

앵커 형식별 인발거동과 설계법 개발

송일준* · 김가야* · 홍석우**

*동의대학교 토목·도시공학부

**부산대학교 생산기술연구소

Pullout Behavior of Typical Friction Anchors and Development of Design Method

IL-JUN SONG*, GA-YA KIM* AND SEOK-WOO HONG**

*Division of Civil and Urban Engineering, Dong Eui University, Busan, Korea

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

KEY WORDS: Resistance Mechanism 저항 기구, Compression Anchor 압축형 앵커, Progressive Failure 진행성 파괴, Skin Friction Resistance 주면 마찰 저항, Poisson Effect 포아송 효과

ABSTRACT: The resistance mechanism of anchor changes according to the types of anchor. Friction anchors are classified into tension and compression types. In this study, the characteristics and mechanism of pullout are analysed, and the design method of anchor and computer program for design are developed through compression test results of anchor body grout. The characteristics of compression anchor, compared with tension anchor, are summarized mainly as follows: (1) The effect of progressive failure of compression anchor body are much smaller than those of tension anchor during pullout of anchor: (2) The skin friction resistance is increased by Poisson effect of grout (anchor body) during pullout of compression anchor.

1. 서 론

지반앵커는 구조물이 지반에 접하는 부분과 지중의 어떤 깊이 안정된 정착지반과의 사이를 고강도의 강재로 연결하여 그 강재에 높은 긴장력을 도입하는 것으로, 이러한 긴장력을 이용하여 해수나 지하수에 의한 부력으로 인해 발생하는 해양 및 수중 구조물의 부상을 방지하고, 지진시의 요동 등으로 인한 수평토압에 의해 발생 가능한 구조물의 경사를 방지하거나, 사면의 붕괴를 방지하여 지반의 안정을 꾀할 수 있다. 이러한 앵커는 정착되는 지반에 따라 토사지반에 정착될 경우 토사앵커(soil anchor)라 하며, 암반에 정착될 경우를 암반앵커(rock anchor)라 하며 이를 총칭하여 지반앵커(ground anchor)라고 한다. 지반앵커는 약 50년 전에 유럽에서 처음 시작된 공법으로 1958년 스위스 Losinger사의 VSL앵커가 현대적 앵커의 효시라고 할 수 있다. 그 이후 지반앵커는 공법 적용성의 광범위함과 시공시의 편리함과 경제성 등의 많은 장점으로 인하여 전 세계에서 널리 시공되고 있으며, 국내에서도 그 사용이 날로 증가되고 있어 여기에 대한 설계법 및 시방서의 제정, 시공 기준 마련 등이 시급한 실정이다.

본 연구에서는 현장 및 실내실험 결과를 통해 인장형과 압축형 앵커의 인발에 따른 저항기구를 고찰하고, 수치해석을 통해 결과를 검증함과 동시에 현장에서 쉽게 설계에 참여할 수 있는 앵커 설계프로그램을 개발하고자 한다.

2. 앵커의 형식별 저항특성

2.1 인발저항 기구

앵커는 구조물과 지반을 결합시키기 위해 설치되는 것으로 그 힘의 전달경로로 볼 때 앵커두부, 인장부, 앵커체의 3가지 기본 구성요소로 이루어져 있다. 그 중 앵커체의 형상에 따라 지압방식 앵커, 마찰방식 앵커, 복합방식 앵커로 나누어 진다. 그 중 지압방식은 과거에 기술진보가 거의 없을 때 많이 사용하였으나, 특수한 경우가 아니면 적용이 어려워 지금은 거의 사용하지 않으며 앵커체의 직경을 늘리는 확공·복합형의 형태로 많이 쓰이나, 그 효과가 불확실한 경우가 많다. 현재 사용되는 대부분의 앵커형태는 마찰방식인데, 마찰방식은 Fig. 1 과 같이 앵커정착부의 하중지지방식에 따라 인장형과 압축형으로 나눌 수 있다. 인장형 앵커의 경우에는 인장재와 주입재 사이의 부착에 의해, 압축형 앵커는 인장재 선단의 압축에 의해 하중이 전달된다.

Fig. 1 과 같은 저항기구 때문에 앵커가 인발될 때 Fig. 2 와 같이 전체에 변형물이 발생함에 따라 직경의 변화가 미소하게 발생하게 되는데, 이를 포아송(Poisson) 효과(Stewart and Kulhawy, 1980 ; Kulhawy, 1985)라고 하며 이 포아송 효과에 의해 직경이 줄어드는 인장형 앵커보다는 압축에 의해 직경이 증가하는 압축형 앵커가 주면마찰저항의 증대효과가 더 큰 것으로 연구결과가 나와 있다. 따라서 같은 크기의 앵커를 동일한 지반에 시공하여 인발하면 주면마찰력의 부족

제1저자 송일준 연락처: 부산광역시 부산진구 가야동 산24
051-890-1630 ijsong@dongeui.ac.kr

으로 인한 파괴는 인장형 앵커가 먼저 발생하게 될 것이며, 압축형 앵커의 기구가 유리하다는 것을 알 수 있다.

