



저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#) 

2012年 8月

博士學位論文

퍼지이론 및 의사결정방법에 의한
철근콘크리트교 상태평가

朝鮮大學校 大學院

土木工學科

黃 宣 夏

퍼지이론 및 의사결정방법에 의한
철근콘크리트교 상태평가

State Assessment of Reinforced Concrete Bridges
by Fuzzy Theory and Analytical Hierarchy Process

2012年 8月 24日

朝鮮大學校 大學院

土木工學科

黃 宣 夏

퍼지이론 및 의사결정방법에 의한
철근콘크리트교 상태평가

指導教授 朴 吉 鉉

이 論文을 工學博士學位申請 論文으로 提出함

2012年 4月

朝鮮大學校 大學院

土 木 工 學 科

黃 宣 夏

黃宣夏의 博士學位論文을 認准함

委員長 朝鮮大學校 副教授 朴 正 雄 (印)

委 員 朝鮮大學校 教 授 金 雲 中 (印)

委 員 朝鮮大學校 副教授 金 聖 洪 (印)

委 員 朝鮮大學校 助教授 金 大 賢 (印)

委 員 朝鮮大學校 教 授 朴 吉 鉉 (印)

2012年 6月

朝 鮮 大 學 校 大 學 院

목 차

ABSTRACT

제 1 장 서 론	1
1.1 연구배경 및 목적	1
1.2 연구동향	3
1.3 연구방법	4
제 2 장 이론적 고찰	6
2.1 폐지이론	6
2.1.1 폐지개념	6
2.1.2 폐지추론방법	7
2.1.3 폐지추론의 적용효과	13
2.2 의사결정방법	14
2.2.1 의사결정방법의 적용	15
2.2.2 중요도 평가방법	17
2.2.3 의사결정방법의 적용효과	22
2.3 교량 유지관리	23
2.3.1 안전점검의 목적	23
2.3.2 안전점검의 종류	23
2.3.3 부재별 손상판정 기준	28

제 3 장 퍼지추론에 의한 평가항목의 정량화	36
3.1 평가항목의 퍼지기준	37
3.2 Max-Min법에 의한 퍼지추론	41
3.3 평가항목의 정량화	46
3.3.1 평가항목별 손상형태 및 입력값	46
3.3.2 퍼지추론에 의한 평가항목 상태평가	47
제 4 장 의사결정방법에 의한 상태평가시스템	48
4.1 평가항목의 정형화	49
4.2 평가항목의 중요도	53
4.3 의사결정방법에 의한 상태평가	62
4.4 누락자료에 의한 상태평가	63
4.4.1 누락자료 문제	63
4.4.2 중요도 재산정에 의한 누락자료 처리	64
제 5 장 상태평가시스템 대상적용	65
5.1 대상교량	65
5.2 대상교량적용	66
5.3 적용성 분석	86
제 6 장 결 론	88
참고문헌	90
부 록	

표 목 차

표 2.1 이원비교시 중요성에 대한 척도	17
표 2.2 평균무작위지표	21
표 2.3 교면포장 상태평가 기준	28
표 2.4 배수시설 상태평가 기준	29
표 2.5 난간 상태평가 기준	30
표 2.6 연석 상태평가 기준	30
표 2.7 바닥판 슬래브 상태평가 기준	31
표 2.8 신축이음 상태평가 기준	32
표 2.9 교량받침 상태평가 기준	33
표 2.10 교량받침 본체 상태평가 기준	33
표 2.11 교대 상태평가 기준	34
표 2.12 교각 상태평가 기준	35
표 2.13 기초 상태평가 기준	35
표 3.1 교면포장의 상태평가 퍼지기준	37
표 3.2 배수시설의 상태평가 퍼지기준	37
표 3.3 난간 및 연석의 상태평가 퍼지기준	38
표 3.4 바닥판 슬래브의 상태평가 퍼지기준	38
표 3.5 신축이음의 상태평가 퍼지기준	39
표 3.6 교각 및 교대의 상태평가 퍼지기준	39
표 3.7 기초의 상태평가 퍼지기준	40
표 3.8 교량받침의 상태평가 퍼지기준	40
표 3.9 바닥판 슬래브의 균열 평가에 관한 FAM	43
표 3.10 바닥판 슬래브의 손상 평가에 관한 FAM	43
표 3.11 평가항목별 손상형태 및 입력값	46
표 3.12 퍼지추론에 의한 평가항목별 상태평가 예	47
표 4.1 상부구조물의 이원비교행렬	54
표 4.2 하부구조물의 이원비교행렬	54
표 4.3 부속시설의 이원비교행렬	54

표 4.4 교량구조물의 이원비교행렬	54
표 4.5 상부구조물에 대한 반복행렬	55
표 4.6 행렬의 차수에 따른 R.I.의 값	57
표 4.7 하부구조물에 대한 반복행렬	58
표 4.8 부속시설에 대한 반복행렬	59
표 4.9 교량구조물에 대한 반복행렬	60
표 4.10 의사결정방법에 의한 상태평가 예	62
표 4.11 특정항목 누락시 의사결정방법에 의한 상태평가 예	64
표 5.1 시스템 적용 대상교량	65
표 5.2 맹리교의 평가항목별 손상형태 및 입력값	66
표 5.3 맹리교의 퍼지추론에 의한 평가항목별 상태평가	67
표 5.4 맹리교의 의사결정방법에 의한 상태평가	69
표 5.5 상하교의 평가항목별 손상형태 및 입력값	70
표 5.6 상하교의 퍼지추론에 의한 평가항목별 상태평가	71
표 5.7 상하교의 의사결정방법에 의한 상태평가	73
표 5.8 청학교의 평가항목별 손상형태 및 입력값	74
표 5.9 청학교의 퍼지추론에 의한 평가항목별 상태평가	75
표 5.10 청학교의 의사결정방법에 의한 상태평가	77
표 5.11 쌍웅교의 평가항목별 손상형태 및 입력값	78
표 5.12 쌍웅교의 퍼지추론에 의한 평가항목별 상태평가	79
표 5.13 쌍웅교의 의사결정방법에 의한 상태평가	81
표 5.14 대문교의 평가항목별 손상형태 및 입력값	82
표 5.15 대문교의 퍼지추론에 의한 평가항목별 상태평가	83
표 5.16 대문교의 의사결정방법에 의한 상태평가	85
표 5.17 대상교량의 상태평가 결과 종합	87

그림 목 차

그림 2.1	퍼지추론 방법의 분류	7
그림 2.2	퍼지결론집합의 생성과정	9
그림 2.3	퍼지해집합의 생성과정	9
그림 2.4	무계중심법에 의한 비퍼지화 과정	10
그림 2.5	계층분석과정의 기본적 의사결정도	16
그림 2.6	정기점검 업무흐름	24
그림 2.7	정밀점검 및 긴급점검 업무흐름	25
그림 3.1	퍼지추론에 의한 평가항목의 상태평가 흐름도	36
그림 3.2	바닥판 슬래브에 대한 언어변수의 소속함수	41
그림 3.3	결론부 언어변수의 소속함수	42
그림 3.4	바닥판 슬래브의 평가 예	44
그림 4.1	상태평가 시스템의 일반적 평가과정	48
그림 4.2	교량구조물의 전체적인 상태평가 과정	49
그림 4.3	교량구조물의 상태평가를 위한 평가항목 및 위계	50
그림 4.4	상부구조물 평가과정	51
그림 4.5	하부구조물 평가과정	52
그림 4.6	부속시설 평가과정	52
그림 5.1	맹리교의 평가항목별 상태평가 결과 비교	68
그림 5.2	상하교의 평가항목별 상태평가 결과 비교	72
그림 5.3	청학교의 평가항목별 상태평가 결과 비교	76
그림 5.4	쌍용교의 평가항목별 상태평가 결과 비교	80
그림 5.5	대문교의 평가항목별 상태평가 결과 비교	84
그림 5.6	대상교량의 상태평가 결과 비교	86

ABSTRACT

State Assessment of Reinforced Concrete Bridges by Fuzzy Theory and Analytical Hierarchy Process

Hwang Sun Ha

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

Department of Civil Engineering,

Graduate School of Chosun University

This dissertation presents a assessment system used Fuzzy Theory and Analytical Hierarchy Process(AHP) for the deterioration and structural safety of reinforced concrete bridges. The system is capable of estimating the degree of global performance from visual inspection in regular inspection stage. The construction of the assessment system includes the selection of assessment items, the estimation of their importance, and the aggregation of individual criterion and their importance.

The assessment items are classified into three categories, such as, upper structures data, base structures data, accessory structures data. And each category is composed of several performance items at lower levels. The grade of importance of assessment items are estimated from the concepts of importance and used in the conservative assessments, respectively.

The importances are estimated by reflecting the interrelationship

among assessment items from the belief and plausibility measures into the relative importance by the Analytical Hierarchy Process(AHP). The estimated results of assessment items and their weights are aggregated in stages in the framework of assessment items. Fuzzy theory showed good applicability as a quantitative assessment scheme by relieving extreme qualitative assessment and thus securing objectivity.

The modular stepwise assessment facilitated efficient assessment and enabled to minimize the missing data problems. As a result of aggregation, the system provides state indices for the optimistic or conservative assessment, which are used as the criteria for refined inspections.

When applied to the actually diagnosed bridge, the proposed system is capable of estimating the degree of global performance from visual inspection in regular inspection stage. The system provided similar results to those by experts. Furthermore, this system was able to provide a systematic and continuous management and a highly reliable estimation for those general engineers. From these results, it can be concluded that this system can be used as a component of maintenance and management scheme for the structural safety and systemization of maintenance and management activities in regular inspection of reinforced concrete bridges.

Keywords : Analytical Hierarchy Process(AHP), State Assessment, Fuzzy Theory, Reinforced Concrete Bridge.

제 1 장 서 론

1.1 연구배경 및 목적

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 교량의 손상 및 노후화에 대하여 현 상태를 정확하게 평가하고 이를 바탕으로 추후의 상태변화에 대한 예측을 할 수 있는 유지관리 필요성이 증대 되었다.

유지관리란 시설물 및 부대시설의 기능을 보존하고 이용자의 편익과 안전을 도모하기 위하여 일상적으로 또는 정기적으로 시설물의 상태를 조사하고 손상부에 대한 조치를 취하는 일련의 행위를 말하며, 유지관리의 효율성을 증대시키기 위해서는 구조물의 결함요소를 사전에 파악하고 이를 제거함으로써 시설물에 요구되는 기능을 극대화시킨다. 또한, 구조물의 결함을 발견하고 보수, 보강 등의 조치를 신속히 취함으로써 구조물의 수명을 연장시키는 것이다. 유지관리의 대상은 시설물의 안전관리에 관한 특별법, 건축법, 공동주택관리령 등에서 규정하고 있는 시설물이며, 시설물의 건설주체 및 관리주체는 건설기술관리법과 시설물의 안전관리에 관한 특별법에 따라 안전 및 유지관리 업무를 수행하도록 되어있다. 그러나 구조물의 안전 및 유지관리의 실패는 지진이나 충돌 등의 우발적인 외력에 의해 갑자기 발생하는 경우도 있지만, 대부분은 구조부재의 점진적인 노후화와 이에 따른 구조성능의 저하에 의하여 발생한다. 구조물은 전체 또는 일부분이 붕괴되어 하중지지능력을 상실하는 극한한계상태에 도달하기 이전에 과도한 균열, 처짐, 진동 등에 의해 사용성이 매우 부적합하게 되는 사용한계상태에 먼저 도달하게 되므로 구조물의 상태에 대한 지속적인 관리를 통해서 사용한계상태를 먼저 감지함으로써 구조물이 붕괴되는 극한한계상태를 예방할 필요가 있다.

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 보수 계획 및 대책을 강구함으로써 내

구성 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, 일반기술자라도 전문가가 행하는 것과 같은 정도의 평가결과에 도달할 수 있는 체계적인 평가시스템이 요구되고 있다.

이러한 상황을 고려하여 본 연구에서는 철근콘크리트 교량에 대하여 시설물의 안전 점검 및 정밀안전진단 지침상의 정기점검 단계의 점검자료와 점검 이력자료를 바탕으로 퍼지이론 및 의사결정방법(AHP)을 이용하여 구조물에 대한 상태를 평가하는 시스템을 구축하고, 이러한 시스템 구축을 통하여 체계적이고 연속적인 관리 및 전문가가 아닌 일반기술자에 의한 신뢰성 높은 평가를 가능하게 함으로써 교량의 안전성 확보 및 유지관리체계의 과학화를 도모하는 것을 목적으로 한다.

또한, 정기점검 단계의 점검결과는 육안검사에 의한 자료가 대부분이므로 점검자의 주관적인 판단에 크게 영향을 받으며 일부 평가항목이 누락되는 경우도 있다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 자료를 적절히 처리할 수 있고 이를 이용하여 평가를 수행할 수 있는 자료처리기법과 평가기법의 개발 및 이를 위한 선결조건인 평가항목의 체계적인 구성을 마련하고자 한다.

1.2 연구동향

구조물에 대한 외관조사 결과로부터 구조물의 노후등급 산정에 있어서, 주관적이고 애매하며 정성적인 정보를 효율적으로 다루는 수학적 방법인 퍼지집합 이론을 적용한 연구와 불확실성을 확률적으로 다루는 베이즈이론을 이용한 연구가 국내외에서 활발하게 진행되었다.

구조물에 대한 상태평가는 현재의 성능평가는 물론 미래의 안전성에 대한 예측과도 관련되며, 이때의 상태 또는 손상평가는 주관적인 의견과 부정확한 수치자료를 사용하는 본질적으로 불확실성과 모호함이 내재하는 복잡한 문제이다. 이러한 영역에서 퍼지개념은 뛰어난 적용성을 보여주고 있다(Melchers, 2001).

Ross 등(1990)은 콘크리트 박스구조물의 손상추정을 위한 전문가시스템 개발에 있어 언어변수를 정량화하는데 퍼지집합이론을 사용하였으며, Juang 등(1992)은 경사면의 붕괴가능성을 평가함에 있어 언어로 표현된 자료와 정보의 표현과 처리에 퍼지집합을 사용하였다.

김남희 등(2001)은 기존구조물에 대한 내진성능평가시스템을 개발함에 있어 퍼지추론을 이용한 예비평가단계에서의 불확실한 평가지수에 대한 체계적이고 종합적이며 신뢰성을 높은 대표값을 구하였다.

기존구조물의 상태평가에 대한 연구로서 Chou 등(1993)은 베이즈이론에 퍼지이론을 도입하여 구조물의 육안검사에 대한 정성적 평가를 정량화시켜 기존구조물의 신뢰성 및 안전성평가를 위한 알고리즘을 제안하였다. 베이즈이론은 이전의 확률적 평가에 새로운 정보를 결합하여 사건이 발생할 상대적인 경향을 생성한다. 베이즈이론은 사전확률을 구하는데 효과적인 도구이고, 퍼지이론은 주관적인 정보를 분석하는데 효과적이므로, 이 두 이론이 결합된 형태인 퍼지-베이즈이론은 주관적 변수와 관련된 사후확률을 구하는데 유용하게 쓰일 수 있다.

정철원 등(1998)은 주관적이고 객관적인 불확실성을 동시에 고려하는 퍼지-베이즈 근사법을 철근콘크리트 도로교의 건전성 평가에 적용하여 합리적인 외관조사에 따른 상태평가기준을 제시하고 외관조사결과를 정량적으로 전환하여 건전성평가에 직접적으로 적용할 수 있는 해석 알고리즘을 개발하였다.

이증빈 등(1998)은 퍼지-베이즈 이론을 이용하여 객관적, 주관적 불확실성을 모두 고려하는 신뢰성해석 알고리즘을 개발하여 기존구조물의 신뢰성 및 안전성평가에 적용

하였다.

신경망을 이용한 구조물의 평가에 대한 연구로서 Kushida 등(1997)은 신경망과 양방향연관메모리(BAM)를 이용하여 콘크리트 교량의 상태등급 진단을 위한 전문가시스템의 원형을 개발하였다. 이 시스템은 지식기반관련관리 관점에서 기계학습법을 적용한 것으로서, 영역 전문가에 대한 설문조사 결과를 신경망을 이용하여 처리하는 지식베이스를 정제함으로써 진단성능을 향상시켰다.

조해창(2011)은 불확실성을 측정하는 퍼지이론을 도입함으로써, 불확실성을 줄이고자 하였으며, 콘크리트 구조물의 내구성 저하 요인을 분석한 후 저하요인에 따른 여러 연구자들의 잔존수명 평가 방법을 분석하여 신뢰성 높은 방법을 선택하였다. 부재별 중요도와 층별 중요도는 하중면적의 비율로써 산정하였고, 콘크리트 내구성 저하요인 퍼지집합을 사용하여 중요도를 산정하여 콘크리트 구조물의 잔존수명을 예측하였다.

한용택(2011)은 LCC분석기법에 신뢰성이론을 적용하는데 있어서 불확실성을 정량적인 형태로 표현하는 퍼지이론을 이용하여 퍼지신뢰성이론에 의한 철근콘크리트 구조물의 생애주기비용을 분석하였다.

콘크리트 구조물은 여러 가지 요인에 의해 손상을 입거나 노후화 된다. 특히, 콘크리트 구조물에 발생하는 균열을 조기에 진단하기 위해서 김승희(2009)는 균열의 원인을 분류하고, 균열의 유형 및 발생시기, 특징에 따른 개략적인 원인추정 방법을 제시하고 있다.

따라서, 본 연구에서는 불확실성을 정량적으로 측정하는 퍼지이론 및 상대적인 중요도를 산정하는 AHP를 이용하여 정기점검 단계에서 육안점검에 의해 얻을 수 있는 자료와 정보를 고려하여 경험과 직관에 의해 수행되고 있는 구조물 상태평가를 정량적으로 명확하게 평가하고자 한다.

1.3 연구방법

본 연구는 철근콘크리트 교량의 상태평가시스템 개발에 대한 연구로서 다음의 과정으로 연구를 수행하였다.

- 1) 교량의 안전점검 및 정밀안전진단 관련 법규 및 업무 분석
- 2) 퍼지이론 및 AHP에 관한 이론적 고찰

- 3) 퍼지이론에 의한 평가항목의 정량화 및 평가기준 정립
- 4) AHP에 의한 상태평가시스템의 구현
- 5) 상태평가시스템의 적용성 분석

1단계 교량의 안전점검 및 정밀안전진단 관련 법규 및 업무 분석에서는 시설물의 안전관리에 관한 특별법 및 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침과 현행 안전점검 업무를 조사하여 본 연구의 대상 업무를 분석한다.

2단계 퍼지이론 및 AHP에 관한 이론적 고찰에서는 퍼지이론에 의한 추론방법, AHP에 의한 중요도 산정 및 평가결과 종합화 과정에 대한 자료조사 및 이론적 고찰을 실시한다.

3단계 퍼지이론에 의한 평가항목의 정량화 및 평가기준 정립에서는 2단계 연구에서 분석된 업무 내용을 바탕으로 상태평가시스템에서 사용되는 평가항목을 도출하고 이를 체계적으로 분류 및 퍼지이론에 의해 정량화하며 각 평가항목에 대해 평가기준을 정립한다. 평가항목 및 평가기준은 주관적이고 정성적이며 불확실한 평가자료를 정량적으로 처리하여 객관성을 부여할 수 있도록 한다.

4단계 AHP에 의한 상태평가시스템 구현에서는 평가항목의 중요도 산정 및 평가결과의 종합화를 통하여 상태평가시스템을 구성하였다. 평가항목의 중요도는 AHP에 의한 상대적 중요도를 이용하여 평가항목의 중요도를 구할 수 있도록 한다.

5단계 상태평가시스템의 적용성 분석에서는 대상적용을 통하여 퍼지이론에 의해 각 평가항목을 정량화하고 AHP에 의해 평가항목의 중요도를 산정하여 평가결과를 종합한다. 평가결과와 정밀점검 및 정밀안전진단 세부지침에 의해 평가한 등급과 비교하여 적용성을 분석할 수 있도록 한다.

제 2 장 이론적 고찰

2.1 퍼지이론

2.1.1 퍼지개념

근래 인간과 비슷하게 생각하고 일하는 컴퓨터를 만들고자 하는 인공지능 연구가 활발하다. 컴퓨터가 인공지능을 가지고 인간이 원하는 바를 제대로 수행하기 위해서는 인간이 사용하는 숫자는 물론이고 애매한 표현을 처리할 수 있어야 한다. 이러한 인간의 애매한 표현을 처리할 수 있는 이론적인 바탕을 제공하는 것이 바로 퍼지이론이다. 이 이론은 Zadeh(1978)에 의해 처음 소개되었다.

사회현상은 물론 공학분야에서도 복잡한 문제를 해결하기 위하여 이를 단순화시켜 표현하고 있다. 그러나 이러한 과정에서는 필연적으로 정보의 손실이 발생한다. 예를 들어 균열상태가 보통이라고 했을 때, 이러한 예측에도 불구하고 실제로 균열상태는 보통에 가까운 상태일 가능성이 크다. 위와 같은 표현은 균열상태가 보통이라고 단정해서 표현한 것이며, 이러한 표현의 과정에서 정보의 손실이 생긴 것이다. 그러나 위와 같은 표현을 균열상태가 보통일 가능성이 크다고 예측한다면 이는 균열상태가 보통일 가능성이 크지만 보통이 아닐 수도 있다는 가능성이 있음을 의미한다. 따라서, 이러한 표현은 앞의 예측보다 더 많은 정보를 전달해 준다. 즉, 문제를 단순화시키는 과정에서 두 번째 표현이 정보의 손실이 적다는 것을 알 수 있다.

이와 같이 정보의 불확실성을 이용할 수 있는 퍼지이론의 응용분야는 매우 다양하다. 이중 주된 응용은 인간의 애매한 자료에 대한 인공지능적인 처리를 하는 분야에 집중되고 있다. 대표적인 퍼지이론의 응용분야로서 전문가시스템, 평가시스템, 예측시스템, 의사결정분야, 데이터베이스, 제어분야, 로봇개발, 수학, 퍼지컴퓨터, 패턴인식 등을 들 수 있다.

퍼지이론은 현상의 불확실한 상태를 그대로 표현해 주는 방법으로서 크게 퍼지집합이론과 퍼지척도 이론으로 분류된다. 퍼지집합 이론은 경계가 애매하고 불분명한 정보를 유용한 정보로 만들기 위하여 소속함수를 도입하여 퍼지집합을 정의하고 퍼지관계, 퍼지관계 합성, 퍼지추론 등을 이용하여 인간의 언어로 표현된 문제를 해결하려는 이

론이다. 반면, 퍼지척도 이론은 불확실한 정보에 근거하여 믿음의 정도를 표현하고 이를 이용하여 문제를 해결하려는 이론이다.

2.1.2 퍼지추론방법

기존의 이진논리에 바탕을 둔 추론방법은 규칙의 조건부에 있는 명제와 완전히 동일한 명제가 사실로서 존재하여야만 추론이 가능하다는 제약이 있다. 이와 같은 제약을 극복하기 위하여 Zadeh는 기존의 추론방법에 퍼지이론을 적용하여 이진논리로 처리할 수 없었던 추론을 자연스럽게 유도할 수 있는 퍼지추론을 제안하였다. 그러나, 퍼지추론에서는 자연어로 표시된 규칙이나 사실들을 처리해야 하고, 규칙의 조건부에 있는 명제와 완전히 동일하지 않은 명제가 사실로 주어지더라도 부분적인 결론을 추론할 수 있어야 한다는 요구로 인해 이진논리에 의한 추론방법에 비해 다소 복잡하다.

퍼지추론방법은 다음 그림 2.1과 같이 분류할 수 있다.

퍼지추론은 직접법과 간접법으로 크게 나눌 수 있으며, 일반적으로 많이 쓰이는 방법은 직접법이다.

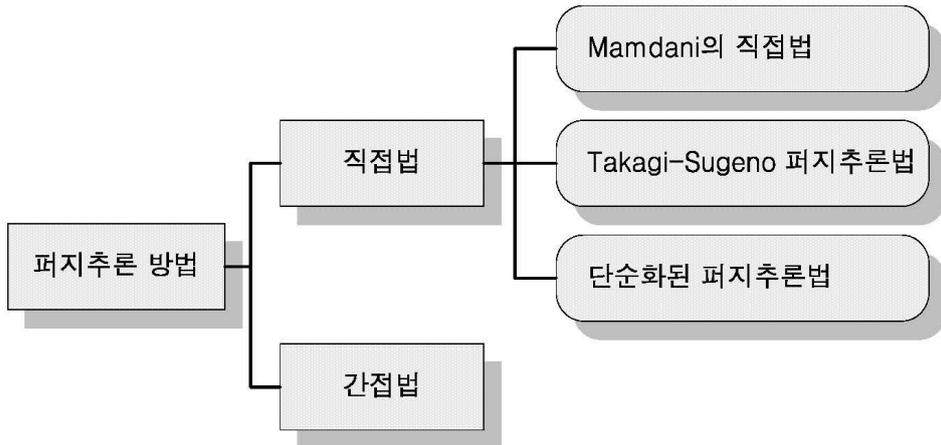


그림 2.1 퍼지추론 방법의 분류

간접법은 진리값 공간에 의한 추론을 수행하며, 직접법에 비해 상대적으로 복잡한 추론과정을 거친다. 직접법에는 Mamdani(Cox, 1998)에 의해 제안된 방법과 Takagi -

Sugeno(Tanaka, 1996)에 의한 방법, 그리고 단순화된 퍼지추론법(Tanaka, 1996)이 있으나, 이중 Mamdani의 방법이 가장 먼저 제안되었고, 그 구조도 간단하여 일반적으로 널리 쓰이고 있다. 이 방법은 Max-Min 연산을 수행하므로 Max-Min 방법이라 부르기도 한다. 본 논문에서는 퍼지추론을 수행함에 있어 Max-Min 방법을 사용하였다.

(1) Mamdani의 직접법

이 방법은 퍼지연관함수로 Mamdani가 제안한 Max-Min 연산을 이용하여 퍼지 합성법칙을 도입한 것이다. 일반적으로 퍼지추론을 위한 퍼지명제는 식 (2.1)과 같은 형식을 취한다.

$$\text{if } x \text{ is } Y \text{ then } w \text{ is } Z \quad (2.1)$$

여기서, x 와 w 는 대상 항목의 변수이고, Y 와 Z 는 퍼지집합에 대한 언어변수이다. if 다음에 있는 $x \text{ is } Y$ 를 명제의 전제부라 하고, then 다음에 있는 $w \text{ is } Z$ 를 명제의 결론부라 한다.

Mamdani의 직접법에서 퍼지 결론영역은 명제 전제부의 진리값의 최소값으로 제한되며, 퍼지출력 영역은 이러한 최소화된 퍼지집합 중 최대값을 취한다. 이러한 과정을 식으로 설명하면 다음과 같다. 먼저 식 (2.2)와 같이 퍼지결론집합(cfs)은 자기 자신의 값과 전제부의 최소값으로 수정된다.

$$\mu_{cfs}[x_i] = \min(\mu_{pt}, \mu_{cfs}[x_i]) \quad (2.2)$$

그 후, 퍼지해집합(sfs)은 식 (2.3)과 같이 자기 자신의 값과 식 (2.2)로 구한 μ_{cfs} 중 에서 최대값으로 갱신된다.

$$\mu_{sfs}[x_i] = \max(\mu_{cfs}[x_i], \mu_{sfs}[x_i]) \quad (2.3)$$

이러한 과정을 그림으로 나타내면 그림 2.2와 그림 2.3과 같다.

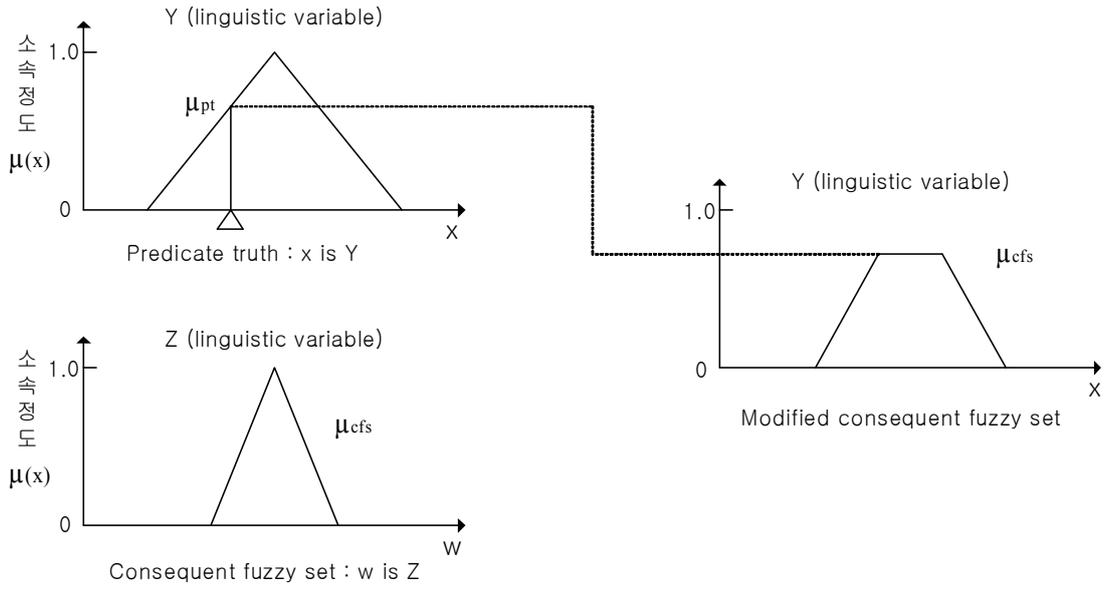


그림 2.2 퍼지결론집합의 생성과정

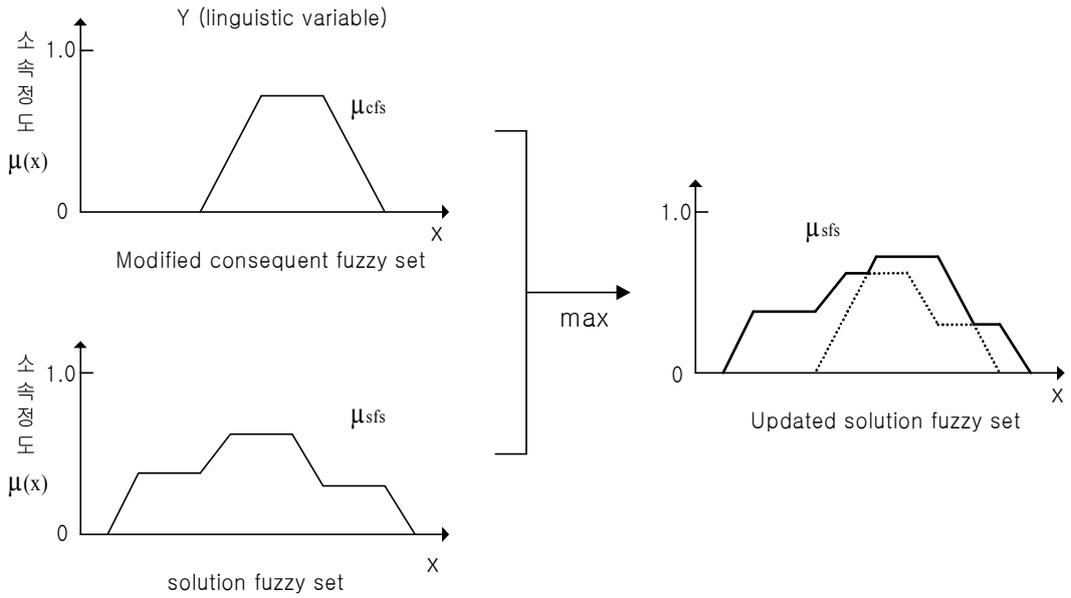


그림 2.3 퍼지해집합의 생성과정

퍼지추론에 의한 근사추론 결과는 퍼지집합으로 출력되며 이를 명확한 수치로 나타내는 과정을 비퍼지화(Defuzzification)라 한다. 비퍼지화 방법은 최대값법, 최대평균법, 무게중심법 등이 있다. 일반적으로는 그 능력이 입증된 무게중심법을 비퍼지화 기법으로 사용한다. 무게중심법에 의한 비퍼지화 과정은 식 (2.4)와 같으며, 이를 그림으로 나타내면 그림 2.4와 같다. 여기서, x_0 는 비퍼지화된 값이며, $\mu_S(x_i)$ 는 변수 x_i 가 집합 S 에 소속된 정도를 나타낸다.

$$x_0 = \frac{\sum_{i=0}^n \mu_S(x_i) \cdot x_i}{\sum_{i=0}^n \mu_S(x_i)} \quad (2.4)$$

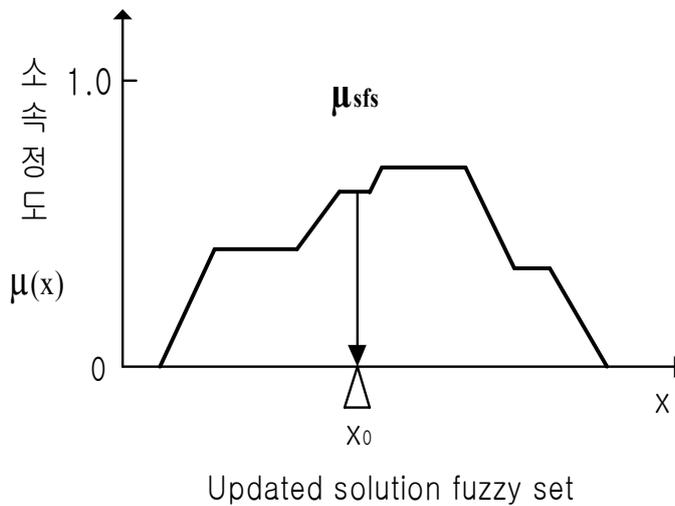


그림 2.4 무게중심법에 의한 비퍼지화 과정

(2) Takagi-Sugeno 퍼지추론법

Mamdani의 직접법은 규칙의 조건부와 결론부를 모두 일반언어로 대응시킬 수가 있고, 정성적으로 알기 쉽다는 점과 추출과정을 그래프로 표현하기 쉽다는 장점이 있다. 반면에, 전제부의 변수 개수에 따른 필요한 규칙의 수는 지수적으로 증가하고, 규칙의

수가 증가함에 따라 규칙을 만드는 부담이 과도해지며, 전제부의 변수 개수가 너무 많으면 전제부와 결론부의 관계 설정이 어렵고 이에 따라 규칙을 구성하기 어려워진다는 단점이 있다.

