

2007年 2月
碩士學位論文

의사결정방법에 의한 교량의 상태 평가

朝鮮大學校大學院

土木工程學科

柳棟元

의사결정방법에 의한 교량의 상태 평가

*Status Evaluation of Decrepit Bridges using the
Analytic Hierarchy Process*

2007年 2月 日

朝鮮大學校大學院

土木工學科

柳棟元

의사결정방법에 의한 교량의 상태 평가

指導教授 朴 吉 鉉

이 論文을 工學碩士學位 論文으로 提出함.

2006年 10月 日

朝鮮大學校大學院

土木工學科

柳 棟 元

柳棟元の 碩士學位論文을 認准함.

委員長 朝鮮大學校 教授 沈 泰 受 

委 員 朝鮮大學校 教授 朴 正 雄 

委 員 朝鮮大學校 教授 朴 志 敏 

2006年 11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
2.2 계층분석의 적용절차	5
2.3 중요도 평가 방법	7
2.3.1 측정방법 및 척도	7
2.3.2 일관성 검증	11
2.4 의사결정방법에 의한 적용효과	13
제 3 장 안전진단 업무분석 및 평가항목의 정형화	15
3.1 교량의 안전점검업무 분석	15
3.1.1 안전점검의 목적	15
3.1.2 안전점검의 종류	15
3.2 외관 상태평가	18
3.2.1 상태평가	18
3.2.2 외관 상태평가 기준	19
3.3 항목별 외관 상태평가 기준	20

제 4 장 계층분석에 의한 상태평가 시스템의 구성 및 구현	30
4.1 의사결정방법에 의한 평가시스템의 구조	31
4.1.1 상태평가시스템의 구조	31
4.1.2 평가항목의 중요도	35
4.1.3 의사결정방법에 의한 상태평가	45
4.2 누락자료에 의한 상태평가 시스템	46
4.2.1 누락자료 문제	46
4.2.2 중요도 재산정에 의한 누락자료 처리	47
제 5 장 사례적용 및 분석	49
5.1 적용대상교량	49
5.2 적용사례	50
제 6 장 결 론	55
참고문헌	57

표 목 차

표 2.1 상대적 중요성에 대한 척도	8
표 2.2 평균무작위지표	12
표 3.1 교량의 외관 상태평가 기준	19
표 3.2 아스팔트 포장의 상태평가 기준	20
표 3.3 콘크리트 포장의 상태평가 기준	21
표 3.4 배수시설의 상태평가 기준	22
표 3.5 난간 및 연석의 상태평가 기준 (강재)	22
표 3.6. 난간 및 연석의 상태평가 기준 (콘크리트)	23
표 3.7 콘크리트 바닥판의 상태평가 기준	24
표 3.8 신축이음장치 본체의 상태평가 기준 (고무형)	25
표 3.9 신축이음장치 본체의 상태평가 기준 (강재형)	26
표 3.10 신축이음장치 후타설재의 상태평가 기준	27
표 3.11 교좌장치의 상태평가 기준 (강재)	27
표 3.12 교좌장치의 상태평가 기준 (고무재)	28
표 3.13 교대의 상태평가 기준	28
표 3.14 교각의 상태평가 기준	29
표 4.1 상부구조물의 의사결정방법 작성 예시	36
표 4.2 하부구조물의 의사결정방법 작성 예시	36
표 4.3 부속시설의 의사결정방법 작성 예시	36
표 4.4 교량구조물의 의사결정방법 작성 예시	36
표 4.5 행렬의 차수 따른 $R.I$ 의 값	38
표 4.6 의사결정방법에 의한 상태평가 예시	45
표 4.7 특정항목 누락시 의사결정방법에 의한 상태평가 예시	48
표 5.1 시스템 적용 대상 교량	49

그림 목 차

그림 2.1 계층분석과정의 기본적 의사결정도	7
그림 4.1 상태평가 시스템의 일반적 평과 과정	30
그림 4.2 상태평가 시스템의 전체적인 상태평가 과정	31
그림 4.3 교량구조물의 상태평가를 위한 평가항목 및 위계	33
그림 4.4 상부구조물의 평가과정	33
그림 4.5 하부구조물의 평가과정	34
그림 4.4 부속시설의 평가과정	34

ABSTRACT

Status Evaluation of Decrepit Bridges using the AHP

Yu, dong-won

Advisor : Prof. Park, Kil-Hyun, Ph.D.

Department of Civil Engineering,

Graduate School of Chosun University

In this study, a method based on the Analytic Hierarchy Process for systematizing the maintenance and securing the safety of the reinforce concrete bridges using an appearance inspection and state evaluation was proposed. It would be possible for general structure engineers to appraise the bridges with this method.

Results from periodical inspections are mostly qualitative because of the inspector's subjective judgment. Therefore, for more objectivity of the results from the safety inspections, quantitative standardization processes of the appraisal items are essentially required.

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 reinforce 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

교량은 준공이후 노후화가 시작되며 이러한 노후화는 구조내력에 직접적으로 관련하여 나타나거나 사용성의 저하로 나타날 수 있다. 이와 더불어 여러 외부적인 요인에 의한 구조물의 손상은 안전성과 사용성에 문제를 일으킬 수 있다. 이에 따라 교량에 대한 효율적인 유지관리를 위해서는 교량의 손상 및 노후화에 대하여 현 상태를 정확하게 평가하고 이를 바탕으로 추후의 상태변화에 대한 예측을 실시할 필요가 있다.

근래에 들어 우리나라에서도 교량의 설계하중은 기술적 진보 및 사회적 요구에 의해 변화된다. 우리나라 도로교의 설계 차량하중은 1962년까지 D13(총중량 13톤), D9(총중량 9톤)의 일본 하중을 적용하였으며, 1962년부터 1978년까지는 DB18(총중량 32.4톤) 및 DB13.5(총중량 24.3톤)를 각각 1, 2등급교로 설계시 적용하였으며, 1984년 이후부터는 DB24(총중량 43.2톤), DB18(총중량 32.4톤), DB13.5(총중량 24.3톤)를 각각 1, 2, 3등급교 설계에 적용하고 있다. 성수대교 붕괴 이후 거의 모든 교량을 DB24로 설계하고 있다. 2004년 교량현황조서를 참조하여 도로교의 설계하중별 분포를 살펴보면 DB24(13482개, 63.9%), DB18(4881개, 23.1%), DB13.5이하(2744개 13.0%)의 분포를 보이고 있다. 1등급교인 DB24교량이 절반 이상이지만 DB18이하 교량이 36%로 적지 않은 비율을 차지하고 있다. 또한, 1등급교의 기준이 현행 DB24보다 더 큰 하중으로 바뀔 가능성도 과거에 예를 살펴보면 충분히 예상되는 일이다. 따라서, 현행 설계기준보다 낮은 수준으로 설계된 교량들을 현행 기준에 부합되도록 만들기 위해서는 내하력의 평가를 체계적이고 합리적인 수치화된 평가가 필요하다.

우리나라의 경우 시설물의 안전관리에 관한 특별법 및 동법 시행령·시행규칙에 따라 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. 그러나, 정기적인 모든 점검과정에서 전문가를 활용한다는 것은 전문가의 수요 및 경제적인 여건상 어려우므로, 일반의 구조기술자라도 전문가가 행하는 것과 같은 정도의 평가결과에 도달할 수 있는 체계적인 평가시스템이 요구되고 있다.

이러한 상황을 고려하여 본 논문에서는 철근콘크리트 교량에 대하여 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침상의 정기점검 단계의 점검자료와 점검 이력자료를 바탕으로 의사결정방법에 기반하여 교량의 노후도 및 구조안전성에 대한 상태를 평가하는 시스템을 구축하고, 이러한 시스템 구축을 통하여 노후도 및 구조안전성에 대한 체계적이고 연속적인 관리 및 전문가가 아닌 일반의 구조기술자에 의한 신뢰성 높은 평가를 가능하게 함으로써 교량의 안전성 확보 및 유지관리체계의 과학화를 도모하는 것을 목적으로 한다.

제 2 장 이론적 배경

2.1 계층분석의 개념(*Analytic Hierarchy process*)

의사결정방법은 의사결정문제가 다수의 평가기준으로 이루어져 있을때, 우선 평가 기준들을 계층화 후 계층에 따라 중요도를 정해 가는 다기준 의사결정기법이다. 이는 T. L, Saaty에 의해 1970년대 초에 개발된 것으로 복잡한 의사결정문제를 효율적으로 해석하는 시스템적 과정이다.

의사결정방법은 목표값들 사이의 중요도를 계층적으로 나누어 파악함으로써 각 대안의 중요도를 산출하는 기법으로 다수의 목표·평가기준·의사결정주체가 포함되어 있는 의사결정문제를 계층화하여 해결하는데 적합하다. 즉 주어진 의사결정문제를 계층화한 후, 상위계층에 있는 한 요소의 관점에서 직계 하위계층에 있는 요소들을 상대비교 하여 상대적 중요도 또는 가중치를 구함으로써 최하위 계층에 있는 대안의 우선순위를 결정하는 것이다. 이 방법은 한 문제를 더 작은 부분으로 분해하고, 문제를 구성하고 있는 요소들의 상대적 크기나 강도를 표현하기 위하여 요소간에 상대비교를 수행한다. 그리고 이러한 판단을 수치로 전환하는데 이 수치는 비교척도에 의한 평가가치로서 의사결정시 객관적 지표로 사용된다.

의사결정방법은 정성적 분석법이 일종이로 대안의 평가 및 채택을 위한 의사결정기법의 하나이다. 이미 이 기법을 적용하여 많은 연구가 수행된 바 있으며, 주관적 판단에 의한 가중치 결정방법으로서 생활의 질을 측정하는 분야에서 상당히 유용한 방법으로 판명되었다. 의사결정방법은 시스템을 구성하는 요소들 사이의 복잡한 유기적 관계를 간명한 의사결정구조로 분석하고, 요소들 간의 상대적 중요도는 실제로 이 시스템을 움직이는 주체인 사람의 주관적 판단에 의해 측정하는 것으로서, 기본적으로 인간의 판단능력을 신뢰하는데 바탕을 두고 있다. 이는 대부분의 방법론이 가지고 있는 ‘항상 합리적이어야 한다.’는 제약조건을 어느 정도 극복할

수 있는 방법이라고 할 수 있다.

이와 같이 의사결정방법은 여러 속성을 단 두 개로 분류하여 상대비교를 함으로써 의사결정과정에 참여하는 여러 전문가들의 의사결정 판단자료를 일정한 논리에 따라 쉽고 체계적으로 획득·분석할 수 있도록 해줄 뿐만 아니라, 의사결정과정과 관련된 평가 기준들을 계층구조로 파악할 수 있게 한다. 따라서 의사결정과정에 참여하는 다수의 전문가들은 문제해결과정을 일목요연하게 볼 수 있으며, 아울러 평가결과를 쉽게 이해할 수 있다. 또한 의사결정방법은 의사결정자의 오랜 경험이나 직관을 평가의 바탕으로 하고 있기 때문에, 수치로 표현할 수 있는 정량적 평가기준은 물론 의사결정문제에서 다루기 곤란하면서도 반드시 고려하지 않으면 안되는 정성적 평가기준도 비교적 쉽게 처리할 수 있다.

