

## 복합형 앵커의 인발거동에 관한 실험적 연구

### Experimental Study on Pullout Behavior of Composite Type Ground Anchor

홍 석 우<sup>1</sup> Hong, Seok-Woo

#### Abstract

Ground anchors are classified depending on the kind of stress the grout is subjected to. If the grout material is subjected to tension then it is classified as tension anchor while when the grout material is subjected to compression it is classified as compression anchor. In this study a composite type anchor that possesses both the tension and compression mechanism was developed. For field tests, strain gauges were installed inside the anchor body in soft soil. From the strain monitoring results, pull-out resistance mechanism that possesses both tension and compression strain was seen.

#### 요 지

지반앵커는 그라우트가 힘을 받는 형태에 따라 분류되는데 앵커의 인발시 그라우트가 인장을 받으면 인장형 앵커로 압축을 받으면 압축형 앵커로 분류된다. 본 연구에서는 인장과 압축을 동시에 받는 기구를 가진 복합형 앵커를 개발하였다. 현장시험을 위해 연약지반내의 앵커체 내부에 변형률게이지를 설치하였고, 측정된 시험결과를 통해 인장과 압축변형률이 동시에 발생하는 인발저항기구를 관찰할 수 있었다.

**Keywords :** Composite type anchor, Compression anchor, Field tests, Pullout resistance mechanism, Tension anchor

#### 1. 서 론

현재 국내에서 가시설, 사면안정, 옹벽의 보강, 부상 방지등의 목적으로 많이 사용되고 있는 공법인 지반앵커는 그림 1과 같이 구조물 지지시 주입재 내부에서의 정착형식에 따라 주입재가 인장력을 받으면 인장형 앵커, 압축력을 받으면 압축형 앵커, 압축·인장의 병용형태일 때는 복합형 앵커로 구분한다. 과거에는 주로 인장형 앵커의 형태가 많이 사용되었지만, 주입재(grout)의 인장균열, 방수의 어려움 등의 단점으로 영구앵커로서의 사용이 부적합하다는 의견이 많아 근래에는 역학적으로 우수한 압축형 앵커의 형태로 전환되고 있는 실정이다. 압축형 앵커는 인장형 앵커에 비해 진행성과

(progressive failure)로 인한 극한 인발력(極限引拔力)의 저하 및 크리프(creep)의 영향에 따른 신뢰성 저하 등을 보완 발전시킨 형태로 인발저항기구의 우수함 및 시공시의 편리함 등의 많은 장점을 지니고 있다(임 종철 등, 1998b, 1999). 하지만 인장형 및 압축형 앵커는 모두 지반 구속압이 적은 연약지반(토사 및 풍화토)에서 긴장 정착시 주입재(grout)가 파괴되거나 인발되는 약점을 가지고 있어, 이런 지반에서의 앵커 적용이 어려운 실정이다. 따라서 이런 약점을 개선시켜 연약지반에서 인발력의 증가를 기대할 수 있는 앵커개발이 필요하다고 하겠다. 본 논문에서는 인장과 압축을 동시에 받으면서 인발력의 증가를 기대할 수 있는, 특히 연약지반에서도 적용가능한 앵커를 개발하기 위해 연약지반을 중심으로

<sup>1</sup> 정회원, 동의대학교 토목공학과 겸임교수, 공학박사, (주)SSC건설컨설팅, SR건설(주) 대표이사 (Member, Adjunct Prof., Dept. of Civil Engrg., Donggeui Univ., CEO, SSC Consultant Co., Ltd., SR Construction Co., Ltd., hongwoo@pusan.ac.kr)

\* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2009년 5월 31일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

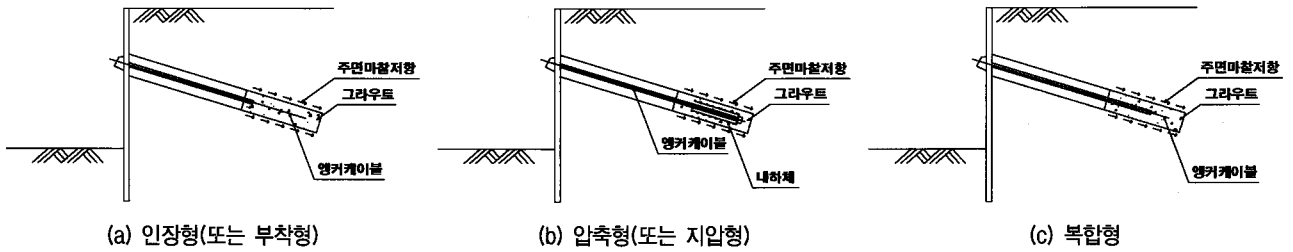


그림 1. 인장재의 주입재(grout) 정착형식에 따른 분류(그라운드앵커 기술협회, 1997)

로 현장시험을 실시했고 그 결과를 정리하였다.

## 2. 복합형 앵커의 인발특성

### 2.1 복합형 앵커의 인발거동

현재 사용되는 대부분의 앵커형태는 그림 2와 같이 마찰정착방식의 분류인 인장형 앵커(Tension Anchor)와 압축형 앵커(Compression Anchor)가 사용된다. 압축형 앵커는 앵커 인장재에 작용하는 인장력을 압축력으로 앵커정착부에 전달하여 지지하는 방식으로 인장형 앵커보다는 진행성 파괴(Progressive Failure)와 크리프(creep)현상이 적게 나타나고, 그라우트의 압축력에 강하다는 장점을 살릴 수 있어 신뢰성이 높은 앵커로 평가된다. 한편 인장형 앵커는 정착장(Fixed length)에 대한 현장적응성 즉, 지층의 변화가 많은 지반에서 일부라도 단단한 지층에 정착시 인발력을 발휘할 수 있는 장점을 가지고 있다(임 종철 등 1998b, 1999). 따라서 이 두가지 형태가 복합적으로 작용하는 기구(mechanism)를 가진 앵커가 제작되면 두 형태의 앵커의 장점을 동시에 가지면서 인발저항력도 증가할 수 있다는 데 착안하

고 본 앵커를 개발하게 되었다. 복합형앵커의 제작비가 고가이지만, 인발력의 증가를 기대할 수 있다면 현장에서 적용이 가능하고, 또한, 지금까지 시공시의 편리함에도 불구하고 앵커공법의 사용을 꺼리던 연약지반에서의 시공도 가능해지리라고 생각된다. 본 연구에 적용된 복합형 앵커의 작용기구는 그림 3과 같다.

홍석우(1999)는 인장형 앵커와 압축형 앵커의 앵커체 표면에서의 전단저항의 분포를 비교하기 위해 프로그램을 실행하였는데, 지반탄성계수( $E_s$ )와 앵커 탄성계수( $E_a$ )의 탄성비(Ratio of elasticity)에 의해 변화하는 주변마찰응력의 분포를 구하였다. 그림 4는 인장형 앵커 및 압축형 앵커의 메쉬의 분할과 하중재하도 및 구속조건을 나타내었고, 표 1은 각 해석역에 부여한 재료값이다.

