

# 2 | 절토부 옹벽 공법의 종류 및 특징 비교

글 윤성필 \ 토목기술부 사원 \ 전화 02-3433-7743 \ E-mail kanggol@ssyenc.com  
 글 임재승 \ 토질및기초기술사 \ 토목기술부 부장 \ 전화 02-3433-7770 \ E-mail ljs@ssyenc.com

## 1. 서론

국내 지형조건상 건설공사를 위해서는 자연지반을 일부 깎아서 부지를 형성하는 것이 필수적이다. 특히 도로와 철도는 산악지형을 지나는 경우가 많으므로 깎기는 필수적이며, 시공 중과 유지관리 단계에서 파괴가 발생하는 등 많은 문제를 유발하므로 조사와 안정해석을 실시하여 장기적인 안정성을 확보하는 것이 필요하다. 깎기 비탈면은 쌓기 비탈면과는 달리 자연지반을 깎아서 형성하므로 지반조건이 매우 불규칙하고 다양하게 나타나며, 설계단계의 지반조사만으로 완벽한 설계가 어려울 수 있다. 따라서 깎기 비탈면의 설계는 해당 비탈면의 지반특성과 인근지역의 비탈면 상태 그리고 과거의 경험적인 요소를 모두 고려하여 설계를 해야 하며, 필요시 장·단기적으로 비탈면의 안정성 확보를 위한 대책공법의 적용이 요구된다. 사면붕괴의 대책공법은 사면파괴를 발생시키는 요인으로부터 사면을 보호하는 사면보호공법과 불안정하게 판단된 사면을 말뚝, 옹벽 등의 저항력을 이용하여 안전율을 증가시키는 사면 보강공법으로 크게 구분할 수 있다. 본고에서는 사면 보강공법 중 암탈락이나 전도, 활동 등을 유발할 수 있는 지반에서 토압에 대한 활동을 방지하고 도심지 단지 조성 공사, 도로, 철도, 교대 등 용지의 제한에 따른 토지의 최적이용을 목적으로 하는 절토부 옹벽에 대하여 살펴보고자 한다.

## 2. 절토부 옹벽의 설계

일반적으로 절토나 성토 후 지반에 적용되는 옹벽은 작용하는 토

압에 대해 구조적으로 안전하도록 설계되어야 할 뿐만 아니라 기본적으로 실제 유발될 가능성 있는 여러 파괴형태에 대하여 안전하도록 설계되어야 한다. 옹벽의 경우 유발될 가능성이 많은 파괴 형태는 활동파괴, 전도파괴, 지지력 부족으로 인한 파괴, 과도한 침하 및 옹벽구조물을 포함한 사면활동 등이 있다. 따라서 옹벽은 이러한 여러 파괴형태에 대하여 안전하도록 설계되어야 한다.

### 2-1. 절토부 옹벽 공법

절토부 옹벽은 원지반 강도를 최대한 보호하며 보강시키는 공법으로 일반 RC옹벽과는 달리 Anchor, Earthbolt, Nailing 등의 지보재 보강을 통해 원지반의 전단강도를 증가시키고 전면판인 PC Panel과 지보재를 체결하여 개별적 종력체를 형성시킴으로써 수평토압에 저항하는 공법이다.

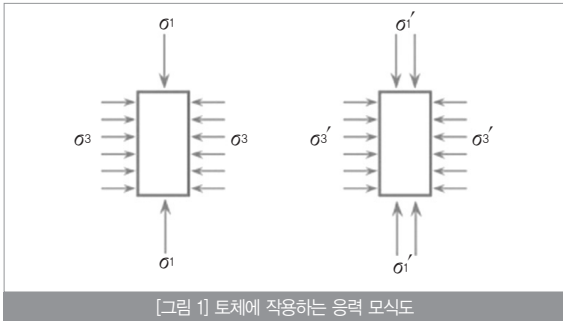
### 2-2. 기본 개념

절토부 옹벽에 적용되는 보강공법의 원리는 단계별 굴착에 의해 지반이완을 최소화시키면서 보강재를 지중에 설치하여 원지반의 전단강도를 증가시키는 Anchor 공법, Soil Nailing 공법과 같은 선보강 개념으로 볼 수 있다. 토체를 수평으로 압축시키는 힘이 클수록 큰 수직력에 저항할 수 있는 힘이 생긴다. 이러한 현상은 토체 내의 수평 압축력에 의해 전단강도가 증가하기 때문이며, 이것은 원통형의 비닐주머니에 흙을 담고 물 속에 넣어 상하로 힘을 가하면, 얇은 물에서 보다 깊은 물에서 더 큰 힘이 작용하여 토체가 파괴됨을 알 수 있다.