의사결정자는 목적이 상충되는 대안들을 선택하여야 하는 상황에 직면할때가 많다. 계층은 여러 의사결정수준으로 구성되어 있고, 각 의사결정수준은 구체적인 의사결정요소를 포함한다. 일단 의사결정수준이 결정되면 의사결정자는 상위수준 요소에 대한 가중치를 구하기 위하여 각 수준의 요소들을 쌍대비교 한다. 상대비교를 하기 위해서는 각 행력에 있는 요소들의 우선순위를 산정하여야 하는데, 이러한 새로운 백터값을 상대비교를 위한 요소로 사용된 상위수준 요소의 가중치 요소를 사용하여 가중치를 계산하며, 이렇게 계산된 가중치는 각 대안의 종합가중치를 결정하는데 사용된다. 따라서 종합 가중치가 가장 큰 대안이 최적값이 되는 것이다.

2.2 계층분석의 적용절차

의사결정방법은 복잡한 현실을 구성요소별로 분해하고 계층화하여 보다 체계적인 이해를 도모함으로써, 문제를 좀 더 명확하게 파악하고자 하는 것이다. 의사결정을 내려할 문제를 상호 관련된 의사결정요소들의 계층으로 나눔으로써 의사결정 계층을 형성하는데, 이 과정이 계층분석기법에서 가장 중요한 절차이다. 즉, 최상위 계층에는 의사결정의 최종목적이 위치하고, 최하위 계층에는 의사결정대안이 자리 잡게 되며, 그 중간의 각 계층에는 상위단계 요소에의 영향력 또는 공헌도에 따라 요소들을 구조화한다.

복잡한 문제들은 많은 요소로 이루어져 있다. 하나의 구조는 다수의 구성요소로 이루어져 있으며, 그 구성요소는 각각 분리되어 있으면서도 또한 서로 복잡하게 얽혀 있는 것이 보통이다. 일반적으로 의사결정에 영향을 미치는 모든 변수를 나열하여 전부 고려하기는 불가능하며, 변수의 중요도에 따라 정리과정을 거치게 된다.

의사결정방법은 근원적인 지적사고행위에 기초한 다 기준 의사결정기법이다. 보통 사람이 경우 비교요소가 7 ± 2 개를 넘으면 동시비교에 어려움을 느낀다. 따라서 의사결정과정에 좀더 많은 요소가 포함될 수 있도록 문제를 해체하고, 위계질서 내에서 요소를 재배치한 후 각 변수의 상대적 중요도에 대한 주관적 판단을 수치화함으로써 판단을 종합한다. 여기서 ‘해체’란 문제를 위계로 구성하는 것을 말하며, 적절한 맥락별로 문제를 구성하고 그 맥락 내에서 각 부분을 이해할 수 있는 능력을 부여하는 방법으로 위계적 해체를 이용하여 비교 가능군으로 그룹화하는 것을 의미한다. ‘계층’이란 시TM템의 특수한 형태로, 시스템을 구성하는 각 요소는 그 특성에 따라 분할집합을 형성하며, 이 집합들은 서로 영향을 주고 받는다. 이때 각 집합들은 ‘단계’라고 부르며, 집합내의 요소들은 동질적이어야 한다. 이 모형은 다음의 4가지 공리에 의하여 의사결정모델 적용을 위한 이론적 배경이 마련된다.

첫째, 상대비교는 동일한 기준 아래에 있는 두 개의 요소를 상호비교하여 상대적 중요성을 나타낼 수 있어야 하며, 이러한 중요성의 강도는 반드시 역의 조건을 만족시켜야 한다는 것이다. 예컨대, A가 B보다 X배 중요하다면 B는 A보다 1/X배 중요시되어야 한다.

둘째, 동질성은 중요성의 정도는 제한된 범위 내에서 정해진 척도에 의하여 표현되어야 한다는 것으로 비교되는 두 요소는 비교 가능할 때에 한하여 유효하다는 의미이다.

셋째, 독립성은 상대적인 중요도를 평가하는 각 수준의 결정요소들은 특성이나 내용면에서 서로 독립적이어야 한다는 것으로, 결정요소들 간의 중요성은 하위수준에 있는 의사결정요소들에 의하여 영향을 받지 않는다는 의미이다.

넷째, 기대성은 의사결정에 필요한 모든 요소들은 계층구조에 완정하게 포함되어야 한다는 것으로, 의사결정자 자신이 고려하는 모든 대안 및 평가기준들이 계층구조에 반영될 뿐 아니라 과거의 경험 및 지식을 토대로 대안간의 중요성에 대한 신념이 반영된다는 것을 의미한다.

계층을 구성하는 중간단계에는 최종목적에 영향을 미치는 결정요인, 문제해결에 관계되는 행위자, 행위자의 개별 목적, 그리고 목적 달성을 위한 정책이나 수단등이 위치하게 된다. 또한 각각 부차적인 세부요소로 하위단계를 형성할 수 있다. 이러한 단계들은 문제의 상황에 따라 가변적으로 침삭할 수 있다. 즉, 문제가 단순할 경우에는 3~4단계의 계층구조로 형성되나, 복잡한 문제일 경우에는 그림1과 같은 수많은 단계의 복잡한 계층구조가 형성될 수 있다.

의사결정방법은 기본적으로 복잡하고 비구조화된 상황을 하위구성요소로 분해하고, 각 구성요소들의 상대적 중요도에 대한 주관적 판단에 따라 수식화된 가중치를 할당하며, 가장 우선순위가 높고 원하는 결과를 얻는데 필요한 요소를 결정하기 위하여 판단을 종합하는 것이다. 이러한 모든 과정은 반복적으로 수정과 검토 거치게 되며, 문제를 해결하는데 필요한 중요한 요소들이 모두 망라되어다고 판단될 때까지 이러한 절차는 계속된다.

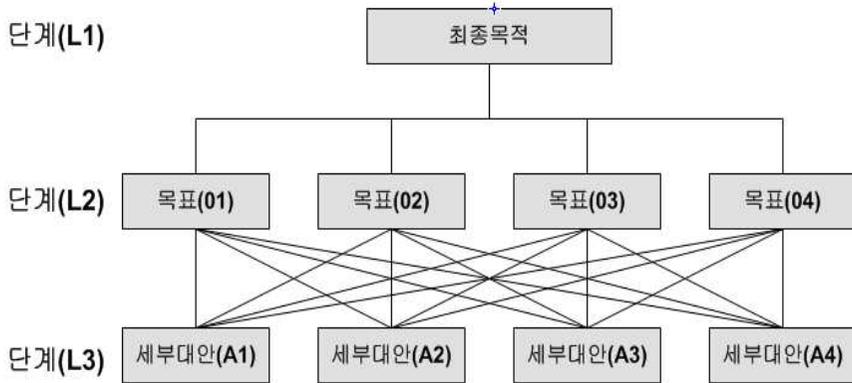


그림.2.1 계층분석과정의 기본적 의사결정도

계층분석기법을 이용하여 문제를 해결하려면, 우선 문제를 단계로 나누어 계층구조를 형성하여야 한다. 이렇게 단계가 구성되면, 최종목표를 위해 각 평가기준의 중요도를 산출하고, 중요도가 산출된 평가기준으로 각각의 대안을 평가한다. 이 때 동일단계에서 있는 평가기준들의 중요도는 그대로 하위단계에 전달되며, 이러한 계층적 분화원리에 의하여 최종목표에 합당한 최적대안을 선택한다.

2.3 중요도 평가방법

2.3.1. 측정방법 및 척도

계층구조를 형성하고 난 다음의 절차는 각 계층별로 각 단계의 요소들을 평가하는 것이다. 계층분석기법은 동일한 단계에 있는 요소들의 중요도를 어떻게 측정할 것인가와 어떠한 척도를 사용할 것인가 하는 것이 핵심이다. 중요도는 우선성이라

고도 부르는데, 이는 2개 요소만을 상호 비교하는 상대비교방식을 중요도는 우선성 이라도 부르는데, 이는 2개 요소만을 상호 비교하는 상대비교방식을 통하여 측정할 수 있다. 쌍대비교들로 구성되는 행렬의 특성벡터와 특성근을 통하여 각 요소의 중요도를 산정한다.

표 2.1 상대적 중요성에 대한 척도

척도	정 의	설 명
1	동등하게 중요	두 요소가 차상위 목표의 기준에서 볼때 똑같이 중요
3	약간 중요	한 요소가 다른 요소보다 약간 중요
5	강하게 중요	한 요소가 다른 요소보다 강하게 중요하거나 가치가 있음
7	매우 강하게 중요	한 요소가 다른 요소보다 대단히 중요하거나 가치가 있음
9	절대적으로 중요	한 요소가 다른 요소에 비하여 비교할 수 없을 정도로 절대적으로 중요
2,4,6,8	근접한 수의 중간 정도	필요한 경우에 사용
위의 역수	한 요소가 다른 요소보다 중요한 경우, 후자의 중요도는 전자의 중요도와 비교하여 그 역수의 값을 가짐	

상대비교에 사용되는 척도는 인간이 느낄 수 있는 차이를 최대한 반영할 수 있는 범위를 요구한다. 1956년 밀러의 실리학 실험에서 얻는 “인간은 7(±2)개의 대상을 혼동없이 동시에 비교가 가능하다”라는 결과로부터, 척도의 범위는 1에서 9까지의 수 또는 이의 역수로 한다. Saaty는 의사결정방법에서 9점척도를 이용하는 이유는 행렬의 최종 계산결과가 응답자에 의하여 크게 민감하지 않기 때문에 응답자들이 정확한 값을 선택하여 하다는 부담을 갖지 않아도 되기 때문이라고 주장하고 있다. 하지만 선택하여야 하는 대안이 두 가지일 경우에는 척도의 간격이 지나치게 크다는 단점이 있다. 의사결정방법에 나타나는 숫자는 일상의 언어적 표현과 밀접

한 관계를 가지며, 그 내용은 위 표 2.1과 같다.

n 개의 요소들을 각각 $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ 이라 하고, 각 요소의 중요도를 $w_1, w_2, w_3 \dots w_n$,이라고 하면, 상대비교로부터 얻어진 결과는 다음과 같은 행렬 A로 표현된다.

$$A = \begin{matrix} & \begin{matrix} A_1 & A_2 & A_3 & \dots & A_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ \vdots \\ A_n \end{matrix} & \left[\begin{matrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & w_1/w_3 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & w_2/w_3 & \dots & w_2/w_n \\ w_3/w_1 & w_3/w_2 & w_3/w_3 & \dots & w_3/w_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & w_n/w_3 & \dots & w_n/w_n \end{matrix} \right] \end{matrix}$$

의사결정자의 상대비교에 의해 행렬 $A=(a_{ij})$ 가 이루어지며, a_{ij} 는 w_i/w_j 의 추정치 $a_{ij} = 1/a_{ji}$ 로 표현되며, 이는 주대각선들이 원들이 모두 1이 되는 역행렬이다. 이 행렬에 상대적 중요도를 나타내는 열벡터 $W^T = (w_1, w_2, w_3, \dots w_n)$ 을 곱한 결과는 $n \cdot W$ 가 되어 다음의 관계식이 성립한다.

$$A \cdot W = n \cdot W$$

만일 행렬 A를 알고 있고 이로부터 W를 구한다면,

$$(A - n)W = 0$$

으로부터 0이 아닌 해를 갖는 행렬 A의 특성방정식의 고유치가 산출되는 과정에서 W를 유도할 수 있다. 이때 행렬 A가 완전히 기수적인 일관성을 가지고 있다면 특

성방정식의 근 $\lambda_i (i=1,2,3,\dots,n)$ 는 가장 큰 하나만이 n 의 값을 가지며, 나머지 근들은 모두 0이다. 즉,

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = \text{trace}(A) = n,$$

$$\lambda_{\max} = n,$$

$$\lambda_i = 0, \quad \lambda_i = \lambda_{\max}$$

가 되어 요소 $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ 의 중요도는 특성방정식의 근 λ_{\max} 에 대응하는 특성벡터, $W^T = (w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)$ 으로 얻어진다. 이를 $\sum w_i = 1$ 이 되도록 w_i 를 $\sum w_i$ 로 나누어 정규화한다.