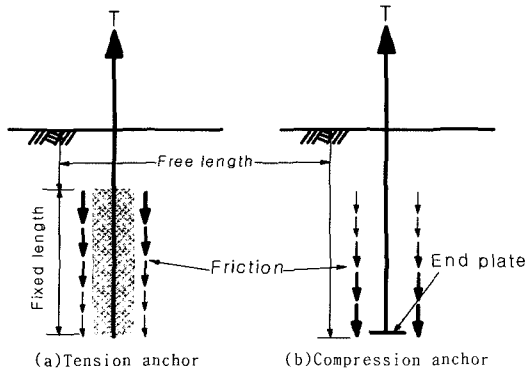


Fig. 1 Classification and mechanism of frictional type anchors (Stewart and Kulhawy, 1980 ; Kulhawy, 1985)

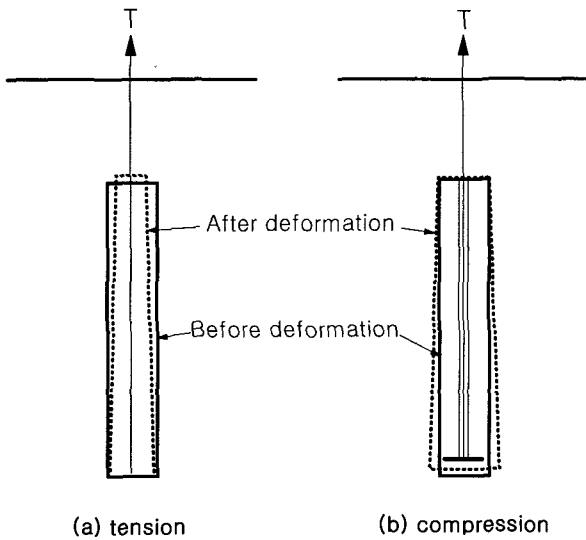


Fig. 2 Poisson effect of tension and compression anchor by pullout (Stewart and Kulhawy, 1980 ; Kulhawy, 1985)

2.2 진행성의 영향

Fig. 3 은 직경이 80cm 정도인 지반개량(SI) 앵커의 인발시험을 하고, 출력된 변형률을 이용해 주면마찰응력의 분포를 나타낸 그래프(홍석우, 1994)이다. 직경이 크고, 길이가 5m 정도의 짧은 앵커라도 인장형 앵커의 경우 진행성의 영향이 많이 나타나는 것을 알 수 있다.

Fig. 4 는 실내모형실험 결과로서 60cm 정도의 모형앵커 내부에 변형률 게이지를 설치하여, 인발 중의 변형률을 측정된 결과이다(홍석우, 1994). 대단히 강성이 높은 경우에는 앵커체 전체에 걸쳐 마찰저항이 고르게 분포되는 것을 알 수 있다. 이를 볼 때 인장형 앵커에서 앵커체의 강성이 높은 경우에는 진행성의 영향이 적을 것이라는 것을 판단할 수 있다.

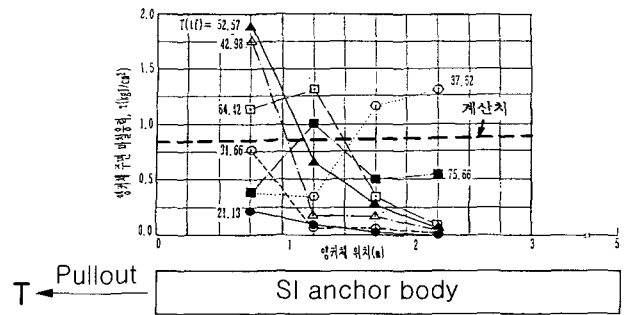


Fig. 3 Distribution of skin friction stresses(τ) measured on the anchor surface at each forces by field test (홍석우, 1994)

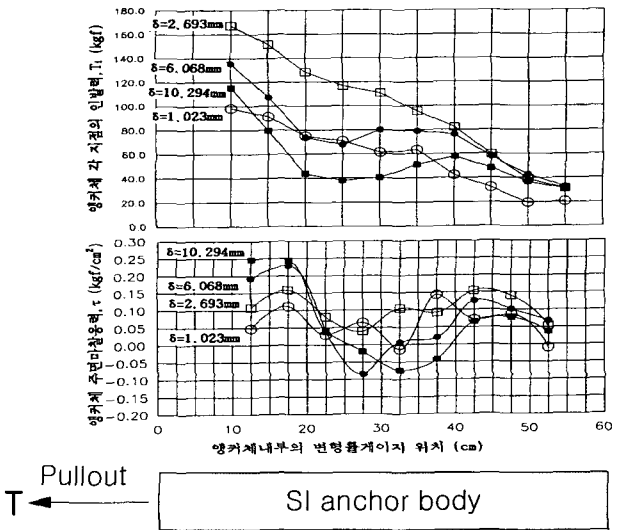


Fig. 4 Distribution of loads and skin friction stresses(τ) on each point of anchor body by laboratory test (홍석우, 1994)

Fig. 5 및 Fig. 6 은 압축형 앵커와 인장형 앵커를 비교하여 현장실험한 결과를 보여주고 있다(Katsura, 1987). Fig. 5 앵커는 압축형 앵커이고, Fig. 6은 인장형 앵커의 실험결과로 Fig. 5 앵커는 정착부 2m 구간에, Fig. 6 앵커는 정착부 2m구간에 변형률게이지를 부착하여 계측을 실시했다. 그리고 정착지반은 N치가 50이상인 동경모래층이다. Fig. 5 및 6의 앵커상단의 그래프는 앵커체 축력의 분포를 나타내며, Fig. 5 및 6 하단의 그래프는 마찰저항의 분포를 나타내는데, 각 하중 단계별 마찰저항을 살펴보면, Fig. 5의 압축형 앵커에서는 70tf에서의 주면마찰저항 이후 극한인발력까지 계속적으로 마찰저항이 증가하는데 반하여 Fig. 6의 인장형 앵커의 0~0.5m 구간의 주면마찰저항의 변화가 압축형 앵커와는 달리, 70tf에서는 15kgf/cm² 정도를 유지하다가 극한인발력에 도달해서는 급격히 떨어져 거의 저항을 발휘하지 못하는 것을 알 수 있다. 이는 전술한 진행성 파괴의 영향을 보여주는 예라고 할 수 있으며 진행성의 영향은 압축형 앵커가 인장형보다 적게 나타나는 것을 알 수 있어 역학적으로 상당히 유리한 것으로 판단된다.

