김 대 원

토목공학과



거동 해석에 관한 연구

PPS공법에 의한 흙막이 가시설의

공학석사 학위청구논문

공학석사 학위청구논문

PPS공법에 의한 흙막이 가시설의

거동 해석에 관한 연구



2009년 8월

부경대학교 산업대학원

토목공학과

김 대 원

김대원의 공학석사 학위논문을 인준함

2009년 8월 26일



목 차

	page
표목차	i
그림목차·····	······ iii
Abstract	V

제 1장 서론				1
1.1 연구배경 및	목적	NA		1
1.2 연구동향				3
1.3 연구방법				4
0			E I	

2장 지반굴착시 지반거동에 대한 이론적 고찰
2.1 지반굴착에 따른 거동현상
2.2 벽체의 강성에 따른 지반거동
2.3 버팀보의 선행하중에 따른 흙막이벽의 거동
2.4 단계별 굴착에 따른 흙막이벽의 거동 9
2.5 지반굴착공사시 지반거동분석 10
2.5.1 일반사항
2.5.2 인접지반의 지표침하 추정방법
2.5.3 지반굴착과 관련된 인접지반의 거동

제	3장	PPS(Prestressed	Pipe	Strut)	공법	22	
ŝ	3.1 군	중법개요	•••••	•••••		22	

	3.1.1 PPS(Prestressed Pipe Strut)공법의 소개	22
	3.1.2 PPS공법의 특징과 지보공법의 비교	22
	3.1.3 PPS공법의 현장적용성	24
	3.1.4 시공순서	25
3	.2 평판잭(flat jack) 의 원리	26
	3.2.1 기술적 요소	27
	3.2.2 콘크리트 블록	27
	3.2.3 Poured thrust plate	28
	3.2.4 철판	28
	3.2.5 치수 및 특성	29
	GNA	

장 현장개요 및 계측	제
현장개요 31	
지반조건 32	
해석평면 및 지질구조 34	
현장 계측	
.4.1 계측계획 및 목적	
.4.2 계측항목의 선정	
.4.3 계측기 설치	

제	5장	수치	해석	및	현장계측	두 비.	교 …	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	40
	5.1 턱	탄소성	해석	법(S	UNEX)	에 대	한 이	해	•••••	•••••	••••••••	•••••	• 40
	5.1	.1 탄소	순성ㅎ	태석(SUNEX	rev	5.5)	수행을	위한	단면…	•••••	•••••	· 42
	5.1	.2 탄소	순성ㅎ	배석(SUNEX	rev	5.5)	수행을	위한	입력물	성	•••••	• 43
	5.2 f	우한요	소해	석(P	laxis)에	대한	0) र <u>ु</u>	H	•••••	•••••	•••••		• 45

	한 단면	·위한	수행을]석(Plaxis)	유한요소히	5.2.1
	한 입력물성	· 위한	수행을]석(Plaxis)	유한요소ㅎ	5.2.2
	•••••	•••••	모델링	H석을 위한	유한요소형	5.2.3
	••••••••••••	•••••	•••••	비교분석	력 결과	5.3 부지
	•••••••••••	•••••	과비교·	모멘트 결	전단력 및	5.3.1
	•••••	•••••	<u>n</u>	량 결과 비	벽체 변위	5.3.2
]과 비교54	수치해석곁	과와)계측결	ㅣ따른 현장	굴착단계여	5.3.3



표 목 차

page
표 2.1 작업숙련도와 시공난이도에 따른 공사조건 계수 17
표 3.1 지보공법의 비교
표 3.2 Strut 비교····································
표 3.3 표준원형 평판잭(flat jack) 30
표 4.1 지층에 대한 특성
표 4.2 설계에 적용된 지반정수
표 4.3 계측항목의 선정 기준
표 5.1 지반의 입력물성 44
표 5.2 지중연속벽의 입력물성 ~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~
표 5.3 단면별 strut 입력물성 ····································
표 5.4 지반의 입력물성 46
표 5.5 지중연속벽의 입력물성 46
표 5.6 단면별 strut 입력물성 ····································
표 5.7 A-A단면에 대한 전단력과 모멘트의 비교 48
표 5.8 B-B단면에 대한 전단력과 모멘트의 비교 49
표 5.9 C-C단면에 대한 전단력과 모멘트의 비교
표 5.10 A-A단면 벽체 변위량 비교 52
표 5.11 B-B단면 벽체 변위량 비교 53
표 5.12 C-C단면 벽체 변위량 비교 54
표 5.13 1단계 굴착시 벽체의 수평변위 비교55
표 5.14 PPS거치시 벽체의 수평변위 비교
표 5.15 2단계 굴착시 벽체의 수평변위 비교

- iv -

표	6.1	지중연속벽의 안정성	58
표	6.2	PPS공법과 어스앵커 지지공법의 경제성 비교	59
표	6.3	H-beam strut지지공법과 PPS지지공법의 경제성비교	60



그 림 목 차

	pag	e
	·림 2.1 지반굴착에 따른 거동현상······	6
	-림 2.2 선행하중의 유무에 의한 토압과 흙막이벽의 변위······	8
	L림 2.3 단계별 굴착시 토압 및 벽체의 변위 변화··································	0
Ц	1림 2.4 굴착면 형상에 따른 상수값 산정(<i>C</i> ₁ , <i>C</i> ₂)	3
Д	1림 2.5 굴착면 형상에 따른 상수값 산정(<i>C</i> ₃ , <i>C</i> ₄)	4
	-림 2.6 Peck(1969)의 굴착깊이에 따른 거리-침하 관계곡선 1	5
	-림 2.7 상대밀도를 통한 침하비(γ₀)의 결정····································	6
	-림 2.8 Bauer법에 의한 지표침하량 산정	8
Д	·림 2.9 굴착으로 인하여 발생하는 인접지표의 침하분포·······1	9
Д	·림 2.10 견고한점토, 잔류토, 모래지반에 형성된 흙막이벽의 최대수평변위… 2	0
Д	L림 2.11 점토지반의 흙막이벽에 대한 최대수평변위 산정도표········2	1
	4림 2.12 인접지반의 최대지표침하량 (Clough 등, 1990)	21
	김 3.1 PPS 스트러트(strut)2	4
	4림 3.2 일반 스트러트(strut)	4
Ш	.림 3.3 PPS공법을 적용한 현장의 시공순서	6
	·림 3.4 원형 잭의 평면 및 단면도	7
	·림 3.5 콘크리트 블록 상세도	8
	2림 3.6 Poured thrust plate······ 2	8
Д	1림 3.7 철판	9
Д	.림 3.8 평판 잭의 모양·······2	9
Д	·림 3.9 분출관 위치에 따른 분류·······3	0
	1림 4.1 적용현장 위치	1

그림 4.2 현장 단면도
그림 4.3 해석평면의 형상
그림 4.4 지질주상도
그림 4.5 지중경사계 설치 모식도
그림 4.6 지표침하핀 설치 사진
그림 4.7 기초 가시설 계측기설치 평면도
그림 5.1 정수압 및 특수한 형태의 토압 41
그림 5.2 해석단면 위치도42
그림 5.3 탄소성해석 단면43
그림 5.4 유한요소해석 단면 45
그림 5.5 유한요소해석을 위한 모델링 47
그림 5.6 유한요소해석에 의한 변형 48
그림 5.7 A-A 단면 해석결과 49
그림 5.8 B-B 단면 해석결과50
그림 5.9 C-C 단면 해석결과51
그림 5.10 A-A단면 벽체 변위량 비교
그림 5.11 B-B단면 벽체 변위량 비교 53
그림 5.12 C-C 벽체 변위량 비교
그림 5.13 1단계 굴착시 벽체의 수평변위 비교 55
그림 5.14 PPS 거치시 벽체의 수평변위 비교
그림 5.15 2단계 굴착시 벽체의 수평변위 비교 57

Behavior of Temporary Earth Retaining Structure Supported by Prestressed Steel Pipe Strut

Dae-won Kim

Department of Civil Engineering, Graduate School of Industry Pukyong National University

Abstract

Stable and successful earth retaining work is completed through observing and inspecting ground condition and water level, effect of adjacent structures & main facilities, and effect of underground utilities. As earth retaining work is a kind of facility to protect excavation face from collapsing in accordance with the intensity and rigidity and to prevent effects of ground displacement, subsidence, etc., its selection or design plan should be related to the whole construction schedules.

In this study, for the purpose of systemic research on temporary support of earth retaining work using PPS(Prestressed Pipe Strut) to reduce its excessive costs, a problem on the construction of existing temporary support and inefficiency of work process were complemented and its necessity was examined. And field measurements and numerical analysis were carried out to examine the interaction between PPS-supported wall and excavated ground. Through this procedure, behavior characteristics of temporary support of earth retaining work using PPS was studied and its safety and economy were checked and compared in order to increase practical application of it.

Wall displacement in temporary support was compared by numerical

– viii –

analysis of Finite Element Method & Elasto-Plasticity Method and materials from field investigation of inclinometer. Field investigation, on the basis of inclinometer, concentrated on the displacement pattern of earth wall.

As a result of comparing field investigation and numerical analysis, Finite Element Method(PLAXIS) produced the corresponding results comparatively to actual measurement value, but Elasto-Plasticity Method(SUNEX) had somewhat overestimated results.



제1장 서론

1.1 연구배경 및 목적

최근 산업발전과 더불어 도심지에 인구가 집중됨에 따라 용지면적은 줄 어들고 지하공간개발에 대한 필요성이 더욱 고조되고 있는 실정이다. 한정 된 용지를 효과적으로 이용할 수 있는 지하공간의 활용 또한 꼭 필요한 과정이다. 최근 들어 대규모의 지하굴착공사에서 여러 가지 원인에 의해 주변지반의 붕괴, 인접건물 파괴 등 대형사고로 인해 막대한 인적·물적 피 해를 입힌 사고가 빈번히 발생하고 있어 안전한 시공이 최우선 과제로 부 각되고 있다. 이로 인해 사전 안정성의 증대에 관한 연구로 수치해석 등 을 통한 사전위험도 예측과 더불어 실제 현장에서 적용이 되는 계측수행 의 필요성 또한 제기되고 있다.

흥막이 공사를 안정적이고 성공적으로 실행하기 위해서는 먼저 지반의 특성이나 지하수위의 상황, 인접구조물이나 중요시설물의 영향 및 지하매 설물의 영향 등을 폭넓게 고려하고 면밀히 조사한 후 수행하여야 한다. 또 한 흙막이공사는 그 구조의 강도와 강성에 따라 굴착면의 붕괴를 방지하 고 주위지반의 변위, 침하 등에 의한 영향이 발생되지 않도록 하기 위한 시설이기 때문에 흙막이 공법의 선택이나 설계계획은 공사전체의 시공계 획과 관련지어 계획되어야 한다.

