

일반 가설앵커의 문제점과 개선방향

Ground Anchor Testing on Temporary Excavations

김성규¹⁾, Sung-Kyu Kim, 김낙경²⁾, Nak-Kyung Kim, 김정렬³⁾, Jeong-Ryeol Kim

¹⁾ (주)삼우기초기술 기술부 대리, Staff Engineer, Samwoogeotech Co., Ltd.

²⁾ 성균관대학교 토목공학과 조교수, Assistant Professor, Dept. of Civil Engrg., Sungkyunkwan Univ.

³⁾ (주)삼우기초기술 사장, President, Samwoogeotech Co., Ltd.

SYNOPSIS : For temporary excavation support in a congested urban area, the strand of ground anchor should be removed to get permission of the private land to install anchors. But the strand doesn't need to be removed in the outside city area after use. So the anchor body, tension anchor, is fabricated in-situ. The unbonded length of This anchor has several strands, which wrap only one sheath. When the anchor body is carried into job-site or installed in the bore hole, the sheath is torn easily because it is a very weak material. So the grout permeate into the torn sheath. Because of that, the load doesn't transfer to the bond length of ground anchors. It may indicate that load is being transferred along the unbonded length and thus within the potential slip surface assumed for overall stability of the anchored system. The load tests were performed on seven low-pressure grouted anchors installed in weathered soil to verify its problems. Four anchors(Type A) have the unbonded length, which consist of five strands and a weak sheath and three anchors(Type B) have strands, which is covered by plastic sheath filled with grease, in the unbonded length. Both anchors are compared with load tests results.

Key words : Tension anchor, Potential slip surface, Weathered soil, Load test

1. 서론

앵커 공법은 토목이나 건축 구조물을 지반에 정착시키기 위하여 고강도의 강재에 높은 긴장력을 도입하여 구조물에 횡, 연직방향의 구속력 또는 선행 하중을 가하기 위한 효과적인 공법으로 국내외적으로 활발히 적용되고 있다. 최근 도심지 현장에서는 제거앵커가 활발히 적용되고 있으나 도심지 이외의 현장과 같이 인장재 제거가 불필요한 곳에서는 매설형 일반앵커가 적용되고 있다. 제거앵커체와는 달리 매설형 일반앵커의 경우 현장에서 제작(이하 type A)되어 시공되고 있으며 앵커 자유부를 하나의 쉬스관을 이용하여 자유화 시킨다는 것이 큰 특징이다. 쉬스관의 재질이 고강도가 아니므로 앵커체 삽입시 쉬스관이 손상되어 그라우트 주입시 앵커 자유부에 그라우트가 주입되는 사례가 빈번하게 발생되고 있다. 앵커 자유부가 구속되면 앵커 두부에서 가해지는 하중을 토류벽의 주동토압을 밖으로 전달시키지 못하며 그 결과 흙막이 벽체에 과도한 변형이 발생되어 굴착배면의 균열 및 함몰, 공공매설물의 파손을 야기시킬 수 있다. 따라서 이와 같은 현장조립 일반 매설형 앵커의 문제점인 자유부 구속, 구속되었던 자유부의 해방으로 인한 하중손실 등을 앵커시험을 통해 계측하고 앵커 자유부가 고강도 쉬스관에 의해 개별적으로 보호된 앵커체(이하 type B)를 동일 현장에 시공 및 시험을 수행하여 두 앵커의 거동 특성을 비교하고 문제점들을 관찰하였다.

2. 그라운드앵커시험

2.1 대상현장 특징 및 시험앵커

본 연구의 대상현장은 인천시 서구에 위치한 철도 역사 가시설 현장으로 정착지반은 풍화토층(N치 30-50)으로 이루어져 있다. 지층분포는 그림 1과 같이 상부로부터 매립층, 실트질 점토, 풍화토, 연암층으로 구성되어 있고 최대 굴착심도는 GL.-9m이고 지하수위는 GL.-5m에 위치하고 있다. 본 현장에서는 이미 설치된 Type A 앵커채 4공에 대해 앵커시험을 수행하였다. Type A 앵커의 문제점이 자유부 구속과 구속된 자유부가 해방되면서 발생하는 정착하중 감소이다. 따라서 자유장 부위의 인장재가 각각 개별 슈스관으로 보호되어 있고 그 안쪽에 그리스가 도포된 Type B 앵커채를 3공 시험시공하였으며 앵커 시험을 통해 Type A 앵커 비교하였다. 현장시험에 사용된 앵커의 제원은 표 1과 같다.

