

가중치 분석을 통한 도심지 Top-Down 공사에서의 공법요소 선정 모델 개발에 관한 연구

A Study on the Sub-elements of the Top-down Construction Method Selection Model using Weighting Factor in Downtown Area

박창욱* 문승윤** 윤석현***

Park, Chang-Wook Moon, Seung-Yun Yun, Seok-Heon

Abstract

The size of the construction projects become huge and complex, and the depth of excavation for the underground structures become deeper. Also the working area is not enough for loading materials and temporary facilities. This is the most case of recent construction projects in downtown area. Top-down is the most useful method for this kind of construction projects. Top-down construction method consists of supporting method, retaining wall type, foundation type and construction direction such as up-down or up-up. construction managers have to select sub-elements for top-down construction method in planning phase. This study is to suggest the sub-elements selection model for the top-down construction method, and the case study is conducted for evaluating this model.

키워드 : Top-down 공법, 선정 모델

Keywords : Top-down Method, Selection Model

1. 서론

1.1 연구의 목적 및 필요성

최근 건설의 규모가 커짐에 따라 지상으로서는 고층화, 지하로는 굴착심도가 깊어지면서 인접 건물과의 근접 시공이 불가피해지고 있다. 특히 도심지근처에서 진행중인 건설현장에서는 이러한 현상이 많이 발생되고 있다. 건축이 고층화되고 지하부의 심도가 깊어짐에 따라 흠막이 벽체인 토류벽체에 작용하는 토압과 수압이 증가하게 된다. 이러한 상황에서 지하 15~20m 정도에서 적용해 오던 재래식 흠막이 공법은 굴착의 깊이가 이 이상 깊어질 경우 굴착부의 저면에 발생하는 토압과 수압에 제대로 저항하지 못해 공사중 노무자들의 안전에 대한 문제를 야기 시킬 수 있다.

이러한 이유로 벽체의 강성이 아주 크며 또한 차수 효과를 충분히 만족 시킬 수 있는 지하연속벽(Slurry Wall)공법이 도심지 공사에 많이 채택 되고 있으나 이 공법 역시 별도의 흠막이 벽체 배면에 작용하는 응력에 대하여 Earth Anchor 혹은

별도의 지지 공법을 병행하여야 한다.

상기와 같은 방법으로 시공하여도 지하구조체가 완공될 때까지는 상당한 기간이 소요되며 그 기간 동안 항상 흠막이 벽체의 안전에 유의하여야 함으로 토공사는 건설 산업의 공기 단축 및 공사비 절감, 안전사고 예방이라는 목표에 상당한 장애요소이며 이를 개선 할 수 있는 공법이 필요 하게 된다. 이러한 이유로 근래의 도심지 공사에서는 Top-down 공법을 많이 채택 하고 있는 추세이다.

Top-down 공법은 여러 종류가 있고 각각의 건설현장은 각기 다른 지반조건과 공사현장조건이 다르므로 각 현장에 맞는 Top-down 공법을 선정하여야 한다. 이에 본 연구에서는 Top-down 공법을 선정함에 있어 각 건설현장의 특성에 적합한 Top-down 공법을 선정할 수 있는 모델을 개발하였다. 공법 선정 모델 개발을 위해 선정 요소들을 분석하고 분석된 데이터를 이용하여 실무자들을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 이렇게 분석된 내용과 설문내용을 바탕으로 Top-down 공법 선정 모델을 제시하였다.

1.2 연구범위 및 방법

현재 도심지 근처에서 주로 사용되고 있는 Top-down 공법은 흠막이 벽체, 지지방법 및 시공순서 등에 따라 많은 종류

* 경상대학교 석사과정, 정회원.

** (주)롯데기공 현장소장, 정회원.

*** 경상대학교 건축학부 조교수, 공학연구원, 종신회원, 교신저자(gfyun@ggnu.ac.kr)

가 있어 각 현장에 적합한 공법을 선택하기가 힘들다. 그리고 현장의 지질에 맞는 공법을 선정하기 위해서는 지층상태나 토질 역학적 특성을 파악하고 지반조사와 주변조사를 통한 지하매설물 및 인접구조물(건물 기초 및 지하실, 지하철 등)현황조사 등을 실시하여 현장에 적합한 흠막이 구조물의 종류와 배수공법 등을 선정하여야 한다.

이에 본 연구에서는 이러한 공법을 선정하기 위한 여러 요소들을 분석하고 분석된 데이터를 이용하여 Top-down 공법 선정 모델을 제안하였다. 우선 기존연구문헌 고찰을 통해서 흠막이공사 및 Top-down 공법에 대한 연구 동향을 알아보았다. 조사된 내용을 바탕으로 흠막이 공사 및 Top-down 공법에 대하여 이론 고찰을 수행하였다.

그리고 공법선정에 필요한 필수 요건들을 분석하고 분석된 자료를 바탕으로 공법 선정 모델을 개발하였다. 개발된 모델을 현장기술자들을 대상으로 설문조사를 실시하여 선정요인들에 대해서 선정 요소별 가중치를 조사하였다.

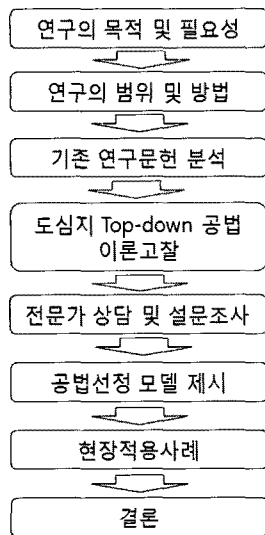


그림 1. 연구 수행 과정

2. 기존 연구문헌 분석

Top-down 공법에 대해 가장 많이 연구된 분야는 공법 선정 모델에 대한 연구 논문이다. 박우열은 SVM (Support Vector Machine)을 이용한 흠막이 공법 선정 모델을 제시(박우열, 2006)하였다. 그리고 신경망이론을 바탕으로 한 흠막이 공법 선정 모델을 제시한 연구(김광열, 2000)가 있었으며, 사례추론기반을 이용한 흠막이 공법 선정 모델 제시(김재엽, 2004) 및 두 가지 이론을 가지고 선행연구를 바탕으로 별개의 모델을 구축하고 결과만을 서로 비교분석하였다(김재엽, 2006).

