

정적 인발하중을 받는 암반 앵커의 거동 ; 텐던-그라우트 경계면의 전단응력 분포

Rock Anchors Subjected to Static Uplift Loads ; Shear Stress Distribution of Tendon-Grout Interface

임 경 필^{*1}
Lim, Kyung-Phil

조 남 준^{*2}
Cho, Nam-Jun

황 성 일^{*3}
Hwang, Sung-Il

Abstract

In this study, the load transfer mechanism of tendon-grout interface of rock anchors has been examined through a series of static pull-out tests conducted on the model rock anchors constructed in the natural and artificial rock masses of granite and concrete, respectively. Several rock masses with horizontal discontinuities have been prepared to study the effects of weak planes on the shear stress distribution in tendon-grout interface. As a result, for the rock anchors constructed in the rock mass without discontinuities, stress concentration occurs on the upper part of the tendon-grout interface. On the contrary, as the frequency or the number of discontinuities increases, the shear stress distribution along the depth tends to be uniform. Also, an experimental equation about shear stress distribution between tendon-grout interface can be made by the regression of test results. The shear stresses computed from the experimental results between the rock surface and the depth of 2~3 times the tendon diameter are smaller than those from theory. Below the depth, the reverse can be observed.

요 지

본 연구에서는 암반 앵커의 텐던-그라우트 경계면의 하중전달기구(load transfer mechanism)를 규명하기 위하여 암질이 강한 자연 화강암과 콘크리트로 제작된 모형 암반에 시공된 모형 암반 앵커에 대한 정적

*1 정회원, 국민대학교 대학원 토목환경공학부 석사과정

*2 정회원, 국민대학교 공과대학 토목환경공학부 조교수

*3 정회원, 국민대학교 공과대학 토목환경공학부 교수

인발험(static uplift test)을 수행하였다. 불연속면이 텐던-그라우트의 전단응력 분포에 미치는 영향을 밝히기 위하여 수평한 절리면을 갖고 있는 모형암반도 제작되었다. 실험 결과 불연속면이 없는 암반에 시공된 암반 앵커의 경우 앵커 상단에 심한 응력 집중이 발생함을 알 수 있었고 불연속면이 증가할수록 깊이 에 따라 균일한 전단응력 분포를 나타냈다. 또한, 실험결과에 대한 회귀분석을 통하여 텐던-그라우트 경계면의 전단응력 분포에 관한 경험식을 산정하였으며, 실험에 의한 전단응력 분포는 텐던 직경의 2~3배 깊이에서는 이론에 의한 전단응력 분포 보다 작게 나타나고 그 이하에서는 반대 현상을 관찰할 수 있었다.

Keywords : Rock anchor, Tendon-grout interface, Load transfer mechanism, Shear stress distribution, Discontinuities.

1. 서 론

암반 앵커는 암반 위에 시공되는 구조물로부터 받는 인장력에 대하여 저항하는 기초형식으로서 지지력 대비 기초의 부피가 작아 시공비의 절감과 환경파괴를 극소화 할 수 있는 장점이 있다. 현재 까지 국내 송전탑의 기초 형식으로는 역 T형 기초 또는 심형 기초 등이 주로 사용되어 왔다. 최근 송전규모의 증가와 송전효율의 향상을 위하여 송전압을 증대시키는 양상에 따라 국내의 송전탑의 규모도 커지고 있는 실정이다.

송전탑이 대형화됨에 따라 송전탑 기초의 지지력도 더욱 커지도록 설계·시공하여야 하는 것은 필수적이다. 그러나 산악지대가 많은 우리 나라에서는 전술한 기초형식의 적정성에 많은 의의가 있어온 것이 사실이다. 특히, 산악 암반지대에 송전탑의 기초를 시공함에 있어서 상기 기초형식을 채택할 경우, 굴착 장비의 진입 곤란, 굴착 또는 발파에 따른 주변 환경훼손, 그리고 과도한 시공비 등의 문제가 있다. 따라서, 한국 전력 공사에서는 시공비용 절감과 자연훼손의 극소화를 위해 암반 앵커 기초의 송전탑 적용에 대한 연구를 수행하고 있다. 본 연구는 한국 전력 공사의 "송전철탑 암반 앵커 기초 설계기준 수립에 관한 연구"의 일환으로서 연구의 기초 단계인 정적 인발하중을 받는 암반

앵커의 거동에 대한 연구를 수행하였다. 텐던재의 특정한 위치에 다수의 스트레인 게이지(strain gage)를 부착하여 텐던의 변형률을 측정함으로써 텐던-그라우트 경계면에 발생하는 하중 전달기구 에 대하여 중점적으로 연구하였다. 또한 암반에 존재하는 불연속면의 유무와 빈도수가 암반 앵커의 거동에 미치는 영향을 연구하기 위하여 암반 제작 시에 불연속면의 유무와 빈도수를 달리하여 모형 암반을 제작하였다. 인발시험에 사용된 암반은 압질이 좋은 화강암과 콘크리트로 제작한 인공암반으로써 형상과 크기는 동일하게 제작되었으며 모형 암반의 정 중앙에 천공을 하고 모형앵커를 시공하여 최고 250kN의 인발하중을 가할 수 있는 MTS 장비를 이용하여 실험을 수행하였다.

