

# 복합지반에서의 System화된 심형기초 굴착방법(EMP, SPG공법)을 이용한 VE사례

글 | 김진탁 | 345kV 신양양분기 송전선로 건설공사 과장 || 전화 : 033-672-7360 || E-mail : key666666@ssyenc.com

## 1 | 머리말

345kV 신양양분기 송전선로 건설공사 현장은 345kV 변전소가 없거나 장거리에 위치하여 저전압 현상이 발생되고, 최대부하 시간대 공급능력이 부족한 강원 북부지역의 어려움을 해소하기 위하여 건설되는 신양양 변전소에 소요 전력을 공급하기 위한 사업이다.

우리 현장은 대부분이 인근 터널에서 발파한 암석으로 매립한 지반으로 지름 1~15cm 크기의 호박돌 내지 전석으로 구성되어 있으며, 심형기초 시공은 Liner Plate를 이용하여 터파기를 실시하는 것으로 설계 계획되어 있다. 따라서 수직 굴착 시 여굴에 의한 인근 보강토 웅벽에 영향을 미칠 수 있다고 판단되어 이에 대한 적용 가능한 지반 보강공법에 대하여 비교 검토하고, 향후 작업시행

시 보강토 웅벽 구조물에 부정적 영향이 미치지 않도록 이에 대한 개선 방법이 요구되었다.

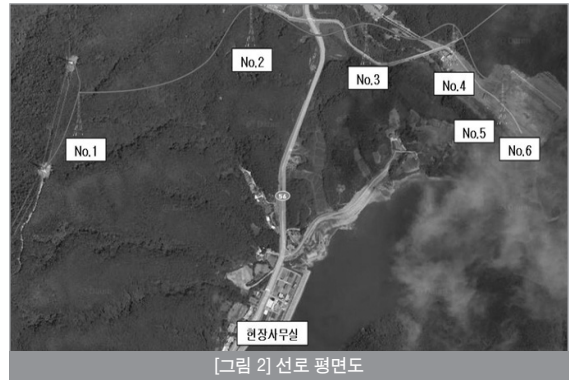
복합지반 심형기초의 일반적인 특징과 공법에 대하여 기술하였으며, 기존 공법과의 비교를 통해 본 공법의 장점과 우리 현장의 공기단축 및 원가절감 사례를 소개하고자 한다.

## 2 | 공사 개요

우리 현장은 345kV 신양양변전소 부지 내에 철탑 5호기의 위치는 대부분이 인근 터널에서 발파한 암석으로 매립한 층으로 지름 1~15cm의 크기의 호박돌 내지 전석으로 구성되어 있으며, 변전소 부지를 조성을 위해 15m의 웅벽이 설치한 옆에 위치하고 있다. 기초 굴착공사를 시공함에 있어 굴착작업 시 지반이 연약하여 변전소 부지조성을 위하여 설치한 웅벽의 붕괴위험이 있어 이를 방지하기 위한 보강공사가 필요하여 EMP공법과 SPG공법을 적용한 굴착공사를 실시하였다.



[그림 1] 현장 전경



[그림 2] 선로 평면도

- (1) 공사명 : 345kV신양양 분기 T/L
- (2) 위치 : 강원도 양양군 서면 일원
- (3) 규모 : 철탑 수 6기(평균 높이 103m, 평균톤수 300ton)
- (4) 공사기간 : 2007년 7월 ~ 2010년 10월(39개월)
- (5) 발주처 : 한국전력공사

### 3 | EMP 공법

#### 3-1. 공법 개요

EMP(Ez-Mud Piling) 공법이란 천공 시 공벽의 붕괴 우려가 있고, Auger Screwbit로 천공이 불가능한 N치 50 이상의 자갈층, 호박돌층 및 사석층등의 지층을 EMP Hammer를 이용하여 천공하고, 동시에 Air 공급 Line을 통해 Injection Pump로 Ez-mud 안정액을 분사하여 Air에 의해 천공 Slime과 Ez-mud 안정액을 교반하여 공벽에 부착시킴으로써 안정된 지층까지 일시적으로 공벽을 유지시켜 주는 공법이다.

