무소음·무진동 스크류 PHC 말뚝공법에 관한 기술적 수준 고찰
A State of the Art on a Noise & Vibration - Free PHC Screw Pile Method

하영민[1], Young-Min Ha, 정호영[2], Ho-Young Jung, 김영필[3], Young-Pil Kim, 김성수[4], Sung-Su Kim, 최용규[5], Yongkyu Choi

[1] 경성대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Kyungsung
[2] 경성대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Kyungsung
[3] 경성대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Kyungsung
[4] 무성토건(주) 상 무, Managing Diretor, Musung Construction Co., LTD
[5] 경성대학교 건설환경공학부 교수, Professor, Dept. of Civil & Environ. Engineering, Univ. of Kyungsung

SYNOPSIS : Various the low noise & vibration pile methods were developed and used in many construction sites. Low noise & vibration pile methods must be used essentially from the sites where popular complints would be expected. In this paper, low noise & vibration pile methods and screw pile methods were investigated, noise & vibration-free screw PHC pile method, also, was studied and its constructibility and applicability were analyzed.

Keywords : low noise & vibration pile methods, popular complints, screw pile method, noise & vibration-free screw PHC pile method, constructibility, applicability.

1. 서 론

각종 건설 공사시 말뚝 항타로 인한 지반의 진동, 소음, 매연 등은 가장 빈번하게 일어나는 건설공해 유형중의 하나이다. 항타공법의 경우 각종 건설공해 측면에서 적합하지 못한 실정이어서 도심지 주변이나 인근 민가주변에서의 시공은 많은 민원상의 문제를 일으키고 있다. 이와 같은 이유로 타입공법의 대안으로 저소음·저진동 공법으로 현장타설말뚝공법과 매입말뚝공법을 채택하고 있다.

현장타설공법은 말뚝의 단면적에 비해 비교적 침하량이 크고 기초지반의 이완으로 인하여 말뚝 주변의 마찰이 크게 감소되어 지반의 지지력이 부족해지기 쉬우므로 말뚝 본체에 작용하는 하중강도를 충분히 활용하지 못하는 비경제적인 시공이 되기 쉽고 매입말뚝공법은 이러한 단점을 보완하여 주면의 시멘트풀과 선단부의 흙-시멘트 혼합으로 주면마찰력을 증대시키고 선단의 침하를 최소화한 방법이다.

저소음·저진동 말뚝공법의 일종인 스크류 말뚝공법은 말뚝 본체를 회전·압입을 시켜 말뚝을 시공하는 방법으로 소음과 진동의 발생이 작고 지지력을 극대화 할 수 있으며 타공법과 달리 공기가 단축되므로 경제적이고 선단지지력를 극대화할 수 있는 장점을 가지고 있다. 국내에서는 스크류 말뚝 공법에 관한 연구는 거의 이루어지지 않았으며 특히 말뚝의 전체 길이에 스크류를 가지고 있는 스크류 말뚝은 국외에서도 사례를 찾아볼 수가 없다. 본 논문에서는 저소음·저진동 말뚝공법 및 스크류 말뚝 공법의 기술적 수준을 고찰하였으며 무소음무진동 스크류 PHC 말뚝공법의 시공성 및 적용 가능성 등을 고찰하였다.

2. 저소음·저진동 말뚝공법 소개

2.1 대구경 현장타설말뚝공법

2.1.1 올케이싱공법

(1) 올케이싱공법(All casing method)의 개요
올케이싱 굴착기를 사용하며 굴착공의 전체길이를 케이싱튜브로 공벽붕괴를 방지하는 것을 특징으로 한다. 압입할 때 저항으로 작용하는 튜브내의 토사는 해머그래브로 들어 올려 지상에 직접 배출한다. 굴착중에는 보일링을 방지하기 위해 굴착공에 물을 주입하여 수위를 유지시킨다. 굴착 완료후 1차 굴착공 저부처리를 하여 철근 트레미관을 근입하며 필요에 따라 2차 굴착공저부를 처리하고 콘크리트를 타설하여 케이싱튜브와 트레미관을 빼내어 말뚝을 형성한다.

(2) 특 징
공벽붕괴가 매우 적고 확실한 말뚝형태를 유지하기 쉬우며 슬라임의 침적량이 적다. 그리고 큰자갈이나 옥석(케이싱 튜브 내경의 1/3 이하)층의 굴착이 가능하고 콘크리트 품질에 대한 신뢰성이 높다. 하지만 말뚝직경, 굴착깊이에 제한이 있고 지하수위 아래에 두꺼운 세립 모래층(약5m이상)이 있으면 케이싱 튜브의 인발이 곤란하게 되는 경우가 많다. 또한 굴착도중 굴착공내에 물을 공급하지 않을 경우 산소결핍이나 유독가스가 발생할 수 있으며 보일링이나 히빙이 발생하기 쉽다는 단점이 있다.

