

VE 적용에 의한 지하 골조공사 개선연구

Case Study on the Improvement of Underground Building Works through the VE

홍재욱* · 김선국** · 이종국***

Hong, Jae-Wook · Kim, Sun-Kuk · Lee, Jong-Kook

요 약

건설산업의 고부가가치화를 위해서는 계획적인 원가절감에 의한 방법과 기능의 향상에 의한 방법 및 효율적인 추가 원가투입에 의하여 더 높은 기능 향상을 실현함으로써 부가가치를 높이는 방법을 추구하여야 할 것이다. 특히 건축공사에서 골조공사는 전체 공정 및 원가에 영향을 크게 미치는 주요 공정으로서 철저한 공사관리 계획과 관리가 요구되는 부분으로서 생산 활동 및 공사 방식 선정의 효과를 크게 볼 수 있는 항목이라 할 수 있다.

본 연구는 현재 도심지 공사에서 날로 증가하고 있는 지하공사의 비율을 감안하여 지하골조공사의 성능개선에 초점을 두었다. 건축물의 지하골조공사에 있어 효과적인 공기 및 원가절감을 위하여 VE 기법을 검토하여 VE 프로세스와 분석차원을 모델링하고, 이를 현장에 적용, 사례연구를 통하여 그 타당성을 입증하였다. 따라서 본 연구는 건축물 지하골조공사의 VE 활용모델로서 기술대안 선정방식 수립의 기초적인 연구가 될 것으로 기대된다.

키워드 : Value Engineering, 지하골조공사, 모델, Flat-slab, 원가, 공기

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

현재 국내 건설시장은 업체간의 과다경쟁과 장기적인 불황으로 인하여 과거에 비하여 더욱 생존경쟁이 치열해지고 있으며, 대외적으로도 중국 등 후발산업국의 도전을 받아 국제 건설시장을 잠식당하고 있다. 이에 국내 건설기업들은 건설시장에서의 우위를 확보하기 위해 원가 및 품질경쟁력을 확보하기 위한 생산성 향상과 기술 개발이 요구되고 있다.

원가절감과 품질향상의 도구로서 활용되고 있는 VE 기법의 경우 건설분야의 활용은 아직 미미한 단계이며, VE 기술의 주요 영역인 VE 대상 선정단계는 시간, 비용의 신뢰성 등 여러 문제로 인하여 생략되는 경우가 많고(전재열 2002), 특히 골조공사의 사례를 활용한 VE에 대한 연구는 전무한 실정이며, 지하구조물의 기둥과 보접합부의 구조성능 향상에 대한 연구사례(주영규

2003) 정도가 있다.

건설산업의 고부가가치화를 위해서는 경험적이며 주관적인 관리방식에서 벗어나 계획적인 원가절감에 의한 방법과 기능의 향상에 의한 방법 및 효율적인 추가원가투입에 의하여 더 높은 기능 향상을 실현함으로써 부가가치를 높이는 방법을 추구하여야 할 것이다. 특히 건축공사에서 골조공사는 전체 공정 및 원가에 영향을 크게 미치는 주요 공정으로서 철저한 공사관리 계획과 관리가 요구되는 부분으로서 생산 활동 및 공사 방식 선정의 효과를 크게 볼 수 있는 항목이라 할 수 있다. 따라서 공사계획 단계에서 설계도서와 현장조건을 면밀히 분석하여 품질, 안전을 확보하면서 공기단축, 원가절감, 시공성 향상을 꾀할 수 있는 대안 개발이 필요할 것이다.

일반적으로 건설공법은 경제성과 공기 그리고 안전성의 장·단점을 고려하여 보다 공사 현장에 적합한 공법을 선정하게 된다. 그러나 현재 국내 건설 현장 공법선정에는 이러한 과정이 합리적인 근거를 바탕으로 판단되는 것이 아니라 설계단계에서 불확실한 부지의 개략정보와 과거의 경험 및 추정으로 이루어지게 된다. 이로 인하여 시공단계에서는 예상치 못한 문제의 발생 및

* 정회원, 대림산업(주)

** 정회원, 경희대 토목건축대학 교수, 공학박사

*** 정회원, 서울대 공학연구소 객원연구원, 공학박사

공사비 증가요인이 발생하게 된다. 따라서 본 연구는 공사계획 단계 및 공사초기단계에서 건축물의 지하 골조공사에 대하여 현장의 여건에 맞도록 VE (Value Engineering) 기법을 이용하여 공기단축, 원가절감, 시공성 향상을 꾀할 수 있는 대안을 모색할 수 있는 모델을 도출하고 이를 실제 현장에 적용하여 그 타당성을 확인하도록 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 문헌조사와 관련 연구를 바탕으로 하여 건축공사의 지하골조공사에 대한 VE 모델을 정의하고, 이를 실제 현장에 적용하여 그 활용성을 검토하여 실제적인 활용모델을 제안하고자 한다. 따라서 본 연구는 지하골조공사의 VE 모델정의와 이 모델의 실제 건설업무에 적용하는 사례연구를 본 연구의 범위로 한다. 이때, 사례연구의 대상은 도심지의 건축현장으로서 지하굴착 깊이가 15m이상인 지하골조 공사가 공기 및 원가와 큰 상관관계를 가진 건축공사를 대상으로 한다.

본 연구 방법은 다음과 같다.