기존 흙막이 가시설은 일반 강재를 활용하는 방법, 앵커를 이용하는 방 법, 굴착지반을 지지한 버팀보에 직접 축력을 가하는 선행하중 재하방법, 띠장에 프리스트레스를 가하는 방법, 트러스 형태의 띠장을 활용하는 방법 등이 있으나 위의 기존 흙막이 가시설 방법들은 버팀보를 2~3m 이내의 간격으로 촘촘히 설치하여야 하기 때문에 작업공간이 협소하며 막장에서

- 1 -

의 중장비 사용이 불편하고 앵커를 활용할 경우, 도심지 굴착에서 사유지 침범 및 지장물의 파손을 초래할 수 있는 문제점들을 안고 있다. 또한 기 존 대부분의 흙막이 가시설은 주로 H형강의 휨 저항력과 압축 저항력을 이용하여 토압을 지지하는 구조이다. 그러나 H형강의 휨 저항력과 압축저 항력은 한계가 있어서 토압을 지지하기 위해서는 많은 수의 H형강을 사용 하여 촘촘히 설치해야 하기 때문에 작업공간이 좁아져 시공에 많은 어려 움이 발생하기도 한다. 또한 현재의 흙막이 가시설은 수많은 버팀보가 비 효율적으로 사용되어 비경제적일 뿐만 아니라 주변지반 침하의 우려까지 있어 효율적인 흙막이 가시설 방법 및 설계지침의 마련이 절실한 실정이 다.

기존 흙막이 가시설의 문제점을 해결하기 위한 PPS(Prestressed Pipe Strut)공법은 현재까지 흙막이 가시설에서 발생되고 있는 시공 상의 문제 점, 작업공정 상의 비효율성 및 과도한 흙막이 가시설의 비용을 절감할 수 있는 PPS공법을 이용한 흙막이 가시설의 활용이 필요하며 PPS공법에 의 한 흙막이 가시설의 활용을 위한 보다 체계적인 연구가 수행되어야 하며, PPS공법과 굴착지반의 상호작용을 명확히 규명하기 위한 현장시험시공 및 수치해석모델링 연구가 필수적이다. 이와 같은 연구과정을 통하여 PPS 공법을 이용한 흙막이 가시설의 정확한 거동 특성 이해와 안정성을 재차확인하고 PPS 흙막이 가시설의 현장 적용성을 확대시키는 근거를 제공하고자 한다.

1.2 연구동향

흙막이 구조물에 대한 연구는 오래 전부터 매우 활발히 진행되어 Coulomb, Rankine등은 강성벽체에 작용하는 이론적인 토압론에 대하여 연구하였고, Terzaghi-Peck과 Tschebotarioff 등은 성토 및 굴착이 완료된 후 버팀대에 설치된 계측기를 사용하여 연구한 경험 토압분포를 제안한 바 있다. 또한 Scott Willson & Baller(1972)에 의한 강성벽체에 대한 토압 분포와 연성 벽체의 토압분포 차이는 벽체의 높이에 따라 발생하는 변위 의 함수라고 하는 연구가 발표되었다. Herington(1972)은 지반의 응력-변 형률 거동을 Mohr-Coulomb파괴 규준으로 해석하는 것이 합당하다고 하 였으며, 주동 및 수동토압에 대한 지반 거동해석에 탄소성응력-변형률관계 를 사용할 것을 제안하였다. Ozawa와 Duncan(1976)은 사질토에 대한 탄 소성 응력-변형률 모델을 적용하여 수동토압 관계를 연구하였다. 한편, 국 내에서는 홍(1992), 장(1992), 주(1993), 김(1994), 임(1996) 등에 의해 흙막 이 구조물의 설계에 관한 연구가 수행되었다. 또한, 현장 계측치에 대한 사례연구, 앵커지지 흙막이벽에 작용하는 측방토압과 수평변위에 관한 연 구가 수행되었고 이러한 수평변위는 굴착 토류벽 배면지반의 침하를 유발 한다. 이것은 일반적으로 지반손실, 혹은 지표침하라고 하는데 Peck(1966) 은 주로 강성이 적은 Sheet Pile과 Strut로 된 흙막이 벽의 실제 공사 관 측기록으로부터 분석하여 굴착지반의 특성 및 굴착깊이, 성토높이에 따라 침하해석을 제안하고 있다. Caspe(1966)는 굴착 주변지반에 발생하는 총 침하량은 토류벽의 수평변위로 인하여 손실되는 체적과 같다는 이론을 바 탕으로 침하-거리 곡선을 수평 변위량으로 구하는 방법을 제안하는 등 많 은 학자와 기술자들에 의해 지속적인 연구가 이루어져 왔다. 국내에서도 지하철 및 대규모 도심지 굴착, 교대기초 공사 등이 빈번히 시행됨에 따라 벽체 형식, 지반조건 및 버팀대 형식에 따른 토압분포에 대한 연구가 현장 계측 및 실내실험을 통하여 활발히 진행되고 있으며 범용화된 프로그램도 있다.

1.3 연구방법

본 논문에서는 부산 해안순환도로 공사현장에서 시행중인 강합성 사장 교의 기초공사에 적용된 데이터를 기준으로 연구하였으며, 기초공사에 적 용된 흙막이 가시설 공법 중 PPS(Prestressed Pipe Strut)공법을 이용한 효율적인 현장적용에 따라 계측되어진 대표단면의 계측치를 통하여 가시 설의 거동과 작용하는 변위를 확인 하였다. 현장의 계측은 지중경사계와 지표침하핀을 설치하였고 탄소성해석프로그램(Sunex)과 유한요소해석프로 그램(Plaxis)을 통해 효율성과 사전 안정성 증대에 관해 비교·분석하였다. 또한, PPS공법을 검토하고 경제성과 실용성을 분석하여 대규모 지하굴착 공사에 있어서 보다 효율적인 시공능률 향상에 주안점을 두었다.

Ot J

제2장 지반굴착시 지반거동에 대한 이론적 고찰

보통의 건설공사에서는 축조되는 구조물의 안정성 확보가 주목적이 되 지만 지반굴착 공사에서는 구조물 자체의 안정성은 물론 인접구조물에 끼 치는 영향을 동시에 고려하여야 한다. 대부분의 지반굴착은 그 규모나 심 도에 따라 정도의 차이는 있겠지만 반드시 인접지반의 거동과 침하를 유 발하게 된다. 이와 같은 지반거동현상은 지반조건과 지하수 변화 등의 영 향을 가장 크게 받지만 그 외에도 흙막이 구조물의 종류 및 강성, 시공방 법, 시공기술수준, 주변지형지세 및 여건 등 복합적으로 작용하고 있다.

따라서, 지반굴착공사에서는 인접지반 거동의 정도에 따라 안정상태에 있는 인접구조물을 불안정한 상태로 변화시킨다는데 그 문제점이 있으므 로 이를 최소화하기 위한 조치가 필요하다.

2.1 지반굴착에 따른 거동현상

그림 2.1은 지반굴착에 따른 여러 거동을 나타낸 것으로 주된 지반거동 은 흙막이벽체 변위에 따른 배면지반의 침하, 굴착저면의 히빙과 파이핑 문제, 흙막이벽 사이로 배면 지하수와 함께 유출되는 토사에 의한 지반손 실문제, 천공 및 굴착에 의한 진동에 따른 지반침하 등으로 지반굴착 흙막 이공에서는 이러한 문제들을 해소하거나 최소화하기 위한 대책을 마련해 야 한다.



그림 2.1 지반굴착에 따른 거동현상

2.2 벽체의 강성에 따른 지반거동

벽체의 강성에 따라 벽체의 수평변위가 다른 크기로 일어나므로 결국 토압의 분포는 벽체의 강성에 의하여 영향을 받는다. 일반적으로 벽체가 강성이면 토압의 분포는 삼각형 분포로 된다. 그러나 벽체가 연성이면 벽 체의 수평변위는 굴착 깊이가 깊어질수록 점차적으로 증가하며 그 변위량 은 지반의 종류와 굴착 깊이 및 작업 기술에 따라 다르다. 굴착부상단의 변형이 작으면 거의 정지토압이 되지만 굴착바닥부분에서 벽체의 변형이 크면 바닥부근에서는 정지토압보다 작은 토압이 걸리므로 수평토압은 일 정한 분포로 되지 않는다.

2.3 버팀보의 선행하중에 따른 흙막이벽의 거동

선행하중이란 벽체의 변위를 감소시키기 위하여 스트러트(Strut)을 대고 하중을 가한 상태를 말하는 것이다. 벽체에 주동변위가 발생하여 소성평형 상태에 도달된 상태에서 스트러트을 대고 가압하여 역방향을 벽체변위를 발생시키면 토압의 크기가 변한다. 이 때에 벽체의 수평변위가 적게 일어 난 지반 즉, 탄성지반에서는 초기의 주동변위가 감소된 만큼 토압이 증가 되므로 토압은 주동토압과 정지토압의 사이값인 $K_a < K < K_o$ 가 된다. 그러나 벽체의 변위가 커서 소성상태로 변한 지반에 가압하여 역방향으로 큰 변위를 준 경우에는 벽체의 큰 변위에 의하여 토압이 증가하여 정지토 압과 수동토압의 사이값인 $K_o < K < K_p$ 가 된다. 따라서 스트러트을 가 압한 경우에는 벽체의 변위량에 따라 벽체배면 지반상태가 탄성상태인지 아니면 소성상태인지를 구분해야 한다.

그림 2.2는 버팀보의 선행하중 유무에 의한 토압과 흙막이벽체의 변위거 동을 나타낸 것으로 (a)는 버팀보에 선행하중을 가하지 않는 경우로서 토 압은 감소하나 벽체의 변위량은 크게 증가하며 (b)는 선행하중을 가한 경 우로서 토압은 크게 증가하나 벽체의 변위량은 크게 감소한다.

CH OL N



(b) 선행하중을 고려할 경우

그림 2.2 선행하중의 유무에 의한 토압과 흙막이벽의 변위

2.4 단계별 굴착에 따른 흙막이벽의 거동

단계별 굴착시 연성벽체의 변형거동에 대하여 Bowles(1988)는 그림 2.3 과 같이 이상화된 벽체변형 거동과 토압분포를 제안하였다.