2. 텐던-그라우트 경계면의 전단응력 분포

암반 앵커에서 텐던의 인발저항은 부착, 마찰, 그리고 맞물림(Interlocking)의 조합으로 이루어진다. 텐던의 미끄러짐(slip)이 발생하기 전에는 텐던-그라우트의 부착력과 맞물림의 힘이 인장재의 저항을 지배하고 미끄러짐 발생 후에는 마찰에 의해 지배를 받는다. 텐던-그라우트 경계면이 파괴되는 경우 텐던-그라우트 경계면의 전단

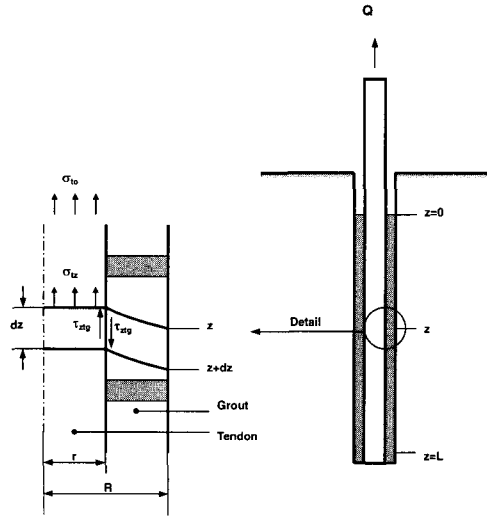


그림 2.1 임의의 깊이에서 발생하는 텐던-그라우트
경계면의 전단응력(Farmer, 1975)

응력을 안다면 암반 앵커의 지지력은 식 (2.1)과
같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{tgu} = \pi B_t \int_0^{l_{btg}} \tau_{tgu}(z) dz \quad (2.1)$$

여기서, Q_{tgu} = 텐던-그라우트 경계면의 극한
지지력, B_t = 텐던의 직경, l_{btg} = 텐던-그라우트
경계면의 부착길이, $\tau_{tgu}(z)$ = 깊이 z 에서 텐던-
그라우트 경계면의 극한 전단응력이다.

전 부착길이를 따르는 부착 응력 분포에 관하여
실내 모형 실험(Farmer, 1975)이나 수치해석
방법(Coates and Yu, 1971) 등에 의해 많은 연
구가 수행되었다. 이러한 연구들의 결과는 모두
전단응력 분포가 심한 비선형을 나타내고 작용 하
중이 커질수록 부착부 상단에 응력집중이 일어나
며 하단으로 갈수록 급격히 감소함을 보인다.

텐던-그라우트 경계면의 하중전달기구(load
transfer mechanism)는 그림 2.1과 같이 인장
력이 텐던에 작용하면 텐던-그라우트 경계면을
따라 전단응력이 발생한다. Farmer(1975)는

텐던, 그라우트, 암이 모두 탄성 거동을 하고, 텐
던-그라우트, 그라우트-암 경계면에서 미끄러짐,
즉 소성 거동이 없다는 가정 하에 전단응력 분포
를 식 (2.2)와 같이 제시하였다.

$$\tau_{ztg} = \frac{1}{2} r \alpha \sigma_{t0} e^{-\alpha z} \quad (2.2)$$

여기서, τ_{ztg} = 임의의 깊이 z 에서의 텐던-그라우
트 경계면의 전단응력, r = 텐던의 반경, R = 천
공의 반경, σ_{t0} = 텐던 상단의 인장응력, 그리고
 z = 앵커 상단에서 깊이방향으로의 거리이다. 또
한 α 는 식 (2.3), (2.4)와 같이 정의된다
(Farmer, 1975).

그라우트 직경이 얇은 ($R - r < r$) 경우,

$$\alpha^2 = \frac{K}{r(R - r)} \quad (2.3)$$

그라우트 직경이 두꺼운 ($R - r > r$) 경우

$$\alpha^2 = \frac{K}{r^2 \ln\left(\frac{R}{r}\right)} \quad (2.4)$$

여기서, K 는 그라우트의 탄성계수 (E_g)와 텐
던의 탄성계수 (E_t)의 비로써 다음과 같이 정의
된다.

$$K = \frac{E_g}{E_t} \quad (2.5)$$

텐던-그라우트 경계면의 부착과괴가 일어나는
경우 전 부착 길이를 따르는 텐던-그라우트 경계
면의 허용지지력은 식 (2.2)를 이용하여 다음과
같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} Q_{tga} &= \pi B_t \int_0^{l_{btg}} \tau_{tga} dz \\ &= A_t \sigma_{ta0} [1 - e^{-\alpha l_{btg}}] \end{aligned} \quad (2.6)$$

표 2.1 텐던-콘크리트의 극한 전단강도

	텐던-콘크리트의 극한 전단강도 (kg/cm ²)			
콘크리트의 압축 강도(kg/cm ²)	204	255	306	408
원형봉강	12.2	14.3	15.3	19.4
이형봉강	17.3	19.4	22.4	25.5

여기서, Q_{tga} = 텐던-그라우트 경계면의 허용 지지력, B_t = 텐던의 직경, l_{btg} = 텐던-그라우트 사이의 부착길이, τ_{tga} = 텐던-그라우트 경계면의 허용 전단응력, A_t = 텐던의 단면적, 그리고 σ_{tao} = 텐던 상단의 허용 인장응력이다.

식 (2.6)에서 텐던-그라우트 경계면의 허용 지지력은 l_{btg} 가 충분히 클 때, $e^{-\alpha l_{btg}}$ 항은 0으로 수렴하므로 앵커의 상단에 작용하는 하중과 같아 지게 됨을 알 수 있다. 비록 텐던-그라우트 경계면의 전단응력 분포가 이와 같이 비선형을 나타내지만 현재의 앵반 앵커 설계는 부착길이 산정의 편의를 위해 식 (2.7)과 같이 전 구간에 걸쳐 균일한 전단응력이 발생한다고 가정하여 부착길이를 산정한다.

$$l_{btg} = \frac{Q_{tga}}{\pi B_t \tau_{tgm}} \quad (2.7)$$

여기서, τ_{tgm} = 텐던-그라우트 경계면의 평균 전단응력이다. 단, 가정된 평균 전단응력은 허용 전단응력을 넘어서는 안된다. (건설교통부 1996)

