

# LVNCP 공법

## 소개 및 현장 적용

(Low Vibration and Noise  
Compaction Pile)

글 | 하경수 | 전라선 익산~신리간 복선전철사업현장 사원  
전화 : 063-254-7470 || E-mail : ksha81@ssyenc.com

### 1. 머리말

전라선 익산~신리 간 복선전철현장은 총 연장이 34.392km인 구간으로 기존의 단선철도를 복선으로 확장 시공하는 민간투자시설 사업(BTL)이다.

본 구간의 공사는 2012년 여수 해양엑스포의 원활한 유치, 전주를 포함한 순천, 여수 지역의 KTX 고속철도 서비스 조기 제공과 전라 북도의 화물수송 능력 향상 등의 사업목적을 가지고 시공이 진행되고 있다.

당 현장 구간의 상당 부분은 연약지반으로 구성되어 있어, 연약지반개량공법 중의 하나인 LVNCP(Low Vibration and Noise Compaction Pile)공법이 일부 구간에서 적용되고 있다. 이 공법은 어스오거가 장착된 외관 케이싱과 내관케이싱을 동시에 관입한 후 에어역류방지 장치를 이용하여 외부 이토의 혼입을 방지하고, 하단에 다짐판이 부착된 내관케이싱을 유압장치로 상·하 왕복시켜 말뚝의 지름을 확대시키는 저진동, 저소음 다짐말뚝공법으로 현재 건설신기술 제 510호로 지정되어 있다.

본고에서는 LVNCP공법의 일반적인 특징과 시공방법에 대하여 기술하였으며, 기존의 지반개량공법과의 비교를 통해 본 공법의 장점과 당 현장의 공기단축 및 원가절감 사례를 소개하고자 한다.

### 2. LVNCP 공법

#### 2-1. 시공원리 및 개요

기존의 모래나 쇠석다짐말뚝 시공법은 시공시 진동 및 소음이 매우 크게 발생하여 민원을 야기하고, 진동으로 인한 인접구조물에 피해를 주기 때문에 제한적으로 적용될 수밖에 없다. 또한 현장타설 말뚝은 진동이나 소음면에서는 유리하나 시멘트를 주재료로 사용함에 따라 시공 중 발생하는 슬라임 등과 같은 건설폐기물로 인한 환경오염이 발생하며, 비용도 고가이기 때문에 활용도가 낮은 실정이다.

따라서 기존 공법의 진동과 소음과 민원으로 인한 공정지연 및 공사비 증가의 문제점을 해결하기 위해 저진동·저소음 LVNCP공법을 적용하게 되었다.

진동·소음의 원인이 되는 Vibro Hammer 대신 Earth Auger와 유압장치를 이용하여 관입과 다짐작업을 함으로써 지반교란을 최소화하면서 진동 및 소음을 획기적으로 줄일 수 있었다. 다짐작업시, Earth Auger를 역회전하여 천천히 인발하면서 내관 Casing Pipe에 체결된 유압실린더를 작동시킴으로써 내관 케이싱이 Up-Down 동작을 반복하도록 하였으며, 내관Casing Pipe의 선단 다짐판이 배출된 모래 및 쇠석을 다짐토록 하면서 지반개량의 효과를 얻을 수 있었다.

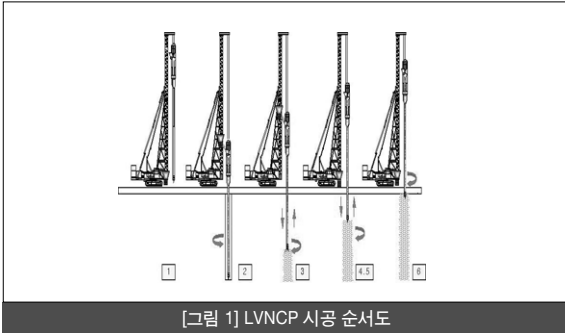
#### 2-2. 기대효과 및 장점

- ① 관입한계치 자동측정장치, 오퍼레이터의 모니터링, 자동기록장치에 의한 체계적인 품질관리
- ② 유압다짐으로 다짐 시 진동과 소음 저감에 따른 민원 발생 억제
- ③ 공사기간 단축 및 공사비 절감