강현정의 4명은 굴착공법을 선정하기위한 중요요인들을 결정하여 현장에 맞는 공법을 선정하기위한 전문가 시스템을 구축하기위해, 공법선정을 위한 흐름도를 제시하였으나, 정량적 분석까지 제시하지는 못하였다.

앞에서 언급한 기존 흠막이 공법선정 모델들은 공법 선정을 위한 요인들을 분석하여 선정 요인을 가장 크게 만족시키는 공법을 SVM(Support Vector Machine), 신경망이론, 사례추론기반, 신경망이론과 사례추론기반을 이용하여 공법 선정 모델을 제시하였다.

본 연구에서는 도심지 각 현장에 적절한 Top-down 공법 선정을 위한 모델 개발에 관한 연구로서 전문가상담을 통해 공법 선정을 위한 프로세스를 검토하고 각 단계별로 공법선정을 위한 요인을 분석하였다. 분석된 데이터를 이용하여 Top-down 공법 선정을 위한 모델을 개발하고 개발된 모델의 선정 요소들에 대해 현장 실무자들을 대상으로 설문 조사를 실시하여 요소별 가중치를 분석하였다.

3. 도심지 Top-down 공법 이론고찰

3.1 Top-down 공법에 대한 이론 고찰

3.1.1 개요 및 배경

건물의 지하구조부를 공사할 때, 보통 구조적 안전성 및 시공의 편의성 등을 고려하여 먼저 터파기공사를 모두 끝낸 후 제일 하부층부터 위로 지하구조체를 시공해 가는 방식이 가장 일반적이며, 이를 보통 Bottom-up 공법이라고 한다. 최근 우리나라에 도심에 고층빌딩 공사가 많아지면서, 소음 및 비산먼지 등에 의한 민원, 짧은 공기 등의 문제점을 해결하기 위한 대안으로 Top-down 공법이 많이 시행되고 있다.

Top-down공법은 지표면으로부터 지하층으로 터파기를 하면서, 동시에 지하구조물 및 슬래브를 시공, 설치해가는 공법을 말한다. 즉, Bottom-up 공법과 Top-down 공법의 가장 근본적인 차이는, 그 이름에서 알 수 있듯이 지하구조물을 최하층으로부터 위로 올라가면서 시공하느냐, 아니면 지표면으로부터 최하층으로 내려가면서 시공하느냐에 있다. 또 다른 주요한 차이점은 Bottom-up공사의 경우, 터파기 때 흠막이벽이 무너지지 않도록 가설구조물을 먼저 설치하였다가, 지하구조물을 최하층부터 시공하면서 안정화된 층의 가설구조물을 점차적으로 철거해 나가는데 반해, Top-down 공사의 경우 별도의 가설구조물 설치작업 없이 터파기 공사와 같이 시공된 지하구조물 자체가 구조적 버팀대 역할을 해주도록 하여 공기 및 가설구조물에 대한 비용을 절감할 수 있도록 고안된 공사 방법이다.

3.1.2 Top-down 공법의 특징

Top-down 공법은 심도굴착이 가능하고, 협소한 대지에서 고 공사가 가능하며, 인접건물이 많고 도로폭이 좁은 도심지 구간에서도 시공이 가능한 공법으로 민원발생을 줄이고 인접 건물에 영향을 최소화하는 방법이다.

또한, 지하 구조물과 지상 구조체 시공을 병행하여 실시하기 때문에 공기단축 효과가 크며 지수벽을 가시설로 사용하므로 굴착으로 인한 붕괴사고를 방지 할 뿐만 아니라 지하공간을 작업장 및 야적장으로도 활용이 가능하다. 불투수성의 지수벽 시공으로 지하수위 저하를 방지할 수 있어 주변지반의 침하에 대한 안정성 확보가 가능하다.

3.1.3 Top-down 공법 시공순서

Top-down 공법에서는 바닥슬래브 시공이 완료되면 작업장 및 야적장으로 사용할 수 있으며 각 지하층 바닥슬래브가 완전히 덮이게 됨으로서 슬래브가 연속벽을 지지하는 지보공 역할을 하는 안전한 방법이다. 반면, 굴착공사시 어려움이 있으므로 조명 및 환기시설을 설치해야 하며, 지반이 너무 연약하거나 지하층 바닥슬래브의 고저변화가 심하면 설계 및 시공에 적절한 보강이 필요하다. 그러므로 설계시 충분한 검토를 실시하고 현장 감리시 철저한 품질관리 및 적절한 설계변경처리가 중요하다.

Up-down 공법의 시공순서는 그림 2와 같다.

