

풍화암 기반에 정착된 앵커의 인발저항 특성

Pull - out Capacity of Ground Anchor in Weathered Rock

이승환¹⁾, Seung-Hwan Lee, 황의석²⁾, Eui-Seok Hwang, 이봉열³⁾, Bong-Youl. Lee, 김학문⁴⁾, Hak-Moon Kim

¹⁾ 시지이엔씨(주) 부장, Manager, C.G. E&C Co., Ltd.

²⁾ 단국대학교 토목공학과 박사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Dankook Univ.

³⁾ 시지이엔씨(주) 기술연구소 소장, General Manager, R&D Center, C.G. E&C Co., Ltd.

⁴⁾ 단국대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Dankook Univ.

SYNOPSIS : Fluid Confirmation Tests(FCT) on 1500 ground Anchors install in weathered rock were carried out to investigate upper and lower limit of elastic elongation, frictional resistant of fixed anchor body, mobilized angle between anchor body and soil. All the measured data were analysed and compared with theoretical equations. The frictional angles of diaphragm wall and anchorage system in weathered rock showed nonlinear curve between upper and lower limit of standard elongation. The FCT results indicated that the frictional resistant angles increased with higher values of surcharge load. The quality assurance on the fixed anchor location was investigated by means of measuring elastic elongation during the FCT, and comparing these with theoretical design length, the quality of anchors in this particular site found to be above average standard. The results of this research works with provide valuable guide line on quality assurance of anchors system as well as resonable prediction of friction resistance between the fixed anchor body and the weathered rock.

Key words : pull-out capacity, frictional resistant, mobilized friction angle

1. 서 론

도심지에서 흙막이 구조물을 설치하여 지하굴착공사를 실시하는 경우, 굴착지반의 안전과 인접구조물에 미치는 영향에 대하여 충분한 검토가 필요하다. 특히 지반 굴착시 흙막이벽체의 과도한 변형은 주변 지반 및 인접구조물에 영향을 미쳐 굴착배면지반의 균열 및 함몰, 공공매설물의 파손, 인접구조물의 침하 및 붕괴 등의 피해가 빈번히 발생하고 있다. 이러한 건설재해의 예방과 흙막이 구조물의 안전시공을 위하여 최근에는 현장계측 및 시공중 현장시험을 통하여 시공관리를 실시하는 경향이 늘어나고 있다. 그리고 도심지 공사의 대부분은 건설용지 면적의 감소로 인하여 기존구조물에 근접하여 시공하거나 도심도의 굴착공사로 지하공간을 활용하고 있으며, 종래 지하굴착 현장에서는 버팀보에 의해 지지되는 흙막이벽 구조가 많이 사용되었으나 최근에는 광범위한 도심지 개발로 흙막이벽 지지구조체로 앵커지지 방식이 많이 채택되고 있어 앵커의 특성연구가 중요시 되고 있다. 그러나 앵커체 시공후 실시되는 확인 시험 및 하중계에 의한 흙막이벽의 앵커체에 적용하는 지반과 앵커체의 마찰저항, 내부마찰각에 대한 연구는 미비하고 흙막이 구조물의 앵커체 설계에 있어서 불확실한 점이 많은 실정이다. 따라서 본 연구는 풍화암이 깊게 나타나는 대상현장에서 앵커지지 흙막이벽체(강성벽체, 지하연속벽)에 시공된 1,500여 지점의 앵커에 대한 확인시험 결과로부터 앵커 설치위치별 최대 시험하중에서의 신장량을 측정하여 앵커체와 정착지반의 주면마찰저항을 확인하고 정착지반과 앵커체에 발휘되는 마찰저항각과의 상관관계를 추정하였다. 분석결과를 통해 기존 연구 및 설계에서 적용하고 있는 특성치와 비교 분석하여 흙막이벽에 작용하는 합리적인 앵커지지력을 고찰하였다.

2. 대상 현장의 특성

본 연구의 대상현장은 경기도 부천에 위치한 지하굴착 현장으로 풍화암이 깊게 분포하고 있어, 풍화암 지반에 정착된 앵커의 마찰특성을 연구하는데 적합하며, 본 현장의 1,500여 지점의 확인시험 결과 데이터를 활용하였다. 연구 대상현장의 강성벽체(지하연속벽)에 적용된 앵커의 특성 등의 개요는 다음 표 1과 같다.