그림 2.3의 단계 1에서 벽체는 주동토압을 받고 항복을 일으키며(점선은 소성파괴영역을 표시) 이 때의 횡방향 변위는 흙과 캔틸레버 벽체의 상호 작용에 지배된다. 지보공이 설치되면 단계 2와 같이 되는데 이때 지보공에 가해지는 힘은 단계 1에서와 같은 소성평형상태의 흙에 변형을 일으킬 수 있는 힘 즉, 주동토압보다 큰 힘이 작용해야 하므로 단계 1에서의 주동토 압의 크기보다는 증가할 것이고, 그 결과 벽체에 가해지는 토압은 증가하 게 되며 이 상태에서의 토압분포는 경험토압과 유사할 것이다.

단계 2에서 굴착을 계속하면 b와 c사이에는 새로운 횡방향 변형이 발생 하고 흙은 첫단계 지지구조 뒤쪽의 영역으로부터 흙의 크리프(creep)거동 과 같이 b와 c사이의 변위속으로 이동하려 하므로(아칭 효과) 지지구조의 하중은 감소한다. 이 경우가 단계 3인데 이때의 토압은 불명확하나 지지구 조 설치전 이므로 벽체의 변형거동으로 보아 단계 1에서와 같은 토압을 산정하여야 한다. 단계 3에서 두 번째 지지구조를 설치하고 첫 번째 지지 구조를 긴장시키면 단계 4에서와 같은 토압분포를 얻게 되고 이 경우 역 시 경험토압과 큰 차이는 생기지 않는다.

단계 4는 밑면 c에서 d로 굴착을 계속하면 단계 3에서와 같이 굴착면 이하에 새로운 횡방향 변위가 발생되어 추가적인 토압의 감소가 발생한다. 이상과 같이 단계별 굴착시 토압은 변화하므로 토압 산정시에는 이러한 여러 가지 조건을 고려하여 적용하여야 한다.

- 9 -



그림 2.3 단계별 굴착시 토압 및 벽체의 변위 변화

2.5 지반굴착공사시 지반거동분석

2.5.1 일반사항

흙막이벽의 횡방향 변위는 버팀 굴착 주위의 지반침하를 유발한다. 이것을 일반적인 지반손실(ground loss)이라 하는데 지반손실은 인접구조물 기초 또는 지하매설물에 대하여 침하를 유발시켜 피해가 발생하므로 근접시공에 매우 중요한 문제가 된다. 흙막이벽의 변위에 따른 인접지반의 침하는 흙막이벽 변위의 실측 또는 계산에 의하여 구하고 그 변위로부터 인접지반 침하를 추정하는 방법과 버팀구조와 인접지반을 일체로 하여 해석하는 방법이 있다. 어느 경우이거나 흙막이벽의 횡방향 변위를 해석하는 방법에 지배되는데 일반적인 예측방법은 다음과 같다.

- ① Caspe(1996)의 방법 : 이론적 방법
- ② Peck(1969)의 곡선 : 계측결과의 이용
- ③ Fry 등(1983)의 방법 : FEM 해석결과 이용
- ④ Bauer(1984)의 반경험식
- ⑤ Clough & O'Rourke(1990)의 방법

2.5.2 인접지반의 지표침하 추정방법

1) Caspe(1996)의 방법

Caspe는 1966년에 대수나선형의 활동면을 설정하고 영향권내의 토체를 일정한 띠요소로 나누어 흙막이벽의 수평변위와 지반의 푸아송비를 사용 하여 굴착에 따른 인접지반의 침하량을 산정하는 방법을 제시하였다. 이 방법에서는 지하수위 저하에 따른 유효응력 증가로 인한 침하는 별도로 계산되어야 한다는 것을 전제로 하고 있다.

현재 침하량 예측을 위하여 실무에서 많이 사용하고 있는 Caspe방법은 1984년에 Bowles에 의하여 재정리된 것으로서 원래의 방법과는 계산자료 와 비교적 잘 일치한다고 하였다. 해석을 위한 입력자료로는 깊이에 따른 벽체의 수평변위, 굴착깊이, 굴착 폭, 내부마찰각이 필요하다. 침하량 산정 을 위한 세부사항은 다음과 같다.

- (1) 벽체의 수평변위를 결정한다.(예측치 또는 계측치)
- (2) 벽체의 수평변위를 합하여 변위 체적(V)을 구한다. 변위 체적을 구하기 위해서 양단면 평균법, 사다리꼴 공식 또는 Simpson의 1/2방법 등을 사용한다.
- (3) 침하 영향권의 수평거리 D를 추정한다. 점토지반에서 침하영향권을 적용하기 위하여 Caspe가 제안한 방법은 다음과 같다.
- ① 굴착심도 (V_s)와 굴착폭(B) 계산
- ② 굴착영향 거리 H_t 를 식(2.1)에 따라 계산

$$H_t = H_p + H_w \tag{2.1}$$

여기서, $H_p = 0.5Btan(45° + \frac{\Phi}{2}) (\Phi > 0) 인 경우$

- 11 -

$$H_p = B(\Phi = 0)$$
인 경우

③ 침하영향 거리 D를 식(2.2)에 따라 계산

$$D = H_t \tan(45^\circ - \frac{\Phi}{2})$$
 (2.2)

④ 벽체에서의 지표침하량 S_w 를 식 (2.3)에 따라 계산

Kyrou는 지반을 완전 탄성 및 포화된 것으로 가정하고 트렌치 굴착에 따른 지반의 변위를 유한요소해석 하였으며 Fry 등은 이러한 Kyrou의 해 석결과를 지반조건에 따라 확장시켜 탄성식을 제안하였다. 즉, 지반의 탄 성계수, 측압계수, 트렌치의 기하학적 형상 등을 이용하여 트렌치 벽면으 로부터 임의 지점에서 수평변위, 연직변위를 산정할 수 있는 방법을 식 (2.5) 및 식 (2.6)과 같이 제시하고 있다.

$$\delta_h = \frac{\gamma H^2}{E} (C_1 K_0 + C_2)$$
(2.5)

$$\delta_v = \frac{\gamma H^2}{E} (C_3 K_0 + C_4) \tag{2.6}$$

여기서, E: 지반의 탄성계수

H : 굴착깊이

γ : 지반의 단위중량

 K_0 : 지반의 정지토압계수(= $1-\sin \Phi$)

C₁ ~ C₄ : 흙막이벽으로 부터의 수평거리와 지표면으로부터

깊이에 따라 결정되는 상수

(그림2.4, 그림2.5참조)



그림 2.4 굴착면 형상에 따른 상수값 산정(C_1 , C_2)



3) Peck(1969)의 방법

이 방법은 그림 2.6과 같이 현장계측결과로부터 연약한 점토지반을 중심 으로 굴착에 따른 인접지표침하의 크기와 분포를 흙막이벽으로부터의 수 평거리에 따라 굴착깊이에 의한 무차원량으로 표시하고 크게 3영역으로 분류하였으며 흙막이벽은 강널말뚝과 같이 강성이 낮은 것을 대상으로 하 고 있다.



그림 2.6 Peck(1969)의 굴착깊이에 따른 거리-침하 관계곡선

01

4) Bauer(1984)의 반경험식

Bauer(1984)는 사질토 지반에서 굴착에 의한 침하 영향범위내의 거리별 지표 침하량을 산정하는 반경험적인 방법을 제안하였다. 이 방법은 지반조 건(상대밀도, 내부마찰각) 및 굴착조건(굴착깊이)은 물론, 표 2.1에 나타나 있는 바와 같이 기술숙련도와 시공난이도에 대한 영향을 고려할 수 있다 는 특징을 가지고 있다.

지반의 상대밀도(D_r)와 내부마찰각(Φ)으로 정의되는 침하비(γ_o)를 식 (2.7) 또는 그림 2.7 으로부터 산정한다.

- 15 -

$$\gamma_o = \frac{2 - 2(2D_r)^{1/2}}{100} \tag{2.7}$$

식 (2.8)을 이용하여 결정된 침하비와 굴착깊이로부터 최대지표침하량(*S_o*) 을 계산하고, 식 (2.9)에서 지반의 내부마찰각과 굴착깊이를 고려한 침하영 향거리(D)를 구한다.

 $S_o = \gamma_o H \tag{2.8}$



그림 2.7 상대밀도를 통한 침하비(γ_o)의 결정

$$D = 1.5H'\tan(45^{\circ} - \frac{\Phi}{2})$$
 (2.9)

여기서, S_o : 최대침하량

 γ_o : 침하비

- D : 침하영향거리
- H : 굴착깊이
- H': 토사층 거리

위에서 계산한 침하 영향범위에서 거리별 지표침하량은 작업 숙련도와 시공난이도에 따른 공사조건계수 (f_1, f_2) 를 표 2.1로부터 결정하고 식 (2.10)을 이용하여 산정한다. (그림 2.8 참조)

$$S = S_o(\frac{\chi}{D})^2 f_1 f_2$$
 (2.10)

TION

표 2.1 작업숙련도와 시공난이도에 따른 공사조건 계수

		U.		
л. (2	시공 난이도	2	
AT 0	상	No.	하	
f_2	1.00	1.02	1.05	
2				
괴스	시공 난이도			
州干	최상	상	중	
f_1	0.80	0.90	1.00	



그림 2.8 Bauer법에 의한 지표침하량 산정

5) Clough & O' Rourke(1990)의 방법

Clough & O' Rourke(1990)은 모래지반에서의 최대지표침하량은 0.3%H (H : 최종굴착깊이) 이내 최대침하 영향거리는 흙막이벽으로부터 2H이고 단단한 점토 지반에서의 최대지표침하량은 0.5%H이내 최대침하영향거리 는 3H이며 침하량 분포는 흙막이벽에서 멀어짐에 따라 감소하는 삼각형 분포를 나타낸다고 가정하여 흙막이벽에서의 거리별 침하량을 추정할 수 있도록 하였다. (그림 2.9 참조)



2.5.3 지반굴착과 관련된 인접지반의 거동

지반굴착으로 인한 인접지반 거동에 대한 내용은 주로 굴착시의 흙막이 벽 변위로 인한 침하를 지반조건 및 흙막이벽 구조물 형식에 따라 흙막이 벽체의 최대수평변위, 최대지표침하량, 침하영향거리에 관한 것이며 이를 요약 정리하면 다음과 같다.

- 19 -

1) 흙막이벽의 수평변위

굴착에 따른 흙막이벽의 최대수평변위에 대한 연구는 지속적으로 이루 어져 왔으며 그 중 Clough(1990) 등은 견고한 점토, 잔류토 및 모래지반의 경우에 대해 벽체의 최대수평변위와 굴착깊이 사이의 관계를 그림 2.10과 같이 나타내고 있다.

그림 2.10에서 보는 바와 같이 평균적으로 벽체의 수평변위는 굴착깊이 의 약0.2%정도이나 0.5% 이상되는 특별한 경우도 있음을 밝히고 있다. 또 한, 발생되는 수평변위의 크기는 흙막이벽체의 종류에는 그다지 상관없음 을 알 수 있다.