- 1) 국내외의 연구 및 문헌고찰을 통하여 VE에 관한 이론적 고찰 실시
- 2) VE 현장 적용 타당성 분석 절차 제안
- 3) 제안된 타당성 분석 절차의 각 단계별 의사결정 방법 제안
- 4) 사례연구를 통하여 VE 현장 적용 및 분석절차 정립

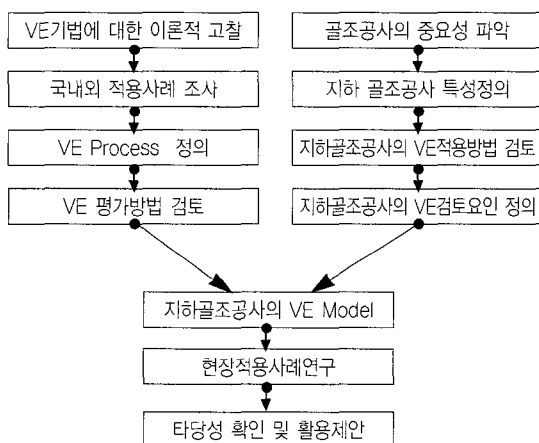


그림 1. 연구의 절차 및 방법

2. 국내외 연구동향

VE 기법의 활용 및 연구는 주로 건설회사를 중심으로 원가절감 차원에서 내부적으로 이루어지고(대림산업 2003, Hyundai E&C 2000) 있으나, 학문적으로는 아직까지 체계적인 연구를

통한 실질적인 활용을 제안하는 연구는 많지 않은 실정이다. 특히 건설공사에서 비중이 높은 지하공사에 관한 VE 활용 연구는 전무한 실정이다.

건축분야의 경우, 김선국(1989)이 거꾸집 공사시 고려해야할 제한 조건을 전문가 시스템을 활용하여 적정공법을 제시하는 방향을 제시하였으며, 김용일(1994)은 공동주택 기초 형식 선정시 고려해야 할 제약사항 항목을 활용하여 선정하는 전문가 시스템 개발 방법을 제안하였다.

차희성(1998)은 흙막이 공사의 제한조건 요인별 분류 및 상관성을 분석하였으며, 오승준(1999)이 흙막이 공사시 일반적인 사항 등을 검토하여 지하 흙막이공사 선정 방법에 대한 알고리즘을 제안하였다.

김재엽은 흙막이 공사에 대한 설계 및 공사 계획 단계에서 활용할 수 있는 공법 선정모델을 제안하였다. 해외에서는 Matthew J Liberatore(2001)가 일반적인 건축물을 대상으로 전체 관리 기법 중 하나로 VE를 사용하였고, Angela Palmer(1996)은 미국 건설에서의 VE에 관한 전반적인 것을 평가하였다.

이와 같이 건축분야에서는 현재 VE기법 활용에 대한 포괄적 또는 이론적 연구 위주로 진행되어 왔으며, 실질적인 건축공사에서의 적용 연구는 매우 드문 실정이다. 특히, 건축물 지하 골조공사에 대해서는, 건축공사에서 차지하는 비중이 비하여 이에 대한 체계적인 개선연구는 거의 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 실제 사례를 통하여 VE의 적용방법을 제안하고 이를 정형화하도록 한다.

3. 지하골조공사의 VE모델

3.1 VE 개념

VE는 최저의 총비용으로 필요한 기능을 확실히 달성하기 위하여 제품이나 서비스에 대한 기능분석과 개선을 위한 조직적인 노력이다. 이러한 VE가 사용되는 목적은 다음과 같다.

- 1) 대안(alternatives)을 개발한다.
- 2) 보다 적은 코스트로 같은 기능을 얻는다.
- 3) 같은 코스트로 기능을 개선하거나 증가시킨다.
- 4) 불필요한 기능이나 코스트를 없앤다.
- 5) 관리비용이나 수익을 최적화한다.

이러한 목적을 달성하기 위하여 VE 활동을 통하여 하게 되고, 이러한 활동의 결과로서 기대되는 VE 활동의 효과는 다음과 같다.

- 1) 의사결정의 촉진(improves decision-making)

- 2) 요구되는 기능에 따른 현실적인 예산의 구성
- 3) 설계개선 및 명시된 요구기능의 검증
- 4) 전체프로젝트의 이해 수준 향상
- 5) 투자비 및 운전에서 불필요한 비용의 제거

이러한 효과는 건설공사에서도 매우 중요한 관리의 착안점이며 건설현장의 각종 공법선택에 있어서도 마찬가지로 중요한 내용이라 할 수 있다.

3.2 VE 프로세스의 정의

VE는 그림 2와 같은 절차를 가지며, 본 연구에서도 이를 참조하여 프로세스를 정의하였다. 즉, 대상 프로젝트의 기본정보를 정리하고, 이를 중심으로 기능대안에 대한 아이디어를 창출해 낸 다음, 이를 평가하여 개발가능한 아이디어를 선정하게 된다.

이러한 과정을 통하여 선정된 아이디어는 실현가능하도록 개발되고, 최종적으로 대안을 제시하여 실제로 적용하게 된다. 이때 중요한 것이 초기단계의 대상선정과 선정된 대안에 대한 아이디어를 제안하고 이를 검토하는 것이라 할 수 있으며, VE의 대상을 선정하기 위한 모델이나 프레임웍(framework)을 설정하는 것이 그 기본이라 할 수 있다. 본 연구는 이러한 모델을 정의하기 위하여 기존의 연구를 참조하여 각 단계별 모델을 정의하여 제시한다.