중요도를 평가하는 과정에 집단이 참여할 경우에는 집단적 동의에 의한 평가를 함으로써 중요도를 산출할 수 있으나, 개인마다 다른 평가를 할 경우에는 기하평균을 사용하여 중요도를 산출한다. 이는 대칭적 역수행렬의 성격으로 여러 숫자들의 기하평균의 역수는 그 숫자들의 역수를 취한 값들의 기하평균과 같기 때문이다. 쌍비교에 의해 얻어진 행렬 A 의 a_{ij} 의 값을 알고 있다면 기수적 일관성 즉 $a_{ij} \cdot a_{ik} = a_{ik}$ 가 성립되어야 한다. $a_{ij} \cdot a_{ik} = a_{ik}$ 의 의미는 i 를 j 보다 x 배 주용하게 생각하고 j 를 k 보다 y 배 중요하게 생각한다면 i 는 k 보다 $x \cdot y$ 배 주용하게 평가한다는 것이다.

상대비교에 의하여 행렬을 얻는 방법은 각 열의 요소의 중요도 1을 기준으로 대각선 아래에 있는 행의 요소들의 상대적 중요도를 결정한다. 즉 a_{ij} 를 1로 놓고 $a_{(i+1)i}, a_{(i+2)i}, \dots, a_{ni}$ 를 먼저 구하고, $a_{1i}, a_{2i}, \dots, a_{(i-1)i}$ 는 $a_{ij} = 1/a_{ij} (j=1,2,\dots,i-1)$ 의 관계로부터 얻어진다. 이러한 행렬의 작성과정을 보면 기수적 일관성 물론, 서수적 이행관계의 성립을 전제로 하고 있지 않음을 알 수 있다.

2.3.2 일관성 검증

주관적인 요소가 작용하는 비교에 있어서는 이론적인 일관성이 반드시 적용되는 것은 아니므로, 논리적 모순성 정도를 검증할 필요가 있다.

일반적으로 판단의 완전한 일관성이란 기수적 일관성과 서술성 일관성을 만족시키는 것을 말한다. 그러나 의사결정방법은 의사결정자가 자기의 경험과 직관에 의해 주관적으로 측정하는 요소도 평가에 고려하기 때문에, 판단의 완전한 일관성을 기대하지는 않는다. 즉, 인간이 내릴 수 있는 판단의 불완전성 까지도 의사결정방법은 고려하는 것이다. 의사결정방법은 의사결정자가 수행하는 일련의 상대비교 활동에 대한 일관성지수를 측정하는 방법을 제공하고, 이 수치를 이용하여 일관성비율을 계산하여 의사 결정자가 행한 판단의 일관성을 측정한다. 행렬 A가 일관성이 있기 위한 필요조건은 이 행렬이 역수행렬이 되는 것이며, 필요충분조건은 이 행렬의 특성근 n 이 되는 것이다. 즉,

$$\text{consistency} \iff \text{reciprocal}$$

$$\text{consistency} \iff \lambda_{\max} = n$$

이 된다.

행렬 A가 기수적으로 정확히 일치하는 경우는 $a_{ij} \cdot a_{ik} = a_{ik}$ 가 성립하는 경우이며, $\lambda_{\max} = n$ 이 된다는 의미이다. 만약 λ_{\max} 와 n 이 일치하지 않은 경우에는 λ_{\max} 가 언제나 n 보다 큰 값을 갖는다. 이는 일관성에서 벗어나는 편차를 측정하는 $\lambda_{\max} - n$ 으로 할 수 있다. 추정치 $a_{ij} = (1 + \delta_{ij})w_i/w_j$ 라고 하고, w_i/w_j 에 대한 불일치 정도를 δ_{ij} , 그리고 $\delta_{ij} > -1$ 이고 한다면, $a_{ij} = 1/a_{ji}$ 와 $A \cdot W = \lambda_{\max} \cdot W$ 를 이용하여,

$$\lambda_{\max} - n = \frac{1}{n} \sum_{1 \leq i \leq j \leq n} \frac{\delta_{ij}^z}{1 + \delta_{ij}} \geq 0$$

이 된다. 즉, 추정치 a_{ij} 가 정확히 w_i/w_j 와 일치할 때 $\delta_{ij} = 0$ 이 되어 $\lambda_{\max} = n$ 이 성립하며, 그렇지 않을 경우에는 $\lambda_{\max} - n = 0$ 이 일치되는 정도를 지수로 나타낸 것을 일관성지수라고 하며, 다음 식이 성립된다.

$$C.I. = v = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{-\sum \lambda_i}{n - 1}$$

단, λ_i 는 λ_{\max} 를 제외한 행렬 A의 특성근

이때. 검증통계량 v 를 사용하는 대신, 일관성지수(C.I.)를 경험적 자료로 얻는 평균 무작위지표(R.I.)로 나눈 일관성비율(C.R.)로 확인할 수 있다.

표 2.2 평균무작위지표

행렬의 차원(상대비교 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

무작위지표란 1에서 9까지의 정수들을 무작위로 추출하여 수 백개의 역수행렬을 작성한 후 이로부터 일치지수를 구한 것으로, 무작위지표의 평균은 위 표 2.2와 같다. T.L.Saaty는 일반적으로 일관성비율(C.R.=C.I./R.I.)이 0.1이내이면 합리적 일관성을 갖는 것으로 판단하고, 0.2 이상이면 일관성이 부족한 것으로 판단하였다.

의사결정방법은 앞에서 살펴 본 일련의 과정을 거친 후 마지막 단계에서 계층구조의 종합화를 통하여 각 대안들의 종합적 우선순위와 가중치를 결정한다. 즉, 계층구조를 이루는 모든 의사결정요소들의 상대적 중요도 및 상대적 선호도를 종합하여 대안들의 우선순위를 평가하고 최적대안을 결정한다. 또한 이 단계에서 도출된 각 대안의 가중치는 비율척도이므로, 의사결정상황이 대안들의 중요도에 따라 의사결정의 가중치를 설정하는 문제일 경우에는 가중치에 따라 평가기준의 중요도를 설정하는 기준으로서의 역할도 할 수 있다.

2.4 의사결정방법의 적용효과

Saaty는 의사결정방법은 유용성을 첫째, 의사결정과정에 대한 정보를 정성적인 기준과 정량적이고 다기준의 복잡한 문제를 하위 기준으로 세분하여 계층화함으로써 상대 비교방식으로 해결할 수 있으며, 셋째, 정성적인 정보를 정량화하여 수치로 표현할 수 있다는 점을 들었다.

의사결정방법은 엄격한 가정 하에서 최적화 해결을 추구하는 전통적인 방법과는 달리, 실제로 실무에서 많은 경험을 갖고 있는 전문가의 의견을 쉽게 도출하고 체계적으로 분류하는 방법이다. 따라서 이론과 실제의 괴리문제를 해결할 수 있으며, 복잡한 의사결정에 AHP를 적용하며 다음과 같은 효과를 기대할 수 있다.

첫째, 의사결정방법은 다 기준 의사결정문제를 해결하기 위하여 개발되었으므로, 기존 기법이 가지고 있던 의사결정상의 많은 한계점을 극복할 수 있다. 특히 다 기준 의사결정 하에서 여러 기준에 따라 상대적 중요도를 동시에 결정하는 작업을

효율적으로 수행하지 못한다는 인간의 약점을 보다 과학적이고 체계적인 방법으로 극복해 주는 역할을 한다.

둘째, 의사결정방법에서는 의사결정자의 오랜 경험과 직관을 평가의 바탕으로 하고 있기 때문에, 수치로 표현할 수 있는 정량적 평가기준은 물론, 의사결정문제에서 다루기 곤란하면서도 반드시 고려하여야 하는 정성적 평가기준도 쉽게 적용할 수 있다.

셋째, 상대비교 방식을 채택함으로써 전문가의 지식을 추출할 때 수반되는 부담을 상당히 덜어 준다. 즉, 많은 전문가의 지식을 활용할 수 있으며, 일관성비율을 측정함으로써 잘못 추출된 전문가의 지식을 검증할 수 있다. 또한 상대 비교시 엄격히 계량화된 수치를 상용하기 보다는 일상적인 어휘를 사용함으로써 쉽게 전문가의 의견을 추출할 수 있다. 의사결정방법은 어휘적인 표현을 갖는 지식을 계량화함으로써 정성적인 접근과 정량적인 접근을 매우 효과적으로 조합한 방법이라고 할 수 있다.

넷째, 복잡한 문제를 계층화하여 문제를 매우 간결하게 분석할 수 있을 뿐만 아니라, 이러한 간결성이 그룹의사결정을 용이하게 한다. 의사결정방법모형은 여러 전문가의 의견을 산술평균이나 기하평균을 이용하여 통합함으로써 각 전문가의 의견을 효과적으로 이용할 수 있다.

제 3 장 안전진단 업무분석 및 평가 항목의 정형화

3.1 교량 유지관리 일반

3.1.1 안전점검의 목적

효과적인 교량 유지관리는 결함, 손상 및 열화를 초래할 수 있는 요인들을 미리 발견하여 예방적 조치를 취함으로써 손상단계로의 진전을 미연에 방지하고 이미 결함, 손상 및 열화가 발생한 경우에는 초기에 대책을 강구함으로써 대규모의 보수·보강에까지 이르지 않도록 경제적인 유지관리를 행하여 교량의 공용수명을 연장하는 것이다. 이를 위해서는 설계 및 시공 단계에서부터 유지관리를 염두에 둔 계획이 이루어져야 하며 관련자료의 보존, 점검 및 진단, 일상적 예방 유지관리 계획수립과 시행결과에 따른 조치대책 수립 등의 일련의 과정이 적절히 수행되어야 한다.

안전점검의 목적은 공용중인 교량의 상태를 조사하여 교량의 안전과 사용수명 연장에 필요한 유지관리 조치를 취하고 사용자의 안전확보 및 유지관리 계획수립에 필요한 자료를 얻는 것으로서 조사시기, 빈도 및 점검수준에 따라 초기점검, 정기점검, 정밀점검 및 긴급점검으로 나눈다.

3.1.2 안전점검의 종류

(1) 초기점검

초기점검은 준공된 교량에 대하여 6개월 이내에 실시하며 교량전체에 대한 육안 검사와 콘크리트 강도조사, 철근 배근상태조사, 재료시험 등의 현장시험을 실시하여 시공상태를 평가하고, 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침에 따라 비파괴 재하

시험을 시행, 처짐과 공용 내하력의 초기치를 설정하여 향후 교량의 점검 및 진단 시에 기초자료

로 활용하도록 하기 위한 점검으로서 정밀점검 수준으로 실시한다.

