

압축형 앵커의 설계법 개발

Development of Design Method of Compression(SSC) Anchor

임 종 철* ¹	홍 석 우* ²
Im, Jong-Chul	Hong, Seok-Woo
이 태 형* ³	이 외 득* ⁴
Lee, Tae-Hyung	Lee, Oe-Duck

Abstract

For the design of compression anchor, three things should be considered. The first is a resistance force by skin friction, the second is a tension strength of tendon, and the third is a compressive strength of grout. Especially, compressive strength of grout is the most important design parameter of compression anchor. When compression anchor is pulled out from the ground, the compressive strength of grout increases by confining pressure of ground(σ_c). Here, σ_c is the confining pressure which is produced by earth pressure at rest and by lateral expansion of grout. We call this phenomenon of increase of confining pressure "poisson effect".

In this paper, the design method of compression anchor called SSC anchor and the computer program for the design are developed through compression tests of anchor body grout.

요 지

압축형 앵커의 설계를 위해서는 세가지의 조건이 고려되어야 한다. 그 첫째가 주변마찰저항력이고, 둘째가 강선의 인장강도이고, 셋째가 그라우트의 압축강도이다. 특히, 세가지 조건 중에서도 그라우트의 압축강도는 압축형 앵커의 인발력 산정에 있어서 가장 중요한 매개변수가 된다. 압축형 앵커가 지중에서 인발될 때, 그라우트의 압축강도는 지반 구속압에 의해 증가하게 된다. 이 지반 구속압은 정지 토압에 의한 구속압과 "포아송 효과"라고 부르는 횡방향 팽창에 의해 증가되는 구속압으로 이루어져 있다.

본 논문에서는 압축형 앵커인 SSC 앵커의 내하체 압축시험을 통해 앵커 설계법을 제안하고, 이 설계법을 사용하여 앵커의 인발저항력을 계산하는 컴퓨터 프로그램을 개발하였다.

-
- *1 정회원, 부산대학교 공과대학 토목공학과 부교수
 - *2 정회원, 부산대학교 공과대학 박사수료, 생산기술연구소 특별연구원
 - *3 정회원, 부산대학교 대학원 토목공학과 석사과정
 - *4 정회원, 동의대학교 공과대학 토목공학과 교수

1. 서 론

앵커의 기본 원리는 지중응력이나 상재하중의 증가, 지반의 이완 등으로 인해 전단파괴의 우려가 있는 지반에 프리스트레스를 도입함으로써 지반의 유해한 변형을 억제하는 것으로, 공법 적용성의 광범위함과 시공시의 편리함 등의 많은 장점으로 인하여 국내외적으로 그 사용이 날로 증가되고 있다.

현재 많이 이용되고 있는 앵커의 형태인 마찰방식 앵커는 그라우트가 받는 응력의 형태에 따라 다시 인장형과 압축형으로 나누어진다. 과거에는 주로 인장형의 형태를 많이 사용했지만, 요즘은 인발저항기구의 우수, 시공시의 편리함과 진행성과파괴의 영향 감소효과 등의 많은 장점이 인정되어 선진국에서는 압축형 앵커를 많이 개발, 시공하고 있다.

국내의 경우는 앵커의 시공실적은 무수히 많지만, 체계적인 연구는 적고, 그 연구결과들도 대부분 인장형 앵커에 관한 것으로 압축형 앵커에 대해서는 거의 없으며, 설계법도 인장형 앵커의 설계법을 그대로 적용하고 있는 실정이다. 압축형 앵커는 인발저항기구가 인장형과는 다르므로 다른 설계법을 적용해야 한다.

본 연구에서는 압축형 앵커중 국내에서 개발된 SSC 앵커(임중철,1995a,1995b,1996 : 홍석우,1996)를 이용하여 인발저항기구를 분석하고 설계법을 제안하였는데, 설계법 중 인장형 앵커와 중복되는 부분은 종래 연구를 참고하였고, 주로 압축형 앵커만의 특징인 그라우트 거동 및 내하체 보강형식에 의한 강도증가효과를 밝히는데 중점을 두었다. 본 연구의 목적은 압축형 앵커의 인발시 저항기구를 분석하여 보다 정확하고, 현장에서 쉽게 적용가능한 압축형 앵커의 설계법과 프로그램을 개발하는 것이다.

2. 압축형 앵커의 引拔抵抗機構

2.1 저항기구에 따른 앵커의 종류

앵커는 Fig. 1과 같이 인장재와 그라우트가 힘을 받는 형태에 따라 (a)인장형 앵커, (b)압축형 앵커, (3)압축튜브 앵커로 나뉜다. (a)인장형 앵커는 종래에 국내에서 많이 시공해 왔던 형태로 인발에 의해 그림에서 나타낸 것처럼 응력이 뒤쪽으로 전달되어 가는 진행성과파괴가 일어나며 그라우트 표면에 인장 균열이 발생한다(洪碩佑,1994). 이로 인해 그라우트의 방수능력이 현저히 떨어지게 된다. 따라서, 현재 선진국에서는 (b),(c)와 같은 압축형 앵커의 형태를 선호하는 경향이 많은데, 이는 내구성 이외에도 시공의 편리성, 인발저항기구의 우수 등 많은 장점이 있기 때문이다. 압축형 앵커는 초기 개발비용은 많이 들었으나 부식방지등에 훨씬 유리하여 앵커생명이 길기 때문에 결과적으로 경제성도 충분히 얻을 수 있었다. (b)와 같은 형태는 압축형 앵커의 기본구조로 앵커 인장재에 작용하는 인장력을 압축력으로 앵커정착부에 전달하여 지지하는 방식으로 인장형 앵커에서 볼 수 있는 그라우트의 인장 균열은 발생하지 않는다. 따라서 앵커로서의 성상은 양호하며 신뢰성이 높은 앵커로서 평가되고 있다(XANTHAKOS,1990). 이 때는 그라우트의 압축강도에 관한 고려가 필요하다. (c) 형태는 암반과 같은 단단한 지반에 이용하면 효과가 있고, 튜브와 그라우트 사이의 부착응력이 적으면 인발되므로 여기에 대한 고려가 필요하다(Hanna,1982). 본 논문에서 연구에 이용된 SSC 앵커는 (b)와 같은 형태에 속한다.

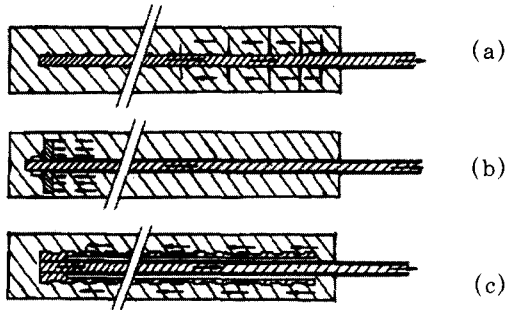


Fig.1. Basic types of anchor fixing involving a grout root, and the stress occurring in the root
 (a) gradual stress development caused by tension,
 (b) stress caused by concentric compression at base,
 (c) shear and compression stresses distributed over a larger area(Hobst et al.,1983)

2.2 압축형 앵커의 극한하중 결정요인

앵커의 극한하중은 앵커의 구성재료간의 파괴에 의해 발생한다(日本土質工學會,1990). 극한하중의 결정요인은 아래 항목과 같다.