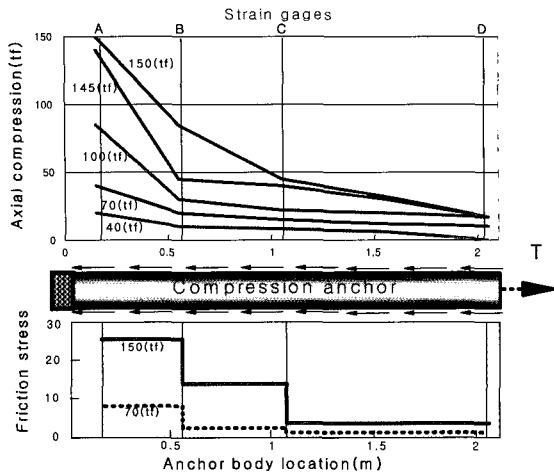


Fig. 5 Field test results by pulling out long compression anchor (Katsura, 1987)

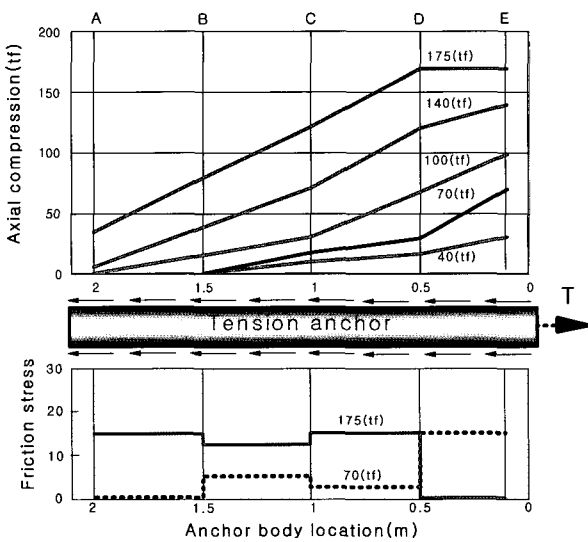


Fig. 6 Field test results by pulling out tension anchor (Katsura, 1987)

인장형과 압축형 앵커의 진행성의 영향은 Mastrantuono 등 (Hanna, 1982 ; Xanthakos, 1990)에 의해 실제 현장실험으로써 연구되어졌는데, Fig. 7 은 점토지반내의 경사앵커(인장형 및 압축형 앵커) 인발시의 인발력과 앵커체 각 위치에서의 인장변형률(인장앵커의 경우) 또는 압축변형률(압축앵커의 경우)의 분포를 나타낸다. 이 그림에서 TPT는 압축형 앵커를 IRP는 인장형 앵커를 나타내는데, 정착장에 설치한 변형률 게이지를 이용하여 하중분포를 측정하였다. 인장형은 초기 인발하중시에 정착장의 앞부분에서 최대의 인장변형률을 나타내지만 인발하중이 증가함에 따라 정착장의 가운데 쪽으로 최대인장변형률이 이동하는 것을 알 수 있다. 이러한 진행성의 영향은 전술한 여러 시험결과와 일치한다. 그러나 압축형 앵커에도 이러한 진행성 파괴의 영향은 나타나지만 인장형 앵커의 경우보다 훨씬 작다는 것을 Fig. 7 을 통해 알 수 있다.

Fig. 8 은 풍화암에 설치된 압축형 앵커의 인발에 따른 앵커체 각 위치에서의 변형률 분포를 나타내는 것으로, 주의하여 보면 앵커체 끝단부에서 부터 가까운 차례대로 높은 압축변형률이 발생하는 것을 알 수 있으며 끝단부(25cm 이내)를 제외하고는 변형률이 극히 작다는 것을 알 수 있다. 이것은 앵커가 인발하중을 받을 때, 앵커체가 매설된 지반이 견고할 경우 높은 구속압이 앵커체 표면에 작용하고, 또 이로 인하여 앵커체 표면에 높은 주면마찰저항이 생기기 때문인 것으로 판단된다. 이 사실로 볼 때 압축형 앵커체가 견고한 지반에 매설될 경우 대단히 높은 인발력이 발휘된다는 것이 증명되며, 이로 인하여 앵커체의 인발시에 발생하는 변위는 극히 적어진다.

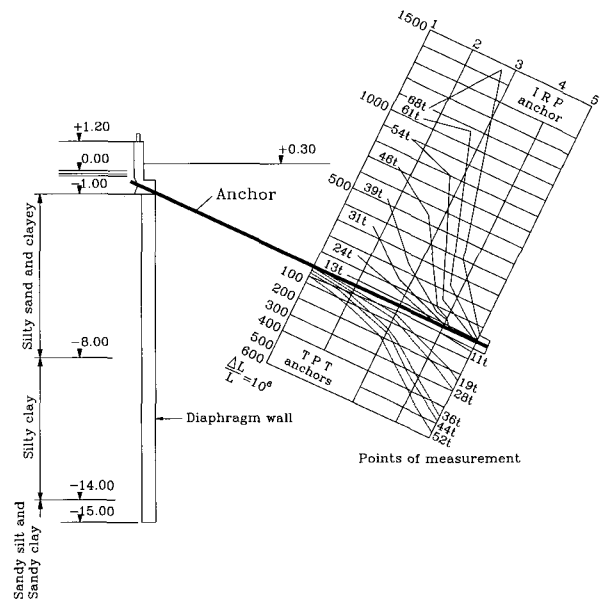


Fig. 7 Load distribution of anchors in clay : compression (TPT) and tension (IRP) anchor(Hanna, 1982 ; Xanthakos, 1990)

2.3 분석 및 고찰

앵커는 인발 됨에 따라 Fig. 9 와 같이 앵커체 내의 그라우트가 압축 내지는 인장을 받게 되는데, 압축을 받는 압축형 앵커의 경우에는 포아송비 만큼 직경이 팽창하게 되며, 이로 인해 앵커체 표면과 지반사이의 주면마찰저항이 급격히 증가하게 된다. 그 결과, 끝단부 25cm 정도까지 압축변형률이 발생하다가 더 이상 진행되지 않고, 그라우트 수축이 일어나지 않게 되는데, 이는 앵커가 인발 됨에 따라 그라우트가 수축되어 주면마찰저항이 감소하는 특징을 가진 인장형 앵커와는 다른 압축형 앵커의 특징 중의 하나이다. 이러한 주면마찰응력의 증가 효과는 견고한 지반일수록 그 효과가 크다.

