

사례기반추론을 이용한 흙막이공법 선정모델에 관한 연구

A Study on the Selection Model of Retaining Wall Methods Using Case-Based Reasoning

김 재 엽* · 박 우 열** · 김 광 희*** · 김 중 구****

Kim, Jae-Yeob · Park, U-Yeol · Kim, Gwang-Hee · Kim, Joong-Koo

요 약

건축공사가 대형화됨에 따라 대규모의 지하공간을 구축하기 위한 흙막이 공사의 중요성도 점차 커지고 있다. 따라서 적정한 흙막이공법의 선정은 건축공사의 원활한 수행을 위해서 매우 중요한 요소 중의 하나로 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. 본 연구에서는 이러한 흙막이공법에 대한 의사결정 단계에서 활용할 수 있는 사례기반추론기법을 활용한 흙막이 공법 선정 모델을 구축하여 제안하고, 이를 실제 시공된 사례를 이용하여 모델을 평가하였다. 사례연구 결과 유사사례와 추천사례에서 비교적 정확한 결과를 도출하는 것으로 나타났다. 흙막이공법의 선정과 같이 의사결정과정에서 고려해야 할 요소가 많고, 이러한 영향요소를 정량화하기 어려운 분야에서는 본 연구에서 활용된 사례기반추론기법이 매우 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

키워드 : 흙막이공법, 사례기반추론, 공법선정 모델

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

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

최근, 이러한 문제점을 극복하기 위해서 인공지능(AI: Artificial Intelligence)기술을 활용하여 이러한 복잡한 의사결정과정을 지원하기 위한 연구들이 활발하게 논의되고 있다(Yau 외 1998, 김재엽 2002, 박우열 2003). 이러한 연구들은 주로 새로운 프로젝트에 대한 의사결정과정에서 과거의 실적데이터를 활용하여 참고자료를 제공하거나 예측할 수 있도록 지원하

고 있다.

그러나 건설관리 분야에서 이러한 기법으로 많이 사용되고 있는 방법들이 신경망, 유전알고리즘 등으로 일부 분야에서는 그 유효성이 어느 정도 인정되고 있지만, 비정량적 요소를 적용하기 어렵다거나 일부 과정이 완전하게 규명되지 못한 점 등의 한계가 있다.

이러한 한계점을 어느 정도 보완할 수 있고 비정량적 요소들을 적용할 수 있다는 측면에서 최근에 사례기반추론(CBR: Case-Based Reasoning)기법이 건축분야에서 건설관리, 계획(김진욱 1996, 박세근 2003) 등의 분야에서 성공적인 연구결과들이 발표되고 있다.

코스트 예측 등과 같이 예측 값이 정량적인 값을 도출하는 분야에서는 통계적 방법이나 신경망 이론 등을 활용하여 성공적인 연구결과들이 많이 발표되고 있다. 그러나 흙막이공법의 선정과 같이 최적대안을 탐색하는 분야에서는 하나의 대안만을 제시해 주는 이러한 기법들보다는 복수의 가능한 대안(Acceptable Solution)과 최적 대안(Recommendable Solution)을 도출해 주는 사례기반추론기법이 의사결정지원 시스템으로서 더욱 유효할 것으로 생각된다.

이에 본 연구에서는 CBR을 활용한 흙막이공법 선정모델을 구축하여 건설관리 분야에서의 적용가능성을 검토 해보고자 한다.

* 일반회원, 경일대학교 건축학부 조교수, 공학박사

** 일반회원, 영산대학교 건축학부 전임강사, 공학박사

*** 일반회원, 고려대 공학기술연구소 선임연구원, 공학박사

**** 일반회원, 고려전공주식회사 대표이사, 공학박사

본 연구는 2004년도 경일대학교 교내연구비 지원에 의한 연구의 일부임.

1.2 연구의 범위 및 방법

연구방법은 그림1과 같이 흙막이공사에 대한 이론과 기준 연구들을 조사하고, 기존의 흙막이공법 선정 과정에 대한 실태와 문제점을 분석하기 위하여 흙막이공사가 진행 중인 국내의 42개 현장을 대상으로 흙막이공사 전문가에 대한 설문조사를 실시하였다. 또한 사례기반추론기법에 대한 기본적인 이론과 기준연구에 대하여 고찰하였으며, 이를 바탕으로 흙막이공법 선정을 위한 CBR 모델을 구축하였다. 모델의 구축 도구로는 기존의 연구들에서 많이 활용하고 있는 ESTEEM™을 사용하였다.

