

Support Vector Machine을 이용한 흠막이공법 선정모델에 관한 연구

A Study on the Selection Model of Retaining Wall Methods Using Support Vector Machines

박 우 열* · 김 재 엽**

Park, U-Yeol · Kim, Jae-Yeob

요 약

건축공사가 대형화됨에 따라 대규모 지하공간을 구축하기 위한 흠막이 공사의 중요성도 점차 커지고 있다. 따라서 적절한 흠막이공법의 선정은 건축공사의 원활한 수행을 위해서 매우 중요한 요소 중의 하나라 할 수 있다. 그러나 흠막이공법의 설계와 시공이 분리되어 있는 우리나라의 경우에는 많은 설계변경이 발생하고 있고, 이러한 설계변경은 건설사업의 성패를 좌우하는 공사비와 공기 측면에서 지대한 영향을 줄 수 있다. 본 연구에서는 이러한 흠막이공법에 대한 의사결정 단계에서 활용할 수 있는 Support Vector Machine(SVM)을 활용한 흠막이공법 선정모델을 구축하여 제안하였다. SVM은 기본적으로 이원분류를 위한 분류기이기 때문에 이원분류기를 조합한 형태의 다원분류기로 확장하여 모델을 구축하였다. 구축한 SVM 모델을 실제사례에 적용한 결과 비교적 정확한 결과를 도출하는 것으로 나타났으며, 따라서 본 연구에서 제시한 SVM 흠막이공법 선정모델은 흠막이공법 선정의 의사결정과정에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

키워드: 흠막이공법, 서포트 벡터 머신, 인공지능

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

건축공사 과정에서 흠막이 공법의 선정은 공사계획 단계에서 해당공사에 대한 데이터와 지반조사 결과, 대지 주변 상황 등에 대하여 검토를 거쳐서 흠막이 공사에 대한 경험을 가진 전문가들의 경험에 의한 직관에 의해서 이루어지고 있다.

그러나 흠막이 공법의 선정은 고려해야 할 요소들이 많고, 불확실한 정보를 토대로 이루어지기 때문에 설계변경이 잦고 이에 따른 공사비 및 공기의 손실이 빈번히 발생하고 있는 것이 현실이다(김재엽 2002).

이러한 문제점을 극복하기 위해서 인공지능(AI: Artificial

Intelligence)기술을 활용하여 이러한 복잡한 의사결정과정을 지원하기 위한 연구들이 활발하게 진행되고 있다(Yau & Yang 1998)(김재엽 2002)(박우열 2003). 이러한 연구들은 주로 새로운 프로젝트에 대한 의사결정과정에서 과거의 실적데이터를 활용하여 참고자료를 제공하거나 예측할 수 있도록 지원하고 있다. 그러나 건설관리 분야에서 이러한 기법으로 많이 사용되고 있는 방법들이 신경망(Neural networks), 유전알고리즘(Genetic algorithms) 등으로 일부 분야에서는 그 유효성이 어느 정도 인정되고 있지만, 비정량적 요소를 적용하기 어렵거나, 일부 과정이 완전하게 규명되지 못한 점, 반복적인 시행착오 과정을 통해 최적 매개변수를 선정해야만 하는 등 한계가 있다.

이러한 학습이론과 관련하여 최근에는 Vapnik (1999)에 의해 도입된 Support Vector Machine(이하 SVM)은 뛰어난 일반화 능력으로 인하여, 패턴인식과 학습이론분야에서 많은 주목을 받고 있다. 특히 SVM은 한글과 한자와 같이 부류수가 많은 언어, 데이터마이닝과 같은 대용량 분류에서 모듈러 신경망보다 성능이 우수한 특징을 나타내고 있는 것으로 보고되고 있다(이진선의 2005). 따라서 흠막이 공법의 선정과 같이 복잡한 요인들이 영향을 미치는 경우의 최적대안을 탐색하는 분야에서는 뛰

* 일반회원, 안동대학교 건축공학과 조교수, 공학박사, (교신지자)wypark@andong.ac.kr

** 일반회원, 충주대학교 건축공학과 전임강사, 공학박사, kimjy67@chungju.ac.kr
본 연구는 2005년도 안동대학교 학술연구조성비의 지원으로 수행된 연구결과의 일부임.

표 2. 수집된 사례의 일부

번호	시공된 흠막이공법		토공사 조건		대지 조건		주변 조건		지반 조건			
	벽체공법	지보공법	굴착심도	굴착면적	대지형상	고저차	인접면수	건물위치	지하수위	토사층	동화암층	연암이상 층
1	SCW	Slab	25.2	1,086	사각형	1.7	2	7.5	8	8.1	1.2	0.7
2	CIP	Slab	27.0	1,924	다각형	7.5	3	6.6	7.7	21.4	0	0
3	H-pile	Earth Anchor	26.0	8,545	부정형	20.3	0	50	6.0	1.8	0.9	22.6
4	SCW	Slab	26.7	1,303	사각형	0	1	2	9.2	2.6	1.2	4.7
5	H+SCW	Strut	13.0	4,330	부정형	0.3	1	2	2.3	3.1	0	16.5
.....												
129	SCW	S+E	10.1	7,072	다각형	0.3	1	3.8	4.0	4.3	16.4	0

어난 일반화 능력을 가지고 있는 SVM이 의사결정시스템으로서 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 SVM을 활용한 흠막이공법 선정모델을 구축하여 건설관리 분야에서의 적용가능성을 검토해보고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

흠막이는 기초파기 공사를 할 때에 기초파기의 측면을 보호하여 토사의 붕괴와 유출을 방지하기 위해 행하는 것으로 흠막이 벽체, 지보공, 차수 및 지반보강을 위한 보조공법으로 이루어진다. 본 연구에서는 이러한 흠막이 공법 중에서 지보공 부분을 제외한 흠막이 벽체와 보조공법을 연구의 범위로 하였다(그림1 참조).

