

압축형 앵커의 선단정착부 그라우트 보강에 따른 압축저항력 산정에 관한 연구

A Study on Compressive Force of Reinforced Grout at the Fixed Head of Compression Anchor

임 종 철^{*1} Im, Jong-Chul
이 태 형^{*2} Lee, Tae-Hyung
홍 석 우^{*3} Hong, Seok-Woo

Abstract

The ground anchor(briefly called 'anchor') is composed of anchor head, free length portion and fixed length portion. At present, the frictional anchor is usually used in the field, and is supported by frictional resistance force between ground and anchor body surface. This anchor can be further divided into tension and compression type according to stresses occurring at anchor body. Then, the ultimate load of tension anchor is mostly being used, as that of compression anchor. However, in compression anchor case, the compressive failure of grout may occur at the fixed head portion. But, the failure mechanism has not been clearly studied.

In this study, through the experimental test based on the actual field condition, we can understand the mechanism of pullout behavior of compression anchor due to reinforcements of fixed head portion. We proposed the grout strength calculation equation considering the confining pressure(K_0 and Poisson confining) of ground which can be used to determine the compression resistance force of the compression anchor.

요 지

지반 앵커(이하에서는 "앵커"로 칭한다)는 앵커두부, 자유부, 정착부로 나누어져 있다. 현재 주로 사용되고 있는 앵커는 지반과 앵커체 표면의 마찰저항력에 의해 지지하는 마찰방식이며, 앵커체에 발생하는 응력에 따라 크게 인장형과 압축형 앵커로 나누어진다. 그런데, 현재까지 이들 앵커의 설계 및 극한하중의 결정은 대부분이 인장형 앵커에 대한 것으로서, 긴장 시 압축형 앵커의 선단정착부의 응력집중으로 인한 그라우트 압축저항에 대해서는 명확히 연구되어져 있지 않다.

본 연구에서는, 현장과 비슷한 조건에서 실내시험을 실시하여 선단정착부 그라우트의 보강형식에 따른 압축거동특성과 보강효과, 지반의 구속(정지와 포아송 구속)을 고려한 압축형 앵커의 선단정착부 그라우트 압축저항력 산정식을 제안하였다.

Keywords : Compression anchor, Fixed head portion, Reinforced grout, K_0 confining pressure, Poisson confining pressure

*1 정희원, 부산대학교 공과대학 토목공학과 부교수
*2 정희원, 부산대학교 대학원 토목공학과 박사과정
*3 정희원, 동의대학교 토목공학과 강사

1. 서론

지반 앵커 공법은 구조물 또는 주변지반의 변형을 억제하기 위해서 이용되는 변형억제공법의 하나이다. 앵커는 앵커두부, 자유부, 정착부로 나누어져, 앵커케이블에 전

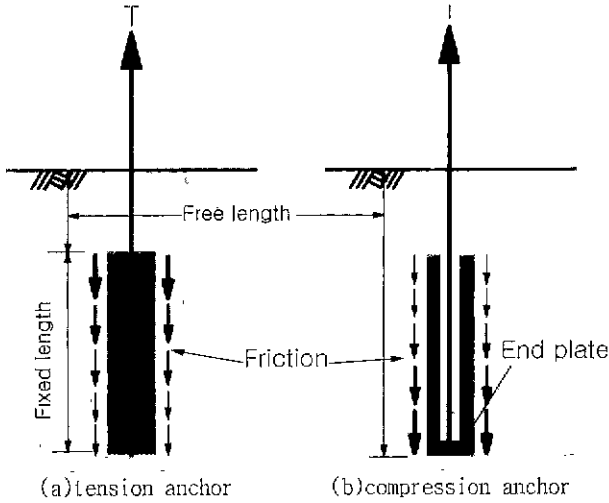


Fig.1. Classification of friction type anchors

달되는 긴장력을 자유부를 통하여 정착부로 전달하며, 정착부와 지반사이의 마찰저항력에 의해 앵커의 인발력이 발휘된다. 그리고 지금까지 사용되고 있는 앵커는 대부분이 마찰방식이며, 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째로 선단정착부 그라우트가 강연선과 접촉하여 인발시 인장력을 받는 인장형과 두 번째로 강연선과 그라우트 사이에 피복이 있어 인발시 그라우트가 압축력을 받는 압축형 앵커로 구별할 수 있다(한국지반공학회,1992). 현재까지 앵커의 설계 및 극한하중의 결정은 대부분이 마찰방식 중의 인장형 앵커에 대한 것으로서, 앵커의 인발시 압축형 앵커의 선단정착부 그라우트에 발생하는 응력집중에 의한 압축저항력에 대해서는 명확히 연구되어 있지 않으며, 따라서 설계에서도 고려되지 않고 있다.

본 연구는, 현장과 비슷한 조건의 실내시험에 의해서 선단정착부 그라우트의 보강에 따른 압축거동특성을 파악하고, 이들 결과와 지반의 구속압을 사용하여 압축형 앵커의 선단정착부 그라우트의 압축저항력 산정식을 제안하는데 목적이 있다.

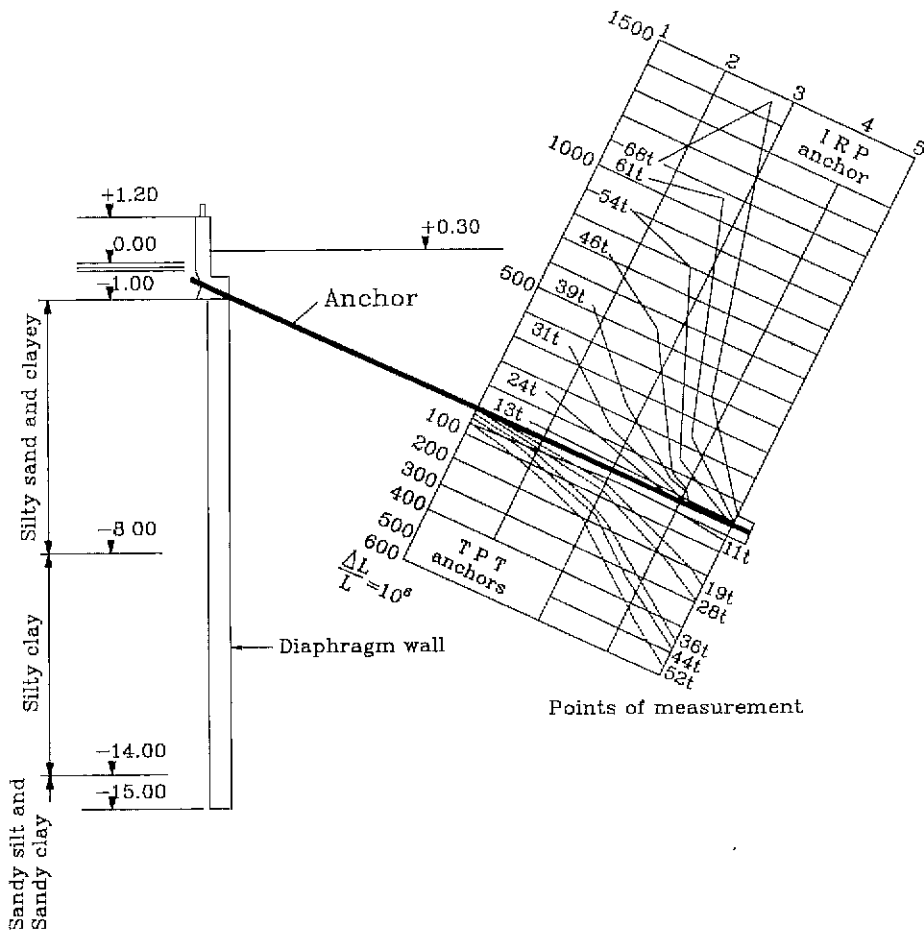


Fig. 2. Strain distribution of anchors in clay : compression (TPT) and tension (IRP) anchors

2. 종래의 연구

2.1 인장형과 압축형 앵커 하중전달방식의 비교

현재 사용되는 대부분의 앵커형태는 마찰방식인데, 마찰방식은 Fig. 1과 같이 앵커정착부의 하중지지방식에 따라 인장형과 압축형으로 나눌 수 있다. Fig. 2에서 알 수 있는 바와 같이, 인장형 앵커는 지표에 가까운 정착부에서부터, 압축형 앵커는 선단정착부에서부터 마찰저항력이 발휘된다.

