

이원분류기법을 이용한 소규모 교량 상부형식선정 모형에 관한 연구

윤수영* · 김창학** · 강인석***

Yun, Su Young*, Kim, Chang Hak**, Kang, Leen Seok***

Development of Model for Selecting Superstructure Type of Small Size Bridge Using Dual Classification Method

ABSTRACT

On the design phase of small size bridge, owing to the lack of related guidelines or standards to determine a superstructure type of bridge, many designers tend to select the type depending on expert's experience and knowledge. Moreover, recently, as types of bridge superstructure become diverse and more conditions need to be considered in the project, the decision makes process become complex. This research covered the selection of a superstructure type of a middle or small size bridge with span length of about 50m, which frequently built for national roadway, selecting type of bridge superstructure more systematic way rather than the existing ways to compare construction methods or to depend on expert's experiences. This study proposes to build a bridge superstructure type selection model using one of the techniques of artificial intelligence techniques SVM by applicability of the model examined through the verification of the actual case.

Key words : SVM (Support Vector Machine), Bridge superstructure, Alternative selection, Dual classification method

초록

중-소규모의 교량 설계단계에서는 교량 상부형식을 결정할 수 있는 관련 기준이 미흡한 관계로 설계자들은 일부 전문 기술자의 경험과 지식에 의존하여 교량상부형식을 선정하는 경향이 많다. 또한, 최근에는 교량상부형식이 매우 다양해지고 있으며, 고려해야할 조건들이 많아짐에 따라 사결정과정도 더욱 복잡화되고 있다. 본 연구에서는 국도공사 등에 빈번히 시공되는 경간장 50m 내외의 중소교량의 상부형식 선정을 위해 기존의 통상적인 현장에 적용가능한 공법의 비교방식 및 경험과 직관에 의존한 방법이 아닌 보다 체계적인 방법으로 교량상부형식을 선정하고자 한다. 이에 인공지능 기법중 하나인 SVM기법을 이용한 교량상부형식 선정 모형을 구축하여 제안하고, 실제사례의 검증을 통해 모형의 적용가능성을 검토하였다.

검색어 : SVM (Support Vector Machine), 교량상부형식, 대안선정, 이원분류기법

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

교량설계단계에서 적절한 교량상부형식을 선정하기 위해서는 관련법규, 지형조건, 환경조건, 경제조건 등의 여러 조건을 충분히 검토하여야 한다. 그러나 국내의 교량 설계단계에서는 여러 제약조건에 의해 교량 계획단계에서 경제성, 시공성, 안전성 등의 여러

* 경상대학교 토목공학과, 공학연구원 (Gyeongsang National University · sionesoju7@naver.com)

** 종신회원 · 경남과학기술대학교 토목공학과 교수, 공학박사 (Gyeongnam National University · ch-kim@gntech.ac.kr)

*** 종신회원 · 교신저자 · 경상대학교 토목공학과 교수, 공학연구원 (Corresponding Author · Gyeongsang National University · lskang@gnu.kr)

Received November 24, 2014/ revised February 23, 2015/ accepted September 25, 2015

조건에 대한 충분한 검토가 부족한 실정이다(Choi and Choi, 1992). 또한, 교량의 상부구조형식을 결정할 수 있는 관련 지침이나 기준이 미흡한 관계로 설계자들은 기존의 유사한 교량을 참고하거나 일부 전문 기술자의 경험과 지식에 의존하고 있는 경향이 많다. 또한, 교량상부형식의 신공법 개발 및 많은 특허공법의 개발로 인해 교량상부형식의 종류가 매우 다양해지고 있으며, 안전성과 경제성을 교량의 가장 중요한 요소로 여겼던 이전과 달리 유지관리성, 경관조화성 등 고려해야 할 조건들이 많아짐에 따라 의사결정과정도 더욱 복잡화되고 있다.

이와 같은 복잡한 의사결정 과정을 지원하기 위해 인공지능(AI : Artificial Intelligence) 기술을 활용하여 과거의 실제 데이터를 바탕으로 새로운 문제에 대한 해답을 제시하거나 예측이 가능하도록 함으로써 경험적인 판단에 대한 의존을 낮추고 의사결정의 일관성을 향상시키기 위한 연구들이 활발하게 진행되고 있다(Park and Kim, 2006). 이러한 인공지능 기법과 관련하여 Vapnik (1995)에 의해 도입된 서포트 벡터 머신(Support Vector Machine, 이하 SVM)은 서로 다른 두 범주의 데이터를 이원분류하기 위한 알고리즘으로 결과 해석이 용이하고, 적은 학습 데이터만으로도 신속하게 분별학습을 수행할 수 있는 뛰어난 일반화 능력을 가지고 있다. 또한, SVM은 패턴인식과 학습이론분야에서 많은 주목을 받고 있으며, 특히 한글과 한자와 같이 부류수가 많은 언어, 데이터마이닝과 같은 대용량 분류에서 모듈러 신경망보다 성능이 우수한 특징을 나타내고 있는 것으로 보고되고 있다(Lee et al., 2005).