탄성비( $E_s/E_a$ )의 범위에 의한 인장형 앵커와 압축형 앵커의 주변마찰응력의 분포는 각각 그림 5 및 그림 6과 같다. 탄성비( $E_s/E_a$ )가 낮을수록 인발력을 많이 받는 부분 즉, 압축형 앵커는 앵커체 하단 끝부분, 인장형 앵커 앵커체 상단 부분에서 높은 응력집중이 발생하는 것을 알 수 있다. 그리고, 탄성비가 높을수록(연약지반의 경우) 앵커체 전체에 걸쳐 고른 주변마찰응력의 분포

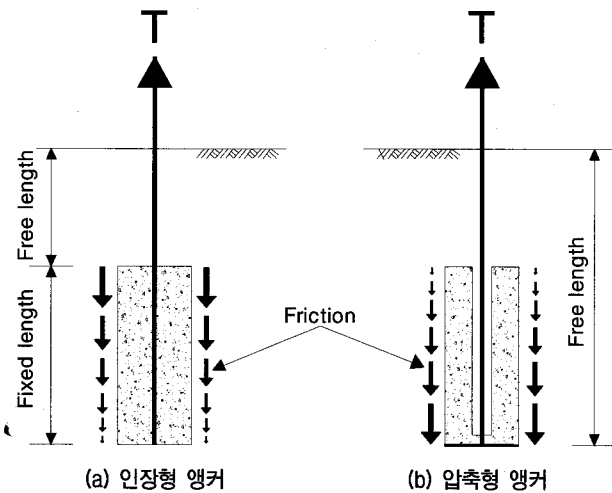


그림 2. 인장형 앵커와 압축형 앵커

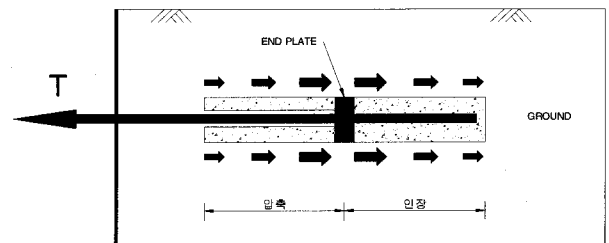


그림 3. 복합형 앵커의 인발거동

표 1. 각 해석역에 부여한 재료값(홍석우, 1999)

Parameter name	Input parameter values
Poisson's ratio, $\nu$ ( $\Delta d/d/\Delta h/h$ )	0.25
Unit weight, $r$ (tf/m <sup>3</sup> )	2.2
Cohesion, $c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	5
Shear resistance angle, $\phi$ (degree)	30

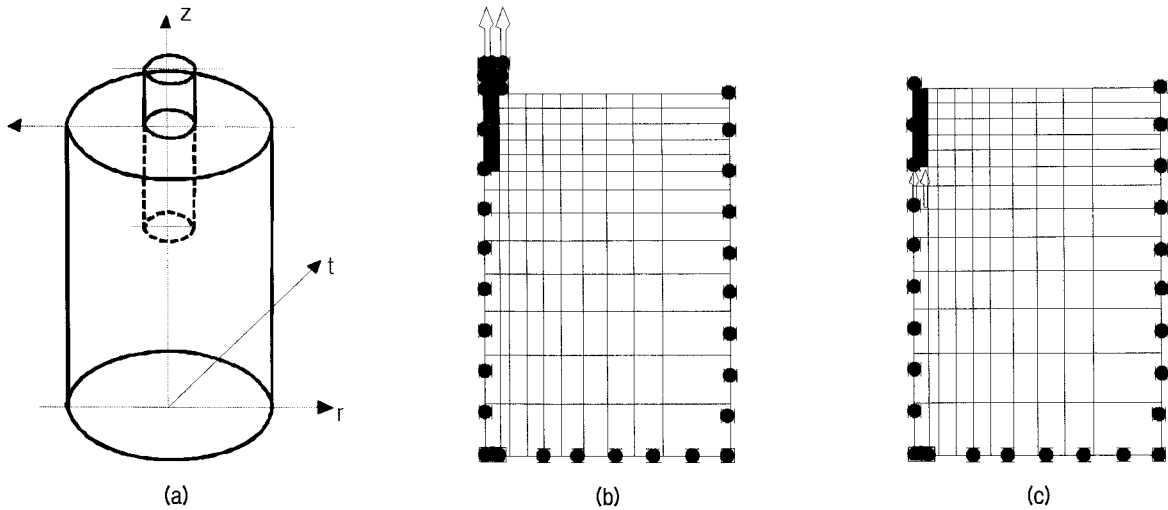


그림 4. (a) 유한요소 해석을 위한 지반내의 앵커체 모식도 (b) 인장형 앵커의 인발시의 요소망 (c) 압축형 앵커 인발시의 요소망(홍석우, 1999)

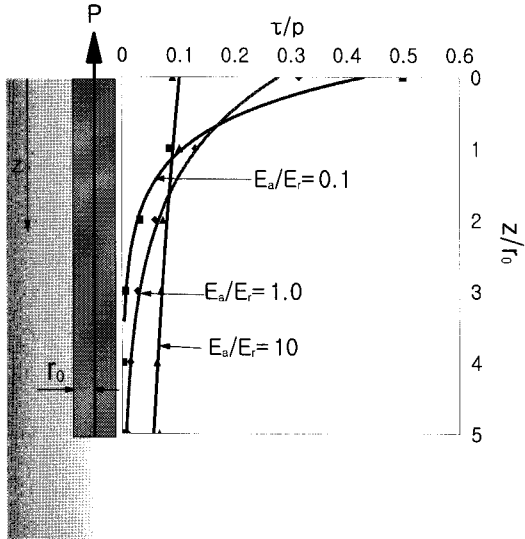


그림 5. 탄성비( $E_a/E_r$ )에 따른 인장형 앵커의 주면마찰응력 분포(홍석우, 1999)

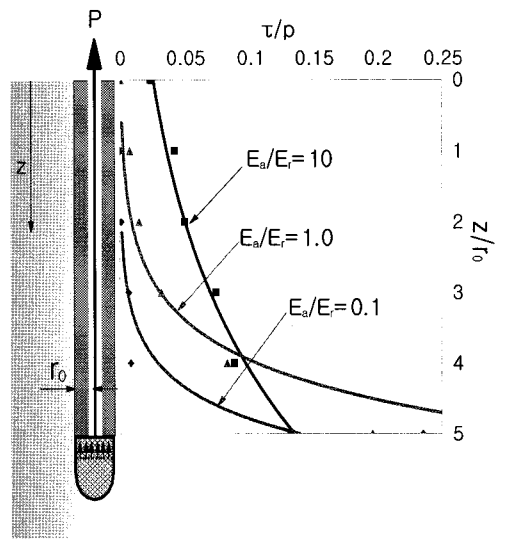


그림 6. 탄성비( $E_a/E_r$ )에 따른 압축형 앵커의 주면마찰응력 분포(홍석우, 1999)

를 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 임종철(1998a) 등, 홍석우(1999)는 현장실험 등을 통해 진행성 지수(ProGression Index, PGI)라는 표현을 통한 규명을 시도한 바가 있다. PGI는 식 (1)과 같다.

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

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 있다고 제시하였다(현재 영구앵커의 경우 안전율  $F_s=3$ 을 적용).

홍석우(1999),이태형 등(1998)은 압축형 앵커의 보강 형식을 무보강, 외부 보강, 내·외부 보강, 강관 보강으로 나누어 각각의 경우에 따른 탄성계수와 지반 매개변수를 표 2 및 표 3과 같이 입력하여 인발시의 탄성비( $E_a/E_r$ )에 따른 주면마찰저항의 분포를 구하였다. 그림 7~그림 10은 유한요소법으로 해석한 각각의 보강의 경우에 대한 주면마찰저항( $\tau$ )의 분포를 나타내는데, 이를 주의

표 2. 각 지반의 종류별 입력 토질 매개변수(홍석우, 1999)

Parameter \ Reinforcement type	Hard rock	Soft rock	Decomposed rock	Decomposed soil
Young's modulus, $E$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	120,000	20,000	4,000	400
Poisson's ratio, $\nu$ ( $\Delta d/d/\Delta h/h$ )	0.10	0.25	0.3	0.4
Unit weight, $\gamma$ (tf/m <sup>3</sup> )	2.6	2.4	2.2	2.0
Cohesion, $c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	50	40	20	5
Shear resistance angle, $\phi$ (degree)	60	50	40	30

표 3. 각 보강 형식별 입력 매개변수(홍석우, 1999)

Parameter \ Reinforcement type	Unreinforced	Outside reinforced	(In+out)-side reinforced	Steel pipe reinforced
Young's modulus, $E$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	31,000	37,500	32,500	52,172
Poisson's ratio, $\nu$ ( $\Delta d/d/\Delta h/h$ )	0.24	0.23	0.25	0.25
Unit weight, $\gamma$ (tf/m <sup>3</sup> )	2.2	2.4	2.6	2.8
Cohesion, $c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	41.28	54.40	60.62	89.42
Shear resistance angle, $\phi$ (degree)	22.33	22.33	22.33	22.33

