

나선돌기형 선굴착말뚝 공법의 지지력 특성

Characteristics of the Bearing Capacity for Spirally-Reamed SIP Method

백 규 호¹⁾, Kyu-Ho Paik, 오 성 남¹⁾, Sung-Nam Oh

¹⁾ 산업과학연구원 철강엔지니어링센터 주임연구원, Associate Reacher, Steel Structure Technology Div.,
Research Institute of Industrial Science & Technology

SYNOPSIS : Environmental considerations in the pile foundation works necessitate the development of pile installation methods with low noise and low vibration. Various methods for pre-cast piles have been proposed and put into practice. However, the SIP method commonly used in our country has two problems those are inferiority in the bearing capacity compared with driving method and generating of noise and vibration as before.

In this study, the Spirally-Reamed SIP method and Under-Reamed SIP method were proposed. The field tests showed that the noise was practically removed and the bearing capacities were fairly improved.

Key Words : SIP, noise, vibration, bearing capacity, spirally-reamed SIP, under-reamed SIP

1. 서 론

최근들어 경제가 급속히 발전하면서 환경문제에 대한 사회적 관심이 고조됨에 따라 건설현장에서 발생하는 소음·진동 및 분진 등으로 인한 건설공해가 많은 문제를 일으키고 있다. 특히 대도시 건설현장의 경우 우리나라 말뚝기초 공법의 대중을 이루는 항타공법은 소음과 진동은 물론 유연에 의한 공해를 유발하므로써 그 사용이 제한되고 있으며, 이로 인해 민원 등의 문제가 발생할 경우에는 공사중에 시공법을 변경해야 하는 등 시공상 막대한 지장을 초래하는 경우가 자주 발생하고 있다. 이에 따라 국내외의 많은 건설업체들은 도심지 및 인근지역에서 말뚝기초 공사를 성공적으로 수행하기 위하여 각종 저공해말뚝 공법을 개발·적용하고 있으며, 그 사용은 계속 증가하는 추세에 있다. 국내에서는 이들 저공해말뚝공법중 매입말뚝공법의 일종인 SIP공법이 가장 많이 사용되고 있으며, 지지력을 발현하는 방식에 따라 침설방식과 타격방식으로 구분된다. 그러나 SIP공법은 직항타공법에 비하여 시공비가 상당히 고가임에도 불구하고 침설방식은 지지력 측면에서 그리고 타격방식은 소음·진동 측면에서 만족스런 결과를 주지 못하므로써 공법 개선의 필요성이 대두되고 있다.

특히 도심지 재개발 공사의 물량이 급속히 증가하고 있는 현 시점에서 도심지에서 말뚝기초 공사의 원활한 수행을 위해서는 소음·진동의 감소는 물론 현재보다 지지력이 향상된 저공해말뚝의 개발이 시급한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 침설방식이나 타격방식의 매입말뚝(혹은 SIP공법)에 비해 현재보다 소음과 진동은 감소되고 말뚝의 지지력은 증가되도록 개발된 나선돌기형 매입말뚝공법과 선단확대형 매입말뚝공법의 특성과 시공방법을 소개하였다. 그리고 이 공법의 현장 적용성 조사를 위하여 수행한 현장시험결과를 이용하여 시공성의 검토는 물론 기존 매입말뚝공법과의 지지력 특성을 비교 분석하였다.

2. 매입말뚝공법의 문제점

기성말뚝을 이용하는 저공해 말뚝공법은 표 1과 같이 방음커버나 유압햄머를 이용하여 시공하는 신형 햄머 이용방법과 지반에 미리 구멍을 판 후 말뚝을 압입, 회전 혹은 타격에 의하여 설치하는 매입말뚝공법, 그리고 말뚝의 중공부를 통해 설치된 오가(auger)로 지반을 굴착하면서 말뚝을 압입 혹은 경타하는 속과기 말뚝공법으로 구분된다(永見晃一 등, 1986).