표 1. 대상현장 앵커의 특성 개요

No.	설치위치 (GL)(m)	H_{ave} (GL)(m)	천공 직경(m)	사용 본수	자유장 (m)	정착장 (m)	정착 지반	설계축력 (P_d , tf)	확인시험 하중(P_p , tf)	비고 (P_p/P_d)
1단	-2.0	-14.5	0.1	8	17	12	풍화암	62.4	98.6	1.58
2단	-7.2	-18.2	0.1	8	16	12	풍화암	66.7	97.8	1.47
3단	-11.4	-21.4	0.1	10	15	10	풍화암	93.5	123.2	1.32
4단	-15.0	-24.0	0.1	10	13	10	풍화암	97.5	129.4	1.33
5단	-18.6	-27.35	0.1	12	12	11	풍화암	106.2	139	1.31
6단	-21.6	-29.35	0.1	12	10	11	풍화암	112.4	146.3	1.30
7단	-25.6	-32.6	0.1	12	8	12	풍화암	116.6	154	1.32

H_{ave} : 정착장의 평균 심도

대상현장의 지층분포는 상부로부터 매립층, 실트층, 실트질 모래층, 풍화토층, 풍화암층으로 구성되어 있고 시공된 ground anchor 의 주정착장이 놓이는 지층은 풍화암 지반으로서 지표면으로부터 10m 아래에 놓이게 된다. 대상 현장의 최대 굴착심도는 GL.-28.9m 이고 지하수위는 GL.-4.2m~5.3m 에 위치하며 지반개요 및 적용 단면은 다음 그림 1과 같다.

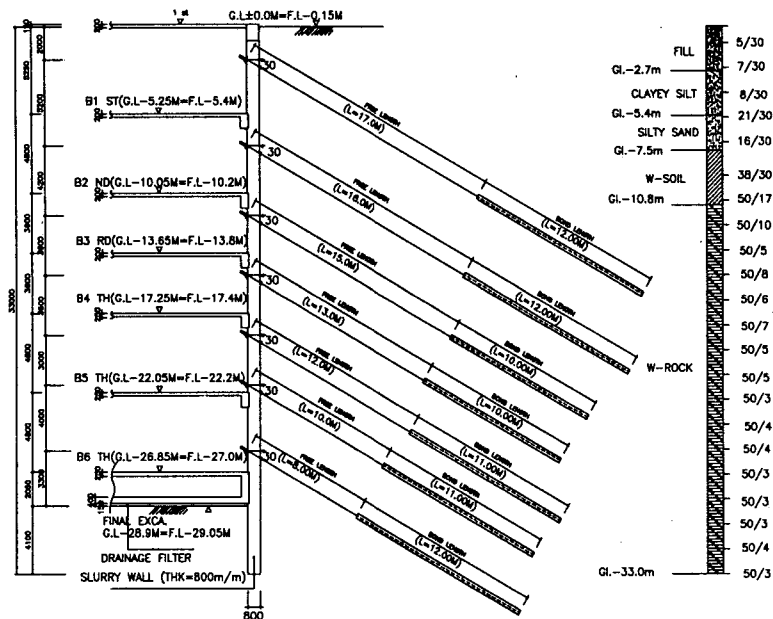


그림 1. 대상현장의 지반개요 및 적용 설계 단면도

3. Data 정리 및 마찰저항각 산정

앵커의 확인시험결과는 계획 최대하중하의 시간의존성 신장, 유효 앵커 자유길이 L_{ef} , 소성 신장량, 인장시험 결과와 비교 평가된다. 현장 확인시험의 평가기준은 앵커의 자유장과 정착장에 대해 탄성 신장량의 상한치와 하한치를 산정하여 적용하였으며, 신장량의 상한치와 하한치의 산정 방법은 다음 식 (1) ~ (3)과 같다.

1) 탄성 신장량의 상한치

$$\delta_{max} = \frac{P_p(L_f + 0.5L_b)}{E \cdot A} \quad (1)$$

2) 탄성 신장량의 이론치

$$\delta = \frac{P_p \cdot L_f}{E \cdot A} \quad (2)$$

3) 탄성 신장량의 하한치

$$\delta_{min} = \frac{P_p \cdot 0.8L_f}{E \cdot A} \quad (3)$$

여기서, P_p : 확인시험시 계획최대하중(tf)

L_f : 앵커의 자유장(m)

L_b : 앵커의 정착장(m)

E : PC 강선의 탄성계수(kgf/cm²)

A : PC 강선의 단면적(cm²)

