2차원 및 3차원 해석에 의한 토류벽의 변위에 관한 비교 연구

A Relative Study on the Displacement of Earth Retaining Wall by 2 and 3 Dimentional Analysis

박춘식[1], Chun-Sik Park, 박해찬[2], Hae-Chan Park, 김종환[3], Jong-Hwan Kim, 박영준[4], Young-Jun Park

[1] 창원대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Changwon University
[2] 창원대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Changwon University
[3] 창원대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Changwon University
[4] 창원대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Changwon University

SYNOPSIS : Until now, design of Earth Retaining is practiced by 2nd dimensional analysis for convenience of analysis and time saving. However, the construction field is 3rd dimension, in this study, practised the 3rd dimensional analysis which can reflect the field condition more exactly the scope of earth retaining wall, and researched about the effective and economical way of design, compared and reviewed with the results, by practising both the 2nd and 3rd dimensional analysis. existing 2nd dimension. the depth of excavation, depth of embedded and soil condition. As result, under the whole conditions, more displacement came to appear to the value as result of 3rd dimensional analysis more than the result of 2nd dimensional analysis. Accordingly, the displacement by the 2nd dimension analysis is underestimated. Moreover, results of 2nd and 3rd dimensional analysis, there is no difference at displacement, when the depth of embedded is 0.5H, 1.0H and 1.5H, but Displacement of 1.5H is smaller than 0.5H, 1.0H. That is, the bigger the depth of embedded becomes, the displacement of Earth Retaining Wall appeared smaller. The displacement of earth retaining wall according to depth of excavation appeared bigger, when the depth of excavation is increased. In the meantime, when the soil condition is different, in the 2nd dimensional analysis, the displacement appeared biggest, in case of the clay layer, but in the 3rd dimensional analysis, in the beginning of excavating, the displacement of earth retaining wall appeared bigger in case of clay layer, but as excavating is in progress, the displacement of both compound soil layer and sand layer appeared big.

Keywords : Earth Retaining Wall, 2nd&3rd dimensional analysis, depth of embeded, depth of excavation, soil condition

1. 서 론

산업화와 경제성장에 따른 도심지 인구집중현상은 도시공간부족 문제를 발생시켰고, 토지이용의 효율성을 높이기 위한 방안으로 지하공간개발 및 굴착공사가 활발히 이루어지고 있다. 이러한 지반 굴착작업시 지반의 평형상태가 깨어지게 되므로, 현장 가시설 구조물의 안정해석 및 인접구조물의 안정해석이 수행되어야 한다. 또 가시설 구조물은 구조물의 품질과 안전에 직접적인 영향을 미치게 되므로 확실한 안정성을 확보할 수 있도록 설계기준에 의한 구조계산이 수행되어야 한다.

굴착 주변 지반의 변형은 일반적으로 굴착깊이가 증가할수록 더욱 커지는 경향을 보이며 굴착에 의한 토류벽체의 변형, 지하수위의 저하에 의한 지반의 압축과 압밀, 시공에 의한 지반의 교란 등 많은 요소들이 복합적으로 작용하여 발생하기 때문에 정확하게 예측하기는 사실상 어렵다.

이전의 가시설 구조물에 대한 연구결과를 보면 일반적으로 2차원 해석이 많이 수행되어 졌다. 2차원 해석은 간단하고 시간을 단축할 수 있지만 2차원 해석만으로는 정확한 해석결과를 도출하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 기본적인 가시설 굴착현장을 설정하고 2차원과 3차원에서의 토류벽의 깊이, 굴착깊이, 지반의 조건에 의한 토류벽의 변위에 관한 변위에 대하여 논하고자 한다.

이에 최근 개발된 유한요소법 프로그램인 MIDAS/GTS를 이용하여 2차원 및 3차원 각 케이스별 토류벽의 변위에 대한 해석결과를 비교 · 분석하였다.

2. 해석조건 및 해석프로그램

2.1 적용 물성치 및 제원

표 1은 본 연구에서 해석시 적용된 일반적인 점성토와 사질토, 풍화암의 물성치와 강도정수이고 표 2는 해석대상 가시설 구조물 각 부분의 사용재료의 제원이다.