- ① 앵커 강선(anchor tendon)의 인장강도 (Fig. 2-①참조)
- ② 앵커 강선(anchor tendon)과의 그라우트(grout)의 부착강도(Fig. 2-②참조)
- ③ 앵커체와 지반과의 주변마찰저항력(Fig. 2-③참조)

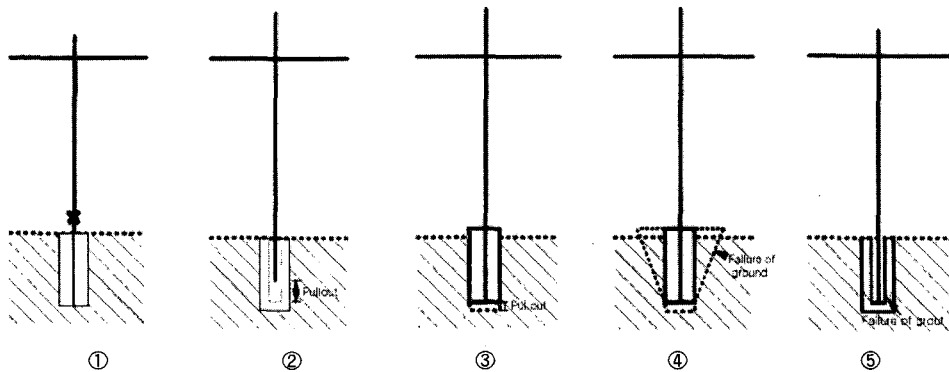


Fig.2 The failure mode of anchor during pullout(日本土質工學會, 1990)

④ 지반의 전단강도 (Fig. 2-④참조)

⑤ 앵커체 그라우트의 압축강도(Fig. 2-⑤참조)

⑥ 앵커체의 내하체(耐荷體)의 강도

압축형 앵커의 설계시 강선의 부착강도는 고려하지 않으므로 ②항은 생략할 수 있다. 그리고 ④번 항도 대단히 과압밀된 지반을 제외하고는 이러한 원추형 파괴는 생기지 않고, 통상 사용되는 앵커의 경우 표면형파괴가 일어난다(한국지반공학회,1997 ; 洪碩佑,1994). 그러므로 앵커 간의 간격이 아주 작은 균앵커의 경우를 제외하고는 앵커설계시에 지반 전단강도에 대한 고려는 생략해도 무방하다. ⑥앵커체의 내하체가 파괴되는 경우에 앵커체의 내하체의 강도가 극한 앵커력이 된다. 그러나 압축형 앵커의 경우 공장에서 미리 제작된 앵커를 반입, 시공하는 경우에는 내하체의 품질을 신뢰할 수 있으므로 이 항목도 설계시에는 제외된다. 따라서 압축형 앵커의 설계시에는 전술한 6가지중 ①, ③, ⑤의 항목만을 고려한다. Fig. 2 는 앵커의 파괴형식을 나타낸다.

3. 압축형 앵커의 설계법

2.2 절에서 전술한 바와 같이 일반적으로 압축형 앵커의 설계시에는 1) 앵커체와 지반과

의 주면마찰저항력, 2) 앵커 강선(Anchor tendon)의 인장강도, 3) 앵커체 그라우트의 압축강도를 고려한다. 1) 주면마찰저항력, 2) 강선의 인장강도에 대한 부분은 일반 인장형 앵커와 설계방법이 같고, 여기에 대한 참고문헌은 소개된 바가 많다. 그러나 3) 압축형 앵커의 그라우트의 압축강도 설계방법에 대한 것은 생소하고, 설계방법도 확립되어 있지 않다. 본 논문에서는 압축형 앵커중 SSC 앵커를 이용하여 실내 모형실험을 실시하여 압축형 앵커의 파괴모드중 그라우트의 압축강도와 내하체 보강효과를 분석하여 압축형 앵커의 특징인 3) 항에 관한 설계법을 제안하고자 한다.

3.1 주면마찰저항력

앵커체와 지반과의 주면마찰저항력에 대한 고려는 식 (1)과 같다

$$T_{as} = \tau_u \times \pi \cdot D \cdot l / F_s \quad (1)$$

여기서,

T_{as} : 주면마찰력을 고려한 허용인발력

τ_u : 주면마찰응력

F_s : 안전율

D : 앵커체 직경

l : 앵커체 길이

주면마찰저항(τ_u)에 대해서는 지속적인 연구가 진행되고 있지만 지반의 범위가 워낙 광범위하고, 많은 종류의 지반에 대해 각각 현장실험과 실내실험을 통해 주면마찰저항(τ_u)을 구하는 데는 한계가 있다. 그래서 개략설계를 할 경우에 주면마찰저항(τ_u)은 일본앵커협회에서 통계적으로 정리한 Table 1 을 많이 사용하는데(한국지반공학회, 1997 ; 그라운드앵커 기술협회, 1997), 이들 값의 대부분이 가압형 앵커의 인발실험에 의해서 구해진 값이므로, 무가압 앵커의 극한인발력을 산정할 경우에, Table 1 의 값을 그대로 사용하는 것은 피해야 할 것이다. 또, 가령 가압형 앵커라도, 토피가 4m

이내일 경우에는 Table 1 의 값을 그대로 사용하는 것은 문제가 있다. 또한 이 수치는 인장형 앵커의 실험결과이므로 이것을 바로 압축형 앵커에 적용하는 것도 무리가 있다. 앵커의 인발력의 산정에는 앵커의 인발실험에 의해 구해진 주면마찰저항(τ_u)값을 사용하는 것이 이상적이며, Table 1 을 사용해 설계에 적용했을 때는 반드시 현장인발실험을 통한 주면마찰저항 값의 검토가 필요하다.

Table 1. Skin friction resistance(τ_u) of anchor body

Types of ground		Skin friction resistance (kgf/cm ²)	
Rock	Hard rock	15~25	
	Soft rock	10~15	
	Decomposed rock	6~10	
	Mudstone	6~12	
Sandy gravel	N value	10	1.0~2.0
		20	1.7~2.5
		30	2.5~3.5
		40	3.5~4.5
		50	4.5~7.0
Sand	N value	10	1.0~1.4
		20	1.8~2.2
		30	2.3~2.7
		40	2.9~3.5
		50	3.0~4.0
Clayey soil		1.0c(c:cohesion)	

(한국지반공학회, 1997; 그라운드앵커 기술협회, 1997)

3.2 강선의 인장강도

강선의 인장강도를 고려하기 위해 식 (2)를 사용한다.

$$T_{as} = n \times T_{aw} / F_s \quad (2)$$

여기서,

T_{as} : 강선에 의한 허용인발력

n : 강선의 갯수

T_{us} : 강선의 극한하중

F_s : 안전율

3.3 그라우트의 압축강도

그라우트의 압축강도를 고려하기 위해 식 (3)을 사용한다.

$$T_{gr} = \sigma_{gr} \times A / F_s \quad (3)$$

여기서,

T_{gr} : 그라우트 압축강도에 의한 허용앵커력

A : 앵커체 단면적

σ_{gr} : 지반의 구속압을 고려한 그라우트 강도

F_s : 안전율

그런데, 그라우트의 강도 σ_{gr} 은 2.1 절에서 전술한 바와 같이 인장형 앵커와 압축형 앵커가 서로 다른 거동을 하게 되므로 깊은 고찰이 필요하다. 임종철 등(1995a, 1995b, 1996):홍석우 등(1996)은 앵커체 내부에 변형률 게이지를 부착하여 여러차례 현장인발실험과 크리이프

