

기초 형식 및 공법 선정을 위한 전문가 시스템 개발 (Developing An Expert System for The Selection of Foundation Types and Methods)

정 영 식* 이 중 석* 김 태 현** 홍 운 철**
Chung, Young-Shik Lee, Joung-Seok Kim, Tae-Heon Hong, Woon-Chul

ABSTRACT

This paper describes the development of an expert system designed to help engineers select proper foundation types and construction methods for structures under various subsoil conditions. The system includes geographical and geological data in certain areas of Ulsan and a knowledge base for the selection of foundation types. Geological data, such as boring logs, in the areas were collected and arranged to form the subsoil database in the areas concerned. Test borings at 30 holes were carried out for reference and confirmation purposes. The use of this system is twofold. It provides the users with a quick view on the geological situations of the areas concerned, and suggests proper foundation types for the specific spot together with some explanations on the selected foundation types and methods.

1. 서론

구조물에서 가장 중요한 부분은 기초이다. 기초설계 시 적절치 못한 형식이나 공법을 선택하면 공사에 상당한 어려움을 줄 뿐만 아니라 경제적으로도 막대한 손실을 보게 된다. 그런데 이 기초 설계는 상당한 전문적 지식과 시공 경험이 어울려야 안정성과 경제성을 달성할 수 있으며 시공에도 적합한 형식 및 공법이 선정된다. 사실, 대형 건물이나 중요 시설의 기초는 대부분 전문가들에 의해 설계되어질 것이다. 그러나 중소형 개인 건축물은 그렇지 못하다. 비전문가에 의해 설계된 기초들은 때론, 자체구조물 뿐만 아니라 인접구조물에 피해를 주어, 경제적 손실 및 사회적인 문제를 초래하고 있다. 그런데 이 분야에 어느 정도의 전문적 지식 및 시공경험을 가진 전문가가 적절한 수준의 가이드 라인을 제시해 준다면, 일반 건축주나 설계·시공자들에게 많은 도움이 될 것이라 생각된다. 울산에서 삼산·달동 지역은 지리적으로 광역시의 중심에 위치하며, 경제 문화 및 주거 기능에서도 중심적인 위치로 발전해가고 있다. 그래서 건물의 신축도 활발하고, 신축건물의 대형화, 밀집화 경향도 심화되고 있다. 그런데 이 삼산·달동 지역은 전형적인 연약지반 지역이다. 연약지반에서의 기초구조물 형식 및 공법 선정은 다른 지반에서보다 훨씬 신중을 기해야 한다. 연약지반으로 인한 문제는 여러 가지가 있지만 이 연구에선 구조물 축조에 관한 것만 한정시켰다. 그래서 울산이라는 지역적 특수성을 고려한 기초구조물 형식 및 공법 선정 전문가 시스템의 개발하였다.

이 시스템에 사용되어진 전문가 시스템 개발 도구는 2장에서 설명하였다. 또, 시스템의 전체적인 구성은 3장에서 다루고 있으며, 4장과 5장에서 지반구조의 Database화와 기초 형식 및 공법 선정에 관련된 내용들이 수록되어 있다. 6장에서 이 시스템의 적용과 사용방법에 대하여 간단히 설명하였다.