앵커체의 평균 정착길이에 발휘되는 정착지반의 마찰저항각(θ_{mob})의 산정은 다음 식(4)와 같으며 개요는 다음 그림 2와 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta_{mob} = \tan^{-1} \left(\frac{P_p}{\pi \cdot D \cdot L_b \cdot \sigma_v \cdot \cos \theta} \right) \quad (4)$$

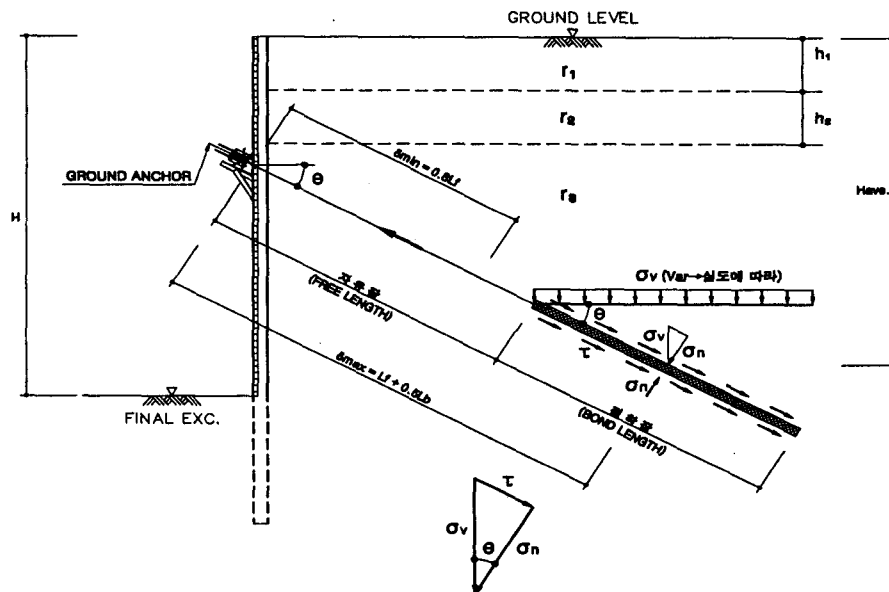


그림 2. 앵커체에 발휘되는 정착지반의 마찰저항각

4. Data 평가 및 정리

4.1 현장 확인시험에 의한 앵커의 신장량과 주변마찰저항 특성

현장 확인 시험시 측정된 탄성범위내의 신장량으로부터 유효정착장과 유효자유장의 길이를 구하고 식 (5)~(7)로부터 확인시험에 의한 주변마찰저항을 구할 수 있다, 이 관계로부터 신장량과 주변마찰저항과의 특성을 비교 분석한 결과 신장량과 주변마찰저항의 상관관계는 다음 그림 3과 같다. 풍화암 지반에 시공된 앵커의 설치위치별 시험하중에 의한 신장량을 측정하여 시공된 앵커체에 대한 주변마찰저항은 신장량의 상한치와 하한치 범위내에서 비선형 곡선 형태로 증가하는 경향을 보이고 있는 것으로 확인되었으며, 신장량의 하한치에서 주변마찰저항력이 일정한 형태로 수렴하는 것으로 나타났고, 상한치에서는 시험하중이 증가됨에 따라 극한 상태를 보이고 있는 것으로 나타났다.