2.1.2 어스드릴공법

(1) 어스드릴공법(Earth drill method)의 개요
굴착방법은 굴착기 전방에 부착된 어스드릴 선단의 캘리버 앞 끝에 굴착비트가 있는 굴착버켓을 부착하여 이것을 회전시켜 토사를 절삭 또는 긁어 내듯이 굴착한다. 굴착한 토사는 버켓안으로 밀어넣어 굴착공 밖으로 배출하는 방법을 채택하고 있다.
비교적 붕괴되기 쉬운 표층부에서는 강재케이싱으로 공벽을 유지하며, 깊은 곳에서는 벤토나이트를 주입하여 안정액에 의해 형성된 케이크와 지하수와의 수두차의 상호효과에 의하여 공벽붕괴를 방지한다.
굴착공 저부처리는 굴착버켓을 아래로 밀어서 버켓으로 교환해 1차 처리한다. 2차 굴착공 저부처리의 방법은 사용하는 안정액의 성질(기능)에 따라 다르다. 즉 고점성형 안정액을 사용하는 경우, 공내의 부유물의 침강시간을 늦춰 2차 처리를 생략하는 방법 또 저점성형에서는 단시간에 공내의 부유물을 침강시켜 철근 근입전에 저부 준설버킷으로 처리하는 방법 등이 있다. 어느 경우든지 장·단점을 가지고 있으므로 신중하게 처리할 필요가 있다. 철근망 근입 이후의 공법은 올케이싱 공법과 같다. 또, 작업면적이 좁은 경우에는 쓰이는 소형 어스드릴 굴착기나 켈리버와 이것을 회전시키는 구동장치만을 독립 소형화하여 켈리버의 승강을 따로 크레인으로 하는 소형 어스드릴 공법(정치식)등이 있다.

(2) 특 징
올케이싱 공법에 비하여 소음과 진동이 작고 비교적 소형의 기계로 대구경 또는 깊은 말뚝 시공이 가능하다. 그리고 안정액을 사용하기 때문에 공벽 붕괴 방지가 가능하고 드릴링 버킷을 사용하기 때문에 경질토층의 굴착이 가능하다. 큰 자갈(직경 약 12cm)이 있으면 굴착이 곤란하고 안정액의 관리가 어려워 지지력, 콘크리트 강도의 저하나 공벽붕괴가 일어나는 경우가 있다

2.1.3 RCD공법

(1) RCD공법(Reverse circulation drill method)의 개요
토질에 적합한 비트를 회전시켜 지반을 굴착하고, 절삭한 토사를 공내의 이수(자연이수)와 함께 지상으

로 배출한다. 배출된 토사 및 혼합이수는 지상의 슬러지 탱크 등에 토사를 침전시켜 물만 공내로 돌리는 순환방식을 쓰고 있다. 이 순환방법은, 시추 보링과는 완전히 역순으로 되어 있기 때문에 역순환(reverse circulation)공법이라 부른다.

굴착공벽의 보호방법으로 비교적 붕괴하기 쉬운 표층부에서는 강제 스탠드파이프(케이싱과 같음)를 사용하고 깊은 곳에서는 역순환하는 이수중의 세립토가 벤토나이트와 유사한 기능으로 벽을 형성하고 지하수와의 수두차에 따른 상호 효과를 이용하고 있다. 그러나 형성된 벽은 벤토나이트 벽과 비교하면 강도가 작아 수두유지가 특히 중시되고 있다.

굴착기는 회전장치와 흡입 펌프를 지상에 설치하고 비트를 로드관 회전장치(로터리 테이블)와 접속한 지상형과 회전장치와 비트를 일체화하여 굴착공내에 매다는 매설형이 있다. 또 매설형에는 회전장치에 이수를 끌어올리는 펌프를 내장한 것도 있다.

굴착완료 후의 굴착공 저부처리를 하는데 이수의 순환기구를 이용하여 굴착공내에 부유하는 조립자를 지상으로 배출한다(탁수교환). 이때 비트를 굴착공저부보다 약간 높게 설치하여 굴착흙의 빨아올림을 방지한다(1차 처리) 철근과 트레미관의 진입중에 굴착공 저부에 침전물이 쌓이는 경우에 트레미관 상부에 켈리버를 접속해 흡입펌프로 침전물을 빨아 올린다(2차 처리).