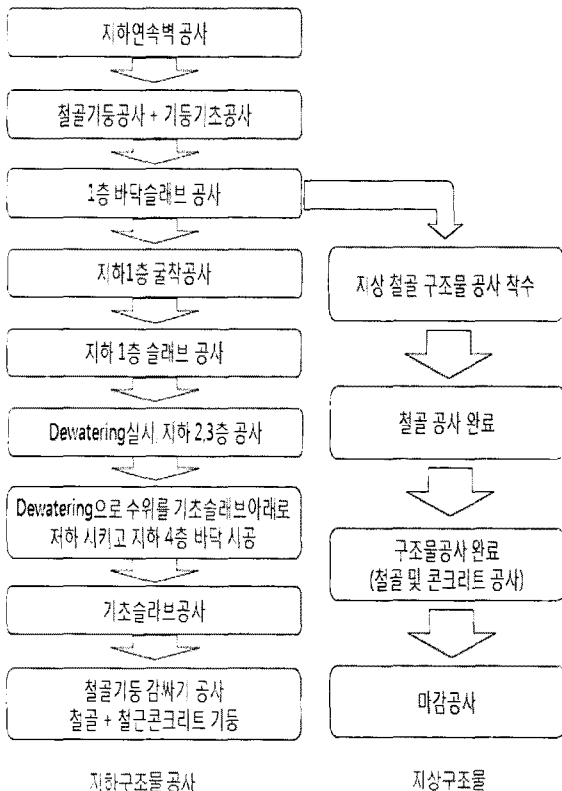


그림 2. Up-down 공법의 시공순서

3.2 Top-down 공법의 종류 및 특징

3.2.1 공사 진행방식에 따른 Top-down 공법

1) Up-down 방식

Top-down공법은 지표면으로부터 지하층으로 터파기를 하면서, 동시에 지하구조물 및 슬래브를 시공, 설치해가는 공법을 말하는데, 이보다 앞선 기술로써 지하구조물을 축조해 나가면서 동시에 지상층 구조물을 함께 시공해 나가는 진행방식을 Up-down 방식이라고 한다.

2) Up-up 방식

이 방식은 지하터파기를 끝내고 지하구조체와 지상구조체를 동시에 시공하는 방법으로 지하바닥에서 지상층 1층슬라브 방향으로 시공하는 동시에 지상층 1층바닥에서 지상구조체를 시공하는 방법으로 동시에 진행되는 방식이다.

3.2.2 지지방식에 따른 Top-down 공법

1) NSTD(Non Supporting Top Down : 무지보역타공법) 공법

NSTD 공법은 슬래브 하부에 동바리를 설치하지 않고 선시공한 층의 슬래브에 거푸집을 매달아 설치하기 때문에 거푸집 작업과 상관없이 지하터파기를 연속진행할 수 있으며, 충분한 양생기간의 확보로 우수한 콘크리트 품질을 얻을 수 있는 공법이다. 그리고 다른 지지방식에 비해 공기가 빠르면서 저가이다. 그러나 이 공법은 다른 지지공법에 비해 층수의 제약을 받으며, 굴착 층수가 3층 이상이어야 적용가능하다.

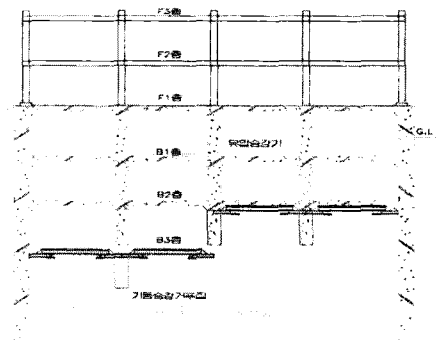


그림 3. NSTD 단면도

2) SPS(Strut as Permanent System) 공법

SPS 공법은 영구구조물을 이용한 Strut 지지공법으로 가시설의 해체과정에서 발생하는 시간적-경제적 손실을 절감하고, 해체시 발생하는 응력 불균형에 따른 붕괴 및 주변의 지반 변형위험성을 억제하며, 기초공사 완료 후 지하 및 지상층 공사의 동시 시공(Up-up 방식)이 가능한 공법이다. 그리고 공기

는 NSTD 공법과 비슷하다.

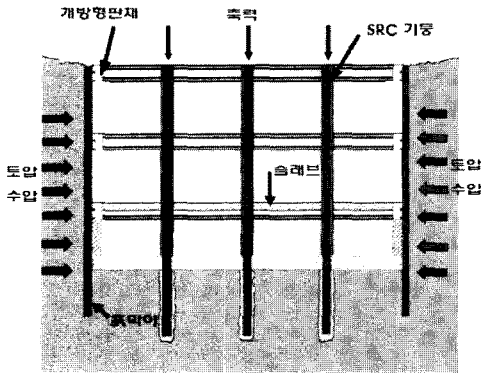


그림 4. SPS 단면도

3) NRD(New RC Downward) 공법

2방향 Wide 거더 + 2방향 Truss Deck를 이용하여 거푸집 및 동바리 공사를 최소화한 공법으로 굴토시 거더 거푸집을 현수시키고, 굴토 완료 후 현수 하강시켜 거더 거푸집을 재설치하면서 역타 시공함에 따른 공기 및 공사비 절감에 유리한 공법이다.²⁾

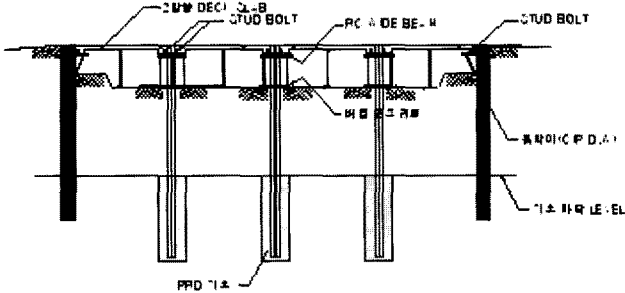


그림 5. NRD 단면도³⁾

4) BRD(Bracket supported RC Downward) 공법

BRD 공법은 철근 콘크리트 구조로 시공되면서 재래공법과 달리 거더 거푸집은 현수 하강시켜 재사용하고 슬래브 거푸집

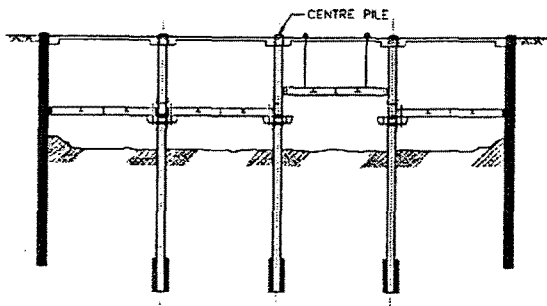


그림 6. BRD 공법 단면

은 1방향 Deep Deck을 사용하여 Wide 거더 하부부분에만 설치하여 동바리 지지 대신 Bracket으로 거푸집을 지지하는 공법이다.