이에 본 연구에서는 SVM기법을 이용하여 경간장 50m 내외의 중소교량의 상부거더 형식을 선정하기 위한 모형을 구축하고자 한다. 기존의 중소교량 상부 거더형식 선정은 통상적인 현장에 적용가능한 공법의 비교 방식 및 경험과 직관에 의존하여 제한적으로 공법을 선정하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 현장의 주요 제반조건들을 기반으로 보다 체계적으로 공법을 선정하기 위하여 SVM을 이용한 중소교량 상부형식선정 모형을 구축하고, 사례검증을 통해 모형의 적용가능성을 검토하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 도로교를 대상으로 장대교량을 제외한 경간장 50m 내외의 중소규모 교량을 대상으로 하였으며, 교량의 경간장, 교각높이, 기조형식 및 하부형식이 결정된 후 교량상부형식을 선정하는 것으로 연구의 범위를 한정하였다.

연구의 진행순서는 Fig. 1과 같다. 먼저 교량상부형식선정과 건설분야 SVM기법 적용 관련 연구를 분석하고, SVM기법의 이론적 고찰을 통해 모형의 구축방법에 대해 검토한다. 다음으로 SVM 모형의 구축과 검증을 위해 실제 시공된 중소교량의 사례를 수집하여 DB (Data Base)로 구축하고, 수집한 데이터를 학습용, 검증용,

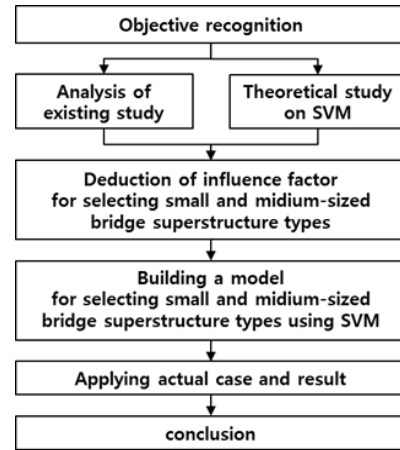


Fig. 1. Study Flow

테스트용으로 분류한다. 또한, 모형의 입력변수를 도출하기 위해 수집한 사례의 분석과 교량상부형식별 특성분석, 전문가 면담 등을 통해 교량상부형식 선정에 영향을 미치는 요인을 도출한다. 영향요인을 도출한 후, 교량상부형식 선정을 위한 SVM모형을 구축한다. 구축한 모형에 수집한 사례의 학습용 및 검증용 데이터를 적용하여 모형을 학습시킨다. 학습이 완료된 모형에 각 테스트용 데이터 별로 사례의 영향요인을 모형에 입력하여 모형을 통해 올바르게 데이터가 분류되는지를 검증하고, 이를 통해 모형의 합리적인 교량상부형식선정의 적용가능성을 검토하였다.

2. 기존 연구 및 이론적 고찰

2.1 기존 연구동향 분석

교량상부형식 선정과 관련된 연구사례를 살펴보면 다음과 같다. Ahn (2001)은 교량상부형식 선정 과정에서 대안으로 제시된 상부구조형식 가운데 최적대안을 선정하기 위해 AHP 기법 및 LCC개념을 이용한 사례연구를 수행하였으며, Jeong (2005)은 LCA를 이용한 통합 VE 방법을 통해 환경-기능-비용절감의 총체적 최적대안 선정에 중점을 두었다. Han (2007)은 교량구조물의 계획 및 사후관리까지의 중요한 변수를 선정한 후 AHP분석기법을 이용하여 단지의 특성에 따른 특수한 경우의 교량구조형식을 선정하는 방안을 제시하였으며, An (2008)은 AHP분석기법을 이용하여 단지 내 교량상부구조형식 선정 시 고려해야 할 항목에 대한 우선순위를 도출하였다. Cha (2000)는 교량유지관리 실태 및 문제점을 분석하고, 교량상부형식별 생애주기 비용을 예측하여 교량상부형식 선정 과정에 LCC비용 비교분석을 통한 상부형식 선정방안을 제시하였다. Ahn (2007)은 생애주기 비용을 고려한 교량상부구조의 최적 공용 수명 결정과 도로등급별 사용자 비용을 합리적으로 고려할

수 있는 생애주기비용 최적설계 모델을 제시하였다.

건설분야 SVM기법 적용과 관련된 연구사례는 다음과 같다. Park (2005)은 건축공사 초기단계에서 실시하는 개선전적을 평가할 수 있는 모델을 SVM을 이용하여 구축하였으며, Kim (2012)은 SVM을 이용한 교육시설 BTL 공사비 예측 모델을 개발하였다. Ko (2012)는 초고층 바닥판 거푸집 시스템 선정지원 모델을 SVM을 이용하여 구축하였으며, Park (2006)은 흙막이공법 선정 지원을 위한 SVM모델을 구축하여 제안하였다. Nan (2014)은 유전알고리즘과 서포트 벡터 회귀를 이용하여 공동주택 프로젝트 초기 기획단계의 공사비 예측 모델을 구축하였으며, Su (2014)는 GA기반 SVM모델을 이용하여 월간 저수지 용량을 예측하였다. Li (2011)는 최소제곱 SVM을 이용하여 터널 주변바위의 변형량을 예측하였다. 이와 같이 건설분야에 SVM기법을 적용한 다양한 연구를 통하여 SVM기법의 우수함을 입증하였다. 따라서 교량상부형식 선정과 같이 복잡한 여러 영향요인들을 고려하여 의사결정을 하여야 하는 경우, 뛰어난 일반화 능력을 가진 SVM이 의사결정시스템으로서 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