표 1. 저공해 말뚝공법의 종류와 장단점

분류	공법명	시공법	장단점
신형 햄머 이용 방법	신형햄머 이용공법	말뚝과 햄머를 방음카바로 감싸고 향타	약 20%의 소음저감효과와 유연의 비산이 방지됨. 진동저감효과 거의 없음.
	유압햄머 이용공법	방음구조의 유압햄머 사용	소음저감효과와 유연비산이 방지됨. 진동저감효과 거의 없음.
매입 말뚝 공법	침설방식	굴착공을 성형하고 시멘트밀크를 주입한 후 말뚝을 삽입하고 고결	소음·진동이 없음. 지반교란으로 지지력 저하.
	타격방식	굴착공 성형하고 시멘트밀크 주입 후 말뚝 삽입하고 최종 향타	침설방식에 비하여 지지력이 큼. 상당한 크기의 소음·진동이 발생.
	RODEX 공법	특수 오거로 굴착공 저면을 확대성형하고 시멘트밀크 주입 후 말뚝을 삽입	완전한 비타격 공법으로 저공해 시공이 가능.
속과기 말뚝 공법	속과기 근고공법	오가로 지반을 굴착하면서 말뚝을 압입한 후 오가를 통해 주입된 시멘트밀크를 지반과 혼합시켜 고결	완전한 비타격 공법으로 저공해 시공이 가능. 최대 65m까지 시공가능
	속과기 타격공법	오가로 지반을 굴착하면서 말뚝을 압입한 후 소정의 심도에서 말뚝을 타입	말뚝의 선단지지력이 비교적 큼. 향타로 인한 소음·진동 발생.
	TN공법	오가로 지반을 굴착하면서 말뚝을 압입한 후 선단부에 고압의 시멘트밀크를 분사하여 확대구근 조성	소음과 진동이 없고 지지력이 상대적으로 큼. 최대 90m 깊이까지 시공
	TAIP공법	오가로 지반을 굴삭하면서 말뚝을 압입한 후 오가로 주입된 시멘트밀크를 토사와 혼합하여 확대구근을 조성	완전한 비타격공법으로 저공해 시공이 가능하고 선단지지력이 양호. 최대 50m 깊이까지 시공 가능

이중에서 현재 국내에서는 비교적 시공이 간편한 침설방식 매입말뚝공법과 타격방식 매입말뚝공법을 가장 많이 사용하고 있다. 매입말뚝공법은 그림 1과 같이 오거로 소정의 깊이까지 지반을 천공하고 굴착공에 시멘트밀크를 주입하면서 오거를 인발한 후 기성말뚝을 굴착공에 설치하는 것이다. 그중 침설방식의 경우에는 말뚝을 굴착공에 압입하므로써 말뚝의 향타시 발생하는 소음과 진동을 근원적으로 차단해 건설공해를 완전히 배제할 수 있고, 타격방식은 말뚝을 굴착공에 삽입한 후 말뚝에 타격을 가하여 말뚝의 선단지지력을 증대시킬 수 있는 공법이다.

그러나 매입말뚝공법은 지지력의 발현과정에서 말뚝의 지지력을 구성하는 주변마찰력과 선단지지력을 극대화시킬 수 없는 몇가지 문제점을 갖고 있다. 침설방식의 경우 굴착공의 성형시 발생하는 지반의 교란 및 응력이완으로 인하여 매입말뚝 지지력의 약 60%를 차지하는 것으로 알려진 주변마찰력이 직타말뚝에 비하여 작게 되며, 특히 굴착공 저면에 존재하는 슬라임의 제거가 불완전한 경우에는 말뚝의 선단부가 슬라임위에 위치하게 되므로 이러한 경우에는 선단지지력이 매우 취약하게 된다. 또한 Kusakabe 등(1994)의 실험결과에 의하면 말뚝의 선단부는 굴착공 저면으로부터 말뚝직경의 2~4배 이상 떨어져야 매입말뚝의 선단지지력이 최대가 되는 것으로 밝혀졌다. 즉, 말뚝이 굴착공의 저면에 근접해 있는 경우에는 기성말뚝의 아래 존재하는 충전재의 파괴로 인하여 선단지지력 성분이 말뚝의 단면부분에만 작용하게 되고, 말뚝이 굴착공의 저면에서 상당 거리만큼

