		등급별 분포					
		수량	단위		A	B	C	D	E
교면포장		225	면적 (m^2)	수량		225			
				백분율		100			
배수시설		8	개소 (개)	수량		8			
				백분율		100			
난간•연석		60	길이 (m)	수량			60		
				백분율			100		
바닥판 하면	균열	186	면적 (m^2)	수량		111	75		
				백분율		60	40		
	백태	186	면적 (m^2)	수량		156	30		
				백분율		84	16		
신축이음			개소 (개)	수량					
				백분율					

		중요도	평가지수
평가항목	균열	0.478	0.296
	백태	0.252	0.168
	교면포장	0.101	0.070
	배수시설	0.120	0.284
	난간 및 연석	0.05	0.025
	신축이음		
AHP에 의한 평가		0.644	
전문가에 의한 평가		B급	

(12) 영광교

구분		총물량		등급별 분포					
		수량	단위		A	B	C	D	E
교면포장		173	면적 (m^2)	수량			173		
				백분율			100		
배수시설		8	개소 (개)	수량		1		7	
				백분율		13		87	
난간•연석		50	길이 (m)	수량			50		
				백분율			100		
바닥판 하면	균열	145	면적 (m^2)	수량		80	60		
				백분율		57	43		
	백태	145	면적 (m^2)	수량		100	45		
				백분율		69	31		
신축이음			개소 (개)	수량					
				백분율					

		중요도	평가지수
평가항목	균열	0.478	0.293
	백태	0.252	0.160
	교면포장	0.101	0.050
	배수시설	0.120	0.042
	난간 및 연석	0.050	0.025
	신축이음		
AHP에 의한 평가		0.572	
전문가에 의한 평가		C급	

제 4 장 분 석

공용기간이 10년 이상 된 RC 슬래브 교량을 대상으로 AHP에 의한 외관상태평가 및 내하력 평가를 하여 외관상태지수에 따른 교량 구조물의 내하력 감소율과의 관계를 통계 분석 하였다.

4.1 AHP에 의한 외관상태지수

표 4.1 AHP에 의한 외관상태지수

교 량 명	전문가 평가	AHP 평가
미학1교	B급	0.718
신학교	B급	0.827
대문교	A급	0.803
청룡교	B급	0.715
청학교	B급	0.621
주산교	C급	0.48
맹리교	C급	0.602
제2읍내교	C급	0.514
제1읍내교	B급	0.644
서촌1교	D급	0.419
수양교	B급	0.644
영광교	C급	0.572

4.2 구조해석에 의한 내하력 평가

4.2.1 구조해석

동일한 구조물이라도 해석모델 설정에 따라, 계산된 단면력이 상당히 달라지거나 중요한 단면력을 얻지 못하거나 또는 단면력의 방향이 달라지는 경우가 발생한다. 해석모델의 설정이 단면력 계산상 매우 중요함에도 불구하고, 시방서와 설계지침에서는 해석모델의 설정 방법에 대해 상세하게 언급하지 않고 기술자의 판단에 맡겨지는 경우가 많다.

해석모델의 설정은 구조물 특성과 작용하중에 대한 고찰과 함께 각종 해석모델의 특성을 이해한 후 신중하게 이루어져야 한다. 또한 해석모델은 가능한 한 간단하게 만드는 것이 좋다. 컴퓨터의 발달에 의해 복잡한 해석이 용이하게 수행될 수 있지만, 필요 이상으로 복잡한 모델을 선택하는 것은 번거롭게 하는 결과가 되므로 권장할 만한 것은 못된다. 해석모델의 종류에는 보모델, 평면트러스 모델, 평면 뼈대 모델, 격자해석 모델, 입체 뼈대 모델, 판모델, 쉘모델과 링모델 등이 있다.

해석모델은 올바른 구조해석을 수행하는데 중요한 역할을 하고, 내하력 평가를 위해서 구조해석은 필수적이며, 현재의 거동을 충분히 반영 할 수 있도록 지점의 경계조건 이나 강성이 합리적으로 고려된 모델이어야 하며 경제적이어야 한다.