예를 들어, 전제부 변수의 개수가 4개이고, 각 변수가 취할 수 있는 퍼지집합의 언어 변수의 개수가 5개인 경우, 모두 5⁴개인 625개의 규칙이 필요하다. 이러한 문제를 해결하기 위해 퍼지명제의 결론부를 선형함수로 취하는 방법이 Takagi와 Sugeno에 의해 제안되었다. 이 방법은 퍼지명제의 결론부가 선형의 입력-출력 함수로 구성되며, 규칙을 직접 만드는 것이 아니라 입출력 자료를 바탕으로 모델링 하는 과정을 통해 간접적으로 생성함으로써 Mamdani 방법의 단점을 해결할 수 있다.

Takagi-Sugeno 퍼지추론법은 식 (2.5)와 같은 형태의 규칙을 사용한다.

$$\begin{aligned} \text{if } x_1 \text{ is } A_1^i \text{ and } \dots \text{and } x_n \text{ is } A_n^i & \quad (2.5) \\ \text{then } y^i = c_0^i + c_1^i x_1 + \dots + c_n^i x_n & \quad (i = 1, 2, \dots, r) \end{aligned}$$

여기서, i 는 규칙의 번호이고, r 은 규칙의 전체 개수이며, A_k^i ($i = 1, 2, \dots, n$)는 퍼지 집합이다. x_k 는 규칙 전제부의 변수이고, y^i 는 i 번째 규칙에 대한 출력값이며, c_k^i 는 i 번째 규칙의 결론부 파라미터이다.

퍼지추론값은 식 (2.6)과 같은 가중평균으로 구한다.

$$y = \frac{\sum_{i=1}^r w^i y^i}{\sum_{i=1}^r w^i} \quad (2.6)$$

식 (2.6)에서 w^i 는 i 번째 규칙 전제부의 적합성으로서 식 (2.7)과 같다.

$$w^i = \prod_{k=1}^n A_k^i(x_k) \quad (2.7)$$

여기서, $A_k^i(x_k)$ 는 퍼지집합 A_k^i 의 소속값이다.

Takagi-Sugeno의 퍼지모델링은 입력공간을 여러 개의 공간으로 분할하고, 각각의 부분공간에서 선형적인 입출력 관계를 발견해 내고, 그것들을 모아서 전체의 비선형적인 입출력 관계를 도출하는 것으로서, 규칙의 결론부가 선형의 함수로 주어지므로 더 작은 수의 규칙으로 직접법과 같은 입출력 관계를 표현할 수 있다. 이 방법은 여러 입력변수를 동시에 살펴서 이들로부터 적절한 행동을 취하는 전문가의 행위를 관찰함으로써 출력값을 연관시키며, 이렇게 구한 입출력 값으로부터 선형의 회귀식을 적절한 모델링 방법으로 구성함으로써 간접적으로 규칙을 생성한다. 그러나, 이 방법에서는 입력변수에 대한 출력 변수값을 알 수 있는 경우에만 적용 가능하다는 단점이 있다. 일반적으로 전제부 변수의 개수가 적을 경우에는 Mamdani의 직접법이 더 적합하다.

(3) 단순화된 퍼지추론법

단순화된 퍼지추론법은 명제의 결론부를 하나의 값으로 사용하는 것으로 직접법이나 선형함수를 사용하는 방법의 특별한 경우로 볼 수 있다. 즉, 이 방법은 식 (2.8)과 같이 식 (2.5)로 나타낸 Takagi-Sugeno의 방법에서 결론부의 변수가 있는 항을 제거하고 상수만 남겨둠으로써 구할 수 있다.

$$\text{if } x \text{ is } A^i \text{ and } y \text{ is } B^i \text{ then } z = c^i \quad (i = 1, 2, \dots, r) \quad (2.8)$$

추론결과는 식 (2.9)로부터 구한다.

$$z = \frac{\sum_{i=1}^r w^i z^i}{\sum_{i=1}^r w^i} = \frac{\sum_{i=1}^r w^i c^i}{\sum_{i=1}^r w^i} \quad (2.9)$$

식 (2.9)에서 w^i 는 i 번째 규칙 전제부의 적합성으로서 식 (2.10)으로 주어진다.

$$w^i = \mu_{A^i}(x) \cap \mu_{B^i}(y) \quad (2.10)$$

단순화된 퍼지추론법은 직접법에 비해 추론 메커니즘이 간단하고, 계산이 빠르며, 추론결과는 직접법과 거의 다르지 않다는 장점을 가진다. 이와 같은 장점으로 인해 단순화된 퍼지추론법은 여러 분야에서 많이 사용되고 있다.

2.1.3 퍼지추론의 적용효과

퍼지추론에 의한 시스템은 전문가의 지식을 지식베이스의 형태로 저장하고, 추론기관을 이용하여 사용자의 질의에 적당한 응답을 제공하는 지식기반시스템이다. 기존의 전문가 시스템은 이진논리에 기반을 두고 있으나, 실제로 전문가의 지식은 불확실성이나 애매함을 내포하기 마련이다. 즉, 전문가라 하더라도 특정명제에 대하여 100% 확신이 없고, 단지 가능성이 큰 정도로만 믿고 있는 경우가 있으며, 또한 동일 명제에 대하여 여러 전문가의 의견에 다소 차이가 있을 수 있다. 이에 따라 기존의 전문가시스템에 퍼지집합 개념을 적용하는 퍼지 전문가 시스템이 등장하였다. 퍼지 전문가시스템은 애매한 규칙과 사실로부터 근사적으로 추론을 수행하는 전문가시스템이라 할 수 있다.

전문가시스템에는 지식표현, 지식이용, 지식획득의 세 가지 문제가 있다. 이 세 가지 문제의 어느 곳에도 퍼지이론은 큰 기여를 할 수 있다.

첫째, 지식표현은 언어에 의한 표현으로 가장 고도의 수준이고 사실지식, 규칙지식, 판단지식 등 인간의 지식은 애매함을 필연적으로 포함하고 있다.

둘째, 지식이용에는 퍼지논리가 유용하다. 그 중심이 되는 기법은 퍼지추론이고, 퍼지추론의 특징은 애매한 규칙지식에 의한 애매한 정보를 추론한다는 것이며, 이것들은 전문가 지식이용의 특징이라고 할 수 있다. 지식이용은 추론에 한정된 것이 아니라 평가 및 판단의 문제에도 적용될 수 있다.

셋째, 지식획득은 전문가의 경험지식을 획득하는 것이다. 이때 전문가의 지식은 일반적으로 애매한 언어에 의해 단편적으로 전달되기 때문에 퍼지적인 해석이 필요하다. 즉, 규칙지식 하나에 대해서도 적용조건을 애매한 경우로 나누어서 설정함으로써 전문가의 지식을 잘 획득할 수 있다. 또는 지식획득은 전문가로부터 구두로 직접 얻는 방법 뿐만 아니라 전문가의 작업을 관찰하거나 또는 전문가가 없는 곳에서 실험이나 학습 등에 의해 얻을 수 있다.

2.2 의사결정방법(Analytic Hierarchy Process)

Satty. & Vargas.(1991)가 창안한 의사결정방법은 원인 및 결과 모형이나 계량적 접근이 어려운 분야의 의사결정을 하는 경우 경험을 조직화, 구조화 및 체계화하여 평가 요소의 중요도를 산정하는 방법으로 의사결정단계에서 수학적 모델로 접근하기 위해 고안한 계층화 의사결정방법이다.

의사결정방법은 목표값들 사이의 중요도를 계층적으로 나누어 파악함으로써 각 대안의 중요도를 산출하는 기법으로 다수의 목표·평가기준·의사결정주체가 포함되어 있는 의사결정문제를 계층화하여 해결하는데 적합하다. 즉 주어진 의사결정 문제를 계층화한 후, 상위계층에 있는 한 요소의 관점에서 직계 하위계층에 있는 요소들을 상대비교 하여 상대적 중요도를 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 요소 간에 상대비교를 수행한다. 그리고 이러한 판단을 수치로 전환하는데 이 수치는 비교척도에 의한 평가가치로서 상대적 중요도를 사용된다.

의사결정방법은 정성적 분석법이 일종으로 대안의 평가 및 채택을 위한 의사결정기법의 하나이다. 이미 이 기법을 적용하여 많은 연구가 수행된 바 있으며, 주관적 판단에 의한 중요도 결정방법으로서 생활의 질을 측정하는 분야에서 상당히 유용한 방법으로 판명되었다. 의사결정방법은 시스템을 구성하는 요소들 사이의 복잡한 유기적 관계를 간명한 의사결정구조로 분석하고, 이 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 합리적 이어야 한다는 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 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 안 되는 정성적 평가기준도 비교적 쉽게 처리할 수 있다.

2.2.1 의사결정방법의 적용

의사결정방법은 복잡한 현실을 구성요소별로 분해하고 계층화하여 보다 체계적인 이해를 도모함으로써, 문제를 좀 더 명확하게 파악하고자 하는 것이다. 의사결정을 내려 할 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. 보통사람이 경우 비교요소가 7±2개를 넘으면 동시비교에 어려움을 느낀다. 따라서, 의사결정 과정에 좀더 많은 요소가 포함될 수 있도록 문제를 해체하고, 위계질서 내에서 요소를 재배치한 후 각 변수의 상대적 중요도에 대한 주관적 판단을 수치화함으로써 판단을 종합한다.

의사결정방법을 이용하여 상태평가를 하는 적용절차를 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 문제를 분석할 때에는 그림 2.5와 같이 계층도를 먼저 그린다. 계층을 구성하는 중간단계에는 최종목적에 영향을 미치는 결정요인, 문제해결에 관계되는 행위자, 행위자의 개별 목적, 그리고 목적 달성을 위한 정책이나 수단 등이 위치하게 된다. 또한 각각 부차적인 세부요소로 하위단계를 형성할 수 있다. 이러한 단계들은 문제의 상황에 따라 가변적으로 첨삭할 수 있다. 즉, 문제가 단순할 경우에는 3~4단계의 계층구조로 형성되나, 복잡한 문제일 경우에는 수많은 단계의 복잡한 계층구조가 형성될 수 있다.

둘째, 계층도의 각각 레벨요소에서 개별비교를 하기 위하여 상대비교의 행렬을 이용한다. 이원비교는 동일한 기준 아래에 있는 두 개의 요소를 상호 비교하여 상대적 중

요성을 나타낼 수 있어야 하며, 이러한 주요성의 강도는 반드시 역의 조건을 만족시켜야 한다는 것이다. 예컨대, A가 B보다 x 배 중요하다면 B는 A보다 $1/x$ 배 중요시되어야 한다.

셋째, 각 이원비교의 행렬에서 구해진 각각의 중요도에 대한 일관성 검증을 실시해야 한다. 상대적 중요성의 정도는 제한된 범위 내에서 정해진 척도에 의하여 표현되어야 한다는 것으로 비교되는 두 요소는 비교 가능할 때에 한하여 유효하다는 의미이다.

의사결정방법은 기본적으로 복잡하고 비구조화된 상황을 하위구성요소로 분해하고, 각 구성요소들의 상대적 중요도에 대한 주관적 판단에 따라 수식화된 중요도를 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 포함되었다고 판단될 때까지 이러한 절차는 계속된다.

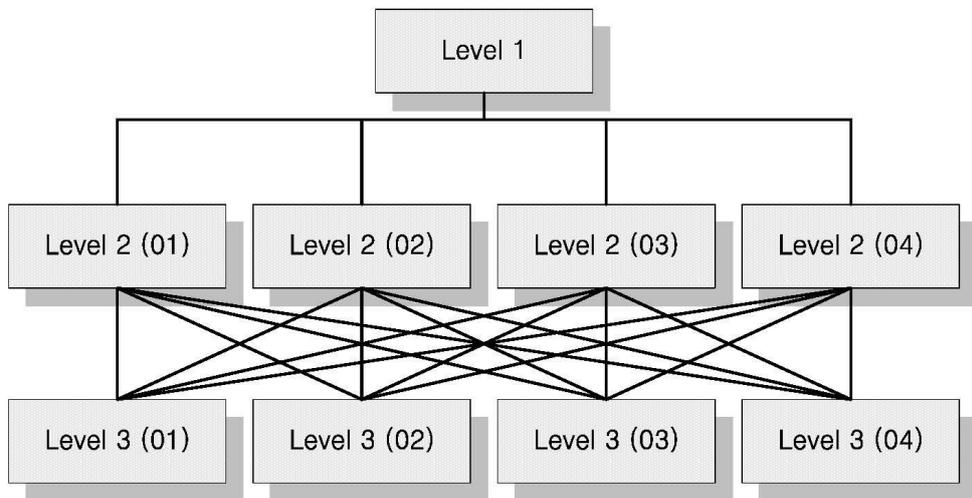


그림 2.5 계층분석과정의 기본적 의사결정도

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.

2.2.2 중요도 평가방법

(1) 이원비교

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 우선성이라고도 부르는데, 이는 2개 요소만을 상호 비교하는 이원비교방식을 통하여 측정할 수 있다. 이원비교들로 구성되는 행렬의 특성벡터와 특성근을 통하여 각 요소의 중요도를 산정한다.

표 2.1 이원비교시 중요성에 대한 척도

척도	정의	설명
1	동등하게 중요	요인 간 중요도가 동등한 경우
3	약간 중요	요인 간 중요도에 약간의 차이가 있다고 판단되는 경우
5	매우 중요	요인 간 중요도 차이가 상당하다고 판단되는 경우
7	확실히 중요	어느 한 요인이 확실하게 중요하다고 판단되는 경우
9	절대적 중요	어느 한 요인이 절대적으로 중요하다고 판단되는 경우
2, 4, 6, 8	1, 3, 5, 7, 9 척도들의 중간척도에 해당	
위의 역수	역 비교시 판단자의 일관성 존재를 가정하기 위한 척도	

이원비교에 사용되는 척도는 인간이 느낄 수 있는 차이를 최대한 반영할 수 있는 범위를 요구한다. Satty는 의사결정방법에서 9점 척도를 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 밀접한 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, 이원비교로부터 얻어진 결과는 식 (2.11)과 같은 행렬 A 로 표현된다.

$$A_w = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & A_2 & \dots & A_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ \vdots \\ A_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & w_1/w_2 & w_1/w_3 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & 1 & w_2/w_3 & \dots & w_2/w_n \\ w_3/w_1 & w_3/w_2 & 1 & \dots & w_3/w_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & w_n/w_3 & \dots & 1_n \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (2.11)$$

의사결정자의 이원비교에 의해 행렬 $A=(a_{ij})$ 가 이루어지며, a_{ji} 는 w_j/w_i 의 추정치 $a_{ji} = 1/a_{ij}$ 로 표현되며, 이는 표와 같이 주대각선들이 요소들이 모두 1이 되는 역수이다. 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 식 (2.12)가 성립된다.

$$A \cdot W = n \cdot W \quad (2.12)$$

만일 행렬 A 를 알고 있고 이로부터 W 를 구한다면,

$$(A - n)W = 0 \quad (2.13)$$

으로부터 0이 아닌 해를 갖는 행렬 A 의 특성방정식의 고유치가 산출되는 과정에서 식 (2.13)과 같이 W 를 유도할 수 있다. 이때 행렬 A 가 일관성을 가지고 있다면 식 (2.14)와 같이 특성방정식의 근 $\lambda_i (i=1,2,3,\dots,n)$ 는 가장 큰 하나만이 n 의 값을 가지며, 나머지 근들은 모두 0이다.

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = \text{trace}(A) = n, \lambda_{\max} = n, \lambda_i = 0, \lambda_i = \lambda_{\max} \quad (2.14)$$

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. 이원비교에 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 중요하게 생각하고 j 를 k 보다 y 배 중요하게 생각한다면 i 는 k 보다 $x \cdot y$ 배 중요하게 평가 한다는 것이다.

이원비교에 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 $a_{ij} = 1/a_{ji} (j=1, 2, \dots, i-1)$ 의 관계로부터 얻어진다. 이러한 행렬의 작성과정을 보면 기수적 일관성 물론, 서수적 이행관계의 성립을 전제로 하고 있지 않음을 알 수 있다.

(2) 일관성 검증

주관적인 요소가 작요하는 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 의사결정자가 행한 판단의 일관성을 측정한다. 행렬 A 가 일관성이 있기 위한 필요조건은 이행렬이 역수행렬이 되는 것이며, 필요충분조건은 이 행렬의 특성근 n 이 되는 것이다.

행렬 A 가 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 언제

나 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 이용하면,

$$\lambda_{\max-n} = \frac{1}{n} \sum_{1 \leq i \leq j \leq n} \frac{\delta_{ij}}{1 + \delta_{ij}} \geq 0 \quad (2.15)$$

식 (2.15)가 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 나타낼 것을 일관성지수라고 하며, 식 (2.16)과 같이 나타낼 수 있다.

$$C.I. = v = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2.16)$$

이때, λ_i 는 λ_{\max} 를 제외한 행렬 A 의 특성근이며 검증통계량 v 를 사용하는 대신, 일관성지수($C.I.$)를 경험적 자료로 얻는 평균무작위지표($R.I.$)로 나눈 일관성비율($C.R.$)을 식 (2.17)로 나타낼 수 있다.

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \quad (2.17)$$

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. Satty & L.G. Vargas, "The logic of priorities" Kluwer-Nijhoff publishing, 1982)

무작위지표란, 1에서 9까지의 정수들을 무작위로 추출하여 수백 개의 역수행렬을 작성한 후 이로부터 일치지수를 구한 것으로 무작위지표의 평균은 표 2.2와 같다. T. L. Satty는 일반적으로 일관성비율이 0.1이내이면 합리적 일관성을 갖는 것으로 판단하고, 0.2이상이면 일관성이 부족한 것으로 판단하였다.

의사결정방법은 앞에서 살펴 본 일련의 과정을 거친 후 마지막 단계에서 계층구조의 종합화를 통하여 각 대안들의 종합적 우선순위와 중요도를 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.

2.2.3 의사결정방법의 적용효과

의사결정방법의 유용성은 의사결정과정에 대한 정보를 정성적인 기준과 정량적이고 다기준의 복잡한 문제를 하위 기준으로 세분하여 계층화함으로써 상대 비교방식으로 해결할 수 있으며, 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 의사결정방법을 적용하며 다음과 같은 효과를 기대할 수 있다.

첫째, 의사결정방법은 다 기준 의사결정 문제를 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, 이원비교 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 이원비교시 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.

2.3 교량 유지관리

2.3.1 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·보강에 까지 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(시설안전기술공단, 2003).

2.3.2 안전점검의 종류

(1) 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. 일반적인 정기점검의 과정 및 점검항목은 그림 2.6과 같다.

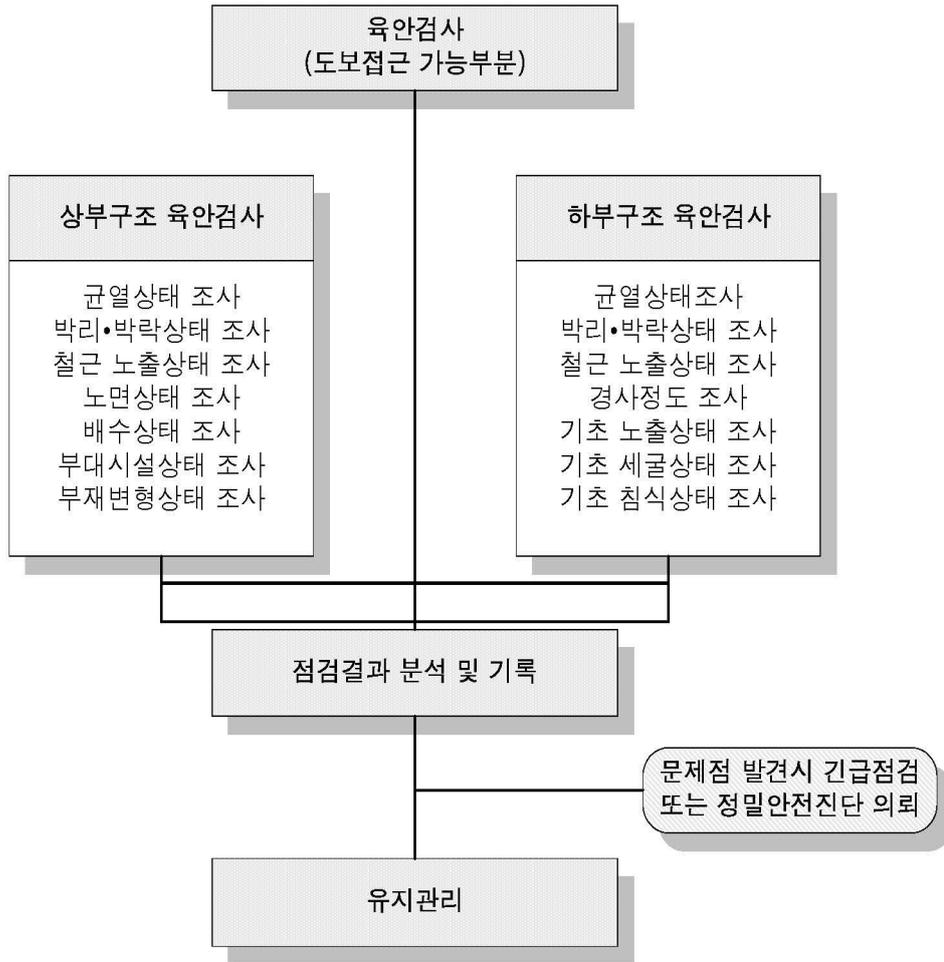


그림 2.6 정기점검 업무흐름

(2) 초기점검

초기점검은 준공된 교량에 대하여 6개월 이내에 그림 2.7과 같이 실시하며 교량전체에 대한 육안검사와 콘크리트 강도조사, 철근 배근상태조사, 재료시험 등의 현장시험을 실시하여 시공 상태를 평가하고, 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침에 따라 비파괴 재하시험을 시행, 처짐과 공용 내하력의 초기치를 설정하여 향후 교량의 점검 및 진단시에 기초자료로 활용하도록 하기 위한 점검으로서 정밀점검 수준으로 실시한다. 단, 차량통행에 따른 교량의 거동 특성상 보다 정확한 초기상태를 획득하기 위해서는 공용 개시 전에 실시함이 바람직하다.

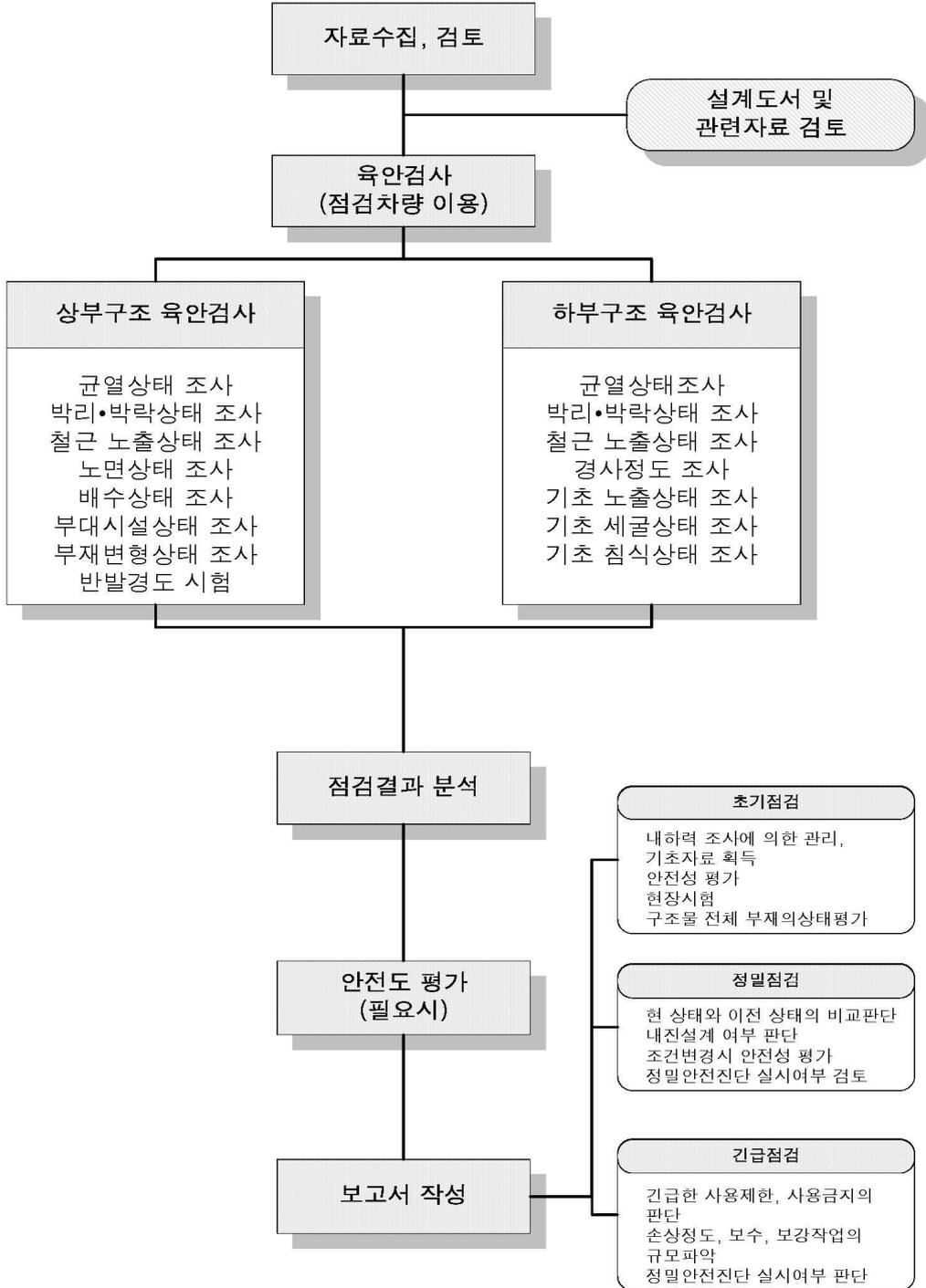


그림 2.7 정밀점검 및 긴급점검 업무흐름

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.

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

손상상태평가는 경간별, 지점별로 행하되 문제부위에 대하여는 외관조사망을 구성하여 등급을 매기는 것으로 한다. 평가시 착안사항은 점검항목을 참조하고, 하부구조 수중부위에 대한 점검은 갈수기 동안의 관찰 및 침식의 흔적조사에 국한한다.

구조적 변화 혹은 하중상태가 변화된 경우에는 그림 2.7과 같이 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 그림 2.7과 같이 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 기초 침하 또는 세굴과 같은 결함이 의심되는 경우나, 하중제한 중인 시설물의 지속적인 사용여부를 판단하기 위한 점검으로서 점검시기는 결함의 심각성을 고려하여 결정한다.

(5) 정밀안전진단

정밀안전진단은 그림 2.7과 같이 정밀점검 과정을 통하여 쉽게 발견할 수 없는 결함 부위를 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 현장시험 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. 교량 부재의 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.

2.3.3 부재별 손상판정 기준

각종 열화손상에 의한 구조부재의 손상정도 및 진행성 여부를 판정하기 위하여 외관 조사를 실시한다. 외관조사는 열화손상상태를 육안이나 간단한 도구로서 실시하기 때문에 조사자의 경험이나 주관 등에 따라 그 결과에 있어 다소 차이가 있을 수 있으나, 외관조사의 결과는 교량의 내하력 판정 및 사용성 측면에서 매우 중요하다.

외관조사에 관한 평가는 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 교량편(시설안전기술공단, 2003)에 따른 교량 부재별 손상판정 기준에 따른다.

(1) 교면포장

교면포장의 상태평가는 표 2.3과 같이 경간단위로 평가하며, 균열, 보수흔적 등 전반적인 포장면의 불량정도를 나타내는 항목과 교량에 충격을 유발하는 요철, 단차, 파손 등의 손상항목으로 구분하여 평가한다. 포장불량율은 균열발생여부, 표면이 노화되어 마모된 부분, 기보수된 부분 등의 면적을 전부 더한 값을 경간면적으로 나눈 비율이다.

표 2.3 교면포장 상태평가 기준

등 급	포장불량, 배수성	요철, 단차, 함몰, 박리, 파손
A	없음, 미세균열	없음
B	포장불량 2%미만 물고임 없음	단차가 미미하여 주행에 영향 없음
C	포장불량 2~10% 배수구배 불량으로 물고임	단차가 국부적으로 발생, 주행에 영향 있음, 부분적으로 박리 발생
D	포장불량 10~20% 배수구배 불량, 주행성 저하	단차 30mm 이상으로 주행성 저하 박리심화, 골재마모 혹은 표면손상
E	포장불량 20%이상	단차로 인하여 심한 충격발생 혹은 교면의 전반적인 함몰, 탈락 전반적인 표면파손

(2) 배수시설

배수시설의 상태평가는 표 2.4와 같이 경간단위로 평가하며, 파손, 체수, 누수 등에 관한 항목에 대하여 점검한다. 한 경간에 두 개 이상의 배수시설이 있는 경우 각각의 등급을 평균하여 경간등급을 정한다.

표 2.4 배수시설 상태평가 기준

등 급	파손, 체수, 누수
A	양호
B	다소의 퇴적물이 있으나 배수에는 이상 없음
C	배수시설의 상태불량 퇴적물로 인하여 일시적인 체수 바닥판 하면 누수흔적, 부식
D	배수시설의 일부파손, 길이부족 많은 퇴적물, 누수 누수로 인하여 구조물 부식 초기
E	배수시설의 파손 심한 누수와 체수 누수로 구조물의 전반적인 부식 배수관 유출구 위치가 부적절하여 하부통행에 따른 위험 초래

(3) 난간 및 연석

난간에 대한 상태평가기준은 표 2.5와 같고, 연석에 대한 상태평가기준은 표 2.6과 같다. 난간 및 연석은 경간단위로 평가하며, 평가는 손상 및 열화된 길이를 기준으로 정한다.

표 2.5 난간 상태평가 기준

등 급	강 재	콘크리트
A	양호	양호
B	국부적 도장 변색 및 손상	사소한 박리, 미세 균열
C	고정장치 및 연결재의 이완 국부적 발생 도장 변색 및 손상 점검길이의 2~10%	0.3~0.5mm의 균열 국부적인 박리 및 파손 발생
D	연결부 이완으로 부분적으로 흔들림 도장손상 및 녹 발생 점검길이의 10~20%	0.5mm 이상의 균열 전반적 박리 혹은 국부적인 파손 발생 철근노출 부위 5%미만
E	난간/연석 파손 및 탈락 도장손상 및 녹 발생 점검길이의 20%이상	난간/연석 파손 및 탈락 철근노출 부위 5%이상

표 2.6 연석 상태평가 기준

등 급	손상 및 열화	
A	양호	양호
B	점검길이의 2%미만	사소한 손상
C	점검길이의 2~10%	국부적 파손
D	점검길이의 10~20%	단면 결손으로 차량이나 사용자에게 위험가능성
E	점검길이의 20%이상	전반적인 파손으로 교체가 필요한 경우

(4) 바닥판 슬래브

바닥판 슬래브에 관한 상태평가는 표 2.7과 같이 경간단위로 평가한다. 슬래브교와 라멘교, 박스거더의 상부플랜지는 구조적으로 바닥판과 거더의 역할을 같이 하지만 바닥판의 상태평가 기준안을 따른다.

상태평가 기준안에서 균열율은 폭 0.2mm이상의 균열을 대상으로 산정한다.

표 2.7 바닥판 슬래브 상태평가 기준

등 급	균 열		열화 및 손상, 철근노출
	1방향 균열	2방향 균열	
A	없음 0.1mm 미만 균열	없음	없음
B	0.2mm 이하 균열	없음	박리·박락 및 층분리, 재료분리, 백태등 표면손상 면적이 2%미만
C	0.3~0.4mm의 균열 균열율 10%미만	균열율 2%이상	박리·박락 및 층분리, 재료분리, 백태등 표면손상 면적이 10%미만 균열사이로 물 비침
D	0.4~0.5mm의 균열 균열율 10~20%	균열율 2~10%	박리·박락 및 층분리, 재료분리, 백태등 표면손상면적이 10%이상 철근노출 면적을 5%미만 균열주변으로 누수 악화, 콘크리트 표면부식
E	0.5mm이상의 균열 균열율 20%이상	균열율 10%이상	받침부 주변의 콘크리트가 파손으로 탈락 철근노출 면적을 5%이상 노출된 철근의 단면감소로 안전성 저하 우려 균열 사이로 녹물이나 니토 발생 혹은 부식에 의한 콘크리트 탈락

(5) 신축이음

신축이음에 대한 상태평가는 표 2.8과 같이 지점단위로 평가하며, 본체와 후타재로 구분하여 평가한다. 신축이음의 형식별, 재료별로는 별도의 구분없이 하나의 등급으로 평가한다.

