

## 앵커의 위치에 따른 토류벽의 Mass 변형특성 Mass Movement of Tieback Walls

김낙경<sup>1)</sup>, Nak-Kyung Kim, 박종식<sup>2)</sup>, Jong-Sik Park, 주준환<sup>3)</sup>, Joon-Whan Joo

<sup>1)</sup> 정희원, 성균관대학교 토목환경공학과 조교수, Ass. Prof., Dept. of Civil Engrg., Sungkyunkwan Univ.

<sup>2)</sup> 성균관대학교 토목환경공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engrg., Sungkyunkwan Univ.

<sup>3)</sup> 성균관대학교 토목환경공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engrg., Sungkyunkwan Univ.

**SYNOPSIS** : Mass movement of anchored walls is defined and its characteristics were discussed. A beam on elasto-plastic foundation modeling of soldier pile and woodlagging tieback walls or anchored walls was developed and used in practice. However, the behavior of an anchored wall can not be predicted well, if the locations of anchor bonded zone are near the wall. Mass movement is defined as the movement of anchor bonded zone due to the excavation without the change in the anchor load. Case histories of anchored walls were analyzed and the normalized mass movement chart were developed. This mass movement chart can provide the idea how to locate anchors to minimize the deflection of the wall. The further the anchor bonded zone is located from the wall, the less the movement of the wall due to excavation occurs.

**Key words** : Mass movement, Anchored walls, Anchor bonded zone

### 1. 서론

도심지 공사의 대부분은 건설용지 면적의 감소로 인하여 기존구조물에 근접하여 시공하거나 도심지의 굴착공사로 지하공간을 활용하고 있으며 굴착면적의 대형화로 앵커로 지지된 토류구조물의 사용빈도가 많아지고 있다. 지반의 굴착으로 인하여 수반되는 주변지반의 변형이 과도할 경우 흙막이벽체의 붕괴 또는 부분적인 파괴의 원인이 될 수 있다. 따라서 토류벽에 대한 거동예측 기법의 중요성이 대두되었고 많은 연구가 진행되어 왔다. 앵커흙막이 벽체의 거동에 대한 해석기법은 크게 한계평형이론해석, 탄소성 보해석 그리고 유한요소해석으로 분류할 수 있다. 앵커로 지지된 흙막이벽체의 설계에 사용되는 탄소성 보법은 벽체와 배면지반과의 상호작용을 고려하고 지반을 탄소성의 지반반력 스프링으로 모델링하여 해석하는 기법으로 사용이 간편하고 합리적인 결과를 도출하므로 국내에서 많이 사용되고 있다 (Halliburton, 1968; Pfister et al, 1982; Briaud와 Kim, 1998; 김낙경, 1998).

탄소성 보법은 주로 토류벽의 단면검토에 사용되어야 하며 흙막이벽체의 변형해석에 사용 시에는 주의를 기울여야 한다. 기존의 버팀보 공법이나 토사지반에 설치된 앵커토류벽의 변형해석은 그 결과가 매우 과소평가될 수 있으므로 벽체의 변형을 이용한 경험적인 침하량 계산 등의 수행 시 주의하여야 한다. 본 연구에서는 앵커로 지지된 흙막이 시공사례들을 이용하여 앵커의 정착장 위치에 따른 Mass movement를 정의하고 정규화된 도표를 제시하였다.

### 2. 탄소성 보해석

탄성지반 위의 보해석 모델링은 Hetenyi(1946)에 의해 이론해가 제안된 바 있으며 유한 차분법의 기술을 접목시키고 지반을 탄소성의 스프링으로 치환하여 탄소성 보해석 방법으로 발전하였다. 탄소성 지반 위의 보의 거동에 관한 지배 방정식은 식 1과 같다.

$$EI \frac{d^4 y}{dz^4} - p(y, z) = 0 \quad (1)$$

여기서, EI는 토류벽의 횡방향 강성, y는 수평변위, p는 수평반력(토압 또는 지지체의 하중)