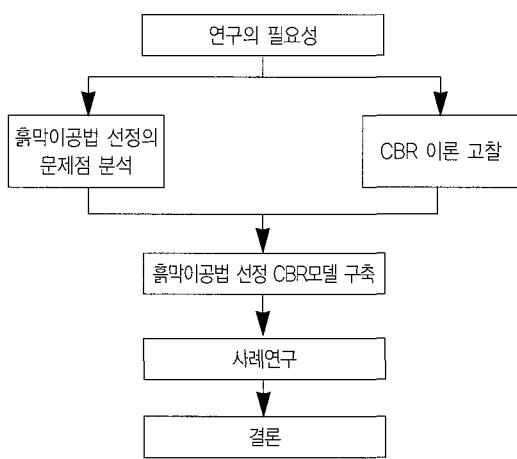


그림 1. 연구의 흐름

CBR모델의 구축과 검증을 위한 실적자료로 활용하기 위하여 1991년부터 2000년까지 10년간 국내에서 건축된 129개의 대규모 흙막이공사²⁾ 자료를 수집하여 분석하였다. 자료의 수집은 건설회사의 흙막이 공사 담당 부서, 흙막이설계사무소, 공사현장 등을 대상으로 하여 흙막이 설계도면과 지질조사서를 수집하여 조사하였다.

수집된 129개의 자료 중에서 119개의 자료를 활용하여 각 변수에 대한 가중치를 계산하여 모델을 구축하였고, 임의로 선택된 10개의 사례를 사용하여 모델의 유효성을 검증하였다.

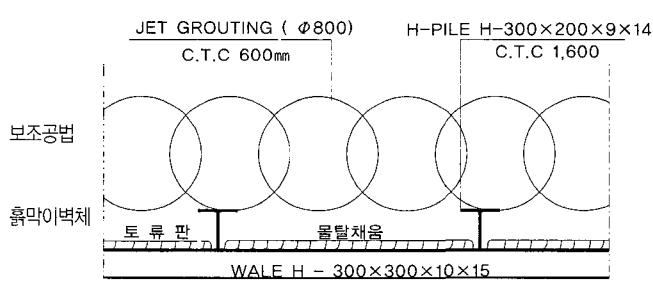


그림 2. 흙막이 공법 분류

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

흙마이는 기초파기 공사를 할 때에 기초파기의 측면을 보호하여 토사의 붕괴와 유출을 방지하기 위해 행하는 것으로 흙막이벽체, 지보공, 차수 및 지반보강을 위한 보조공법으로 이루어진다. 본 연구에서는 이러한 흙막이공법 중에서 지보공 부분을 제외한 흙막이 벽체와 보조공법을 연구의 범위로 하였다(그림2 참조).

2. 흙막이공사 및 공법 선정 실태

2.1 흙막이공법 개요

도심지 건축물의 지하공사는 주차장법과 저수조, 정화조에 관한 법규의 강화, 냉난방 설비의 강화에 따른 기계·전기실의 면적 확보, 빌딩 지하실에 판매시설을 마련하고 법적으로 가능한 용적률을 100% 찾아 최대한 수익성을 높이고자 하는 건축주의 요구 등으로 인하여 지하 층수가 늘어나고 굴착심도도 30m 이상 까지 깊어지는 건물들이 해마다 증가하고 있다³⁾. 또한 이러한 지하공사의 공사관리는 작업공간의 확보, 인접 구조물의 피해 예방, 민원발생 억제, 지중 매설물 보호 등에 있어 어려움이 증가하고 있는 것이 현실이다.

이러한 상황에서 적정한 흙막이공법의 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 아니다³⁾.

일반적으로 흙마이는 굴착깊이가 3m 이상의 경우, 토질의 종류에 관계없이 위험방지를 위한 흙막이를 하게 되며, 이러한 흙막이공사의 방법과 구조는 기초파기의 깊이, 넓이, 토질, 지하수, 인접부지, 근접건물, 도로 등의 상황을 고려하여 결정한다.

흙막이공법은 시간이 흐름에 따라 공사여건과 주변 민원에 의해 다양한 형태로 발전하고 있다. 기준에는 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 베텀대(Strut)공법이 많이 고려되고 있으나 시공여건으로 볼 때 여전히 어스 앵커가 선호되기 때문에 각 시공 조건에 따라 다양한 흙막이공사들이 이루어지고 있다고 할 수 있다. 또한, 대지가 부정형인 경우나 인접 건물과의 관계로 인해 한 가지 방식으로 어려워 복합적인 지지체를 설치하는 경우도 있다.

2) 이창남, 건축구조 뿌리에서 새순까지 I, 기문당, 1998.5, p 57

3) 嘉納成男 外, 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, 1998. 8, p 197.

2.2 흙막이공사 실태

2.2.1 설계변경

흙막이공사 중의 설계변경 실태를 알아보기 위하여 흙막이공사 중의 설계변경 회수를 설문해 본 결과 그림3과 같이 전체 42개 현장 중에서 35개 현장(83%)에서 흙막이공사 중에 1회 이상의 설계변경이 있었다고 응답하였고, 흙막이공법이 변경된 경우도 15개 현장(36%)인 것으로 조사되었다.