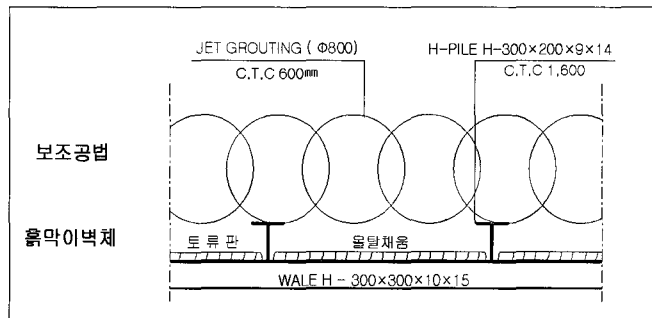


그림 1. 흠막이 공법 분류

연구의 진행순서는 그림2와 같다. 우선 흠막이공사에 대한 이론과 기존 연구들을 조사하고, 기존의 흠막이공법 선정 과정에 대한 실태와 문제점을 분석하였다. 또한 SVM에 대한 기본적인 이론과 기존연구에 대하여 고찰하여 모델적용가능성을 검토하고, 이를 바탕으로 흠막이 공법 선정을 위한 SVM 모델을 구축하였다.

SVM모델의 구축과 검증에 위한 실적자료로 활용하기 위하여 1991년부터 2000년까지 10년간 국내에서 건축된 129개의 대규모 흠막이공사 자료를 수집하여 분석하였다. 본 연구에서 사용된 데이터는 흠막이공법 선정의 의사결정을 지원하기 위한 시스

템 개발을 위해 진행된 일련의 연구(김재엽 2002)(김재엽의 2004)에서 사용된 데이터를 활용하였다. 표2는 수집된 사례의 일부분을 나타내고 있다.

본 연구는 이와 같은 일련의 연구의 일환으로써 최근에 주목을 받고 있는 SVM을 적용함으로써 합리적인 공법도출의 가능성을 검토하는 것으로 연구의 범위를 제한하였다.

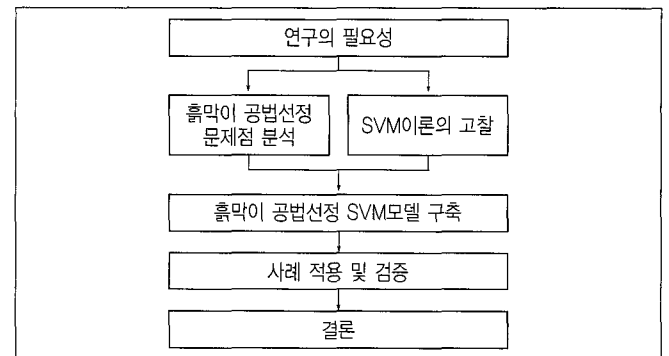


그림 2 연구의 흐름

2. 흠막이공사 및 공법 선정 실태

2.1 흠막이 공법 개요

도심지 건축물의 지하공사는 주차장법과 저수조, 정화조에 관한 법규의 강화, 냉난방 설비의 강화에 따른 기계·전기설의 면적 확보, 빌딩 지하실에 판매시설을 마련하고 법적으로 가능한 용적률을 100% 찾아 최대한 수익성을 높이고자 하는 건축주 등의 요인들로 인하여 지하 층수가 늘어나고 굴착심도도 30m이상 까지 깊어지는 건물들이 해마다 증가하고 있다(이창남 1998). 또한 이러한 지하공사의 공사관리는 작업공간의 확보, 인접 구조물의 피해 예방, 민원발생 억제, 지중 매설물 보호 등에 있어 어려움이 증가하고 있는 것이 현실이다.

1) 건축법 시행령 제5조 4항에 의한 각 지방자치단체 건축위원회의 심의 대상인 굴착깊이 10m 이상인 건축물 흠막이 공사를 대상으로 하였다.

이러한 상황에서 적절한 흠막이공법의 선정이 공사 수행에 끼치는 영향은 매우 클 수 있다. 지상 8층, 지하 2층의 표준적인 사무소 빌딩의 경우, 착공에서부터 지하구조 완성까지의 공기는 전체 공기의 약 45%를 차지하고 있어 지하공사의 양부에 따라 전체 공사의 승패가 결정된다고 해도 과언이 아니다(嘉納成男 外 1998).

일반적으로 흠막이는 굴착깊이가 3m이상의 경우, 토질의 종류에 관계없이 위험방지를 위한 흠막이를 하게 되며, 이러한 흠막이공사의 방법과 구조는 기초파기의 깊이, 넓이, 토질, 지하수, 인접부지, 근접건물, 도로 등의 상황을 고려하여 결정한다. 흠막이공법은 시간이 흐름에 따라 공사여건과 주변 민원에 의해 다양한 형태로 발전하고 있다. 기존에는 어스 앵커(Earth anchor)공법이 많이 채용되었으나, 도심지에서는 주변 건물들의 증가로 인해 인접대지에 앵커체를 묻지 못하는 경우가 많이 발생하기 때문에 인접 대지에 공사를 할 때에는 어스 앵커로는 한계가 있다. 따라서 최근에는 버팀대(Strut)공법이 많이 고려되고 있으나 시공여건으로 볼 때 여전히 어스 앵커가 선호되기 때문에 각 시공 조건에 따라 다양한 흠막이공사들이 이루어지고 있다고 할 수 있다. 또한, 대지가 부정형인 경우나 인접 건물과의 관계로 인해 한 가지 방식으로 어려워 복합적인 지지체를 설치하는 경우도 있다.

2.2 흠막이공사 선정 실태 및 문제점

2.2.1 흠막이공법 분류

흠막이 공법 선정을 위한 SVM모델의 구축과 검증을 위해서 수집된 129개의 흠막이 공사 자료를 흠막이 공법별로 분석하여 표1과 같이 6개의 공법으로 분류하여 정의하였다.