탄소성지반의 앵커토류벽을 횡방향 강성(EI)이 있는 일차원 요소로 분할한 후 각 절점에 토압-변위 곡선으로 표시되는 지반스프링을 그림 1에서와 같이 정착한다. 연속벽의 경우에는 단위 폭을 고려하여 해석하고 엄지말뚝과 토류판공법에서는 앵커 간격에 작용하는 토압을 엄지말뚝이 저항하므로 굴착면 위에서는 앵커폭을 굴착면 아래는 엄지말뚝 플랜지 폭만을 고려하여 모델링한다. 대표적인 토압 변위곡선과 앵커의 하중 변위관계 곡선이 그림 2에 나타나있다. 다소 모델링 방법에 차이는 있으나 WALLAP, SUNNEX, EXCAD, EXCAV, BCWALL 등의 프로그램이 현재 국내에서 사용되고 있다.

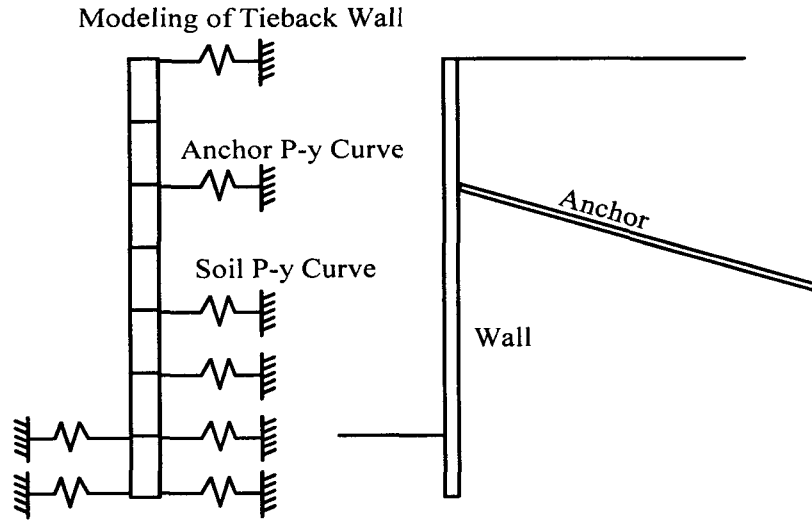


그림 1. 앵커토류벽의 탄소성보 해석 모델링

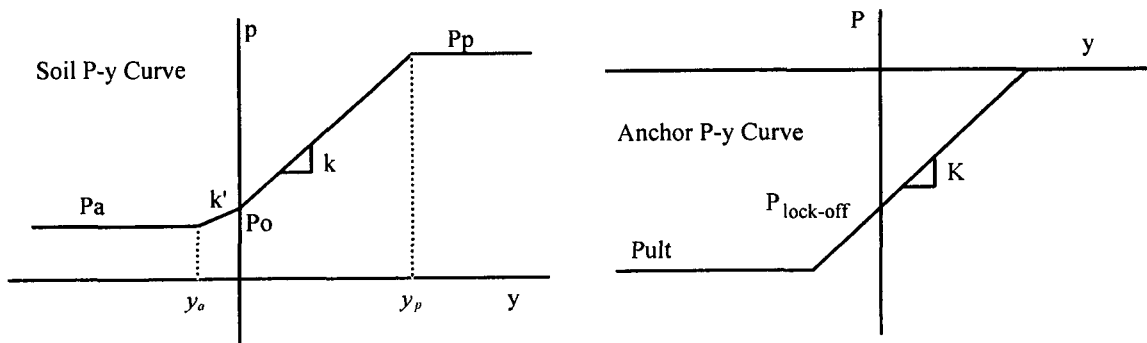


그림 2. 토압-변위곡선(P-y Curve) 및 앵커의 하중-변위곡선

### 3. Mass Movement의 정의

앵커토류벽에서 Mass 변형 또는 Mass Movement는 앵커 정착장의 위치가 벽체에 근접하여 굴착이 진행됨에 따라 증가하는 토압을 앵커로서 지지하지 못하고 변형이 발생하는 현상이다. Mass 변형이 발생하는 원인에는 지반조건, 굴착깊이, 벽체의 강성, 벽체의 지지력 및 앵커 정착장의 지반조건 등이 있으며 상호 복합적으로 작용한다. 