[그림 1]과 같이  $\sigma'_3 > \sigma'_1$  일 때  $\sigma'_1 > \sigma'_3$  이 되며 이때  $\sigma'_1 - \sigma'_3 > \sigma'_1$

-  $\sigma_3$ 가 된다. 이러한 현상은 Mohr의 응력원으로부터 잘 설명될 수 있으며, 최소 주응력  $\sigma_3' = \sigma_3 + P$ 로 증가할 때, 최대 주응력  $\sigma_1$ 은  $\sigma_1'$ 로 압축력 P보다 훨씬 큰 P'로 증가하며, 전단강도도  $\tau_1$ 에서  $\tau_2$ 로 증가한다. 이 때 흙의 내부마찰각  $\phi$ 는 변화가 없고 점착력 c값이 증가되는 것으로 나타난다. 즉 어떠한 토체를 수평력 P로 압축하면, 같은 응력조건에서 토체 내의 점착력 c값이 증가하는 효과를 얻을 수 있다. 절토부 옹벽은 이러한 효과를 이용하여 지반에 압축력을 작용시켰을 때, 이 압축력은 지반의 인장강도 증가에 의한 점착력 증가로 나타나고, 이로부터 지반의 안정성 여부를 판단한다. 압축력 P에 의한 점착력의 총 증가량  $\Delta c$ 는 아래의 식과 같다(그림 2) 참조).

$$\Delta c = P \tan \phi$$

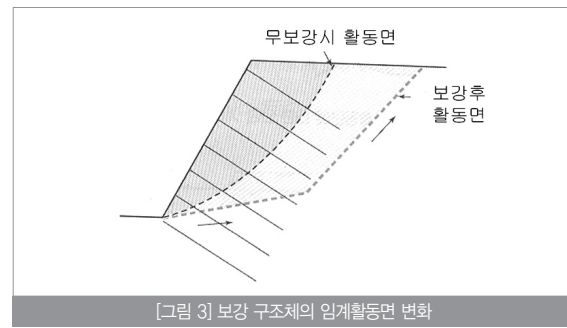


[그림 1] 토체에 작용하는 응력 모식도

### 2-3. 설계 검토사항

#### 1) 보강 시 임계활동면 변화

무보강 시는 활동면이 사면측 또는 굴착측에 가깝게 위치하여 붕괴 가능성이 크게 될 수 있으며, 보강 후는 활동면이 배면측으로 이동하여 안정성이 향상된다. 안정성 검토는 일반 한계평형에서 활동력과 저항력의 크기를 비교하는 것이며, 보강된 경우는 저항력에 보강재의 인장력이 추가되어 안전율을 높이게 된다(그림 3) 참조).



[그림 3] 보강 구조체의 임계활동면 변화

#### 2) 원호활동에 의한 외적 안정검토

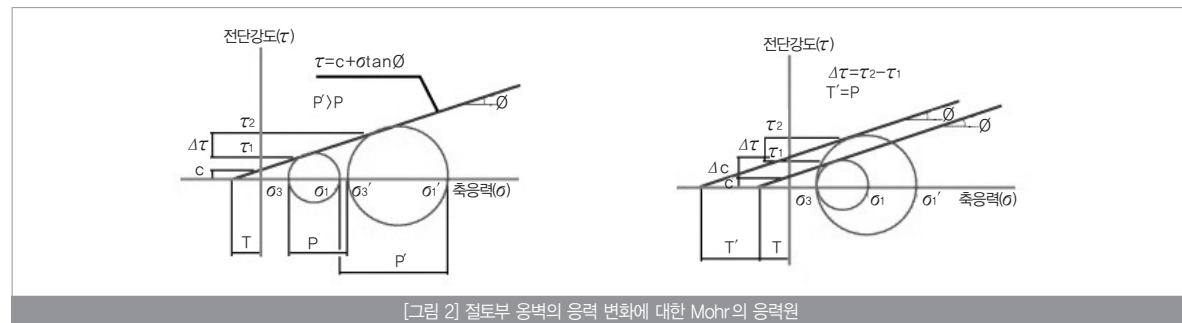
절토부 옹벽의 원호파괴에 대한 안정해석은 보강재 및 PC Panel 최종 시공후의 단면을 가정하여 실시한다. 절토부 비탈면에 보강재가 설치될 경우 활동면 상단부분은 수직에 가까우며 적어도 하나의 보강재는 활동면에 직각방향으로 위치한다. 활동면을 보강영역 내에 완전히 포함시킨 경우의 내부파괴 형태, 부분적으로 포함시킨 경우의 혼합파괴 형태, 완전히 바깥에 위치하는 경우의 외부파괴 형태를 고려하여 검토한다.