표 2.8 신축이음 상태평가 기준

등 급	본 체	후 타 재
	누수, 기능 및 손상	균열, 탈락, 파손 등
A	이상 없음	양호
B	누수흔적 없음, 토사 등의 오염 정상동작, 고무판 노화	미세균열이 발생, 양호함
C	물받이 미설치 또는 파손으로 부분적으로 누수 유간사이 이물질로 기능 불량, 고무판 마모, 국부적인 부식 등의 열화	균열이 30cm이하의 간격 발생
D	누수로 인하여 신축이음 하부 구조물 부식 발생 강관유동으로 이상음 발생, 유간이 폐쇄 혹은 비정상적으로 넓음 고무판 균열, 볼트 또는 너트 탈락	균열이 50cm이하의 간격 발생 국부적인 파손 단차로 인하여 충격발생
E	신축이음 하부 구조물의 부식심화, 신축이음하부 전체적 부식, 국부적 변형 유간이 폐쇄 혹은 비정상적으로 넓음 신축이음 본체 탈락, 본체유동, 작동불능	파손 범위가 후타재 폭 이상 크 차량 통행시 심한 충격 발생으로 운전에 위험을 초래함

(6) 교량받침

교량받침에 대한 상태평가는 표 2.9와 같이 지점단위로 평가하며, 교량받침과 받침대 콘크리트로 구분하여 평가한다. 단, 받침본체 평가시 재료에 따른 특정적인 손상이 발견된 경우에는 표 2.10을 참고하여 받침본체를 평가한다.

받침대의 연단부 균열 및 파손상태가 D급 이하로 교량의 기능에 심각한 영향을 초래할 경우 손상내용을 별도 기록 관리한다.

표 2.9 교량받침 상태평가 기준

등 급	받침본체	받침대 콘크리트
A	양호	양호
B	도장탈색, 먼지 쌓임	미세균열
C	받침이 국부적으로 밀착이 안됨 정상변위를 초과하여 작동에 지장	구조적 영향이 없는 박리, 등의 손상 연단부 콘크리트에 0.3mm미만의 균열
D	받침이 밀착이 안되고 떠 있는 부분이 전체면적의 1/2미만	박리·박락 등의 손상으로 지지단면 감소 연단부 콘크리트에 0.3mm이상의 균열
E	받침이 밀착이 안되고 떠 있는 부분이 전체면적의 1/2이상	받침대 파손으로 받침의 급격한 처짐 (침하) 우려시

표 2.10 교량받침 본체 상태평가 기준

등 급	받침본체 재질	
	고 무 재	강 재
A	양호	양호
B	측면에 미세 균열, 갈라짐 등 경미한 열화	사소한 녹
C	균열 확대, 측면 부풀음 받침두께의 0.3배 미만 수평변형	부식 발생, 고정장치 이완
D	고무재 기능상실, 균열 심화 받침두께의 0.3~0.5배 미만 수평변형	부식 심화 및 부분적 변형, 균열, 볼트 탈락
E	고무재 파손, 단차 발생 받침두께의 0.5배 이상 수평변형	받침본체의 부분적인 파손

(7) 교대 및 교각, 기초

교대의 상태평가는 표 2.11과 같이 각 지점을 하나의 평가단위로 점검하며, 받침 연단부의 균열, 날개벽 연결부의 변위가 D급 이하로 심각할 경우 손상내용을 별도 기록 관리한다.

교각의 상태평가는 표 2.12와 같이 각 지점을 하나의 평가단위로 점검하며, 교각 코핑부의 휨균열이나 전단균열, 받침 연단부의 균열이 D급 이하로 심각할 경우 손상내용을 별도 기록 관리한다.

기초의 상태평가는 표 2.13과 같이 각 지점을 하나의 평가단위로 점검하며, 기초에서는 손상종류에 관계없이 D급 이하로 판정될 경우 손상내용을 요약표에 별도 기록 관리한다.

표 2.11 교대 상태평가 기준

등 급	균열, 변위	열화 및 손상, 철근노출
A	0.1mm미만 미세균열	없음
B	0.1~0.3mm의 균열	박리·박락 및 층분리, 재료분리, 백태등 표면 손상면적이 2%미만
C	0.3~0.4mm의 균열 시공이음부와 단면변화부에 횡방향균열 교대와 날개벽 사이에 부분적 균열	박리·박락 및 층분리, 재료분리, 백태등 표면 손상면적이 10%미만 철근노출 면적율 2%미만
D	0.4~0.7mm의 균열 날개벽이 벌어지고 미세하게 기울음	박리·박락 및 층분리, 재료분리, 백태등 표면 손상면적이 10%이상 철근노출 면적율 5%미만
E	0.7mm이상 균열 측방유동, 전도 등으로 구체가 기울음 날개벽이 벌어지고 기울음	받침, 연단부 파손으로 거더 탈락이 우려되는 경우 철근노출 면적율 5%이상

표 2.12 교각 상태평가 기준

등 급	균 열	열화 및 손상, 철근노출
A	0.1mm미만 미세균열	없음
B	0.1~0.3mm의 중간균열	박리·박락 및 층분리, 재료분리, 백태 등 표면 손상면적이 2%미만
C	0.3~0.4mm의 균열	박리·박락 및 층분리, 재료분리, 백태 등 표면 손상면적이 10%미만 철근노출 면적을 2%미만
D	0.4~0.5mm 균열	박리·박락 및 층분리, 재료분리, 백태 등 표면 손상면적이 10%이상 철근노출 면적을 5%미만
E	0.5mm이상 균열	반침 연단부 파손으로 거더 탈락이 우려되는 경우 철근노출 면적을 5%이상

표 2.13 기초 상태평가 기준

등 급	세굴, 기초손상	침하, 변위
A	없음	없음
B	시공당시 지반과 비교하여 약간의 세굴(기초와 무관)	이동 및 경사 없음
C	시공당시 지반과 비교하여 기초 근입 깊이가 반 이상 줄어든 경우	침하가 20mm미만 발생
D	세굴이 진행하여 기초하부의 국부적 노출 기초단면 축소	침하가 20mm이상 교량 주요부에 침하 및 측방유동 등의 손상징후가 발견됨
E	기초하부 노출 기초파손	구체가 미세하게 기울어짐

제 3 장 퍼지추론에 의한 평가항목의 정량화

Max-Min법에 의한 퍼지추론을 적용하여 평가항목별 상태평가를 실시하기 위해서는 그림 3.1과 같이 부재별 평가항목을 결정하고, 정기점검 단계에서의 육안점검을 실시하여 평가항목에 따른 손상형태 및 퍼지규칙을 결정하여, 손상형태별 입력값을 구한 후 삼각퍼지를 적용한 퍼지연산에 의해서 결론부 소속함수 분포도를 구한다. 주어진 평가항목에 대한 최종 평가값은 결론부의 소속값 분포에 대해 비퍼지화 과정을 거쳐 구한다. 본 연구에서는 비퍼지화 기법으로서 2장에서 제시한 무게중심법을 사용하였다.

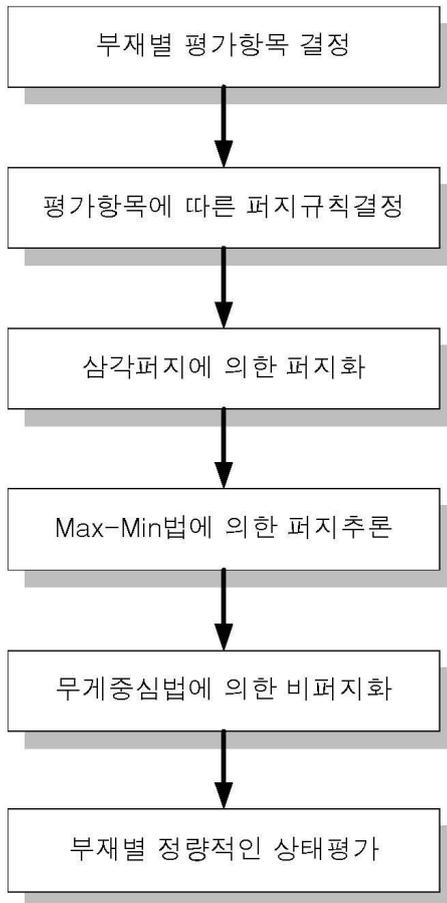


그림 3.1 퍼지추론에 의한 평가항목의 상태평가 흐름도

3.1 평가항목의 퍼지기준

퍼지추론에 의한 상태평가를 실시하기 위해서는 먼저 퍼지기준을 정의 하여야 한다. 퍼지기준은 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 교량편(시설안전기술공단, 2003)을 참고하여 각각의 평가항목별로 세부적인 퍼지기준을 정의하였다.

교면포장에 대한 퍼지기준을 표 3.1과 같이 정의하였다. 아스팔트와 콘크리트 포장상태는 손상면적/조사면적의 비를 기준으로 정하고, 단차, 요철에 대해서는 조사값을 적용하였다.

표 3.1 교면포장의 상태평가 퍼지기준

평가항목	손상 형태		외관 상태평가 등급 기준				
	형태	단위	A	B	C	D	E
교면포장	포장상태	%	0	2	10	20	30
	단차, 요철	mm	0	10	20	30	40

배수시설에 대한 퍼지기준을 표 3.2와 같이 정의 한 것으로, 상태평가는 평가항목에 대해서 손상면적/조사면적의 비를 기준으로 적용하였다.

표 3.2 배수시설의 상태평가 퍼지기준

평가항목	손상 형태		외관 상태평가 등급 기준				
	형태	단위	A	B	C	D	E
배수시설	파손	%	0	5	15	25	35
	누수체수	%	0	10	20	30	40

난간 및 연석에 대한 퍼지기준을 표 3.3과 같이 정의 한 것으로, 상태평가는 평가항목에 대해서 손상면적/조사면적의 비를 기준으로 적용하였다.

표 3.3 난간 및 연석의 상태평가 퍼지기준

평가항목	손상 형태		외관 상태평가 등급 기준				
	형태	단위	A	B	C	D	E
난간 및 연석	난간 손상	%	0	2	10	20	30
	연석 손상	%	0	2	10	20	30

바닥판 슬래브에 대한 퍼지기준을 표 3.4와 같이 정의하였다. 4개의 조사항목 중 균열폭, 박리·박락, 철근노출은 손상면적/조사면적의 비를 기준으로 평가 하였고, 균열폭에 대해서는 조사값을 적용하였다. 또한, 균열율은 폭 0.2mm 이상의 균열을 대상으로 적용하였다.

표 3.4 바닥판 슬래브의 상태평가 퍼지기준

평가항목	손상 형태		외관 상태평가 등급 기준				
	형태	단위	A	B	C	D	E
바닥판 하면	균열폭	mm	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
	균열율	%	0	2	5	10	15
	박리·박락	%	0	2	10	20	30
	철근노출	%	0	1	2	5	10

신축이음에 대한 퍼지기준을 표 3.5와 같이 정의하였다. 신축이음장치 본체와 후타재를 별도로 평가할 수 있도록 정하고, 신축이음장치 본체 및 후타재 조사항목 모두 손상면적/조사면적의 비를 기준으로 평가하였다.

표 3.5 신축이음의 상태평가 퍼지기준

평가항목	손상 형태		외관 상태평가 등급 기준				
	형태	단위	A	B	C	D	E
신축이음	본체 손상	%	0	5	10	15	20
	후타재 손상	%	0	5	15	25	35

교각 및 교대에 대한 퍼지기준을 표 3.6과 같이 정의 하였다. 4개의 조사항목 중 균열폭, 박리·박락, 철근노출은 손상면적/조사면적의 비를 기준으로 평가하였고, 균열폭에 대해서는 조사값을 적용하였다. 또한, 균열폭은 폭 0.2mm 이상의 균열을 대상으로 적용하였다.

표 3.6 교각 및 교대의 상태평가 퍼지기준

평가항목	손상 형태		외관 상태평가 등급 기준				
	형태	단위	A	B	C	D	E
교각 및 교대	균열폭	mm	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
	균열율	%	0	2	5	10	15
	박리·박락	%	0	2	10	20	30
	철근노출	%	0	1	2	5	10

기초에 대한 퍼지기준을 표 3.7과 같이 정의하였다. 기초의 평가항목 중 침하는 조사값을 기준으로, 세굴은 손상면적/조사면적의 비를 기준으로 평가하였다.

표 3.7 기초의 상태평가 퍼지기준

손상부위	손상 형태		외관 상태평가 등급 기준				
	형태	단위	A	B	C	D	E
기초	침하	mm	0	10	20	30	40
	세굴	%	0	5	10	15	20

교량받침에 대한 퍼지기준을 표 3.8과 같이 정의하였다. 교량받침 본체와 받침대 콘크리트를 별도로 평가할 수 있도록 정하고, 교량받침 본체 및 받침대 콘크리트 조사항목 모두 손상면적/조사면적의 비를 기준으로 평가하였다.

표 3.8 교량받침의 상태평가 퍼지기준

손상부위	손상 형태		외관 상태평가 등급 기준				
	형태	단위	A	B	C	D	E
교량받침	본체 손상	%	0	5	10	20	30
	받침대 손상	%	0	5	15	25	35

3.2 Max-Min법에 의한 퍼지추론

Max-Min법에 의한 퍼지추론을 적용하기 위하여 바닥판슬래브를 예를 들어 설명한다. 바닥판 슬래브를 균열과 손상으로 나누어 균열의 경우에는 균열폭과 균열유효율, 손상의 경우에는 박리·박락과 철근노출을 조사하였다. 균열폭은 mm단위로 측정하며, 균열유효율과 박리·박락 및 철근노출은 손상면적을 m^2 으로 측정하여 조사면적으로 나눈 값을 백분율로 나타낸다.

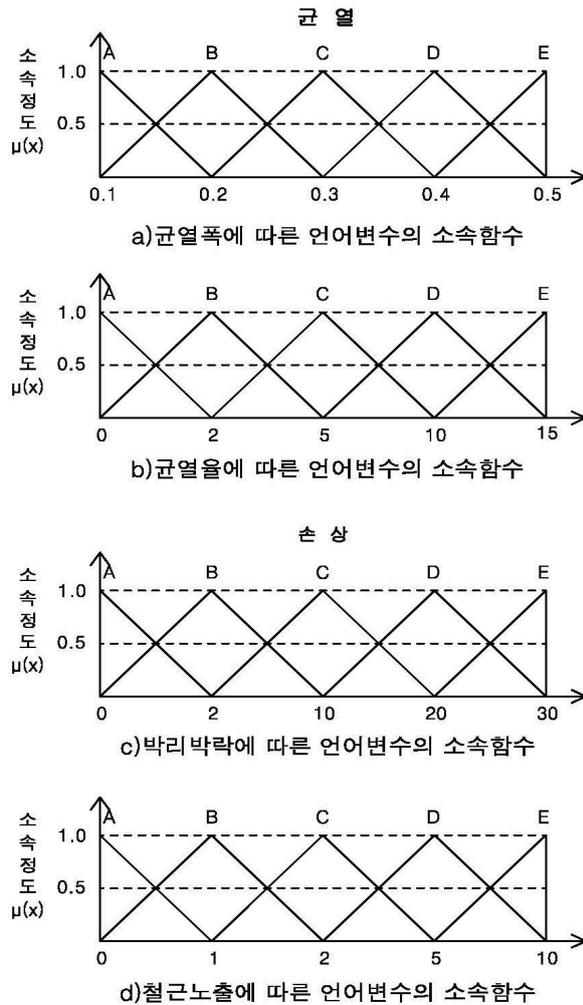
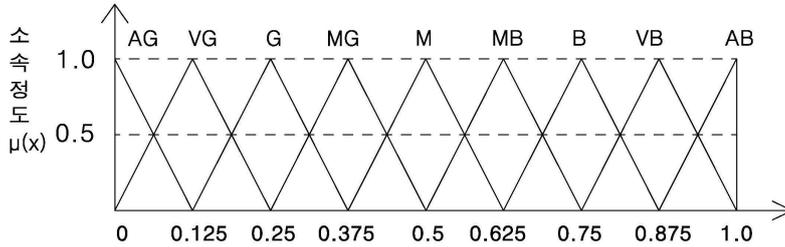


그림 3.2 바닥판 슬래브에 대한 언어변수의 소속함수

균열폭, 균열율, 박리·박락, 철근노출에 대한 언어변수의 소속함수는 그림 3.2와 같이 정하고, 바닥판슬래브의 퍼지추론에 의한 평가는 그림 3.3과 같이 결론부 언어변수의 소속함수를 이용하여 구한다.



AB : Absolutely Bad VB : Very Bad B : Bad
 MB : Moderately Bad M : Moderate MG : Moderately Good
 AG : Absolutely Good VG : Very Good G : Good

그림 3.3 결론부 언어변수의 소속함수

균열폭 0.3mm를 언어변수 C등급의 기준으로 정의하였다. 균열율은 5%를 C등급으로 정의하였고, 박리·박락은 부재 표면적의 대략 10%정도일 때를 C등급으로, 20%정도일 때를 D등급이 되도록 정의하였다. 한편, 철근노출은 부재 표면적의 대략 2%정도일 때를 C등급으로, 5%정도일 때를 D등급이 되도록 정의하였다. 균열 및 손상은 구조물의 중요도와 부재의 종류에 따라 다양한 정의가 가능하다.

그림 3.4는 균열폭이 0.35mm, 균열율 12%인 균열에 대한 심각성을 평가한 예이다. 그림 3.4 a)에서 균열폭이 C등급 및 D등급에 속할 정도는 각각 0.5 및 0.5가 되며, 그림 3.4 b)에서 균열율이 D등급 및 E등급에 속할 정도는 각각 0.6 및 0.4가 된다. 주어진 균열은 표 3.9의 FAM에 음영으로 표시한 다음과 같은 네 개의 규칙이 사용된다.

- Rule1 균열폭이 C등급 균열율이 D등급이면 균열상태는 MB등급이다.
- Rule2 균열폭이 C등급 균열율이 E등급이면 균열상태는 B등급이다.
- Rule3 균열폭이 D등급 균열율이 D등급이면 균열상태는 B등급이다.
- Rule4 균열폭이 D등급 균열율이 E등급이면 균열상태는 VB등급이다.

표 3.9 바닥판 슬래브의 균열 평가에 관한 FAM

균열폭 \ 균열을	A등급	B등급	C등급	D등급	E등급
A등급	AG	VG	G	MG	M
B등급	VG	G	MG	M	MB
C등급	G	MG	M	MB	B
D등급	MG	M	MB	B	VB
E등급	M	MB	B	VB	AB

표 3.10 바닥판 슬래브의 손상 평가에 관한 FAM

철근노출 \ 박리·박락	A등급	B등급	C등급	D등급	E등급
A등급	AG	VG	G	MG	M
B등급	VG	G	MG	M	MB
C등급	G	MG	M	MB	B
D등급	MG	M	MB	B	VB
E등급	M	MB	B	VB	AB

규칙의 조건부의 최종소속값은 조건부를 이루는 각 소속값 중 작은값을 취하며, 규칙의 결론부 언어변수의 소속값은 조건부의 최종소속값과 자신의 소속값 분포중 최대값을 취한다.

Rule1에서 균열폭이 C등급의 소속값은 0.5이고, 균열을이 D등급의 소속값은 0.6이므로, 조건부의 최종소속값은 이 둘의 최소값 0.5가 된다. 규칙의 결론부에 해당하는 “균열상태는 MB등급이다”의 소속값 분포는 그림 3.4 c)에서 MB등급 언어변수의 소속값 분포를 0.5에서 자른 그 이하의 부분이 된다.

Rule2에서 균열폭이 C등급의 소속값은 0.5이고, 균열을이 E등급의 소속값은 0.4이므로, 조건부의 최종소속값은 이 둘의 최소값 0.4가 된다. 규칙의 결론부에 해당하는 “균열상태는 B등급이다”의 소속값 분포는 그림 3.4 c)에서 B등급 언어변수의 소속값 분포를 0.4에서 자른 그 이하의 부분이 된다.

Rule3에서 균열폭이 D등급의 소속값은 0.5이고, 균열율이 D등급의 소속값은 0.6이므로, 조건부의 최종소속값은 이 둘의 최소값 0.5가 된다. 규칙의 결론부에 해당하는 “균열상태는 B등급이다”의 소속값 분포는 그림 3.4 c)에서 B등급 언어변수의 소속값 분포를 0.5에서 자른 그 이하의 부분이 된다.

Rule4에서 균열폭이 D등급의 소속값은 0.5이고, 균열율이 E등급의 소속값은 0.4이므로, 조건부의 최종소속값은 이 둘의 최소값 0.4가 된다. 규칙의 결론부에 해당하는 “균열상태는 VB등급이다”의 소속값 분포는 그림 3.4 c)에서 VB등급 언어변수의 소속값 분포를 0.4에서 자른 그 이하의 부분이 된다.

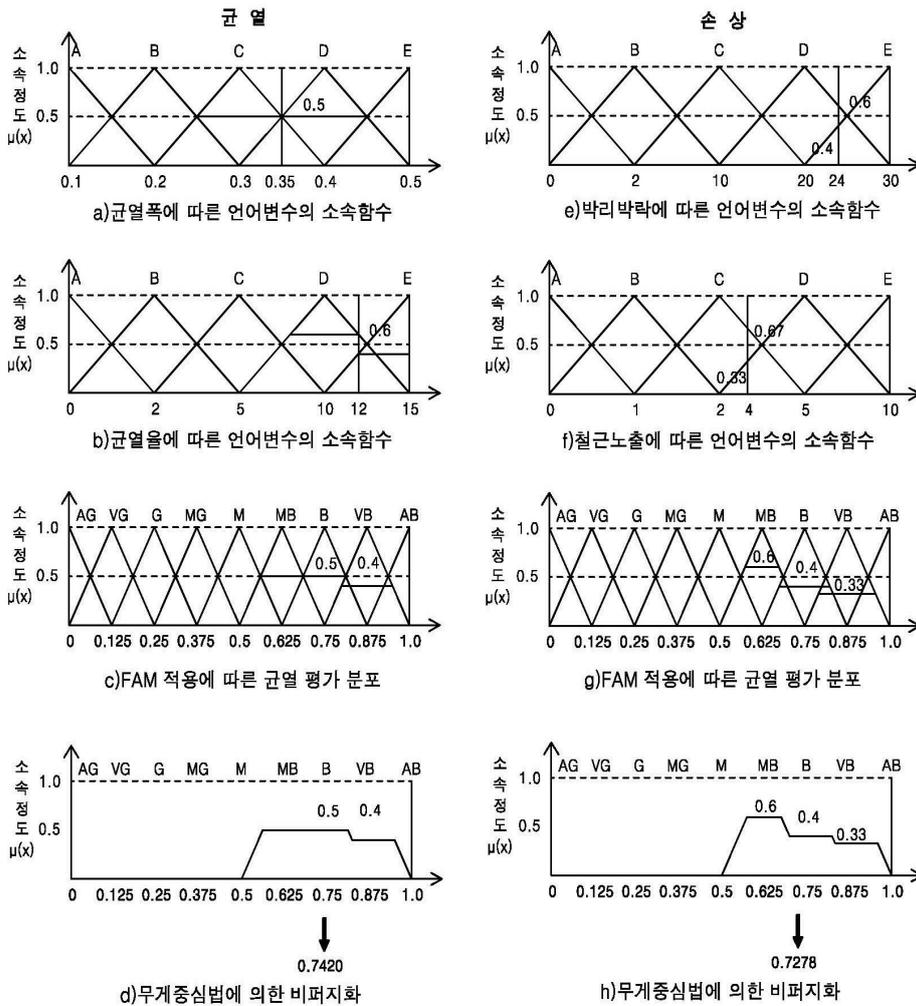


그림 3.4 바닥판 슬래브의 평가 예

따라서, 규칙의 결론부의 최종소속값 분포는 그림 3.4 c)와 같이 각 규칙 결론부의 소속값 분포에서 최대값을 취한다. 주어진 균열에 대한 최종 평가값은 결론부의 소속값 분포에 대해 비퍼지화 과정을 거쳐 구한다. 본 연구에서는 비퍼지화 기법으로서 2장에서 제시한 무게중심법을 이용한다. 비퍼지화에 의한 예제 균열 평가값은 그림 3.4 d)와 같이 0.7420이 되고, 예제 손상 평가값은 그림 3.4 h)와 같이 0.7278이 된다. 따라서, 바닥판슬래브의 퍼지추론에 의한 평가값은 균열평가값과 손상평가값의 평균값을 사용하여 0.7350이 된다.

3.3 평가항목의 정량화

3.3.1 평가항목별 손상형태 및 입력값

외관조사를 실시하여 교량구조물에 대한 평가항목별 손상형태, 입력값을 정리하면 표 3.11과 같다.

표 3.11 평가항목별 손상형태 및 입력값

평가항목	손상형태		입력값
교면포장	포장상태 (%)		4
	단 차 (mm)		7
배수시설	파 손 (%)		11
	누 수 체 수 (%)		17
바닥판 슬래브	균 열	균열폭 (mm)	0.35
		균열율 (%)	12
	손 상	박리·박락 (%)	24
		철근노출 (%)	3
교 각	균 열	균열폭 (mm)	0.3
		균열율 (%)	6
	손 상	박리·박락 (%)	14
		철근노출 (%)	3
교 대	균 열	균열폭 (mm)	0.35
		균열율 (%)	8
	손 상	박리·박락 (%)	17
		철근노출 (%)	2
기 초	세 굴 (%)	10	
	침 하 (mm)	20	
난간·연석	난간 파손 (%)	14	
	연석 파손 (%)	18	
신축이음	본체 파손 (%)	8	
	후타재 파손 (%)	3	
교량받침	본체 파손 (%)	17	
	받침대 파손 (%)	13	

3.3.2 퍼지추론에 의한 평가항목 상태평가

외관조사를 실시하여 얻어진 평가항목별 입력값을 Max-Min법에 의한 퍼지추론을 이용하여 평가한 평가값과 정밀점검 및 정밀안전진단 세부지침에 의해 평가한 등급을 표 3.12와 같이 나타내었다.

표 3.12 퍼지추론에 의한 평가항목별 상태평가 예

평가항목		퍼지추론에 의한 평가		안전진단에 의한 등급
교면포장		0.2448		B
배수시설		0.4006		C
바닥판 슬래브	균 열	0.7420	0.7349	D
	손 상	0.7278		
교 각	균 열	0.5302	0.5665	C
	손 상	0.6028		
교 대	균 열	0.6330	0.6081	C
	손 상	0.5832		
기 초		0.5000		C
난간·연석		0.6458		D
신축이음		0.2882		B
교량받침		0.5465		C

제 4 장 의사결정방법에 의한 상태평가지시스템

상태평가지시스템은 주어진 대상에 대해 평가항목을 선정하고 적절한 평가기법을 이용하여 상태를 판정하는 시스템으로, 그림 4.1에서와 같이 일반적인 평가과정을 고찰하면, 퍼지추론에 의한 각각의 평가항목에 대한 평가지수와 의사결정방법에 의한 상대적인 중요도를 구하고 이를 종합하는 기법을 이용하여 상태평가 결과를 도출하는 것이다.

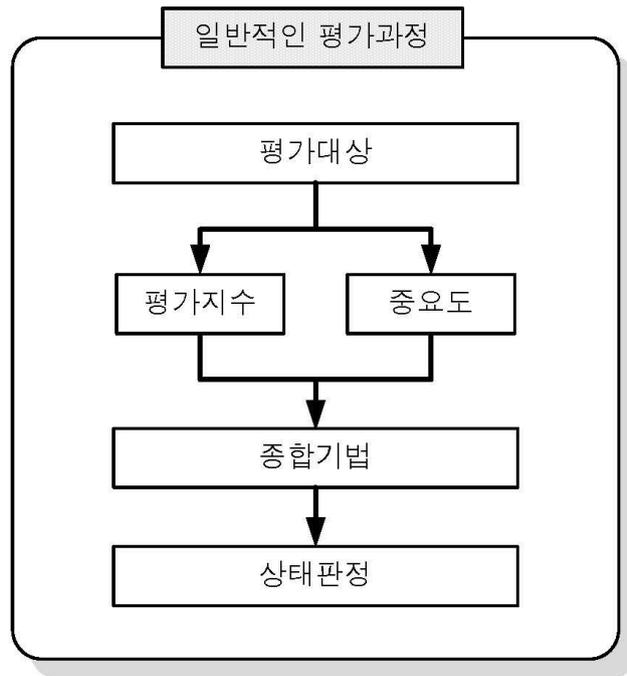


그림 4.1 상태평가 시스템의 일반적 평가과정

본 장에서는 교량구조물의 상태평가를 위한 시스템을 구성하는 것을 목적으로 한다. 정기점검 단계에서의 점검결과는 정성적인 경우가 대부분이므로 이러한 정성적인 결과를 정량화하는 과정이 필요하다. 그리고 모든 정기점검 단계에서 전문가에 의한 평가가 수행되기 어렵고 또한 평가 항목을 점검할 수 없는 경우가 발생한다. 이러한 문제에 대해서 본 연구에서는 각 점검 항목의 점검결과를 퍼지추론에 의하여 정량화 하였으며, 평가 시스템의 핵심인 평가기법은 이러한 정량화된 결과에 대해 주관적인 의사

결정 문제에서 그 적용성이 뛰어나고 일부 평가항목의 누락에 대해서는 적절한 평가가 가능한 의사결정방법을 이용하였다.

4.1 평가항목의 정형화

본 연구의 상태평가 시스템의 상태평가 과정은 그림 4.2와 같다. 즉, 먼저 상부구조, 하부구조, 부속시설로 분류하여 각각의 대상항목에 포함된 세부평가항목에 대하여 퍼지추론에 의한 평가값을 구하고, 이들 평가값에 대하여 의사결정방법을 이용하여 각 평가항목이 전체 평가에 기여하는 정도를 나타낸 중요도를 이용하여 종합하고, 이로부터 교량 구조물의 종합상태를 평가하는 평가값을 구한다. 여기서, 구한 평가값은 대상 교량의 정밀점검 또는 정밀안전진단과 같은 상위진단의 필요성을 포함한 유지관리 지침을 판단하는데 쓰인다.

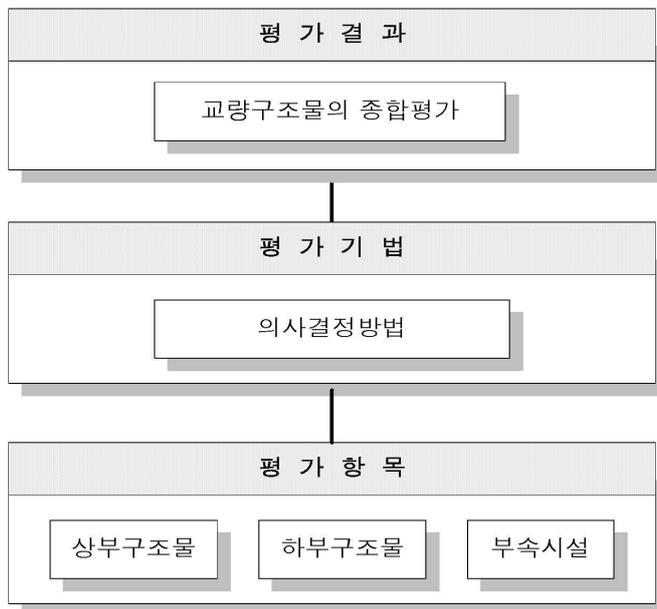


그림 4.2 교량구조물의 전체적인 상태평가 과정

본 연구의 상태평가는 그림 4.3에서 보는 바와 같이 단계별 평가구조를 가진다. 교량 구조물의 종합상태 판정을 위한 평가범주인 상부구조물, 하부구조물, 부속시설은 상위

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 단계별 평가구조를 가짐으로써 평가의 효율성과 평가 결과의 신뢰성 제고 및 평가항목의 누락에 유연하게 대처할 수 있는 장점이 있다.

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

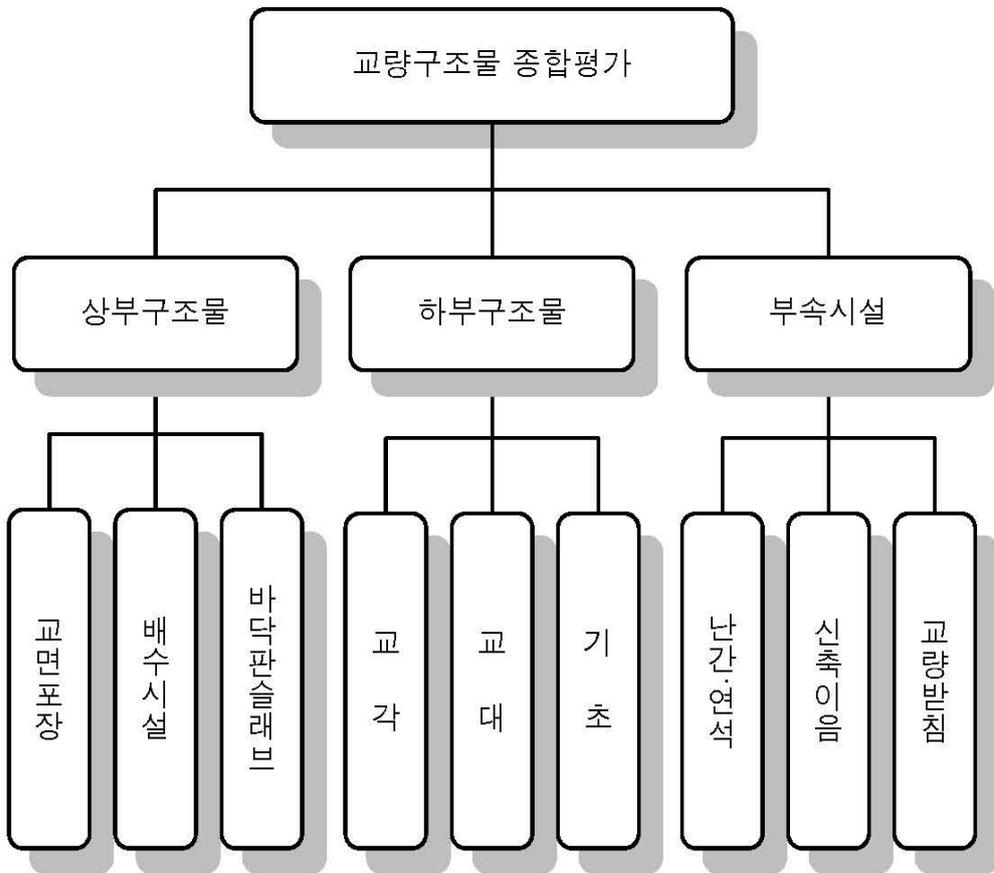


그림 4.3 교량구조물의 상태평가를 위한 평가항목 및 위계

그림 4.4에서 그림 4.6은 각각 상위 평가항목인 상부구조물, 하부구조물, 부속시설에 대한 평가과정이다. 그림 4.4는 상부구조물에 대한 평가과정으로서 교면포장, 배수시설, 바닥판슬래브의 평가값과 의사결정방법에 의한 상대적 중요도를 이용하여 상부구조를 평가한다. 상부구조물의 세부평가항목인 교면포장은 포장상태, 단차·함몰에 대해 퍼지 추론을 이용하여 교면포장의 노후도를 평가하고, 배수시설은 파손, 누수·체수에 대해 노후도를 평가하며, 바닥판 슬래브는 균열폭, 균열율, 박리·박락, 철근노출에 대하여 노후도를 평가한다.