이와 같이 흙막이공사는 불확실한 정보를 바탕으로 설계가 이루어지기 때문에 설계 변경 및 공법 자체를 변경하는 경우도 빈번하게 발생하고 있는 것으로 분석되었다. 따라서 이러한 설계변경은 공사비 및 공사기간에도 결정적인 영향을 미칠 수 있기 때문에 흙막이공사 중의 설계변경을 최소화하기 위한 방안을 강구할 필요성이 시급한 것으로 사료된다.

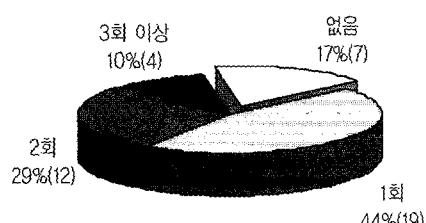


그림 3. 흙막이공사 중의 설계변경 회수

2.2.2 흙막이 설계에 대한 신뢰도

우리나라의 흙막이공사는 설계와 시공이 분리 발주되기 때문에 흙막이공사에 대한 설계는 엔지니어링회사에서 담당하고, 시공은 공사 착공 후에 하도급 계약에 의해 시공자가 담당하게 된다. 따라서 공사계획 단계에서 설계에서 결정된 흙막이공법의 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 흙막이 설계단계에서 적정한 흙막이공법을 선정하는 것이 흙막이공사의 원활한 이행을 위해 매우 중요하다고 할 수 있다.

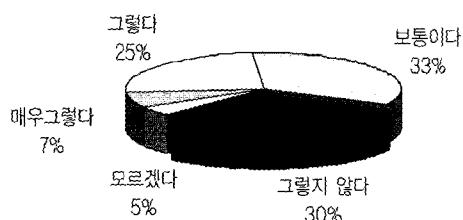


그림 4. 흙막이 설계에 대한 신뢰도

이에 본 연구에서는 건설현장에서 흙막이공사에 대한 공사계획 시에 이전단계에서 결정되어 있는 흙막이 설계에 대해서 어느 정도 신뢰하고 있는지에 대해서 설문을 실시하여 본 결과 그림4와 같은 결과를 얻었다.

긍정적인 견해(그렇다, 매우 그렇다 32%)와 부정적인 견해(그렇지 않다 30%)가 비슷한 비율로 나타났다. 이것은 흙막이 설계 단계에서 결정되는 흙막이공법을 전적으로 신뢰하지는 않는다는 것으로 분석된다. 따라서 이러한 설계와 시공주체 간의 견해차이는 공사계획 및 수행 단계에서 설계변경의 요인으로 작용할 수 있는 것으로 판단된다.

2.3 흙막이공법 선정 실태

2.3.1 흙막이공법 분류

흙막이공법 선정을 위한 CBR모델의 구축과 검증을 위해서 본 연구에서 수집한 129개의 흙막이공사 자료를 흙막이공법별로 분석하여 표1과 같이 6개의 공법으로 분류하여 정의하였다.

표 1. 흙막이공법의 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

2.3.2 공법선정 실태

건축공사에서 합리적이고 타당한 흙막이공법을 선정하기 위해서는 사전에 해당공사에 대한 데이터와 지반조사 결과, 대지 주변 상황 등에 대하여 충분한 검토를 거쳐 합당한 공법을 선정 할 수 있도록 노력하여야 한다.

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

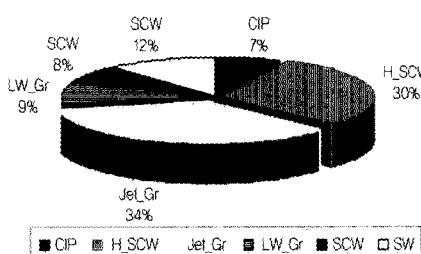


그림 5. 흙막이공법 선정 실태

(1) 공법별 선정 실태

공법별로 적용된 빈도는 그림5와 같이 나타나 '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.

(2) 연도별 공법 적용

연도별로 채용되는 공법의 변화는 분석결과 유의할 만한 결과를 얻을 수 없었다. 다만 'LW Grouting' 공법의 채용빈도가 연 구대상 자료에서는 최근으로 오면서 대체적으로 줄어 든 것과 'Slurry Wall' 공법이 1991, 1992년에는 전혀 채용된 예가 없다가 1994년부터는 매년 몇몇 사례를 볼 수 있었고, 2000년에 가장 많은 7개의 사례에서 채택된 것으로 나타났다(그림6 참조).

'LW Grouting' 공법은 공사비가 상대적으로 낮은 반면 벽체의 강성이 상대적으로 떨어지기 때문에 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.

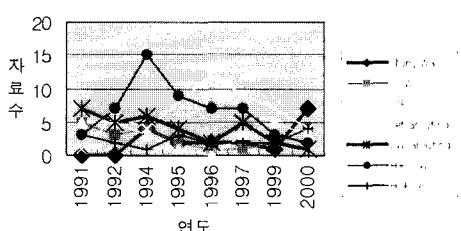


그림 6. 연도별 공법 적용 현황

(3) 굴착심도별 공법 적용

굴착심도에 따른 적용 공법 분석에서는 그림7과 같이 'Jet Grouting' 공법의 경우 굴착심도가 깊어짐에 따라 채택되는 비율이 점차 증가하는 것으로 조사되었다. 'Jet Grouting' 이외의 공법에서는 의미 있는 결과를 얻지 못하였다.