일반적으로 사용하고 있는 교량 구조물에 대한 구조해석 방법으로 격자해석방법을 가장 많이 사용하므로 본 시험대상 교량들은 구조해석 프로그램인 MIDAS-CIVIL을 이용하여 격자해석 방법인 Frame Element 모델로 그림4.1과 같이 모델링 하여 구조해석을 하였다.

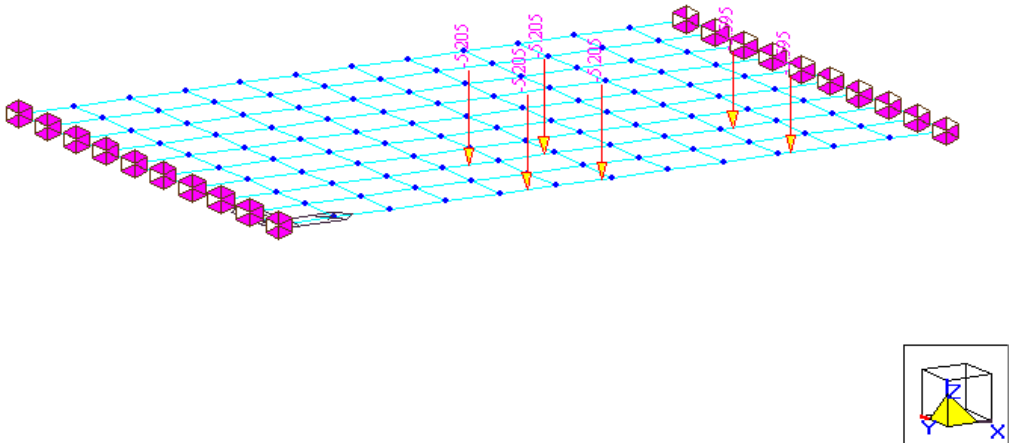

그림4.1 RC 슬래브 교량의 격자 모델링 모형의 예

그림4.1은 교량을 격자 모델링 하였으며 교량의 지점조건, 하중조건, 단면조건을 주어 시험차량의 하중에 대하여 교량의 거동을 알 수 있다.

4.2.2 응력 검토

각 교량을 구조해석을 통하여 얻은 휨모멘트 값을 가지고 다음의 두 가지 방법을 통하여 응력을 검토하고자 한다.

1) 허용응력 설계법에 의한 검토

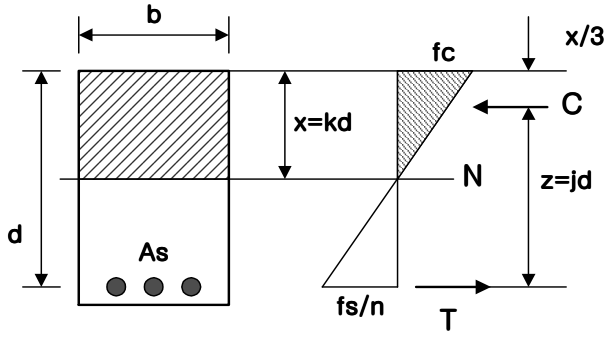

그림*4.2* 단철근 직사각형 보

그림4.2를 통하여 중립축 위치 x 를 다음과 같이 나타낼 수 있으며, 균열환산단면 2차모멘트 I_{cr} 을 이용하여 콘크리트 최대 압축 응력과, 철근의 인장 응력을 식(4.2), 식(4.3)를 이용하여 허용응력 설계법에 의한 내하력 평가를 할 수 있다.

$$x = -\frac{nA_s}{b} + \sqrt{\left(\frac{nA_s}{b}\right)^2 + \frac{2nA_s d}{b}} \tag{4.1}$$

$$f_c = \frac{2M}{bx\left(d - \frac{x}{3}\right)} \quad \text{또는} \quad f_c = \frac{M}{I_{cr}}x \tag{4.2}$$

$$f_s = \frac{M}{A_s\left(d - \frac{x}{3}\right)} \quad \text{또는} \quad f_s = n\frac{M}{I_{cr}}(d - x) \tag{4.3}$$