을 실시하였고, 변형률의 출력결과를 발표하였는데, 압축형 앵커의 인발시 변형률의 분포를 보면 압축형 앵커는 앵커 끝단부에서 25~30cm 이내에 변형률이 집중하고, 앵커두부쪽으로 올수록 변형률이 거의 발생하지 않는 것을 발견하였다. 즉, 지중에 타설된 앵커의 정착장 내부의 그라우트는 Fig. 3 및 Fig. 4와 같이 25~30cm정도의 그라우트 요소만 압축거동을 하게 되고, 상부로 올수록 앵커체 직경의 팽창으로 인한 구속압의 증가로 주변마찰력이 증대하여 변형률의 발생이 억제되게 된다(자세한 내용은 참고문헌을 참조할 것). 따라서 본 연구에서는 25~30cm정도의 실제의 앵커체와 똑같이 강선을 삽입하고, 직경도 같은 그라우트 요소를 제작하여 압축시험을 하여 그라우트의 인발시 압축거동을 관찰하였고, 그 시험결과를 4.2절에서 정리하였다.

지중에 타설된 압축형 앵커의 인발시의 그라우트의 거동을 보면, 그라우트는 압축으로

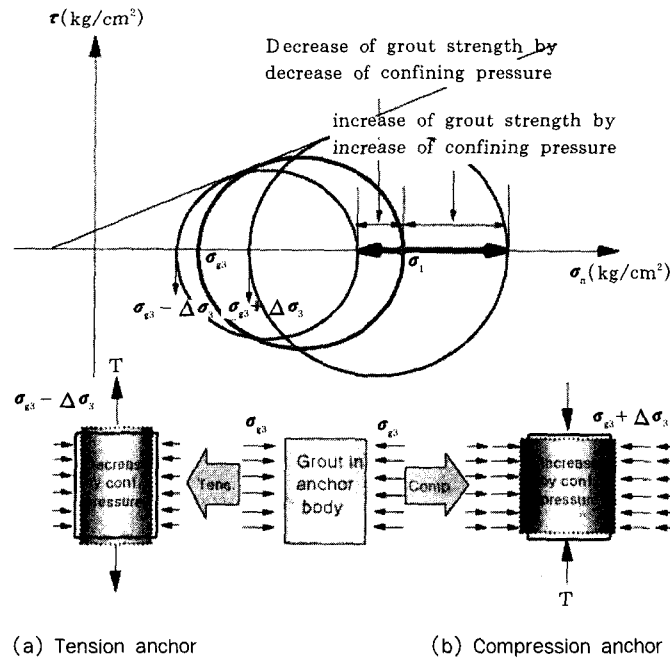


Fig.3 The mechanism of pullout of grout in tension(a) and compression (b) anchor bydy

인한 변형률이 발생하며, 이 종방향 변형률에 포아송 비만큼($\nu \cdot \epsilon$) 그라우트는 횡방향으로 탄성적 팽창을 하게 되는데 이는 구속압의 증대효과를 가져온다. 이 구속압은 Fig.3 과 같이 본래 지중에서 그라우트가 받고 있던 σ_{g3} 에다 구속압의 증대효과로 인한 $\Delta\sigma_3$ 를 합한 만큼의 양으로, 모아원에서 알 수 있는 바와 같이 그라우트의 압축강도의 증가를 가져온다. 그런데 인장형 앵커는 이와는 반대의 원리로 그라우트 주변의 구속압의 감소를 가져온다. 따라서 압축형 앵커의 설계시 이러한 강도증가 효과를 고려하지 않으면 비경제적이고, 부정확한 설계를 하게 된다.

압축형 앵커가 지반 내에서 인발하중을 받을 때 발생하는 구속압은 아래와 같다.

- ① 앵커체의 깊이에서 의한 구속압(이하, 정지 구속압이라고 지칭)
- ② 인발에 의한 체적의 팽창으로 인한 구속압(이하, 포아송 효과라고 지칭)

이러한 지반의 구속압(σ_{g3})[위의 ①과 ②를 총칭하여 지반구속압이라 한다]을 Fig. 4 에서 나타내고 있는데, 지반구속압[식 (4) 및 (5) 참조]에 그라우트의 내하체 보강형식에 따른

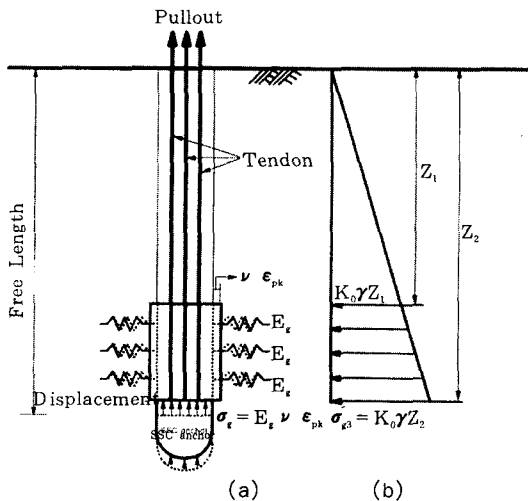


Fig.4 (a) The poisson effect(σ_g) and (b) the confined pressure(σ_{g3}) under the ground and the strength increase of grout specimens

보강효과[식 (6) 참조]를 고려하면 총 보강효과가 계산되어 진다.

4. 압축형 앵커 그라우트 설계강도에 대한 제안

4.1 지반의 총 구속압

4.1.1 지반의 정지 구속압

지반의 깊이에 따라서 증가하는 정지상태의 압력을 지반의 "정지구속압"이라 칭하고, 임의의 깊이에서 발생하는 앵커체 표면의 직각방향의 지반의 정지구속압(σ_{g3})은 Fig. 5와 같이 구해진다.

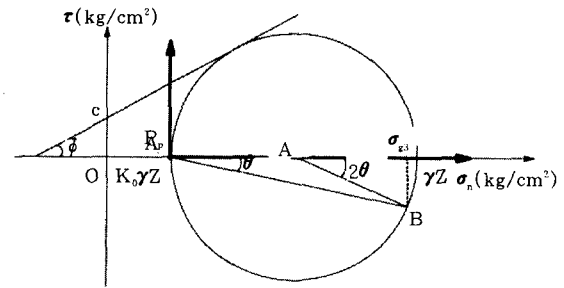


Fig.5 Calculation of the confined pressure(σ_{g3}) under the ground

Fig. 5 에서 그라우트 인접지반의 요소를 가정하여, 임의의 점에서의 측압($K_0 \cdot \gamma \cdot z$)을 모아원을 이용하여, 앵커 표면의 직각 방향으로 미치는 정지구속압(σ_{g3})을 구하면, 식 (4)와 같다.