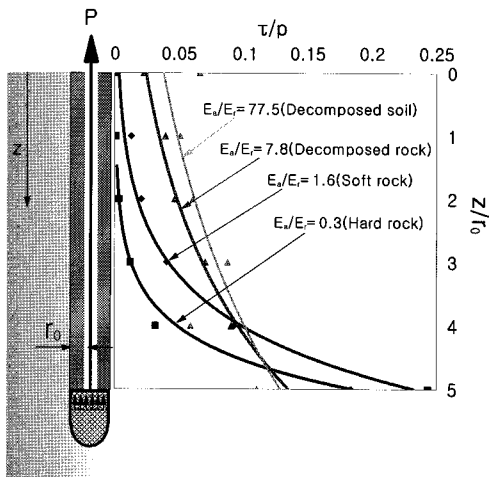


그림 7. 지반 탄성비에 따른 무보강시 앵커체 주변마찰응력 분포(홍석우, 1999)

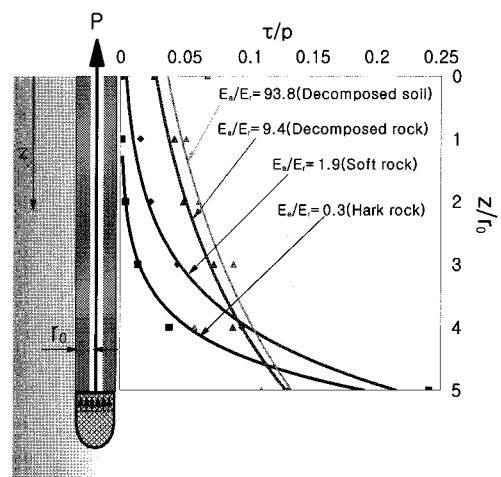


그림 8. 지반 탄성비에 따른 외부보강시의 앵커체 주변마찰응력 분포(홍석우, 1999)

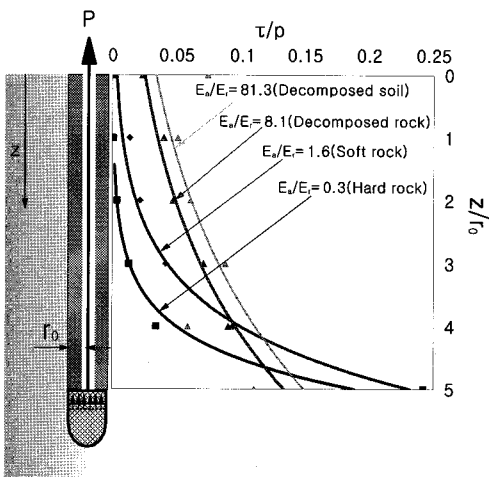


그림 9. 지반 탄성비에 따른 내·외부 보강시의 앵커체 주변마찰응력 분포(홍석우, 1999)

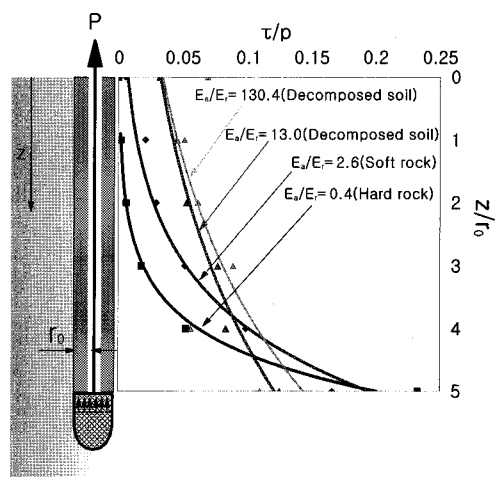


그림 10. 지반 탄성비에 따른 강관 보강시의 앵커체 주변마찰응력 분포(홍석우, 1999)

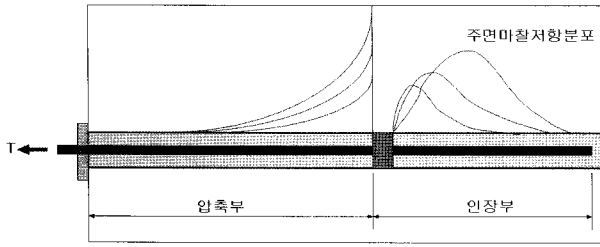


그림 11. 복합형 앵커의 인발시의 주면마찰응력 분포도

하여 보면 앵커 주변지반의 강성이 강할수록 인발력이 작용하는 단면에 가까울수록 높은 저항이 발휘되며, 멀어질수록 급격히 주면마찰저항이 감소되는 것을 알 수 있다. 따라서 탄성비( $E_s/E_r$ )가 낮을수록 원활한 하중전이가 이루어지지 않으며 진행성 파괴의 영향도 높게 나타나리라는 것을 예상할 수 있다.

본 앵커는 인발 시 선단지압판(END PLATE)을 기준으로 인장과 압축이 발생되어 하중을 전달하는 구조로 이루어져 있다. 그리고 앵커의 압축부 주입재의 보강 형식은 외부보강 및 강관보강 방식으로 그림 8 및 10의 주면마찰응력 분포를 따르며 인장부는 진행성파괴가 일어나는 일반적인 마찰응력 분포를 따른다고 볼 때, 인장하중 작용 시 본 복합형 앵커의 마찰응력의 분포는 그림 11과 같다.

## 2.2 복합형 앵커의 파괴모드

日本土質工學會(1990)는 지반앵커를 압축형과 인장형으로 나누어 파괴모드를 정리한바 있으며, 본 논문에서는 이를 기초로 하여 본 앵커의 극한인발력 발생시 예상할 수 있는 파괴모드를 정리하였다. 극한인발력은 앵커의 구성재료 및 지반의 파괴에 의해 발생한다. 극한인발력의 결정요인은 다음과 같다.

### (1) 앵커 강선(Anchor tendon)의 인장강도

앵커 강선이 파단되는 경우에는 앵커 강선의 인장강

도가 극한 앵커력이 된다. (그림 12-(1) 참조)

### (2) 앵커 강선의 주입재(grout)의 부착강도

앵커 강선과 앵커체 주입재(grout)와의 부착강도가 적어서 앵커 강선의 인장강도 이하의 힘에 의해 앵커 인장부 강선이 인발되는 경우 그 부착강도가 극한 앵커력이 된다(그림 12-(2) 참조).

### (3) 앵커체와 지반과의 주면마찰저항

앵커체와 지반에 마찰력의 부족으로 파괴되는 경우가 이 때 앵커체와 지반의 주면마찰저항이 극한 앵커력이 된다. 대부분의 마찰형 앵커는 이 파괴모드를 따라 파괴가 일어난다(그림 12-(3) 참조).

### (4) 지반의 전단강도

앵커체의 설치지반에 전단 활동면이 생길 경우 이 때 앵커체 주변지반의 전단강도가 극한 앵커력이 된다. 이런 경우는 대단히 과압밀된 지반을 제외하고는 원추형 파괴는 생기지 않고, 통상적인 앵커는 표면형 파괴가 발생된다. 그러므로 앵커간의 간격이 아주 작은 균앵커의 경우를 제외하고는 앵커설계시에 지반 전단강도에 대한 고려는 생략해도 무방하다(그림 12-(4) 참조).

### (5) 앵커체 주입재의 압축강도

앵커체 내부의 강선과 주입재(grout)의 부착력보다 주입재의 압축강도가 적을 경우 주입재가 압축파괴되므로 이 경우는 주입재의 압축강도가 극한 앵커력이 된다(그림 12-(5) 참조).

### (6) 앵커체와 내하체(耐荷體)의 강도

앵커체의 내하체가 파괴되는 경우에 앵커체의 내하체의 강도가 극한 앵커력이 된다. 그러나 복합형앵커의 경우 공장에서 미리 제작된 앵커를 반입, 시공하는 경우에는 내하체의 품질을 신뢰할 수 있으므로 생략해도 무방하다.

복합형 앵커의 파괴모드는 이상 6가지로 나타내며, 인발 시 파괴형상은 그림 12와 같다.