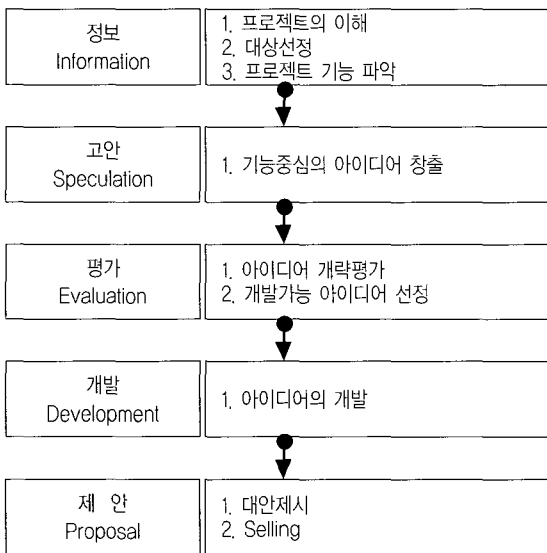


그림 2. VE 프로세스

3.3 지하골조공사의 VE 항목 정의

지하골조의 시공에는 다양한 검토사항이 존재하고 있어 이를 객관화하는 작업이 선행되어야 한다. 표 1은 건축물의 지하공사의 제한조건을 나열하고 있으며, 본 연구는 이를 기준으로 하여 지하골조공사의 VE의 주요대상 항목을 선정하였다.

표 1 지하공사 제한조건 분류 (오승준 1999)

제한조건분류	세 부 항목	
설계조건	작용하중, 지반정수, 해석/검토모델의 신뢰성, 보조공법의 신뢰성 등	
현장조건	지반조건	지반성질(연약층, 역암층), 지하수층, 지지층 상태, 지지층 심도 등
	부지조건	부지내 고저차, 평면형상(정형/부정형), 부지규모, 인접대지와 관계 등
	환경조건	소음·진동, 주변지반의 침하, 배출·흡탈물 처리, 지하수 오염(안정액 사용) 등
시공조건	지반의 붕괴, 작용하중의 변동, 지진, 근접시공, 홍수, 누수, 굴착지면의 파괴형상(하이빙, 보일링, 부풀림, 파이핑), 시공성(기계화 시공, 굴착시공성, 공정간 간섭), 작업 안전성, 작업면적, 깊은 굴착, 타 공정과의 관련성(흙막이-기초, 흙막이-구조체) 등	
구조조건	벽의 휨강성, 지수성, 구조물의 성질(가설, 반영구, 영구), 구조재료 등	
경제조건	공기, 공사비, 자재관리(자재의 활용, 자재관리비용), 노무자 투입 및 관리, 대지 면적 활용, 생산성 등	
사회적 요구조건	조건품질(품질향상과 고급화), 차별화(패작성), 고품격 시스템화 등	

3.4 지하골조공사의 VE 분석절차정의

지하골조공사의 VE 절차는 그림 3과 같다. 건축공사의 경우, VE 분석차원은 크게 두 가지로 구분될 수 있다. 즉, 미리 정의된 건축공사의 설계 및 시방의 조건과 이러한 설계를 현장에 구축하기 위한 시공관리적인 측면으로 나누어 VE의 대상을 검토할 수 있다. 일단, 설계도서 및 개선대상을 확인하고, 이와 더불어 현장의 부지여건을 분석한 다음, 개선안을 도출한다. 이어 도출된 개선안을 평가하고 이를 현장에 적용하도록 한다. 이러한 과정을 통하여 VE의 성공여부를 측정할 수 있으며, 반복공사의 경우, 후속공사에서 이를 참조하여 활용하도록 한다.

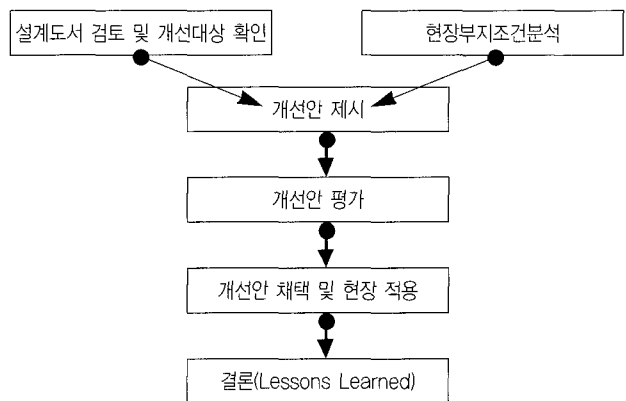


그림 3. 건축공사 VE 현장적용 절차

3.5 지하골조공사의 VE 분석차원 정의

건축공사의 VE 적용절차에서 검토된 바와 같이 지하골조공사의 VE 개선안을 검토하는 차원은 그림 4와 같이, 크게 두가지의 차원(dimension)을 가진다.

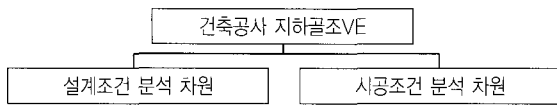


그림 4. 건축공사 VE 분석차원의 정의

먼저, 설계(design)차원에서 설계도서내의 조건을 검토하여 이들 중 VE의 대상이 될 수 있는 대상을 발견하도록 한다. 이에 는 각 실(室)의 조건, 구조형식, 설비형식, 설계기준 등이 포함될 수 있으며, 이들은 건축물의 특성에 따라 약간씩 달라질 수 있다. 설계차원에서의 검토는 시공차원의 분석에 선행되는 핵심 VE 절차라 할 수 있다.

