

지반앵커의 인발저항 특성에 따른 인장 · 압축 복합 시스템 개발 Development of Composite Tension · Compression Anchor System based on the pull out resistance characteristics of Ground Anchor

염호형¹⁾, Ho-Hyeong Yeom, 임중철²⁾, Jong-Chul Im, 홍석우³⁾, Seok-Woo Hong,
김철웅⁴⁾, Chul-Ung Kim, 신철성⁵⁾, Chul-Sung Shin

- ¹⁾ 부산대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Pusan National University
²⁾ 부산대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Pusan National University
³⁾ (주)SSC컨설팅, 부산대학교 생산기술연구소 연구원, 공학박사, Doctor, RIIT, Pusan National University, SSC Consultant Co., Ltd.
⁴⁾ 건설교통부 부산지방국토관리청, Busan Regional Construction & Management Office, Ministry of Construction & Transportation
⁵⁾ 부산광역시 도시개발공사, Busan Urban Development Corporation

SYNOPSIS : In this study, the progressive failure and creep of the traditional ground anchor structure were decreased and a new ground anchor that can attain the required pull-out resistance even in soft sandy soils with low confining pressure was developed.

Ground anchors are classified depending on the kind of stress the grout is subjected. 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. The ground anchor that possesses both the tension and compression mechanism mentioned above is known as composition anchor.

It is the objective of this study to develop this type of composition anchor. The structure of the newly developed ground anchor was presented. Pull-out test in different types of soil and the behaviour during Pull-out test was also presented.

Key words : progressive failure, creep, ground anchor, tension anchor, compression anchor, composition anchor

1. 서론

앵커는 구조물과 지반을 결합시키기 위해 설치되는 것으로 그 힘의 전달경로로 볼 때 앵커체(anchor body), 인장부(tendon), 앵커두부(anchor head)로 구성된다(日本土質工學會, 1990). 앵커의 지지기간에 따른 분류로 영구앵커와 가설앵커로 분류되고, 정착지반의 지지방식에 대한 분류는 마찰정착방식, 지압정착방식, 마찰·지압병용정착방식으로 나누어지며, 여기서 마찰정착방식은 그라우트(grout)가 힘을 받는 형태에 따라 그림 1과 같이 인장형, 압축형, 복합형으로 나누어진다(그라운드앵커 기술협회, 1997). 과거에는 주로 인장형 앵커의 형태가 많이 사용되었지만, 그라우트(grout)의 인장균열, 방수의 어려움 등의 단점으로 영구 앵커로서의 사용이 부적합하다는 의견이 많아 근래에는 역학적으로 우수한 압축형 앵커의 형태로 전환되고 있는 실정이다(斜面安定協會, 1997). 압축형 앵커는 인장형 앵커에 비해 진행성파괴(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, 1995). 하지만 종래의 앵커는 지반 구속압이 적은 토사지반에서 긴장 정착시 그라우트(grout)체가 인발되거나 파괴되는 약점을 가지고 있어, 이런 지반에서의 앵커 적용은 극히 드문 실정이다. 따라서 이런 약점을 개선시켜 토사지반에도 사용 가능한 앵커개발이 절실하다고 하겠다. 본 연구에서는 인장형 앵커의 장점과 압축형 앵커의 장점을 동시에 가지면서, 특히 토사 및 풍화토에서도 앵커의 소요 인발력을 발휘할 수 있는 앵커를 개발하는데 그 목적이 있다.