$$L_{eb} = \frac{\delta_p \cdot E \cdot A}{P_p} \quad (5)$$

$$L_{eb} = (L_{ef} + L_b) - L_{ef} \quad (6)$$

$$\tau_p = \frac{\pi \cdot D \cdot L_{eb}}{P_p} \quad (7)$$

여기서, δ_p : 확인시험에 의한 신장량

L_{eb} : 유효정착장

L_{ef} : 유효자유장

τ_d : 설계시 적용된 주변마찰저항

τ_p : 확인시험에 의한 주변마찰저항

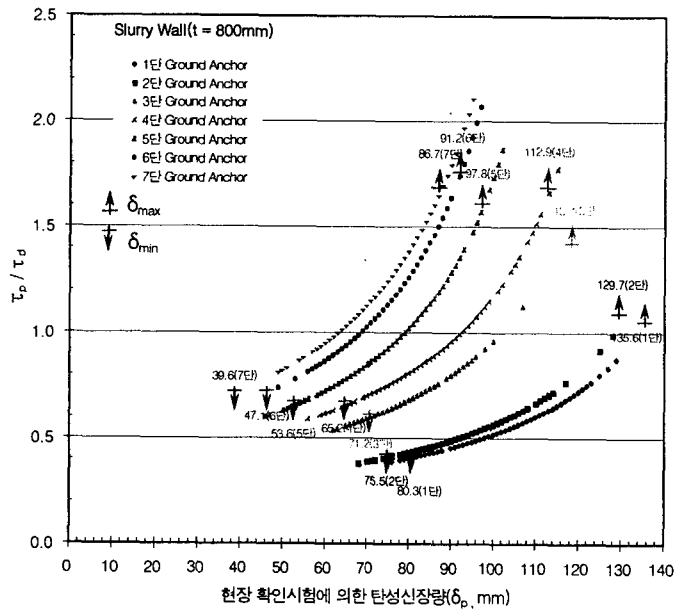


그림 3. 현장 확인 시험에 의한 탄성 신장량과 설계주변마찰저항과 확인주변마찰저항

4.2 앵커 정착장의 평균심도와 주변마찰저항 특성

대상 현장에 시공된 앵커의 현장 확인시험 결과로부터 측정된 신장량으로부터 주변마찰저항을 산정하여 앵커 설치위치별 정착장의 평균심도와 특성을 비교 분석한 결과 정착장의 평균심도와 주변마찰저항의 상관관계는 그림 4와 같고, 풍화암 지반에 시공된 앵커의 정착장의 평균심도와 확인시험 결과로부터 산정된 정착지반의 주변마찰저항의 분포는 정착장의 평균 심도가 증가함에 따라 유효상재하중에 의한 영향으로 앵커 설치위치별로 주변마찰저항값이 증가하고 있는 것으로 나타났다.

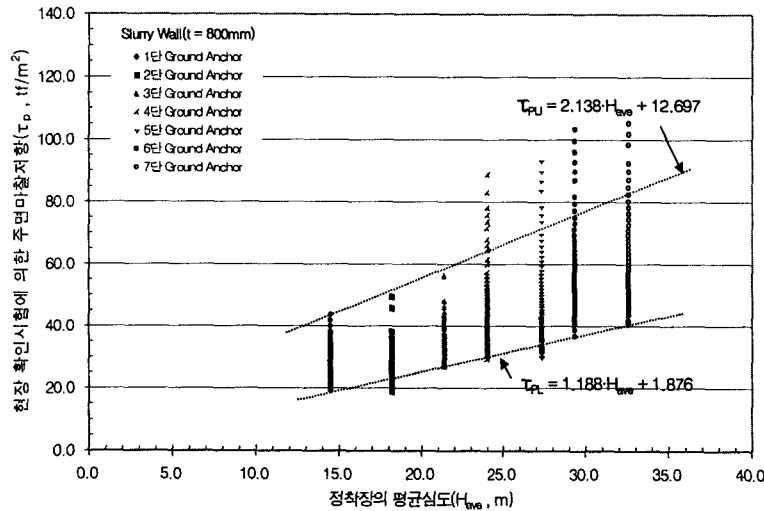


그림 4. 정착장의 평균심도에서의 주변마찰저항 (현장확인시험 기준)

4.3 심도비에 따른 설계 주변마찰저항과 확인 주변마찰저항

앵커에 대해 최종 굴착 심도에 따른 앵커 설치위치별 정착장의 평균 심도와 설계 주변마찰저항과 현장확인 실험에서 얻은 정착 지반의 주변 마찰저항 특성을 비교 분석한 결과 심도비(H_{ave}/H)에 따른 주변마찰저항비의 상관관계는 다음 그림 5와 같으며 평균 심도가 14.5m~32.6m의 풍화암 지반에 시공된 앵커에 대해 최종굴착 심도에 따른 앵커 설치 위치별 정착장의 평균 심도와 설계 주변마찰저항과 현장확인 시험에 얻은 정착지반의 주변마찰저항비의 특성을 비교 분석한 결과 심도비(H_{ave}/H)에 따른 주변마찰저항비 (τ_p / τ_d)가 식 (8), (9)와 같이 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다. 또한 최종 굴착 심도에 따른 앵커 설치 위치별 정착장의 평균심도비가 0.5~1.124의 풍화암 지반에 시공된 앵커의 주변마찰저항비는 탄성 신장량의 상한치에서 0.874~1.648, 탄성신장량의 하한치에서 0.382 ~ 0.811의 범위내에 존재하는 것으로 확인되었다.