영국 시방서에서는 콘크리트 강도에 대한 텐던의 극한 전단강도(Littlejohn, G.S.와 Bruce, D.A. 1997)를 표 2.1과 같이 제시하였고, 그라운드 앵커 기술협회에서는 영구앵커에 대하여 그라우트의 압축강도가 350kg/cm² 이상인 PC이형봉강인 경우, 텐던-그라우트 경계면의 허용 전단강도를 12kg/cm²으로 제시하였다. (그라운드 앵커기술 협회 1996)

3. 모형 앵반 앵커의 정적 인발시험

3.1 재료의 역학시험

재료 역학·시험의 목적은 모형 앵반 앵커의 인발시험에 사용할 재료의 역학적 성질을 파악하는데 있다. 즉, 모형 앵반 앵커의 인장재로 쓰일 이형봉강, 그라우트 재료인 시멘트 모르타르 그리고 모형앵반의 강도와 탄성계수 등의 역학적 성질을 파악한다.

3.1.1 모형앵반

모형 앵반 앵커 인발시험에 사용된 앵반의 종류는 자연앵반인 화강암과 콘크리트로 제작한 인공앵반으로서 형상과 크기는 모두 동일하게 제작하였다. 가로, 세로, 높이가 각각 500mm×500mm×300mm로 제작하여 앵반의 중앙에 직경 30mm, 깊이 250mm의 홈을 천공하여 앵커를 시공하였는데 텐던의 부착길이는 240mm이다. 앵반의 불연속면의 유무가 앵반 앵커의 거동에 미치는 영향을 연구하기 위하여 그림 3.1에 보인바와 같이 불연속면이 없는 모형앵반과, 간격(spacing)이 각각 100mm와 50mm인 불연속면이 2개, 5개가 있는 모형앵반을 제작하였다.

인공앵반은 콘크리트로 제작하였는데 표 3.1과 같이 배합설계를 하였으며 인공앵반 제작시 공시체를 함께 제작하여 한국산업규격, 콘크리트의 압축강도 시험방법(KS F 2405)에 따라 일축압축시험을 수행하였다.

여기서, W:물, C:시멘트, F.A.:플라이 애쉬, S:모래, D:C+F.A.+S+유동화제이다.

표 3.1 인공앵반의 배합재료량

W/C(%)	W/D(%)	단 위 재 료 량 kg/m ³				
		W	C	F.A.	S	유동화제
37.5	28.1	375	1000	333	406	15

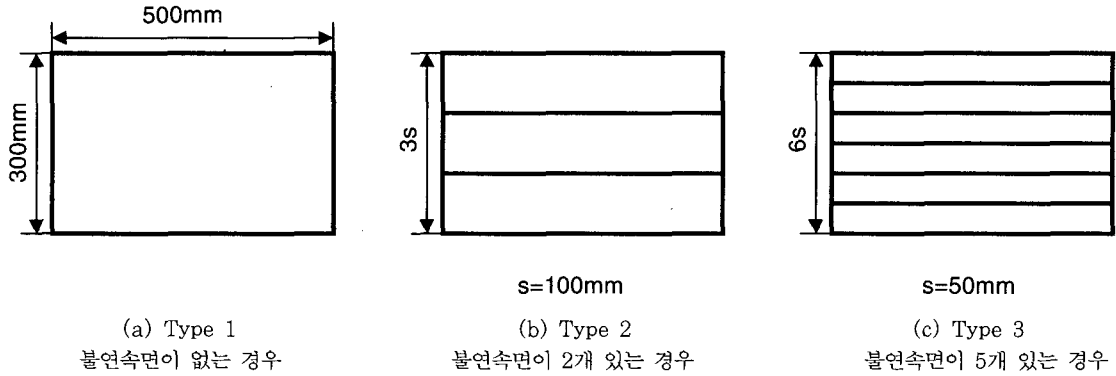


그림 3.1 모형 압반의 크기와 형태

3.1.2 텐던

모형 압반 앵커의 텐던재로는 SD30과 SD40의 이형봉강을 사용하였고 직경은 MTS 장비의 그립(grip)이 잡을 수 있는 최대 크기인 16mm이다. 텐던재로 사용된 이형봉강의 인장시험을 한국산업규격 금속재료 인장시험방법(KS B 0802)에 따라 수행하였다. 또한, 깊이에 따른 텐던-그라우트 경계면의 전단응력 분포를 측정하기 위하여 이형봉강에 다수의 스트레인 게이지를 부착하고 그라우트재의 수분으로 인한 전기저항을 방지하기 위하여 방수처리를 하였다.

3.1.3 그라우트제

일반적으로 앵커체를 형성하는 주입제는 주로 시멘트 페이스트(cement paste) 및 시멘트 모

르타르(cement mortar)를 사용하는데 본 실험에서는 고강도 시멘트인 매직콘 알파 [동양시멘트(주)]를 그라우트재로 사용하였다. 한국산업규격 콘크리트의 압축강도 시험방법(KS F 2405)에 따라 압축강도 시험을 수행하였다. 모형 압반 앵커 인발시험에 사용된 재료의 물성치를 표 3.2에 나타내었는데 이는 평균값을 의미한다.