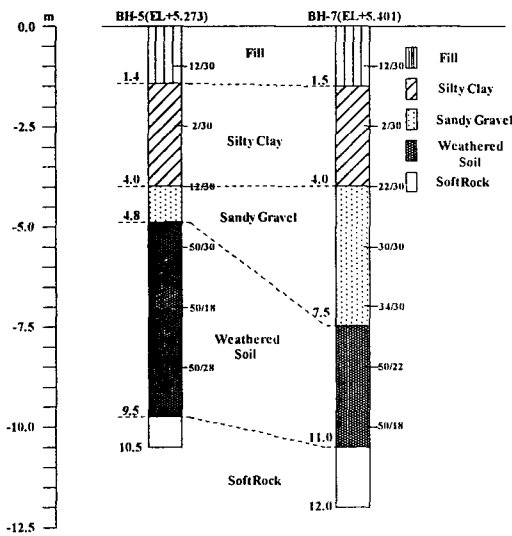


그림 1 지층 주상도

표 1 시험앵커의 제원

Anchor No.	Length of the Anchor (m)	Unbonded Length (m)	Bonded Length (m)	No. of strand	Remarks
1	16.5	11.5	5.0	5	Type A
2	"	"	"	"	"
3	16.0	11.0	"	"	"
4	20.0	14.0	6.0	"	"
5	"	"	"	"	Type B
6	16.0	11.0	5.0	"	"
7	"	"	"	"	"

2.2 그라운드 앵커 현장시험

일반적으로 수행되는 그라운드 앵커현장시험은 그 목적에 따라 인발시험, 확인시험 및 인장시험이 있으며 특수한 경우에 한하여 크립시험을 수행하게 된다. 인발시험은 실제의 앵커 시공에 앞서 설계조건에서 제시한 지반조건, 사용재료, 안전율 등에 의한 앵커의 품질, 설계의 정확성 등을 조사·증명하기 위해서 실시되고 확인시험은 앵커가 지반에 정착되어졌는지를 확인하는 단기간의 시험으로 앵커 Jacking force 까지 하중을 가하여 확인하는 시험이다. 총 앵커 개수의 5%에 대해 수행하여 단기 반복 하중에 대한 앵커의 설계 내력을 측정하는 인장시험 및 시간 변화에 따른 장기 거동을 측정하는 크립시험 등이 있다.

본 현장에서는 인장시험이 수행되었으며 시험절차는 그림 2와 같다. 시험은 5단계로 나누어 수행되고 각 단계마다 초기하중(alignment load)으로 되돌아와서 다음 하중 단계로 넘어가는 반복 인장 특징이 있으며 1.0P(1.33DL 또는 jacking force 중 큰 값) 까지 측정한다. 초기하중 하에서 변형을 zero로 하고 시험계획에 따라 시험을 실시하여 총 변형을 측정한다. 최초 초기하중에서의 변형과 반복 하중이 수행된 이후의 초기하중에서 변형의 차이가 잔류 변형이며 초기하중에서의 총 변형과 계산된 잔류변형의 차이가 탄성 변형이다. 측정 시간은 일본의 앵커기술협회의 안에 따르면 이력 하중 하에서는 2분 이상, 처녀 하중 하에서는 5분 이상 지속시키며 지반 유형에 따라 표 2와 같이 시간을 지속시키면 된다. 또 시험은 앵커 개수의 5%에 대해 수행되어지나 계획 앵커의 배치 형상, 타설 지반 타입이 바뀔 때마다 적용된다.

인장시험에서 측정되어지는 것은 하중과 변형량이며 본 현장시험에서는 하중을 하중계, 앵커 두부에서 발생된 변형량을 LVDT를 이용하여 실시간으로 측정하였다(그림 3).