앵커토류벽의 변형 특성은 토압이 증가하면서 앵커 정착부의 크립변형 및 주변지반의 침하에 의하여 주로 발생한다(그림 3-4). 벽체의 지지층이 앵커의 연직분력에 의하여 침하가 발생하면 앵커의 설치각에 따른 회전변형에 의하여 수평변위도 증가한다(Briaud & Kim, 1998).

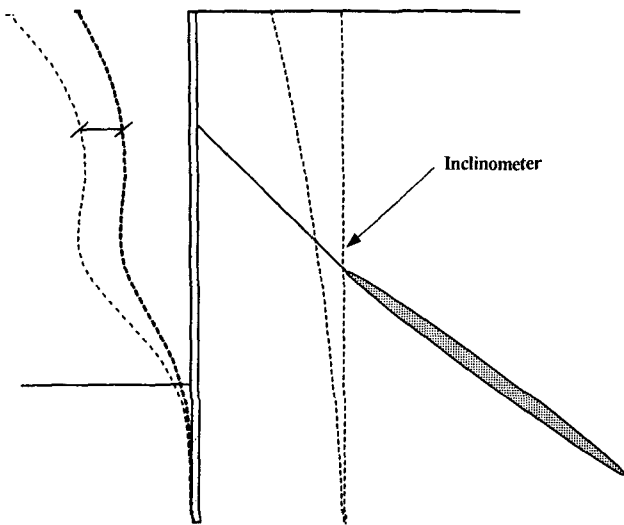


그림 3. 앵커 정착부의 크립변형에 의한 횡방향변위

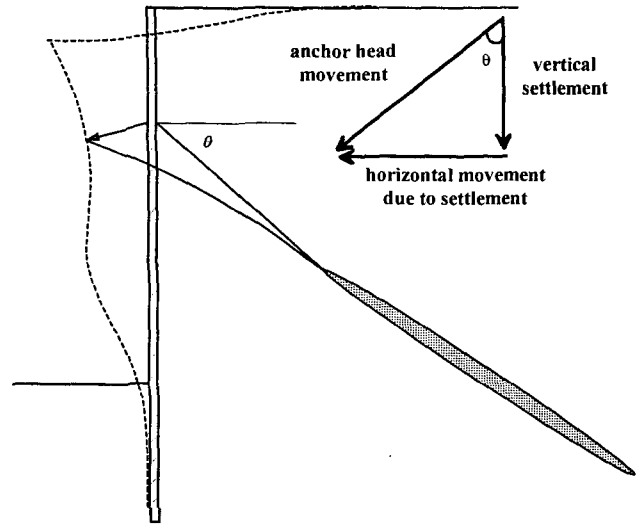


그림 4. 침하에 의한 횡방향변위

앵커의 Mass 변형은 정착장이 단단한 지반에 고정되어 있다면 그리고 토류벽체가 지지력이 충분한 지반에 지지되어진다면 이론적으로는 크립변형에 의하여 발생하는 변형이다. 그러나 토사지반에 정착되어 있고 정착장의 위치가 벽체에 가깝게 설치되어지면 토압증가에 따른 강선의 탄성변형이 증가하지 못하고 정착장이 주변지반과 함께 변형을 발생한다. 앵커의 Mass 변형은 식 2와 같이 정의하며 이러한 변형은 앵커토류벽의 계측결과를 보면 쉽게 이해할 수 있다.

$$\Delta_{mass\ movement} = \Delta_{anchor\ head} - \Delta_{elastic\ elongation} \quad (2)$$