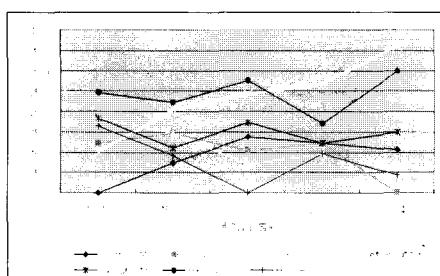


그림 7. 굴착심도에 따른 공법 적용

굴착심도가 깊어지면 흙막이벽체에 작용하는 토압도 같이 상승하기 때문에 강성이 크고 지반 보강의 효과가 있는 'Jet Grouting' 공법으로 흙막이벽체를 보강하는 것으로 판단된다.

3. CBR을 이용한 흙막이공법 선정 모델

3.1 CBR 이론 고찰

3.1.1 CBR 개요

사례기반추론의 기본적인 아이디어는 인간은 사고하는 과정에서 과거의 문제에 사용되었던 해결책을 수정하여 새로운 문제의 해결에 사용한다는 것이다. 즉, 과거에 해결한 유사한 문제를 기초로 새로운 문제에 대한 해를 구한다는 것이다. 기억장치에서 현재의 문제와 유사한 이미 해결된 문제를 찾고, 과거의 문제와 현재의 문제간의 차이를 분석하여 이전의 해결책을 현재의 문제에 맞게 조정하는 과정을 거친다.

지금까지 대부분의 전문가 시스템에서는 규칙기반추론(Rule-Based Reasoning: RBR)을 주로 사용하였다. 규칙기반추론 기법에서는 지식을 모두 규칙으로 추출한 다음 규칙 베이스(Rule Base)를 구현하여 이를 추론함으로써 해를 얻는다. 그러나 실제로 문제를 해결할 때 미리 모든 규칙을 구축할 수 없는 경우가 많으며, 문제가 규칙과 일치하지 않을 경우에는 문제를 해결하기 어렵다. 또한 규칙기반추론은 문제가 주어질 때마다 그 문제를 해결하기 위하여 관련된 규칙을 순서대로 추론하기 때문에 규칙이 증가할수록 성능이 저하된다.

반면에 사례기반추론은 주어진 문제가 과거에 얻은 경험과 같다면 특별한 추론 없이 그 해를 구해 준다. 사례기반추론에서 사용하는 지식은 과거방법으로써, 이 기법은 단순히 주어진 문제와 유사한 과거사례를 재사용하여 현재의 문제를 해결하는 것이다. 이러한 개념은 흙막이공법 선정과 같이 문제가 복잡하고 문제영역이 잘 정형화되지 않은 분야에서 매우 효율적이다(이지은, 1998).

3.1.2 CBR 사이클

사례기반추론기법의 핵심을 이루는 사례 추론 절차는 그림8과 같이 네 가지의 절차(4REs)로 이루어지는데 이를 간략히 살펴보면 다음과 같다⁴⁾.

(1) 조회(Retrieve)

주어진 새로운 문제(problem)에 가장 유사한 과거의 사례를

4) Ian Watson, Case-Based Reasoning: A Review, 1994, p 360.

찾아내는 것을 말한다. 즉, 사례 베이스(case base)로부터 주어진 새로운 사례와 일치하는 과거의 사례를 하나 또는 그 이상을 조회하는 단계이다. 이때 ‘일치(match)’를 어떻게 정의할 것인가가 중요한 문제가 되며, 정확하게 일치하는 사례가 존재하기란 거의 불가능하기 때문에 가장 유사한 사례를 제시하게 된다.

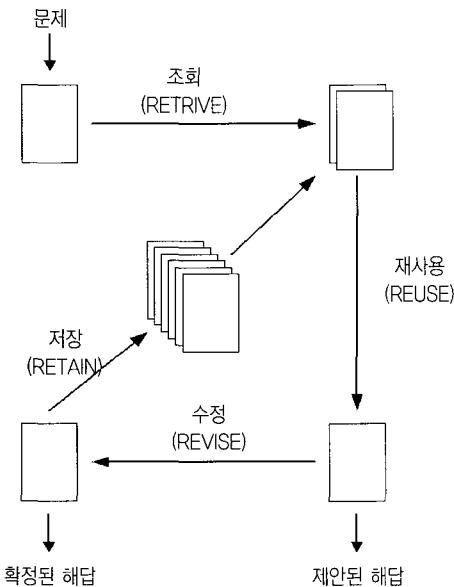


그림 8. CBR Cycle

(2) 재사용(Reuse)

주어진 문제를 해결하기 위해서 조회된 사례의 정보와 지식을 재사용하는 것을 말한다.

(3) 수정(Revise)

제안된 해결책을 수정하는 단계이다.