#### 3-2. EMP 공법의 장·단점

- (1) Down Hole Drilling공법 중 Casing을 사용하지 않기 때문에 공정이 가장 단순하고 공기가 빠르다.
- (2) 붕괴 우려가 있는 지층(N치50 이상의 자갈층, 호박돌층 및 사석층 등)에서 Casing을 사용하지 않고, Ez-mud 안정액을 분사하여 공벽을 유지시켜 철근망 근입이 원활하도록 한다.
- (3) EMP공법은 기본적으로 Casing을 사용하지 않는 것으로 하나, 장비주변 지층의 함몰 가능성이 있을 경우 상부에서 Drive Casing을 설치한다.
- (4) 천공작업 시 안정액을 사용하여 점도를 향상시키므로 슬라임이 재순환되지 않고 슬라임 처리가 완전하다.
- (5) EMP공법은 Down Hole Drilling공법이므로 어떤 지층에서도 시공이 뛰어나다.
- (6) 호안 사석과 같이 전석 사이에 토립자가 전혀 없는 지층에서는 안정액이 유실되어 작업이 곤란하다.
- (7) 지하수 유속이 심한 곳에서는 안정액이 유실될 수 있다.

#### 3-3. EMP 공법의 적용범위

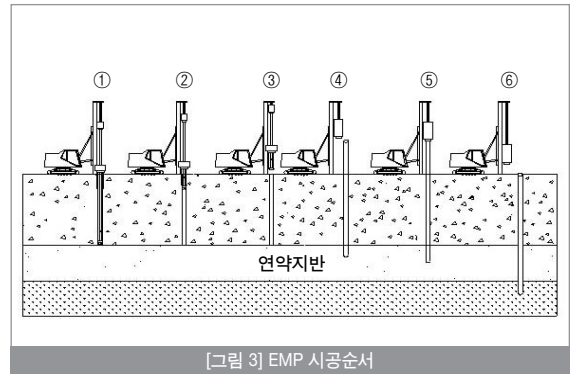
자갈, 전석이 혼재되어 직항타 작업이 불가능한 모든 지반조건에 적용 가능하다.

- (1) 해안 사석 매립지 또는 방파제

- (2) 조밀한 실트, 모래, 자갈 및 전석이 혼재된 퇴적층 분포지역
- (3) 사면 붕적층으로서 토사와 붕적 암편, 암괴가 혼재된 지역

#### 3-4. 시공순서

- (1) Pile Driver로 천공한 후 상부에 Drive Casing을 설치
- (2) Pile Driver로 천공하며 안정액 분사
- (3) EMP Hammer 및 Rod 회수
- (4) 철근망 삽입
- (5) 콘크리트 타설
- (6) 장비이동



#### 3-5. EMP 공법 세부공정

##### (1) 천공작업

##### 1) 사용 장비

- Pile Driver
- Earth Auger(150HP)
- EMP Hammer
- Button Bit(φ450mm)
- Leader(회전형, 33m)
- Compressor(25.5m³/min, 2대)
- 발전기(350kW)
- 기타 부대장비

##### 2) 작업방법

- 작업 전 안정액(Ez-mud)의 배합비를 용적비율 '물 : 안정액 = 1,000 : 2.5' 로 배합하여 충분히 혼합하여야 함을 원칙으로 하되 공벽유지 필요시에는 배합비를 가감한다.
- 작업 전 Leader를 지표면과 수직을 유지하여 천공 위치에 장비를 Setting한다.

