

실내요소실험에 의한 압축형 앵커의 정착부 보강효과 분석

홍석우*
*부산대학교 생산기술연구소

Analysis on Reinforcing Effect at Fixed Part of Compression Anchor by Laboratory Element Tests

SEOK-WOO HONG*

*Research Institute of Industrial Technology, Pusan National University, Busan, Korea

KEY WORDS: Compression Anchor 압축형 앵커, Tension Anchor 인장형 앵커, Strength Increment Ratios 강도 증가비, Reinforcement Method 보강 방법, Confining Pressure 구속압

ABSTRACT: The compression anchor is characterized by decrement of progressive failure, simple site work, economy and durability compared with tension anchor. In this paper, compression anchor is analysed through the laboratory element tests. The formula to be estimate the grout strength in fixed part of compression anchor and the effective reinforcement method for several types of soil were suggested. The following conclusions were made from this study :

- (1) A formula, which is able to calculate the grout strength in the fixed part of the compression anchor, is suggested.
- (2) The strength increment ratios(R_{si}) are 100%, 132%, 147%, 217% according to the reinforcement method of grout. The reinforcement method is Non, Outside spiral, Inside-Outside spiral, Steel pipe, respectively.
- (3) The strength increment ratios(R_{si}) by reinforcing can be 8.23 times the strength increment effect according to the reinforcement types and ground confining pressure.
- (4) The steel pipe reinforcement is most effective in decomposed soil while, in the case of hard rock ground, high confining pressure is exerted on the grout, so there is no need to use reinforcements.

1. 서 론

1.1 연구의 목적

앵커의 기본 원리는 지중응력이나 상재하중의 증가, 지반의 이완 등으로 인해 전단파괴의 우려가 있는 지반에 프리스트레스(prestress)를 도입함으로써 지반의 유해한 변형을 억제하는 것으로, 프리스트레스력에 의해 주변지반의 변형을 극소화 할 수 있다는 것과, 흙막이 벽 등을 건설할 때에 단계적 절토에 대단히 유리하고, 사면의 안전 대책공법과 기존 옹벽의 보강공법, 수중 및 해양 구조물의 부상방지 앵커로서 사용이 대단히 용이하므로 국내외적으로 그 사용이 날로 증가되고 있는 실정이다. 특히 압축형 앵커는 진행성파괴의 영향을 줄일 수 있고, 시공이 간단하며, 경제성이 있고, 내구성이 우수한 특징을 갖고 있으며, 우수한 메커니즘으로 인하여 선진국에서는 많이 개발되어 현장에 적용하고 있다(Xanthakos, 1990). 현재 국내의 경우 앵커의 무수한 시공실적에 비해 앵커에 대한 체계적인 연구는 많지 않으며 그 연구결과들도 대부분 인장형 앵커에 관한 것으로 현재 국내에서 압축형 앵커의 설계 및 시공시는 인장형 앵커의 설계법에 준하여 설계하고 있는 실정이다. 그러

나 압축형 앵커는 지반에서의 거동이 인장형과는 달라 설계법도 달리 적용되어야 한다. 본 연구에서는 국내에서 개발된 압축형 앵커인 SSC 앵커(홍석우, 1996; 1998; 1999)를 이용하여 현장실험을 실시하고, 그 결과를 발표했으며(홍석우, 2002), 또한 역학적 메커니즘을 분석하기 위해 실내모형압축시험을 실시하였다.

본 연구에서는 실내시험 결과를 이용하여 압축형 앵커가 지반 내에서 압축을 받을 때, 그라우트의 거동과 그라우트를 보강했을 때 보강에 의해 증가되는 그라우트의 인발 저항력을 계산하고 계산식을 제안하였다.

본 논문의 목적은 그라우트의 요소시험 및 앵커 내하체의 실내압축시험 결과를 이용하여 지반 내에 설치된 앵커의 인발시 작용하게 되는 지반의 구속압을 고려한 압축형 앵커의 정착부 내하체의 인발저항력을 산정하기 위한 기준을 마련하는데 있다.

1.2 그라우트 보강에 의해 증가하는 내하체 강도의 평가

흙은 압축에는 어느 정도 저항을 하지만 인장에는 대단히 약하다. 따라서 흙을 인장에 대해서 보강을 해주면 그 강도는 상당량 증가한다. 현재 흙으로 구성되어진 지반이나 기타 재료를 보강할 때 보강의 효과를 판단하는 이론은 다음과 같다.

제1저자 홍석우 연락처: 부산광역시 금정구 장전동 산30
051-510-1543 hongswoo@pusan.ac.kr

1.2.1 LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) 점착력 이론

(1) Henri Vidal(1966, 1969)의 연구

최초에 보강에 관한 이론을 제시한 사람은 Henri Vidal로 Mohr-Coulomb의 파괴규준상에서 보강의 원리를 규명(Ingold, 1982)하였는데, 증가된 구속압($\Delta\sigma_3'$)에 의해 증가하는 강도의 평가를 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있다.