(4) 저장(Retain)

문제 해결에 사용된 해결책을 미래의 문제해결을 위해 사례 베이스에 저장하는 단계이다⁵⁾.

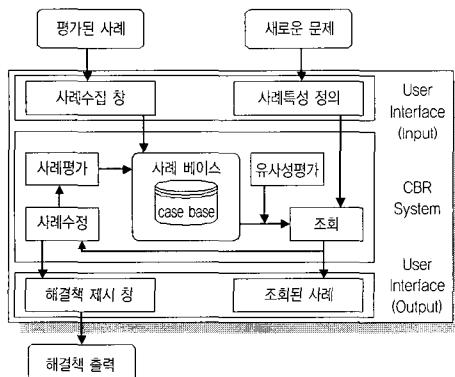


그림 9. 흙막이공법 선정 CBR모델의 구조

5) Aamodt, A. & Plaza, E., Case-based Reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches, AI Communications. IOS, Vol. 7(1), 1994, p. 46.

3.2 CBR을 이용한 흙막이공법 선정 모델 구축

3.2.1 CBR모델의 구조

본 연구에서 구축한 흙막이공법 선정을 위한 CBR모델의 구조는 그림9와 같이 구성하였다(Yau, 1998). 모델 구축에 사용된 도구는 ESTEEM™ Development Tool을 이용하였다. 모델은 크게 세부분으로 구성되어 있는데, 사용자 인터페이스(입력, 출력)와 CBR 시스템으로 구성되어 있다.

3.2.2 사례별 특성변수 정의

흙막이공법 사례의 특성을 정의하기 위한 변수를 정의하기 위하여 흙막이공법 선정 시의 고려요소에 대한 전문가 설문조사 결과분석과 자료수집의 가능성 등을 고려하여 표2와 같이 각 사례별 특성변수를 정의하였다. 각 사례별로 표에서와 같이 10개의 변수로 이루어져 있으며, ‘굴착면적’, ‘굴착심도’ 등 8개의 수치 데이터(Numerical Data)와 ‘대지형상’과 ‘인접건물 수’는 문자열 데이터(Alphabetical Data)로 구성되어 있다. 사례기반 추론기법의 장점 중의 하나가 이러한 문자형 데이터도 처리가 가능하다는 것이다.

그림10은 흙막이공법 선정 CBR모델에서 특성변수들을 정의하고 있는 화면이다. 과거의 사례를 사례베이스에 입력하기 위해서는 이와 같이 특성변수에 대해서 먼저 정의를 하도록 되어 있다. 각 변수별로 데이터의 형태에 따라 ‘Text’와, ‘Numeric’으로 구분하여 설정하도록 되어 있다.

표 2. 흙막이공사 사례별 특성변수 정의

변수명	타입(단위)	변수의 정의
굴착면적	수치(m^2)	굴착하는 면적
굴착심도	수치(m)	굴착하는 깊이
대지형상	단어	사각형, 다각형, 부정형으로 구분
대지의 고저차	수치(m)	지표면의 최고와 최저의 높이차
인접건물 수	단어	현장과 인접한 구조물이 있는 면수
인접건물 위치	수치(m)	인접구조물과의 최소거리의 평균
지하수위	수치(m)	지하수가 나타나는 최소 깊이
토사종 두께	수치(m)	굴착심도 내에서 맵토부터 풍화토 까지의 두께
풍화암층 두께	수치(m)	굴착심도 내에서 풍화암층의 두께
연암층의 두께	수치(m)	연암층 이상의 두께

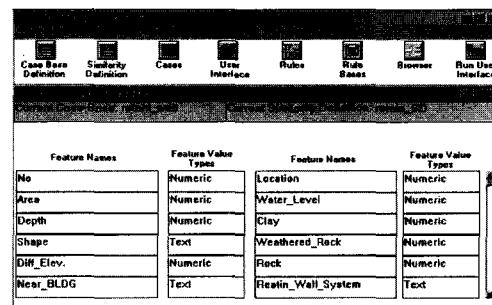


그림 10. 모델의 특성변수 정의

3.2.3 모델에서의 사례입력

본 연구에서 구축된 CBR모델의 사례베이스에 과거의 실적데이터를 입력하기 위해서 그림11과 같은 입력창을 통하여 사례를 입력할 수 있다. 또한, 본 연구에서 모델 구축 도구로 사용한 ESTEEM에서는 이러한 입력을 Microsoft®사의 Excel 파일을 이용하여 여러 개의 사례를 동시에 입력할 수 있도록 되어 있다.

