

풍화암에 시공된 Bar Type 부력저항 앵커의 인장 시험

Tension Test on the Bar-type Anti-buoyancy Anchors in the Weathered Rock

박 찬 덕* 이 규 환** 유 남 재*** 이 승****
Park, Chan-Duk Lee, Kyu-Hwan Ryu, Nam-Jae Lee, Song

Abstract

This study is about a section where underground water level occurs at the underground 5m depth by the excavation of the ground, as a stream is adjacent to a excavation section of High Speed Railway OO Station construction sections and a reservoir being always full of water is located at the left side of the construction section. Therefore this test is executed for the design and construction of buoyance anchors able to permanently prevent buoyance by the underground water level at working and for the stable construction and permanent smooth maintenance of structures. In this test, bar type anchors are divided according to their length and standard to execute test-anchor test, and In spot test, 9 test-anchors test, proof test to construction process, suitability test and acceptance test are executed 4 times to 9 test-anchors by dividing anchors according to the length of permanent anchor, the outer diameter of bar and boring diameter. Standard motion characteristic centering on load transmission and break mechanism of bar-type anchors for the prevention of buoyance will be showed in the thesis.

요 지

본 연구에서는 고속철도 OO역사 공사구간 중에 굴착구간에 인접하여 하천이 위치하고, 공사구간 좌측에는 항상 만수위 상태의 저수지가 위치하고 있어 지반굴착시 지하 5m 깊이에서 지하수위면이 발생하는 구간에서 설치된 부력앵커의 거동특성에 관한 연구이다. 따라서 본 연구는 지하수위면이 발생하는 구간에서 설치된 부력앵커의 현장시험을 통해 시공시 영구적으로 지하수위에 의한 부력을 방지할 수 있는 부력앵커를 이용하여 구조물을 안정적으로 시공하고 지속적인 유지관리를 원활히 하고자 하는데 목적이 있다. 부력앵커 시험은 Bar Type Anchor를 Anchor의 길이와 규격별로 구분하여 인발시험을 실시하였다. 현장시험은 영구 앵커의 길이, Bar의 외경, 천공경을 변화시켜 가며 시험앵커 9본에 대한 시험을 수행하였다. 시험을 통해 앵커의 한계하중, 앵커체 바깥면의 인발저항, 하중 및 부착응력 분포, 앵커의 천공지경의 영향, 정착길이의 영향 및 지표면의 거동에 대하여 알아보았다. 그리고 부력방지용 Bar Type 앵커의 하중전달 및 파괴 메커니즘을 중심으로 앵커의 거동 특성에 대해 알아보았다.

Keywords : Underground excavation, Buoyance anchors, Bar type anchors

핵심 용어 : 지하굴착, 부력앵커, 바-타입 앵커

* 정희원, 강원대학교 토목공학과 박사과정

** 정희원, 건양대학교 토목시스템공학과 전임강사

*** 정희원, 강원대학교 토목공학과 교수

**** 정희원, 서울시립대학교 토목공학과 교수

E-mail : chandook2@hanmail.net 019-209-8433

•본 논문에 대한 토의를 2003년 12월 31일까지 학회로 보내 주시면 2004년 4월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

최근 산업의 발전과 인구 증가로 인하여 교통의 혼잡이 발생하고 대지의 고가화로 인한 지하공간의 활용에 관한 관심이 증가되고 있다. 이에 지하구조물 즉, 지하탱크, 지하철공사, 고속철도, 발전소등의 대규모 구조물의 건설공사가 도심지 지하에 건설되는 것이 일반화 되고 있는 실정이다. 이러한 구조물들의 건설은 공사비가 많이 들고 또한 도시 구조의 고도화로 인하여 사고시 큰 피해를 유발하므로 설계시 안전율을 높이거나 보다 안전하게 시공할 수 있는 신공법을 개발하거나 도입하여 시공하는 사례가 많이 발생하고 있다.

앵커는 구조물과 지반의 양자간에 앵커 케이블의 양단부를 고정하여 앵커케이블에 프리스트레스를 부여함으로써 구조물에 가설적 및 영구적으로 발생하는 외력에 의한 응력, 변형, 등을 억제시키기 위해 지반에 설치되는 구조체이다. 앵커공법은 1934년 알제리에서 처음 사용되었으며 1950년대 유럽에서 실용화된 공법이라 할 수 있다.