활동면의 형상은 [그림 4]와 같이 원호로 가정하고 활동면보다 더 깊은 보강재의 인장효과를 생각해서 보강재가 가지는 극한평형식을 이용하여 안정계산을 수행한다. 설계 시 보강재의 간격, 길이, 설치각도를 변화시켜 최적의 되도록 하며, 여러 개의 많은 활동면을 가정하여 최소안전율이 얻어지는 경우가 기준안전율(표 1) 참조)을 만족하도록 해야 한다.

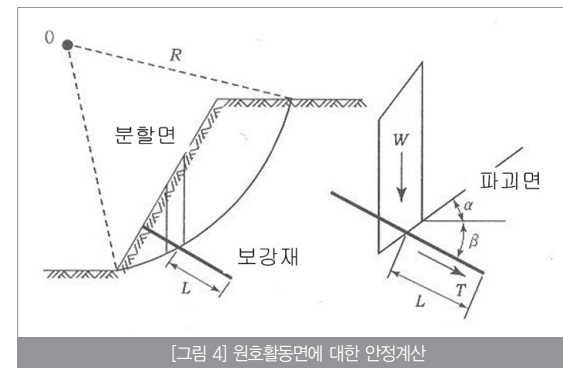
$$FS = \frac{\sum (W \cdot \cos \alpha - U \cdot L) \tan \phi' + T \cdot \cos \beta + c' \cdot L}{W \cdot \sin \alpha}$$

여기서,

- FS : 비탈면 기준안전율
- W : 활동면 토체의 중량(kN)
- L : 활동면 아래 네일의 길이(m)
- c' : 지반의 유효점착력(kN/m<sup>2</sup>)
- $\phi'$  : 유효 내부마찰각(°)
- U : 분할면 저변에 작용하는 간극수압(kN/m<sup>2</sup>)
- $\alpha$  : 분할면 저변의 경사각(°)
- $\beta$  : 분할면 저변과 보강재가 이루는 각(°)



[그림 2] 절토부 옹벽의 응력 변화에 대한 Mohr의 응력원



[그림 4] 원호활동면에 대한 안정계산

표 1 깎기 비탈면 안정해석 시 적용하는 기준안전율

구분	기준안전율	비고
건기	FS > 1.5	• 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS > 1.2 또는 FS > 1.3	• 암반비탈면은 인장균열의 1/2심도까지 지하수를 위치시키고 해석 수행, 토층 및 풍화암은 지표면에 지하수를 위치시키고 해석 수행 (FS = 1.2 적용) • 강우의 침투를 고려한 해석을 실시하는 경우 • 위 두 가지 조건 중 선택적으로 1가지 조건을 만족시켜야 함
	FS > 1.1	• 지진관성력은 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용시킴 • 지하수위는 실제측정 또는 평상시의 지하수위 측정
단기	FS > 1.0	• 기간 1년 미만의 단기간의 안정성 검토 시

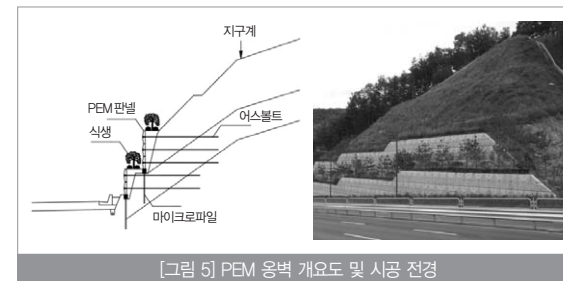
※ 건설공사비탈면 설계기준, 한국시설안전기술공단, 2006 참조

### 3. 절토부 옹벽 공법의 종류

#### 3-1. PEM(Prestressed Earth Method) 옹벽 공법

##### 1) 공법 개요

PEM 옹벽은 Earthbolt를 시공하고 이를 PC Panel과 체결한 후 Prestress(5~7tonf)를 도입하여 Block 토체를 형성시킴으로써 원지반의 전단강도를 증진하는 보강공법이다.