$$\left(\frac{\tau_p}{\tau_d}\right)_U = 1.240 \frac{H_{ave}}{H} + 0.254 \text{ (상한치)} \quad (8)$$

$$\left(\frac{\tau_p}{\tau_d}\right)_L = 0.688 \frac{H_{ave}}{H} + 0.038 \text{ (하한치)} \quad (9)$$

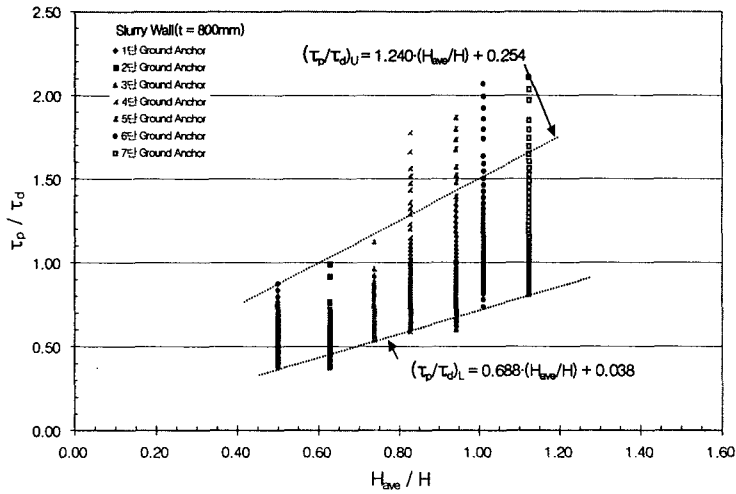


그림 5. 심도비(H_{ave}/H)에 따른 실제 주면마찰저항과 확인 주면마찰저항

4.4 현장 확인시험에 의한 앵커의 주면마찰저항과 마찰저항각

대상 현장에 시공된 현장 확인시험 결과로부터 얻은 주면마찰 저항과 앵커체의 정착지반에 발휘되는 마찰저항각의 특성을 비교 분석한 결과는 다음 그림6과 같으며 풍화암 지반에 시공된 앵커의 설치위치별 시험하중에 의한 확인 시험을 실시 측정된 주면마찰저항에 따라 발휘되는 마찰저항각은 상한치와 하한치 범위내에서 비선형 곡선 형태로 증가하는 경향을 보이고 있는 것으로 확인되었으며, 앵커체 정착지반에 발휘되는 마찰저항각은 유효 상재하중이 커질수록 증가하는 경향을 보이고 있으며 상한치에서 앵커 설치 위치별로 시험하중이 증가됨에 따라 일정한 형태로 수렴하는 것을 확인할 수 있다.

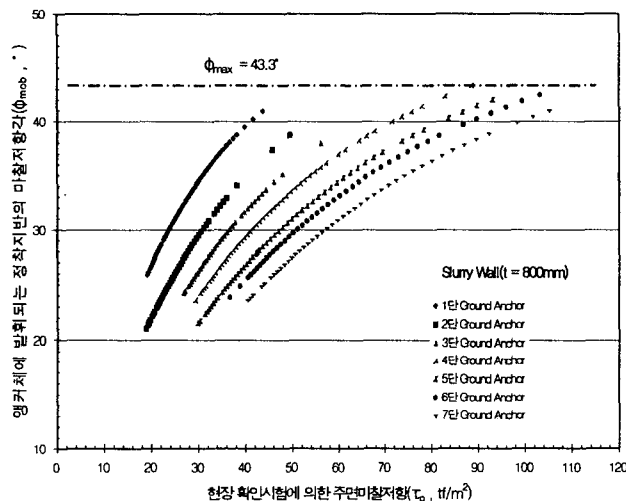


그림 6. 현장 확인시험에 의한 주면마찰저항력(τ_p)과 마찰저항각(ϕ_{mob})

4.5 앵커의 유효정착장에 의한 품질관리

대상현장에 시공된 앵커에 대하여 현장 확인시험시 측정된 탄성범위내의 신장량을 이용하여 유효정착장(L_{eb})을 산정하고, 이 결과를 통하여 품질관리를 평가하였다. 앵커의 설치위치별 변동계수 및 유효정착장의 품질관리 평가 결과는 다음 표 2와 같다.