2) 강도 설계법에 의한 검토

그림4.2를 통하여 공칭 휨강도 ΦM_n 을 구하기 위해서 등가 직사각형의 응력 분포의 깊이 a 를 구하고, 평형 철근비 ρ_b를 다음식을 이용하여 공칭 휨강도를 식(4.6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_{ck} b} \tag{4.4}$$

$$\rho_b = 0.85 \beta_1 \frac{f_{ck}}{f_y} \left(\frac{0.003 E_s}{0.003 E_s + f_y} \right) \tag{4.5}$$

$$\Phi M_n = \Phi \left[A_s f_y d \left(1 - 0.59 \frac{p f_y}{f_{ck}} \right) \right] = \Phi \left[A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \right] \tag{4.6}$$

여기서, β_1 은 f_{ck} 가 28 MPa 까지의 콘크리트에서는 0.85, f_{ck} 가 28 MPa 을 초과할 경우에는 0.85 값은 1 MPa 증가에 0.007씩 감소시켜야 한다. 다만 β_1 의 값은 0.65 이상이라야 한다.

식(4.4), 식(4.5)을 이용하여 식(4.6)에서 공칭 휨강도를 구하여 강도 설계법에 의한 내하력 평가를 할 수 있다.

4.2.3 내하력 평가 결과

각 교량별로 허용응력 설계법에 의한 내하력 평가와 강도 설계법에 의한 내하력 평가 식을 이용하여 이론적인 값 과 실측한 값을 이용하여 응력, 휨모멘트 등을 구하여 허용응력 설계법 및 강도 설계법에 의한 내하력 평가를 할 수 있다.

1) 허용응력 설계법에 의한 내하력 평가

허용응력 설계법에 의한 교량 구조물의 기본 내하력과 공용 내하력은 다음 식을 이용하여 구할 수 있다.

$$\text{기본 내하력}(P) = DB\text{하중} \times \frac{f_a - f_d}{f_l(1+i)} \tag{4.7}$$

여기서, f_a = 실측 허용응력

f_d = 실측 사하중에 의한 응력

$f_l(1+i)$ = 충격을 고려한 하중에 의해 계산된 응력(DB하중)

$$\text{공용 내하력}(P_n) = K_s \times K_r \times K_t \times K_o \times P \tag{4.8}$$

여기서, $K_s = \frac{\varepsilon_{\text{이론값}}}{\varepsilon_{\text{실험값}}} \cdot \frac{1+i_{\text{이론값}}}{1+i_{\text{실험값}}}$: 응력 보정계수

K_r = 노면상태에 따른 보정계수

K_t = 교통상태에 따른 보정계수

K_o = 기타조건에 의한 보정계수

2) 강도 설계법에 의한 내하력 평가

강도 설계법에 의한 내하력 평가는 다음의 내하율을 구하고, 그 값을 이용하여 공용 내하력을 산정할 수 있다.

$$\text{내하율}(RF) = \frac{\Psi M_n - \gamma_d M_d}{\gamma_l M_l(1+i)} \tag{4.9}$$

여기서 ψM_n : 극한 저항 모멘트 (ψ = 0.85)

M_d : 실측 사하중 모멘트

M_l : 전산구조해석을 통하여 얻은 설계 활하중에 의한 모멘트(DB하중)

γ_l : 활하중 계수 = 2.15

γ_d : 사하중 계수 = 1.30

i : 충격계수

$$\text{공용 내하력}(P) = \frac{K_s}{K_m} \times RF \times P_r \tag{4.10}$$

여기서, $K_s =$ 응력보정계수 $= \frac{\varepsilon_{\text{이론치}}}{\varepsilon_{\text{실험치}}} \cdot \frac{1+i_{\text{이론치}}}{1+i_{\text{실험치}}}$

$K_m =$ 공용년수, 활하중 동시재하 확률, 교통량, 차선수 등의 보정계수

$P_r =$ 설계 활하중(DB 하중)

일반적으로 가장 많이 사용하고 있는 위의 두 가지 방법을 이용하여 내하력 평가를 한 결과를 표4.2과 같이 나타났으며 앞에 말한 내하력을 두가지 방법중 최소값에 의하여 공용 내하력 값을 결정하였으며 설계당시의 내하력에 비하여 현재 공용중인 상태의 내하력이 얼마만큼 감소되었는지 내하력 감소율을 표4.3와 같이 산정하였다.