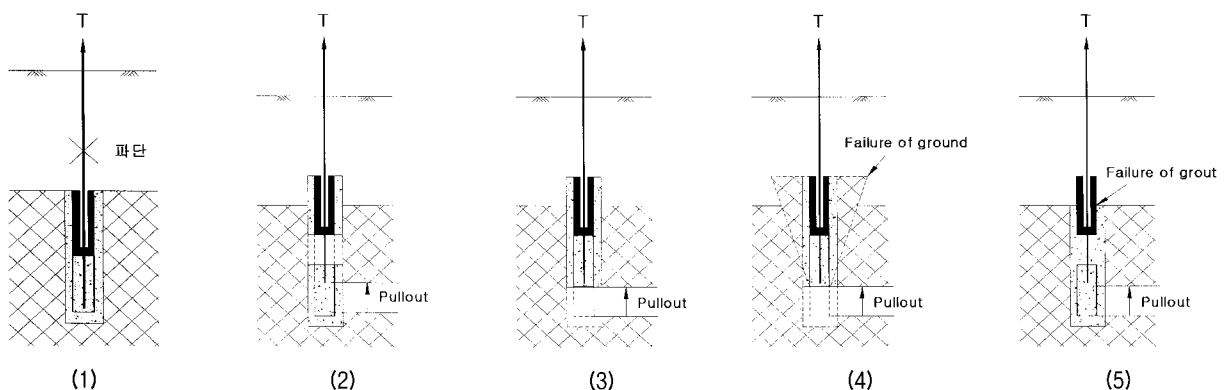


그림 12. 복합형앵커의 파괴모드

### 3. 복합형 앵커의 구성

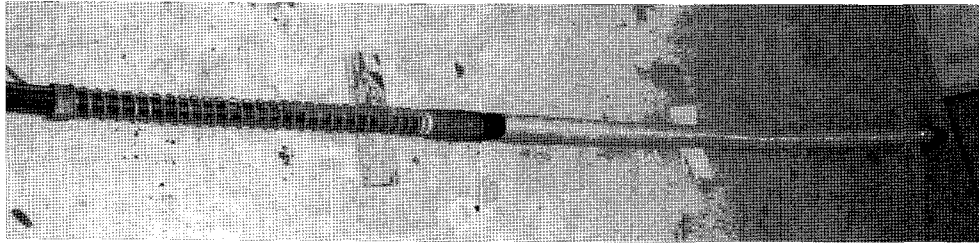
압축부 및 인장부를 나타낸 세부구조는 그림 14와 같다.

#### 3.1 복합형 앵커의 내·외부 구조

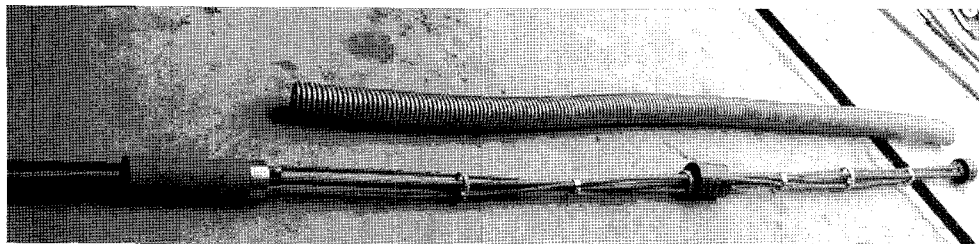
앵커의 실 모습은 그림 13과 같은데 같은 복합형 앵커에서 압축부의 보강을 외부보강선으로 하는 경우와 강관으로 하는 경우를 나누어 현장실험을 실시하였다. 앵커체의

#### 3.2 복합형 앵커의 시공순서

시공순서는 종래의 인장형 앵커와 비교하면 그림 15와 같다.

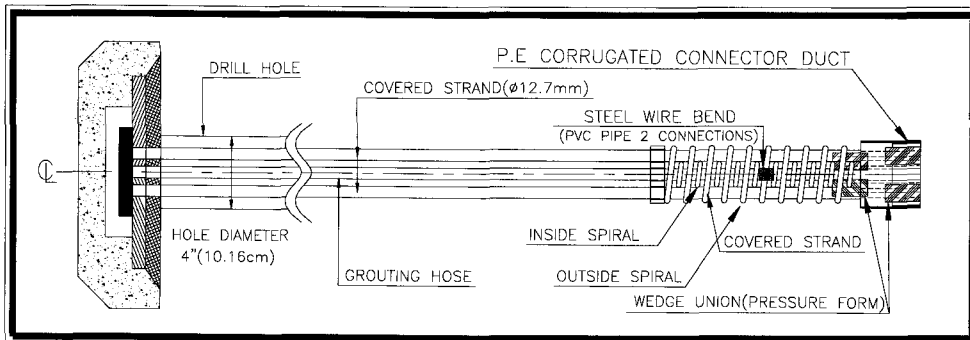


(a) 외부 보강선으로 압축부를 보강한 앵커체

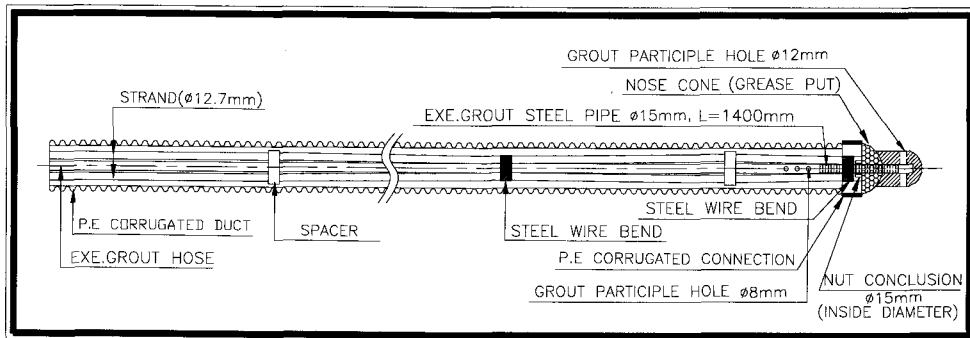


(b) 강관으로 압축부를 보강한 앵커체

그림 13. 제작된 실험용 앵커체의 구조



(a) 압축부 세부구조



(b) 인장부 세부구조

그림 14. 앵커체의 압축 인장부 세부도면

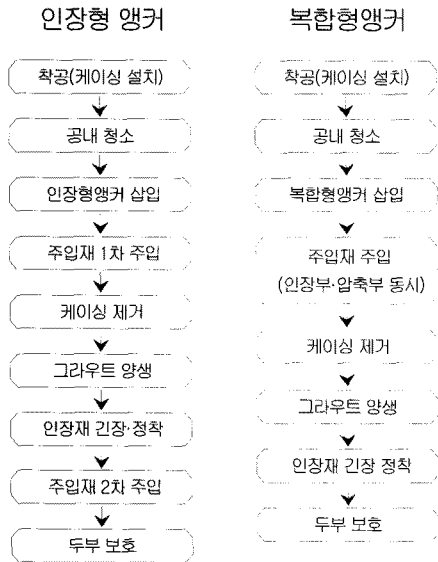


그림 15. 앵커 형식별 시공순서도

#### 4. 복합형 앵커의 인발실험

본 실험은 대표적으로 토사지반, 풍화토지반을 선정하여 실시하였는데, 이는 복합형 앵커체가 지반에 따라

각각의 거동이 어떻게 다른지, 극한인발저항력의 차이는 얼마나 나는지, 복합형 앵커가 과연 토사에서도 소요인발저항력이 발휘되는가를 조사하기 위함이다.