표1. 흠막이공법의 분류

공법명	공법 정의
① SW	철근콘크리트 지하연속벽
② SCW	SCW 또는 보조공법과 함께 사용
③ CIP	CIP와 차수를 위한 보조공법 사용
④ Jet_Gr	H-Pile과 보조공법으로 Jet Grouting 또는 JSP 사용
⑤ LW_Gr	H-Pile과 보조공법으로 LW Grouting 사용
⑥ H_SCW	H-Pile과 보조공법으로 SCW 사용

2.2.2 공법선정 실태

건축공사에서 합리적이고 타당한 흠막이공법을 선정하기 위해서는 사전에 해당공사에 대한 데이터와 지반조사 결과, 대지

주변 상황 등에 대하여 충분한 검토를 거쳐 합당한 공법을 선정할 수 있도록 노력하여야 한다.

그러나 각 공사 현장마다 토질조건이 일정치 않고, 주변 구조물 및 지중 매설물, 지하수 등의 영향으로 인해 단일공법만으로 성능이 부족한 경우에는 여러 공법을 조합한 복합공법을 적용하여 흠막이공사 계획을 수립하는 것으로 나타났다.

공법별로 적용된 빈도는 그림3과 같이 'Jet_Gr' 공법과 'H_SCW' 공법이 각각 45개(34%)와 39개(30%)로서 많이 선정되고 있는 것으로 나타났다. 반면에 'LW_Gr' 공법, 'SCW' 공법과 'CIP' 공법은 각각 11개, 10개, 9개 현장에서 적용되어 선정 빈도가 적은 것으로 조사되었다(김재엽 2004).

'LW Grouting' 공법은 공사비가 상대적으로 낮은 반면 벽체의 강성이 상대적으로 떨어져, 인접대지에 대한 안정성이 낮기 때문에 근년에 들어 도심지공사에서 사용 빈도가 낮아지고 있는 것으로 분석된다. 또한, 그간 기술력의 발달과 야적장 확보 등에 있어 도심지공사의 공사환경 악화에 의해서 'Slurry Wall' 공법의 채용빈도가 높아지는 경향을 보이는 것으로 사료된다.

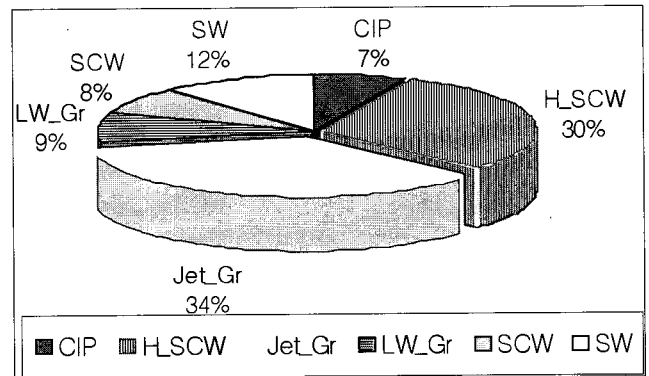


그림 3. 흠막이공법 선정 실태

굴착심도에 따른 적용 공법 분석에서는 'Jet Grouting' 공법의 경우 굴착심도가 깊어짐에 따라 채택되는 비율이 점차 증가하는 것으로 조사되었다(김재엽 2004).

2.2.2 흠막이 공법선정의 문제점

흠막이공사는 83%정도가 흠막이공사 중에 1회 이상의 설계변경이 있으며, 흠막이공법이 변경된 경우도 36%인 것으로 보고되고 있다(김재엽 2004).

이와 같이 흠막이공사는 불확실한 정보를 바탕으로 설계가 이루어지기 때문에 설계 변경 및 공법 자체를 변경하는 경우도 빈

변하게 발생하고 있는 것으로 분석되었다. 따라서 이러한 설계 변경은 공사비 및 공사기간에도 결정적인 영향을 미칠 수 있기 때문에 흠막이공사 중의 설계변경을 최소화하기 위한 방안을 강구할 필요성이 시급한 것으로 사료된다.

우리나라의 흠막이공사는 설계와 시공이 분리 발주되기 때문에 흠막이공사에 대한 설계는 엔지니어링회사에서 담당하고, 시공은 공사 착공 후에 하도급 계약에 의해 시공자가 결정된다. 따라서 공사계획 단계와 설계에서 결정된 흠막이공법의 적절성을 다시 검토하게 되는 것이 일반적이다.

시공계획 단계에서 이미 결정된 공법을 변경하고자 할 경우, 특히 본 연구에서 대상으로 하고 있는 10M 이상의 대심도 굴착의 경우에는 공법을 변경하기 위해서는 공법변경에 대한 심의를 받아야 한다. 따라서 흠막이 설계단계에서 적절한 흠막이공법을 선정하는 것이 흠막이공사의 원활한 이행을 위해서 매우 중요하다고 할 수 있다.

그러나 흠막이 설계 단계에서 결정되는 흠막이공법을 전적으로 신뢰하지는 않는다는 것으로 보고되고 있다(김재엽 2004). 따라서 이러한 설계와 시공주체 간의 견해 차이는 공사계획 및 수행 단계에서 설계변경의 요인으로 작용할 수 있는 것으로 판단된다.

3. SVM을 이용한 흠막이공법 선정 모델

3.1 SVM 개요

SVM은 Vapnik(1999)이 제안한 학습이론으로 경험적 위험 최소화 원칙(Empirical risk minimization)에 기반한 통상의 기법들과는 달리 구조적 위험 최소화(Structural risk minimization)를 기반으로 하고 있기 때문에 일반화 오류의 상한을 최소화한다는 점에서 기존의 방법들보다 우수한 성능을 가진다고 할 수 있다(Burges 1998). SVM은 뛰어난 일반화 성능으로 인하여 패턴인식문제에 효과적으로 적용되고 있으며(박정민 2003)(정영미외 2000), 최근에는 비선형회귀문제까지 확장되어 주가예측(김유일의 2004) 등에 활용되고 있다.