표 2. 변동계수에 의한 유효정착장의 품질관리

설치위치 (m)	1단	2단	3단	4단	5단	6단	7단
H_{ave} (GL, m)	-14.5	-18.2	-21.4	-24.0	-27.35	-29.35	-32.6
변동계수 (C_v , %)	15.4	14.0	11.3	17.1	19.2	16.9	15.9
품질관리평가	보통	우수	우수	보통	보통	보통	보통

분석에 사용된 유효정착장의 품질관리 평가 결과 변동계수는 앵커의 설치위치별로 11.3% ~ 19.2% 범위로 나타났으며, 시공된 앵커의 유효정착장에 대한 품질관리는 우수내지 보통인 것으로 확인되었다.

5. 결론

풍화암 지반에 시공된 1,500여개의 앵커에 대한 현장 확인시험을 실시하여 신장량(elongation)을 측정하고 탄성신장량의 상한선과 하한선을 기준으로 앵커체의 주변마찰저항(τ_p) 및 지반과 앵커체에 발휘되는 마찰저항각(θ_{mob})의 분포범위 및 상관관계를 비교·분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 강성벽체(지하연속벽)의 풍화암지반에 시공된 앵커체에 대한 주변마찰저항은 신장량의 상한치와 하한치 범위내에서 비선형 곡선 형태로 증가하는 경향을 보이고 있는 것으로 확인되었으며, 신장량의 하한치에서 주변마찰저항력이 일정한 형태로 수렴하는 것으로 나타났으며, 상한치에서는 시험하중이 증가됨에 따라 극한상태를 보이고 있는 것으로 나타났다. 그 결과 풍화암 지반에 시공된 앵커의 신장량에 따른 확인 주변마찰저항(τ_p)의 특성은 설계 주변마찰저항의 40.4~169.4% 범위내에 존재하는 것으로 확인되었다.
- (2) 확인시험 결과로부터 산정된 정착지반의 주변마찰저항의 분포는 정착장의 평균심도가 증가함에 따라 유효상재하중에 의한 영향으로 앵커 설치 위치별로 주변마찰저항 값이 증가하고 있는 것으로 나타났으며, 탄성 신장량의 상한치와 하한치에서의 상관관계 식을 얻을 수 있었다.
- (3) 심도비(H_{ave}/H)에 따른 주변마찰저항비(τ_p/τ_d)가 선형적으로 증가하는 것으로 나타났으며, 다음과 같은 상한치와 하한치의 상관관계 식을 얻을 수 있었으며, 분석결과 심도가 14.5m ~ 32.6m의 풍화암지반에 시공된 앵커의 심도비가 0.94 이하에서는 설계 주변마찰저항의 63.7% ~ 105.3%의 범위로, 심도비가 0.94 이상인 경우에는 105.3% ~ 130.0% 크게 나타나는 것으로 확인 되었다.
- (4) 현장 확인시험에 의한 주변마찰저항에 따라 앵커체의 정착지반에 발휘되는 마찰저항각은 상한치와 하한치 범위내에서 비선형 곡선 형태로 증가하는 경향을 보이고 있는 것으로 확인되었으며, 앵커체 정착지반에 발휘되는 마찰저항각은 유효상재하중이 커질수록 증가하는 경향을 보이고 있으며, 상한치에서 앵커 설치위치별로 시험하중이 증가됨에 따라 일정한 형태로 수렴하는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 이재수(1997), “가설 흙막이 구조물의 어스앵커 인장력 손실에 관한 연구” 서울시립대학교 산업대학원
2. 임종철(1989), “Study into mechanism of pullout resistance of ground anchor in sand” 동경대학교 대학원.
3. 최규희(1985), “어스앵커 공법설계에 관한 연구” 연세대학교 산업대학원.
4. 한국지반공학회(1997), “지반공학시리즈 3” 구미서관.
5. B.M.Das.(1983), “A Procedure of inclined anchors and Piles” Proc. 8th CSMEF Vol.2, pp.167-172
6. B.M.Das.(1990), “Earth Anchor” Development in Geotechnical Engineering Vol.50.
7. Coates, D.F.and Yu,Y.s.(1971), “Rock Anchors Design Mechnics. Canada Dept. of Energy Mines and Resources” Research Report No. R233.
8. Dywidag Canada, Ltd(1993), “Dywidag Rock anchor Mono-bar, Bundle Anchor, Epoxy Anchor”. Dycker-hoff&Widmann AG, Munich, W.Germany.
9. Ghosh, R. S.(1976), “Reinforced Concrete Footing-Anchored in Rock” ontario Hydro Research Divission Report No. S764-4-k, Toronto, Canada.