연구동향 분석결과, LCC, LCA분석기법 등을 이용한 경제성 평가를 통해 교량상부형식 대안을 선정하기 위한 연구들이 많이 시도되고 있다. AHP기법을 이용한 영향요인별 가중치를 부여함으로써 교량상부형식 선정 시 고려해야할 항목의 우선순위를 도출하거나, 항목별 가중치를 설정한 후, 교량형식별 비교방식을 통한 대안선정에 관한 연구가 많이 시도되고 있다. 이와 같이 경제성 평가, 고려항목별 가중치의 합산을 통한 비교방식 등을 통해 교량상부형식을 선정하기 위한 연구가 진행되어 왔다.

그러나 교량상부형식 선정 시 경간장, 공사비, 형상공간의 확보 등 실제현장에서 고려해야할 제반조건들의 종합적인 반영을 통해 교량상부형식을 결정하기 위한 연구는 부족한 것을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 실제현장에서 검토해야 할 영향요인들을 종합적으로 반영하여 교량상부형식을 결정할 수 있는 SVM 모델을 구축하고, 실제사례 검증을 통해 모형의 적용가능성을 검토하였다.

2.2 SVM (Support Vector Machine)기법 개요

SVM은 Vapnik (1999)이 제안한 이원분류기법의 학습이론으로 기존의 통계적 이론에서 이용되는 경험적 위험 최소화 원칙 (Empirical Risk Minimization)이 아닌 구조적 위험 최소화 원칙 (Structural Risk Minimization)을 이용하여 일반화 오류를 줄이기 때문에 패턴 인식과 문서 범주화 등에서 우수한 성능을 보여주고 있다(Burges, 1998).

SVM은 선형적으로 분리할 수 있는 학습집단에 대해서 최대 마진(Margin) 분류기를 구축하는 선형 SVM과, 선형적으로 분리할 수 없는 경우에 커널함수에 의해 만들어지는 비선형 결정함수를

이용하여 최적의 초평면을 구축하는 비선형 SVM으로 분류된다.

2.2.1 선형 SVM

SVM의 가장 간단한 형태는 Fig. 2와 같이 최대 마진을 가지고 두 범주(Class)를 분류해 낼 수 있는 분리경계면(Separating Hyperplane)을 찾아내는 선형 분류모형이다(Dumais et al., 1998).

Fig. 2에서 실선은 두 범주를 분리하는 결정면이고, 실선과 평행인 점선들은 오류를 발생시키지 않으면서 결정면을 이동할 수 있는 공간으로 이것을 마진이라 한다. 즉, SVM은 학습 집단에서 마진을 최대화하는 결정면을 찾아내는 알고리즘이라 할 수 있다. SVM에서 마진이 최대화되었을 때, 점선 상의 데이터는 결정면(실선)으로부터 $\frac{1}{\|W\|}$ 의 거리에 위치하게 되는데 이를 SV (Support Vector)라 하며 학습집단에서 유일하게 유효한 요소가 된다.

SVM은 선형적으로 분리할 수 있는 문제에서 출발한다. 선형 분리가 가능하다는 것은 학습데이터를 두 집합으로 분리시킬 수 있는 결정면이 존재한다는 것이며, 이 결정면은 다음 수식과 같이 나타낼 수 있다(Dumais et al., 1998).

$$w \cdot x - b = 0 \tag{1}$$

여기서, w는 가중치벡터, x는 입력벡터, b는 기준치로, w와 b는 학습데이터로부터 학습된다. 학습문서 집합을 $D=(x_i, y_i)$ 라고 할 때, 입력데이터 x_i 가 범주에 속하면 y_i 는 +1의 값을 갖고, 속하지 않으면 -1의 값을 갖는다. 결국 SVM은 최적의 w와 b를 찾는 문제이다.

$$w \cdot x - b \geq +1 (y_i = +1 \text{인 경우}) \tag{2}$$

$$w \cdot x - b \leq -1 (y_i = -1 \text{인 경우}) \tag{3}$$

위의 두 식은 부호함수를 이용하여 다음의 결정함수로 표현할 수 있다.

$$f(x) = \text{sign}((w \cdot x_i) + b) \tag{4}$$

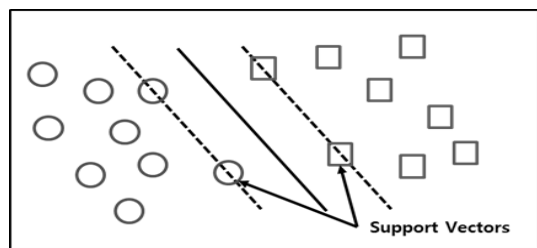


Fig. 2. Linear SVM (Chung and Lim, 2000)

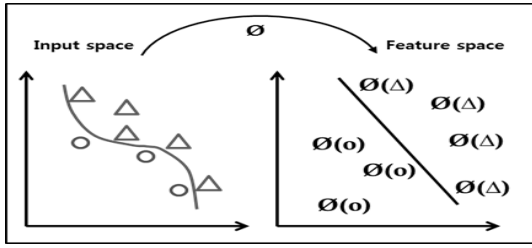


Fig. 3. Non Linear SVM (Chung and Lim, 2000)