- 천공은 공기압축기를 이용한 EMP Hammer와 Button Bit의 타격력에 의해 천공한다.
- 천공과 동시에 안정액을 분사하여 Drilled Hole을 유지하면서 천공한다.
- 지지층까지 천공이 완료되면 Air에 의한 Surging 작업을 2~3회 반복하여 실시한다.
- 천공 시 공벽보호를 위해 Compressor Air Line 통해 안정액을 주입하여야 하며 이때 Air Line과 안정액 공급 Line의 역류방지를 위해 Check Valve를 설치해야 한다.
- 천공이 완료되면 공벽이 붕괴되기 전(1시간 이내)에 철근망을 삽입한다.

#### (2) Rod 회수 및 철근망 삽입

- 1) Rod 인발 시 안정액을 분사하여 Drilled Hole을 유지시키면서 인양한다.
- 2) Rod 회수 후 크레인에 장착되어 있는 와이어를 동원하여 자중에 의해 철근망을 삽입 시킨다.

## 4 | SPG 공법

### 4-1. 공법 개요

#### (1) 친환경 무기질계 영구 그라우팅

#### (SPG, Special Green & Permanent Grouting Method) 공법

본 공법은 소정의 심도(설계심도)까지 천공 후 Sleeve Pipe(PE 전선관, D40~50mm)를 지중에 삽입한 후 Sleeve Pipe 내에 Single Packer에 의한 1.5 Shot 방식의 그라우팅을 실시하는 방법으로 하부에서부터 1.0m 간격으로 상향식 Step Grouting을 실시하여 지반을 균일하게 보강한다.

#### (2) SPG 주입재

- 1) SPG 주입재의 주성분은 C12A7와 시멘트의 수화반응에 의해 에트링가이트(Etringite)를 형성한다.
- 2) SPG 주입재는 시멘트 광물이 주성분으로서 무기질 급결재와 시멘트의 수화반응에 의해 수초~수분 이내에 반응하여 치밀한 조직을 이루며 시간이 경과할수록 수화반응이 계속 진행되어 안정적인 에트링가이트 조직을 형성하므로 장기적으로 수축변경이 극히 적은 영구적인 내구성을 갖는 경화체를 형성한다.
- 3) SPG 주입재는 무기질계 주입재와 시멘트가 수화반응하여 순

간적으로 치밀한 조직을 형성하므로 고강도를 유지하고 기간에 다른 강도저하가 없는 항구적 그라우팅재이다.

- 4) 시멘트 성분재료에서 용탈작용이 발생할 경우, 6가 크롬과 같은 유해성분이 유출되어 주변지반과 지하수를 오염시키게 된다.

### 4-2. SPG 공법의 세부공정

#### (1) 천공작업

- 1) 장비사용 : 크롤러 드릴
- 2) 천공규격 :  $\phi$  100mm
- 3) 천공심도 : 설계심도에 준함
- 4) 천공방법 : 회전충격식 또는 회전수세식

#### (2) Sleeve 제작 및 설치

- 1) 규격 : 40~50mm PE전선관
- 2) 주입홀 : 1.0m 간격으로 열십자 방향으로 천공 후 Taping(현장 제작)
- 3) 설치심도 : 보강심도와 동일하게 설치

#### (3) Sealing

주입재의 지상누출을 방지하기 위한 작업으로 천공 Hole과 Sleeve 사이를 배합된 Seal재로 충전한다.

〈표 1〉 Seal재 배합비

[1m<sup>3</sup> 당 배합비]

시멘트	벤토나이트	물
200kg	62.5kg	910l

#### (4) 주입

주입은 하부에서 상부로 상향 그라우팅을 실시하며, 주입압, 주입량, 주입시간을 자동유량계에 의해 실시간 측정한다.