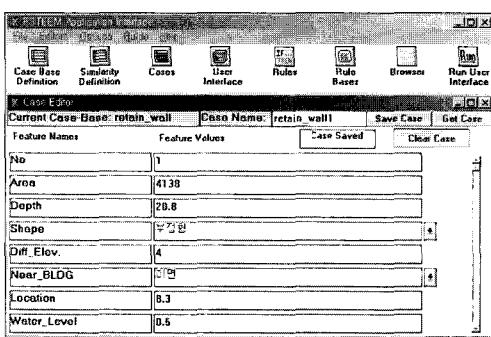


그림 11. 모델의 사례 입력

3.2.4 유사성 평가

CBR을 이용한 지식기반 시스템에서는 주어진 문제를 해결함에 있어서 과거의 유사한 사례를 탐색하여 문제의 해결에 이를 활용하는 것이 기본적인 아이디어이다. 따라서 이와 같이 사례베이스에 저장된 사례들 중에서 주어진 문제와 유사한 사례를 찾아내기 위해서는 유사성을 평가하는데 사용되는 것이 유사성 함수(Similarity Function)이다. 본 연구에서 설정한 유사성 평가 함수는 다음 식(1)과 같다.

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i \times SS_i)}{\sum_{i=1}^n (W_i)} \times 100 \quad (1)$$

식(1)에서 S는 각 사례의 ‘유사성 평가치’를 의미하는 것으로 본 연구에서는 0~100까지의 값을 가질 수 있도록 하였다. W는 사례의 변수별 가중치⁶⁾, SS는 각 변수에 대한 유사성 평가치를 의미한다(그림 12참조).

앞의 표1과 같이 본 연구에서 설정한 변수들의 데이터 형식에는 수치 데이터와 문자열 데이터로 구분되어 있다. 따라서 각 변수에 대한 유사성 평가치(SS)도 구분하여 정의하는 것이 필수적이다.

따라서 우선 수치 데이터에 대해서는 다음의 식(2)를 만족하면 ‘1’을 부여하고, 그렇지 못한 경우는 ‘0’으로 처리하도록 하였다. 식(2)에서 V_{case} 는 사례베이스에 저장된 사례의 해당 변수

값을 의미하고, $V_{problem}$ 은 새로 주어진 문제의 해당 변수 값을 의미한다. 또한, M%는 기존의 연구들과 ESTEEM에서 추천하고 있는 10%로 설정하였다.

$$SS = | V_{case} - V_{problem} | \leq V_{problem} \times M\% \quad (2)$$

문자열 데이터에 대한 유사성 평가치(SS)는 완전히 일치하는 경우에는 ‘1’을, 그렇지 않을 경우에는 ‘0’으로 산출하였다.

ESTEEM Similarity Definition Editor			
Current Case-Base: retain_wall		Current Similarity Definition: retain_SD	Threshold 50 %
Automatic Weight Generation			
Selected	Feature Name	Type of Feature Matching	Weight/Rule Base Name
<input type="checkbox"/>	No	Range : 15	0.050148593883145
<input checked="" type="checkbox"/>	Area	Range : 15	0.237260380740076
<input checked="" type="checkbox"/>	Depth	Exact [case indifferent]	0.246916232120685
<input checked="" type="checkbox"/>	Shape	Exact [case indifferent]	0.074366746453065
<input checked="" type="checkbox"/>	Diff_Elev.	Range : 15	0.032650201052954
<input checked="" type="checkbox"/>	Near_BLDG	Exact [case indifferent]	0.032650201052954

그림 12. 각 변수별 가중치 산출

3.2.5 사례 조회

그림13은 흙막이공법 선정을 위한 CBR모델에서 주어진 사례와 사례베이스의 사례들 간의 유사성 평가를 통하여 사례를 조회한 결과를 보여주고 있다. 유사성 평가치가 높은 순으로 정렬하여 출력하도록 되어 있다. 그림과 같이 유사성 평가값, 사례번호, 흙막이공법 등을 보여주고 있다.

ESTEEM Case Retrieval					
Change Retrieved Attributes		Retrieve	Adaptation	Integrate New Case	Help
Area	2317				
Depth	15				
Shape	사각형				
Diff_Elev.	0				
Near_BLDG	평면				
Location	0				
Retrieved Case List					
Score	Case Name	No	Retain_Wall_System		
85	retain_wall03	83	H_SCW		
77	retain_wall78	78	Jet_Gr		
70	retain_wall20	20	CIP		
69	retain_wall57	57	H_SCW		
65	retain_wall107	107	CIP		
65	retain_wall115	115	H_SCW		
64	retain_wall64	64	H_SCW		
59	retain_wall25	25	Jet_Gr		
57	retain_wall101	101	Jet_Gr		
56	retain_wall35	35	CIP		

그림 13. 사례조회 결과

4. 사례연구

4.1 사례개요

본 연구에서 수집한 129개의 흙막이공사 자료 중에서 119개의 자료를 활용하여 각 변수에 대한 가중치를 계산하여 모델을 구축하였다.

또한 모델을 평가하기 위하여 표3과 같이 임의로 10개의 사례를 선정하였다.

6) 각 변수의 가중치는 ESTEEM에서 제공하고 있는 가중치 산출방식인 경사하강법(Gradient Descent Method)을 적용하여 계산하였다.