#### 2-3. 단점

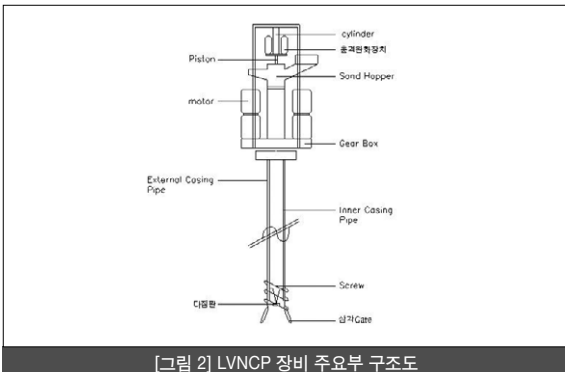
- ① 장비조합이 복잡하고 대형장비로 이동성 불량
- ② 소규모 물량 현장 적용 시 비경제적

## 2-4. 시공 순서도



- ① Earth Auger의 회전에 의해 소요심도까지 케이싱 내관과 외관을 관입한다.
- ② 관입이 완료되면 쇠석을 이동식 호퍼를 상승시켜 케이싱 내관에 투입한다.
- ③ 케이싱 내관에 일정한 Air압을 가한 후 외부 Casing을 역회전시켜 인발하면서 유압실린더를 작동하여 내관케이싱 상승과 하강을 반복하여 하단으로 쇠석을 배출하면서 배출된 쇠석을 다진다. 이때, 내·외관 케이싱 사이에 소정의 에어를 공급하여(통상  $2\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 4\text{kg}/\text{cm}^2$ 내외) 이토혼입에 의한 내관 케이싱의 원활한 상승, 하운동이 억제되지 않도록 해야 한다.
- ④ 자동 쇠석 Level 측정장치에 케이싱 내의 쇠석 잔량이 일정치 이하로 내려가면 인발과 다짐을 중단하고 Air압을 배출한 후 쇠석을 Casing 내에 채운다.
- ⑤ 상기 ③항을 반복한다.
- ⑥ Casing 선단이 지표면에 올라오면 작업을 종료하고 다음 지점으로 이동한다.

## 2-5. 주요부 구조도



## 2-6. LVNCP 시공구조

- ① 케이싱파이프는 내·외관 케이싱의 2중구조로 된 것으로 외관 케이싱은 관입과 인발시 진동, 소음이 거의 없는 스크류가 부착되어 있어야 하며 이를 한쌍의 모터가 회전시키는 구조이어야 한다.
- ② 내관 케이싱은 외관 케이싱 내에서 유압 실린더에 의하여 상, 하로 왕복이동이 원활한 구조이어야 한다.
- ③ 내관 케이싱과 외관 케이싱 내에 이물질이 끼어서 내관 케이싱의 상, 하 왕복운동이 방해받지 않도록 내관 케이싱 상부는 밀폐구조의 실린더로 구성되어 내, 외관 케이싱 사이에 공급된 공기가 항상 케이싱 하단으로 이물질과 함께 유출될 수 있는 구조이어야 한다.
- ④ 케이싱 내부의 골재 높이를 항상 모니터할 수 있는 계측장치(부착되어 있어서 지중에 시공되는 쇠석말뚝의 시공양부를 실시간 확인할 수 있어야 한다.
- ⑤ 케이싱 내부의 고압 공기배출시 소음을 줄이기 위하여 배기밸브에는 소음기가 부착되어 있어야 한다.
- ⑥ 케이싱 하단은 원추형 삼각게이트가 부착되어 관입시에는 자동으로 밀폐되어 케이싱 내에 이물질이 들어오지 못하는 구조이며 인발시에는 자동으로 열려서 골재가 원활히 배출되어야 한다.