3.2 인발시험 장치

본 인발시험에서는 최고 250kN의 인발하중을 가할 수 있는 MTS 장비를 사용하였다. MTS장비는 상하 두 개의 그립(grip)으로 되어있어 유압에 의해 하부그립이 하강하며 하중을 재하하는 장비이다. 따라서 MTS장비에 압반을 물리기 위하

표 3.2 모형 압반 앵커 인발시험에 사용된 재료의 성질

표기*	모형압반		그라우트		텐던	
	탄성계수 (kg/cm ²)	일축압축강도 (kg/cm ²)	탄성계수 (kg/cm ²)	일축압축강도 (kg/cm ²)	탄성계수 (kg/cm ²)	항복강도 (kg/cm ²)
JGN	5.54×10 ⁵	1097	2.98×10 ⁵	511	2.09×10 ⁶	3812
JGH	5.54×10 ⁵	1097	2.64×10 ⁵	631	2.11×10 ⁶	4216
JCH	2.58×10 ⁵	575	2.64×10 ⁵	631	2.11×10 ⁶	4216

* 표기법(알파벳 순) - C : 인공압반(concrete), G : 자연압반(granite), H : SD40 이형봉강(high strength tendon), J : 불연속면의 수(number of joint), N : SD30 이형봉강(normal strength tendon)

보기) 0GN - 불연속면이 없는 자연압반에 SD30 이형봉강을 텐던재로 시공한 압반앵커

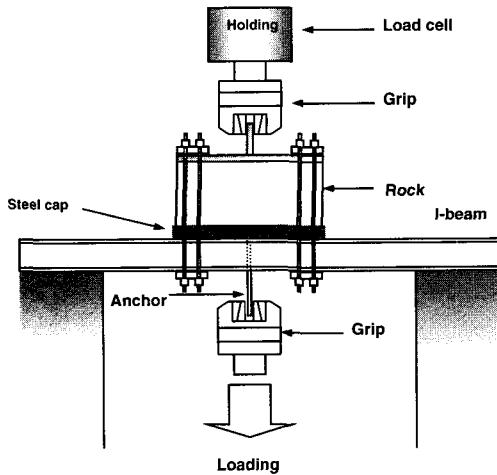


그림 32 모형 암반 앵커 인발시험 장치 배열도

여 그림 3.2와 같이 지지대와 I-빔(Beam)을 설치하여 모형암반을 거꾸로 설치하였다. 그리고 I-빔에 의한 암반의 휨 파괴를 방지하기 위하여 두께 1cm의 철제상자를 제작하여 씌웠으며, I-빔의 휨으로 인한 처짐을 방지하기 위하여 강봉을 사용하여 상부그립과 연결하였다. MTS장비에서는 두 개의 그립사이의 변형률과 변위를 측정하므로 강봉의 인장에 대한 영향을 고려할 수 없다. 따라서 변위측정 게이지(CDP-100)를 하부그립과 암반에 연결하여 암반 앵커의 변위를 측정하였다. 텐던에 부착된 스트레인 게이지와 변위측정 게이지의 측정에는 TDS303을 사용하였다.

4. 실험결과

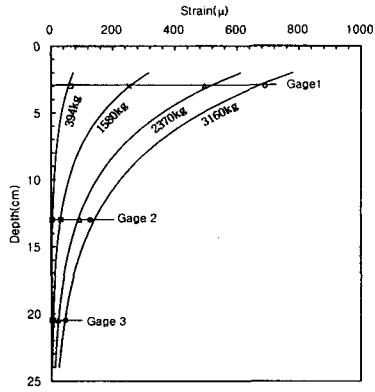
텐던에 부착한 스트레인 게이지로부터 변형률을 측정하여 텐던-그라우트 경계면의 전단응력을 계산하였다. 부착된 두 게이지 사이의 전단응력의 산정은 식 (4.1)을 이용하였는데 부착된 게이지의 간격이 비교적 크기 때문에 측정된 값에 대한 회귀분석을 통해 게이지 사이에서의 변형률을 추정하여 전단응력을 산정하였다.

$$\tau_{1,2} = \frac{E_t r}{2l_{1,2}} (\epsilon_1 - \epsilon_2) \quad (4.1)$$

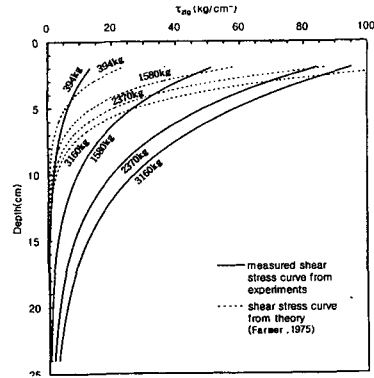
여기서 $\tau_{1,2}$ = 1번과 2번 게이지 사이의 평균 전단응력, E_t = 텐던의 탄성계수, r = 텐던의 반경, $l_{1,2}$ = 두 게이지 사이의 거리, 그리고 ϵ_1, ϵ_2 는 각각 1번과 2번 게이지에서 측정된 변형률이다.

회귀분석에 의한 값에 따른 변형률 곡선과 이 변형률을 이용한 값에 따른 전단응력 곡선을 그림 4.1~4.9에 나타내었는데 Farmer(1975)에 의해 제안된 이론식인 식 (2.2)를 이용하여 실측에 의해 계산된 전단응력 곡선과 비교하였다. 그림 4.1~4.9의 (b)에서 점선은 이론적인 전단응력 분포를 나타내고 실선은 실험에 의해 측정된 변형률로부터 계산된 전단응력 분포이다. 그림 4.1과 4.2에서 보면 무결암의 경우 낮은 하중단계에서는 이론식과 비교적 잘 맞지만 하중 단계가 증가할수록 이론적인 전단응력 분포와 많은 차이를 보임을 알 수 있는데, 이는 하중이 증가할수록 텐던-그라우트 경계면의 부착이 부분적으로 떨어지면서 텐던에 작용하는 응력이 하단까지 전달되기 때문이다. 즉 이론식의 기본가정은 텐던-그라우트 경계면에서 미끄러짐이 일어나지 않는다는 것인데 낮은 하중 단계에서는 이 조건을 만족시키지만 하중이 증가할수록 텐던-그라우트 경계면에서 소성변위, 즉 미끄러짐이 발생하여 기본가정을 만족시키지 못하기 때문이다.