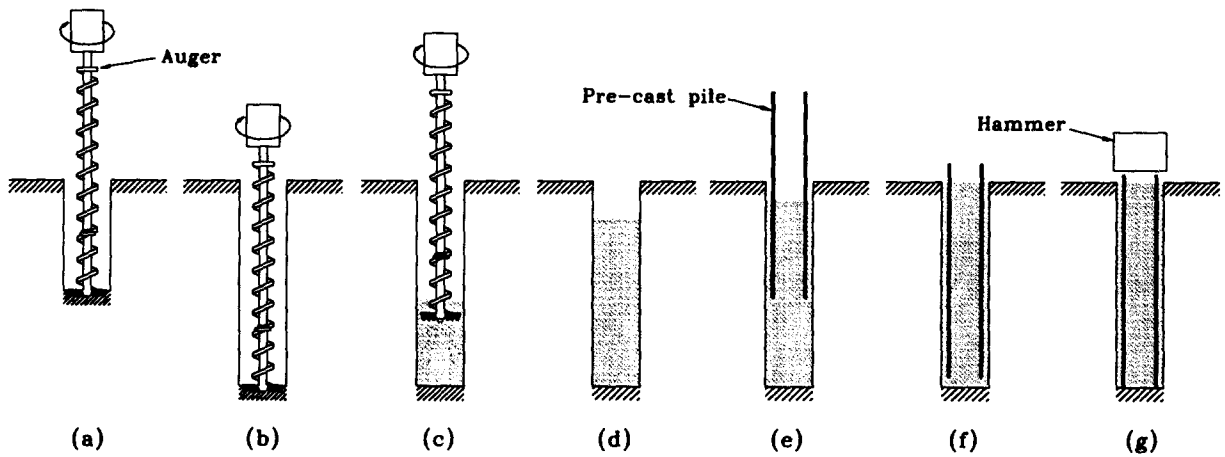


그림 1. 침설방식(a~f) 및 타격방식(a~g) 매입말뚝의 시공법

떨어져 있는 경우에는 말뚝의 선단부가 충전재에 의하여 지지되므로 충전재에 의하여 형성된 단면 전체에 지지력이 발휘되어 선단지지력이 커지게 된다. 이처럼 침설방식에 의한 매입말뚝의 선단지지력이 작은 것은 굴착공에 잔존하는 슬라임에 의한 영향도 있지만 기성말뚝의 선단부와 굴착공 저면간에 일정 거리를 확보하지 못하기 때문이기도 하다.

타격방식은 굴착공의 저면에 약간의 슬라임이 존재하더라도 시멘트밀크가 주입된 굴착공에 기성말뚝을 삽입한 후 말뚝을 지지층까지 타입하게 되므로 항타를 행하지 않는 침설방식의 경우보다 지지력(특히 선단지지력)이 우수하게 된다. 그러나 말뚝의 지지력을 증대시키기 위하여 항타과정이 추가되기 때문에 직타말뚝보다는 작지만 상당한 크기의 소음과 진동이 발생하게 된다. 그림 2는 $\phi 350\text{mm}$ 의 말뚝을 직타공법(유압햄머 7ton)과 침설방식 및 타격방식(유압햄머 7ton)의 매입말뚝공법으로 시공할 때 발생하는 소음과 진동의 거리별 크기를 측정 한 것이다(대한주택공사, 1996). 그림 2(a)에 보이듯이 소음은 직타공법이 가장 크고 매입말뚝의 타격방식과 침설방식의 순으로 작기는 하지만 타격방식의 경우에는 직타공법의 경우와 큰 차이를 보이지 않고 있으며, 타격방식의 경우 항타지점에서 20m 떨어진 지점에서 소음 크기가 70dB을 넘고 있어 표 2의 건교부 제정 소음기준치를 이미 초과하고 있다. 그러나 침설방식의 경우에는 항타지점에서 20m 떨어진 지점에서 소음정도가 70dB 이하로 건교부 제정 소음기준치를 만족하는 것을 볼 수 있다. 또한 그림 2(b)에 보이는 바와 같이 진동 역시 직타말뚝이 가장 크고 매입말뚝의 타격방식과 침설방식 순으로 작으며, 매입말뚝의 두가지 방식에 의한 진동은 60dB 이하로 건교부 제정 진동규제치를 만족하고 있다. 따라서 말뚝의 시공에 의한 소음과 진동의 크기는 말뚝조건과 지반조건에 따라 달라지는 하지만 대략적으로 매입말뚝공법중 침설방식만이 건교부의 소음·진동 규제기준을 만족하는