* 울산대학교 토목·환경공학부 교수

** 울산대학교 토목·환경공학부 대학원 석사과정

2. 전문가 시스템이란

인공지능 응용분야는 인간이 생활하고 있는 영역을 대상으로 하고 있다. 특히, 인공지능의 응용 분야 중 전문가 시스템은 현재 연구가 활발히 진행되고 있으며, 상용화되어 이용되고 있는 패키지도 다양하다. 이런 다양한 형태의 전문가 시스템의 등장은 실제적으로 컴퓨터가 혁명기에 접어들어 1970년대 초반부터라고 할 수 있다. 70년대에 인공지능 과학자들은 일반 목적 프로그램 개발은 너무 어려워, 전체적인 프로그램을 구축할 수 없기 때문에 좀더 특정한 프로그램에서 사용할 수 있는 제한적인 방법이나 기법을 개발하는데 연구를 집중하였다. 이러한 연구가 이루어지는 도중, 70년대 말에 비로소 인공지능 과학자들은 상당히 중요한 사실들을 인지하기 시작하였다. 즉, 프로그램의 문제 해결 능력은 프로그램이 가지고 있는 지식으로부터 나오는 것이지, 단순히 프로그램이 채택하고 있는 문제 표현 방법 및 추론 계획으로부터 나오는 것은 아니라는 사실이다. 이를 요약하면 다음과 같다. “컴퓨터의 프로그램이 지능적으로 문제를 처리하기 위해서는 어떤 문제에 관한 양질의 특정한 지식을 다량으로 주입시켜야 한다는 것이다.” 이와 같은 인식의 결과로 어떤 한정적인 영역에서 적용되는 특수 목적의 컴퓨터 프로그램 개발이 이루어졌는데 이를 ‘전문가 시스템’이라고 한다. 전문가 시스템의 개념은 인공지능 과학자들의 관점에 따라 다양하게 정의되어 왔는데, 전문가 시스템의 포괄적인 기능을 망라한 일반적인 정의는 다음과 같다. “전문가 시스템이란 인간 전문가로부터 획득한 지식을 바탕으로 어려운 의사 결정 문제를 해결하기 위해 사실과 휴리스틱을 이용하여 상호 작용하도록 하는 컴퓨터 기반 의사 결정 도구이다.” 어느 한 전문가 시스템의 구성을 살펴보면 지식 베이스(Knowledge Base), 추론 기관(Inference Engine), 작업 메모리(Working Memory), 사용자 인터페이스(User Interface)의 요소들이 있음을 알 수 있다. 지식 베이스는 그 전문가 시스템이 적용하는 문제 영역의 지식을 주로 IF-THEN Rule의 형식으로 구축해 놓은 것이다. 추론 기관은 주어진 조건(입력 Data)과 지식 베이스 내의 모든 Rule을 동원하여 주어진 문제에 대한 해답을 추론해 가는 과정을 담당하는 부분이다. 이 추론 과정에서 주어진 문제에 관련한 사실(Facts)등이 일시적으로 기억되는 장소가 바로 작업 메모리이다.

지식 베이스는 문제 영역마다 다르겠지만 추론 기관은 문제 영역에 관계없이 동일할 수도 있다. 전문가 시스템 개발 도구로서 CLIPS(C Language Integrated Production System)를 본 연구에서 사용하였는데 그 구성도는 그림 1.과 같다.

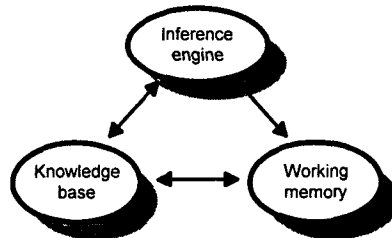


그림 1. Production System의 구조

CLIPS는 NASA의 Johnson Space Center에서 만든 것으로 rule과 object로 구성된 완벽한 환경을 제공하는 전문가 시스템 개발도구이다. CLIPS는 NASA와 군사부문, 다수의 연방 정부 기관, 정부 계약업자, 대학교, 그리고 많은 회사를 포함한 공공 및 사립단체에서 두루 사용하고 있다. CLIPS의 기본적인 특징은 아래와 같다.

1. CLIPS는 multiparadigm programming language로서 규칙기반(rule-based), 객체지향(object-oriented) 그리고 순차적 프로그램을 모두 지원한다.
2. CLIPS는 정방향 추론을 지원하고 역방향 추론은 지원하지 않는다. 그리고 이식성이 좋고, 프로그램 수행능력이 빠른 C Language로 만들어 졌다.
3. CLIPS는 FORTRAN 또는 C 언어로 작성된 Program을 Subprogram으로 사용할 수 있고, 또한 몇몇 잘 정의된 protocol(컴퓨터 상호간의 대화에 필요한 통신 규약)을 사용하여 쉽게 확장될 수 있다.