1차 선정된 설계단계에서의 VE 대안에 대하여 시공 (construction)차원에서 현장의 여건을 고려하고 시공관리의 주 요영역을 감안하여 적절한 대안을 도출하도록 한다. 시공차원의 분석항목은 설계차원에서 제시된 안을 분석하는 틀로서 현실적 인 대안을 도출하도록 유도하는 역할을 하게 되는 것이다. 시공 차원의 항목에는 크게 경제성, 시공성, 안전성 등으로 정의하였 으며, 상세한 항목에 대한 고려는 건축물의 특성과 부지 및 현장 의 시공여건에 따라 달라질 수 있다.

4. 사례연구

4.1 현장개요

적용현장은 D사의 분당 A현장으로서 경기도 성남시 분당구 정자동의 백궁 정자 택지개발지구에 위치한 오피스텔 현장이며 규모는 지하4층, 지상10층 연면적 24,303평이며 오피스텔 1,035세대를 건립하는 공사이다. 건물의 구성에 있어서는 지하 층은 주차장, 지상1층은 근린생활시설 및 필로티로 구성되어 있 으며 상부 지상층은 오피스텔로 구성된다. (표 2 참조)

표 2. 대상 현장개요

구 분	내 용
현 장 명	D사 분당 오피스텔 신축현장
현장 위치	경기도 성남시 분당구 정자동
공사 기간	2002.6. -2004.7. (25개월)
구 조	철근콘크리트 벽식구조
규 모	지상 10층, 지하 4층 (1,035 세대) 대지면적 : 9,940 m ² , 건축면적 : 5,590m ² 연면적 80,341m ²
용 도	업무시설, 근린생활시설

공사기간은 2002년 6월부터 2004년 7월까지 25개월이다. 구 조는 지하층은 라멘구조이며 지상층(2~10층)은 철근콘크리트 벽식구조, 1층은 반력보(transfer girder)가 위치하고 있다.

본 현장은 지하 구조물이 대지 경계선에 인접하여 여유 공간

이 부족하고 현장조건이 충분히 반영되지 않아 공기의 지연이 우려된다. 이것을 해결하기 위하여 적절한 대응 방안이 모색 되어야 할 것이다. 또한, 그림 5와 같이, 설계 시 고려하였던 암반 의 깊이보다 실제 현장 토질 조사 결과 약 1.1m가량 높게 암반이 위치하여 있다.

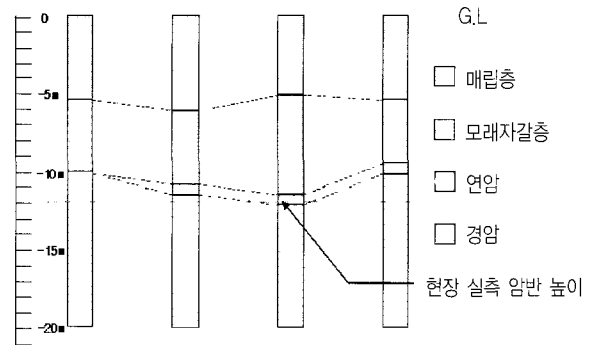


그림 5. 지질 단면도

이로 인하여 원래의 공사 계획대로 지하 골조 공사를 진행하 면 발파 및 굴착으로 인한 원 공사비에 비하여 많은 공사비용의 지출과 공기 지연이 될 것이라고 예상이 되었다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위한 공법의 검토 및 변경이 필요하였다. 이 러한 현장의 조건을 토대로 본 연구는 그림 6과 같이 건축물 지 하골조공사의 VE 적용모델을 설정하고 연구를 진행하였다. 즉, 원가절감, 공기단축, 시공성 향상이라는 현장의 관리목표를 세 우고 먼저 설계도서검토를 통한 설계조건을 분석하고, 가능한 개선대안을 발견하여 기술적, 관리적 검토를 거친 후, 이를 현장 에 적용하는 모델을 구축하였다. 본 모델은 그림 3, 그림 4의 VE의 프로세스 모델과 분석차원 모델을 활용하여 작성하였다.

4.2 설계도서 검토 및 개선대상 확인

설계검토시 주요요구사항은 천정고 확보 및 차량동선, 설비사 향으로 요약된다. 이때, 적용 가능한 공법은 전문가의 자문 및 자 체 기술회의를 거쳐 3가지의 안으로 압축하였다. 즉, 기존 설계

표 3. 지하골조공사 공법 비교표

구 분	라멘조	플랫-슬래브 (Flat-slab)	비고
장 점	많은 공사 경험의 축적을 통한 공사의 진행 구조적 안전성의 검증	층고 감소 기능 골조의 형상 단순으로 인한 공기 단축 가능 작업성이 라멘조에 비해 높음	라멘조가 일반 적으로 많이 적용 되나, Flat-slab도 시공상 문제가 없음
단 점	층고 확보를 위한 지하구조물 높이 증가 비용일부증가	라멘조에 비해 Punching Shear Effect 현상이 발생할 가능성이 있음	구조적 검토로 해결 가능