또한, 팽창된 앵커체는 본래 앵커체가 받고 있던 구속압 (σ_3)에 그라우트의 직경 팽창으로 인한 구속압 증가량 ($\Delta\sigma_3$) 만큼 구속압이 증대되어 Fig. 9 의 Mohr원에서 알 수 있는 바와 같이 그라우트의 강도 증가 효과를 가져온다. 이를 “구속압 효과”라고 하며 이 또한 압축형 앵커의 특징이다.

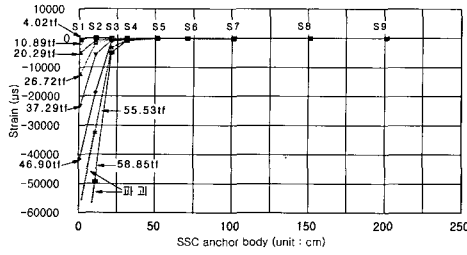


Fig. 8 Strain distributions of compression anchors in decomposed rock(홍석우, 2002)

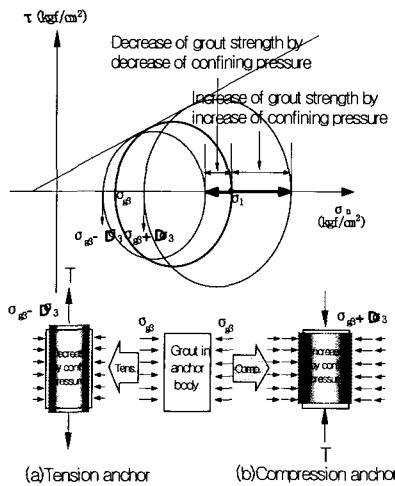


Fig. 9 The mechanism of grout in tension and compression anchor body during pullout

3. 수치해석에 의한 앵커의 인발거동 해석

2절에서 고려하였던 인발저항기구 및 진행성의 영향등을 고려하기 위해 수치해석을 실시하였다. 수치해석 기법은 적용성이 넓은 유한요소법을 사용하였으며, 앵커의 강성과 지반의 강성에 따른 마찰(전단)저항의 변화를 살펴보고, 진행성의 영향에 대해서도 예측을 해 보았다.

3.1 수치해석 프로그램의 개요

본 연구에서 앵커의 인발시의 거동과 주변마찰응력 등을 이론적으로 규명하기 위해 사용된 프로그램은 2D-σ로, 지반과 구조물 간의 거동을 해석할 수 있는 2차원 유한요소해석법(A two-dimensional finite element analysis method)이다. 본 프로그램은 선형 및 비선형 탄소성 해석까지 가능하며, 프리 프로세서 내의 CAD 상에서 작도를 한 후, 해석역을 지정하고 구속조건을 부여한 후, 전체 분할 레벨을 지정하면 자동으로 메쉬가 생성되는 시스템으로 되어 있다.

3.2 FEM에 의한 인장형과 압축형 앵커의 특성 비교 및 고찰

인장형 앵커와 압축형 앵커의 앵커체 표면에서의 전단저항의 분포를 비교하기 위해 프로그램을 실행하였다. 본 연구에서는 Fig. 10 과 같이 지반을 탄성체로 보고 이상적인 앵커체에 인발하중을 가하였는데, 지반탄성계수(E_s)와 앵커 탄성계수(E_a)의 탄성비 (Ratio of elasticity) 에 의해 변화하는 주변마찰응력의 분포를 구하였다. Fig. 10 은 인장형 앵커의 메쉬의 분할과 하중재하도 및 구속조건을 나타내는데, 이때 각 해석역에 부여한 재료값은 Table 1 과 같다.

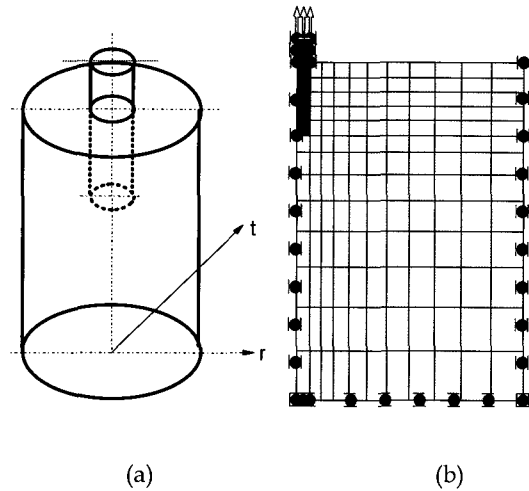


Fig. 10 (a) Geometry of ground anchor, (b) Finite-element mesh and confining condition of anchor

Table 1 Input values for FEM program

parameter	input values
poisson's ratio, ν ($\Delta d/d/\Delta h/h$)	0.25
unit weight, γ (tf/m ³)	2.2
cohesion, c (kgf/cm ²)	5
shear resistance angle, ϕ (degree)	30