불연속면이 존재하는 경우에는 낮은 하중단계에서도 텐던의 하단까지 응력이 전달되는 것으로 나타나 이론식과 큰 차이를 보임을 알 수 있다. 불연속면이 없는 암반에 시공된 암반 앵커와 비교할 때, 동일한 하중단계에서도 값에 따라 비교적 균일한 전단응력 분포를 보이는데, 이와 같은 경향은 불연속면의 수가 증가할수록 더욱 큰 것으로 나타났다. 이는 작용하중이 암반 앵커의 탄성거동 범위로 가정할 수 있는 크기인 것으로 보아 텐던-

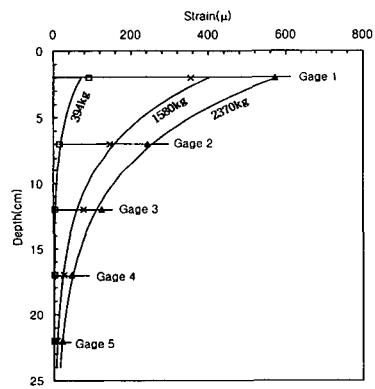


(a) 변형률 곡선

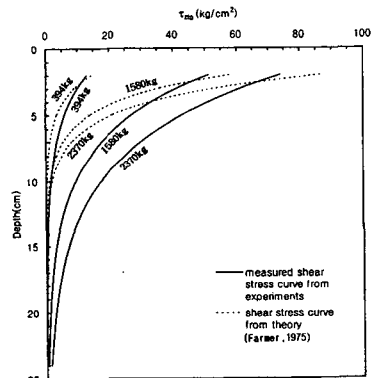


(b) τ_{ztg} 의 분포

그림 4.1 하중 단계에 따른 τ_{ztg} (OGH)

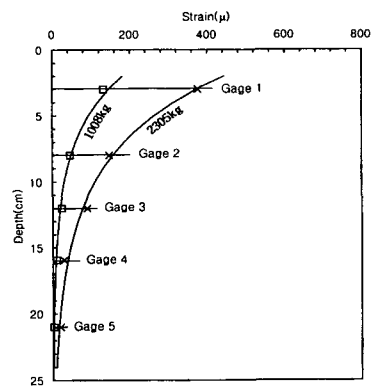


(a) 변형률 곡선

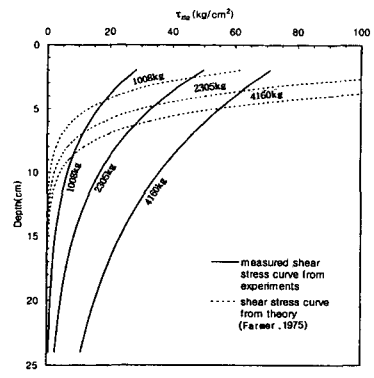


(b) τ_{ztg} 의 분포

그림 4.2 하중 단계에 따른 τ_{ztg} (OCH)

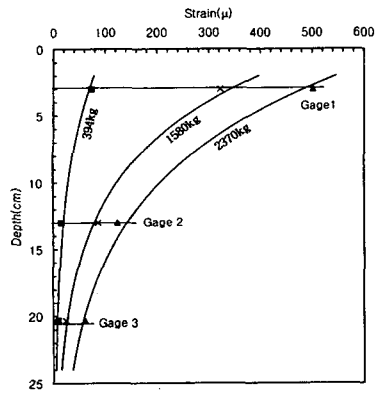


(a) 변형률 곡선

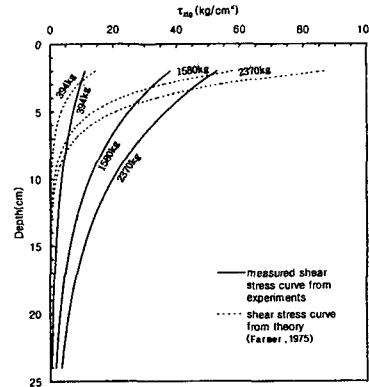


(b) τ_{ztg} 의 분포

그림 4.3 하중 단계에 따른 τ_{ztg} (OGN)

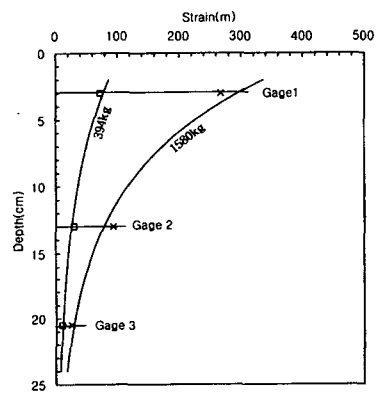


(a) 변형률 곡선

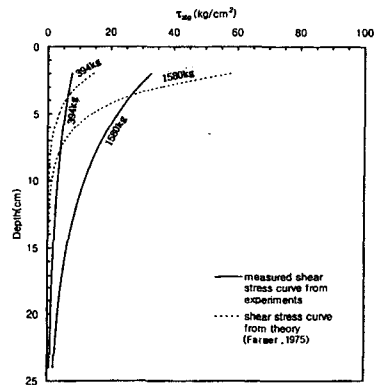


(b) τ_{ztg} 의 분포

그림 4.4 하중 단계에 따른 τ_{ztg} (2GH)