(2) 특 징

기계굴착에 의한 현장타설말뚝공법중에서 가장 소음, 진동이 적고 직경 3m의 대구경, 깊이 70~80m정도 까지 시공가능하다. 역순환굴착 공법이기 때문에 공내의 이수강하 속도가 늦고 붕괴 방지가 용이하고 특수장치에 의해 연·경암의 굴착이 가능하다. 드릴 파이프 내경(200~300mm)의 80%이상인 옥석이 있는 경우 굴착 곤란혹은 불능이 되고 머드케익(mud cake)를 형성할 수 없을 정도의 복류수나 지표면까지 분출할 것 같은 피압수가 있는 경우는 시공이 곤란하다(정백, 1996).

2.2 유공강관 중구경 현장타설말뚝공법

(1) 개 요

케이싱을 삽입함과 동시에 오거와 T4(에어해머, 필요시 장착)를 사용하여 소요 깊이까지 천공한 후, 삽입된 오거를 인발하고 트레미관을 사용하여 콘크리트를 타설하는 공법으로, 보강재료는 철근망 대신 유공강관을 사용한다.

(2) 특 징

콘크리트 타설후 기존의 철근망 대신 유공강관을 압입하므로 재료분리 현상 및 부력에 의한 유공강관 떠오름 현상이 발생하지 않고 진동·소음 발생이 적어 민원발생이 적고 말뚝이음(유공강관)을 별도 시행하므로 공정에 지장이 없다. 그리고 말뚝 두부에 두부 보강용 케이싱 및 철근망을 사용하여 말뚝과 확대기초와의 강결조건을 확보함으로써 내진에 대한 저항성이 향상된다.

2.3 매입말뚝공법

2.3.1 SIP공법

(1) 개 요

SIP공법(Soil cement injected pile method)은 소요의 말뚝직경보다 100mm정도 큰 연속오거나 교반용 날개를 부착하여 천공하며 굴착한 후 오거를 인발하면서 시멘트 페이스트를 주입하고 최종적으로 기성말뚝을 삽입 후 필요시 최종 경타하는 공법이다.

(2) 시공절차

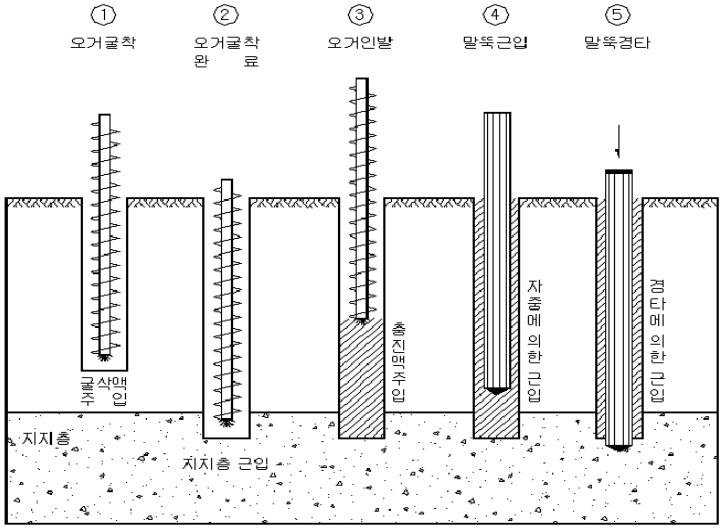

그림 1. SIP공법의 시공순서

(3) 특 징

소음, 진동이 적어 민원의 발생이 적고 시멘트 밀크를 주입함으로서 주aus마찰력의 확보가 용이하며 시멘트 밀크를 주입과 동시에 선단부의 교반이 이루어 지므로 선단부의 강도를 높일 수 있다. 최종 경타를 실시할 경우 타격음이 발생되고 모래자갈층의 천공시에는 공벽의 무너짐이 발생되어 말뚝의 관입이 불가한 경우가 발생하며 풍화암층의 천공은 가능하나 단단한 풍화암의 경우에는 천공이 어렵고천공시 주변 지층의 이완 작용이 일어날 수 있는 단점이 있다(2002, 추중팔).

2.3.2 SDA공법

(1) 개 요

SDA공법(Separation doughunt auger method)은 DRA(Daechang rotary auger)공법으로도 불리우며 상호 역회전하는 상부 오거스크류와 하부 케이싱스크류로 동시에 지반을 천공하고, 말뚝을 삽입한 후 회전관입 또는 경타 시공하는 공법이다.

