공학석사 학위논문

지반굴착시 흙막이벽체의 수평변위 해석에 관한 연구

2002년 2월

부경대학교 산업대학원

토 목 공 학 과

조 해돋이

공학석사 학위논문

지반굴착시 흙막이벽체의 수평변위 해석에 관한 연구

지도교수 이 영 대

이 논문을 [illegible] 학위논문으로 제출함

2002년 2월

부경대학교 산업대학원

토 목 공 학 과

조 해돋이

조 해돋이의 공학석사 학위논문을 인준함

2001년 12월 15일

주 심 공학박사 손 인 식 (인)

위 원 공학박사 이 종 출 (인)

위 원 농공학박사 이 영 대 (인)

차 례

1. 서론 1
1.1 연구배경 및 목적 1
1.2 연구동향 1
2. 자료 및 연구방법 3
2.1 연구 자료 3
2.1.1 A 현장 5
2.1.2 B 현장 7
2.1.3 C 현장 9
2.1.4 D 현장 11
2.2 연구 방법 13
2.2.1 수치해석 13
2.2.2 경험적 방법 16
2.2.3 계측에 의한 방법 17
3. 흙막이 벽에 작용하는 토압 18
3.1 Terzaghi-Peck 방법 18
3.2 Tschebotarioff의 토압분포 22
3.3 NAVFAC 토압분포 23
3.4 Rankine-resal 토압분포 24
4. 결과 및 고찰 26
4.1 변위계산 결과 26
4.1.1 수치해석 결과 26
1) A 현장 27
2) B 현장 30
3) C 현장 33
4) D 현장 36
4.1.2 경험에 의한 변위 해석결과 39
1) A 현장 39
2) B 현장 40
3) C 현장 41
4) D 현장 42
4.1.3 계측에 의한 변위 측정결과 43
1) A 현장 43
2) B 현장 44
3) C 현장 45
4) D 현장 46

4.2 고찰 47
4.2.1 해석결과 고찰 47
4.2.2 수치해석결과와 계측결과와의 비교고찰 48
1) A 현장 48
2) B 현장 49
3) C 현장 51
4) D 현장 52
4.2.3 경험에 의한 결과와 계측결과와의 비교고찰 53
1) A 현장 53
2) B 현장 54
3) C 현장 56
4) D 현장 57
4.2.4 각 현장별 최대수평변위 발생지점과 최대변위량 비교고찰 58
5. 결 론 60

A Study on the Analysis of Displacement for the Earth Retaining Wall When Excavating the Ground

Joe, He Do Ji

Department of Civil Engineering, Graduate School of Industry

Pukyong National University

Abstract

The purpose of this study refers to the comparison of horizontal displacement which was calculated by the numerical method, experiential equation and actual measurement for the earth retaining wall when excavating the ground.

The conclusion of this study can be summarized as follows:

1. *The maximum horizontal displacement, which is obtained by numerical method, was difference of 10% to actual measurement but to experiential equation was difference to 6~10 times.*

2. *The horizontal displacement(HD) shape of obtained by numerical method, which was similar to that of actual measurement but HD of the experiential equation was great difference with the actual measurement.*

3. *In each site, the occurrence points of maximum horizontal displacement calculated by numerical method was similar to those of actual measurement , those by experiential equation were only on the surface.*

4. *The horizontal displacement by the experiential equation was similar to HD of the actual measurement where the depth of excavation was deeper than 10m.*

Numerical method showed well point and magnitude of maximum horizontal displacement and displacement shape according to excavation depth and experiential equation can be good material for calculating horizontal displacement with subdividing.

1.서론

1.1 연구배경 및 목적

최근 고도의 산업 발전과 용지면적의 제약등으로 인하여 지하공간개발에 대한 요구가 증대되고 있고 한정된 용지의 활용 극대화를 위해 대규모의 지하굴착공사가 급격히 증가하는 추세이다. 그러나 이러한 대규모 건설공사는 여러가지 원인에 의해 주변지반의 붕괴, 인접건물 파괴등 대형사고의 가능성을 가지고 있으며, 근래에는 막대한 인적·물적 피해를 입힌 대형사고가 빈번히 발생하고 있다. 따라서 건설재해 예방과 안전대책에 대한 사회적 관심이 그 어느 때 보다 고조되어 가고 있는 실정이다.

그러므로 경제성에 더 큰 비중을 두었던 과거와 달리 안전시공을 위해 신공법 및 안전관리 대책을 개발 또는 도입하여 시공하는 사례가 늘어 가고 있다. 이러한 노력의 일환으로 최근 지하구조물 및 인접구조물의 안전시공을 위한 현장계측관리가 국내 대부분의 현장에서 시행되고 있다. 그러나 현재 국내의 경우는 현장계측에 대한 관심을 갖게된 것이 최근이므로 계측수행 경험부족, 계측관련 연구미비, 관련기술자들의 이해부족등으로 인해 소규모 현장에서는 체계적이고 실용적인 계측이 수행되지 못하고 있는 실정이다. 이러한 소규모 현장에서는 경험적 방법이나 수치해석에 의하여 흙막이 벽체의 변위를 예측하여 안전시공에 유의할 필요가 있다.

따라서, 본 연구에서는 개착공법의 토류벽에 발생하는 변위를 수치해석과 기존 경험식 및 현장계측을 통하여 얻어진 결과를 비교 분석하는데 그 목적이 있다.

1.2 연구동향

Terzaghi 와 Peck(1948) 이후 많은 토질공학자들에 의하여 토류벽에 작용하는 토압에 대한 연구가 진행되어 왔으며, Swatek(1972) 등이 굴착현장에서 토류벽 및 버팀대를 설계할 때 Tschebotarioff의 토압분포가 잘 맞는다는 것을 확인한바 있으며, 일반적으로 Tschebotarioff의 방법은 굴착깊이 16m 이상에서 더 정확하다고 하였다.

한편, Kruidi(1973) 등은 굴착시공을 모방하여 설계 가정 범위내에서 실험을 통하여 토압을 연구하였고, Kastner 와 Lareal(1974)은 굴착 및 버팀대 설치시 버팀대의 반력변화를 Peck의 토압분포와 비교 분석하였는데 경험토압과 현장계측토압의 차이가 상당히 나타났으며 이는 벽체의 강성때문이라고 하였다.

또한, Bang(1979)은 벽체의 변위 형태 및 변위량을 고려한 토압 계산법을 연구하였으며, Mana와 Clough(1981), Fry와 Rumsey(1983)등은 지반의 종류, 굴착형상, 토류벽체의 종류 및 초기설계 가정의 범위내에서 현장계측을 실시하여 토류벽의 거동을 분석하였다.

현재까지의 연구 결과를 볼 때 주로 단일지층에 대한 연구 결과가 대부분이며, 우리나라와 같이 지층 구성이 토사(매립토 포함), 풍화암, 연암, 경암층 순으로 구성된 다층지반에 대한 벽체거동의 연구는 미진한 실정이다.

2. 자료 및 연구방법

본 연구에서 지반변위해석을 위한 기본자료는 터파기를 위한 지반 및 공사현황과 가시설 시공현장으로서 가시설의 규모가 각각 상이한 현장 4개소를 선정하여 계측결과에 대한 자료를 수집하였다.

2.1 연구 자료

4개 현장의 공사개요 및 지반조건을 요약하면 <표 2.1.1>~<표 2.1.3>과 같으며 특성 및 단면제원은 2.1.1절~2.1.4절에서 보여주는 바와 같다.

<표 2.1.1> 굴착공사의 개요

공사개요 / 현장조건	최 대 굴착심도	토류벽체	지보공	차수공법
A 현 장	19.50m	H-Pile + 토류판	Strut	L.W
B 현 장	35.50m	H-Pile+ 토류판	Ground Anchor	-
C 현 장	19.00m	Slurry Wall	Ground Anchor	-
D 현 장	18.00m	Slurry Wall	Strut	-

<표 2.1.2> 대상지반의 토층조건

굴착심도 / 현장토층	A 현장	B 현장	C 현장	D 현장
매 립 토	0.00~1.50m	0.00~9.00m	0.00~9.50m	0.00~6.00m
실트질 모 래	-	-	9.50~25.0m	-
풍 화 토	1.50~10.0m	-	-	6.00~16.0m
풍 화 암	10.0~18.0m	9.00~17.0m	-	-
연 암	18.00m ~	17.0~23.0m	25.0m ~	16.0m ~
경 암	-	23.0m ~	-	-

※ 굴착심도는 지반고를 기준으로 굴착방향의 깊이를 나타낸 것임.

<표 2.1.3> 대상지반의 토질조건

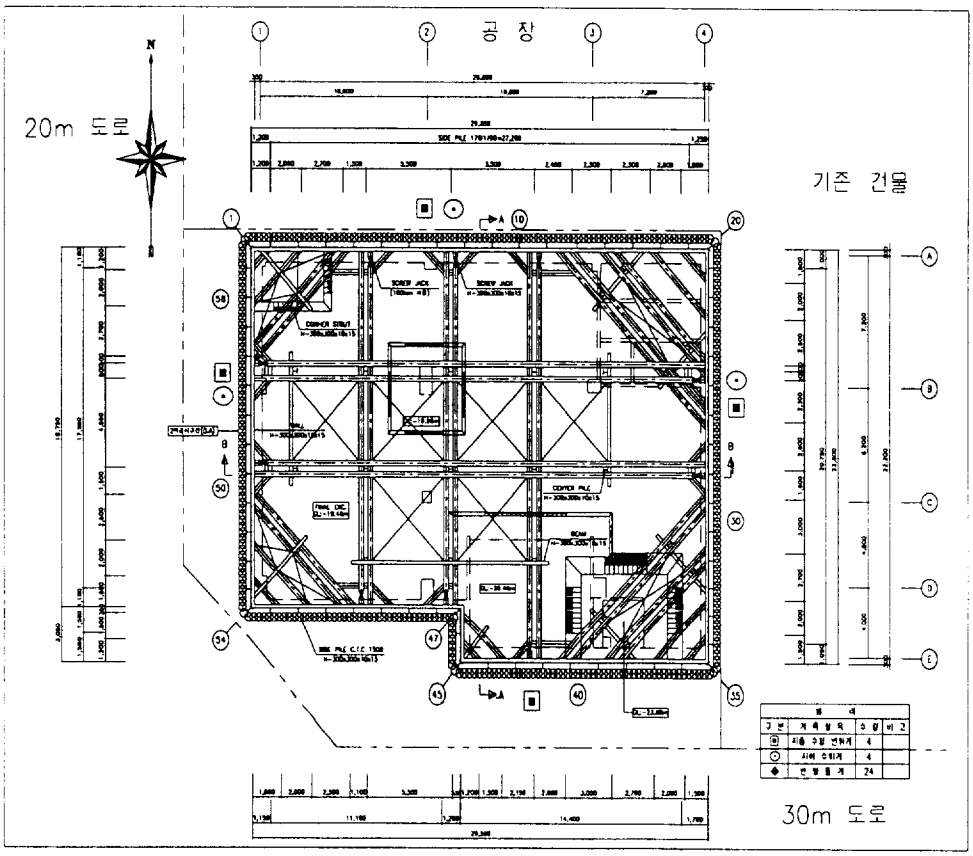
토층구분 / 토질정수	매립토	실트질 모래	풍화토	풍화암	연 암	경 암
내부마찰각(°)	25.0	22.0	32.0	35.0	40.0	45.0
점 착 력(tf/m²)	0.00	0.00	0.50	2.00	5.00	10.0
단위중량(tf/m³)	1.80	1.70	1.90	2.00	2.20	2.50
포 와 송 비	0.30	0.28	0.25	0.22	0.20	0.15
변형계수(tf/m²)	2,000	1,500	2,500	6,000	10,000	20,000

2.1.1 A 현장

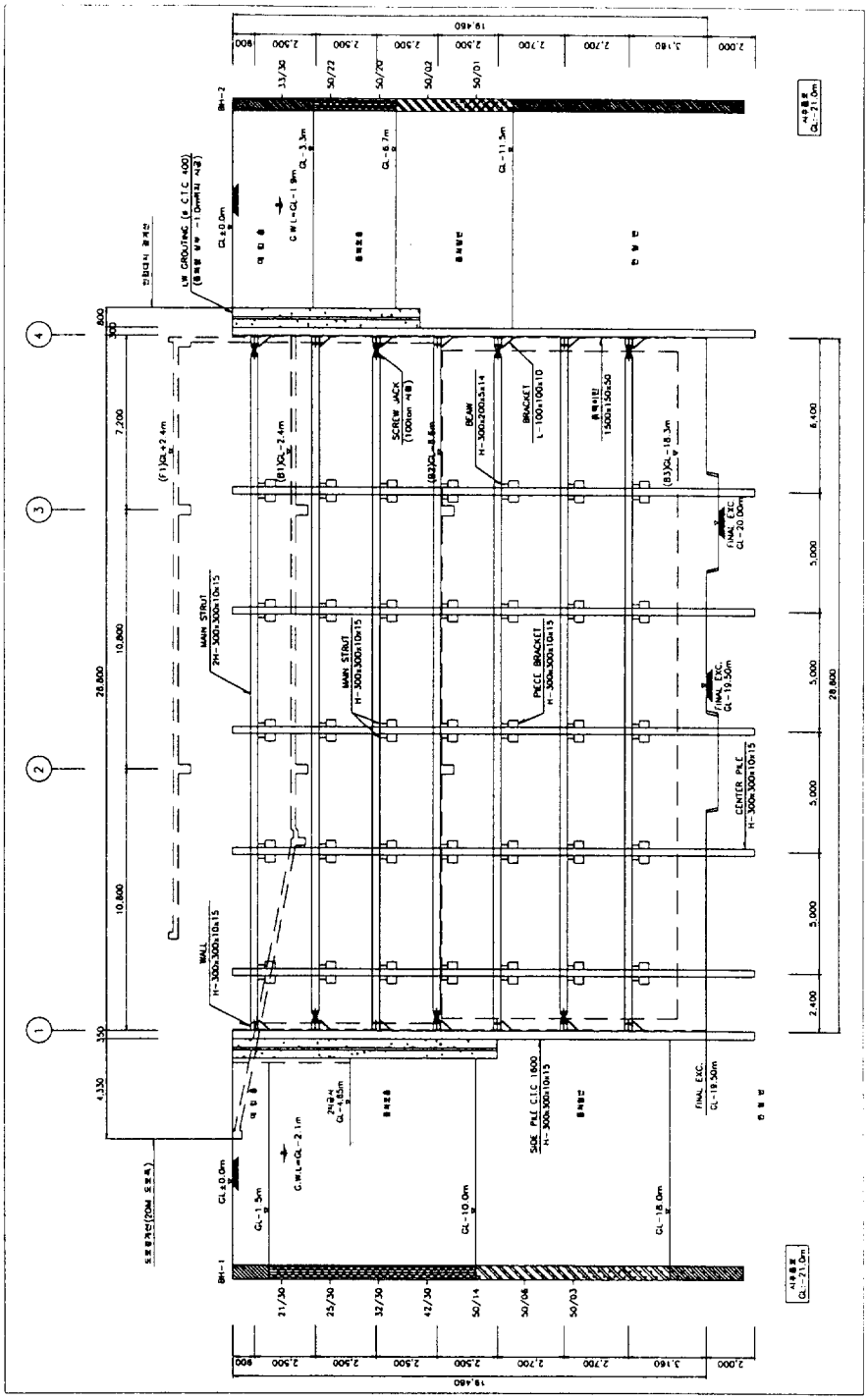
A 현장의 주변 현황은 서측으로 20m도로가 위치하며 남측으로는 30m도로가 위치하고 있으며, 북측으로는 기존의 공장건물(R.C 2층)이 위치하며 동측으로는 기존건물(R.C 3층)이 위치하고 있다.

가시설 설치계획은 토류벽체의 경우는 H-Pile (H-300×300×10×15@1.6m) + 토류판(T=10㎝)이며, 지보공의 설치는 Strut (2H-300×300×10×15@5.5m)로 설치되었으며, 차수공은 풍화토층에서 1.0m를 근입하여 L.W(Ø800㎜ c.t.c 60㎝)를 시공하였다.

이상과 같은 현장 주변현황과 가시설의 설치계획은 <그림 2.1.1>~<그림 2.1.2>에서 보여주는 바와 같다.



<그림 2.1.1> A현장의 주변현황 및 가시설 평면계획



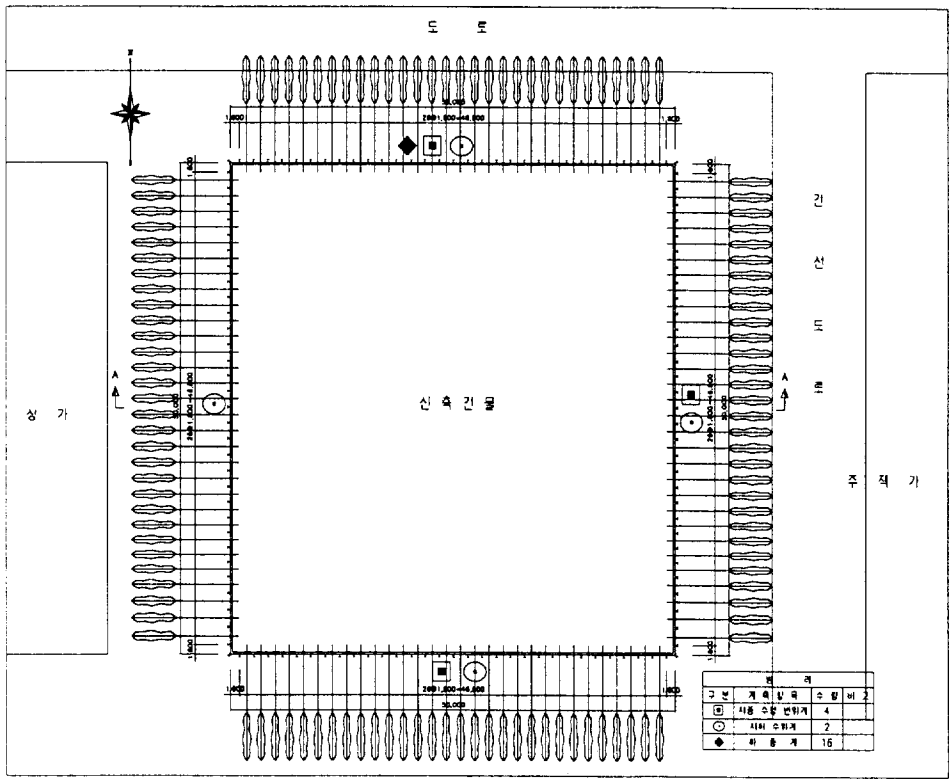
<그림 2.1.2> A현장의 지층도 및 가시설 설치단면

2.1.2 B 현장

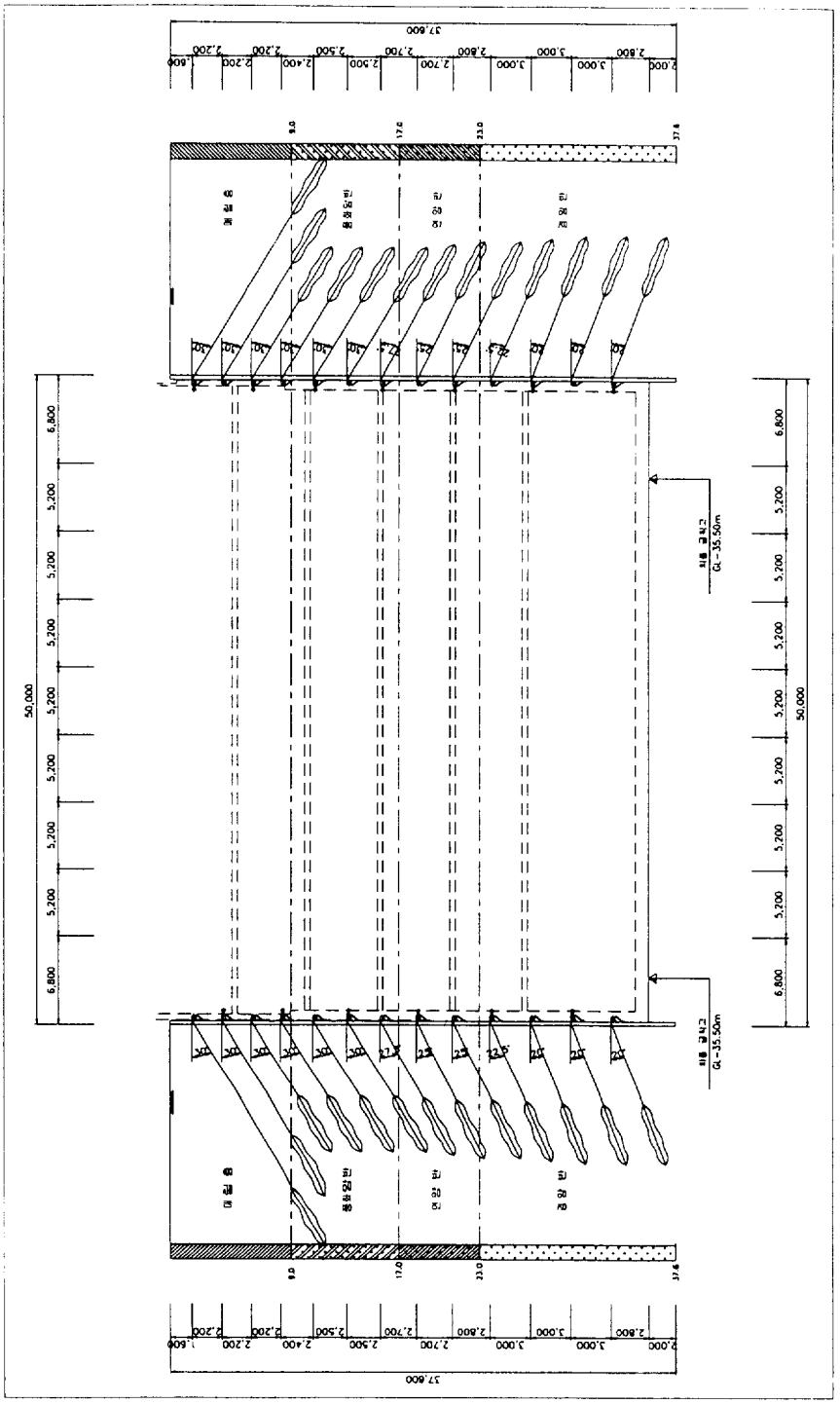
B 현장의 주변 현황은 서측으로 8m도로와 도로 건너편은 상가(R.C 5층)가 위치하며, 남측으로는 공지가 형성되어 있으며, 북측으로는 10m도로와 도로 건너편은 소형 주택지(R.C 2층 규모)가 위치하며 동측으로는 6m도로와 도로 건너편은 소형 주택지(R.C 2층 규모)가 위치하고 있다.

가시설 설치계획은 토류벽체의 경우는 H-Pile (H-300×300×10×15@1.8m) + 토류판(T=8㎝)이며, 지보공의 설치는 지반앵커 (Ø12.7㎜×5ea@1.8m)로 시공하였다.

이상과 같은 현장 주변현황과 가시설의 설치계획은 <그림 2.1.3>~<그림 2.1.4>에서 보여주는 바와 같다.