이 공법은 굴토작업성이 양호하며 흙막이 벽체 종류에 제약을 받지 않고 사용이 가능하다. 또한 다른 공법에 비해 공사비가 저렴한 편에 속하는 공법이다.

5) ESD(Economic Steel Downward) 공법

ESD 공법은 흙막이 주위에 설치되는 RC 테두리보를 개선 보완하여 테두리보를 삭제하고 Center Pile과 철골 거더와의 접합부도 부분 힌지 접합을 적용하여 시공성 및 경제성이 향상된 철골조 역타공법이다.⁴⁾ CWS공법과 유사하나 CWS 공법은 철근콘크리트 테두리보대신 철골 좌대에 의해 지지되는 매립형 철골 띠장을 적용시킨 공법으로 ESD 공법과 차이가 있다.

이 공법은 모든 연약층에 시공이 가능하고 제시된 공법중에서 공사비는 중간쯤에 해당한다. 또한 전지층에서 시공이 가능하며 공기가 빠르다.

3.2.3 흙막이 벽체에 따른 Top-down 공법

1) Slurry wall method(지하연속벽공법)

Slurry wall(=Diaphragm wall)은 흙막이 공법의 하나로써 지반을 굴착할 때 굴착면의 붕괴와 지하수의 침투를 방지하기 위해 일정폭의 Trench 굴착부분에 벤토나이트 안정액을 공급하면서 원하는 깊이까지 굴착한 후 지중에 무근, 또는 철근 콘크리트를 타설하여 벽체를 조성하는 공법이다.⁵⁾ 주로 Top-down 공법 적용시 흙막이 벽으로 많이 사용되고 있는 공법이다.

2) CIP 공법⁶⁾

어스드릴을 이용하여 지반을 천공하고 시멘트 몰탈주입과 보강형 H형강이나 철근망을 삽입하여 현장타설 콘크리트 말뚝을 조성하는 공법이다.

지하수위가 높은 지층, 성토층 등 극히 연약한 지층에 적용되는 공법으로 소음, 진동이 적고, 강성이 커서 굴착에 의한 주변지반에 미치는 영향이 적다. 특수한 장비가 필요치 않으며, 천공중에 공벽의 붕괴가 없다. 협소한 장소에도 장비 투입이 가능하고 강성이 커서 배면토의 수평변위 억제가 가능한 공법이다.

5) 지하연속벽 공법 자동화 도입 타당성 검토, 박경순, 구자경, 이태식, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 2007.11

6) CIP공법과 CBS공법의 비교분석, 정인호, 박근준, 한국건설관리학회, 전국 대학생 학술발표대회 논문집, 2005.11

2)3)4) 한국건설공법-역타공법 컨설팅 BRD(<http://brd21.com>)

4) 기초파일방식에 따른 Top-down 공법 종류

(1) PRD(Percussion Rotary Drill) 공법

천공과 강관설치를 동시에 수행하여 지중에 강관기초를 형성하는 공법이다. 소음, 진동의 영향이 적고, 지지력 확인이 용이하다. 또한 선단지지력을 충분히 확보가 가능하여 연암층까지 관입이 가능하다.

(2) RCD(Reverse Circulation Drill) 공법

이 공법의 기본 되는 것은 자연이수로 공벽을 유지하면서 굴착한 토사의 배출을 Reverse circulation 방식인 Drill rod를 통하여 물과 함께 배출하는 방법으로 모두 역순환에 의한 반복작업을 한다. 삭공이 종료되면 슬라임처리 등을 하여 철근망을 삽입하고 트레미 공법으로써 콘크리트를 타설하여 말뚝체를 완성하는 공법으로 60m이상의 깊은 굴착이 가능한 공법이다.

단계에서 선택된 공법에 의해 다음 단계 공법 선정에 영향을 받는다. 즉, 각 단계별 선정을 위해 채택한 요소들과 앞 단계에서 선정된 공법을 고려하여 다음단계에서 공법을 선정하게 되는 것이다.

본 연구에서는 Top-down 공법 선정을 위한 요소들을 크게 네 가지로 구분하였다. 공사개요, 지하조건, 인접조건, 작업조건으로 구분하였고, 각 세부적으로 공법을 선정을 위한 요소들을 가지고 있으며, 그림 8과 같다.

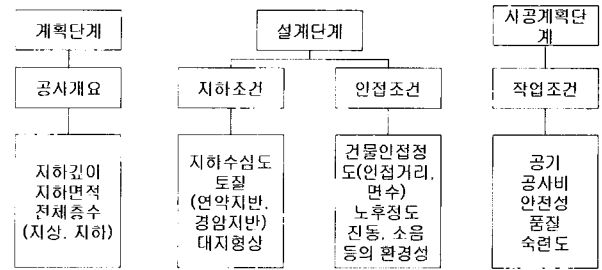


그림 8. 공법선정을 위한 요소

4. 공법선정 방안 분석

4.1. 공법 선정 요소 분석

본 연구에서는 기존의 공법 선정 모델과는 달리 Top-down 공법 선정을 위한 프로세스를 만들고 각 단계별 공법 선정을 위한 요소들을 분석하여 각 현장의 조건에 맞는 Top-down 공법을 선정하는 모델을 제시하고자 한다. 우선 그림 7과 같이 Top-down 공법선정 프로세스를 구성하였다.