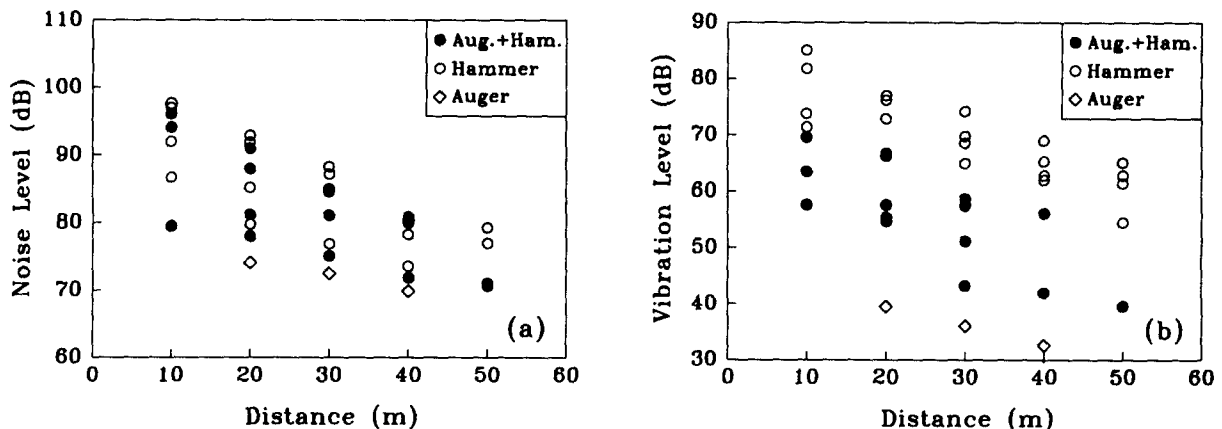


그림 2. 각 매입말뚝공법에 대한 건설공해 측정치 (a) 소음 (b)진동

것으로 보여진다.

표 2. 건설 소음 및 진동 규제기준

대상지역	항목 및 시간	소음기준		진동기준	
		주간	야간	주간	야간
주거 및 녹지지역, 자연환경 보전지역, 학교, 병원, 공공도서관의 부지 경계로부터 50m이내 지역		70dB(A)이하	55dB(A)이하	65dB(A)이하	60dB(A)이하
상업 및 공업지역, 미고시지역 농림 및 준도시지역중 취락지구의외의 지구		75dB(A)이하	55dB(A)이하	70dB(A)이하	65dB(A)이하

한편, 그림 3은 말뚝의 시공방법에 따른 단위 면적당 지지력에 대한 공사비를 비교한 것으로, 매입말뚝공법에서 침설방식은 디젤햄머를 이용한 직타말뚝의 경우에 비해 약 6배 정도 그리고 타격방식은 직타말뚝의 2~3배가 소요되기 때문에 매입말뚝의 경제성은 직타말뚝에 비하여 크게 떨어져 있다(홍성완 등, 1995). 따라서 매입말뚝공법이 건교부 제정 소음·진동 규제치를 만족하면서 경제성 또한 확보하기 위해서는 침설방식 매입말뚝의 지지력을 증대시키는 것이 필수적이다.

3. 나선돌기형 및 선단확대형 매입말뚝공법

침설방식 매입말뚝의 주면마찰력과 선단지지력을 증대시키기 위하여 본 연구에서는 나선돌기형 매입말뚝과 선단확대형 매입말뚝공법을 개발하였다. 나선돌기형 매입말뚝공법은 일반 매입말뚝과 같이 오가를 이용하여 소정의 깊이까지 굴착공을 성형하고 시멘트밀크를 주입한 후 말뚝의 선단부에 돌기와 교반빔이 부착된 말뚝을 시멘트밀크가 주입된 굴착공에 회전하면서 압입시키는 공정으로 되어 있다(그림 4). 여기서 말뚝 선단부에 부착된 두개의 돌기는 말뚝이 굴착공에 회전·압입될 때 굴착공벽에 나선형의 돌기를 형성하여 말뚝의 주면마찰력을 증대시키는 역할을 하게 된다. 그리고 교반빔은 말뚝이 회전되면서 굴착공의 저면에 도달했을 때 굴착공 저면의 교란된 흙이나 슬라임을 시멘트밀크와 교반하여 말뚝 선단부의 지반을 고결시켜서 선단지지력을 증대시킴과 동시에 말뚝의 선단부를 굴착공 저면으로부터 상당거리 띄우므로써 시멘트밀크의 관입파괴(punching failure)에 의한 선단지지력의 저하를 방지하는 역할도 하게 된다(그림 5(a)).