### 4. 시공사례에 따른 앵커토류벽의 Mass 변형특성

#### 4.1 사질토 지반에서의 시공사례

TAMU 시공사례는 사질토 지반을 대상으로 엄지말뚝과 목재토류판으로 지지된 흙막이벽체에 앵커를 일열(TAMU1)과 이열(TAMU2)로 각각 시공한 흙막이 현장시험 시공사례이며 Bonneville 시공사례는 콘크리트 연속벽을 앵커로 지지한 사례이다. 이들 시공사례는 사질토 지반에 시공된 앵커토류벽의 거동을 확인할 수 있는 현장 시공사례로 볼 수 있다. TAMU 흙막이 시공사례와 Bonneville 시공사례의 현장시험결과를 통하여 앵커 정착부의 이동으로 인하여 발생하는 앵커토류벽의 Mass 변형을 파악하였다. 표 1-4는 TAMU와 Bonneville 시공사례의 시공조건을 나타낸 것이다.

표 1 TAMU와 Bonneville 시공사례의 지반조건

Case	TAMU	Bonneville
단위중량	18.1 kN/m <sup>3</sup>	19.6 kN/m <sup>3</sup>
내부마찰각	32°	30°
벽마찰각	16°	10°
점착력	n/a	n/a
비배수 전단강도	n/a	n/a
SPT 값	15 blows/0.3m	15 blows/0.3m

표 2 TAMU와 Bonneville 시공사례의 벽체조건

Case	TAMU1	TAMU2	Bonneville
굴착깊이	7.62 m	7.62 m	12.8 m
근입깊이	1.52m	1.52m	2.4 m
플랜지 폭	0.26 m	0.155 m	0.91 m
휨강성	35875 kN-m <sup>2</sup>	11479 kN-m <sup>2</sup>	4.6 × 10 <sup>5</sup> kN-m <sup>2</sup>
축강성	2.6 × 10 <sup>9</sup> kN	1.45 × 10 <sup>9</sup> kN	-
앵커 설치간격	2.44m	2.44m	3.35m

표 3 TAMU 시공사례의 앵커조건

No.	자유장 길이	정착장 길이	선행하중	축강성
TAMU1(1)	5.6 m	7.3 m	305 kN	2.025 × 10 <sup>4</sup> kN/m
TAMU2(1)	5.5 m	7.3 m	183 kN	8785 kN/m
TAMU2(2)	5.6 m	7.3 m	160 kN	10124 kN/m
설치각도			30°	

표 4 Bonneville 시공사례의 앵커조건

No.	자유장 길이	정착장 길이	선행하중	축강성
1	22.6 m	9.1 m	417 kN/m	959 kN/m/0.3m
2	19.5 m	9.1 m	417 kN/m	1080 kN/m/0.3m
3	16.2 m	9.1 m	417 kN/m	1255 kN/m/0.3m
4	11.3 m	9.1 m	530 kN/m	1642 kN/m/0.3m
설치각도			20°	

굴착에 따른 토압증가로 인하여 앵커 정착부에서 발생하는 앵커토류벽의 Mass 변형은 앵커 정착장의 위치가 벽체에 근접하여 굴착이 진행됨에 따라 증가하는 토압을 앵커로서 지지하지 못하여 발생하는 변형이다. 그러므로 앵커토류벽의 Mass 변형은 앵커 정착부의 시공위치와 밀접한 관계가 있다. 그림 5-6은 사질토 지반에 시공된 TAMU와 Bonneville 시공사례의 앵커의 위치를 나타낸 것이다.

#### 4.2 사질토 지반에 시공된 앵커토류벽의 Mass 변형특성

사질토 지반에 시공된 앵커토류벽의 Mass 변형특성을 알아보기 위하여 TAMU와 Bonneville 시공사례를 이용하였다. 앵커토류벽의 굴착시공 후 토압증가로 인하여 발생하는 앵커 정착부의 Mass 변형은 앵커 정착부의 위치와 지반 침하로 인하여 발생한다. TAMU 시공사례의 경우, 지반 침하로 인하여 발생하는 벽체의 Mass 변형은 제외되었으며 현장시험을 통하여 파악된 앵커토류벽의 Mass 변형은 표 5와 그림 7에 제시되었다. 또한 Bonneville 시공사례는 표 5와 같다.

