

# 인공신경망 기법을 활용한 굴착공사 흠막이 변위량 예측에 관한 연구

## A Study on Neural Networks Forecast Model of Deep Excavation Wall Movements

신 한 우\*  
Shin, Han-Woo

김 광 희\*\*  
Kim, Gwang-Hee

김 용 석\*\*\*  
Kim, Young-Seok

### Abstract

To predict deep excavation wall movements is important in the urban areas considering the cost and the safety in construction. Failing to estimate deep excavation wall movements in advance causes too many problems in the projects. The purpose of this study is to propose the forecast model of deep excavation wall movements using artificial neural networks. The data of the Deep Excavation Wall Movements which were done form Long research is used of Artificial neural networks training and apply the real construction work measured data to the Artificial neural networks model. Applying the artificial neural networks to forecast the deep excavation wall movements can significantly contribute to identifying and preventing the accident in the overall construction work.

키워드 : 흠막이 변위량, 인공신경망, 굴착공사,

Keywords : Retaining Wall Movements, Artificial Neural Networks, deep excavations work,

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 목적

최근 도심지에서의 건축 공사 중 지하 굴착 공사는 인접 대지와 최대한 근접하여 깊게 굴착되고 있다(김재엽 외 2인, 2002). 대심도 굴착이나 인접 굴착은 인접구조물의 균열이나 부등침하 등의 원인(신진환, 2004)이 되어 원활한 공사 진행뿐만 아니라 해당공사장 인접시설물의 안전에 많은 영향을 줄 수 있는 요소가 된다. 결국 이러한 현상은 공기 지연 및 공사비 증가의 결과를 가져올 수 있다.

굴착으로 인한 문제점을 사전에 예방·보완하기 위해 실제 건축 시공 현장에서는 계측관리를 시행하고 있는데, 지반은 토질 특성의 영향, 흠막이벽의 강성, 인접건물에 대한 영향, 흠막이 지지공법, 굴착 과정, 토질 압축 등에 따라 흠막이 벽체의 변형을 일으킨다. 따라서 지하 터파기 현장의 경우 이러한 점을 보완하며, 사전예측을 하기 위해서 현장 계측을 실시하고 있다.

대규모 건축공사 현장에서 지하 터파기 공사 중에 흠막이 계측을 실시하는 것은 현재 일반적인 현상이다. 그리고 계측 방법 또한 인력에 의한 수동계측, 그리고 상시 자동계측뿐만 아니라 유비쿼터스 시스템을 활용한 무선계측이 상용화되어 사용되고 있다. 이러한 계측 방법 변화에 따라 계측 데이터에 대한 활용

이 용이해졌으므로 수집된 데이터를 활용하여 향후 흠막이 설계 또는 관리에 적용하는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 수집된 흠막이 계측 데이터와 인공신경망 기법을 활용하여 흠막이 변위를 예측할 수 있는 인공신경망 기법을 활용한 흠막이 변위 예측 시스템을 제안하고자 한다.

### 1.2 연구의 방법 및 절차

본 연구는 크게 세 가지로 구분하여 그림 1과 같이 연구를 진행하고자 한다. 첫째는 흠막이 관련 실적 데이터를 수집한다. 기존에 실시된 흠막이 계측 자료를 수집하여 계측항목 등을 알아보고, 계측항목 별로 어떤 관리 기준치를 가지고 있는지 조사하여 인공신경망 모델을 구축하는데 활용한다. 둘째는 흠막이 변위 예측을 위한 인공신경망 모델을 구축한다. 흠막이 변위 예측을 위한 신경망 모델을 구축하기 위해서 신경망 구조, 각종 매개변수 등을 설정한다. 셋째는 구축된 인공신경망 모델을 실제 데이터에 적용하여 활용 가능성을 확인한다.

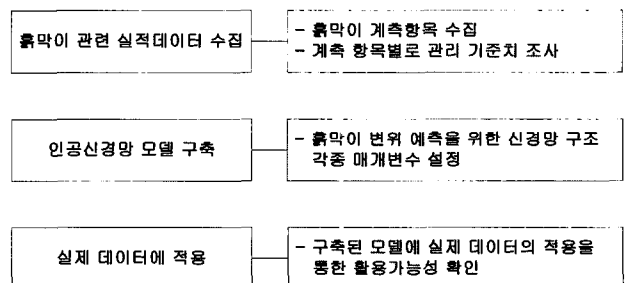


그림 1. 연구의 방법 및 절차

\* 목포대학교 건설공학부 건축공학전공, 박사과정

\*\* 목포대학교 건설공학부 건축공학전공 조교수, 공학박사

\*\*\* 목포대학교 건설공학부 건축공학전공 교수, 공학박사

이 연구는 2005년도 목포대학교 교내 연구비 지원에 의한 결과임.

## 2. 문헌고찰

### 2.1 국내·외 기술동향

#### 2.1.1 국내 기술동향

국내의 흠막이 계측 방법은 현재 기술자가 직접 일정한 주기로 현장을 방문하여 계측을 실시하는 수동계측 방법이 주를 이루고 있다. 그런데 최근 도심지에서 시공되고 있는 고층건축물의 지하터파기 공사가 주요구조물에 인접하여 시행되면서 몇몇 현장에서 자동화 계측 시스템이 부분적으로 도입되고 있다. 흠막이 공사는 흠막이 벽체의 자체 안정성도 중요하지만 인접건물의 안정성 확인이 더더욱 중요하다. 특히 민원에 적극적으로 대처하기 위해서는 인접건물의 안정성을 확인할 수 있는 실시간 계측 시스템의 필요성의 대두된다고 할 수 있다.