선단확대형 매입말뚝공법은 나선돌기형과 마찬가지로 오가를 이용하여 굴착공을 성형하고 시멘트밀크를 주입한 후에 그림 5(b)와 같이 말뚝 선단부에 확대구근을 성형하기 위한 확대날(expansive cutter)과 말뚝 선단부의 지반을 고결시켜 선단지지력을 증대시키는 역할을 하는 교반빔이 부착된 말뚝을 시멘트밀크가 주입된 굴착공에 회전하면서 압입하고, 말뚝 선단부가 굴착공 저면에 도달된 후에는 최종적으로 역회전시키는 공정으로 구성되어 있다(그림 6). 여기서 확대날은 말뚝이 정방향으로 회전하면 확대날의 수평거리가 말뚝의 직경보다 약간 큰 상태로 유지되다가 역방향으로 회전하면서 축방향을 가하면 확대날이 말뚝직경의 2배 정도까지 퍼지도록 제작되었다(그림 7). 따라서 말뚝이 굴착공에 회전·압입되는 과정에서는 나선돌기형과 마찬가지로 굴착공벽에 나선형의 돌기가 형성되며, 말뚝이 굴착공 저면까지 도달한 후 역회전시키면서 압입하면 확대날이 퍼짐에 의하여 말뚝의 선단부에는 그림 6(d)와 같은 형상의 구근이 형성된다. 이 확대구근의 직경은 말뚝직경의 2배 정도까지 시공이 가능하므로 말뚝의 선단지지력을 상당히 증대시키는 역할을 하게 된다.