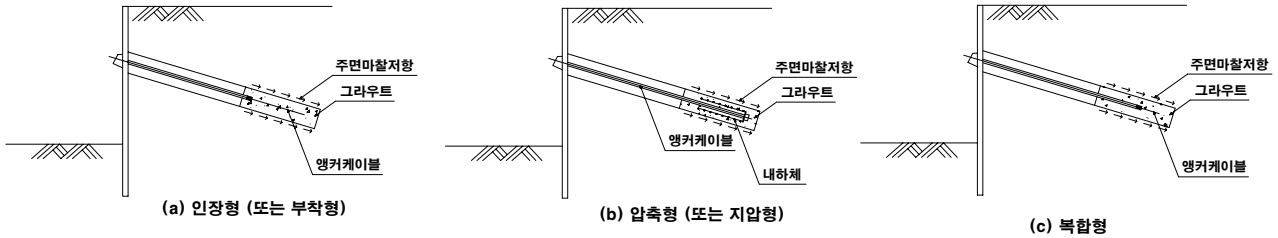


그림 1. 인장재의 그라우트(grout)가 받는 응력의 형태에 따른 분류

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 압축력으로서 앵커정착부에 전달하여 지지하는 방식으로 인장형 앵커에서 볼 수 있는 진행성 파괴(Progressive Failure)와 크리프(creep)로 인한 인발 저항력 감소라는 역학적 특성면에서 양호하고 신뢰성이 높은 앵커로 평가된다. 한편 인장형 앵커는 정착장(Fixed length)에 대한 현장적응 즉, 소요의 극한인발저항력을 발휘할 수 있는 지층에 자유롭게 정착시킬 수 있는 장점을 가지고 있다(임 종철 등, 1998, 1999). 따라서 이 두가지 형태가 복합적으로 작용하는 기구(mechanism)를 가진 앵커를 개발하게 되었고, 개발된 복합형 앵커의 작용기구는 그림 3과 같다.

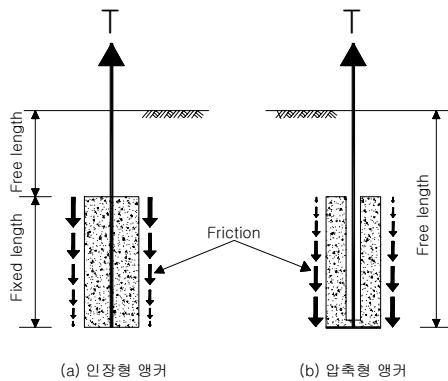


그림 2. 인장형 앵커와 압축형 앵커

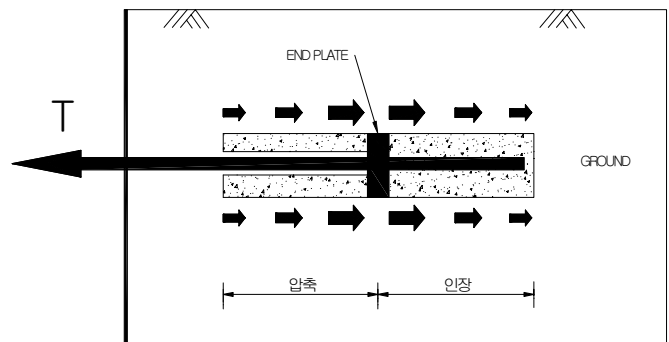


그림 3. 복합형 앵커의 인발거동

본 앵커는 인발 시 선단지압판(END PLATE)을 기준으로 인장과 압축이 발생되어 하중을 전달하는 구조로 이루어져 있다.

2.2 복합형 앵커의 파괴모드

앵커의 극한하중은 아래 지반의 경우 앵커의 구성재료간의 파괴에 의해 발생한다. 극한하중의 결정요

인은 다음과 같다.

(1) 앵커 강선(Anchor tendon)의 인장강도

앵커 강선이 파단되는 경우에는 앵커 강선의 인장강도가 극한 앵커력이 된다. (그림 4-(1) 참조)

(2) 앵커 강선의 그라우트(grout)의 부착강도

앵커 강선과 앵커체 그라우트(grout)와의 부착강도가 적어서 앵커 강선의 인장강도 이하의 힘에 의해 앵커 인장부 강선이 인발되는 경우 그 부착강도가 극한 앵커력이 된다. 압축부 강선이 인발되는 경우는 압축형 앵커의 설계시 강선의 부착강도는 고려하지 않아도 무방하므로 생략된다. (그림 4-(2) 참조)

(3) 앵커체와 지반과의 주면마찰저항

앵커체와 지반에 마찰이 일어나는 경우 이때 앵커체와 지반의 주면마찰저항이 극한 앵커력이 된다. (그림 4-(3) 참조)

(4) 지반의 전단강도

앵커체의 설치지반에 전단 활동면이 생길 경우 이때 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 4-(4) 참조)

(5) 앵커체 그라우트의 압축강도

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

특히 이러한 방식의 정착 방법을 채택할 경우 그 형상에 응력집중이 발생하여 작은 힘에도 급격히 앵커체가 할열되는 경우가 있으므로 주의를 요한다. (그림 4-(5) 참조)

(6) 앵커체와 내하체(耐荷體)의 강도

앵커체의 내하체가 파괴되는 경우에 앵커체의 내하체의 강도가 극한 앵커력이 된다. 그러나 복합형 앵커의 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 4와 같다.

