

그라운드앵커(Ground Anchor) 및 쏘일네일링(Soil Nailing) 기술동향 및 공법 비교

글 | 차승훈 | 토목기술부 대리 || 전화 : 02-3433-7761 || E-mail : chocopie@ssyenc.com

1 개요

도로, 철도, 항만 등의 사회간접시설과 빌딩, 주택 등의 주거시설을 건설하기 위해 굴착공사는 거의 모든 현장에서 수행되고 있다. 건축물 지하층 굴착, 교량 기초 굴착 및 사면 절취 등이 굴착공사에 포함된다.

지반굴착 중 발생하는 토압을 지반의 전단강도로 충분히 저항할 수 있을 경우 지반에는 별도의 보강이 필요 없다. 지반의 전단강도가 매우 큰 암반 굴착을 예로 들면, 암반 굴착시 절취면의 경사를 90°로 하여도 암반은 붕괴되지 않고 안정성을 확보하고 있다. 그러나 지반의 전단강도가 낮은 연약지반을 90°로 굴착할 경우 굴착지반은 붕괴가 발생하므로, 굴착지반의 안정성을 확보하기 위해서는 별도의 보강공법이 필요하다.

굴착 중 지반보강 공법으로는 그라운드앵커와 쏘일네일링이 가장 널리 사용되고 있으며, 본고에서는 그라운드앵커(그림 1) 참조)와 쏘일네일링의 최근 기술동향 분석 및 공법의 적용성을 소개하고자 한다.

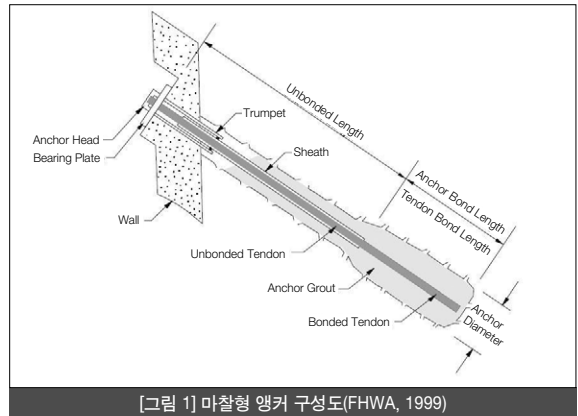
2 그라운드앵커(Ground Anchor)

2-1. 그라운드앵커의 분류

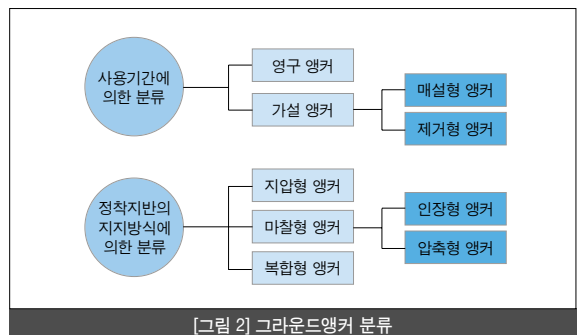
그라운드앵커는 토목 및 건축구조물을 지반에 고정 또는 지지하기 위해 고강도의 PC강선에 선행하중(Pre-stress)을 가하여 지반으로부터 발생하는 응력, 변형, 변위 등으로부터 구조물을 안정시키는 구조물써, 사용기간과 정착지반의 지지형식에 따라 그림 2와 같이 2가지 구분할 수 있다.

사용기간에 의한 분류는 앵커의 존치기간이 2년 미만일 경우에는 가설 앵커로, 2년 이상일 경우에는 영구 앵커로 구분한다. 영구 앵커는 주로 구조물의 전도를 방지하기 위해 옹벽, 송전탑 기초, 현수

교 기초 앵커리지에 적용되며, 또한 구조물의 부상방지를 위한 부력앵커 등에 사용된다. 그리고 가설앵커는 흙막이 굴착가시설, 임시 사면 등의 지보재로 사용되고 있다.