2.2 인장형과 압축형 앵커의 인발거동에 관한 연구

Fig. 2는 점토지반 내의 경사앵커(인장형 및 압축형 앵커) 인발시의 인발력과 앵커체 각 위치에서의 인장변형률(인장앵커의 경우) 또는 압축변형률(압축앵커의 경우)의 분포를 나타낸다. Fig. 2에서 TPT는 압축형 앵커, IRP는 종래의 인장형 앵커를 나타내는데, 정착장에 설치한 변형률 게이지를 이용하여 하중분포를 측정하였다(Hanna,1982). 인장형은 초기 인발하중시에 정착장의 앞부분에서 최대의 인장변형률을 나타내지만 인발하중이 증가함에 따라 정착장의 가운데 쪽으로 최대인장변형률이 이동하는 것을 알 수 있다. 이를 진행성 파괴의 영향이라고 하는데, 압축형 앵커에도 이러한 영향은 나타나지만 인장형 앵커의 경우보다 작다는 것을 알 수 있다. 이러한 경향은 임 등(1995a,1998b,1999c)의 연구 결과와도 일치한다.

Fig. 3은 카쓰라 등(桂 등,1987)이 압축형과 인장형 앵커를 비교하여 정착부 2m구간에 변형률을 계측한 결과를 나타낸다. 그리고 정착지반은 N 치가 50이상인 東京 모래층이다. Fig. 3의 상부 그래프는 앵커체 축력의 분포, 하부의 그래프는 측정된 변형률로써 구간을 나누어서 계산된 마찰응력의 분포를 나타낸다. 각 하중 단계별 마찰저항을 살펴보면, 극한 인발력에 있어서는 대소의 차이가 없었으나, 압축형 앵커에서는 인장형 앵커에 비해 앵커 선단정착부의 그라우트 부분에 응력이 집중됨을 알 수 있다. 그리고 주변마찰저항에 있어서도 인장형 앵커와는 약간의 차이가 있음을 알 수 있다.

이와 같이, Fig. 3 하부의 결과를 보면 점선은 긴장력 70tf, 실선은 각각 150, 175tf일 때 인장형 앵커는 정착부와 자유부의 경계에서부터 마찰에 대해 저항하고, 압축형 앵커는 선단에서부터 마찰에 저항하며, 압축형 앵커의 선단 정착부 부근에 응력이 집중됨을 알 수 있다.

2.3 인장형과 압축형 앵커의 극한하중 결정

앵커의 극한하중은 아래 지반의 경우 앵커의 구성재료 간의 파괴에 의해 발생한다(日本地盤工學會,1990). 그리고 앵커의 극한하중의 결정요인은 다음과 같다(Fig. 4 참조).

① 앵커 강선(anchor tendon)의 인장강도(Fig. 4-(I)참조)

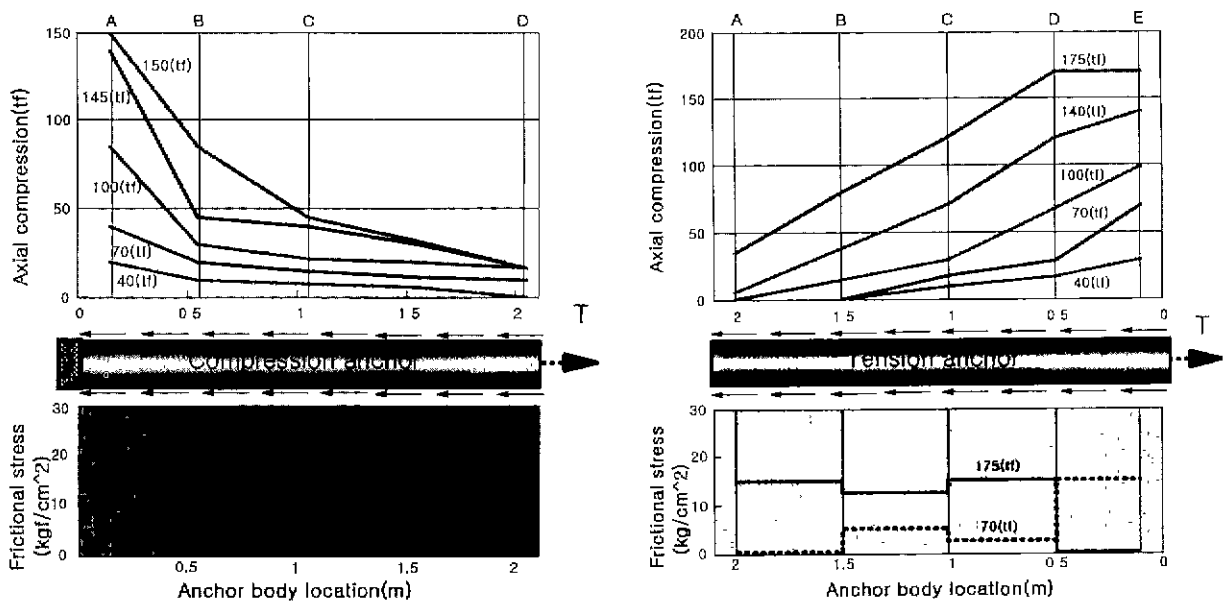


Fig. 3. Field test results of pullout for friction anchor

- ② 앵커 강선의 그라우트(grout)의 부착강도(Fig. 4-(2)참조)
- ③ 앵커체와 지반과의 주면마찰저항(Fig. 4-(3)참조)
- ④ 앵커체 주변지반이 파괴될 때의 지반 전단강도(Fig. 4)
- ⑤ 앵커체 그라우트의 압축강도(Fig. 4-⑤참조)
- ⑥ 앵커체와 선단 내하체(耐荷體)의 강도

압축형 앵커의 파괴모드는 ①~⑥항까지 모든 가능성이 있지만, 일부 형태를 제외하고는 압축형 앵커의 설계시 강선의 부착강도는 고려치 않으므로 ②항은 생략할 수 있다. 그리고 ④항도 대단히 과압된 지반을 제외하고는 이러한 원추형 파괴는 생기지 않고, 통상의 앵커는 표면형 파괴가 발생한다(지반공학회,1992). 그러므로 앵커의 간격이 좁은 군앵커의 경우를 제외하고는 앵커설계시에 지반 전단강도에 대한 고려는 무시한다. ⑥항의 경우, 압축형 앵커의 경우 내하체의 품질을 신뢰할 수 있을 경우에는 설계시에 이에 대한 고려는 제외된다. 따라서 압축형 앵커의 설계시에 전술한 6가지 중 ①, ③, ⑤의 항목 등이 고려되어야 할 것이다.