표4.2 교량별 내하력 평가 결과

교 량 명	내 하 력 평 가 결 과		
	허용응력법	강도설계법	최소공용내하력(ton)
미학1교	DB-27.48	DB-21.9	DB-21.9
신학교	DB-16.31	DB-13.5	DB-13.5
대문교	DB-12.6	DB-12.7	DB-12.6
청룡교	DB-16.4	DB-23.4	DB-16.4
청학교	DB-12.1	DB-11.7	DB-11.7
주산교	DB-7.4	DB-14.9	DB-7.4
맹리교	DB-10.7	DB-15.4	DB-10.7
제2읍내교	DB-12.8	DB-17.6	DB-12.8
제1읍내교	DB-13.9	DB-15.8	DB-13.9
서촌1교	DB-9.8	DB-19.1	DB-9.8
수양교	DB-15.3	DB-14.1	DB-14.1
영광교	DB-9.9	DB-13.7	DB-9.9

표4.3 교량별 내하력 감소율

교 량 명	설계하중(ton)	최소공용내하력(ton)	내하력 감소율(%)
미학1교	DB-24	DB-21.9	91.25%
신학교	DB-13.5	DB-13.5	100%
대문교	DB-13.5	DB-12.6	93.33%
청룡교	DB-24	DB-16.4	68.33%
청학교	DB-18	DB-11.7	65%
주산교	DB-13.5	DB-7.4	54.81%
맹리교	DB-18	DB-10.7	59.44%
제2읍내교	DB-18	DB-12.8	71.11%
제1읍내교	DB-18	DB-13.9	77.22%
서촌1교	DB-18	DB-9.8	54.40%
수양교	DB-18	DB-14.1	78.33%
영광교	DB-18	DB-9.9	55%

*4.3 SPSS*를 이용한 통계분석

공용기간이 10년 이상 된 RC 슬래브 교량으로 노후화가 어느 정도 진행중인 교량을 선정한 것을 대상으로 AHP에 의한 외관상태지수 및 교량 내하력 감소율이 표 4.4 와 같이 나타났다.

표*4.4* 외관상태지수에 따른 내하력감소율

교량명	AHP에 의한 외관평가지수	내하력 감소율(%)
미학1교	0.718	91.25
신학교	0.827	100
대문교	0.803	93.33
청룡교	0.715	68.33
청학교	0.621	65
주산교	0.48	54.81
맹리교	0.602	59.44
제2읍내교	0.514	71.11
제1읍내교	0.644	77.22
서촌1교	0.419	54.40
수양교	0.644	78.33
영광교	0.572	55

4.3.1 상관 분석

상관 계수 분석이란 두변수 사이에 일정한 관계가 존재하는지를 분석하는 추측통계 기법이다. 이 분석은 크게 두 종류의 정보를 제공해 준다. 하나는 두 변수가 어느 정도 관계가 있는지에 대한 정보이고, 다른 하나는 관계의 방향에 대한 정보이다. 이 상관 계수 분석의 매체는 상관 계수, 즉 상관성이다. 이 계수는 피어슨(Pearson)

R 계수라 하며 상관성의 존재 유무와 상관관계의 방향을 파악할 수 있다.

상관계수는 -1과 1 사이의 값을 가지며, 절대값이 1에 가까울수록 두 변수간의 상관성이 큰 것으로 결론을 내리며 계수의 부호가 양(+)이면 양의 상관관계를 가지고 있으며 부호가 음(-)이면 음의 상관관계가 있다고 말한다. 그러나, 상관계수 값이 0 에 가까운 경우는 두 변수의 상관성이 낮다고 할 수 있다. 보통 이 계수가 0 에서 0.30 사이에 있으면 낮은 상관 관계, 0.30 에서 0.70 사이에 있으면 보통의 상관 관계, 그리고 0.70 부터 1.0 사이에 있으면 높은 상관관계를 의미한다.

RC 교량을 대상으로 한 본 시험에서 외관조사에 의한 균열 밀도와 균열발생 처짐비, 내하력 감소율을 SPSS 통계 분석을 이용하여 상관 분석을 실시 해본 결과 AHP에 의한 외관상태지수와 내하력 감소율이 99%의 유의수준 내에서 상관계수 값이 0.838으로 AHP에 의한 외관상태지수와 내하력 감소율은 높은 상관관계를 가지고 있다.