또한, Mana-Clough(1981)는 다양한 실제시공 자료를 분석하여 저부파괴 (굴착저면 융기현상)에 대한 안전율과 벽체의 수평방향 최대변위(굴착깊이 와 관련지어)와의 관계를 그림 2.11에 제시하였다. 만약 안전율이 2.0 또는 그 이상인 경우 수평움직임의 크기는 굴착깊이의 0.5%정도 또는 그 미만 이고 안전율이 거의 1.0인경우에는 0.2% 또는 그 이상임을 나타내고 있다.



그림 2.10 견고한점토, 잔류토, 모래지반에 형성된 훍막이벽의 최대수평변위 (Clough 등, 1990)





2) 인접지반의 최대지표침하량 및 침하영향거리

Clough(1990) 등은 굴착깊이의 0.15%정도에 해당되는 최대지표침하가 평균적으로 발생하였으며 이와 같은 최대지표침하량은 벽체 최대 변위의 75%정도에 해당된다고 밝힌 바 있다(그림 2.12 참조). Clough 등은 아울 러 H-Pile+토류판 또는 강널말뚝 벽체의 경우에도 상당한 지표침하가 발 생하는 것으로 보고하였다.



그림 2.12 인접지반의 최대지표침하량 (Clough 등, 1990)

제3장 PPS(Prestressed Pipe Strut) 공법

3.1 공법개요

3.1.1 PPS(Prestressed Pipe Strut)공법의 소개

지하구조물 굴토공사 중 흙막이 벽체가 지보형식은 스트러트공법, 지중 앵커공법, 구조 슬래브지지공법 등이 가장 많이 활용되고 있으나, 이중에 서 스트러트공법은 타 공법에 비하여 설치공정이 용이하나 굴토공사시는 보다 어려운 것이 단점으로 이는 기 배치되어 있는 촘촘한 간격의 부재와 이를 지지하는 버팀지지말뚝(post pile)등이 굴토장비의 작업 공간을 협소 하게 하여 굴토공정의 작업효율이 현저히 감소하기 때문이다.

이러한 문제점을 보다 효과적으로 개선할 수 있는 대체공법이 PPS공법 이다. PPS공법은 H-beam을 사용하는 일반적인 스트러트공법과 달리 허 용압축력과 좌굴에 대한 저항한계가 상대적으로 큰 원형 강관을 사용하면 서도 평판잭(flat jack)과 같은 대규모 선행압축공법을 병행, 적은수량의 스트러트를 배치하여 넓은 굴토작업 공간을 확보할 수 있어 효율적인 굴 토공사를 계획할 수 있다. 또한 평판잭의 프리스트레스규모(300Ton)에 따 라 버팀지지말뚝 없이 스트러트설치가 가능하고, 굴토공사에 따른 흙막이 벽체의 수평변위를 최소화하여 인접주변 구조물과 도로에 대한 침하 영향 을 최소화 할 수 있는 공법이다.

3.1.2 PPS공법의 특징과 지보공법의 비교

사용부재는 강관으로 직경이 800~1500mm 정도이며 평판잭의 가압하중 은 최대 600ton 이고 지보재의 배치간격은 수평방향으로는 6~8m이고 수 직방향으로는 5~8m이다. 또한 버팀지지말뚝이 필요하지 않고 최대 설치

- 22 -

지간거리는 약 40m 정도 이다. 표 3.1은 타 지보공법과의 비교표이고 그림 3.1과 그림3.2, 표 3.2는 PPS공법과 일반적인 스트러트공법의 상세비교이다.

	흙막이 지보공법	일반 H-BEAM STRUT공법	지중앵커공법
시공 현장 사진			
단 면 도			
특징비교	▶소요공기100% ▶지반조전에 제한이 없음 ▶대규모현장 및 넓은지 간에도 적용가능(50~60m)	▶소요공기140% ▶지반조건에 제한이 없음 ▶주로 중소형 현장 규 모 및 짧은기간에 적용 가능 (30m내외)	 ▶소요공기 120% ▶점토 또는 고투수성지 반 적용곤란 ▶인접구조물 위치 시공 불가 ▶인접 사유지 하부 시공불가
시 공 성	 ▶ 굴토작업공간 충분 ►> 굴착효율우수 ▶ 굴토단계감소 ►> 굴착효율우수 ▶ 벽체방수처리 불필요 ▶ 버팀지지말뚝(post pile) 불필요 	 ▶ 굴토작업공간협소 > 굴착효율저하 ▶ 굴토단계많음 => 굴착효율저하 ▶ 벽체방수처리 불필요 ▶ 스트러트 지지용 버팀지 지말뚝(post pile) 시공필수 	 ▶굴토작업공간 충분 >굴착효율우수 ▶굴토단계많음 =>굴착효율저하 >행커위치벽면 지하수 및 토사유출 방지방안 필요
경 제 성	▶지보재 설치비 100%	▶지보재 설치비 130%	▶지보재 설치비 130% ▶앵커위치 지하연속벽 면 방수처리비용추가 ▶제거식 앵커 해체비용 추가

표 3.1 지보공법의 비교

- PPS공법과 일반 스트러트(strut)공법의 상세비교



그림 3.1 PPS 스트러트(strut) 그림 3.2 일반 스트러트(strut)

표 3.2 Strut 비교

PPS 스트러트(strut)		H-beam 스트러트(strut)	
허용압축력 Pa	600ton	허용압축력 Pa	165ton
좌굴장한계 La	35m	좌굴장한계 La	7m
FLAT JACK	유압식 300~500 ton	FLAT JACK	유압식 70~100 ton
띠장형식	con'c block또는H-beam	띠장형식	H-beam
버팀지지말뚝	불필요	버팀지지말뚝	H-beam

3.1.3 PPS공법의 현장적용성

PPS공법에 의한 흙막이지보공법의 적용이 유리한 현장조건은 다음과 같다.

1

지하차도, 지하철 등 굴착폭이 20m이하이고, 굴착장이 상대적으로 긴현장
 第막이 벽체가 지하연속벽 등 강성벽체로 계획된 현장

3) 굴토깊이 15m이하의 현장으로 PPS지보 1~2단으로 계획할 수 있는 현장

4) 부지여유가 넓어 별도 복공계획이 필요없거나, 복공면적이 적은 현장.

5) 중요구조물이나 철근배근이 복잡하여 버팀지지말뚝계획을 할 수 없는
현장(대형교량주탑기초 등)

3.1.4 시공순서

PPS공법에 의한 기초 가시설은 그림 3.3과 같은 순서로 시공된다.

- ① S.C.W(Soil Cement Wall)를 설치한다.
- ② 안내벽을 설치하여 슬러리 월(slurry wall)의 설치를 용이하게 한다.
- ③ 지중연속벽을 설치하기 위한 철근망 건입과 콘크리트 타설을 한다.
- ④ 지중연속벽의 설치가 완료되면 1단계 토공을 실시한다.
- ⑤ PPS거치를 위한 콘크리트 빔을 설치한다.
- ⑥ PPS를 거치하고 평판잭(flat jack)에 유압을 가한다.
- ⑦ 2단계 굴착을 실시하고 버림콘크리트를 타설하여 기초를 완성하기 위
- 한 토공작업을 마무리한다.



S.C.W



안내벽(guide wall)



slurry wall







콘크리트 타설



철근망 건입



3.2 평판잭(flat jack) 의 원리

평판잭은 얇으며 유압을 사용하여 상당한 크기의 힘을 간편하며 경제적 으로 발현시킬 수 있다. 초기에 콘크리트에 프리스트레싱을 가하기 위한 방법으로 Eugene Freyssinet에 의해 개발되어 특수한 환경아래 사용되었 다. 평판 잭은 그 이후로도 수많은 곳에서 사용되었고 특히 균일한 변형을 전달하는데 사용되었다.

3.2.1 기술적 요소

유연한 철판 캡슐형태인 평판 잭은 두 장의 철판주위를 원형으로 용접 하여 만들어졌다. 연결 테두리는 원형의 모양을 지니고 있다. 두 개의 분 사관을 지니고 있고 이중 하나는 압력의 주입을 위한 것으로 미소한 반경 의 변화와 함께 테두리 모양의 변형을 초래하는 변형은 잭의 양쪽 면을 밀도록 한다. 그림 3.4은 원형 평면 잭의 평면 및 단면을 보여주고 있다. 잭의 밀기(stroke)는 한 장의 철판으로부터 반대편 철판까지의 거리 (hb-ha)이다. 아래 정의된 것처럼 잭의 유효단면적에 의해 증가되는 압력 은 동일한 힘을 작용시킨다. 오목한 양쪽의 함몰부의 채움(유압)으로 평 판의 미는 힘이 양방향으로 발현될 수 있다.



그림 3.4 원형 잭의 평면 및 단면도

3.2.2 콘크리트 블록

유용하려는 간격이 클 경우, 잭은 콘크리트 블록 내에 묻는다. 이러한 블록은 일반적으로 100mm 두께로(잭의 양쪽 면 각각 50mm) 양쪽 면은 철근에 의해 결합되어 고정된다. 잭에 유압 주입시 콘크리트 블록의 중앙 면에서 균열이 발생한다. (그림 3.5 참조)

- 27 -



그림 3.5 콘크리트 블록 상세도

3.2.3 Poured thrust plate

유용하려는 간격이 제한적일 경우, 콘크리트에 묻는 대신 예를 들면 수 지모르타르(resin mortar)패드로 대체한다. 또한 납을 사용할 수 있다. 따 라서 잭은 테두리 직경만큼 충분한 깊이의 간격에 관입될 수 있으며, 추가 적인 틈은 약 10mm정도이다. (그림 3.6 참조)



3.2.4 철판

철판은 평판 잭의 힘을 전달하기 위하여 사용된다. 이것은 표3.1에 나타 나는 최소의 두께를 가져야 하며, 이는 평판 잭의 특성을 발생시킨다. 잭 의 테두리 공동부와 접하는 철판 면은 약 5mm 반경의 곡률로 연마작업에 의해 둥글게 되어야 한다. (그림 3.7 참조)



그림 3.7 철판

3.2.5 치수 및 특성

1) 모양

기본적인 모양은 원형이다. 그러나 그림 3.8와 같이 직사각형, 정사각형 모양의 평판 잭도 필요에 따라서는 사용할 수 있다.



2) 공칭 최대 발현간격

잭의 공칭 최대 발현간격은 테두리 직경과 같다. 좀 더 큰 발현간격이 필요시, 단순한 방법으로 두 장 또는 여러 장의 잭을 중첩하여 사용하는 방법이 있다. 최대 사용 가능한 잭의 수는 시스템의 안정성 조건에 따라 결정된다.