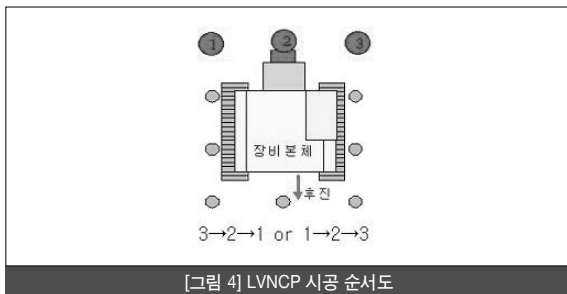
## 2-7. LVNCP의 타설 기준

- ① 타설위치의 허용오차는 30cm 이하여야 한다.
- ② LVNCP의 경사각은 2도 이하여야 한다.
- ③ LVNCP의 시공심도는 설계 관입심도 또는 설계 N치 이상인 지층까지로 하여야 하며, 추가조사 결과 그 하부에 연약층이 분포할 경우는 감독원의 지시에 따라야 한다.
- ④ 설계관입심도 이하에서 중지할 경우는 다음 상황을 모두 만족하여야 한다.
  - 시공지점 부근의 토질주상도가 설계 N치 이상일 경우

- 관입저항값이 설정 저항값보다 클 경우
- 지지층까지 관입여부는 케이싱 선단부가 1분 동안 20cm이상 관입 불가시 때와 지지층의 전류(310~320)의 크기로 판단한다.
- 설계심도까지의 관입여부는 사전 지반조사 주상도와 비교하여 최종 전류치로 관리 기준을 적용한다.
- ⑤ 유압실린더 램의 높이는 30cm로 상승시켜 자유낙하 타설하고 0.5m 인발시마다 1회씩 다짐(다짐하중 약10톤)을 실시한다.

### 2-8. LVNCP의 타설 진행 방향

타설 장비의 진행방향은 후진하면서 시공한다.



### 2-9. LVNCP의 관입 심도관리

LVNCP 시공 전 시험 시공계획서를 작성하여 감독원의 승인을 득 하여야 하며 관리 기준치의 결정 방법은 다음과 같다.

- ① 먼저 지반상태를 확인하여 표준관입시험치의 분포를 확인한다.
- ② 시험 시공한 LVNCP의 근입 깊이와 N치에 따라 자동기록지에 나타난 시간당 관입속도를 기록한다.
- ③ 시공심도 - N 치 - 케이싱 관입속도와와의 관계로부터 연약층 깊이 에 따른 관리 기준을 설정하여 관리한다.
- ④ 다짐도와 시공직경을 결정하기 위하여 다짐에너지(다짐낙하고) 별로 자동기록지 상에 나타난 케이싱 내 재료 배출량과 시공완료 길이를 계산하여 낙하고를 결정한다.
- ⑤ 만일 관리기준치를 결정하지 않고 시공하는 경우는 LVNCP를 불필요하게 깊이 시공하거나 과다한 시공직경 형성으로 공사비가 증가할 수 있으니 반드시 관리 기준을 위한 시험을 시행하여야 한다.

### 2-10. LVNCP의 시공관리 기록

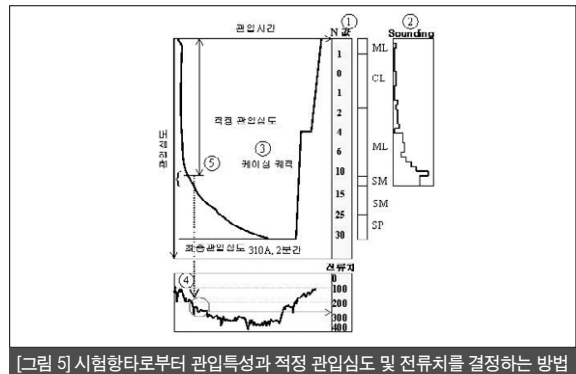
- ① Casing 타입심도
- ② 투입된 쇄석량

- ③ 타입 직전의 지반고
- ④ LVNCP의 시공위치, 소요기간, 시공장, 기타 시공에 관한 기록
- ⑤ 시공관리 측 계기의 기록
- ⑥ 시공기계 운전원 및 시공 책임기사
- ⑦ Casing 심도계, Casing 사면계, Auger Motor의 전류계 등은 자동기록장치에 의해 연속적으로 기록

### 2-11. 관입특성 결정방법

시험항타를 통해 해당 지반조건과 장비성능 등을 고려한 관입특성이 결정되어야 효율적인 본 시공을 수행할 수 있다. 적절히 시험항타를 실시하여 기록지와 지반조사 결과 등을 종합하여 해당 구간의 적정 처리심도와 전류치를 결정하면 된다.