단, 차량통행에 따른 교량의 거동 특성상 보다 정확한 초기상태를 획득하기 위해서는 공용개시 전에 실시함이 바람직하다.

구조형태가 변화되었을 때는 초기치를 결정하기 위하여 초기점검을 실시하며, 이때 비파괴 현장시험 및 재료시험의 종류는 기존자료 및 교량상태를 고려하여 선정한다.

공사 발주기관이나 시공회사로부터 시공당시 발생된 문제점이나 해결과정 등을 명시한 감리보고서 또는 기록사항 등 자료를 입수하여 초기점검에 활용토록 한다.

육안검사시 결함이 있는 경우에는 도면으로 기록하며, 교량 전체부재에 대한 안전성 조사 및 상태평가, 현장시험 등 각종 점검자료를 보존토록 한다.

(2) 정기점검

정기점검은 순찰과 유사한 성격의 점검으로 공용중의 모든 교량의 상태파악을 위해 시행하는 점검이다.

정기점검은 육안 및 망원경, 거울 등의 보조기구를 사용하여 점검자가 도보로 접근 가능한 교량의 상부와 하부의 전반적인 외관상태를 관찰하는 수준으로 한다.

손상상태평가는 교량의 전반적인 외관상태에 국한하며 외형상 확연히 나타나는 손상 및 결함상태는 특기사항으로 기입한다.

(3) 정밀점검

정밀점검은 교량의 물리적, 기능적 상태를 판단하고 이전 상태로부터의 변화를 확인하며 현재의 사용조건을 계속 만족시키고 있는지를 확인하기 위한 점검이다.

점검은 육안검사와 정기점검에 사용되는 보조기구 외에 사진기, 반발경도 측정기, 균열자, 줄자 등의 간단한 측정기구를 사용하여 영구작업대, 점검통로 또는 점

검차를 사용하여 주형 및 바닥판 하부 등 정기점검시 접근이 불가능한 부위까지 점검한다.

손상상태평가는 경간별, 지점별로 행하되 문제부위에 대하여는 외관조사망도를 구성하여 등급을 매기는 것으로 한다.

평가시 착안사항은 점검항목을 참조하고, 하부구조 수중부위에 대한 점검은 갈수기 동안의 관찰 및 침식의 흔적조사에 국한한다. 구조 혹은 하중상태가 변화된 경우에는 구조계산을 통한 내하력 평가를 시행한다.

정밀점검에는 시설물의 상태평가 및 내진설계 여부 판단과 필요시 시설물의 안전성 평가를 시행한다.

(4) 긴급점검

1) 손상점검

손상점검은 비계획적인 점검으로서 재해나 사고에 의해 비롯된 구조적 손상을 평가하는 것이다. 점검의 범위는 긴급한 사용제한이나 사용금지의 필요성이 있는지의 판단과 보수를 수행하는 데 있어 필요한 작업량의 정도를 결정할 수 있어야 한다.

손상점검은 정밀점검의 보완수단으로 손상의 정도와 보수의 긴급성, 그리고 보수작업의 규모를 파악할 수 있어야 하며, 시험장비에 의한 현장측정 및 사용제한 기간에 대한 판단이 필요하다.

2) 특별점검

특별점검은 관리주체가 판단하여 행하는 정밀점검 수준의 점검이다. 이 점검은 기초침하 또는 세굴과 같은 결함이 의심되는 경우나, 하중제한 중인 시설물의 지속적인 사용여부를 판단하기 위한 점검으로서 점검시기는 결함의 심각성을 고려하여 결정한다.

(5) 정밀안전진단

정밀안전진단은 정밀점검 과정을 통하여 쉽게 발견할 수 없는 결함부위를 찾기

위하여 행하여지는 정밀한 육안검사 및 장비에 의한 근접점검이다.

필요한 경우 점검차, 비계, 작업선과 같은 특수장비 및 잠수부와 같은 특수기술자가 필요하며 결함의 존재 및 범위를 파악하기 위한 내구성 측면의 비파괴 현장 시험 및 기타 재료시험을 병행한다.

손상상태평가는 전체 경간, 전체 지점에 대하여 외관조사망도를 구성하여 손상표기 범례에 따라 상세히 작성하고 수중부분은 잠수부를 동원하여 정밀한 점검을 행한다.

외관상태 평가시의 착안사항은 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침에 따른다.

교량의 안전성 평가는 대상교량의 활화중 지지능력을 평가하는 것으로서, 교량 구조부재의 저항능력을 정확히 산정하는 것이 중요하다. 진단에서는 반드시 교량에 대한 안전성 평가에 대한 내용을 포함하며 내하력 평가시 필요할 경우 재하시험을 실시한다. 교량부재의 저항능력은 정밀 육안검사 및 비파괴 시험을 통해 파악된 부재의 상태와 교량의 현 상황을 고려한 구조해석 결과와 필요시 재하시험을 실시하여 산정하며, 제반기준은 현행 도로교 표준시방서 및 철도건설공사 표준시방서의 기준에 의하여 산정한다. 정밀안전진단 결과 보수·보강이 필요할 경우에는 그 방법을 제시한다.

3.2 외관 상태평가

3.2.1 상태평가

상태평가란 기존교량을 준공시의 상태와 비교하여 기술하는 것으로서 정확한 상태평가를 하기 위하여 평가부위의 노후화 및 파손의 정도 뿐만 아니라 그 발생원인과 평가부위 주위의 전반적인 상태를 고려하여 구조물 전체에 미치는 영향도를 평가하여야 한다. 상태평가는 손상의 범위 및 정도에 따라 A, B, C, D, E의 5가지로 등급을 산정하여 점검서식에 기입한다.

안전점검 및 정밀안전진단 종류별 상태평가 기준은 다음 3.2.2절의 외관상태 평가기준에 따른다.

3.2.2 외관 상태평가 기준

(1) 정기점검 상태평가 기준

교량의 전반적인 외관상태에 대하여 평가하며, 상태평가 기준은 다음과 같다.

표 3.1 교량 외관 상태평가 기준

등급	상 태
A	문제점이 없는 최상의 상태
B	경미한 손상의 양호한 상태
C	보조부재에 손상이 있는 보통의 상태
D	주요부재에 진전된 노후화(강재의 피로균열, 콘크리트의 전단균열, 침하 등)로 긴급한 보수·보강이 필요한 상태로 사용제한 여부를 둔다.
E	주요부재에 심각한 노후화 또는 단면손실이 발생하였거나 안전성에 위험이 있어 시설물을 즉각 사용금지하고 개축이 필요한 상태

(2) 정밀점검 및 정밀안전진단 상태평가 기준

정밀점검은 교량 구성요소별로 평가하며, 정밀안전진단은 외관조사만을 작성하여 손상 부위별로 평가한다. 상태평가기준은 3.3절의 「항목별 외관 상태평가 기준」에 따른다.

3.3 항목별 외관 상태평가 기준

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 기준은 다음과 같다.

표 3.2 아스팔트 포장의 상태평가 기준

등급	균 열	요철, 단차	함 물
A	없음, 미세균열	없음	없음
B	일방향, 균열율 20%미만	없음	없음
C	균열율 20~30%	경미	부분적 얇은 함몰
D	거북등균열, 균열율 30% 이상	주행성 저하	깊이 30mm이상 함몰
E	거북등균열, 균열율 30% 이상	심한충격	전반적인 함몰, 탈락

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

표 3.3 콘크리트 포장의 상태평가 기준

등급	균 열	요철, 단차	함 물
A	없음, 미세균열	없음	없음
B	0.3mm이하 다수발생	없음	없음
C	0.3mm이상 다수발생	부분적으로 발생	없음
D	0.3mm이상 다수발생	심화, 골재마모	부분적인 표면손상
E	0.3mm이상 다수발생		전반적인 표면파손

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 3.4 배수시설의 상태평가 기준

등급	파손, 배수관 길이	누수, 체수	오 염
A	양호	없음	없음
B	양호	다소의 퇴적물	없음
C	상태불량, 길이부족	퇴적물, 일시적인 체수	상관하면 부식
D	일부파손, 길이부족	많은 퇴적물, 누수	주구조물 부식 초기
E	파손	심한 누수와 체수	전반적인 부식

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 상관에도 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 3.5 난간 및 연석의 상태평가 기준 (강재)

등급	부 식	변 형	파 손
A	없음	없음	없음
B	발생초기	국부적	없음
C	25% 이하	전반적	국부적
D	25%~40%	전반적	충돌에 의한 국부적
E	전반적	전반적	전반적

표 3.6 난간 및 연석의 상태평가 기준 (콘크리트)

등급	균열	박리	파손	철근노출
A	없음	없음	없음	없음
B	0.3mm이하 다소발생	표면변색	없음	없음
C	0.3mm이상 다수발생	국부적	국부적	없음
D	0.3mm이상 다수발생	전반적	국부적	부분적, 부식 동반
E	0.3mm이상 다수발생	전반적	전반적	다수발생

4) 바닥판

가. 콘크리트

바닥판은 운하중의 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 유리석회화 발생하는 현상을 말한다.

또한 점검시에는 다음 사항에 유의한다.

바닥판의 손상정도를 판단하는데 있어서 균열은 상당한 비중을 차지하므로 점검시에는 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 조상에 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 운하중의 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 3.7 콘크리트 바닥판의 상태평가 기준

등급	균열	
	일방향 균열	이방향 균열
A	없음, 0.1mm이하 부분적	없음
B	0.1~0.2mm 간헐적 (30cm 이하)	없음
C	0.1~0.2mm 길이 50cm이상 (20cm 이하 간격)	0.1~0.2mm 부분적
D	0.1~0.2mm 길이 50cm이상 (20cm 이하 간격)	0.2~0.3mm 망상균열 형태
E	0.4mm 이상 균열로 발전	0.2~0.3mm 망상균열 형태

등급	박리	파손	철근노출
A	없음	없음	없음
B	없음	없음	없음
C	없음	국부적	없음
D	국부적	국부적	부분적, 부식동반
E	전반적	전반적	다수발생, 부식심화

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

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 3.8 신축이음장치 본체의 상태평가 기준 (고무형)

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

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

표 3.9 신축이음장치 본체의 상태평가 기준 (강제형)

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

등급	부식, 변형	균열, 파손
A	없음	없음
B	없음	없음
C	없음	없음
D	국부적인 부식	볼트, 너트 부분 탈락
E	하부 전체적 부식, 국부적 변형	상부 강판 탈락, 본체유동

나. 신축이음장치 후타설재

후타설재에 대한 상태평가기준은 균열과 차량의 주행성을 기준으로 한다.

표 3.10 신축이음장치 후타설제의 상태평가 기준

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

6) 교좌장치

받침장치 점검시에 있어서 주요 점검부위는 다음과 같다.

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

표 3.11 교좌장치의 상태평가 기준 (강제)

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

표 3.12 교좌장치의 상태평가 기준 (고무재)

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

교대, 교각 중에서 중력식, 반중력식, 역T형식, 부벽식과 같은 형식은 육안으로 검사할 수 있는 범위가 제한된다. 예를 들어, 교대의 배면에서 발생하는 손상의 경우 노출된 벽체, 기둥의 일부, 교좌면 등의 변형이 상당히 발달되어 구조물 전체에 변위가 생기기 전에는 발견되지 않은 경우가 많으므로 주의깊게 육안검사 및 검측을 한다.