4. 시험시공

나선돌기형 및 선단확대형 매입말뚝공법의 시공성과 지지력 증대효과를 검토하기 위하여 그림 8과

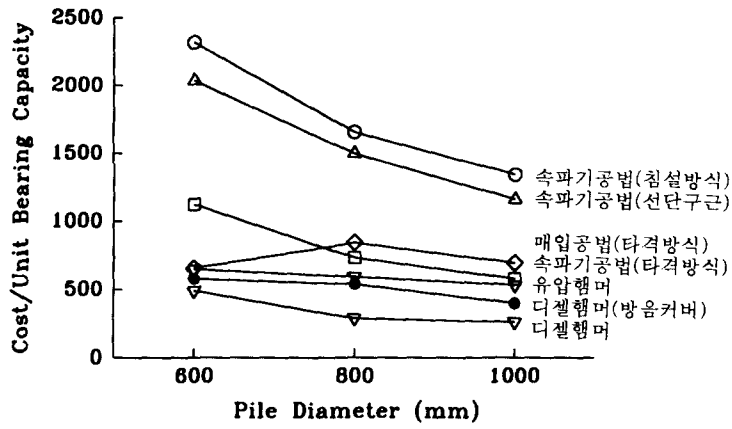


그림 3. 직항타공법과 각종 저공해공법들의 공사비 비교

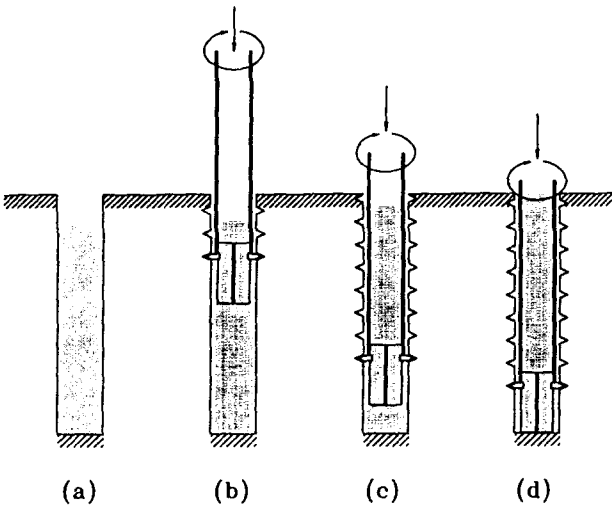


그림 4. 나선돌기형 매입말뚝의 시공법

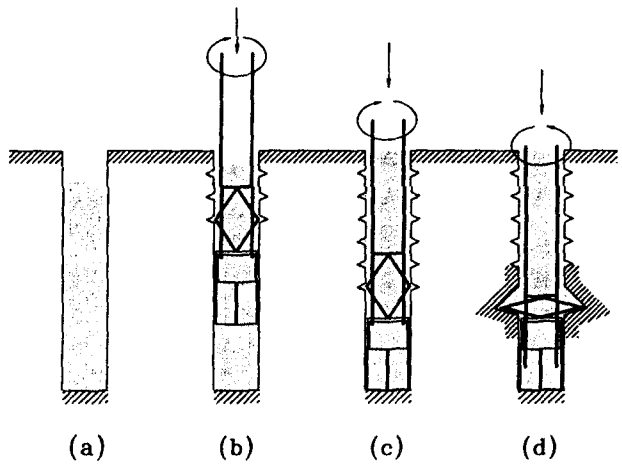


그림 6. 선단확대형 매입말뚝의 시공법

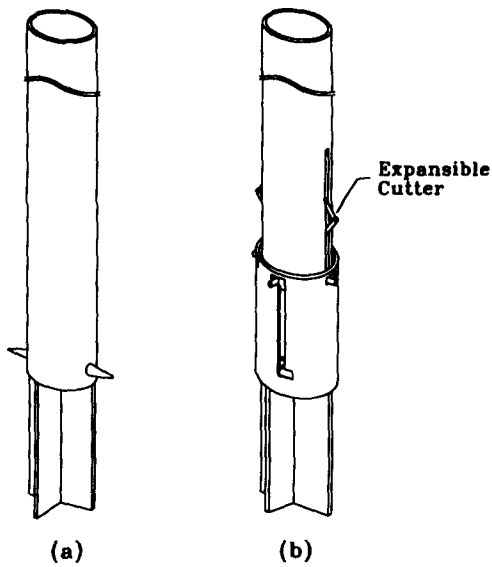


그림 5. 새로운 매입말뚝공법에 사용되는 말뚝
(a) 나선돌기형 말뚝 (b) 선단확대형 말뚝

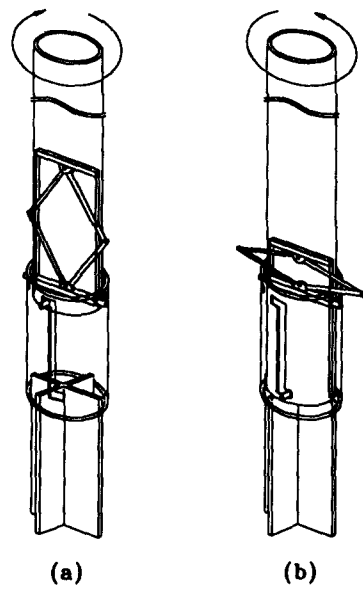


그림 7. 선단확대형 말뚝의 개략도
(a) 돌기 성형시 (b) 구근 설형시

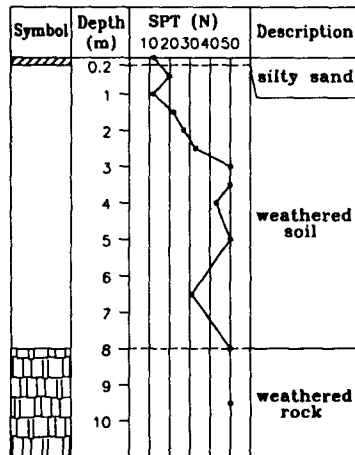


그림 8. 지반조건

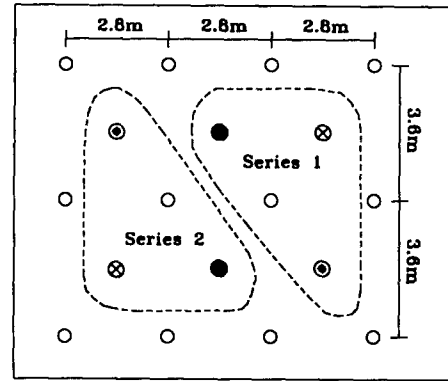


그림 9. 시험말뚝과 반력말뚝의 배치도

같은 성층구조를 가진 지반에서 2차에 걸쳐서 현장시험을 실시하였다. 시험말뚝으로는 $\phi 250\text{mm} \times t7\text{mm}$ 의 강관이 사용되었으며, 각 공법에 의해 시공된 말뚝의 지지력을 비교하기 위하여 3가지 형태의 강관 말뚝(선단부가 막힌 말뚝과 돌기부착형 말뚝, 확대날부착형 말뚝)을 사용하였다. 그리고 각 매입말뚝의 공법별 하중전이특성을 규명하기 위하여 각 말뚝의 양면에는 9개 위치에 스트레인이게지를 부착하였으며, 말뚝의 시공중에 게이지가 손상되는 것을 방지하기 위하여 철재 보호판을 부착한 후 방수를 위하여 보호판과 스트레인이게지 사이는 실리콘으로 충전하였다.