표 1. 물성치 및 강도정수

		점성토	사질토	풍화암
탄성계수(tf/m^2)		600	3000	15000
포아송비		0.35	0.3	0.3
단위중량 (tf/m^3)	γ_t	1.6	1.9	2.0
	γ_{sat}	1.8	2.0	2.1
점착력(tf/m^2)		5	0.5	5
내부마찰각(°)		15	30	35

표 2. 사용재료 제원

	흙막이벽	Strut	Wale
탄성계수(tf/m^2)	2.0×10^6	2.0×10^6	2.0×10^6
포아송비	0.2	0.2	0.2
단위중량(tf/m^3)	7.8	7.8	7.8

2.2 사용한 해석프로그램

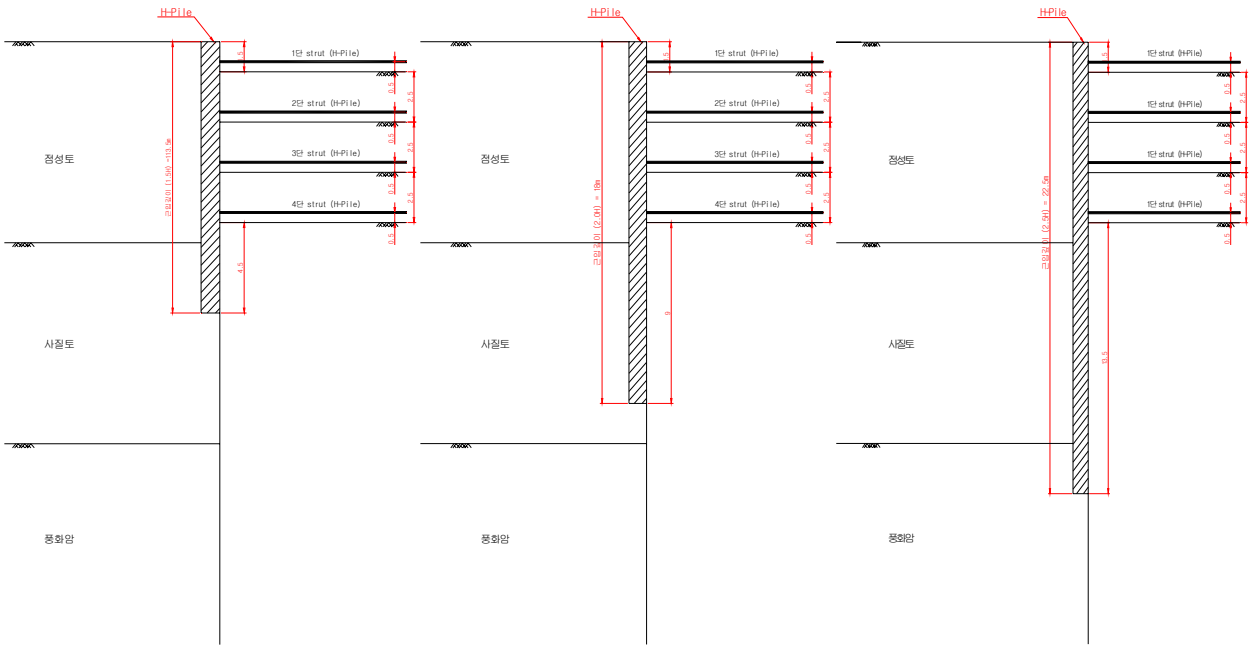
MIDAS/GTS 프로그램은 고난도 접속부 터널해석, 지하수 침투해석, 응력－침투연계 유효응력해석, 연약지반 성토 및 압밀해석, 굴착 및 가시설해석, 지진 및 발파 진동해석 그리고 라이닝 구조해석을 수행할 수 있다. 또한 시공단계를 고려하기 위한 다양한 재료모델과 응력－변형 모델을 탑재하고 있으며, 해석성능과 속도 향상을 위한 최신의 Multi－Frontal Space Gaussian Solver 알고리즘이 내장되어 있다.

MIDAS/GTS는 유한요소법(FEM)을 기초로 하여 성토, 굴착 및 재료변화등이 포함된 시공단계 해석과 정상/비정상 침투류해석은 물론 각종 일반 정적/동적해석등 지반 및 터널구조물 해석에 필요한 모든 해석 기능을 제공한다.