<그림 2.1.3> B현장의 주변현황 및 가시설 평면계획



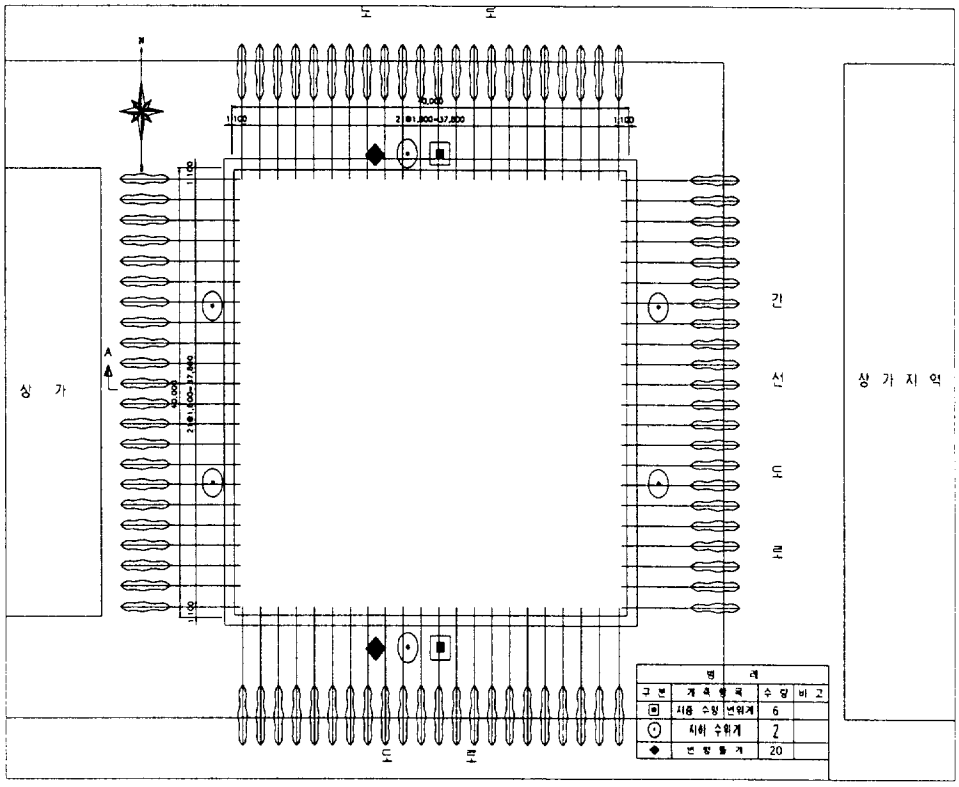
<그림 2.1.4> B현장의 지층도 및 가시설 설치단면

2.1.3 C 현장

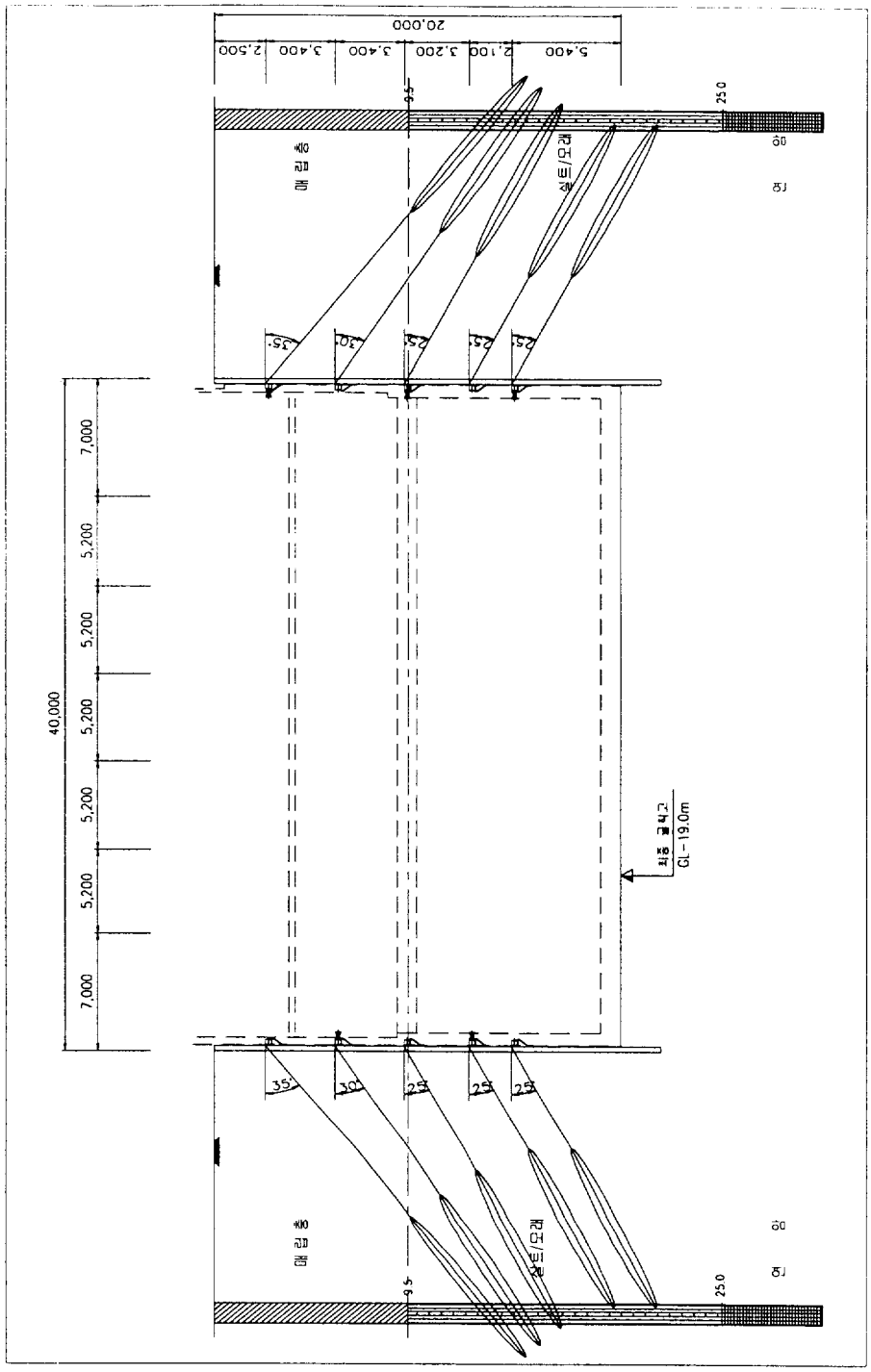
C 현장의 주변 현황은 상가건물(R.C 4층)가 위치하며, 남측으로는 8m도로가 형성되어 있으며, 북측으로는 8m도로와 도로 건너편은 소형 주택지(R.C 2층 규모)가 위치하며 동측으로는 15m도로와 도로 건너편은 상가(R.C 3~5층 규모)가 밀집하여 있다.

가시설 설치계획은 토류벽체의 경우는 강성벽체인 Slurry Wall (T=1.0m)이 설치되었으며, 지보공의 설치는 지반앵커 (Ø12.7㎜×5ea@1.8m)로 시공하였다.

이상과 같은 현장 주변현황과 가시설의 설치계획은 <그림 2.1.5>~<그림 2.1.6>에서 보여주는 바와 같다.



<그림 2.1.5> C현장의 주변현황 및 가시설 평면계획



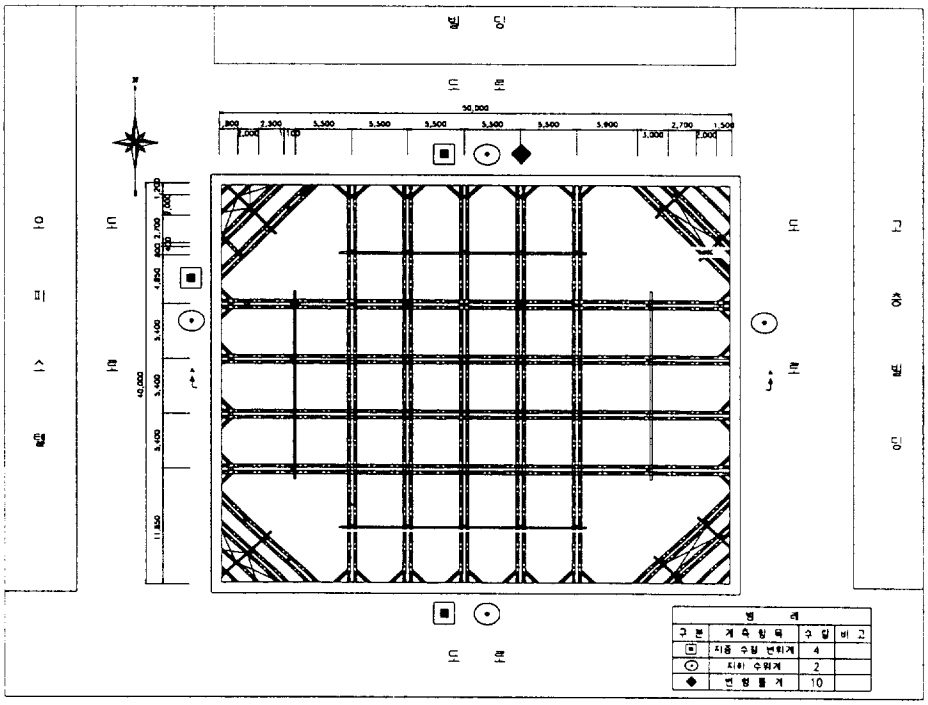
<그림 2.1.6> C현장의 지층도 및 가시설 설치단면

2.1.4 D 현장

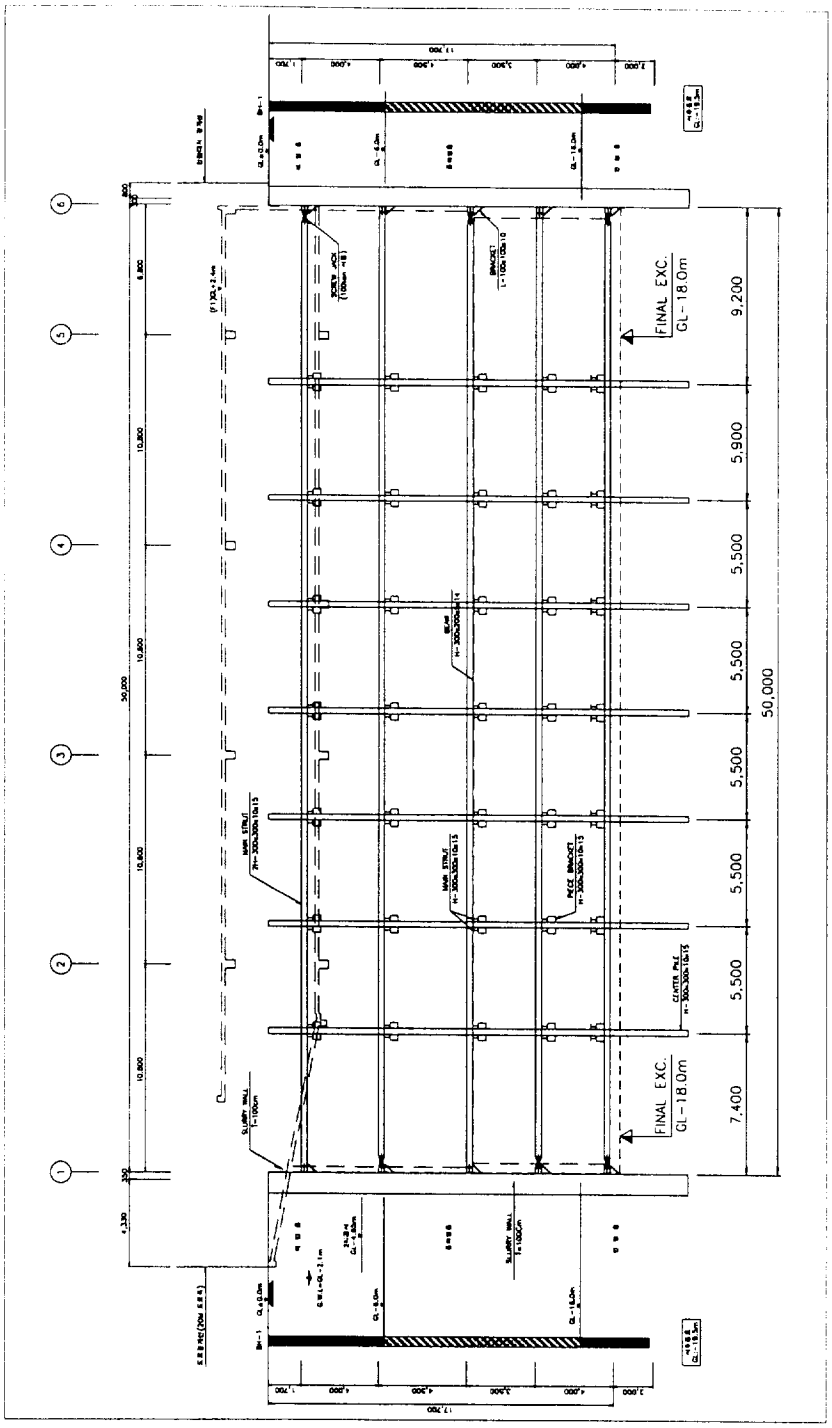
D 현장의 주변 현황은 현장주변으로 4면이 기존 도로가 형성되어 있으며, 도로건너편 서측은 오피스텔 건물(R.C 8층)이 위치하고 남측으로는 소형 주택지(R.C 2층 규모)가 형성되어 있으며, 북측으로는 중·소형 빌딩(R.C 5~10층 규모)이 위치하고 동측으로는 대형빌딩(R.C 15층 규모)이 위치하고 있다.

가시설 설치계획은 토류벽체의 경우는 강성벽체인 Slurry Wall (T=1.0m)이 설치되었으며, 지보공의 설치는 Strut (2H-300×300×10×15@5.5m)로 설치되었다.

이상과 같은 현장 주변현황과 가시설의 설치계획은 <그림 2.1.7>~<그림 2.1.8>에서 보여주는 바와 같다.



<그림 2.1.7> D현장의 주변현황 및 가시설 평면계획



<그림 2.1.8> D현장의 지층도 및 가시설 설치단면

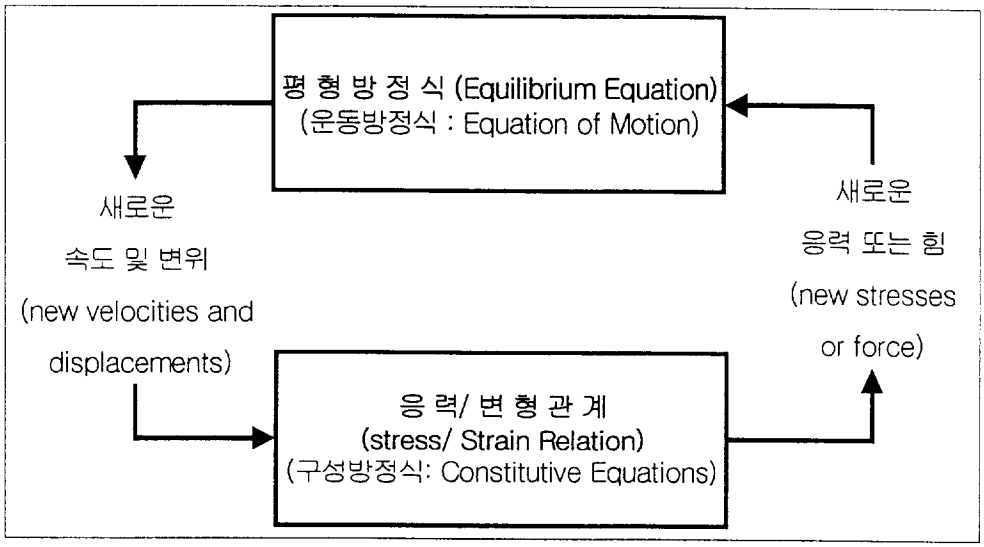
2.2 연구방법

2.2.1 수치해석

수치해석에 의한 가시설의 해석은 지반전용 해석 프로그램의 일종으로 유한차분법에 기초한 미국의 ITASCA Constructing Group사에서 만들어진 범용소프트웨어인 FLAC (Fast Lagrangian Analysis of Continua)를 사용하였으며, 해석절차 및 방법은 다음과 같다.

1) 해석절차

FLAC은 명시적 해석 절차(Explicit solution Procedure)를 사용한 Program으로서 제반 지반공학적인 문제를 해석하는데 유용한 Program 이며, Explicit 계산 Cycle은 다음 <그림 2.2.1>과 같다.



<그림 2.2.1> Explicit Calculation Cycle

2) 해석 방법

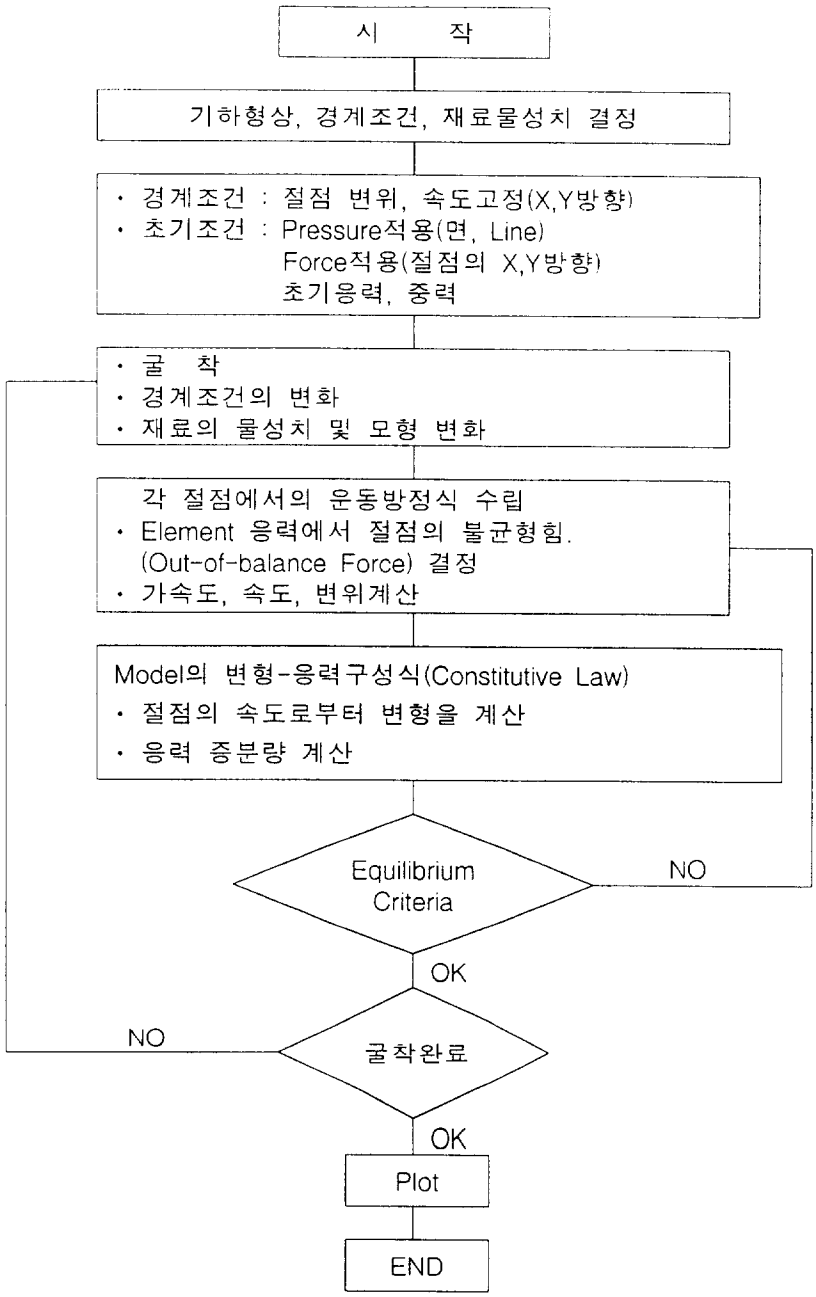
FLAC은 유한요소 방정식의 해를 구하는 FEM과 다른 FDM방식으로서, 이는 요소의 각절점에 구성된 방정식을 아주 적게 세분된 Time Step(이웃 절점에 영향을 주지 않을 정도의 Time Step으로 Program에서 자동 선택)에서 이전 Time Step에서 구한 값을 초기값으로 하여 방정식의 해를 구하는 방법이며 평형상태에 대한 표준시간(Criteria Condition)까지 반복 수행하여 최종 해를 구하는 것으로 해석

과정을 흐름도로 나타내면 <그림 2.2.2>와 같다.

유한요소법에 사용되는 지반모델은 변형증가에 따라 응력이 어떻게 변하는 가에 따라 일반적으로 다음과 같이 분류될 수 있다.

- 선형탄성모델
  - 등방성 (Isotropic)
  - 이방성 (Anisotropic)
- 부분적 선형탄성모델 (Bilinear, Trilinear of multilinear)
- 탄소성모델 (Elasto-Plastic)
  - 완전 탄소성 (Elastic-Perfectly Plastic)
  - 변형경화 (Hardening)
  - 변형연화 (Softening)
- 점탄성모델 (Visco-Elastic)

지반의 응력 및 변형을 해석할 때 토압을 입력하는 대신에 지반의 탄소성 강도특성과 흙막이 벽체 및 지보공의 탄성강도 특성을 입력함으로써 변위와 응력을 구하는 해석방법으로 흙막이 벽체는 탄성보(Beam) 요소, Strut는 탄성봉요소(Truss 요소 또는 Spring 요소라 불리기도 함)로 모델링 하며, Earth anchor는 FLAC에서 지원되는 Cable 요소를 사용하여 모델링하여 해석결과를 분석토록 하였다.



<그림 2.2.2> 해석과정의 Flow Chart

2.2.2 경험적 방법

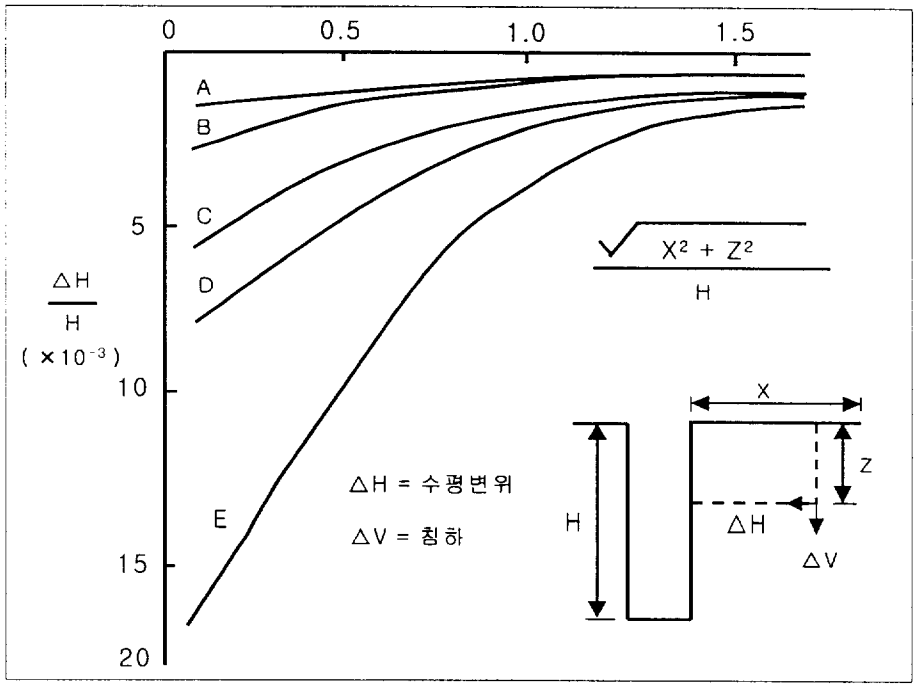
토류벽체의 변위에 대한 경험적 추정방법으로는 Peck(1969), Caspe(1966), Clough 등(1990), Fry.et.al(1983)의 방법이 있으나 본 연구에서는 Fry.et.al 에 의한 방법을 사용하고자 한다. Fry.et.al의 방법은 지질조건, 굴착깊이 등에 따른 지반변위의 크기를 도표로 나타낸 것으로서, Peck이 제안한 침하해석보다 세분되어 있으며, 지표뿐만 아니라 지중의 수직, 수평변위를 해석할 수 있도록 그림으로 나타내었다. <그림 2.2.3>은 수평변위를 나타내며, <그림 2.2.4>는 수직변위를 나타낸다.