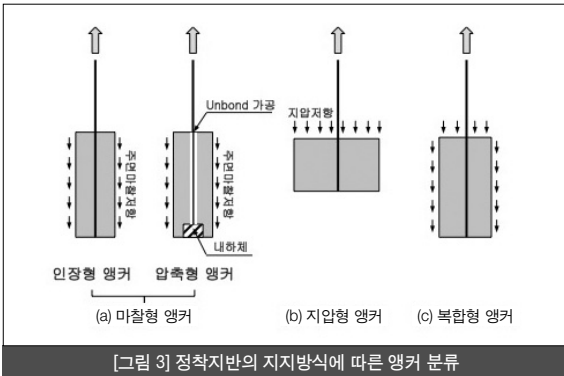


[그림 1] 마찰형 앵커 구성도(FHWA, 1999)



[그림 2] 그라운드앵커 분류

정착지반의 지지방식에 의한 분류는 그림 3과 같이 마찰형, 지압형, 복합형 앵커로 구분할 수 있다. 마찰형 앵커는 그라우트재(정착체)와 지반의 마찰력에 의해, 지압형 앵커는 지반의 수동저항에 의해, 그리고 복합형 앵커는 지반의 마찰력과 수동저항에 의해 하중을 지지한다.



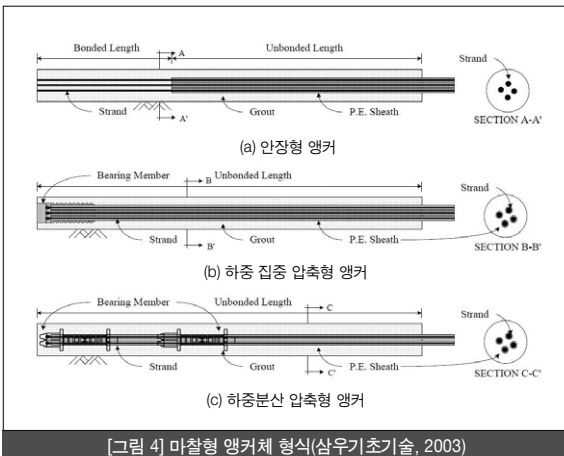
[그림 3] 정착지반의 지지방식에 따른 앵커 분류

(1) 영구 앵커

1) 마찰형 앵커

마찰형 앵커는 정착체의 그라우트에 작용하는 하중 형태에 따라 인장형과 압축형으로 구분된다. 인장형 앵커는 정착부에 내하체 없이 PC강선이 그라우트재에 삽입된 형태로, 앵커 두부에 가해지는 하중은 PC강선을 통해 정착체로 전이되고 그라우트재에는 인장력이 작용한다.

압축형 앵커는 PC강선 전장에 쉬스(P.E Sheath)관이 설치되고, PC강선은 내하체에 연결됨으로써 그라우트재에는 압축력이 작용한다. 마찰형 앵커체 형식을 [그림 4]에 나타내었으며, [그림 4-(c)]는 정착체에 다수의 내하체를 설치하여 내하체 1개에 작용하는 압축하중을 감소시킨 형태이다.



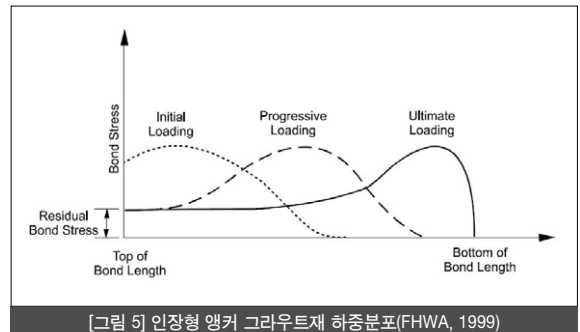
[그림 4] 마찰형 앵커체 형식(삼우기초기술, 2003)

인장형 앵커는 PC강선 인장시 그라우트재에 인장력이 작용하여 그라우트재 내에 인장 크랙(Creak)이 발생하며, 또한 하중집중으로 인한 크립(Creep) 현상으로 진행성파괴(Progressive Debonding)가

발생되어 정착력이 감소하는 단점을 가지고 있다. [그림 5]에서와 같이 하중이 재하되는 초기에는 그라우트재 두부에 응력이 집중되며, 응력집중으로 진행성파괴가 진행시 응력분포가 변해감을 알 수 있다.