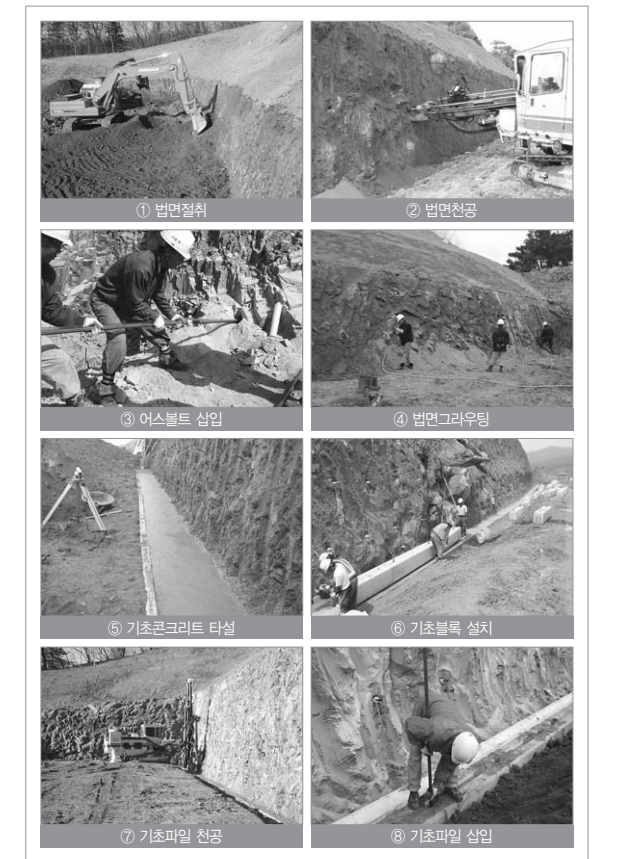
[그림 5] PEM 옹벽 개요도 및 시공 전경

#### 2) 공법 특징

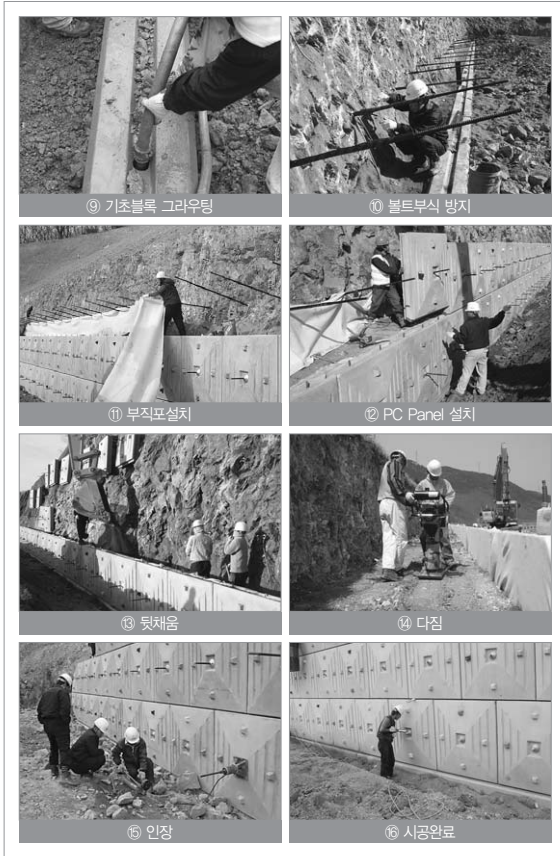
PEM 옹벽 공법은 절토부 옹벽중 적용사례가 가장 많은 공법으로 파쇄가 심한 풍화대 발달 구간, 급경사 구간의 비탈면 보강, 얇은 파괴 예상사면에 주로 적용되며, 보강재로 Earthbolt, 전면판으로 1.5m x 1.5m ~ 2.0m x 2.0m 크기의 PC Panel이 사용된다. 대부분의 경우 Top-Down 방식으로 시공되며, Down-Top 방식도 가능하다. 단계별 Top Down 시공으로 상부 토사층의 이완 및 활동을 최소화하므로 비교적 안전한 시공을 할 수 있으며, 비탈면 안정 측면에서도 효과적이다. 기초하부에 마이크로파일을 설치함으로써 견고한 기초지반 확보가 가능하며, 배면지반 침하로 인한 문제점을 줄일 수 있다.