지반앵커는 1958년 스위스 로징거(Losinger)사의 VSL앵커가 현대적 앵커의 시발점이라 할 수 있다. 그 이후 지반앵커는 공법 적용성의 다양함과 시공시의 편리함 및 경제성등의 많은 장점으로 인하여 전 세계에서 널리 사용되고 있다. 앵커가 기술적인 토대위에 앵커가 가지는 기능이나 구조가 규정되어 오늘날과 같이 시공방법이 확립되어 암반이외의 퇴적성 지반에도 사용된 것은 1960년대로 들어서면서부터 이다. 앵커공법이 비교적 발달한 일본에서도 앵커공법은 처음 암반을 정착지반으로 하였지만 서서히 자갈이나 토단을 대상으로 하는 어스앵커가 사용하게 되었다. 1960년대에는 로터리식 삭공기에 의한 굴착, 시멘트 모르타르

의 그라우트, 정착깊이부의 방호, 피복이 없는 상태의 긴장재의 사용이 주된 공법이었다.

1965년경부터 시공기계의 개량과 개발이 진행되어 대형 로터리삭공기나 회전, 타격병용방식으로 스스로 작동할 수 있는 앵커전용기계의 등장에 의해 시공재료나 시공법에 많은 변화를 가져와서 앵커의 시공량도 증가하여 왔다. 이후, 앵커공법은 억지공사, 지반보강공사등 여러 가지 목적으로 보급되고 사용되어 왔다. 1980년대 들어 세계 각국에서는 앵커에 관한 기준화가 진행되었고 특히 영구앵커에 관한 조사, 유지 관리 등에 역점을 두게 되었다(BS 8081).

국내에서도 앵커에 대한 사용성이 점차 증가되고 있어 앵커에 대한 정확한 설계법 및 시방서의 제정, 시공기준 마련 등이 시급한 실정이다. 이러한 앵커 공법중 가장 중요한 것은 극한 인발저항력의 평가이다. 이에 대한 많은 실험적, 이론적 연구들이 있으나 각 이론 간에 다소의 차이가 존재하며 주로 현장실험 및 실내모형실험 등을 토대로 이론적인 부분을 보완하고 있다.

2. 지반조건

본 시험 지역의 기반암은 화강편마암으로 지층구성은 매립토층, 퇴적토층, 풍화토층, 풍화암층으로 구성되어 있으며 앵커의 인발시험은 풍화암과 풍화토 지반에서 수행하였다. 풍화대(풍화토, 풍화암반)는 공사 지역의 원지반으로 실트질 모래로 구성되어 있으며 기반암은 풍화대로 전반적으로 상부에는 풍화토로 분포하며 일반구간에서는 풍화암상으로 채취된다. 풍화정도는 풍화가 많이 진행된 완전풍화(Completely Weathered)에 해당되며 색은 황갈, 암갈, 회갈색을 띠고 있다.

Table 1 각 지층의 대표적 물성치

물성 지층	γ_t (tf/m ³)	γ_{sat} (tf/m ³)	실측 N치	보정 N치	ϕ (deg.)	C (tf/m ²)	E_s (tf/m ²)	k_{s_s} (tf/m ²)	ν
매립토층	1.8	1.9	19~30	16~27	30	0	2000	1500	0.25
퇴적토층	1.7	1.8	29	25	28	0.5	3000	2500	0.30
풍화토층	1.8	1.9	30~50	30	30	1	7000	4000	0.25
풍화암층	2.1	2.2	50+	40+	35	2	20000	10000	0.20
뒷채움흙	1.9	2.0	-	30	30	0	5000	3000	0.25

수분함량은 풍화토에서 습윤(Wet)상태이며 풍화암 반에서는 습한 상태이다. 모암조직은 암편이 혼재되어 있으며 차별풍화로 인한 경영대가 교호한 상태이다. 한편 본 층은 심한풍화(Highly Weathered)로 인해 절리 및 단층의 발달로 세편 내지 단주상 코어가 채취된다. 풍화암의 단위중량은 $2.1\sim 2.2\text{tf/m}^3$, 내부마찰각은 35° 이며 암석과 그라우트체의 마찰저항치는 현장여건을 고려하여 4.0kgf/cm^2 를 적용하였다. 각 지층의 대표적인 물성치는 Table 1에 제시되었다.

3. 앵커 현장실험

시험용 앵커의 인발실험은 총 9개의 시험공에 대해 실시하였으며, 이중 3개의 앵커는 심도별로 스트레인 게이지를 설치하여 인발시 앵커 길이에 대한 하중 전이 과정을 관찰하였다. 시험에 사용된 앵커의 제원 및 시험공의 길이는 Table 2에 나타난 바와 같다. Fig. 1은 앵커의 시험위치도를 나타내고 있다.