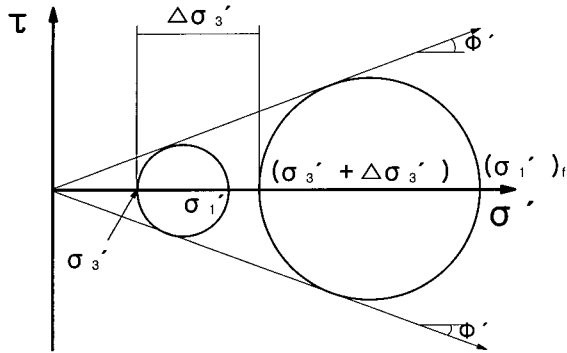


Fig. 1 Strength increment by reinforcement

(2) Schlosser and Long(1973)의 연구

보강에 의해 증가된 강도는 결보기 비등방 점착력 c' 로 나타낼 수 있는데, 보강재에 의한 파괴포락선을 식 (1-1), (1-2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\sigma_1' = K_p \sigma_3' + \Delta\sigma_1' \tag{1-1}$$

Rankine-Bell은 $c' - \phi'$ 의 관계를 식 (2)와 같이 나타냈다.

$$\sigma_1' = K_p \sigma_3' + 2\sqrt{K_p \cdot c'} \tag{1-2}$$

위의 식 (1-1)과 식 (1-2)를 등치시키면, 식(1-3)이 된다.

$$c' = \Delta\sigma_1' / 2\sqrt{K_p} \tag{1-3}$$

Schlosser and Long(1973)의 축대칭하중이 재하된 실린더형 보강토의 개념인 식(2)를 도입하면,

$$\sigma_1' = K_p \sigma_3' + K_p T / h \tag{2}$$

여기서 T : 파괴면에 의해 제외된 인장력
h : 수직보강간격

따라서 비등방 점착력 c' 는 식 (3)과 같다.

$$\therefore c' = \frac{T \cdot \sqrt{K_p}}{2h} \tag{3}$$

1.2.2 NSW(New South Wales Institute of Technology) 점착력 이론

(1) Hausmann(1976)의 연구

Hausmann(1976)은 LCPC와 무관하게 보다 통일된 등방점착력 이론을 제시하였는데, 보강에 의해 증가된 강도는 내부마찰각 ϕ_r' 로 나타내는데, Fig. 2에서 $\sigma_r' = F\sigma_1'$ 로 두면, σ_3' 의

감소에 의해 ϕ_r' 은 증가하게 된다. 따라서, 보강하지 않았을 경우의 토압계수, K_{ar} 은 식 (4-1)과 같다.

$$\frac{\sigma_3'}{\sigma_1'} = K_{ar} = \frac{1 - \sin \phi_r'}{1 + \sin \phi_r'} \tag{4-1}$$

따라서, 보강에 의해 증가된 내부마찰각 ϕ_r' 를 유도하면 식 (4-2)와 같다.

$$\sin \phi_r' = \frac{K_a - F - 1}{F - K_a - 1} \tag{4-2}$$

여기서 K_a : 보강된 토압계수 ($= \sigma_3' / \sigma_1' + F$) ,

F : 보강재에 의한 σ_3' 의 감소비

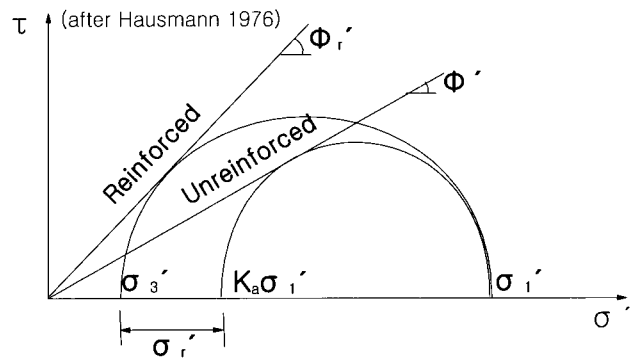


Fig. 2 Increment of internal friction angle

(2) Grenoble의 연구

Grenoble은 보강에 의한 강도증가를 최소주응력이 일정시, 가상점착력 c' 로 표현했는데(Ingold, 1982), Fig. 3과 같이 나타낼 수 있다. 이는 Schlosser and Long(1973)의 연구와도 일치하며, 본 연구에서도 적용된 이론이다.

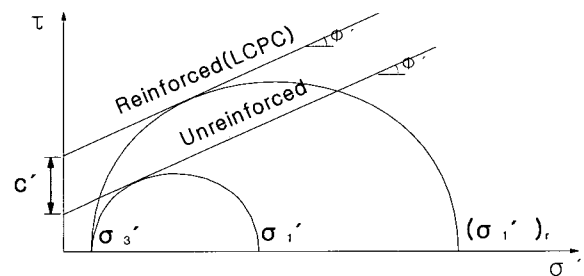


Fig. 3 Increment of cohesion force

2. 그라우트의 요소시험

앵커 내하체의 강도를 평가하기 위한 파라메타를 얻기 위해 그라우트의 요소시험을 실시했다.