압축형 앵커의 경우는 하중재하 시 [그림 5]와는 반대 형태로 나타난다. 하중 재하 초기에는 그라우트재 선단부에 응력이 집중되며, 선단부의 응력이 지반의 극한주면마찰력 보다 커지게 되면 인장형 앵커와 같이 진행성파괴가 발생하여 정착력이 감소한다. 마찰형 앵커는 인장형, 압축형과 상관없이 정착지반이 연약할 경우 진행성파괴로 인해 충분한 인발저항력 확보가 어렵다.

근래에는 지반강도가 크지 않은 지반에서의 마찰형 앵커의 진행성 파괴를 최소화하기 위해 내하체를 2~3개정도 배치한 하중분산 압축형 앵커가 개발되어 사용되고 있다.



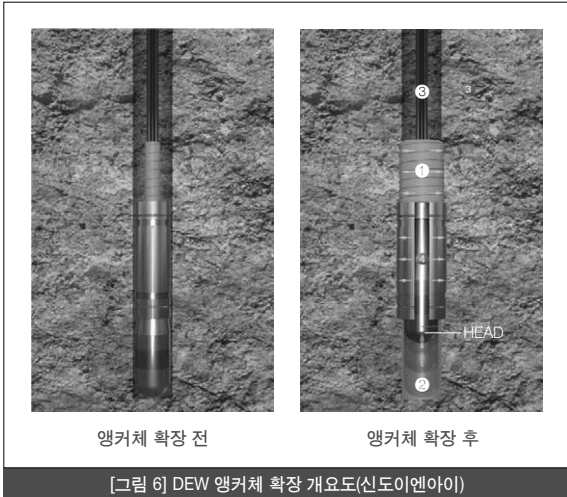
[그림 5] 인장형 앵커 그라우트재 하중분포(FHWA, 1999)

2) 지압형 앵커

지압형 앵커는 PC강선에 작용하는 인장하중을 앵커체의 지압력에 의해 지지되는 형식으로 DEW (Double Enlargement Wedge) 앵커가 여기에 속한다.

DEW 앵커는 PC강선 인장시 앵커체가 기계적으로 확장되어 지압력이 발생한다. 앵커체 확장순서는 [그림 6]과 같으며, ① ~ ④ 순으로 진행된다.

- ① 패커에 시멘트 밀크주입으로 패커 확장
- ② 천공홀 하부로부터 시멘트밀크 주입
- ③ 강연선 인장시 헤드 인상 및 앵커체 확장
- ④ 2중의 앵커체 확장으로 강력한 지압력 발휘



지압형 앵커는 인장하중을 앵커체의 지압력으로 지지하기 때문에 앵커의 소요정착장과 천공장 감소로 경제성이 우수하며, 그라우트 양생 기간이 필요 없어 공기단축이 가능하다.

또한, 마찰형의 진행성 파괴 단점을 원천 방지할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 정착지반이 연약할 경우 지반의 파괴로 인해 지압력 발휘가 어려워 풍화암 강도 이상의 지반에서만 적용이 가능하다는 단점이 있다.

3) 영구 앵커 형식별 설계가 비교

영구 앵커의 형식별 개략적인 설계가 비교를 수행하였으며, 설계가 산정은 천공길이 10m(토사 5m, 풍화암 5m), 설치공수 100공, 앵커 1분당 설계축력 400kN, PC Strand(12.7mm-4ea)을 기준으로 하였다. <표 1>의 설계가는 천공 및 시공을 모두 포함한 1공에 대한 금액이며, 실행가는 현장 여건에 따라 다를 수 있다.

앵커 형식별 설계가 비교 결과 VSL 앵커가 가장 저렴하였다. VSL 앵커는 특허공법이 아니며, 나머지 SEC, PCD, DEW 앵커 공법들은 특허공법으로 특허 여부에 따라 설계가 차이가 났으며, 또한 마찰형 앵커에서는 인장형 앵커가 압축형 앵커보다 저렴한 것을 알 수 있다.