표 5와 그림 7의 현장시험결과와 같이 TAMU1 앵커토류벽의 경우, 최종 굴착깊이 7.62 m에서 5.6 mm의 Mass 변형을 발생시켰으며 TAMU2 앵커토류벽에서는 최종 굴착단계에서 각각 18 mm와 12 mm의 Mass 변형이 발생함을 확인할 수 있었다.

표 5 TAMU와 Bonneville 시공사례의 앵커토류벽의 Mass 변형

No	Case	굴착깊이 (m)	Mass 변형 (mm)	(Mass 변형/굴착깊이) *10000
1	TAMU One Row-Anc 1	7.62	5.6	7.30
2	TAMU One Row-Anc 1	6.4	1.5	2.30
3	TAMU One Row-Anc 1	5.2	1.8	3.40
4	TAMU One Row-Anc 1	4.3	1.5	3.60
5	TAMU Two Row-Anc 1	4.3	2.5	5.90
6	TAMU Two Row-Anc 1	5.2	3.8	7.30
7	TAMU Two Row-Anc 1	6.4	7.1	11.10
8	TAMU Two Row-Anc 2	6.4	1.8	2.70
9	TAMU Two Row-Anc 1	7.62	18	24.00
10	TAMU Two Row-Anc 2	7.62	12	15.70
11	Bonneville-Anc1	12.8	0	0
12	Bonneville-Anc2	12.8	0	0
13	Bonneville-Anc3	12.8	0	0
14	Bonneville-Anc4	12.8	0	0