본 연구에서는 Fig. 4의 ⑤항과 같은 선단정착부 그라우트에 대하여 지반의 구속을 고려한 압축저항력을 계산하는 방법을 제안하고자 한다.

3. 앵커의 선단정착부 그라우트의 삼축압축시험

본 시험은 앵커의 선단정착부의 그라우트를 실내에서

현장과 비슷한 조건으로 모델링하고, 선단정착부의 보강에 의한 강도증가를 평가하기 위하여, 먼저 순수 그라우트에 대한 강도 정수(c_g, ϕ_g)를 결정하기 위해 삼축압축시험을 실시하였다. 시료는 직경 5cm, 높이 10cm, 물-시멘트비(W/C) 45%의 시료를 제작하였다. 삼축압축시험기는 상하단 잭, 축압장치, 압력계, 압력조절기, 유압장치, 등으로 구성되어 있으며, 유압장치를 통하여 주어진 구속압은 압력조절기로서 시험중 축압이 변하지 않도록 하였으며, 하중재하장치(UTM)를 이용하여 축하중을 측정하였다. 그리고 Photo 1은 구속압을 가한 상태에서 하중을 재하하는 모습이다.

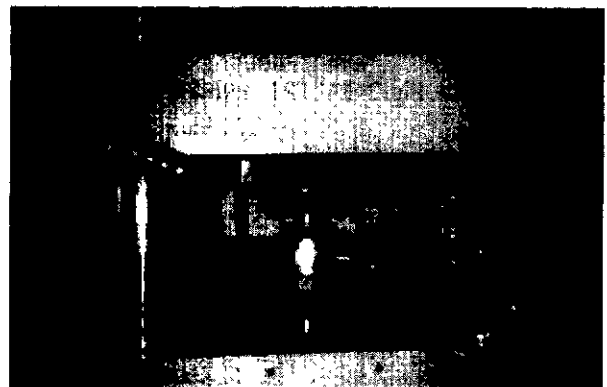


Photo 1. Triaxial compression test apparatus of rock

*마찰형 앵커 중 고려항목 민장형 앵커:①,②,③,④
압축형 앵커:①,②,③,④,⑤,⑥

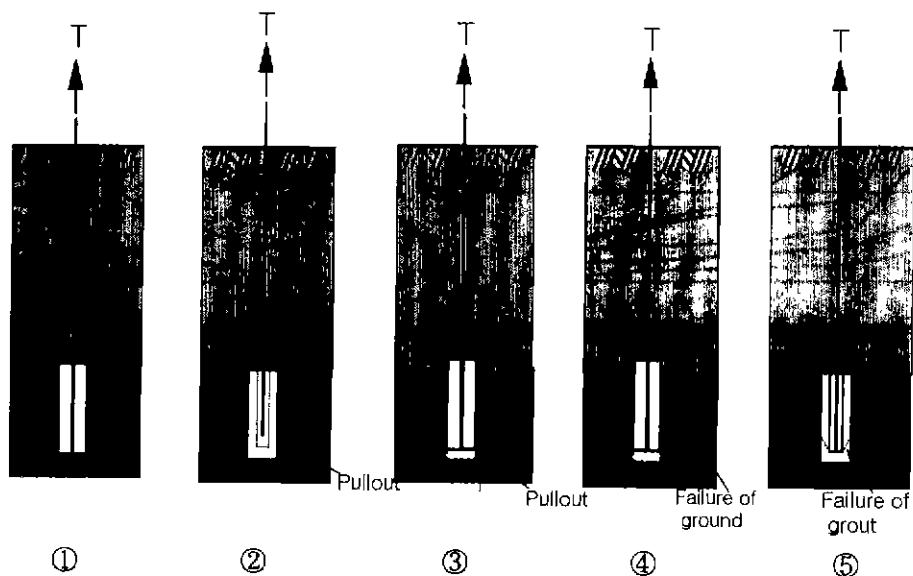


Fig. 4. Failure modes of anchor during pullout(日本地盤工學會,1990)

3.1 시험 결과에 의한 모아원

구속압(σ_3)은 0, 40, 60, 80, 100(kgf/cm²)의 5단계로 하였다. 그리고 구속압(σ_3)에 따른 강도(σ_1)는 Fig. 5와 같다.

구속압과 파괴시의 응력을 각각 $p \sim q$ [여기서, $p = (\sigma_1 + \sigma_3)/2$, $q = (\sigma_1 - \sigma_3)/2$]로 나타내어, 최소자승법에 의한 직선의 기울기와 절편을 이용하여 그라우트의 강도정수(c_g, ϕ_g)를 구하였다(Robert et al, 1988). Fig. 5의 시험결과를 모아원과 $p \sim q$ 도에 나타내면 Fig. 6과 같다.

(1) 내부 마찰각(ϕ_g)

$$\therefore \phi_g = \sin^{-1}(a) = \sin^{-1}(0.38) = 22.33^\circ$$

(2) 점착력(c_g)

$$\therefore c_g = \frac{b}{\cos \phi} = \frac{77.65}{\cos(22.33^\circ)} = 83.94 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

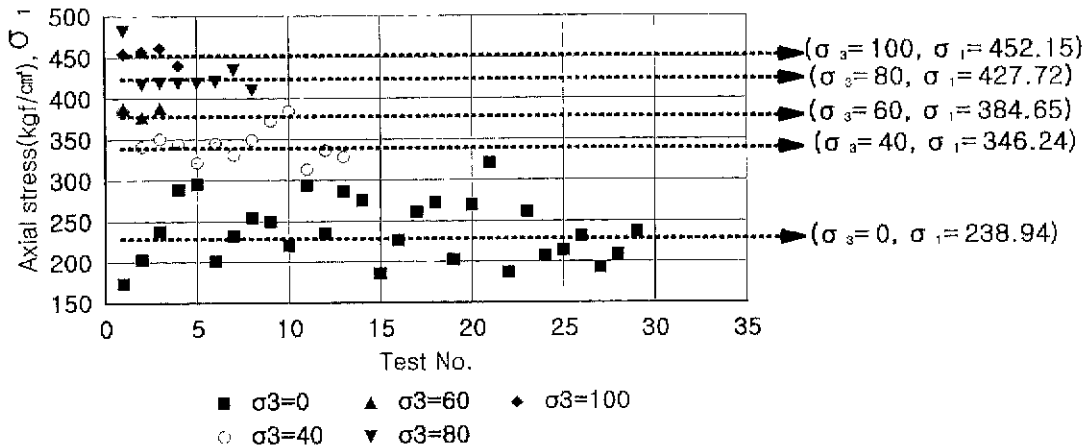


Fig. 5. Axial stresses according to confining stresses at failure

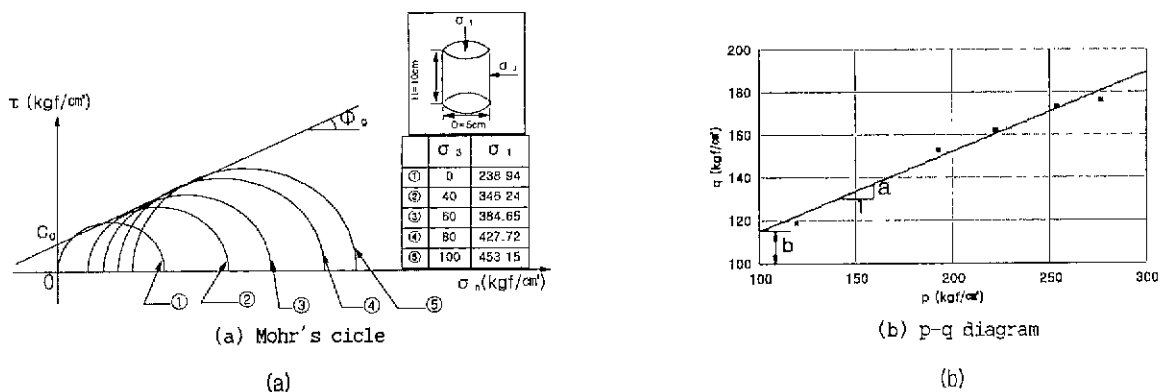


Fig. 6. Mohr's circle and p-q diagram for test results

4. 선단정착부 그라우트의 보강형식에 따른 보강효과

본 시험에서는 압축형 앵커 선단정착부 그라우트 보강형식에 따른 보강효과와 보강된 선단정착부 그라우트의 압축거동특성을 파악하기 위하여 일축압축시험을 실시하였으며, 그라우트에 횡방향과 종방향으로 변형률 게이지를 부착하여 압축시의 보강된 그라우트의 포이송비와 변형률을 측정하였다.