본 시험의 장치를 세분하면, 다음과 같다.

- ① 시료 성형용 PVC 몰드
- ② 암석 삼축압축시험기

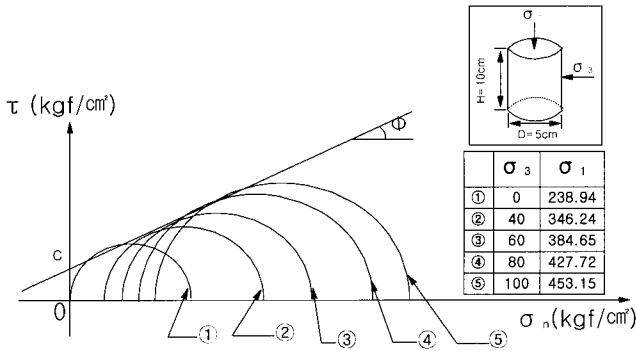


Fig. 4 Mohr's circle by grout triaxial tests

- ③ UTM(하중재하장치)
- ④ UTM 제어 및 변위 계측장치

요소시험을 위해 물-시멘트비 45%의 공시체를 제작하였고, 양생 7일 후 암석 삼축압축시험 방법(김용필 등, 1977)에 의해 그라우트 삼축압축시험을 실시했다.

2.1 삼축압축시험 결과에 의한 모아윈

7일간 양생된 시료를 삼축시험을 행하여, 축압(σ_3) 0, 40, 60, 80, 100(kgf/cm²)에 대하여 파괴시의 응력(σ_1)을 구하였다. 각각의 축압(σ_3)에 따른 파괴시의 응력(σ_1)은 Fig. 4와 같다.

2.2 강도정수 (c, ϕ)의 결정

그라우트파괴시의 p, q를 이용하여 그라우트의 강도정수 (c, ϕ)를 구하면, 식 (5), (6)과 같다.

i) 내부 마찰각 (ϕ)

$$\therefore \phi = \sin^{-1} \left(\frac{n\sum p q - \sum p \sum q}{n\sum p^2 - (\sum p)^2} \right) = \sin^{-1} (0.38) = 22.33^\circ \quad (5)$$

ii) 점착력(c)

$$\therefore c = \frac{(\sum q \sum p^2 - \sum p \sum p q)}{n\sum p^2 - (\sum p)^2} = \frac{77.65}{\cos 22.33^\circ} = 83.94 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \quad (6)$$

여기서, $p=(\sigma_1 + \sigma_3)/2$, $q=(\sigma_1 - \sigma_3)/2$, n=시험의 수

3. 보강형식의 변화에 따른 앵커 내하체의 강도

3.1 앵커 내하체의 보강형식

그라우트의 보강형식에 따른 강도비교를 위한 일축압축시험은 Fig. 5의 좌측으로부터 ① 무보강, ② 외부 보강, ③ 내·외부 보강, ④ 강관보강의 4가지 경우에 대해 시험하였다.

3.2 시험결과 및 고찰

전술한 현재의 보강토의 기본이론의 하나인 Grenôble의 이



Fig. 5 Types of reinforcement in the fixed zone(From left side, no reinforcement, reinforced outside spiral, reinforced inside + outside spiral, steel pipe reinforced)

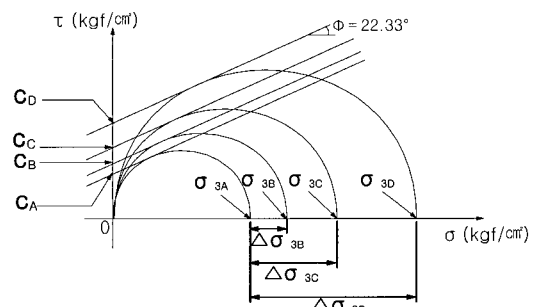


Fig. 6 Strength increments of according to each types of reinforcement

론을 적용하여, 보강에 의해 증가된 강도를 점착력(c)을 이용하여 나타내었다(Ingold, 1982). Fig. 6은 압축시험 결과를 모아윈 (Mohr's circle)상에 정리하여 정착부 보강형식에 따른 강도증가를 나타내고 있다. Table 1은 정착부 형식에 따른 그라우트의 점착력과 무보강과의 강도증가비를 나타낸다.