<그림 2.2.3>에서,

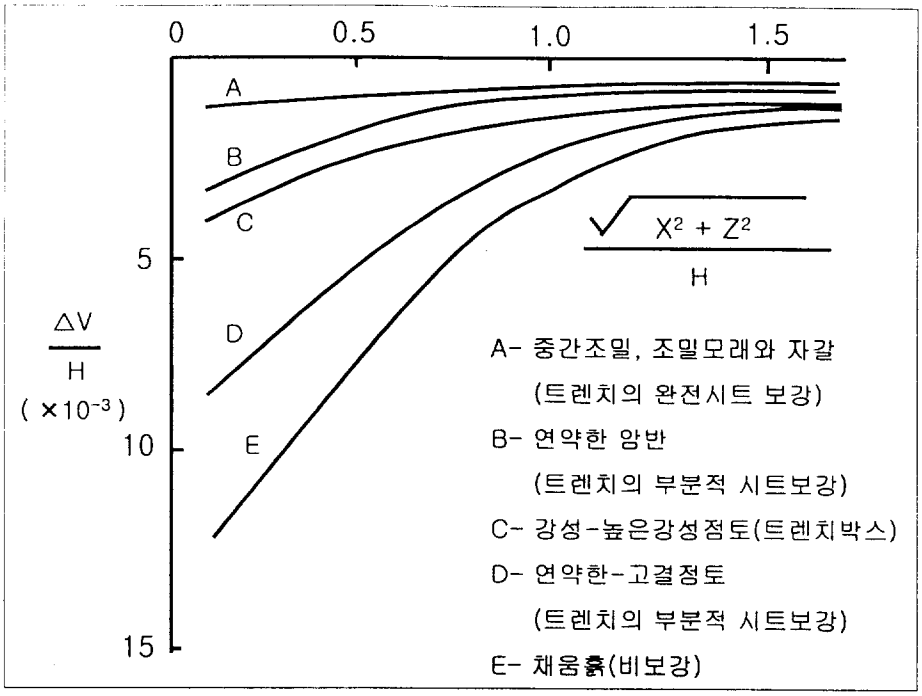
X = 계측기의 위치(m)

H = 최대굴착깊이(m)

Z = 굴착깊이(m) 를 나타낸다.



<그림 2.2.3> 수평변위



<그림 2.2.4> 수직변위

2.2.3 계측에 의한 방법

흙막이 구조물을 설계하는 경우 사전 조사에서 토층의 두께, 깊이, 지하수위, 토질정수의 확인, 보오링, 공내수평재하시험등을 실시. 현장의 지반조건을 파악하여 토류구조물에 작용하는 토압, 수압 등의 외력이나 지반, 토류벽의 변형량, Boiling, Heaving 등 토류구조물의 안정성에 관한 검토가 실시되는데, 이것은 어디까지나 이론식으로 추정하는 것이므로 시공시에는 조사, 설계상의 차이나 시공상의 오차에 의해 토류구조물에 과대한 외력이나 변형이 발생하는 경우가 흔히 나타나고 있다. 따라서 조사, 설계, 시공시에 부득이 하게 발생되는 오차나 설계시 공상의 오류를 제거하기 위하여 현장계측을 시행하며, 본 연구에서는 각 현장에 대한 계측장비(지중수평변위계, 경사계, 지하수위계)를 이용하여 굴착 깊이에 따른 토류구조물의 수평변위를 측정하고자 하였다.

3. 흙막이 벽에 작용하는 토압

흙막이 가설구조물 벽체에 작용되는 설계용 하중을 결정하는 방법으로는 모형실험방법, 현장계측에 의한 방법, 이론적 해석방법의 3가지로 크게 분류할 수 있는데, 다양하고 복잡한 흙의 성질 및 주변여건이 미치는 영향, 단계별 굴착공사에 따른 흙막이 가설구조물 벽체의 시간에 따른 변화양상을 이론적으로 정립한다는 것이 실질적으로 어려운 문제이므로 여러 형태의 지반조건, 시공조건, 주변여건에서 실측된 자료를 토대로 경험에 의거하여 설계에 필요한 토압 분포를 구하고 있다. 흙막이 벽에 작용하는 토압은 일반적으로 Terzaghi-Peck , Tschebotarioff, NAVFAC(미해군 시설공병) , Rankine-resal 등의 토압분포로 설명할 수 있다.

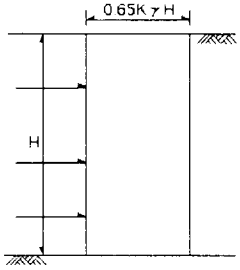
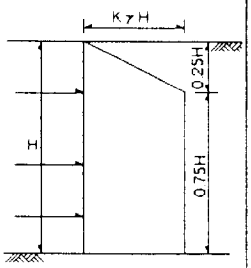
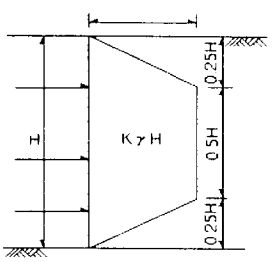
3.1 Terzaghi-Peck 방법

가설 흙막이 벽이나 띠장, 버팀대등의 지보공의 단면계산에 사용되는 Terzaghi-Peck, Tschebotarioff 방법에 의한 토압이론을 바탕으로 경험적인 방법들이 사용되어왔으며, 이러한 방법들을 기준으로 일본도로협회,일본건축학회등의 각 기관에서는 각각규준을 마련하여 사용되어왔고, 이 규준은 현장에서 현장계측을 통한 실측치를 이용하여 경험적으로 산정된 값이므로 실제 토압분포와는 다를 수 있다.

Terzaghi-Peck방법은 1942년에 각단 버팀대의 지점 위치로 엄지말뚝이나 Sheet Pile을 단순보로 분할하여 지점의 반력을 구하여 1단 버팀대 지점반력은 2단 버팀대 설치위치 까지를 하나의 보로 간주하여 1단 버팀대의 지점반력을 구한다.

이러한 각단의 버팀대에 작용하는 하중을 계측치로 부터 산정하여 흙막이 벽체에 작용하는 측압분포를 경험에 의한 방법으로 최초로 제안하였고 1967년에 수정 제안하였다.

<표 3.1.1> 경험에 의한 토압분포도

	(a)	(b)	(c)
토압분포			
지반조건	사질토	부드럽고 중간정도의 단단한 점토	단단한 점토
측압계수	$\tan^2(45° - \Phi/2)$	$1 - m.Cu/\gamma H$	-
내용	하단굴착부의 하중을 중요시	점성토지반상에 설치된 가설 구조물은 대부분 상기에 표기	균열이 발달한 경우의 토압

상기에 명기된 <표 3.1.1>의 토압분포도에서 알 수 있는 것은 굴착하단부에 작용하는 버팀대 하중이 벽체 중앙부근에 작용되어지는 버팀대 하중보다 작게 분포하고 있는데, 이러한 이유는 가소성 흙막이 벽이 옹벽과 강성이 큰 벽체에서 발생하는 변위량을 유지하지 못하고 전혀 다른 변위양상을 나타내고 있기 때문이다.

현재 시공되고 있는 흙막이 가설 구조물 벽체에 작용하는 토압분포로서 가장 일반적으로 사용되고 있는것이 (b)에 명기된 토압분포이며, 이와 같은 점성토 지반에서는 지반활동면이 지표면상에서 발생하여 굴착하단부근의 엄지말뚝위치에서 활동이 소멸되는 것이 아니고, 굴착저면 하부의 지반내로 발달해감으로서 흙막이 벽체의 파괴형식이 저부파괴와 같은 형태로 나타난다고 할 수 있다.

$$K_a = 1 - m \times 4\ S_U / H$$

$$N_S = \gamma H / S_U$$

$$N_b = \gamma H / S_{U_b}$$

여기에서, K_a : 주동토압 계수

N_S : 굴착전체에 대한 안정수

N_b : 굴착저부면에 대한 안정수

S_U : 배면토 및 저면부에 파괴면이 미치는 범위까지의 흙의 비배수전단강도

S_{U_b} : 굴착저면부 파괴면에 미치는 범위의 흙의 비배수 전단 강도

m : 합리적인 토압산정을 위한 계수

H : 굴착깊이

여기에서 N_S (Stability number)를 안정계수라 하고 흙막이 가설 구조물 벽체의 거동은 이 N_S 값에 영향을 받고 있다고 판단되며, 이 N_S 값을 굴착깊이에 따라 분리해 보면 굴착깊이가 얕은 경우에는 3이나 4의 값으로 정하고 굴착깊이가 깊어지면, 6~8정도의 값을 취할 수 있고 S_U의 경우에는 강도가 다른 여러층의 점토지반이 존재할 경우에는 S_U의 값을 정하기가 어려운 점이 있다.

이상과 같이 설명된 토압분포 형태나 N_S, N_b와 같은 안정수의 내용들은 엄지말뚝의 기초지반이 충분한 지지력을 가지고 있고 엄지말뚝 자체가 어느 정도의 강도를 가지고 있는 경우에 적용될 수 있다고 할 수 있다.

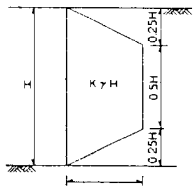
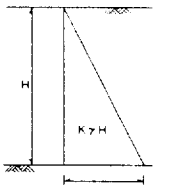
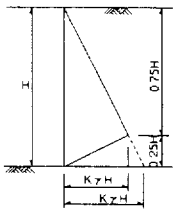
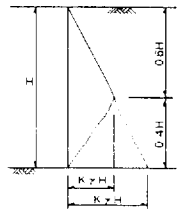
<표 3.1.2> 안정계수(Stability Number)의 평가기준

구분	조 건	기 준	내 용
N_b	-상재하중이 존재하지 않는다. -굴착깊이가 무한정이다.	<3.14	-굴착저면부근의 변위는 탄성적이다
		=3.14	-소성영역이 굴착저면부근으로부터 확대되기 시작한다.
		=3.14 -5.14	-굴착저면부근에서 부풀어 오르는 양이 현저히 증가한다.
		=5.14	-극한상태가 되어 굴착저면은 저면 파괴상태가 된다.
N_s	-점토의 전단강도와 토압판단	<4	-토압이 작용치 않는 것으로 나타나나 실제로 (0.2-0.4)γH의 토압이 작용함
			-흙의 성질이 탄성역에서 소성역으로 이동
		=4-6	-소성역이 굴착저면에 도달하여 소성평형상태가 됨
		=6-8	-지표면의 침하가 커진다

3.2 Tschebotarioff의 토압분포

Tschebotarioff가 1951년에 사질토지반 및 점성토지반에서의 Strut에 작용하는 하중을 결정하기 위해 흙막이 가설구조물 벽체에 걸리는 토압분포를 아래 <표 3.2.1>과 같이 발표 하였다.

<표 3.2.1> 가설구조물 벽체에 걸리는 토압분포

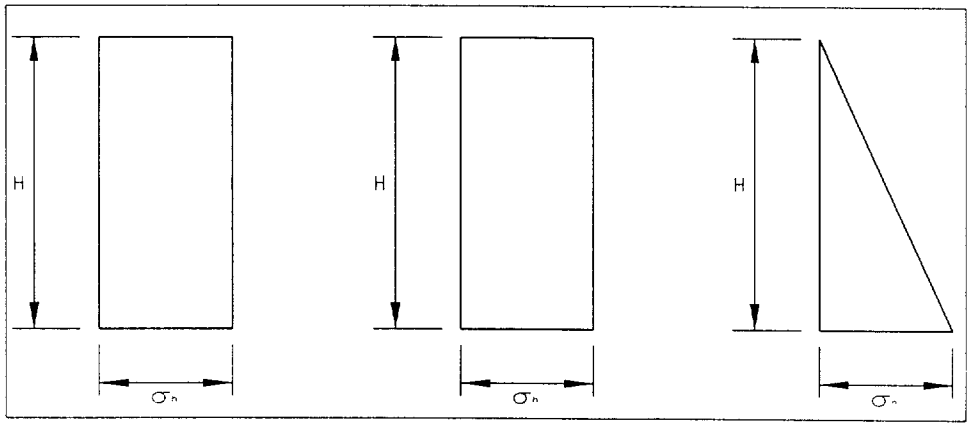
지 반 조 건	토 압 분 포 도	내 용
사 질 토		- 점토지반의 토압분포는 K=0.5를 사용하여 굴착깊이 H까지의 토압을 수압분포 시켰다. - 단단한 점토지반과 중간정도의 점토지반에서는 굴착저면에서 어느높이의 구간은 下방향으로 내려감에따라 토압이 직선적으로 줄어들어 굴착저면 부근 에서는 토압이 0이 되도록 토압분포를 수정하였다. - 사질토는 사다꼴 분포로 점토는 삼각형분포로 제안하였다.
부 드 러 운 점 토		
중 간 정 도 의 점 토 지 반		
단 단 한 점 토		

상기에 명기된 내용중에서 특이할 만한 사항은 토압이 굴착하부로 내려감에 따라 직선적으로 감소하여 최하부 굴착저면에서 0이 되도록 수정 제안한 것인데 그 이유는 굴착저면의 상부 부근에서 아래방향에 대한 전단응력이 전달됨으로써

발생한다고 설명하고 있으며, 점토지반에서의 토압계수를 정지토압계수 K_0를 사용하였으므로 Tschebotarioff는 Terzaghi-Peck의 토압분토에 대한 다음과 같은 의견을 제시하였는데 즉, 굴착깊이가 얕은경우 안정수 Ns가 4이하일 경우에는 위험측의 결과를 가져오고 굴착깊이가 20m 이상일 될 경우 안전율이 과한 결과를 가져다 준다고 하였으며, 이에 Tschebotarioff는 굴착깊이가 깊은 경우에 m=2 로 하는 것이 바람직하다고 제안하였다.

Tschebotarioff는 토압분포에서 지반에서 발생되는 Sliding에 대한 흙의 전단저항과 단단한 토립자의 Wedging이라고 하는 현상이 있으며, Arching현상은 Wedging현상에 의한것으로 소성적인 점토나 느슨한 사질토 지반에서 발생되는 것이며, 이러한 경우 토압분포는 사다리꼴 분포 혹은 굴착저면에서의 토압의 감소는 없으며, 삼각형분포로 형성된다고 설명하였다.

3.3 NAVFAC 토압분포



<그림 3.3.1> NAVFAC 토압분포

$\sigma_h = \alpha K_0 \gamma H$ $\sigma_h = 0.15\gamma H (N_s \fallingdotseq 4)$ $\sigma_h = 0.5 \sim 0.6\gamma H$

dense sand α = 0.4 $\sigma_h = 0.3\gamma H (N_s < 4)$ (정지토압 즉, K_0조건)

loose sand α = 0.5 N_s : 안정수 $(= \gamma H/c)$

이상과 같이 설명된 토압분포 형태나 N_s, N_b와 같은 안정수의 내용들은 엄지말뚝의 기초지반이 충분한 지지력을 가지고 있고 엄지말뚝 자체가 어느정도의 강도를 가지고 있는 경우에 적용될 수 있다고 할 수 있다.

3.4 Rankine-resal 토압분포

연직으로 굴착한 상태의 흙막이 말뚝외측에서 횡방향으로 토압이 가해졌을때 흙이 파괴 되기 직전의 토압을 주동토압, 내측에서 주동토압과 반대방향으로 저항하는 힘이 작용할 경우에 흙이 파괴 직전의 저항을 수동토압이라 한다.

이러한 토압이론에서 유출된 식이며 또한 이식의 성립을 위해 다음과 같은 가정이 존재한다.

- 흙막이벽의 배면지반은 평탄하고 수평이고 배면토와의 마찰각이 없다
- 흙막이 벽은 그 하단을 중심으로 회전한다.

(주동토압)

$$P_a = (\gamma H + q)\tan^2(45^\circ - \phi/2) - 2C\tan(45^\circ - \phi/2)$$

(수동토압)

$$P_p = (\gamma H + q)\tan^2(45^\circ + \phi/2) + 2C\tan(45^\circ + \phi/2)$$

여기에서, P_a : 주동토압 강도

P_p : 수동토압 강도

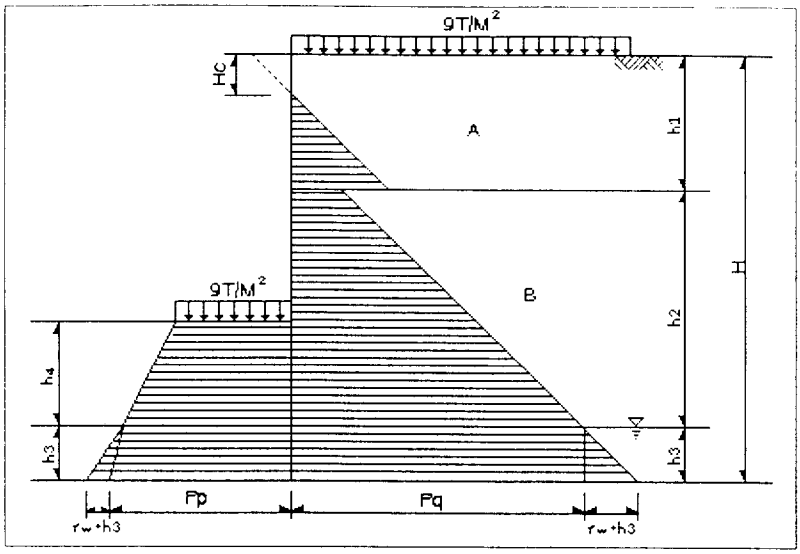
γ : 흙의 단위 체적중량

H : 지표면의 재하하중 강도

q : 지표면의 재하하중 강도

ϕ : 흙의 내부 마찰력

C : 흙의 점착력



<그림 3.4.1> Rankine - resal의 토압 분포

위에서 열거한 Rankine-resal식을 이용하여 점착력을 가진 지반에서 흙막이벽에 작용하는 측압을 구하면, 지반 상층부에서는 측압이 (-)가 되므로 실측치와 비교하면 분포형상은 일치하지 않더라도 측압의 합계치는 다른 측압산정 방법으로 구한 합계치와 큰차이가 없고 사질토지반에서의 Rankine-resal식을 이용한 측압분포는 실측치와 비교적 잘 일치한다.

측압이 (-)가 된다는 것은 존재하지 않으므로 그 부분에 대해서는 측압을 0 으로 생각하여 상기 그림에서 표시된 점착고 H_c (P_a = 0 부분이므로) 는 다음과 같이 계산 되어진다.

$$(\gamma H_c + q)\tan^2(45^\circ - \phi/2) - 2C\tan(45^\circ - \phi/2) = 0$$

그러므로, $H_c = 2C/\gamma \times \cot(45^\circ - \phi/2)$

4. 결과 및 고찰

4.1 변위계산 결과

각 현장의 변위계산방법은 2.2절의 연구방법에서 제시한 바와 같이, 수치해석은 FLAC (Fast Lagrangian Analysis of Continua)을 사용하였고, 경험에 의한 변위해석결과는 <그림 2.2.3>의 Fry.at.al의 도표에 의하여 구하였으며, 계측에 의한 변위계산은 실제 현장의 변위측정 데이터를 사용하였다.

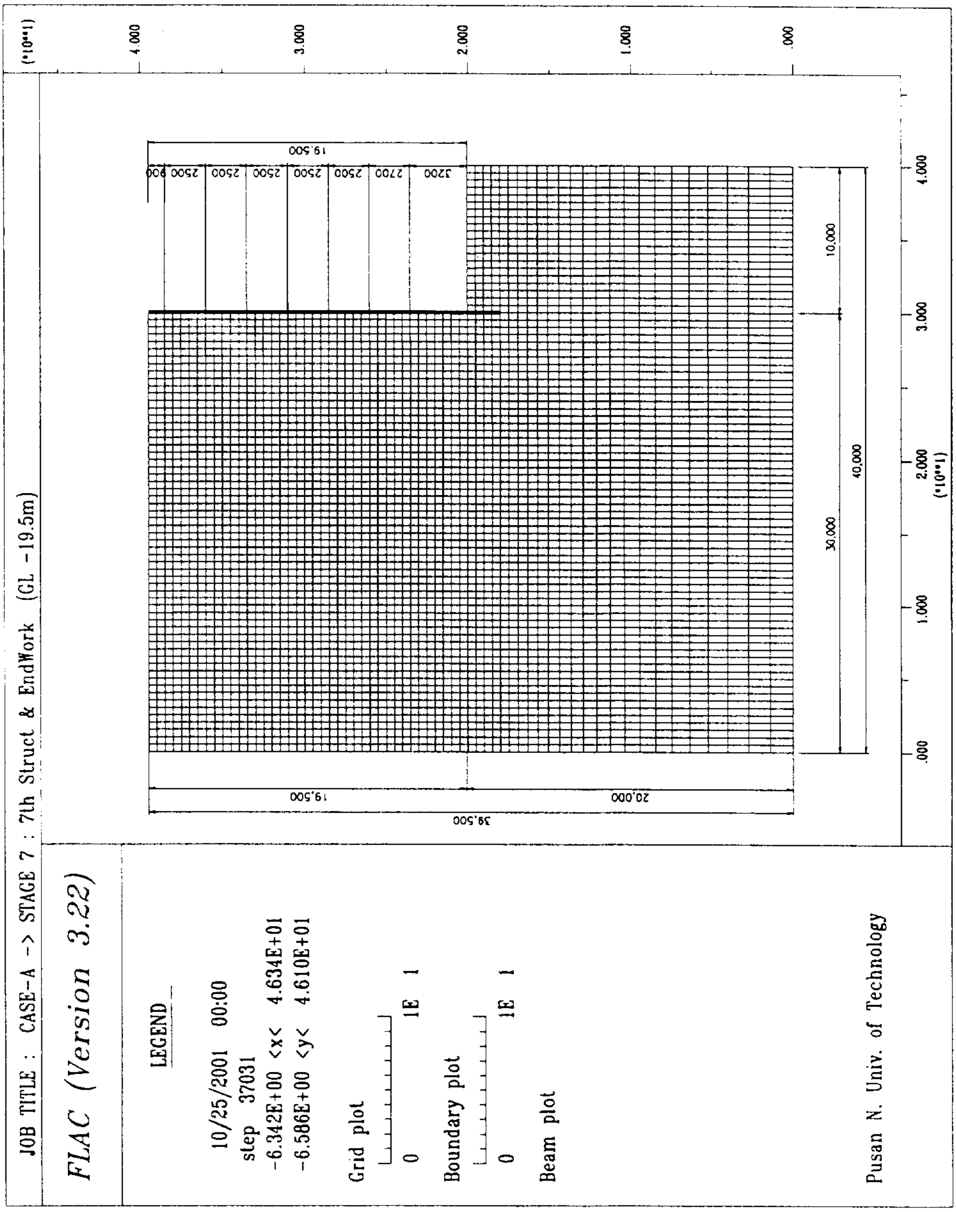
4.1.1 수치해석 결과

본 논문에서 2.1절에서 설명되어진 4가지 경우의 서로 다른 현장조건을 통하여 수집된 자료의 지반조건 및 토질조건에 따라 수치해석을 수행하였으며, 각각의 경우에 따른 굴착단계별 흙막이벽에 작용하는 수평변위량의 수치해석결과는 <표 4.1.1>~<표 4.1.4>와 같고, 각현장의 최종굴착시 수평변위도와 수치해석 모형, 수평변위 그래프는 <그림 4.1.1>~<그림 4.1.12>와 같다.