3) 응용할수 있는 힘과 최대압력

평판 잭에 의해 발현되는 힘은 이것의 작용면적에 따른다. 여기서 힘은 P × S이며, 여기서 P는 압력이고 S는 잭의 유효면적(이는 잭의 확장과 사

- 29 -

용되는 Pushing 평판의 종류에 따른다)이다. 표3.3에 정의된 발현간격의 범위 내에서는 유효면적은 잭의 확장에 따라 변화지 않는다. 분사관 배치 타입은 그림 3.9와 같이 두가지 타입으로 구분된다.

이보기거(~~~~)	두께 / 잭의공칭	공칭강도	분사관	철판직경/두께
퍼주석경(mm)	최대발현간격(mm)	(KN)	배치타입	(mm)
70	15	20	Type 1	45/6
120	20	78	Type 2	80/10
120	25	70	Type 1	65/12
150	25	150	Type 1	95/12
150	25	150	Type 2	100/12
220	25	400	Type 1	165/12
220	25	400	Type 2	170/12
250	25	500	Type 1	195/12
250	30	480	Type 2	190/14
270	25	600	Type 1	215/12
270	30	590	Type 2	210/14
300	25	800	Type 1	245/12
300	35	<mark>78</mark> 5	Type 2	230/16
350	25	1100	Type 1	295/12
350	40	1080	Type 2	270/18
420	25	1700	Type 1	365/12
420	45	1570	Type 2	330/20
480	25	2400	Type 1	425/12
500	45	2350	Type 2	410/20
600	35	3700	Type 1	520/16
600	50	3435	Type 2	500/25
700	50	4660	Type 2	595/25
750	35	6000	Type 1	670/16
750	50	5500	Type 2	645/25
870	35	8300	Type 1	790/16
920	35	9100	Type 1	840/16
1016	55	10300	Type 2	905/28

표 3.3 표준원형 평판잭(flat jack)



그림 3.9 분출관 위치에 따른 분류

제4장 현장개요 및 계측

4.1 현장개요

본 논문에서 적용한 현장은 부산광역시 영도구 청학동에서 부산광역시 남구 감만동을 잊는 총연장 길이는 3.3km의 구간에서 사장교 구간은 1.1km의 강합성 사장교로 시공이 진행되고 있으며 부산 해안순환도로의 대동맥을 이을 대규모 현장이다. 해상부의 사장교 구조물 기초에 가설되는 흙막이 벽체는 지중연속벽으로 시공되어 있으며 지지공법은 경제성과 시 공성을 고려하여 PPS공법으로 선정하였다. 사장교 기초의 굴착면적은 가 로는 48.75m 세로는 36.25m 로 되어 있다. 그림 4.1은 적용현장의 위치를 설명한 그림이고, 그림 4.2는 적용현장의 단면도를 나타내었다.



그림 4.1 적용현장 위치



그림 4.2 현장 단면도

4.2 지반조건

본 연구 대상 지역이 되는 현장의 사전지반조사시험은 SPS 검층 3회, 공내재하시험 19회, 탄성파 토모그래피 3회, 텔레뷰어 3회, CPT 1회 등의 사전조사를 실시하였고 지층상태는 상부로부터 매립토, 퇴적토층(실트섞인 점토 및 실트섞인 모래, 자갈)이 2.5~3.2m두께로 형성되어 있고 풍화토층 이 0.0~3.2m 두께로 형성되어 있으며 풍화암층이 0.5~3.6m두께로 형성되 어 있고 기반암층(안산암질 화산각력암)은 GL(-)3.7~7.5m이하로 형성되 어있다. 지지층인 기반암은 대부분 연암으로 GL(-)16~39m에서 확인되며 위치별 분포편차는 큰편이다.

연암의 변형계수는 평균 7,877kgf/c㎡로 확인되었다. 현장 지층에 대한 특성은 다음 표4.1과 같다. 표4.2는 설계에 적용된 지반토질정수에 대한표 이다.

표 4.1 지층에 대한 특성

구분	지층개요
매립층	● BB-23공번에서만 3.5m의 두께로 모래질 자갈 및 전석층분포
퇴적층	 0.8~8.8m의 두께로 실트질 점토, 실트질 모래, 모래질 자갈층 분 포 세립토의 N치는 12/30, 견고한 연경도 조립토의 N치는 0/30~50/3, 매우느슨에서 매우조밀한 상대밀도
풍화토	 ● 퇴적층 하부에서 1.8~17.4m 두께로 분포, 점토질 실트및 실트질 점토로구성 ● N치 점위는 5/30~50/3로 느슨에서 매우조밀한 상대밀도
풍화암	● G.L-10.5~25.8m 하부에 0.6~16.4m의 두께로 분포, 안산암질 화산각력암의 풍화대
연암	● G.L-16.1~39.2m에서 분포, 안산암질 화산각력암, TCR=22.7~100%, RQD=0~54.6%
경암	● G.L-4.9~41.5m에서 분포, 안산암질 화산각력암, TCR=62~100%, RQD= 12.8~100%
	9

표 4.2 설계에 적용된 지반정수

	and the second se					1 - 1	
기원	성분	적용N치	내부마 찰각 (°)	변형계수 (tonf/m ²)	점착력 (tonf/m ²)	단위중량 (tonf/m ³)	포아송비
퇴적토 -	모래	3/30	22	360	0	1.7	0.35
	자갈	43/30	40	2,800	- 0	1.9	0.35
풍화토		46/30	30	5,500	1.0	2.0	0.32
풍화암		50/9	32	24,000	3.3	2.2	0.30

4.3 해석평면 및 지질구조

본 연구 대상 해석평면 및 지질 주상도는 그림 4.3와 그림 4.4과 같이 나 타난다. 지반조사에 의하면 본 논문에 대상이 되는 현장의 지층분포는 퇴 적층, 풍화토층, 풍화암층, 기반암층으로 구성되어 있다.

해석평면은 그림 4.3에 나타내었고 다음 그림 4.4은 현장의 지질주상도를 나타내었다.



- 34 -



그림 4.4 지질주상도

4.4 현장 계측

4.4.1 계측계획 및 목적

본 논문에서 적용한 굴착현장은 해상구간에서 시공된 대규모 굴착공사 현장이며 사전에 토질조사를 근거로 하여 실시설계하고 공사를 진행하지 만 여러 가지의 불확실한 요인들이 잠재하게 된다. 따라서 공사중에 현장 의 지반과 가설 구조물의 실제 거동을 측정하여 설계 시에 예측된 값과 다른 경우에는 적절히 시공법을 수정하여 공사를 진행하는 것이 일반적이 다.

굴착현장의 시공관리를 위하여 경사계, 지표 침하계 등의 계측기를 설치 하여 공사관리를 하였다.

현장계측은 계획시 지반조건 또는 구조물에 관한 자료의 부족으로 인한 설계상의 결점을 시공기간 중에 발견하여 제거하고, 공사 진행시 구조물에 작용하는 토압, 수압, 이동하중 등이 구조물에 미치는 영향에 대해서 안전 관리 및 보수에 관한 정보를 주기 위한 수단이다. 따라서, 현장계측은 설 계의 보완으로서 이해될 수 있으며 설계시점에서 대처하기 어려운 시공기 간 중의 여러 실측 변위치를 계측하여 시공방법 및 순서, 속도를 조절하여 안전관리와 정보화시공에 기여함이 그 목적이며, 앞으로의 토목시공에서 필수 불가결한 요소라 할 수가 있다.

본 논문에서 적용된 현장의 계측은 주탑기초의 가시설 계측관리이며, 굴 착공사로 인하여 발생되는 흙막이벽체와 지보재의 변형, 그리고 배면지반 의 침하를 계측하여 시공중 안정성을 예측하고, 다음 시공단계에 대한 방 향을 제시함으로써 안전하고 경제적인 시공이 되도록 하는데 그 목적을 두고 있다.

이를 요약하면 다음과 같다.

- 계획시 지반조건에 관한 지식의 부족에 기인한 설계상의 결점을 시공 기간중에 발견하여 제거하기 위한 수단.
- ② 굴착공사가 지반에 미치는 영향과 그에 따른 지반의 변화가 구조물에 미치는 영향에 대해서 정보를 제공하기 위한 수단.
- ③ 계측자료를 분석하여 설계의 과다, 과소 여부를 판단하여 경제적인 설 계를 위한 보강 및 수정을 할 수 있다.
- ④ 얻어진 자료를 역해석(Back Analysis)하여 설계 시 가정된 토질정수 와 비교하여 현장에 맞는 적절한 토질조건을 규정할 수 있다.
- ⑤ 축적된 자료를 통해 차 후 설계에 적용하여 합리적인 설계가 되도록 한다.

4.4.2 계측항목의 선정

- 1) 계측항목 선정시 고려하는 요인
- ▶ 굴착의 영향범위 내의 구조물 유무와 인접 구조물의 기초 및 건물의 상태
- ▶ 설계시의 불확실성의 해명
- 설계 계산에 있어서 조건이 되는 측압 및 수압 등 추정치의 오차가 클 것으로 예상되는 경우.

② 근접위치에서 공사실시 등으로 외력조건의 대폭적인 변형이 예상되는 경우.

③ 설계 계산치와 허용치를 비교하여 안전율이 적은 경우 등

2) 계측항목의 선정 기준

터파기의 규모, 혹은 지반조건 등에 따라서 달라지기 때문에 구체적인 계측결과의 활용목적, 평가방법을 명확하게 수립한 후 필요한 계측항목을 선정하여야 한다. (표 4.3 참조)

표 4.3 계측항목의 선정 기준

예상되는 현상	기본 항목
- 배면지반의 거동 및 수평변위 발생이 클 것으로 예상되는 경우	◎ 지중경사계, 지표침하계
- 엄지말뚝 및 띠장, 버팀보 및 Sheet pile에 변형이 예상되는 경우	◎ 변형률계, 변위타켓, 구조물기울기
- 주변지반의 침하로 인해 인접 구조 물에 피해가 예상되는 경우	◎ 지표침하계

4.4.3 계측기 설치

본 연구에서 사용된 현장의 계측관리는 굴착에 따른 지반거동 및 지하 수위의 변화 등 기타영향으로 인한 흙막이 벽의 수평변위량을 관찰하기 위하여 지중경사계를 4개소를 설치하였고, 흙막이벽 배면 지표의 침하량을 측정하기 위하여 지표침하핀을 4개소 설치하였다.

현장에서 사용된 지중경사계의 설치 모식도는 그림4.5, 지표침하핀의 설 치된 사진은 그림 4.6과 같다.