4. CLIPS는 디버깅을 지원하는 상호 대화식의 문자 지향 개발 환경과 on-line help, 통합 편집기, pulldown menu 등을 제공하여 이를 이용한 application의 개발이 용이하다.
5. CLIPS는 지식 베이스를 나누어 modular design하여 검증과 확인을 하게 하는 전문가 시스템 개발 도구로 slot value와 function argument의 조희가 가능하다.

3. 본 연구에서 개발한 시스템의 구성

먼저 이 시스템은 윈도우즈 응용 프로그램으로 개발 되어있어, GUI(Graphical User Interface)를 기본적으로 제공한다. 그리고 멀티태스킹이 가능하여 작업 효율을 증대시켰고, 초보자라도 쉽게 따라 할 수 있도록 메뉴바(menu bar) 및 툴바(tool bar) 내의 명령어들을 순차적으로 나열하였다. 이 프로그램은 크게 3부분으로 나누어지며, 아래와 같다.

1. Pre-processing 부분은 건축 건물의 조건과 주위 환경 및 지질 데이터를 찾거나 입력하는 부분으로 Visual Basic5.0으로 구성되어 있다.
2. Processing 부분은 Pre-processing 부분에서 찾거나 또는 입력한 data들로부터 형성시켜 놓은 사실들(facts)과 그림 3.의 기초 선정 흐름도 에서부터 만들어진 규칙들(rules)을 이용하여 가장 적절한 기초 형식 및 공법을 선정한다. 프로그램은 전문가 시스템 개발 도구인 CLIPS6.1로 구성되어 있다.
3. Post-processing 부분은 Processing 부분에서 찾은 기초 형식 및 공법에 대하여 설명하는 부분으로 기초 형식 및 공법에 대한 특징, 장단점, 설계방법 등을 사용자에게 설명해 준다. HTML(HyperText Markup Language) 문서로 되어있어, 설명을 읽다가 모르는 단어나 그림들이 있으면, 그 단어나 그림을 클릭 함으로써 그에 대한 간단한 설명들과 연결(hyperlink) 되어진다.

위 3부분을 통합 관리하는 프로그램은 Visual Basic5.0으로 만들었다. 위의 설명을 토대로 간단히 그림 2.로 도식화하였다.