여기서,

$c_A \sim c_D$: 무보강, 외부보강, 내·외부보강, 강관보강의 점착력(kgf/cm²)

$\sigma_{3A} \sim \sigma_{3D}$: 무보강, 외부보강, 내·외부보강, 강관보강의 파괴시의 응력(kgf/cm²)

$\Delta \sigma_{3B} \sim \Delta \sigma_{3D}$: 외부보강, 내·외부보강, 강관보강에 의한 응력증분(kgf/cm²)

시험 결과를 보면 보강된 그라우트는 보강되지 않은 그라우트보다 약 1.32~2.17배 정도 더 높은 강도를 발휘하는 것을 알 수 있다. 내부에 6가닥의 강선이 들어가면 단면적의 감소, 이질재료로 인한 재료분리 등의 원인으로 그라우트 강도가 감소하게 되는데, 이때 그라우트를 보강하면 강도의 증가 효과를 가져온다.

4. 지반의 구속압에 의한 앵커 내하체의 강도

제3장에서는 실제의 앵커체를 근사하기 위해 그라우트 내에 실제앵커와 똑같은 강선과 간격재 등을 설치하고 그라우트 압

Table 1 Strength increment ratio by the reinforcement

Types of reinforcement	Mean strength and ratio of strength increment					
	Strength by reinforcement types(kgf/cm ²)	Strength increments (kgf/cm ²)	Ratio of strength increment, R_{si}	c (cohesion) (kgf/cm ²)		
Unreinforced	σ_{3A}	123.17	$\Delta \sigma_{3A}$	0.0	1	41.28
Outside reinforced	σ_{3B}	162.30	$\Delta \sigma_{3B}$	39.13	1.32	54.40
In + outside reinforced	σ_{3C}	180.86	$\Delta \sigma_{3C}$	57.69	1.47	60.62
Steel pipe reinforced	σ_{3D}	266.80	$\Delta \sigma_{3D}$	143.63	2.17	89.42

축강도시험을 수행하였다. 그러나 그라우트는 실제와 같이 근사하였지만 현장지반에 설치된 앵커체는 인발시 지반내의 높은 구속압의 발생으로 인해 그라우트의 강도가 증가하므로 실내일축압축시험시의 구속압이 없는 경우와는 큰 차이가 있다. 본 시험에서는 지반을 경암, 연암, 풍화암, 풍화토의 4종류로 나누어서 강도증가 효과를 구하였다. 이 그라우트의 강도증가량은 ① 지반의 정지구속압 효과로 인한 강도증가량과, ② 그라우트의 포아송 효과(홍석우, 2002; Stewart and Kulhawy, 1980; Kulhawy, 1985)로 인한 강도증가량의 합으로 구해진다.

4.1 지반의 정지 구속압

지반의 깊이에 따라서 증가하는 정지상태의 압력에 의해 발생하는 앵커체 그라우트의 강도증가량은 다음과 같이 구해진다(Fig. 7참조)

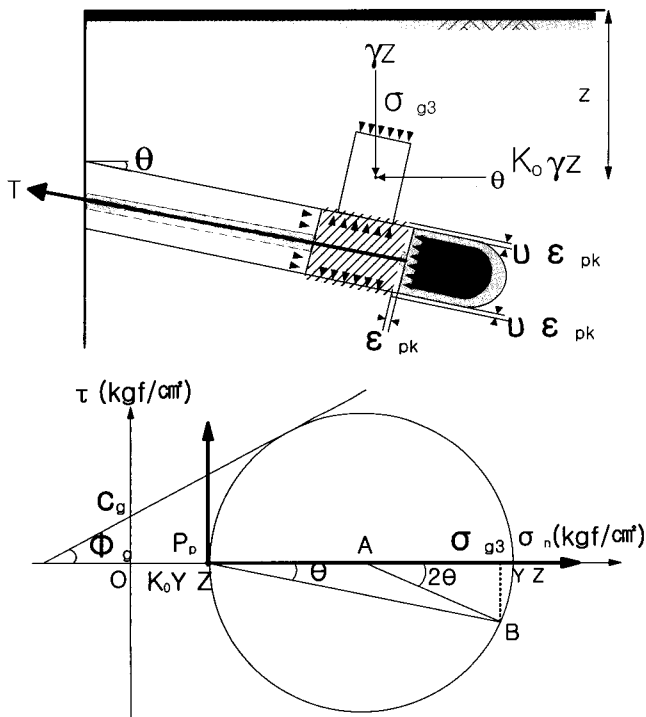


Fig. 7 The confined pressure(σ_{g3}) under the ground and the strength increase of grout specimens

Fig. 7의 모이원에서, 앵커 표면의 직각방향으로 미치는 응력 (σ_{g3})을 구하면, 식(7)과 같다.

$$\sigma_{g3} = \frac{\gamma z}{2} [(1 + K_0) + (1 - K_0) \cdot \cos 2\theta] \tag{7}$$

지반에 따른 K_0 (정지토압계수)와 γ_t (단위중량)는 실제 지반의 시험을 통하여 구해져야 하나, 본 논문에서는 지반의 종류에 따른 보강효과의 경향을 파악하여 설계에 적용하는 것을 목적으로 하고 있기 때문에, Table 2와 같이 개략적인 값 (Farmer, 1983)을 사용하여 지반에 따른 임의의 깊이에서의 축압($K_0 \cdot \gamma \cdot z$)으로 인한 그라우트의 강도증가의 경향을 비교했다.