표*4.5* 외관상태지수에 내하력 감소율 의한 상관분석

		AHP에 의한 외관상태지수	내하력 감소율
Pearson 상관	AHP에 의한 외관상태지수	1	0.838 *
	내하력 감소율	0.838 *	1
유의확률 (양쪽)	AHP에 의한 외관상태지수		0.001
	내하력 감소율	0.001	
N	AHP에 의한 외관상태지수	12	12
	내하력 감소율	12	12

*. 상관계수는 0.01 수준(양쪽)

4.3.2 회귀 분석

단순 회귀분석은 하나의 종속 변수에 하나의 독립변수를 갖고 있으며, 두 변수의 상관관계를 파악할 수 있을 뿐만 아니라 상관관계의 방향을 파악할 수도 있다. 그러나 무엇보다도 중요한 사실은 회귀 방정식을 기초로 구체적 예측이 가능하다는 점이다. 즉, 독립변수 1 단위량이 변하면 종속 변수가 어느 정도 변하는가에 대한 구체적 내용을 파악함으로써 미래 예측을 하는 추측 통계 기법이다. 즉 회귀 분석은 독립변수와 종속변수 사이에 직선형 관계를 파악하는 분석 기법이다. 관계가 직선형이라는 것은 독립 변수의 1 단위량 증감에 대한 종속 변수의 증감 비율이 일정하다는 의미이다.

단순 회귀 분석에서 어떤 종류의 변수를 사용하더라도 상관이 없으나 정규 분포 성향이 있어야 한다는 제약 조건이 있다. 단순 회귀 분석에서 가장 먼저 구해야 할 것은 기울기이며 독립 변수가 종속 변수에 미치는 영향을 수치화 한 것이다. 회귀분석의 식을 구한 후 적합성과 신뢰성에 대한 측정이 중요하다. 적합성은 적합 계수나 상관계수를 구하여 그 수치를 해석함으로써 알 수 있고, 신뢰성은 가설 검증을 통해서 알아 볼 수 있다. 회귀분석에서 가설 검증의 매체는 크게 두 가지가 있다. 하나는 F 값이고, 다른 하나는 t 값이며, 회귀 방정식의 성립 여부를 판단하는 기준이며 회귀 방정식의 통계수치인 절편과 기울기가 통계적으로 의미가 있는지의 여부를 확인 할 수 있다.

이를 토대로 내하력 감소율을 종속변수, AHP에 의한 외관상태지수를 독립변수로 선택하여 단순 회귀 분석을 실시하였으며 각 변수들이 높은 상관성을 나타내므로 단계 선택법(stepwise selection method)에 의하여 그림4.6과 같이 회귀 곡선 추정법에 의하여 분석하였다.