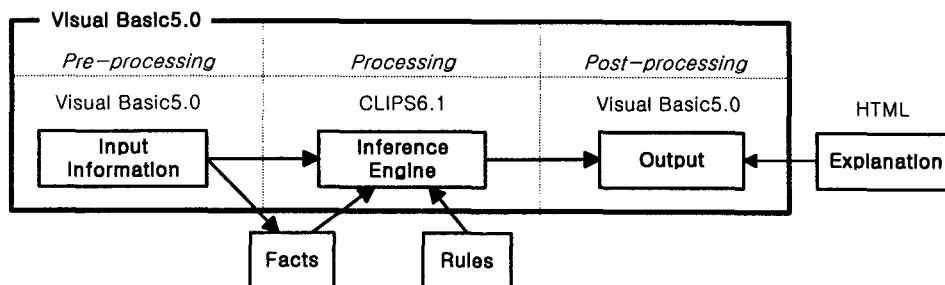


그림 2. 프로그램 구성도

4. 기반구조의 Database화

울산의 삼산·달동 지역 지반의 지층 구성을 조사하여 이를 이용하기 편리하도록 database화하였다. 이를 위하여 대상지역의 기존 보어링 자료들을 우선적으로 수집하였으며, 이를 근거로 자료의 조사가 부족하거나 조사된 적이 없는 지역에 대하여, 추가 보어링을 실시하여 지층 구조를 파악하였다. 조사를 대상 전체 지역에 대하여 새로 보어링을 실시하기에는 지역의 규모가 넓고, 또한 이미 많은 지역에서 보어링이 실시된 적이 있기 때문에 새로운 지역에 대하여서만 조사를 하였다. 그리고 보어링이 실시된 곳의 데이터들은 구청의 협조를 얻어 이미 구청에서 확보하고 있던 자료들과 그 외 각 기관에서 보유하고 있던 기존의 지반 자료들을 수집하였다. 이렇게 수집된 보어링공의 수는 약 600공정도이었다. 일반적으로 한 지역의 조사는 수 개 공을

실시하게 되며, 이들 중 어떤 자료는 내용이 불충분하거나 신빙성에 문제가 있는 것도 있어, 전 자료를 모두 입력하기에는 무리가 있었다. 그래서 이들 중 약 150공을 선별 입력하였고, 30공정도는 새로 보어링 조사하여 입력하였다. database로 만들기 위해 Microsoft Access2.0 프로그램을 사용하였다. Microsoft Access2.0은 Visual Basic5.0과 좋은 호환성을 가지고 있다.

5. 지반특성에 맞는 건물 기초공법의 선정

5.1 건물 형태별 구분

건물을 다음 조건에 따라 구분하였다.

1. 건물 층수에 따라 중저층 건물, 저층 건물, 고층 건물로 구분하였다.
2. 지하층이 깊어서 중간 지지층(14~16M)을 넘거나 최종 지지층까지 깊어지는 경우에 보통의 가시설 공법은 토압이나 수압 때문에 도저히 힘들고 Top-Down(Up-Down) 공법을 사용하도록 하였다.
3. 지하층 굴착 공법 선정 시 인접건물이 있는지 없는지 여부는 매우 중요하다. 그런데 삼산·달동 지역과 같은 연약지반의 지질특성은 통상적인 흙 파괴 기준이 되는 C, ϕ 값이 큰 의미가 없다. 그래서 신축 지하층 하단에서 인접지하층 하단까지의 각도를 조사하여 45°보다 크면 인접 건물로 정의하기로 하였다.
4. 위와 같은 인접건물이 존재한다고 하더라도 인접건물 기초가 말뚝 기초인지 아닌지에 따라서 신축 지하층 굴착방법이 달라진다. 즉, 말뚝 없는 인접건물은 굴착영향을 상당히 받겠지만 말뚝 있는 인접건물은 상대적으로 아주 적게 영향을 받을 것이기 때문이다. 물론, 이 경우라도 인접건물 기초바닥이 신축 지하층 보다, 상당히 높게(45°이상) 놓여 있는 경우에는 말뚝의 횡방향 이동을 고려할 필요가 있을 것이다.
5. 중간 지지층은 모래·자갈층으로 두께가 5M 이상인 층을 의미한다.
6. 삼산·달동 지역의 지반구조 특성은 최종 지지층에 다다르기 전에 중간 지지층이 존재하는 경우가 있다는 것이다. 이와 같은 중간 지지층이 존재하는 지반에서 중저층이나 저층 건물을 신축할 경우, 말뚝선단을 중간 지지층에 지지하여도 무방할 것으로 진행하였다.
7. 건설 현장에서의 건설 소음이나 진동은 주위 구조물에 피해를 줄 뿐만 아니라 민원을 일으켜 공사에 적지 않은 어려움을 야기 시킨다. 그래서 건설기계 소음도와 생활 소음원 중 건설 소음 규제기준 및 국내 허용 발파 진동 허용치 등을 이용하여 거리에 따라 저소음 및 저진동 공법을 선택하도록 하였다.

5.2 지하층 및 기초시공 방법

위(5.1 절)와 같은 건물조건을 가지고 다음과 같은 지하층(가시설), 기초 형식 및 시공 방법들 중에서 적절한 공법을 선정하도록 하여야 한다.