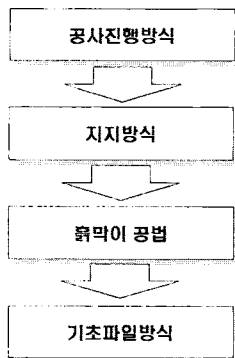


그림 7. Top-down 공법 선정프로세스

Top-down 공법 선정에 있어서 가장 우선적으로 해야 할 업무는 공사 진행방식을 선정하는 것이다. 공사 진행방식을 선정 후 흙막이 벽을 안전하게 지지하는 지지방식을 선정하게 된다. 흙막이 벽의 지지방식을 선정 후는 흙막이 공법을 선정하고 마지막으로 기초파일방식을 선정하게 된다. 이러한 순서로 Top-down 공법을 선정하게 된다. 그리고 각 단계에서 선택된 공법들은 서로 상관관계를 가지고 있기 때문에 앞

공사개요는 공사의 계획단계에서 알 수 있는 요소로서 지하 깊이, 지하면적, 전체층수(공사규모)가 있다. 공사 계획단계에서 공사개요의 요소들만 가지고 개략적인 Top-down 공법들을 선정할 수 있다. 지하조건과 인접조건은 설계단계에서 알 수 있는 요소로서 지하조건에는 지하수심도, 토질(연약지반, 경암지반), 대지형상이 요소로 있다. 인접조건에는 건물인접정도(인접거리, 인접면수), 노후정도, 진동 및 소음 등의 환경성이 요소로 있다. 계획과 설계단계를 거치면서 얻게 되는 보다 많은 정보들을 이용하여 좀 더 구체화되고 공사에 적합한 공법을 선정할 수 있게 된다. 마지막 조건인 작업조건은 시공계획단계에서 알 수 있는 조건으로서 공기, 공사비, 안전성, 품질, 숙련도(경험정도)가 있다. 이러한 선정요소들을 바탕으로 각 공사 현장에 적합한 공법을 선정할 수 있다.

앞에서 언급한 선정프로세스와 선정요소들을 바탕으로 그림 9에서 제시한 대안들 중에 하나를 선택하게 된다.

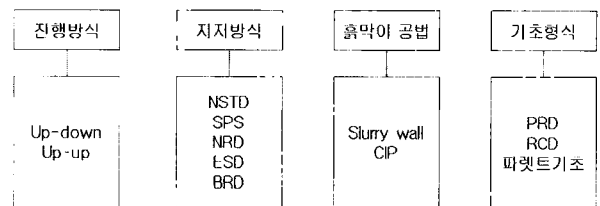


그림 9. 공법선정단계별 대안

지하층 공사 진행방식에는 일반적인 Downward 방식과 Up-down(Down-up), Up-up 방식이 있으나 본 연구에서는 Top-down 공법에 한정하여 연구를 수행하기 때문에

Top-down 공법 공사 진행방식인 Up-down (Down-up) 방식과 Up-up 방식에 한정하여 연구를 수행하였다.

4.2. 공법 선정 모델

각각의 선정요소들은 공사현장에서 Top-down 공법 실무 경험이 있는 전문가(실무경험 15년 이상)의 상담과 2차례에 걸친 설문을 통해서 공법선정을 위한 요소들을 선정하였다. 공법 선정 모델을 제시하기 전에 프로세스 단계별 공법선정을 위한 요소들을 분류하면, 우선 Top-down 공법 선정 프로세스에 따라 공사 진행방식 선정을 위한 고려 요소를 먼저 보면 그림 10과 같다.

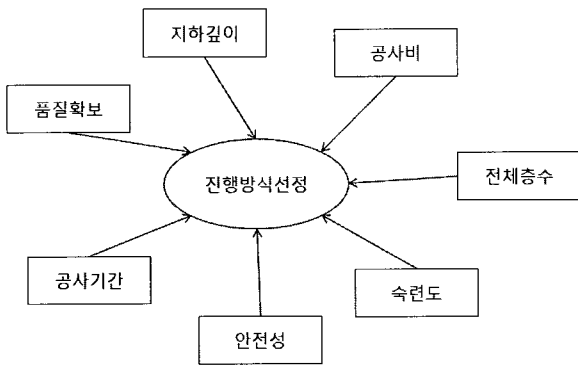


그림 10. 진행방식 선정요소

진행방식선정을 위해서는 시공되어질 건물의 규모를 나타내는 전체층수와 지하의 깊이를 고려하여 공사 진행방식이 선정되어야 한다. 또한 공사 현장의 작업조건인 공사비, 공사기간, 작업의 안전성, 경험이 있는 실무자의 숙련도 및 품질 등의 선정요소를 고려하여 진행방식을 선정한다.

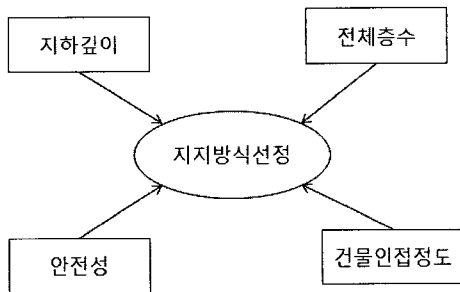


그림 11. 지지방식 선정요소

지지방식은 지하골조 및 구조체 작업시 실무자들의 안전과 직접적으로 연관을 맺고 있기 때문에 아주 중요한 공법이라 판단된다. 지지방식을 선정하기 위해서는 지하작업시 노무자의 안전성과 공사 주변의 인접건물과의 인접정도, 공사되는 건축물의 규모(높이 및 깊이)를 나타내는 전체층수, 지하깊이들의 요소를 이용하여 적절한 지지방식을 선정한다.