그리고, 지반에 매설되는 앵커체를 근사하기 위해 강선(tendon)과 그라우트 보강선을 삽입하고, 실제 앵커체와 같은 직경($\phi = 12.7$ cm)의 시험물체를 제작하여 일축압축시험을 실시하였다. 그리고 시료의 제작은 데이터의 비교·분석을 위해 그라우트 삼축압축시험시와 동일한 방법을 이용했다.

그라우트 보강형식은 ① 무보강, ② 외부 보강, ③ 내·외부 보강, ④ 강관 보강 등의 4가지로 하였다. Photo 2는 그라우트의 각각의 보강형식을 나타내며, Photo 3은 성



Photo 2. Types of reinforcement in anchor body(from left, no reinforcement, outside, in-outside, steel pipe reinforcement)



Photo 3. Strain gages attached on the surface of specimens after 7 days curing

형된 그라우트 시료에 변형률 게이지를 부착한 모습을 나타낸다.

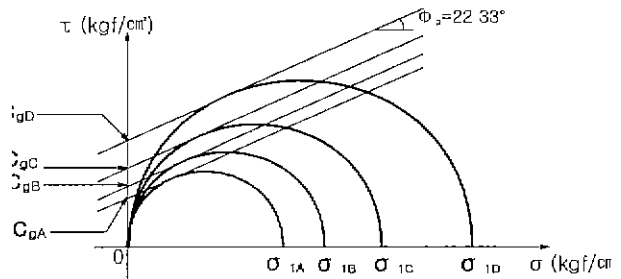
4.1 선단정착부 보강에 따른 강도증가

지반이나 기타 재료를 보강할 때 보강 효과를 판단하는 이론은 (1) 내부 마찰각 증대이론, (2) 구속응력 증대이론, (3) 점착력 증대이론 등 세 가지 이론으로 나눌 수 있다(이 등, 1993). 본 연구에서는 선단정착부 보강형식의 기능은 그라우트 자체의 강도를 증가시키는 역할을 한다라고 가정하고, (3)의 점착력 증대이론을 이용하여 보강에 의해 증가하는 그라우트의 강도정수(c, 점착력)를 구하였다.

Fig. 7은 압축강도시험의 결과를 모아원에 정리하여, 선단정착부 보강형식의 변화에 따른 강도증가를 나타내고 있다.

선단정착부 그라우트의 보강형식에 따른 일축압축시험 결과는 Table 1과 같고, Table 2는 Table 1의 결과를 이용하여 보강형식에 따른 강도증가비와 증가된 점착력을 나타낸다.

Table 2에 의하면 그라우트 보강형식으로 보강된 그라



where,

$c_{gA}, c_{gB}, c_{gC}, c_{gD}$ (kgf/cm²) : Cohesion at No reinforcement, Outside.

In-Outside, Steel pipe reinforcement

$\sigma_{1A}, \sigma_{1B}, \sigma_{1C}, \sigma_{1D}$ (kgf/cm²) : Compressive strength at No reinforcement, Outside,

In-Outside, Steel pipe reinforcement

Fig. 7. Strength increments by the reinforcement of anchor body

우트는 보강되지 않은 그라우트보다 약 1.32~2.17배 정도 더 높은 강도를 발휘하는 것을 알 수 있다.

그런데, Fig. 5의 강연선이 없는 그라우트 판의 일축압축강도는 238.94 kgf/cm² 정도를 나타낸다. 이것은 내부에 6가닥의 강연선이 들어가면 단면적의 감소, 이질재료로

Table 1. Compressive strength for various types of reinforcement(unit : kgf/cm²)

Test No	No reinforcement	Outside reinforcement	In-outside reinforcement	Steel pipe reinforcement
1	111.13	150.86	178.99	245.0
2	150.15	162.93	193.24	242.0
3	150.15	141.32	167.63	312.5
4	115.37	165.59	177.29	275.0
5	110.28	196.55	192.56	260.0
6	128.94	156.54	172.20	
7			184.08	
Average values	123.17	162.30	180.86	266.80

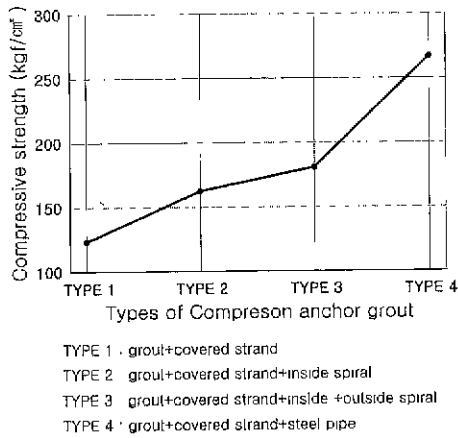


Table 2. Strength increment ratio and cohesion for various types of reinforcement

Types of reinforcement	Compressive strength (kgf/cm ²)	Ratio of strength increment, R_{st}	Cohesion, C_E (kgf/cm ²)
No reinforcement	σ_{1A} 123.17	1	41.28
Outside reinforcement	σ_{1B} 162.30	1.32	54.40
In-outside reinforcement	σ_{1C} 180.86	1.47	60.62
Steel pipe reinforcement	σ_{1D} 266.80	2.17	89.42