표 3.13 교대의 상태평가 기준

등급	균열, 박리, 백태, 파손		
	교대본체	교대와 날개벽 사이	주형 받침부
A	없음. 0.1mm 이하 균열	없음	없음
B	0.2mm 균열 부분적, 표면부식	미세균열	없음
C	0.2~0.4mm 종방향 균열, 부분적 시공이음부와 단면변화부에 횡방향균열	부분적 균열	박리가 부분적 발생
D	0.5mm 종방향 균열, 균열사이 백태심함	연결부가 분리되어 기울어짐	콘크리트 부식 및 탈락
E	0.5mm 이상 균열	날개벽이 토압에 의해 기울어짐	-

표 3.14 교각의 상태평가 기준

등급	콘크리트		철근
	균열	박리, 파손	노출, 파단
A	0.1mm 이하	없음	없음
B	0.2mm 비구조적 균열	없음	없음
C	0.2~0.3mm 균열 50cm간격, 사인장균열 코핑부 1/2H 정도	콘크리트 피복이 박리현상 교좌하부 콘크리트 탈락	없음
D	0.5mm 이상 균열 50cm간격	피복탈락, 단면축소	철근 부분적 노출
E	0.5mm 이상 균열	구체 콘크리트 탈락, 부분적 교각 파손	철근노출, 부식심화

제 4 장 계층분석에 의한 상태평가 시스템의 구성 및 구현

상태평가시스템은 주어진 대상에 대해 평가항목을 선정하고 적절한 평가기법을 이용하여 상태를 판정하는 시스템으로, 그림 4.1에서는 일반적인 평가과정을 개념적 절차와 구체적 절차로 나누어 도시하였다. 평가과정을 개념적으로 고찰하면, 평가대상을 평가기법을 이용하여 평가결과를 내는 것이고, 이를 좀 더 구체적으로 고찰하면, 평가대상의 평가항목에 대해 각각의 평가치와 중요도를 구하고 이를 종합하는 기법을 이용하여 상태평가 결과를 도출하는 것이다.

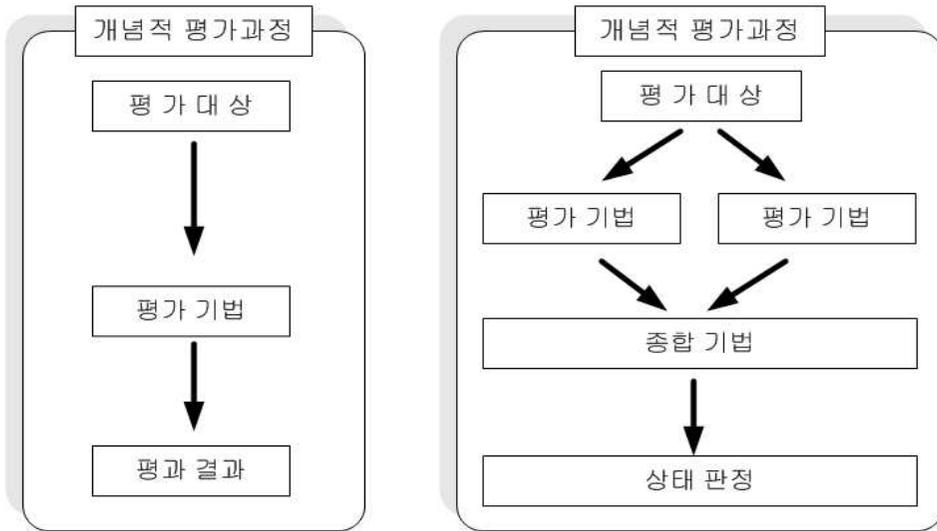


그림 4.1 상태평가 시스템의 일반적 평가과정

본 장에서는 기존 교량구조물의 상태평가를 위한 상태평가시스템을 구성하는 것을 목적으로 한다. 정기점검 단계에서의 점검결과는 정성적인 경우가 대부분이므로 평가를 위해서는 이러한 정성적인 결과를 정량화하는 과정이 필요하다. 그리고 정기점검 단계에서는 전문가에 의한 평가가 수행되기 어렵고 또한 교량구조물의 특성상 평가 항목을 점검할 수 없는 경우가 발생한다. 이러한 문제에 대해서 본 연

구에서는 각 점검 항목의 점검결과를 의사결정방법의 개념에 의하여 정량화 하였으며, 평가 시스템의 핵심인 평가기법은 이러한 정량화된 결과에 대해 주관적인 의사결정 문제에서 그 적용성이 뛰어나고 일부 평가항목의 누락에 대해서는 적절한 평가가 가능한 의사결정방법을 이용하였다.

4.1. 의사결정방법에 의한 평가시스템의 구조

4.1.1 상태평가시스템 구조

본 연구의 상태평가 시스템의 상태평가 과정은 그림 4.2와 같다. 즉, 우선 각 평가항목은 상부구조, 하부구조, 부속시설에 대하여 각각의 평가치를 구하고, 이들 평가치에 대하여 의사결정방법을 이용하여 각 평가항목이 전체 평가에 기여하는 정도를 나타낸 평가척도를 사용하여 종합하고 이로부터 구조물의 종합상태를 나타내는 상태지수를 구한다. 여기서 구한 상태지수는 대상 구조물의 정밀점검 또는 정밀안전진단과 같은 상위진단의 여부를 포함한 유지관리 지침을 판단하는데 쓰인다.

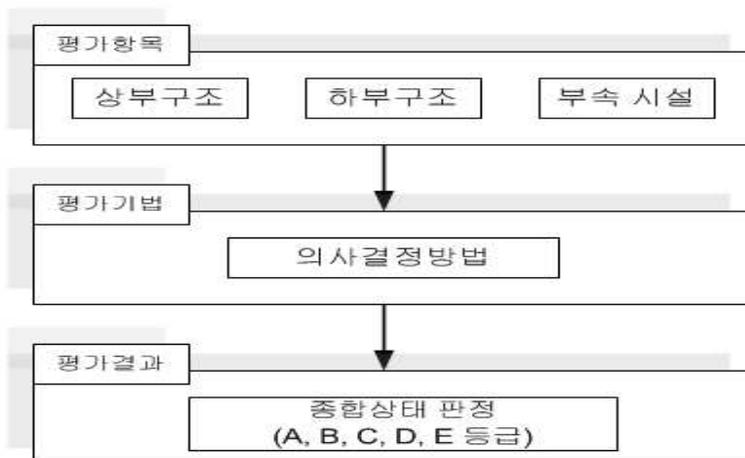


그림 4.2 상태평가시스템의 전체적인 상태평가 과정

본 연구의 상태평가는 그림 4.3에서 보는 바와 같이 모듈화된 단계별 평가구조를 가진다. 종합상태 판정을 위한 평가범주인 상부구조, 하부구조, 부속시설은 최상위 평가 항목으로서 이에 대한 평가값은 이들 평가항목에 속한 세부 평가항목으로부터 평가되고, 또 이들 세부 평가항목은 다시 이들을 구성하는 더 세부적인 평가 항목으로부터 평가된다. 일반적으로 모든 평가항목을 같은 단계에서 동시에 고려하여 평가할 때에는 각 평가항목의 중요도 산정에 어려움이 많아 현실적으로 불가능하며 또한 누락되는 평가항목을 고려하기 어렵고 이로 인해 평가 결과의 신뢰성에도 문제가 발생할 수 있다. 이에 대해 본 연구에서는 모듈화된 단계별 평가구조를 가짐으로써 평가의 효율성과 평가결과의 신뢰성 제고 및 평가항목의 누락에 유연하게 대처할 수 있는 장점이 있다.

일반적으로 평가항목의 개수가 많을 경우에는 여러 단계로 나누어 평가하는 단계별 평가가 유용하다.

그림 4.3에서 그림에서 보는 바와 같이 모듈화된 단계별 평가구조를 가진다. 종합상태 판정을 위한 평가범주인 상부구조조건, 하부구조조건, 부속시설조건은 최상위평가 항목으로서 이에 대한 평가 값은 이들 평가 항목에 속한 세부 평가 항목으로부터 평가 되고, 또 이들 세부 평가항목은 기초자료를 통해서 기술자의 평가하게 된다. 일반적으로 모든 평가항목을 같은 단계에서 동시에 고려하여 평가할 때에는 각 평가항목의 중요도 산정에 어려움이 많아 현실적으로 불가능하며 또한 누락되는 평가항목을 고려하기 어렵고, 이로 인해 평가결과의 신뢰성에도 문제가 발생할 수 있다. 이에 본 연구에서는 모듈화된 단계별 평가구조를 가짐으로써 평가의 효율성과 평가결과의 신뢰성 제고 및 평가항목의 누락에 유연하게 대처할 수 있는 장점을 가진다.

그림 4.4에서 그림 4.6은 각각 상위 평가항목인 상부구조물, 하부구조물, 부속시설에 대한 평가과정이다. 그림 4.4는 상부구조물에 대한 평가과정으로서 포장, 배수시설, 바닥판하면으로부터 의사결정방법을 이용하여 상부구조를 평가한다. 그림 4.5는 하부구조물에 대한 평가과정으로 박리, 누수 및 백태, 균열으로부터 의사결정방법을 이용하여 하부구조를 평가한다. 그림 4.6은 부속시설에 대한 평가과정으로 신축이음, 교좌장치, 난간연석으로부터 의사결정방법을 이용하여 평가한다.