<표 1> 영구 앵커의 형식별 설계가 비교(V.A.T 별도)

앵커 종류	마찰형 앵커			지압형 앵커
	인장형	압축형	하중분산형	
제품명	VSL 앵커	SEC 앵커	PCD 앵커	DEW 앵커
설계가(만원/공)	80	150	140	154

(2) 가설 앵커

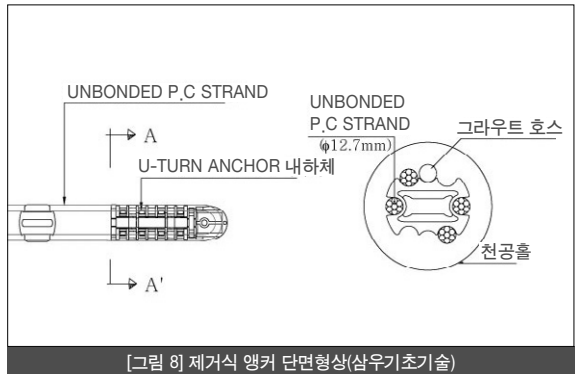
가설 앵커의 경우 정착방식은 대부분 마찰형 앵커가 사용되고 있으며, 가설 앵커는 매설형 앵커와 제거형 앵커로 구분된다.

최근 가설앵커는 P.C 강연선으로 인한 지중의 환경오염을 방지하기 위해 대부분 제거형 앵커를 채택하고 있다. 제거형 앵커는 제거 방법에 따라 U-Turn 형식과 슬라이딩 웨지(Sliding Wedge)로 크게 나눌 수 있다.

1) U-Turn 형식

정착부에 내하체를 이용하여 Unbonded P.C Strand(PE파이프 안에 강연선을 넣고, 제거시 PE파이프와 강연선의 마찰력을 줄이기 위해 그 사이에 Grease 상태의 에를 충진한 형태)를 U자형으로 굽힘 가공한 강선을 짝수로만 사용하며, 앵커체 구조특성상 P.C 강연선은 짝수로만 조립되므로 굴착시 홀수 강연선이 필요한 하중이 발생할 경우 비경제적일 수 있다.

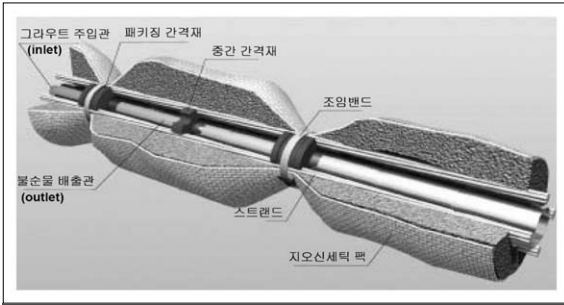
P.C 강연선 제거방법은 앵커 두부의 P.C 강연선을 절단한 후 백호와 같은 기계장비를 이용하여 잘려진 강연선을 인장하여 제거한다. P.C 강연선 제거시 공간이 협소하여 중장비가 진입하기 어려운 곳은 적용이 어렵다.



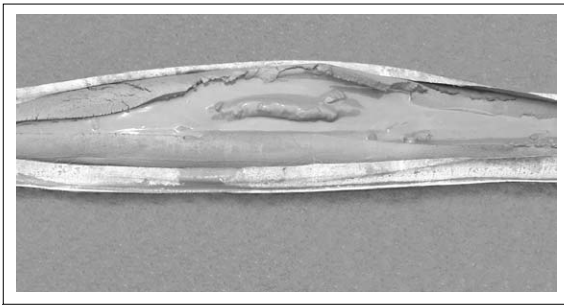
① 팩 앵커(Pack Anchor)

연약점토층, 느슨한 매립층, 자갈층 및 지하수 흐름이 있는 지층에서는 그라우트재 주입시 그라우트재의 유실이 발생하여 정착체 형

성이 용이하지 않다. 팩 앵커는 [그림 9]와 같이 그라우트재의 유실을 방지하기 위해 정착부에 설치된 팩을 가압 주입하여 확공된 구근을 형성, 고결된 정착체와 지반을 밀착시켜 주면마찰력 및 지압 응력에 의해 설계인장력을 확보하는 공법이다.