해당 구간의 대표적인 관입특성, 적정 관입심도, 전류치 등을 결정하는 방법은 다음과 같다.

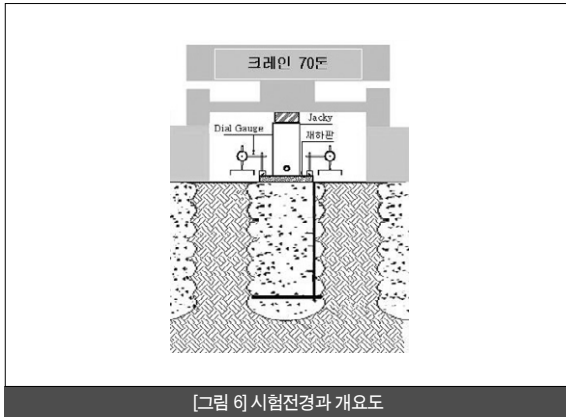


## 3. Modulus Test 시험

Modulus Test는 말뚝재하시험과 매우 유사하나, 그 목적은 말뚝재하시험(지지력 확인)과 달리 Geopier 강성계수(k)를 확인하기 위해 설계하중에서의 LVNCP 변형을 체크하는 것이다.

Geopier의 강성계수(k)는 재하하중을 이용하여 결정할 수 있고, 설계 하중의 150%까지 단계적으로 재하하였다. 설계하중은 18tonf이며, 하중 증가는 <표 1>과 같이 적용하였다. 시험반력은 크레인으로 적용하였고, Geopier 바닥면 침하량 평가를 위하여 Telltale를 LVNCP 하부에 설치하였다.

Modulus Test에 대한 시험전경과 개요도는 [그림 6]과 같다.



〈표 1〉 Modulus Test 기준

구분 단계	재하 하중			최소 재하시간 (분)	침하량(mm)	
	비율 ( $\times Q_{25\%}$ , %)	재하하중 (tonf)	LVNCP Stress(tf/m <sup>2</sup> )		LVNCP 상부	LVNCP 저부
1(초기 재하)	25	5	13.02	10		
2	50	10	26.04	10		
3	75	15	39.06	10		
4	100	20	52.08	10		
5	125	25	65.10	10		
6	150	30	78.12	10		

$$K = \frac{\Delta q}{\Delta s} = \frac{\Delta P_2 - \Delta P_1}{\Delta S_2 - \Delta S_1} = > 4,750 \text{ tf/m}^3 \therefore O.K$$

(〈표 1〉에 의거)

여기서,

$\Delta P_1$ (초기 LVNCP Stress)

$\Delta P_2$ (설계하중 재하시 LVNCP Stress)

$\Delta S_1$ (초기재하시 LVNCP의 순 침하량)

$\Delta S_2$ (설계하중 재하시 LVNCP의 순 침하량)

#### 4. 표준관입시험

시공 작업과 병행하여 지층의 대략적인 지지력과 연약층 분포 확인 및 교란시료를 채취하기 위한 원위치시험인 표준관입시험을 실시하였다.

〈표 2〉 표준관입시험 개요

구분	내용
조사목적	<ul style="list-style-type: none"> <li>N치에 따른 지반 특성치 추정</li> <li>지반의 상대밀도 및 연경도 파악</li> <li>기초설계에 따른 제반 공학적 정수의 산정</li> <li>Split Barrel Sampler에 의한 시료채취</li> </ul>
조사방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>63.5kg의 해머로 낙하고 75cm의 높이에서 타격을 하여 Split Barrel Sampler가 30cm 관입될 때의 타격횟수인 N치를 구함</li> <li>N치는 매 15cm 관입 시 타격수를 측정하는 방식으로 3회 연속 실시하여 최초의 15cm 관입은 Slime의 영향을 받은 예비타격으로 무시하고 나머지 30cm 관입 시 타격 횟수를 N치로 표기</li> </ul>
평가사항	<ul style="list-style-type: none"> <li>원지반의 상대강도 및 연경도 분석에 이용</li> <li>지반의 지지력 및 전단강도 측정 시 이용</li> </ul>
비고	<ul style="list-style-type: none"> <li>채취된 교란시료는 함수량이 변하지 않도록 시료병에 넣고 공변, 채취일자, 채취심도, N치, 지층명을 기재하여 시료표 본상자에 정리하여 보관</li> </ul>