2.2.2 비선형 SVM

SVM은 기본적으로 선형 분리가 가능한 문제에서 출발하지만 모든 문제가 선형적으로 분리될 수는 없다. 이처럼 입력데이터의 선형분리가 불가능할 경우 입력공간을 분리하는 비선형 결정면 (Nonlinear Hyperplane)을 이용하게 되는데, 비선형 결정면의 식을 분석적으로 계산해낸다는 것은 매우 어려운 일이다. 이런 경우 SVM에서는 Fig. 3과 같이 고차원의 자질공간을 효율적으로 처리하기 위해서 커널함수 $k(x, x_i) = \Phi(x) \cdot \Phi(x_i)$ 를 이용하여 데이터를 분류 할 수 있다(Chung and Lim, 2000).

일반적으로 사용되는 커널함수는 다항식(Polynomial) 커널함수, RBF (Radial Basis Function) 커널함수, 다중 퍼셉트론(Multi

Layer Perceptron) 커널함수 등이 있으며, 이와 같은 커널함수를 통해 선형분리가 어려운 경우 입력벡터 x 를 고차원 자질공간에서의 벡터로 변형한 후, 선형의 경계선을 찾는 문제로 전환할 수 있게 된다.

3. 중소교량 상부형식 선정을 위한 SVM모형 구축 방법론

3.1 SVM모형 구축 절차

본 연구에서는 공사현장의 다양한 제한조건들을 기반으로 보다 체계적으로 교량상부형식을 선정하기 위하여 SVM을 이용한 중소교량 상부형식선정 모형을 구축하고자 한다. 이러한 SVM 모형은 학습을 통해 일정한 패턴을 갖는 여러 범주의 데이터들 중 어느 데이터(벡터)가 어떤 범주에 속하는지 분류해 내는 분류기라고 할 수 있다. 학습이 완료된 모형을 통해 신규사례 데이터(벡터)가 어느 범주에 해당되는지 분류하여 신규사례에 대한 해답을 제시하거나 의사결정에 도움을 줄 수 있다. 이러한 SVM기법을 이용하여 중소교량 상부형식 선정 모형을 구축하기 위해 Fig. 4와 같은 절차대로 연구를 수행한다.

먼저, 교량상부형식의 종류가 매우 다양하기 때문에 본 연구에서는 총 10가지의 주요 교량상부형식을 도출하고, 교량상부형식 선정

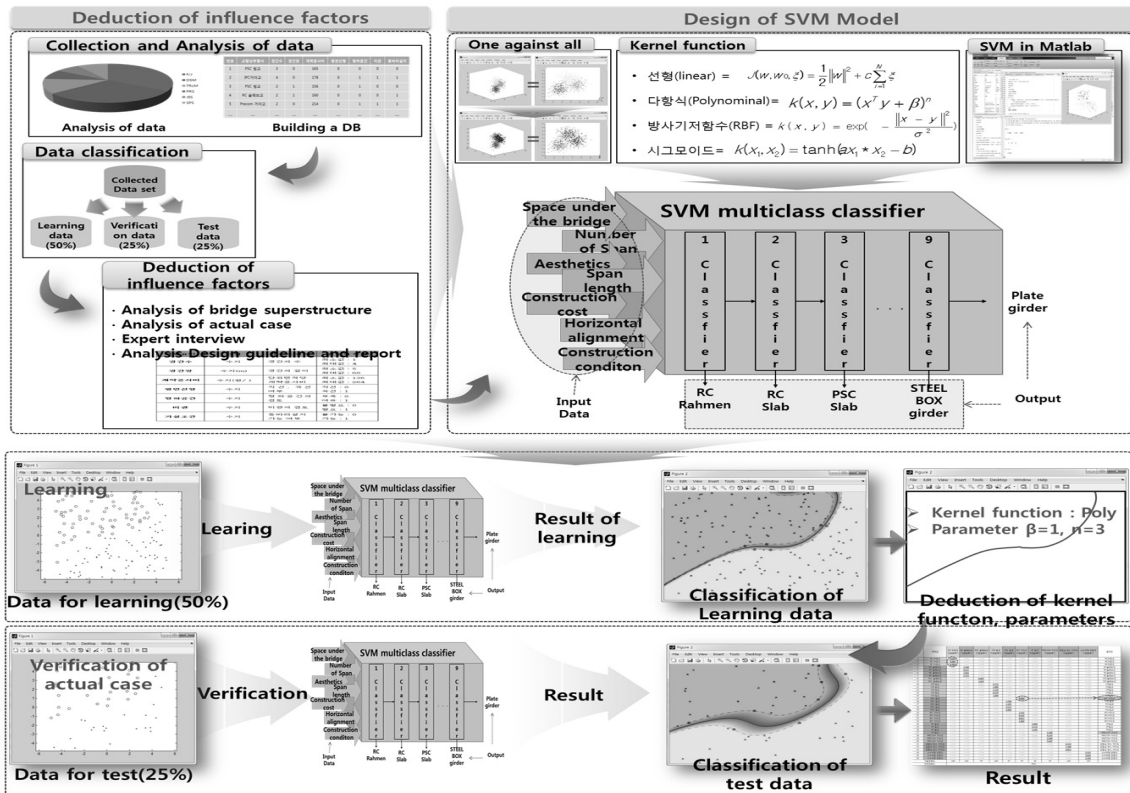


Fig. 4. Process of SVM Analysis Model

시 영향을 미치는 영향요인을 도출한다. 도출한 영향요인은 각 시공사례별로 수집해야 할 항목을 나타내는 것이며, 이는 모형의 입력변수로써 활용된다. 다음으로 SVM모형의 학습과 검증을 위해 국내 중소교량 시공사례 116개를 수집하여 DB (DataBase)로 구축한다.