2.3 Case별 해석 조건

(1) Case 1 토류벽의 근입깊이 (0.5H, 1.0H, 1.5H)

그림 1은 토류벽의 근입깊이만을 달리 하였을 때 해석조건을 나타내었다. 벽체 길이(H)에 대해서(a)는 0.5H만큼 벽체의 길이를 가정하였고, (b)는 1.0H, (c)는 1.5H만큼 벽체의 길이를 가정하였다. (a),(b)는 사질토지반에 근입되었으며, (c)는 풍화암에 근입하는 것으로 가정하였다.

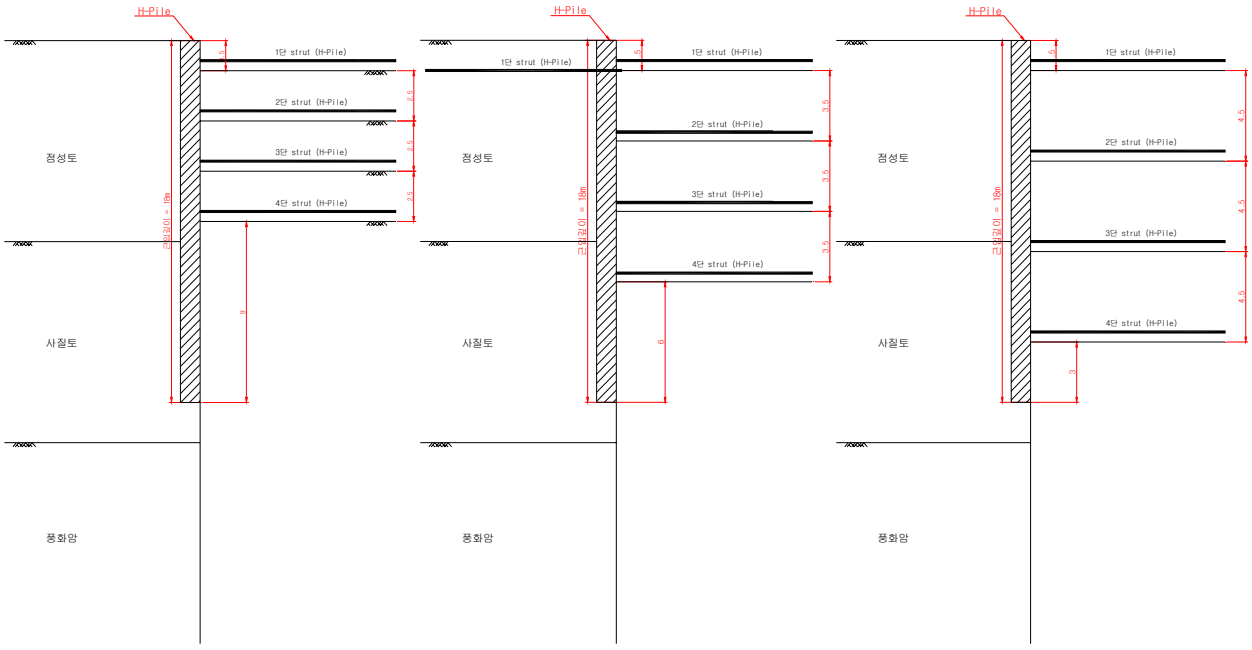


(a)근입깊이 0.5H (b)근입깊이 1.0H (c)근입깊이 1.5H

그림 1. 근입깊이에 따른 해석조건

(2) Case 2 흙의 굴착깊이 (2.5m, 3.5m 4.5m)

그림 2는 근입깊이와 지반조건을 동일하게 두고 굴착깊이를 일정하게 증가시켜 조건을 다르게 하였다. strut 설치간격을 (a)2.5m, (b)3.5m, (c)4.5m로 일정하게 증가시켰다.