Table 2 Typical K_0 (coefficient of lateral earth pressure at rest) and γ_t (Unit weight)

Ground types	Coefficient of lateral earth pressure at rest, K_0	Unit weight γ (tf/m ³)
Hard rock	2.0	2.0
Soft rock	1.5	2.0
Decomposed rock	1.0	2.0
Decomposed soil	0.5	1.8

Table 2의 값을 식(7)로 계산, 임의의 깊이(z)를 50.0m, 앵커의 경사각(θ)은 15°로 가정해서 구한 지반의 구속압은 Table 4와 같다.

4.2 그라우트의 포아송 효과에 의한 구속압

앵커 인발시, 그라우트는 Fig. 8과 같이 압축력을 받게 된다. 이 압축력에 의해 그라우트는 횡방향으로 포아송비 만큼 팽창(이하, 이 현상을 “그라우트의 포아송 효과”라 한다)하게 되는데, 팽창이 발생할 때, 지반에는 저항압력(σ_g)이 발생하여 그라우트의 구속압으로 작용하게 된다(Stewart and Kulhawy, 1980; Kulhawy, 1985). 이 지반저항압력, 즉 구속압은 식(8)과 같이 나타낼 수 있다.

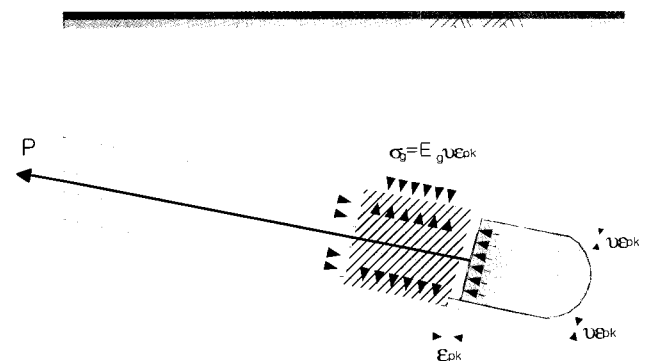


Fig. 8 Stress state of grout during pullout in the ground

$$\sigma_g = E_g \times \nu \epsilon_{pk} \tag{8}$$

여기서, σ_g : 그라우트에 가해지는 구속압(kgf/cm²)

E_g : 지반의 변형계수(kgf/cm²)

ν : 그라우트의 포아송비

ϵ_{pk} : 그라우트의 최대압축응력 발생시의 변형률

4.2.1 압축시험에 의한 응력-변형률 곡선, 포아송곡선

Fig. 9는 무보강, 외부보강, 내·외부보강, 강관 보강의 각 경우에 대한 일축압축시험결과로 응력-변형률 곡선과 파괴시의 평균 변형률을 나타내고, 각 4가지 경우에 대해 변형률 계지를 증방향과 횡방향으로 부착하여, 변형률을 측정하여 Fig. 10에 나타냈으며, 평균 포아송비 (ν_{ave})는 그림에 포함되어져 있다.

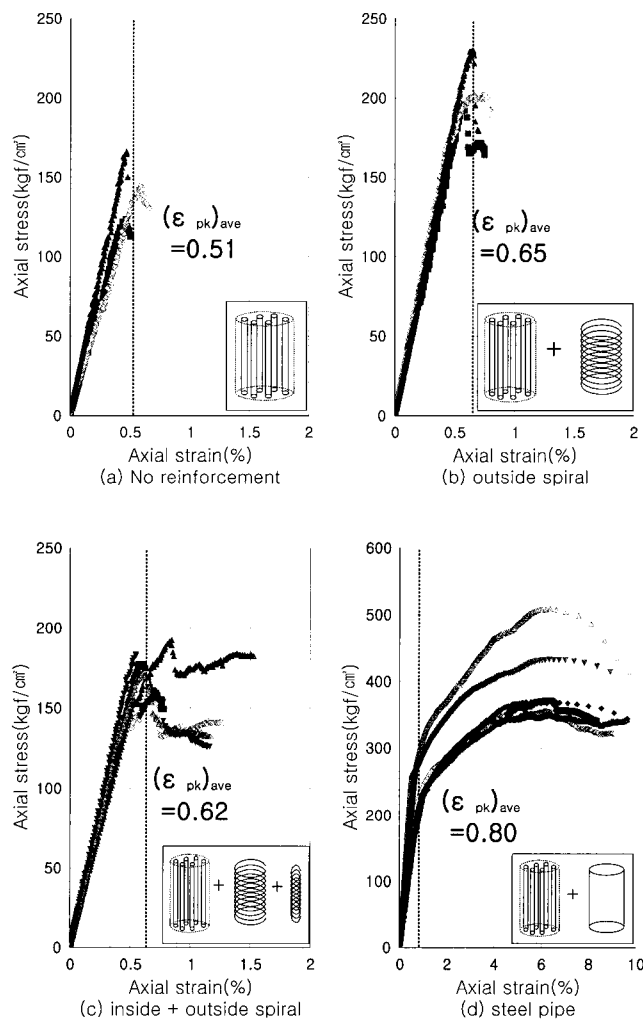


Fig. 9 Stress - strain curves by the types of reinforcement of anchor body grout

4.2.2 지반에 따른 변형계수(E_g)

각 지반의 변형계수(E_g)는 기존자료(Hobst and Zajik, 1983)를 이용하여 대표적인 지반의 변형계수(E_g)를 구하였고, 정리하면 Table 3과 같다.