Load	Load	Load	Load	Load	Load
AL	AL	AL	AL	AL	AL
	0.4 P	0.4 P	0.4 P	0.4 P	
		0.6 P	0.6 P	0.6 P	
			0.8 P	0.8 P	
				1.0 P	

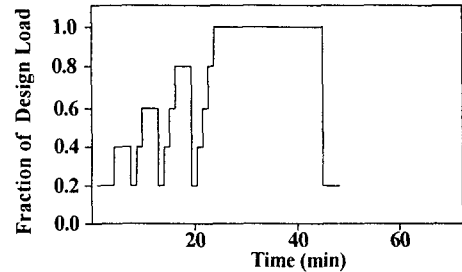
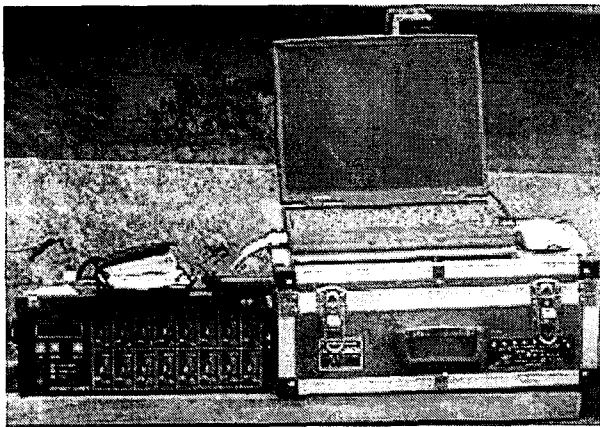


그림 2 인장시험 절차

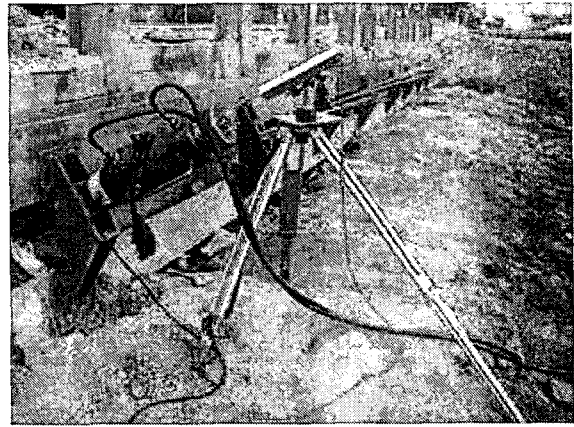
여기서, AL(Alignment Load) = 초기 하중(0.2P), P = Jacking Force 또는 1.33DL 중 큰 값

표 2 지반 유형에 따른 처너 하중 하에서 하중 지속 시간

지반 유형	Δt
압반 및 비점성토	5분 이상
약간 점성을 가진 지반 및 과압밀점토	15분 이상
정규압밀상태의 점토 및 점토질실트	30분 이상



a) 실시간 data logger



b) Load cell 및 LVDT set

그림 3 그라운드앵커 현장시험 전경

3. 현장시험 결과

3.1 하중-변위 관계곡선

본 현장에 설치된 총 7공의 앵커에 대해 인장시험을 수행했으며 시험 결과는 하중과 변형의 관계로써 나타낼 수 있다. 그림 4(a)의 그래프는 No.2 앵커에 대하여 인장 시험을 수행하여 얻은 하중과 변형의 관계의 그래프이다. 또한 그림 4(b)의 그래프는 전체 변형(total movement)을 앵커의 잔류변형

(residual movement)과 탄성 변형(elastic movement)으로 나누어 나타낸 것으로서 여기서 복원 가능한 탄성 변형은 대부분 앵커의 강선에서 발생하는 변형을 말하며 잔류 변형은 복원이 불가능한 소성변형이다. 잔류 변형의 측정은 단계별 하중을 재하하며 하중과 변형을 측정하고 후 초기 하중으로 하중을 감소시켰을 때 복원이 되지 않는 변형을 측정하면 된다.

또한 탄성 변형은 전체 하중에서 잔류 변형을 제외한 변형이다. 이와 같이 분류된 잔류변형과 탄성변형은 앵커의 극한 강도(ultimate load)를 산출하는데 사용되며 잔류 변형이 앵커 직경의 1/10 또는 전체 변형이 잔류 변형과 식에 의해 산정된 탄성 변형(PL_e/AE)의 합을 초과 할 때의 하중을 극한 하중이라 한다(Briaud 등, 1998). 또한 앵커두부에서 발생하는 변형량으로부터 식(1)과 같이 구한 길이를 겹보기자유길이(L_{af} , apparent free length)라 하며 전체변형량과 탄성변형량을 이용하여 각각 구할 수 있고 최소 및 최대겹보기자유길이를 규정하여 앵커의 합격 여부를 판단하는 기준으로 사용되고 있다.