이러한 요구에 대응 가능하도록 국내 인터넷 보급 및 활용이 크게 늘면서 인터넷 기반 계측관리 시스템을 이용한 계측관리 시스템이 적용이 증가하고 있으며 최근에는 무선인터넷 기술과 연계하여 모바일 컴퓨팅을 이용한 계측관리 기술이 일부 국내 회사에서 개발되어 경제적 실용화 방안을 모색 중에 있다. 흠막이 계측에 인터넷 기술과 모바일 컴퓨팅을 적용할 경우 실시간 계측이 가능하다는 장점과 함께 측정된 데이터의 저장 및 관리가 용이하여 수집·저장된 계측 데이터를 활용하여 흠막이 설계 및 관리에 활용하여 흠막이 공사의 경제성과 안정성을 확보하는데 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 2.1.2 국외 기술동향

국외 흠막이 계측관리 분야의 기술동향을 일본, 미국 및 유럽으로 나누어 살펴보면 다음과 같다. 일본의 경우 도심지 공사나 주요구조물에 인접하여 계측수행 시 대부분 자동 계측방법의 채용과 더불어 단계별 경보 시스템 도입하고 있다. 또한 인접구조물의 변위를 실시간으로 모니터링을 위해서 특수계측 시스템(연통관식 침하계, 자동 광파측량 시스템 등을 이용한 변위 계측 등) 등을 개발하고 있으며, 이를 실용화하여 적용하고 있다. 특히 오사카 토질연구소 등에서는 인터넷을 이용한 계측시스템도입으로 시간 및 공간적 제약없이 흠막이 구조물에 대한 실시간 모니터링을 실시하고 있다.

미국 및 유럽권의 경우 도심지 굴착에 따른 인접건물의 손상 평가에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있는데, 예를 들면 워싱턴이나 시카고 지하철 공사 등에서 자동화 계측 시스템 도입되어 적극 활용되고 있다. 또한 인접건물의 변위를 모니터링할 수 있는 액체침하계, Track monitoring 시스템, E.L. Beam 등의 특수계측시스템의 개발 및 도입이 늘어나고 있다. 프랑스의 Soldata 계측전문회사에서는 인터넷 및 자동화를 이용한 실시간 모니터링 시스템을 도입하여 도심지 굴착에 따른 인접 구조물의 안정성을 확보하고 있다.

해외의 흠막이 공법선정과 변위 계측은 국내의 기술동향과 비슷한 것으로 사료된다. 다만 해외에서는 흠막이 공법을 선정하는데, 전문가 시스템과 같은 기법을 활용하여 흠막이 기법을 선정하는 연구(Adam et al., 1993; Sinha et al., 1994)와 인공지능 기법(artificial intelligence) 중의 하나인 사례기반추론(case-based reasoning)기법을 적용하여 적정 흠막이 공법을 선

정하는 연구가 이루어 졌다.

흠막이 계측에 관한 연구 또한 국내와 비슷한 시기에 유사한 방법을 적용하여 흠막이를 계측하는 연구가 진행되었다. 즉 2000년대 초에 계측 시스템의 전산화에 대한 연구가 진행되었다. 국내의 연구는 단지 전산화 모델에 관한 연구가 진행되는데 반해서 해외는 GIS를 이용하여 흠막이 변위를 계측하는 시스템에 대한 연구가 진행되었다는 점이 약간 다를 뿐이다.

따라서 해외의 흠막이 공법 선정과 흠막이 변위 예측에 대한 연구는 국내와 다른 점은 국내보다 좀 더 일찍 연구가 진행되었고, 흠막이 공법을 선정하는데 신경망 기법을 적용한 것이 아니라 동일 인공지능기법 범주에 있더라도 좀 더 지식기반 쪽에 근접한 전문가 시스템이나 사례기반 추론기법을 적용하였다는 점이다.

### 2.2 흠막이 분야에 인공지능 기법의 적용

흠막이 계측 분야에 인공지능기법의 적용은 해당 현장의 조건과 현장과 관련된 현장외적인 여러 조건을 고려하여 흠막이 공법을 선정하는데 인공지능 기법을 적용한 연구, 즉 데이터 마이닝(data mining) 기법을 이용하여 기존에 설계 또는 시공된 흠막이 데이터 자료에서 전문가의 지식(knowledge)을 추출하여 신규 현장의 흠막이 공법 선정에 활용하는 연구가 주를 이루고 있다. 흠막이 공법의 선택에 적용된 데이터 마이닝 기법으로는 인공신경망(artificial neural networks)과 사례기반 추론(case-based reasoning)기법이 주를 이루고 있다. 국내에서 흠막이 공법 선정에 인공신경망 기법이 적용된 연구로는 인공신경망을 이용한 흠막이 공법을 선정(김광열 외 2인, 2000), 흠막이 벽체 선정(김재엽 외 2인, 2002) 그리고 흠막이 지보공 선정(김재엽 외 2인, 2003)등의 연구가 있으며, 또한 사례기반 추론을 이용한 적정 흠막이 공법을 선정(김재엽 외 3인, 2004)등이 있다. 흠막이 계측에 관련된 기존 연구로는 김광열 외 4인(2001)의 연구에서 흠막이 계측을 전산화하는 모델을 제시하여 현장관리자에게 신속한 의사결정 정보를 제공할 수 있도록 제시한 논문이 있다.