(2) 시공절차

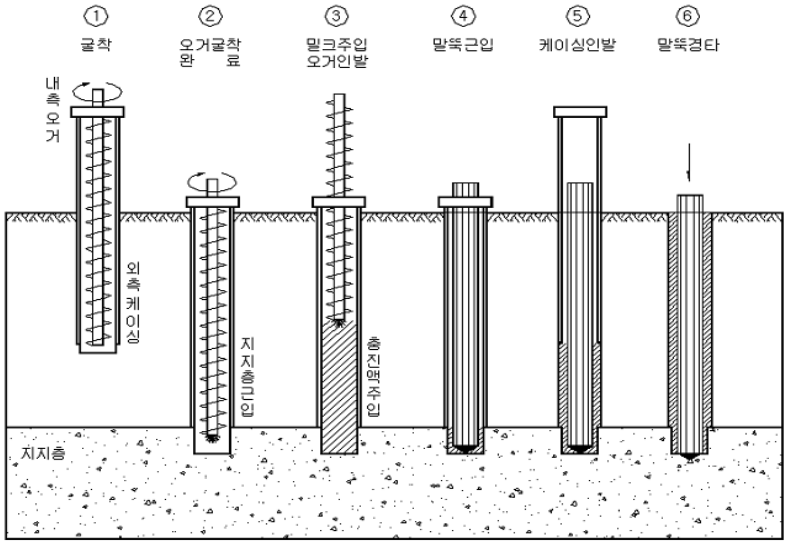

그림 2. SDA공법의 시공순서

(3) 특 징

굴착효율이 높아 풍화대나 연암반도 굴착이 가능하고 회전관입방식으로 말뚝을 시공할 때는 물론이고 경타를 하더라도 횟수가 적어 소음과 진동을 최소화 할 수 있다. 그리고 말뚝과 공벽사이를 시멘트밀크로 충진하기 때문에 지반이 교란되는 것을 최소화 할 수 있으며 마찰지지력과 수평지지력 확보가 용이하다(2002, 채수근).

2.3.3 PRD공법

(1) 공법의 개요

PRD공법(Perocussion Rotary Method)은 SDA 공법과 T4 공법을 조합한 공법이다. SDA공법시 천공이 어려운 호박돌층 및 연안층의 천공이 가능한 공법으로 기존의 SDA 공법시 외측오거에는 케이싱을 그리고 내측오거에는 스크류를 장착하지만 PRD공법에서는 스크류의 선단에 T4 햄머를 장착함으로서 천공이 불가능한 지층을 천공하는 공법으로서 매립층 및 호박돌층등 모든 지층의 천공할 수 잇는 공법이다.

(2) 시공절차

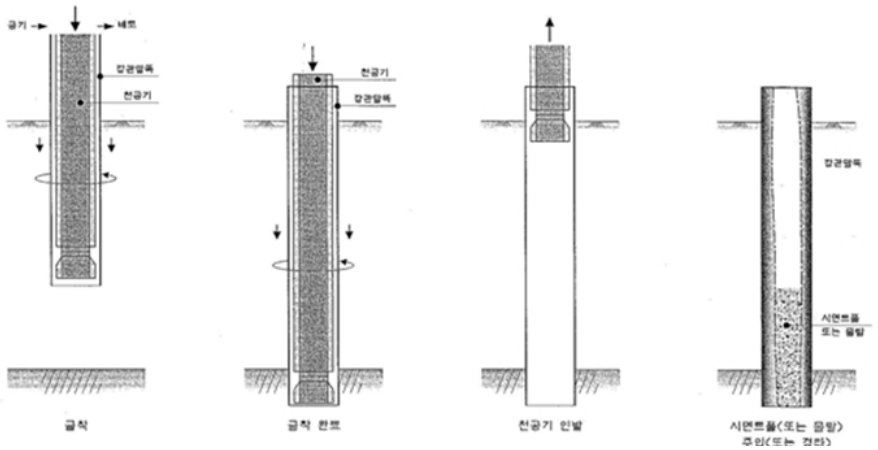

그림 3. PRD 공법의 시공순서

(3) 특 징

올케이싱공법이므로 케이싱 하단부에 케이싱슈를 부착시켜 불규칙한 지층을 케이싱슈가 좌회전하면서 관입되고 로드에어해머를 이용한 해머비트는 우회전하면서 혼전석층 및 연경암을 상-하 타격으로 파쇄굴착하여 어떠한 지층이라도 한번에 설치가능하며 암반 슬라임 자체는 로드, 해머, 타격로서 에어서징하는 특징이 있고 굴착공 청소 또한 깨끗하게 처리 할 수 있다. 또한 굴진 속도가 빠르고 조정 및 수직도를 유지시킬 수 있으며 건식이므로 현장이 깨끗하고 올케이싱공법이므로 붕괴 우려가 없다는 장점이 있지만 장비조립 완료 후 이동시 복공판 설치를 하여야 하며 지반이 좋지 않을 경우 바닥 레벨에 레미콘을 150mm 이상 타설하여야 해야 하는 단점이 있다.