#### 5. 시공순서 및 안전관리 중점사항



① 덤프운반로 및 보행자 통행로 확보

② 작업차량의 진출입시 위험요소 및 장애요소를 사전에 제거하여 장비 충돌 예방



- ① 장비 전도를 방지하기 위하여 수직도 유지 및 침하보강판 설치
- ② 천공홀에 작업자가 추락, 매몰되지 않도록 천공 홀 주변 작업시 주의를 기울이고 안전사고에 대처하기 구멍로프 비치



<3단계 : LVNCP 시공위치 세팅 및 항타>

- ① 오거 천공으로 발생된 배출토사를 제거하여 원지반 레벨과 균일하게 평탄시켜 장비가 불균형 침하되지 않도록 관리
- ② 평탄 작업 후 지반이 약하거나 침하 위험시 골재를 채워서 보강



<4단계 : 이동버켓 내 골재 투입 및 케이싱 내 골재투하>

- ① 장비 전도를 방지하기 위하여 수직도 유지 및 침하보강판 설치
- ② 열차동행시 작업을 일시 중지 신호를 보낼 수 있도록 열차감시원배치



<5단계 : LVNCP 쇄석말뚝 다짐 및 인발>

- ① 페이로더 장비 주변 작업자 접근시 협착위험이 높음으로 작업자의 접근을 통제하고 장비 운행시 서행 및 경보음 설치
- ② 케이싱 내 골재 투하시 쇄석 파편이 발생함으로 작업자의 접근을 통제하고 열차 동행시 작업을 일시 중지



<6단계 : 배출토사 정리 및 지반정리>

- ① LVNCP 다짐으로 인한 지반응기, 팽창시 인접 선로의 변형 위험이 있음으로 관리감독자는 선로의 변위를 매일측정하고 열차감시원은 육안으로 수시 점검하여 위험 예지시 감독자에게 알려야 함



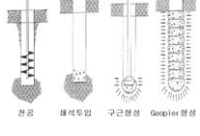
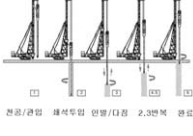
<7단계 : 장비이동>

- ① 장비 이동 범위 내 장비 전도를 방지하기 위하여 침하보강판 설치. 장비신호수는 급작스런 장비 침하 및 위험시 장비운전원에게 알리고 관리감독자 지시 하에 위험위치에서 장비 대비

## 6. 유사 공법 비교 검토

(표 3) 공법 비교표

전라선 익산 - 신리간 복선전철사업현장

구분	Geopier	LVNCP	비고
명칭	· 짧은색사다짐말뚝 (특허 제10-0634261호)	· 어스오거의 유압장치를 이용한 저진동, 저소음 다짐말뚝공법 (신기술 510호)	
사용권	· 동아지질(주) (개발자: Geopier사-미국)	· 석정건설(주) (공법개발자)	
시공순서			
품질관리	· 허버안정화시험: 구근형성시 침하량 측정 · 동적관입시험: 150~200공당 1회 파악 · Modulus Load Test: 800~1000공당 1회	· 표준관입시험: 말뚝의 연속성, 배수, 내부 미찰각 파악 · 작업 상태 모니터 확인 및 저동기목장치	
장점	· 공사기간 단축 · 현장저반 교환 적용(D=750 천공) · 다짐시 허용 침하량 관리 가능 · 실트/점토층에서 케이싱 불필요 · 장비 조합이 간편하고 소형으로 이동성 양호	· 관입항계치 자동측정장치, 오피레이터의 모니터링, 저동기목장치에 의한 체계적인 품질관리 가능 · 유압다짐으로 다짐시 진동과 소음 저감으로 민원 발생 억제 · 공사기간 단축 및 공사비 절감 · 현장저반 교환 최소화(D=500천공) · Geopier에 비해 사토물량 감소(2/3)	
단점	· 시공 중 모니터링 및 저동기목장치가 없어 객관적, 체계적인 품질관리 어려움 · 다짐시 수직 다짐도 Check 불가 · 케이싱 미시공시 공변 붕괴로 품질 저하 · 다짐시 소음과 진동에 따른 민원 예상 · D=750 천공에 따른 사토수량 증가	· 장비조합이 복잡하고 대형장비로 이동성 불량 · 소규모 물량 현장 적용시 비경제적	
공사비	· 설계가: 6,955백만원 · 도급(83% 적용): 5,773백만원 · 견적가: 4,900백만원(도급 대비: 85%)	· 설계가: 6,600백만원 · 도급(83% 적용): 5,478백만원 · 견적가: 2,852백만원(도급 대비: 52%)	· 300백만원 예산 절감