(a) 천공후 경사계관삽입 (b) 경사계관 연결 (c) 그라우팅 (d) 보호박스 설치

그림 4.5 지중경사계 설치 모식도



그림 4.6 지표침하핀 설치 사진

현장에 설치된 지중경사계는 지중연속벽의 중앙부에 삽입하였고 지표침 하핀은 배면지반의 침하여부를 확인하기 위하여 배면지반의 상부에 설치 하였다. 그림 4.7은 계측기 설치 위치도를 나타내었다.



그림 4.7 기초 가시설 계측기설치 평면도

제5장 수치해석 및 현장계측 비교

5.1 탄소성해석법(SUNEX)에 대한 이해

SUNEX(Elasto-plastic analysis of step Underground Excavation)는 기 본적인 해석으로 탄소성 빔 스프링 모델을 사용하여 굴착 단계별과 지보 공에 따른 흙막이 벽의 변위, 전단력, 휨 모멘트 와 지보공의 축방향력을 계산한다.

해석에 필요한 적용 변수는 굴착 및 매립, 스트러트와 앵커의 설치 및 제거, 지반상의 상재하중, 벽제에 작용하는 하중, 지하수위, 지반물성치 변 화, 벽체(탄소성해석) 등이 있다.

SUNEX 프로그램 의 주요기능은 다음과 같다.

(1) Rankine, Peck 토압 및 임의의 토압적용을 적용 할 수 있다.
 Rankine 토압 P = A · Pa+B · P0
 Peck 토압 P = C · Ka · ∑ɣ · h

이때 토압의 최소치를 규정할 수 있다.

- (2) 지반이 수평이 아니고 경사진 경우를 계산할 수 있으며, 벽체와 지반 과의 마찰을 고려할 수 있다.
- (3) 지보공의 설치시는 그 전단계에서의 변위를 초기변위로 하여 다음 단 계 계산에 적용된다.
- (4) Strut에 가하는 초기하중(Jack 압축력) 적용방법이 개선되었다.
- (5) 정수압뿐만 아니라 특수한 형태의 수압의 적용이 가능하다.
- (6) 같은 토층 내에서도 깊이별로 물성의 변화가 가능하다.(C,∮,Ka)
- (7) 굴착측과 배면측의 지반의 물성이 달라도 가능하다.
- (8) 굴착깊이, 토층의 수, 굴착단계의 수, 지보공의 수, 부재의 분할수등에

제한이 없다.

- (9) 다양한 과재하중, 측압의 적용이 가능하다.
- (10) 반복계산에 의하여 지반의 소성상태 여부를 체크하여 토압 및 스프링(Spring) 상수를 보정한다.



- (11) 흙막이 벽에 대하여 최대 저항 소성 모멘트(Myield)를 입력하면 반
 복계산에 의하여 흙막이 벽에 대하여도 탄소성 해석(소성 Hinge법)
 을 수행한다.
- (12) 지반의 소성 변위가 고려된다(Option).
- (13) 굴착 후 벽체 및 Slab의 타설, 지보공의 해체 과정도 계산할 수 있다.
- (14) 지표면의 침하가 Caspe방법으로 계산된다.
- (15) 입력 데이터(data)는 특별한 서식에 구애 받지 않는다(Free Format).
- (16) 때 해석단계마다 계산결과 토압, 변위, 전단력 및 모멘트가 화면에 그래픽으로 나타나므로 계산과정을 체크 할 수 있으며, 필요에 따라

계산을 중지 시킬 수 있다.

(17) 계산결과 매 단계별 토압, 변위, 전단력 및 모멘트 그래프를 프린터 로 출력할 수 있다.

본 논문에서는 벽체가 강성이 큰 지하연속벽으로 이루어진 현장이며 Rakine 토압을 사용하였다. 또한 근입선단은 자유단으로 설정하였으며, 지 표면에 상재하중을 작용시킨 후 지하수위의 저하를 고려한 해석을 실시하 였다.

5.1.1 탄소성해석(SUNEX rev 5.5) 수행을 위한 단면

그림 5.2는 검토평면의 위치도를 나타낸 것이다. 각 단면별로 해석된 단 면의 형상은 많은 차이를 보이지 않으며 그림 5.3은 해석단면을 나타낸 것 이다.



그림 5.2 해석단면 위치도



그림 5.3 탄소성해석 단면

5.1.2 탄소성해석(SUNEX rev 5.5) 수행을 위한 입력물성

6

탄소성해석(SUNEX)프로그램에 입력된 지반의 물성(표 5.1참조)과 지중 연속벽의 물성(표 5.2참조), 각 단면별 스트러트(strut)의 물성(표 5.3참조) 은 다음 표와 같이 입력되었다. 각 표에 나타난 자료는 지반조사를 이용하 여 지층조건을 설정하였으며, 수위조건은 최고수위를 적용하였고 굴착단계 별로 지하수위를 저하하였다. 각 단계별로 지반조건 및 지중연속벽의 물성 은 동일하게 적용이 되었고 단면별 스트러트는 단면적 및 설치간격 등을 고려하여 단면별로 변경하여 입력되었다.

표 5.1 지반의 입력물성

soil	심도(m)	$\gamma_{\rm t}$ (t/m ³)	$\gamma_{ m sub}(t/m^3)$	C (t/m ²)	φ (°)	$K_{\rm S}(t/m^2)$
매립토	9.085	2.0	1.0	0	25	3000
GCP 개량토	18.3	1.8	0.9	1	29	1500
모래자갈	19.1	1.9	1.0	1	36	2800
풍화토	29.1	2.0	1.1	1	30	5500

표 5.2 지중연속벽의 입력물성

Wall	심도(m)	$A(m^2)$	I(m ⁴)	$E(t/m^2)$	수직벽설치 간격(m)	수동토압 작용폭(m)
지중 연속벽	24.6	NI	0.083333	2100000		1

표 5.3 단면별 strut 입력물성

	strut	심도(m)	$A(m^2)$	length(m)	space(m)	pini(ton)				
A-A단면	D=1000	3.635	0.04946	1.05	6	180				
B-B단면	D=1200	3.635	0.07049	9.436	6	180				
C-C단면	D=1200	3.635	0.07049	18.075	6	180				

5.2 유한요소해석

본 논문에는 유한요소해석 프로그램인 PLAXIS 8.2를 사용하였다. 이 프로그램은 한계상태 개념까지도 이용할 수 있으며 2차원 평면 변형률조 건과 축대칭 조건에 대해서 배수, 비배수, 압밀문제를 해석할 수 있다

5.2.1 유한요소해석(Plaxis) 수행을 위한 단면

유한요소해석 수행을 위한 단면은 그림 5.4에 나타낸바와 같이 각 지반 구조에 맞는 형상에 의해 유한요소해석이 수행되었다.



그림 5.4 유한요소해석 단면

5.2.2 유한요소해석(Plaxis) 수행을 위한 입력물성

유한요소해석(Plaxis)프로그램에 입력된 지반의 물성(표 5.4참조)과 지 중연속벽의 물성(표 5.5참조), 각 단면별 스트러트의 물성(표 5.6참조)은 다 음 표와 같이 입력되었다. 각 표에 나타난 자료는 지반조사를 이용하여 지

- 45 -

층조건을 설정하였으며, 수위조건은 최고수위를 적용하였고 굴착단계별로 지하수위를 저하하였다. 각 단계별로 지반조건 및 지중연속벽의 물성은 동 일하게 적용이 되었고 단면별 스트러트는 단면적 및 설치간격 등을 고려 하여 단면별로 변경하여 입력되었다.

지층종류	심도(m)	$\gamma_{\rm t}$ (t/m ³)	$\gamma_{ m sub} \ (t/m^3)$	c (t/m ²)	ϕ (°)	ν	E (t/m ²)
피복석	0.8	2.0	1.0	1.0	35	0.35	4500
호안사석	10.5	2.0	1.1	0	40	0.35	3000
퇴적모래	11.6	1.8	0.8	1.0	30	0.35	2800
퇴적자갈	18,4	1.9	0.9	1.0	36	0.35	2100
풍화토	19.8	2.0	1.0	1.0	30	0.32	5500
풍화암	33.6	2.2	1.2	3.6	32	0.30	24000
연암	44.4	2.3	1.3	31.0	35	0.26	110000

표 5.4 지반의 입력물성

표 5.5 지중연속벽의 입력물성

Wall	심도(m)	$A(m^2)$	I(m ⁴)	$E(t/m^2)$	수직벽설치 간격(m)	수동토압 작용폭(m)
지중 연속벽	24.6	1	0.083333	2100000	1	1

표 5.6 단면별 strut 입력물성

	strut	심도(m)	$A(m^2)$	length(m)	space(m)	prestress(ton)
A-A단면	D=1000	3.635	0.04946	2.1	6	180
B-B단면	D=1200	3.635	0.07049	18.872	6	180
C-C단면	D=1200	3.635	0.07049	36.150	6	180

5.2.3 유한요소해석을 위한 모델링

유한요소해석을 위하여 그림 5.5(a)와 같이 모델링을 수행하였다. 모델링 은 43개의 절점(node)으로 구성되어 있다. 경계조건은 y 방향으로 굴착깊 이에 대하여 4배의 크기이고, x 방향으로 굴착폭에 대하여 7배로 모델링 하였다. 이러한 경계조건은 굴착면적에 대하여 넓게 모델링 함으로써 굴착 시 지반전체에 미치는 영향을 최소화 할 수 있었다. 그림 5.5(b)는 단면의 지층을 해석하기 위하여 mesh를 작성한 것이다.



그림 5.6(a)는 굴착에 따른 변위양상을 음영(shading)으로 나타낸 것으로 그 변위 양상을 여러 가지 색을 통하여 한눈에 볼 수 있다. 그림5.6(b)는 굴착에 따른 지반의 변위양상 방향을 볼수 있다.





5.3 부재력 결과 비교분석

5.3.1 전단력 및 모멘트 결과비교

전단력 및 모멘트의 결과비교에서 나타낸 각 표의 변위방향은 내부굴착 측 방향을 "내부방향", 외부배면측 방향을 "외부방향"으로 표시하였다.