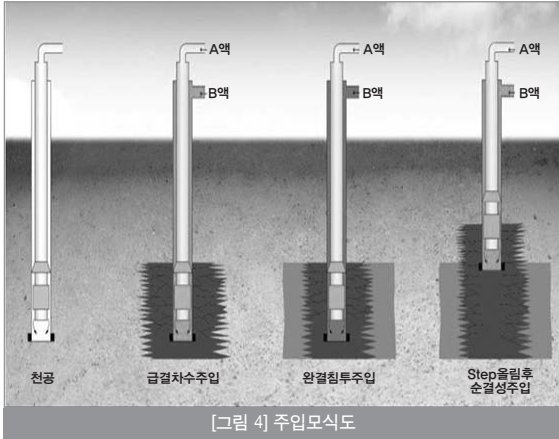
#### 1) 사용 장비

- 4조식 교반기 1대
- Grouting Pump 1대
- Self Record 1대
- 기타 부대장비 1식

#### 2) 주입압력 : 3~7kg/cm<sup>2</sup>

- 3) 주입방법 : 1.5 Shot방식을 이용한 저속, 저압 그라우팅(8~10l/min)으로서 압력계이지 및 Self-record의 작동상태를 관찰하면서 상향식 Step Grouting을 실시한다. 단, 주입시 설계에서 정한 완결재를 정량 주입한다.

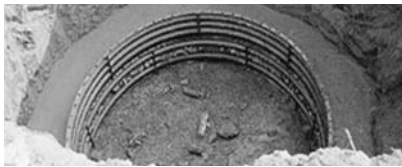
## 5) 주입모식도



## 5 현장시공

### 5-1. 굴착방법 비교

#### (1) 기존 굴착방법



1. Liner Plate 고정



2. 발파



3. 굴착



4. 천공 및 Liner Plate 설치

#### (2) EMP공법 및 SPG공법 적용 굴착방법



1. 천공준비 및 위치측량



2. EMP 천공



3. 철근망 삽입



4. 그라우팅관 삽입



5. 콘크리트 타설



6. SPG 주입재 삽입



7. Liner Plate 고정



8. 굴착

#### 5-2. 개선 시공방법

- (1) PILE DRIVE( $\phi 400\text{mm}$ )로 설계심도까지 천공후 Casing을 삽입한다(그림 7 참조).
- (2) Casing이 삽입된 천공홀(No. 4,7,13,16,19,25,28,34,37,40)에 내부에 철근망을 넣고 콘크리트를 타설한다(그림 7 참조).
- (3) Casing이 삽입된 천공홀(No. 3,6,9,12,15,18,21,24,27,30,33,36,39)에 그라우팅용 강관( $\phi 100\text{mm}$ )을 중앙에 삽입후 Casing과 강관( $\phi 100\text{mm}$ ) 사이에 콘크리트를 타설한다(그림 7 참조).
- (4) Casing이 삽입된 천공홀(No. 1,10,22,31)에 강관( $\phi 380\text{mm}$ )을

중앙에 삽입후 콘크리트를 타설한다(그림 7 참조).

- (5) (2), (3), (4)의 공정을 번갈아 가면서 심형기초 사이즈의 바깥쪽으로 현장타설말뚝(CIP) 벽체를 시공한다.
- (6) 현장타설말뚝(CIP) 벽체 시공이 완료된 후 강관(φ100mm)을 이용하여 설계심도까지 그라우팅을 실시한다.
- (7) 유압시추기를 이용하여 현장타설말뚝(CIP) 벽체 내부를 소정의 직경으로 천공한다.
- (8) 천공홀에 철근을 삽입후 콘크리트를 타설하여 토류벽을 형성시킨다.
- (9) 토류벽 시공이 완료된 후 수직 굴착을 실시한다.
- (10) (1) ~ (9)의 순서로 최종 시공된 심형기초에서 수직 굴착 시 지반 침하의 영향을 최소화할 수 있으며, 지하수 유입을 방지할 수 있다.