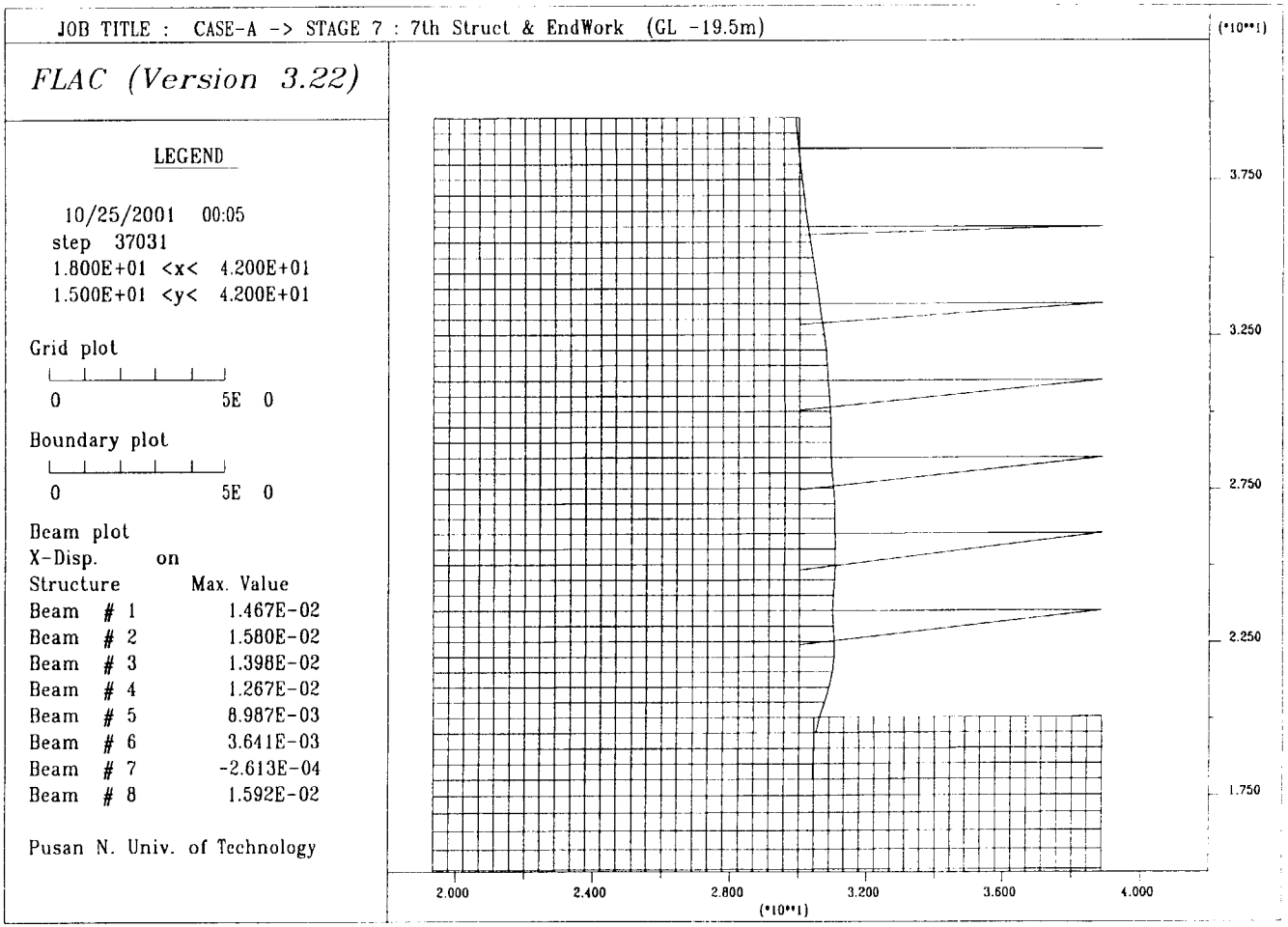
<표 4.1.1>~<표 4.1.4>에서 보여주는 해석결과의 값에서 (-)의 부호의 의미는 굴착 배면방향으로 수평 변위량을 나타낸 것이며, (+)의 의미는 굴착방향으로 수평 변위량을 나타낸 것임.

1) A 현장

A 현장에 대한 벽체변위 Data 및 굴착깊이에 따른 수평변위는 아래의 <표 4.1.1>, <그림 4.1.3>과 같고, 수치해석 모형과 최종굴착시 수평변위도는 <그림 4.1.1>, <그림 4.1.2>와 같다.



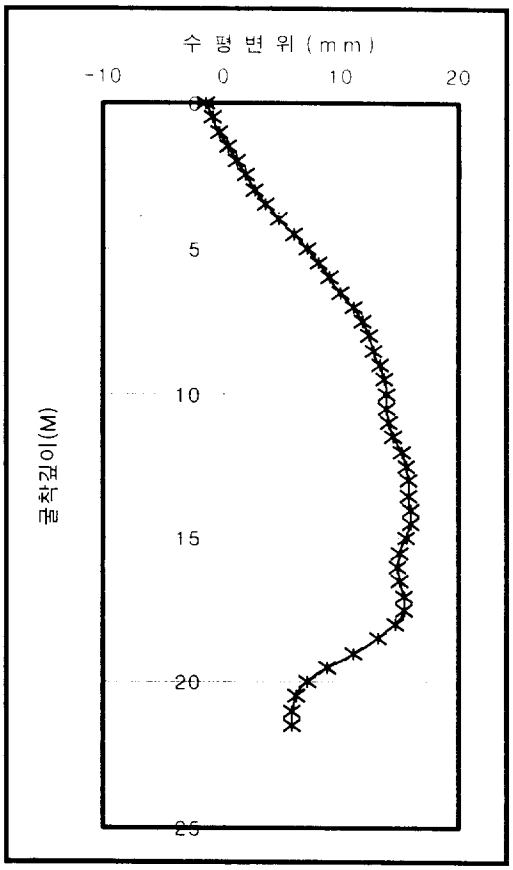
<그림 4.1.1> A현장의 수치해석 모형



<그림 4.1.2> A현장의 최종 굴착시 수평변위도

<표 4.1.1> A현장 벽체변위 Data

굴착깊이 (M)	벽체변위 (mm)	굴착깊이 (M)	벽체변위 (mm)
0.0	-1.4	12.5	15.6
0.5	-0.9	13.0	15.8
1.0	-0.3	13.5	15.8
1.5	0.4	14.0	15.9
2.0	1.1	14.5	15.9
2.5	1.9	15.0	15.6
3.0	2.7	15.5	15.0
3.5	3.6	16.0	14.7
4.0	4.8	16.5	15.0
4.5	6.0	17.0	15.4
5.0	7.1	17.5	15.4
5.5	8.1	18.0	14.6
6.0	9.0	18.5	13.1
6.5	10.0	19.0	11.1
7.0	11.0	19.5	8.9
7.5	11.8	20.0	7.2
8.0	12.3	20.5	6.2
8.5	12.7	21.0	5.8
9.0	13.2	21.5	5.8
9.5	13.7		
10.0	13.9		
10.5	13.9		
11.0	14.0		
11.5	14.5		
12.0	15.1		

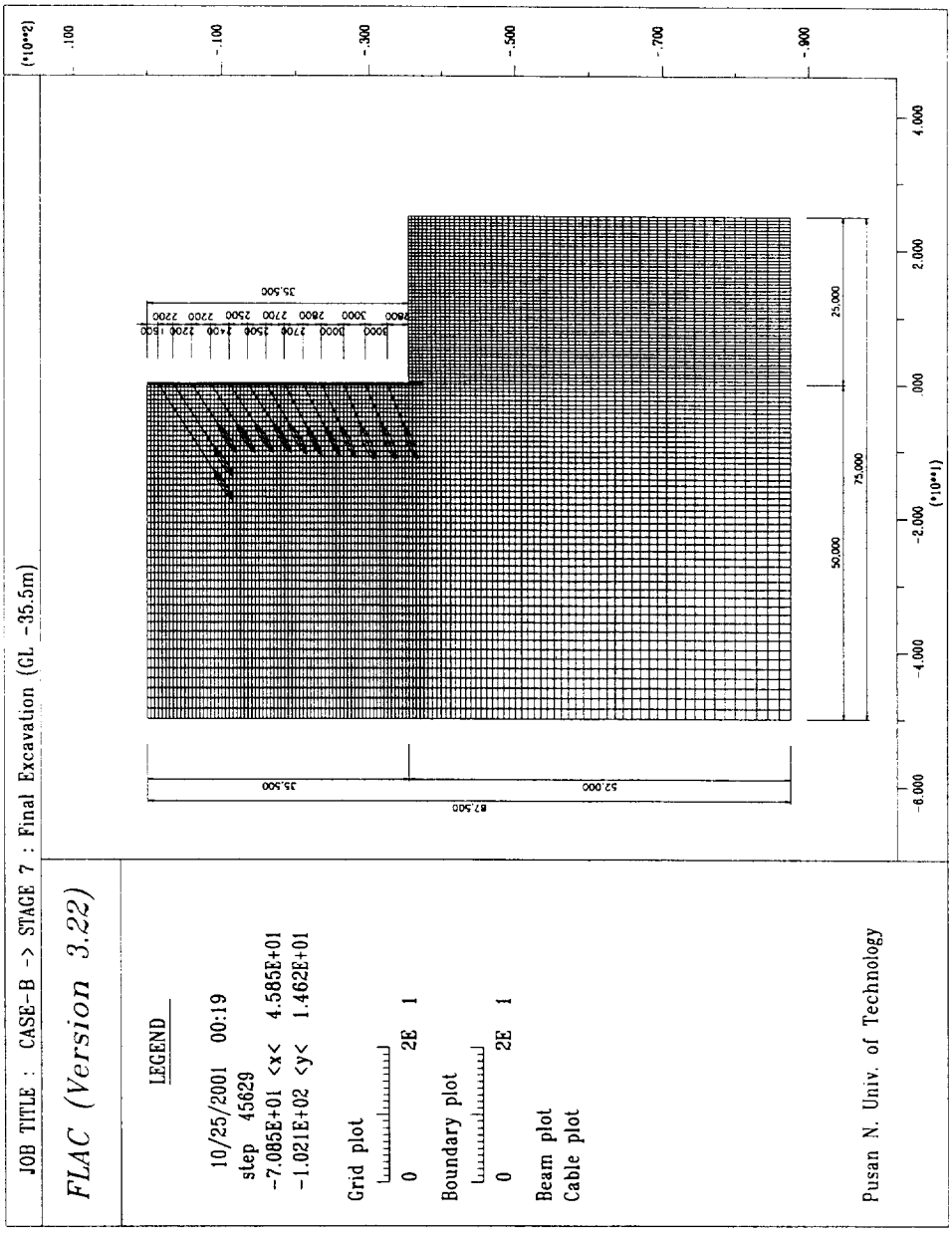


<그림 4.1.3> 굴착깊이에 따른 수평변위

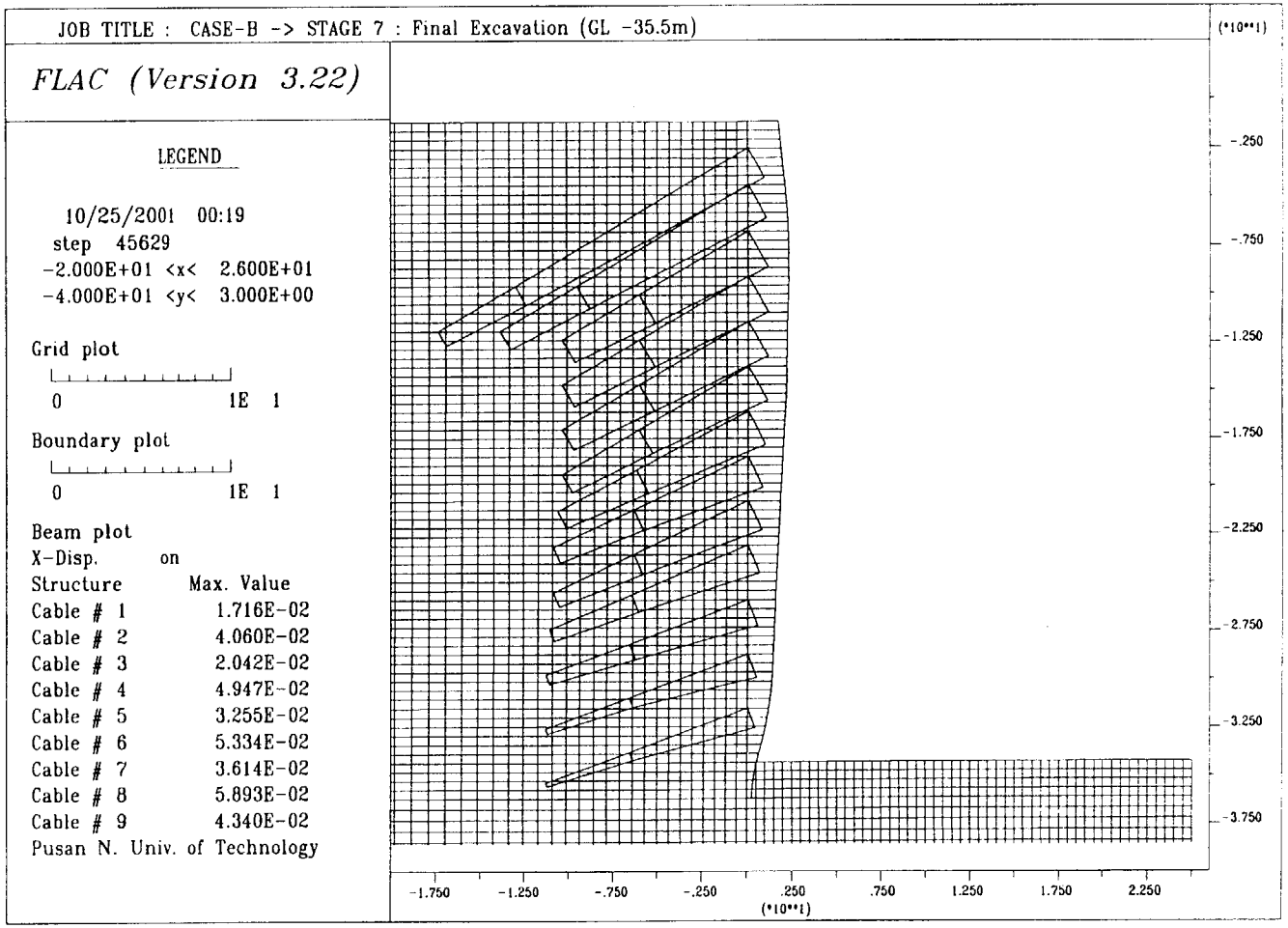
위의 A현장에 대한 수치해석 결과를 요약하면, <그림4.1.3>에 나타난 바와 같이 수평변위는 지면에서 10m 까지 계속적인 증가후 10m~17m 지점까지는 큰 변화가 없었으며, 17m 지점 이후부터 최종굴착깊이 까지는 감소하는 형태로 나타났다. <그림 4.1.3>에서 최대 굴착변위가 나타나는 지점은 14m 지점이며, 17m 지점이후로 변위가 감소하는 이유는 17m 이후의 토층구성이 풍화암, 연암지대 이기 때문인 것으로 판단된다.

2) B 현장

B 현장에 대한 벽체변위 Data 및 굴착깊이에 따른 수평변위는 아래의 <표 4.1.2>와 <그림 4.1.6>과 같고, 수치해석 모형과 최종굴착시 수평변위도는 <그림 4.1.4>, <그림 4.1.5>와 같다.



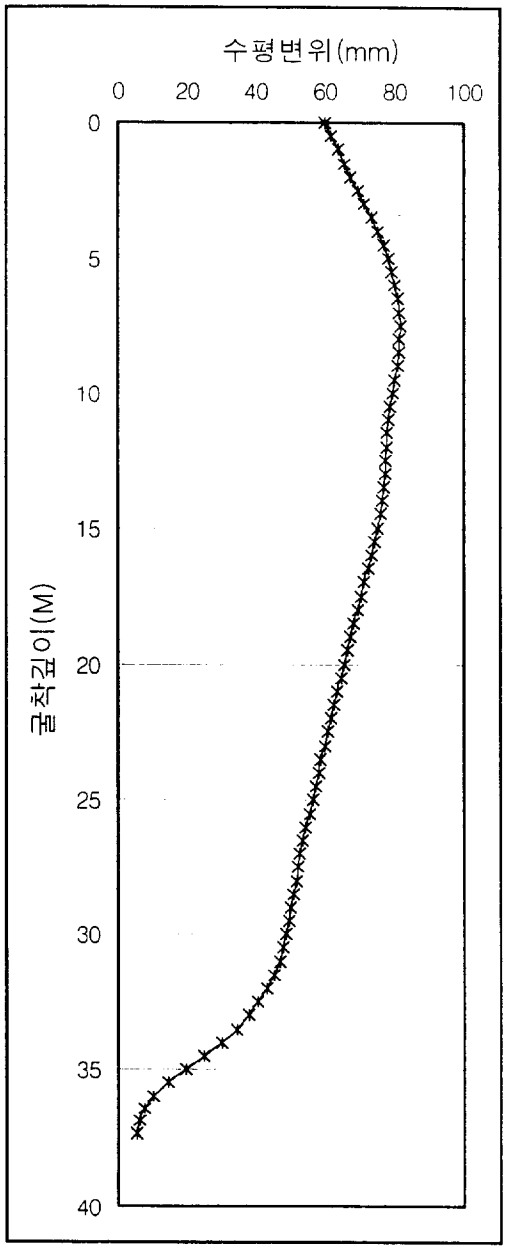
<그림 4.1.4> B현장의 수치해석 모형



<그림 4.1.5> B현장의 최종 굴착시 수평변위도

<표 4.1.2> B현장 벽체변위 Data

굴착깊이 (M)	벽체변위 (mm)	굴착깊이 (M)	벽체변위 (mm)
0.0	60.2	19.0	67.5
0.5	61.9	19.5	66.6
1.0	63.8	20.0	65.7
1.5	65.5	20.5	64.7
2.0	67.5	21.0	63.6
2.5	69.5	21.5	62.7
3.0	71.5	22.0	61.8
3.5	73.4	22.5	60.8
4.0	75.2	23.0	59.9
4.5	76.9	23.5	58.9
5.0	78.2	24.0	58.2
5.5	79.2	24.5	57.4
6.0	80.1	25.0	56.5
6.5	80.8	25.5	55.5
7.0	81.4	26.0	54.3
7.5	81.6	26.5	53.3
8.0	81.4	27.0	52.7
8.5	81.1	27.5	52.1
9.0	80.7	28.0	51.6
9.5	80.2	28.5	51.0
10.0	79.6	29.0	50.2
10.5	78.8	29.5	49.5
11.0	78.3	30.0	48.8
11.5	77.9	30.5	48.0
12.0	77.7	31.0	46.8
12.5	77.5	31.5	45.2
13.0	77.2	32.0	43.2
13.5	76.9	32.5	40.6
14.0	76.6	33.0	37.7
14.5	76.1	33.5	34.3
15.0	75.4	34.0	30.0
15.5	74.5	34.5	25.0
16.0	73.5	35.0	19.6
16.5	72.5	35.5	14.4
17.0	71.5	36.0	10.2
17.5	70.5	36.5	7.6
18.0	69.4	37.0	6.1
18.5	68.4	37.5	5.2