SVM은 기본적으로 이원분류를 위한 알고리즘이므로, SVM이 원분류기를 조합한 다원분류기를 구축한다. 구축한 모형에 수집한 사례의 학습용 데이터를 입력하여 모형을 학습시킨다. 학습을 통해 각 이원분류기별로 데이터의 분류를 위한 최적 커널함수와 매개변수를 도출하고, 학습이 완료된 SVM다원분류기에 사례검증을 위한 테스트용 데이터를 입력하여 모형의 적용가능성을 검토하였다.

3.2 교량 상부형식 분류 및 검토

교량상부형식의 신공법 개발 및 많은 특허공법의 개발로 인해 정확한 분류가 어려울 정도로 교량상부형식의 종류가 매우 다양해지고 있다. 이에 본 연구에서는 전국교량현황분석, 문헌분석 및 교량형식별 특성분석을 통해 적용빈도가 높은 주요 교량형식을

도출하였다. Table 1과 같이 중소규모의 교량에 적용 가능한 교량상부형식을 10가지로 분류하였으며, 교량형식별 적정 경간장과 적용조건에 대해 분석하였다.

3.3 영향요인 도출

교량형식의 선정시 고려해야할 요인으로는 공사기간, 유지관리 비용, 시공성, 안전성 등 많은 요인들이 있으나, 본 연구에서는 공사현장의 구체적인 영향요인들을 바탕으로 교량형식을 도출하고자 하였다. 이러한 영향요인들을 도출하기 위해 설계지침분석, 실시설계보고서, 교량상부형식별 특성 분석 및 전문가 면담을 통해 영향도가 높다고 판단되는 요인을 도출하였다.

도출된 영향요인으로는 경간수, 경간장, 개략공사비, 평면선형, 형하공간, 미관, 가설조건 7가지가 있으며, 이를 중소교량 상부형식 선정을 위한 SVM모형의 입력변수로 활용함으로써, 실제 현장의 제한조건들을 종합적으로 고려한 교량상부형식을 선정할 수 있다.

Table 2는 수집한 사례들의 DB구축을 위한 영향요인의 형식과 변수를 정의하고 있다. 특히, 영향요인들의 값의 차이가 높은 것을

Table 1. Bridge Superstructure Types and Condition of Application

Type	Span length(m)	Condition of application
RC Rahmen	15	·Preferably with in 15m, applying rahmen bridge in consideration of maintenance
RC Slab	15	·If rahmen bridge application is difficult, to apply the RC slab bridge
PSC Slab	15~25	·If span length 15~25m, PSC slab application
PSC Beam	25~35	·Space under the bridge is enough ·If the span length less than 35m and the aesthetics is not critical to apply the PSC Beam bridges.
IPC Girder	30~40	·Span length of 30~40m, Space under the bridge is not enough ·Applying PSC Beam bridge is difficult(span length more 35m)
CPI Beam	15~30	·Span length of 15~30m, if you consider the aesthetics. ·Space under the bridge is not enough
PRECOM Girder	40~50	·If more space under the bridge insufficient compared to the PF Beam bridges.
PF Beam	35~50	·Span length of 35~40m, Space under the bridge is not enough.
Steel Box Girder	50~60	·The longer that the curve 45m Steel Box Girder bridges apply.
Plate Girder	50~60	·IF there is a curve, this type is disadvantageous. ·Span length of 15~30m, if you consider the aesthetics.

Table 2. Deduction of Influence Factors

Influence factor	Unit	Definition	Characteristic
Number of span	Number	Number of span	Minimum : 1, Maximum : 4
Span length	Number (m)	Span length	Minimum : 5, Maximum : 60
Construction cost	Number (won/m ²)	Cost per unit area	Minimum : 136, Maximum : 264
Horizontal alignment	Number	Straight or Curve	Straight : 0, Curve : 1
Space under the bridge	Number	Consideration of space under the bridge	Shortage : 0, Enough : 1
Aesthetics	Number	Consideration of aesthetics	Needless : 0, Need : 1
Construction condition	Number	Whether shores can be installed	Impossible : 0, Possible : 1

고려할 수 있도록 각 변수들의 입력 범위를 0과 1사이의 정규화한 값을 사용하였다.

예를 들어 어느 한 현장의 경간수, 경간장, 개략공사비, 평면선형, 형하공간, 미관, 가설조건을 구축한 SVM모형에 입력하면 현장조건에 적합한 교량상부형식을 도출할 수 있다.