2.3.4 SAIP공법

SAIP공법(Special Auger Injected Precast Pile)은 내경이 소요 말뚝 구경보다 5~10cm 정도 큰 직경의 케이싱 외부에 나선형 날개를 하부에는 개폐식 슈를 장착하거나 매입용 슈를 설치하여 지반을 천공한 후 케이싱 내부에 기성말뚝을 삽입하고 충진액을 주입하면서 케이싱 오거를 인발한다. 마무리 경타를

실시하여 말뚝을 선단지지 시키는 매입공법의 일종이다.

3. 스크류 말뚝공법 기술적 수준

3.1 기존 스크류 말뚝공법

3.1.1 선굴착 스크류 말뚝공법

(1) 개요

국내에서는 선굴착 후 스크류말뚝을 회전·압입함으로 시공하는 방법과 선굴착 없이 스크류 말뚝을 회전·압입으로 시공하는 방법이 개발되어 있다.

선굴착 스크류 말뚝공법은 그림 4에 나타낸 것과 같이 말뚝 선단부에 지반 굴삭용 금구나 선단 슈가 부착되고 나선형 돌기가 부착된 선단 평면형 스크류 말뚝을 지반에 회전·압입하여 시공하며 선단 평면형 스크류 말뚝을 소정의 깊이까지 도달시키는 것이다.

(2) 시공절차

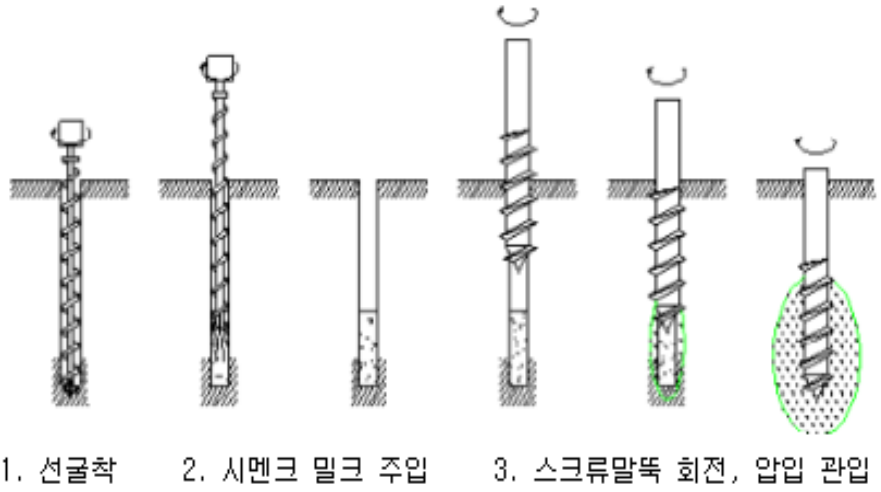

그림 4. 선굴착 스크류말뚝의 시공개요도

선단 원추형 스크류 말뚝은 오거의 선단부를 통하여 굴착공 저면에 일정량의 시멘크밀크를 주입하고 오거를 천천히 인발한다. 그 후 굴착공보다 직경이 큰 선단 원추형 스크류 말뚝을 회전시키면서 압입하는 방법으로 말뚝을 굴착 벽이 외곽으로 밀리면서 주변지반이 다져지게 되어서 말뚝의 주면마찰력이 커지게 된다(이충원, 2002).

(3) 특징

선단 원추형 스크류 말뚝을 굴착공에 계속 관입시키게 되면 스크류 말뚝이 굴착공에 관입되는 체적만큼 시멘트밀크가 주변 지반으로 침투되어 주변지반을 고결시키기 때문에 주변지반의 강도가 증가하여 말뚝의 선단지지력이 증가하게 된다(백규호, 2002).

3.1.2 선단부 스크류 강관말뚝공법

(1) 개요

선단부 스크류 강관말뚝공법은 말뚝선단부에만 스크류 날을 부착하여 회전·압입하므로 소정의 깊이까

지 도달시키는 것이다. 선단부 스크류 강관말뚝공법은 국외에서 많이 사용되어지고 있으며 소구경으로 제작되어 사면보강, 송전탑, 구조물보강 등에 많이 시공되어지고 있다.