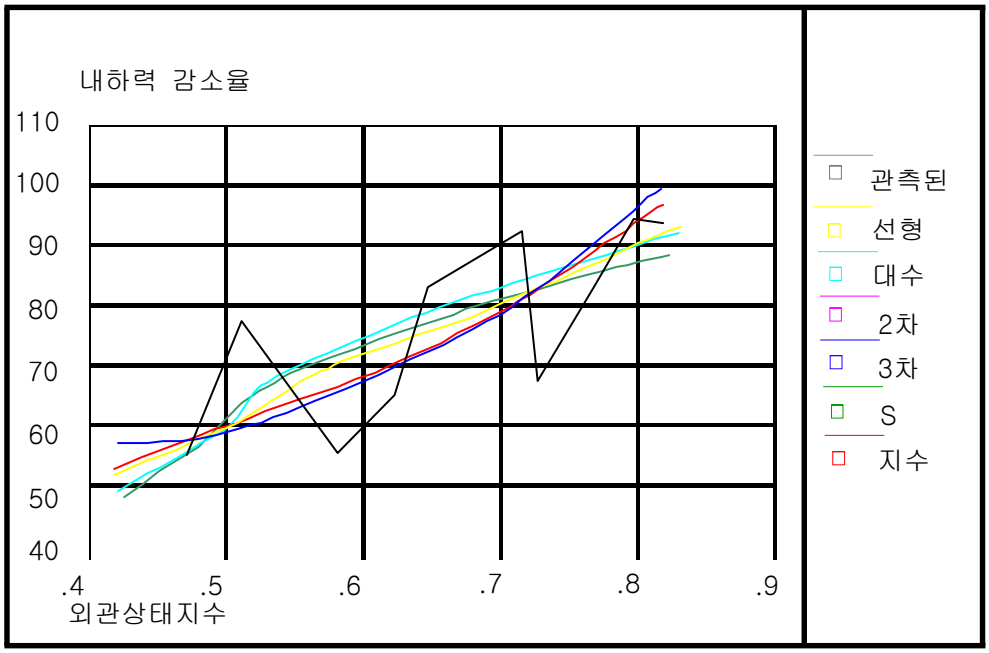

그림*4.6 AHP*에 의한 외관상태지수와 내하력감소율의 회귀 곡선추정

표*4.6* 균열 발생 처짐비와 균열밀도 회귀식의 적합성 검증

모 형	R	R 제곱	추정값의 표준오차	유의확률
선 형	0.838 *	0.702	0.2352	0.001
2차 곡선	0.854 *	0.729	0.1211	0.003
3차 곡선	0.854 *	0.730	0.1218	0.003
S-곡선	0.801 *	0.642	0.1794	0.003
지 수	0.837 *	0.700	0.2336	0.002
L o g	0.817 *	0.667	0.1999	0.019

*, 예측값 : (상수), 균열밀도

여기서 R Squre는 적합도에 관한 통계 수치이며 회귀분석에 사용된 대상 교량을 회귀 식이 어느 정도 설명해 줄 수 있는지를 나타내는 통계 수치이다. 즉, AHP에 의한 외관상태지수와 내하력 감소율을 회귀 분석하여 얻은 최대 R Squre 값은 3차 곡선 모형에서 최대 값을 얻었으며, 이때 R Squre = 0.730로 유의수준 0.05이내에 존재하므로 AHP에 의한 외관상태지수와 내하력 감소율는 유의수준 범위내에서 회귀 식의 적합성이 73 % 로 검증되었으며 3차 곡선식에 의해 도출된 회귀 분석식은 다음식과 같다.

$$LCCD = 97.72(IOC)^3 - 7.67(IOC)^2 + 48.45 \tag{4.10}$$

여기서, IOC = *Index of Outward Condition* (외관상태지수)

$LCCD$ = *Load Carrying Capacity Deminution volume* (내하력 감수율)

제 5 장 결 론

본 연구는 철근 콘크리트 교량에 대하여 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침상의 정기 점검 단계의 점검자료를 바탕으로 AHP에 기반하여 외관조사 및 상태 평가를 하여 구조물에 대한 체계적이고 연속적인 관리 및 일반 구조기술자에 의한 신뢰성 높은 평가를 가능하게 함으로써 구조물의 안전성 확보 및 유지관리 체계의 과학화를 도모하는 것을 목적으로 연구를 수행하였다. 그 연구를 바탕으로 외관평가지수를 산정하였고 RC 슬래브 교량 내하력 평가에 적용하기 위해 외관조사를 통한 현장 시험에서의 내하력 감소율을 산정하여 내하력 감소율과의 관계를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 대상 교량에서 외관상태 평가와 내하력 감소율과는 유의수준내에서 높은 상관관계를 가지고 있어 외관상태평가가 높을수록 내하력 감소율이 증가되는 것을 알 수 있었다.

2. AHP에 의한 외관평가 결과 건전도 순위는 신학교, 대문교, 미학1교, 청룡교, 제1읍내교, 수양교, 청학교, 맹리교, 영광교, 제2읍내교, 주산교, 서촌1교 순위에 따라우선순위를 결정할 수 있으며 대상 교량의 회귀식을 추정한 결과 여러 모형중 S-곡선식이 유의수준 0.05 범위 안에서 가장 높은 적합성을 보였다 또한 적합성에 있어서는 73%로 나타났으며. 이에 따른 내하력 감소율($LCCD$) 을 알수 있었다.