현장 시험에 이용한 Bar Type Anchor의 제원은 다음 Table 3과 같다.

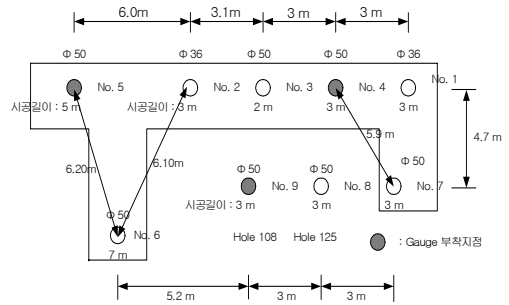


Fig. 1 현장 앵커 시험 위치도



Fig. 2 본 시공 앵커 시험전경

Table 2 시험용 앵커 규격

No.	앵커의 규격			비고
	Tendon의 직경	굴착공경	길이	
1	36mm	165mm	3m	
2			3m	
3			2m	
4	3m		스트레인 게이지 부착.	
5	5m		스트레인 게이지 부착.	
6	7m			
7	3m			
8	125mm		3m	
9	108mm		3m	스트레인 게이지 부착.

Table 3 Bar Type Anchor의 제원

Nominal Dia	Characteristic Failing Load	Nominal Steel Area	Nominal Unit Weight	Typical Tendon Working Load at Designed Factor of Safety	
				Permanent	Temporary
				Fs : 2.0	Fs : 1.5
mm	Ton	mm ²	kgf/m ³	Ton	Ton
50	206	1963.5	16.02	103	137



Fig. 3 시험앵커 인발시험 후

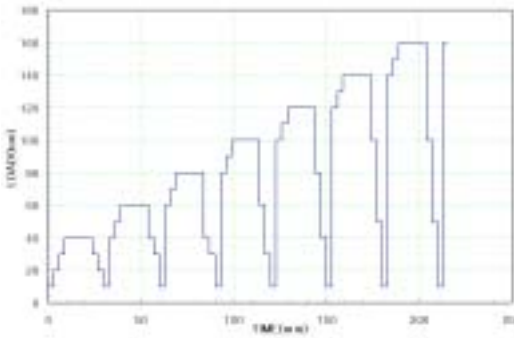


Fig. 4 하중-시간 곡선(Test anchor No.6)

4. 실험결과

9개의 앵커시험에 대한 실험 결과 각 앵커마다 한계하중 값이 다르게 나타났다. 따라서 각각의 앵커의 특성에 따라 해석결과를 기술 하고자 한다. 한계하중 및 인발저항의 경우 No. 6번 앵커에 대한 실험 결과, 하중 및 부착응력의 분포는 No. 4번 앵커시험, 천공 직경의 영향은 No. 4, 8, 9번의 앵커시험, 정착깊이에 대한 시험은 No. 4, 5, 6번의 앵커시험 결과를 중심으로 기술하였다. 아래의 Fig. 4와 5는 No. 6번 앵커에 대한 시험하중의 주기 및 하중-변위 그래프를 나타내고 있다.

4.1 한계 하중(P_{lim})

시험 앵커 No. 6의 시험결과 160ton 이후 하중증가에 따라 더 이상 인장력이 증가되지 않았으며 탄성신장

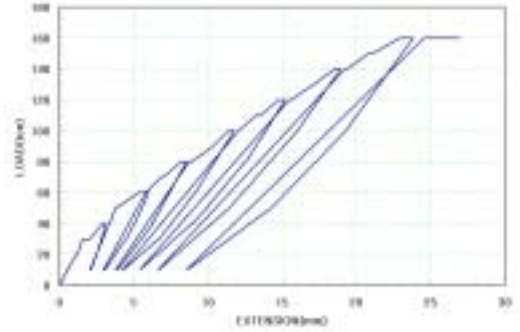


Fig. 5 하중-변위 곡선(Test anchor No.6)

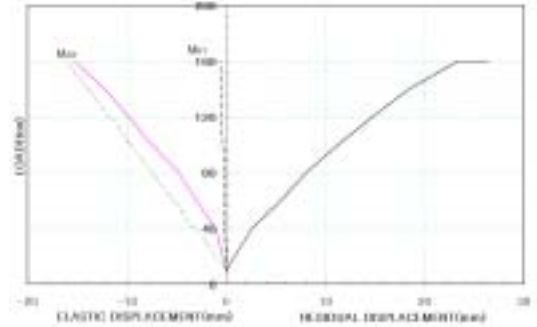


Fig. 6 탄성신장량과 소성신장량 곡선(Test anchor No.6)

량이 시험하중 160ton에서 탄성신장의 상한선을 초과하였다. 따라서 본 앵커의 한계하중은 160ton으로 나타났다.