그림 4.4 상부구조물 평가과정

그림 4.5는 하부구조물에 대한 평가과정으로서 교각, 교대, 기초의 평가값과 의사결정방법에 의한 상대적 중요도를 이용하여 하부구조를 평가한다. 하부구조물의 세부평가항목인 기초는 세굴, 침하에 대해 퍼지추론을 이용하여 기초의 노후도를 평가하고, 교대 및 교각은 균열폭, 균열율, 박리·박락, 철근노출에 대하여 노후도를 평가한다.

그림 4.6은 부속시설에 대한 평가과정으로 난간·연석, 신축이음, 교량받침의 평가값과 의사결정방법에 의한 상대적 중요도를 이용하여 평가한다. 부속시설 세부평가항목인 난간 및 연석은 난간파손, 연석파손에 대해 퍼지추론을 이용하여 난간 및 연석의 노후도를 평가하고, 신축이음은 본체파손, 후타재파손에 대하여 노후도를 평가하고, 교

량받침은 본체파손, 받침대파손에 대하여 퍼지추론을 이용하여 신축이음의 노후도를 평가한다.



그림 4.5 하부구조물 평가과정

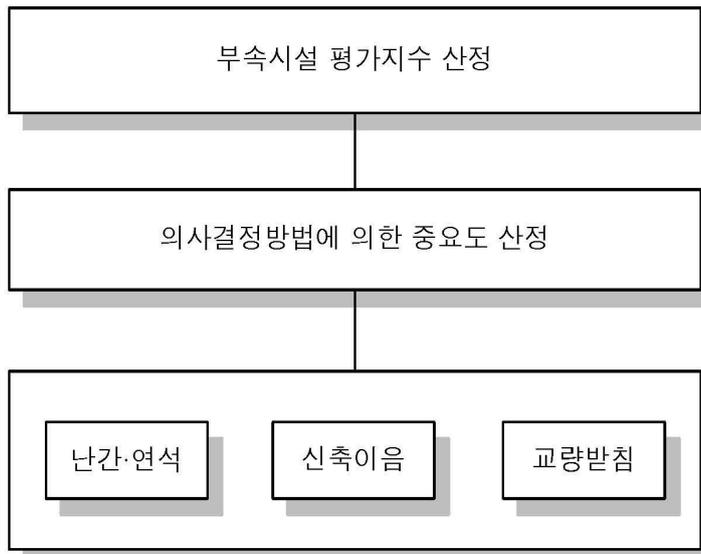


그림 4.6 부속시설 평가과정

4.2 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 계층화, 이원비교, 중요도산정, 일관성 검증의 순서로 이루어진다. 이때, 목적의 계층화에서는 계층내의 동일성과 계층들 간의 연속성을 기본원칙으로 한다. 계층내의 동일성이란 각 계층에 포함되는 요소들은 서로 동질적인 속성을 가져야 한다는 것이고, 계층 간의 연속성이란 상위계층의 속성을 평가지표로 하여 하위계층의 요소들이 비교할 수 있어야 한다는 것이다.

(1) 계층화

교량구조물의 종합상태 판정을 위한 평가범주인 상부구조물, 하부구조물, 부속시설은 최상위평가 항목으로서 이에 대한 평가값은 이들 평가항목에 속한 세부 평가항목으로부터 평가되고, 또 이들 세부 평가항목은 다시 이들을 구성하는 더 세부적인 평가 항목으로부터 평가 된다.

(2) 이원비교

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 중요한가를 물어 그 대답을 표 4.1부터 표 4.4까지 수치로 기입하여 정방행렬 $A = \{a_{ij}\}$ 를 구한다. 여기서, $a_{ii} = 1 (i = 1 \cdots n, j = 1 \cdots n)$ 이고, $a_{ij} = 1/a_{ji}$ 이다. 표 4.1부터 표 4.4까지는 상부구조물, 하부구조물, 부속시설 및 교량구조물에 대한 의사결정방법의 이원비교행렬을 작성한 것이다.

표 4.1 상부구조물의 이원비교행렬

상 부 구조 물			
	포 장	배수시설	바닥판슬래브
포 장	1	1/3	1/7
배수시설	3	1	1/5
바닥판슬래브	7	5	1

표 4.2 하부구조물의 이원비교행렬

하 부 구조 물			
	기 초	교 각	교 대
기 초	1	1/2	1/2
교 각	2	1	1
교 대	2	1	1

표 4.3 부속시설의 이원비교행렬

부 속 시 설			
	난간 및 연석	신축이음	교량받침
난간 및 연석	1	1/4	1/6
신축이음	4	1	1/3
교량받침	6	3	1

표 4.4 교량구조물의 이원비교행렬

교 량 구 조 물			
	부속시설	하부구조	상부구조
부속시설	1	1/5	1/6
하부구조	5	1	1/2
상부구조	6	2	1

(3) 중요도 산정

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

1) 상부구조물

① 고유벡터 u 를 산정

고유벡터 u 를 산정하기 위하여 이원비교행렬을 식 (4.1)과 같이 계산한다.

$$A^1u(0) = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{7} \\ 3 & 1 & \frac{1}{5} \\ 7 & 5 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4916 \\ 1.3986 \\ 4.3290 \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

표 4.5 상부구조물에 대한 반복행렬

1회 반복행렬		2회 반복행렬		3회 반복행렬	
$A^1u(0)$	0.4916	$A^2u(1)$	1.5762	$A^3u(2)$	4.9316
	1.3986		3.7391		11.4203
	4.3290		14.7630		44.4920
4회 반복행렬		5회 반복행렬		6회 반복행렬	
$A^4u(3)$	15.0943	$A^5u(4)$	46.2437	$A^6u(5)$	141.7372
	35.1134		107.6193		329.8190
	136.1145		417.3420		1279.1450

위의 표 4.5에 의해 계산된 결과에서 알 수 있듯이 A 를 곱할수록 식 (4.2)와 같이 고유벡터(u)가 얻어진다.

$$u = \begin{bmatrix} 0.0810 \\ 0.1884 \\ 0.7306 \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

최대고유치(λ_{\max})은 \tilde{u} 를 A 의 최대고유치 λ_{\max} 에 대응하는 주 고유벡터의 근사벡터라고 하며 식 (4.3)이다.

$$\lambda_{\max} \approx \frac{\langle \tilde{u}, \lambda \tilde{u} \rangle}{\langle \tilde{u}, u \rangle} \quad (4.3)$$

이 식의 우변의 내적비를 레일리의 몫이라고 부른다.
위의 예에서 근사 주고유벡터는 식 (4.4)와 같다.

$$\tilde{u} = \begin{bmatrix} 141.7372 \\ 329.8190 \\ 1279.1450 \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

이 경우의 최대 고유치 값은 식 (4.5)와 같다.

$$\lambda_{\max} = 3.06 \quad (4.5)$$

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. 일관성검증은 일관성 비율($C.R.$)을 이용하여 검증한다. 일관성 비율은 식 (4.6)과 같이 구한다.

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.}, \quad C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4.6)$$

여기서, $C.I.$ 는 일관성지수로서 일관성이 완벽할 경우 0이 되며 일관성이 나빠질수록 커진다. $R.I.$ 는 행렬의 차수 n 에 따라 표 4.6과 같이 정의된다.

표 4.6 행렬의 차수에 따른 $R.I.$ 의 값

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$R.I.$	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.32	1.41	1.45	1.49

일관성 비율($C.R.$)은 인간 판단력의 한계 때문에 대체로 0보다 크며 일관성이 나쁠수록 그 값이 커지게 된다. 일관성 비율이 0.1보다 작으면 일관성을 인정한다.

$$C.R. = \frac{0.03}{0.58} = 0.06 \leq 0.1, \quad C.I. = \frac{3.06 - 3}{3 - 1} = 0.03 \quad (4.7)$$

일관성 비율은 식 (4.7)에서 $C.R. \leq 0.1$ 이므로 일관성이 있다고 판단된다.

2) 하부구조물

① 고유벡터 u 를 산정

고유벡터 u 를 산정하기 위하여 이원비교행렬을 식 (4.8)과 같이 계산한다.

$$A^{-1}u(0) = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ 2 & 1 & 1 \\ 2 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.6660 \\ 1.3320 \\ 1.3320 \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

표 4.7에 의해 계산된 결과에서 알 수 있듯이 A 를 곱할수록,

$$u = \begin{bmatrix} 0.2000 \\ 0.4000 \\ 0.4000 \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

식 (4.9)와 같이 고유벡터(u)와 식 (4.10)과 같이 근사 주고유벡터(\tilde{u})가 얻어진다.

$$\tilde{u} = \begin{bmatrix} 161.8380 \\ 323.6760 \\ 323.6760 \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

이 경우의 최대 고유치 값은 식 (4.11)과 같다.

$$\lambda_{\max} = 3.00 \quad (4.11)$$

표 4.7 하부구조물에 대한 반복행렬

1회 반복행렬		2회 반복행렬		3회 반복행렬	
$A^1u(0)$	0.6660	$A^2u(1)$	1.9980	$A^3u(2)$	5.9940
	1.3320		3.9960		11.9880
	1.3320		3.9960		11.9880
4회 반복행렬		5회 반복행렬		6회 반복행렬	
$A^4u(3)$	17.9820	$A^5u(4)$	53.9460	$A^6u(5)$	161.8380
	35.9640		107.8920		323.6760
	35.9640		107.8920		323.6760

② 일관성 검증

$$C.R. = 0 \leq 0.1, \quad C.I. = \frac{3.00 - 3}{3 - 1} = 0 \quad (4.12)$$

일관성 검증은 식 (4.12)에서 $C.R. \leq 0.1$ 이므로 일관성이 있다고 판단된다.

3) 부속시설

① 고유벡터 u 를 산정

고유벡터 u 를 산정하기 위하여 이원비교행렬을 식 (4.13)과 같이 계산한다.

$$A^1u(0) = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{4} & \frac{1}{6} \\ 4 & 1 & \frac{1}{3} \\ 6 & 3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4718 \\ 1.7760 \\ 3.3300 \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

표 4.8 부속시설에 대한 반복행렬

1회 반복행렬		2회 반복행렬		3회 반복행렬	
$A^1u(0)$	0.4718	$A^2u(1)$	1.4708	$A^3u(2)$	4.5788
	1.7760		4.7730		14.4855
	3.3300		11.4885		34.6320
4회 반복행렬		5회 반복행렬		6회 반복행렬	
$A^4u(3)$	13.9721	$A^5u(4)$	42.6518	$A^6u(5)$	130.2446
	44.3445		135.4200		413.5028
	105.5610		322.4273		984.5978

위의 표 4.8에 의해 계산된 결과에서 알 수 있듯이 A 를 곱할수록,

$$u = \begin{bmatrix} 0.0852 \\ 0.2706 \\ 0.6442 \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

식 (4.14)와 같이 고유벡터(u)와 식 (4.15)와 같이 근사 주고유벡터(\tilde{u})가 얻어진다.

$$\tilde{u} = \begin{bmatrix} 130.2446 \\ 413.5028 \\ 984.5978 \end{bmatrix} \quad (4.15)$$

이 경우의 최대 고유치 값은 식 (4.16)과 같다.

$$\lambda_{\max} = 3.05 \quad (4.16)$$

② 일관성 검증

$$C.R. = \frac{0.025}{0.58} = 0.043 \leq 0.1, \quad C.I. = \frac{3.05 - 3}{3 - 1} = 0.025 \quad (4.17)$$

일관성 검증은 식 (4.17)에서 $C.R. \leq 0.1$ 이므로 일관성이 있다고 판단된다.

4) 교량구조물

① 고유벡터 u 를 산정

고유벡터 u 를 산정하기 위하여 이원비교행렬을 식 (4.18)과 같이 계산한다.

$$A^1u(0) = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{5} & \frac{1}{6} \\ 5 & 1 & \frac{1}{2} \\ 6 & 2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4551 \\ 2.1645 \\ 2.9970 \end{bmatrix} \quad (4.18)$$

표 4.9 교량구조물에 대한 반복행렬

1회 반복행렬		2회 반복행렬		3회 반복행렬	
$A^1u(0)$	0.4551	$A^2u(1)$	1.3875	$A^3u(2)$	4.2513
	2.1645		5.9385		17.9043
	2.9970		10.0566		30.2586
4회 반복행렬		5회 반복행렬		6회 반복행렬	
$A^4u(3)$	12.8753	$A^5u(4)$	38.9958	$A^6u(5)$	118.1210
	54.2901		164.4539		498.1362
	91.5750		277.4068		840.2892

위의 표 4.9에 의해 계산된 결과에서 알 수 있듯이 A 를 곱할수록,

$$u = \begin{bmatrix} 0.0811 \\ 0.3420 \\ 0.5769 \end{bmatrix} \quad (4.19)$$

식 (4.19)와 같이 고유벡터(u)와 식 (4.20)과 같이 근사 주고유벡터(\tilde{u})가 얻어진다.

$$\tilde{u} = \begin{bmatrix} 159.2622 \\ 671.6356 \\ 1132.9600 \end{bmatrix} \quad (4.20)$$

이 경우의 최대 고유치 값은 식 (4.20)과 같다.

$$\lambda_{\max} = 3.03 \quad (4.21)$$

② 일관성 검증

$$C.R. = \frac{0.015}{0.58} = 0.03 \leq 0.1, \quad C.I. = \frac{3.03 - 3}{3 - 1} = 0.015 \quad (4.22)$$

일관성 검증은 식 (4.22)에서 $C.R. \leq 0.1$ 이므로 일관성이 있다고 판단된다.

4.3 의사결정방법에 의한 상태평가

퍼지이론에 의해 구해진 평가값을 의사결정방법을 사용하여 구한 중요도를 고려하여 표 4.10과 같이 교량 구조물의 상태평가를 실시하였다.

표 4.10 의사결정방법에 의한 상태평가 예

평가 대상	평가 항목	중요도	퍼지추론에 의한 평가	의사결정방법에 의한 평가	의사결정방법에 의한 등급
상부구조	교면포장	0.0810	0.2448	0.6323	D
	배수시설	0.1884	0.4006		
	바닥판 슬래브	0.7306	0.7349		
하부구조	교 각	0.4000	0.5665	0.5700	C
	교 대	0.4000	0.6081		
	기 초	0.2000	0.5000		
부속시설	난간·연석	0.0852	0.6458	0.4850	C
	신축이음	0.2706	0.2882		
	교량받침	0.6442	0.5465		
교량구조물	부속시설	0.0811	0.4850	0.5991	C
	하부구조	0.3420	0.5700		
	상부구조	0.5770	0.6323		

4.4 누락자료에 의한 상태평가

4.4.1 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.

이러한 경우에는 누락자료를 제외한 나머지 평가항목들의 중요도 재산정에 관련된 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 서로 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 평가항목들 간에 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.

4.4.2 중요도 재산정에 의한 누락자료 처리

본 항에서는 앞 절에서 실시한 평가항목의 중요도 산정 예에서 특정 항목이 누락된 경우의 중요도 재산정 방법에 대하여 직접적인 예를 통하여 살펴보기로 한다. 표 4.11은 평가항목중 기초가 누락되어 있을 때 교량 상태평가 예이다. 그리고 의사결정방법으로부터 구한 평가항목의 상대적인 중요도는 평가항목 기초의 중요도를 나머지 평가항목들에게 그들의 중요도에 비례하여 분배하면 된다.

표 4.11 특정항목 누락시 의사결정방법 의한 상태평가 예

평가 대상	평가 항목	중요도	폐지추론에 의한 평가	의사결정방법에 의한 평가	의사결정방법에 의한 등급
상부구조	교면포장	0.0810	0.2448	0.6323	D
	배수시설	0.1884	0.4006		
	바닥판 슬래브	0.7306	0.7349		
하부구조	교 각	0.5000	0.5665	0.5873	C
	교 대	0.5000	0.6081		
	기 초	누 락			
부속시설	난간·연석	0.0852	0.6458	0.4850	C
	신축이음	0.2706	0.2882		
	교량받침	0.6442	0.5465		
교량구조물	부속시설	0.0811	0.4850	0.6050	C
	하부구조	0.3420	0.5873		
	상부구조	0.5770	0.6323		

제 5 장 상태평가시스템 대상적용

본 장에서는 상태 평가 시스템을 실제 대상적용을 통하여 그 성능을 분석하기 위하여 안전진단 보고서 상의 평가결과와 본 시스템에 의한 평가 결과를 비교하는 방법으로 수행하였다.

5.1 대상교량

교량 상태평가 시스템의 적용성 분석은 외관조사를 실시한 안전진단 보고서의 점검 결과를 본 시스템에 입력하여, 안전진단 보고서상의 평가결과와 본 시스템에 의한 평가결과를 비교하는 방법으로 수행하였다. 대상적용은 표 5.1에 제시하고 있는 전라남도 지역의 교량에 대하여 수행하였다.

표 5.1 시스템 적용 대상교량

대상	소재지	형식
맹리교	전라남도 화순군 북면 맹리	5경간 RC슬래브교
상하교	전라남도 함평군 나산면 수하리	단경간 RC슬래브교
청학교	전라남도 완도군 고금면 덕암리	3경간 RC슬래브교
쌍웅교	전라남도 장성군 북하면 쌍웅리	4경간 RC T형교
대문교	전라남도 완도군 군외면 대문리	3경간 RC슬래브교

5.2 대상교량적용

(1) 맹리교

1) 평가항목별 입력값

외관조사를 실시하여 맹리교에 대한 평가항목별 손상형태, 입력값을 정리하면 표 5.2와 같다.

표 5.2 맹리교의 평가항목별 손상형태 및 입력값

평가항목	손상형태		입력값
교면포장	포장상태 (%)		22
	단 차 (mm)		34
배수시설	파 손 (%)		8
	누 수 체 수 (%)		18
바닥판 슬래브	균 열	균열폭 (mm)	0.3
		균열율 (%)	15
	손 상	박리·박락 (%)	22
		철근노출 (%)	0
교 각	균 열	균열폭 (mm)	0.3
		균열율 (%)	9
	손 상	박리·박락 (%)	12
		철근노출 (%)	0.5
교 대	균 열	균열폭 (mm)	0.3
		균열율 (%)	4
	손 상	박리·박락 (%)	20
		철근노출 (%)	0.5
기 초	세 굴 (%)	누 락	
	침 하 (mm)	누 락	
난간·연석	난간 파손 (%)	4	
	연석 파손 (%)	1	
신축이음	본체 파손 (%)	9	
	후타재 파손 (%)	11	
교량받침	본체 파손 (%)	4	
	받침대 파손 (%)	9	

2) 퍼지추론에 의한 평가항목의 정량화

외관조사를 실시하여 얻어진 맹리교의 평가항목별 입력값을 Max-Min법에 의한 퍼지추론을 이용하여 평가한 평가결과와 정밀점검 및 정밀안전진단 세부지침에 의해 평가한 결과를 표 5.3과 같이 나타내었다((주)세기엔지니어링, 2002).

표 5.3 맹리교의 퍼지추론에 의한 평가항목별 상대평가

평가항목		퍼지추론에 의한 평가		안전진단에 의한 등급
교면포장		0.8278		D
배수시설		0.3861		B
바닥판 슬래브	균 열	0.7500	0.6459	D
	손 상	0.5418		
교 각	균 열	0.5524	0.4489	C
	손 상	0.3453		
교 대	균 열	0.4549	0.4462	C
	손 상	0.4375		
기 초		누 락		
난간·연석		0.2265		B
신축이음		0.3750		C
교량받침		0.2708		B

퍼지추론에 의한 교면포장 평가값은 0.8278로 D등급과 E등급의 중간등급이므로 안전진단에 의한 평가 D등급과는 일치하지 않았으나 정량적인 평가방법에는 만족하였고, 배수시설의 퍼지추론에 의한 평가값은 0.3861로 B등급과 C등급의 중간등급이므로 안전진단에 의한 평가 B등급과는 일치하지 않았으나 정량적인 평가방법에는 만족하였다. 바닥판 슬래브의 퍼지추론에 의한 평가값은 0.6459로 B등급과 C등급의 중간등급이므로 안전진단에 의한 평가 B등급과는 일치하지 않았으나 정량적인 평가방법에는 만족하였고, 교각의 퍼지추론에 의한 평가값은 0.4489로 안전진단에 의한 평가 C등급과 거의 일치하였다. 교대의 퍼지추론에 의한 평가값은 0.4462로 안전진단에 의한 평가 C등

급과 거의 일치하였고, 기초는 관측이 불가능하여 평가항목에서 누락되었다. 난간 및 연석은 퍼지추론에 의한 평가값이 0.2265로 안전진단에 의한 평가 B등급과 일치하였다. 신축이음은 퍼지추론에 의한 평가값이 0.3750으로 B등급과 C등급의 중간등급이므로 안전진단에 의한 평가값 C등급과는 일치하지 않았으나 정량적인 평가방법에는 만족하였고, 교량받침은 0.2708로 안전진단에 의한 평가 B등급과 일치하였다.

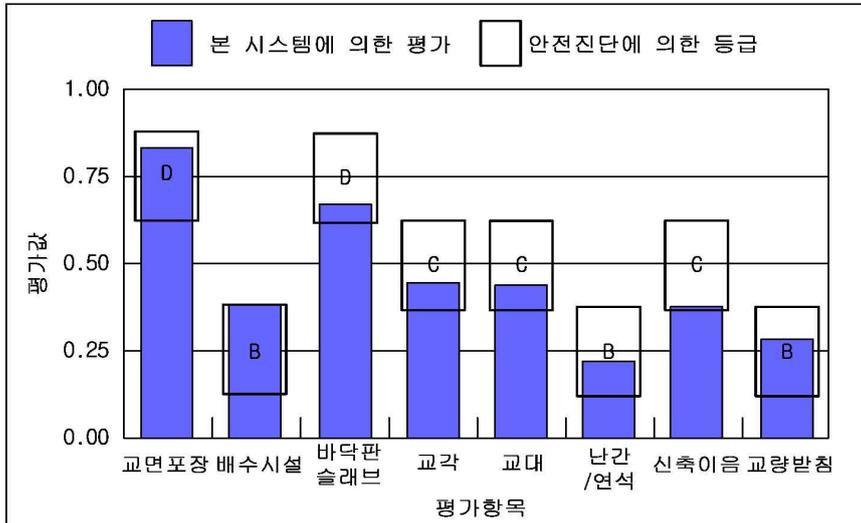


그림 5.1 맹리교의 평가항목별 상태평가 결과 비교

따라서, 외관조사를 실시하여 평가항목별 입력값을 구한 후 Max-Min법에 의한 퍼지추론을 이용하여 각 평가항목별로 평가한 평가값과 정밀점검 및 정밀안전진단 세부지침에 의해 평가한 등급을 비교 분석한 결과 그림 5.1과 같이 교각, 교대, 난간·연석, 교량받침은 평가값이 일치하였고 나머지 항목들은 일치하지 않았으나 정량적인 평가방법에는 만족하였다. 맹리교의 평가항목별 평가결과는 대체적으로 만족한 것으로 판단된다.

3) 의사결정방법에 의한 상태평가

퍼지이론에 의해 구해진 평가결과를 의사결정방법을 이용하여 구한 중요도를 고려하여 표 5.4와 같이 맹리교에 대한 상태평가를 실시하였다.

상부구조물의 평가항목의 중요도를 고려한 의사결정방법에 의한 평가 결과는 0.6117로 낙관적으로 평가하면 C등급이며, 보수적으로 평가하면 D등급으로 최종상태등급은

D등급으로 평가하였다. 하부구조물의 의사결정방법에 의한 평가결과는 0.4476으로 평가등급은 C등급이며, 부속시설의 평가 결과는 0.2952로 평가등급은 B등급이다. 교량구조물의 의사결정방법에 의한 평가결과는 0.5300으로 평가등급은 C등급이며, 안전진단에 의한 평가등급 C등급과 일치하였다.

표 5.4 맹리교의 의사결정방법에 의한 상태평가

평가 대상	평가 항목	중요도	폐지추론에 의한 평가	의사결정방법에 의한 평가	의사결정방법에 의한 등급
상부구조	교면포장	0.0810	0.8278	0.6117	D
	배수시설	0.1884	0.3861		
	바닥판 슬래브	0.7306	0.6459		
하부구조	교 각	0.5000	0.4489	0.4476	C
	교 대	0.5000	0.4462		
	기 초	누 락			
부속시설	난간·연석	0.0852	0.2265	0.2952	B
	신축이음	0.2706	0.375		
	교량받침	0.6442	0.2708		
교량구조물	부속시설	0.0811	0.2952	0.5300	C
	하부구조	0.3420	0.4476		
	상부구조	0.5770	0.6117		

따라서, 의사결정방법에 의해 얻어진 평가항목의 중요도를 고려하여 상태평가를 실시하여 얻은 등급과 정밀점검 및 정밀안전진단 세부지침에 의해 평가한 등급을 비교한 결과 교량구조물의 평가등급이 일치하여 맹리교의 평가대상별 평가결과는 만족한 것으로 판단된다.

(2) 상하교

1) 평가항목별 입력값

외관조사를 실시하여 상하교에 대한 평가항목별 손상형태, 입력값을 정리하면 표 5.5와 같다.

표 5.5 상하교의 평가항목별 손상형태 및 입력값

평가항목	손상형태		입력값
교면포장	포장상태 (%)		9
	단 차 (mm)		16
배수시설	파 손 (%)		25
	누 수 체 수 (%)		25
바닥판 슬래브	균 열	균열폭 (mm)	0.2
		균열율 (%)	11
	손 상	박리·박락 (%)	25
		철근노출 (%)	7
교 각	균 열	균열폭 (mm)	누 락
		균열율 (%)	누 락
	손 상	박리·박락 (%)	누 락
		철근노출 (%)	누 락
교 대	균 열	균열폭 (mm)	0.3
		균열율 (%)	4
	손 상	박리·박락 (%)	22
		철근노출 (%)	0
기 초	세 굴 (%)	누 락	
	침 하 (mm)	누 락	
난간·연석	난간 파손 (%)	14	
	연석 파손 (%)	8	
신축이음	본체 파손 (%)	누 락	
	후타재 파손 (%)	누 락	
교량받침	본체 파손 (%)	누 락	
	받침대 파손 (%)	누 락	

2) 폐지추론에 의한 평가항목의 정량화

외관조사를 실시하여 얻어진 상하교의 평가항목별 입력값을 Max-Min법에 의한 폐지추론을 이용하여 평가한 평가결과와 정밀점검 및 정밀안전진단 세부지침에 의해 평가한 결과를 표 5.6과 같이 나타내었다((주)세기엔지니어링, 2002).

표 5.6 상하교의 폐지추론에 의한 평가항목별 상태평가

평가항목		폐지추론에 의한 평가		안전진단에 의한 등급
교면포장		0.4245		C
배수시설		0.7500		D
바닥판 슬래브	균 열	0.5302	0.6765	D
	손 상	0.8228		
교 각	균 열	누 락		
	손 상			
교 대	균 열	0.4200	0.4126	C
	손 상	0.4052		
기 초		누 락		
난간·연석		0.5148		C
신축이음		누 락		
교량받침		누 락		

폐지추론에 의한 교면포장 평가값은 0.4245로 B등급과 C등급의 중간등급이므로 안전진단에 의한 평가 C등급과는 일치하지 않았으나 정량적인 평가방법에는 만족하였고, 배수시설의 폐지추론에 의한 평가값은 0.7500으로 안전진단에 의한 평가 D등급과 일치하였다. 바닥판 슬래브의 폐지추론에 의한 평가값은 0.6765로 C등급과 D등급의 중간등급이므로 안전진단에 의한 평가 D등급과는 일치하지 않았으나 정량적인 평가방법에는 만족하였고, 교각은 평가항목에서 누락되었고, 교대의 폐지추론에 의한 평가값은 0.4126으로 B등급과 C등급의 중간등급이므로 안전진단에 의한 평가 C등급과는 일치하지 않았으나 정량적인 평가방법에는 만족하였다. 기초는 관측이 불가능하여 평가항목에서

누락되었고, 난간 및 연석은 퍼지추론에 의한 평가값이 0.5148로 안전진단에 의한 평가 C등급과 일치하였다. 신축이음 및 교량받침은 평가항목에서 누락되었다.

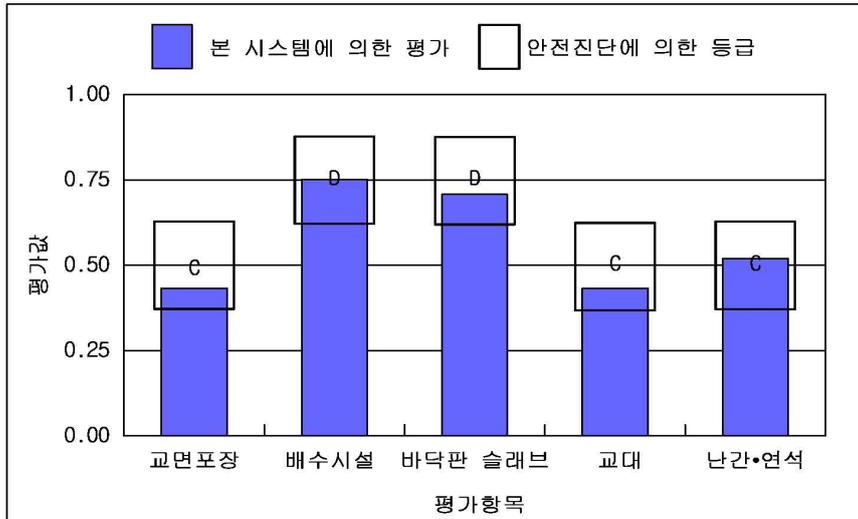


그림 5.2 상하교의 평가항목별 상태평가 결과 비교

따라서, 외관조사를 통해 평가항목별 입력값을 구한 후 Max-Min법에 의한 퍼지추론을 이용하여 각 평가항목별로 평가한 평가값과 정밀점검 및 정밀안전진단 세부지침에 의한 등급을 비교 분석한 결과 그림 5.2와 같이 교면포장, 바닥판 슬래브, 교대는 평가값이 일치하지 않았으나 정량적인 평가방법에는 만족하였고 나머지 항목들은 거의 일치하였다. 상하교의 평가항목별 평가결과는 만족한 것으로 판단된다.

3) 의사결정방법에 의한 상태평가

퍼지이론에 의해 구해진 평가결과를 의사결정방법을 이용하여 구한 중요도를 고려하여 표 5.7과 같이 상하교에 대한 상태평가를 실시하였다.

상부구조물의 평가항목의 중요도를 고려한 의사결정방법에 의한 평가 결과는 0.6699로 낙관적으로 평가하면 C등급이며, 보수적으로 평가하면 D등급으로 최종상태등급은 D등급으로 평가하였다. 하부구조물의 의사결정방법에 의한 평가결과는 0.4136으로 낙관적으로 평가하면 B등급이며, 보수적으로 평가하면 C등급으로 최종상태등급은 C등급으로 평가하였다. 부속시설의 의사결정방법에 의한 평가 결과는 0.5148로 평가등급은 D등급이다. 교량구조물의 의사결정방법에 의한 평가결과는 0.5865로 낙관적으로 평가

하면 C등급이며, 보수적으로 평가하면 D등급으로 최종상태등급은 D등급으로 안전진단에 의한 평가등급 D등급과 일치하였다.

표 5.7 상하교의 의사결정방법에 의한 상태평가

평가 대상	평가 항목	중요도	퍼지추론에 의한 평가	의사결정방법에 의한 평가	의사결정방법에 의한 등급
상부구조	교면포장	0.0810	0.4245	0.6699	D
	배수시설	0.1884	0.7500		
	바닥판 슬래브	0.7306	0.6765		
하부구조	교 각	누 락		0.4136	C
	교 대	1.0000	0.4126		
	기 초	누 락			
부속시설	난간·연석	1.0000	0.5148	0.5148	C
	신축이음	누 락			
	교량받침	누 락			
교량구조물	부속시설	0.0811	0.5148	0.5865	D
	하부구조	0.3420	0.4136		
	상부구조	0.5770	0.6699		

따라서, 의사결정방법에 의해 얻어진 평가항목의 중요도를 고려하여 상태평가를 실시하여 얻은 등급과 정밀점검 및 정밀안전진단 세부지침에 의해 평가한 등급을 비교한 결과 교량구조물의 평가등급이 일치하여 상하교의 평가대상별 평가결과는 만족한 것으로 판단된다.

(3) 청학교

1) 평가항목별 입력값

외관조사를 실시하여 청학교에 대한 평가항목별 손상형태, 입력값을 정리하면 표 5.8과 같다.