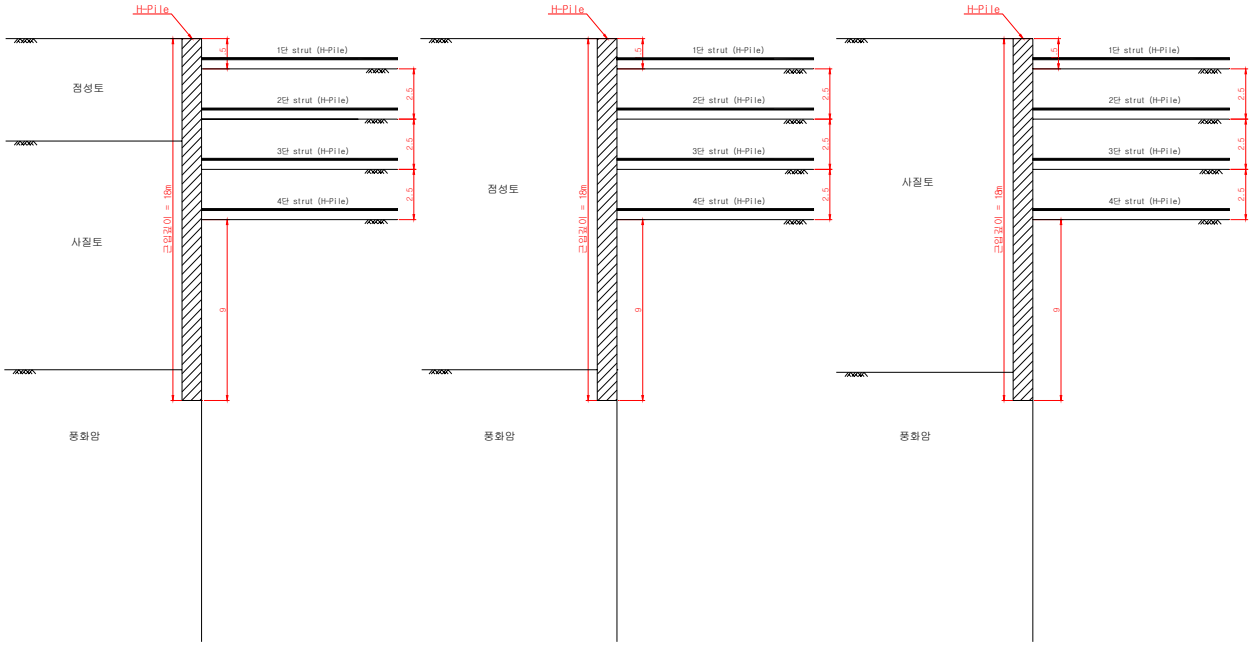


(a)굴착깊이 2.5m (b)굴착깊이 3.5m (c)굴착깊이 4.5m

그림 2. 굴착깊이에 따른 해석조건

(3) Case 3 지반조건 (복합, 점성토, 사질토)

그림 3은 근입깊이와 굴착깊이를 동일하게 두고 지반조건을 달리 하였다. (a)는 점성토와 사질토로 구성된 복합지반이고, (b)는 점성토 지반, (c)는 사질토 지반이다. 벽체는 풍화암에 근입된 조건으로 지반조건을 제외한 타 조건은 모두 동일한 것으로 가정하였다.