표 3. 모델 평가용 사례 개요

No	굴착 면적	굴착 심도	대지 형상	고저 차	인접 건물 수	인접 건물 위치	수위	토사 층 두께	풍화 임 두께	연암 이상 두께	흙막이 공법
1	7,324	26.1	다각형	2	이면	7	0	8.8	1.2	14	Jet_Gr
2	1,794	35	사각형	0	이면	5.5	7.5	11.1	1.9	1.2	Jet_Gr
3	5,409	29.7	사각형	0	삼면	5.6	7.4	9	0.6	0	Jet_Gr
4	1,433	22	부정형	1.5	이면	3.5	2	19.5	2	0	SW
5	4,400	15.0	다각형	1.8	일면	7.5	3.7	4.8	2.11	1.5	H_SCW
6	1,663	14.9	다각형	0	일면	3	0.4	9.2	3.9	0.5	SCW
7	559	13.7	부정형	0	삼면	3.2	5.4	12.9	0.1	0	H_SCW
8	1,775	31.3	다각형	0	이면	3	1.8	7.2	0	21.3	LW_Gr
9	2,317	15	사각형	0	일면	3	4.5	9.3	0	0.4	H_SCW
10	1,748	23.5	사각형	0	이면	6.5	8.2	13.8	3	6	Jet_Gr

4.2 가중치 산출

검증용 데이터를 제외한 119개의 흙막이 자료를 입력하여 CBR모델을 실행한 결과 각 변수별로 가중치는 표4와 같은 결과를 보였다. ‘대지형상’(0.247), ‘굴착심도’(0.237) 등의 변수들이 중요도가 높은 것으로 나타났고, ‘지하수위’(0.00858)는 가장 낮은 값을 보였다. 본 연구에서 구축된 모델의 가중치 산출은 ESTEEM에서 제공하고 있는 경사하강법에 의해 계산된 결과이다.

표 4. 변수별 가중치 산출 결과

변수명	가중치 계산값
굴착면적	0.06015
굴착심도	0.23726
대지형상	0.24692
고저차	0.07437
인접건물 수	0.03266
인접건물 위치	0.08444
지하수위	0.00858
토사층 두께	0.11792
풍화암층 두께	0.13657
연암 이상 층 두께	0.07148

4.3 사례 조회

모델을 평가하기 위해서 표3의 10개의 Test Case를 이용하여 기존의 119개 사례가 저장되어 있는 사례베이스로부터 유사성을 평가하여 사례를 조회한 결과 표5와 같은 결과를 보였다. 유사성 평가값이 60이상인 사례를 조회하도록 설정하여 얻어진 결과로서 10개의 Case를 조회한 결과 2~9개의 유사사례

(Acceptable Solution)를 출력하였다.

괄호속의 숫자 중 앞의 유사성 평가치이고 뒤의 숫자는 사례 번호를 의미한다. 표에서 정리된 공법들은 주어진 문제(Test Case)와 유사성이 높은 순으로 정리되어 있다.

4.4 모델의 평가

표5에서 조회된 공법들은 모두 각 사례에 적용이 가능한 공법으로 분석할 수 있다. 또한, 이 중에서 유사성이 가장 높은 공법을 모델에서는 사례와 가장 유사한 공법으로 추천(Recommendable Solution)하고 있다.

10개의 Test Case에 대한 모델의 조회결과를 분석해 보면, 유사사례(Acceptable Solution)는 10개의 사례에서 모두 정확하게 실제로 시공된 공법과 같은 공법을 출력하여 100%의 정확도를 보였다. 또한, 추천사례(Recommendable Solution)에서는 10개의 사례 중에서 8개의 사례를 정확하게 조회해 줌으로써 80%의 정확도를 보여 주었다.

흙막이공법의 선정은 복잡한 많은 고려요소와 불확실한 데이터를 토대로 이루어지는 점을 고려한다면, 매우 정확하게 예측 할 수 있는 것으로 생각된다. 또한, 최종적인 공법의 결정은 이러한 결과를 토대로 하여 본 연구에서 제외한 정성적인 요소만 추가적으로 고려하여 책임있는 전문가의 몫이라 할 수 있다. 다만, 이러한 실적자료에 의한 객관적인 참고자료를 제공함으로써 기존의 경험적인 직관에만 의존한 의사결정 과정을 좀더 합리적 인 방향으로 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서 구축한 흙막이공법 선정을 위한 CBR모델은 흙막이공법에 대한 의사결정을 지원할 수 있는 도구로서 유효성이 있는 것으로 사료된다.