#### 4.1 인발실험 장치

실험장치는 현장계측이 가능한 앵커체, 가압장치, 반력장치, 계측장치 등으로 나눌 수 있다. 앵커체 내부에서 변형률을 측정하기 위해 그림 16과 같이 PVC파이프를 절단하여 내부에 각 위치당 2매씩 변형률게이지를 부착하였으며, PVC파이프를 그림 17과 같이 다시 접합한 후 방수처리하여 특수하게 제작한 앵커체 내부에 삽입하였다. PVC파이프 표면에는 주입재와의 일체화를 위해 표면에 홈을 파서 최대한 거칠게 만들어 앵커체의 인장 및 압축변형률을 출력해 낼 수 있도록 하였다. 가압장치, 반력장치 및 계측장치는 그림 18에서와 같이 앵커 대좌와 유압실린더 사이에 하중측정기(loadcell)를 설치하고, 강선의 변위를 측정하기 위해 대좌와 실린더 상단의 두 곳에 변위계(displacement transducer) 및 예비

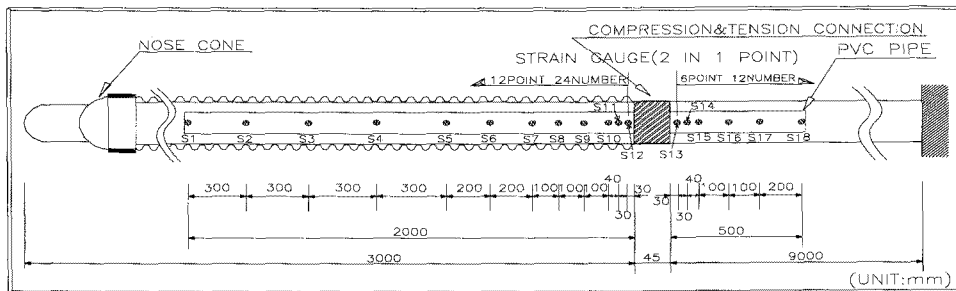


그림 16. 복합형 앵커의 스트레인 게이지 배치도

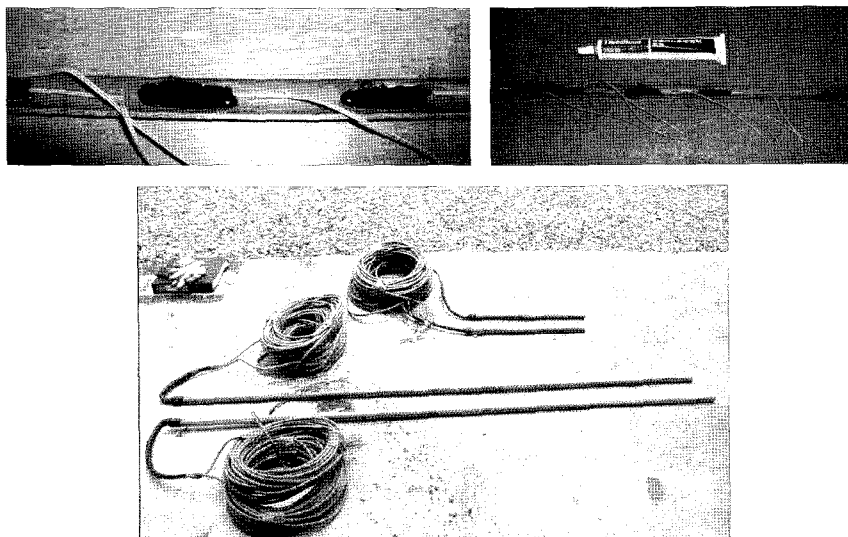


그림 17. 방수처리하여 완성된 앵커체 계측장치

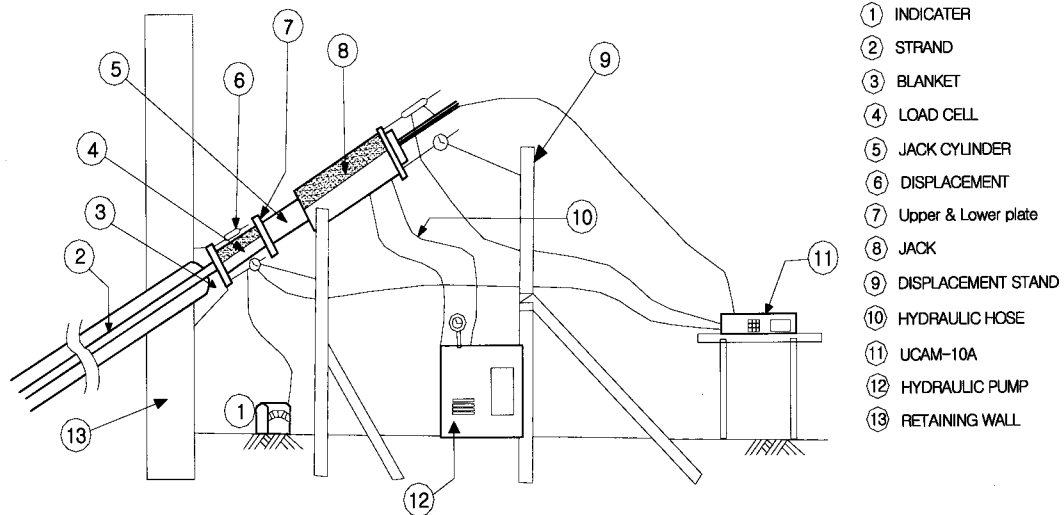


그림 18. 인발 실험장치 개요도

용 다이알 게이지(dial gauge)를 설치했다. 로드셀과 변위계 및 앵커체 내부의 변형률계 등의 출력은 자동 계측기(UCAM10-B)를 사용해서 측정했다. 그림 19는 현장 인발시험 광경이고 하중의 크기 및 재하방식은 그림 20의 순서에 따라 실시하였다.



그림 19. 앵커 인발시험 광경

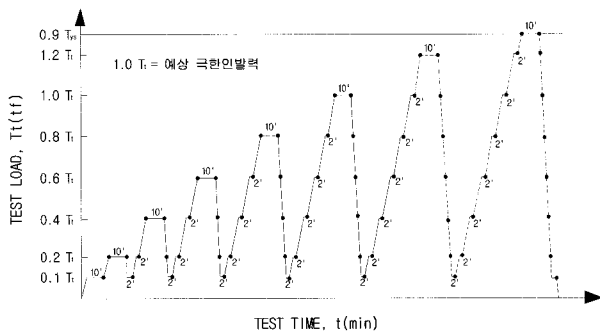


그림 20. 인발시험의 재하 계획도

## 4.2 인발시험 결과

### 4.2.1 토사 지반에 대한 실험

시험앵커가 설치된 지층은 그림 21과 같이 토사층으로 판단되었다. 토사 지반의 인발거동을 알기 위해 기 제작된 압축형 및 복합형 앵커에 대한 실험결과 및 하중-변위곡선은 표 4 및 그림 22와 같다. 이때 복합형 앵커는 강관 보강을 하였으며, 압축형 앵커는 내·외부 부강 형태로 제작되어졌다. 그 결과 정착심도 및 지층의 영향으로 극한인발저항력이 다소 차이를 보였는데 깊은 곳

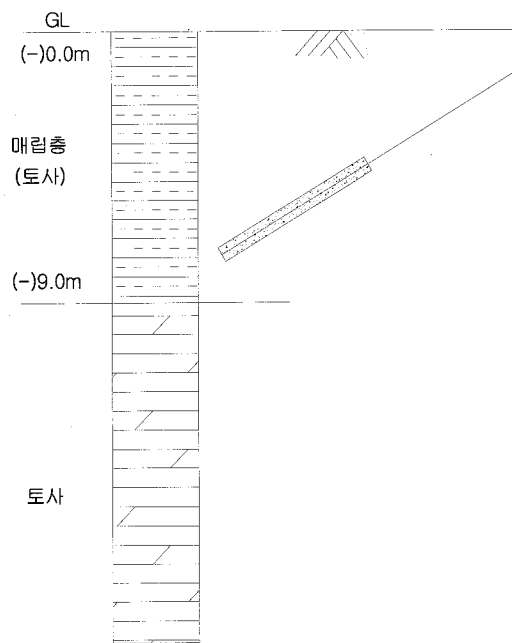


그림 21. 현장시험지반의 지질 주상도



표 4. 토사 지반에서 압축형 및 복합형 앵커의 정착장 위치에 따른 극한인발저항력

구분	규격	앵커 길이	정착 심도/지층	극한인발저항력	비고
압축형 앵커	4S-Type	15m	15m / 풍화암	30tf	
압축형 앵커	4S-Type	11m	11m / 토사	24tf	
복합형 앵커	4S-Type	11m (인장부:3m)	8m / 매립층(토사)	17tf	압축부의 침도임