(a)복합지반 (b)점성토 (c)사질토

그림 3. 지반조건에 따른 해석조건

3. 해석 결과 및 고찰

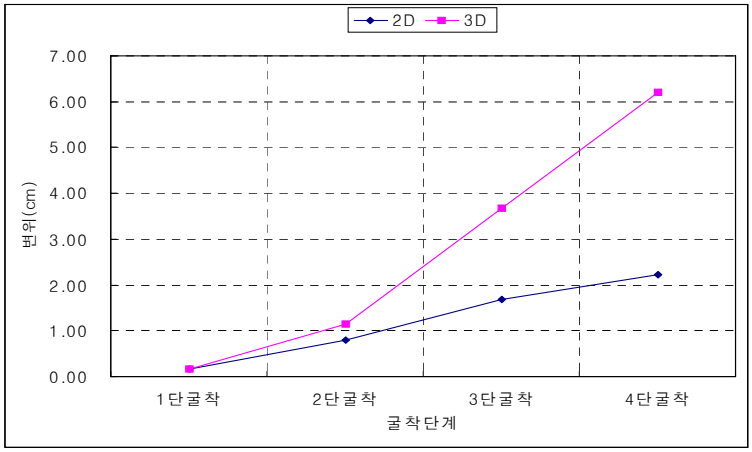
3.1 2차원 및 3차원 해석결과

3.1.1 Case 1 근입깊이

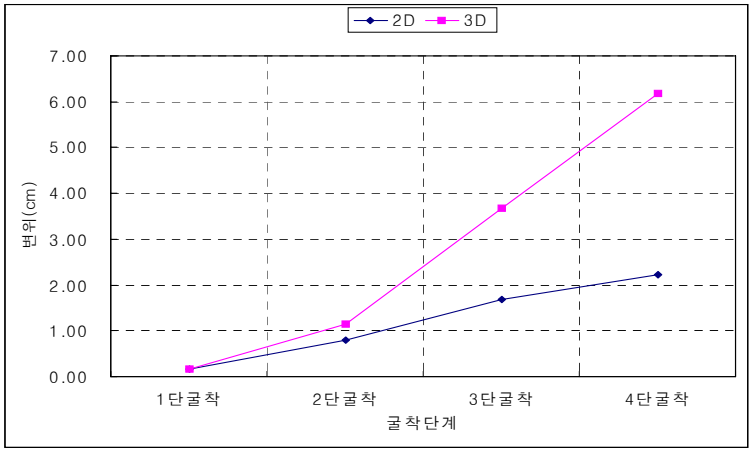
표 3은 2차원 및 3차원 해석에서 근입깊이에 따른 토류벽의 변위를 나타낸 것이다. 그리고 그림 4는 단계별 굴착시 근입깊이에 따른 2차원 및 3차원 해석에서 토류벽의 변위를 나타낸 것이다.

표 3. 근입깊이에 따른 토류벽의 변위 (cm)

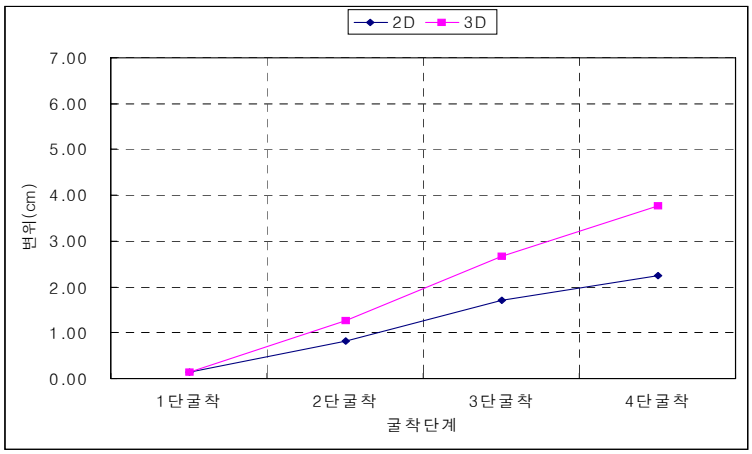
굴 착 단 계	근 입 깊 이					
	0.5 H		1.0 H		1.5 H	
	2D	3D	2D	3D	2D	3D
1단 굴착	0.16	0.17	0.16	0.16	0.14	0.15
2단 굴착	0.79	1.14	0.80	1.15	0.83	1.26
3단 굴착	1.69	3.68	1.69	3.67	1.70	2.66
4단 굴착	2.22	6.20	2.22	6.17	2.24	3.78



(a)근입깊이 0.5H일 때 토류벽 변위



(b)근입깊이 1.0H일 때 토류벽 변위



(c)근입깊이 1.5H일 때 토류벽 변위

그림 4. 근입깊이에 따른 토류벽의 변위

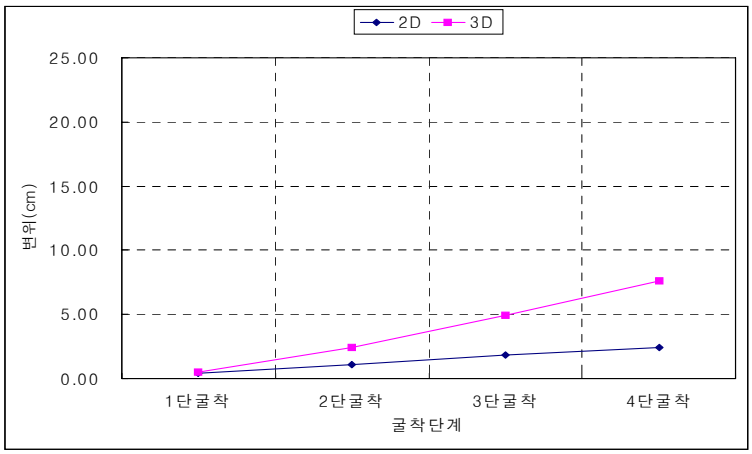
표 3과 그림 4에서 알 수 있듯이 근입깊이에 따른 토류벽의 변위는 같은 조건하에서라도 2차원 해석결과보다 3차원 해석결과가 크게 나온 것을 알 수 있다. 그리고 근입깊이에 따라 2차원 해석결과는 크게 차이가 없이 일정하지만 3차원 해석결과에서는 근입깊이가 깊을수록 토류벽의 변위는 작게 일어나는 것을 확인할 수 있다. 근입깊이 0.5H와 1.0H가 3단굴착시부터 변위가 크게 증가하였지만 1.5H일 때는 거의 일정하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 계측자료가 없어 2차원과 3차원 해석 중 정확한 해석 결과값을 나타낼 수는 없지만 근입깊이가 깊을수록 토류벽의 변위가 적게 일어난다는 것을 확인할 수 있다.