[그림 9] 팩 앵커 구성(고우이엔씨)

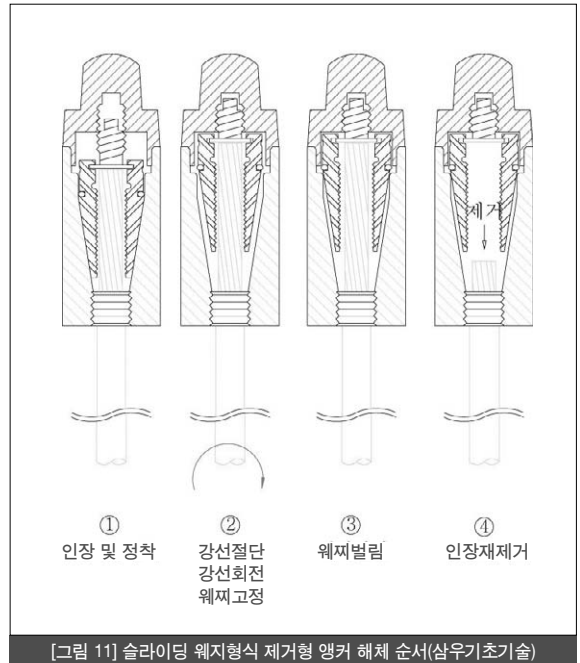


[그림 10] 가압 그라우팅 후 팩 형태

2) 슬라이딩 웨지(Sliding Wedge)

슬라이딩 웨지방식은 P.C Strand 각각을 내하체의 웨지에 고정시킨 형태로, [그림 11]과 같다. 각각의 콘에 연선을 결합하여 내하체에 정착하는 방식으로 간혹 연선이 웨지에서 이탈되기도 하는 단점이 있으니 앵커체 시공 시 확인이 필요하다. 웨지방식의 해체방법은 인장된 강연선을 절단한 후 강선을 회전시켜 제거하므로 기계장비 없이 단순도구를 이용한 인력작업이 가능하다.

제거식 앵커의 설계형식에 따라 설계를 비교하였으며, 설계가 산정은 천공길이 10m(토사 5m, 풍화암 5m), 설치공수 100공, 앵커 1본당 설계축력 400kN, PC Strand((12.7-4ea)을 기준으로 하였다. 단 팩 앵커는 토사 10m에 대해 비교하였다. 슬라이딩 웨지형식의 재료비는 U-Turn 형식 보다 고가이나 제거가 용이하여 경비가 작게 발생하는 특징으로 전체적으로는 U-Turn 형식보다 설계가 저렴한 것으로 나타났다.



[그림 11] 슬라이딩 웨지형식 제거형 앵커 해체 순서(삼우기초기술)

<표 2> 제거식 앵커의 형식별 설계가 비교(V.A.T 별도)

앵커 종류	마찰형 앵커		팩앵커 (U-Turn)	비고
	U-Turn	슬라이딩 웨지		
설계가(만원/공)	97	94	110	제거비 포함

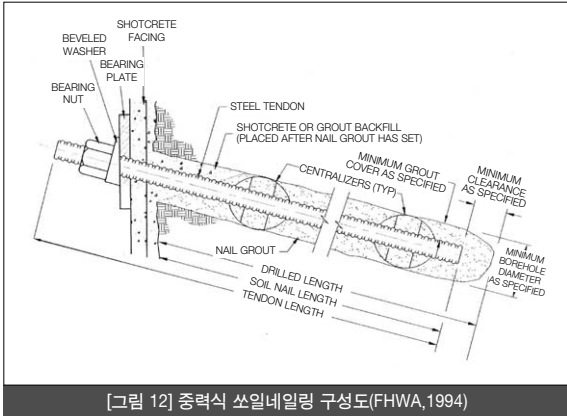
3) 쏘일네일링(Soil Nailing)

3-1. 쏘일네일링 분류

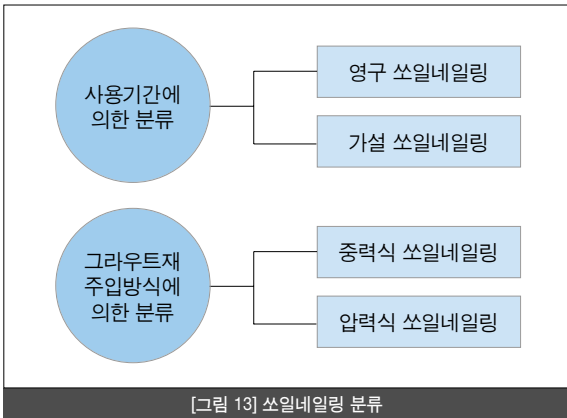
쏘일네일링은 원지반에 네일(철근, 강봉 및 PVC 수지봉 등)을 촘촘하게 삽입하여 그라우팅으로 네일과 지반을 일체화하는 공법이다. 네일링은 원지반의 전단저항력과 네일의 인발저항력을 활용한 보강공법으로 원지반의 지반강도를 최대한 이용하는 효율적인 공법이며, 주로 절취사면의 보강, 도심지 터파기, 흙막이 구조물 및 기존 옹벽 보강 등에 사용된다.