탄성비(E_a/E_s)의 범위에 의한 인장형 앵커와 압축형 앵커의 주변마찰응력의 분포는 각각 Fig. 11 및 Fig. 12 와 같다

탄성비(E_a/E_s)가 낮을수록 인발력을 많이 받는 부분 즉, 압축형 앵커는 앵커체 하단 끝부분, 인장형 앵커는 앵커체 상단 부분에서 높은 응력집중이 발생하는 것을 알 수 있다. 그리고, 탄성비가 높을수록(연약지반, 또는 앵커의 강성이 높은 경우) 앵커체 전체에 걸쳐 고른 주변마찰응력의 분포를 보이는 것을 알 수 있다. 따라서 지반에 비해 앵커의 강성이 낮을 때 진행성 파괴의 영향이 더 클 것이라는 예상을 할 수 있는데, 이러한 앵커체 강성에 따른 진행성의 영향을 현장실험 등을 통해 진행성 지수(ProGression Index, PGI)라는 표현을 통한 규명을 시도한 바가 있다(홍석우, 1994). PGI 는 식 (1)과 같으며, 인발하중 $T = T_u$ 이면 $PGI = 0$ 이 되어 진행성의 영향이 없다는 표현이고, $T = T_c$ 일 때는 $PGI = 1$ 이 되어 진행성의 영향이 100%가 된다.

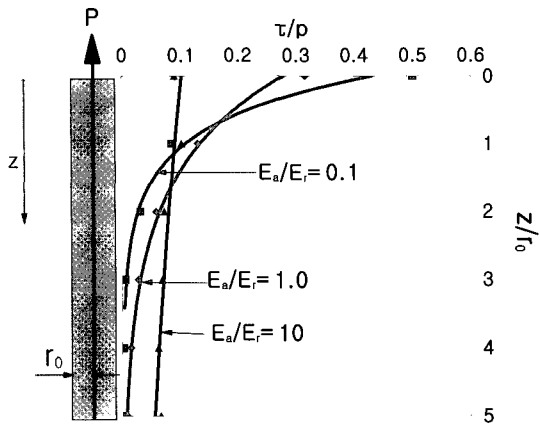


Fig. 11 Distribution of skin friction along tension anchor surface by ratio of elasticity (E_a/E_r)

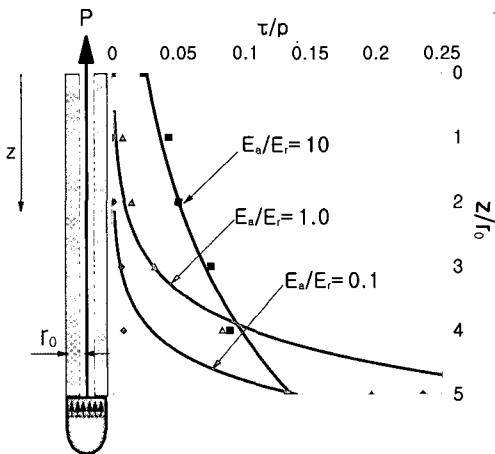


Fig. 12 Distribution of skin friction along compression anchor surface by ratio of elasticity (E_a/E_r)

$$PGI = \frac{T_u - T_p}{T_u - T_r} \quad (1)$$

여기서,

T_u :진행성 파괴를 고려하지 않을 때의 극한 인발력 (tf)

T_p :진행성 파괴를 고려할 때의 극한 인발력 (tf)

T_r :잔류상태에 대한 인발력 (tf)

실제 설계에서도 진행성의 영향을 고려한 설계가 이루어져야 하며, 이러한 시도가 이루어짐으로써 설계시의 안전율도 낮추어 질 수 있고, 불필요한 경제적 손실도 막을 수 있을 것으로 판단된다(현재 안전율 $F_s = 2.5$ 를 적용).

4. 앵커의 설계식의 제안

4.1 앵커의 파괴모드

앵커의 극한하중은 아래 지반의 경우 앵커의 구성재료간의 파괴에 의해 발생한다(Japanese Geotechnical Society, 1990). 극한하중이 결정되어지는 파괴요인은 다음과 같다.

(1) 앵커 강선(Anchor tendon)의 인장강도(Fig. 13-①참조)

앵커 강선이 파단되는 경우에는 앵커 강선의 인장강도가 극한 앵커력이 된다.

(2) 앵커 강선의 그라우트(grout)의 부착강도(Fig. 13-②참조)

앵커 강선과 앵커체 그라우트(grout)와의 부착강도가 적어서 앵커 강선의 인장강도 이하의 힘에 의해 앵커 강선이 인발되는 경우 그 부착강도가 극한 앵커력이 된다.

(3) 앵커체와 지반과의 주면마찰저항(Fig. 13-③참조)

앵커체와 지반에 마찰이 일어나는 경우 이때 앵커체와 지반의 주면마찰저항이 극한 앵커력이 된다.

(4)지반의 전단강도(Fig. 13-④참조)

앵커체의 설치지반에 전단 활동면이 생길 경우 이때 앵커체 주변지반의 전단강도가 극한 앵커력이 된다.

(5)앵커체 그라우트의 압축강도(Fig. 13-⑤참조)

앵커 강선과 그라우트(grout)의 부착보다 그라우트의 압축강도가 기대될 경우에 그라우트의 압축강도가 극한 앵커력이 된다.

(6)앵커체와 내하체(耐荷體)의 강도

앵커체의 내하체가 파괴되는 경우에 앵커체의 내하체의 강도가 극한 앵커력이 된다.

압축형 앵커의 파괴모드는 ①~⑥ 모두 가능성이 있지만, 일부 형태를 제외하고는 압축형 앵커의 설계시 강선의 부착강도는 고려하지 않아도 무방하므로 ②항은 생략할 수 있다. 그리고 ④번항도 대단히 과압밀된 지반을 제외하고는 이러한 원추형 파괴는 생기지 않고, 통상 사용되는 앵커의 경우 표면형 파괴가 일어난다. 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 인장형 앵커의 설계시에는 전술한 6가지 중 ①③의 항목만을 고려하면 되며, 압축형 앵커의 설계시에는 ①,③,⑤의 항목을 고려하면 된다. Fig. 13 은 앵커의 파괴형식을 나타낸다.