Fig. 8. Compressive strength for various types of reinforcement

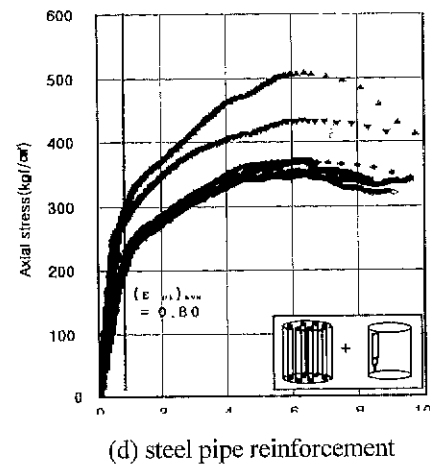
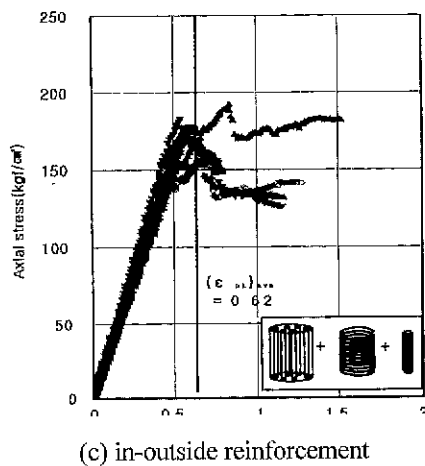
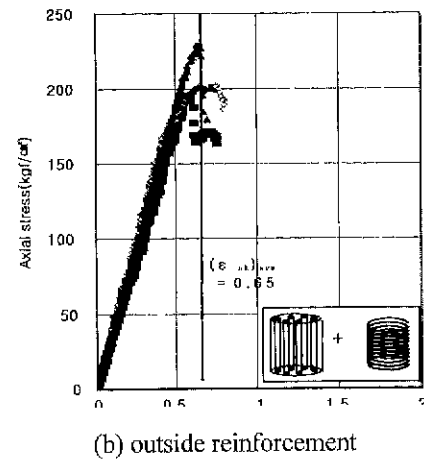
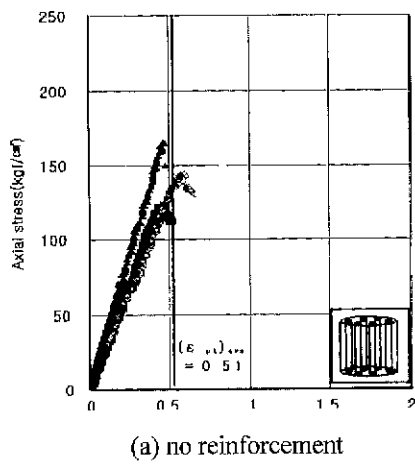


Fig. 9. Stress-strain curves for types of reinforcement

Table 3. Deformation modulus of each reinforcement types(unit : kgf/cm²)

Test No.	No reinforcement	Outside reinforcement	In-Outside reinforcement	Steel pipe reinforcement
E_{ave}	30299	37190	33084	33960

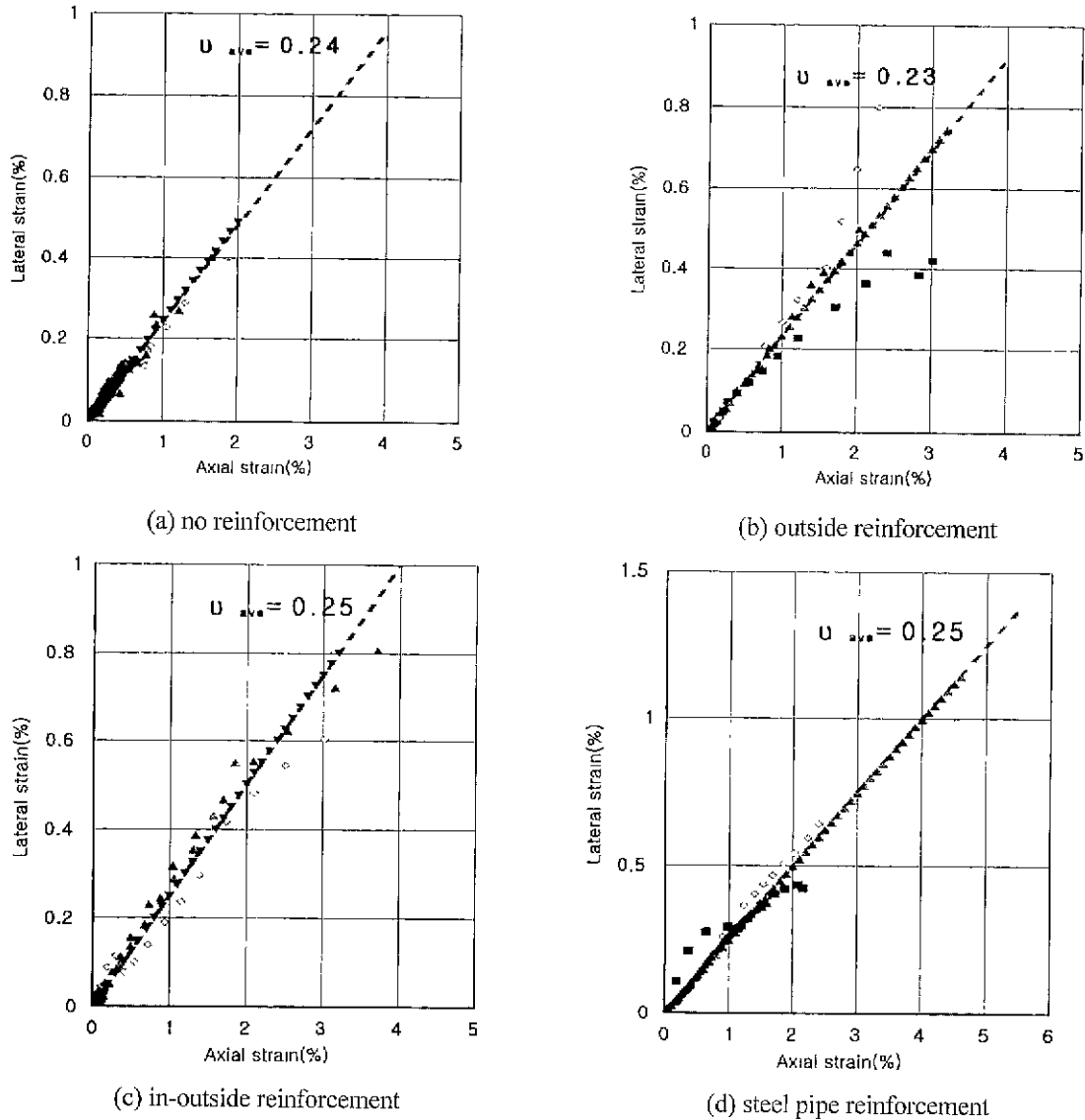


Fig. 10. Poisson's ratio curves for types of reinforcement

Table 4. Strain (ϵ_{pk}) at failure by unconfined compression test

Test No.	No reinforcement	Outside reinforcement	In-Outside reinforcement	Steel pipe reinforcement
1	0.46	0.56	0.60	0.82
2	0.61	0.75	0.49	0.61
3	0.47	0.65	0.85	0.80
4			0.60	0.94
5			0.55	0.82
$(\epsilon_{pk})_{ave}$ %	0.51	0.65	0.62	0.80

인한 재료분리 등의 원인으로 Table 2의 무보강시 압축강도 123.17 kgf/cm²에 비해 약 1.9배 정도 그라우트 강도가

감소한다. 이러한 결점을 보완하기 위해 실제 현장의 앵커체를 근사하여 압축강도 증가를 목적으로 보강형식을 취한다.

이 때 강연선이 포함된 그라우트에 보강형식을 도입하면 강도의 증가효과를 가져온다(Fig. 8 및 Table 2 참조). 즉, 보강형식의 효과는 다음과 같다.

- (1) 앵커는 대략 7일 강도가 발휘될 때 긴장·정착하게 되므로 높은 그라우트의 강도를 기대하기 어렵다. 따라서 이 때의 보강 목적으로 그라우트 보강형식이 사용된다.
- (2) 그라우트 내부에 설치되는 피복강선으로 인한 강도감소 요인을 그라우트 보강형식을 도입함으로써 보완할 수 있다.

(3) 그라우트의 보강효과는 무보강 < 외부 보강 < 내·외부 보강 < 강관 보강의 순이다.

Table 2의 결과를 그림으로 나타내면 Fig. 8과 같다 (Photo 2 참조).