(2) 시공절차

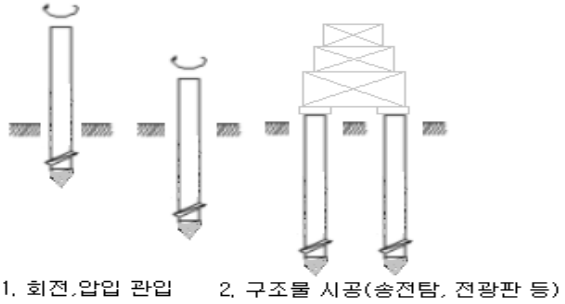

그림 5. 선단부 스크류 말뚝공법 시공절차

(3) 특징

말뚝을 회전·압입하여 시공하므로 소음과 진동이 적고 소구경이기 때문에 관입속도가 빠르고 시공이 단순하다. 그리고 스크류날이 부착되어있어 지지력이 증가하게 된다. 소구경 스크류 강관말뚝을 사용하므로 도심지에서의 구조물 보강에 많이 사용되어지고 있다.

3.2 무소음무진동 스크류 PHC말뚝공법(Screw PHC Pile Method)

3.2.1 특 징

무소음무진동 스크류 PHC말뚝공법은 소음과 진동이 발생하지 않고 배출되는 슬라임이 감소되는 환경친화적공법(Environmentally friendly method)이다. 그리고 주면마찰력을 극대화 할 수 있고 타공법(직타공법, SIP공법)과 달리 항타 및 마무리 경타가 필요치 않아 소음과 진동을 완전 감소시킬 수 있다. 또 굴착공의 형성이 곤란한 토질에서도 굴착공의 붕괴를 방지할 수 있어 케이싱 없이 시공하므로 경제성이 우수하며 단일 장비로서 기존 말뚝파일 시공방법과 동일한 공정으로 처리되므로 공정이 단순하고 그 만큼 공기단축의 효과도 우수하다.

3.2.2 시공절차

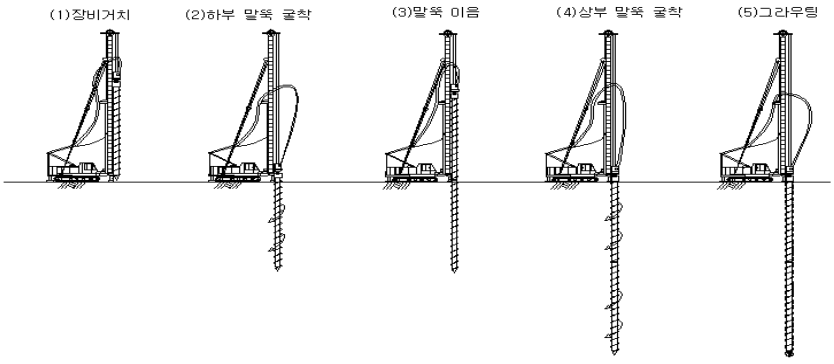

그림 6. 무소음무진동 스크류 PHC말뚝공법의 시공개요도

3.2.3 시공용 주요 장치

(1) 동력전달장치

현장에 시공하기 위해서는 스크류 말뚝을 회전·압입 시켜야 하는데 동력전달장치인 오거(Auger)가 사용되어진다(그림 7). 오거 모터에서 발생된 회전력을 스크류 말뚝에 효율적으로 전달하고 동시에 스크류 말뚝을 견인하여 관입시켜 말뚝에 회전력을 가함으로써 굴착공벽의 함몰을 최소화할 수 있는 동력전달장치이다. 현재 개발되어 있는 동력전달장치는 시공장비의 오거 모터와 연결되어 모터의 회전력을 동력전달장치를 통해 말뚝에 전달하는 기능을 하는 육각 기둥과 스크류 말뚝의 두부에 대칭으로 부착된 두 개의 돌기와 결합되는 'ㄱ'자 모양의 홈을 갖는 본체로 되어진 것과 말뚝 두부의 육각을 유압으로 결합하여 회전을 줄 수 있는 오거가 개발되어져 있다. 스크류 PHC말뚝공법의 오거 동력전달장치는 3~30회/분의 회전을 조절할 수 있어 지반조건에 따라 회전력을 조절할 수 있다. 그리고 유압으로 말뚝을 장착하여 시공하므로 회전전달에 용이하며 말뚝두부의 파손 없이 장착할 수 있다.