표 5.8 청학교의 평가항목별 손상형태 및 입력값

평가항목	손상형태		입력값
교면포장	포장상태 (%)		8
	단 차 (mm)		12
배수시설	파 손 (%)		9
	누 수 체 수 (%)		15
바닥판 슬래브	균 열	균열폭 (mm)	0.3
		균열율 (%)	9
	손 상	박리·박락 (%)	14
		철근노출 (%)	1
교 각	균 열	균열폭 (mm)	0.25
		균열율 (%)	9
	손 상	박리·박락 (%)	14
		철근노출 (%)	3
교 대	균 열	균열폭 (mm)	0.35
		균열율 (%)	8
	손 상	박리·박락 (%)	17
		철근노출 (%)	2
기 초	세 굴 (%)	누 락	
	침 하 (mm)	누 락	
난간·연석	난간 파손 (%)	16	
	연석 파손 (%)	22	
신축이음	본체 파손 (%)	누 락	
	후타재 파손 (%)	누 락	
교량받침	본체 파손 (%)	누 락	
	받침대 파손 (%)	누 락	

2) 폐지추론에 의한 평가항목의 정량화

외관조사를 실시하여 얻어진 청학교의 평가항목별 입력값을 Max-Min법에 의한 폐지추론을 이용하여 평가한 평가결과와 정밀점검 및 정밀안전진단 세부지침에 의해 평가한 결과를 표 5.9와 같이 나타내었다((주)세기엔지니어링, 2002).

표 5.9 청학교의 폐지추론에 의한 평가항목별 상태평가

평가항목		폐지추론에 의한 평가		안전진단에 의한 등급
교면포장		0.3693		B
배수시설		0.3670		B
바닥판 슬래브	균 열	0.5524	0.4899	C
	손 상	0.4274		
교 각	균 열	0.5297	0.5663	C
	손 상	0.6028		
교 대	균 열	0.6330	0.6081	C
	손 상	0.5832		
기 초		누 락		
난간·연석		0.5832		C
신축이음		누 락		
교량받침		누 락		

폐지추론에 의한 교면포장 평가값은 0.3693으로 B등급과 C등급의 중간등급이므로 안전진단에 의한 평가 B등급과는 일치하지 않았으나 정량적인 평가방법에는 만족하였다. 배수시설의 폐지추론에 의한 평가값은 0.3670으로 B등급과 C등급의 중간등급이므로 안전진단에 의한 평가 B등급과는 일치하지 않았으나 정량적인 평가방법에는 만족하였고, 바닥판 슬래브의 폐지추론에 의한 평가값은 0.4899로 안전진단에 의한 평가 C등급과 일치하였다. 교각의 폐지추론에 의한 평가값은 0.5663으로 안전진단에 의한 평가 C등급과 일치하였고, 교대의 폐지추론에 의한 평가값은 0.6081로 B등급과 C등급의 중간등급이므로 안전진단에 의한 평가 C등급과는 일치하지 않았으나 정량적인 평가방

법에는 만족하였다. 기초는 관측이 불가능하여 평가항목에서 누락되었고, 난간 및 연석은 퍼지추론에 의한 평가값이 0.5832로 C등급과 D등급의 중간등급이므로 안전진단에 의한 평가 C등급과는 일치하지 않았으나 정량적인 평가방법에는 만족하였다. 신축이음 및 교량받침은 평가항목에서 누락되었다.

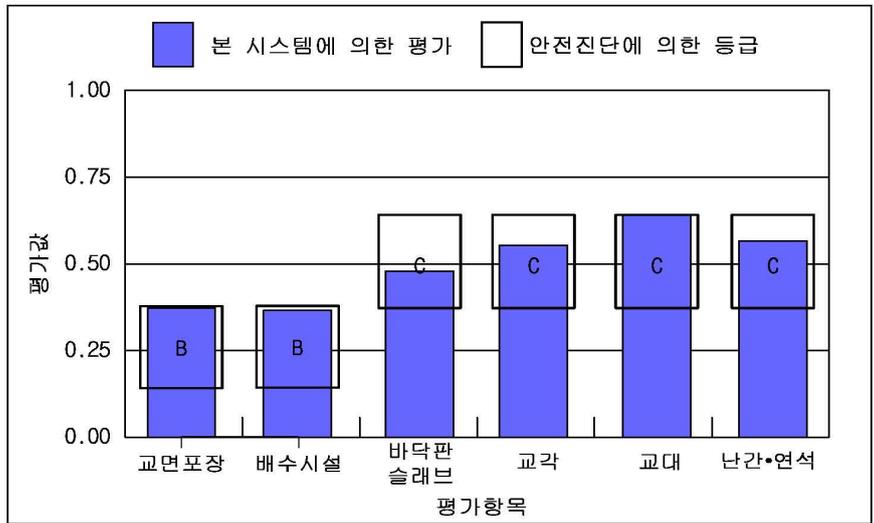


그림 5.3 청학교의 평가항목별 상대평가 결과 비교

따라서, 외관조사를 실시하여 평가항목별 입력값을 구한 후 Max-Min법에 의한 퍼지추론을 이용하여 각 평가항목별로 평가한 평가값과 정밀점검 및 정밀안전진단 세부지침에 의해 평가한 등급을 비교 분석한 결과 그림 5.3과 같이 바닥판슬래브, 교각은 평가값이 거의 일치하였고, 나머지 항목들은 평가결과가 일치하지 않았으나 정량적인 평가방법에는 만족하였다. 청학교의 평가항목별 평가결과는 만족한 것으로 판단된다.

3) 의사결정방법에 의한 상대평가

퍼지이론에 의해 구해진 평가결과를 의사결정방법을 이용하여 구한 중요도를 고려하여 표 5.10과 같이 청학교에 대한 상대평가를 실시하였다.

상부구조물의 평가항목의 중요도를 고려한 의사결정방법에 의한 평가 결과는 0.4570으로 평가등급은 C등급이다. 하부구조물의 의사결정방법에 의한 평가결과는 0.5872로 낙관적으로 평가하면 C등급이며, 보수적으로 평가하면 D등급으로 최종상태등급은 D등급으로 평가하였다. 부속시설의 의사결정방법에 의한 평가 결과는 0.5932로 낙관적으로

평가하면 C등급이며, 보수적으로 평가하면 D등급으로 최종상태등급은 D등급으로 평가하였다. 교량구조물의 의사결정방법에 의한 평가결과는 0.5126으로 평가등급은 C등급이며, 안전진단에 의한 평가등급 C등급과 일치하였다.

표 5.10 청학교의 의사결정방법에 의한 상태평가

평가 대상	평가 항목	중요도	퍼지추론에 의한 평가	의사결정방법에 의한 평가	의사결정방법에 의한 등급
상부구조	교면포장	0.0810	0.3693	0.4570	C
	배수시설	0.1884	0.3670		
	바닥판 슬래브	0.7306	0.4899		
하부구조	교 각	0.5000	0.5663	0.5872	C
	교 대	0.5000	0.6081		
	기 초	누 락			
부속시설	난간·연석	1.0000	0.5932	0.5932	D
	신축이음	누 락			
	교량받침	누 락			
교량구조물	부속시설	0.0811	0.5932	0.5126	C
	하부구조	0.3420	0.5872		
	상부구조	0.5770	0.4570		

따라서, 의사결정방법에 의해 얻어진 평가항목의 중요도를 고려하여 상태평가를 실시하여 얻은 등급과 정밀점검 및 정밀안전진단 세부지침에 의해 평가한 등급을 비교한 결과 교량구조물의 평가등급이 일치하여 청학교의 평가대상별 평가결과는 만족한 것으로 판단된다.

(4) 쌍용교

1) 평가항목별 입력값

외관조사를 실시하여 쌍용교에 대한 평가항목별 손상형태, 입력값을 정리하면 표 5.11과 같다.

표 5.11 쌍용교의 평가항목별 손상형태 및 입력값

평가항목	손상형태		입력값
교면포장	포장상태 (%)		10
	단 차 (mm)		20
배수시설	파 손 (%)		10
	누 수 체 수 (%)		28
바닥판 슬래브	균 열	균열폭 (mm)	0.3
		균열율 (%)	9
	손 상	박리·박락 (%)	14
		철근노출 (%)	1
교 각	균 열	균열폭 (mm)	0.3
		균열율 (%)	7
	손 상	박리·박락 (%)	7
		철근노출 (%)	1.8
교 대	균 열	균열폭 (mm)	0.3
		균열율 (%)	9
	손 상	박리·박락 (%)	10
		철근노출 (%)	4
기 초	세 굴 (%)	누 락	
	침 하 (mm)	누 락	
난간·연석	난간 파손 (%)	1	
	연석 파손 (%)	7	
신축이음	본체 파손 (%)	9	
	후타재 파손 (%)	11	
교량받침	본체 파손 (%)	12	
	받침대 파손 (%)	13	

2) 폐지추론에 의한 평가항목의 정량화

외관조사를 실시하여 얻어진 쌍용교의 평가항목별 입력값을 Max-Min법에 의한 폐지추론을 이용하여 평가한 평가결과와 정밀점검 및 정밀안전진단 세부지침에 의해 평가한 결과를 표 5.12와 같이 나타내었다((주)이삭엔지니어링, 2005)

표 5.12 쌍용교의 폐지추론에 의한 평가항목별 상태평가

평가항목		폐지추론에 의한 평가		안전진단에 의한 등급
교면포장		0.5000		C
배수시설		0.5297		C
바닥판 슬래브	균 열	0.5948	0.5111	C
	손 상	0.4274		
교 각	균 열	0.5524	0.4839	C
	손 상	0.4153		
교 대	균 열	0.5948	0.5249	C
	손 상	0.4549		
기 초		누 락		
난간·연석		0.3252		B
신축이음		0.4132		C
교량받침		0.5000		C

폐지추론의 교면포장 평가값은 0.5000로 안전진단에 의한 평가 C등급과 일치하였고, 배수시설의 폐지추론에 의한 평가값은 0.5297로 안전진단에 의한 평가 C등급과 일치하였다. 바닥판 슬래브의 폐지추론에 의한 평가값은 0.5111로 안전진단에 의한 평가 C등급과 일치하였고, 교각의 폐지추론에 의한 평가값은 0.4839로 안전진단에 의한 평가 C등급과 일치하였다. 교대의 폐지추론에 의한 평가값은 0.5249로 안전진단에 의한 평가 C등급과 일치하였고, 기초는 관측이 불가능하여 평가항목에서 누락시켰다. 난간 및 연석은 폐지추론에 의한 평가값이 0.3252로 B등급과 C등급의 중간등급이므로 안전진단에 의한 평가 B등급과는 일치하지 않았으나 정량적인 평가방법에는 만족하였다. 신축

이음은 퍼지추론에 의한 평가값이 0.4132로 B등급과 C등급의 중간등급이므로 안전진단에 의한 평가 C등급과는 일치하지 않았으나 정량적인 평가방법에는 만족하였고, 교량받침의 퍼지추론에 의한 평가값은 0.5로 안전진단에 의한 평가 C등급과 일치하였다.

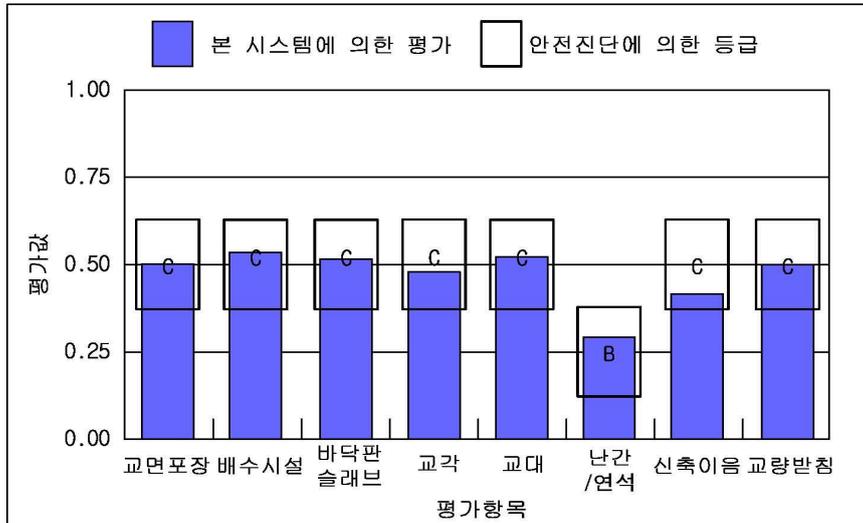


그림 5.4 쌍웅교의 평가항목별 상태평가 결과 비교

따라서, 외관조사를 실시하여 평가항목별 입력값을 구한 후 Max-Min법에 의한 퍼지추론을 이용하여 각 평가항목별로 평가한 평가값과 정밀점검 및 정밀안전진단 세부 지침에 의해 평가한 등급을 비교 분석한 결과 그림 5.4와 같이 난간 및 연석, 신축이음은 평가값이 일치하지 않았으나 정량적인 평가방법에는 만족하였고 나머지 항목들은 거의 일치하였다. 쌍웅교의 평가항목별 평가결과는 만족한 것으로 판단된다.

3) 의사결정방법에 의한 상태평가

퍼지이론에 의해 구해진 평가결과를 의사결정방법을 이용하여 구한 중요도를 고려하여 표 5.13과 같이 쌍웅교에 대한 상태평가를 실시하였다.

상부구조물의 평가항목의 중요도를 고려한 의사결정방법에 의한 평가 결과는 0.5137로 상태등급은 B등급이며, 하부구조물의 의사결정방법에 의한 평가 결과는 0.5044로 평가등급은 C등급이다. 부속시설의 의사결정방법에 의한 평가 결과는 0.4616으로 평가등급은 C등급이며, 교량구조물의 의사결정방법에 의한 평가 결과는 0.5036으로 평가등급은 C등급이며, 안전진단에 의한 평가등급 C등급과 일치하였다.

표 5.13 쌍웅교의 의사결정방법에 의한 상태평가

평가 대상	평가 항목	중요도	폐지추론에 의한 평가	의사결정방법에 의한 평가	의사결정방법에 의한 등급
상부구조	교면포장	0.0810	0.5000	0.5137	C
	배수시설	0.1884	0.5297		
	바닥판 슬래브	0.7306	0.5111		
하부구조	교 각	0.5000	0.4839	0.5044	C
	교 대	0.5000	0.5249		
	기 초	누 락			
부속시설	난간·연석	0.0852	0.3252	0.4616	C
	신축이음	0.2706	0.4132		
	교량받침	0.6442	0.5000		
교량구조물	부속시설	0.0811	0.4616	0.5063	C
	하부구조	0.3420	0.5044		
	상부구조	0.5770	0.5137		

따라서, 의사결정방법에 의해 얻어진 평가항목의 중요도를 고려하여 상태평가를 실시하여 얻은 등급과 정밀점검 및 정밀안전진단 세부지침에 의해 평가한 등급을 비교한 결과 교량구조물의 평가등급이 일치하여 쌍웅교의 평가대상별 평가결과는 만족한 것으로 판단된다.

(5) 대문교

1) 평가항목별 입력값

외관조사를 실시하여 대문교에 대한 평가항목별 손상형태, 입력값을 정리하면 표 5.14와 같다.

표 5.14 대문교의 평가항목별 손상형태 및 입력값

평가항목	손상형태		입력값
교면포장	포장상태 (%)		6
	단 차 (mm)		6
배수시설	파 손 (%)		12
	누 수 체 수 (%)		19
바닥판 슬래브	균 열	균열폭 (mm)	0.15
		균열율 (%)	0
	손 상	박리·박락 (%)	6
		철근노출 (%)	0
교 각	균 열	균열폭 (mm)	0.4
		균열율 (%)	8
	손 상	박리·박락 (%)	22
		철근노출 (%)	5
교 대	균 열	균열폭 (mm)	0.35
		균열율 (%)	14
	손 상	박리·박락 (%)	17
		철근노출 (%)	4
기 초	세 굴 (%)	누 락	
	침 하 (mm)	누 락	
난간·연석	난간 파손 (%)	20	
	연석 파손 (%)	16	
신축이음	본체 파손 (%)	누 락	
	후타재 파손 (%)	누 락	
교량받침	본체 파손 (%)	누 락	
	받침대 파손 (%)	누 락	

2) 퍼지추론에 의한 평가항목의 정량화

외관조사를 실시하여 얻어진 대문교의 평가항목별 입력값을 Max-Min법에 의한 퍼지추론을 이용하여 평가한 평가결과와 정밀점검 및 정밀안전진단 세부지침에 의해 평가한 결과를 표 5.15와 같이 나타내었다((주)세기엔지니어링, 2002).

표 5.15 대문교의 퍼지추론에 의한 평가항목별 상태평가

평가항목		퍼지추론에 의한 평가		안전진단에 의한 등급
교면포장		0.2580		B
배수시설		0.4350		C
바닥판 슬래브	균 열	0.1101	0.1488	A
	손 상	0.1875		
교 각	균 열	0.6976	0.7309	D
	손 상	0.7802		
교 대	균 열	0.7420	0.6990	D
	손 상	0.6559		
기 초		누 락		
난간·연석		0.6976		D
신축이음		누 락		
교량받침		누 락		

퍼지추론의 교면포장 평가값은 0.2580으로 안전진단에 의한 평가 B등급과 일치하였고, 배수시설의 퍼지추론에 의한 평가값은 0.4350으로 B등급과 C등급 중간등급이므로 안전진단에 의한 평가 C등급과는 일치하지 않았으나 정량적인 평가방법에는 만족하였다. 바닥판 슬래브의 퍼지추론에 의한 평가값은 0.1488으로 A등급과 B등급 중간등급이므로 안전진단에 의한 평가 A등급과는 일치하지 않았으나 정량적인 평가방법에는 만족하였다. 교각의 퍼지추론에 의한 평가값은 0.7309로 안전진단에 의한 평가 D등급과는 일치하였고, 교대의 퍼지추론에 의한 평가값은 0.6990으로 안전진단에 의한 평가 D등급과 거의 일치하였다. 기초는 관측이 불가능하여 평가항목에서 누락되었고, 난간 및

연석은 퍼지추론에 의한 평가값이 0.6976으로 안전진단에 의한 평가 D등급과는 일치하였다. 신축이음 및 교량받침은 평가항목에서 누락되었다.

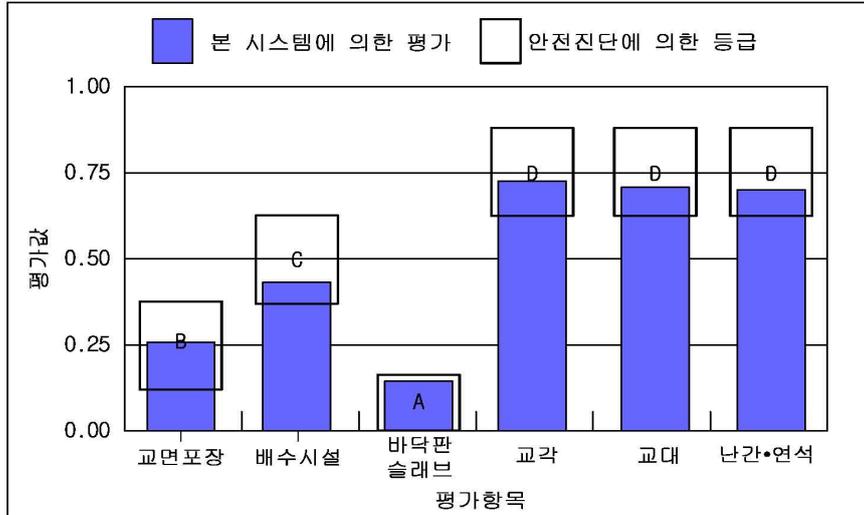


그림 5.5 대문교의 평가항목별 상태평가 결과 비교

따라서, 외관조사를 실시하여 평가항목별 입력값을 구한 후 Max-Min법에 의한 퍼지추론을 이용하여 각 평가항목별로 평가한 평가값과 정밀점검 및 정밀안전진단 세부 지침에 의해 평가한 등급을 비교 분석한 결과 그림 5.5와 같이 배수시설, 바닥판 슬래브는 평가값이 일치하지 않았으나 정량적인 평가방법에는 만족하였다. 나머지 항목들은 거의 일치하여 대문교의 평가항목별 평가결과는 대체적으로 만족한 것으로 판단된다.

3) 의사결정방법에 의한 상태평가

퍼지이론에 의해 구해진 평가결과를 의사결정방법을 이용하여 구한 중요도를 고려하여 표 5.16과 같이 대문교의 상태평가를 실시하였다.

상부구조물의 평가항목의 중요도를 고려한 의사결정방법에 의한 평가 결과는 0.2116으로 평가등급은 B등급이며, 하부구조물의 의사결정방법에 의한 평가결과는 0.7150으로 평가등급은 D등급이다. 부속시설의 의사결정방법에 의한 평가 결과는 0.6976으로 평가등급은 D등급이며, 교량구조물의 의사결정방법에 의한 평가결과는 0.4232로 낙관적으로 평가하면 B등급이며, 보수적으로 평가하면 C등급으로 최종상태등급은 C등급으

로 안전진단에 의한 평가 C등급과 일치하였다.

표 5.16 대문교의 의사결정방법에 의한 상태평가

평가 대상	평가 항목	중요도	폐지추론에 의한 평가	의사결정방법에 의한 평가	의사결정방법에 의한 등급
상부구조	교면포장	0.0810	0.2580	0.2116	B
	배수시설	0.1884	0.4350		
	바닥판 슬래브	0.7306	0.1488		
하부구조	교 각	0.5000	0.7309	0.7150	D
	교 대	0.5000	0.6990		
	기 초	누 락			
부속시설	난간·연석	1	0.6976	0.6976	D
	신축이음	누 락			
	교량받침	누 락			
교량구조물	부속시설	0.0811	0.6976	0.4232	C
	하부구조	0.3420	0.7150		
	상부구조	0.5770	0.2116		

따라서, 의사결정방법에 의해 얻어진 평가항목의 중요도를 고려하여 상태평가를 실시하여 얻은 등급과 정밀점검 및 정밀안전진단 세부지침에 의해 평가한 등급을 비교한 결과 교량구조물의 평가등급이 일치하여 대문교의 평가대상별 평가결과는 만족한 것으로 판단된다.

5.3 적용성 분석

본 연구의 상태평가 시스템을 실제 대상에 적용해 본 결과로부터 적용성을 분석하고 이를 평가하였다. 그림 5.6에서는 앞의 대상에 대하여 본 시스템에 의한 평가결과와 안전진단 보고서 상의 평가결과를 종합 비교하여 나타내었다. 시스템 적용결과는 상태평가 시스템에 의한 평가결과와 안전진단 보고서 상의 평가결과가 모두 유사하게 나오는 것을 보여준다. 일부 대상에 대해서는 상태평가 값이 보고서 상의 등급보다 약간 낮게 나오는 경우도 있으나, 이러한 이유는 일반적으로 안전진단을 실시할 경우 보수적으로 평가 하는 경향이 있으므로, 이를 고려한다면 본 연구의 시스템은 실제 교량의 상태를 비교적 정확히 평가하고 있다고 판단할 수 있다. 대상적용교량을 통해 전체적으로 본 상태평가시스템은 표 5.17과 같이 구조물의 상태를 비교적 정확히 정량적으로 평가하고 있으며, 일부 평가항목의 누락에 대해서도 나머지 평가항목에 대한 중요도의 조절을 통해서 합리적인 평가결과를 도출함을 볼 수 있다.

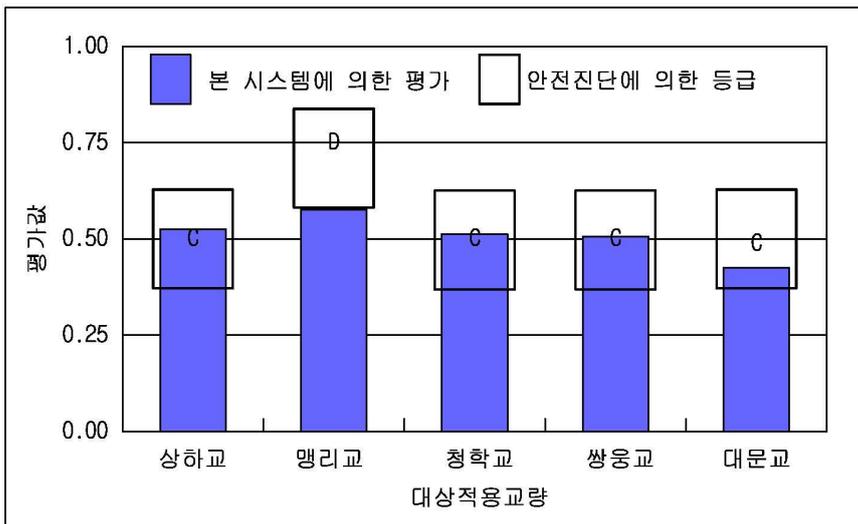


그림 5.6 대상교량의 상태평가 결과 비교

또한, 상태평가 시스템은 세밀한 육안검사 수준의 정기점검 단계에서 구조물의 상태평가에 적용함으로써 효율적인 유지관리 및 구조물의 안정성을 확보 할 수 있으며, 추후 수행될 연구에서는 정기점검 뿐만 아니라 정밀점검을 포함한 상위 점검 및

진단시스템을 추가로 개발하여 이들 간의 자료 공유 및 활용을 통하여 철근콘크리트 교량의 점검 및 진단에 대한 통합되고 일관된 시스템을 개발할 필요가 있다. 이를 통해 교량 유지관리 체계의 일관성 확보 및 과학화를 이루며 더 나아가 교량의 전 생애주기를 통한 체계적인 안전관리를 도모할 필요가 있다.

표 5.17 대상교량의 상태평가 결과 종합

구 분		상부구조물	하부구조물	부속시설	교량구조물
맹리교	상태평가 시스템	0.6617	0.4476	0.2952	0.5300
	상 태 등 급	D	C	B	C
	상 태 내 용	심각	보통	양호	보통
상하교	상태평가 시스템	0.6699	0.4136	0.5148	0.5865
	상 태 등 급	D	C	C	D
	상 태 내 용	심각	보통	보통	심각
청학교	상태평가 시스템	0.4570	0.5872	0.5932	0.5126
	상 태 등 급	C	C	D	C
	상 태 내 용	보통	보통	심각	보통
쌍용교	상태평가 시스템	0.5137	0.5044	0.4616	0.5063
	상 태 등 급	C	C	C	C
	상 태 내 용	보통	보통	보통	보통
대문교	상태평가 시스템	0.2116	0.7150	0.6976	0.4232
	상 태 등 급	B	D	D	C
	상 태 내 용	양호	심각	심각	보통

제 6 장 결 론

본 연구는 철근콘크리트교에 대하여 정기점검 단계의 점검자료와 점검이력자료를 바탕으로 퍼지이론 및 AHP를 이용하여 구조물에 대한 상태를 평가하는 시스템을 구축하고, 이러한 시스템 구축을 통하여 구조물에 대한 체계적이고 지속적인 유지관리 및 일반기술자에 대한 신뢰성 높은 평가를 가능하게 함으로써 구조물의 안전성 확보 및 유지관리체계의 과학화를 도모하는 것을 목적으로 연구를 수행하였다.

또한, 정기점검 단계에서 구조물의 상태평가는 일반적으로 전문가에 의해서 얻을 수 있는 자료와 정보를 고려하여 경험과 직관에 의하여 수행되므로, 상태평가 시스템은 구조물의 상태를 명확하게 평가할 수 있어야 하고 전문가에 의한 의사결정방식을 최대한 반영할 필요가 있다. 그리고 일부 평가항목이 누락되는 경우도 있으므로, 이러한 자료에 대하여도 적절한 평가를 수행할 수 있는 자료처리방법과 평가기법의 개발 및 평가항목의 체계적인 구성을 마련하고자 다음과 같이 제시하였다.

1. 정기점검 단계의 점검결과는 점검자의 주관에 의한 정성적인 정보가 대부분이므로 안전점검 결과의 데이터 분석을 통한 상태평가를 위해서는 평가항목의 정량적인 정형화 과정이 필수적으로 요구된다. 본 연구에서는 선정된 평가항목에 대해 이들의 속성을 기존의 연구결과, 실무자료를 참고하여 정형화하였으며, 퍼지이론을 도입하여 정량화함으로써 주관적 평가치의 객관성을 확보하였다.
2. 교량구조물의 상태평가를 위한 평가항목은 특별한 시험이나 장기간의 검토를 요하지 않는 범위에서 세밀한 육안점검에 의해 조사 가능한 기본적인 항목으로서 정기점검 단계의 점검항목을 중심으로 선정하였다. 평가항목은 상부구조물, 하부구조물, 부속시설로 크게 세 범주로 분류되며 각각에 대하여 세부항목을 특성에 따라 분류하여 구성함으로써 체계적인 분석·처리가 가능하도록 하였다.
3. 주관적인 평가를 다루는 분야에서 중요도는 일반적으로 전문가의 경험이나 지식에 크게 의존하여 산정된다. 본 연구에서는 기존의 자료를 참고하여 평가항목의 중요도를 산정하였으며, 이러한 과정에서 객관성을 부여할 수 있는 방안으로서 AHP 기법을 이용하여 평가항목의 상대적인 중요도를 구하였다.

4. 상태평가 시스템을 실제 대상에 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 있었다. 이로부터 본 연구의 상태평가 시스템은 세밀한 육안검사 수준의 정기점검 단계에서 구조물의 상태평가에 적용함으로써 효율적인 유지관리 및 구조물의 안정성을 확보할 수 있다.
5. 상태평가 시스템의 성능개선은 본 시스템에 의한 평가결과와 전문가에 의한 평가결과를 대상적용 학습을 통하여 퍼지기준 및 중요도를 체계적으로 수정 및 보완하여 시스템의 성능이 개선되는 방안으로 수행되어야 한다.
6. 추후 수행될 연구에서는 정기점검 뿐만 아니라 정밀점검을 포함한 상위 점검 및 진단시스템을 추가로 개발하여 이들 간의 자료 공유 및 활용을 통하여 철근콘크리트교량의 점검 및 진단에 대한 통합되고 일관된 시스템을 개발할 필요가 있다. 또한, 강교량에 대해서도 전체적인 평가과정은 철근콘크리트교량과 동일하므로 평가항목과 중요도를 재구성함으로써 적용할 수 있다. 이를 통해 교량 유지관리 체계의 일관성 확보 및 과학화를 이루며 더 나아가 교량의 전 생애주기를 통한 체계적인 안전관리를 도모할 필요가 있다.

참 고 문 헌

1. 강영균, 김장욱, 이수일, 이수범(2009), 퍼지 및 신경망이론을 이용한 도시부 신호교차로 교통사고예측모형 개발, 한국도로학회지, 제13권, 제1호, 통권47호, pp.69~77.
2. 김선웅, 안계현(2009), 국내 안전 및 유지관리의 문제점 및 개선방안에 관한 연구, 구조물진단학회, 제13권, 제4호, pp.101~106.
3. 김남희, 홍성걸, 장승필(2001), 퍼지추론방식에 의한 기존시설물 내진성능평가, 한국지진공학회논문집, 5권 2호, pp.1~11.
4. 김영민(2002), 철근콘크리트 건축구조물의 퍼지기반 상태평가, 서울대학교, 박사학위논문.
5. 김승희(2009), 퍼지 이론을 이용한 철근콘크리트 구조물의 균열원인 평가를 위한 전문가 시스템의 개발, 수원대학교, 석사학위논문.
6. 시설안전기술공단(2001), 교량유지관리메뉴얼.
7. 시설안전기술공단(2003), 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 교량편.
8. 안영기(2002) 교량의 생애주기비용산정을 위한 열화예측모델에 관한 연구, 경기대학교, 박사학위논문.
9. 오병환, 김광수, 신경준, 이상철(2002), 상태평가 결과를 이용한 교량의 대표등급 산정 방법. 한국구조물진단학회지, 제6권, 제1호, pp.111~118.
10. 유동원(2007), 의사결정방법에 의한 교량의 상태평가, 조선대학교, 석사학위논문.
11. 이규원, 고성곤, 최병한, 이희춘(2000) 퍼지이론을 이용한 철근콘크리트 구조물의 최적설계에 관한 연구. 전북대학교 공업기술연구소지, 제31호, pp.49~60.
12. 이규원, 고성곤(2001) 다목적함수에 가중치를 적용한 트러스 구조물의 퍼지 형상 최적화, 대한토목학회논문집, 제21권, 제4-A호, pp.445~454.
13. 이영식(2002) 퍼지이론을 이용한 철근콘크리트 구조물의 균열평가에 관한 연구, 한양대학교, 석사학위논문.
14. 이용수(2001), 한국과 독일의 교량유지관리 비교분석을 통한 적정 점검주기 제안, 대한토목학회논문집, 제 21권 3-D호.
15. 이증빈, 백대우, 박주원, 강수경(1998), 퍼지-베이즈 이론에 의한 기존구조물의 신뢰성 평가모델, 한국전산구조공학회지, 제2권, 제1호, pp.219~227.
16. 정철원, 이증빈, 나기현, 박주원(1998), Fuzzy개념을 이용한 R·C도로교의 건전성 평가모델 개발, 한국구조물진단학회논문집, 제2권, 제1호, pp.151~161.