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

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

$$\sigma_{g3} = \overline{OA} + \overline{AB} \cdot \cos 2\theta$$

$$\therefore \sigma_{g3} = \frac{\gamma z}{2} [(1 + K_0) + (1 - K_0) \cdot \cos 2\theta] \quad (4)$$

Table 2. Typical K_0 (coefficient of lateral earth pressure at rest) and γ

Ground types	Coefficient of lateral earth pressure at rest, K_0	Unit weight, γ (t/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

지반에 따른 K_0 (정지토압계수)와 γ (단위중량)는 실제 지반의 시험을 통하여 구해져야 하나, 본 논문에서는 지반의 종류에 따른 보강효과와 경향을 파악하여 설계에 적용하는 것을 목적으로 하고 있기 때문에, Table 2 와 같이 개략적으로, 안전측의 값(Farmer, 1983)을 사용하여 지반에 따른 임의의 깊이에서의 측압($K_0 \cdot \gamma \cdot z$)으로 인한 그라우트의 강도증가의 경향을 비교했다(계산결과 4.3.1 참조).

Fig. 6 및 Fig. 7 은 깊이에 따른 K_0 값을 실험적으로 나타내고 있다. 실험기계의 정도, 과압밀의 영향 등으로 약간씩 차이를 보이고 있지만 지역별로 어느 정도는 고른 분포를 보이는 것을 알 수 있다.

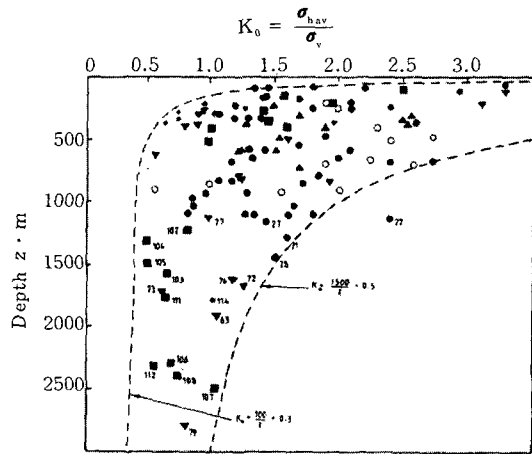


Fig.6 Relation between horizontal geostatic(total) stress and depth(Farmer, 1983 ; Hoek et al., 1978)

4.1.2 그라우트의 포아송 효과에 의한 구속압 앵커 인발시 받게되는 그라우트의 횡방향 팽창을 포아송 효과라고 정의하였다. 그라우트의 팽창시, 지반에는 저항압력(σ_r)이 발생하여 그라우트의 구속압으로 작용하게 된다. 지반저항압력, 즉 구속압은 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\sigma_r = E_s \times \nu \epsilon_{pk} \quad (5)$$

여기서,

σ_r :포아송 효과에 의한 구속압(kg/cm²)

E_s :지반의 변형계수(kg/cm²)

ν :그라우트의 포아송비

ϵ_{pk} :그라우트의 최대압축응력 발생시의 변형률

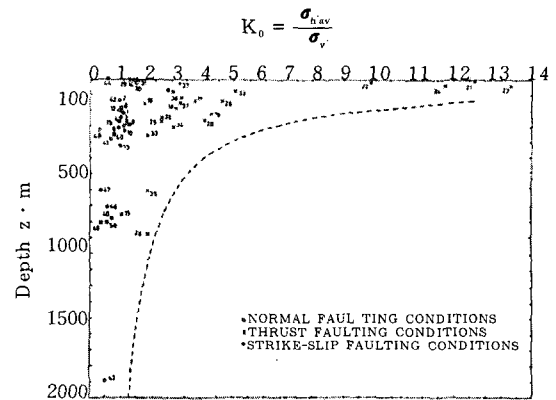


Fig.7 Effect of geological structures on K_0 values (Famer, 1983; Tamison et al., 1979)

4.2 그라우트 요소시험 및 내하체 보강형식에 따른 압축시험

그라우트의 공시체를 직경 5cm, 높이 10cm로 제작하여, 그라우트 공시체의 삼축압축시험을 실시하였고, 그라우트만의 강도정수(c_g, ϕ_g)를 구한 결과치는 다음과 같다. 삼축압축시험 및 내하체 압축시험의 시험방법 및 결과의 자세한 내용은 참고문헌 10) 참조.

- (1) 내부 마찰각(ϕ_g)
- (2) 점착력(c_g) = 83.94(kg/cm²)

본 연구에 사용된 SSC 앵커의 내하체는 총 4가지의 종류가 있다. 그래서 압축력을 받는 앵커 내하체의 그라우트 보강방법에 따른 강도 비교를 위한 압축시험도 ① 무보강의 경우 ② 외부보강의 경우 ③ 내·외부보강의 경우 ④ 강관보강의 경우의 4가지 경우에 대해 시험을 실시했다. 그리고 실제의 앵커체를 근사하기 위해 그라우트 내에 실제 앵커와 똑같은 강선과 간격재 등을 설치하고 그라우트 압축강도시험을 수행하였다. 그리고 압축에 의해 강선이 힘을 받지 않고, 자유장으로서의 역할만을 수행하도록 강선이 있는 자리에 구멍을 낸 재하

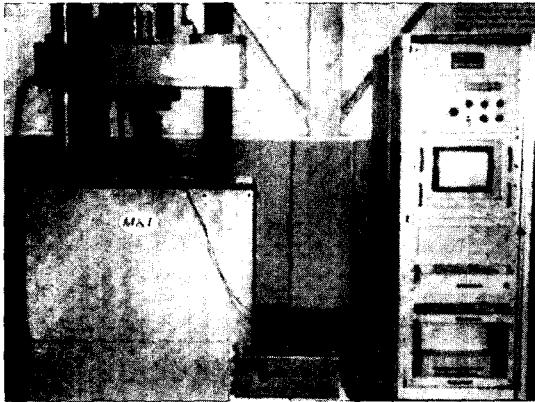


Fig.8 Unconfined compression test of grout specimen

판을 사용하였다. Fig. 8은 그라우트 내하체 표면에다 중·횡방향으로 변형률 게이지를 부착하여 압축시험을 실시하는 모습이다.

4.2.1 압축시험에 의한 변형률(ϵ_{pk})과 포아송비(ν) 및 지반에 따른 변형계수(E_g)

무보강, 외부보강, 내·외부보강, 강관보강의 각 경우에 대한 압축시험을 실시(이태형 등, 1998)하여, 파괴시의 평균변형률($\epsilon_{pk})_{ave}$ 과 각각의 경우에 대해 변형률 게이지를 중·횡방향으로 부착하여 변형률을 측정하여 구한 평균 포아송비(ν_{ave})는 Table 3과 같고, 여러 가지 자료(申潤植, 1989;Hoek 등, 1978;Hobst 등, 1983;芳賀保夫, 1991)를 종합하여 대표적인 지반의 변형계수(E_g)를 나타내면 Table 4와 같다. Table 3 및 4를 식 (5)에 적용하여 구한 지반의 포아송 효과에 의한 구속압(σ_c)은 Table 6과 같다.