*마찰형 앵커 중 인장형 앵커:①,②,③,④

압축형 앵커:①,②,③,④,⑤,⑥

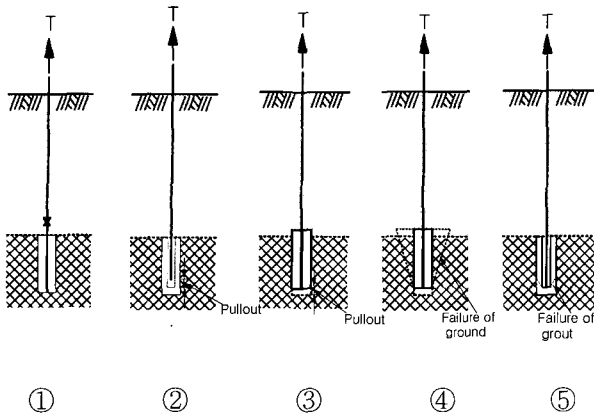


Fig. 13 The failure mode of anchor during pullout (Japanese Geotechnical Society, 1990)

4.2 앵커 설계이론의 제안

앵커의 설계시에는 전술한 바와 같이 ①앵커체와 지반과의 주면마찰저항력, ②앵커 강선(Anchor tendon)의 인장강도, ③ 앵커체 그라우트의 압축강도를 고려한다. 여기서 인장형 앵커의 설계를 위해서는 ①주면마찰저항력, ②강선의 인장강도에 대해 고려하면 되고, 압축형 앵커에 대해서는 ③그라우트의 압축강도에 대해 추가하면 된다. 이에 따른 앵커의 설계식은 다음과 같다.

4.2.1 주면마찰저항력

앵커체와 지반과의 주면마찰저항력에 대한 고려는 식 (2)와 같다

$$T_{ag} = \tau_u \times \pi \cdot D \cdot l / F_s \tag{2}$$

여기서, $\begin{cases} T_{ag} : \text{주면마찰력을 고려한 허용인발력} \\ \tau_u : \text{주면마찰응력} \\ F_s : \text{안전율} \\ D : \text{앵커체 직경} \\ l : \text{앵커체 길이} \end{cases}$

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 구하는데는 한계가 있다. 그래서 개략설계를 할 경우에 주면마찰저항(τ_u)은 일본앵커협회에서 통계적으로 정리한 Table 2 를 많이 사용하는데(그라운드앵커 기술협회, 1997) 이들 값의 대부분이 가압형 앵커의 인발실험에 의해서 구해진 값이므로, 무가압 앵커의 극한인발력을 산정할 경우에, Table 2 의 값을 그대로 사용하는 것은 피해야 할 것이다. 또, 가령 가압형 앵커라도, 토피가 4m 이내일 경우에는 Table 2 의 값을 그대로 사용하는 것은 문제가 있다. 앵커의 인발력의 산정에는 앵커의 인발실험에 의해 구해진 주면마찰저항(τ_u)값을 사용하는 것이 이상적이며, Table 2 를 사용해 설계에 적용했을 때는 반드시 현장인발실험을 통한 주면마찰저항 값의 검토가 필요하다.

Table 2 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)	

4.2.2 강선의 인장강도

강선의 인장강도를 고려하기 위해 식 (3)을 사용한다.

$$T_{as} = n \times T_{us} / F_s \tag{3}$$

여기서, $\begin{cases} T_{as} : \text{강선에 의한 허용인발력} \\ n : \text{강선의 갯수} \\ T_{us} : \text{강선의 극한하중} \\ F_s : \text{안전율} \end{cases}$

4.2.3 그라우트의 압축강도

그라우트의 압축강도를 고려하기 위해 식 (4)를 사용한다.

$$T_{agr} = \sigma_{gl} \times A / F_s \tag{4}$$

여기서, $\begin{cases} T_{agr} : \text{그라우트 압축강도에 의한 허용앵커력} \\ A : \text{앵커체 단면적} \\ \sigma_{gl} : \text{지반구속압을 고려한 그라우트 강도} \\ F_s : \text{안전율} \end{cases}$

그런데, 전술한 바와 같이 그라우트의 강도 σ_{gl} 은 인장형 앵커와 압축형 앵커에서 서로 다른 거동을 하게 되므로 깊은 고찰이 필요하다. 즉, 지중에 타설된 앵커체 정착장 내부의 그라우트는 Fig. 14 와 같이 거동을 하게 되는데, 압축형 앵커의 경우 앵커체가 인발될 때 그라우트는 압축을 받게 된다. 따라서 압축으로 인한 변형률이 발생하며, 이 종방향 변형률에 포아송비만큼($\nu \cdot \epsilon$) 그라우트는 횡방향으로 탄성적 팽창을 하게 되는데 이는 구속압의 증대효과를 가져온다. 이 구속압은 정지 구속압(σ_{gs})에다 포아송 효과(σ_g)를 합한 만큼의 양으로 그라우트의 압축강도의 증가요인이 된다. 그런데 인장형 앵커는 그라우트가 인장력을 받음으로써 구속압의 감소효과를 가져오며, 결과적으로 이는 그라우트 강도의 감소요인이 된다. 따라서 압축형 앵커의 설계시 이러한 강도증가 효과를 고려하지 않으면

비 경제적이고, 부정확한 설계를 하게 된다. 본 연구에서는 이러한 구속효과에 의해 증가하는 그라우트 강도를 분석하여 설계법을 제안하고자 한다.

압축형 앵커가 지반 내에서 인발하중을 받을 때 발생하는 구속압은 Fig. 14 와 같이 ① 정지 구속압과 ② 포아송 효과가 있다(홍석우, 1999; 홍석우 2002).