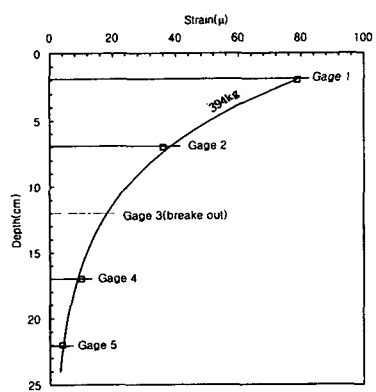


(a) 변형률 곡선

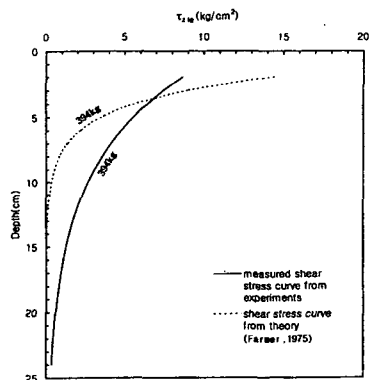


(b) τ_{ztg} 의 분포

그림 4.5 하중 단계에 따른 τ_{ztg} (5GH)

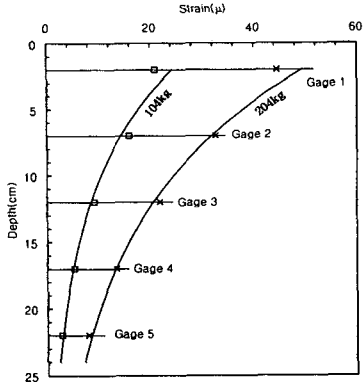


(a) 변형률 곡선

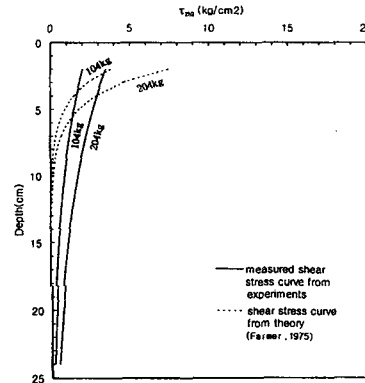


(b) τ_{ztg} 의 분포

그림 4.6 하중 단계에 따른 τ_{ztg} (2CH)

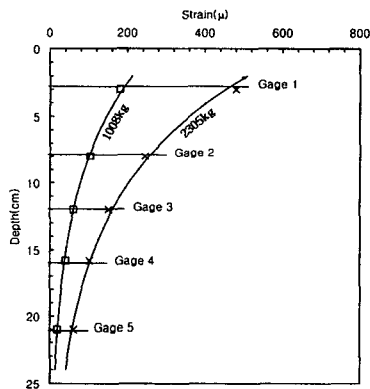


(a) 변형률 곡선

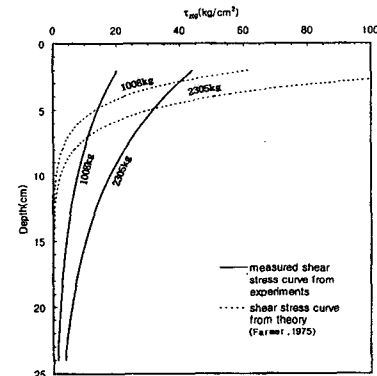


(b) τ_{ztg} 의 분포

그림 4.7 하중 단계에 따른 τ_{ztg} (5CH)

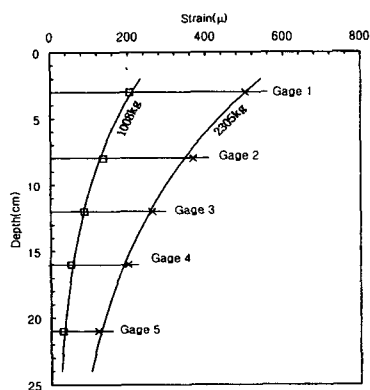


(a) 변형률 곡선

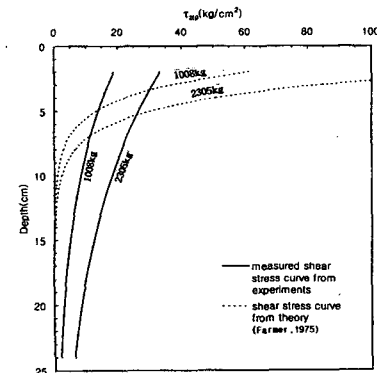


(b) τ_{ztg} 의 분포

그림 4.8 하중 단계에 따른 τ_{ztg} (2GN)



(a) 변형률 곡선



(b) τ_{ztg} 의 분포

그림 4.9 하중 단계에 따른 τ_{ztg} (5GN)

그라우트 경계면의 부착과괴에 의한 영향보다는 불연속면의 영향이라고 사료된다.

또한, 암반 앵커의 상부에서는 이론식보다 전단응력이 작게 나타났으며 아래로 내려갈수록 크게 나타났다. 즉, 텐던 직경의 2~3배 깊이인 3~5cm 까지는 텐던-그라우트 경계면의 전단응력은 이론식에 의해 계산된 전단응력에 비해 작았다.

텐던과 그라우트의 역학적 성질이 동일한 경우에 불연속면의 유무가 τ_{ztg} 의 분포에 미치는 영향을 연구하기 위하여 전단응력 분포 곡선을 정규화하였다. 즉, 가로축은 τ_{ztg}/σ_{t0} 로, 세로축은 z/l_{btg} 로 정규화하여 그림 4.10에 나타내었다. 여기서 σ_{t0} 는 앵커 상단에 작용하는 응력으로써 작용하중을 텐던의 단면적으로 나옴으로써 산정할 수 있다. 그림에서 JGH와 JCH는 작용하중이 394kg인 경우, 그리고 JGN은 작용하중이 1008kg인 경우로써 텐던, 그라우트, 암이 모두 탄성거동을 하는 하중단계이다.