4.2.2 내하체 보강형식에 따른 보강효과 비교

현재의 지반이나 기타 재료를 보강할 때 보강의 효과를 판단하는 이론은 (1) 내부 마찰각 증대이론 (2) 구속응력 증가이론 (3) 점착력 증대이론 이상 세가지 이론으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 내하체 보강형식에 의한 그라우트의 보강효과를 판단하기 위해 (3) NSW

Table 4. Deformation modulus (E_g) as the types of ground

Ground types	Deformation modulus, E_g (kgf/cm ²)	Unit weight, γ (tf/cm ³)
Hard rock	More than 4000	More than 2.6
Soft rock	2000~4000	2.4~2.6
Decomposed rock	400~2000	2.2~2.4
Decomposed soil	Less than 400	Less than 2.2

Table 3. Peak strain($\epsilon_{pk})_{ave}$ and Poisson's ratio(ν_{ave}) according to each types of reinforcement

Reinforcement	Unreinforced	Outside reinforced	(In+out)-side reinforced	Steel pipe reinforced
$(\epsilon_{pk})_{ave}$	0.51	0.65	0.62	0.80
(ν_{ave})	0.24	0.23	0.25	0.25

점착력 이론을 도입하였다. 여기서 Hausmann (1976)은 Sigma, Tau 모델을 제안했다. 즉 Sigma 모델은 보강체가 보강재의 파괴에 의해 전체적인 파괴가 일어나는 상태와 일치한다는 것으로, 보강체의 수평팽창은 보강재의 인장강도에 의해 결정된 최대값을 가진 보강재와 흙 사이에 발생된 마찰력에 정적으로 상응하는 프리스트레스를 발생시킨다. 프리스트레스에 의해 증가된 강도는 점착력(c)를 증가시키는 요인이 된다(Ingold,1982). Fig. 9는 보강에 따른 강도의 증가와 점착력의 증가를 나타내고 있다.

Table 5는 내하체의 보강 형식에 따른 압축 시험을 통해 구해진 그라우트의 점착력과 강도 증가량, 무보강과의 강도 증가비를 나타낸다. 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, 크기효과 등의 원인으로 그라우트 강도가 감소하게 되는데, 이때 그라우트를 보강하면 강도의 증가 효과를 가져온다.

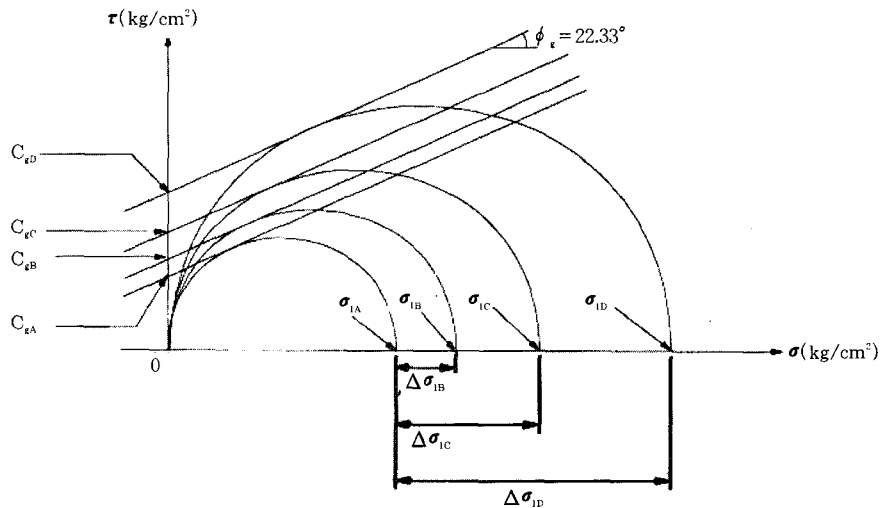


Fig.9 Strength increments of according to each types of reinforcement

여기서,

- c_{eA} : 무보강의 점착력 (kg/cm^2)
- c_{eB} : 외부보강의 점착력 (kg/cm^2)
- c_{eC} : 내·외부보강의 점착력 (kg/cm^2)
- c_{eD} : 강관보강의 점착력 (kg/cm^2)
- σ_{1A} : 무보강의 파괴시의 응력 (kg/cm^2)

- σ_{1B} : 외부보강의 파괴시의 응력 (kg/cm^2)
- σ_{1C} : 내·외부보강의 파괴시의 응력 (kg/cm^2)
- σ_{1D} : 강관보강의 파괴시의 응력 (kg/cm^2)
- $\Delta\sigma_{1B}$: 외부보강에 의한 응력증분 (kg/cm^2)
- $\Delta\sigma_{1C}$: 내·외부보강에 의한 응력증분 (kg/cm^2)
- $\Delta\sigma_{1D}$: 강관보강에 의한 응력증분 (kg/cm^2)

Table 5. Strength increment ratio by the reinforcement, R_s

Test types	Mean strength and ratio of strength increment					
	Strength by reinforcement types(kg/cm ²)		Strength increments (kg/cm ²)		Ratio of strength increment, R_s	c_t (cohesion) (kg/cm ²)
Unreinforced	σ_{IA}	123.17	$\Delta\sigma_{IA}$	0.0	1	41.28
outside reinforced	σ_{IB}	162.30	$\Delta\sigma_{IB}$	39.13	1.32	54.40
(In+out)-side reinforced	σ_{IC}	180.86	$\Delta\sigma_{IC}$	57.69	1.47	60.62
Steel pipe reinforced	σ_{ID}	266.80	$\Delta\sigma_{ID}$	143.63	2.17	89.42

4.3 지반의 구속효과를 고려한 내하체 압축 강도의 산정

4.3.1 지반에 의한 구속압(σ_{tg})

본 논문에서는 지반을 경암, 연암, 풍화암, 풍화토의 4종류로 나누어서 계산을 실시하였고, 각 지반에 따른 강도증가 효과를 계산하였다. Table 2의 값을 식 (4)에 적용하여 계산된

지반의 정지구속압을 Table 6 에 정리하였고, 정착부 내하체 보강형식에 따른 압축시험을 실시하여 구한 Table 3 및 4를 식 (5)에 적용하여 구한 지반의 포아송 효과에 의한 구속압(σ_{tg})은 Table 6 과 같다(계산조건-깊이(z) : 50.0m; 앵커의 경사각(θ):15°로 가정).

Table 6. Total confining pressure(σ_{tg}) by the grounds

Ground types	Reinforcement types	Confining pressure at rest	Confining pressure by poisson effect	Total confining pressure by the ground
		σ_{g3} (kg/cm ²)	σ_t (kg/cm ²)	$\sigma_{tg}(=\sigma_{g3}+\sigma_t)$ (kg/cm ²)
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

4.3.2 지반의 구속효과에 의한 그라우트의 압축강도

모아원(Mohr's circle)을 이용하여 파괴포락선을 따라 지반내에서 총 구속압이 작용할 때의 그라우트의 최대강도(σ_{gl})를 나타내면 Fig. 10 과 같다.