그림 4.3 교량구조물의 상태평가를 위한 평가항목 및 위계

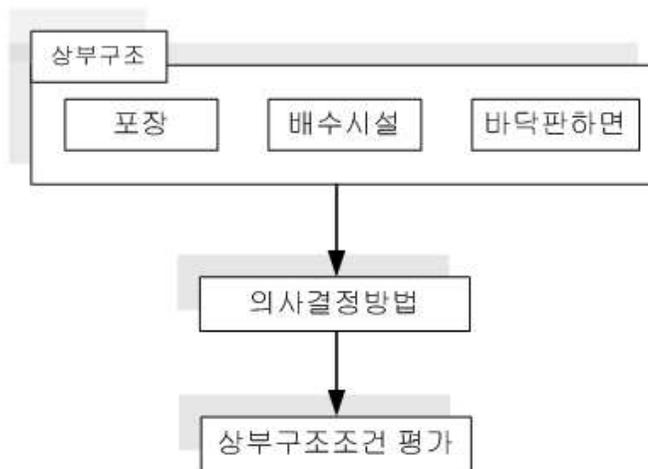


그림 4.4 상부구조물의 평가과정

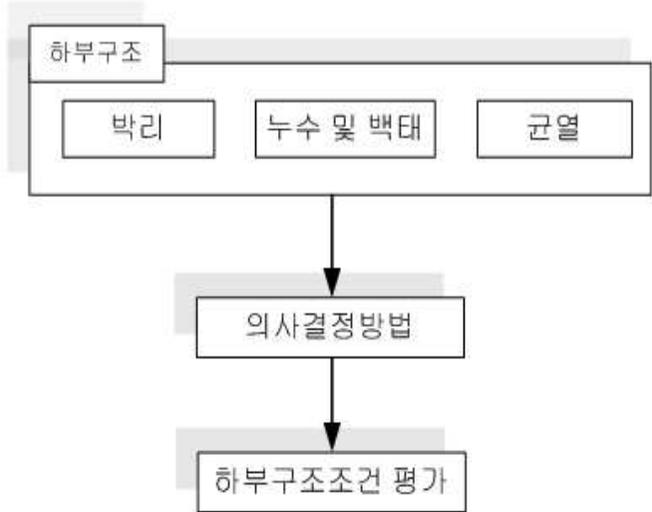


그림 4.5 하부구조물의 평가과정

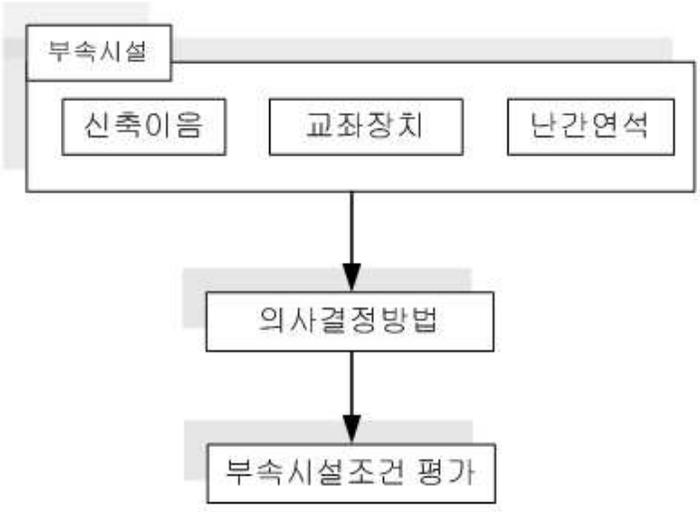


그림 4.6 부속시설 평가과정

4.1.2 평가항목의 중요도

의사결정방법에서는 주관적인 평가와 상대적 비교를 사용하기 때문에 결과의 해석에는 어느 정도 제약이 필요하다. 즉, 판단 값 자체가 언어적 표현에 대응하는 수치이기 때문에 결과의 수치도 마찬가지로 언어적으로 해석해야 한다.

의사결정방법은 ① 목적의 계층화, ② 개별비교, ③ 가중치계산, ④ 일관성 검증의 순서로 이루어진다. 이때, 목적의 계층화에서는 계층내의 동일성과 계층간의 연속성을 기본원칙으로 한다. 계층내의 동일성이란 각 계층에 포함되는 요소들은 서로 동질적인 속성을 가져야 한다는 것이고 계층간의 연속성이란 상위계층의 속성을 평가지표로 하여 하위계층의 요소들이 비교 수 있어야 한다는 것이다.

(1) 목적의 계층화

문제의 구조를 파악하고, 개별비교를 실시하기 위하여 그림 4.7과 같은 계층도를 작성한다. 즉 최종목표를 상위 레벨에, 복수개의 구체적인 평가기준을 중간레벨에, 대체안을 최하위 레벨에 둔다. 이때, 중간레벨은 더 세분하여 구성할 수 있다.

(2) 개별비교

같은 레벨 내에 있는 원소를 둘씩 취하여 직접 상위의 목적에 대하여 하나씩 개별 비교 실시한다. 의사결정자에게 “요소 A_i 는 요소 A_j 와 비교하여 어느 정도 중요한가(a_{ij})?”를 물어 그 대답을 표4.1에서 표4.4의 수치로 기입하여 정방행렬 각각의 정방행렬 $A = \{a_{ij}\}$ 를 구한다. 여기서 $a_{ii} = 1(i = 1 \dots n)$ 이고, $a_{ij} = 1/a_{ji}$ 이다. 표 4.1에서 표4.4 의사결정방법 작성에 대한 예시이다.

상부구조물			
	포장	배수시설	바닥판하면
포장	1	1/3	1/6
배수시설	3	1	1/4
바닥판하면	6	4	1

표 4.1 상부구조물의 의사결정방법 작성 예시

하부구조물			
	박리	누수 및 백태	균열
박리	1	1/3	1/7
누수 및 백태	3	1	1/5
균열	7	5	1

표 4.2 하부구조물의 의사결정방법 작성 예시

부속시설			
	신축이음	교좌장치	난간연석
신축이음	1	1/3	1/5
교좌장치	3	1	1/4
난간연석	5	4	1

표 4.3 부속시설의 의사결정방법 작성 예시

교량구조물			
	부속시설	하부구조	상부구조
부속시설	1	1/5	1/6
하부구조	5	1	1/3
상부구조	6	3	1

표 4.4 교량구조물의 의사결정 방법 작성 예시

(2) 가중치 계산

개별 비교에서 얻어진 행렬에 대하여 최대고유치와 이에 대응하는 고유벡터를 구하여 이를 각 평가항목의 가중치로 한다. 여기서 가중치는 직접 상위 항목에 대한 하위 항목의 상대적인 중요도를 의미한다.

1) 상부구조

① 고유벡터 u 를 산정(u)

$$A^1u(0) = \begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{6} \\ 3 & 1 & \frac{1}{4} \\ 6 & 4 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.4995 \\ 1.4153 \\ 3.6630 \end{pmatrix}$$

$A^1u(0)$	0.4995	$A^3u(0)$	4.9118	$A^5u(0)$	45.7459
	1.4153		11.6550		108.9326
	3.6630		37.1295		345.8205
$A^2u(0)$	1.5818	$A^4u(0)$	14.9850	$A^6u(0)$	139.6935
	3.8295		35.6726		332.6254
	12.3210		113.2200		1056.0263

위의 표에 의해 계산된 결과에서 알 수 있듯이 A를 곱할 수록

$$u = \begin{pmatrix} 0.0914 \\ 0.2176 \\ 0.6910 \end{pmatrix}$$

최대고유치(λ_{\max})은 \tilde{u} 를 A의 최대고유치 λ_{\max} 에 대응하는 주고 고유벡터의 근사 벡터라 하면

$$\lambda_{\max} \approx \frac{\langle \tilde{u}, \lambda \tilde{u} \rangle}{\langle \tilde{u}, u \rangle}$$

이고 이때 위 식의 우변의 내적비를 레일리의 몫이라고 부른다.

위의 예에서 근사 주고유벡터

$$\tilde{u} = \begin{pmatrix} 139.36935 \\ 332.625 \\ 1056.0263 \end{pmatrix}$$

가 얻어진다. 이 경우의 최대 고유치 값은 다음과 같다.

$$\lambda_{\max} = 3.054$$

② 일관성 검증

상대 비교에 의한 방법이 오직 두 요소간의 비교를 반복함으로써 전체 요소간 상대적 중요도를 결정하는 것으로 요소간의 일관성이 성립하지 않은 경우가 발생한다. 즉, 판단에 의한 논리적 모순이 발생할 수 있으며 이의 측정을 일관성 검증이라고 한다. 일관성은 정합도(C.R.)를 이용하여 검증한다. 정합도 C.R.은 식 4.1과 같이 구한다.

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \text{ 여기서, } C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

C.I.는 정합지수로서 일관성이 완벽할 경우 0이 되며 일관성이 나빠질수록 커진다. R.I.는 행렬의 차수 n에 따라 표 4.5와 같이 정의 된다.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R.I.	0	0	0.58	0.90	1.12	1.32	1.41	1.45	1.49

표 4.5 행렬의 차수 따른 R.I.의 값

정합도(C.R.)는 인간 판단력의 한계 때문에 대체로 0보다 크며 일관성이 나쁠수록 그 값이 커지게 된다. 정합도가 0.1보다 작으면 일관성을 인정한다.

$$C.I. = \frac{3.05 - 3}{3 - 1} = 0.027$$

$$C.R. = \frac{0.027}{0.58} = 0.046 \leq 0.1$$

C.R.값이 C.R. ≤ 0.1에 있으므로 일관성이 있다고 판단된다.

2) 하부구조

① 고유벡터 u 를 산정(u)

$$A^1 u(0) = \begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{7} \\ 3 & 1 & \frac{1}{5} \\ 7 & 5 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.4916 \\ 1.3986 \\ 4.3290 \end{pmatrix}$$

$A^1 u(0)$	0.4916	$A^3 u(0)$	4.9316	$A^5 u(0)$	46.2437
	1.3986		11.4203		107.6193
	4.3290		44.4920		417.3420
$A^2 u(0)$	1.5762	$A^4 u(0)$	15.0943	$A^6 u(0)$	141.7372
	3.7391		35.1134		329.8190
	14.7630		136.1142		1279.1450

위의 표에 의해 계산된 결과에서 알 수 있듯이 A를 곱할 수록

$$u = \begin{pmatrix} 0.0810 \\ 0.1884 \\ 0.7306 \end{pmatrix}$$

최대고유치(λ_{\max})은 \tilde{u} 를 A의 최대고유치 λ_{\max} 에 대응하는 주고 고유벡터의 근사 벡터라 하면

$$\lambda_{\max} \approx \frac{\langle \tilde{u}, \lambda \tilde{u} \rangle}{\langle \tilde{u}, \tilde{u} \rangle}$$

이고 이때 위 식의 우변의 내적비를 레일리의 몫이라고 부른다.

위의 예에서 근사 주고유벡터

$$\tilde{u} = \begin{pmatrix} 141.7372 \\ 329.8190 \\ 1279.1450 \end{pmatrix}$$

가 얻어진다. 이 경우의 최대 고유치 값은 다음과 같다.

$$\lambda_{\max} = 3.06$$

② 일관성 검증

상대 비교에 의한 방법이 오직 두 요소간의 비교를 반복함으로써 전체 요소간 상대적 중요도를 결정하는 것으로 요소간의 일관성이 성립하지 않은 경우가 발생한다. 즉, 판단에 의한 논리적 모순이 발생할 수 있으며 이의 측정을 일관성 검증이라고 한다. 일관성은 정합도(C.R.)를 이용하여 검증한다. 정합도 C.R.은 식 4.1과 같이 구한다.

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \text{ 여기서, } C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

C.I.는 정합지수로서 일관성이 완벽할 경우 0이 되며 일관성이 나빠질수록 커진다. R.I.는 행렬의 차수 n에 따라 표4.5와 같이 정의 된다.

정합도(C.R.)는 인간 판단력의 한계 때문에 대체로 0보다 크며 일관성이 나쁠수록 그 값이 커지게 된다. 정합도가 0.1보다 작으면 일관성을 인정한다.

$$C.I. = \frac{3.06 - 3}{3 - 1} = 0.03$$

$$C.R = \frac{0.03}{0.58} = 0.051 \leq 0.1$$

C.R. 값이 C.R. ≤ 0.1에 있으므로 일관성이 있다고 판단된다.

3)부속시설

① 고유벡터 u 를 산정(u)

$$A^1u(0) = \begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{5} \\ 3 & 1 & \frac{1}{4} \\ 5 & 4 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.5106 \\ 1.4153 \\ 3.3300 \end{pmatrix}$$

$A^1u(0)$	0.5106	$A^3u(0)$	5.2170	$A^5u(0)$	49.5501
	1.4153		11.6106		111.0494
	3.3300		34.9040		331.7217
$A^2u(0)$	1.6484	$A^4u(0)$	16.0680	$A^6u(0)$	152.9109
	3.7796		35.9876		342.6302
	11.5440		107.4314		1023.6698

위의 표에 의해 계산된 결과에서 알 수 있듯이 A를 곱할 수록

$$u = \begin{pmatrix} 0.1007 \\ 0.2255 \\ 0.6738 \end{pmatrix}$$

최대고유치(λ_{\max})은 \tilde{u} 를 A의 최대고유치 λ_{\max} 에 대응하는 주고 고유벡터의 근사 벡터라 하면

$$\lambda_{\max} \approx \frac{\langle \tilde{u}, \lambda \tilde{u} \rangle}{\langle \tilde{u}, u \rangle}$$

이고 이때 위 식의 우변의 내적비를 레일리의 몫이라고 부른다.