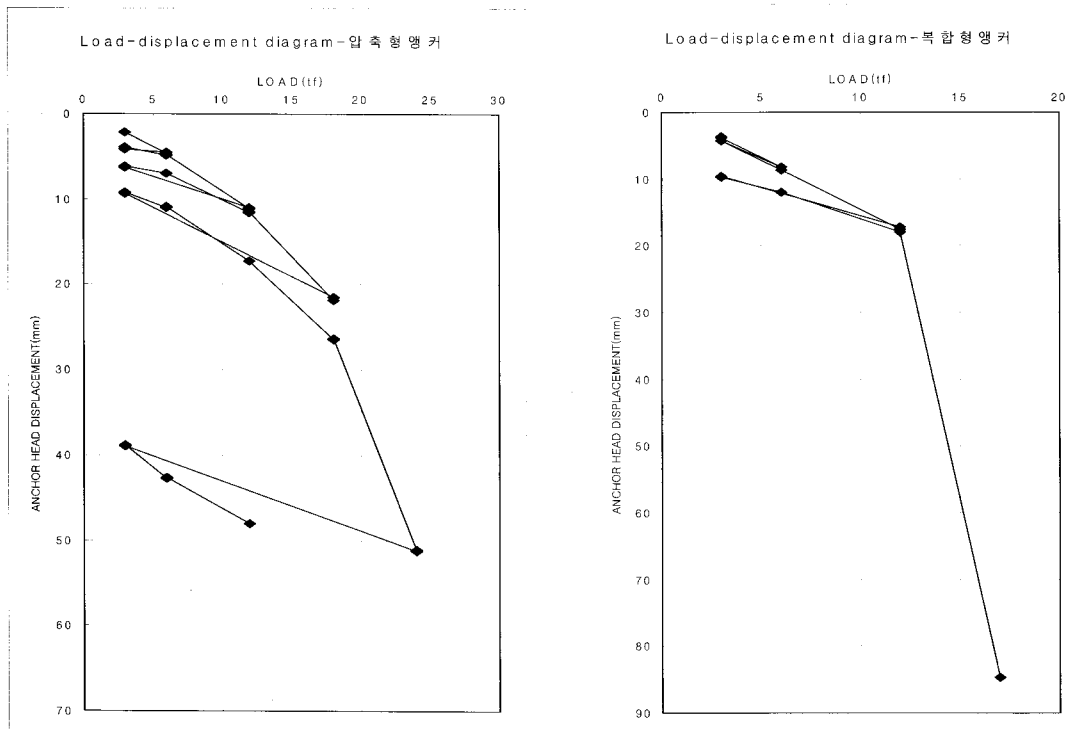


그림 22. 압축형 앵커와 복합형 앵커(길이 11m)의 하중-변위 곡선 비교

에 정착한 압축형 앵커가 오히려 높은 극한인발력을 나타내는 것으로 나타나 압축부 및 인장부가 접합되는 내하체(耐荷體) 부분이 어떤 지층에 정착되는가에 따라 극한인발저항력을 결정하는 중요한 요인으로 나타났다. 아무리 복합형이라 하더라도 정착 지층의 지반 마찰저항이 낮으면 상대적으로 높은 인발력을 발휘할 수 없으므로 현장시공시 이러한 점을 고려하여 앵커체의 길이가 짧아지더라도 내하체 부분의 정착지반을 상대적으로 단단한 지층에 시공할 수 있는 유연한 시공관리가 필요하다고 하겠다.

매립 토사지반인 현장에서 앵커체내 18개소에 1개소당 양쪽으로 2매씩(앵커체 인발시의 편인장에 대한 보정) 총 36매의 변형률 게이지를 부착하여 변형률을 측정하였다. 변형률 분포는 그림 23과 같으며, 그림 23에서 인장부 S1~S3의 변형률 분포는 앵커 제작상의 문제로 나타내지 않았다.

압축부는 S13~S16구간에 그림 13-(b)와 같이 강관 30cm로 보강하여 그 속에 앵커체를 삽입하여 실험을 하

였기 때문에 그림 23(압축부 변형률 분포)과 같이 30cm~50cm구간에서 변형률이 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 따라서 풍화토 지반에 대한 실험은 그림 13-(a)와 같이 강관으로 보강하지 않고 외부 보강선(스프링)만을 보강하여 제작하였다.

앵커체 정착장의 각 위치에서 측정된 압축변형률( $\epsilon$ )을 이용하여 앵커체 길이 방향의 주면마찰응력( $\tau$ )의 분포를 구하는 방법(임종철 외 1998a)은 그림 24 및 식 (4)와 같다.

그림 24에서 각 측정점에서 받는 하중  $T_i$ 는 식 (2)에서 구해진다.

$$\begin{aligned}
 T_i &= \sigma_i \times A = E \times \epsilon_i \times A \\
 T_{i+1} &= \sigma_{i+1} \times A = E \times \epsilon_{i+1} \times A \\
 \therefore T_i - T_{i+1} &= \tau_i \cdot \pi \cdot D \cdot l_i \quad (2)
 \end{aligned}$$

따라서, 각 앵커체 구간의 평균 마찰응력  $\tau_i$ 는 식 (3)과 같이 된다.

$$\tau_i = \frac{T_i - T_{i+1}}{\pi \cdot D \cdot l_i} \quad (3)$$

$$\tau_i = \frac{S}{i\text{구간의 앵커체표면적}} = \frac{S}{(\pi \cdot D \cdot l_i)} \quad (4)$$

여기서, 마찰저항력은  $S = T_i - T_{i+1} = (E_s \cdot A_s + E_m \cdot A_m)$   
 $(\varepsilon_i - \varepsilon_{i+1})$ 이다.

여기서,  $\varepsilon_i, \varepsilon_{i+1}$  : i점 및 i+1점의 변형률(압축 : +)

$E_s, A_s$  : 강관의 탄성계수 및 단면적(2,100,000  
 $\text{kgf/cm}^2, 5.5\text{cm}^2$ )

따라서, i구간의 평균 마찰응력  $\tau_i$ 는 식 (4)와 같이 된다.