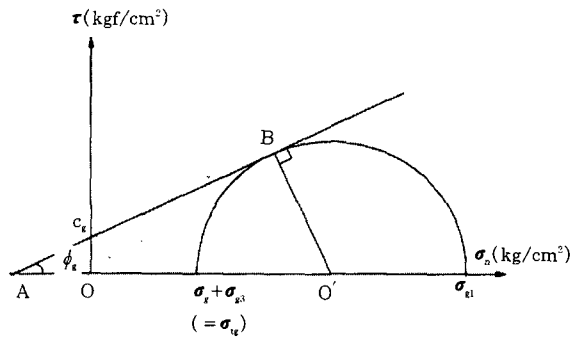


Fig.10 Maximum compressive strength of anchor body grout by total confining pressure of ground

Fig. 10에서 지반의 구속압에 의한 그라우트의 강도(σ_{gl})를 유도하면 식 (6)과 같다.

$$\overline{AO} = \frac{c_g}{\tan \phi_g}, \overline{OO'} = \frac{\sigma_{gl} + \sigma_{sg}}{2}, \overline{BO'} = \frac{\sigma_{gl} - \sigma_{sg}}{2}$$

$$\sin \phi_g = \frac{\overline{BO'}}{\overline{AO} + \overline{OO'}} = \frac{\frac{\sigma_{gl} - \sigma_{sg}}{2}}{\frac{c_g}{\tan \phi_g} + \frac{\sigma_{gl} + \sigma_{sg}}{2}}$$

$$\therefore \sigma_{gl} = \frac{2}{1 - \sin \phi_g} \left[c_g \cdot \cos \phi_g + \left(\frac{\sin \phi_g}{2} + \frac{1}{2} \right) \cdot \sigma_{sg} \right] \quad (6)$$

여기서,

c_g : 앵커체 내부 그라우트 보강형식에 따른 접착력(kg/cm²), Table 5 참조

ϕ_g : 그라우트의 삼축시험에 의한 내부마찰각 (= 22.33°)

σ_{sg} : 지반의 구속압에 의한 그라우트의 강도 (kg/cm²)

σ_g : 그라우트 포아송효과에 의한 구속압 (kg/cm²)

σ_{sg} : 지반의 정지구속압(kg/cm²)

σ_{tg} : 지반의 총 구속압(kg/cm²) (= $\sigma_g + \sigma_{sg}$)

지반에 의한 총 구속압, σ_{tg} (Table 6 참조)을 식 (6)에 대입·계산하여 각 지반에 따라서 앵커체 내하체 형식별로 그라우트의 강도(σ_{gl})를 Table 7에 나타내었고, 이 결과를 이용하여 풍화토의 무보강(최소의 그라우트 강도)의 경우를 기준($R_{gl}=1$)으로 하여, 경암, 연암, 및 풍화암 지반에서는 최소의 값, 풍화토 지반에서는 최대값을 선택하여 강도증가량과 증가비를 Table 7에 정리하였다.

시험 결과, 무보강, 외부보강, 내·외부보강, 강관 보강의 순으로 보강효과가 크게 나타났다. 풍화토와 같이 압축성이 크고, 공학적으로

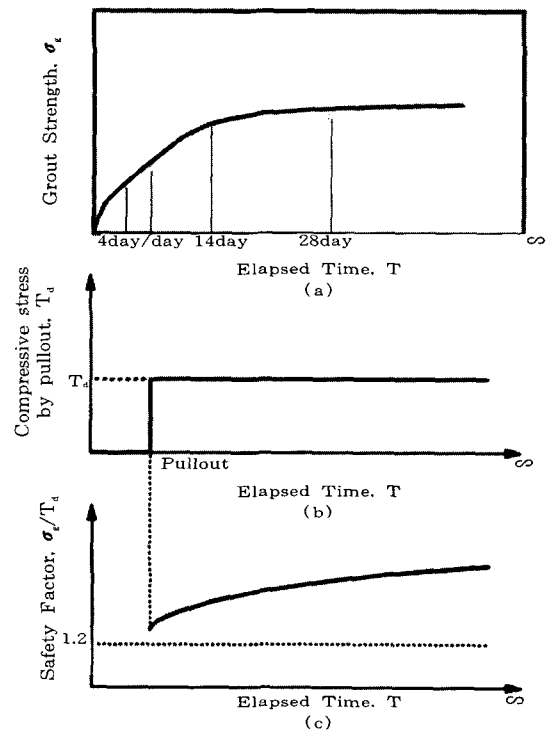


Fig.11 Relationship of grout strength and compression stress and safety factor as elapsed time

Table 7. Confining pressure by ground pressure and Grout strength (σ_u) by the lateral confined pressure and strength increment ratio

Ground types	Reinforcement types	Total confining pressure σ_u (kg/cm ²)	Grout strength in anchor body (kg/cm ²)	Strength increments (kg/cm ²)	Ratio of strength increment, R_u
Hard rock	Unreinforced	More than 500.27	More than 1236.51	985.03	4.92
	Outside reinforced	More than 608.67	More than 1516.90	1265.42	6.03
	(In+out)-side reinforced	More than 630.67	More than 1584.42	1332.94	6.3
	Steel pipe reinforced	More than 810.67	More than 2070.94	1819.46	8.23
Soft rock	Unreinforced	255.13 ~ 499.93	690.97 ~ 1235.77	439.48	2.75
	Outside reinforced	309.33 ~ 608.33	850.73 ~ 1516.16	599.25	3.38
	(In+out)-side reinforced	320.33 ~ 630.33	893.77 ~ 1583.68	642.29	3.55
	Steel pipe reinforced	410.33 ~ 810.33	1179.99 ~ 2070.19	928.51	4.69
Decomposed rock	Unreinforced	58.96 ~ 254.80	254.38 ~ 690.22	2.90	1.01
	Outside reinforced	69.8 ~ 309.00	317.65 ~ 849.99	66.17	1.26
	(In+out)-side reinforced	72.00 ~ 320.00	341.10 ~ 893.02	89.62	1.36
	Steel pipe reinforced	90.00 ~ 410.00	467.09 ~ 1179.25	215.61	1.86
Decomposed soil	Unreinforced	Less than 57.66	Less than 251.48	0	1
	Outside reinforced	Less than 68.50	Less than 314.75	63.27	1.25
	(In+out)-side reinforced	Less than 70.70	Less than 338.21	86.72	1.34
	Steel pipe reinforced	Less than 88.70	Less than 464.19	212.71	1.85

좋지 않은 지반의 경우에는 지반의 구속압의 효과로 인한 그라우트의 강도의 증가를 기대하기 어려우므로, 앵커체 내부의 그라우트 내하체 형식에 따른 강도의 증가를 도입함으로써, 앵커체 내부의 그라우트 파괴로 인한 앵커의 인발을 막을 수 있을 것이다. 일반적으로 앵커의 긴장, 정착은 아직 그라우트가 제 강도를 발휘하기 전인 재령 7일 정도에 하게 되는데, 이 때의 보강목적으로 그라우트 내하체 보강형식을 도입하게 된다. 그리고 긴장, 정착 시 Fig. 11의 (c)그림과 같이 안전율이 1.2 이하로 내려가지 않으면 그 후에는 시간이 경과함에 따라 그라우트 강도가 증가하므로 안전율은 높아지게 된다.

5. SSC 앵커 설계력 산정(SSCAD) 프로그램

3, 4장에서 모형압축시험을 통해 산정한 그라우트 강도 산정식을 이용하여 앵커의 파괴모드에 따른 SSC 앵커의 설계 (SSCAD) 프로그램을 개발하였다. 본 SSCAD 프로그램은 ① 앵커의 긴장에 의한 강선의 파단, ② 주면마찰력의 부족, ③ 정착부의 그라우트 강도의 부족으로 인한 파괴에 대해 고려할 수 있도록 개발되었는데, 본 SSCAD 프로그램의 순서도는 Fig. 12와 같다.