3.4 중소교량 사례수집 및 DB구축

본 연구에서는 SVM모형의 구축과 검증에 위해 국내에서 시공된 116개의 중소교량 시공사례를 수집하여 DB로 구축하였고 수집한 사례의 교량상부형식별 수량 및 비율은 Table 3과 같다.

수집한 116개의 데이터를 학습 및 검증에 적용하기 위해 학습용 데이터(50%), 유효성 검증용 데이터(25%), 테스트용 데이터(25%)로 각각 사용목적에 맞게 무작위로 분류하였다. 학습용 데이터와 유효성 검증용 데이터는 모형을 구축한 후, 모형의 학습과정에서 학습이 잘되고 있는지를 확인하기 위한 용도로 사용되며, 테스트용 데이터는 모형의 학습과정이 끝난 후 실제사례검증을 통해 예측한 교량상부형식이 올바르게 선정되는지를 확인하여 모형이 잘 설계되었는지를 검증하기 위한 것이다.

3.5 SVM을 이용한 중소교량 상부형식 선정 모형 구축

3.5.1 SVM 다원분류기

SVM은 기본적으로 이원분류를 위한 알고리즘이다. 그러므로 본 연구에서와 같이 교량형식별 데이터들을 10가지의 범주로 분리하기 위해서는 SVM 이원분류기의 조합을 통해 다원분류기로 확장한 모형을 구축할 필요가 있다. 2개이상의 다중 범주를 분류하는 방법으로는 승자독식 방법과 쌍단위 분류 방법의 2가지 대표적인 방법이 있으나, 본 연구에서는 가장 간단하며 효율적인 승자독식 방법을 이용하여 모델을 구축하였다.

승자독식 방법은 주어진 N개의 범주를 두 부분으로 분리하는데

한쪽에는 범주 i 만 존재하고, 나머지 부분에는 i 를 제외한 나머지 범주들을 할당하는 형태로 문제를 재정의한다. 이 역시 이진 분류 문제처럼 해석하는 방법의 하나이다. 이와 같은 방법으로 만들 수 있는 짝의 수는 N가지의 경우가 존재한다(Bae, 2005).

각각의 짝에 대해 SVM을 이용하여 학습을 시키면 각 문제로부터 N개의 함수를 얻게 된다.

$$\begin{aligned}
 f_1(x) &= \sum_{i=1}^l a_i^1 y_i k(x_i, x) + b_1 \\
 f_2(x) &= \sum_{i=1}^l a_i^2 y_i k(x_i, x) + b_2 \\
 &\vdots \\
 f_N(x) &= \sum_{i=1}^l a_i^N y_i k(x_i, x) + b_N
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

즉 임의의 입력이 주어질 때 위의 N개의 결정함수 값을 계산하고 그 값이 가장 큰 경우를 찾으면 바로 그 값이 주어진 입력이 해당하는 범주를 나타낸다.

본 연구에서는 10개 범주의 교량상부형식을 분류해야하므로 9개의 SVM이원분류기 조합을 통해 SVM다원분류기를 구축한다. 구축한 모형에 수집한 사례들을 바탕으로 학습을 통해 각 이원분류기 별로 결정함수를 도출함으로써, 총 10개의 결정함수를 얻게된다. 앞서 도출한 영향요인별로 임의의 입력값이 주어질 때, 10개의 결정함수 값을 계산하고 그 값이 가장 큰 경우를 찾으면 주어진 입력값에 따른 교량상부형식을 도출할 수 있다.

또한 동일한 영향요인 변수를 갖더라도 적합한 교량의 유형은 복수가 될 수 있으므로, 이 중 결정함수에 의해 계산된 값 중 큰 값 순으로 나오는 여러 교량형식을 대상으로 의사결정 과정에서 사용자가 고려할 수 있다.

3.5.2 중소교량 상부형식 선정을 위한 SVM모형 구축

본 연구에서는 총 10가지의 교량상부형식을 분류해야 하므로 SVM 이원분류기의 조합을 통해 다원분류기로 확장한 모형을 구축하였다. Fig. 4와 같이 9개의 이원분류기의 조합을 통해 중소교량 상부형식 선정을 위한 SVM 모형을 구축하였다.

10가지 범주의 데이터 패턴을 분류하기 위해 9개의 이원분류기를 조합하여 모델을 구축하였으며, 승자독식방법을 통해 데이터를 분류한다. 범주 1 이원분류기에서는 범주 1과 나머지 범주 2~10을 분류하고, 범주 2 이원분류기에서는 범주 2와 나머지 범주 3~10을 분류한다. 이러한 방식으로 범주 9, 10이 모두 분류될 때까지 연속적으로 분류가 될 수 있도록 모델을 구축하였다. 따라서 1에서 10까지의 이원분류기는 RC라멘교부터 소수주형 판형교까지 순서대로

Table 3. Quantity and Proportion of Each Bridge Type

Types	Quantity	Proportion(%)
RC Rahmen	18	16
RC Slab	15	13
PSC Slab	11	9
PSC Beam	13	11
IPC Girder	10	9
CPI Beam	9	8
PRECOM Girder	7	6
PF Beam	12	10
Steel Box Girder	12	10
Plate Girder	9	8
Total	116	100

분류가 가능하도록 하였다. SVM 모형을 구축하기 위한 소프트웨어는 Matlab을 이용하였으며, 개발 알고리즘은 개방된 라이브러리 (Open Source Library)를 기반으로 Matlab Support Vector Machine Toolbox의 함수를 다운받아 사용하였다.