본 장에서는 SVM의 기본이론을 고찰한 후 흠막이벽체 선정에 영향을 미치는 영향요인을 도출하여 SVM 흠막이공법 선정 모델을 작성하였다.

(1) 선형분리가 가능한 SVM

SVM의 가장 단순한 형태는 그림4와 같이 선형으로 분리할 수 있는 경우로서 두 범주(Class)를 분리하기 위하여 최대의 '분

리간격(Margin)' 을 가지는 분리경계면을 찾는 알고리즘으로 파악할 수 있다. 여기서 분리간격은 분리경계면과 분리된 공간에 있는 가장 가까운 점(SV: Support Vector)과의 거리라고 정의할 수 있다.(그림4).

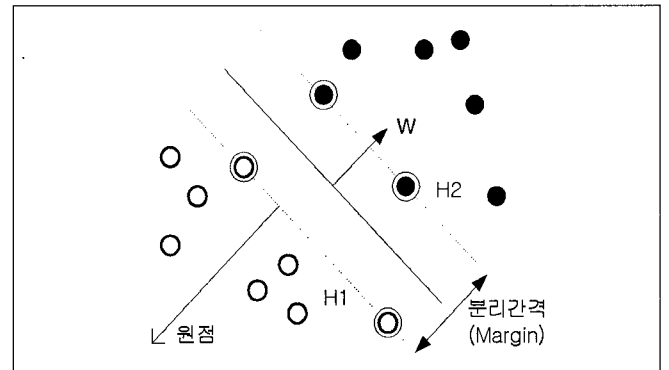


그림 4. 선형분리가 가능한 SVM
(◎,⊙는 Support Vector)

l 개의 학습데이터(Training data)가 벡터 x_i 와 y_i 의 쌍으로 이루어져 있다고 가정해보자.

$$(x_1, y_1), \dots, (x_l, y_l), \quad x_i \in R^n, y_i \in \{-1, 1\}$$

여기서 x_i 는 y_i 에 의해 두 범주(Class: +1, -1)로 구분되며, 두 범주를 구분할 수 있는 수많은 분리경계면(Separating hyperplane)을 가정할 수 있다.

만일 w 가 경계면에 수직인 벡터일 때, 학습데이터 x_i 가 범주에 속하게 된다면 다음 식(1)을 만족하고, 그렇지 않을 경우 식(2)를 만족하게 된다.

$$x_i \cdot w + b \geq +1, \quad y_i = +1 \quad \text{일 때} \quad (1)$$

$$x_i \cdot w + b \leq -1, \quad y_i = -1 \quad \text{일 때} \quad (2)$$

이것은 하나의 부등식으로 결합될 수 있다.

$$y_i(x_i \cdot w + b) - 1 \geq 0, \quad \forall_i \quad (3)$$

이 때 등식(1)을 만족하는 점들은 다음 평면 H_1 상에 놓이게 되고 원점과의 거리는 $|1 - b| / \|w\|$ 가 된다.

$$H_1 : x_i \cdot w + b = 1 \quad (4)$$

마찬가지로 등식(2)를 만족하는 점들은 H_2 평면 위에 놓이고 원점과의 거리는 $|1 + b| / \|w\|$ 가 된다.

$$H_2 : x_i \cdot w + b = -1 \quad (5)$$

따라서 최대의 분리간격은 $2 / \|w\|$ 가 되며, 식 (3)의 제한조건을 만족하면서 $\|w\|^2$ 을 최소화함으로써 최대분리간격을 갖는 분리경계면을 찾을 수 있다.

$$\text{Min} \quad \frac{1}{2} \|w\|^2 \quad (6)$$

식(6)을 최소화하는 최적화 문제는 2차 프로그래밍(Quadratic

programming)으로서 랑그랑지 승수(Lagrange multiplier) 를 도입하여 쌍대문제(Dual formulation)의 최적해를 구하는 방식으로 해결할 수 있다.

따라서 식 (7)의 제약조건하에서 쌍대문제 (8)를 최대화시키는 최적화문제로 변환하여 해결할 수 있다.

$$w = \sum_i \alpha_i y_i x_i, \quad \sum_i \alpha_i y_i = 0 \quad (7)$$

$$L_D = \sum \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j} \alpha_i \alpha_j y_i y_j x_i \cdot x_j \quad (8)$$

(2) 선형분리가 불가능한 SVM

앞의 경우는 선형분리가 가능한 경우이지만 실제적으로 선형 분리가 가능한 경우는 드물다고 할 수 있다. 따라서 다소의 인식 오류를 허용하는 방법을 사용해야 할 필요가 있다.

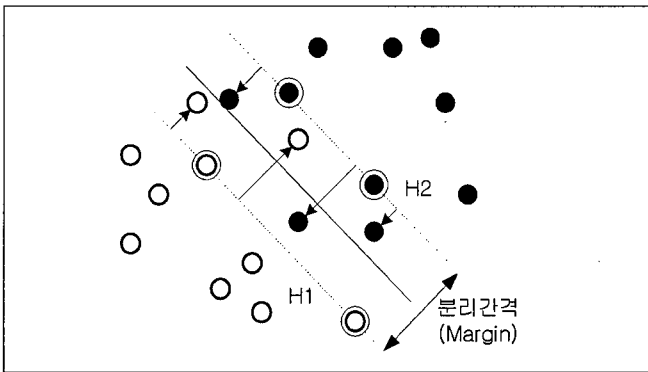


그림5. 선형분리가 불가능한 SVM

이 경우 분리간격 $1/\|w\|$ 최대화하면서 초평면(Hyperplane) H1과 H2를 넘어 반대측면으로 들어간 학습데이터를 허용하는 방법을 이용할 수 있다. 즉 반대측으로 넘어 들어간 거리를 매개변수 $\xi_i (\geq 0)$ 을 이용하여, $\xi_i / \|w\|$ 로 나타내면 그 합을 최소화하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

이와 같은 조건으로부터 최적의 분리경계면을 구하는 문제는 다음 (9)의 제약조건하에서 쌍대문제 (10)을 최소화시키는 매개변수를 구하는 문제로 귀착될 수 있다.

$$\xi_i \geq 0, \quad y_i (x_i \cdot w + b) \geq 1 - \xi_i, \quad (9)$$

$$L(w, \xi) = \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_i \xi_i \quad (10)$$

여기서 도입된 C는 첫째항의 분리간격의 크기와 둘째 항의 반대측면으로 들어간 거리정도와 균형을 결정하는 역할을 한다. 이 최적화 문제의 해법도 기본적으로 선형분리가 가능한 경우와 마찬가지로 해결될 수 있다.