말뚝의 삽입을 위한 굴착공의 직경은 300mm로 하였으며, 굴착공에 채워지는 시멘트밀크의 물-시멘트 배합비는 1:1로 하였다. 그리고 시험말뚝간의 상호간섭을 배제하기 위하여 시험말뚝은 그림 9와 같이 가로 2.8m, 세로 3.6m의 간격으로 배치하였다. 말뚝은 각 공법에 따른 지지력의 정성적 비교를 위하여 N치가 33정도인 2.7m까지만 근입시켰으며, 말뚝재하시험을 위해 12本の 반력말뚝을 매입말뚝공법으로 시공하였다.

침설방식의 매입말뚝공법은 굴착공에 말뚝을 삽입한 후 말뚝에 정적인 연직력을 가하므로써 말뚝이 굴착공 저면에 정착되도록 하였으며, 나선돌기형과 선단확대형 매입말뚝공법의 경우에는 말뚝이 회전·압입되는 동안에 교반범이 지반을 계속 굴삭하면서 관입되므로써 말뚝의 선단부가 시멘트밀크가 주입되지 않은 지반에 정착되는 문제를 보였다. 또한 선단확대형 매입말뚝공법의 경우에는 선단지반의 강도가 작으므로 해서 말뚝의 선단저항 부족으로 확대날이 퍼지지 못하는 문제가 발생하였다.

5. 시험결과 및 분석

그림 10은 세가지 공법으로 시공된 매입말뚝의 정재하시험에서 얻어진 하중-침하곡선의 특성을 보인 것이다. 일반적으로 말뚝의 주변마찰력은 침하량이 4~6mm정도 발생하였을 때 최대가 되는 것으로 알려져있다. 이러한 사실에 근거하면 2차시험의 나선돌기형 매입말뚝(S-SIP)의 경우에는 약간 다른 경향을 보이지만 전반적으로는 기존의 매입말뚝공법(SIP)에 의한 것은 말뚝이 침하함에 따라 지지력도 계속 증가하는 양상을 보이므로써 말뚝의 일정 침하량 이상에서는 상당한 크기의 선단지지력이 발휘됨을 알 수 있다. 반면 나선돌기형과 선단확대형 매입말뚝공법(E-SIP)에 의한 것은 상당한 하중까지 선형적으로 거동하다가 침하량이 7mm 이후에서는 갑작스럽게 파괴되는 양상을 보이므로써 주변마찰력에 비하여 선단지지력이 매우 작음을 알 수 있다. 그리고 1차시험의 경우 선단확대형 매입말뚝의 거동이 나선돌기형 매입말뚝과 비슷한 것은 앞에 언급하였듯이 말뚝 선단지반의 지지력 부족으로 확대날이 퍼지지 못하므로써 말뚝 주변에 작은 돌기만 성형되고 선단부에 확대구근은 성형되지 못하였기 때문으로 밝혀졌다.

그림 11은 1차시험의 경우에 대하여 각 매입말뚝의 공법별 하중전이특성을 나타낸 것이다. 말뚝이 극한상태에 도달할 때 까지의 과정을 살펴보면 모든 말뚝에서 하중의 상당부분이 주변마찰력으로 지지