17. 조해창(2011), 퍼지이론을 적용한 콘크리트 구조물의 잔존수명 평가방법, 서울시립대학교, 석사학위논문.
18. (주)세기엔지니어링(2002), 옥당1교외 4개교 정밀안전진단보고서
19. (주)세기엔지니어링(2002), 국도 77호선 청학교 등 6개교량 내하력 조사 및 정밀점검 등 용역
20. (주)이삭엔지니어링(2005), 쌍용교 정밀안전진단 보고서
21. 한용택(2011), 퍼지신뢰성이론에 의한 철근콘크리트 구조물의 생애주기비용분석연구, 순천대학교, 석사학위논문.
22. Adlassnig. K. P., Kolarz. G.(1982), DADIAG-2 : Computer-Assisted Medical Diagnosis Using Fuzzy Subsets, Approximate Reasoning in Desision Analysis, North Holland, pp.219~247.
23. Ansari. F.(2000), Condition Monitoring of Materials and Structures, ASCE, Reston, Va
24. Berry. M. J. A., Linoff. G.(1997) Data Mining Technigues : For Marketing, Sales and Customer Support, John Wiley & Sons.
25. Blockley. D. I.(1982), Fuzzy Systems in Civil Engineering, Approximate Reasoning in Desision Analysis, North Holland, pp.103~115.
26. Bojidar Yanev., Rene. B. T., Michael Garvin,(2003), Maintenance Strategy to Minimize Bridge Life-Cycle Costs, Jouranal of Transportation Circular, 9th Interantional Brdge Management Conference.
27. Ching-Ju, Chao, Fu-Ping, Cheng(1998), Fuzzy Pattern Recognition Model for Diagnosing Cracks in RC Strutures. J. Comp. in Civ. Engrg, ASCE, 12(2), pp.111~119.
28. Chou. K. C., Yuan. J.(1993), Fuzzy-bayesian Aproach to Reliability of Existion Structures, J. Struct. Engrg, ASCE, 119(11), pp.3276~3290.
29. Cox Earl.(1998). The Fuaay Systems Handbook, 2nd ed, AP Professional.
30. Dubois. D., Prade. H.(1980), Fuzzy Sets and Systems, Theory and Applicaions, Academic Press.
31. Enright. M. P., Frangopol. D. M.(1999), Maintenance Planning For Deteriorating Concree Bridges, J. Struct. Engrg, ASCE, 125(12), pp.1407~1414.
32. Frangopol. D. M., Lin. K-Y., A. C. Estes(1997), Life-Cycle Cost Design of Deteriorating Structures, J. Struct. Engrg, VOL.123, No.10, pp.1390~1401.

33. Furuta. H., Hirokane. M., Mikumo. Y.(1998), Extractio Method Based on Rough Set Theory of Rule-Type Knowledge from Diagnostic Cases of Slope-Failure Levels, *Rough Sets in Knowledge Discovery VOL.12*, Physica-Verlag Heidelberg, pp.178~192.
34. Furuta. H., Hirokane. M., Tanaka. S., Mikumo. Y.(1998), A Study of Technology for Diagnosing Bridge Soundness by Using Porable Computer, *Proc. Eight Int. on Comp. in Civ. and Bldg. Engrg., ASEC*, pp.1037~1044.
35. Ishii, K., Sugeno, M.(1985), A Model of Human Evaluation Process Using Fuzzy Measure, *Int. J. Man-Machine Studies*, 22, pp.19~38.
36. Juang. H., Lee. D. H., Shen. S.(1992), Mapping Slope Failure Potential Using Fuzzy Sets, *J. Geotech. Engrg, ASEC*, 118(3), pp.475~494.
37. Kushida. M., Miyamoto. A., Kinoshita. K.(1997), Development of Concrete Bridge Rating Prototype Expert System with Machine Learning, *J. Comp. in Civ. Engrg. ASCE*, 11(4), pp.238~247.
38. Melchers. R. E.(2001), Assessment of Existing Structures - Approaches and Research Needs, *J. Struct. Engrg, ASCE*, 127(4), pp.406~411.
39. Okine. N. O. A.(1997), Rough Set Application to Data Mining Principles in Pavemnet Management Database, *J. Comp. in Civ. Engrg, ASCE*, 11(4), pp.231~237.
40. Pedrycz. W., Comide. F.(1998), *An Introduction to Fuzzy Sets, Analysis and Design*, MIT Press.
41. Revadigar. S., Mau. S. T.(1999), Automated Multicriterion Building Damage Assessment form Seismic Data, *J. Struct. Engrg, ASCE*, 125(2), pp.211~217.
42. Rojas. E. M., Songer. A. D.(1999), Computer-Aided Facilities Inspection, *J. Infrasturct. Sys., ASCE*, 5(2), pp.79~85.
43. Ross. T. J., Sorensen. H. C., Savage. S. J., Carson. J. M.(1990), DAPS : Expert Systems for Structural Damage Assessment, *J. Comp. in Civ. Engrg., ASCE*, 4(4), pp.327~347.
44. Satty. T. L., Vargas. L. G.(1991), *Prediction, Projection and Forecasing*, Kluwer Academic Publishers.
45. Sugeno. M.(1974), *Theory of Fuzzy integrals and Its Applicaiions*, Ph.D. Dissertation, Tokyo Institute of Technology.

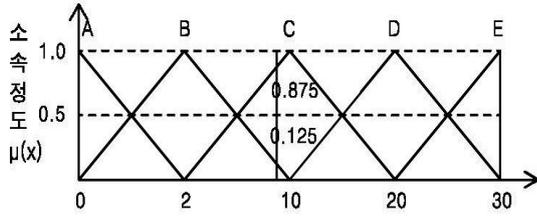
46. Tanaka. T., Sugeno. M.(1991), A Study on Subjectie Evaluatio of Color Printing Images, Int. J. Approximate Reasoning, 5 pp.213~222.
47. Tanaka. K.(1996). An Introduction to Fuzzy Logic for Practical Applicaions, Translated by Tak Niimura, Springer.
48. Val. D.V., and Melchers, R. E.(1997), Reliability of Deteriorating RC Slab Bridge, J. Struct. Engrg, VOL.123, No.12, pp.1638~1644.
49. Zadeh. L. A.(1978), Fuzzy sets as a Basis for a Theory of Possibility, Fuzzy Sets and Systems, 1, pp.3~28.

부 록

부 록 목 차

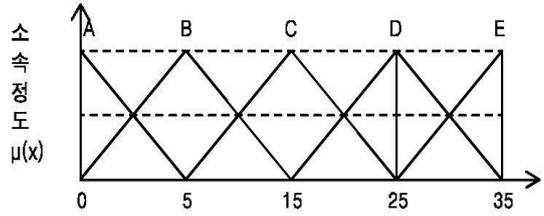
그림 1. 상하교 교면포장 및 배수시설에 대한 폐지추론	1
그림 2. 상하교 바닥판 슬래브에 대한 폐지추론	2
그림 3. 상하교 교대에 대한 폐지추론	3
그림 4. 상하교 기초와 난간 및 연석에 대한 폐지추론	4
그림 5. 맹리교 교면포장 및 배수시설에 대한 폐지추론	5
그림 6. 맹리교 바닥판 슬래브에 대한 폐지추론	6
그림 7. 맹리교 교각에 대한 폐지추론	7
그림 8. 맹리교 교대에 대한 폐지추론	8
그림 9. 맹리교 기초와 난간 및 연석에 대한 폐지추론	9
그림 10. 맹리교 신축이음 및 교량받침에 대한 폐지추론	10
그림 11. 청학교 교면포장 및 배수시설에 대한 폐지추론	11
그림 12. 청학교 바닥판 슬래브에 대한 폐지추론	12
그림 13. 청학교 교각에 대한 폐지추론	13
그림 14. 청학교 교대에 대한 폐지추론	14
그림 15. 청학교 기초와 난간 및 연석에 대한 폐지추론	15
그림 16. 쌍웅교 교면포장 및 배수시설에 대한 폐지추론	16
그림 17. 쌍웅교 바닥판 슬래브에 대한 폐지추론	17
그림 18. 쌍웅교 교각에 대한 폐지추론	18
그림 19. 쌍웅교 교대에 대한 폐지추론	19
그림 20. 쌍웅교 기초와 난간 및 연석에 대한 폐지추론	20
그림 21. 쌍웅교 신축이음 및 교량받침에 대한 폐지추론	21
그림 22. 대문교 교면포장 및 배수시설에 대한 폐지추론	22
그림 23. 대문교 바닥판 슬래브에 대한 폐지추론	23
그림 24. 대문교 교각에 대한 폐지추론	24
그림 25. 대문교 교대에 대한 폐지추론	25
그림 26. 대문교 기초와 난간 및 연석에 대한 폐지추론	26

교면포장

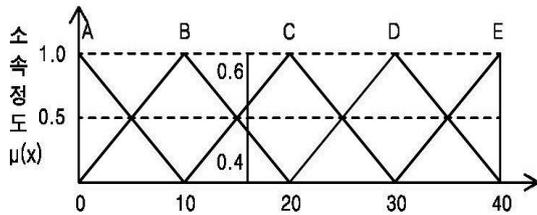


포장불량에 따른 언어변수의 소속함수

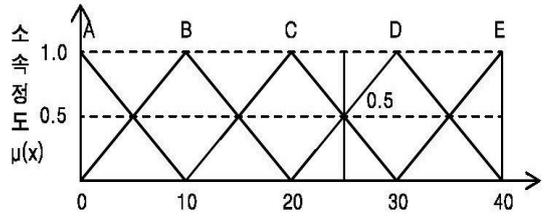
배수시설



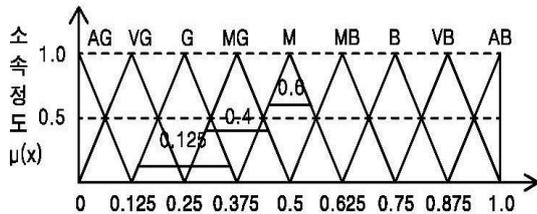
파손에 따른 언어변수의 소속함수



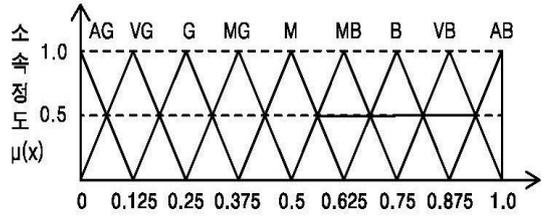
단차, 함몰에 따른 언어변수의 소속함수



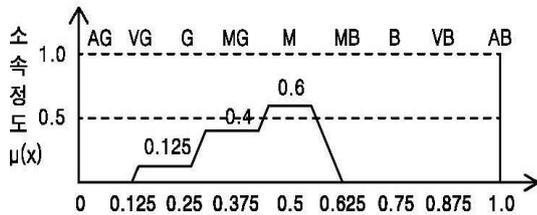
누수체수에 따른 언어변수의 소속함수



FAM 적용에 따른 교면포장 평가 분포

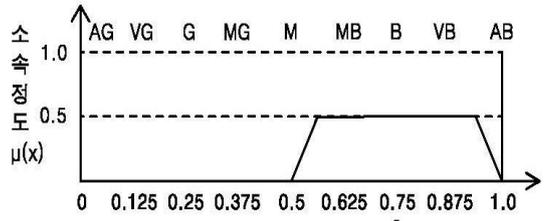


FAM 적용에 따른 배수시설 평가 분포



↓
0.4245

무계중심법에 의한 비퍼지화



↓
0.75

무계중심법에 의한 비퍼지화

그림 1. 상하교 교면포장 및 배수시설에 대한 퍼지추론

바닥판 슬래브

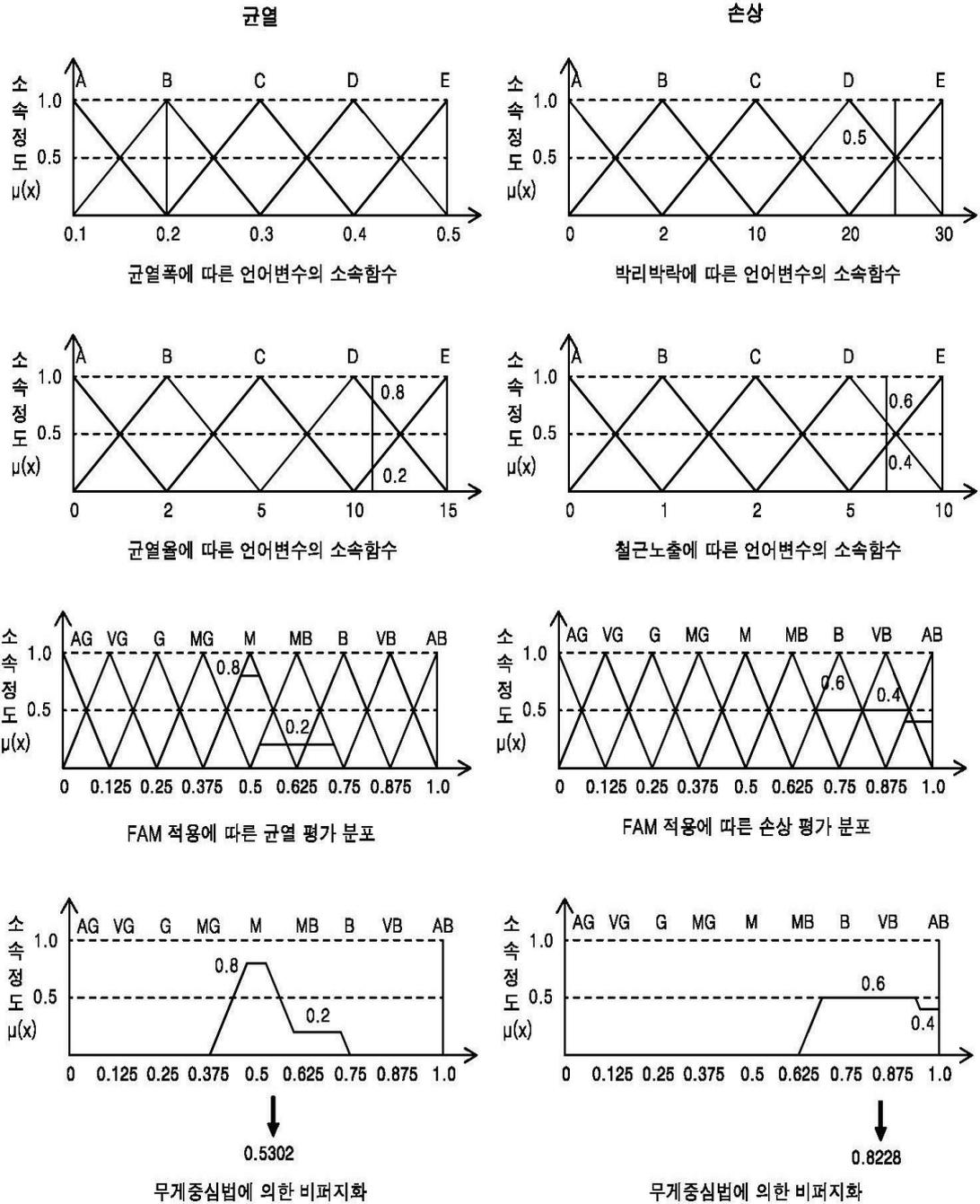


그림 2. 상하교 바닥판 슬래브에 대한 퍼지추론

교대

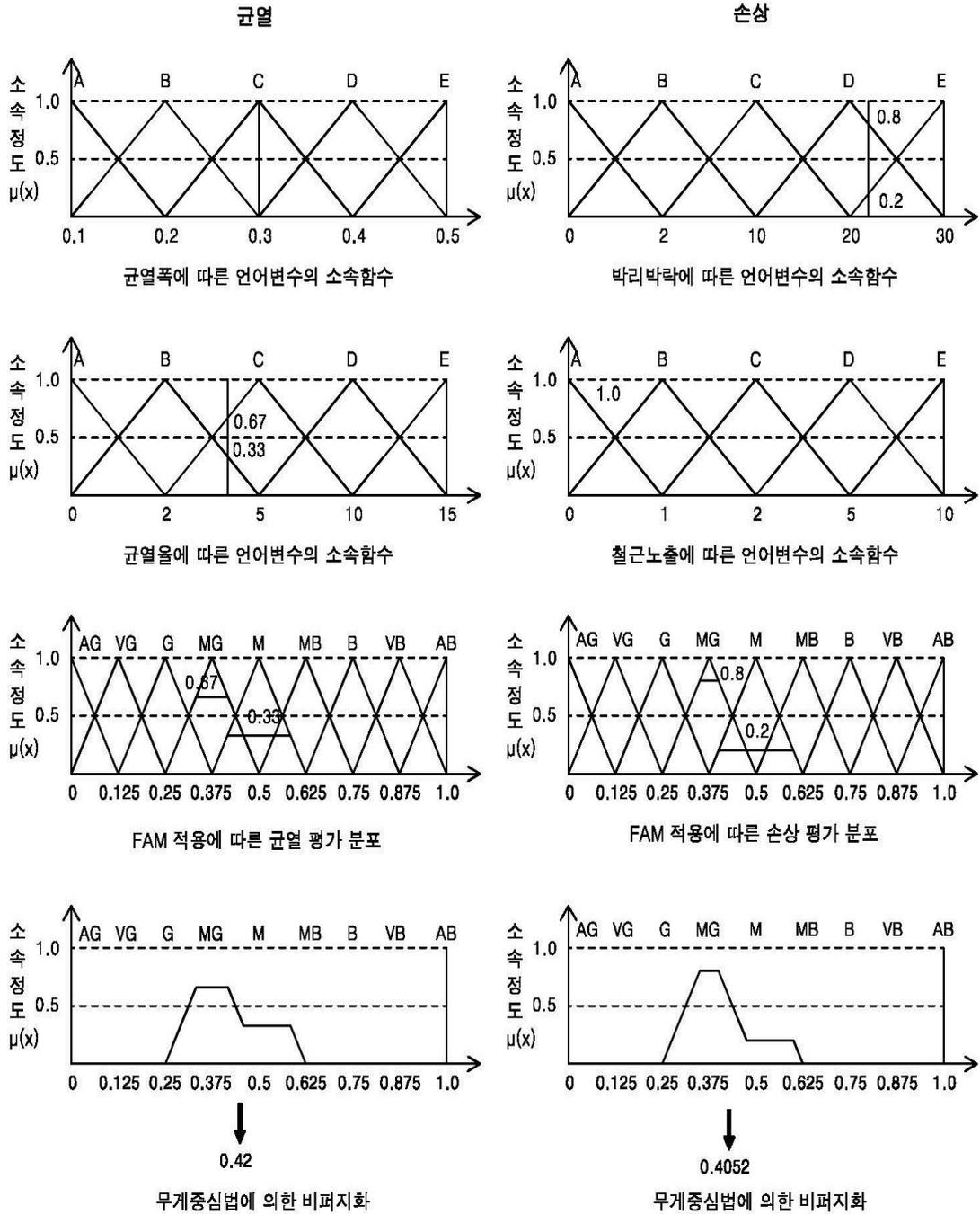
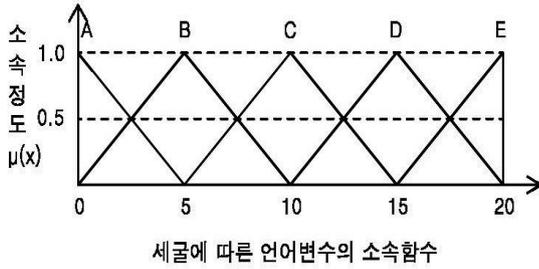


그림 3. 상하교 교대에 대한 퍼지추론

기초



난간 및 연석

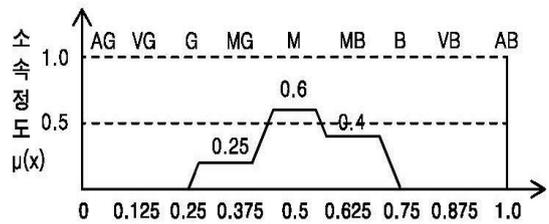
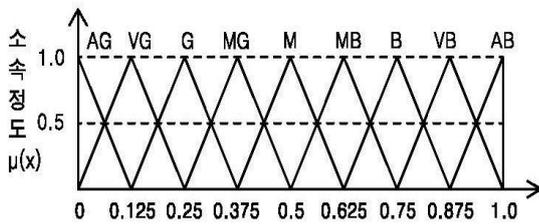
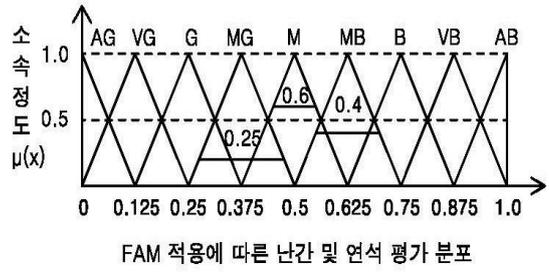
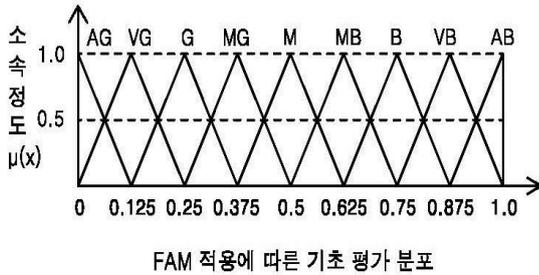
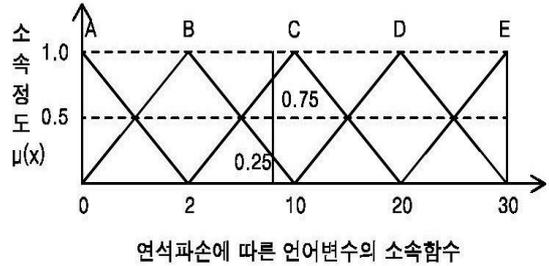
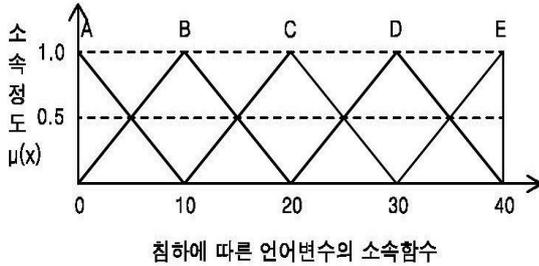
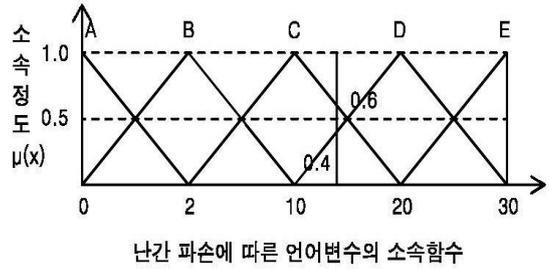
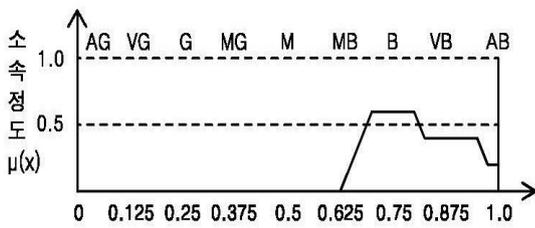
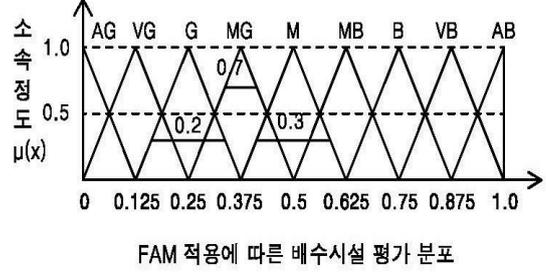
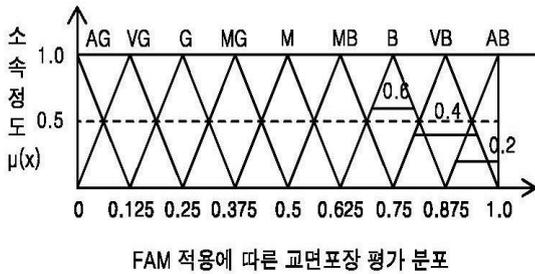
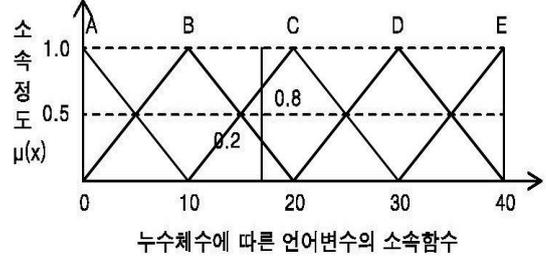
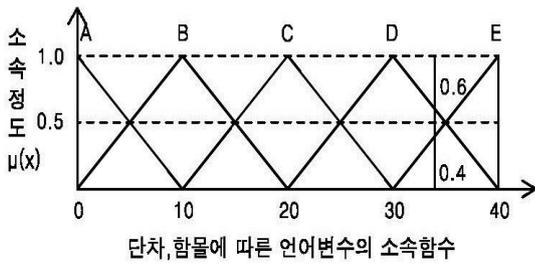
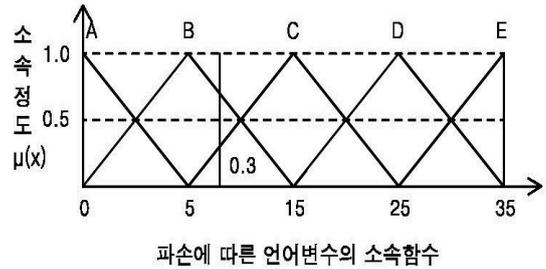
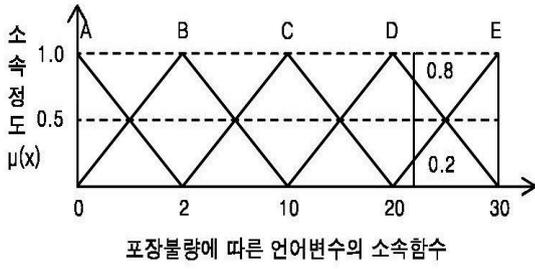


그림 4. 상하교 기초와 난간 및 연석에 대한 퍼지추론

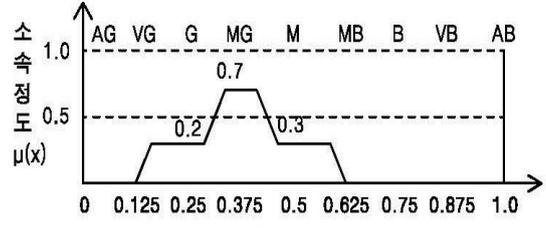
교면포장

배수시설



0.8278

무계중심법에 의한 비퍼지화



0.3861

무계중심법에 의한 비퍼지화

그림 5. 맹리교 교면포장 및 배수시설에 대한 퍼지추론

바닥판 슬래브

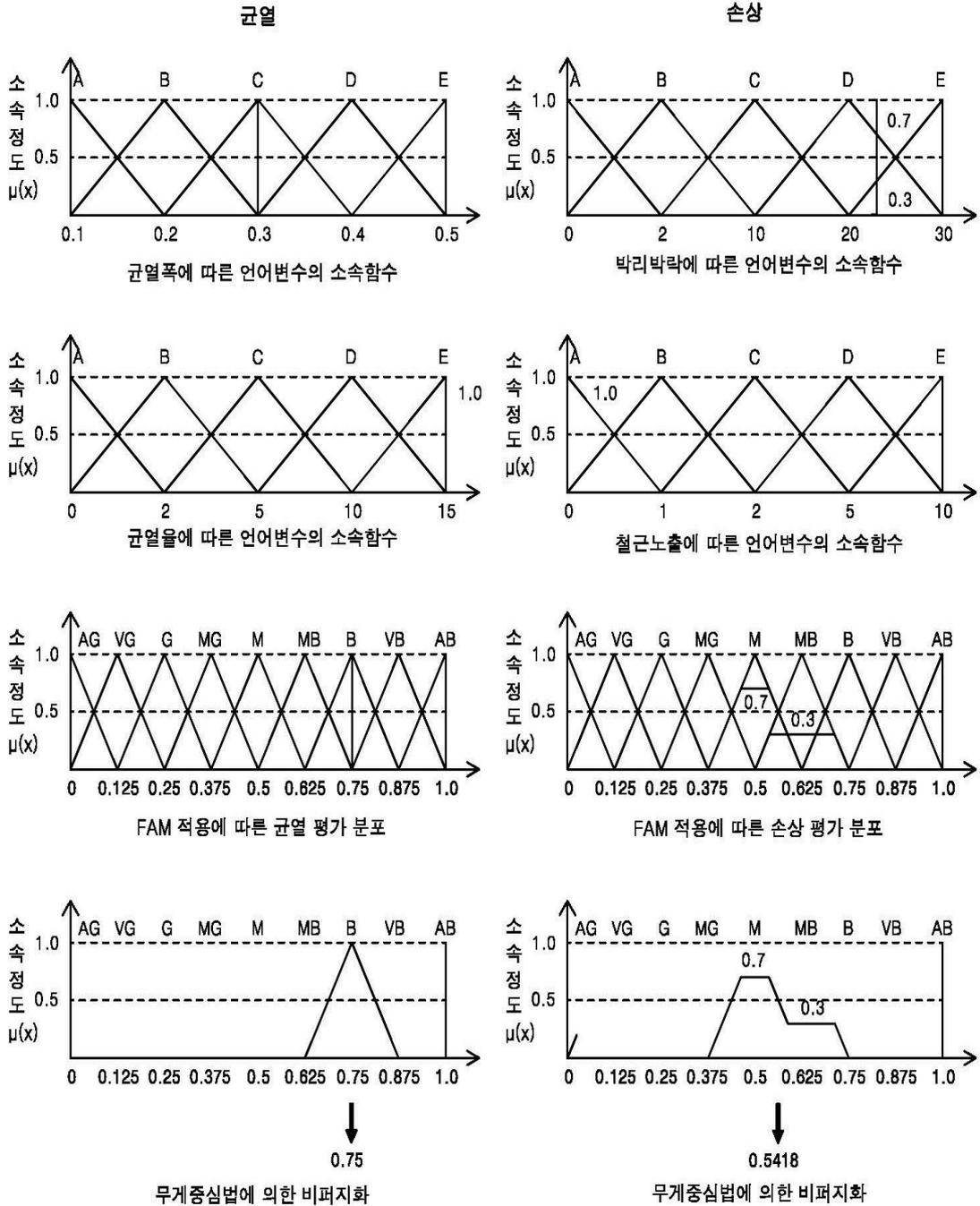


그림 6. 맹리교 바닥판 슬래브에 대한 퍼지추론

교각

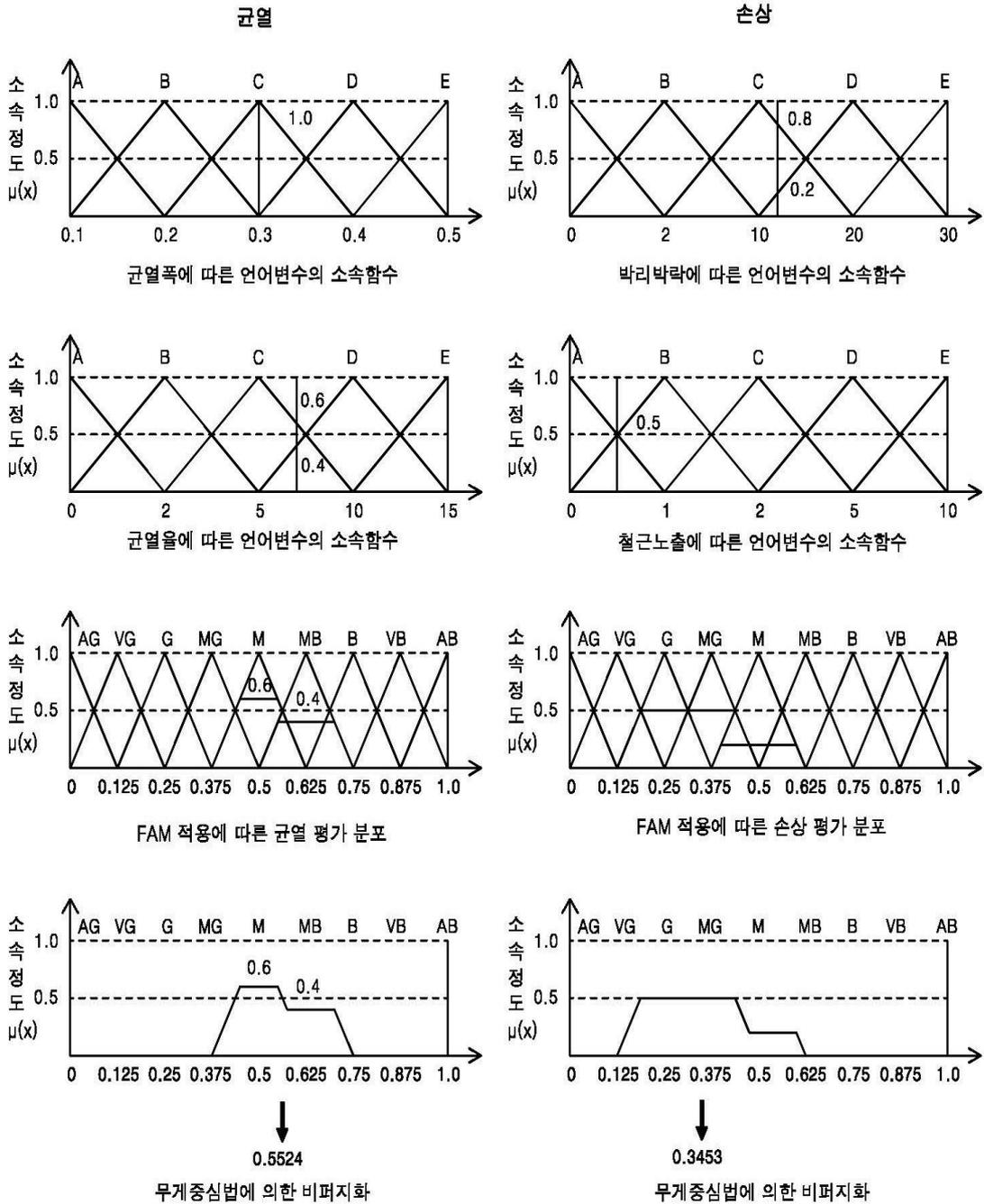


그림 7. 맹리교 교각에 대한 퍼지추론

교대

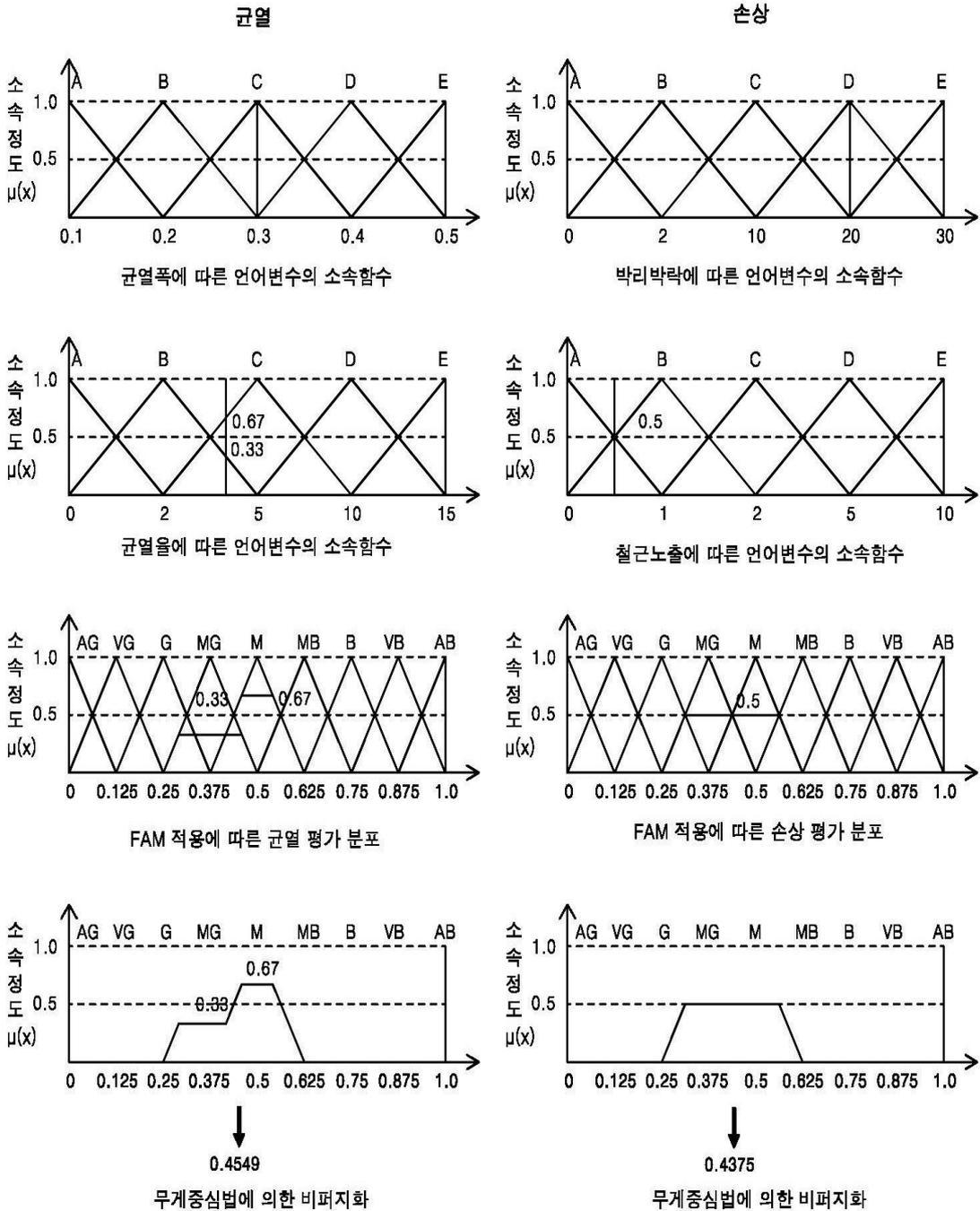
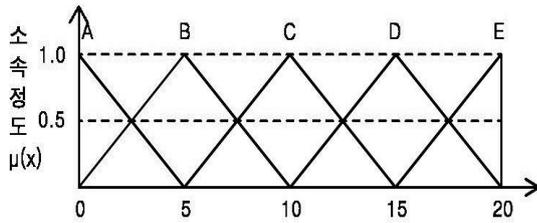
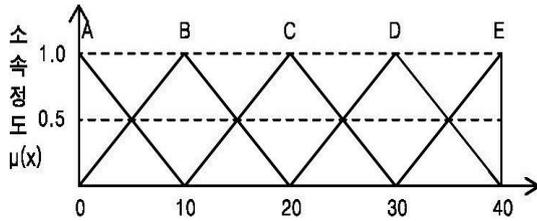