4.2 선단정착부 보강에 따른 응력-변형률 곡선

무보강, 외부 보강, 내·외부 보강, 강관 보강의 각 경우에 대해서, 일축압축시험을 실시하고, Fig. 9와 같이 응력-변형률 곡선으로 나타내었다. 각각의 보강형식에 대한 파괴시의 변형률(ϵ_{pk})은 거의 동일 했으며, 각 보강형식에 대한 파괴시의 변형률(ϵ_{pk})과 평균값을 Fig. 9 및 Table 4에 나타냈다. 그리고 Table 3은 보강형식에 따른 변형계수(E_{ave})를 나타낸다.

4.3 선단정착부 보강에 따른 포아송 곡선

무보강, 외부 보강, 내·외부 보강, 강관 보강의 각 경우에 대하여 변형률 계지를 부착하여 축변형률과 횡변형률을 측정하여 포아송비를 나타내면 Fig. 10과 같고, 그림 내에 나타낸 ν_{ave} 는 각 보강형식에 따른 평균포아송비 나타낸다.

시험 결과로부터 선단정착부 그라우트 보강에 의한 강도증가, 파괴시의 변형률(ϵ_{pk}) 그리고 평균 포아송비(ν_{ave})를 나타냄으로써 보강에 따른 압축형 앵커의 선단정착부 압축거동특성을 파악하였다.

5. 선단정착부 그라우트의 압축저항력 산정

앞에서 기술한 바와 같이, 실제 앵커체와 비슷한 조건으로 시험하기 위해 그라우트 내에 강연선과 간격재 등을 설치하고 그라우트 일축압축시험을 실시하였다. 그런데, Fig. 11에 나타난 바와 같이 현장지반에 설치된 앵커체는 인발시 지반의 구속압으로 인해 그라우트의 압축강도가 증가하므로 구속압이 없는 실내 일축압축시험의 경우와는 큰 차이가 있다. Fig. 11의 모아원에서 쉽게 알 수 있듯이 구속압(σ_3)의 증가에 따른 앵커체 압축저항력의 증가($q_u \rightarrow \sigma_1$)를 나타내고 있다.

앵커가 지중에 있을 때, 앵커체의 표면에는 지반의 정지 구속압(이하 '정지 구속압')이 작용한다. 그리고 앵커의 인발시에 는 앵커체 선단정착부에 압축응력이 발생하므로 이로 인한 선단정착부 그라우트의 팽창에 의한 구속압이 발생한다. 즉, 앵커의 긴장에 따라서 앵커체 길이의 수직 방향으로 포아송비만큼 증가된 변형으로 인하여 생기는 구속압(이하 '포아송 구속압')을 말한다. 이들 정지 구속압과 포아송 구속압을 합하면 앵커체의 선단정착부 그라우트에 작용하는 지반의 총 구속압이 된다.

5.1 정지 구속압

Fig. 12는 임의의 깊이에서 발생하는 앵커 표면의 직각 방향의 정지 구속압을 나타낸다. Fig. 12에서 그라우트에 인접한 지반요소에 대해서 앵커체 임의의 깊이에서의 측압($K_0 \cdot \gamma \cdot z$)을 이용하여 앵커 표면의 수직 정지 구속압

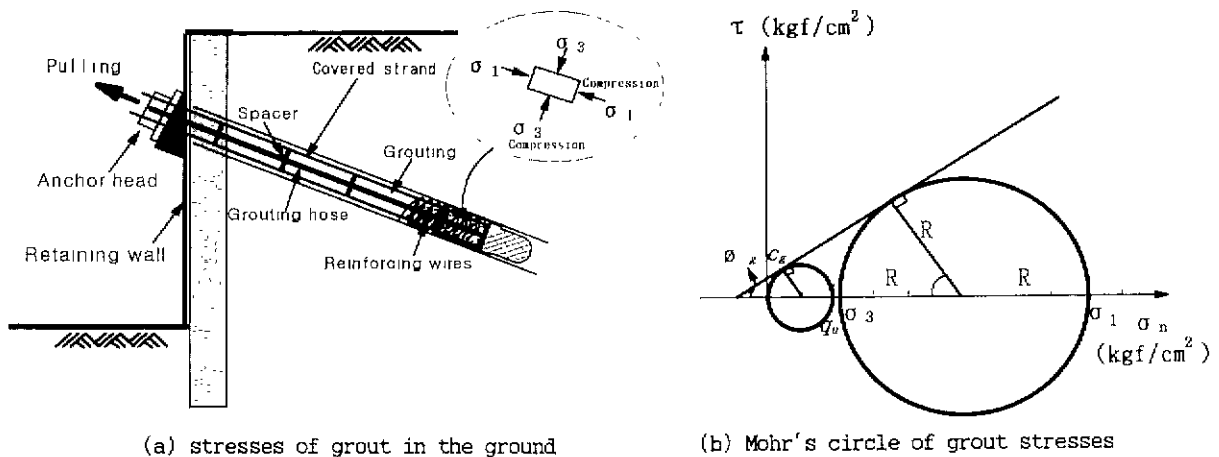


Fig. 11. Effect for confining pressure of ground

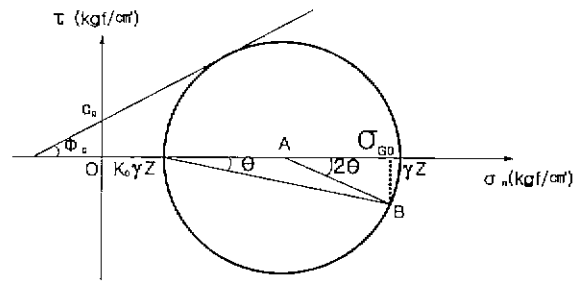
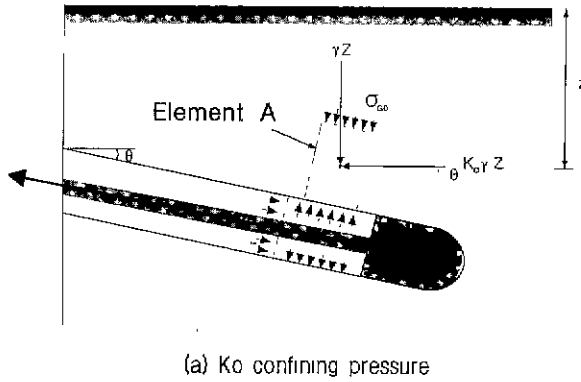


Fig. 12. K_0 confining pressure($\sigma_{\alpha 0}$) of ground

($\sigma_{\alpha 0}$)을 구하면 다음과 같다(Fig. 12(b) 참조).

$$\overline{AB} = \frac{\gamma z - K_0 \gamma z}{2}$$

$$\overline{OA} = \frac{\gamma z + K_0 \gamma z}{2}$$

$$\sigma_{\alpha 0} = \overline{OA} + \overline{AB} \cdot \cos 2\theta$$

$$\therefore \sigma_{\alpha 0} = \frac{\gamma z}{2} [(1 + K_0) + (1 - K_0) \cdot \cos 2\theta] \quad (5.1)$$

E_G : 지반의 변형계수(kgf/cm²)

ν : 그라우트의 포아송비

ϵ_{pk} : 그라우트의 파괴시의 변형률

식(5.2)에서 지반의 변형계수(E_G)는 현장 혹은 실내 시험, 기존의 여러 가지 자료를 종합하여 정하고, 그라우트의 포아송비와 파괴시의 변형률은 시험에 의해서 결정해야 한다.