SSCAD 프로그램은 윈도우 용과 도스용이 있는데 윈도우 용은 VISUAL BASIC으로 제작되었으며 대화 창을 통해 직접 설계하고자 하는 버튼을 클릭하여 데이터를 입력할 수 있도록 하였는데, MS WINDOW 95 이상 버전에서 실행해야 한다. 도스용은 포트란으로 제작되었으며, 역시 대화식으로 데이터를 입력하도록 되어 있어 초보자라도 쉽게 실행시킬 수

있다. Fig. 13은 프로그램 실행 후의 출력화면인데, 강선의 강도를 고려한 허용인발저항력과 주변마찰력을 고려한 허용인발저항력 및 그라우트 강도를 고려한 허용인발저항력 중 가장 낮은 값을 앵커의 허용설계력으로 결정하여 출력한다.

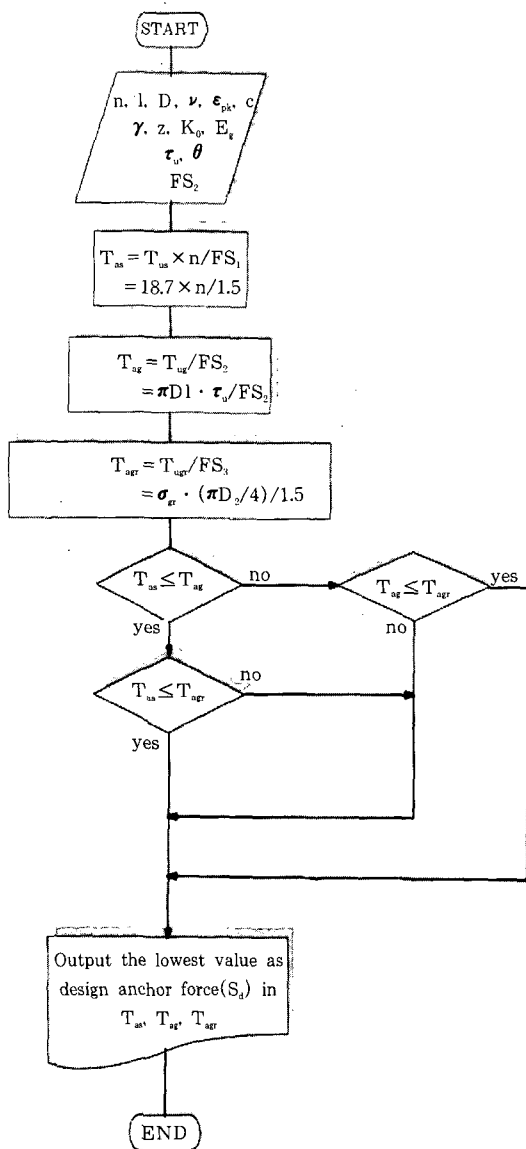


Fig.12 Flow chart of SSC anchor design program

5.1 프로그램 입력데이터

SSCAD 프로그램 입력데이터는 3, 4장에서 정의가 되었으므로 자세한 설명은 생략하고, 직접 데이터를 입력하여 출력된 값에 대해서만 정리하였다.

연구형 앵커	
중의 단위중량:	200 t/m ³
강선수:	6 개
앵커의 정착장:	10.00m
앵커의 직경:	12.70cm
주면마찰저항:	6.00 kg/cm ²
앵커체의 길이:	20.00m
강선의 강도를 고려한 허용인발 저항력:	74.800 TF
주면마찰력을 고려한 허용인발 저항력:	119.695 TF
그라우트강도를 고려한 허용인발 저항력:	92.862 TF
앵커의 설계력:	74.800 TF

공급한 점이 있으시면 아래로 문의하십시오.
SSC ENG. (051)964-3974, 연구실 (051) 510-1543, 2442

Fig.13 Running results of SSCAD program

SSCAD 프로그램의 입력데이터는 현장조건, 설계조건, 지반조건 등에 따라서 다를 수 있다. 이 SSCAD 프로그램의 활용 시에 정확한 설계를 위해선 현장실험과 실내실험 등을 통해 주변마찰응력, 단위중량, 지반 탄성계수, 정지 토 압계수와 같은 지반 파라메타를 각각의 지반에 맞도록 입력해야 한다. 이 파라메타는 크게 경암, 연암, 풍화암, 풍화토 등으로 나눌수 있는데 대표적인 값은 본문의 Table 1, 2, 4에 정리하였다. 개략적인 설계 시에는 본 논문에 제시

된 값들을 사용해도 무방하리라 생각된다.

본 SSCAD 프로그램에서는 정착부 그라우트의 내하체 보강형식을 무보강, 외부보강, 내·외부보강, 강관보강으로 나누어 입력하도록 하였는데, 각 내하체 보강형식에 따라 포아송비(ν), 파괴(피크)시의 변형률(ϵ_{pk}), 내하체로 인한 점착력(c_s)을 구별하여 입력해야 하며, Table 3, 5를 참조하면 된다. 각각의 내하체 형식에 의한 보강효과를 계산함으로써 현장 지반 여건에 맞는 보강형식을 선택할 수 있다.

본 논문에서는 일반적인 현장조건과 지반조건(Table 8, 9 참조)을 고려하여, 각각의 보강의 경우에 대해 지반을 풍화토, 풍화암, 연암, 경암으로 나누어 총 16가지 경우에 대해 영구형의 설계앵커력을 시범적으로 제시하였으며, 그 결과를 Table 10에 정리했다.

Table 8. Conditions of running program

Details of anchor	Conditions
Fixed part length(I)	10.0(m)
Diameter of anchor(D)	12.7(cm)
Number of wires(n)	6(wires)
Depth of anchor body(z)	30.0(m)

5.2 프로그램 실행결과

SSCAD 프로그램 실행 결과를 Table 10에 정리하였는데, 이는 대표적인 값으로 입력 데이터에 따라 바뀌어 질 수 있는 값으로 참고적

으로만 사용 가능하다.

6. 결 론

앵커의 파괴는 주면 마찰력의 부족, 강선의 파단, 그라우트의 파괴로 인한 인발 등의 세가지 조건중에서 가장 불리한 쪽으로 일어난다. 본 논문에서는 압축형 앵커의 설계법에 이 세가지 조건을 고려하여 설계할 수 있도록 하였으며, 모형압축시험을 통해 그라우트의 압축거동을 중점적으로 연구하여 보다 정확하고 쉽게 설계에 적용될 수 있도록 하였다. 압축을 받는 SSC 앵커체는 앵커체 그라우트의 강도에 따라 극한인발력이 많이 달라지므로 구속압이 적은 풍화토 이하의 지반에서 강한 그라우트 강도를 발휘하기 위해 압축형(SSC) 앵커에 내부, 외부 보강선과 강관 보강형식을 도입하였다. 이 보강형식의 도입으로 그라우트의 압축강도가 증가하는 것을 시험을 통해 확인하였다. 앵커 내하체의 보강형식의 변화에 따른 압축시험을 통해, 내하체 형식에 따른 보강효과와 지반마다 다른 조건을 이용하여, 지반의 구속압으로 인한 그라우트의 강도를 추정하여, 각자의 지반에 맞는 내하체 보강형식을 제안하였다. 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 지반에 의한 구속압과 그에 의한 앵커체 내부 그라우트의 강도를 평가할 수 있도록 식 (4), 식 (5), 식 (6)을 제안했고, 이를 프로그램에 삽입하여 압축형 앵커의 특징인 그라우트 설계가 용이하도록 했다.