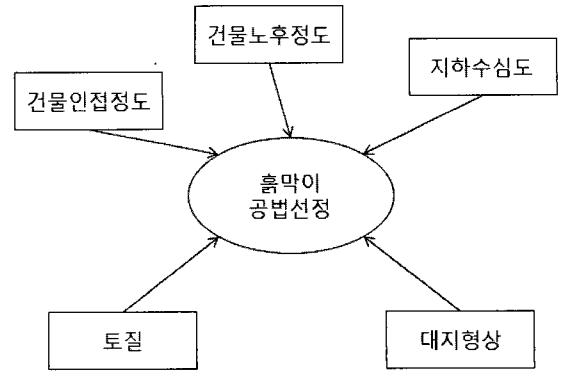


그림 12. 흙막이 공법 선정요소

흙막이 공법은 주변 인접건물과 본 구조물사이에 지어지기 때문에 주변건물의 영향을 많이 받는다. 흙막이 공법선정을 위해서는 본 구조물과 공사 현장 주변의 건물과의 인접정도와 주변 건물의 노후정도에 따라 흙막이 공법선정시 영향을 받는다. 또한 공사현장의 지하심도와 토질 및 대지형상에 따라서 흙막이 공법을 선정한다.

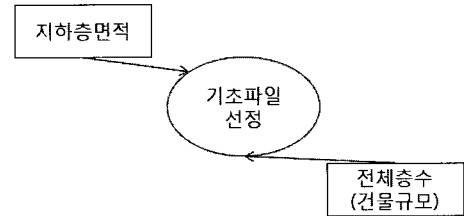


그림 13. 기초파일 선정요소

건축물의 기초파일 형식의 종류는 많이 있으나 본 논문에서는 Top-down 공법에 한정하여 연구를 수행하였기 때문에 Top-down 공법 실행시 주로 사용되는 기초파일 형식으로 한정하여 공사현장의 지하층 면적과 전체층수(건물규모) 선정요소를 이용하여 기초파일을 선정하였다.

Top-down 공법 선정프로세스에 따라 단계별 공법선정요소들에 대해서 알아보았다. 이러한 단계별 선정요소들을 정리하여 그림 14와 같은 Top-down 공법 선정모델을 제시하였다.

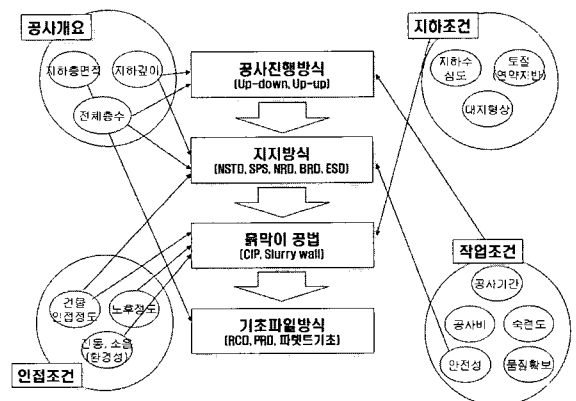


그림 14. Top-down 공법 선정 모델

4.3. 대안선정을 위한 평가 모델

4.1과 4.2에서 언급된 Top-down 공법 선정프로세스에 따라 선정요소들을 이용하여 각 단계별 대안공법을 선정하게 된다. 본 연구에서는, 이러한 대안공법들을 선정하기 위해 각 대안공법들을 계량화하기 위한 평가 모델을 제시하였다. 제시된 모델은 다음과 같다.

$$Z = \sum_{i=1}^n F \times s$$

Z = 선정될 공법(대안)

F = 공법 선정을 위한 평가 요소별 가중치

s = 대안공법의 요소별 평가값

앞의 식을 이용하여 각 대안공법들을 계량화하여 가장 높은 값을 가지는 대안을 선정하게 된다. 공법 선정을 위한 평가 요소별 가중치는 4.4의 그림 15와 그림 16에서 구한 가중치를 사용한다. 그리고 대안공법의 요소별 평가값은 실제 공법을 적용할 현장에 있는 실무자들을 대상으로 설문조사를 실시한 후, 설문내용을 바탕으로 평가값을 구하여 각 대안들의 값을 계산하게 된다.

4.4. 요소별 가중치 분석

본 연구에서 제시한 선정요소들에 대한 가중치 분석을 위해 경남 진주 인근의 건설현장에서 근무하는 실무자 중에서 Top-down 공법 시공 경험이 있는 실무자들을 대상으로 5월 16일에서 20일까지 전자메일을 이용하여 설문을 실시하였으며, 17부를 수집하였다. 이 설문 내용을 바탕으로 AHP기법을 이용하여 각 요소별 가중치를 분석하였다.

본 연구는 Top-down 공법 선정에 있어 지지방식과 흙막이공법 선정이 현장실무에서 Top-down 공법 선정시 가장 중요하다고 판단되어 2가지 단계에 한정하여 연구를 수행하였다. 따라서 지지방식과 흙막이 공법에 선정에 사용되는 요소에 대해서 설문을 실시하고, 엑셀을 이용한 AHP기법을 사용하여 각 요소별 가중치를 분석하였다. 그리고 각 요소별 일관성 지수는 0.1보다 작아야 설문내용이 객관성을 가지는 것으로 판단된다.

지지방식선정을 위한 요소별 가중치를 분석하면 일관성 지수는 0.03으로 나타났다. 설문 조사 결과, Top-down 공법의 지지방식 선정에서 가장 중요한 요소는 안전성(0.34)으로 나타났으며, 하깊이(0.30), 전체층수(0.25), 건물인접정도(0.11) 순으로 나타났다.

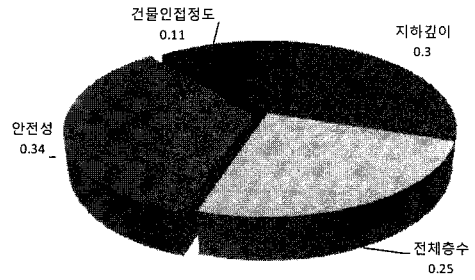


그림 15. Top-down 공법 지지방식 선정을 위한 요소별 가중치 산정

흙막이공법 선정을 위한 요소별 가중치를 분석하면 일관성 지수는 0.05로 계산되었다. 설문 조사 결과, Top-down 공법의 흙막이 공법 선정을 위해 가장 중요한 요소로 작용하는 것은 건물의 인접정도(0.31)였으며, 그 다음으로 지하수심도(0.24), 토질(0.19), 건물의 노후정도(0.15), 대지형상(0.10) 순으로 나타났다.