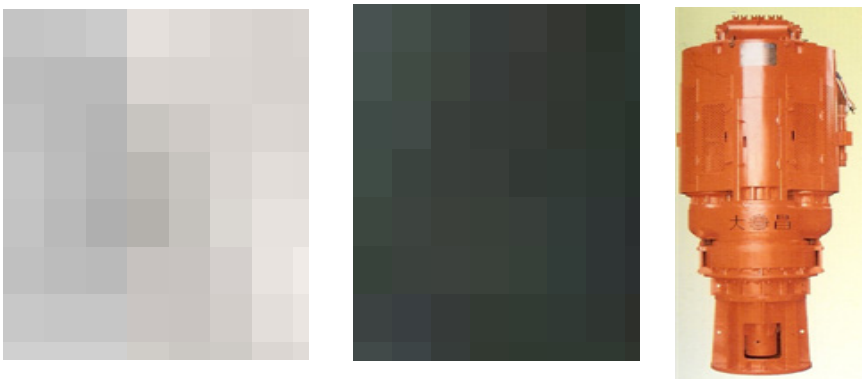

그림 7. 동력전달장치 오거종류

(2) 스크류 PHC말뚝

스크류 PHC말뚝은 기존 PHC말뚝에 스크류날이 일체로 부착되어져 있다. 그 상세도를 그림 8에 나타내었다.

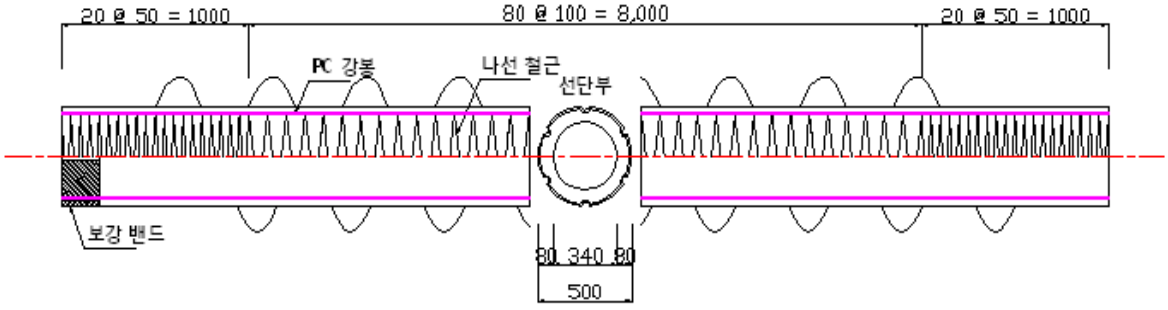

그림 8. 스크류 PHC말뚝 상세도

(3) 이음부

스크류 PHC말뚝의 이음부(그림 9)는 말뚝두부의 압입력만 있는 기존 공법과 달리 회전·압입으로 시공하기 때문에 회전력에 대한 저항성이 있어야 한다. 따라서 기존 말뚝 이음부의 연결캡보다 저항성을 높이기 위해 스크류 PHC말뚝의 연결캡은 t = 10mm, h = 200mm 로 되어있다.

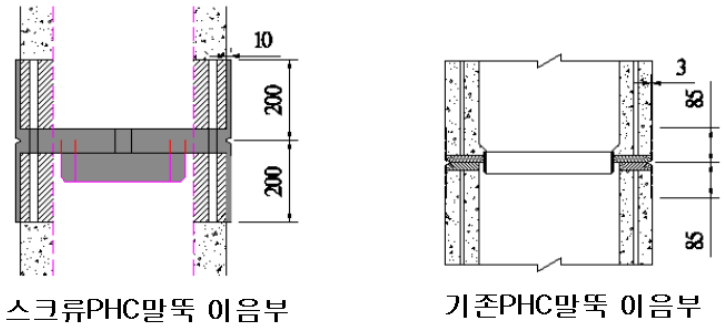

그림 9. 스크류PHC말뚝 이음부

(4) 선단슈

스크류 PHC말뚝은 선단슈에 돌기형 조립슈(그림 10)를 부착하였으므로 회전관입시 시공성을 개선하였다.

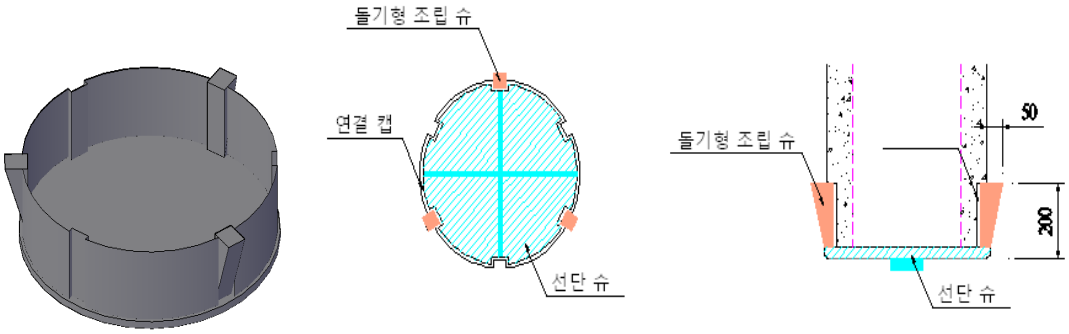

그림 10. 스크류PHC말뚝 선단슈

4. 무소음무진동 스크류 PHC말뚝공법의 시공성 및 적용성 분석

4.1 시공성 분석

스크류 PHC말뚝에서는 타공법에 비해 굴착공 형성이 필요없으므로 케이싱이 사용되지 않고 선굴착 작업이 필요가 없으므로 공기가 단축되는 효과를 얻을 수 있고 타공법에 비해 최종경타가 필요없기 때문에 소음과 진동이 없다. 그리고 무엇보다 회전하여 시공을 하기 때문에 슬라임 배출량이 적고 지지력을 극대화 할 수 있으므로 시공성이 좋다.