위의 예에서 근사 주고유벡터

$$\tilde{u} = \begin{pmatrix} 152.9109 \\ 342.6302 \\ 1023.6698 \end{pmatrix}$$

가 얻어진다. 이 경우의 최대 고유치 값은 다음과 같다.

$$\lambda_{\max} = 3.086$$

② 일관성 검증

상대 비교에 의한 방법이 오직 두 요소간의 비교를 반복함으로써 전체 요소간 상대적 중요도를 결정하는 것으로 요소간의 일관성이 성립하지 않은 경우가 발생한다. 즉, 판단에 의한 논리적 모순이 발생할 수 있으며 이의 측정을 일관성 검증이라고 한다. 일관성은 정합도(C.R.)를 이용하여 검증한다. 정합도 C.R.은 식 4.1과 같이 구한다.

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \text{ 여기서, } C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

C.I.는 정합지수로서 일관성이 완벽할 경우 0이 되며 일관성이 나빠질수록 커진다. R.I.는 행렬의 차수 n에 따라 표 4.5와 같이 정의 된다.

정합도(C.R.)는 인간 판단력의 한계 때문에 대체로 0보다 크며 일관성이 나뉠수록 그 값이 커지게 된다. 정합도가 0.1보다 작으면 일관성을 인정한다.

$$C.I. = \frac{3.086 - 3}{3 - 1} = 0.043$$

$$C.R. = \frac{0.043}{0.58} = 0.074 \leq 0.1$$

C.R.값이 $C.R. \leq 0.1$ 에 있으므로 일관성이 있다고 판단된다.

4) 교량구조물

① 고유벡터 u 를 산정 (u)

$$A^1 u(0) = \begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{5} & \frac{1}{6} \\ 5 & 1 & \frac{1}{3} \\ 6 & 3 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.4551 \\ 2.1090 \\ 3.3300 \end{pmatrix}$$

	0.4551		4.5954		43.8767
$A^1 u(0)$	2.1090	$A^3 u(0)$	16.7832	$A^5 u(0)$	161.6882
	3.3300		37.4625		357.3023
	1.4319		14.1958		135.7641
$A^2 u(0)$	16.7832	$A^4 u(0)$	52.2477	$A^6 u(0)$	500.1693
	12.3876		115.3845		1105.6233

위의 표에 의해 계산된 결과에서 알 수 있듯이 A 를 곱할 수록

$$u = \begin{pmatrix} 0.0780 \\ 0.2872 \\ 0.6348 \end{pmatrix}$$

최대고유치(λ_{\max})은 \tilde{u} 를 A 의 최대고유치 λ_{\max} 에 대응하는 주고 고유벡터의 근사 벡터라 하면

$$\lambda_{\max} \approx \frac{\langle \tilde{u}, \lambda \tilde{u} \rangle}{\langle \tilde{u}, \tilde{u} \rangle}$$

이고 이때 위 식의 우변의 내적비를 레일리 몫이라고 부른다.

위의 예에서 근사 주고유벡터

$$\tilde{u} = \begin{pmatrix} 135.7641 \\ 500.1693 \\ 1105.6233 \end{pmatrix}$$

가 얻어진다. 이 경우의 최대 고유치 값은 다음과 같다.

$$\lambda_{\max} = 3.094$$

② 일관성 검증

상대 비교에 의한 방법이 오직 두 요소간의 비교를 반복함으로써 전체 요소간 상대적 중요도를 결정하는 것으로 요소간의 일관성이 성립하지 않은 경우가 발생한다. 즉, 판단에 의한 논리적 모순이 발생할 수 있으며 이의 측정을 일관성 검증이라고 한다. 일관성은 정합도(C.R.)를 이용하여 검증한다. 정합도 C.R.은 식 4.1과 같이 구한다.

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \quad \text{여기서, } C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

C.I.는 정합지수로서 일관성이 완벽할 경우 0이 되며 일관성이 나빠질수록 커진다. R.I.는 행렬의 차수 n에 따라 표4.5와 같이 정의 된다.

정합도(C.R.)는 인간 판단력의 한계 때문에 대체로 0보다 크며 일관성이 나빠질수록 그 값이 커지게 된다. 정합도가 0.1보다 작으면 일관성을 인정한다.

$$C.I. = \frac{3.094 - 3}{3 - 1} = 0.047$$

$$C.R. = \frac{0.047}{0.58} = 0.081 \leq 0.1$$

C.R.값이 $C.R. \leq 0.1$ 에 있으므로 일관성이 있다고 판단된다.

4.1.3 의사결정방법에 의한 상태평가

평가항목의 중요도를 고려하여 가중 평균법을 이용하여 표 4.6와 같이 교량 구조물의 상태평가를 실시하였다.

표 4.6 의사결정방법에 의한 상태평가 예제

	구분	총물량		등급별 분포					
		수량	단위		A	B	C	D	E
상부 구조	포장	413	면적 (m^2)	수량		395	18		
				백분율		96	4		
	배수 시설	42	개소 (개)	수량			42		
				백분율			100		
바닥판 하면	325	면적 (m^2)	수량			85	240		
			백분율			26	74		
부속 시설	신축 이음	4	개소 (개)	수량			2	2	
				백분율			50	50	
	교좌 장치	2	개소 (개)	수량			2		
				백분율			100		
난간 연석	140	개소 (개)	수량		100	40			
			백분율		71	29			
하부 구조	박리					○			
	누수 및 백태					○			
	균열						○		

평가 대상	평가 항목	가중치	평가지수	의사결정방법에 의한 평가	전문가에 의한 평가
상부구조	포장	0.0914	0.692	0.415	D등급
	배수시설	0.2175	0.5		
	바닥판 하면	0.6910	0.352		
부속시설	신축이음	0.1007	0.4	0.585	C등급
	교좌장치	0.2255	0.5		
	난간 연석	0.6738	0.642		
하부구조	박리	0.0810	0.5	0.383	D등급
	누수 및 백태	0.1884	0.5		
	균열	0.7306	0.3		
교량구조물	부속시설	0.078	0.415	0.411	D등급
	하부구조	0.2872	0.585		
	상부구조	0.6348	0.383		

4.2 누락자료에 의한 상태평가 시스템

4.2.1 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 평가 결과에 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 수행할 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.

4.2.2 중요도 재산정에 의한 누락자료 처리

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

표 4.7 평가항목중 신축이음 누락되어 있을때 교량 상태평가 결과이다.

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

표 4.7 특정항목 누락시 의사결정방법 의한 상태평가 예제

	구분	총물량		등급별 분포					
		수량	단위		A	B	C	D	E
상부 구조	포장	360	면적 (m ²)	수량			360		
				백분율			100		
	배수 시설	42	개소 (개)	수량		24			
				백분율		100			
	바닥판 하면	332.4	면적 (m ²)	수량			332.4		
				백분율			100		
부속 시설	신축 이음	2	개소 (개)	수량			2		
				백분율			100		
	교좌 장치	없음	개소 (개)	수량					
				백분율					
	난간 연석	60	개소 (개)	수량			60		
				백분율			100		
하부 구조	박리					○			
	누수 및 백태						○		
	균열							○	

평가 대상	평가 항목	가중치	평가지수	의사결정방법 에 의한 평가	전문가에 의한 평가
상부구조	포장	0.0914	0.5	0.543	C등급
	배수시설	0.2175	0.7		
	바닥판 하면	0.6910	0.5		
부속시설	신축이음	0.1300	0.5	0.5	C등급
	교좌장치	누락	누락		
	난간 연석	0.8700	0.5		
하부구조	박리	0.0810	0.7	0.370	D등급
	누수 및 백태	0.1884	0.5		
	균열	0.7306	0.3		
교량구조물	부속시설	0.078	0.5	0.43	D등급
	하부구조	0.2872	0.543		
	상부구조	0.6348	0.370		

제 5 장 사례적용 및 분석

본 장에서는 상태 평가 시스템을 실제 사례적용을 통하여 그 성능을 분석하였고 5.2절에서는 전문가에 의한 실제 평가결과와 본 시스템에 의한 평가결과를 비교하는 방법으로 수행하였다.

5.1 적용대상

교량 상태평가 시스템의 적용성 분석은 기존에 안전기술자에 의해서 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 5.1 시스템 적용 대상 교량

구분	교량명	소재지	형식
1	주산교	전라남도 담양군 고서면 주산리	7경간 단순지지 R·C 슬래브교
2	발산교	전라남도 나주시 세지면 교산리	4경간 단순지지 R·C 슬래브교
3	영광교	전라남도 강진군 선전면 영광리	2경간 단순지지 R·C슬래브교
4	수양교	전라남도 강진군 신전면 수양리	2경간 단순지지 R·C 슬래브교
5	대신교	전라남도 완도군 대신리	R·C 슬래브교

5.2 적용사례

(1)주산교

	구분	총물량		등급별 분포					
		수량	단위		A	B	C	D	E
상부 구조	포장	413	면적 (m^2)	수량		395	18		
				백분율		96	4		
	배수 시설	42	개소 (개)	수량			42		
				백분율			100		
바닥판 하면	325	면적 (m^2)	수량			85	240		
			백분율			26	74		
부속 시설	신축 이음	4	개소 (개)	수량			2	2	
				백분율			50	50	
	교좌 장치	2	개소 (개)	수량			2		
				백분율			100		
난간 연석	140	개소 (개)	수량		100	40			
			백분율		71	29			
하부 구조	박리						○		
	누수 및 백태						○		
	균열							○	

평가 대상	평가 항목	가중치	평가지수	의사결정방법에 의한 평가	전문가에 의한 평가
상부구조	포장	0.0914	0.692	0.415	D등급
	배수시설	0.2175	0.5		
	바닥판 하면	0.6910	0.352		
부속시설	신축이음	0.1007	0.4	0.585	C등급
	교좌장치	0.2255	0.5		
	난간 연석	0.6738	0.642		
하부구조	박리	0.0810	0.5	0.383	D등급
	누수 및 백태	0.1884	0.5		
	균열	0.7306	0.3		
교량구조물	부속시설	0.078	0.415	0.411	D등급
	하부구조	0.2872	0.585		
	상부구조	0.6348	0.383		

(2)발산교

	구분	총물량		등급별 분포					
		수량	단위		A	B	C	D	E
상부 구조	포장	360	면적 (m ²)	수량			360		
				백분율			100		
	배수 시설	42	개소 (개)	수량		42			
				백분율		100			
	바닥판 하면	332.4	면적 (m ²)	수량			332.4		
				백분율			100		
부속 시설	신축 이음	2	개소 (개)	수량			2		
				백분율			100		
	교좌 장치	없음	개소 (개)	수량					
				백분율					
	난간 연석	60	개소 (개)	수량			60		
				백분율			100		
하부 구조	박리				○				
	누수 및 백태					○			
	균열						○		