(3) 비선형 SVM

선형분리가 불가능한 경우의 SVM을 이용할 경우에도 입력데이터가 비선형인 경우에는 좋은 결과를 얻을 수 없다. 이런 경우에는 그림6에서 보는 바와 같이 비선형의 입력공간을 고차원의 특성값 공간으로 사상(ϕ : mapping寫象)시켜 선형식별을 가능하게 할 수 있다.

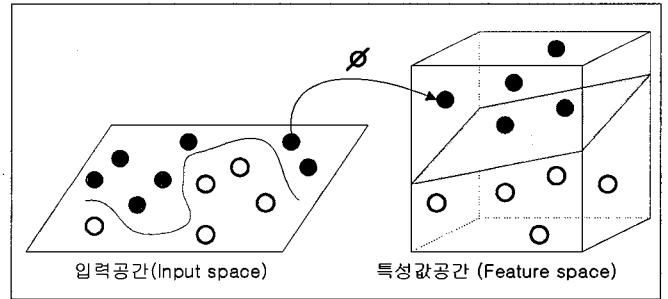


그림 6. 비선형 SVM

원래의 학습데이터 x_1 를 비선형 사상 $\phi(x_1)$ 에 따라 변환하고 그 공간에서 선형식별을 할 경우에는 사상시킨 요소의 내적을 커널함수를 이용하여 계산할 수 있다.

$$\phi(x_1) \cdot \phi(x_2) = K(x_1, x_2) \quad (11)$$

즉 비선형 사상에 의해 교환된 사상 과 의 내적을 직접 계산하지 않고 커널함수 에 의해 최적의 비선형 사상을 구성할 수 있다.

따라서 선형으로 분리가능한 경우의 목적함수 (8)은

$$\begin{aligned} L_D &= \sum \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j} \alpha_i \alpha_j y_i y_j \phi(x_i) \cdot \phi(x_j) \\ &= \sum \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j} \alpha_i \alpha_j y_i y_j K(x_i, x_j) \end{aligned} \quad (12)$$

와 같이 내적을 커널함수로 교환하여 나타낼 수 있다.

일반적으로 사용되는 커널함수는 다항식(Polynomial), RBF(Radial Basis Function), 다층 퍼셉트론(Multi-layer perceptron) 커널함수 등이 있다(Vapnik, 1999).

다항식 : $K(x_1, x_2) = (1 + x_1 \cdot x_2)^p \quad (13)$

RBF : $K(x_1, x_2) = \exp\left(-\frac{\|x_1 - x_2\|^2}{2\sigma^2}\right) \quad (14)$

시그모이드 : $K(x_1, x_2) = \tanh(ax_1 \cdot x_2 - b) \quad (15)$

3.2 SVM 이용한 흙막이공법 선정모델 구축

3.2.1 SVM 다원분류기

SVM은 원래 이원분류를 위한 알고리즘이기 때문에 본 연구와 같이 2개 이상의 범주(class)로 패턴을 분리하기 위해서는 SVM 이원 분류기를 조합할 필요가 있다. SVM을 다원분류기로

이용할 경우에는 「One-Against-All :이하 OAA」와 「Pairwise」2가지 대표적인 방법이 있으나(Abe 2003), 본 연구에서는 SVM 다원분류의 가장 기본적인 분류방법인 OAA을 이용하여 모델을 구축하였다.

OAA방법은 다음과 같다. 범주의 개수를 $M(M \geq 2)$ 이라고 하면 대상범주 i 와 그 이외의 범주($M-1$) 사이의 선형분리 가능성을 가정하고 M 개의 선형식별함수 $g_i(x) = w_i \cdot x + b_i$ ($i = 1, \dots, M$)을 구성할 수 있다.

만일 입력 x 가 범주 i 에 속할 경우 다음 식이 성립한다.

$$w_i \cdot x + b_i > 0 \quad (16)$$

식별경계가 되는 분리경계면의 방정식은 다음과 같다.

$$w_i \cdot x + b_i = 0 \quad (17)$$

3.2.2 SVM을 이용한 흠막이공법 선정모델 구축

본 연구에서는 총 6가지의 흠막이벽체 공법을 분류해야 하기 때문에 기본적으로 이원분류기인 SVM을 확장해야 할 필요가 있다. 따라서 그림 7과 같이 5개의 이원분류기를 혼합한 형태의 흠막이공법 선정모델을 설계하였다.

6가지 범주를 구분하기 위해 5개의 이원분류기 모델을 작성하였으며, 범주 1 이원분류기에서는 범주 1과 그 외의 범주 2,3,4,5,6을 구분하며, 범주 2 이원분류기에서는 앞에서 분류된 범주 1을 제외한 범주 2,3,4,5,6 중에서 범주 2와 그 외의 범주 3,4,5,6을 구분한다. 이와 같은 방식으로 범주 5,6이 모두 구분될 때까지 연속적으로 진행될 수 있도록 모델을 구현하였다. 본 연구과정에서 수집된 사례개수는 공법별로 차이를 보이고 있으며 사례개수가 많은 공법을 우선적으로 선정하도록 모델을 설계하였다. 따라서 1,2,3,4,5,6 분류기는 순서대로 Jet_Gr, H-SCW, SW, SCW, LW_Gr, CIP를 분류하도록 하였다.