5.2.1 기초 지지 방법

- ① 강관 파일, ② P.H.C 파일, ③ P.C 파일 ④ 직접기초, ⑤ 치환기초

5.2.2 가시설 공법

- ① C.I.P, ② S.C.W ③ H-Beam 토류벽 ④ Sheet pile ⑤ L.W 그라우팅 ⑥ 아일랜드 공법
⑦ 지중연속벽 ⑧ 자연경사 공법 ⑨ 자립흙막이 공법

5.2.3 지하연속벽 공법

- ① Top-Down ② Up-Down

5.3 기초 형식 및 공법 선정 흐름도

전 절에서와 같은 건물여건(5.1 절)에 따라서 다양한 형식 및 공법 종류(5.2 절) 중 어느 공법을 선정할 것인가를 선정하기 흐름도를 작성하였다. (그림 3.)

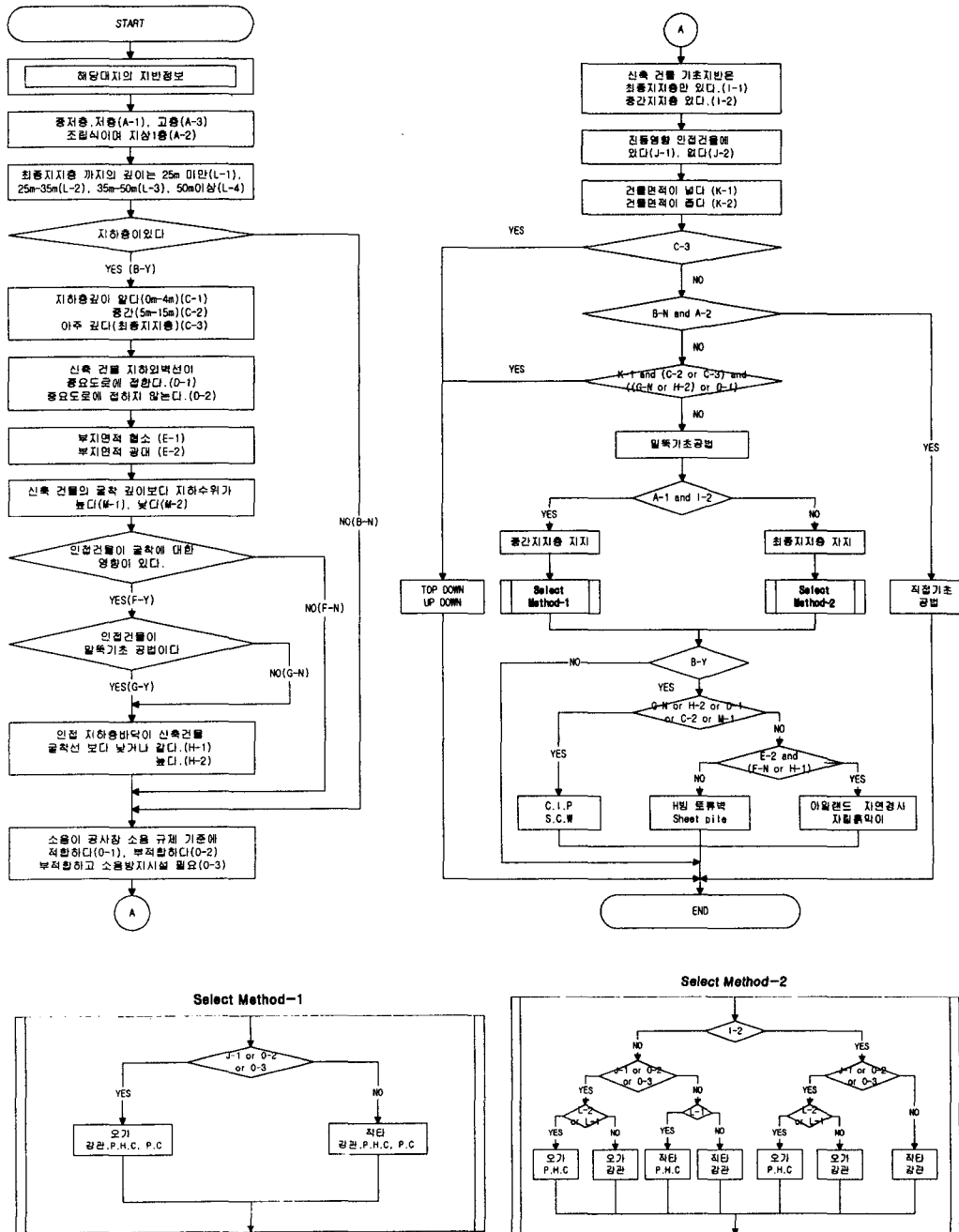


그림 3. 기초선정 흐름도

6. 사용방법 및 적용 예

울산 삼산·달동의 임의 장소에 실시될 건축물 기초 공사에 본 시스템을 적용하여 보고자 한다. 그림 4.의 전체지도에서 시공하고자 하는 위치를 계략적으로 확인하여 마우스로 클릭하면, 그 지역에 대해 자세한 위치를 찾을 수 있는 그림 5.가 나타난다. 여기서 키보드로 지번으로 입력하거나, 마우스로 정확한 위치를 선택하면 자동으로 지번이 입력된다. 