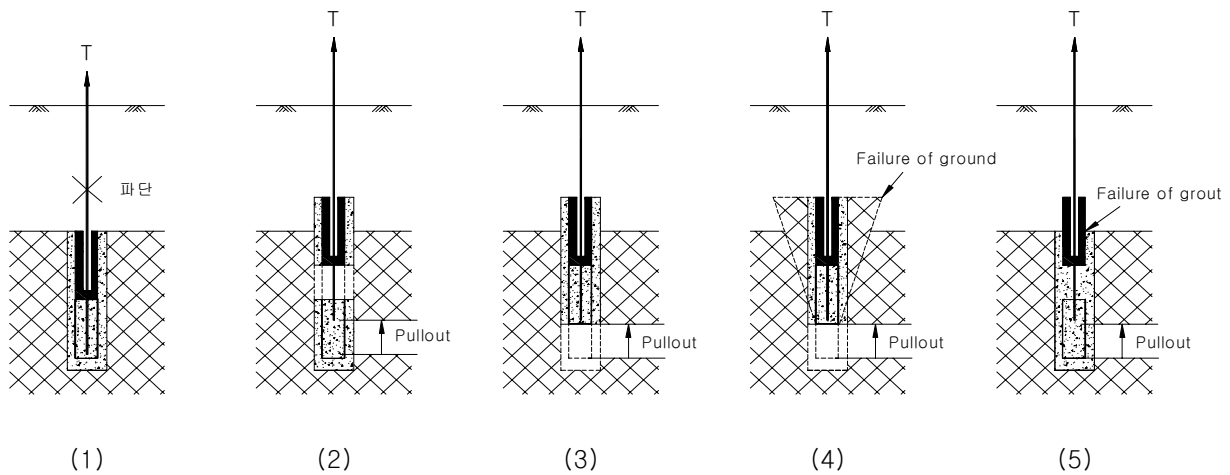


그림 4. 복합형 앵커의 파괴모드

3. 복합형 앵커의 구성

3.1 복합형 앵커의 내·외부 구조

앵커의 실 모습은 그림 5와 같으며, 세부구조는 압축부 및 인장부로 나타낸 그림 6, 그림 7와 같다.



그림 5. 앵커의 구조

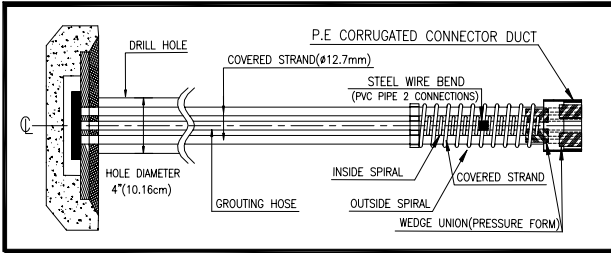


그림 6. 압축부 세부구조

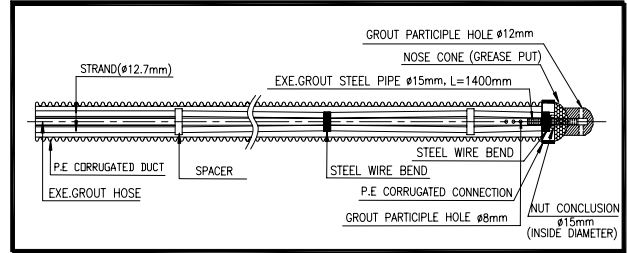


그림 7. 인장부 세부구조

3.2 복합형 앵커의 시공순서 및 앵커규격

시공순서는 종래의 인장형 앵커와 비교하면 그림 8과 같으며, 제작된 시험앵커의 규격은 표 1과 같다.