SVM소프트웨어는 웹에 공개되어 있는 SVMdark²⁾를 이용하였으며, 이것은 기존의 연구(이진선외 2005)(정영미외 2000)(Joachims 1999) 등에서 사용된 리눅스버전의 SVM-light를 바탕으로 윈도우 기반으로 제작된 것으로 웹에서 다운 받아 사용하였다.

(1) 커널옵션

- ① 선형(Linear)
- ② 다항식(Polynomial) ($s \cdot a \times b + c$)

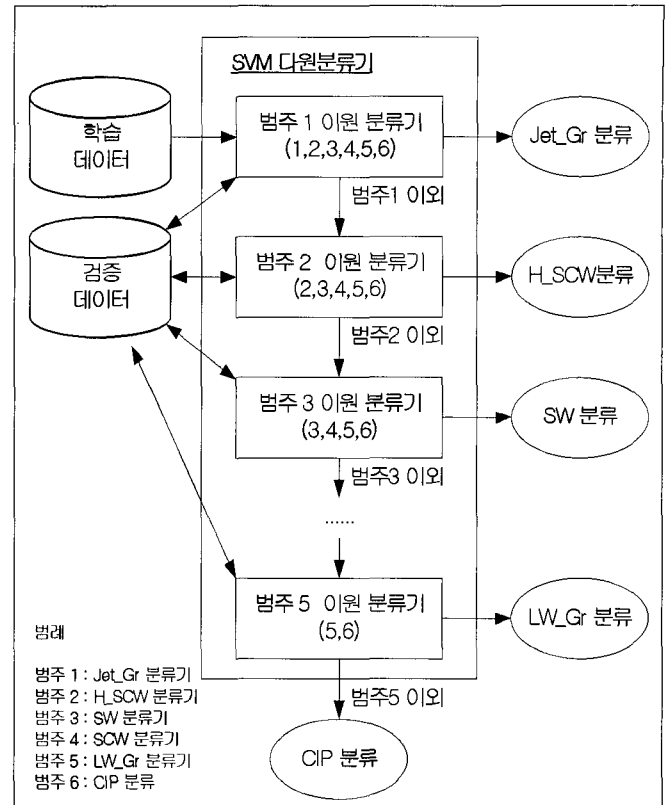


그림 7. SVM을 이용한 흠막이공법 선정모델 설계

- ③ RBF(Radial basis function) $\exp(-\gamma \| a-b \|^2)$
- ④ 시그모이드(Sigmoid) $\tanh(s \cdot a \times b + c)$

(2) 학습옵션

- ① C: 학습오류와 분리간격사이의 trade-off를 조절하는 매개변수로서 실수형
- ② 엡실론(epsilon) : $\epsilon =$, 연산을 종료(termination criterion)하기 위한 에러값의 설정

4. 사례연구

4.1 실험개요

본 장에서는 수집한 129개 데이터를 이용하여 흠막이공법 선정을 위한 SVM 모델의 적용가능성을 검증하였다. 적용된 변수의 종류 및 최대값, 최소값 특성은 표2와 같다.

129개의 데이터를 실험에 적용하기 위하여 학습용(Training) 데이터 50%, 유효성 검증용(Validation) 데이터 25%, 테스트용(test) 데이터 25%로 각각 무작위로 선정하여 적용하였다. 데이터의 개수가 가장 많은 Jet_Gr은 23개가 학습용으로 사용되었

2) <http://www.cs.ucl.ac.uk/staff/M.Sewell/>에 공개되어 있다.

표2. 흙막이공사 사례별 특성변수 정의

변수명	타입(단위)	변수의 정의	변수의 특성
굴착면적	수치(m ²)	굴착하는 면적	최대값: 9651, 최소값:251.38
굴착심도	수치(m)	굴착하는 깊이	최대값: 41.3, 최소값:10.1
대지형상	단어	사각형, 다각형, 부정형으로 구분	사각형=0, 다각형=1, 부정형=2
대지의 고저차	수치(m)	지표면의 최고와 최저의 높이차	최대값: 12.4, 최소값:0
인접건물 수	수치(면)	현장과 인접한 구조물이 있는 면수	최대값: 4, 최소값:0
인접건물 위치	수치(m)	인접구조물의 최소거리 평균	최대값: 50, 최소값:1
지하수위	수치(m)	지하수가 나타나는 최소 깊이 최대값: 26, 최소값:0.4	
토사층 두께	수치(m)	굴착심도 내에서 매립토부터 풍화토 까지의 두께	최대값: 31.8, 최소값:0.2
풍화암층 두께	수치(m)	굴착심도 내에서 풍화암층의 두께	최대값: 24.1, 최소값:0
연암층의 두께	수치(m)	연암층의 두께	최대값: 26.4, 최소값:0.2

으며, 순서대로 H_SCW(21개), SW(9개), LW_Gr(7개), SCW(6개), CIP(5개)가 사용되었다.

또한 표2에서 볼 수 있는 바와 같이 변수들의 값의 크기가 차이를 보이고 있기 때문에 각 변수들을 정규화(Normalize)한 값을 사용하였다. '굴착면적'의 경우 최대값은 9651로 큰 값이지만 '인접건물 수'의 경우 최대값이 4이기 때문에 각 변수들의 영향도를 동일하게 적용하기 위해 0과 1사이의 값으로 정규화하였다.

4.2 사례적용 및 결과

실험결과 산출된 개별 이원분류기의 커널함수 및 각각의 매개변수는 표3과 같다. 개별 매개변수 및 커널별로 반복실험을 한 결과, 모든 분류기에서 다항식 커널이 가장 적합한 것으로 나타났다으며, 개별분류기별 다항식 커널의 최적의 매개변수는 약간의 차이를 보이는 것으로 나타났다.

표4는 실제 적용된 실험결과를 나타낸다. 전체 테스트 데이터 29개 중 27개가 올바르게 선정됨으로써 약 93%의 적중률로 매우 높은 학습능력을 보이는 것으로 나타났다.