4. 사례검증

4.1 SVM 모형의 학습

SVM모형은 데이터를 각각의 범주로 분류하기 위해 적당한 커널함수와 커널함수의 매개변수를 사용자가 모두 결정해야하는 실험적인 방법이 필요하다. 이렇게 사용자가 미리 결정해야 하는 매개변수는 학습과정에서 마진폭과 분류 오류 사이의 타협점 (Trade-Off)을 찾아주는 오류 페널티 변수 C 값과 비선형 SVM에 적용하는 커널함수의 매개변수이다.

따라서 수집한 국내 중소교량 사공사례 116개 데이터 중 학습용 데이터(50%)와 검증용 데이터(25%)를 이용하여 앞서 MATLAB을 통해 구축한 SVM모형을 통해 실험을 수행한다. 먼저, RC라멘교의 데이터와 나머지 9개 범주의 데이터를 하나의 범주로 보고, 이를 이원 분류하기 위해 앞서 언급한 각 이원분류기의 커널함수와 매개변수를 변경해가면서 최적의 커널함수와 매개변수를 도출한다. 나머지도 같은 방식으로 실험적인 방법을 통해 학습을 수행한다.

개별 커널함수 및 매개변수 별로 반복실험을 한 결과, Table 4와 같이 각 이원분류기별 최적 커널함수와 매개변수를 도출하였다. RC라멘교, RC 슬래브교, CPI 빔교, PSC 빔교, PF 빔교, PRECOM 거더교는 다항식 커널함수가 적합한 것으로 나타났고, PSC 슬래브교, IPC 거더교는 RBF 커널함수가 가장 적합한 것으로 나타났으며, ST 박스 거더교, 소수주형 판형교는 선형분리가 가능한 것으로 나타났다. 매개변수는 함수별로 약간의 차이가 있는 것으로 나타났다.

Table 4. Optimal Kernel Functions and Parameters for Each Classifier

	Kernel function	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3	Parameter 4
RC Rahmen classifier	poly	0.2	0	3	-
RC Slab classifier	poly	0.2	1	5	-
PSC Slab classifier	RBF	2	-	-	0.1
CPI Beam classifier	poly	0.2	2	3	-
PSC Beam classifier	Poly	0.2	1	3	-
IPC Girder classifier	RBF	2	-	-	0.1
PF Beam classifier	Poly	2	2	5	-
PRECOM Girder classifier	Poly	0.2	1	3	-
ST Box Girder classifier	Linear	5	-	-	-
Plate Girder classifier	Linear	2	-	-	-

4.2 사례검증 및 결과

앞서 구축한 SVM 모형의 학습을 통해 교량상부형식별 분류를 위한 커널함수와 매개변수가 올바르게 설정되었는지 검증하고, SVM모형이 잘 설계되었는지 검증하기 위해 모형의 학습과 검증에 사용되지 않은 테스트용 데이터(25%)를 통해 사례검증을 실시한다. Table 5는 테스트용 데이터의 교량형식별 수량을 나타낸 것이다.

사례검증을 실시하는 방법은 이러한 테스트용 데이터를 학습이 완료된 SVM모형에 입력하여 29개의 각 사례가 해당 이원분류기에 의해 올바르게 선정되는 지를 확인하는 것이다. 이러한 사례검증을 통해 모형의 적용가능성을 검토하였다.

Table 6은 앞서 학습이 완료된 모형에 Table 5와 같이 테스트용 데이터 사례 29개를 각각 입력하여 데이터가 분류된 결과를 나타낸 것이다. Table 바탕에 색을 넣은 것은 잘못 분류된 사례의 수를 나타내는 것이며, 진한 글씨에 밑줄을 그어 표시한 것은 해당 분류기에 의해 올바르게 분류된 사례의 수를 나타낸 것이다.

사례검증 데이터의 입력결과, PSC Slab교 분류기에 의해 CPI빔교의 한 사례가 잘못 분류되었고, PF Beam교 분류기에 의해 PRECOM 거더교의 한 사례가 잘못 분류되었다. 개별 분류기별로는 학습데이터의 수가 많은 RC라멘교와 RC슬래브교가 적중률이 높게 나타났으며, 학습데이터의 수가 많지 않은 CPI빔교와 PRECOM 거더교의 분류기가 낮은 적중률을 보이는 것으로 나타났다. 전체 테스트용 데이터 29개 중 27개가 올바르게 분류되어 93%의 적중률로 높은 학습능력을 보이는 것으로 나타났다.