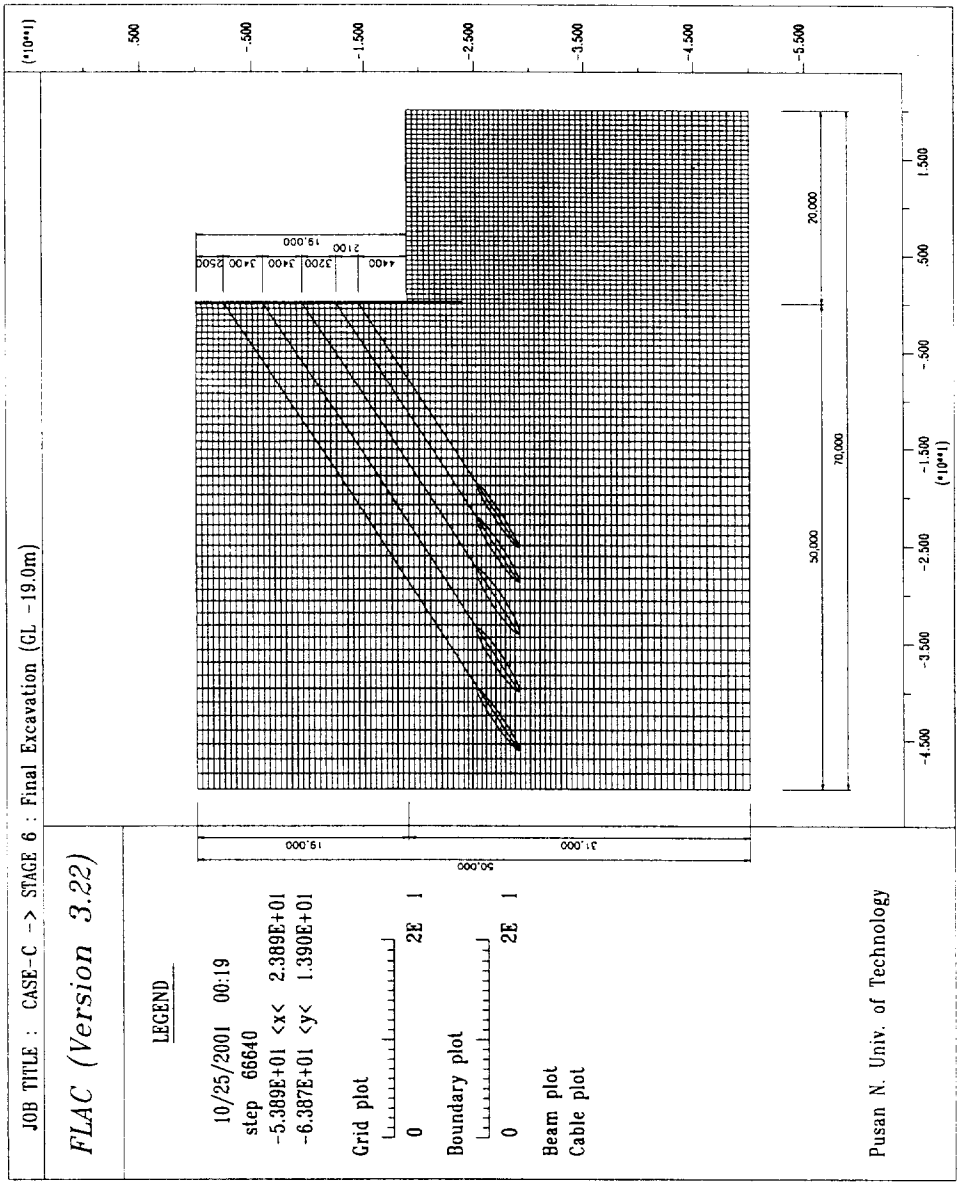


<그림 4.1.6> 굴착깊이에 따른 수평변위

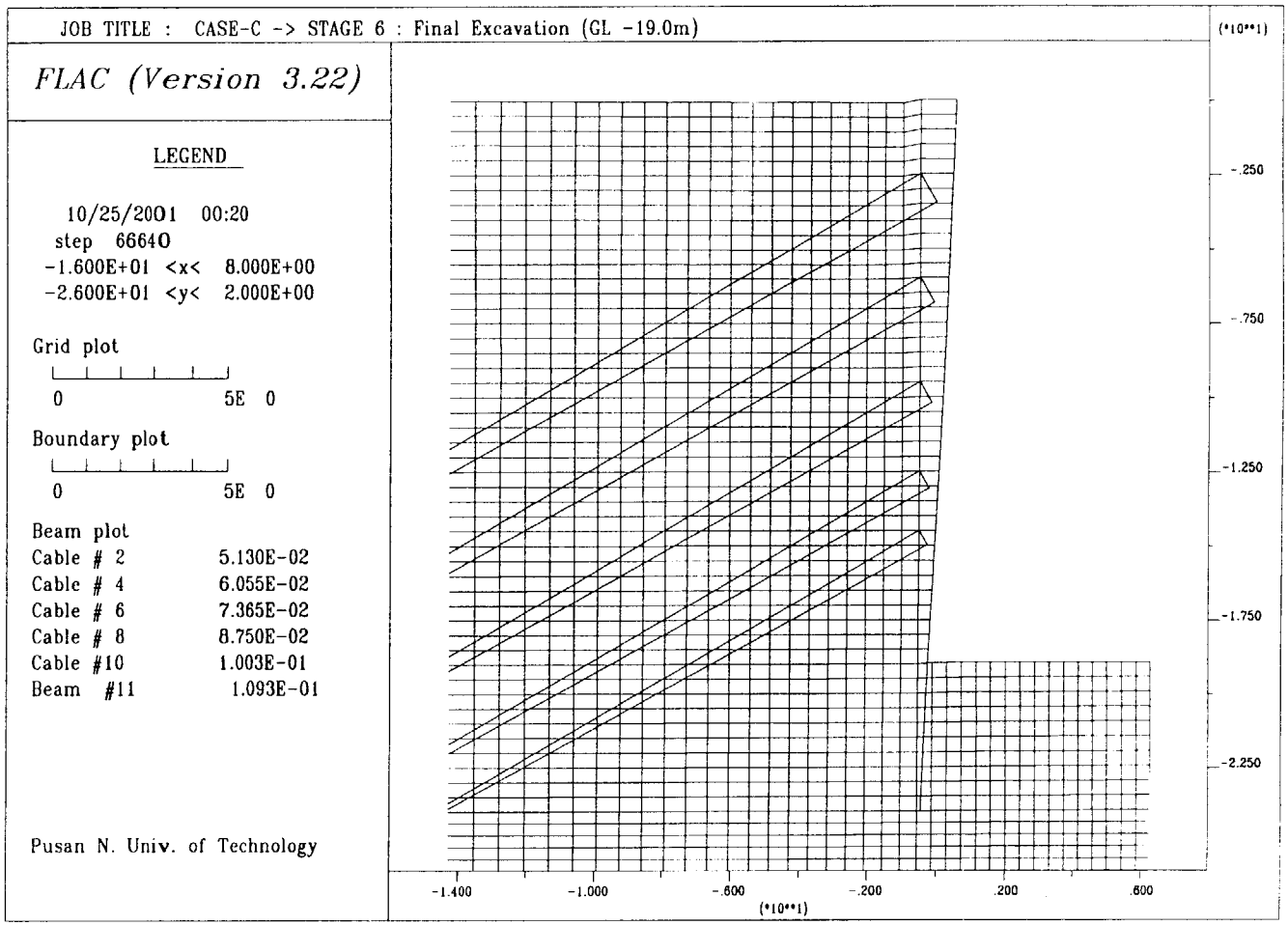
위의 B현장에 대한 수치해석 결과를 요약하면 <그림 4.1.6>에 나타난 바와 같으며, 수평변위는 지면에서 7m 정도까지는 계속적인 증가를 보이다가, 7m~31m 지점의 구간은 계속적인 감소를 나타내었으며, 31m이후 최종굴착깊이 까지는 수평변위가 급격히 감소하는 모습을 나타내었다.

3) C 현장

C 현장에 대한 벽체변위 Data 및 굴착깊이에 따른 수평변위는 아래의 <표 4.1.3>과 <그림 4.1.9>와 같고, 수치해석 모형과 최종굴착시 수평변위도는 <그림 4.1.7>, <그림 4.1.8>과 같다.



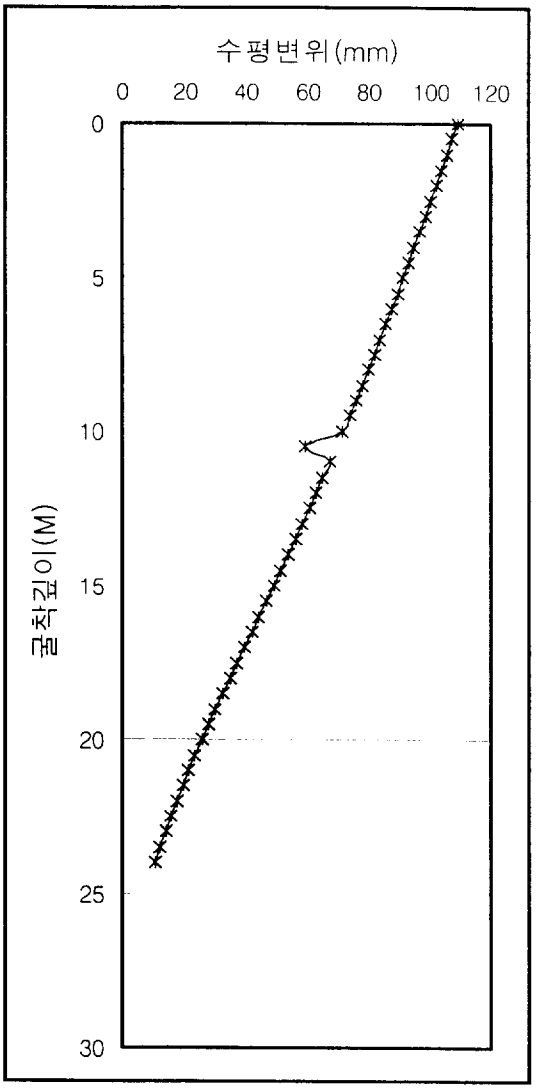
<그림 4.1.8> C현장의 수치해석 모형



<그림 4.1.9> C형장의 최종 굴착시 수평변위도

<표 4.1.3> C현장 벽체변위 Data

굴착깊이 (M)	벽체변위 (mm)	굴착깊이 (M)	벽체변위 (mm)
0.0	109.3	12.5	60.6
0.5	107.5	13.0	58.3
1.0	105.7	13.5	56.0
1.5	103.9	14.0	53.6
2.0	102.1	14.5	51.3
2.5	100.3	15.0	48.9
3.0	98.5	15.5	46.5
3.5	96.7	16.0	44.2
4.0	94.9	16.5	41.8
4.5	93.1	17.0	39.4
5.0	91.2	17.5	37.0
5.5	89.4	18.0	34.7
6.0	87.5	18.5	32.3
6.5	85.6	19.0	30.0
7.0	83.7	19.5	27.8
7.5	81.8	20.0	25.6
8.0	79.8	20.5	23.5
8.5	77.8	21.0	21.4
9.0	75.7	21.5	19.5
9.5	73.7	22.0	17.6
10.0	71.6	22.5	15.9
10.5	59.4	23.0	14.1
11.0	67.2	23.5	12.3
11.5	65.0	24.0	10.7
12.0	62.8		

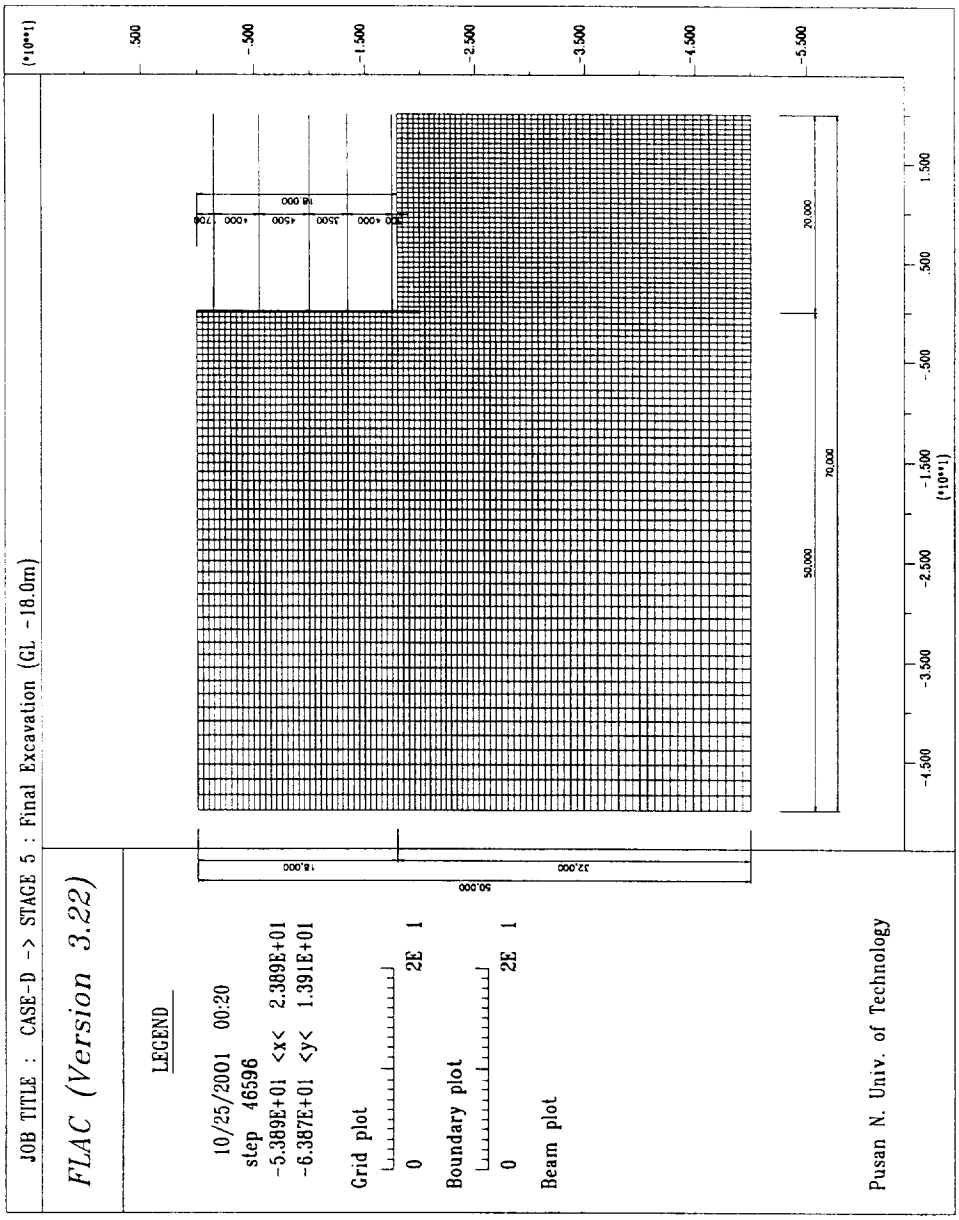


<그림 4.1.9> 굴착깊이에 따른 수평변위

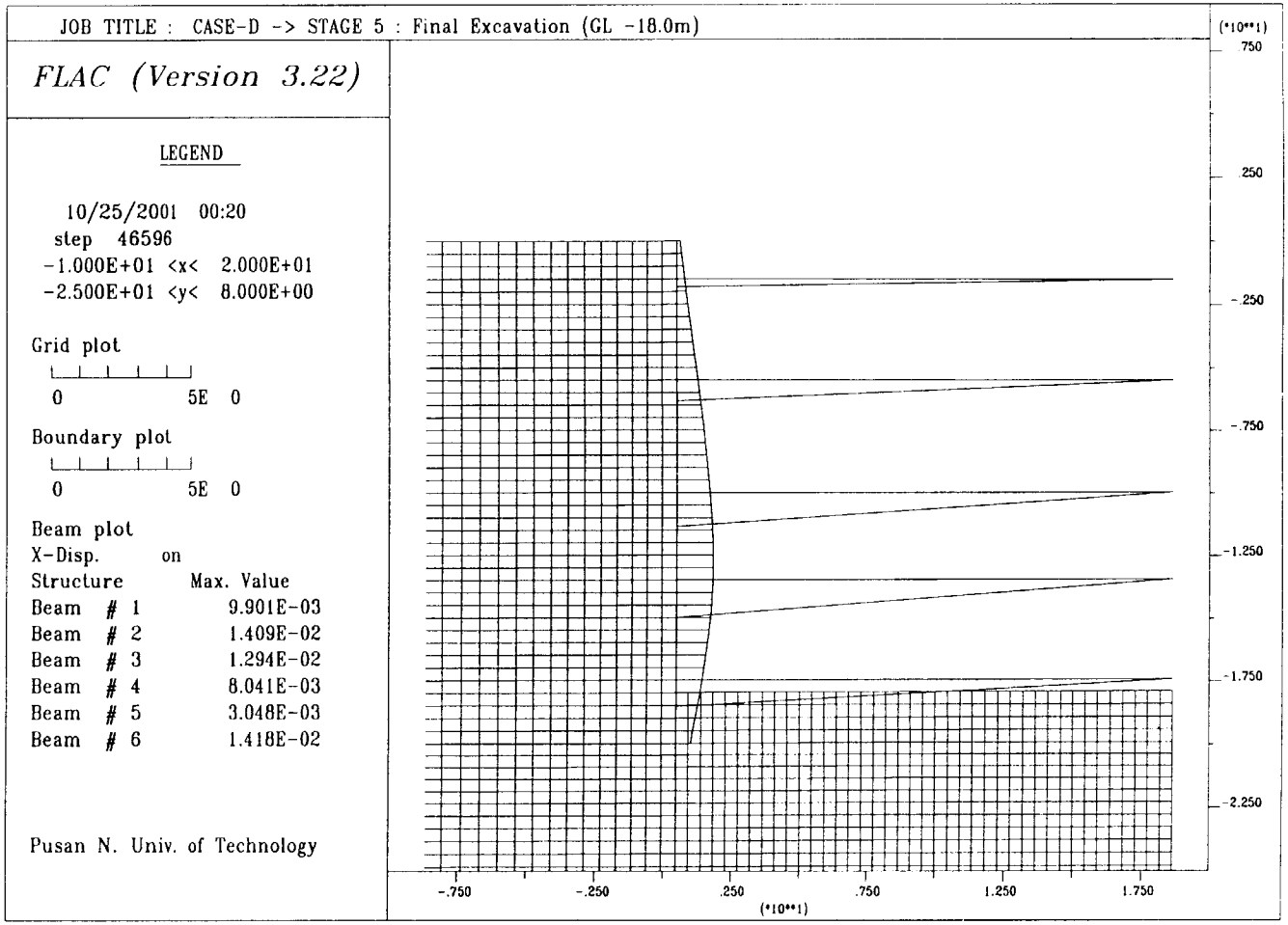
위의 C현장에 대한 수치해석 결과를 요약하면 <그림 4.1.9>에 나타난 바와 같으며, 수평변위는 지면에서 최종굴착깊이까지 계속적인 감소를 나타내었으며, 10.5m 지점에서 갑자기 수평변위가 약 15mm 정도 줄어들었다가 다시 원래의 그래프 형태대로 감소하는 경향이 나타났었는데, 이것은 계산상의 오류로 판단되며 최대수평변위는 지면에서 가장 크게 나타났다.

4) D 현장

D 현장에 대한 벽체변위 Data 및 굴착깊이에 따른 수평변위는 아래의 <표 4.1.4>와 <그림 4.1.12>와 같고, 수치해석 모형과 최종굴착시 수평변위도는 <그림 4.1.10>, <그림 4.1.11>과 같다.



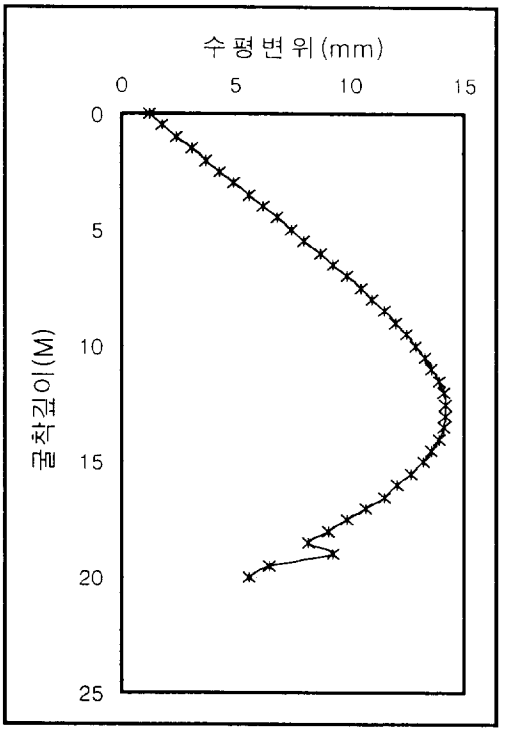
<그림 4.1.10> D현장의 수치해석 모형



<그림 4.1.11> D현장의 최종 굴착시 수평변위도

<표 4.1.4> D현장 벽체변위 Data

굴착깊이 (M)	벽체변위 (mm)	굴착깊이 (M)	벽체변위 (mm)
0.0	1.20	10.5	13.3
0.5	1.80	11.0	13.6
1.0	2.40	11.5	13.9
1.5	3.10	12.0	14.1
2.0	3.70	12.5	14.2
2.5	4.30	13.0	14.2
3.0	4.90	13.5	14.1
3.5	5.60	14.0	13.9
4.0	6.20	14.5	13.6
4.5	6.80	15.0	13.2
5.0	7.40	15.5	12.7
5.5	8.00	16.0	12.1
6.0	8.70	16.5	11.5
6.5	9.30	17.0	10.7
7.0	9.90	17.5	9.90
7.5	10.5	18.0	9.10
8.0	11.0	18.5	8.20
8.5	11.5	19.0	9.30
9.0	12.0	19.5	6.50
9.5	12.5	20.0	5.60
10.0	12.9		



<그림 4.1.12> 굴착깊이에 따른 수평변위

위의 D현장에 대한 수치해석 결과를 요약하면 <그림 4.1.12>에 나타난 바와 같으며, 수평변위는 지면에서 14m 정도까지는 계속적인 증가를 보이다가, 14m를 변곡점으로 하여, 14m~18.5m 구간은 계속 감소하는 형태로 나타났으며, 19m 부근에서 수평변위가 조금 증가했다가 그 이후 감소하는 경향으로 나타났다.

최대 수평변위는 14m 지점에서 발생했으며, 최종굴착지점인 20m 에서는 수평변위가 5.6mm 정도 발생되었다.

4.1.2 경험에 의한 변위 해석결과

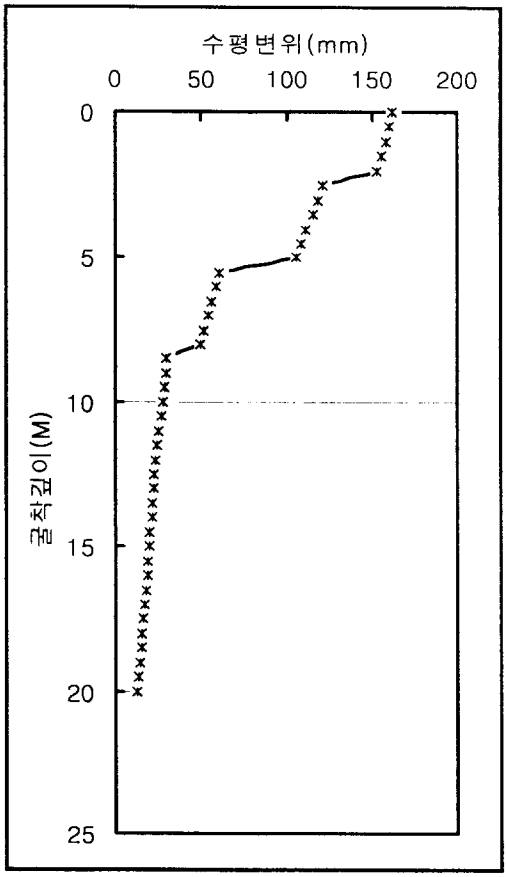
경험에 의한 변위 해석결과는 <그림 2.2.3>의 Fry.at.al의 도표에 의하여 구하였다.

1) A 현장

A 현장의 벽체변위 Data와 굴착깊이에 따른 수평변위는 아래의 <표 4.1.5>와 <그림 4.1.13>과 같다.