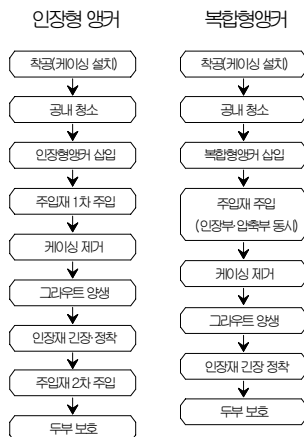


그림 8. 앵커의 시공순서

표 1. 시험앵커의 규격

종 류	강선 직경	앵커 직경	천공 직경	연 장	비 고
4S-Type	12.7mm ×4선	90mm	127.0 mm	12m (인장부:3m, 여유장:1.5m) 포함	S : strand의 약자

4. 복합형 앵커의 인발실험

본 실험은 대표적으로 토사지반, 풍화토지반을 선정하여 실시하였는데, 이는 복합형 앵커체가 지반에 따라 각각의 거동이 어떻게 다른지, 극한인발저항력의 차이는 얼마나 나는지, 복합형앵커가 과연 토사에 서도 소요인발저항력이 발휘되는가를 조사하기 위함이다.

4.1 복합형 앵커의 인발실험 장치

실험장치는 현장계측이 가능한 앵커체, 가압장치, 반력장치, 계측장치 등으로 나눌 수 있는데, 그림 9에서와 같이 앵커 대좌와 유압실린더 사이에 하중측정기(loadcell)를 설치하고, 강선의 변위를 측정하기 위해 대좌와 실린더 상단의 두 곳에 변위계(displacement transducer) 및 예비용 다이얼 게이지(dial

gauge)를 설치했다. 로드셀과 변위계 및 앵커체 내부의 변형률계 등의 출력은 자동 계측기를 사용해서 측정했다.

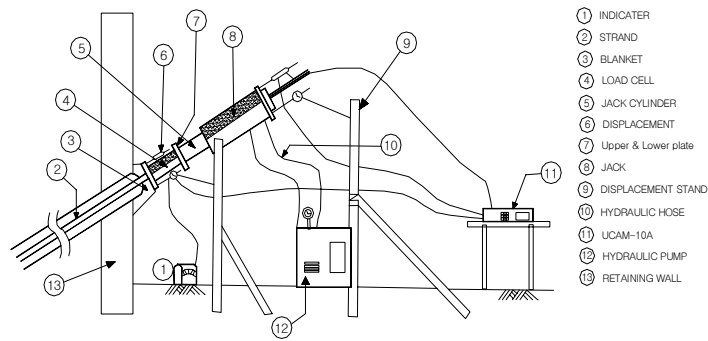


그림 9. 인발 실험장치 개요도

4.2 복합형 앵커의 인발실험 결과

4.2.1 토사 지반에 대한 실험

(1) 실험결과에 의한 하중-변위 곡선

토사 지반에 복합형 앵커의 인발거동을 알기 위해 부산광역시 영도구에 위치한 ○○○ 흙막이 벽 현장에서 인발시험을 실시하였는데, 앵커를 수평면에 대해서 30°의 각으로 1단 부분에 삽입 후 그라우트 주입 및 양생을 거친 다음 인발실험장치를 설치하였다. 그림 10은 지질 주상도이다. 현장의 앵커시공에 있어 필요한 설계심도는 15m이며 토사 지반이다. 소요 극한인발저항력은 압축형 앵커 30tf이 되어야 하지만, 본 연구는 복합형 앵커 12m를 사용하였다. 앵커의 하중-변위 곡선을 나타내면 그림 11과 같으며, 실험결과는 표 2와 같다. 앵커의 종류에 따라 정착심도 및 지층의 영향으로 극한인발저항력이 다소 차이를 보였으며, 복합형 앵커의 압축부 및 인장부가 접합되는 내하체(耐荷體) 부분이 어떤 지층에 정착되는가에 따라서 극한인발저항력을 결정하는 중요한 요인으로 나타났다. 또한 앵커 제작에 있어서는 인장부 강선 3m부분에 그리이스를 확실히 제거하지 않고 제작하는 실수로 그림 11에 보이는 바와 같이 약 12tf에서 소요 인발저항력을 발휘 하지 못하고 변위가 급격히 발생되었다고 판단되어 보다 많은 실험이 선행되어야 하겠다.