Table 3 Deformation modulus as the types of ground

Ground types	Deformation modulus, E_g (tf/m ²)	Elastic wave velocity, V (km/s)	Unit weight, γ (tf/m ³)
Hard rock	More than 4000	More than 4.5	More than 2.6
Soft rock	2000 ~ 4000	~ 2.0 ~	2.4 ~ 2.6
Decomposed rock	400 ~ 2000	~ 1.5 ~	2.2 ~ 2.4
Decomposed soil	Less than 400	Less than 0.7	Less than 2.2

Fig. 9, Fig. 10 그리고 Table 3에서 구한 값을 식(6)에 대입하여 구한 지반의 구속압(σ_{lg})은 Table 4와 같다.

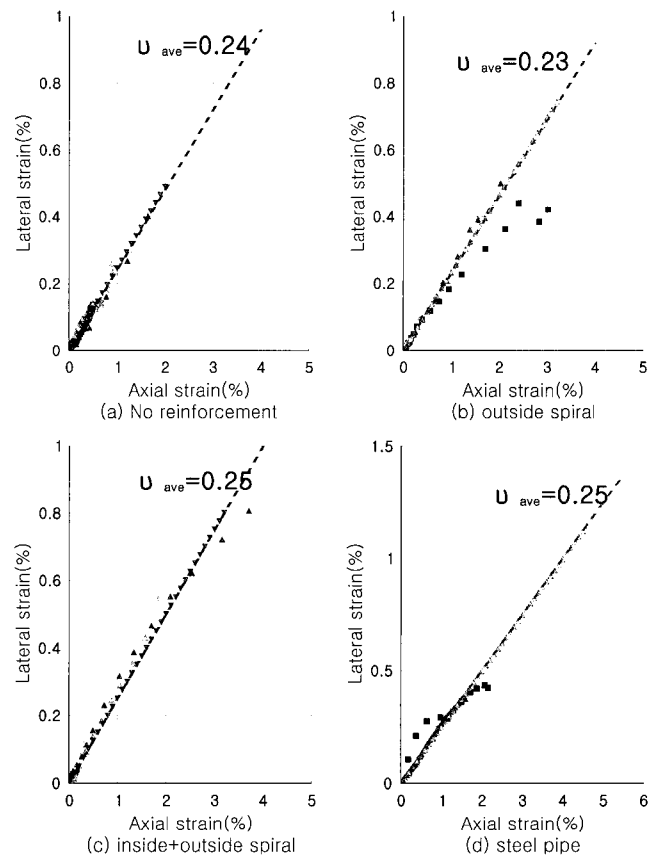


Fig. 10 Poisson's ratio curve by the types of reinforcement of anchor body grout

4.3 앵커 내하체의 강도산정

지반의 정지구속압과 그라우트의 포아송 효과에 의한 구속압을 더하여 지반의 구속압이라 한다. 모이원(Mohr's circle)을 이용하여, 지반의 구속압에 따른 앵커 내하체의 강도(σ_{gl})를 나타내면, 식(9)과 같다.

$$\therefore \sigma_{gl} = \frac{2}{1 - \sin \phi_g} [c_g \cdot \cos \phi_g + (-\frac{\sin \phi_g}{2} + \frac{1}{2}) \cdot \sigma_{lg}] \quad (9)$$

여기서, c_g : 앵커체 내부 그라우트 보강형식에 따른 점착력(kgf/cm²)

- ϕ_g : 그라우트 삼축시험에 의한 내부마찰각(=22.33°)
- σ_{g1} : 지반 구속압에 의한 그라우트의 강도(kgf/cm²)
- σ_g : 그라우트 포아송 효과에 의한 구속압(kgf/cm²)
- σ_{g3} : 지반의 정지구속압(kgf/cm²)
- σ_{lg} : 지반에 의한 총 구속압(kgf/cm²)(= $\sigma_g + \sigma_{g3}$)