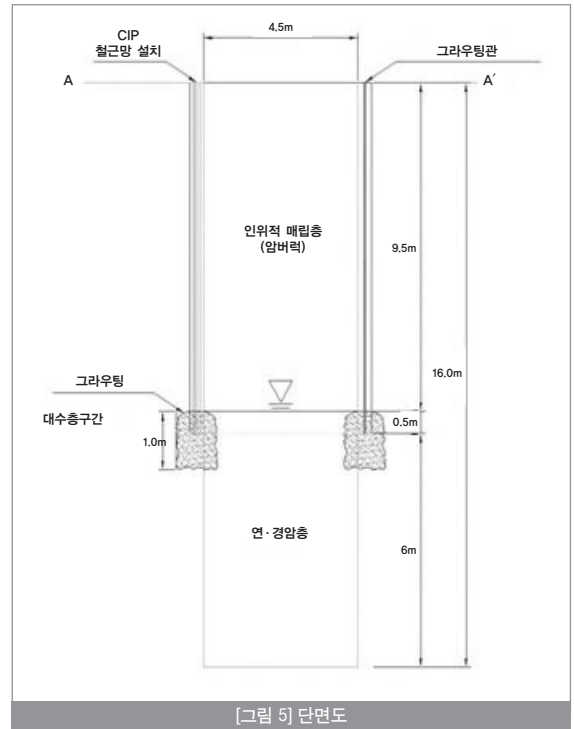
### 5-3. 기존 굴착방법과의 차이

〈표 2〉 기존 굴착방법과의 비교

항 목	기존방법	EMP 적용방법
방 법	• 흙막이 없이 시공	• 주열식 현장 말뚝 타설 시공
장 점	• 원지반의 지층에 유리	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 복합지반(매립지)의 지층에 유리</li> <li>• 인접구조물에 미치는 영향이 적다</li> <li>• 소형장비 시공가능</li> <li>• 협소한 지역에도 사용가능</li> <li>• 굴착 시 여굴로 인한 붕괴 없음</li> </ul>
단 점	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 굴착시 주변지반이 이완</li> <li>• 천공시 수직도 확보 곤란</li> <li>• 붕괴로 인한 작업자 안전성 확보 미흡</li> <li>• 침하 및 붕괴 시 공사기간 연장(재시공)</li> </ul>	• 별도의 공기가 필요
비 고	• 산악지 및 임반지역의 지층에 적합	• 복합지반(매립지)의 지층에 적합