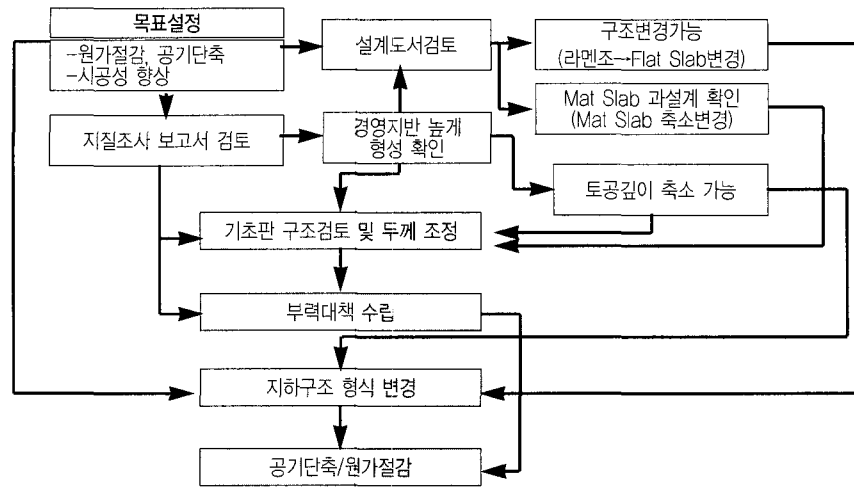


그림 6. 지하골조공사의 VE 적용모델

안인 라멘조의 구조형식, 층고를 변경할 수 있는 대안으로서 플랫 슬래브(Flat-Slab) 형식과 플랫 플레이트 슬래브(Flat-Plate-Slab) 형식이 제안되었다. 이 3가지의 공법에 대한 비교는 표 3과 같으며, 이를 토대로 설계차원의 검토를 시작하였다.

일반적으로 무량판 구조는 라멘조에 비하여 구조적으로 취약한 점이 있다고 인식되고 있으며, 지난 삼풍사고이후로 이러한 인식은 더욱 확산된 것이 사실이다. 그러나 무량판구조는 크게 플랫 슬래브 구조와 플랫 플레이트 슬래브 구조의 두가지로 대별된다. 이 중, 플랫 슬래브 구조는 주두를 형성하여 무량판 구조의 구조적 취약점을 극복할 수 있어 본 연구에서 그 활용을 적극적으로 검토하게 되었다.

이러한 측면에서 세 가지의 공법을 비교검토한 결과, 표 4와 같이 각 공법 모두 설계조건을 충족하여 사용가능한 것으로 판명되었다.

표 4. 설계조건 VE 검토사항

구분	항목	라멘조	Flat-Slab	Flat-Plate Slab
설계조건	천정고	천정고 확보에 문제없음		
	차량동선	차량동선 확보에 문제없음		
	설비	설비공간 확보에 문제없음		
	환기	주차장내 환기량 문제없음		

즉, 지하골조공사에서 건물 지하층의 주용도인 주차장으로서의 성능을 확보하기 위한 네 가지의 조건으로서 천정고, 차량동선, 설비, 환기의 원활성으로 정의하고 이에 대한 대안 평가를 실시하였다. 천정고와 주차차량 동선의 경우에는 실소요 천정고를 유지하는 것을 원칙으로 하였으므로 문제가 없었고, 설비의 설치와 환기량의 경우에도 실(室) 용적의 변화가 없어 세 가지의 대안모두 문제가 없는 것으로 나타났다.

4.3 라멘조 및 플랫 슬래브의 시공차원 분석

4.3.1 기존 공법 선정과정의 문제점

본 사례연구의 대상현장에서 설계단계에서의 공법 선정과정을 살펴보면, 설계의 경우 불확실한 현장의 지질조사 보고서를 근거로 경험과 추정에 의거하여 설계도서에 반영을 하고, 현장의 시공의 경우에도 통상 작업계획이 진행되면서 일련의 가능한 공법들 중에서 범위를 좁혀가는 방식을 채택하고 있다. 이러한 시공단계에서의 방법은 작업계획이 공정계획에 의존하는 경우가 많아, 작업 도중에 제한 조건에 대한 체계적인 고려가 미흡하고 작업계획과정이 주로 일부 기술자들의 경험에 의존하는 경우가 많아 대부분은 설계대로 시공하는 경우가 많다. 이는 건설 공사의 특성상 프로젝트의 특성 및 입지조건에 따라 다양하게 도출될 수 있는 각각의 제한조건들은 효율적이고 체계적으로 적용하기 어렵고, 공기의 부족과 기타의 연관 작업때문에 간과되는 경우가 많기 때문이다. 또한, 이러한 일련의 과정을 통해 적절한 대안의 공법이 채택되었다고 하더라도 시공도중에 미처 고려하지 못한 제한조건이 도출되는 경우, 공법 재변경과 안전사고 등의 원인이 되는 경우가 많아 현장에서의 체계적인 접근이 필요한 것이 발견되었다. 따라서 향후 연구에서는 기존에 수행되었던 지하골조공사의 제한조건을 주요공종별로 관리, 분류하여 공법선정을 위한 체계적인 모델구축이 요구된다.

설계차원의 VE검토 결과 도출된 공법을 비교해 보면 다음과 같다.

가. 라멘조

일반적으로 지하골조 공사에 많이 사용되는 기법은 라멘구조이다. 오랜 사용을 통한 경험의 축적, 구조적인 안정성이 널리

인정되고 있다. 그러나 표 5와 같이 무량판 구조에 비하여 보의 높이로 인한 지하구조물의 층고 증가가 불가피하고, 또한, 무량판 구조에 비하여 작업성이 떨어진다. 특히, 본 현장과 같이, 지하구조물이 발견된 지하 경암반과 간섭이 발생하면 지하층고 증가에 따른 구조적, 원가적, 공정적 불합리성이 증대되어 그 적용성이 매우 떨어지게 된다.