기존의 연구를 분석하여 보면 데이터 마이닝 기법을 이용하여 적정한 흠막이를 선정하거나 아니면 흠막이 계측을 전산화하는 방안을 제시한 연구로 국한돼 있다. 그러나 실제로 흠막이는 당초 적정공법의 선정도 매우 중요하나 선정된 흠막이 공법을 프로젝트의 현황에 맞게 설계하고 각 구성요소를 예측하여 관리하는 것이 더욱더 중요하다. 왜냐하면 흠막이는 흠막이 자체가 가지고 있는 요인보다는 토질과 관련된 요소와 공사 진행 순서나 방법에 따라 변화하기 때문이다.

따라서 해당 프로젝트와 그 주변 환경을 고려한 적정의 흠막이 공법과 더불어 공사진행에 따라 변화되는 흠막이의 변위를 예측하여 실측치와 대비를 하고, 이렇게 대비한 데이터를 데이터베이스에 저장하여 향후 흠막이 설계 시에 지식(knowledge)으로 활용함으로써 흠막이의 과다설계와 흠막이의 붕괴와 같은 안전사고 또한 미연에 방지할 수 있는 시스템이 필요한 것으로 사료된다.

### 2.3 기존연구 고찰

본 연구에서 수행하고자 하는 연구와 관련이 있는 국·내외 연구를 간략히 요약하면 표 1, 2와 같다. 국내 연구의 대부분은 계측 방법에 대한 것으로 계측에 IT기법을 적용하는 것에 대한 연구가 주를 이루고 있다. 그리고 국외 연구의 경우의 경우도 대부분 인터넷과 같은 IT기법을 활용하여 계측을 하는 것에 대한 연구가 주를 이루고 있으며, 본 연구와 유사한 연구는 Jan et al.(2002)이 인공신경망을 활용하여 흙막이 변위 검증에 하는 연구를 진행한 바 있다.

표 1. 국내의 흙막이 계측관련 연구

연구자	내 용
박성재 외 1인	흙막이 공사를 계측에 의한 정보화시공(Realtime Construction control system)의 관리 방법에 대한 연구로서 흙막이 설계에 대한 각종 지침이나 기준 등을 조사하여 자료 분석과 굴착시의 지반거동에 대한 시스템을 개발함
오정환 외 3인	역해석을 통해 다음 굴착단계의 지반거동을 예측하고 안정성을 판단하는 예측관리기법을 도입한 종합관리 시스템 개발
SK건설	터널 구조물의 유지관리를 위해 구조물의 안정성을 사전에 진단하는 원격관리 시스템 개발
장기태 외 2인	현장에 설치된 엄지말뚝에 광섬유센서, vibrating wire, 경사계를 설치하여 사면 내 엄지말뚝의 거동 분석
김광열 외 4인	흙막이 계측을 전산화하는 모델을 제시하여 현장 관리자에게 신속한 의사결정 정보를 제공할 수 있게 하였음
김민석 외 3인	그래픽을 활용한 전산화 모델을 제시하여 건축 시공자에게 빠른 의사결정 수단을 제공
김범기 외 4인	흙막이 공사 시 PDA, 인터넷, 센서기술(sensing technology), 데이터 웨어하우스(data warehousing) 등과 같은 IT를 접목한 통합계측관리 시스템 구축에 관한 연구

표 2. 해외의 흙막이 계측관련 연구

저 자	내 용
Jan et al. (2002)	흙막이 지지체의 붕괴 또는 인접 구조물의 피해를 예방하기 위하여 흙막이 계측 데이터를 신경망에 적용하여 건설수행 상황을 평가함
Cheng et al. (2002)	GIS (Geographic Information System) 기반으로 굴착 환경을 조절하고 모니터링 하여 건설 공사 관리자의 의사 결정에 도움을 주고자 하는 시스템 고안
Ding et al. (2000)	광산 채굴에 있어 경사 변위에 대한 자동 계측 시스템을 개발하여 수동 계측과 비교
Fuhr (2000)	계측을 위한 센서를 매설하여 경제적인 무선 센싱 시스템의 구축
Ballard and Chen (1997)	인터넷을 기반으로 하여 기존의 비 인터넷 기반의 시스템과의 비교를 통해 인터넷 기반 모니터링 시스템의 가능성 제시

### 3. 인공 신경망기법

신경망을 적용하는데 있어서 기존의 연구(Bode, 1998; Bode, 2000)에서 다음과 같은 장점과 단점을 지적하고 있다. 장점으

로 첫째 신경망 계산 기술은 원가에 가장 많은 영향을 미치는 변수들의 수학적 관계를 찾을 필요성이 없다, 둘째 신경망기법은 원가에 영향을 미치는 변수의 수에 제한이 없을 뿐만 아니라 스스로 학습하고 변수간의 관계를 구성하는 능력이 있기 때문에 원가 예측식의 모델링에 있어서 적절한 변수를 선정할 필요가 없다, 셋째 신경망은 학습을 시행하기 전에 회귀식과 같은 식에 대해서 가정할 필요가 없다.