1) A-A단면에서의 전단력 및 모멘트의 비교결과

표 5.7은 A-A단면에 대한 전단력과 모멘트의 비교표 이다. A-A단면에 대한 부재력 결과, 비교적 같은 양상을 보이고는 있으나 Plaxis프로그램과 SUNEX프로그램의 비교결과, Plaxis프로그램에서의 모멘트값이 10.4m 심 도에서 17.24t-m/m만큼 크게 나왔고 전단력값은 3.5m 심도에서 14.58t/m 만큼 적게 나왔다. (그림 5.7 참조)

丑	5.7	A-A단면에	대 한	전단력과	모멘트의	비교
---	-----	--------	-----	------	------	----

A-A단면	모멘트(t-m/m)	전단력(t/m)		
	심도(m)	최대값	심도(m)	최대값	
PLAXIS	10.4	112.32(외부)	3.5	43.80(외부)	
SUNEX	9.3	95.08(외부)	4.4	58.38(외부)	



2) B-B단면에서의 전단력 및 모멘트의 비교결과

표 5.8은 B-B단면에 대한 전단력과 모멘트의 비교표 이다. B-B단면에 대한 부재력 결과, 비교적 같은 양상을 보이고는 있으나 Plaxis프로그램과 SUNEX프로그램의 비교결과, Plaxis프로그램에서의 모멘트값이 10.05m 심 도에서 9.27 (t-m/m)만큼 크게 나왔고 전단력값은 3.5m 심도에서 14.73(t/m)만큼 적게 나왔다. 그림 5.8는 모멘트와 전단력의 비교를 그래프 로 나타낸 그림이다.

	丑	5.8	B-B단면에	대한	전단력과	모멘트의	비교
--	---	-----	--------	----	------	------	----

D Drlml	모멘트(t-m/m)	전단력(t/m)	
D D 인 한	심도(m)	최대값	심도(m)	최대값
PLAXIS	10.05	108.16(외부)	3.5	40.91(외부)
SUNEX	9.2	98.89(외부)	4.4	55.64(외부)



3) C-C단면에서의 전단력 및 모멘트의 비교결과
표 5.9은 C-C단면에 대한 전단력과 모멘트의 비교표 이다. C-C단면에 대한 부재력 결과, 비교적 같은 양상을 보이고는 있으나 Plaxis프로그램과
SUNEX프로그램의 비교결과, Plaxis프로그램에서의 모멘트값이 10.05m 심 도에서 3.28(t-m/m)만큼 크게 나왔고 전단력값은 3.5m 심도에서 14.32(t/m)만큼 적게 나왔다. 그림 5.9는 모멘트와 전단력의 비교를 그래프 로 나타낸 그림이다.

C Crlm	모멘트(t-m/m)	전단력(t/m)	
	심도(m)	최대값	심도(m)	최대값
PLAXIS	10.05	105.24(외부)	3.5	39.39(외부)
SUNEX	9.1	101.96(외부)	4.4	53.71(외부)

Ŧ	5.9	C-C단면에	대한	전단력과	모멘트의	비교
---	-----	--------	----	------	------	----



5.3.2 벽체 변위량 결과 비교

벽체 변위량 결과비교에서 각표에 나타낸 변위방향은 내부굴착측 방향을 "내부방향", 외부배면측 방향을 "외부방향"으로 표시하였다.

1) A-A단면에서의 변위량 비교결과

표 5.10은 A-A단면에 대한 벽체의 변위량 비교표이다. A-A단면에 대한 변위량 결과, 비교적 같은 양상을 보이고는 있으나 Plaxis프로그램과 SUNEX프로그램의 비교결과, Plaxis프로그램에서의 변위량이 13.76m 심도 에서 내부굴착측 방향으로 4.71mm 크게 나왔다. 그림 5.10 은 변위량의 비교 그래프를 나타내었다. (그림 5.10 참조)

표 5.10 A-A단면 벽체 변위량 비교

	변역	위량
A-A인턴	심도(m)	최대값(mm)
PLAXIS	13.76	15.14(내부방향)
SUNEX	10.6	10.43(내부방향)



2) B-B단면에서의 변위량 비교결과

표 5.11은 B-B단면에 대한 벽체의 변위량 비교표이다. B-B단면에 대한 변위량 결과, 비교적 같은 양상을 보이고는 있으나 Plaxis프로그램과 SUNEX프로그램의 비교결과, Plaxis프로그램에서의 변위량이 13.76m 심도 에서 내부굴착측 방향으로 3.73mm 크게 나왔다. 그림 5.11 은 변위량의 비교 그래프를 나타내었다. (그림 5.11 참조)

표	5.11	B-B단면	벽체	변위량	비교
---	------	-------	----	-----	----

D Drlm	변역	위량
D-D언헌	심도(m)	최대값(mm)
PLAXIS	13.28	15.23(내부방향)
SUNEX	10.3	11.50(내부방향)



3) C-C단면에서의 변위량 비교결과

표 5.12은 C-C단면에 대한 벽체의 변위량 비교표이다. C-C단면에 대한 변위량 결과, 비교적 다른 양상을 보이고는 있고 Plaxis프로그램과 SUNEX프로그램의 비교결과, Plaxis프로그램에서의 변위량이 0m 심도에 서 외부 배면측 방향으로 5.18mm 크게 나왔다. 그림 5.12 는 변위량의 비 교 그래프를 나타내었다. (그림 5.12 참조)

표 5.12 C-C단면 벽체 변위량 비교

C Crlm	변위	귀량
U-01년	심도(m)	최대값(mm)
PLAXIS	0	7.19(외부방향)
SUNEX	10.1	12.37(내부방향)



5.3.3 굴착단계에 따른 현장계측결과와 수치해석결과 비교

각 굴착단계별 지중연속벽의 거동을 계측치와 탄소성해석(SUNEX)프로 그램과 유한요소해석(PLAXIS)프로그램에서의 예측결과를 통해 비교 검토 하였다. 굴착단계는 최초 1단계 굴착, PPS거치단계, 2단계 굴착으로 구분 하였으며, 이는 현장에서의 시공순서에 의한 단계별로 나눈 것이다. 본 검토단면중 계측치와 가장 인접한 단면은 D-D단면이므로 이 단면에서의 변위 결과를 비교 하였다. 그러나 1단계 굴착시 현장계측수행의 착오로 인 하여 1단계 굴착시의 계측값이 정확하지 않아 고려하지 않고 PPS거치에

- 54 -

따른 벽체의 변위비교 와 2단계 굴착에 따른 벽체의 변위를 비교 하였다. 변위방향은 내부굴착측 방향을 "내부방향", 외부배면측 방향을 "외부방향" 으로 표시하였다.

1) 1단계 굴착에 따른 변위 비교

다음 표 5.13은 1단계 굴착에서의 벽체 최대 수평변위를 탄소성해석법과 유한요소해석법의 결과를 비교한 것이다. 최대변위량 발생 지점은 지표면 에서 발생하였으며, Plaxis에 의한 최대 변위량은 9.5mm가 발생하였고 SUNEX에 의한 최대 변위량은 42.09mm가 발생하였다.

표 5.13과 그림 5.13는 1단계굴착시 벽체의 변위를 나타낸 결과이다.



그림 5.13 1단계 굴착시 벽체의 수평변위 비교

2) PPS거치에 따른 벽체 변위비교

다음 표 5.14은 1단계 굴착에서의 벽체 최대 수평변위를 탄소성해석법과 유한요소해석법의 결과를 비교한 것이다. 계측치의 최대변위량 발생 지점 은 3.5m이고 Plaxis에서는 14.0m에서 발생하였으며, SUNEX에서는 10.1m 에서 발생하였다. 계측치에 의한 최대 변위량은 1.56mm가 발생했고, Plaxis에 의한 최대 변위량은 3.93mm가 발생하였고 SUNEX에 의한 최대 변위량은 12.38mm가 발생하였다.

표 5.14과 그림 5.14는 1단계굴착시 벽체의 변위를 나타낸 결과이다.



표 5.14 PPS거치시 벽체의 수평변위 비교

그림 5.14 PPS 거치시 벽체의 수평변위 비교

3) 2단계 굴착에 따른 벽체 변위비교

다음 표 5.15는 2단계 굴착에 따른 벽체 최대 수평변위를 계측치와 수치 해석 데이터를 비교한 것이다. 계측치의 최대변위량 발생 지점은 14.0m이 고 Plaxis에서는 지표면에서 발생하였으며, SUNEX에서는 10.1m에서 발생 하였다. 계측치에 의한 최대 변위량은 7.31mm가 발생했고, Plaxis에 의한 최대 변위량은 7.19mm가 발생하였고 SUNEX에 의한 최대 변위량은 12.37mm가 발생하였다.

표 5.15과 그림 5.15는 1단계굴착시 벽체의 변위를 나타낸 결과이다.



표 5.15 2단계 굴착시 벽체의 수평변위 비교

그림 5.15 2단계 굴착시 벽체의 수평변위 비교

제 6장 안정성 및 경제성 분석

6.1 안정성 검토

굴착에 따른 지중연속벽의 변위 및 안정성을 검토하였다. 흙막이 구조물 의 변위 및 안정성을 검토하기 위하여 계측치와 탄소성해석프로그램에 의 한 결과치, 유한요소해석프로그램에 의한 결과치를 비교 하였다. 표 6.1은 지중연속벽의 변위와 관리기준에 의한 안전여부를 나타내었다.

표 6.1 지중연속벽의 안정성

지중연속벽	변위(mm)	관리기준(mm)	비고
계측값	7.31	21	안 전
PLAXIS	7.19	21	안 전
SUNEX	12.37	21	안 전

표 6.1에 기재된 변위는 최종굴착(10.5m)에 따른 벽체의 변위이고 관리기 준은 국토해양부 고시 건설공사 및 유지관리 "계측표준시방서 3.11.4항"에 의하여 기준을 설정하였다.

계측표준시방서 3.11.4항에 나와있는 관리기준은 다음과 같다.

 ③ 강성 토류벽 (t≥60cm 인 콘크리트 연속벽): 0.002H (H: 굴착심도)
 ② 보통 토류벽 (t≒40cm 정도인 콘크리트 연속벽): 0.0025H (H: 굴착심도)
 ③ 연성 토류벽 (H-Pile과 토류판 설치하는 토류벽): 0.003H (H: 굴착심도)
 1m의 강성 토류벽체이므로 0.002H를 적용하여 관리기준을 작성하여 검 토한 결과 계측값과 유한요소해석 및 탄소성해석에 의한 안정성은 모두 안전으로 판단된다.

- 58 -

6.2 경제성 분석

본 논문에서 적용된 현장에 대하여 표 6.2는 어스앵커에 의한 지지공법과 PPS공법에 의한 지지공법을 각각 적용해보고 기초 가시설공에 소요되는 비용의 총계를 비교해 보았다. 표6.3은 일반적인 스트러트공법 적용시와 PPS공법의 적용에 대한 경제성 비교표이다.



