

쓰레기 매립지에서 그라운드 앵커의 극한하중 및 하중분포

Ultimate Load and Load Distribution of Ground Anchor in Waste Landfill

김성규¹⁾, Sung-Kyu Kim, 조규완²⁾, Kyu-Wan Cho, 김웅규³⁾, Woong-Kyu Kim

1) (주)삼우기초기술 기술부 대리, Assistant Manager, Samwoogeotech

2) 삼성물산 건설부문 과장, Senior Manager, Samsung Engineering & Construction

3) 삼성물산 건설부문 대리, Assistant Manager, Samsung Engineering & Construction

SYNOPSIS : For anchored system applications, each ground anchor is tested after installation and prior to being put into service to loads that exceed the design. This load testing methodology, combined with specific acceptance criteria, is used to verify that the ground anchor can carry the design load without excessive deformations and that the assumed load transfer mechanisms have been properly developed behind the assumed critical failure surface. After acceptance, the ground anchor is stressed to a specified load and the load is locked-off.

The two types of load tests conducted during the research program included performance test and creep test which were carried out in accordance with testing procedures by AASHTO(AASHTO 1990) and FHWA(Weatherby 1998) at Samsung-Dong 00 Site. From the measurements, ultimate load and creep rate of anchors are proposed for straight shaft pressured grouted anchors in waste landfill. The load distribution on the grout was obtained from the measured strain data at each fraction of the ultimate load during the load tests.

Key words : Ground Anchor, Load Test, Load Distribution, Ultimate Load, Waste Landfill

1. 서 론

최근 건설현장에서 활발히 사용되고 있는 그라운드 앵커는 각각의 앵커가 서비스를 수행하기 전에 현장시험이 수행되고 이 결과로부터 합격 또는 불합격 여부가 결정된다. 본 연구는 쓰레기 매립토 지반에서 하중분산 압축형 앵커의 극한하중과 하중전이 분포를 규명하기 위해 삼성동 00 현장에서 앵커 현장시험을 수행하였다. 8개의 앵커를 내하체 개수와 간격을 달리하였으며 유압 천공장비를 이용하여 가압 그라우팅 방법으로 시공하였다. 현장시험 방법은 AASHTO에서 규정하고 있는 Performance Test와 Creep Test를 수행하였으며 단기 크립을 이용하여 쓰레기 매립토 지반에 설치된 하중분산압축형 앵커의 극한하중을 내하체 개수 및 간격에 따라 산정하였다. 또 Creep Test로부터 장기적인 하중감소량을 예측할 수 있는 크리프 계수를 산정하였다. 그라우트 하중분포를 확인하기 위해 내하체 후미 그라우트에 매립 게이지를 설치하여 단계별 하중이 재하될 때 마다 실시간으로 변형율을 계측하여 그라우트에 작용하는 하중분포를 확인하였다.

2. 그라운드앵커 극한설계력

인장형 앵커의 극한 설계력은 지반과 그라우트의 마찰응력, 그라우트와 강선의 부착강도, 강선의 인장

강도 중 가장 작은 값을 사용하며, 압축형 앵커의 극한 인발력은 지반과 그라우트의 마찰응력, 강선의 인장강도, 그라우트의 압축강도 중 가장 작은 값을 사용하게 된다(AASHTO, 1990; PTI, 1996).

지반과 그라우트 극한 마찰저항력(Q_{uf})은 식(1)과 같다.

$$Q_{uf} = \pi D L_a f_{\max}, \quad f_{\max} = K \sigma_{ov}' \text{ (사질토)}, \quad f_{\max} = \alpha S_u \text{ (점토)} \quad (1)$$

여기서, D 는 앵커 직경, L_a 는 정착장 길이, f_{\max} 는 지반과 그라우트 사이의 최대 마찰응력, K ($K_1 \tan \phi$, Littlejohn, 1980)는 마찰 계수(Coefficient of Friction), σ_{ov}' 는 앵커 정착장 중심부까지의 유효 상재 하중, α 는 점착 계수, S_u 는 비배수 전단강도이다.