4.2 극한 앵커체 바깥면 인발저항

시험 앵커 No. 6시험에서는 그라우팅과 지반사이에서 파괴가 관측되었다. 따라서 이를 이용한 극한 앵커체 바깥면 인발저항 (τ_{lim})은 다음 식으로 구한다.

$$\tau_{lim} = \frac{P_{lim}}{\pi \times D \times L_b} \quad (1)$$

여기서,

P_{lim} : 한계하중, π : 원주율,
 D : 앵커의 직경, L_b : 앵커의 정착장

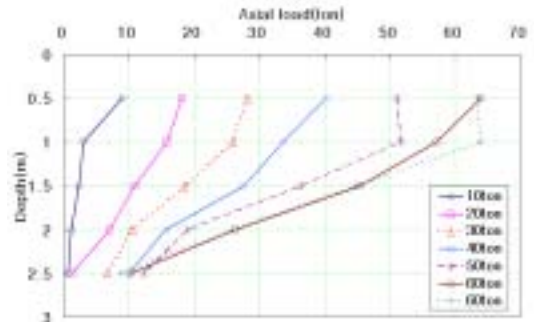
본 시험에서는 그라우팅과 지반 사이에서 파단 되는 형태의 파괴가 발생되었으며, 그라우팅의 균열이 없는 점으로 미루어, 그라우팅과 Tendon 또는 Tendon의 파괴는 나타나지 않은 것으로 파악되었다. 시험앵커 No. 6의 앵커체 바깥면의 인발저항은 4.409kgf/cm^2 로 이때 사용된 앵커체의 직경은 165mm , 그리고 앵커체의 정착장은 7.0m 를 사용하였다. 시험결과 τ_{lim} 의 분포는 $2\sim 10\text{kgf/cm}^2$ 으로 평균 4.1kgf/cm^2 로 나타났다. Anchor 천공경(●)을 165mm 로 고정하고, Anchor의 정착길이를 3m , 5m , 7m 로 변경하여 시험한 결과, Anchor 그라우트체의 한계 내에서는 정착길이의 세제곱에 비례하여 증가되는 것이 확인되었다. 이는 앵커의 파괴 모드에 있어 Fig. 3에서 보여준 바와 같이 부분적인 앵커 주면의 파괴와 정착부 지반의 파괴를 동반하는 비교적 짧은 앵커로 시험한 경우로 지반의 파괴 부분이 정착길이의 세제곱에 비례하여 나타나는 것으로 판단된다.

4.3 하중과 부착응력의 분포

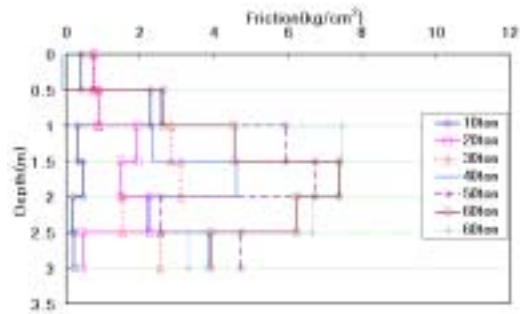
No. 4번 앵커의 정착길이는 3m 이며 상부로부터 0.5m 간격으로 게이지를 부착하였다. 시험앵커 No. 4의 경우, τ_{lim} 값이 최대 9.8kgf/cm^2 로 나타났으며, 평균값은 3.86kgf/cm^2 로 파악되었다.

4.4 Anchor 천공 직경의 영향 검토

천공 깊이를 3m 로 하고 천공직경을 $\phi=108, 125, 165\text{mm}$ 로 변화시키고 그라우팅 강도를 $f_{ck}=300\text{kgf/cm}^2$ 로 하여 수행한 No. 4, 8, 9번 앵커에 대한 시험을 실시하여 Anchor head 부에서 변위량 25.4mm 및 크리프 계수(Creep Coefficient) 2 이상에서 극한하중을 검토 하였다. 검토결과 아래의 Fig. 8은 No. 4, 8, 9 번 앵커시험에 대한 천공직경별 극한 하중 곡선을 나타내고 있으며 이들의 관계가 선형적인 관계를 나타냄을 분수 있었다. 또한 주면 마찰력의 분포는 4.2절에서 나타난 바와 같이 $2\sim 10\text{kgf/cm}^2$ 의 범위를 나타났으며 평균값은 약 6kgf/cm^2 로 나타났다.