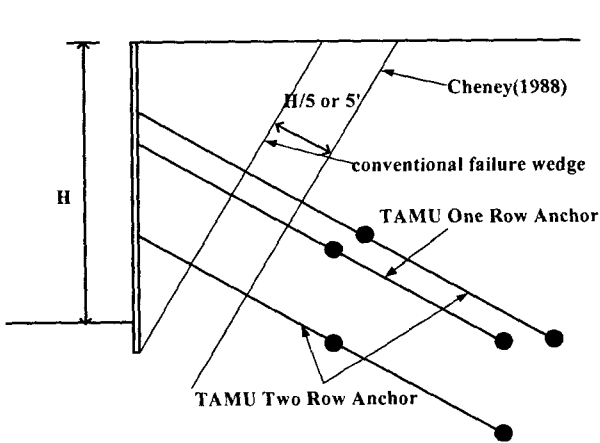


그림 5. TAMU 앵커토류벽의 앵커위치

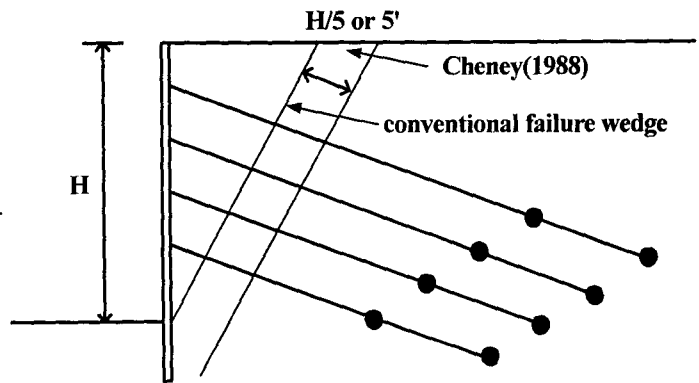


그림 6. Bonneville 앵커토류벽의 앵커위치

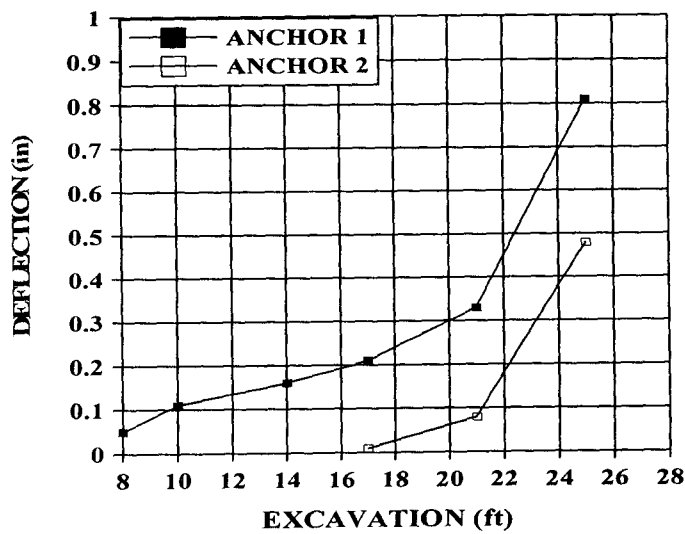


그림 7. TAMU2 앵커토류벽의 Mass 변형특성

### 4.3 점토 지반에서의 시공사례

Ohio와 Boston 시공사례는 점토 지반에 시공된 앵커토류벽에 관한 사례로서 Ohio 시공사례의 경우, 엄지말뚝과 목재토류판으로 이루어진 벽체에 콘크리트 페이싱과 영구앵커를 시공한 사례이며 Boston 시공사례 또한 엄지말뚝과 목재토류판으로 시공된 벽체를 앵커로 지지한 시공사례이다. 본 시공사례가 현장에서 수행되는 동안, 계측장비를 통하여 흙막이 구조물의 거동을 모니터링하였다. 또한 본 시공사례를 통하여 점토지반에 시공된 앵커토류벽의 Mass 변형특성을 파악하였다. 표 6-9는 Ohio와 Boston 시공사례의 시공조건을 나타낸 것이며 그림 8-9는 Ohio 시공사례와 Boston 시공사례에서의 앵커의 위치를 나타낸 것이다.

표 6 Ohio와 Boston 시공사례의 지반조건

Case	Ohio	Boston
단위중량	21.1 kN/m <sup>3</sup>	21.2 kN/m <sup>3</sup>
내부마찰각	35°	45°
벽마찰각	12°	23°
점착력	16.3 kN/m <sup>2</sup>	n/a
비배수 전단강도	2.5	448 kN/m <sup>2</sup>
SPT 값	158 kN/m <sup>2</sup>	n/a

표 7 Ohio와 Boston 시공사례의 벽체조건

굴착깊이	8.2 m	8.2 m
근입깊이	4.6 m	4.6 m
직경	0.76 m	0.76 m
휨강성	5.4 × 10 <sup>4</sup> kN-m <sup>2</sup>	4.1 × 10 <sup>4</sup> kN-m <sup>2</sup>
축강성	2.7 × 10 <sup>6</sup> kN	2.3 × 10 <sup>6</sup> kN
앵커설치간격	1.8m	3m

표 8 Ohio 시공사례의 앵커조건

No.	자유장 길이	정착장 길이	선행하중	축강성
1	9.1 m	6.1m	311 kN	1.3 × 10 <sup>4</sup> kN/m
2	9.1 m	6.1m	311 kN	1.3 × 10 <sup>4</sup> kN/m
설치각도			20°	

표 9 Boston 시공사례의 앵커조건

No.	자유장 길이	정착장 길이	선행하중	축강성
1	7.3 m	7.6m	556 kN	10325 kN/m
2	10 m	6.1m	667 kN	8750 kN/m
1	11.0 m	5.8m	676 kN	8400 kN/m
2	6.1 m	4.6m	467 kN	13825 kN/m
1	6.1 m	4.6m	538 kN	13825 kN/m
2	6.1 m	4.6m	538 kN	13825 kN/m
설치각도			25°	

### 4.4 점토 지반에 시공된 앵커토류벽의 Mass 변형특성

점토 지반에 시공된 앵커토류벽의 Mass 변형특성을 알아보기 위하여 Ohio 시공사례와 Boston 시공사례를 이용하였다. Ohio와 Boston 시공사례에서는 앵커토류벽 시공과정에서 계측장비를 이용하여 벽체의 거동을 파악하였다. 표 10은 Ohio 시공사례의 앵커토류벽의 Mass 변형특성을 나타낸 결과이며 표