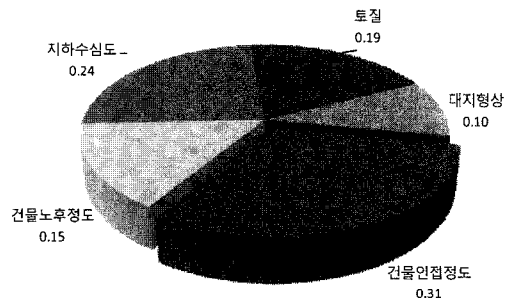


그림 16. Top-down 공법 흙막이 선정을 위한 요소별 가중치 산정

5. 선정모델 현장사례 적용

5.1. 사례현장개요

표 1. 선정모델 적용현장개요

현장명	진주 L사 공동주택 신축공사
위치	경남 진주시
용도	공동주택
공사규모	2개동 지상 22층
대지면적	5,195 m ²
세대수	143세대

본 논문에서 제시한 Top-down 공법 선정모델을 사례현장에 적용하기 위해 현재 진주에서 공사중에 있는 공동주택을 사례현장으로 선정하였다. 공사의 규모는 2개동으로 지상 22층, 143세대이고 대지 면적이 5,195 m²이다. 이 현장에서 실

시한 토공사는 NRD(New RC Downward) 공법을 이용하여 Up-up 진행방식으로 공사를 진행하였고 흙막이 벽으로 Slurry Wall을 사용하였다.

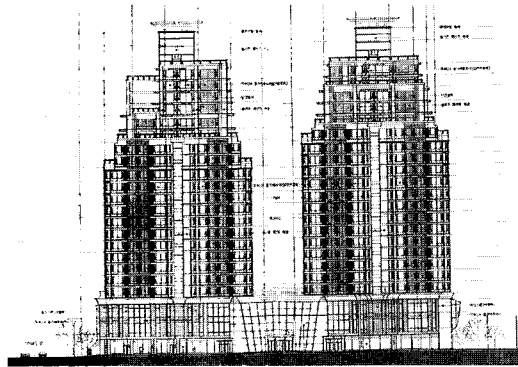


그림 17. 사례현장 입면도

5.2 공법선정을 위한 사례현장의 조건

각 선정요소에 따른 사례현장의 특징을 알아보면, 사례현장의 지하깊이는 16.45m이고 2개동이며, 전체층수는 지상 22층과 지하3층의 주차장으로 구성되어 있다. 사례현장 주변의 4면중 남서쪽면은 폭 20m의 도로와 접해 있고 북측은 6m의 간격을 두고 20~25년 정도 노후화된 1층~2층의 RC조 또는 블록조로 시공된 건물들이 있었다.

동측은 7m의 간격을 두고 15~20년 정도 노후화된 지하 1층~2층의 RC조로 시공된 건물들이 존재하고 있었다. 사례현장의 토질현황은 조사 당시 GL(Ground Level)선을 기준으로 상부로부터 매립토층, 모래질 점토층, 모래자갈층, 풍화토층, 풍화암층 및 연암층 순으로 지층구조가 조사되었다. 그리고 지하수위는 GL(Ground Level)아래 4.3m로 나타났다.

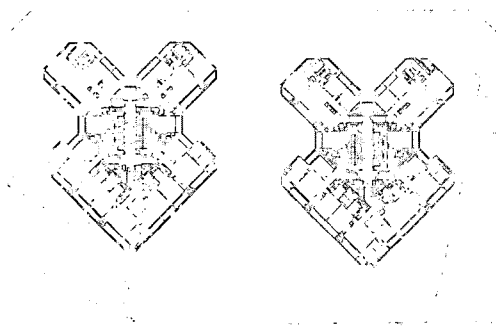


그림 18. 사례현장의 대지형상

우선 대안분석을 하기 전에 사례 현장의 공법선정에 영향을 끼치는 과장급 이상의 실무자들(5명)을 대상으로 설문조사를 실시하였다.⁷⁾ 설문내용은 본 논문에서 제시 선정요소에 따른

대안공법들의 중요도를 평가하기 위한 것이다. 각각의 평가 값은 각 실무자들이 당 현장의 주변조건들이 본 연구에서 제안한 요소에 근거하여 대안공법들이 얼마만큼의 중요도를 가지고 있는지 주관적으로 판단하여 각 대안공법들에 최대 5점을 최소 1점을 부과하도록 하였다. 각각의 평가값은 표 2, 표 3에 나타내었다.

표 2. 지지방식 선정요소에 따른 대안 공법 평가값

대안 \ 요소	지하깊이	전체층수	안정성	건물인접 정도
NSTD	2.50	3.25	4.50	4.50
SPS	2.50	3.75	4.75	5.00
NRD	5.00	4.50	4.75	4.50
ESD	3.75	3.55	2.75	4.00
BRD	3.25	3.75	4.75	5.00

표 3. 흙막이 공법 선정요소에 따른 대안 공법 평가값

대안 \ 요소	건물인접 정도	건물노후 정도	지하수 심도	토질	대지형상
Slurry wall	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
CIP	3.00	2.75	3.00	3.25	3.25

이상과 같이 조사된 선정요소들의 가중치와 대안공법들의 평가값을 평가모델의 계산식에 대입하여 각 대안공법들의 값을 구하여 최적 공법을 선정하게 된다.

지지방식은 NRD의 총점이 47.35로 가장 높은 점수를 기록하였으며, BRD(40.78), SPS(38.53), NSTD(35.88), ESD(33.75)로 결과 값이 나타났다. NRD 공법의 경우 4가지 선정요소에 따른 가중치 값에서 '건물인접정도'요소를 제외하고 나머지 부분에서 최고 가중치 값을 가졌고 상대적으로 '건물인접정도'라는 선정요소의 가중치가 가장 적었기 때문에 NRD 공법이 최고값을 가지게 되었다. 따라서 사례현장의 지지방식으로 가장 적합한 공법은 NRD로 판단된다.