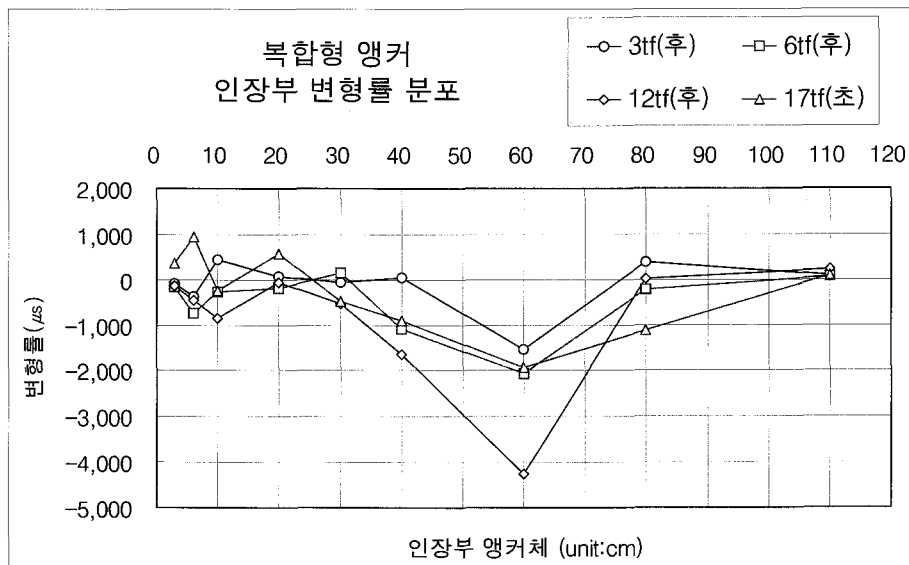
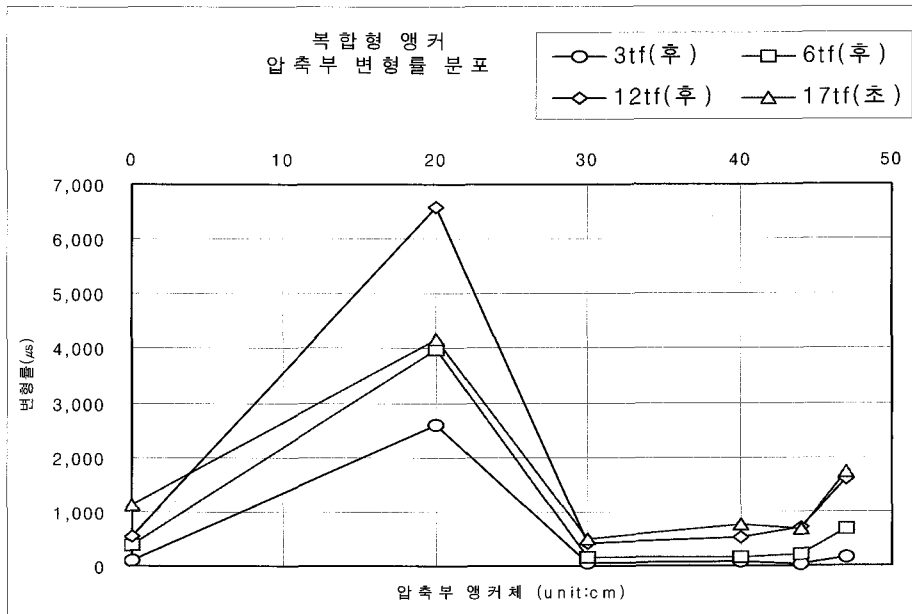
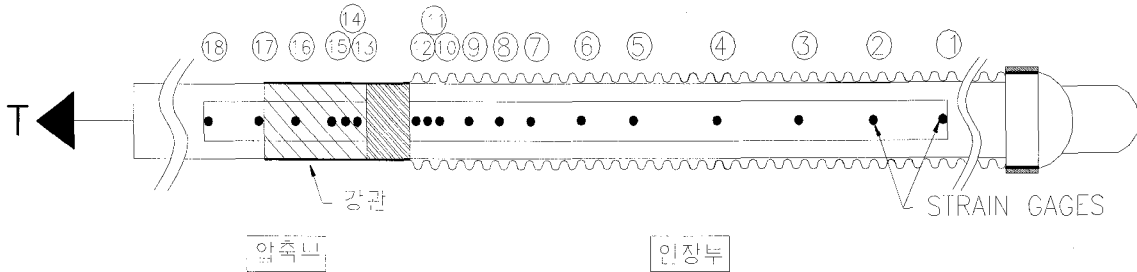


그림 23. 토사 지반에 대한 복합형 앵커의 변형률 분포 [압축(+), 인장(-)]

$E_m, A_m$ : 주입재의 탄성계수 및 단면적(30,000 kgf/cm<sup>2</sup>, 116.1cm<sup>2</sup>)  
 $D, l_i$ : 앵커체의 직경(12.7cm) 및 구간 길이

토사 지반에 대한 복합형 앵커의 압축 및 인장 변형률 그림 23을 이용하여 압축 및 인장부 구간에 대한 주변 마찰응력을 그림 25에 나타내었다.

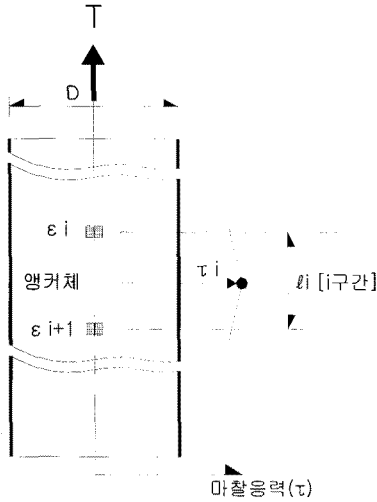


그림 24. 앵커체의 변형률을 이용한 마찰응력 계산

#### 4.2.2 풍화토 지반에 대한 실험

풍화토 지반에서의 복합형 앵커의 인발거동을 알기 위해 부산광역시 해운대구에 위치한 ○○○ APT 흠막이 공사 현장에서 인발시험을 실시하였다. 앵커의 규격은 4S-Type, 12.7mm×4선이며 총길이는 12m(여유장:1.5m 포함)인 복합형 앵커를 사용하였으며, 앵커를 수평면에 대해서 40°의 각으로 1단 부분에 삽입 후 주입재 주입 및 양생을 거친 다음 인발시험장치를 설치하였다. 그림 26은 지질 주상도이며, 이 때의 풍화토 지반은 풍화가 많이 진행되어 N치가 8정도이고, 실트 및 점토가 많이 함유되어 있어 지반의 전단강도가 상당히 낮은 지반으로 판단되었다.

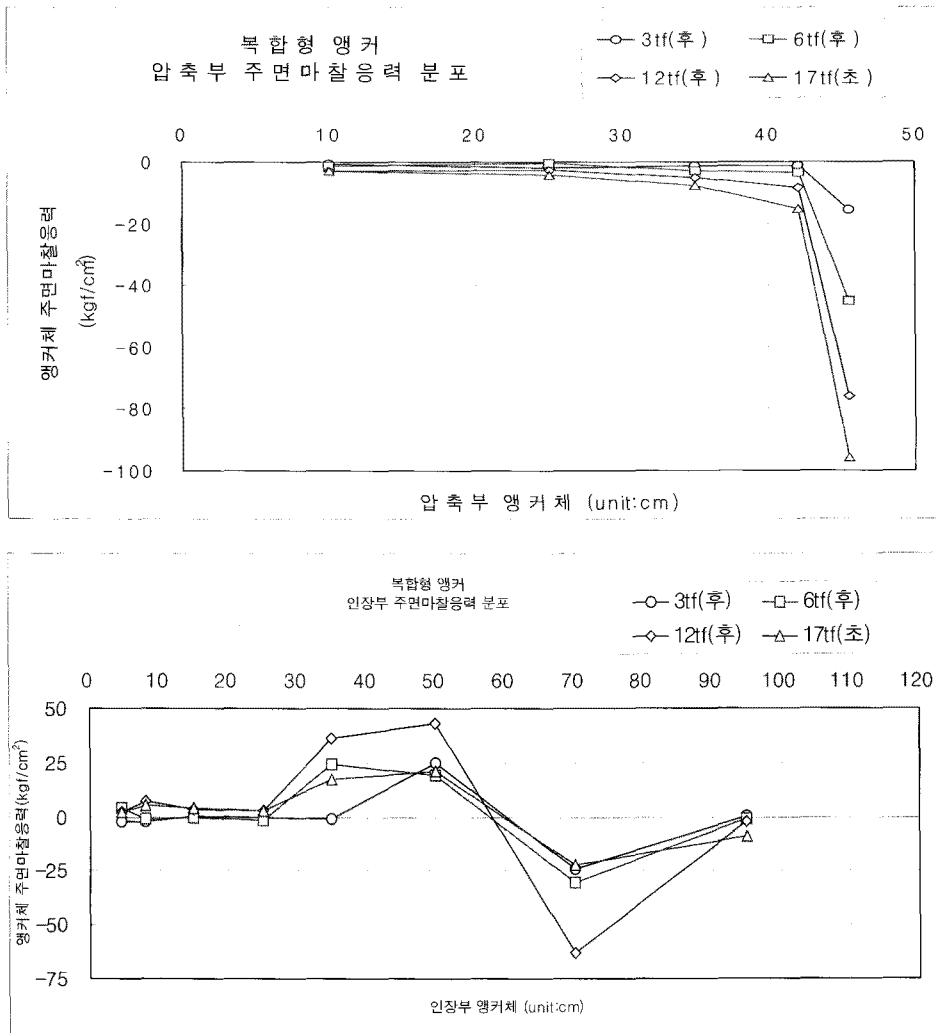


그림 25. 복합형 앵커의 압축 및 인장부 마찰 저항력 분포(토사지반)

인발실험결과 및 하중-변위 곡선은 표 5 및 그림 27과 같다. 본 시험앵커의 변형률의 측정은 아쉽게 현장에서의 관리소홀로 인한 파손으로 행해지지 못했다. 인발실험시 유압잭 실린더의 길이가 부족해서 더 이상의 하중