또한, 소단을 두어 식재가 가능하므로 부드러운 이미지 연출이 가능하다. 뒤채움 재료로 골재(필터층)를 사용하여 별도의 배수시설이 필요 없으며, 공장제직의 콘크리트 제품으로 품질관리가 양호하다. 그러나 전면이 PC Panel이므로 곡선선형이 부자연스럽고, 현장 유용도가 없을 경우 뒷채움용으로 별도의 토사가 반입되어야 한다.

#### 3) 시공 순서







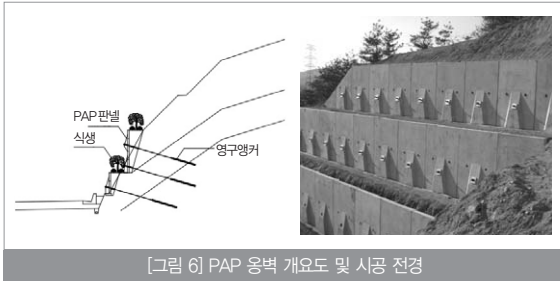
시 상부단의 앵커긴장에 따른 수직분력이 작용하므로 하부 지반의 안정성 확보를 위한 충분한 소단폭이 확보되어야 한다. 사면안정에 가장 효과적인 주동보강공법인 영구앵커 공법과의 조합으로 수동보강공법인 Nailing 공법에 비하여 구조적 안정이 월등하다. 프리캐스트 패널이 수직으로 설치되므로 사면붕괴 방향에 대한 저항력이 증가한다. 앵커의 설치각도를 수평에 가깝게 시공할 수 있어 앵커의 유효 보강력이 향상된다. 암반사면의 경우 토공량 감소 등으로 일반 옹벽공법에 비하여 경제적이고 Panel 규격이 크므로 타 프리캐스트 옹벽에 비하여 공사비가 절감되나, 급사면을 절개하고 패널설치 및 뒤채움 콘크리트 양생 후 천공작업까지 기간이 소요되므로 이 기간 동안 안정성 확보에 주의가 필요하다. 또한, 보강재로 쓰이는 Anchor에 대한 지속적인 관리가 필요하다(인정력 감소에 따른 재인장). 영구적인 대원호 파괴가 예상되는 구간에서 PAP 옹벽을 적용할 경우 타 절토부 옹벽에 비해 경제적, 시공성, 안정성측면에서 효율적일 것이다.

3) 시공 순서



3-2. PAP(Prestressed Anchor & Precast Panel) 옹벽 공법

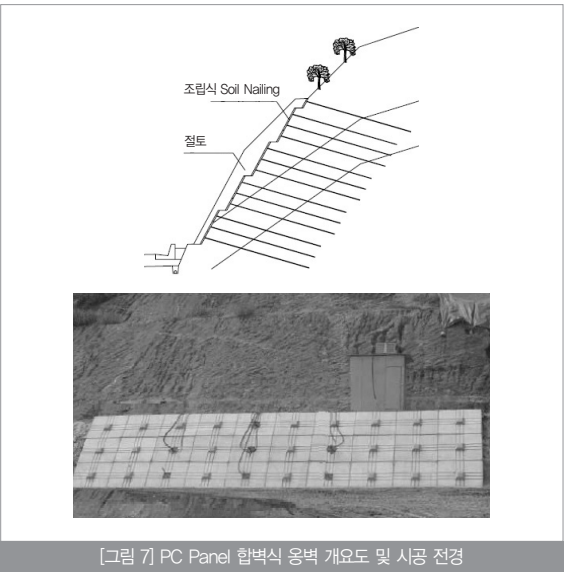
1) 공법 개요  
PAP 옹벽 Anchor와 PC Panel을 이용하여 예상 파괴토체를 견고한 지반에 정착시켜 사면을 안정화 하는 공법이다.