<표 4.1.5> A현장 벽체변위 Data

굴착깊이 (M)	벽체변위 (mm)	굴착깊이 (M)	벽체변위 (mm)
0.0	161.7	12.5	22.9
0.5	160.6	13.0	22.3
1.0	158.6	13.5	21.9
1.5	155.6	14.0	21.7
2.0	152.7	14.5	19.9
2.5	121.6	15.0	19.7
3.0	118.2	15.5	19.3
3.5	115.6	16.0	18.7
4.0	111.3	16.5	18.1
4.5	108.7	17.0	17.1
5.0	105.8	17.5	16.3
5.5	60.5	18.0	15.8
6.0	58.7	18.5	15.0
6.5	56.5	19.0	14.4
7.0	54.0	19.5	13.6
7.5	51.8	20.0	12.8
8.0	49.8		
8.5	29.9		
9.0	29.6		
9.5	29.2		
10.0	28.0		
10.5	27.2		
11.0	25.4		
11.5	24.6		
12.0	23.8		



<그림 4.1.13> 굴착깊이에 따른 수평변위

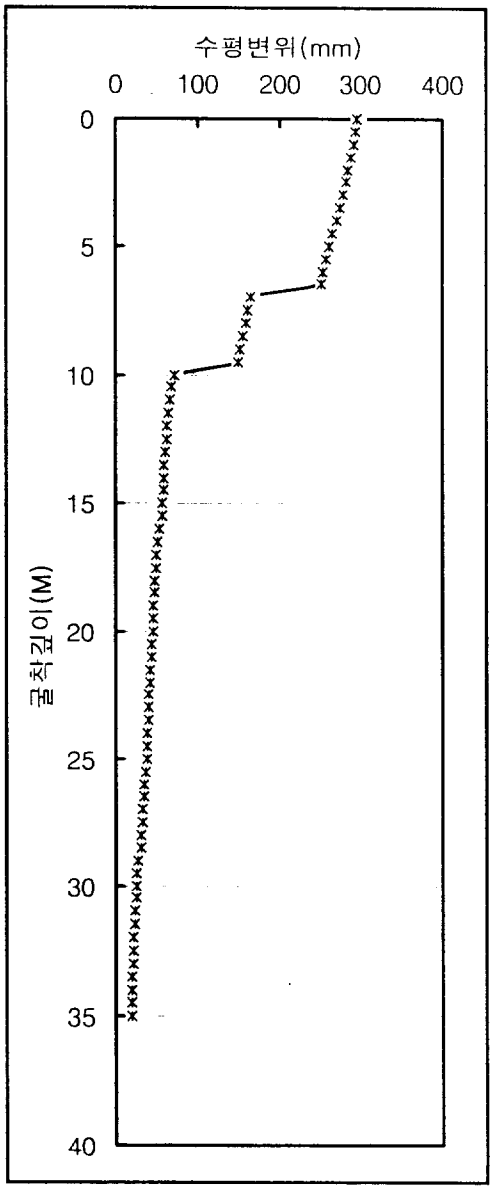
위의 A 현장에 대한 경험식에 의한 수평변위결과를 요약하면, <그림 4.1.13>에 나타난 바와 같다. 지면에서 최대수평변위가 발생하는 것으로 나타났으며, 지면에서 2.0m 지점까지는 감소하는 경향으로 나타나다가 2.0m~2.5m 부근과 5.0m~5.5m, 8.0m~8.5m 부근에서 급격히 수평변위가 감소하는 계단식 형태의 수평변위가 나타났다. 이는 <그림 2.2.3>의 Fry.et.al 도표에 나타나는 토층에 대한 그래프의 간격이 너무 커서 이런 현상이 나타남을 알수 있으며, 굴착깊이 8.5m~20m까지는 큰 변화없이 감소하는 경향으로 나타났다.

2) B 현장

B 현장의 벽체변위 Data와 굴착깊이에 따른 수평변위는 아래의 <표 4.1.6>과 <그림 4.1.14>와 같다.

<표 4.1.6> B현장 벽체변위 Data

굴착깊이 (M)	벽체변위 (mm)	굴착깊이 (M)	벽체변위 (mm)
0.0	295.8	18.0	48.3
0.5	294	18.5	47.6
1.0	292.3	19.0	46.2
1.5	288.8	19.5	45.5
2.0	285.3	20.0	44.8
2.5	281.8	20.5	43.8
3.0	278.3	21.0	43.1
3.5	274.8	21.5	42.0
4.0	271.6	22.0	41.3
4.5	265.3	22.5	40.6
5.0	261.1	23.0	39.9
5.5	257.6	23.5	39.2
6.0	254.8	24.0	38.5
6.5	252.0	24.5	37.8
7.0	247.8	25.0	37.1
7.5	243.3	25.5	36.4
8.0	238.0	26.0	34.0
8.5	155.4	26.5	33.3
9.0	151.9	27.0	32.2
9.5	150.5	27.5	31.5
10.0	71.7	28.0	30.5
10.5	67.6	28.5	30.1
11.0	66.9	29.0	25.9
11.5	64.8	29.5	25.2
12.0	63.4	30.0	24.5
12.5	62.0	30.5	23.8
13.0	60.2	31.0	23.1
13.5	59.5	31.5	22.4
14.0	58.8	32.0	21.7
14.5	58.1	32.5	21.0
15.0	57.4	33.0	20.3
15.5	56.0	33.5	19.6
16.0	52.5	34.0	19.3
16.5	51.5	34.5	19.3
17.0	49.7	35.0	19.3
17.5	49.0		



<그림 4.1.14> 굴착깊이에 따른 수평변위

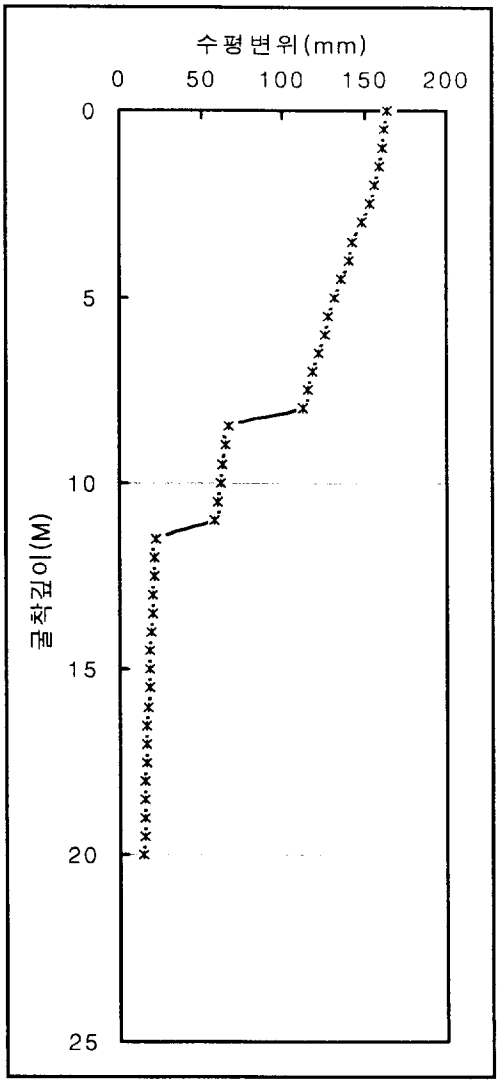
위의 B현장에 대한 결과를 요약하면, 지면에서 최대수평변위가 발생하였고 굴착심도 6.5m~7.0m , 9.5m~10.0m 위치에서 급격한 수평변위가 발생하였다. 10.0m 이후 부터는 특별한 변화없이 감소하는 경향으로 나타났다.

3) C 현장

C 현장의 벽체변위 Data와 굴착깊이에 따른 수평변위는 아래의 <표 4.1.7>과 <그림 4.1.15>와 같다.

<표 4.1.7> C현장 벽체변위 Data

굴착깊이 (M)	벽체변위 (mm)	굴착깊이 (M)	벽체변위 (mm)
0.0	164.0	12.5	21.0
0.5	162.4	13.0	20.6
1.0	161.0	13.5	20.0
1.5	159.2	14.0	19.4
2.0	156.4	14.5	18.8
2.5	153.6	15.0	18.4
3.0	148.4	15.5	18.0
3.5	142.6	16.0	17.4
4.0	141.0	16.5	16.8
4.5	136.0	17.0	16.4
5.0	131.8	17.5	16.2
5.5	128.0	18.0	16.0
6.0	126.0	18.5	15.6
6.5	122.4	19.0	15.4
7.0	118.4	19.5	15.2
7.5	116.0	20.0	15.0
8.0	112.4		
8.5	66.8		
9.0	65.2		
9.5	63.4		
10.0	62.0		
10.5	60.0		
11.0	58.6		
11.5	22.0		
12.0	21.4		



<그림 4.1.15> 굴착깊이에 따른 수평변위

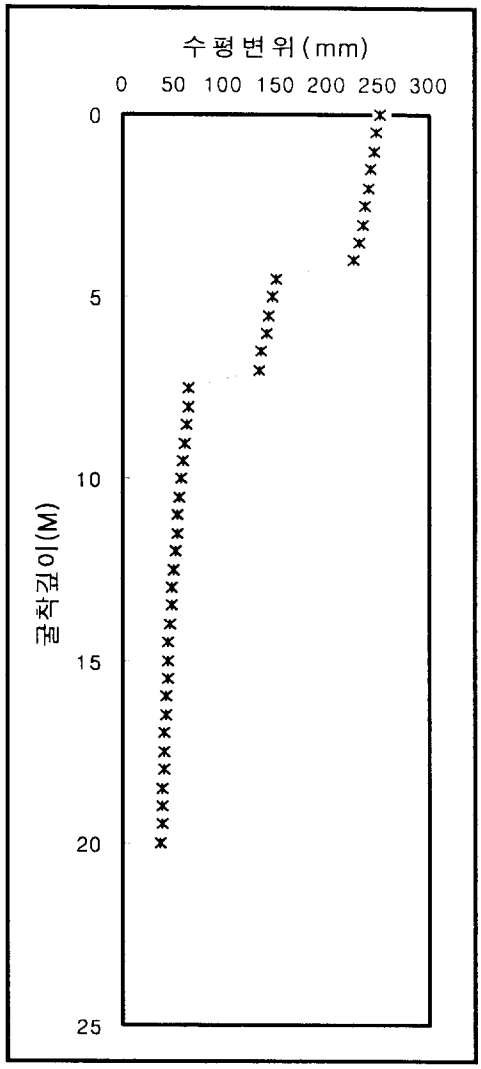
위의 C현장에 대한 결과를 요약하면, 지면에서 최대수평변위가 발생하였고 굴착심도 6.5m~7.0m , 9.5m~10.0m 위치에서 급격한 수평변위가 발생하였다. 10.0m 이후 부터는 특별한 변화없이 감소하는 경향으로 나타났다. 지면에서 최대 수평변위는 164.0mm 정도 나타났으며, 최종굴착심도 20.0m 에서는 15mm의 수평변위가 나타났다.

4) D 현장

D 현장의 벽체변위 Data와 굴착깊이에 따른 수평변위는 아래의 <표 4.1.8>과 <그림 4.1.16>과 같다.

<표 4.1.8> D현장 벽체변위 Data

굴착깊이 (M)	벽체변위 (mm)	굴착깊이 (M)	벽체변위 (mm)
0.0	252.0	15.5	43.8
0.5	249.0	16.0	43.2
1.0	247.2	16.5	42.6
1.5	243.6	17.0	41.4
2.0	240.9	17.5	40.5
2.5	237.6	18.0	39.6
3.0	235.5	18.5	39.0
3.5	231.0	19.0	38.4
4.0	226.2	19.5	37.8
4.5	151.8	20.0	37.5
5.0	147.3		
5.5	144.0		
6.0	141.0		
6.5	137.1		
7.0	133.5		
7.5	64.8		
8.0	63.6		
8.5	62.7		
9.0	61.5		
9.5	58.8		
10.0	57.0		
10.5	54.9		
11.0	54.0		
11.5	52.8		
12.0	51.0		
12.5	49.5		
13.0	48.6		
13.5	47.1		
14.0	45.9		
14.5	45.0		
15.0	44.4		



<그림 4.1.16> 굴착깊이에 따른 수평변위

위의 D현장에 대한 결과를 요약하면, D현장도 지면에서 최대수평변위가 발생하였고 굴착심도 4.5m~5.0m , 7.0m~7.5m 위치에서 급격한 수평변위가 발생하였다. 7.5m 이후부터 최종굴착심도 20.0m 까지는 특별한 변화없이 수평변위가 감소하였다. 최대수평변위는 지면에서 252.0mm 정도로 나타났으며, 20m 지점에서는 수평변위가 37.5mm 정도로 나타났다.

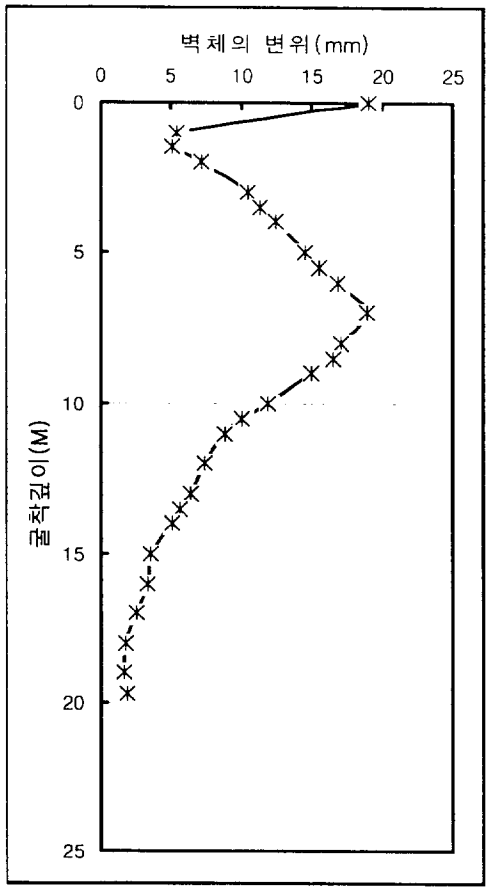
4.1.3 계측에 의한 변위 측정결과

1) A 현장

A 현장의 계측결과자료는 아래의 <표 4.1.9>와 같으며, 자료에 의한 벽체변위의 형태는 <그림 4.1.17>과 같다.

<표 4.1.9> A현장 벽체변위 Data

굴착깊이(M)	벽체변위(mm)
0.0	19.1
1.0	5.4
1.5	5.1
2.0	7.2
3.0	10.5
3.5	11.3
4.0	12.4
5.0	14.5
5.5	15.5
6.0	16.8
7.0	18.9
8.0	17.1
8.5	16.5
9.0	15.0
10.0	11.9
10.5	10.0
11.0	8.8
12.0	7.4
13.0	6.4
13.5	5.6
14.0	5.1
15.0	3.5
16.0	3.3
17.0	2.5
18.0	1.8
19.0	1.7
19.7	1.9



<그림 4.1.17> 굴착깊이에 따른 벽체변위

A 현장의 계측결과자료를 요약하면, 지면에서 최대수평변위가 발생하였고, 지면에서 바로 1m아래지점에서 수평변위가 급격히 감소하는 경향이 나타났으며, 1.5m지점부터 7.0m지점까지는 수평변위가 계속증가하는 경향을 보였다.

7.5m지점부터 15.0m지점까지는 수평변위가 계속감소하는 것으로 나타났다.

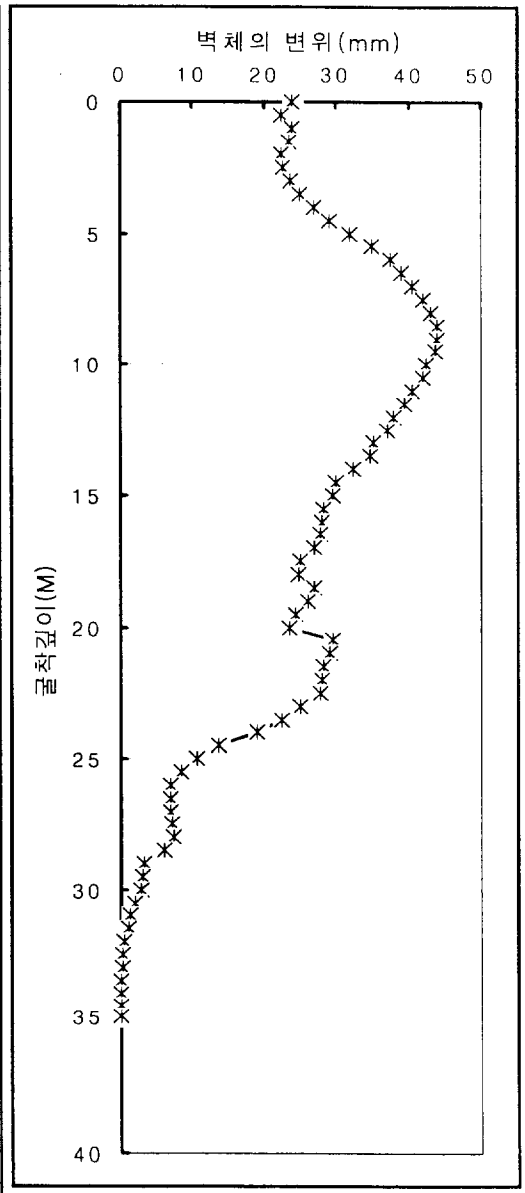
그래프의 기울기가 위의 그림에서처럼 정반대 방향으로 바뀌는 부분은 굴착깊이에 따른 토층이 변하는 부분으로서 10m~19m 까지는 풍화암과 연암이 존재하는 구간이다.

2) B 현장

B 현장의 계측결과자료는 아래의 <표 4.1.10>과 같으며, 자료에 의한 벽체변위의 형태는 <그림 4.1.18>과 같다.

<표 4.1.10> B현장 벽체변위 Data

굴착깊이 (M)	벽체변위 (mm)	굴착깊이 (M)	벽체변위 (mm)
0.0	24.0	18.0	24.8
0.5	22.5	18.5	27.0
1.0	24.0	19.0	26.0
1.5	23.5	19.5	24.3
2.0	22.5	20.0	23.5
2.5	22.6	20.5	29.5
3.0	23.7	21.0	29.0
3.5	25.1	21.5	28.3
4.0	27.0	22.0	28.1
4.5	29.0	22.5	27.9
5.0	32.0	23.0	25.0
5.5	35.0	23.5	22.5
6.0	37.5	24.0	19.0
6.5	39.0	24.5	13.5
7.0	40.5	25.0	10.5
7.5	42.0	25.5	8.5
8.0	43.0	26.0	7.0
8.5	44.0	26.5	6.8
9.0	44.0	27.0	6.9
9.5	43.8	27.5	7.2
10.0	42.5	28.0	7.3
10.5	42.0	28.5	6.0
11.0	40.5	29.0	3.2
11.5	39.5	29.5	3.0
12.0	38.0	30.0	2.8
12.5	37.0	30.5	2.0
13.0	35.2	31.0	1.3
13.5	34.6	31.5	1.0
14.0	32.3	32.0	0.5
14.5	30.0	32.5	0.3
15.0	29.5	33.0	0.2
15.5	28.2	33.5	0.1
16.0	28.0	34.0	0.0
16.5	27.7	34.5	0.0
17.0	27.0	35.0	0.0
17.5	25.0		



<그림 4.1.18> 굴착깊이에 따른 벽체변위

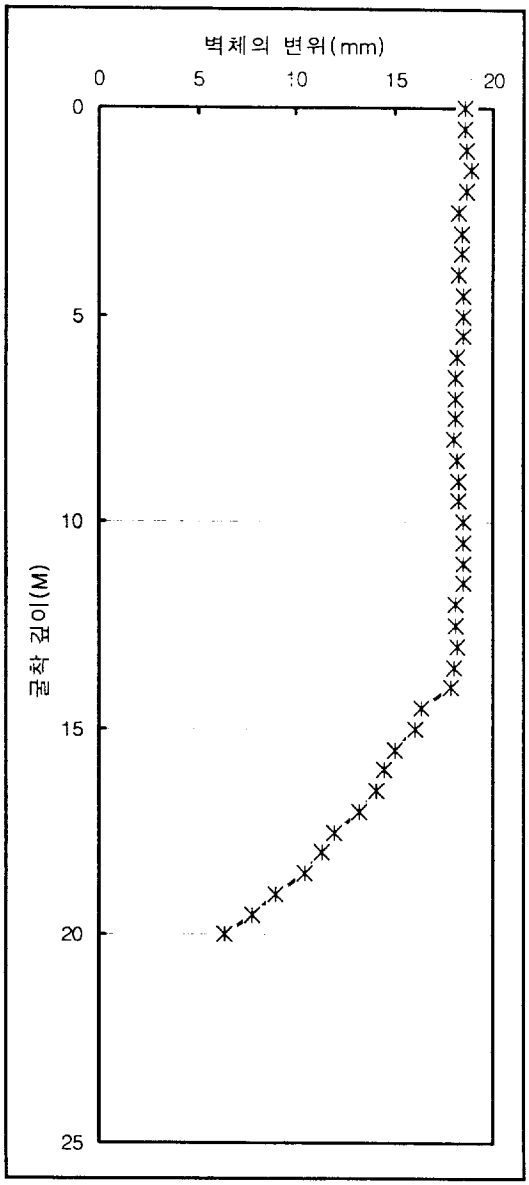
B 현장의 계측결과자료를 요약하면, 지면에서 8.5m 부근에서 최대수평변위가 발생하였고, 8.5m 이후지점부터는 계속 기울기가 감소하는 경향을 나타내었는데, 20.5m 부근에서 기울기가 약간 증가하다가 다시 감소하는 경향을 보였다.

3) C 현장

C 현장의 계측결과자료는 아래의 <표 4.1.11>과 같으며, 자료에 의한 벽체변위의 형태는 <그림 4.1.19>와 같다.

<표 4.1.11> C현장 벽체변위 Data

굴착깊이 (M)	벽체변위 (mm)	굴착깊이 (M)	벽체변위 (mm)
0.0	18.6	18.0	11.3
0.5	18.6	18.5	10.5
1.0	18.7	19.0	9.0
1.5	18.9	19.5	7.8
2.0	18.7	20.0	6.4
2.5	18.3		
3.0	18.4		
3.5	18.4		
4.0	18.3		
4.5	18.5		
5.0	18.5		
5.5	18.5		
6.0	18.2		
6.5	18.1		
7.0	18.1		
7.5	18.1		
8.0	18.0		
8.5	18.2		
9.0	18.3		
9.5	18.3		
10.0	18.5		
10.5	18.5		
11.0	18.5		
11.5	18.5		
12.0	18.1		
12.5	18.1		
13.0	18.2		
13.5	18.0		
14.0	17.9		
14.5	16.4		
15.0	16.1		
15.5	15.0		
16.0	14.5		
16.5	14.1		
17.0	13.2		
17.5	12.0		



<그림 4.1.19> 굴착깊이에 따른 벽체변위

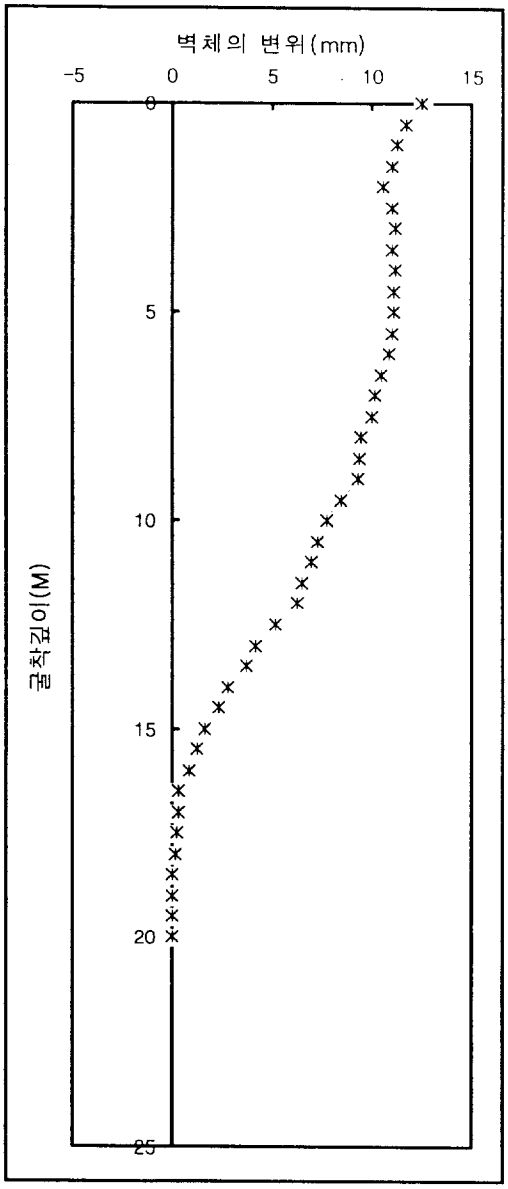
C 현장의 계측결과자료를 요약하면, 지면에서 최대수평변위가 발생하였고, 굴착깊이 14m까지는 변위가 별다른 변화가 없었으며, 14m이후부터 최종굴착심도까지 수평변위가 계속 감소하는 경향을 나타냈다.