강선의 인장력(Q_{us})은 식(2)와 같다.

$$Q_{us} = A_s f_{us} \quad (2)$$

여기서, A_s 는 강선의 면적, f_{us} 는 강선의 극한 인장강도이다.

강선의 부착력(Q_{ub})은 식(3)과 같다.

$$Q_{ub} = n \pi D_e L_b f_{ub} \quad (3)$$

여기서 n 은 강선의 개수이며, D_e 는 강선의 유효 직경, L_b 는 강선의 정착 길이, f_{ub} 는 강선과 그라우트의 부착응력이다.

그라우트의 극한 압축력(Q_{ug})은 식(4)과 같다.

$$Q_{ug} = \sigma_{ck} A_g \quad (4)$$

여기서 σ_{ck} 는 콘크리트 압축 강도, A_g 는 앵커의 전체 단면적에서 강선의 총 단면적을 제외한 순수한 그라우트의 단면적이다.

3. 그라운드앵커 현장시험 종류 및 시험절차

그라운드 앵커 현장시험은 BSI(BS8081)에서 제시하고 있는 시험방법, AASHTO (FHWA-IF-99-015)에서 제시하고 있는 방법 그리고 일본 그라운드앵커기술협회에서 제시하고 있는 방법 등으로 나눌 수 있다.

3.1 AASHTO(FHWA-IF-99-015)

그라운드 앵커의 합격 또는 불합격 여부는 Performance Test, Proof Test 및 Extended Creep Test 등의 결과에 의해 결정된다. Performance Test는 실제 시공된 앵커에 대해 단기 반복하중에 대한 앵커의 설계내력을 확인하는 시험으로 앵커 하중 크기, 하중-변위 거동관계, 앵커 변형 원인의 확인 그리고 실제 앵커의 자유 길이가 설계상에서 제시한 것과 유사한지를 확인하는 시험이다. 시험 하중은 설계하중의 120%에서 150%까지 다양하며 일반적으로 영구적으로 사용할 때는 설계축력의 133%, 가설로 사용될 때는 120%를 사용한다. 또 150%의 시험하중은 잠재적으로 크리프를 유발시킬 수 있는 지

반에서 적용된다. 시험하중에서 하중은 lock-off 하중까지 하중을 감소시키기 전에 10분 동안 유지 시킨다. 10분 하중을 유지시키는 동안 변형이 측정되어 1, 2, 3, 4, 5, 6 및 10분에서 기록되어진다(그림 1). Proof test는 하나의 하중 사이클로 시험하중에서 하중을 일정시간 유지시킨다. 적용된 하중의 크기는 적압력 게이지를 사용하여 측정된다. Proof test의 절차와 각 하중 사이클에서의 총 변형은 그림 3에서와 같다.