2) 공법 특징  
보강재로 Anchor가 사용되며 전면판인 PC Panel 크기는 2.0m x 2.0m ~ 2.5m x 2.5m이다. PEM 옹벽과 마찬가지로 Top-Down 또는 Down-Top 방식 모두 가능하며, Top-Down 시공

3-3. PC Panel 합벽식 옹벽 공법

1) 공법 개요  
PC Panel 합벽식 옹벽 공법은 단계별 굴착에 의해 지반이완을 최소화하면서 Soil Nailing 보강재를 지중에 설치하고 미리 제작된 프리캐스트 콘크리트 패널을 절취면을 따라 조립 시공함으로써 사면의 안정성을 증대시키는 공법이다. Soil Nailing과 전면벽체의 일체화로 작용하중을 분담시키며, 전면벽체의 자중에 의한 구속력으로 지반의 이완을 억제시킨다.



2) 공법 특징  
PC Panel 합벽식 옹벽은 주로 절토사면의 안정화 및 자연사면의 붕괴방지와 기존 석축의 보강 등에 적용이 가능하며, 기존의 합벽식 Soil Nailing 공법에 비해 굴착단면이 최소화되기 때문에 산림, 녹지 등 시공 장소의 환경에 미치는 영향이 적다. 전면판을 공장 제작된 콘크리트 패널을 사용함으로써 공기단축과 인력 감소효과를 도모할 수 있으며, 품질관리가 용이하다. 사면을 굴착하면서 단계별로 시공이 가능하므로 지반이완의 최소화와 고소작업이 감소하므로 안정성이 높다. 타 절토부 공법과 달리 절취면과 PC Panel의 밀착시공으로 우기 시 유로형성 방지 및 네일링 보강사면의 얇은 활동파괴가 억제된다. 또한, 전면판으로 사용되는 PC Panel(1.2m(H) x 1.5m(W) x 0.2m(t))의 중량이 커서 자중에 의한 구속효과가 크다. 하지만 PC Panel의 두께가 크고 중량이라 작업이 어려운 점이 있으며, 연직 굴착면에 대해서는 시공이 난해한 단점이 있다. 그리고 PC Panel 조립 시 중장비에 의한 정밀시공이 요구된다.

3) 시공 순서



3-4. TD(Top Down) 옹벽 공법

1) 공법 개요  
Rock Bolt 또는 Soil Nailing을 시공하고 이를 PC Panel과 체결한 후 Prestress를 도입하여 Block 토체를 형성시킴으로서 원지반의 전단강도를 증진시켜 일종의 증력체를 만들어 수평토압에 저항하도록 하는 공법이다. PEM 옹벽과 거의 유사하나 TD 옹벽은 POS 커플러를 사용하여 보강재로 사용되는 Rock Bolt 또는 Soil Nailing과 전면벽체를 체결하는 점이 PEM 옹벽과 다르다.



## 2) 공법 특징

TD 옹벽도 타 절토부 옹벽 공법과 마찬가지로 Top-Down 방식으로 주로 시공하며, 뒷채움 재료로 골재(필터층)를 사용하여 별도의 배수시설을 필요로 하지 않는다. 패널 전면으로 Anchor 노출이 없으므로 미관이 수려하며, 공장제작의 콘크리트 제품으로 품질관리 양호하다. 또한, 소단을 두어 식재가 가능하고 마름모 문양을 적용하여 부드러운 이미지 연출이 가능하다. 현장 유통도가 없을 경우 뒷채움용으로 별도의 토사가 반입되어야 하는 단점이 있으며, 커플러와 보강재를 체결하는데 있어 주의 시공이 요구된다.

## 3-5. 절토부 옹벽 설계가 비교

설계 및 시공 시 참고자료로 활용하고자 앞서 소개된 PEM 옹벽, PAP 옹벽, PC Panel 합벽식 옹벽, TD 옹벽 등의 절토부 옹벽을 H=10m, L=100m인 풍화대(N치 30) 절토사면에 적용할 경우 개략적으로 설계가를 비교해 보았다(〈표 2〉 참조).