그리고 이 지역의 기초 지반 지질조사 결과(주상도)를 보기 위해 형식선택에서 한지점, X 단면, Y 단면, 입체면 중의 한 형태를 선택하면, 한 지점의 지층정보(그림 6.)와 한 단면의 지층정보(그림 7.)를 볼 수 있다. 그림 8.은 신축건물의 조건(층수, 구조형식, 부지크기 등) 및 주위 환경(인접 건물, 진동 및 소음 영향 등)을 입력하는 입력 창으로 모든 값들의 입력이 끝나면, CLIPS6.1 프로그램이 실행되어 구조물의 기초 형식 및 공법이 선정되어진다. 그림 9.은 CLIPS6.1에서 선정되어진 기초 형식 및 공법, 흙·물막이 공법을 보여주는 창이다. 선정된 공법의 개략적인 설명을 참조하려면 원하는 공법의 버튼을 클릭하면 된다. 그림 10.과 그림 11.은 각 공법에 대한 설명을 보여주는 창으로, 읽다가 중간에 모르는 전문 용어가 나오면 그 용어를 클릭하여 그 용어에 대한 설명도 볼 수 있다. 사용 방법은 일반 웹브라우저와 거의 흡사하게 만들어져 있어 쉽게 사용할 수 있을 것이다. 그림 12.는 모든 작업이 수행되어서 작성되어진 Output File의 일부분을 보여준다. 여기에는 입력한 내용과 조건 및 판단에 사용한 수치들과 선정되어진 기초 형식 및 공법 흙·물막이 공법들이 수록되어 있다.