흙막이 공법은 Slurry wall 의 총점이 50으로 가장 높은 점수가 나타났으며, CIP는 30.33을 기록하였다. 따라서 최고점수를 기록한 Slurry wall를 최적 공법으로 선택하였다.

사례현장에서 실제 시공된 공법을 보게 되면 지지방식으로 NRD를 실시하였고, 흙막이 공법은 Slurry wall로 시공하였다. 따라서 본 논문에서 제시한 Top-down 공법 선정모델의 결과와 일치하였다고 볼 수 있다.

7) Top-down 공법 실무경험이 있는 경력 10년 이상의 현장실무자를 대상으로 설문조사를 하였다.

6. 결 론

본 논문은 Top-down 공법 선정을 위한 모델을 제시하고 최종적으로 제시된 모델을 현장에 적용시켜 사례 연구를 목적으로 한다. 연구를 수행하기 위해 기존 연구 문헌들을 바탕으로 연구 동향에 대해서 알아보았다. 기존 논문에서도 공법선정을 위한 많은 연구들이 수행되었으나 대부분 흠막이 공법을 선정하기 위한 논문들이 많았으나, 본 논문에서는 연구의 범위를 Top-down 공법으로 국한하여 연구를 수행하였다. 따라서 각 단계별 제시된 대안공법들은 Top-down 공법이 가능한 것으로 제시되었다. 우선적으로 공법선정을 위한 프로세스를 만들었고, 각 단계마다 공법선정을 위한 요소들을 다르게 적용시켜 단계별 공법을 선정하도록 하였다. 그리고 공법 선정을 위해 선택된 요소들을 계획단계, 설계단계, 시공계획단계에서 획득할 수 있는 요소들끼리 모아서 분류하였다. 이렇게 수행된 연구를 바탕으로 Top-down 공법 선정 모델을 제시 하였다.

제시된 Top-down 선정 모델의 각 요소별 가중치를 계산하기 위해 현장 실무자들을 대상으로 설문을 실시하였다. 설문 내용은 지지방식과 흠막이 공법 선정에서 제시한 요소들만을 이용하여 설문을 실시하였다. 그리고 설문결과를 AHP기법을 이용하여 가중치를 산정하였다. 설문결과를 이용한 각 요소별 가중치는 다음과 같다. 지지방식선정을 위한 요소별 가중치를 분석하면 안전성(0.34), 지하깊이(0.30), 전체층수(0.25), 건물인접정도(0.11) 순으로 나타났으며, 흠막이 공법 선정을 위한 요소별 가중치를 분석하면 건물의 인접정도(0.31), 지하수심도(0.24), 토질(0.19), 건물의 노후정도(0.15), 대지형상(0.10) 순으로 나타났다.

그리고 대안공법 선정을 위한 계산 모델을 제시하였으며 식은 $Z = \sum_{i=1}^n F \times s$ 이다. 여기서 Z는 선정될 공법(대안), F는

공법 선정을 위한 평가 요소별 가중치, s는 대안공법의 요소별 평가값이다. 이 식을 이용하여 각 대안들의 값을 계산하여 최고점을 기록한 공법을 최적 대안으로 선택한다. 본 논문에서 제시한 Top-down 공법 선정 모델과 대안공법 평가식을 이용하여 사례현장에 적용해 보았다. 그 결과 Top-down 공법의 지지방식은 NRD(47.35)가 가장 높은 점수를 나타내었으며, BRD (40.78), SPS(38.53), NSTD(35.88), ESD(33.75) 순으로 나타났다. 흠막이 공법은 Slurry wall이 50, CIP는 30.33을 기록하였다. 따라서 본 논문에서는 지지방식으로 NRD, 흠막이 공법으로 Slurry wall를 선택하였으며, 사례현장 또한 지지방식으로 NRD와 흠막이 공법으로 Slurry wall을 시공하였으므로 본 논문의 결과와 일치하는 것으로 나타났다.

앞으로 보다 많은 사례연구를 통해 본 연구에서 제시한 Top-down 공법 선정 모델의 객관성의 확보가 필요하다고 생

각된다.

참 고 문 헌

1. 김광영, 박우열, 강경인. Neural Network를 이용한 흠막이 공법 선정 시스템에 관한 연구. 대한건축학회 논문집(구조계), v16 n5, pp.97~104, 2000.
2. 김재엽, 박우열, 김광희. 신경망과 사례기반추론을 이용한 흠막이공법 선정에 관한 연구. 대한건축학회 논문집(구조계), v22 n5, pp.187~196, 2006.
3. 김재엽, 박우열, 김광희, 김중구. 사례기반추론을 이용한 흠막이공법 선정모델에 관한 연구. 한국건설관리학회 논문집, v5 n5, pp.76~84, 2004.
4. 노영창, 이찬식. 거주중 공동주택의 지하주차장확대를 위한 흠막이공법 선정. 한국건설관리학회 논문집, v9 n2, pp.99~107, 2008.
5. 박우열, 김재엽. Support Vector Machine을 이용한 흠막이 공법선정모델에 관한 연구. 한국건설관리학회 논문집, v7 n2, pp.118~126, 2006.
6. 박상현, 이강, 최명석, 강현정, 임홍철. 지하공사 사례를 기반으로 한 터파기 공법 선정프로세스 분석. 한국건축사공학회 학술·기술논문발표회 논문집, v7 n1, pp.101~104, 2007.
7. 오승준. 흠막이공사 공법 선정방법에 관한 연구. 단국대학교 석사학위논문, 2000.

(접수 2008. 4. 23, 심사 2008. 6. 2, 게재확정 2008. 7. 25)