$$L_{af} = \frac{EA(l_x - l_i)}{(P_x - P_i)} \quad (1)$$

여기서 L_{af} = 실제 자유장, A = 강연선의 단면적, E = 강선의 탄성계수

l_x, l_i = 각각 단계별 최대하중 및 초기하중에서의 변위

P_x, P_i = 각각 단계별 최대하중 및 초기하중

그라운드 앵커 현장시험으로부터 얻어진 겹보기 자유길이가 최소 겹보기 자유길이보다 클 경우 앵커 자유장이 적절하게 확보되었음을 의미하며 가설앵커의 경우 최소치를 실제 자유길이의 80%, 영구앵커의 경우에는 90%로 규정하고 있다. 그러나 겹보기 자유길이가 규정된 최소 겹보기 자유길이 보다 짧을 경우 하중이 자유장 부위 즉, 주동토압웨찌 내에서 하중이 전이되고 있다는 것을 의미한다. 또 앵커 두부에 가해지는 하중이 점차 증가하면 정착장에서 전이되는 하중 중심이 정착장 후미로 점차 이동하게 된다. 따라서 겹보기 자유길이의 최대치를 자유장 길이에 정착장 길이 1/2을 더한 길이로 규정하고 있다.

총 7공의 앵커에 대해 시험을 수행한 결과 Type A 앵커의 경우에는 전체변형량은 최소, 최대치 내에 위치하지만 탄성변형량은 최소치를 벗어나는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 앵커 자유부는 구속되어 있으나 구속된 자유부가 풀리면서 발생하는 소성변형량이 커 전체변형량에 포함되어 있기 때문이다. Type B 앵커(그림 5)의 경우에는 소성변형량인 적게 발생되었으며 전체 및 탄성변형량 모두가 최소, 최대치 내에 위치하고 있다. 또 자유부 구속여부를 확인하기 위해 각 하중단계에서 측정된 탄성변형량을 이용하여 정확한 겹보기 자유길이를 구하였다.

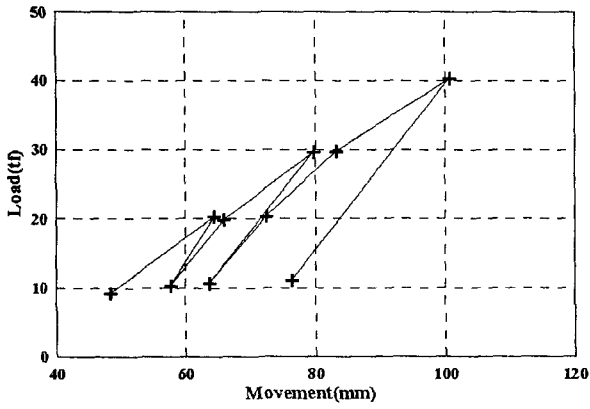
그림 6은 앵커 인장시험 동안 각 하중 단계에서 탄성변형량을 이용하여 구한 겹보기 자유 길이 대한 실제자유길이 비($R_f = L_{af} / L_f$)를 나타내고 있다. type A의 경우에는 R_f 값이 0.40 - 1.04, type B의 경우에는 0.96 - 1.13으로 나타났다. 일반적으로 앵커 현장시험에서 얻어진 탄성변형량으로부터 계산된 겹보기자유길이는 앵커의 실제 자유 길이보다 약간 크게 계산되어진다(김낙경, 2001).

표 3은 앵커시험에서 구한 극한 강도를 나타낸 것이며 지반마찰계수는 유효 상재하중과 최대 마찰력의 비로써 표현 할 수 있다. 최근의 연구결과를 보면 김낙경 등(2001)은 N치 30 - 50인 풍화토 지반에서 지반 마찰 계수값을 평균적으로 1.7을 얻었으며 시험결과로부터 구한 K 값은 식 (2)를 이용하여 극한하중을 산정시 정착장 전체에 대한 평균값 개념의 K값으로서 제한적이거나 유사한 지반조건하에서 사용할 수 있다고 제안하였다. 현장시험으로부터 얻은 K 값은 type A의 경우 평균 0.93, type B의 경우 평균 1.99이다.