그림 4. 전체 지도



그림 5. 신축 구조물 위치 선택 창

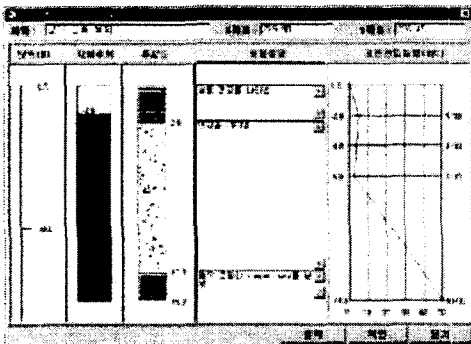


그림 6. 한 지점의 지층정보 창

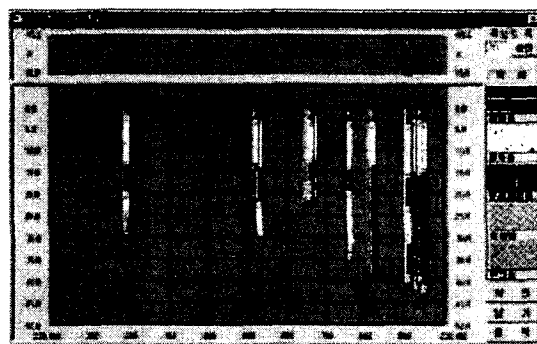


그림 7. X 단면에 대한 지층정보 창

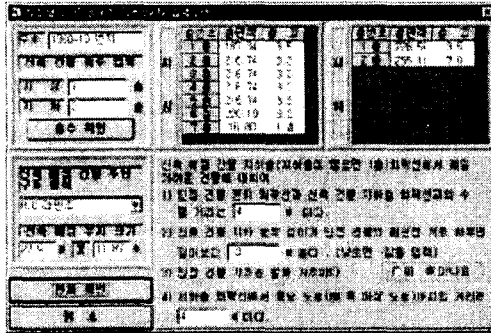


그림 8. 신축 건물 및 주위환경 입력 창

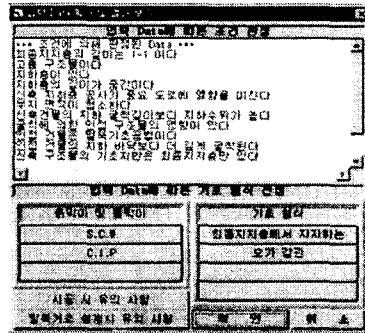


그림 9. 기초선정에 대한 결과 창

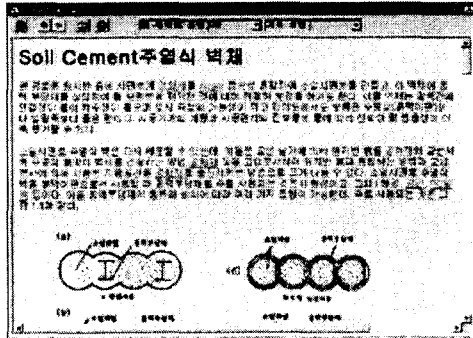


그림 10. 선정된 공법에 대한 상세 설명-1

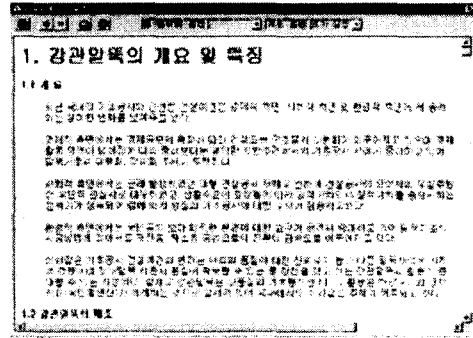


그림 11. 선택된 공법에 대한 상세 설명-2

신축 건물 예정지 : 1360-10 번지
 X 좌표 : 229.96 Y 좌표 : 226.46

*** 사용자 기본 입력 Data ***
 신축 예정 건물은 지상 7층이다.
 신축 예정 건물은 지상 1층 면적은 187.34 M²이다.
 신축 예정 건물은 지하 2층이다.
 신축 예정 건물은 지하 1층 면적은 228.51 M²이다.
 신축 예정 건물의 주된 구조형식은 RC 라멘구조이다.
 신축 예정 부지의 크기는 331.17 M²이다.
 신축 예정 건물 지하층(지하층이 없으면 1층)외곽선에서 제일 가까운 건물에 대하여
 인접 건물 본체 외곽선과 신축 건물 지하층(지하층이 없으면 1층) 외곽선과의 수평거리는 4.00 M이다.
 신축 건물 지하 굴착 깊이가 인접 건물의 최근접 기초 하부면 깊이보다 -3.00 M높다(낮다).
 인접 건물 기초는 말뚝 기초이다.
 지하층 외곽선에서 중요 도로(8M 폭 이상 도로)까지의 거리는 4.00 M이다.
 지하 수위의 깊이는 2.00M 이다.
 모래지갈층의 깊이는 2.00 이다.
 최종지갈층의 깊이는 15.50M 이다.