평가 대상	평가 항목	가중치	평가지수	의사결정방법에 의한 평가	전문가에 의한 평가
상부구조	포장	0.0914	0.5	0.543	C등급
	배수시설	0.2175	0.7		
	바닥판 하면	0.6910	0.5		
부속시설	신축이음	0.1300	0.5	0.5	C등급
	교좌장치	누락	누락		
	난간 연석	0.8700	0.5		
하부구조	박리	0.0810	0.7	0.370	D등급
	누수 및 백태	0.1884	0.5		
	균열	0.7306	0.3		
교량구조물	부속시설	0.078	0.5	0.43	D등급
	하부구조	0.2872	0.543		
	상부구조	0.6348	0.370		

(3)영 광고

	구분	총물량		등급별 분포					
		수량	단위		A	B	C	D	E
상부 구조	포장	172.5	면적 (m^2)	수량			172.5		
				백분율			100		
	배수 시설	8	개소 (개)	수량		1		7	
				백분율		13		87	
	바닥판 하면	60	면적 (m^2)	수량			60		
				백분율			100		
부속 시설	신축 이음	없음	개소 (개)	수량					
				백분율					
	교좌 장치	16	개소 (개)	수량				16	
				백분율				100	
	난간 연석	50	개소 (개)	수량			50		
				백분율			100		
하부 구조	박리					○			
	누수 및 백태						○		
	균열					○			

평가 대상	평가 항목	가중치	평가지수	의사결정방법에 의한 평가	전문가에 의한 평가
상부구조	포장	0.0914	0.5	0.4678	D등급
	배수시설	0.2175	0.352		
	바닥판 하면	0.6910	0.5		
부속시설	신축이음	누락	누락	0.4498	D등급
	교좌장치	0.2506	0.3		
	난간 연석	0.7492	0.5		
하부구조	박리	0.0810	0.5	0.4115	D등급
	누수 및 백태	0.1884	0.3		
	균열	0.7306	0.5		
교량구조물	부속시설	0.078	0.4498	0.4502	D등급
	하부구조	0.2872	0.4115		
	상부구조	0.6348	0.4678		

(4)수양교

	구분	총물량		등급별 분포					
		수량	단위		A	B	C	D	E
상부 구조	포장	255	면적 (m^2)	수량		255			
				백분율		100			
	배수 시설	8	개소 (개)	수량		8			
				백분율		100			
	바닥판 하면	30	면적 (m^2)	수량			30		
				백분율			100		
부속 시설	신축 이음	없음	개소 (개)	수량					
				백분율					
	교좌 장치	없음	개소 (개)	수량					
				백분율					
	난간 연석	60	개소 (개)	수량			60		
				백분율			100		
하부 구조	박리					○			
	누수 및 백태					○			
	균열					○			

평가 대상	평가 항목	가중치	평가지수	의사결정방법에 의한 평가	전문가에 의한 평가
상부구조	포장	0.0914	0.7	0.5617	C등급
	배수시설	0.2175	0.7		
	바닥판 하면	0.6910	0.5		
부속시설	신축이음	누락		0.5	C등급
	교좌장치	누락			
	난간 연석	1	0.5		
하부구조	박리	0.0810	0.7	0.7	B등급
	누수 및 백태	0.1884	0.7		
	균열	0.7306	0.7		
교량구조물	부속시설	0.078	0.5	0.5966	C등급
	하부구조	0.2872	0.7		
	상부구조	0.6348	0.5617		

(5)대신교

	구분	총물량		등급별 분포					
		수량	단위		A	B	C	D	E
상부 구조	포장	120	면적 (m^2)	수량		109.21	10.8		
				백분율		91	9		
	배수 시설	4	개소 (개)	수량			4		
				백분율			100		
	바닥판 하면	132	면적 (m^2)	수량	118.8	13.2			
				백분율	90	10			
부속 시설	신축 이음	2	개소 (개)	수량		2			
				백분율		100			
	교좌 장치	없음	개소 (개)	수량					
				백분율					
	난간 연석	없음	개소 (개)	수량					
				백분율					
하부 구조	박리				○				
	누수 및 백태				○				
	균열				○				

평가 대상	평가 항목	가중치	평가지수	의사결정방법 에 의한 평가	전문가에 의한 평가
상부구조	포장	0.0914	0.682	0.7791	B등급
	배수시설	0.2175	0.5		
	바닥판 하면	0.6910	0.88		
부속시설	신축이음	1	0.7	0.7	B등급
	교좌장치	누락			
	난간 연석	누락			
하부구조	박리	0.0810	0.7	0.7	B등급
	누수 및 백태	0.1884	0.7		
	균열	0.7306	0.7		
교량구조물	부속시설	0.078	0.7791	0.706	B등급
	하부구조	0.2872	0.7		
	상부구조	0.6348	0.7		

제6장 결론

본 연구는 철근콘크리트 교량에 대하여 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 지침상의 정기점검 단계와 점검자료의 점검 이력자료를 바탕으로 의사결정방법에 기반하여 노후도 및 구조안전성을 평가하는 상태평가시스템을 구축하고 이러한 시스템 구축을 통하여 구조물에 대한 체계적이고 연속적인 관리 및 일반의 구조기술자에 의한 신뢰성 높은 평가를 가능하게 함으로써 구조물의 안전성 확보 및 유지관리체계의 과학화를 도모하는 것을 목적으로 연구를 수행하였다.

1. 의사결정방법에 의한 평가 결과와 전문가에 의한 평가 결과

교량명	상부구조	부속시설	하부구조	의사결정방법에 의한 교량 평가	전문가 평가
주산교	0.415	0.585	0.383	0.415	D등급
발산교	0.543	0.5	0.370	0.430	D등급
영광교	0.4678	0.448	0.4115	0.450	D등급
수양교	0.5617	0.5	0.7	0.5966	C등급
대신교	0.7791	0.7	0.7	0.706	B등급

※교량의 의사결정방법에 의한 평가에서 (1~0.9: A 등급, 0.9~0.7: B 등급, 0.7~0.5: C 등급, 0.5~0.3: D 등급, 0.3~0: E 등급)

2. 상태평가 시스템을 실제 사례에 적용해 본 결과 전문가에 의한 평가와 유사한 결과를 도출하였다. 본 상태평가시스템은 명확하지 않은 정보를 바탕으로 구조물의 상태를 비교적 정확히 평가하고 있으며, 특히, 일부 평가항목의 누락에 대해서도 나머지 평가항목에 대한 중요도의 적절한 조절을 통해서 유연한 대처가 가능함을 볼 수 있다.

3. 의사결정방법에 의한 평가 결과 교량의 내부조건별 건조도 순위에 따라 유지관리 및 보수·보강의 우선순위를 결정할 수 있다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부(1997). 『시설물 유지관리 지침』, 건설교통부.
2. 건설교통부(2000). 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침』, 시설안전기술공단.
3. 건설교통부(2001). 『교량유지관리매뉴얼』, 시설안전기술공단.
4. 김영민(2002). “철근콘크리트 건축구조물의 퍼지기반 상태평가”, 서울대학교, 박사학위논문.
5. 나기현(1998). “퍼지概念을 利用한 道路橋의 安全性評價”, 원광대학교, 석사학위논문.
6. 모재근, 강문명(1997). “퍼지 意思決定에 의한 構造物의 最適化”. 「대한건축학회 논문집」, 제13권, 제12호, pp.299~308
7. 박관순, 고현무, 옥승용, 서충원(2002). “MR Damper가 장착된 교량구조물의 준능동 . 「대한토목학회논문집」, 제22권, 제4-A호, pp.847~857
8. 윤재곤 (2004) 의사결정방법 기법에 의한 자동차 설비 공장의 공급체인 파트너 선정방안에 관한 연구 대구가톨릭대학교 경영학부
- 9.. AHP를 이용한 전자경비 시스템의 평가에 관한 연구, 전호원, 강인배, 경영과학, 1996.
10. AHP기법을 이용한 품질경영시스템 평가요인의 중요도에 관한 연구, 장이석, 1998
11. AHP기법을 이용한 정보시스템 선정 평가 방안에 관한 연구, 송광교, 1995
- 12.Rehm.G. "Contributions to the Problems of Fatigue Strength of Steel Bars for Concrete Reinforcement "International Association for Bridge and Structural Engineers. 6th Congress Preliminary Publication. 1990.pp35-46
13. Hilsdorf.H.K and Kesler.C.E, "Fatigue Strength of Concrete under Varying Flexural Stresses". ACI Journal. Oct. 1996.pp.1059-1075
14. J Files, "Electrochemical Measurements on Concrete Bridge for Evaluation of

Reinforcement Corrosion Rates", Corrosion, Vol 49, No.7 pp601-613

15. Stephen L. Arney, "Predicting the Service Life of Concrete Marine Structures", ACI Structural Journal V95 March-April

16 D.M. Frangopol, Kai-Yung Lin, and A.C. Estes(1997), "Reliability of Reinforced Concrete Girder under Corrosion Attack". Journal of Structural Engineering, VOL.123, No.3, pp.286~297

저작물 이용 허락서

학 과	토목공학과	학 번	20057080	과 정	석 사
성 명	한글 : 유 동 원 한문 : 柳 棟 元 영문 : Dong-Won, Yu				
주 소	광주광역시 서구 농성1동 345-30				
연락처	E-MAIL : ydw119@lycos.co.kr				
논문제목	한글 : 의사결정 방법에 의한 교량의 상태 평가 영문 : Status evaluation of decrepit bridges using the AHP				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

2006년 12월 일

저작자 : 유 동 원 (서명 또는 인)

조선대학교 총장 귀하

감사의 글

28년의 삶동안 제게 많은 힘과 용기를 준신 아버지와 언제나 우리 가족을 위해 기도하시는 어머니 항상 제 뒤에서 말없이 저를 도와주는 누나에게 먼저 고마움을 전합니다.

석사과정동안 많은 지도와 관심을 가져주신 지도교수 박길현 교수님께 깊이 감사드립니다. 또한, 바쁘신 와중에도 귀중한 시간을 내주시어 논문에 대한 충고를 해 주신 심태섭 교수님, 박정웅 교수님께도 감사드립니다. 그밖에도 지난 4년간의 학부시절과 2년간의 석사시절동안 많은 가르침을 주신 토목공학과 모든 교수님들에게도 감사의 마음을 전합니다.

항상 실험실의 만영으로 많은 도움을 주신 황선하 선생님, 양승현 선생님과 실험실의 막내로써 열심히 한 동생 재훈 와 원주, 같은 연구실은 아니지만 대학원생활에 많이 도와주신 최웅 선생님, 정양준 선생님, 이태형 선생님, 후배 현주와 깊은 우정으로 지금까지 응원해주고 격려해 준 고등학교 친구들에게 감사의 마음을 전합니다. 그리고 지난 뉴질랜드연수에 같이 다녀오신 유신 선생님, 박기행 선생님, 김진석 선생님, 이형일 선생님, 최수아 선생님, 오영선 선생님 그리고 후배 김창현 선생님들에게도 감사드립니다.

이밖에도 저를 아는 모든 분들께 이제까지의 제 삶에 영향을 준 것에 대해서 깊은 감사의 마음을 전하며 항상 건강하시고 웃음을 잃지 않으시길 바랍니다.

다시 한번 이제까지의 제 삶에 저의 정신적 지주였던 아버지와 어머니 또한 누나에게 머리 숙여 감사의 마음을 전하며 이 글을 마칩니다.

2007년 2월
유동원