개별 분류기별로 고찰해보면 CIP(100%) 분류기가 가장 높은 적중률을 나타냈으나, 학습 데이터의 개수가 많지 않은 SCW(93%)와 LW_Gr(93%) 분류기가 낮은 적중률을 보이는 것

표3. 개별 이원분류기의 커널함수 및 최적 매개변수

모델	커널	d	s	c
Jet-Gr 이원분류기	Polynomial	3	1	4
H-SCW 이원분류기	Polynomial	2	2	1
SW 이원분류기	Polynomial	4	4	2
SCW 이원분류기	Polynomial	4	4	2
LW_Gr 이원분류기	Polynomial	3	3	2
CIP 이원분류기	Polynomial	1	3	4

표4. 사례적용 결과

목표값	Jet_Gr	HSCW	SW	SCW	LW_Gr	CIP	결과값
	이원 분류기	이원 분류기	이원 분류기	이원 분류기	이원 분류기	이원 분류기	
Jet_Gr	2.305	-4.963	-0.638	-2.691	-5.955	-4.026	Jet_Gr
Jet_Gr	2.529	-7.449	-1.016	-2.826	-3.738	-2.995	Jet_Gr
Jet_Gr	3.024	-7.643	-0.225	-3.087	-3.706	-4.951	Jet_Gr
Jet_Gr	0.718	-4.494	-2.269	-2.001	-4.397	-0.208	Jet_Gr
Jet_Gr	1.804	-1.607	-1.750	-1.164	-2.453	-5.468	Jet_Gr
Jet_Gr	1.575	-3.267	-0.904	-1.931	-2.034	-6.894	Jet_Gr
Jet_Gr	1.301	-4.753	-1.981	-1.747	-4.469	-2.750	Jet_Gr
Jet_Gr	2.467	-4.128	-1.991	-1.948	-3.917	-3.881	Jet_Gr
Jet_Gr	0.578	-1.974	-2.084	-1.309	-2.570	-4.703	Jet_Gr
Jet_Gr	1.759	-4.847	-1.649	-1.592	-4.361	-3.387	Jet_Gr
Jet_Gr	2.881	-2.513	-1.511	-1.480	-3.382	-4.255	Jet_Gr
H_SCW	-4.253	2.189	-0.709	0.442	-13.556	-4.302	H_SCW
H_SCW	-1.028	0.034	-1.953	-0.550	-0.770	-7.191	H_SCW
H_SCW	-2.949	-0.791	-1.904	-1.688	0.864	-9.680	LW_Gr
H_SCW	-0.554	0.414	-1.621	-0.327	-1.236	-3.254	H_SCW
H_SCW	-0.562	1.897	-2.017	-1.421	-1.824	-2.082	H_SCW
H_SCW	-5.024	0.067	0.245	-1.940	0.299	-5.422	H_SCW
H_SCW	-1.939	4.311	-3.228	-4.729	-10.009	-1.434	H_SCW
H_SCW	-1.403	1.361	-1.945	-1.043	-1.327	-6.512	H_SCW
H_SCW	-1.384	2.198	-3.476	-1.073	-7.618	-4.437	H_SCW
SW	-1.857	-6.048	3.198	-1.868	-0.586	-4.651	SW
SW	-1.033	-4.692	3.001	-2.064	-0.606	-4.548	SW
SW	-3.316	-4.214	3.599	-3.898	-1.386	-6.249	SW
SCW	-0.136	-2.197	-1.341	1.180	-7.609	-5.506	SCW
SCW	0.894	-9.098	-1.720	-3.144	-5.706	-1.099	Jet_Gr
LW_Gr	-3.380	-1.220	-1.184	-0.537	1.112	-7.374	LW_Gr
LW_Gr	-2.947	-0.465	-2.102	-1.402	0.496	-6.435	LW_Gr
CIP	-1.161	-2.609	-2.139	-1.410	-3.429	0.576	CIP
CIP	-2.001	-2.548	-2.196	-1.350	-3.319	1.356	CIP
개별정확도	97%	97%	97%	93%	93%	100%	
정확도	27/29 = 93%						

주1) 음영처리된 것은 잘못 선정된 사례를 나타냄
 주2) "+"값은 개별분류기에서 해당 항목으로 선정된다는 의미로, 굵은 이탤릭체로 밑줄을 그어 나타내었다.
 주3) 회색글씨는 다원분류 SVM 중 OAA 방식에 의해 선정할 경우 결과에 영향을 미치지 않는 값을 나타냄

으로 나타났다. 본 연구에서는 수집된 데이터의 개수가 상대적

으로 많은 Jet_Gr과 H_SCW를 먼저 분류하고 상대적으로 데이터의 개수가 적은 분류기를 순차적으로 분류하는 방식으로 처리하였기 때문에 결과적으로 개별 분류기의 적중요류가 적게 영향을 미쳤다고 판단된다. 학습데이터의 개수가 충분히 많아진다면 개별분류기의 적중률을 높일 수 있기 때문에 전체적인 적중률도 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

기존의 CBR기법을 적용한 연구(김재엽외 2004)의 경우에서는 10개의 Test Case에 대해 유사사례(Acceptable solution)100%의 정확도를 보인 반면, 추천사례(Recommendable solution)에서는 8개의 사례를 정확히 조희함으로써 80%의 정확도를 보이는 것으로 나타났다. 이는 SVM 모델의 정확도 93%보다는 낮은 수치로 SVM모델이 상대적으로 높은 정확도를 보이는 것으로 판단할 수 있다.

또한 신경망을 이용한 연구(김재엽 2002)의 경우에도 학습에 사용한 데이터의 경우에는 94%의 정확도를 보였지만 Test 데이터의 경우에는 70%의 정확도를 보였기 때문에 본 연구에서 제시한 SVM모델이 더 높은 적중률을 보이는 것으로 판단할 수 있다. 또한 신경망모델의 경우에는 모델을 구축하기 위해 은닉층의 노드수, 학습률, 모멘텀의 최적값을 결정하기 위해 수많은 반복시행이 필요하지만 SVM모델의 경우에는 SVM모델 설정에 필요한 매개변수의 설정이 용이하기 때문에 활용도가 높을 것으로 사료된다.