## 7. 환경관리

### 7-1. 소음진동 방지 대책

- ① 충격 파괴형과 같은 작업 공정을 다른 공법으로 바꾼다.
- ② 특정 공사 승인 신청서에 작업시간 계획을 세울 때에는 환경 소음도가 높은 시간대를 택한다.

### 7-2. 비산, 먼지 발생 억제 대책

- ① 현장 공사 책임자는 절토, 상차 시 비산먼지 발생을 방지하기 위해 절취부에 살수를 한다.
- ② 운반 차량 이용도로는 살수차를 투입하여 비산 먼지 발생 억제에 대비하여야 한다.

- ③ 살수 시설(세륜장, 물차)등을 운영하여 주위에 먼지가 흩날리지 않도록 한다.
- ④ 토사운반 시 덮개를 설치하여 적재물이 외부에서 보이지 아니하고 흠림이 없도록 한다.
- ⑤ 먼지가 흩날리지 아니하도록 공사장 안의 통행차량은 설계속도를 준수하여야 한다.

### 7-3. 폐기를 처리 기준 및 방법

- ① 현장 공사 책임자는 일반 상업 폐기물 및 특정 산업 폐기물로 구분하여 보관한다.
- ② 현장 공사담당자는 폐유를 수거하여 전량 안전 관리자가 지정한 임시저장소에 보관하고 현장 관리 책임자는 허가된 폐기물 처리업자에게 위탁 처리한다.
- ③ 현장 안전 관리자는 폐유 임시 저장소에 울타리와 폐유 임시 저장소리는 팻말을 설치한다.
- ④ 안전 관리자는 산업 폐기물 처리 시 발생량, 이용 사항 및 처리 실적을 산업 폐기물 관리대장에 기록하여 보존하여야 한다.

## 8. 맺음말

전라선 익산~신리 간 복선전철 민간투자시설사업(BTL)은 Vibro Hammer 대신 Earth Auger와 유압장치를 이용한 LVNCP공법을 적용하여, 소음 및 진동을 최소화하고 다짐효과를 크게 향상시킨 친환경적이면서 진보적인 공법을 적용하여 시공되었다.

저진동·저소음 다짐말뚝 공법은 진동다짐말뚝 시공법의 가장 큰 단점인 진동을 획기적으로 줄여 시공하는 방법이다. 이 공법은 Casing Pipe를 강재로 지중에 압입시키는 대신 어스오거에 의해 스크류가 부착 된 외관케이싱 파이프를 지중에 회전 관입시키고 유압실린더에 장착된 내관케이싱 파이프의 상하 왕복작용으로 모래나 쇠석 등의 다짐작업을 수행함으로써 소요의 다짐도와 직경을 가지는 말뚝을 조성한다.

LVNCP 공법 적용 결과 주변 민원으로 인한 공정지연을 줄일 수 있었으며, 우수한 연약지반개량의 효과를 얻게 되었다.

본 현장의 이번 VE사례 기고를 통하여 유사 공사시행에 있어 많은 도움이 될 수 있기를 바라며, 신기술·신공법에 대한 지속적인 연구 및 타당성 검토를 통해 추후 진행되는 공정에서도 공기단축과 원가절감을 기대해 본다. **S**