신경망은 위와 같은 장점에도 불구하고 다음과 같은 단점들이 지적되고 있다(Hegazy et al., 1994; Hegazy and Moselhi, 1994). 첫째 신경망은 추론과정에 대한 설명이 부족한 일종의 블랙박스(black box)이다, 둘째 네트워크의 구조를 설계하고 매개변수를 설정하는 직접적인 접근방법이 없다. 따라서 이것은 시행착오적인 방법이 필요하다. 이러한 방법은 최적의 신경망구조와 그 매개변수를 결정하는데 많은 시간과 노력이 필요하다.

### 3.1 인공신경망

인공신경망(artificial neural networks)은 인간의 뇌를 모델링하여 인간의 학습능력을 모방한 것으로 인공 뉴런(그림 2 참조)들의 망으로 구성돼 있고, 각 그룹으로 이루어진 뉴런들은 그림 3에 제시된 바와 같이 세 가지 형태의 층(layer), 입력층, 은닉층, 출력층에 위치하게 된다. 세 층에서 각 층의 역할을 살펴보면, 첫째 입력층의 뉴런들은 외부로부터 정보를 신경망으로 받아들이고, 또한 받아들인 정보를 은닉층 또는 출력층으로 내보내는 역할을 하며, 둘째 은닉층의 뉴런들은 모두가 입력층과 출력층 사이에 위치하는데, 입력층에서 받아들인 정보를 계산하여 출력층으로 내보내는 역할을 한다. 그리고 셋째 출력층의 뉴런들은 입력층 또는 은닉층에서 받아들인 값을 계산하여 인공신경망의 결과 값을 외부의 사용자에게 제공하는 역할을 한다. 각 뉴런은 다른 뉴런의 출력 값을 입력 값으로 받아서 뉴런의 출력 값을 계산하게 되는데 이러한 뉴런들은 상호 연결돼 있고, 연결된 강도를 가중치(weight)라 한다.

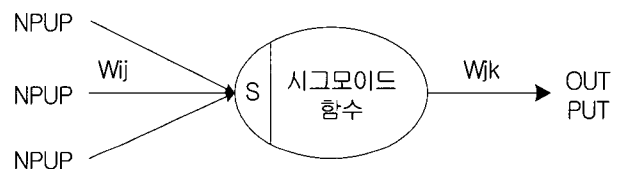


그림 2. 뉴런(P.E)의 구조

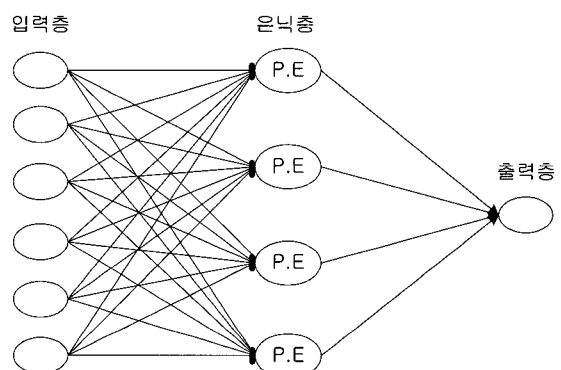


그림 3. 신경망 구조

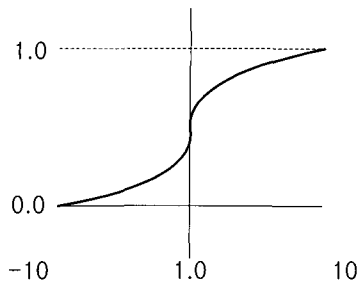


그림 4. 시그모이드 함수

인공신경망에서 뉴런은 다른 뉴런으로부터 받은 입력들의 가중치 합을 계산하고 계산된 값을 전이함수를 통하여 출력하는데, 전이함수로는 시그모이드(그림 4 참조), 선형 또는 지수 함수가 있고 본 연구에서는 시그모이드 함수를 전이함수로 적용하였다. 인공신경망의 전이함수(Linoff and Berry, 1997) 역할과 학습알고리즘에 따라서 각각 역방향(feedback)과 순방향(feed forward), 선형(linear)과 비선형(nonlinear), 그리고 교사 학습(supervised learning)과 비교사학습(unsupervised learning)으로 구분된다. 가장 일반적으로 이용되는 신경망은 다층 퍼셉트론(multi-layer perceptron)이다. 다층 퍼셉트론은 교사 학습이고, 학습알고리즘은 오류 역전파 알고리즘을 사용한다(Hegazy et al., 1994).

### 3.2 인공신경망의 건설분야 적용

현재까지 많은 연구를 통해서 인공신경망이 예측, 분류 등의 분야를 학습하고 예측하는데 그 우수성이 증명되었으며, 건설분야에서도 신경망 적용 가능성에 대한 연구가 진행되어 Moselhi et al.(1992)의 연구에서 표 3과 같은 인공신경망 적용 가능 분야를 제시하였다.