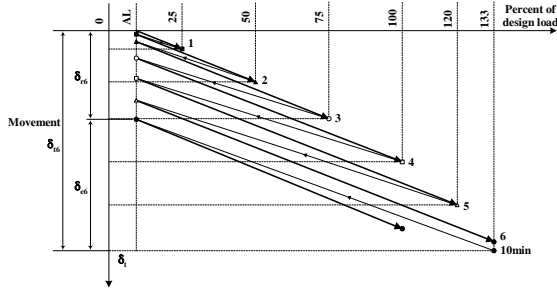


그림 1. Performance test

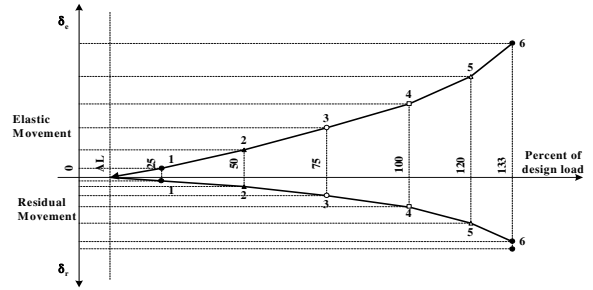


그림 2. Elastic and Residual Movement

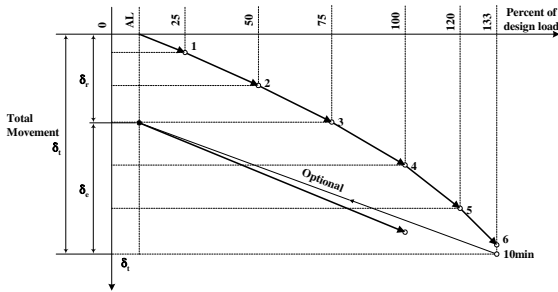


그림 3. Proof test

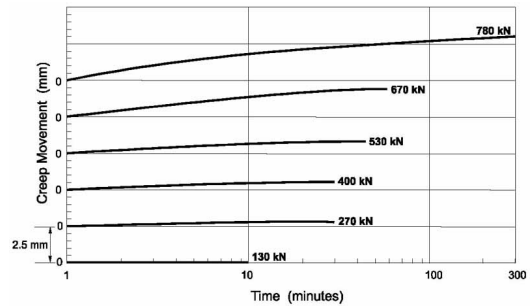


그림 4. Extended creep test

Extended creep test는 오랜 지속시간을 가지는 시험이다. 이 시험은 앵커의 크리프 변형을 측정하기 위한 시험이며 소성지수가 20이상이거나 액성한계가 50이상인 점성토 지반에 시공된 앵커에 요구되는 시험이다.

4. 현장시험

4.1 지반조건

본 시험 대상 지반은 상부로부터 매립층, 퇴적층, 풍화암층 및 연암층으로 구성되어 있으며 앵커 정착 지반은 매립층으로 6.0~10.0m에 위치한다. 매립층은 실트 섞인 모래로 과거에 매립된 생활쓰레기가 혼재되어 있는 상태로 생활쓰레기는 주로 연탄재이며 폐비닐 및 형겅도 발견된다. 매립층에 대한 N치는 4 - 10정도이며 상대밀도는 느슨한 상태이다. 시추조사 당시 지하수위는 지표면으로부터 13.5~14.2m 정도로 매립층 하부에 위치하는 것으로 조사되었다. 본 현장의 지반조사 결과는 그림 5와 같다.

4.2 앵커 시공 및 제원

시험에 사용된 앵커체는 하중분산압축형 앵커로 인장재를 제거할 수 있는 제거식 앵커이다. 천공은 유압장비를 이용하였고 천공직경 135mm, 그라우트 물/시멘트 비를 45%로 하여 앵커체 삽입 후 케이싱

을 이용하여 가압(1-2kg/cm²)하였다. 총 8공(그림 7)의 앵커가 시공되었으며 강연선 4 및 6가닥, 내하체 간격 2 및 3m로 하여 내하체 후미부터 매립형 게이지를 그림 6과 같이 장착하였다.

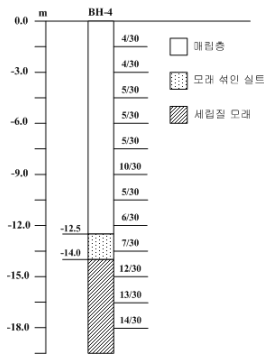


그림 5. 지층단면 및 N치

표 1. 시험앵커의 제원

No.	앵커체 Type	사 양			P.C Strand 강선수
		앵커장(m, 여유장포함)	내하체 개소	내하체 간격(m)	
1	U-Turn	12.0m	2	2.0	4 (12.7mm)
2		"	3	2.0	6 (12.7mm)
3		"	2	3.0	4 (12.7mm)
4		"	3	3.0	6 (12.7mm)
5		"	2	3.0	4 (12.7mm)
6		"	3	2.0	6 (12.7mm)
7	SW-RCD	"	2	3.0	4 (12.7mm)
8		"	3	2.0	6 (12.7mm)