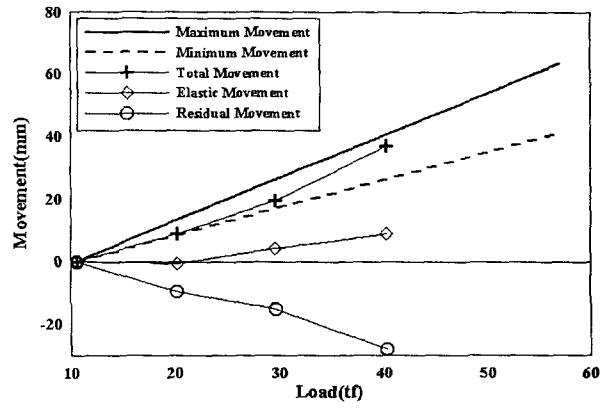
$$Q_{uf} = \pi D L_a f_{max} \quad (2)$$

$$f_{max} = \alpha S_u \text{ (점성토)}$$

$$f_{\max} = K\sigma_{ov} \text{ (사질토)}$$

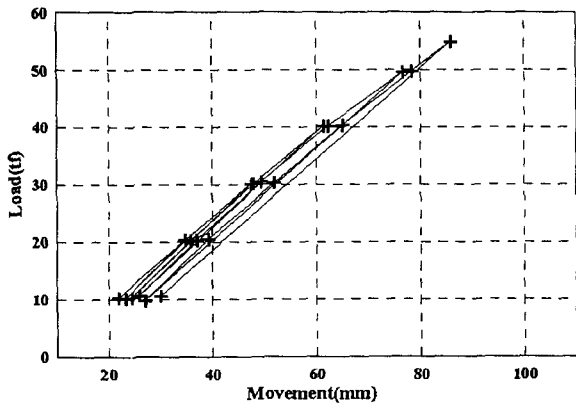


a) 하중변위곡선

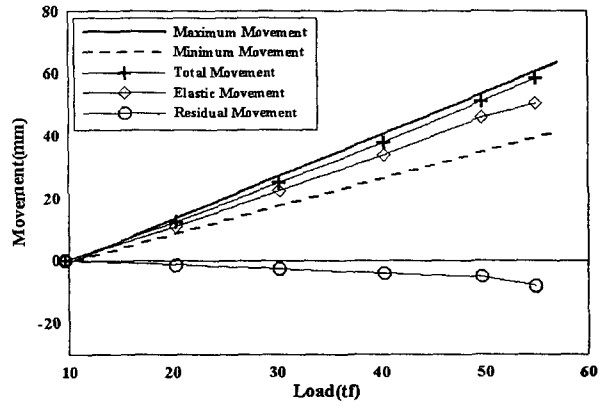


b) 합성변형그래프

그림 4. No.2 Anchor(Type A)



a) 하중변위곡선



b) 합성변형그래프

그림 5. No.7 Anchor(Type B)

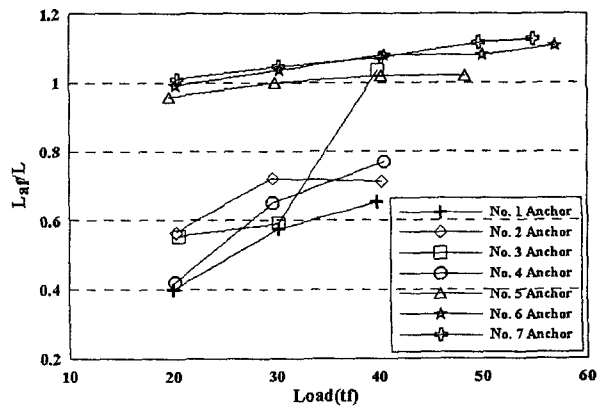


그림 6. 각 하중 단계에서의 R_f 값

표 3 하중-변형 곡선에 의한 극한 하중

Anchor No.	Q_{ult} (tf)	L_a (m)	L_f (m)	σ_{ov} (kPa)	f_{max} (kPa)	K (f_{max}/σ_{ov})	Remarks
1	31	5.0	11.5	15.2	19.7	1.29	Type A
2	21	"	"	"	13.4	0.88	"
3	21	"	11.0	14.7	13.4	0.91	"
4	22	6.0	14.0	18.1	11.7	0.65	"
5	57	"	"	18.1	30.2	1.66	Type B
6	50	5.0	11.0	14.7	31.8	2.16	"
7	50	"	"	14.7	31.8	"	"