비교 결과 TD 옹벽이 설계가가 가장 낮았으나 타 공법과 크게 차이가 나지는 않았다. 결국 현장여건, 지반조건(지층구성, 파쇄가 심한 풍화대 발달 여부, 사면구배, 깊은파괴 또는 얇은파괴 예상 사면) 등 여러 가지 제반사항을 고려하여 효율적인 공법의 선택과 적용이 필요하다고 본다.

표 2 절토부 옹벽 설계가

(단위 : 원/㎡, VAT 별도)

구분	PEM 옹벽	PAP 옹벽	PC Panel 합벽식 옹벽	TD 옹벽
설계가	563,000 원/㎡	550,000 원/㎡	507,000 원/㎡	457,000 원/㎡

## 4. 결론

비탈면 절취구간에서 원지반의 절취를 최소화하고 전면판인 PC Panel과 보강재인 Earthbolt, Anchor, Soil Nailing, Rock Bolt를 이용하여 뒷채움 및 원지반 강도를 증진시켜 일종의 중력체를 만들어 수평토압에 저항하는 옹벽 공법의 종류에 대하여 살펴보았다.

절토부 옹벽은 도로, 철도, 택지조성, 공업용지 조성, 재개발 지역 및 댐 등의 공사에서 일반 옹벽으로 시공하기 어려운 모든 사면안정 공사에 적용이 가능하며, 지반특성상 파쇄가 심한 풍화대 발달 구간, 깊은 또는 얇은파괴 예상사면 등에 주로 적용된다.

경사가 급한 지역이나, 경사면이 암반층으로 이루어진 경우, 일반 옹벽 공법에 비하여 절토량과 뒷채움량이 적어 공사비를 절감할

수 있으며, 일반옹벽과 달리 저판이 없으므로 부지이용률을 높일 수 있다. 또한, 단계별 Top-Down 방식의 시공으로 상부 토층의 이완 및 활동을 최소화하므로 안전한 시공을 할 수 있다. 전면판으로 사용되는 PC Panel은 공장에서 제작한 프리캐스트 제품으로 품질관리가 용이하며 공기도 단축할 수 있으며, PEM 옹벽, PAP 옹벽, TD 옹벽의 경우 소단을 두어 식재가 가능하므로 부드러운 이미지를 창출할 수 있다.

하지만 절토부 옹벽의 경우 전면이 PC Panel이므로 곡선선형 시공에 어려움이 있으며, 현장 유통도가 없을 경우 뒷채움용으로 별도의 토사가 반입되어야 한다. PAP 옹벽의 경우 보강재로 사용되는 Anchor의 인장력 감소에 따른 재인장 등 지속적인 관리가 필요하다. PC Panel 합벽식 옹벽의 경우 PC Panel의 두께가 크고 중량이라 작업이 어려운 점이 있으며, 연직 굴착면에 대해서는 시공이 난해한 단점이 있다.

실제 설계 또는 시공 시 현장여건, 지반조건 등 여러 가지 제반사항을 고려하고 본고에서 언급한 절토부 옹벽의 종류 및 특징에 대한 비교 및 분석을 통해 공법의 선택과 적용에 있어서 참고자료로 활용되길 바란다. S

### 참고문헌

- 1 구조물 기초 설계기준 해설, (사)한국지반공학회, 2009. 3.
- 2 건설공사비탈면 설계기준, 한국시설안전기술공단, 2006.
- 3 이춘석, 토질 및 기초공학 이론과 실무, 예문사, 2005. 3.
- 4 강인규, 권영호, 조립식 쓰일네일링 공법 개발, 건설핵심기술연구개발사업 최종보고서, 건설교통부, 2006.
- 5 강인규, 류정수, 김홍택, 권영호, 조립식 쓰일네일링 공법을 활용한 노후석축 및 콘크리트 옹벽 보강, 2009 Conference Co-Hosted by KISTEC & KGES, 2009. 4.
- 6 PEM TECH 홈페이지, <http://www.pemtech.co.kr/>
- 7 코리아에스이 홈페이지, <http://www.korease.co.kr/>
- 8 대한지오이엔씨 홈페이지, <http://www.kor-eng.com/>
- 9 TD(Top-Down) 옹벽 공법, 브사렐건설(주), 2010. 12.