표 3. 인공신경망의 적용 가능 분야

분야	적용 가능한 분야의 예
대안의 선정	1) 가능성 있는 도급자나 설계자의 선정 2) 전반적인 계약방식의 선정 3) 조직의 설계 4) 장비 선정 5) 거푸집 형식 선정 6) 기초 형식의 선정
판단과 분류	1) 건설 프로젝트의 공정과 원가의 매개변수 모델들의 개발 2) 프로젝트에서 잔여 작업의 공기와 원가 예측 3) 진행 프로젝트의 성과 분류 4) 프로젝트 입찰을 위한 Markup율의 판단 5) 수익, 클레임, 그리고 설계변경에 관한 프로젝트 분류 6) 원가, 공정, 또는 자원의 초과를 추정

## 4. 인공신경망 적용 예측 시스템

### 4.1 흠막이 데이터

인공신경망 기법에 흠막이 예측 데이터를 이용하여 흠막이 변위예측을 통하여 검증하는 연구를 Jan et al.(2002)가 수행하였다는 것을 앞에서 언급한 바 있다. 그러나 연구에서 입력변수 및 입력데이터 또는 데이터베이스에 관한 내용은 부족한 것으로 사료된다. 흠막이 예측자료에 대한 데이터베이스에 관한 연구는 Long(2001)에 의해서 진행되었는데, Long은 본인의 연구에서 전세계에 걸쳐 있는 흠막이 공사에서 수집한 흠막이 공사에서 발생하는 지반의 변위 데이터 300개를 제시하였다. Long의 연구에서 제시된 흠막이 데이터의 변수로는 위치, 지층의 구성, 흠의 강도, 흠막이 높이, 상부 연약층의 높이, 흠막이 벽체의 종류, 흠막이 벽체의 강성, 흠막이 벽체 지지 형식, 엄지말뚝 등의 간격, 지반의 수평변위, 지반의 수직변위 등이다. 표 4는 Long의 연구에서 제시한 흠막이 데이터의 일부를 나타내고 있다. 본 연구에서는 본 데이터를 활용하여 인공신경망 기법을 활용한 흠막이 변위 예측 시스템 구축하는데 활용하고자 한다.

### 4.2 인공신경망 예측 시스템의 구축

인공신경망 기법을 이용한 흠막이 변위 예측 시스템을 구축하기 위해서는 흠막이 예측 데이터, 인공신경망 시스템 등이 필요하다. 그러므로 본 연구에서 인공신경망 시스템을 구축하는데 활용한 데이터는 앞 절에서 언급한 바와 같이 Long의 연구에서 제시한 흠막이 데이터를 활용하였다. 본 연구는 인공신경망 시스템을 활용한 흠막이 변위 예측 시스템을 제안하는 것이 연구의 목표이며, 제안하는 시스템이 완성되기 위해서는 체계적인 데이터 수집을 위한 시스템의 구축과 이를 적절하게 활용하는 것이 필요하다고 하겠다.

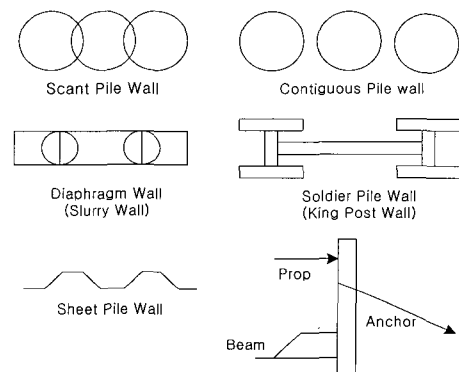


그림 5. 흠막이관련 데이터 용어정리 및 구분

표 4. 흠막이 데이터 일부(Long의 연구에서 발췌)

사례	위치	높이	연약층 높이	흠막이 형식	강성	지지형식	지지간격	수평변위	수직변위
1	Croydon	11.4	2	Secant	500,000	MultiProp	5	20	?
2	Holborn	11	3.5	Secant	1,169,950	Single prop	8.65	12	?
3	Minster Court	9	5	Diaphragm	1,280,000	Props+berm	7.3	17	?
4	Britannic hse	14	1	Diaphragm	1,280,000	Props+berm	4.67	60	34
5	Chelsea	13	4	Diaphragm	312,500	Props+berm	4.33	27	?

### 4.2.1 흠막이 계측 데이터 수집

흠막이 계측 데이터의 수집방법을 김범기와 4인(2005)의 연구를 바탕으로 정리하면 그림 5와 같다. 최근 센서와 데이터로거를 이용한 무선 데이터의 획득에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 또한 현장에서 실용화되고 있는 실정이다

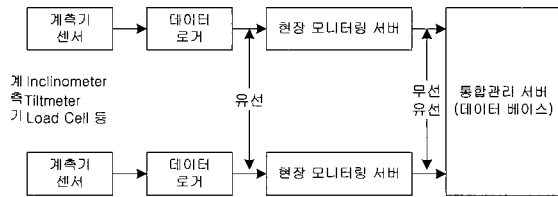
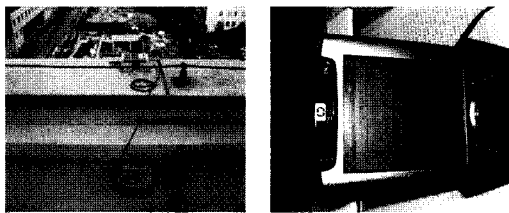
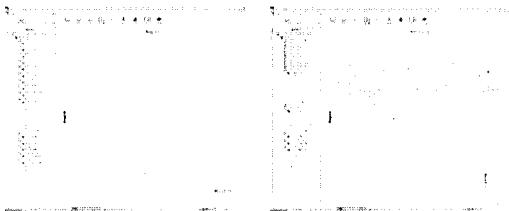