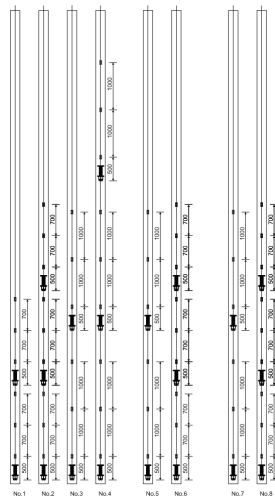


그림 6. 계측기 위치

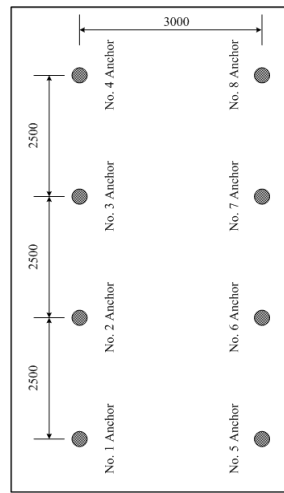


그림 7. 앵커 위치 평면도

4.3 현장 계측 방법

그라운드 앵커 현장시험에서는 앵커 두부에서 발생하는 하중과 변위를 측정하여 하중-변위 관계곡선을 얻을 수 있다. 일반적으로 하중은 인장펌프에 연결되어 있는 유압게이지를 이용하여 측정하고 변위는 앵커 두부에 다이얼게이지를 설치하여 측정한다. 보다 정밀한 시험 결과를 얻기 위해서는 하중계 (Load Cell)와 변위계(LVDT)를 이용하여 실시간으로 모니터링 하면 된다(사진 1 및 2).

또 그라운드 앵커 하중전이 메커니즘은 계측기가 장착된 앵커체에서 변형율을 측정하여 확인할 수 있다. 사진 3 및 4는 앵커 그라우트에 계측기가 장착된 전경이다. 앵커의 하중전이는 강연선 및 그라우트에 작용하는 하중분포에 따라 달라지며 그라우트에 발생하는 변형율은 각각의 하중이 재하 될 때 측정할 수 있다.

5. 현장시험 결과

5.1 Performance Test 및 Creep Test

본 현장에서 시험 시공된 총 8공의 시험 앵커 중 AASHTO 규정에 준하여 Performance Test 6공

(No. 3~8), Creep Test 2공(No. 1~2)이 수행되었으며 시험결과는 그림 8 및 9와 같다.

5.2 극한하중 산정

FHWA(FHWA-IF-99-015)에서 제안하고 있는 앵커의 적합성 판정 방법을 이용하여 각 단계별 최대 하중에서 앵커의 극한하중을 산정하였다. 각 앵커에서 산정된 앵커의 극한하중을 이용하여 내하체 개수 및 간격별로 구한 평균극한하중은 표 2와 같으며 이것을 단기 크리프를 이용한 극한하중이라고 할 수 있다.