그림 8. 맹리교 교대에 대한 퍼지추론

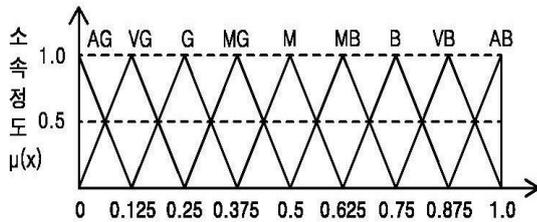
기초



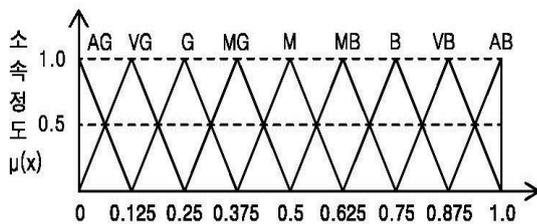
세월에 따른 언어변수의 소속함수



침하에 따른 언어변수의 소속함수

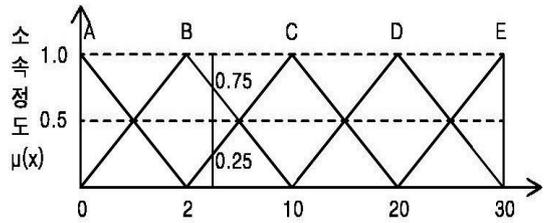


FAM 적용에 따른 기초 평가 분포

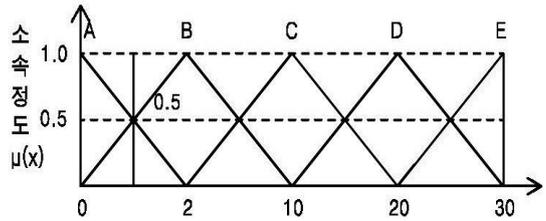


무계중심법에 의한 비퍼지화

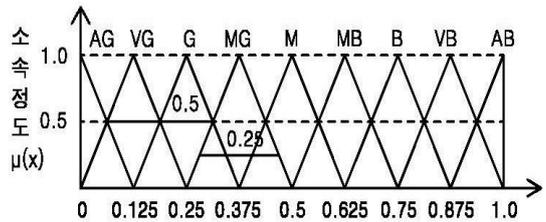
난간 및 연석



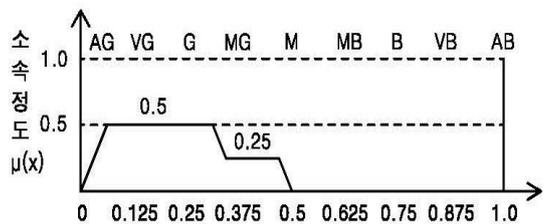
난간 파손에 따른 언어변수의 소속함수



연석파손에 따른 언어변수의 소속함수



FAM 적용에 따른 난간 및 연석 평가 분포



↓
0.2265

무계중심법에 의한 비퍼지화

그림 9. 맹리교 기초와 난간 및 연석에 대한 퍼지추론

신축이음

교량받침

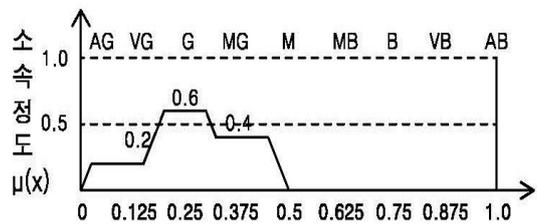
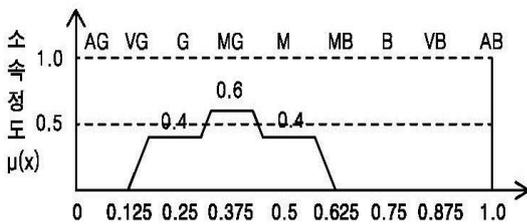
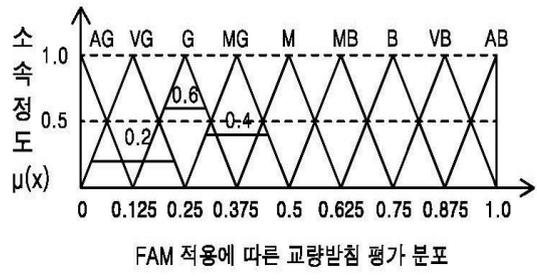
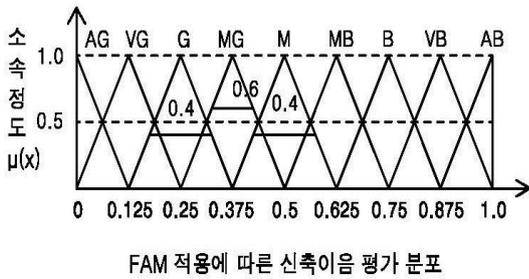
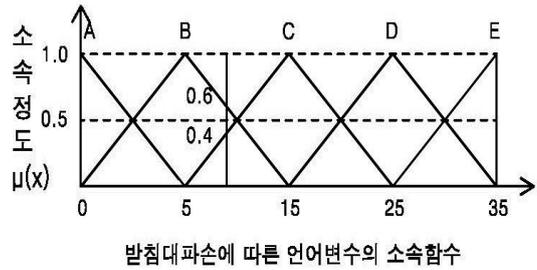
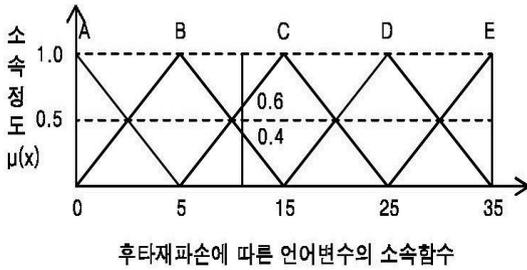
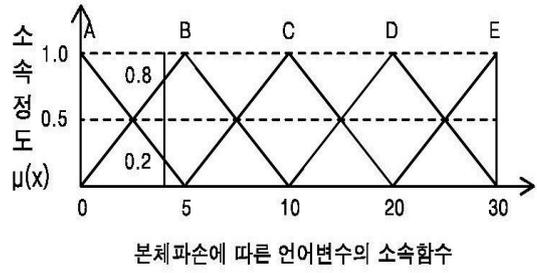
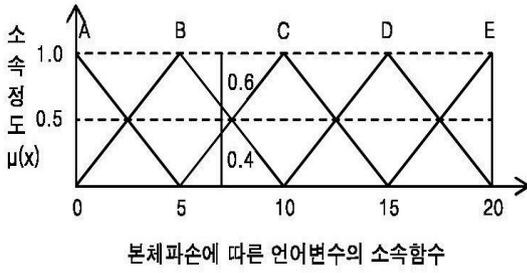
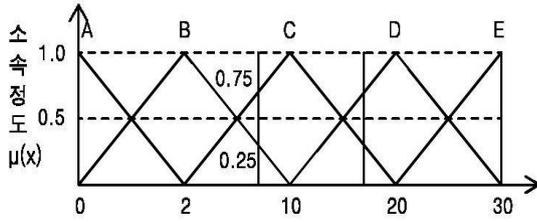


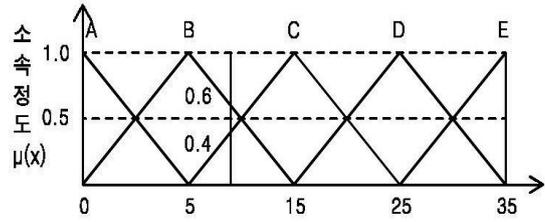
그림 10. 맹리교 신축이음 및 교량받침에 대한 퍼지추론

교면포장

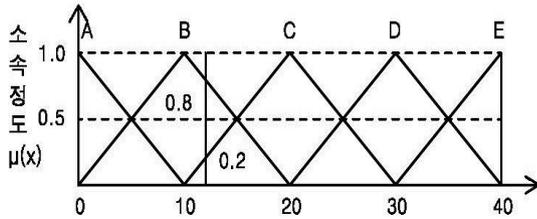
배수시설



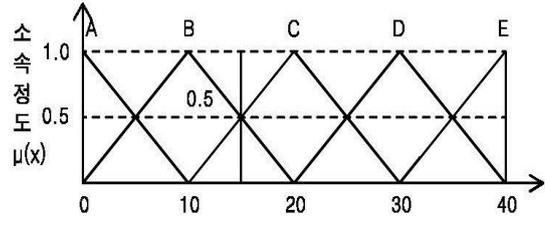
포장불량에 따른 언어변수의 소속함수



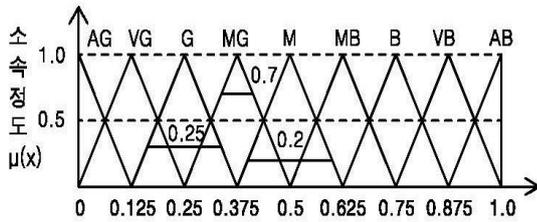
파손에 따른 언어변수의 소속함수



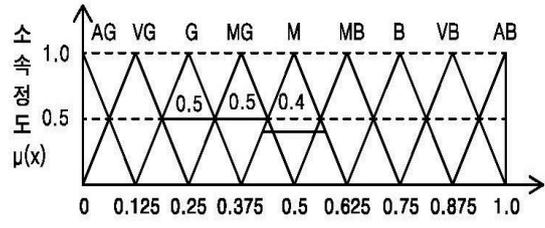
단차, 함몰에 따른 언어변수의 소속함수



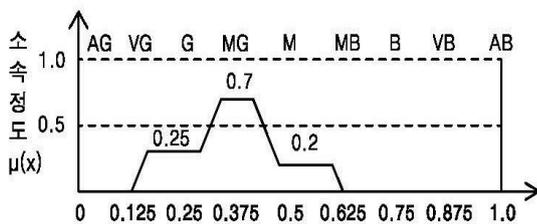
누수체수에 따른 언어변수의 소속함수



FAM 적용에 따른 교면포장 평가 분포

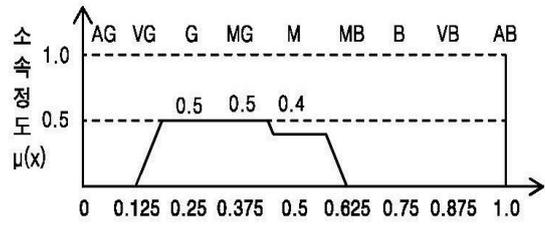


FAM 적용에 따른 배수시설 평가 분포



0.3693

무게중심법에 의한 비퍼지화



0.3670

무게중심법에 의한 비퍼지화

그림 11. 청학교 교면포장 및 배수시설에 대한 퍼지추론

바닥판 슬래브

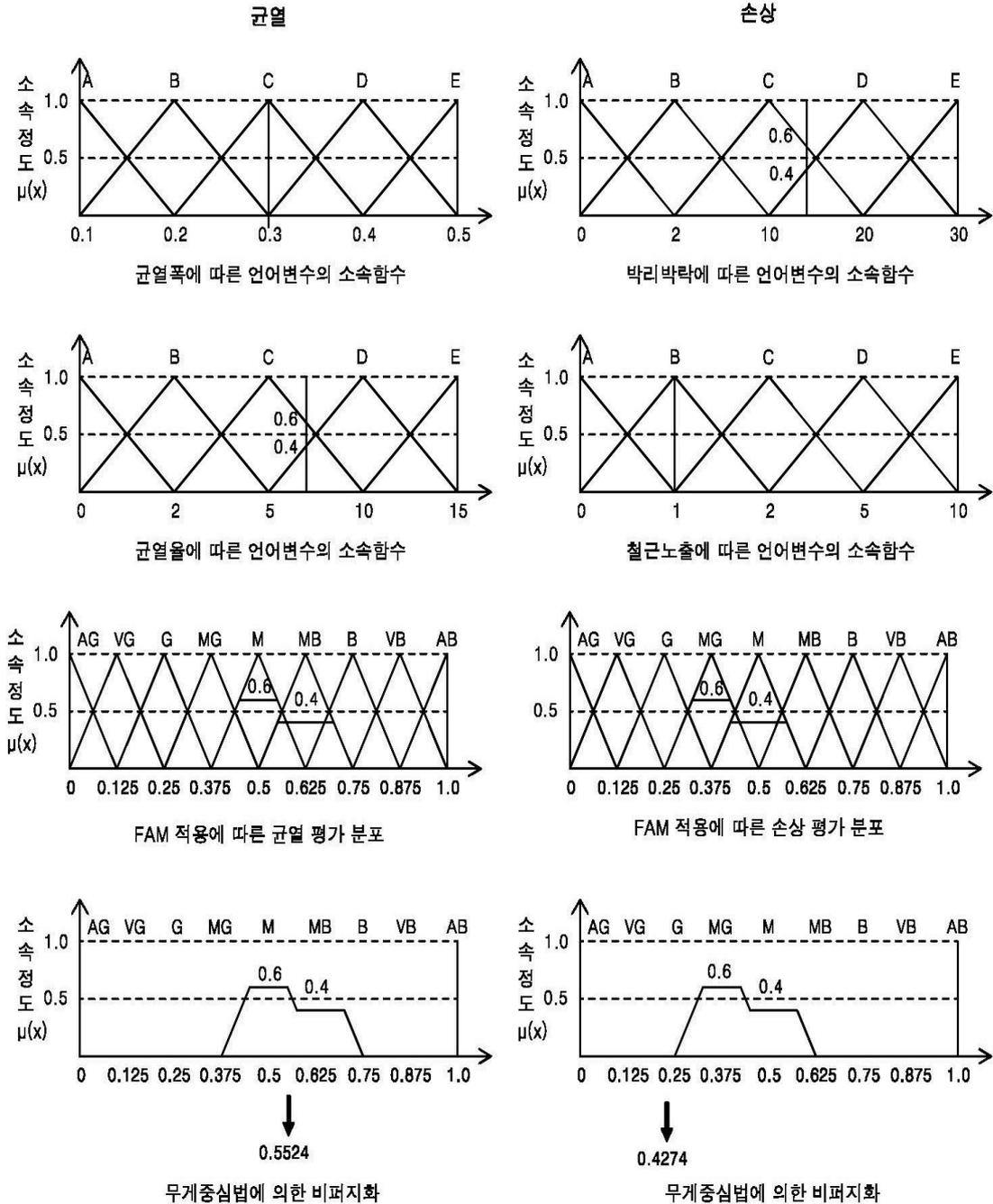


그림 12. 청학교 바닥판 슬래브에 대한 퍼지추론

교각

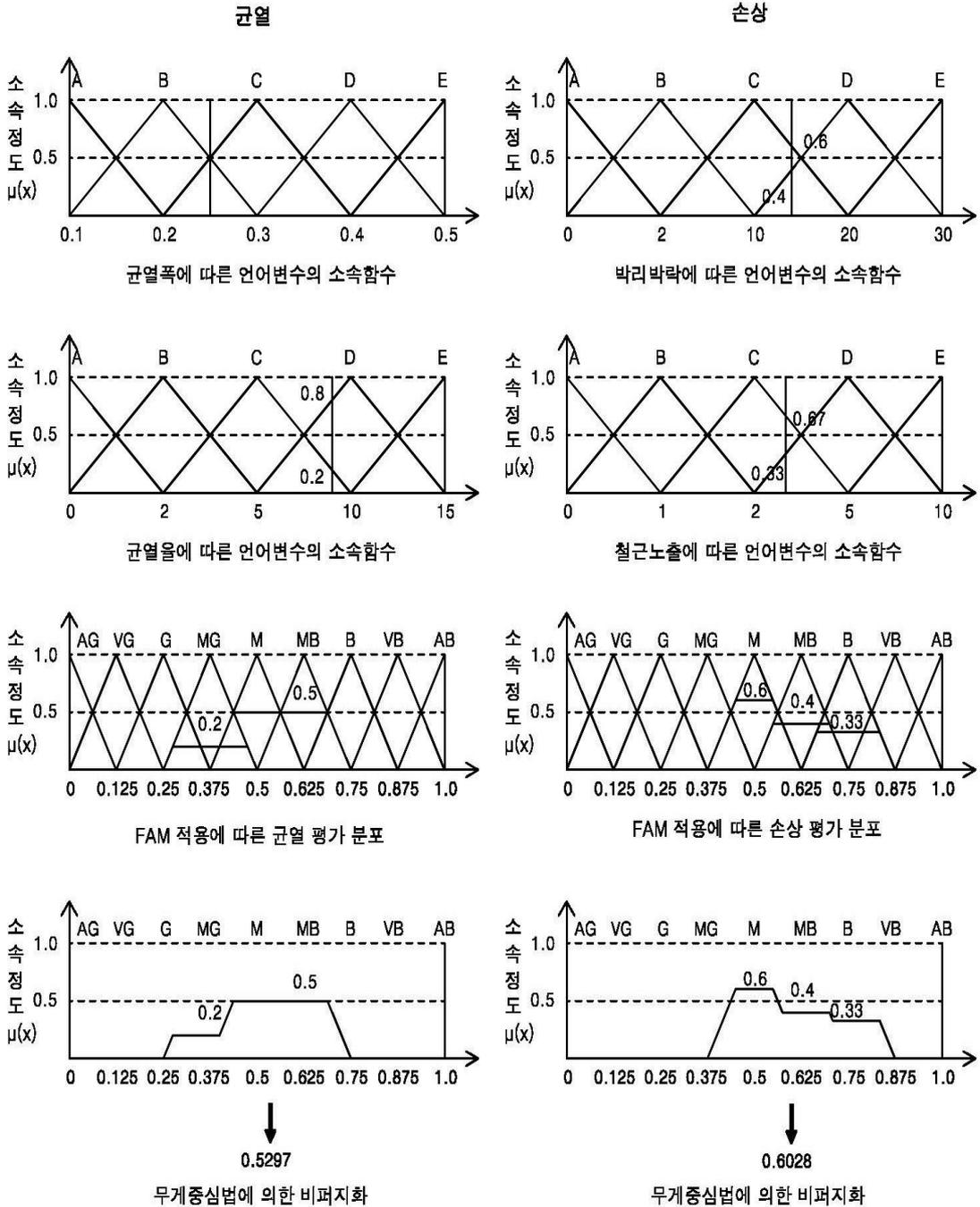
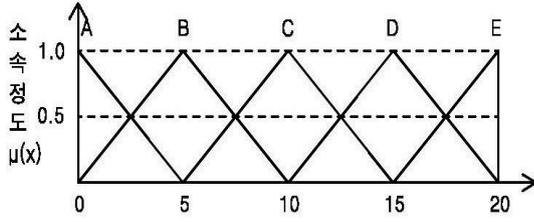


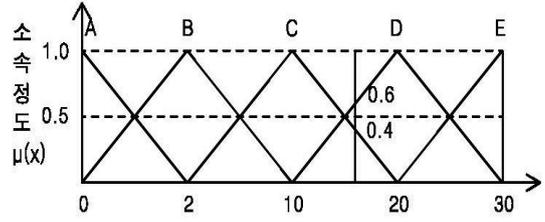
그림 13. 청학교 교각에 대한 퍼지추론

기초

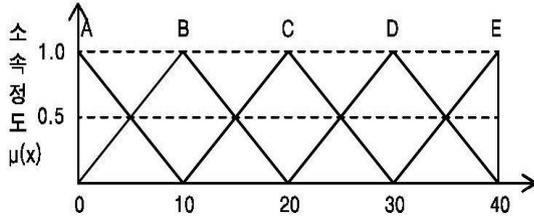
난간 및 연석



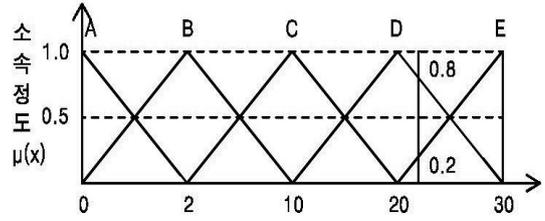
세굴에 따른 언어변수의 소속함수



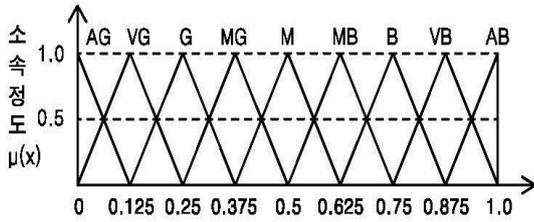
난간 파손에 따른 언어변수의 소속함수



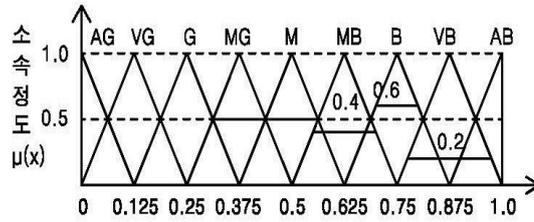
침하에 따른 언어변수의 소속함수



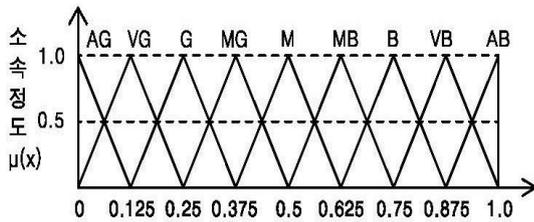
연석 파손에 따른 언어변수의 소속함수



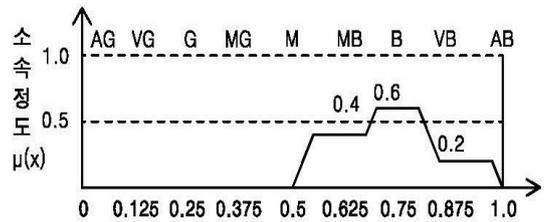
FAM 적용에 따른 기초 평가 분포



FAM 적용에 따른 난간 및 연석 평가 분포



무계중심법에 의한 비퍼지화



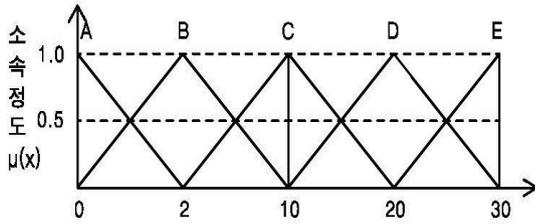
무계중심법에 의한 비퍼지화

↓
0.7292

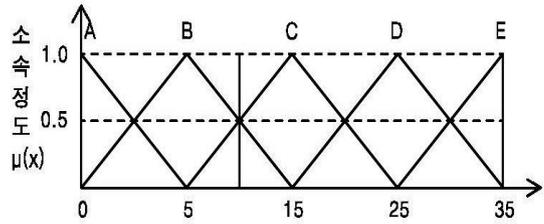
그림 15. 청학교 기초와 난간 및 연석에 대한 퍼지추론

교면포장

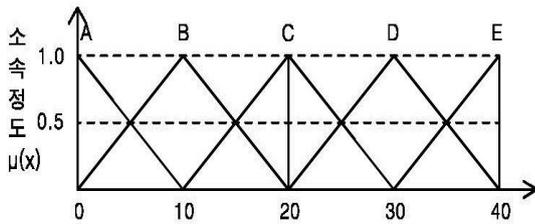
배수시설



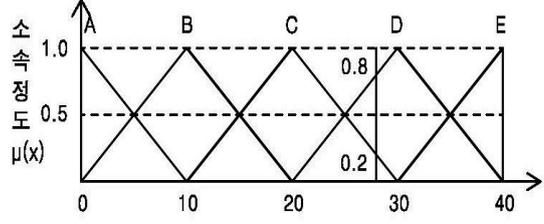
포장볼량에 따른 언어변수의 소속함수



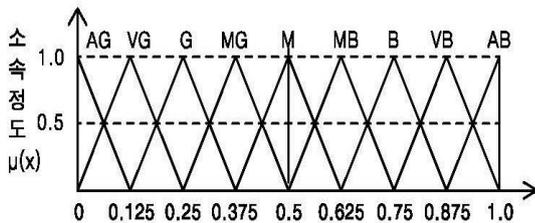
파손에 따른 언어변수의 소속함수



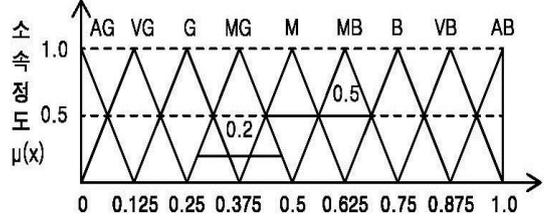
단차, 함물에 따른 언어변수의 소속함수



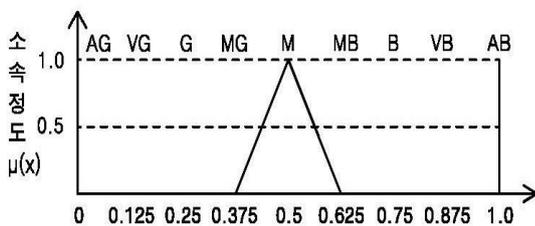
누수체수에 따른 언어변수의 소속함수



FAM 적용에 따른 교면포장 평가 분포

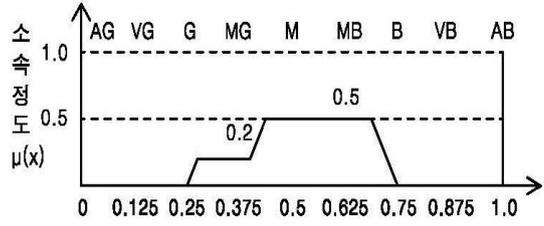


FAM 적용에 따른 배수시설 평가 분포



↓
0.5

무게중심법에 의한 비퍼지화



↓
0.5297

무게중심법에 의한 비퍼지화

그림 16. 쌍웅교 교면포장 및 배수시설에 대한 퍼지추론

바닥판 슬래브

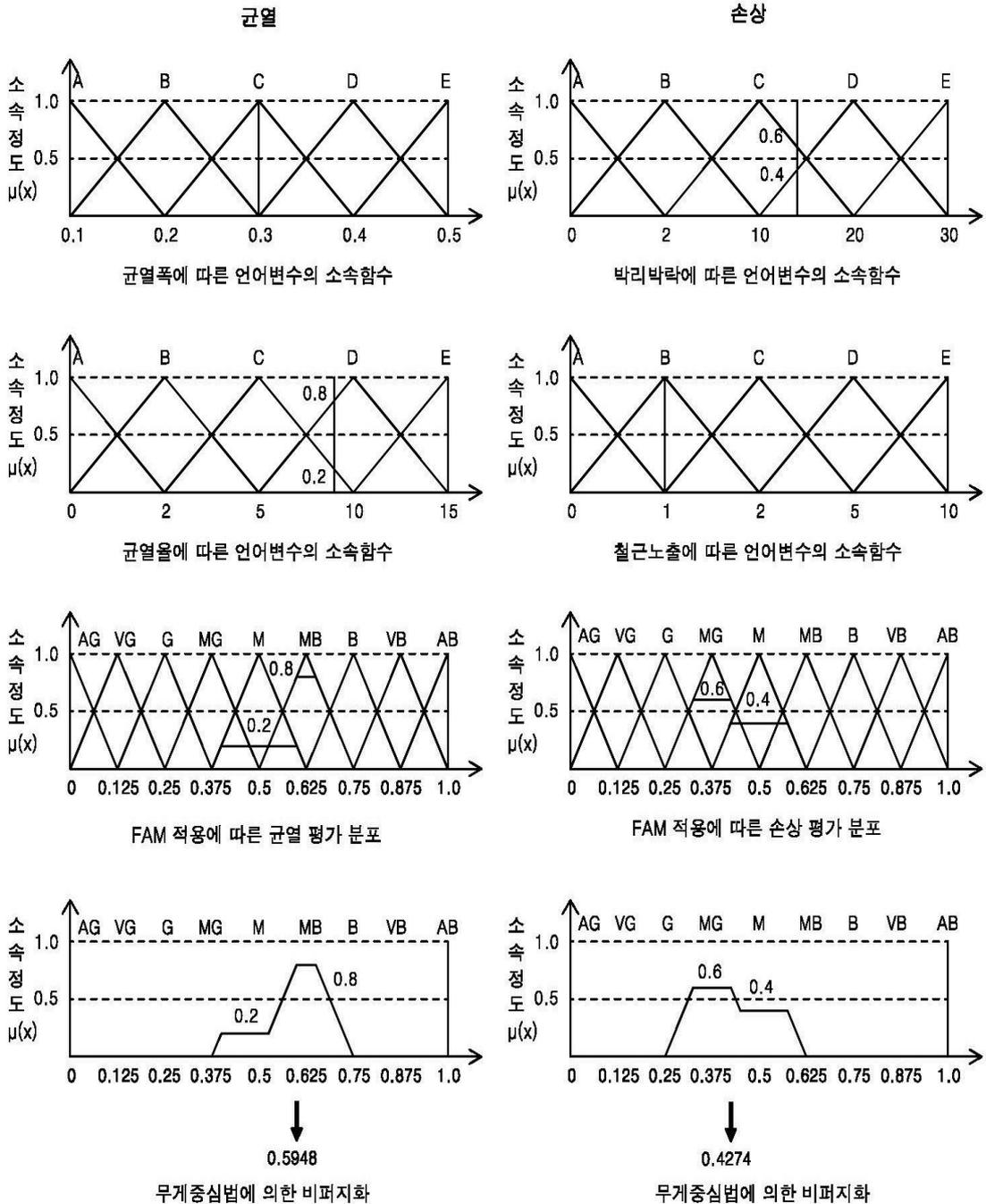


그림 17. 쌍용교 바닥판 슬래브에 대한 퍼지추론

교각

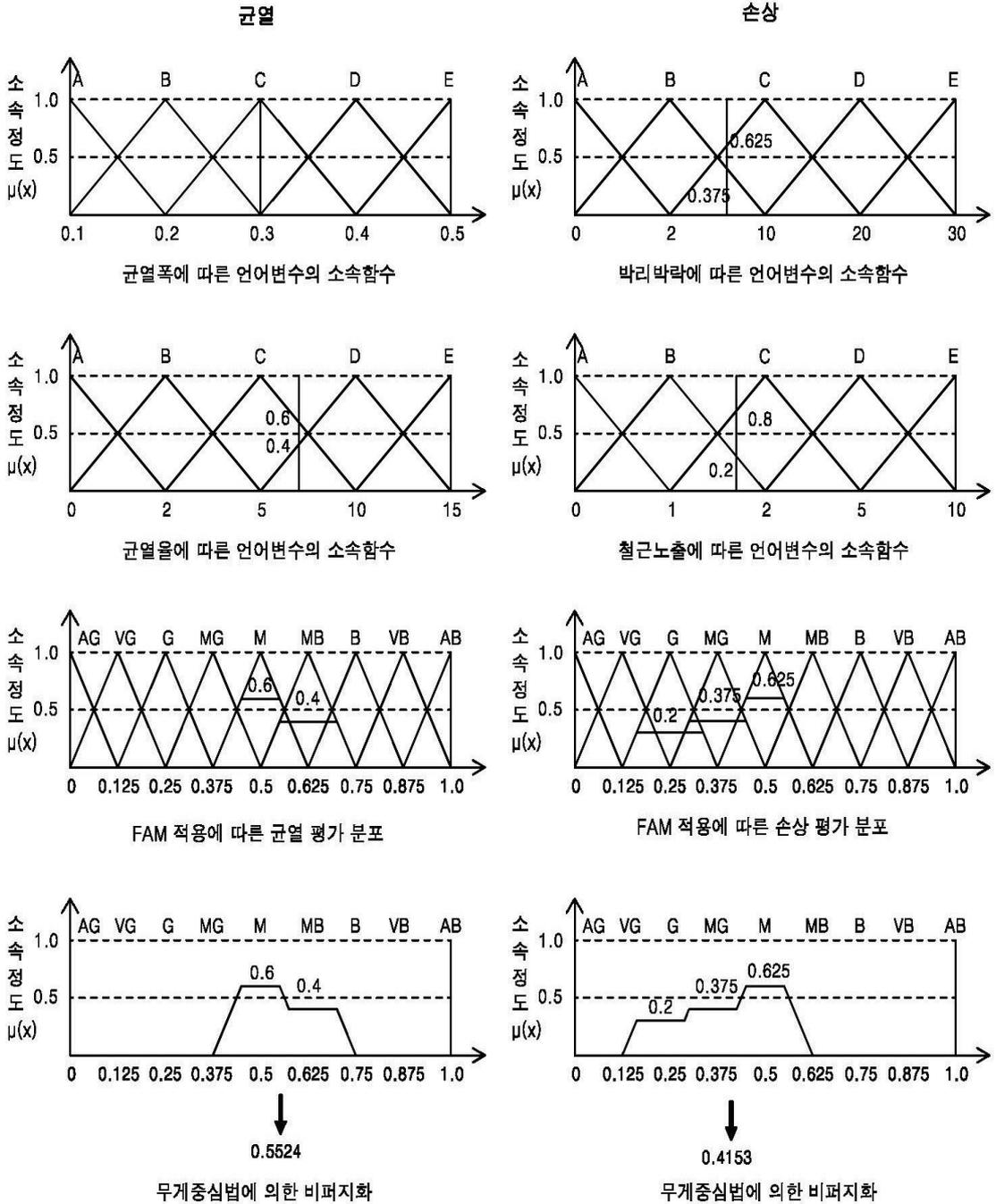
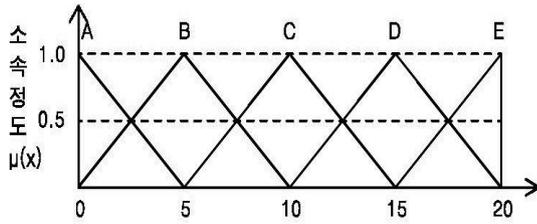
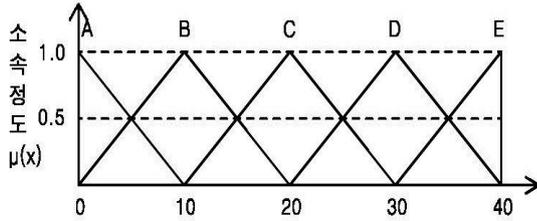