11과 그림 10은 Boston 시공사례의 Mass 변형특성을 나타낸 결과이다. Ohio 시공사례의 경우, 굴착깊이 8.2 m에서 1단과 2단 앵커에서 유발된 Mass 변형이 0.8 mm였으며 Boston 시공사례는 최종 굴착깊이인 16.5 m에서 유발된 Mass 변형이 각각 19.0 mm, 15.2 mm, 10.2 mm, 6.9 mm와 1.3 mm로 파악되었다.

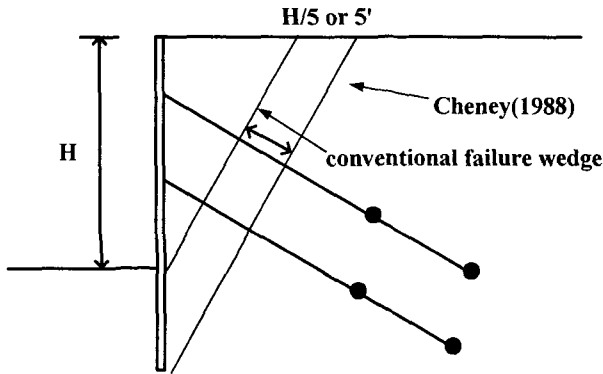


그림 8. Ohio 시공사례의 앵커 위치

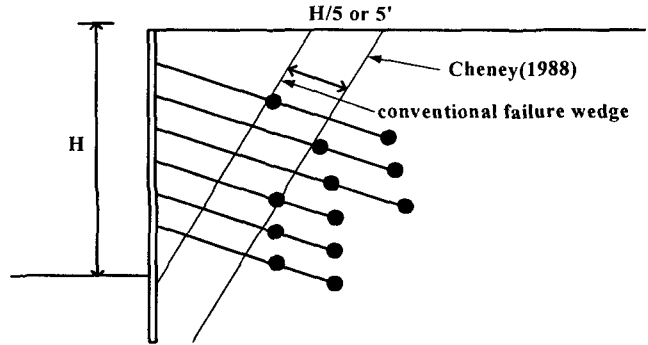


그림 9. Boston 시공사례의 앵커 위치

표 10 Ohio 시공사례의 앵커토류벽의 Mass 변형

No	Case	굴착깊이 (m)	Mass 변형 (mm)	(Mass 변형/굴착깊이) *10000
15	Ohio-Anc1	8.2	0.8	0.90
16	Ohio-Anc2	8.2	0.8	0.90

표 11 Boston 시공사례의 앵커토류벽의 Mass 변형

No	Case	굴착깊이 (m)	Mass 변형 (mm)	(Mass 변형/굴착깊이) *10000
17	Boston-Anc1	16.5	19	11.60
18	Boston-Anc2	16.5	15.2	9.30
19	Boston-Anc4	16.5	10.2	6.20
20	Boston-Anc5	16.5	6.9	4.20
21	Boston-Anc6	16.5	1.3	0.80
22	Boston-Anc1	14.6	13	8.80
23	Boston-Anc2	14.6	11	7.30
24	Boston-Anc4	14.6	5.6	3.80
25	Boston-Anc5	14.6	1.8	1.20
26	Boston-Anc1	11.6	8.9	7.70
27	Boston-Anc2	11.6	6.1	5.30
28	Boston-Anc4	11.6	1	0.90
29	Boston-Anc1	9.1	7.6	8.30
30	Boston-Anc2	9.1	5.8	6.40

그림 11은 사질토 지반에 시공된 TAMU와 Bonneville 사례와 점토 지반에 시공된 Ohio와 Boston 사례에 대한 앵커토류벽의 Mass 변형을 정규화한 결과이다. 그림 11에서와 같이 앵커의 정착부가 벽체에 가까울수록 앵커토류벽의 Mass 변형이 더욱 증가함을 알 수 있었다.