5.2 포아송 구속압

앵커의 인발시 그라우트는 Fig. 13과 같이 압축력을 받을 때 그라우트는 앵커체 직각방향으로 포아송비 만큼 팽창한다. 이 때, 지반에는 저항압력(σ_{Gv} : 포아송 구속압)이 발생하여 앵커체 그라우트의 구속압으로 작용한다. 포아송 구속압은 식(5.2)와 같다.

$$\sigma_{Gv} = E_G \times \nu \epsilon_{pk} \quad (5.2)$$

여기서,

σ_{Gv} : 포아송 효과에 의한 구속압(kgf/cm²)

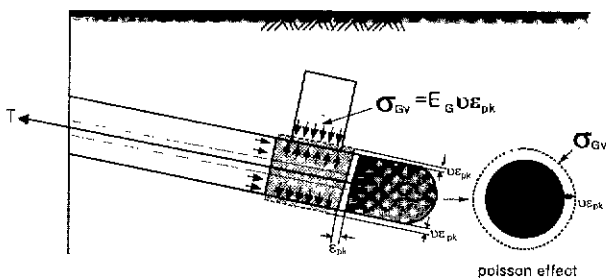


Fig. 13. Poisson confining pressure during pullout

5.3 선단정착부 그라우트의 압축저항력 산정식

모아원을 이용하여 지반의 정지구속압($\sigma_{\alpha 0}$)과 포아송 구속압(σ_{Gv})이 작용할 때의 선단정착부 그라우트의 압축저항(σ_{gl})을 모아원으로 나타내면 Fig. 14와 같다.

Fig. 14에서 지반의 구속압에 의한 그라우트의 압축저항(σ_{gl})을 유도하면 식(5.3)과 같다.

$$\overline{AO} = \frac{c_g}{\tan \phi_g}, \quad \overline{OO'} = \frac{\sigma_{gl} + \sigma_G}{2}$$

$$\overline{BO'} = \frac{\sigma_{gl} - \sigma_G}{2}$$

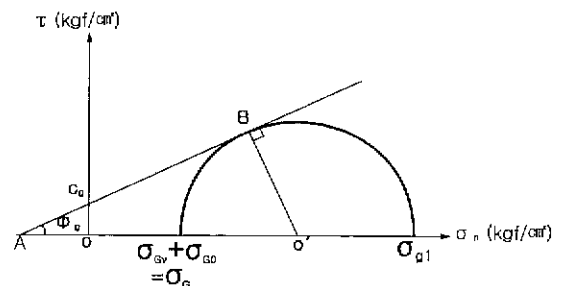


Fig. 14. Compressive resistance of the anchor body grout due to total confining pressure

$$\sin \phi_g = \frac{BO'}{AO' + OO'}$$

$$= \frac{\frac{\sigma_{gl} - \sigma_G}{2}}{\frac{c_g}{\tan \phi_g} + \frac{\sigma_{gl} + \sigma_G}{2}}$$

$$\therefore \sigma_{gl} = \frac{2}{1 - \sin \phi_g} [c_g \cdot \cos \phi_g + \frac{\sigma_G}{2} \cdot (1 + \sin \phi_g)] \quad (5.3)$$

여기서,

c_g : 그라우트 보강형식에 따른 점착력(kgf/cm²)

ϕ_g : 그라우트의 내부마찰각

σ_{gl} : 지반의 총 구속압이 작용할때의 그라우트의 압축 저항력 (kgf/cm²)

σ_{Gv} : 포아송 구속압(kgf/cm²)

σ_{G0} : 지반의 정지 구속압(kgf/cm²)

$\sigma_G [= \sigma_{G0} + \sigma_{Gv}]$: 지반의 총 구속압(kgf/cm²)

식(5.3)은 지반의 구속압을 고려하여 앵커체 선단정착부의 그라우트 압축저항력을 산정하는 식이다. 식(5.3)을 이용하여 현장의 적절한 지반 파라메타와 보강형식에 따른 강도 증가를 고려하면 압축형 앵커의 선단정착부 그라우트 압축저항력을 산정할 수 있을 것이다.

6. 적용예

본 실험에 의한 자료와 일반적인 지반 정수(Farmer, 1983)를 가정하여 압축형 앵커의 각 보강형식에 대한 선단정착부 압축저항력을 계산하여 비교하였다.

6.1.1 지반 정수

Table 5. Applied values of ground(Farmer,1983)

Types of ground	Unit weight (tf/m ³)	K ₀ values	Deformation modulus (kgf/cm ²)
Hard rock	2.0	2.0	500000
Soft rock	2.0	1.5	100000
Weathered rock	2.0	1	50000
Weathered soil	1.8	0.5	5000

본 연구의 실험결과와 식(5.1), (5.2), (5.3)을 이용하여 압축형 앵커의 선단정착부 압축저항력을 구하는데 있어서의 지반 정수와 실내 실험의 결과는 Table 5, 6과 같다.

(기본 가정)

- 앵커체의 위치 : 지표면으로부터 30m

- 앵커 설치각도 : 15도

- 그라우트의 내부마찰각 : 22.33° (Fig. 6 참조)

6.1.2 지반의 구속압

Table 5, 6의 값을 식(5.1), (5.2)에 대입하여 정지 구속압과 포아송 구속압을 구하면 Table 7, 8과 같다. 그리고 정지 구속압과 포아송 구속압을 합한 지반의 총 구속압은 Table 9와 같다.

6.1.3 압축형 앵커의 선단정착부 압축저항력

Table 9의 결과를 이용하여 식(5.3)으로 선단정착부의 압축저항력을 구하면 Table 10과 같고, 풍화토 지반의 무보강의 압축저항력을 기준으로 하여 저항력의 비를 나타내면 Table 11과 같다.

Table 6. Values by experiment

	Strain at peak (%)	Poisson's ratio	Cohesion (kgf/cm ²)
No reinforcement	0.51	0.24	41.28
Outside reinforcement	0.65	0.23	54.40
In-outside reinforcement	0.62	0.25	60.62
Steel pipe reinforcement	0.80	0.25	89.42

Table 7. K₀ confining pressure(unit : kgf/cm²)

Types of ground	K ₀ confining pressure
Hard rock	6.40
Soft rock	6.20
Weathered rock	6.00
Weathered soil	5.22

Table 8. Poisson confining pressure(unit : kgf/cm²)

Types of ground	No reinforcement	Outside reinforcement	In-outside reinforcement	Steel pipe reinforcement
Hard rock	612.00	747.50	775.00	1000.00
Soft rock	122.40	149.50	155.00	200.00
Weathered rock	61.20	74.75	77.50	100.00
Weathered soil	6.12	7.48	7.75	10.00

Table 9. Total confining pressure of ground(unit : kgf/cm²)

Types of ground	No reinforcement	Outside reinforcement	In-outside reinforcement	Steel pipe reinforcement
Hard rock	618.40	753.90	781.40	1006.40
Soft rock	128.60	155.70	161.20	206.20
Weathered rock	67.20	80.75	83.50	106.00
Weathered soil	11.34	12.69	12.97	15.22

Table 10. Compression resistance force of fixed head portion(unit : kgf/cm²)

Types of ground	No reinforcement	Outside reinforcement	In-outside reinforcement	Steel pipe reinforcement
Hard rock	1499.42	1840.12	1919.87	2506.54
Soft rock	409.36	508.82	539.62	725.69
Weathered rock	272.72	342.02	366.70	502.70
Weathered soil	148.40	190.56	209.73	300.67

Table 11. Ratio of compression resistance force

Types of ground	No reinforcement	Outside reinforcement	In-outside reinforcement	Steel pipe reinforcement
Hard rock	10.10	12.40	12.94	16.89
Soft rock	2.76	3.43	3.64	4.89
Weathered rock	1.84	2.30	2.47	3.39
Weathered soil	1.00	1.28	1.41	2.03

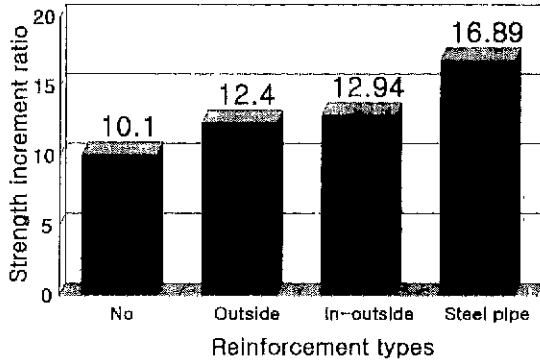
Table 11의 계산결과에 의하면 풍화토 지반에서 무보강시를 기준으로 하면, 같은 무보강시 경암지반에서는 10.10배의 강도가 증가되며, 그리고 같은 무보강시 강관보강을 하면 2.03배의 강도가 증가된다.