나. 플랫-플레이트-슬래브(flat-plate-slab)

보(girder) 없이 바닥슬래브만으로 수직하중을 지지하는 구조로서 보가 없고 바닥슬래브만으로 수직하중을 지지하는 구조로 층고를 줄일 수 있으며 골조의 형상이 단순하여 공기를 단축시킬 수 있다. 그러나 표 5와 같이, 구조역학상 해석과 설계가 어렵고 시공 중 구조 안전성 및 강성이 라멘조에 비하여 떨어진다. 또한, 시공후 건축물의 구조 저항성측면에서도 슬래브 면에 대한 송곳파괴효과 (punching effect)의 발생우려가 상존하여 사용자에게 불안감을 줄 수 있고, 현재까지는 내진성능에 대한 정확한 파악도 이루어지지 않고 있다. 현재 우리나라에서는 삼풍 백화점 붕괴사고 이후 거의 사용이 되지 않고 있다.

표 5. 시공조건 VE 검토사항

구분	항목	라멘조	Flat-Slab	Flat-Plate Slab	비 고	
사 공 조 건	시공성	보통	부재수의 감소로 시공성 향상		Flat-Plate Slab와 Flat-Slab 유리	
	안전성	보통	굴착깊이 감소로 인한 굴착시 발생사고 예방		Flat-Plate Slab 와 Flat-Slab 유리	
	작업성	보통	단순골조 형상으로 인한 작업성 우수		Flat-Plate Slab와 Flat-Slab 유리	
	원 가	굴착이 한 원 가 증 대	굴착깊이 감소로 인한 원가절감	부재의 두께 증가로 인한 원가상승 (Flat-Slab대비)		Flat-Slab 유리
	품 질	보통	보통	Punching Shear Effect 현상발생 우려		Flat-Slab 우수
	공 기	압박공 압 공 조 에 비 교 한 라 멘 조	굴착깊이 감소 및 단순골조 형상으로 인한 공기감소 (라멘조 대비)			Flat-Plate Slab와 Flat-Slab 유리

다. 플랫-슬래브 (flat-slab)

보가 없는 주두와 바닥 슬래브만으로 수직하중을 지지하는 구조로서 주두와 바닥슬래브만으로 수직하중을 지지하는 구조로 층고를 줄일 수 있으며 골조의 형상이 비교적 단순하여 공기를 단축시킬 수 있다. 또한, 표 5와 같이 구조역학상 라멘조와 마찬가지로 성능을 낼 수 있다. 현장에 적용 가능한 공법은 단순한 3개의 공법을 비교하여 본 결과, 유사공법인 플랫-슬래브와 플랫-플레이트-슬래브중에서 플랫-슬래브가 원가 및 품질 측면에서 유리한 것으로 판단되었다.

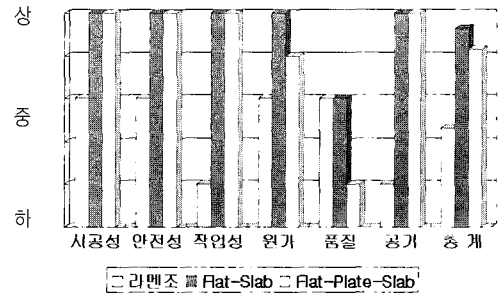


그림 7. 공법비교결과 분석

이러한 특성에 근거한 공법의 비교평가의 결과, 그림 7과 같은 결과를 도출할 수 있었다.

즉, 여러 공법을 비교 분석하여 본 결과 당 공사현장에서 가장 유리한 공법은 플랫-슬래브 공법으로 결정이 되었다. 분석의 과정을 살펴보면, 지하골조공사의 구조개선에 대한 세가지 대안에 대하여 전문가들의 자문을 통하여 다섯 등급으로 나누어 평가한 후, 이를 평균하여 종합 판정을 내렸으며, 평가대상 항목은 표 5에서 정의한 시공성, 안정성, 작업성, 원가, 품질, 공기 등 여섯 가지로 설정하였다.

5. 개선 결과

5.1 개선안 제시

이상과 같은 VE분석활동의 결과, 지하골조의 형식으로서 플랫-슬래브 형식이 제시되었고, 이를 토대로 문제가 된 지하암반의 토공사 예측치에 대한 분석을 실시하였다. 본 분석의 결과, 그림 8과 같이, 지하 토공사의 굴착깊이를 1.1m를 줄일 수 있으며, 지하 2층부터 4층까지는 총 0.9m를 줄이고, 매트기초에서 0.2m를 줄일 수 있는 것으로 평가되었다. 또한, 이러한 방법이 시공상에도 문제가 없는 것으로 판명되어 지하골조공사의 VE 최종대안으로 제시되었다.

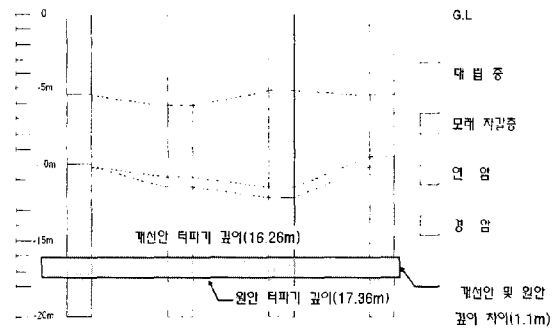


그림 8. 지질단면도상의 대안 분석결과

원가측면에서도 검토한 결과, 라멘조의 경우, 단위면적당 단가가 149,560원/m²인데 비하여, 무량판 구조는 121,057원/m²으로 나타나, 기존설계인 라멘조에 비해 20%의 원가절감 효과를 기대

할 수 있었으며, 또한, 토공사의 물량절감까지 고려한다면 그 이상의 원가절감 효과를 기대할 수 있었다. 지하골조공사의 공정관리 측면에서도 골조형상 단순화에 의한 작업성 향상으로 공기단축이 예상되고, 특히 동바리 및 슬래브 거푸집 설치에 공기단축 효과가 클 것으로 나타났다. 또한, 암반 굴착깊이 축소, 최하층 기초두께 축소 등으로 공기의 단축도 기대할 수 있었다.