사진 1. Real time data logger



사진 2. 현장시험 전경



사진 3. 시험앵커체



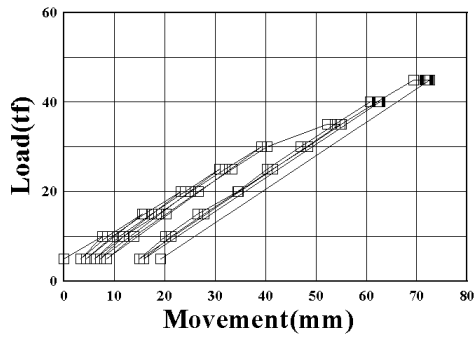
사진 4. 전기저항식 매립게이지

5.3 앵커의 크리프 변형

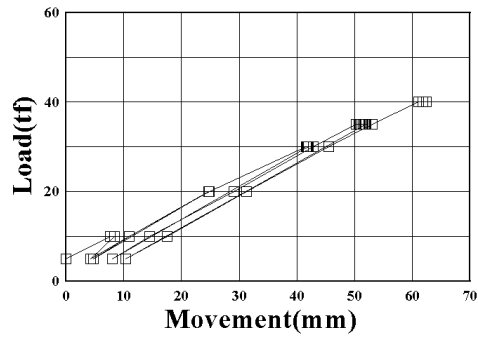
크리프 변형은 일정한 하중을 재하한 뒤 시간에 따라 발생하는 변형을 의미하며 측정방법은 하중을 일정하게 유지시켜 놓은 상태에서 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 15, 20, 25, 30, 45, 60분 등 일정한 시간에서 변형을 측정한다. 크리프 변형은 $\Delta_t - \Delta_{t_1}$ 으로 표현할 수 있으며 Δ_{t_1} 은 하중 재하 후 1분후의 변형이며, Δ_t 는 하중이 재하된 뒤 t분 후에 발생하는 크리프 변형이다. 크리프 시험에 대한 파괴 기준은 각 하중 단계에서 시간 $\log t - \log t_1$ 에 대하여 2mm 보다 적은 변형이 발생하면 설계내력에 있는 것으로 판정하게 된다.

크리프 시험을 통하여 앵커의 크리프 변형에 대한 일반식은 시간에 지배받는 함수로 표시되며 식(5)과 같이 일반식을 구할 수 있다

$$\Delta_{creep} = n \frac{f}{f_{ult}} \log\left(\frac{t}{t_1}\right) \quad (5)$$

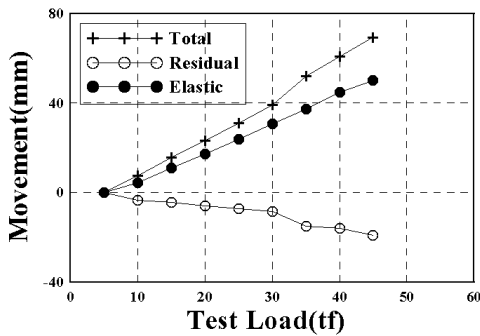


(a) No. 1 앵커

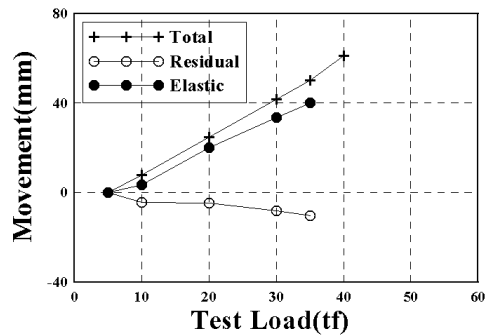


(b) No. 6 앵커

그림 8. 하중-변형 그래프 결과



(a) No. 1 앵커



(b) No. 6 앵커

그림 9. 합성 변형 그래프 결과

표 2. 내하체 개수 및 간격에 따른 평균극한하중

내하체 개수 (EA)	내하체 간격 (m)	Anchor No.	극한하중 (tf)	평균극한하중 (tf)
2	2	1	35.0	35.0
2	3	3	30.0	35.0
		5	35.0	
		7	40.0	
3	2	2	40.0	45.0
		6	45.0	
		8	50.0	
3	3	4	40.0	40.0

표 2와 같이 No. 1 및 No. 2 앵커에 대한 극한하중은 35tf 및 40tf으로 산정되었으며 35tf에서 크립 특성 계수를 두 앵커 모두 식 (6)과 같이 얻을 수 있었다.

$$\Delta_{creep} = 0.245 \frac{f}{f_{ult}} \log\left(\frac{t}{t_1}\right) \quad (6)$$

5.4 그라우트 하중분포

본 연구에서는 앵커 두부에 하중이 재하될 때 하중분산형 앵커의 그라우트에 작용하는 하중분포를 확인하기 위해 그라우트에 매설형 변형률 게이지를 설치하였다. 그림 11은 분산형 앵커 내하체 후미부터 일정한 간격으로 장착된 계측기에서 얻어진 그라우트 내 하중분포를 측정된 결과이다.