그림 4.10의 모든 암반에 대한 전단강도는 식 (4.2)와 같이 지수함수로 표현할 수 있다.

$$\tau_{ztg} = \sigma_{t0} \cdot e^{-a\left(\frac{z}{l_{btg}} + b\right)} \quad (4.2)$$

여기서, a와 b는 불연속면의 개수에 따른 상수로써 표 4.1에 각 모형암반의 종류에 대한 a와 b의 값을 나타내었다. 표 4.1에서 불연속면의 수가 증가할수록 a값은 감소하고, b값은 증가하는 것을 알 수 있다. 그림 4.11에 불연속면의 간격에 따른 상수 a와 b에 대한 변화를 나타내었다. 그림에서 가로축은 s/l_{btg} 로 정규화 한 것으로 s는 불연속면의 간격을 나타낸다.

만일 작용하중 하에서 암반 앵커가 탄성거동을 한다면, 평형방정식에 의하여 전 부착길이에 대한 전단력은 작용하중과 같아야 한다. 전 부착 길이에 대한 전단력은 다음과 같이 산정할 수 있다.

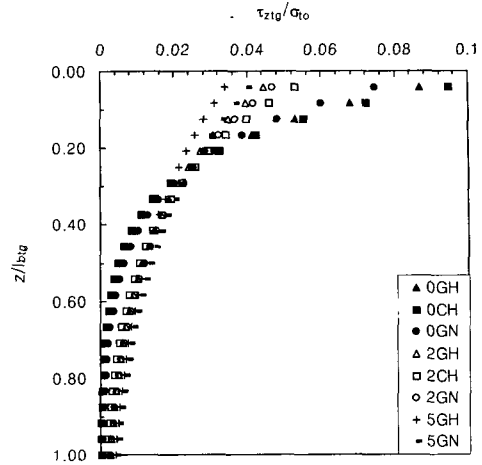


그림 4.10 불연속면의 수에 따른 전단응력의 분포

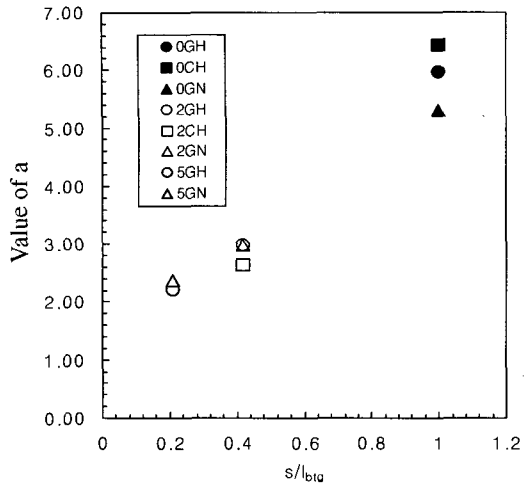
표 4.1 불연속면의 수 따른 상수 a와 b

암의종류	a	b
0GH	5.96	2.19
0CH	6.44	2.09
0GN	5.30	2.38
2GH	2.99	3.05
2CH	2.65	3.03
2GN	2.99	2.94
5GH	2.22	3.29
5GN	2.38	3.12

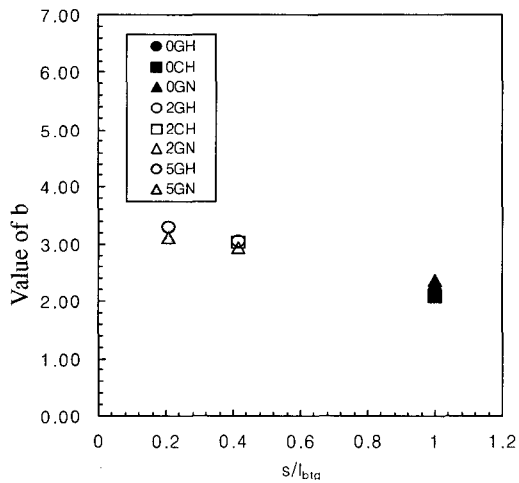
$$V_{ztg} = \pi B_t \int_0^{l_{btg}} \tau_{ztg} dz \quad (4.3)$$

여기서, V_{ztg} = 암반 앵커의 전 부착길이에 있어서의 전단력, l_{btg} = 텐던-그라우트 경계면의 부착길이로써 24cm를 적용하였다.

표 4.2에 암반 앵커의 탄성거동을 가정할 수 있는 하중에서 전단력을 계산하여 나타내었다. 표에서 보면 Farmer(1975)에 의해 제안된 식 (2.2)는 재료의 탄성범위 하에서 힘의 평형관계를 고려한 식이므로 작용하중과 일치 하지만 실험결과와는 다소 차이가 있었다. 이는 전단응력 계산시 식 (4.1)에서 사용한 탄성계수는 텐던재의 평균 탄



(a) a값의 변화



(b) b값의 변화

그림 4.11 불연속면의 간격에 따른 상수 a와 b의 변화

성계수로써 실제로 실험에 사용된 텐던재의 탄성계수의 편차에 의한 것으로 판단된다. 그러나 전단력의 차이는 그리 크지 않은 것으로 텐던-그라우트 경계면의 전단응력분포를 지수 함수로 가정하는 것이 타당한 것으로 나타났다.

6. 결론

정적 인발하중을 받는 모형 암반 앵커에 관한 실험과 고찰을 통한 연구 결과 및 추후 연구내용

표 4.3 전 부착길이에 대한 전단력 비

구 분		작용하중(kg)	
		394	1008
전 단 력 (kg)	Farmer(1975)	394	1008
	0GH	441	1128
	0CH	454	1161
	0GN	413	1056
	2GH	358	915
	2CH	400	1023
	2GN	399	1020
	5GH	353	904
	5GN	401	1025

은 다음과 같이 요약된다.