Table 9. Input data for running program

Ground types	Skin friction stress, τ_s (kg/cm ²)	Unit weight, γ (t/cm ³)	Deformation modulus of ground, E_s (kg/cm ²)	Coefficient of earth pressure at rest, K_0
Hard rock	15.0	2.6	6000	2.0
Soft rock	10.0	2.4	4000	1.5
Decomposed rock	6.0	2.2	2000	1.0
Decomposed soil	2.0	2.0	400	0.5

(2) SSC 앵커의 내하체 형식의 변화에 따른 보강효과에서는, 강관의 보강효과 가장 뛰어났는데 풍화토 이하의 지반에 사용하면 매우 효과를 얻을 수 있다.(보강효과 : 무보강 < 외부보강선 < 내·외부보강선 < 강관보강)

(3) 압축형앵커는 앵커체 내부 그라우트가 압축을 받음으로써 그라우트의 압축강도에 따라 극한 앵커력이 결정되는 경우가 많다. 앵커체가 지반 내에 시공되어 긴장·정착을 하게 되면, 그라우트가 압축되는데 주변지반의 강성에 따라 그 거동형태가 달라진다. 풍화암 이상의 지반에서는 주변마찰력의 부족이나 강선의 파단으로 인한 파괴모드를 보이지만, 풍화토 지반에서는 지반의 구속압의 부족으로 인해 그라우트가 먼저 파괴될 수 있다. 이 때에 보강을 목적으로 가공부 보강형식을 도입하였는데, 모형실험 결과 보강효과가 강도증가비(R_s)=8.23 까지 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

(4) 그라우트의 가공부 형식과 지반 구속압에 의한 강도증가 효과를 고려한 SSCAD 프로그램 개발하였는데 무보강, 외부보강, 내·외부보강, 강관보강의 경우에 대해 각각 지반을 경암, 연암, 풍화암, 풍화토로 나누어 16가지 경우에 대해 프로그램 수행결과를 출력하였다.

(5) SSC 앵커 정착부의 그라우트 강도 증가 효과의 적용성을 보면, 풍화토와 같이 압축성이 큰 지반은 지반의 구속압이 단단한 지반에 비해 강도 증가효과가 상당히 적으므로 앵커체 내부 그라우트 형식에 따른 보강효과가 가장 큰 강관이 유리하고, 경암과 같이 지반의 구속압이 큰 경우에는 그라우트를 보강하지 않더라도 정착부의 강도는 충분히 크므로 무보강 내지는 외부보강 정도로도 큰 강도증가효과를 발휘할 수 있다.

Table 10. Results of running program from SSCAD program(units:t)

Ground types	Reinforcement types	Allowable anchor force by tendon, T_{sa}	Allowable anchor force by skin friction, T_{sf}	Allowable anchor force by grout compression strength, T_{ugr}	Design anchor force, S_d
Hard rock	Unreinforced	74.80	299.24	187.42	74.80
	Outside reinforced	74.80	299.24	229.76	74.80
	(In+out)-side reinforced	74.80	299.24	239.47	74.80
	Steel pipe reinforced	74.80	299.24	311.97	74.80
Soft rock	Unreinforced	74.80	199.49	129.74	74.80
	Outside reinforced	74.80	199.49	159.34	74.80
	(In+out)-side reinforced	74.80	199.49	166.33	74.80
	Steel pipe reinforced	74.80	199.49	217.68	74.80
Decomposed rock	Unreinforced	74.80	199.69	72.06	72.06
	Outside reinforced	74.80	199.69	88.93	74.80
	(In+out)-side reinforced	74.80	199.69	93.47	74.80
	Steel pipe reinforced	74.80	199.69	123.69	74.80
Decomposed soil	Unreinforced	74.80	39.89	25.89	25.89
	Outside reinforced	74.80	39.89	32.57	32.57
	(In+out)-side reinforced	74.80	39.89	35.05	35.05
	Steel pipe reinforced	74.80	39.89	48.35	39.89

참 고 문 헌

1. 그라운드앵커 기술협회(1997), 그라운드앵커공법 설계시공지침, pp. 12-14.
2. 斜面安定協會(1997), AAW工法設計施工指針, p. 295.
3. 임종철, 강낙안, 홍석우(1995a), "압축형 앵커(SSC 앵커)의 개발", 한국지반공학회 가을학술발표회 논문집.
4. 林鍾鐵, 洪碩佑, 朴承一(1995b), "SSC 앵커의 인발특성에 관한 연구", 釜山大學校 生産技術研究所 論文集 第49輯, pp. 73-83.
5. 임종철(1996), "연구사례 II-SSC 앵커 공법", 대한토공회보 통권10호 여름호, 대한전문건설협회, 토공사업협의회, pp. 78-90.
6. 한국지반공학회(1997), 굴착 및 흙막이공법, 지반공학시리즈3, 구미서관, pp. 236-300.
7. 홍석우, 임종철(1996), "SSC 앵커의 역학적 특성", 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp. 399-402.
8. 洪碩佑(1994), "SI앵커의 인발抵抗力에 관한 연구", 碩士學位論文, 釜山大學校, pp. 13-15.
9. 이 태형, 임 종철, 홍 석우(1998), "구속압 효과를 고려한 압축형(SSC)앵커의 정착부 그라우트의 강도에 관한 연구", 大韓土木學會 學術發表會, 論文集, pp. 409-412.
10. 申潤植(1989), 地すべり工學 -理論と實踐-山海堂, pp. 57-59.
11. 日本土質工學會(1990), グラウンド-アンカーの設計・施工基準, 同解説, 第6版.
12. 芳賀保夫(1991), "風化花崗岩(まさ土)上の建物の沈下量", 土の基礎, 12月, pp. 17-22.
13. Brown, E. T., and Hoek, E.(1978), *Trends in relationships between measured in situ stresses and depth*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr., 15, pp. 211-215.
14. Farmer, I. W.(1983), *Engineering Behaviour of Rocks*, 2nd Edition, Chapman and Hall Ltd., pp. 54-57
15. Hanna, T. H.(1982), *Foundation in tension*. McGRAW-HILL company. p. 159.
16. Hobst, L., and Zajik, J. (1983), *Anchoring in Rock and Soil, Developments in Geotechnical Engineering*, Vol.33, Elsevier Scientific Pub. Co., p. 45, p. 143.
17. Hoek and Bray 著, 小野寺 透, 吉中 龍之進 譯(1981), 岩盤斜面工學, 2nd Ed., 朝倉書店, p. 79.
18. Tamison, D. B., and Cook, N. G. W.(1979), *An analysis of the measured values for the state of stress in the earth's crust*. J. Geophys. Res., unpublished paper quoted in Jaeger and Cook(1969).
19. INGOLD, T. S.(1982), *Reinforced Earth*. Thomas Telford Ltd., pp. 10-19.
20. XANTHAKOS P. P.(1990), *Ground Anchors and Anchored Structures*. A Wiley - Interscience Publication JOHN WILEY & SONS. INC. pp.103-106.

(접수일자 1998. 10. 7)