그림 11과 같이 분산형앵커의 경우 각각의 내하체에 하중이 분산 재하되므로 그라우트에 작용하는 압축력 분포는 내하체 후미에서 극대를 보이며 뒤쪽으로 갈수록 감소한다. 또 각 내하체 별로 강연선의 길이가 다르기 때문에 동시인장 시 짧은 쪽 강연선에 하중이 크게 작용한다. 각 강연선에 동일한 하중을 재하하기 위해서는 단독 인장기를 이용하여 인장하는 방법과 긴 쪽의 강연선을 선행 인장하는 방법이 있다. 단독 인장기를 사용할 경우 각각의 강연선 늘임량이 다르기 때문에 정밀한 계측이 곤란하다. 따라서 본 연구에서는 선행인장방법을 선택하였으며 선행인장에 사용된 기준 하중은 30tf로 하였다. 그림 11에서와 같이 30tf 이상의 하중이 재하 될 때는 뒤쪽 내하체에 하중이 더 크게 작용하는 것을 알 수 있다.

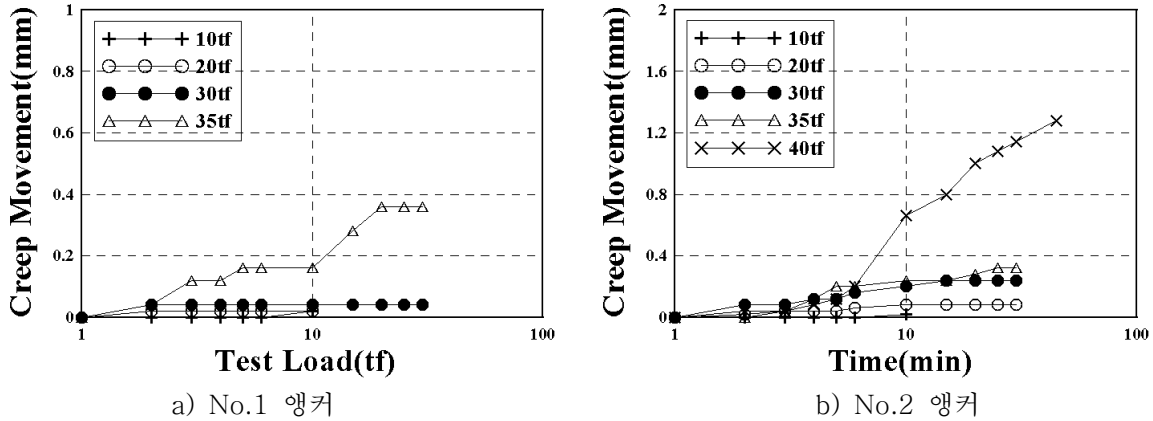


그림 10. 시간에 따른 크립 변형 결과

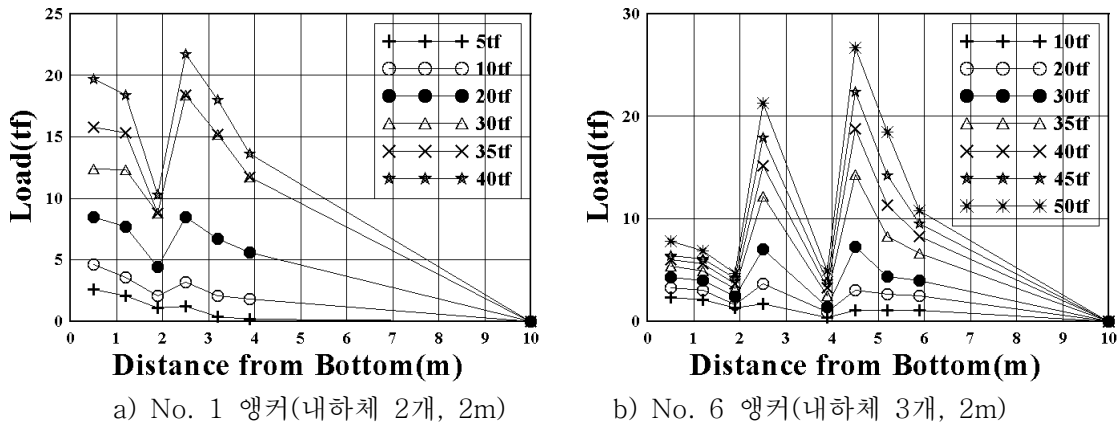


그림 11. 압축분산형 앵커의 그라우트 내 하중분포

6. 결론

본 연구는 최근 국내에 활발히 적용되고 있는 하중분산압축형 앵커를 매립토 지반으로 구성되어 있는 00재건축 현장에 설치하고 AASHTO(HFWA-IF-99-015)에서 규정하고 있는 Performance Test 및 Creep Test를 수행하여 앵커의 거동 특성에 대해 연구 하였다. 또한 각 앵커에 계측기를 설치하여 하중 재하 시 그라우트에 발생하는 하중 분포를 확인하였다. 본 연구에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 시험 대상 지반에서 앵커 정착장이 위치할 지반은 표준관입시험 결과 N치가 4~10 정도의 느슨한 쓰레기 매립층으로 구성되어 있다. 이와 같은 느슨한 쓰레기 매립층에서 하중을 분산시킴으로서 30tf 이상의 하중을 확보할 수 있었다.
2. Performance Test에서 단기 크리프를 이용하여 극한하중을 산정 할 수 있었으며, 내하체 간격별로

는 극한하중에 큰 차이가 없었으나 내하체 개수에서는 3개인 것이 2개인 것 보다 약 1.23배 크게 산정되었다.

3. Creep Test에서 얻은 시간에 따른 변형을 이용하여 쓰레기 매립토 지반에서 하중분산압축형 앵커의 크리프 특성을 확인할 수 있었다. 크리프 시험을 수행한 No. 1 및 No. 2 앵커 모두 35tf에서는 크리프 특성계수가 $0.245f/f_{max}$ 로 나타났다. 따라서 내하체 개수가 많으면 크리프 변형이 적어짐을 알 수 있다.