3.2 단기크립시험

그라운드 앵커의 설계내력은 단기크립치를 이용해서 판단할 수 있으며 확인시험과 인장시험을 수행하여 측정할 수 있다. 확인시험에서의 크립은 사질토나 암반에 설치한 앵커에서는 2~5분 사이에 발생된 변위가 0.2mm(크립치 0.5mm) 그리고 점성토에 설치한 앵커에서는 5~15분간에 발생된 변위가 0.25mm(크립치 0.5mm) 보다 적을 때 허용된다. 또 인장시험을 수행했을 때는 사질토나 암반에 설치한 앵커는 5~10분 사이에 발생된 변위가 0.5mm(크립치 0.5mm), 점성토에 설치된 앵커에서는 5~30분간에 발생된 변위가 0.8mm(크립치 1.0mm) 보다 적을 때 설계내력이 있는 것으로 판단하고 있다(이상덕, 1997).

또한 확인시험과 인장시험을 수행한 경우 최대하중에서 1~10분 동안의 변위가 1mm이하 일 때 이를 초과했을 때에는 6~60분 사이의 변위가 2mm 이하일 때 허용하고 있으며 크립시험(extended creep test)에서는 시간 로드사이클당 2mm이하 변위 까지 허용하고 있다(PTI, 1966).

크립 계수(Creep Coefficient, K)는 다음 식(3)과 같이 구할 수 있다.

$$K_{\Delta} = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\log(t_2 - t_1)} \quad (3)$$

표 4 단기크립시험에 의한 크립치

No.	시험최대하중 (tf)	2분 변형량 (mm)	5분 변형량 (mm)	크립치(mm)		비고
				측정치	허용치	
1	40	67.310	67.603	0.614	> 0.5	Type A
2	40	81.736	82.035	0.627	> "	"
3	45	67.881	69.632	3.670	> "	"
4	40	50.588	51.632	2.188	> "	"
5	40	86.216	86.228	0.025	< "	Type B
6	40	66.440	66.477	0.078	< "	"
	50	80.594	80.845	0.526	< "	"
7	40	61.537	61.647	0.231	< "	"
	50	77.010	77.541	1.113	> "	"

크립치에 의한 앵커 설계내력에 대한 허용 여부를 확인하기 위해 Type A 앵커와 Type B 앵커에 대해 단기 크립시험을 수행하였다. 시험은 최대하중에서 2~5분 동안의 변형량을 이용하였으며 계산된 크립치는 표 4와 같다.

시험결과 Type A 앵커의 경우에는 모두 크립치가 허용치를 벗어났으며 Type B 앵커의 경우에는 No.7 앵커가 시험 최대하중인 50tf에서 허용치를 벗어난 것으로 계산되었다. Type A 앵커에 발생된 크

립은 지반-그라우트 사이의 크립과 구속되었던 자유부가 하중이 재하되었을 때 해방되면서 발생하는 크립량이 더해진 결과이다.

4. 결론

본 연구는 최근 활발히 시공되고 있는 가시설 현장에 지보공으로 사용되고 앵커의 시공상의 문제점들을 현장시험을 통해 분석하고 개선방향을 제시하는데 목적을 두었다.

본 시험을 통해 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 현장에서 앵커시험으로부터 앵커두부에서 얻어지는 합성변형량은 강연선의 탄성변형량과 소성변형인 잔류변형량이 포함된 값이다. 따라서 합성변형량으로부터 잔류변형량을 배제한 탄성변형량을 이용하여 앵커의 설계내력과 앵커 자유부 구속여부를 확인할 수 있었다.
2. 앵커의 자유부가 하나로 구속되어 쉬스관에 삽입되어 있는 앵커의 경우 R_f 값이 1보다 작으며 하중이 점차 증가할수록 구속되었던 자유부가 해방되면서 소성변형량이 더욱 크게 발생한다. 그 결과 앵커의 극한 인발력과 지반마찰계수 값이 작게 계산되어 진다. 또 자유부가 확보된 앵커에서의 크립변형량은 대부분이 지반-그라우트 사이에서 발생되고 있으나 자유부가 구속된 앵커체의 경우에는 구속된 자유부의 해방에 의한 크립변형량이 지배적임을 확인하였다.
3. N치가 30-50인 풍화토 지반에 일반가설앵커로 시공된 토류벽 과도한 수평변위의 주원인은 앵커 자유부가 하나로 구속되어 쉬스관에 삽입되어 있음을 앵커시험으로부터 확인하였다. 따라서 앵커토류벽 현장에서 과도한 수평변위를 줄이기 위해서는 최소한 자유부가 확보될 수 있도록 Type B 가설앵커와 같이 개별의 강선을 쉬스관으로 보호되어 있는 앵커를 사용하여 시공을 해야 한다.