4.3 압축형 앵커의 그라우트 강도의 계산

4.3.1 정지 구속압의 계산

지반의 깊이에 따라서 증가하는 정지상태의 압력을 지반의 "정지구속압"이라 칭하고, 임의의 깊이에서 발생하는 앵커체 표면의 직각방향의 지반의 정지구속압(σ_{g3})을 구하면, 식 (5) 와 같다(홍석우, 1999 ; 홍석우 2002)

$$\sigma_{g3} = \frac{\gamma z}{2} [(1 + K_0) + (1 - K_0) \cdot \cos 2\theta] \quad (5)$$

4.3.2 그라우트의 포아송 효과에 의한 구속압

앵커 인발시 받게 되는 그라우트의 횡방향 팽창을 포아송 효과라고 정의하였다. 그라우트의 팽창시, 지반에는 저항압력(σ_g)이 발생하여 그라우트의 구속압으로 작용하게 된다. 지반 저항압력, 즉 구속압은 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다(홍석우, 1999 ; 홍석우 2002).

$$\sigma_g = E_g \times \nu \epsilon_{pk} \quad (6)$$

여기서, σ_g : 포아송 효과에 의한 구속압(kgf/cm²)

E_g : 지반의 변형계수(kgf/cm²)

ν : 그라우트의 포아송비

ϵ_{pk} : 그라우트의 최대압축응력 발생시의 변형률

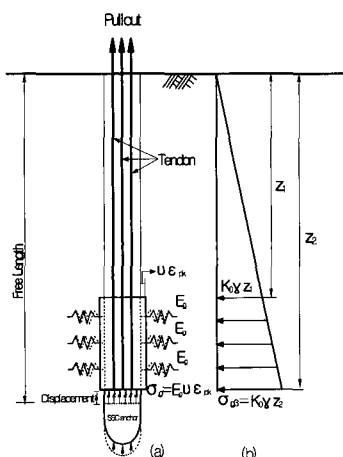


Fig. 14 (a) The poisson effect(σ_g) and (b) the confined pressure(σ_{g3}) under the ground and the strength increase of grout specimens(홍석우, 1999 ; 홍석우 2002)

4.3.3 지반의 구속효과에 의한 그라우트의 압축강도

Mohr원을 이용하여 파괴포락선을 따라 지반내에서 총 구속압이 작용할 때의 그라우트의 최대강도(σ_{g1})를 나타내면 식 (7)과 같다(홍석우, 1999 ; 홍석우 2002).

$$\sigma_{g1} = \frac{2}{1 - \sin \phi_g} [c_g \cdot \cos \phi_g + (\frac{\sin \phi_g}{2} + \frac{1}{2}) \cdot \sigma_{g3}] \quad (7)$$

여기서,

c_g : 앵커체 내부 그라우트보강형식에 따른 점착력(kgf/cm²)

ϕ_g : 그라우트의 삼축시험에 의한 내부마찰각 (=22.33.)

σ_{g1} : 지반의 구속압에 의한 그라우트의 강도(kgf/cm²)

σ_g : 그라우트 포아송효과에 의한 구속압(kgf/cm²)

σ_{g3} : 지반의 정지구속압(kgf/cm²)

σ_{tg} : 지반의 총구속압(kgf/cm²) (= $\sigma_g + \sigma_{g3}$)

5. 앵커 설계 프로그램의 개발

5.1 프로그램의 소개

모형압축시험을 통해 구한 그라우트 강도 산정식 및 시험결과(홍석우, 2002)를 이용하여 앵커의 파괴모드에 따른 앵커의 설계 프로그램(SSCAD)을 개발하였다. 본 프로그램은 ①앵커의 긴장에 의한 강선의 파단, ②주면마찰력의 부족, ③정착부의 그라우트 강도의 부족으로 인한 파괴에 대해 고려할 수 있도록 개발되었다.

프로그램은 VISUAL BASIC으로 제작되었으며 대화 창을 통해 직접 설계하고자 하는 버튼을 클릭하여 데이터를 입력할 수 있도록 하였다.

5.2 프로그램 실행방법

본 프로그램용 CD를 삽입하고, CD내에 수록된 "Setup.exe" 파일을 실행시키면 초기화면이 나타난다.

초기화면에서 "OK"를 클릭하면 Fig. 16 이 나타나는데, 여기서 아이콘을 클릭하면 인스톨이 완료되고, 프로그램 인스톨 완료 메시지가 나타난다.

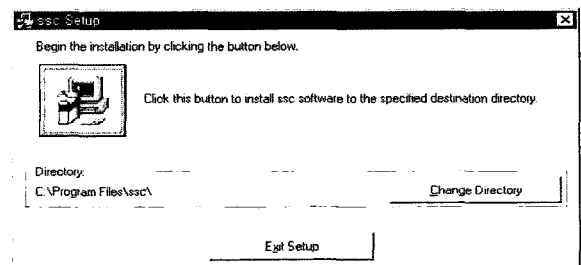


Fig. 16 Installation of SSCAD program

다시 윈도우로 돌아가 "C:\Program Files\ " 디렉토리로 들어가면 "SSC"라는 서브 디렉토리가 만들어져 있는데, 이 디렉토리 안의 "SSCAD.exe"를 클릭하면 SSC 앵커 설계 프로그램이 작동되며, Fig. 17 과 같은 초기화면이 나타난다. 또는, 바로 가기 아이콘을 만들어 바탕화면에 복사한 후, 바로 아이콘을

더블클릭하면 똑같이 프로그램이 작동된다. Fig. 17 화면의 오른쪽 상단을 보면 SSCAD의 아이콘을 볼 수 있다. 이 화면 내에서 앵커를 설계하게 되는데, 이 화면상에는 “강선 설계”, “주면마찰력”, “그라우트 강도”의 세 버튼이 상단에 위치한다. 여기서, “강선 설계”를 클릭하면 강선갯수 지정화면이 나타나는데, 강선 갯수 지정 후 “확인”를 클릭하면 본 화면인 Fig. 17로 돌아온다. 이때, 화면에 “(6)”이라고 밝게 표시된 것은 기본 지정값으로 이를 클릭하면 자동으로 그 값이 입력되어 진다.