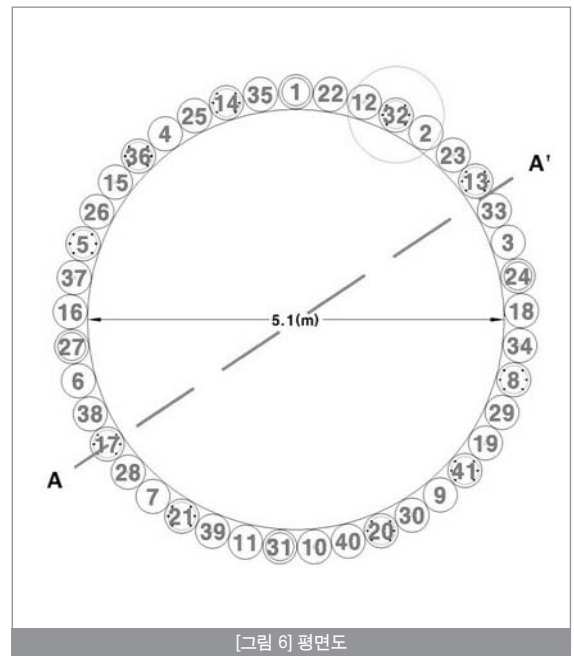
### 5-4. 현장 시공도

(1) 시공 단면도



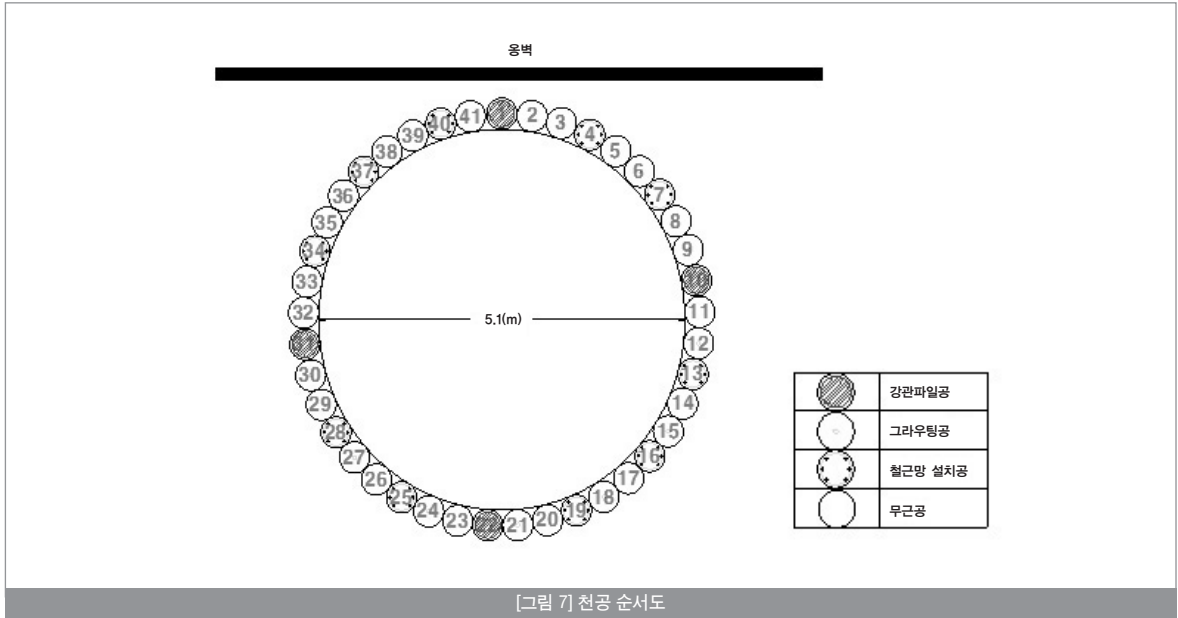
[그림 5] 단면도

(2) 시공 평면도



[그림 6] 평면도

### (3) 천공 순서도



### 5-5. 적용효과

#### (1) 품질, 안전적인 측면

- 1) Liner Plate 설치시 안전성 확보
- 2) 잔여물 낙하 배제
- 3) 품질확보

#### (2) 공기적인 측면

- 1) 굴착시간 단축
- 2) Liner Plate 설치시간 단축

#### (3) 원가적인 측면

- 1) 공사기간 단축으로 인한 원가투입 감소

- Liner Plate 설치 : 4각 x 500만원 = 2,000만원  
→ 합 계 : 6,000만원
- 3) 원가절감 : 1,800만원

#### (2) 공사기간 단축

##### (1) 기존방법

- 굴착 : 25일, Liner Plate 설치 : 4일

##### (2) EMP 적용방법

- 굴착 : 16일, Liner Plate 설치 : 3일

##### (3) 공기단축 : 10일

### 5-6. 절감 현황

#### (1) 공사비 절감

##### 1) 기존방법

- 굴착 : 4각 x 1,400만원 = 5,600만원
- Liner Plate 설치 : 4각 x 550만원 = 2,200만원  
→ 합 계 : 7,800만원

##### 2) EMP 및 SPG 적용

- 굴착 : 4각 x 1,000만원 = 4,000만원

## 6 | 결론

신규 공법 적용으로 벽체의 충분한 강도 확보할 수 있었으며, 불균질한 암버력 매립층의 변위가능성을 차단하고 주변 구조물의 균열 발생 가능성을 억제하여 하자 발생을 사전에 예방할 수 있었다. 우리 현장에 상기 공법을 적용함으로써 원가절감, 공기단축, 품질 향상 등의 이익 창출 효과를 얻었으며, 적용 사례의 전파 및 DB화를 통해 향후 유사 현장에 적용을 기대해 본다. 또한 발주처에 당사의 새로운 공법에 대한 도전의 의지를 전달함으로써 대관 신뢰도를 증진시킬 수 있을 것으로 판단된다. **S**