참고문헌

1. 김낙경 (2001), “풍화토 지반에 설치된 앵커의 인발특성”, 한국지반공학회논문집 17권 4호, pp. 231~239.
2. 김낙경 (2001), “Load Transfer of Tension and Compression Anchors in Weathered Soil”, 한국지반공학회논문집 17권 3호, pp. 59~68.
3. 김낙경 (2000), “Load Transfer of Ground Anchors in Clay”, 한국지반공학회논문집 16권 3호, pp. 145~155.
4. 김낙경 (1998), “Measured Performance of Full Scale Tieback Walls in Sand”, 한국지반공학회 논문집 14권 3호, pp. 5~23.
5. 김낙경, 김성규 (2001), “압축형제거앵커의 개발 및 성능평가”, 한국지반공학회 봄학술발표회 논문집, pp. 339~346.
6. 김낙경, 박완서 (1999), “그라운드 앵커의 하중전이 현상에 관한 연구”, 한국지반공학회 가을학술발표회 논문집, pp. 441~448.
7. 김성규(2001), “압축형 그라운드 앵커의 하중 전이에 관한 연구”, 성균관대학교 대학원 석사학위논문
8. 박완서(2001), “풍화토 지반에 설치된 그라운드 앵커의 거동에 관한 연구”, 성균관대학교 대학원 석사학위논문
9. 석영철(1998), “영구앵커의 인발특성에 관한 연구”, 한양대학교 산업대학원 석사학위논문, pp2-12

10. 이상덕(1997), "토질시험-원리와 방법", 새론, pp476-487
11. (주)삼우기초기술(2001), "그라운드 앵커 인장 및 인발시험 보고서", (주)삼우기초기술
12. AASHTO (1990). "*Tieback specifications*", AASHTO-AGC-ARTBA Task Force 27, pp137-155
13. 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.
14. Briaud, Jean-Louis.(1998). "*Should Grouted Anchors Have Short Tendon Bond Length?*", ASCE, *J. of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering*, Vol.124,No.2, pp110-119.
15. FHWA-IF-99-015(1999), "*Ground Anchors and Anchored Systems*"
16. Kim, Nak-Kyung (2000), "*Load Transfer on Ground Anchors in Weathered Soil,*" Ground International Conf. on Improvement Technique, Singapore, pp. 217~226.
17. Long, J.H., Weatherby, D.E., and Cording, E.J. (1997). Summary Report of Research on Permanent Ground Anchor Walls, Vol.1, Current Practice and Limiting Equilibrium Analyses , *Report FHWA-RD-98-065*, FHWA, McLean, VA.
18. Ostermayer, H., Scheele, F. (1978). Research on ground anchors in non-cohesive soils , *Revue Franciase de Geotechnique* (3), pp92-9959.
19. PTI(1996), *Recommendations for Prestressed Rock and Soil Anchors* 3rd ed. Post tensioning Institute, Phoenix, Arizona.
20. Weatherby, D.E., Chung, M., Kim, Nak-Kyung, Briaud, J-L. (1997). Summary Report of Research on Permanent Ground Anchor Walls, Vol.2, Full-Scale Wall Tests and a Soil-Structure Interaction Model , *Report FHWA-RD-98-066*, FHWA, McLean, VA.
21. Weatherby, D.E. (1998). Summary Report of Research on Permanent Ground Anchor Walls, Vol.4, Conclusions and Recommendations , *Report FHWA-RD-98-068*, FHWA, McLean, VA.
22. Weatherby, D.E. (1982). Tiebacks, *Report FHWA/RD-82/047*, U.S. Dept. of Transportation, FHWA, McLean, VA.