(a) 깊이에 따른 마찰력 분포



(b) 깊이에 따른 마찰력 분포

Fig. 7 Bar type anchor의 하중전이 곡선 (No. 4)

각 천공직경별 다소의 편차는 발생하고 있으나 주면 마찰력은 천공직경에 비례하여 선형적인 증가를 나타내고 있으며, 앵커가 설치된 지반의 강도에 비해 그라우트의 강성이 상대적으로 큰 풍화암 지반에서의 주면마찰력은 비교적 균질하게 나타남을 알 수 있었다.

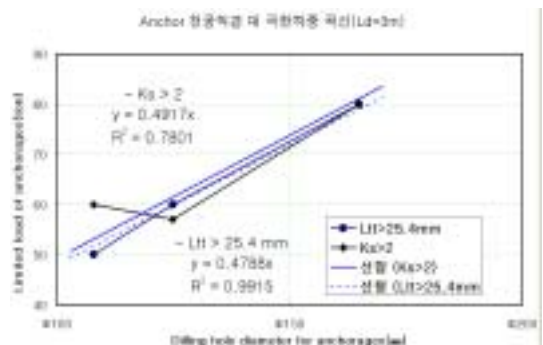


Fig. 8 Anchor 천공직경-극한하중 곡선

따라서 일정한 단위 주면마찰력을 갖는 지반에서의 앵커의 극한하중은 유효 그라우트 직경에 선형적으로 비례하여 증가함을 확인할 수 있었다.

4.5 Anchor 정착 길이 영향 검토

Anchor 천공경을 $\phi 165\text{mm}$ 로 고정하고, Anchor 정착길이를 3m, 5m, 7m로 변경하여 시험한 No. 4, 5, 6 앵커에 대한 시험결과 Fig. 9와 10과 같이 천공 길이에 대한 한계하중 곡선 및 지표면 거동에 관한 결과를 얻었다. Anchor 그라우트체의 한계내에서는 정착길이의 3제곱에 비례하여 증가되는 것이 인수 있었으며, 이는 앵커의 파괴 모드에 있어서 부분적인 앵커 주면의 파괴와 정착부 지반의 파괴를 동반하는 비교적 짧은 앵커로 시험 한 경우에 나타나는 현상으로 지반의 파괴 부분이 정착길이의 3제곱에 비례하여 나타난 것으로 판단된다. 파괴시 지표면의 방사형 균열을 쉽게 발견할 수 있었다.

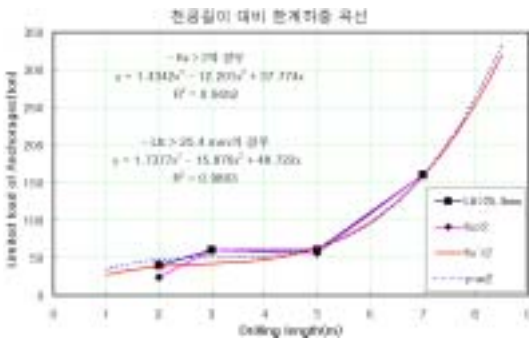


Fig. 9 천공길이 대비 한계하중 곡선

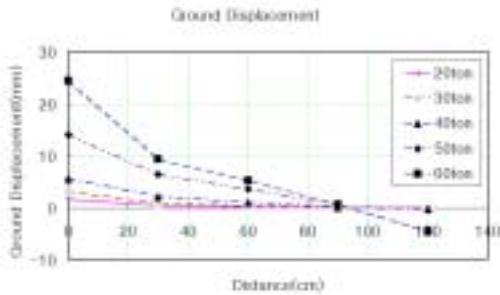


Fig. 10 지표면 거동 그래프(Test Anchor No.9)

4.6 Anchor 지표면 거동 영향 검토

Anchor 지표면의 거동 특성은 앵커의 중심에서 30cm이내의 거리에서 대칭적인 융기상태를 나타내다가 최종적으로 인발되며 방사상 균열이 발달되는 형태를 나타내었다. 따라서 앵커의 주요 파괴 양상은 그라우트와 지반의 파괴로 파악되었다

4.7 Anchor Tendon의 직경 영향

Anchor의 Tendon 직경에 따른 영향은 Tendon의 단면적에 반비례하여 신장량이 증가하며, Tendon의 직경이 작을수록 유효 자유길이가 급속히 증가되는 상태를 나타내고 있다. Fig. 11은 시험앵커 No. 1($\phi=36\text{mm}$) 번과 No. 6($\phi=50\text{mm}$)의 실험결과를 나타낸 것이다.