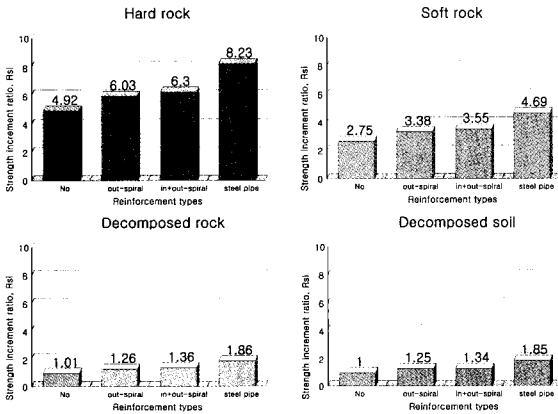


Fig. 11 Strength increment ratio as the types of reinforcement and ground

4.4 결과의 정리

4.1절과 4.2절에서 설명한 지반의 구속압과 그라우트의 포아송 효과에 의한 구속압을 “지반의 구속압”이라 칭하고, 이를 나타내면 Table 4와 같고, (9)식을 이용하여 지반의 구속압에 의한 그라우트의 강도를 나타내면 Table 5와 같다.

① 임의의 깊이에서의 각 지반의 정지구속압, ② 지반의 포아송 효과에 의한 구속압 등을 고려한 앵커 내하체의 강도를 계산했다. 보강형식에 따라서, 무보강, 외부보강, 내·외부보강, 강관 보강의 순으로 내하체의 강도는 증가하였다. Table 4의 데이터를 참고해서, 풍화토의 무보강의 경우[$\sigma_{g1} = 251.48$ (kgf/cm²)]를 기준으로 하여, 경암, 연암, 및 풍화암 지반에서

는 최소의 값, 풍화토 지반에서는 최대값을 택하여, 강도증가량과 증가비를 나타내면 Table 6과 같고, Table 6의 결과값을 비교할 수 있도록, 나타내면 Fig. 11과 같다.

5. 결 론

본 논문에서는 실내시험을 통해 압축형앵커의 인발시, 지반의 구속압에 의한 앵커 내하체의 강도에 중점을 두고 연구를 진행하였으며, 앵커 내하체의 보강형식과 각 지반마다의 조건을 이용하여, 앵커의 인발시 지반의 구속압으로 인한 내하체의 강도를 추정하여, 각자의 지반에 맞는 정착부의 보강형식을 제안하였다. 본 논문의 결론을 요약하면 다음과 같다.

- [1] 지반에 의한 구속압과 그에 의한 앵커체 내부 그라우트의 강도를 평가할 수 있는 식을 Grennoble의 이론(Ingold, 1982)과 Mohr의 응력원 및 각 요소시험을 이용해 식(7), (8), (9)로 제안했다.
- [2] 지반의 구속압이 작은 풍화토 이하의 지반에서 높은 내하체 강도를 발휘하기 위해 앵커 내하체에 외부보강, 내·외부보강, 강관보강형식을 도입하였는데, 무보강시를 100%로 할 때, 각각 132%, 147%, 217%의 강도 증가효과가 있었다.
- [3] 앵커 내하체의 강도 증가효과와 적용성을 보면, 풍화토와 같이 압축성이 큰 지반은 지반의 구속압이 단단한 지반에 비해 상당히 적다. 따라서 풍화토의 경우는 내하체의 보강형식 중 강도 증가효과가 가장 큰 강관에 의한 보강이 유리하고, 경암과 같이 지반의 구속압이 큰 경우에는 그라우트를 보강하지 않더라도 정착부의 강도는 충분히 크다고 할 수 있다.

참 고 문 헌

김용필, 전경완, 송용선 (1977). 지반공학 시험법 및 응용, 세진사.
 홍석우, 임종철 (1996). "SSC앵커의 역학적 특성", 대한토목학회

Table 4 The confined pressure by the grounds(units : kgf/cm²)

Ground types	reinforcement types	Confining pressure at rest, σ_{g3}	Confining pressure by poisson effect, σ_g	Total confining pressure by the ground $\sigma_{lg} (= \sigma_{g3} + \sigma_g)$
Hard rock	Unreinforced	10.67 (Depth= 50.0m)	More than 489.60	More than 500.27
	Outside reinforced		More than 598.00	More than 608.67
	(In+out)-side reinforced		More than 620.00	More than 630.67
	Steel pipe reinforced		More than 800.00	More than 810.67
Soft rock	Unreinforced	10.33 (Depth= 50.0m)	244.80 ~ 489.60	255.13 ~ 499.93
	Outside reinforced		299.00 ~ 598.00	309.33 ~ 608.33
	(In+out)-side reinforced		310.00 ~ 620.00	320.33 ~ 630.33
	Steel pipe reinforced		400.00 ~ 800.00	410.33 ~ 810.33
Decomposed rock	Unreinforced	10.00 (Depth= 50.0m)	48.96 ~ 244.80	58.96 ~ 254.80
	Outside reinforced		59.80 ~ 299.00	69.8 ~ 309.00
	(In+out)-side reinforced		62.00 ~ 310.00	72.00 ~ 320.00
	Steel pipe reinforced		80.00 ~ 400.00	90.00 ~ 410.00
Decomposed soil	Unreinforced	8.70 (Depth= 50.0m)	Less than 48.96	Less than 57.66
	Outside reinforced		Less than 59.80	Less than 68.50
	(In+out)-side reinforced		Less than 62.00	Less than 70.70
	Steel pipe reinforced		Less than 80.00	Less than 88.70