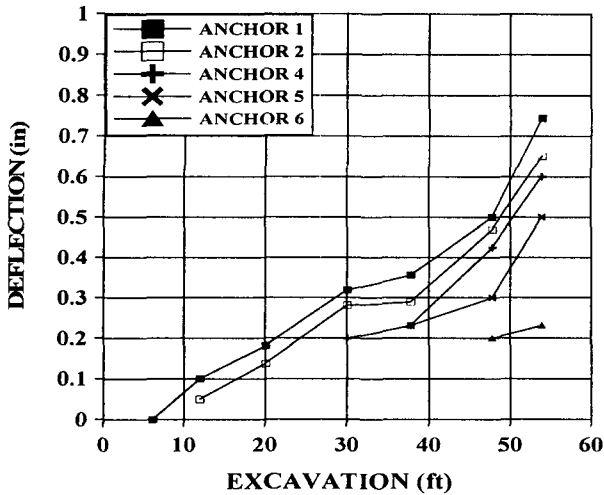


그림 10. Boston 시공사례의 Mass 변형특성

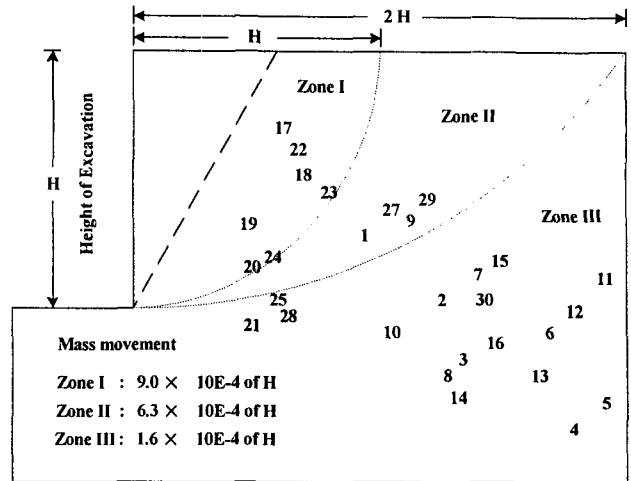


그림 11. 시공사례별 Mass 변형의 정규화 결과

## 5. 결론

본 연구에서는 앵커로 지지된 흙막이 시공사례들을 이용하여 앵커의 정착장 위치에 따른 Mass 변형을 정의하고 정규화된 도표를 제시하였다. 본 연구의 결론은 다음과 같다.

- 1) 사질토 지반과 점토 지반의 시공사례를 통하여 앵커로 지지된 흙막이의 굴착시공에서 유발되는 벽체의 Mass 변형특성을 알아보았다. 앵커토류벽의 Mass 변형은 앵커의 정착부가 벽체에 가까울수록 크게 유발되는 것으로 파악되었다.
- 2) 탄소성 보법을 통한 흙막이벽체의 변형해석은 그 결과가 과소평가될 수 있으며 앵커로 지지된 흙막이 구조물의 Mass 변형이 고려된 흙막이벽체의 변형해석이 필요하다고 판단된다.
- 3) 앵커 위치에 따른 흙막이 구조물의 변형에 관한 유한요소해석이 추후 연구되어야 한다고 사료된다.

## 참고문헌

1. 김낙경(1998), "Measured Performance of Tieback Walls in Sand", 한국지반공학회지, 제14권, 제3호.
2. Briaud, J.L. and Kim, Nak-Kyung(1998), "Beam-Column Method for Tieback Walls", ASCE, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.124 No.1, pp67-79.
3. Haliburton, T.A.(1968), "Numerical Analysis of Flexible Retaining Structures", *Proc. ASCE*, 94(SM3), pp. 1233-1251.
4. Hetenyi(1946), *Beams on elastic foundation*, University of Michigan Press.
5. Pfister, P., Ever, G., Guillaud, M. and Davidson, R.(1982), "Permanent Ground Anchors, Soletanche Design Criteria", *FHWA/RD-81/150*, Federal Highway Adm., Washington, D.C.