4) D 현장

D 현장의 계측결과자료는 아래의 <표 4.1.12>와 같으며, 자료에 의한 벽체변위의 형태는 <그림 4.1.20>과 같다.

<표 4.1.12> D현장 벽체변위 Data

굴착깊이 (M)	벽체변위 (mm)	굴착깊이 (M)	벽체변위 (mm)
0.0	12.5	18.0	0.10
0.5	11.7	18.5	0.00
1.0	11.3	19.0	0.00
1.5	11.0	19.5	0.00
2.0	10.6	20.0.	0.00
2.5	11.0		
3.0	11.2		
3.5	11.0		
4.0	11.2		
4.5	11.1		
5.0	11.1		
5.5	11.0		
6.0	10.9		
6.5	10.5		
7.0	10.2		
7.5	10.0		
8.0	9.50		
8.5	9.40		
9.0.	9.30		
9.5	8.50		
10.0	7.80		
10.5	7.30		
11.0	7.00		
11.5	6.50		
12.0	6.30		
12.5	5.20		
13.0	4.20		
13.5	3.70		
14.0	2.80		
14.5	2.30		
15.0	1.60		
15.5	1.20		
16.0	0.80		
16.5	0.30		
17.0	0.30		
17.5	0.20		



<그림 4.1.20> 굴착깊이에 따른 벽체변위

D 현장의 계측결과자료를 요약하면, 지면에서 최대수평변위가 발생하였고, 굴착깊이 2m까지는 수평변위가 감소하다가, 2m~6m 까지는 별다른 수평변위의 변화가 없었고, 6m이후 최종굴착깊이까지 수평변위가 계속 감소하였다.

4.2 고찰

4.2.1 해석결과 고찰

4개 현장에 대한 해석결과를 최대변위 발생지점을 기준으로 비교해 보면 아래의 <표 4.2.1>과 같다.

<표 4.2.1> 각 현장에 대한 최대수평변위 비교

방법 / 현장	최대변위발생지점					
	수치해석에 의한 방법	Z/H (%)	경험식에 의한 방법	Z/H (%)	계측치에 의한 방법	Z/H (%)
A	굴착깊이 14~14.5 (m) 부근에서 발생	73.6	지표 부근에서 발생	0	지표 부근에서와 굴착깊이 7.0(m) 부근에서 발생	35.5
B	굴착깊이 7.5 (m) 부근에서 발생	21.4	지표 부근에서 발생	0	굴착깊이 8.5 ~9.0(m) 부근에서 발생	25
C	지표 부근에서 발생	0	지표 부근에서 발생	0	굴착깊이 1.5(m) 부근에서 발생	7.5
D	굴착깊이 12.5~13.0 (m) 부근에서 발생	63.8	지표 부근에서 발생	0	굴착깊이 8.5(m) 부근에서 발생	42.5

위의 <표 4.2.1>에서보면 수치해석에 의한 방법과 계측치에 의한 방법은 굴착깊이에 대한 최대변위 발생 지점이 어느 정도 일치하는 부분이 있지만, 경험식에 의한 방법은 계측치와는 상당한 차이가 있음을 알 수 있다. 경험식에 의한 방법은 <그림 2.2.3>에서 알 수 있듯이 각 현장의 다양한 토층조건을 만족 시킬만한 그래프가 <그림 2.2.3>에 나타나 있지 않으며, 각 그래프간의 변화폭이 너무 큰 점으로 인하여 토층의 변화에 따른 수평변위의 변화를 계측치와 비교했을 때 오차가 많이 발생하는 것으로 나타났다. 그리고, 위의 표에서 Z / H (%)는 최대변위 발생지점을 굴착깊이에 대한 발생지점 비율(%)을 나타낸 것으로 기준이 되는 위치는 지면으로 하였다.

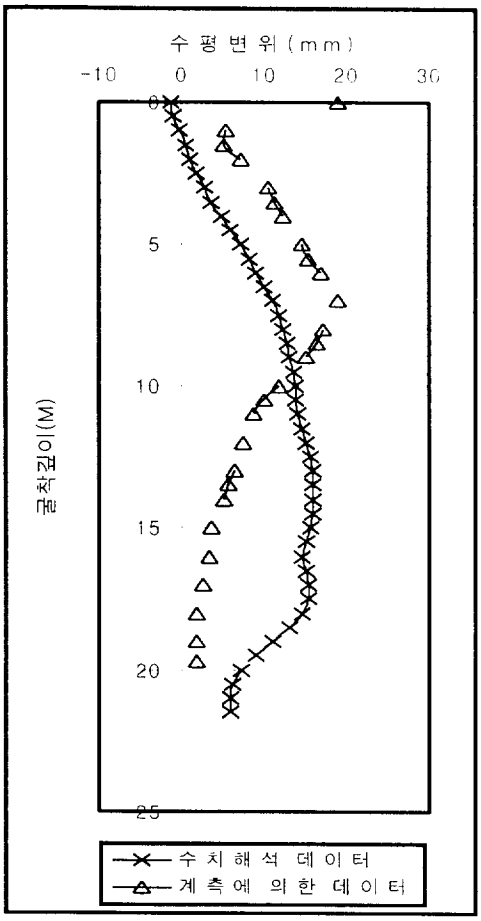
4.2.2 수치해석결과와 계측결과와의 비교고찰

1) A 현장

A 현장의 수치해석에 의한 Data와 계측결과에 대한 Data는 <표 4.2.2>와 같고, 결과치에 대한 비교그래프는 <그림 4.2.1>과 같다.

<표 4.2.2> A현장 벽체변위 Data

굴착깊이(M)	벽체변위(mm) 수치해석결과	계측결과	굴착깊이(M)	벽체변위(mm) 수치해석결과	계측결과
0.0	-1.4	19.1	12.5	15.6	
0.5	-0.9		13.0	15.8	6.4
1.0	-0.3	5.4	13.5	15.8	5.6
1.5	0.4	5.1	14.0	15.9	5.1
2.0	1.1	7.2	14.5	15.9	
2.5	1.9		15.0	15.6	3.5
3.0	2.7	10.5	15.5	15.0	
3.5	3.6	11.3	16.0	14.7	3.3
4.0	4.8	12.4	16.5	15.0	
4.5	6.0		17.0	15.4	2.5
5.0	7.1	14.5	17.5	15.4	
5.5	8.1	15.5	18.0	14.6	1.8
6.0	9.0	16.8	18.5	13.1	
6.5	10.0		19.0	11.1	1.7
7.0	11.0	18.9	19.5	8.9	1.9
7.5	11.8		20.0	7.2	
8.0	12.3	17.1	20.5	6.2	
8.5	12.7	16.5	21.0	5.8	
9.0	13.2	15.0	21.5	5.8	
9.5	13.7				
10.0	13.9	11.9			
10.5	13.9	10.0			
11.0	14.0	8.8			
11.5	14.5				
12.0	15.1	7.4			



<그림 4.2.1> 굴착깊이에 따른 벽체변위

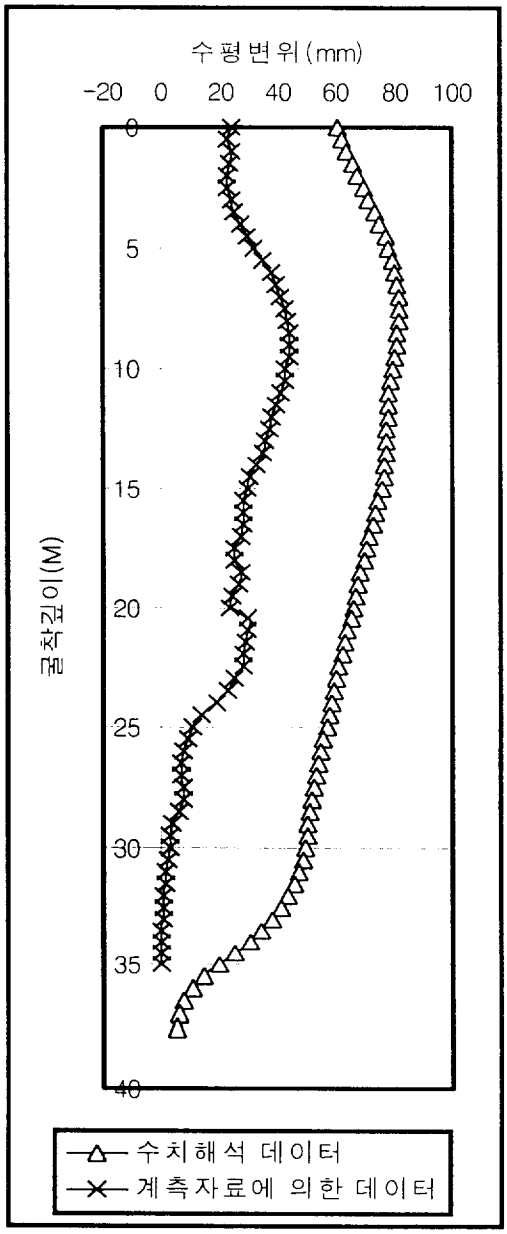
A 현장의 경우, 수치해석에 의한 최대변위 발생지점은 굴착깊이 14m지점으로 나타났지만, 실제 계측치에 의한 최대변위 발생지점은 지표 부근과, 굴착깊이 7m 지점으로 나타났다. 수치해석에 의한 변위발생은 굴착깊이 18m지점까지는 수평변위가 계속해서 증가하는 것으로 나타났으나, 실제 계측치에서는 굴착깊이 7m이후로는 변위가 줄어드는 것으로 나타났다.

2) B 현장

B 현장의 수치해석에 의한 Data와 계측결과에 대한 Data는 <표 4.2.3>과 같고, 결과치에 대한 비교그래프는 <그림 4.2.2>과 같다.

<표 4.2.3> B현장 벽체변위 Data

굴착깊이(M)	벽체변위(mm) 수치해석결과	벽체변위(mm) 계측결과	굴착깊이(M)	벽체변위(mm) 수치해석결과	벽체변위(mm) 계측결과
0.0	60.2	24.0	19.0	67.5	26.0
0.5	61.9	22.5	19.5	66.6	24.3
1.0	63.8	24.0	20.0	65.7	23.5
1.5	65.5	23.5	20.5	64.7	29.5
2.0	67.5	22.5	21.0	63.6	29.0
2.5	69.5	22.6	21.5	62.7	28.3
3.0	71.5	23.7	22.0	61.8	28.1
3.5	73.4	25.1	22.5	60.8	27.9
4.0	75.2	27.0	23.0	59.9	25.0
4.5	76.9	29.0	23.5	58.9	22.5
5.0	78.2	32.0	24.0	58.2	19.0
5.5	79.2	35.0	24.5	57.4	13.5
6.0	80.1	37.5	25.0	56.5	10.5
6.5	80.8	39.0	25.5	55.5	8.5
7.0	81.4	40.5	26.0	54.3	7.0
7.5	81.6	42.0	26.5	53.3	6.8
8.0	81.4	43.0	27.0	52.7	6.9
8.5	81.1	44.0	27.5	52.1	7.2
9.0	80.7	44.0	28.0	51.6	7.3
9.5	80.2	43.8	28.5	51.0	6.0
10.0	79.6	42.5	29.0	50.2	3.2
10.5	78.8	42.0	29.5	49.5	3.0
11.0	78.3	40.5	30.0	48.8	2.8
11.5	77.9	39.5	30.5	48.0	2.0
12.0	77.7	38.0	31.0	46.8	1.3
12.5	77.5	37.0	31.5	45.2	1.0
13.0	77.2	35.2	32.0	43.2	0.5
13.5	76.9	34.6	32.5	40.6	0.3
14.0	76.6	32.3	33.0	37.7	0.2
14.5	76.1	30.0	33.5	34.3	0.1
15.0	75.4	29.5	34.0	30.0	0.0
15.5	74.5	28.2	34.5	25.0	0.0
16.0	73.5	28.0	35.0	19.6	0.0
16.5	72.5	27.7	35.5	14.4	
17.0	71.5	27.0	36.0	10.2	
17.5	70.5	25.0	36.5	7.6	
18.0	69.4	24.8	37.0	6.1	
18.5	68.4	27.0	37.5	5.2	



<그림 4.2.2> 굴착깊이에 따른 벽체변위

B 현장의 수치해석 결과와 실제계측에 의한 데이터의 경우 그래프의 형태는

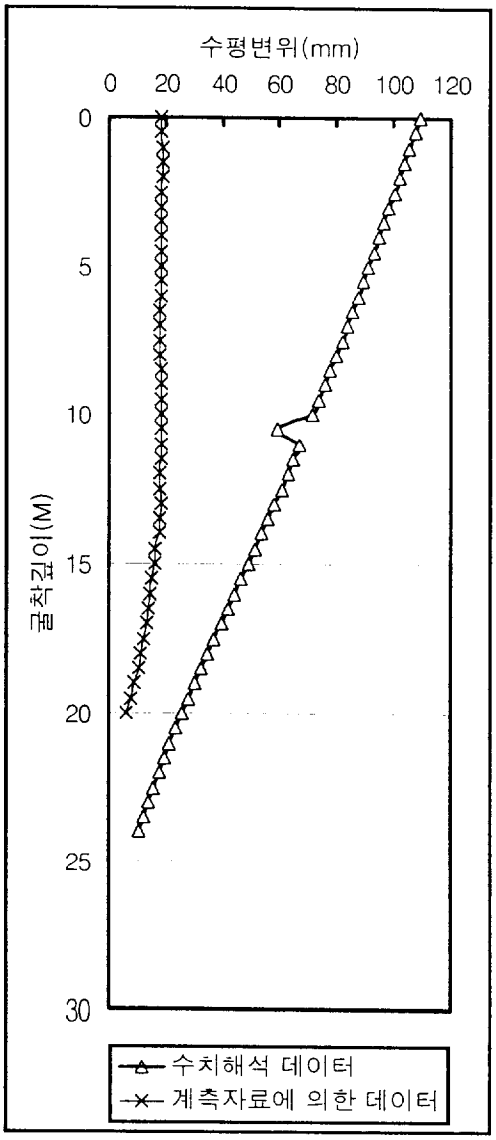
비슷한 유형으로 나타났으나, 두 Data 간의 오차가 굴착깊이에 대하여 약 40mm 가량의 차이가 발생하는 것으로 나타났다. 최대수평변위 발생지점은 수치해석에 의한 방법으로는 지면에서 7.5m 위치에서 최대수평변위가 발생했으며, 실제 계측에 의한 자료에서는 8.5m~9.0m 부근에서 최대수평변위가 나타났다.

3) C 현장

C 현장의 수치해석에 의한 Data와 계측결과에 대한 Data는 <표 4.2.4>와 같고, 결과치에 대한 비교그래프는 <그림 4.2.3>과 같다.

<표 4.2.4> C현장 벽체변위 Data

굴착깊이(M)	벽체변위(mm) 수치해석결과	계측결과	굴착깊이(M)	벽체변위(mm) 수치해석결과	계측결과
0.0	109.3	18.6	12.5	60.6	18.1
0.5	107.5	18.6	13.0	58.3	18.2
1.0	105.7	18.7	13.5	56.0	18.0
1.5	103.9	18.9	14.0	53.6	17.9
2.0	102.1	18.7	14.5	51.3	16.4
2.5	100.3	18.3	15.0	48.9	16.1
3.0	98.5	18.4	15.5	46.5	15.0
3.5	96.7	18.4	16.0	44.2	14.5
4.0	94.9	18.3	16.5	41.8	14.1
4.5	93.1	18.5	17.0	39.4	13.2
5.0	91.2	18.5	17.5	37.0	12.0
5.5	89.4	18.5	18.0	34.7	11.3
6.0	87.5	18.2	18.5	32.3	10.5
6.5	85.6	18.1	19.0	30.0	9.0
7.0	83.7	18.1	19.5	27.8	7.8
7.5	81.8	18.1	20.0	25.6	6.4
8.0	79.8	18.0	20.5	23.5	
8.5	77.8	18.2	21.0	21.4	
9.0	75.7	18.3	21.5	19.5	
9.5	73.7	18.3	22.0	17.6	
10.0	71.6	18.5	22.5	15.9	
10.5	59.4	18.5	23.0	14.1	
11.0	67.2	18.5	23.5	12.3	
11.5	65.0	18.5	24.0	10.7	
12.0	62.8	18.1			



<그림 4.2.3> 굴착깊이에 따른 벽체변위

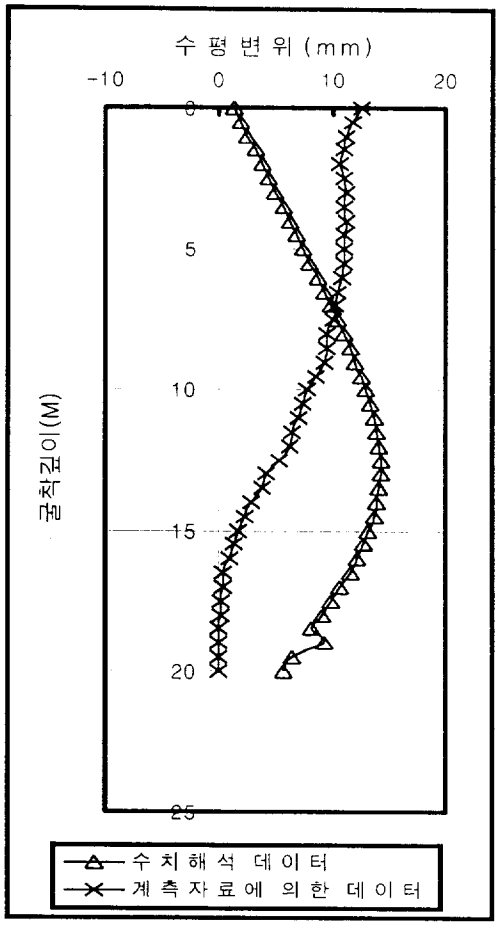
C 현장의 경우 수치해석에 의한 Data는 수평변위가 지표 부근에서 약 110mm 가량의 변위가 나타났으며, 굴착깊이 24m 지점까지 급격하게 수평변위가 줄어드는 것으로 나타났으나, 실제 계측에 의한 Data에는 지표부근에서부터 굴착깊이 약 14m 정도까지는 수평변위가 약 20mm로 거의 일정하게 나타났으며, 굴착깊이

15m 이후 수평변위가 줄어드는 것을 보였다.

4) D 현장

<표 4.2.5> D현장 벽체변위 Data

굴착 깊이 (M)	벽체변위(mm) 수치 해석 결과	계측 결과	굴착 깊이 (M)	벽체변위(mm) 수치 해석 결과	계측 결과
0.0	1.20	12.5	12.5	14.2	5.20
0.5	1.80	11.7	13.0	14.2	4.20
1.0	2.40	11.3	13.5	14.1	3.70
1.5	3.10	11.0	14.0	13.9	2.80
2.0	3.70	10.6	14.5	13.6	2.30
2.5	4.30	11.0	15.0	13.2	1.60
3.0	4.90	11.2	15.5	12.7	1.20
3.5	5.60	11.0	16.0	12.1	0.80
4.0	6.20	11.2	16.5	11.5	0.30
4.5	6.80	11.1	17.0	10.7	0.30
5.0	7.40	11.1	17.5	9.90	0.20
5.5	8.00	11.0	18.0	9.10	0.10
6.0	8.70	10.9	18.5	8.20	0.00
6.5	9.30	10.5	19.0	9.30	0.00
7.0	9.90	10.2	19.5	6.50	0.00
7.5	10.5	10.0	20.0	5.60	0.00
8.0	11.0	9.50			
8.5	11.5	9.40			
9.0	12.0	9.30			
9.5	12.5	8.50			
10.0	12.9	7.80			
10.5	13.3	7.30			
11.0	13.6	7.00			
11.5	13.9	6.50			
12.0	14.1	6.30			



<그림 4.2.4> 굴착깊이에 따른 벽체변위

D 현장의 경우 수치해석에 의한 Data는 수평변위가 지면 부근에서 약 1.2mm 가량의 변위가 나타났으며, 지면에서 13m까지는 계속 증가하는 경향을 보였으며 13m 이후부터 감소하는 경향을 나타냈다. 실제 계측에 의한 자료에서는 지면에서 12.5mm 가량의 변위가 발생했으며, 2.5m~6.0m까지는 수평변위의 변화가 없었으나 6.0m이하 부터는 최종굴착깊이까지 수평변위가 계속 감소하는 것으로 나타났다. 수치해석 자료에 의한 최대수평변위 지점은 12.5m 부근이며, 계측자료에 나타난 최대수평변위는 지면에서 발생하는 것으로 나타났다.

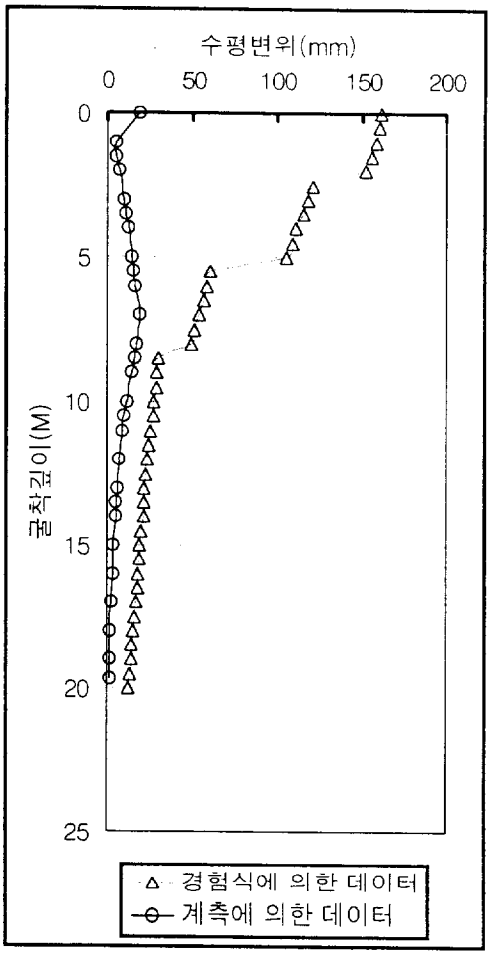
4.2.3 경험에 의한 결과와 계측결과와의 비교고찰

1) A 현장

A 현장의 경험식에 의한 Data와 계측결과에 대한 Data는 <표 4.2.6>과 같고, 결과치에 대한 비교그래프는 <그림 4.2.5>와 같다.