3.1.2 Case 2 굴착깊이

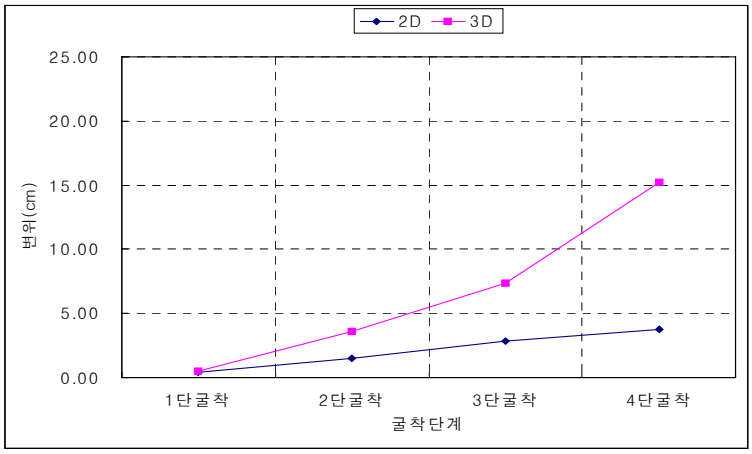
표 4에서는 흙의 굴착깊이 2.5m, 3.5m, 4.5m일 때 2차원과 3차원 토류벽의 변위를 나타내었고, 그림 5은 굴착깊이를 달리 하였을 때 굴착단계에 따른 2차원과 3차원 토류벽의 변위를 그래프로 나타낸 것이다.

표 4. 굴착깊이에 따른 토류벽의 변위 (cm)

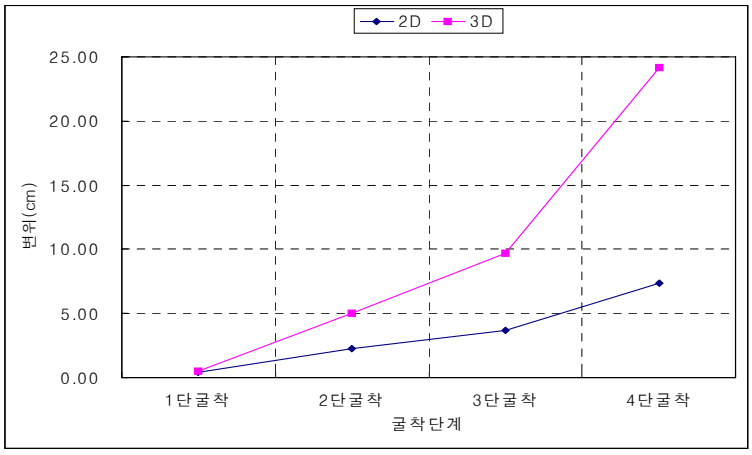
굴 착 단 계	굴 착 깊 이					
	2.5m		3.5m		4.5m	
	2D	3D	2D	3D	2D	3D
1단 굴착	0.42	0.46	0.42	0.46	0.42	0.46
2단 굴착	1.08	2.39	1.50	3.59	2.25	5.00
3단 굴착	1.82	4.94	2.87	7.34	3.70	9.70
4단 굴착	2.40	7.57	3.78	15.20	7.39	24.20



(a)굴착깊이 2.5m일 때 토류벽 변위



(b)굴착깊이 3.5m일 때 토류벽 변위



(c)굴착깊이 4.5m일 때 토류벽 변위

그림 5. 굴착깊이에 따른 토류벽의 변위

표 4와 그림 5에서 알 수 있듯이 굴착깊이에 따른 각 굴착단계에서 토류벽의 변위를 보면 2차원과 3차원 모두 굴착깊이가 깊어질수록 토류벽의 변위가 크게 나타난 것을 확인 할 수 있다. 앞선 케이스와 마찬가지로 2차원보다는 3차원 해석에서 변위가 크게 나온 것도 확인 할 수 있다.