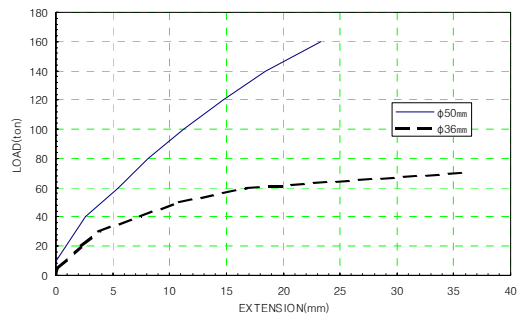


Fig. 11 Tendon의 직경이 다른 앵커의 하중 신장곡선

5. 결론

- 1) 앵커의 천공직경과 Tendon의 직경을 변화시키고 천공경에 따라 앵커의 깊이를 달리하여 수행한 부력앵커에 대한 시험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.
- 2) 시험결과 풍화암이 비교적 균질하고 깊게 발달된 지역의 앵커거동 특성은 전형적인 그라우트와 지반의 부착 파괴형태의 파괴를 나타냄을 알 수 있었다.
- 3) 앵커의 인발 저항력은 Tendon의 허용인발력내에서 앵커 정착부의 표면적에 비례하고, 정착길이의

세제곱에 비례하며, 정착부분의 영향범위가 4~8D로 나타났으며, 하중전이의 형태는 정착길이의 약 1/2 지점이 정착부 극한 바깥면 인발저항을 넘어서면, 단일 앵커의 인발력이 감소하면서 인발되는 현상을 보였다. 따라서 앵커체의 그라우트 강도가 지반에 비해 현저하게 큰 경우에는 연암 이상의 암반지역을 제외하고는 본 시험결과를 적용할 수 있는 것으로 파악되었다.

- 4) 부력 Anchor의 시험결과 최대시험하중이 155~156Ton 으로 설계하중(90Ton)의 172~182%에서 안정적으로 나타났으며 시험결과 항복 발생요인은 Grouting과 지반 사이의 파괴에 의한 것이 주요인으로 파악되었다.
- 5) 연구에 사용된 Anchor는 부력저항 Anchor로서 상시 수직방향의 하중을 받도록 설계되어 있으나, 지반조건이 신선한 암반이 아닌 풍화토나 풍화암에 설치된 Anchor의 파괴는 주로 Grouting과 지반사이의 파괴에 의해 Anchor력이 상실되므로, Anchor의 시공에 있어서 기본적인 사항인 천공이력관리, 정확한 천공, 천공후 공내 이물질 제거 등의 세심한 관리가 필요한 것을 알 수 있었다.

참고문헌

1. (주)백경지앤씨(1999~2001), “경부고속철도 남서울역사 부력저항앵커 시험보고서”, 제1~8권, pp. 27-150.
2. (일)Ground Anchor 기술협회編, 윤지선譯(1996), “그라운드 앵커 공법”, 구미서관.
3. (사)일본지반공학회編, 윤지선譯(1999.5.), “그라운드 앵커 공법의 조사 설계 시공”, pp. 30-76.
4. BS 8081(1989), British Standard Code of Practice For Ground Anchorages, London, BSI.
5. DIN 4125 (1990), “Ground Anchorages Design, construction and testing”, pp.341-389.
6. Swiss Society of Engineers and Architects, SIA 19 (1977) “Ground anchors”, pp.10-241.
7. Post-Tension Institute, “Recommendations for prestressed rock and soil anchors”.
8. Littlejohn G.S.,(1990) “Ground anchorages”, pp.103-301.
9. B. Benmokrane, M. S. Radakrishna, T.W. Klym (1979) “Uplift Capacity of Rock Anchors Groups”, pp. 109-201.
10. Andreas Andreadis, Roger C. Harvey, Eldon Burley (1981) “Embedded Anchor Response to Uplift Loading”, pp.231-402.

(접수일자 : 2003년 9월 22일)