현재까지 개발되어져 사용되고 있는 저소음·저진동 공법들의 시공성을 비교하여 표 1에 요약하였다.

표 1. 스크류말뚝공법과 기존 공법 시공성 비교표

내 용	대구경 현장타설공법	저소음저진동 매입말뚝공법	기존 스크류 말뚝공법	무소음무진동 스크류 PHC 말뚝공법
소음・진동	보 통	보 통	없 다	없 다
슬라임 배출	많 다	보 통	보 통	적 다
주면마찰력	보 통	보 통	크 다	크 다
굴착공형성	케이싱. 약액주입	케이싱,약액주입	있 다	없 다
공 정	복 잡	복 잡	단 순	단 순
선 굴 착	있 다	있 다	있 다	없 다
환경친화성	낮 다	낮 다	보 통	높 다

4.2 적용성 분석

스크류 PHC말뚝공법은 소음과 진동이 발생이 작아 인접건물이 있을시 적용성이 높다. 그리고 공정이 단순하여 적용성은 매우높다.
저소음·저진동 말뚝공법의 적용성을 표 2에 나타내었다.

표 2. 저소음·저진동 말뚝 공법 적용성 비교

구분	적 용 성	
항타말뚝공법	항타 및 마무리 경타로 인한 소음과 진동으로 민원의 발생 소지가 있고 슬라임 발생이 많다. 인접건물이 있을시 적용이 어렵다.	낮 다
매입말뚝공법	굴착 시 진동과 최종 경타 시 소음으로 인한 민원이 발생하며 굴착공 형성후 말뚝을 시공하기 때문에 공사단계가 복잡하다. 인접건물이 있을시 적용이 어렵다.	보 통
스크류 말뚝공법	소음과 진동이 작고 선단부에 시멘트밀크 주입후 말뚝을 관입하기 때문에 주면마찰력을 극대화 할 수 있다. 인접건물이 있을시 적용이 가능하다.	높 다
무소음무진동 스크류 PHC말뚝공법	소음과 진동이 발생하지 않고 배출되는 슬라임이 감소되는 친환경공법이며 그리고 주면마찰력을 극대화 할 수 있고 케이싱 없이 시공하므로 경제적이고 공정이 단순하다. 인접건물이 있을시 적용이 가능하다.	매 우 높 다

5. 결 론

본 논문의 결론은 다음과 같다.

1) 기존 저소음·저진동 공법은 최종경타나 시공과정에서 일어나는 소음과 진동이 발생하게 되지만 스크류말뚝공법은 회전·압입으로 시공하고 최종경타를 하지 않기 때문에 소음과 진동이 발생하지 않아 도심지에서의 시공이 용이하다.
2) 선굴착후 시공하는 기존공법에 비해 스크류말뚝공법은 선굴착을 하지 않아 지반의 교란이 적기 때문에 지지력을 극대화 할 수 있다.
3) 굴착공형성이 곤란한 지반에서도 케이싱을 사용하지 않기 때문에 경제적이고 시공 공정이 단순하기 때문에 공기가 단축되는 효과를 얻을 수 있다.
4) 기존 공법에 비해 시공성과 적용성이 매우 높다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부 및 한국산업기술재단의 2008년도 지역혁신인력양성사업(과제번호 : 20080703160330)의 지원을 받아 수행되었음

참고문헌

1. 정백(1996), “저소음·저진동 말뚝기초”, 엔지니어즈
2. 추중팔(2002), “재하시험을 통한 선굴착매입말뚝(SIP)의 지지력 특성에 관한 연구”, 한경대 대학원 공학석사학위 논문
3. 채수근(2002) “SDA 매입말뚝의 연직지지력 산정”, 중앙대 건설대학원 공학석사학위 논문
4. 백규호(2002), “경량전철 선로구축 기술개발 사업 보고서”, 포항산업과학 연구원
5. 이충원(2002), “선굴착 스크류 말뚝공법의 개발과 지지력 특성 연구”, 고려대학교 대학원 공학석사학위 논문