Fig. 15는 Table 11의 풍화토의 무보강을 기준으로 한 압축

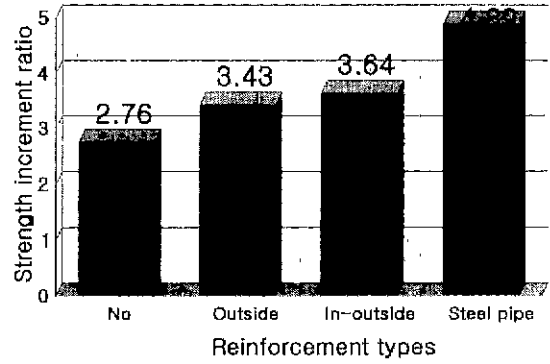
저항력의 비, 즉 강도증가비를 그림으로 나타낸 것이다.

7. 결론

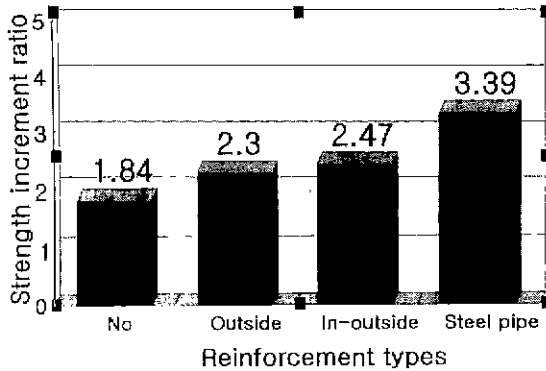
압축형 앵커의 파괴의 주원인은 주면 마찰력의 부족, 강



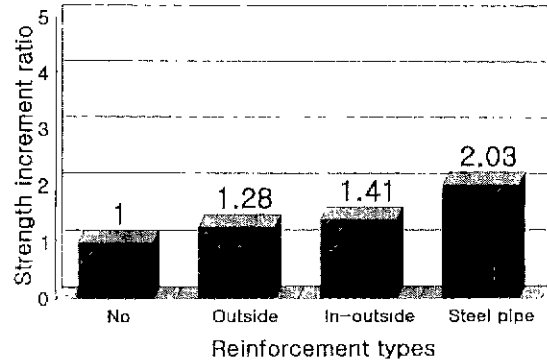
(a) hard rock



(b) soft rock



(c) weathered rock



(d) weathered soil

Fig. 15. Strength increment ratio reinforcement types

선의 파단, 그라우트의 파괴로 인한 인발 등의 세 가지 조건 중에서 가장 불리한 쪽으로 파괴가 일어난다. 본 연구에서는 실내시험을 통해 이들의 원인 중 그라우트의 압축거동에 중점을 두었다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 지반의 구속압에 의한 앵커체의 압축저항력을 평가할 수 있는 식(5.3)을 제안하였다.
- (2) 지반의 구속압이 작은 지반에서 강한 앵커체 강도를 발휘하도록 하기 위해 앵커체에 외부, 내·외부, 강관보강 형식을 도입하였으며, 무보강시를 1.0으로 할 때 각각 1.32, 1.47, 2.17배의 그라우트 압축력 증가 효과가 발생한다.
- (3) 앵커체의 보강강도가 높을수록, 변형률 경화(strain hardening) 현상이 명확하며, 파괴시의 변형률(ϵ_{pk})도 증가한다.
- (4) 앵커 내하체의 그라우트 강도 증가 효과의 적용성을 보면, 풍화토와 같이 압축성이 큰 지반일수록 구속압이 적으므로, 앵커체의 보강형식 중 강도 증가 효과가 가

장 큰 강관 보강이 유리하고, 경암과 같이 단단한 지반은 지반의 구속압이 크므로 보강을 하지 않더라도, 앵커체의 압축저항력은 충분히 클 것이다.

(5) 위의 연구를 바탕으로 앞으로 다음과 같은 연구가 진행되면, 보다 정확한 그라우트 압축저항력의 산정이 가능할 것이다.

- ① 그라우트의 강도는 선단정착부의 압축저항력에 큰 영향을 미치므로, 그라우트 강도의 변화가 압축저항력에 미치는 영향에 대한 연구와
- ② 선단정착부의 응력-변형률 관계와 파괴시 변형률은 구속압에 따라 변하므로 이에 대한 연구 등이 필요하다.
- ③ 그리고 다양한 지반 조건에 대한 현장시험을 통하여, 본 연구에서 제안된 식 중의 여러 가지 변수를 적용하여 쉽게 할 필요가 있다.

참고 문헌

1. 한국지반공학회(1992), 지반공학시리즈③ 굴착 및 흙막이 공법, 서울, pp.285-337
2. 이은수, 이승호 공역(1993), 보강토 공법 이론과 적용, 구미서관, 서울

을, pp.9-23

3. 임 중철, 강 낙안, 홍 석우(1995), "압축형 앵커(SSC 앵커)의 개발", 韓國地盤工學會 95年度 學術發表會 論文集
4. 임 중철, 홍 석우, 이 태형, 이 외득(1998), "압축형 앵커(SSC 앵커)의 引拔抵抗機構", 大韓土木學會 論文集, 第 18卷 第Ⅲ-6號, p 587
5. 임 중철, 홍 석우, 이 태형, 이 외득(1999), "壓縮型 앵커의 設計法開發", 韓國地盤工學會誌, 第 15卷 第 1號
6. Hanna, T. H.(1982), Foundation in tension, McGRAW-HILL company, p.27, pp.148-191
8. Hobst, L. and Zajik, J.(1983), "Anchoring in Rock and Soil. Developments in Geotechnical Engineering", Elsevier Scientific Pub. Co., Vol 33, p 45
- 9 Robert T Donaghe, Ronald C Chaney, and Marshall L. Silver(1988), "Advanced Triaxial of Soil and Rock". ASTM, pp.522-524
10. THAKOS P. P.(1990). Ground Anchors and Anchored structures, A Wiley-Interscience Publication JOHN WILEY & SONS, INC, pp.133-200, pp 343-349
- 11) Farmer, I W (1983), Engineering Behavior of Rocks,2nd Edition, Chapman and Hall Ltd., pp.54-57
- 12) 柱 豊, 幾田悠康, 尾崎 修, 小林 幸男(1987), "壓縮型永久地盤アンカーに関する研究(その3)-引張り型アンカー-との比較試験-", 日本建築學會 講演概要集, pp.1065-1066
- 13) 日本地盤工學會(1990), グラウンド-アンカー-の設計・施工基準, 同解説, 第6章

(접수일자 2000. 8. 8)