쏘일네일링은 사용기간과 그라우트재 주입방식에 따라 [그림 13]과 같이 2가지로 구분할 수 있다. 사용기간에 의한 분류는 앵커와 동일하게 2년 미만일 경우에는 가설, 2년 이상일 경우에는 영구 네일링으로 구분한다.

그라우트재의 주입방식에 의한 분류는 그라우트재 주입압에 따라 중력식과 압력식 네일링으로 구분한다.



[그림 12] 중력식 쏘일네일링 구성도(FHWA, 1994)

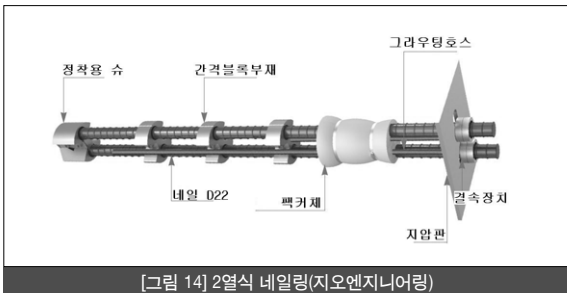


[그림 13] 쏘일네일링 분류

(1) 영구 쏘일네일링

1) 중력식 쏘일네일링

중력식 쏘일네일링은 천공홀에 네일(철근, 강봉 등)을 삽입한 후 그라우트재를 주입할 때 별도의 가압을 하지 않고, 중력으로 천공홀을 채우는 방식이며, 쏘일네일링 구성도는 [그림 12]와 같다. 최근에는 네일의 인장 및 전단보강을 증가시키기 위해 [그림 14]와 같이 한 공에 2열의 네일을 결합하여 적용하기도 한다.



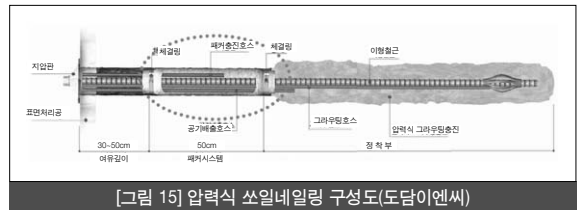
[그림 14] 2열식 네일링(지오엔지니어링)

2) 압력식 쏘일네일링(Pressure Soil Nailing)

중력식 쏘일네일링 공법은 중력에 의해 그라우트재를 천공홀에 주입하므로 고결시간이 길고, 수축현상을 보완하기 위하여 3~6회 정도의 그라우팅을 실시한다.

또한, 그라우트재의 주입압을 유지할 수 없어 천공홀의 충전상태 확인 및 품질관리에 어려움이 있다.

압력식 쏘일네일링(Pressure Soil Nailing) 공법은 [그림 15]와 같이 그라우트재 주입시 두부에 발포우레탄 패커를 설치하여 네일 정착부를 밀폐한 상태에서 5~10kg/cm² 범위의 압력으로 그라우팅을 실시하여 정착부의 유효직경을 증가시켜 인발저항력을 향상시키는 공법이다.



[그림 15] 압력식 쏘일네일링 구성도(도담이엔씨)

3) 영구 쏘일네일링 형식별 설계가 비교

쏘일네일링 형식별 개략적인 설계가는 천공길이 8m(토사 8m), 설치공수 100공, 네일(29mm, 이형철근, 단 2열 네일의 경우 22mm 적용)을 기준으로 하였다. <표 3>의 설계가는 천공 및 시공을 모두 포함한 1공에 대한 금액이며, 설계가 비교 결과 2열 네일과 압력식 네일의 설계가가 비슷한 것으로 조사되었다. 2열 네일과 압력식 네일은 1열 네일에 비해 공당 공사비는 고가이나, 1열 네일에 비해 인발저항이 크므로, 2열 네일 및 압력식 네일 적용시 쏘일네일링 설치공수 감소가 예상된다.