*** 조건에 의해 판정된 Data ***
 최종 지지층의 깊이는 1-1 이다.
 고층 구조물이다
 지하층이 있다
 지하층의 깊이가 중간이다
 신축 지하층 공사량 중요 도로에 영향을 미친다
 부지 면적이 협소하다
 신축 건물의 지하 굴착깊이보다 지하수위가 높다
 굴착에 의한 인접 구조물의 영향이 있다
 인접 건물은 말뚝기초공법이다
 인접 건물의 지하 바닥보다 더 깊게 굴착된다
 신축 건물의 기초지반은 최종 지지층만 있다
 진동 영향 인접 건물이 있다
 건물 면적이 좁다

*** 지지 상태 ***
 최종 지지층에서 지지하는
 *** 기초 공법 ***
 모가 강관
 *** 흙막이 흙막이 공법 ***
 S.C.W , C.I.P

그림 12. 기초선정 프로그램 Output File

7. 결 론

본 연구를 수행함으로써 다음과 같은 결과와 기대효과를 얻었다.

1. 울산 달동·삼산 지역 전체의 지반구조에 관한 정보의 획득 및 체계화에 의해 전체 지반구조를 작성하였고, 해당 대지위치(지적좌표)를 컴퓨터에 입력하면 해당 위치 지반 구조도를 출력하도록 프로그램을 구성하였다.
2. 위와 같은 지반구조의 내용에는 기반암의 깊이, 연약층의 두께, 매립층의 두께, 중간 지지층의 유무 및 두께 그리고 지하 수위 등을 포함시켰다.
3. 신축건물의 여러 가지 조건(층수, 층별 면적, 대지면적, 구조형태, 주변조건)을 컴퓨터에 입력하면 신축 건물 기초에 맞는 형식 및 시공방법을 선정·출력하도록 하였다.
4. 중소형 건물 신축 시 초기 설계 단계나 구상 단계에서의 지반 조사 보오링을 최소화 할 수 있도록 하였다.
5. 본 시스템이 선정하는 기초 형식 및 시공방법에 전적으로 의존하는 것은 무리가 있으나, 설계·시공 초기단계에서 어느 정도의 가이드라인을 제시함으로써 시행착오를 줄이는데 많은 도움을 줄 수 있을 것이다.
6. 본 시스템은 인터넷을 이용하여 국내는 물론 국외에서도 사용할 수 있도록 함으로써 정보교류의 활성화, 집적화에 기여할 수 있다.

8. 참고문헌

1. 방명석 “전문가 시스템과 교량설계” 대한토목학회지 제36권 1988. 2
2. 조병후 “건설공사 관리분야에 있어서 Expert System의 이용에 관한 기초적 연구”
한양대학교 건축학과 박사학위논문 대한건축학회논문집 2권 6호 통권8호 1996. 12
3. 이재연 “철골구조설계 지침서로서의 Hyperdocument에 관한 고찰”
울산대학교 토목·환경공학부 석사학위논문 한국전산구조공학회 10권 2집(통권19호)
4. 이윤배, “전문가 시스템”, 홍릉과학출판사, 1997
5. 이재규 외 5명 “전문가 시스템 - 원리와 개발” 법영사
6. 박연수 이두영 “건설진동의 영향평가 및 대책” 대한건축학회지 33권 3호 통권148호 1989. 5
7. 전성기 “실무자를 위한 구조물 기초 설계 실무 편람” 도서출판 과학기술