그림 18. 쌍웅교 교각에 대한 퍼지추론

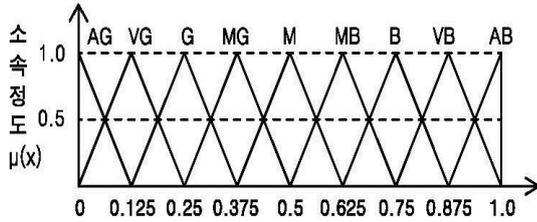
기초



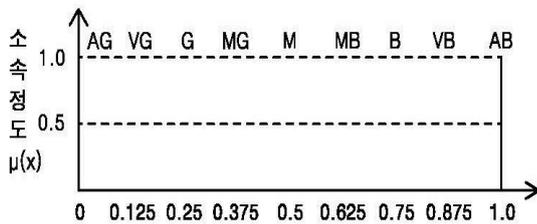
세굴에 따른 언어변수의 소속함수



침하에 따른 언어변수의 소속함수

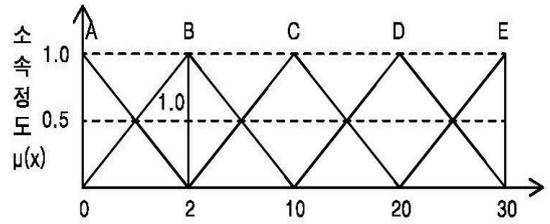


FAM 적용에 따른 기초 평가 분포

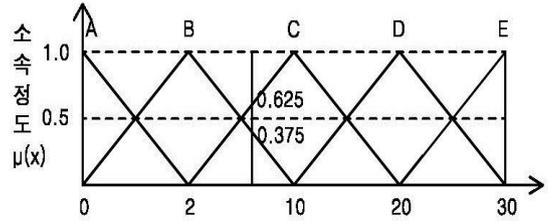


무계중심법에 의한 비퍼지화

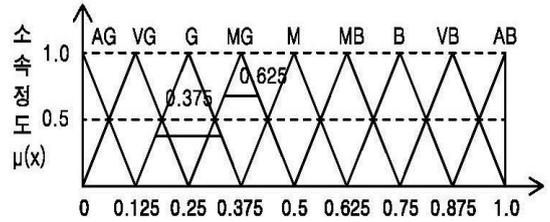
난간 및 연석



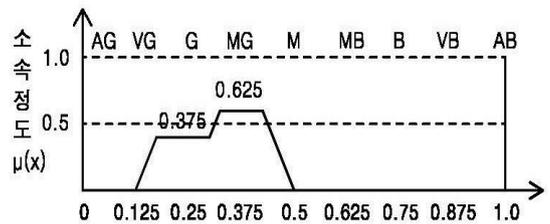
난간 파손에 따른 언어변수의 소속함수



연석파손에 따른 언어변수의 소속함수



FAM 적용에 따른 난간 및 연석 평가 분포

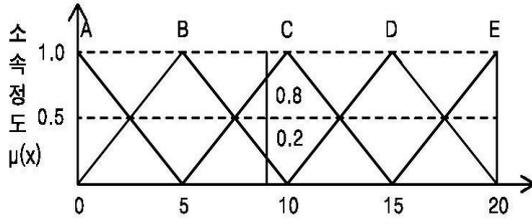


0.3252

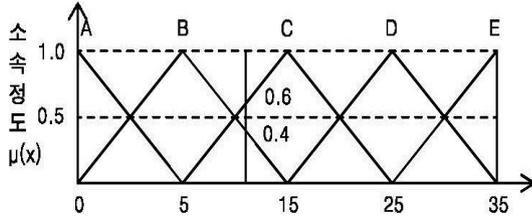
무계중심법에 의한 비퍼지화

그림 20. 쌍용교 기초와 난간 및 연석에 대한 퍼지추론

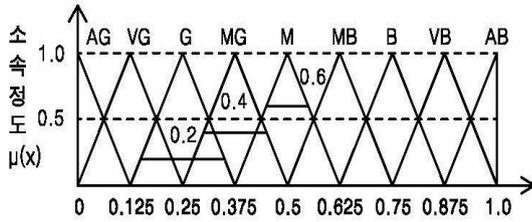
신축이음



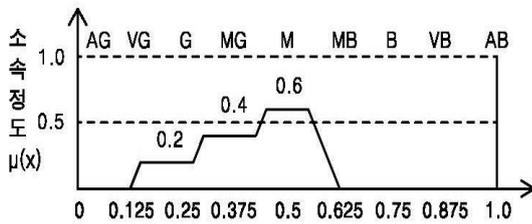
본체 파손에 따른 언어변수의 소속함수



후타재 파손에 따른 언어변수의 소속함수



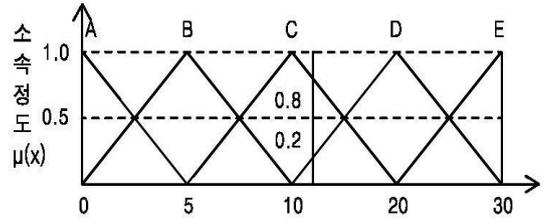
FAM 적용에 따른 신축이음 평가 분포



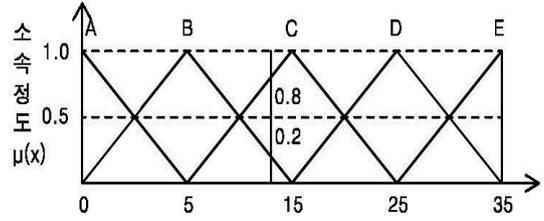
0.4132

무게중심법에 의한 비퍼지화

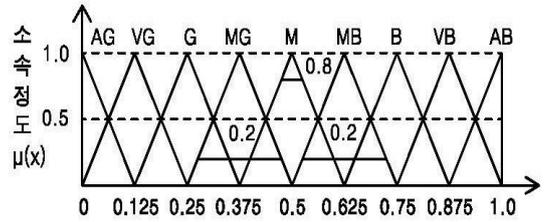
교량받침



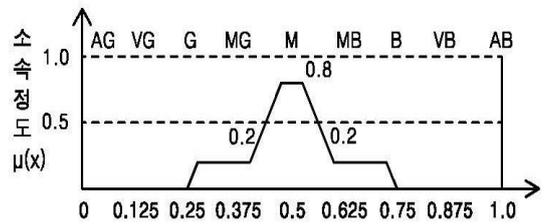
본체 파손에 따른 언어변수의 소속함수



받침대 파손에 따른 언어변수의 소속함수



FAM 적용에 따른 교량받침 평가 분포



0.5

무게중심법에 의한 비퍼지화

그림 21. 쌍용교 신축이음 및 교량받침에 대한 퍼지추론

교면포장

배수시설

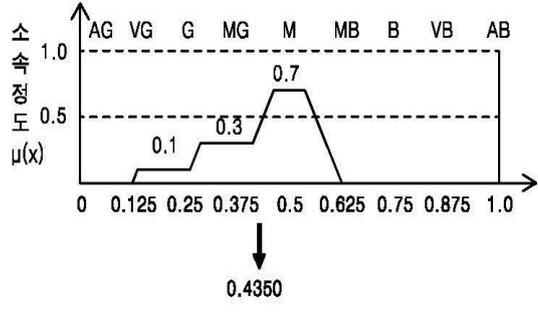
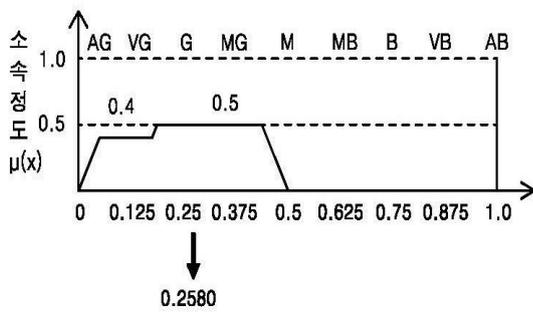
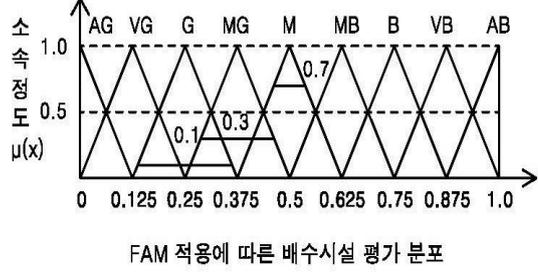
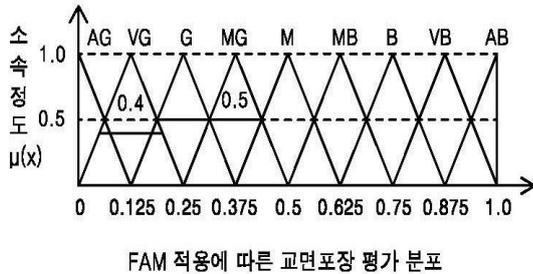
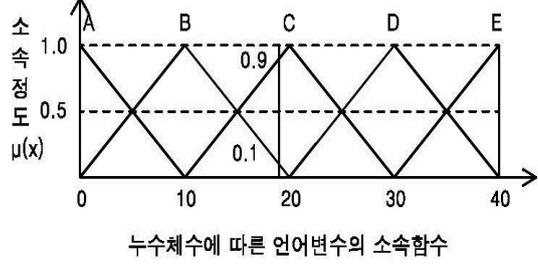
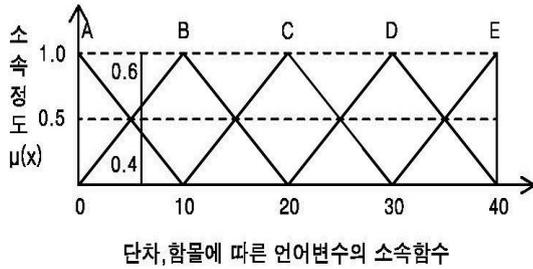
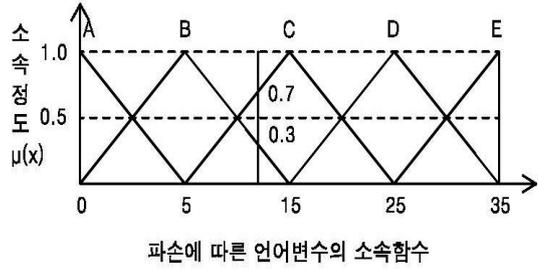
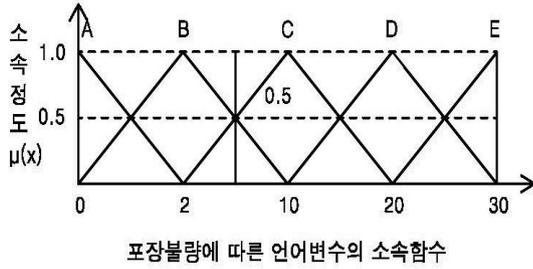


그림 22. 대운교 교면포장 및 배수시설에 대한 퍼지추론

바닥판 슬래브

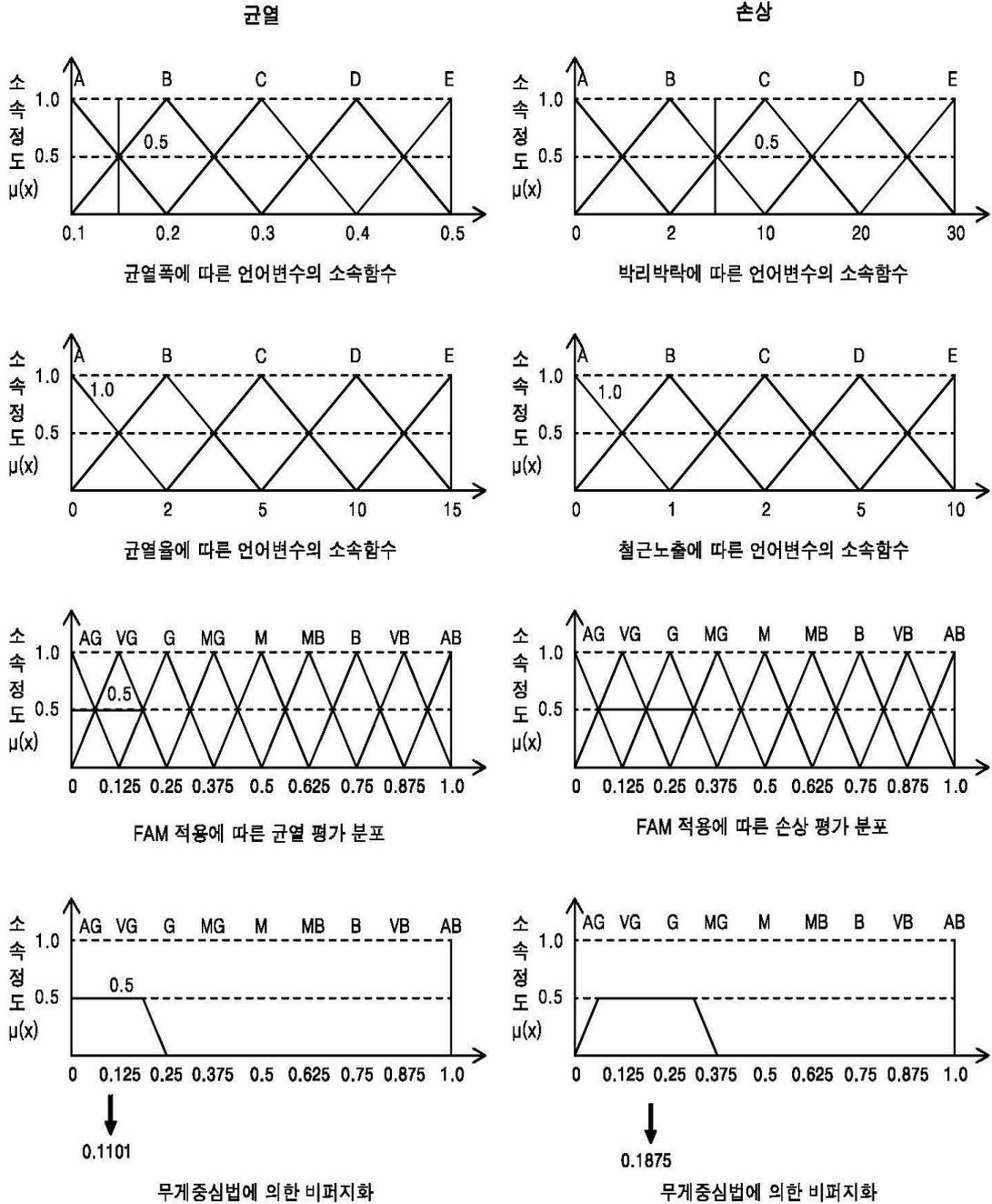


그림 23. 대운교 바닥판 슬래브에 대한 퍼지추론

교각

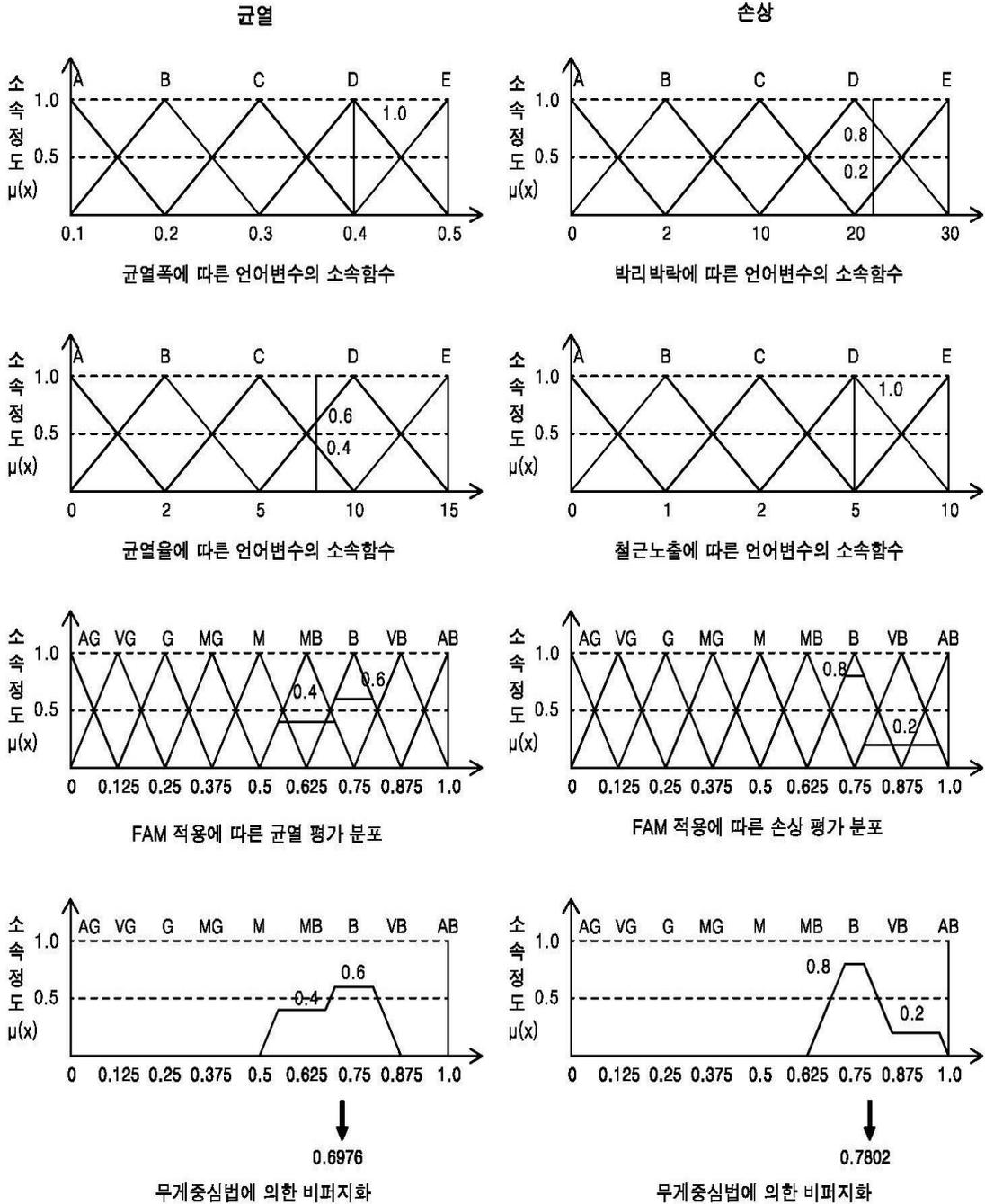


그림 24. 대문교 교각에 대한 퍼지추론

교대

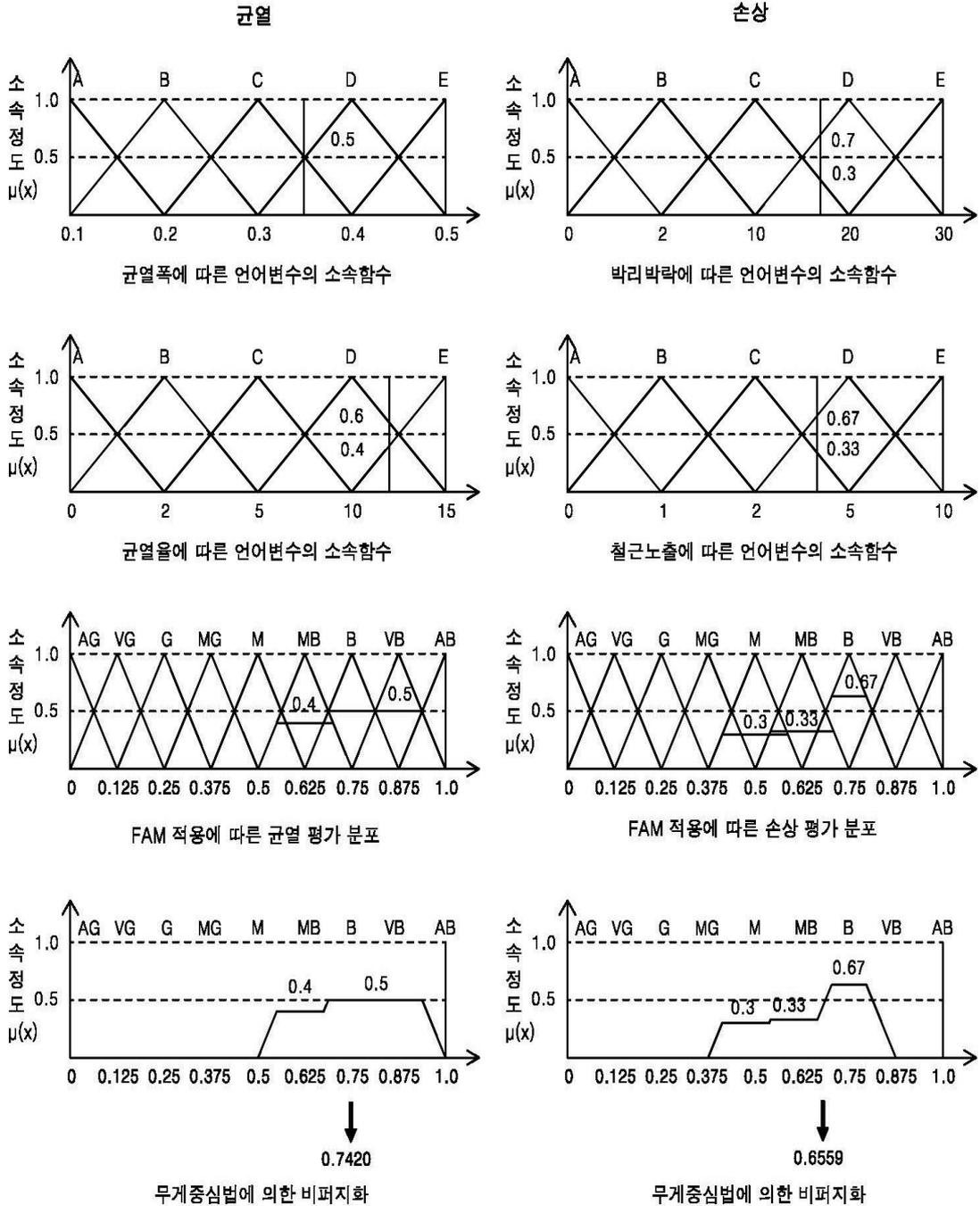
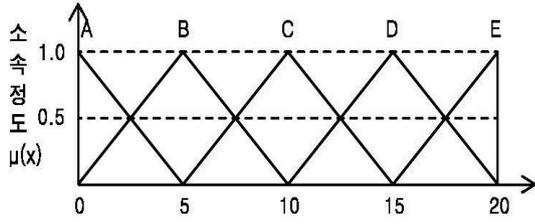
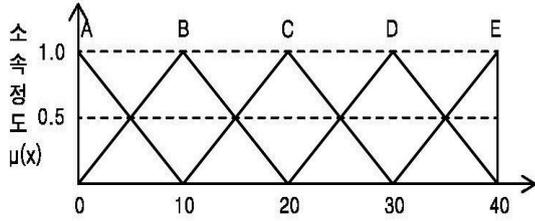


그림 25. 대운교 교대에 대한 퍼지추론

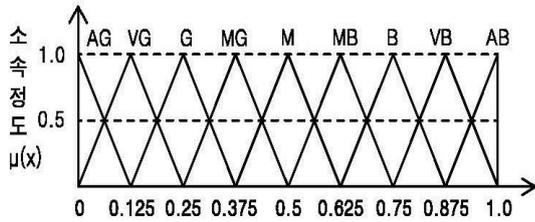
기초



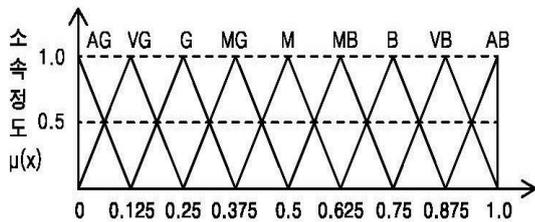
세굴에 따른 언어변수의 소속함수



침하에 따른 언어변수의 소속함수

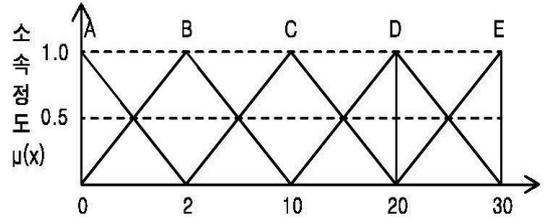


FAM 적용에 따른 기초 평가 분포

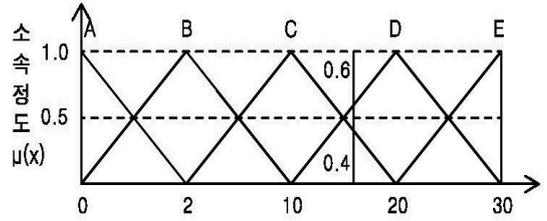


무게중심법에 의한 비퍼지화

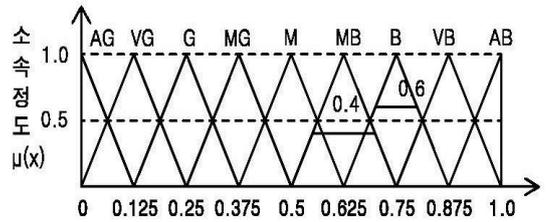
난간 및 연석



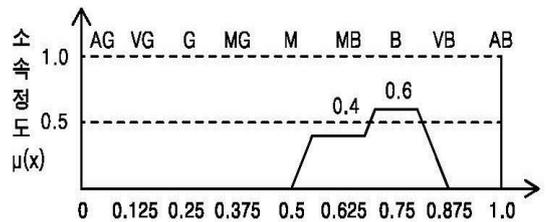
난간 파손에 따른 언어변수의 소속함수



연석 파손에 따른 언어변수의 소속함수



FAM 적용에 따른 난간 및 연석 평가 분포



0.6976

무게중심법에 의한 비퍼지화

그림 26. 대운교 기초와 난간 및 연석에 대한 퍼지추론

감사의 글

지난 10년간의 대학원생활은 미래의 꿈과 희망을 위해 끊임없이 도전하는 저에게 부족한 학문과 지식을 보충해 주었습니다. 또한, 학문뿐만 아니라 좋은 인연을 맺었으며, 본 논문이 완성되기까지 제 주변의 많은 분들의 사랑과 아낌없는 격려와 성원을 받았습니다. 그 분들께 조그만 지면을 빌려 감사의 마음을 전하게 된 것을 진심으로 기쁘게 생각합니다.

석사과정 때부터 지도교수님으로서 학문의 길을 열어주시고 연구에 임하는 자세와 인간으로서 인품 형성에 귀감이 되어 주시며 항상 애정으로 보살펴 주신 박길현 교수님께 감사드립니다. 교수님의 연구에 대한 질책과 격려 없이는 이 논문이 완성되지 못하였을 것입니다. 논문의 부족한 부분을 세심하게 지도하고 보완해 주신 박정웅교수님과 김성홍교수님께 감사드립니다. 항상 밝은 미소로 격려해 주신 덕분에 제겐 큰 힘이 되었습니다. 그리고 논문심사 기간 내내 세심한 지도와 용기를 북돋아 주신 김운중교수님, 김대현교수님, 이원희교수님께도 진심으로 감사드립니다. 그 외에 학부와 대학원 과정동안 많은 애정과 가르침으로 부족한 저를 지도하여 주신 김영인교수님, 정영동교수님, 오재화교수님, 심태섭교수님과 고인이 되신 안종필교수님께 머리 숙여 깊은 감사의 말을 올립니다.

논문을 쓰면서 항상 동고동락했던 가족같은 동생 이성헌과 윤정원, 윤미선에게 고마운 마음을 전합니다. 혼자가 아니라는 생각이 논문을 쓰면서 많은 힘이 되었습니다. 논문발표 기간 내내 도움을 준 상하수도 연구실 이인호, 김경면 후배에게 또한 고마운 마음을 전합니다. 박사과정동안 늘 따뜻한 마음으로 격려와 힘이 되어준 이심겸선생에게 감사드립니다.

깊은 관심과 늘 따뜻한 마음으로 격려와 힘을 보내주신 조선이공대학교 기완서교수님, 송원대학교 고제웅교수님, 서영대학교 윤선호교수님께 깊은 감사를 드립니다. 오랫동안 대학원생활을 함께한 양승현박사님, 김영균박사님, 김선학박사님께 진심으로 감사드리며, 저와 같이 박사학위를 받게 될 임재춘선생에게도 고마운 마음을 전합니다.

항상 자식을 염려해 주시고 지극한 정성과 사랑을 베풀어주신 존경하는 부모님께 감사드립니다. 언제나 곁에서 세심한 배려와 격려를 해 주신 자상한 장인 장모님께도 감사드립니다. 또한, 많은 어려움을 헌신적인 사랑과 인내로 극복하고 변함없는 성원과 믿음을 보내준 사랑하는 아내 이현영에게 고마움을 전합니다. 늦은 밤까지 아빠를 기다리던 아들 승찬이와도 이 기쁨을 함께 하고 싶습니다.

끝으로 저를 아는 모든 분들께 박사과정동안 격려와 성원을 보내주신 것에 대해 깊은 감사의 마음을 전하며, 이 결실이 끝이 아닌 새로운 시작의 밑거름이 되어 학문정진에 뒷받침이 되도록 더욱 더 열심히 노력하겠습니다.

2012년 7월

황 선 하