그림 6. 흠막이 계측 데이터의 수집



a. 센서와 데이터로거      b. 데이터 PDA 수신



c. 현장 모니터 수신      d. 통합관리서버 수신

그림 7. 건물 경사계 데이터 수집사례

표 5. 수집된 무선 건물경사계 계측 데이터 일부

계측일시	측정 치1	측정 치2	측정 치3	측정 치4	측정 치5	계산 값	기울기 각	기울기
2005-04-19 2:30	-0.557	3.407	0.141	3.5	0.16	-0.52	0.004	14323.95
2005-04-19 3:00	-0.558	3.407	0.14	3.5	0.16	-0.521	0.003	19098.59
2005-04-19 4:00	-0.557	3.407	0.14	3.5	0.16	-0.52	0.004	14323.95
2005-04-19 5:00	-0.556	3.406	0.138	3.5	0.15	-0.52	0.004	14323.95
2005-04-19 6:00	-0.556	3.406	0.138	3.5	0.15	-0.52	0.004	14323.95
2005-04-19 7:00	-0.557	3.407	0.14	3.5	0.16	-0.52	0.004	14323.95
2005-04-19 8:00	-0.558	3.41	0.147	3.5	0.17	-0.52	0.004	14323.95
2005-04-19 9:00	-0.559	3.412	0.15	3.5	0.18	-0.521	0.003	19098.59
2005-04-19 10:10	-0.566	3.421	0.169	3.5	0.22	-0.525	-0.001	-57295.8
2005-04-19 11:00	-0.57	3.427	0.184	3.5	0.24	-0.527	-0.003	-19098.6
2005-04-19 12:00	-0.571	3.432	0.193	3.5	0.26	-0.526	-0.002	-28647.9
2005-04-19 13:00	-0.571	3.433	0.197	3.5	0.26	-0.526	-0.002	-28647.9
2005-04-19 14:00	-0.574	3.437	0.206	3.5	0.27	-0.528	-0.004	-14323.9
2005-04-19 15:00	-0.574	3.436	0.207	3.5	0.27	-0.528	-0.004	-14323.9
2005-04-19 16:00	-0.572	3.43	0.199	3.5	0.25	-0.528	-0.004	-14323.9
2005-04-19 17:00	-0.569	3.424	0.185	3.5	0.23	-0.527	-0.003	-19098.6
2005-04-19 18:00	-0.569	3.422	0.182	3.5	0.22	-0.527	-0.003	-19098.6
2005-04-19 19:00	-0.567	3.417	0.17	3.5	0.2	-0.527	-0.003	-19098.6
2005-04-19 20:00	-0.562	3.409	0.152	3.5	0.17	-0.524	0	0
2005-04-19 21:00	-0.558	3.404	0.139	3.5	0.15	-0.522	0.002	28647.89
2005-04-19 22:00	-0.556	3.402	0.127	3.5	0.14	-0.521	0.003	19098.59
2005-04-19 23:00	-0.552	3.401	0.113	3.5	0.13	-0.517	0.007	8185.111
2005-04-20 0:00	-0.55	3.4	0.112	3.5	0.12	-0.516	0.008	7161.972

실제로 계측 데이터를 수집하는 센서와 데이터로거, 그리고 데이터가 수신된 서버에서 그래프로 표시되는 사례의 일부를 그림 7에 제시하였다. 그림 6에서 실제 구축된 상태를 사진으로 보여주는 바와 같이 모든 흠막이 계측의 데이터 수집이 가능하다.

그림 6와 그림 7과 같은 과정을 통하여 수집된 건물경사계 계측 데이터의 일부를 표 5에 제시하였다. 표 5에 나타나 있는 데이터는 전체 계측 기간 중 하루에 해당하는 데이터이며, 수집한 데이터 중의 일부에 해당된다. 표에서 확인할 것처럼 원하는 시간 간격으로 데이터의 수집이 가능하여 향후 계측 데이터의 활용성을 높일 수 있다.

### 4.2.2 신경망 시스템의 구축

본 연구에서 인공신경망 기법을 활용한 변위예측 시스템을 구축하기 위하여 사용한 소프트웨어는 Ward System Group, Inc에서 제공하는 상업용 소프트웨어 Neuroshell 2(R4)이다(그림 10 참조). 구축한 흠막이 구조는 그림 8과 같이 1개의 은닉층을 가진 구조로서 앞에서 언급한 Long의 연구에서 제시한 흠막이 자료의 일부 중 흠막이 높이, 흠막이 벽체의 종류, 지지체의 종류, 지지체의 간격 등을 입력변수로 적용하였다. 그리고 출력값으로는 흠막이 벽체의 수평 변위값으로 설정하였다. 오류역전파 인공신경망을 시행착오적인 방법으로 구축하려면 여러 가지 매개변수를 결정해야 한다. 본 연구에서 적용한 매개변수는 인공신경망에서 가장 일반적으로 적용하는 값, 즉 학습율은 0.6, 모멘텀은 0.9를 적용하였다. 그리고 정지조건은 테스트 데이터의 MSE값이 107회 이상 변화하지 않는 학습횟수를 정지조건으로 하였다(그림 9 참조). 기존자료에서 추출한 데이터 112개 중에서 100개는 인공신경망을 학습하는데 적용하였고, 나머지 12개는 학습된 신경망을 테스트하는데 적용하였다.