Table 5 Grout strength by the confined pressure in each ground (units : kgf/cm²)

Ground types	reinforcement types	Total confining pressure by the ground, σ_{tg} (kgf/cm ²)	Grout strength in anchor body σ_{gl} (kgf/cm ²)
Hard rock	Unreinforced	More than 500.27	More than 1236.51
	Outside reinforced	More than 608.67	More than 1516.90
	(In+out)-side reinforced	More than 630.67	More than 1584.42
	Steel pipe reinforced	More than 810.67	More than 2070.94
Soft rock	Unreinforced	255.13 ~ 499.93	690.97 ~ 1235.77
	Outside reinforced	309.33 ~ 608.33	850.73 ~ 1516.16
	(In+out)-side reinforced	320.33 ~ 630.33	893.77 ~ 1583.68
	Steel pipe reinforced	410.33 ~ 810.33	1179.99 ~ 2070.19
Decomposed rock	Unreinforced	58.96 ~ 254.80	254.38 ~ 690.22
	Outside reinforced	69.8 ~ 309.00	317.65 ~ 849.99
	(In+out)-side reinforced	72.00 ~ 320.00	341.10 ~ 893.02
	Steel pipe reinforced	90.00 ~ 410.00	467.09 ~ 1179.25
Decomposed soil	Unreinforced	Less than 57.66	Less than 251.48
	Outside reinforced	Less than 68.50	Less than 314.75
	(In+out)-side reinforced	Less than 70.70	Less than 338.21
	Steel pipe reinforced	Less than 88.70	Less than 464.19

Table 6 Strength increment ratio in the grounds

Ground types	reinforcement types	Grout strength in anchor body (kgf/cm ²)	Strength increments (kgf/cm ²)	Ratio of strength increment, R_{si}
Hard rock	Unreinforced	1236.51 이상	985.03	4.92
	Outside reinforced	1516.90 이상	1265.42	6.03
	(In+out)-side reinforced	1584.42 이상	1332.94	6.3
	Steel pipe reinforced	2070.94 이상	1819.46	8.23
Soft rock	Unreinforced	690.97 ~ 1235.77	439.48	2.75
	Outside reinforced	850.73 ~ 1516.16	599.25	3.38
	(In+out)-side reinforced	893.77 ~ 1583.68	642.29	3.55
	Steel pipe reinforced	1179.99 ~ 2070.19	928.51	4.69
Decomposed rock	Unreinforced	254.38 ~ 90.22	2.90	1.01
	Outside reinforced	317.65 ~ 849.99	66.17	1.26
	(In+out)-side reinforced	341.10 ~ 893.02	89.62	1.36
	Steel pipe reinforced	467.09 ~ 1179.25	215.61	1.86
Decomposed soil	Unreinforced	251.48 이하	0	1
	Outside reinforced	314.75 이하	63.27	1.25
	(In+out)-side reinforced	338.21 이하	86.72	1.34
	Steel pipe reinforced	464.19 이하	212.71	1.85

96년도 가을학술발표회 논문집, pp 399-402.
 홍석우, 임종철, 이태형 (1998). "실내모형실험을 통한 압축형 (SSC)앵커의 거동분석", 한국지반공학회 98년도 학술발표회 논문집, pp 275-282.
 홍석우 (1999). SSC 앵커의 인발저항특성과 설계법에 관한 연구, 공학박사 학위논문, 부산대학교.
 홍석우 (2002). "현장실험에 의한 압축형 앵커의 인발거동특성 연구" 한국해양공학회지, 제16권, 제2호, pp 44-52.
 Farmer, I.W. (1983). Engineering Behaviour of Rocks, 2nd Edition, Chapman and Hall Ltd.
 Hobst, L. and Zajik, J. (1983). Anchoring in Rock and Soil, Vol 33, Elsevier Scientific Pub. Co.
 Ingold T.S. (1982), Reinforced Earth, Thomas Telford Ltd.

Kulhawy, F.H. (1985). "Uplift Behavior of Shallow Soil Anchors - An Overview", Proceedings of a Session Sponsored by the Geotechnical Engineering Division in Conjunction with the ASCE, pp 1-25.
 Stewart, J. P. and Kulhawy, F. H.(1980). Behavior of Drilled Shafts in Axial Uplift Loading, Contract Report B-49(5), Niagara Mohawk Power Corporation, Syracuse, NY.
 Xanthakos P.P. (1990). Ground Anchors and Anchored Structures, A Wiley-Interscience Publication John Wiley & Sons, Inc.

2002년 3월 11일 원고 접수
 2002년 10월 7일 최종 수정본 채택