Fig. 17 에서 “주면마찰력”을 클릭하면 주면마찰력 설계화면이 나타나며, 주면마찰저항에 대한 설계·검토가 이루어진다.

주면마찰력 설계화면에서 각각의 값을 입력하고, “확인”을 클릭하면, 주면마찰저항력 검토에 대한 입력을 마치고 본 화면인 Fig. 17 로 돌아간다. 본 화면에서 “그라우트 강도”를 클릭하면, 그라우트 강도 설계화면이 나타나는데, 여기서는 그라우트 강도에 대한 설계·검토가 이루어진다.

그라우트 강도에 대한 설계가 완료된 후 “확인”을 클릭하면, 본 화면으로 돌아가게 되는데 이때는 설계에 대한 모든 데이터의 입력이 완료된 상태가 된다. 이 상태에서 하단에 위치한 “확인”을 클릭하면 입력된 데이터에 대한 앵커의 설계·검토가 이루어지며 설계결과가 Fig. 18 과 같이 출력된다.



Fig. 17 First screen of SSCAD program

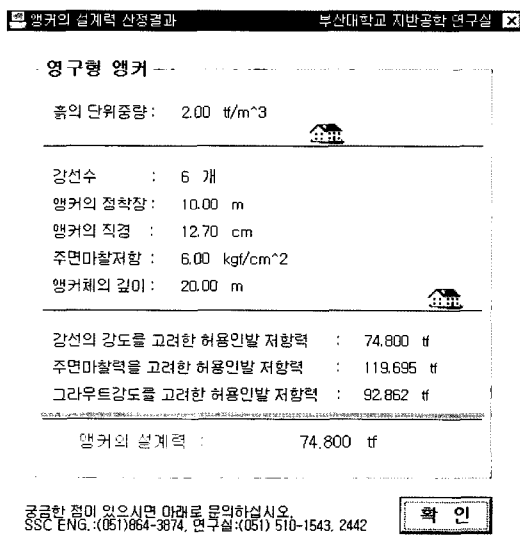


Fig. 18 Running results of SSCAD program

이 프로그램은 인장형 및 압축형 앵커의 설계시에 유용하게 사용될 수 있으며, 특히 국내 최초로 압축형 앵커의 구속압 효과를 고려한 그라우트 강도의 설계를 할 수 있도록 제작되어 졌고, 사용자는 복잡한 식을 몰라도 간단하게 설계에 임할 수 있다는 장점을 갖고 있다.

9. 결 론

현재 국내에서 사용하고 있는 앵커는 마찰형 앵커로 인장형과 압축형으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 인장형과 압축형의 인발저항 메커니즘을 국내·외 자료를 바탕으로 정리해 보았고, 수치해석을 통해 비교해 보았다. 마찰형 앵커의 인발저항력의 산정시는 주면 마찰력, 강선의 강도 및 그라우트의 강도를 고려해야 하는데, 본 논문에서는 이러한 조건을 고려한 인발저항력 산정법을 제시하였으며, 연구된 인발저항력 산정법을 보다 현장에서 쉽게 적용할 수 있도록 프로그램을 개발하였다. 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 압축형 앵커와 인장형 앵커의 인발실험 결과를 비교한 결과 압축형 앵커에서 진행성의 영향이 적게 나타나고, 인발저항메카니즘도 우수한 것으로 나타났다.
- (2) 압축형 앵커는 인발시 그라우트의 포아송 효과로 인해 주면마찰저항이 증가한다. 이로 인해 높은 안전율을 확보할 수 있다.
- (3) 수치해석 결과 앵커와 지반과의 탄성비가 높을수록 진행성의 영향이 적은 것으로 나타났다.
- (4) 지반에 의한 구속압과 구속압에 의한 앵커체 내하체 그라우트의 강도를 평가할 수 있는 식을 적용한 앵커 설계 프로그램을 개발하였다.

후 기

이 논문은 2002학년도 동의대학교 자체 학술연구조성비의 지원을 받아 작성된 것으로 이에 관계자 여러분들께 감사드립니다.

참 고 문 헌

그라운드앵커 기술협회 (1997), 그라운드앵커공법 설계시공지침, pp 12-14.
 한국지반공학회 (1997), 굴착 및 흩막이공법, 지반공학시리즈3, 구미서관, pp 236-300.
 홍석우 (1994), SI앵커의 인발저항력에 관한 연구, 석사학위논문, 부산대학교.
 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.
 홍석우 (2002), "실내요소실험에 의한 압축형 앵커의 정착부

- 보강효과 분석" 한국해양공학회지, 제16권, 제5호, pp 49-55.
- Hanna, T.H. (1982), *Foundation in Tension*, McGraw-Hill Company.
- Japanese Geotechnical Society (1990), *Design · Construction of Ground Anchor*, Ch. 6(in Japanese).
- 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, USA.
- Xanthakos P.P. (1990). *Ground Anchors and Anchored Structures*, A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, Inc.
- Katsura, Y., Chikata, H., Ozaki, O., Kobayasi, Y. (1987), "Studies on Compression Type Permanent Ground Anchors(Part 3) - Compared with Tension Type Ground Anchor - ", *Summaries of Technical Papers of Annual Meeting Architectral Institute of Japan*, pp (in Japanese)
-
- 2003년 5월 16일 원고 접수
2003년 7월 25일 수정본 채택