4. 단계별 하중 재하시 앵커의 하중 조건, 지반 조건에 따라 발생하는 하중의 변화 특성을 연구하기 위하여 하중분산형 앵커에 계측기를 설치하여 그라우트의 하중 분포를 확인하였다. 하중분산압축형 앵커의 그라우트에 작용하는 압축력은 내하체에서 극대를 보이고 뒤쪽으로 갈수록 점차 감소하는 경향을 볼 수 있었다.

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, 김성규 (2001), “*압축형제거앵커의 개발 및 성능평가*”, 한국지반공학회 봄학술발표회 논문집, pp. 339~346.
5. 김성규(2001), “*압축형 그라운드 앵커의 하중 전이에 관한 연구*”, 성균관대학교 대학원 석사학위논문
6. 김성규, 김낙경, 김정렬(2003), “*일반 가설앵커의 문제점과 개선방향*”, 한국지반공학회 2003 봄 학술발표회 논문집, pp545-552
7. 박완서(2001), “*풍화토 지반에 설치된 그라운드 앵커의 거동에 관한 연구*”, 성균관대학교 대학원 석사학위논문
8. 석영철(1998), “*연구앵커의 인발특성에 관한 연구*”, 한양대학교 산업대학원 석사학위논문.
9. AASHTO (1990). “*Tieback specifications*”, AASHTO-AGC-ARTBA Task Force 27, pp137-155
10. 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.
11. Briaud, Jean-Louis.(1998). “*Should Grouted Anchors Have Short Tendon Bond Length?*”, ASCE, J. of Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, Vol.124, No.2, pp110-119.
12. FHWA-IF-99-015(1999), “*Ground Anchors and Anchored Systems*”
13. Kim, Nak-Kyung (2000), “*Load Transfer on Ground Anchors in Weathered Soil*,” Ground International Conf. on Improvement Technique, Singapore, pp. 217~226.
14. Nak-Kyung Kim(2003), “*Performance of Tension and Compression Anchors in Weathered Soil*,” ASCE, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 129, No.12 December 2003, pp. 339 - 346.