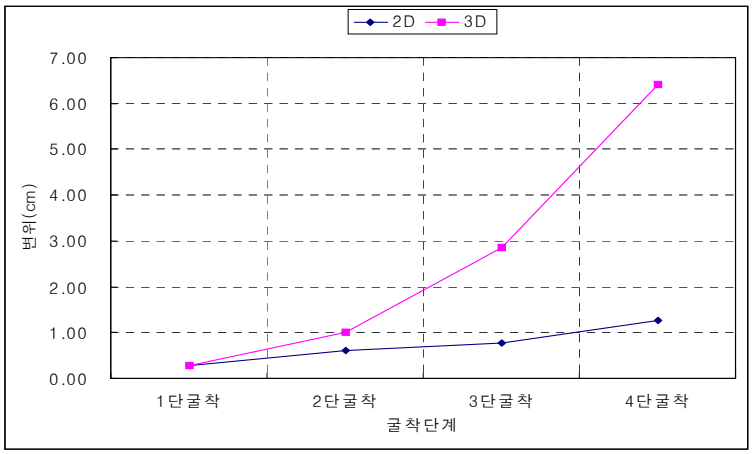
굴착깊이 4.5m에서 3단 굴착과 4단 굴착시 각각 변위가 15cm, 20cm이상 나타났다. 이는 허용수평변위 9cm를 훨씬 넘어섰다. 따라서 토류벽 붕괴의 우려가 있으므로 재설계가 요구된다고 할 수 있다.

3.1.3 Case 3 지반조건

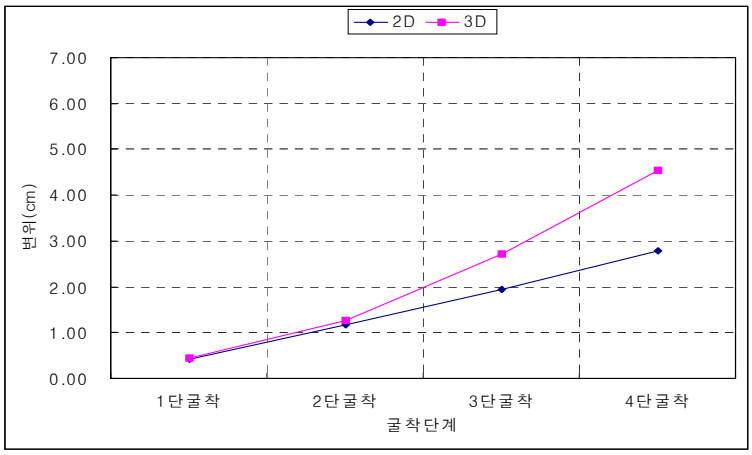
표 5는 복합지반과 단일지반-점성토, 단일지반-사질토에서 2차원과 3차원 토류벽의 최대변위를 그래프로 나타내었고, 그림 6은 각 단계별 굴착시 지반조건에 따른 2차원과 3차원 토류벽의 변위를 그래프로 나타낸 것이다.

표 5. 지반조건에 따른 토류벽의 변위 (cm)

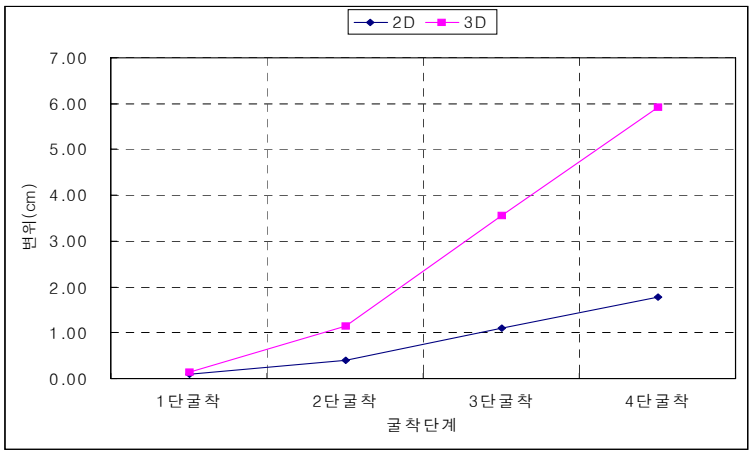
굴 착 단 계	변 위 (cm)					
	복합지반		점성토		사질토	
	2D	3D	2D	3D	2D	3D
1단 굴착	0.28	0.29	0.42	0.45	0.09	0.13
2단 굴착	0.61	1.00	1.17	1.27	0.39	1.15
3단 굴착	0.77	2.85	1.94	2.72	1.10	3.56
4단 굴착	1.26	6.42	2.79	4.54	1.79	5.92