모델의 학습에 적용된 데이터의 수가 충분히 많아진다면 보다 높은 적중률을 나타낼 수 있을 것으로 판단되며, 본 연구에서 제시하는 중소교량 상부형식 선정을 위한 SVM모형을 이용하여 현장의 실제 조건을 입력함으로써 현장 조건에 적합한 교량상부형식을 선정할 수 있다. 이는 교량상부형식 선정 과정에서 의사결정에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

Table 5. Quantity of Data for Test

Types	Quantity
RC Rahmen	4
RC Slab	4
PSC Slab	2
CPI Beam	2
PSC Beam	4
IPC Girder	3
PF Beam	3
PRECOM Girder	2
Steel Box Girder	3
Plate Girder	2
Total	29

Table 6. Result of Actual Case Verification

Classifier Target Value	RC Rahmen	RC Slab	PSC Slab	CPI Beam	PSC Beam	IPC Girder	PF Beam	PRECOM Girder	ST Box Girder	Plate Girder
RC Rahmen(4)	<u>4</u>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RC Slab(4)	0	<u>4</u>	0	0	0	0	0	0	0	0
PSC Slab(2)	0	0	<u>2</u>	0	0	0	0	0	0	0
CPI Beam(2)	0	0	1	<u>1</u>	0	0	0	0	0	0
PSC Beam(4)	0	0	0	0	<u>4</u>	0	0	0	0	0
IPC Girder(3)	0	0	0	0	0	<u>3</u>	0	0	0	0
PF Beam(3)	0	0	0	0	0	0	<u>3</u>	0	0	0
PRECOM Girder(2)	0	0	0	0	0	0	1	<u>1</u>	0	0
ST Box Girder(3)	0	0	0	0	0	0	0	0	<u>3</u>	0
Plate Girder(2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<u>2</u>
Each accuracy(%)	29/29 (100)	29/29 (100)	28/29 (96)	28/29 (96)	29/29 (100)	29/29 (100)	28/29 (96)	28/29 (96)	29/29 (100)	29/29 (100)
Total accuracy(%)	27/29(93%)									

5. 결론

본 연구에서는 국도공사 등에 빈번히 시공되는 중소규모 교량의 상부형식선정 과정에서 기존의 단순 공법비교방법 및 경험적 방법이 아닌 보다 체계적인 방법으로 경험적인 판단에 대한 의존을 낮추고 의사결정의 일관성을 향상시키고자 하였다. 이를 위한 방안으로 본 연구에서는 SVM을 이용한 중소교량 상부형식 선정 모형을 구축하고, 그 적용가능성을 검토하였다.

본 연구의 결론은 다음과 같다.

첫째, 경간장 50m 내외의 중소교량 상부형식 결정 단계에서 활용할 수 있는 SVM을 이용한 중소교량 상부형식선정 모형을 구축하고, 이를 실제사례의 검증용 통해 모델을 평가하였다.

둘째, SVM은 두 개의 서로 다른 범주를 분류하기 위해 개발된 알고리즘이므로 본 연구에서는 9개의 이원분류기의 조합을 통해 10개의 교량상부형식을 분류할 수 있는 다원분류기로 확장한 모델을 구축하였다.

셋째, 구축한 모델을 통해 실제사례를 적용하여 검증해 보았다. 그 결과, 전체 테스트용 데이터 29개 중 27개가 올바르게 선정되어 약 93%의 높은 적용률로 합리적인 모형의 적용가능성을 검토하였다. 향후 데이터의 수가 충분히 많아진다면 보다 높은 적용률과 신뢰성 있는 결과를 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

넷째, 영향요인으로는 경간수, 경간장, 개략공사비, 평면선형, 형하공간, 미관, 가설조건으로 7가지 변수를 적용하였으며, 기존의 다양한 설계지침, 실시설계보고서와 문헌, 전문가 면담 등을 통하여 영향도가 높다고 판단되는 요인으로 구성하였다.

본 연구에서 제시하는 SVM모형이 교량상부형식 선정과 같이 고려해야 할 변수가 많은 복잡한 의사결정과정에서 유용하게 활용될 수 있을 것이라 사료된다.

References

Bae, K. C. (2005). Recognition of superimposed patterns with selective attention based on SVM. Ph.M. Dissertation, University of KAIST, Daejeon (in Korean).

Burges, C. J. C. (1988). "A tutorial on support vector machines for pattern recognition." *Journal of Knowledge Discovery and Data Mining*, Vol. 2, No. 2, pp. 121-167.

Choi, C. K. and Choi, I. H. (1992). "Development of expert system for a preliminary bridge design." *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 12, No. 1, pp. 9-17.

Chung, Y. M. and Lim, H. Y. (2000). "An experimental study on text categorization using an SVM classifier." *Journal of Korea Society for Information Management*, Vol. 17, No. 4, pp. 229-248.

Dumais, S., Platt, J., Heckerman, D. and Sahami, M. (1998). "Inductive learning algorithms and representations for text categorization." *Proc. of Conf, The Seventh International Conference on Information and Knowledge Management*, pp. 148-155.

Lee, J. S., Kim, Y. W. and Oh, I. S. (2005). "Performance comparison of SVM and neural networks for large-set classification problems." *Journal of Korea Information Processing Society*, Vol. 12, No. 1, pp. 25-30.

Park, U. Y. and Kim, J. Y. (2006). "A study on the selection model of retaining wall methods using support vector machines." *Journal of Korea Institute of Construction Engineering and Management*, Vol. 7, No. 2, pp. 118-126.

Park, U. Y., An, S. H. and Kang, K. I. (2006). "A study on the assessment model of preliminary cost estimates using support vector machines." *Journal of Architectural Institute of Korea*, Vol. 21, No. 12, pp. 191-198.

Vapnik, V. N. (1999). "The nature of statistical learning theory" Springer-Verlag.