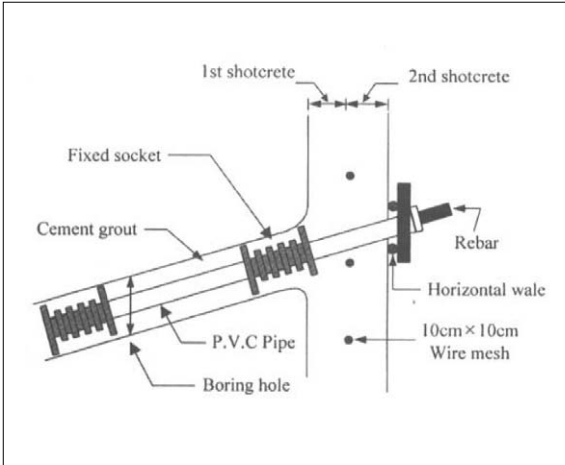
<표 3> 영구 쏘일네일링 형식별 설계가 비교(V,A,T 별도)

종류	영구 쏘일네일링		압력식
	중력식	2열 네일	
설계가(만원/공)	40	47	47

(2) 가설 쏘일네일링

가설 쏘일네일링은 일정 기간이 지난 후 네일을 제거해야 하는데, 일반적인 쏘일네일링은 그라우트재와 네일이 결합되어 있어, 네일의 제거가 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 제거식 쏘일네일링([그림 16], [그림 17] 참조)은 PVC관 내부에 네일을 설치하여

그라우트재와 네일을 분리하며, 인발저항을 위해 PVC관에 소켓 등을 설치한다.



[그림 16] 제거식 쏘일네일링 구성도(오륙개발)



[그림 17] 제거식 쏘일네일링 형상

4 결론

건설현장에서 빈번히 발생하는 굴착공사의 안전성을 확보하기 위해 사용되는 지반보강공법으로 그라운드앵커(Ground Anchor)와 쏘일네일링(Soil Nailing)에 대해서 살펴보았다.

- (1) 그라운드앵커는 정착체의 크립(Creep) 현상으로 인한 진행성과 괴(Progressive Debonding)를 최소화하기 위한 하중분산 압축형 앵커부터, 지하수 유동이 있는 연약지반에 확실한 정착체 형성이 가능한 팽 앵커 등이 개발되어 적용되고 있다.
- (2) 영구 쏘일네일링은 천공홀에 네일 삽입 후 중력식으로 그라우팅하는 일반적인 공법에 비해 인발저항이 우수하고, 품질확보가 용이한 압력식 네일, 2열 네일 등이 사용되고 있었다. 또한 지반의 환경오염을 최소화하기 위한 다양한 형태의 제거식 쏘일네일링도 개발되고 있다.
- (3) 최적의 지반보강공법은 현장의 지층조건, 주변현황, 외부하중(토압, 상재하중 등) 및 공사비 등을 복합적으로 고려하여 검토되어야 한다. S

참고문헌

1. GROUND ANCHORS AND ANCHORED SYSTEMS-IF-99-015, FHWA, 1999
2. SOIL NAILING FIELD INSPECTORS MANUAL-SA-93-068, FHWA, 1994
3. 굴착 및 흙막이 공법, 한국지반공학회, 1992
4. 그라운드 앵커공법 설계시공지침, 과학기술, 1997
5. 삼우 ANCHOR TECHNOLOGY, 삼우기초기술
6. 압력식 Soil Nailing, 도담이엔씨
7. 영구앵커 비교 검토서, 삼우기초기술, 2003
8. 영구 GROUND ANCHOR SEC ANCHOR, 코리아에스이
9. 이열식 네일링 시스템, 지오엔지니어링
10. 지압형 D.E.W ANCHOR, 신도이엔아이
11. 고우이엔씨 홈페이지 <http://www.goenc.co.kr/>
12. 뿌리산업 홈페이지 http://soilnailing.co.kr/h_board/main.htm
13. 오륙개발 홈페이지 <http://www.oryuk.co.kr/>