<표 4.2.6> A현장 벽체변위 Data

굴착깊이 (M)	벽체변위(mm)		굴착깊이 (M)	벽체변위(mm)	
	경험식에의한 결과	계측결과		경험식에의한 결과	계측결과
0.0	161.7	19.1	12.5	22.9	
0.5	160.6		13.0	22.3	6.4
1.0	158.6	5.4	13.5	21.9	5.6
1.5	155.6	5.1	14.0	21.7	5.1
2.0	152.7	7.2	14.5	19.9	
2.5	121.5		15.0	19.7	3.5
3.0	118.2	10.5	15.5	19.3	
3.5	115.6	11.3	16.0	18.7	3.3
4.0	111.3	12.4	16.5	18.1	
4.5	108.7		17.0	17.1	2.5
5.0	105.8	14.5	17.5	16.4	
5.5	60.5	15.5	18.0	15.8	1.8
6.0	58.7	16.8	18.5	15.0	
6.5	56.5		19.0	14.4	1.7
7.0	54.0	18.9	19.5	13.6	1.9
7.5	51.8		20.0	12.8	
8.0	49.8	17.1			
8.5	29.9	16.5			
9.0	29.6	15.0			
9.5	29.2				
10.0	28.0	11.9			
10.5	27.2	10.0			
11.0	25.4	8.8			
11.5	24.6				
12.0	23.8	7.4			



<그림 4.2.5> 굴착깊이에 따른 벽체변위

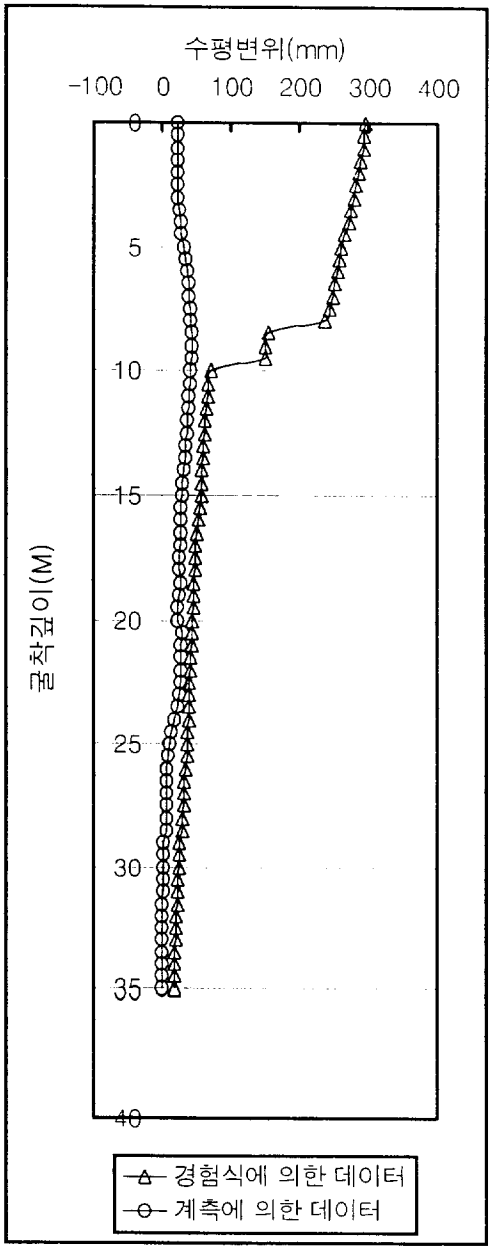
위의 그래프에서 보면, 경험식에 의한 수평변위는 토층이 바뀌는 부분에서 변화의 폭이 매우 크게 나타났다. 이것은 <그림 2.2.3>에서 알 수 있듯이 토층의 구성에 따른 <그림 2.2.3> 에서의 그래프간의 간격이 크게 나타나 있어서, 이런 계단식의 그래프 형태로 나타나고 있다. 굴착깊이 8m 이후로는 두 Data가 거의 비슷하게 나타났지만, 지표부근부터 굴착깊이 7m 지점까지는 경험식에 의한 수평변위는 매우 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

2) B 현장

B 현장의 경험식에 의한 Data와 계측결과에 대한 Data는 <표 4.2.7>과 같고 , 결과치에 대한 비교그래프는 <그림 4.2.6>과 같다.

<표 4.2.7> B현장 벽체변위 Data

굴착깊이(M)	벽체변위(mm)		굴착깊이(M)	벽체변위(mm)	
	경험식에의한결과	계측결과		경험식에의한결과	계측결과
0.0	295.8	24.0	18.0	48.3	24.8
0.5	294.0	22.5	18.5	47.6	27.0
1.0	292.3	24.0	19.0	46.2	26.0
1.5	288.8	23.5	19.5	45.5	24.3
2.0	285.3	22.5	20.0	44.8	23.5
2.5	281.8	22.6	20.5	43.8	29.5
3.0	278.3	23.7	21.0	43.1	29.0
3.5	274.8	25.1	21.5	42.0	28.3
4.0	271.6	27.0	22.0	41.3	28.1
4.5	265.3	29.0	22.5	40.6	27.9
5.0	261.1	32.0	23.0	39.9	25.0
5.5	257.6	35.0	23.5	39.2	22.5
6.0	254.8	37.5	24.0	38.5	19.0
6.5	252.0	39.0	24.5	37.8	13.5
7.0	247.8	40.5	25.0	37.1	10.5
7.5	243.3	42.0	25.5	36.4	8.5
8.0	238.0	43.0	26.0	34.0	7.0
8.5	155.4	44.0	26.5	33.3	6.8
9.0	151.9	44.0	27.0	32.2	6.9
9.5	150.5	43.8	27.5	31.5	7.2
10.0	71.8	42.5	28.0	30.5	7.3
10.5	67.6	42.0	28.5	30.1	6.0
11.0	66.9	40.5	29.0	25.9	3.2
11.5	64.8	39.5	29.5	25.2	3.0
12.0	63.4	38.0	30.0	24.5	2.8
12.5	62.0	37.0	30.5	23.8	2.0
13.0	60.2	35.2	31.0	23.1	1.3
13.5	59.5	34.6	31.5	22.4	1.0
14.0	58.8	32.3	32.0	21.7	0.5
14.5	58.1	30.0	32.5	21.0	0.3
15.0	57.4	29.5	33.0	20.3	0.2
15.5	56.0	28.2	33.5	19.6	0.1
16.0	52.5	28.0	34.0	19.3	0.0
16.5	51.5	27.7	34.5	19.3	0.0
17.0	49.7	27.0	35.0	19.3	0.0
17.5	49.0	25.0			



<그림 4.2.6> 굴착깊이에 따른 벽체변위

B 현장의 경우 두 Data 간의 차이가 굴착깊이 10m 지점까지는 수평변위가 최대 300mm까지 차이가 났으나, 굴착깊이 10m 이후로는 두 Data가 거의 비슷하게

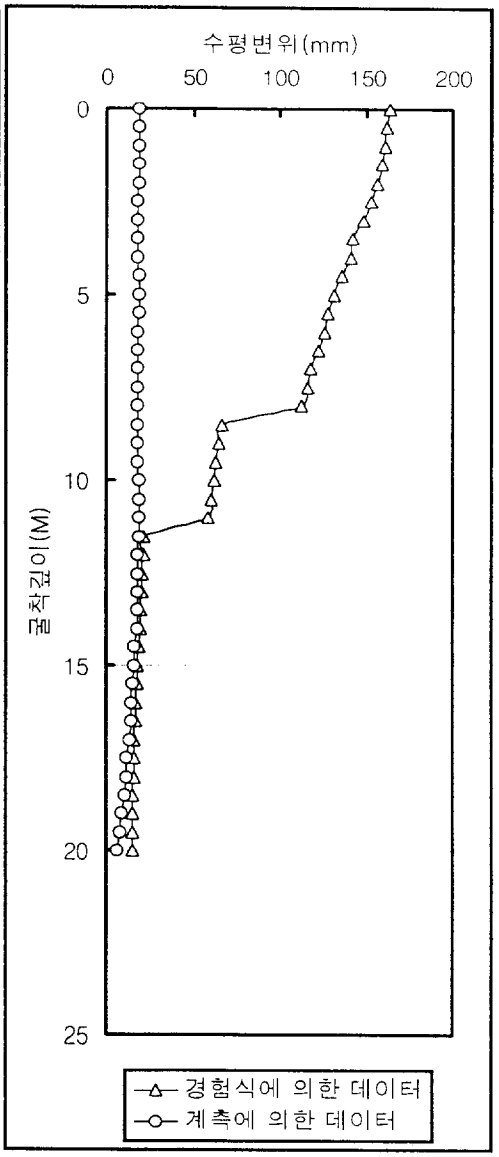
나타나는 것을 볼 수 있으며, 지표 부근부터 10m 지점까지 경험식에 의한 수평변위가 크게 나타나는 것은 좀더 다양한 토층에 대한 <그림 2.2.3>의 자료부족으로 판단된다.

3) C 현장

C 현장의 경험식에 의한 Data와 계측결과에 대한 Data는 <표 4.2.8>과 같고, 결과치에 대한 비교그래프는 <그림 4.2.7>과 같다.

<표 4.2.8> C현장 벽체변위 Data

굴착깊이(M)	벽체변위(mm) 경험식에의한결과	계측결과	굴착깊이(M)	벽체변위(mm) 경험식에의한결과	계측결과
0.0	164.0	18.6	12.5	21.0	18.1
0.5	162.4	18.6	13.0	20.6	18.2
1.0	161.0	18.7	13.5	20.0	18.0
1.5	159.2	18.9	14.0	19.4	17.9
2.0	156.4	18.7	14.5	18.8	16.4
2.5	153.6	18.3	15.0	18.4	16.1
3.0	148.4	18.4	15.5	18.0	15.0
3.5	142.6	18.4	16.0	17.4	14.5
4.0	141.0	18.3	16.5	16.8	14.1
4.5	136.0	18.5	17.0	16.4	13.2
5.0	131.8	18.5	17.5	16.2	12.0
5.5	128.0	18.5	18.0	16.0	11.3
6.0	126.0	18.2	18.5	15.6	10.5
6.5	122.4	18.1	19.0	15.4	9.0
7.0	118.4	18.1	19.5	15.2	7.8
7.5	116.0	18.1	20.0	15.0	6.4
8.0	112.4	18.0			
8.5	66.8	18.2			
9.0	65.2	18.3			
9.5	63.4	18.3			
10.0	62.0	18.5			
10.5	60.0	18.5			
11.0	58.6	18.5			
11.5	22.0	18.5			
12.0	21.4	18.1			



<그림 4.2.7> 굴착깊이에 따른 벽체변위

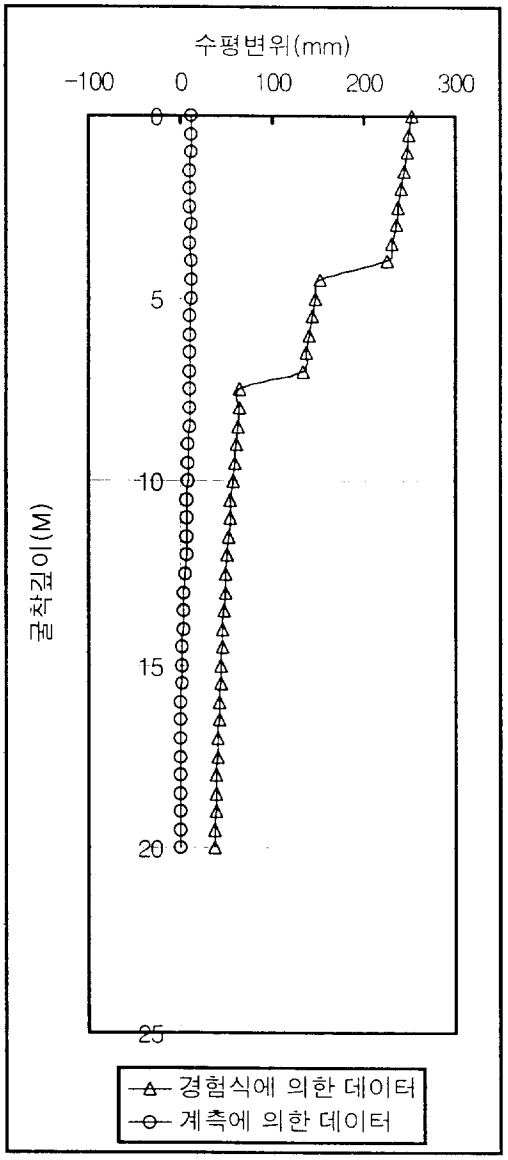
C 현장의 경우 굴착깊이 12m 이후 지점부터 두 Data가 비슷하게 나타났으며, 경험식에 의한 Data는 지표 부근에서 약 160mm의 수평변위가 발생하는 것으로 나타났다.

4) D 현장

D 현장의 경험식에 의한 Data와 계측결과에 대한 Data는 <표 4.2.9>와 같고, 결과치에 대한 비교그래프는 <그림 4.2.8>과 같다.

<표 4.2.9> D현장 벽체변위 Data

굴착깊이(M)	벽체변위(mm) 경험식에의한결과	계측결과	굴착깊이(M)	벽체변위(mm) 경험식에의한결과	계측결과
0.0	252.0	12.5	15.5	43.8	9.6
0.5	249.0	12.3	16.0	43.2	9.0
1.0	247.2	12.2	16.5	42.6	8.5
1.5	243.6	12.0	17.0	41.4	8.0
2.0	240.9	12.0	17.5	40.5	7.5
2.5	237.6	11.7	18.0	39.6	7.0
3.0	235.5	12.5	18.5	39.0	6.2
3.5	231.0	12.6	19.0	38.4	5.6
4.0	226.2	12.9	19.5	37.8	5.0
4.5	151.8	13.0	20.0	37.5	4.5
5.0	147.3	13.2			
5.5	144.0	13.5			
6.0	141.0	13.6			
6.5	137.1	13.8			
7.0	133.5	13.9			
7.5	64.8	14.0			
8.0	63.6	14.2			
8.5	62.7	14.5			
9.0	61.5	14.3			
9.5	58.8	13.5			
10.0	57.0	13.2			
10.5	54.9	13.0			
11.0	54.0	12.9			
11.5	52.8	12.7			
12.0	51.0	12.0			
12.5	49.5	11.7			
13.0	48.6	11.3			
13.5	47.1	10.5			
14.0	45.9	10.6			
14.5	45.0	10.2			
15.0	44.4	10.0			



<그림 4.2.8> 굴착깊이에 따른 벽체변위

D 현장의 경우 경험식에 의한 수평변위가 굴착깊이 7m 지점까지는 매우 크게 나타났으며, 7m 이후의 지점부터는 계측치와 그래프의 형태는 비슷하나, 적어도 계측치의 Data 와는 20~40mm 이상의 차이가 발생했다.

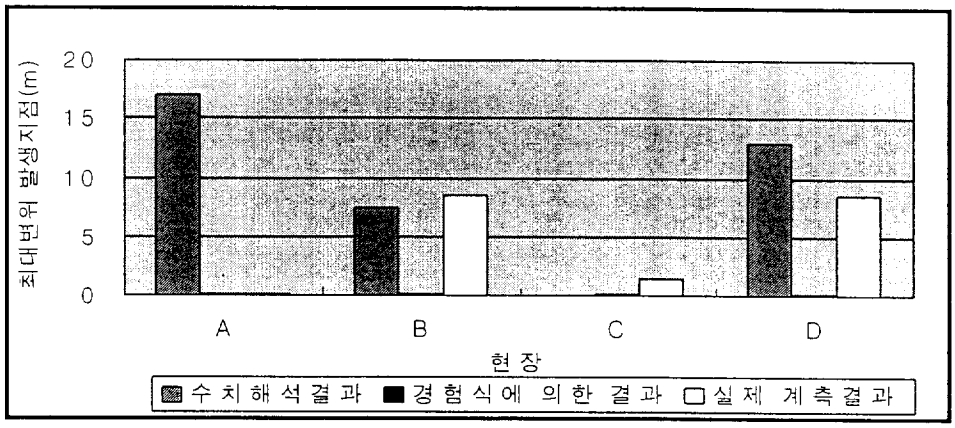
4.2.4 각 현장별 최대수평변위 발생지점과 최대변위량 비교고찰

1) 각 현장별 최대수평변위 발생지점 비교고찰

아래 <표 4.2.10>과 <그림 4.2.9>는 각 현장의 최대수평변위 발생지점을 수치해석에 의한 방법, 경험식에 의한 방법, 실제 계측결과를 가지고 서로 비교한 표와 그래프이다.

<표 4.2.10> 각 현장별 최대수평변위 발생지점

현장	수치해석 결과(m)	경험식에 의한 결과(m)	실제 계측결과(m)
A	17.0	0.0	0.0
B	7.5	0.0	8.5
C	0.0	0.0	1.5
D	13.0	0.0	8.5



<그림 4.2.9> 각 현장별 최대수평변위 발생지점

위의 <그림 4.2.9>에서 보면, A현장의 경우 수치해석방법으로는 최대수평변위 발생지점이 17.0m로 나타났으나, 경험식에 의한 방법과 실제 계측에 의한 결과는 지면에서 최대수평변위가 발생하는 것으로 나타났다.

B현장의 경우, 수치해석방법으로는 7.5m지점에서 최대수평변위가 나타났으며, 경험식에 의한 방법으로는 지면에서 나타나는 것으로 나타났으며, 실제 계측에 의한 결과는 8.5m로 수치해석에 의한 방법과 어느 정도 비슷한 지점에서 발생하는 것으로 나타났다.

C현장의 경우, 수치해석방법과 경험식에의한 방법으로는 최대수평변위가 지면에서 발생하는 것으로 나타났으며, 실제 계측에서는 지면에서 1.5m지점에서 발생하는 것으로 나타났다.

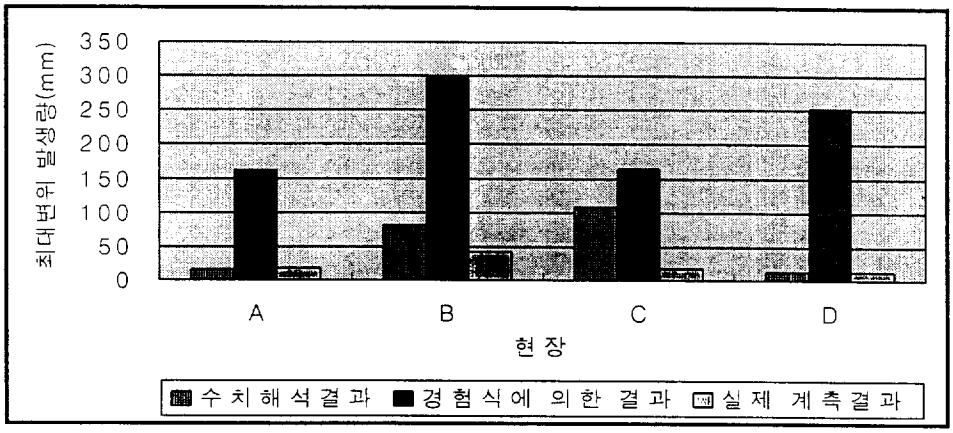
D현장의 경우, 수치해석방법으로는 13.0m지점에서 최대수평변위가 발생하였고, 경험식에 의한 방법으로는 지면에서 발생하는 것으로 나타났으며, 실제계측결과에 의해서는 8.5m지점에서 발생하는 것으로 나타났다.

2) 각 현장별 최대수평변위 비교고찰

아래의 <표 4.2.11>과 <그림 4.2.10>은 각 현장의 최대수평변위를 서로 비교한 표와 그래프이다.

<표 4.2.11> 각 현장별 최대수평변위

현장	수치해석 결과(mm)	경험식에 의한 결과(mm)	실제 계측결과(mm)
A	15.4	161.7	19.1
B	81.6	295.8	44.0
C	109.3	164.0	18.9
D	14.2	252.0	14.5



<그림 4.2.10> 각 현장별 최대수평변위

위의 <그림 4.2.10>에서 보면, A현장의 경우 수치해석결과로는 15.4mm, 경험식에 의한 방법과 실제계측결과는 각각 161.7mm와 19.1mm로 나타났다. 수치해석에 의한 방법은 실제계측결과와 거의 비슷하게 나타났다.

B현장의 경우, 수치해석에 의한 방법으로는 81.6mm, 경험식에 의한 방법은 295.8mm, 실제계측결과는 44.0mm로 나타났다.

C현장의 경우, 수치해석에 의한 방법으로는 109.3mm, 경험식에 의한 방법은 164.0mm, 실제계측결과는 18.9mm로 나타났다.

D현장의 경우, 수치해석에 의한 방법으로는 14.2mm, 경험식에 의한 방법은 252.0mm, 실제계측결과는 14.5mm로 나타났다.

위의 자료들을 보면, 경험식에 의한 방법은 최대변위발생량이 수치해석과 실제 계측에 의한 결과보다 상당히 큰 변위가 발생하는 것으로 나타났으며, 수치해석에 의한 방법은 A현장과 D현장이 실제 계측결과와 거의 비슷하게 나타났으며, B현장과 C현장은 수치해석에 의한 결과가 실제계측결과보다는 최대변위발생량이 조금 크게 나타났다.

5. 결 론

본 연구결과를 토대로 수치해석적인 방법과 경험적인 방법을 실계측치와 비교를 해본 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 수치해석에 의한 최대수평변위량은 실계측에 의한 수평변위량과 약 10% 가량의 차이가 발생한데 비해서, 경험식에 의한 최대수평변위량은 실계측에 비해서 약 6~10배 가량의 차이가 발생하였다.

2. 수치해석에 의한 방법은 비교적 수평변위의 형태가 실제 계측치와 비슷한 형태를 가지는데 반하여, 경험식에 의한 방법은 실제 계측치와 커다란 차이를 나타내었다.

3. 각 현장 별 최대수평변위 발생 지점이 수치해석에 의한 방법으로는 실제계측치와 거의 유사한 위치에서 나타났으나, 경험식에 의한 방법으로는 지면에서만 최대수평변위가 발생하는 것으로 나타났다.

4. 경험식에 의한 방법은 굴착심도 10m 이후 지점부터는 벽체의 수평변위가 실제계측치와 거의 유사하게 나타나는 것을 알 수 있었다.

최대수평변위의 발생위치와 크기, 굴착심도에 따른 수평변위의 양상은 수치해석적인 방법이 잘 나타내었다. 또한 경험식에 의한 방법도 식에 사용된 도표를 좀 더 세분화 한다면 지반변위 계산을 위한 좋은 자료가 될 수 있다고 판단된다.

참고문헌

1. 한국지반공학회, 구조물 기초 설계기준, 1997.
2. 황우연, "흙막이 벽체 변위의 계측관리 기준치 산정에 관한 연구", 한양대학교 산업대학원 석사학위논문, 1996.
3. 안재민, "계측에 의한 토류벽체에 작용하는 변위 및 토압 분포 연구", 부경대학교 산업대학원 석사학위논문, 1993.
4. 고재만, 지반안정과 가설구조물, 창우출판사, 1998.
5. 이종영, "도심지 지반굴착에 따른 흙막이벽의 거동과 작용토압에 대한 연구", 한양대학교 산업대학원 석사학위논문, 1999.

감 사 의 글

지난 2년 동안 저에게 힘이 되어 주신 모든 분들께 진심으로 감사의 마음을 전합니다.
이 논문의 결실이 있기까지 애써주신 이영대 교수님께 감사를 드립니다.
아울러 부족하기 그지없는 저의 논문을 다듬어 주신 손인식 교수님, 이종출 교수님께 감사드립니다.
그리고 논문이 완성될수 있도록 끊임없는 격려와 애정을 가져주신 어머님과 아버님께 감사드리고, 바쁜 업무 속에서도 학업을 할 수 있도록 배움의 기회를 배려해 주신 최성규 소장님, 박종하 사장님께 감사를 드립니다.
또한 오랜 친구이자 대학원 동기인 신승훈, 김종성에게도 감사를 드립니다.
저 때문에 무던히도 마음 고생을 많이 했던 CM 연구실의 강병욱 후배님께도 감사를 드립니다.
앞으로 더욱더 정진하여 끊임없이 노력 할 것을 다짐합니다.

2002. 2
조 해돈이