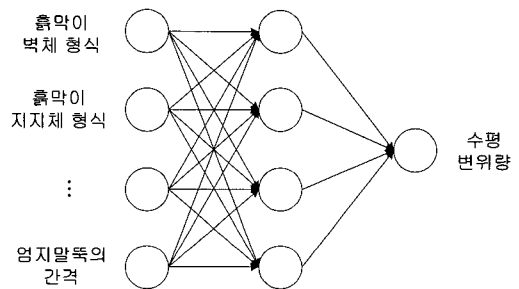


그림 8. 구축 인공신경망 구조

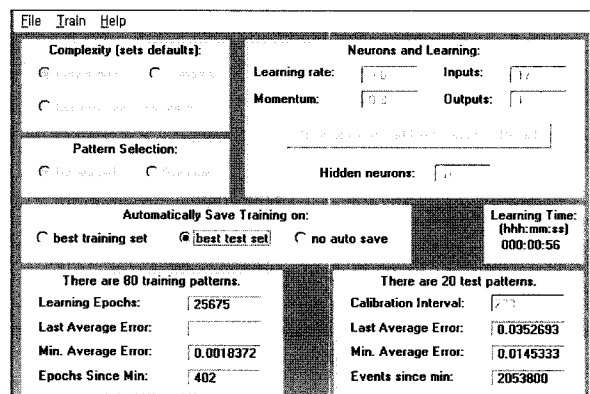


그림 9. 신경망 학습을 위한 매개변수 설정

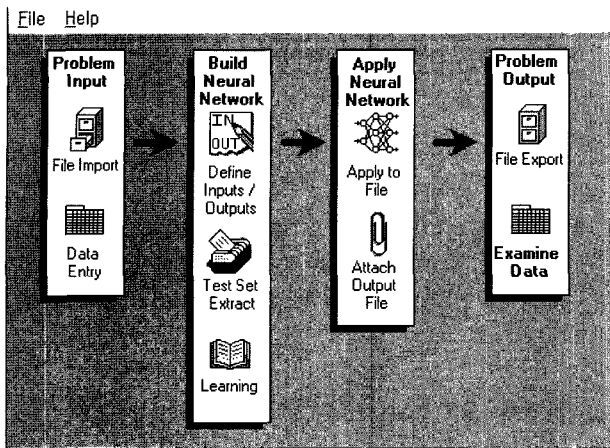


그림 10. Neuroshell 메인화면

### 4.3 구축 시스템 검증

#### 4.3.1 시스템 검증 절차

본 연구에서 구축한 시스템을 검증하기 위해서 Jan(2002)이 제시한 흠막이 변위 검증 플로우(그림 11 참조)를 참조하였다. 즉, Long의 연구에서 제시한 흠막이 데이터를 활용하여 신경망을 학습시킨 후 사례현장을 조건을 변수로 적용해 수평변위 값을 예측하여 실제로 계측한 데이터와 비교를 실시하여 검증을 실시하였다.

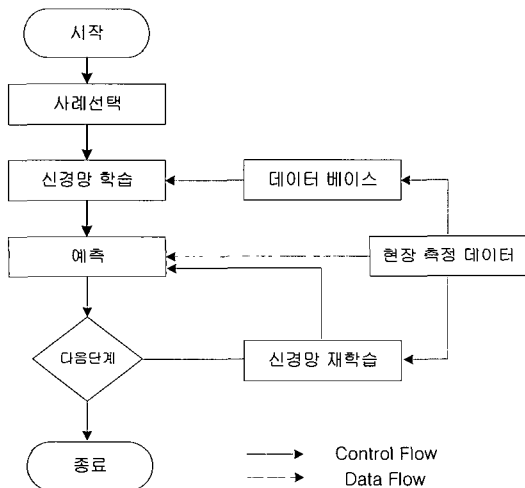


그림 11. 변위검증 과정

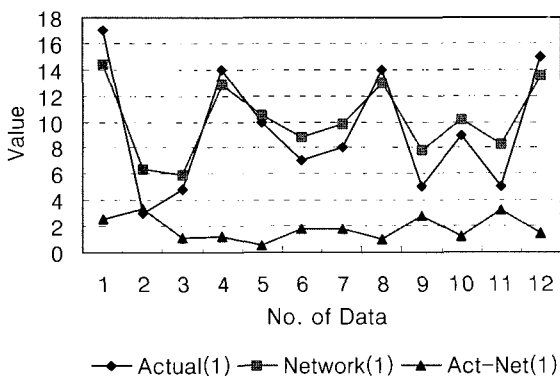


그림 12. 실제 변위값과 예측값의 비교

#### 4.3.2 구축 시스템의 검증

무선 계측 시스템을 적용하여 실제로 계측된 자료를 활용하여 구축 시스템의 검증을 실시하였다. 기존자료에서 수집한 데이터 중 일부는 신경망 시스템을 학습시키는데 사용하고 나머지, 즉 학습에 상요하지 않은 데이터 12개를 학습된 신경망에 적용하여 실제 계측된 수평 변위값과 비교하였다.