- 1) 텐던에 부착된 스트레인 게이지로부터 계산된 τ_{ztg} 분포는 하중이 증가할 수록 더욱 심한 비선형을 나타 내며 이론식과 많은 차이를 나타냈지만 낮은 하중단계에서는 이론식과 유사하게 나타났다. 그러나 불연속 면이 존재하는 암반 경우에는 낮은 하중하에서도 이론식과는 많은 차이를 나타냈다.
- 2) 암반 앵커의 상부, 즉 텐던 직경의 2~3배 깊이인 3~5cm 까지는 텐던-그라우트 경계면의 전단응력은 이론식에 의해 계산된 전단응력에 비해 작게 나타나고 하부로 갈수록 그 반대의 현상이 나타났다.
- 3) 암반 앵커의 τ_{ztg} 는 불연속면이 없는 암의 경우에 앵커 상단에 심한 응력집중을 보이고 불연속면이 증가할수록 깊이에 따라 균일한 분포를 나타낸다. 따라서 불연속면이 발달된 암에서는 깊이에 따라 균일한 전단응력분포를 가정하여 암반 앵커의 지지력을 산정하는 것은 타당하나 무결암에 시공된 암반 앵커의 경우, 전 부착길이에 대하여 균일한 전단응력 분포를 가정하여 암반 앵커의 지지력을 산정하는 것은 앵커 상부에서의 응력집중을 고려

하지 않은 것이므로 깊이에 따라 비선형으로 변하는 전단응력분포를 고려하여야 한다.

- 4) 깊이에 따른 텐던-그라우트 경계면의 전단 응력 분포가 식 (4.2)와 같이 제안되었고 여기서 상수 a는 불연속면의 간격이 작을수록 증가하며 b의 값은 반대로 감소하였다. 식 (4.2)를 이용하여 텐던-그라우트 경계면의 전단력을 계산한 결과 작용하중과 근소한 차이를 보였다. 따라서 다수의 암반 앵커 인발 실험에 의해 경험적인 a와 b의 값을 축적한다면 보다 정확한 τ_{ztg} 분포를 예측할 수 있다.
- 5) 암반 앵커의 파괴유형에는 텐던-그라우트 경계면의 부착파괴 외에 텐던의 인장파괴, 그라우트-암 경계면의 부착파괴, 그리고 암의 파괴로 요약되므로 이들 파괴 유형에 대한 연구가 수행되어야 보다 합리적인 암반 앵커의 설계가 이루어질 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 한국전력공사의 연구비 지원으로 수행된 "송전철탑 락 앵커 기초 설계기준 수립에 관한 연구"에 대한 수행 결과의 일부로 본 지면을 통하여 감사를 표합니다. 특히 김 우범 박사님을 포함한 전력 연구원의 실무 관계자들과 현대 엔지니어링 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

기 호 해 설

- A_t : 텐던의 단면적
 B_t : 텐던의 직경
 E_g : 그라우트의 탄성계수
 E_r : 암의 탄성계수
 E_t : 텐던의 탄성계수
 K : 그라우트의 탄성계수와 텐던의 탄성계수의 비
 $l_{1,2}$: 두 게이지 사이의 거리
 l_{btg} : 텐던-그라우트 경계면의 부착길이
 Q_{tga} : 텐던-그라우트 경계면의 허용 부착지저력

- Q_{tgu} : 텐던-그라우트 경계면의 극한 부착지저력
 r : 텐던의 반경
 R : 천공의 반경
 V_{ztg} : 암반 앵커의 전 부착길이에서의 부착력
 z : 앵커 상단에서 깊이방향으로의 거리
 ϵ_1 : 1번 게이지에서 측정된 변형률
 ϵ_2 : 2번 게이지에서 측정된 변형률
 σ_{to} : 텐던 상단의 인장응력
 σ_{tao} : 텐던 상단의 허용 인장응력
 $\tau_{1,2}$: 1번과 2번 게이지 사이의 평균 전단응력
 τ_{tga} : 텐던 - 그라우트 경계면의 허용 전단응력
 τ_{tgm} : 텐던 - 그라우트 경계면의 평균 전단응력
 τ_{grm} : 그라우트 - 암 경계면의 평균 전단응력
 τ_{tgu} : 텐던-그라우트 경계면의 극한 전단응력
 τ_{ztg} : 임의 깊이 z에서의 텐던-그라우트 경계면의 전단응력

참 고 문 헌

1. 건설교통부(1996), 도로교 표준 시방서, pp. 90~141.
2. 그라운드 앵커 기술협회, (1996), 그라운드 앵커 공법, 구미서관, pp. 199~203.
3. Canadian Geotechnical Society, (1992), Canadian foundation engineering manual, Third Edition., Technical Committee on Foundations, pp.404~407.
4. Coates, D. F. and Yu, Y. S., (1971), Rock anchor design mechanics, Canada Dept. of Energy Mines and Resource, Research Report No. R233.
5. Ducan, C. W., (1992), Foundations on Rock, Chapman & Hall, London., pp. 205~282.
6. Farmer, I. W., (1975), "Stress distribution along a resin grouted anchor", Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abster., Vol. 12, pp. 347~351.
7. Hoek, E., (1983), "Strength of jointed rock masses", Geotechnique, Vol. 33 . No.3, pp. 187~223.
8. Littlejohn, G. S. and Bruce, D. A. (1977), "Rock anchors-design and quality control", Proc. 16th Symp. on Rock Mechanics, U. of Minnesota, pp.77~88.
9. Priest, S. D., and Hudson, J. A., (1976), "Discontinuity spacings in rock", Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol. 13, pp. 135~148.
10. Sail, R. and Schaefer, R. (1968), "Anchored footings for transmission towers", ASCE Annual Meeting and National Meeting on Structural Engineering, Pittsburgh, PA, Sept. 3-Oct. 4, Preprint 753.

(접수일자 1999. 7. 31)