5.2 개선안 채택 및 현장 적용

이상과 같은 VE 프로세스의 최종단계로서, 기존설계에서 제시된 라멘조의 구조형식을 검토 변경하여 표 6과 같은 플랫 슬래브 형식의 지하골조를 현장에 시공하였다.

이러한 개선안은 단순한 공법의 변경제안이 아니라, 지하골조공사 착수전 VE라는 과학적인 관리 도구를 사용하고 설계차원의 검토와 더불어 시공차원에서의 개선활동을 통하여 경제적이며 합리적인 대안(代案)을 도출하고 이를 적용하기에 이른 것이다.

표 6. VE 개선안 (지하 골조공법 변경안)

구분	원설계안	변경안	비고
지하중구조형식			
층고현황	B1 : 4.0M B2~B4 : 3.5M 지하층고 : 14.5M MAT : 1.4M	B1 : 4.0M B2~B4 : 3.2M 지하층고 : 13.6M MAT : 1.2M	1.1M 조정

5.3 개선안 적용결과 분석

지하골조의 플랫-슬래브 시공에 따른 효과를 분석해 보면 다음과 같다. 여러 가지 분석기준이 존재할 수 있지만, 건설공사에서 가장 중요시되는 원가와 공기측면에서 분석을 하였다.

5.3.1 원가절감효과 분석

먼저 구조형식 자체의 원가비교를 위하여 2단계를 설정하여 분석하였다. 먼저, 구조공사의 정미물량을 산출하여 비교하고, 2단계로는 1단계의 결과를 타 현장의 사례를 참고하여 그 타당성을 평가하였다.

실제로 당초설계안인 라멘구조를 플랫 슬래브 구조로 변경 시공한 결과, 20%의 원가절감 효과를 가지는 것으로 나타났다. 2 단계로서 지하층 하중조건이 유사한 인근 상가 신축의 사례를 비교한 결과, 플랫 슬래브 구조가 라멘구조의 원가대비 90% 정도 수준임이 나타났다. 즉, 플랫 슬래브 구조는 라멘조 대비 구조 설치비용이 10~20%정도 경제적인 것으로 나타났다.

플랫 슬래브 공법의 현장적용에 따른 원가분석 결과는 표 7과 같다. 당초 지하골조공사의 구조형식 변경을 위한 사전검토 결

표 7. VE활동의 원가절감 효과분석 (단위:백만원)

구분	원안(A)		개선안(B)		절감비용(A-B)
	내용	금액	내용	금액	
▶골조공사					
1)슬라브구조변경	라멘조	1,455	Flat Slab	1,322	133
2)수직부재길이감소		981	높이감소(-1.1M)	920	61
3)MAT기초두께감소	THK1400	1,302	THK1200	1,116	186
소계		3,738		3,358	380
▶토공 및 흙막이					
1)토공사	굴착깊이15.9M	705	굴착깊이14.8M	547	158
2)흙막이공사		69	천공및흙막이면적감소	53	16
3)Earth Anchor공사	6단	350	5단	292	58
4)Rock Anchor공사	100TON/공	43	120TON/공	51	-8
소계		1,167		943	224
총계		4,905		4,301	604

과, 골조공사 단위비용자체의 비용절감 효과가 20%에 이를 것으로 평가되었으며, 골조형식의 변경으로 인한 골조공사의 총 원가절감은 10.2%로 나타났다. 또한, 토공사의 경우, 본 사례의 토공량 감소 효과는 원가대비 19.2%로 나타났다. 골조형식의 변경에 따른 골조공사와 토공사의 결과를 종합해 보면, 원가절감은 12.4%에 이르는 것으로 나타났으며, 금액상으로는 6억원의 절감효과를 가지게 되었다.

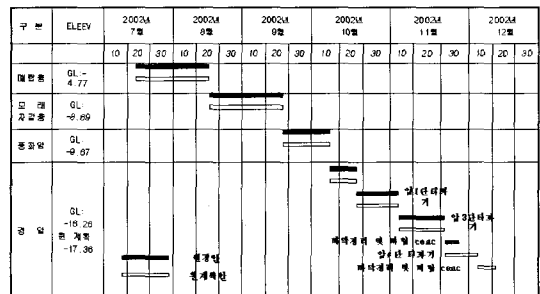
5.3.2 공기단축효과 분석

당초 라멘조의 지하골조를 플랫-슬래브 형식으로 개선한 결과, 공기단축의 요인을 분석한 결과, 다음과 같은 요인이 발견되었다.

- 가. 골조형상 단순화에 의한 작업성 향상으로 공기가 단축되었다. 특히 동바리 및 슬래브 거푸집 설치에 공기단축 효과가 큰 것으로 나타났다.
- 나. 암반 굴착깊이 축소로 인한 공기단축
- 다. 경암반 존재에 따른 최하층 기초두께 축소로 인한 공기단축
- 라. 제거식 양카공법의 개선으로 인한 후속 골조공사 조기착수 유도

이와 같이 플랫-슬래브 구조를 적용한 변경시공으로 인한 공기단축효과에 대한 상세분석결과는 그림 9와 같다.