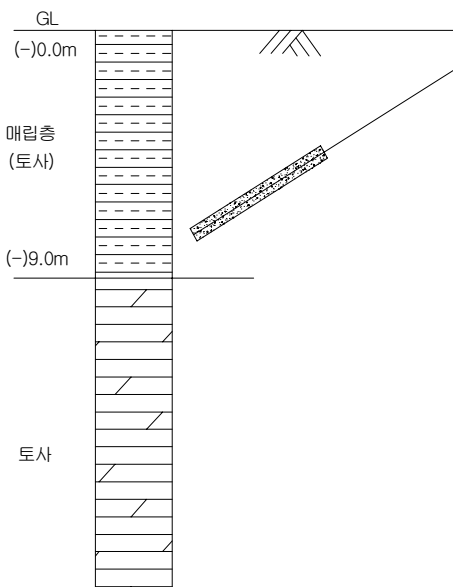


그림 10. 지질 주상도

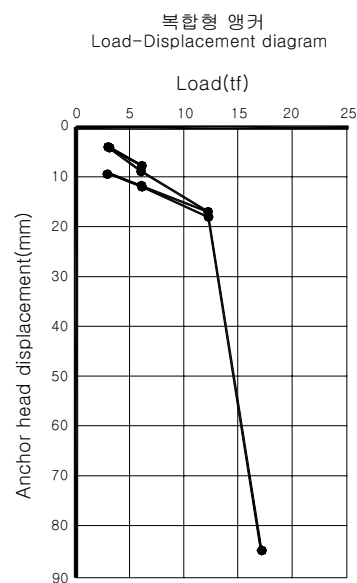


그림 11. 토사 지반에 대한 복합형 앵커의 하중-변위 곡선

표 2. 토사 지반에서 복합형 앵커의 극한인발저항력

구분	규격	앵커 연장	압축부 정착심도/지층	극한인발저항력	비고
복합형 앵커	4S-Type	12m (인장부:3m, 여유장:1.0m)	8m / 매립층(토사)	17tf	

(2) 실험결과에 의한 앵커체 각 위치에서의 변형률 분포

현장에서 앵커체내 18개소에 1개소당 양쪽으로 2매씩(앵커체 인발시의 편인장에 대한 보정) 총 36매의 변형률 게이지를 부착하여 변형률을 측정했다. 변형률 분포는 그림 12와 같다.