3. 기존의 불확정적이고 불확실성이 내재된 정성적인 상태평가를 AHP에 의하여 진단기술자의 공학적 지식과 경험을 체계적으로 반영하여 정량화 함으로써 객관적인 상태 평가 기법의 모델을 제안하고, 평가기법 및 절차는 실례를 들어 적용하여 해석하였다. 또한 외관평가를 통하여 교량의 개략적인 내하력 평가를 할 수 있으며, 향후 수시 점검을 통하여 안전점검 및 정밀안전진단 시기를 알 수 있고, 유지관리비용을 절감할 수 있어 시설물의 유지관리의 적정성을 제고할 수 있다.

참 고 문 헌

1. 양창현(1998), 구조역학, 청문각.

2. 김성도・정진환(2001), 구조공학실험, 구미서관.

3. (주)마이다스 아이티(2002), MIDAS로 배우는 구조역학, 기문당.

4. (주)마이다스 아이티(2002), MIDAS로 배우는 교량 구조실무.

5. 건설교통부(1996), 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침, 건설교통부.

6. 강성후(1997), 콘크리트 교량의 진단 및 유지관리, 기문당.

7. 오병환・윤우현・이성희(1994), 콘크리트 균열의 보강설계와 보수시공사례, 현대경영개발원.

8. 편집부(1997), 콘크리트의 균열과 대책, 건설도서.

9. 시설안전기술공단(1999), 콘크리트 구조물의 균열, 누수, 보수・보강 전문시방서, 건설교통부.

10. 추영수(1994), 콘크리트의 균열조사, 보수・보강 지침, 건설도서.

11. 대한토목학회(1999), 콘크리트 표준시방서, 건설교통부 개정.

12. 이종득(1999), 콘크리트 구조물의 응력과 변형, 일광.

13. 안형준(1999), 콘크리트 구조물의 안전진단, 구미서관.

14. 김용석・문승호(2001), 콘크리트 구조균열, 기문당.

15. 건설교통부(1999), 콘크리트 구조설계기준.

16. 김수만・박영기(2000), 토목구조설계, 청문각.

17. 변동균・신현묵・문제길(2001), 철근콘크리트, 동명사.

18. 구태서(1992), 철근콘크리트조의 균열대책(설계・시공)지침안・동해설, 탐구문화사.

19. 장동일・곽규환(1996), 최신 전산교량공학, 청문각.

20. 허만형(1994), SPSS와 통계분석,(주)교학사.

21. 강병서・김계수(1998), 사회과학 통계분석, SPSS 아카데미.

22. 최규정・김기순・박 종・김동기・손영남(2000), 최신보건통계학-SPSS활용-, 조선대학교 출판부.
23. 김용희(1996), 교량의 노후도 평가를 위한 실험적 연구, 경남대학교.
24. 김재명(2001), 응답비에 의한 R・C 슬래브교의 내하력 산정. 조선대학교 석사학위논문.
25. 황선하(2002), 균열도가 R・C 교량의 수명에 미치는 영향, 조선대학교 석사학위논문.
26. 유병률(1995), 신뢰성 해석 방법을 이용한 개선된 내하력 평가에 관한 연구, 충남대학교 석사학위논문.
27. 편집부(1994), 콘크리트의 균열과 그 대책, 건축기술정보지, 3월호.
28. 김진근 외 12인(1999), 콘크리트 구조물의 균열, 한국콘크리트 학회, 제18회 기술강좌.
29. 오병환・신경준・김광수・김지상・이상철(2001), 교량의 외관 조사에 의한 상태평가 기준 개선안, 한국구조물진단학회지, 한국구조물진단학회, 제5권, 제4호.
30. 변근주・송하원・최 욱・우승민(2000), 콘크리트 구조물의 균열 평가 기법과 보수・보강, 한국콘크리트학회지, 한국콘크리트학회, 제12권, 제6호.
31. 최윤호(1997), 콘크리트 구조물의 균열측 허용치 규정의 개선방향에 관한 연구, 건설안전기술협회지, 한국건설안전기술협회, 통권 26호.
32. ACI(1984), Causes, Evaluation and Repair of Cracks in Concrete Structures. ACI Commitee 224.
33. ACI(1984), Control of Cracking in Concrete Structures, ACI Commitee 224.
34. E. C. Hambly(1991), Bridge Deck Behaviour Second Edition, E & FN SPON.
35. Mallick. S. K(1995), Reinforced Concrete After Cracking.