실제 값과 예측된 값을 그림 12의 그래프에 제시하였다. 제시된 그래프와 같이 실제 계측된 값(actual(1))과 예측한 값(network(1))이 어느 정도 유사성을 가지고 있음을 확인할 수 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 흠막이 계측 데이터를 활용하여 인공신경망 흠막이 변위 예측 시스템 구축에 관한 제안을 목적으로 하는 연구로서 흠막이 계측에 대한 국·내외 연구 동향과 인공신경망 기법에 대하여 기존 문헌 고찰을 통하여 알아보았다. 그리고 기존 연구에서 제시된 흠막이 데이터를 활용하여 제안하고자 하는 인공신경망 기법을 활용한 흠막이 변위 예측 시스템을 제안하였다.

제안된 시스템을 실제 현장의 계측 데이터를 적용하여 예측한 결과 실측치와 약간의 차이를 보였다. 이와 같은 결과는 기존 연구에 제시된 자료를 활용함으로써 각 현장의 특성 등을 정확히 반영하기 어려웠던 것으로 판단되며, 또한 데이터의 개수에 한계가 있어서 나타난 현상으로 사료된다.

그러므로 비록 본 연구가 위에서 제시한 여러 가지 한계를 보여주고 있지만 제안된 시스템에 맞는 적절한 데이터를 수집하고 이를 활용하기 위한 데이터베이스를 구축하여 흠막이 변위 예측을 위한 예측 시스템을 구축한다면 전문가들이 흠막이를 설계하거나 흠막이 공사를 진행하는 과정에서 활용하는데 도움이 될 것이다. 또한 좀 더 경제적이고 안전한 흠막이 설계 또는 공사가 진행되도록 할 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고 문헌

1. 김광열, 박우열, 강경인, Neural Network를 이용한 흠막이 공법 선정 시스템에 관한 연구, 대한건축학회 논문집(구조계), vol.16, no.5, 2000. 5.
2. 김민석, 서장우, 박우열, 서덕석, 강경인, 지하토공사에 있어서의 건축공사 계측관리의 개선방안에 관한 연구, 대한건축학회 논문집(구조계), vol.17, no.10, 2001.10.
3. 김재엽, 박우열, 강경인, 건축공사 흠막이벽체 공법의 선정을 위한 신경망시스템 개발 연구, 대한건축학회논문집(구조계), vol.18, no.10, 2002.10.
4. 김재엽, 박우열, 김광희, 김중구, 사례기반추론을 이용한 흠막이공법 선정모델에 관한 연구, 한국건설관리학회 논문집, vol.5, no.5, 2004.10.
5. 김재엽, 서장우, 강경인, 신경망을 이용한 흠막이 지보공공법 선정 모델 개발에 관한 연구, 대한건축학회논문집(구조계), vol.19, no.5, 2003.5.

6. 박성재, 정경환, 지하굴토 지보공의 계측 및 해석(정보화 시공)에 관한 연구, 대한토목학회 논문집, vol.15, no.5, pp. 1381~1395, 1995.
7. 오정환 외 3인, 지반굴착 흙막이공의 정보화시공 종합관리 시스템, 한국지반공학회 논문집, vol.18, no.2, pp. 51~64, 2002.
8. 장기태, 한희수, 유병선, 광섬유 센서와 지중경사계를 이용한 사면의 거동 분석, 한국지반공학회 논문집, vol.19, no.6, pp. 397~406, 2003.
9. Christopher M. Ballard and Stuart S. Chen, An Internet Structural Monitoring System, Intelligent Civil Engineering Materials and Structures: ASCE Conference Preceeding, pp. 229~242. 1997.
10. Gwang-Hee, Kim, Jie-Eon Yoon, Sung-Hoon An, Hun-Hee Cho and Kyung-In Kang, Neural network model incorporating a genetic algorithm in estimating construction costs, Building and Environment, Volume 39, Issue 11, pp. 1333~1340, 2004. 11.
11. Gwang-Hee, Kim, Sung-Hoon, An and Kyung-IN, Kang, Comparison of construction cost estimating models based on regression analysis, neural networks, and case-based reasoning, Building and Environment, Volume 39, Issue 10, pp. 1235~1242, 2004. 10.
12. Gwang-Hee, Kim, Deok-Suk, Seo, and Kyung-In, Kang, Hybrid Models of Neural Networks and Genetic Algorithms for Predicting Preliminary Cost Estimates, Journal of Computing in Civil Engineering, Volume 19, Issue 2, pp. 208~211, 2005. 4.
13. J.C. Jan, Shin-Lin Hung, S.Y. Chi, J.C.Chern, Neural Network Forecast Model in Deep Excavation, ASCE Journal of Computing in Civil Engineering, Vol.16, No.1, pp. 59~65, 2002. 1.
14. Kenji Kimoto, Kazuyoshi Endo, Satoru Iwashita, Mitsuhiro Fujiwara, The application of PDA as mobile computing system on construction management, Automation in Construction, 2004, in-press.
15. Michael Long, Database for retaining wall and ground movements due to deep excavations, Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, pp. 203~224, 2001.
16. Min-Yuan Cheng, Chien-Ho Ko, Chih-Hung Chang, Computer-aided DSS for safety monitoring of geotechnical construction, Automation in Construction, Vol 11, pp. 375~390, 2002.
17. N.J. Yau, J. B. Yang, Applying case-based reasoning techniques to retaining wall selection, Automation in Construction, vol.7, no.4, 1998.
18. Peter L. Fuhr, Wireless Interrogation of Instrumented Structures, Condition Monitoring of Materials and Structures: ASCE Conference, pp. 148~163, 2000. Preceeding.