(a)복합지반의 토류벽 변위



(b)점성토 지반의 토류벽 변위



(c)사질토 지반의 토류벽 변위

그림 6. 지반조건에 따른 토류벽의 변위

표5와 그림 6에서 보이는 바와 같이 2차원 해석결과에서는 복합지반과 점성토지반, 사질토지반 모두 토류벽의 변위가 굴착단계마다 일정한 비율로 증가하는 것을 알 수 있다.

3차원 해석결과에서는 복합지반의 토류벽체의 변위가 굴착이 진행될수록 증가폭이 큰 것을 알 수 있다. 점성토지반과 사질토지반의 토류벽 변위는 2단굴착까지 변위가 크게 증가하고 3단굴착시부터는 일정하게 증가하는 것을 확인 할 수 있다.

3차원 해석결과에서 2단 굴착 시까지는 점성토 지반의 토류벽이 변위가 크지만 3단 굴착부터는 복합지반과 사질토 지반의 토류벽 변위가 크게 일어나는 것을 확인 할 수 있다. 이는 점성토지반의 점착력이 크고 내부마찰각이 작기 때문에 토압이 사질토지반이나 복합지반보다 작아 토류벽의 변위가 작게 나타난 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 가시설 구조물인 토류벽체의 변위에 관한 연구이다. 지금까지는 주로 해석상의 편의와 시간 절약을 위해 2차원 해석을 실시하였다. 하지만 그에 따라 해석이 부정확해지고, 현장 여건과 맞지 않는 설계가 이루어졌다. 따라서 본 연구는 토류벽체의 3차원 해석을 수행하여, 기존의 2차원 해석과 비교검토를 통해 보다 효과적이고 경제적인 설계방안에 대해 모색하였다. 검토한 결과는 다음과 같다.

(1) 9가지 CASE 모두 2차원 해석결과보다 3차원 해석결과 값이 크게 나왔다.

(2) 근입깊이를 달리 하였을 때 근입깊이가 0.5H일 때와 1.0H일 때는 크게 차이가 없지만 1.5H에서는 변위가 작게 나타났다. 즉, 근입깊이가 깊을수록 토류벽체의 변위는 작게 나타났다.

(3) 굴착깊이에 따른 토류벽체의 변위를 살펴보면 굴착깊이가 증가할수록 토류벽체의 변위는 크게 나타났다.

(4) 지반조건을 달리 하였을 때, 2차원 해석에서는 점성토지반의 토류벽체의 변위가 가장 크게 일어났다. 3차원 해석에서는 초기에는 점성토지반의 토류벽체의 변위가 크게 나타났지만 굴착이 진행될수록 점성토지반보다 복합지반과 사질토지반의 토류벽체의 변위가 크게 나타났다. 이는 점성토지반의 내부마찰각이 크기 때문에 토압이 작아 변위가 작게 나타난 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. 마이다스아이티(주)(2005), “MIDAS/GTS Analysis Reference″

2. 안삼균(2004), “흙막이벽 설계에 있어서 Strut 適定段數와 地盤强度定數와의 相關性에 관한 解析的 硏究”, 창원대학교 석사학위논문

3. 박춘식, 장정욱 共譯(1999), “토질역학”, 엔지니어즈

4. 홍성영 편, “흙막이·물막이 설계”, 창우 출판

5. Braja M. Das 저, 신은철 역, “기초 공학(Principle of Foundation Engineering″, 구미서관

6. Braja M. Das 저, 정인준, 김명모 감수, “토질공학원론(Principle of Geotechnicqal Engineering″, 구미서관