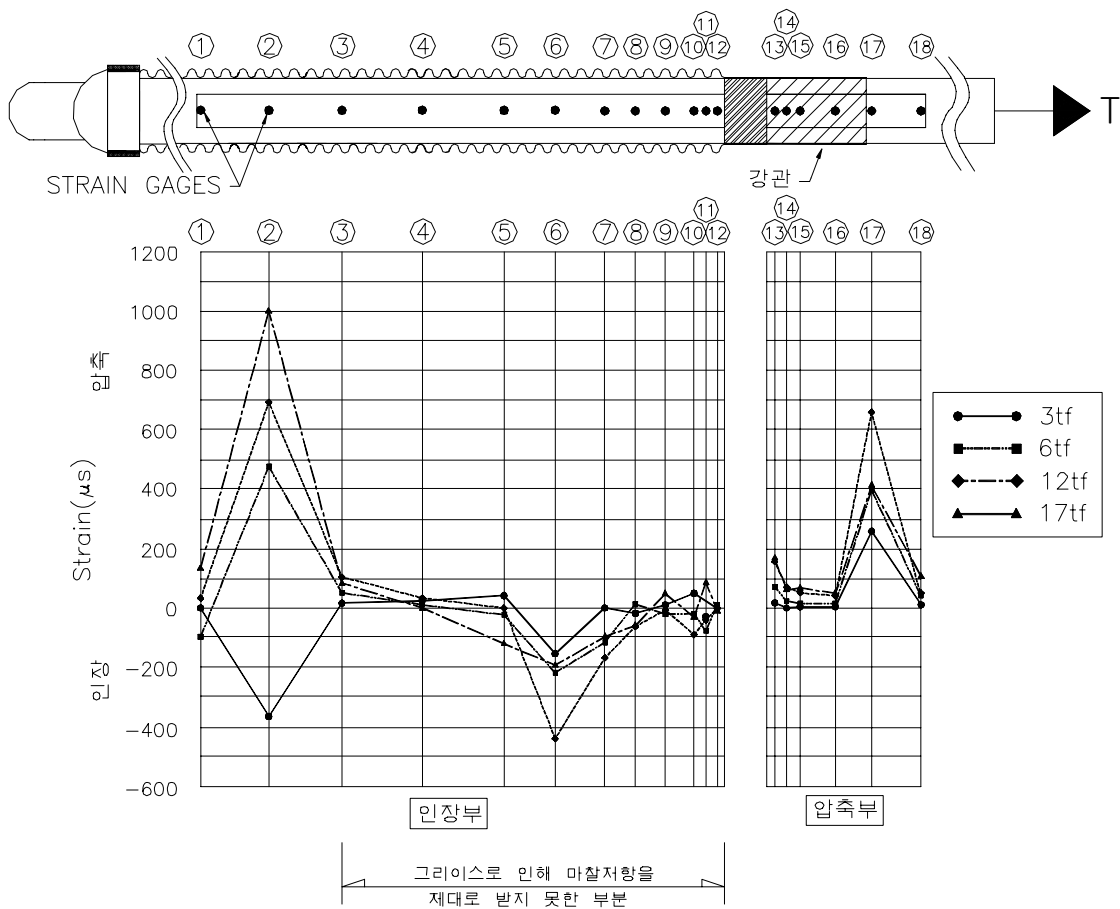


그림 12. 토사 지반에 대한 복합형 앵커의 변형률 분포



그림 13. 압축부에 대한 강관 보강

인장부 구간은 강선에 그리이스를 완전히 제거하지 않은 상태에서 실험하여, 부분적으로 강선의 묶음 부분에서 과도한 압축이 발생하는 경향을 보였다. 압축부는 S13~S16구간에 그림 13과 같이 강관 30cm로 보강하여 그 속에 앵커체를 삽입하여 실험을 하였기 때문에 변형률이 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 따라서 풍화토 지반에 대한 실험은 그림 5처럼 강관으로 보강하지 않고 외부 보강선(스프링)만을 보강하여 제작하였다.

4.2.2 풍화토 지반에 대한 실험

(1) 실험결과에 의한 하중-변위 곡선

풍화토 지반에 복합형 앵커의 하중-변위 곡선을 알기 위해 부산광역시 해운대구에 위치한 ○○○ APT 흠막이 공사 현장에서 인발시험을 실시하였다. 앵커의 규격은 4S-Type, 12.7mm×4선이며 연장은 12m(여유장:1.5m포함)인 복합형 앵커를 사용하였으며, 앵커를 수평면에 대해서 40°의 각으로 1단 부분에 삽입 후 그라우트 주입 및 양생을 거친 다음 인발시험장치를 설치하였다. 그림 14는 지질 주상도이며, 이때의 풍화토 지반은 N치가 8정도의 연약한 지반이다.

인발시험을 하여 하중-변위 곡선으로 나타내면 그림 15와 같다. 실험시 유압잭 실린더의 길이가 부족해서 더 이상의 하중증가가 불가능할 때까지 실험하였으며, 인발하중 42.3tf 정도까지 증가시켰다. 앵커의 인발에 따른 두부변위량은 68.66mm가 발생하였으며, 소성변형에 대해서는 복합형 앵커가 다른 인장형이나 압축형 앵커에 비해 현저히 적게 발생되어 탄성거동에 있어선 복합형 앵커가 유리하게 나타났다.