5. 결론

건축공사가 대형화됨에 따라서 대규모의 지하공간을 구축하기 위한 흙막이 공사의 중요성도 점차 커지고 있다. 이러한 상황에서 대규모 건축공사에서 적절한 흙막이공법의 선정은 건축공사의 원활한 수행을 위해서 매우 중요한 요소 중의 하나라 할 수 있다. 그러나 흙막이공법의 설계와 시공이 분리되어 있는 우리나라의 경우에는 많은 설계변경이 발생하고 있고, 이러한 설계변경은 건설사업의 성패를 좌우하는 공사비와 공기 측면에서 지대한 영향을 줄 수 있다.

따라서 본 연구에서는 이러한 흙막이공법에 대한 의사결정 단계에서 활용할 수 있는 SVM을 활용한 흙막이 공법 선정 모델을 구축하여 제안하고, 이를 실제 시공된 사례를 이용하여 모델을 평가하였다. SVM은 기본적으로 이원분류를 위한 분류기이기 때문에 이원분류기를 조합한 형태의 다원분류기로 확장하여 모델을 구축하였다.

구축된 모델에 실제사례를 적용한 결과 비교적 높은 정확도를 보이는 것으로 나타났다. 전체 테스트 데이터 29개 중 27개가 올바르게 선정됨으로써 약 93%의 적중률로 매우 높은 학습능력

을 보이는 것으로 나타났다. 본 연구의 경우 분류기별로 적용된 데이터가 한정되어 있기 때문에 데이터의 개수가 충분하다면 정확성과 신뢰성 있는 결과를 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구의 결과, 흙막이공법의 선정과 같이 의사결정과정에서 고려해야할 요소가 많고, 이러한 영향요소를 정량화하기 어려운 분야에서는 본 연구에서 제시한 SVM 모델이 매우 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 김재엽(2002), "건축공사 흙막이공법 선정의 합리화를 위한 신경망시스템 구축에 관한 연구", 고려대 박사학위논문
2. 김재엽 외(2002), "건축공사 흙막이벽체 공법 선정을 위한 신경망 시스템 개발 연구", 대한건축학회논문집 구조계, 18권 10호, pp.69~76
3. 김재엽 외(2004), "CBR을 이용한 흙막이공법 선정모델에 관한 연구", 건설관리, 5권 5호, 한국건설관리학회, pp.76~83
4. 김재엽 외(2003), "신경망을 이용한 흙막이보공 공법 선정 모델 개발에 관한 연구", 대한건축학회논문집 구조계, 19권 5호, pp.121~128
5. 박우열(2003), "유전자 알고리즘을 이용한 철근공사 최적 물량산출 모델 및 관리시스템 개발", 고려대 박사학위논문
6. 김광희, 김상용, 강경인(2004), "공동주택 공사비 예측 정확도 비교에 관한 연구", 대한건축학회 논문집 구조계, 20권 5호, pp.93~102
7. 김유일, 신은경, 홍태호(2004), "신경망과 SVM을 이용한 주가지수예측의 비교", 인터넷전자상거래연구, 4권 3호, pp.221~243
8. 박정민(2003), "Support Vector Machine을 이용한 기업부도예측", 한국과학기술원 석사학위논문
9. 이용민, 최경현(2001), "Weighted Support Vector Machine의 활용성에 대한 연구", 대한과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회, pp.715~718
10. 이진선 외(2005), "대용량 분류에서 SVM과 신경망의 성능 비교", 정보처리학회논문지 B, 12B권 1호
11. 이창남(1998), "건축구조 뿌리에서 새순까지 I", 기문당, p.57
12. 정영미 외(2000), "SVM 분류기를 이용한 문서 범주화 연구", 정보관리학회지, 17권 4호
13. 嘉納成男 外(1998), "山留壁の工法推定モデルとその推定精度の比較", 日本建築學會計劃系論文集, No.510, p.197
14. Abe S.(2003), "Analysis of multiclass support vector

- machines”, Proc. International Conference on Computational Intelligence for Modelling Control and Automation, pp.385~396
15. C. J. C. Burges(1998), “A Tutorial on Support Vector Machines for Pattern Recognition”. Knowledge Discovery and Data Mining, 2(2)
16. Joachims T. (1999), “11 in: Making large-Scale SVM Learning Practical. Advances in Kernel Methods – Support Vector Learning”, B. Schölkopf and C. Burges and A. Smola (ed.), MIT Press
17. Vapnik V. N.(1999), “The Nature of Statistical Learning Theory”, Springer-Verlag
18. Yau N. & Yang J.(1998), “Applying Case – Based Reasoning Technique to Retaining Wall Selection”, automation in construction 7, pp.271~283
19. <http://www.cs.ucl.ac.uk/staff/M.Sewell/> (2005.7.20)

논문제출일: 2005.11.14

심사완료일: 2006.03.13

Abstract

There is a greater importance for underground work designed and built in the urban areas when it comes to considering the cost-effectiveness and the period of construction commensurate with an increasing trend of skyscrapers. At this stage of underground work, it's extremely necessary to choose a proper earth retaining method. Therefore, the study has suggested the rational retaining wall method by developing the support vector machine(SVM) model as a tool to choose a proper retaining wall method applied at the stage of selecting the earth retaining method. In order to develop the SVM model, the binary SVM classifier is expanded into a multi-class classifier. and to present the feasibility of our SVM model, we considered 129 projects. Applying the 'SVM Model' developed in the study to the designing and developing stages of the earth retaining work will contribute to the successful outcomes by decreasing any changes of design from implementing the earth retaining.

Keywords : Retaining Wall Methods, Support Vector Machine, Artificial Intelligence