표 6.2 PPS공법과 어스앵커 지지공법의 경제성 비교

표 6.2에 의한 공사비는 대략적인 금액으로써 어스앵커에 의한 가시설공 법은 2열 Sheet Pile을 배치하고 Tie-Cable을 인장설치하여 가시설공을 완 료하는 것이고, PPS공법에 의한 지지공법은 지중연속벽을 배치하고 PPS 를 거치하여 평판잭에 유압을 가하여 가시설공을 완료하는 것으로 공사비 를 작성한 것이다. 어스앵커에 의한 지지공법을 가시설공법으로 적용한 것

- 59 -

과 PPS공법에 의한 지지공법을 가시설공법으로 적용한 결과 공사비의 약 11%가량 적게 소요됨을 알수 있었다. 공사비의 대략적 금액은 표준품셈과 일위대가의 값을 적용하여 나타낸 것이다.

구분	H-beam strut공법	PPS공법
시공단면		
시공수량	-연속벽 : 1950M ² ,20PANEL -토공 : 10300M ³ -강재가시설 : 약 200ton	-연속벽 : 1950M ² ,20PANEL -토공 : 10300M ³ -강재가시설 : 약 50ton
사용강재	-H-300*300*10*15	φ1000mm, t=16mm
강재본당하중	-100ton 전후	200~600ton
장단점비교	-자재수급이 원활하다. -단면성능이 단위중량 대비 강관에 비해 낮다. -토공 및 건축골조공간이 협 소하고 강재 해체단계가 많 아 시공효율이 떨어진다.	 사용자재(강관)가 범용이 아니므로 신규로 구매해야한다. 단면성능이 월등하므로 전체 사용되는 강재중량이 절감된다. 지보재간 수평 및 상하 간격 이 넓으므로 토공 및 건축골 조공사에 있어 시공효율이 높다.
강재공사비	-시공비 : 218,880,000원 (톤당 234,000원 적용) -자재비 : 110,380,000원 (톤당 손료 100,000원 적용) -계 : 329,260,000원	-시공비 : 108,000,000원 (톤당 400,000원 적용) -자재비 : 54,000,000원 (톤당 손료 200,000원 적용) -기타자재(flat jack <i>φ</i> 750mm,40ea) : 10,000,000원 -계 : 172,000,000원

표 6.3 H-beam strut지지공법과 PPS지지공법의 경제성비교

표 6.3의 공사비는 대략적인 금액으로써 일반적인 H-beam스트러트 지지 공법적용시의 경제성 분석 자료와 PPS지지공법적용시의 경제성 분석자료

- 60 -
를 비교표로 작성한 것이다. H-beam스트러트 지지공법은 6단으로 2m 간 격으로 설치가 되고, PPS에 의한 지지공법은 2단으로 3.2m간격으로 설치 되었다. 경제성 비교결과 PPS공법을 사용했을 경우 H-beam스트러트 지 지공법 대비 약 52%가량 강재공사비가 적게 산출 되었다.



제 7장 결론

본 논문에서는 PPS(Prestressed Pipe Strut)공법을 이용한 흙막이 가시 설공법의 현장적용을 통하여 흙막이 가시설 부재의 계측 분석과 탄소성해 석(SUNEX) 및 유한요소해석(PLAXIS) 프로그램의 모델링을 통해 유발되 는 부재력과 변형특성 및 지반의 변형 거동을 분석 비교하여 다음과 같은 결론에 도달하였다.

 현장에서 적용한 PPS공법은 H-BEAM을 사용하는 일반적인 스트러트 공법과 달리 허용압축력과 좌굴에 대한 저항한계가 상대적으로 큰 원형 강관을 사용하며 평판잭과 같은 대규모 선행압축공법을 병행하여 적은 수 량의 스트러트를 배치하여 넓은 굴토작업 공간을 확보할 수 있는 공법이 다.

2. 흙막이 벽체의 내력을 탄소성해석방법과 유한요소해석방법을 통하여 비 교한 결과 각 단면에 따라서 전단력 및 모멘트는 깊이에 따라서 유사한 경향을 나타내고 있었고 최대 전단력 및 모멘트의 발생 위치도 약 1m 내 외의 차이를 나타내고 있었다.

3. 시공단계에 따른 흙막이 벽체의 거동을 현장계측치와 비교한 결과 유한 요소법은 최대 변위량 및 변위형태가 계측결과와 유사한 경향을 나타내고 있었으나 탄소성해석법을 통한 변위는 현장계측결과와 큰 차이를 보이고 있었다.

4. 탄소성 해석법의 경우 현장의 지반조건을 정확히 적용할 수 없고, 특히

- 62 -

현장 단면의 변화를 정확히 고려하지 못하여 실제 계측에 의한 흙막이 벽 체의 거동과 다른 거동을 보이고 있는 것으로 판단된다. 그러나 유한요소 해석의 경우 현장 단면을 정확히 모델링 하였고 다양한 지반 조건을 적용 함으로써 계측에 의한 흙막이 벽체의 거동과 유사한 결과를 나타내는 것 으로 판단된다.

 5. 탄소성해석법 및 유한요소해석을 수행할 경우 지반 정수가 흙막이 구조 물의 거동에 큰 영향을 주게 되므로 실제 현장의 지반조건을 정확하게 반 영한 지반정수를 사용하는 것이 중요할 것으로 판단된다.

6. 안정성 분석결과 관리 기준인 0.002H를 적용하여 검토해 본 결과 계측 치와 탄소성해석프로그램의 결과치, 유한요소 해석의 결과치에 의한 안정 성은 모두 안전하다고 판단된다.

7. 어스앵커에 의한 지지공법과 PPS공법에 의한 지지공법을 각각 적용하 여 경제성을 비교해본 결과 PPS공법에 의한 지지공법이 어스앵커에 의한 지지공법에 비해 약 11%가량 공사비의 절감할 수 있는 것으로 판단되고, H-beam스트리트 지지공법과 PPS공법에 의한 지지공법을 비교 했을 경우 PPS공법에서 약 52%가량 강재공사비의 절감효과를 가져올수 있다고 판단 되었다.

단, 지반의 특성 및 규모, 공사의 종류에 따라 달라질 수 있으며 설계단계 에서 충분히 검토하여 적절한 공법의 경제적인 적용이 필요하다.

참 고 문 헌

- 1. 건설교통부, "구조물 기초설계기준 해설", 2003 pp. 463~558.
- 2. 한국지반공학회(2003), "굴착 및 흙막이 공법", 지반공학 시리즈 3권
- 3. 오정환외 1, 흙막이공학, 구미서관, 2004 pp. 55~96.
- 4. 국토해양부(2008), 건설공사 및 유지관리 "계측표준시방서" 제2-13장 지 하굴착공사 pp. 141~150.
- Caspe, M. S. (1996), Surface Settlement Adjacent to Braced Open Cuts. JSMFD. ASCE, Vol.92, SM 4, July, pp. 51~59.
- Clough, G. W. and O'Rourke, T.D. (1990), Construction Induced Movements of In-situ Walls Design and Performance of Earth Retaining Structures. GSP, NO.25, ASCE, pp. 439~470
- 윤성근, 외부 프리스트레싱에 의한 흙막이 가시설 보강에 관한연구, 성 균관대학교 과학기술대학원 석사논문, 2005
- 김호찬, 유한요소법을 이용한 가시설의 거동해석에 관한 연구, 금오공과 대학교 대학원 석사논문, 2007
- 9. 박현우, 지반굴착으로 인한 인접지반의 거동 분석에 관한 연구, 대진대

- Fry, R. H. and Rumsey, P. B. (1983), Prediction and Control of Ground Movement Associated with Trench Excavation. Water Research Centre.
- 11. NAVFAC (1982). DM-7.2. pp. 13-20.
- 12. O'Rourke, T.D.(1975), A Study of Two Braced Excavations in Sands and Interbedded Stiff Clay. Ph.D. thesis, Univ. of Illinois at Urbana-Champaign.
- O'Rourke, T.D.(1981), Ground Movements Caused by Braced Excavations. J. of Geotechnical Eng. Div., ASCE, Vol. 107, GT 9, pp. 1159–1177.
- 14. Terzaghi, K. and Peck, R.B. (1967), Soil Mechanics in Engineering Practice 2nd Edition. John Wiley and Sons, Inc., New York, pp. 394–413
- 15. (주)범양이엔씨, Prestressed Pipe Strut 교육, 기술용 자료.
- 16. (주)범양이엔씨, Town Hall of Colomiers in France, Excavation on an Urban Site 시공사례.
- 17. 북항대교 민간투자사업, 주탑기초 시공계획서, 2007

감사의 글

대학원 생활을 한지 엊그제 같은데 벌써 2년 6개월이란 시간이 흘러 벌써 졸업의 문턱에 서 있습니다. 처음 시작할 때의 각오와 결심은 많은 수정과 아쉬움을 뒤 로 한 채 이 한편의 논문으로써 석사과정을 마치려 합니다.

논문이 완성되기까지 아낌없은 지도와 격려로써 많은 가르침을 주시고 조언해주 신 지도교수님이신 정두회 교수님께 진심으로 감사드립니다. 또한 바쁘신 와중에 도 큰 가르침을 주신 정진호 교수님, 이영대 교수님께 감사드리고 제가 여기까지 올수 있도록 지도해주신 김원규 교수님께 감사드리며 수업중에 열정적으로 지도 해주신 여러 교수님께 우선 감사의 말씀 드립니다.

처음과 끝은 같아야 된다고 말씀하셨던 자랑스럽고 항상 감사한 아버지 김용도 님, 언제나 아낌없는 사랑으로 늘 자식걱정에 가슴태우고 늘 사랑해주시는 어머 니 윤성자님, 언제나 저에게 큰 힘이 되어준 매형 강덕용님, 누나 김현정님, 이제 태어난 지 8주된 우리 조카 다예, 늘 저의 곁에서 힘이 되어주고 격려와 사랑을 주는 한은미님께 진심으로 사랑하고 감사한 마음을 표하고 싶습니다.

논문을 준비하면서 바쁜 시간중에서도 많은 도움을 준 연구실 식구들에게 감사합 니다. 귀찮으리만큼 물어봐도 친절하게 가르쳐준 민정이형, 창우, 일묵, 재용이 감 사하고 논문준비하면서 많이 돕고 작은 목소리도 귀 기울여준 찬우형 감사합니다.

또한 직장생활의 바쁜 업무중에서도 학업에 정진할 수 있도록 많은 배려와 격려 를 해주신 김홍태 부장님 감사드리며 북항대교 사업단의 고재욱 소장님, 김진석 부소장님, 감리단의 박기태 단장님, 배용대 부장님, 김상원 부장님, 손연효 대리 님, 현수형, 봉섭이형, 성근이 감사하고 북항대교에서 근무하시는 모든 임직원 여 러분께 고개숙여 감사의 말씀드리고 싶습니다. 끝으로 오늘의 작은 결실이 있기 까지 물심양면으로 도움을 주신 여러분께 감사드립니다.

- 66 -