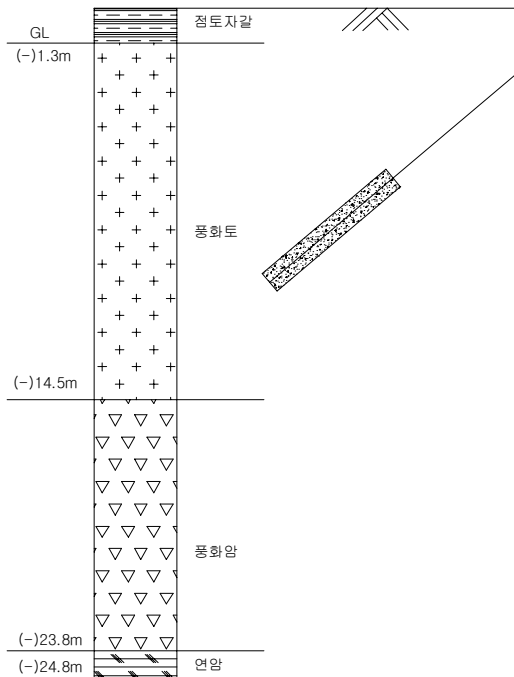


그림 14. 지질 주상도

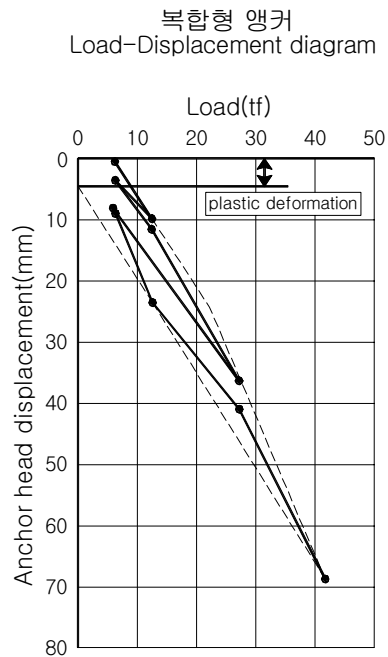


그림 15. 풍화토 지반에 대한 복합형 앵커의 하중-변위 곡선

풍화토 지반의 인발거동을 알기 위해 기 제작된 복합형 앵커의 실험결과는 표 3과 같으며, 보다 정확한 앵커거동을 파악하기 위해 더 많은 현장시험을 하여 풍화토 지반 내에서의 앵커체 인발거동을 연구해야 하겠다.

표 3. 풍화토 지반에서 복합형 앵커의 극한인발저항력

구 분	규격	앵커 연장	압축부 정착심도/지층	극한인발저항력	비고
복합형 앵커	4S-Type	12m (인장부:3m, 여유장:1.5m)	7.5m/풍화토	42.3tf	

5. 결론

본 연구에서는 인장형 앵커의 장점과 압축형 앵커의 장점을 동시에 가지면서, 특히 토사 및 풍화토에서도 앵커의 소요 인발력을 발휘할 수 있는 복합형 앵커를 개발하고, 복합형 앵커의 인발실험 및 인발시의 거동형태에 대해서 정리하였다.

(1) 복합형 앵커의 파괴모드를 제안하였으며, 현장 시공에 있어 복합형 앵커는 압축부와 인장부를 동시에 그라우팅을 실시함으로써 기존의 인장형 앵커와는 달리 시공이 편리하고, 공기단축이 가능하다.

(2) 토사 지반의 인발거동을 알기 위해 제작된 압축형 및 복합형 앵커에 대하여 하중-변위 곡선을 비교한 결과 복합형 앵커는 압축부 및 인장부가 접합되는 내하체(耐荷體) 부분이 어떤 지층에 정착되느냐가 극한인발저항력을 결정하는 중요한 요인으로 나타났다.

(3) 토사 지반에서 복합형 앵커체내 변형률 게이지를 부착하여 변형률을 측정된 결과 압축변형률과 인장변형률이 발생하는 복합적인 인발저항기구를 보였다.

(4) 풍화토인 N치가 8정도의 연약한 지반에 복합형 앵커의 하중-변위 곡선을 알기 위해 현장에서 인발시험을 실시한 결과 복합형 앵커가 다른 인장형이나 압축형 앵커에 비해 소성변형(Plastic deformation)이 적게 발생되어 탄성거동에 있어 복합형 앵커가 유리하게 나타났다.

참고문헌

1. 斜面安定協會(1997), “AAW工法設計施工指針”, pp.292~309
2. 그라운드앵커 기술협회(1997.1), “그라운드앵커공법 설계시공지침”, pp.5~6
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, 공 영주(1998), “SSC 앵커 공법”, 3rd Ed., 釜山大學校 地盤工學研究室.
5. 임 중철, 홍 석우, 이 태형, 이 외득(1999.2), “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. 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.