5. 결론

건축공사가 대형화됨에 따라서 대규모의 지하공간을 구축하기 위한 흙막이공사의 중요성도 점차 커지고 있다. 이러한 상황에서 대규모 건축공사에서 적정한 흙막이공법의 선정은 건축공

표 5. CBR모델의 조회 결과

(진한글씨 : Recommendable Solution)

실제공법	공법조회결과 (점수-사례번호)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Jet_Gr	Jet(63-109)	Jet(61-110)	SCW(60-33)	LW(60-56)					
Jet_Gr	SCW(77-92)	Jet(69-12)	Jet(68-17)	H(66-13)	H(66-28)	SCW(63-122)	SCW(61-30)	Jet(60-49)	H(60-73)
Jet_Gr	Jet(77-3)	Jet(72-15)	Jet(69-27)	Jet(68-97)	Jet(68-112)	Jet(66-21)	Jet(63-61)		
SW	SW(64-127)	SW(62-1)	Sw(62-11)	SW(62-103)					
H_SCW	H(61-93)	H(60-37)							
SCW	Jet(76-5)	SCW(68-116)	LW(61-38)	SCW(60-104)	H(60-117)				
H_SCW	H(70-67)	SW(63-50)	CIP(60-43)	SW(60-90)					
LW_Gr	L(77-22)	J(66-55)	J(66-109)	J(66-118)	L(64-119)	J(61-72)	J(60-54)	J(60-114)	
H_SCW	H(85-83)	J(77-78)	CIP(70-20)	H(69-57)	CIP(65-107)	H(65-115)	H(64-64)		
Jet_Gr	J(71-96)	J(69-106)	J(68-97)	J(63-63)	J(61-68)				

사의 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 사례기반추론기법을 활용한 흙막이공법 선정 모델을 구축하여 제안하고, 이를 실제 시공된 사례를 이용하여 모델을 평가하였다. 사례연구 결과 유사사례(Acceptable Solution)와 추천사례(Recommendable Solution)에서 비교적 정확한 결과를 도출하는 것으로 나타났다.

흙막이공법의 선정과 같이 의사결정과정에서 고려해야 할 요소가 많고, 이러한 영향요소를 정량화하기 어려운 분야에서는 본 연구에서 활용된 사례기반추론기법이 매우 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

최근, 건설관리 분야를 비롯한 복잡한 의사결정과정을 지원하기 위한 지식기반시스템들에 대한 연구들이 활발하게 진행되고 있지만, 규칙기반 전문가시스템, 인공신경망, 통계학적 방법 등의 기법들은 대부분 하나의 결과만을 출력해주는 한계를 가지고 있다. 그러나 사례기반추론 모델은 유사사례를 통하여 적용 가능한 복수의 대안들은 출력해 줄 수 있기 때문에 이러한 복잡한 의사결정에 대한 지원시스템으로서의 유효성이 매우 큰 것으로 판단된다. 또한, 절대적인 대안을 결정하는 것이 거의 불가능한 이러한 분야에서는 가능한 복수의 대안을 제시하고 최종적인 판단은 책임있는 전문가의 몫으로 두는 것이 좀 더 현실적인 방안이 될 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 김재엽, 건축공사 흙막이공법 선정의 합리화를 위한 신경망 시스템 구축에 관한 연구, 고려대 박사학위논문, 2002.2.

2. 김재엽외, 건축공사 흙막이벽체 공법 선정을 위한 신경망 시스템 개발 연구, 대한건축학회논문집 구조계, 2002.10.
3. 김재엽외, 신경망을 이용한 흙막이지보공 공법 선정모델 개발에 관한 연구, 대한건축학회논문집 구조계, 2003.5.
4. 박우열, 유전자 알고리즘을 이용한 철근공사 최적 물량산출 모델 및 관리시스템 개발, 고려대 박사학위논문, 2003.2
5. 예태곤, 사례기반 건설안전 관리시스템의 추론 모형, 서울 대 석사학위논문, 1998.8.
6. 박세근외, CBR을 이용한 터키공사 실시설계관리 방안, 대한건축학회논문집 구조계, 2003.7.
7. 김진욱, 사례기반 설계사례 검색시스템 개발에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 1997.11.
8. 이창남, 건축구조 뿌리에서 새순까지 I, 기문당, 1998.5.
9. 이지은, 사례 기반 시스템의 이론적 고찰 및 구현 현황, 상명 대학교 경영 연구소, 경영학연구 제6호, 1998.12
10. 嘉納成男 外, 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, 1998.8.
11. Aamodt, A., and Plaza, E. Case based reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches, AI Communications. IOS, Vol. 7(1), pp. 39-59. 1994.
12. Watson, I., Case-Based Reasoning: A Review, Cambridge University Press, The Knowledge Review, Vol. 9, No. 4, p.p. 355-381, 1994.
13. Yau N. & Yang J., Applying case-based reasoning technique to retaining wall selection, automation in construction 7, 1998, pp. 271~283.
14. Kolodner j., Case-Based Reasoning, Morgan Kaufmann, 1993.

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. However, a frequent change order during construction happens in Korea where different performers design and construct separately, so there is a great possibility for the change order to affect the aspects of construction cost and period which normally define the outcome of construction work. Therefore, the study has suggested the rational retaining wall method by developing the case-based reasoning model as a tool to choose a proper retaining wall method applied at the stage of selecting the earth retaining method. Applying the 'CBR 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 work.

Keywords : retaining wall methods, case-based reasoning, selection model