증가가 불가능할 때까지 실험하였으며, 압축형 및 복합형 앵커를 각각 인발하중 42.3tf 정도까지 증가시켰다. 여기서 복합형 앵커의 정착심도 7.5m부분의 지층과 압축형 앵커의 정착심도 10.5m부분이 서로 유사한 풍화도 지반이기 때문에 인발하중도 거의 동일하게 나타났다. 따라서 극한인발저항력을 결정하는 중요한 요인은 앵커의 정착심도부분의 지층으로 나타났다. 앵커의 인발에 따른 두부변위량은 압축형 앵커는 68.36mm 및 복합형 앵커는 68.66mm로 거의 동일한 변위가 발생하였지만, 소성변형에 대해서는 복합형 앵커가 압축형 앵커에 비해 20mm이상 적게 발생되었다. 기존의 연구(임종철 외 1998b, 1999 ; 홍석우 1999)에서 압축형 앵커가 인장형 앵커보다 인장하중 제거시 탄성회복 능력이 더 뛰어난 것을 감안하면 탄성회복능력이 있어선 복합형 앵커도 뛰어난 것으로 생각된다. 그러나 몇 회의 시험으로 정확한 거동을 판단하기 어렵고 보다 정확한 앵커거동을 파악하기 위해 더 많은 현장 및 실내실험을 실시하여 각 지반별 및 앵커체의 형태별 인발특성을 연구해야 하겠다.

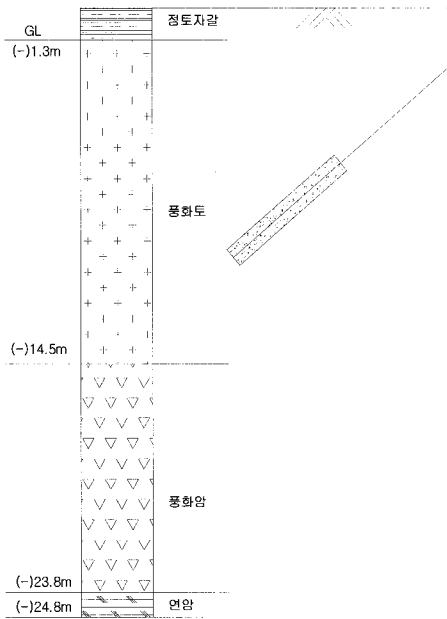


그림 26. 지질 주상도

표 5. 압축형 및 복합형 앵커의 정착장 위치에 따른 극한인발저항력 및 변위량

구분	규격	앵커 길이	정착심도/지층	극한인발저항력	변위량	비고
압축형 앵커	4S-Type	10.5m	10.5m/풍화도	42.3tf	68.36mm	
복합형 앵커	4S-Type	10.5m(인장부:3m)	7.5m/풍화도	42.3tf	68.66mm	압축부의 심도임

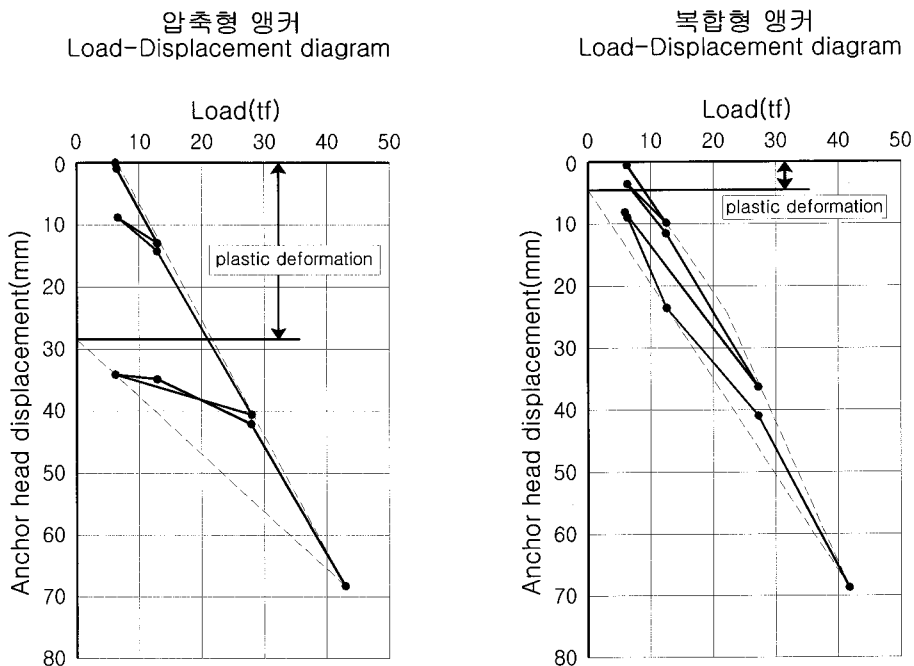


그림 27. 풍화도 지반에 대한 압축형과 복합형 앵커의 하중-변위 곡선

## 5. 결 론

본 연구에서는 압축저항력과 인장저항력을 동시에 받음으로 마찰저항범위를 확대하여 인발저항력을 증가시킬 수 있는 복합형 앵커를 개발하였다. 복합형 앵커의 인발실험은 설계시 앵커공법을 적용하기 어렵다고 여겨지는 연약한 지반을 선택하여 실시하였고 장단점 및 개선해야 할 사항의 관찰 등이 이루어졌으며, 시험결과 및 인발시의 거동형태에 대해서 정리하였다. 본 실험은 연약한 토사 및 풍화토 지반에 대해서만 실시되었으나 현장시험의 어려움 때문에 만족할만한 결과를 내기는 대단히 어려웠다. 따라서 더 많은 종류의 지반에서의 현장시험 및 실내시험도 실시하여 각 지반 및 형태별 인발 특성 연구가 진행되어야 하겠다. 결론은 다음과 같다.

- (1) 복합형 앵커의 파괴모드를 제안하였으며, 현장 시공에 있어 복합형 앵커는 압축부와 인장부를 동시에 그라우팅을 실시함으로써 기존의 인장형 앵커와는 달리 시공이 편리하고, 공기단축이 가능하다.
- (2) 연약한 토사지반의 인발거동을 알기 위해 압축형 및 복합형 앵커에 대하여 비교 실험을 하였고, 하중변위 곡선을 비교한 결과 복합형 앵커는 압축부 및 인장부가 접합되는 내하체(耐荷體) 부분이 어떤 지

층에 정착되느냐가 극한인발저항력을 결정하는 중요한 요인으로 나타났다.

- (3) 복합형 앵커체내 변형률 게이지를 부착하여 변형률을 측정된 결과 압축변형률과 인장변형률이 발생하는 복합적인 인발저항기구를 보였고 마찰저항도 복합적으로 나타났다.
- (4) 복합형 앵커가 압축형앵커에 비해 소성변형(Plastic deformation)이 적게 발생되었고 탄성회복능력이 뛰어난 것으로 나타났다.

## 참 고 문 헌

1. 그라운드앵커 기술협회 (1997), *그라운드앵커공법 설계시공지침*, pp.5-6.
2. 이태형, 임종철, 홍석우 (1998), 구속압 효과를 고려한 압축형(SSC) 앵커의 정착부 그라우트의 강도에 관한 연구, *大韓土木學會 98年度學術發表會 論文集*.
3. 임종철, 홍석우, 송무효, 강낙안 (1998a), 地盤改良(SI)앵커의 引拔舉動特性, *韓國地盤工學會誌*, 第 14卷 第 6號.
4. 임종철, 홍석우, 이태형, 이외득 (1998b), 압축형앵커(SSC앵커)의 인발저항기구, *大韓土木學會 論文集*, 第18卷 第 3-6號.
5. 임종철, 홍석우, 이태형, 이외득 (1999), 壓縮型 앵커의 設計法 開發, *韓國地盤工學會 論文集*, 第15卷 第 1號.
6. 홍석우 (1999), *SSC 앵커의 인발저항특성과 설계법에 관한 연구*, 공학박사 학위논문, 부산대학교, pp.60-67.
7. 日本土質工學會 (1990), *グラウンド・アンカの設計・施工基準*, 同解説, 第 6版, pp.87-88.

(접수일자 2008. 10. 13, 심사완료일 2008. 11. 24)