현장의 시공은 2002년 7월부터 시작하여 2002년 11월까지 진행하였다. 당초 완료예정일인 2002년 12월에서 1개월의 공기



*7~9월은 임시 막돌 및 차수공사등과 진행되므로 토공이 지연됨

그림 9. VE 활동의 공기단축 효과분석

를 단축하여 공사를 완료한 것이다. 그림 9에서 알수 있듯이, 당초 착수시점에는 현장내 엄지말쪽의 시공과 우기에 따른 차수작업 등으로 인하여 본격적인 공정진행이 불가하였지만, 지하터파기 공사 중 경압층이 드러난 2002년 10월부터는 당초공정보다 훨씬 용이하게 진행할 수 있었다.

이는 VE 개성의 결과, 경압층에 대한 터파기량을 줄인 결과이며, 이로 인하여 당해 현장의 원활한 공기 및 공정관리를 추진하게 되었다. 즉, 당초계획 대비 약 1개월 가량의 공기 단축 효과가 있었던 것으로 판정이 되었다. 상세 공기별로는 토공사에서 15일의 공기단축을 이루었으며, 골조공사에서 15일의 공기단축을 실현한 것으로 판정이 되었다. 특히, 토공사의 15일 단축은 당초 사례 현장에서 경압이 발견되어 공기지연이 우려되는 상황에서 이루어낸 것이므로 더욱 그 의의가 크다고 할 수 있다.

6. 결론

건축물의 지하골조공사는 전체 공사의 원가 및 공기에 직결되는 매우 중요한 공사이므로 본 연구에서는 VE사례를 통하여 건설공사의 품질 및 안전의 확보, 공기단축, 원가절감, 시공성 향상을 꾀할 수 있는 방안을 모색하였다.

VE기법은 본질적으로 이론적인 개념이 아니라, 매우 실용적이고 사례기반의 업무개선도구이므로 본 연구에서는 이를 건축물의 지하골조공사에 적합하도록 VE절차를 모델링하고, 이를 현장의 사례에 직접 응용함으로써 그 타당성을 입증하였다. 즉, 본 연구의 모델을 현장의 사례연구에 적용한 결과, 시공 품질 및 안전은 충분히 확보하면서도 시공성의 향상 및 민원 감소의 무형적 효과뿐만 아니라, 약 6억원의 원가절감 효과와 1개월의 공기절감 효과를 보게 되었다. 이러한 절감효과는 본 사례연구의 현장에 국한된 것이 아니라, 국내 건축현장에서 공통적으로 적용할 수 있는 골조공사에 대한 VE 적용의 결과이므로 향후 연구에서는 이러한 방법 및 모델에 대한 보다 폭넓은 연구가 필요하다고 판단된다. 또한, 본 연구의 VE 기법의 성공적 적용사례 및

모델은 유사한 건축현장에서 지하 골조공사의 공기 및 원가 개선 및 착안시에 유용하게 사용될 수 있으므로 본 연구의 결과를 실질적으로 활용하기 위해서 VE기법의 체계적 적용방안과 플랫폼-슬래브 구조 및 기타 공법에 대한 연구, 지하 골조공사 공법 선정의 기준 마련 등에도 추후 지속적인 연구가 필요하다.

참고문헌

1. 김선국 · 김문한, 최적화거푸집공사를 위한 EXPERT SYSTEM 개발에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 9(1) 1989.4
2. 김용일 외, 건축구조물의 기초형식 선정을 위한 전문가 시스템 개발에 관한 연구-아파트건축물을 중심으로, 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집 14(1), 1994.4
3. 대림산업, 지식발표집(건축부문), 2003
4. 오승준, 흙막이공사 공법 선정방법에 관한 연구, 단국대학교 석사학위논문, 1999
5. 주영규 · 천성철, 지하구조물의 철골철근콘크리트 기둥과 철근콘크리트 보 접합부의 구조성능 평가, 대한건축학회 논문집 19(2), 2003.2
6. 전재열, 건축 설계초기단계에서 VE대상선정방법 개선방안에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 19(2), 2003.2
7. 차희성 이현수, 초기 공정계획 단계에서 시간과 성능을 고려한 최적 시공 대안 선정 방법, 대한건축학회 논문집, 13(12), 1997.12
8. Angela Palmer, John Kelly, and Steven Male, Holistic Appraisal of Value Engineering in Construction in United States, J. Constr. Engrg. and Mgmt, 122, 324- 328, 1996
9. Hyundai E&C, Value Engineering Study Report, 2000
10. Matthew J. Liberatore, Bruce Pollack-Johnson, and Colleen A. Smith, Project Management in Construction: Software Use and Research Directions, J. Constr. Engrg. and Mgmt, 127, 101-107, 2001

Abstract

Most construction project managers should focus on the reasonable cost-down with same quality and function-enhancement with same cost for the value-added construction project delivery in construction industry. Especially, a building structure construction is one of the most important processes to affect the total cost and schedule in building construction project. It means that the process has the possibility of project cost-down or quality-enhancement among the whole project life-cycle.

This research focuses on the importance of underground structure of building project by increasing underground use ratio in the urban building construction projects nowadays. This research adopts VE method for the improvement of cost and time by process and analysis dimension modeling on the underground building structure construction, and verifies it throughout the case study. This research is the basic study on the improvement of underground building works through the value engineering method in construction industry.

Keywords : Value Engineering, Underground Building Works, Model, Flat-slab Structure, Cost, Schedule