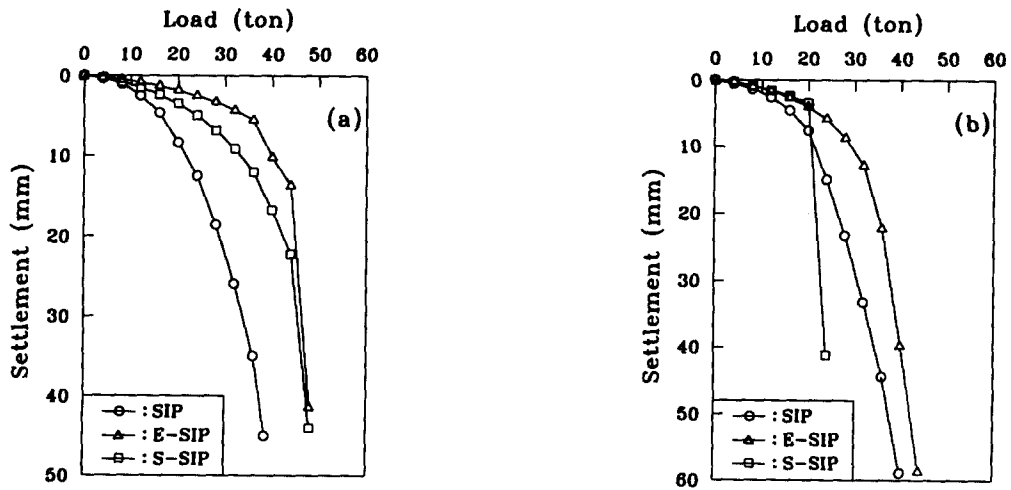


그림 10. 각 공법에 의한 매입말뚝의 정재하시험 결과 (a) 1차시험 (b) 2차시험

되는 것을 알 수 있으며, 이러한 경향은 나설돌기형 매입말뚝에서 뚜렷하게 나타나고 있다. 반면 선단확대형 매입말뚝의 경우에 32ton의 하중까지는 하중의 상당부분이 주변마찰에 의하여 지지되다가 하중이 44ton에 이르러서는 선단지지력이 상당히 증가되는 것을 볼 수 있다. 이것은 그림 5(b)에서 보이듯이 강관의 선단부(교반빔 윗부분) 직경이 다른 매입말뚝공법에 사용된 강관의 직경보다 더 크기 때문으로 사료된다.

표 3은 말뚝의 극한지지력을 말뚝 직경의 10% 침하시의 하중으로 규정할 때 각 공법에 의한 말뚝의 극한지지력을 비교한 것이다. 이 표에서 제시한 선단지지력은 침설방식에 사용된 강관에 부착된 최하단의 스트레인이게이지 위치(말뚝 선단부로부터 0.2m)를 기준으로 한 것이다.

표 3. 매입말뚝의 공법별 극한지지력

말뚝 종류	극한지지력		주변마찰력		선단지지력	
	1차	2차	1차	2차	1차	2차
침설방식 매입말뚝	32.0	32.5	25.7	24.1	6.3	8.8
선단확대형 매입말뚝	46.5	38.5	37.8	31.6	8.7	6.9
나설돌기형 매입말뚝	45.5	-	39.2	-	6.3	-

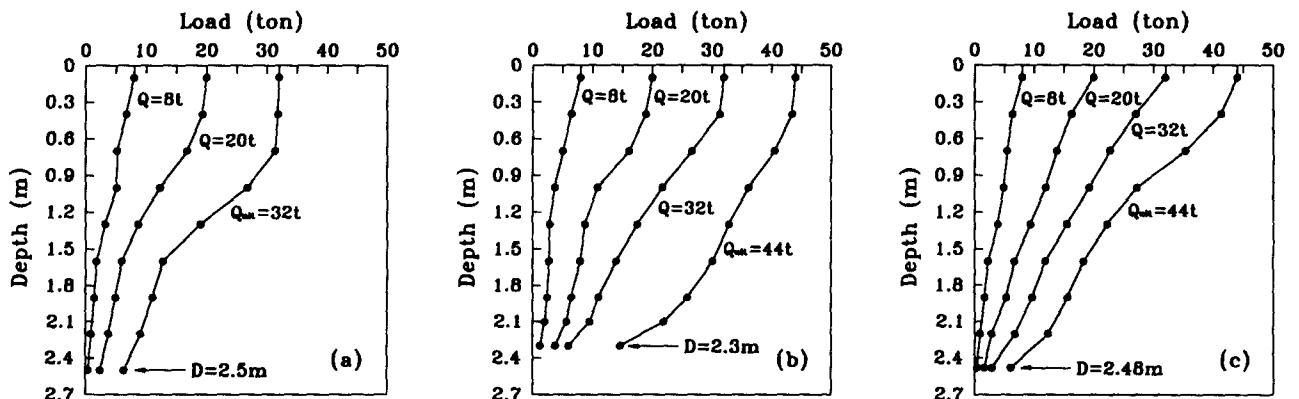


그림 11. 매입말뚝의 하중전달분포 (a) 침설방식 (b) 선단확대형 (c) 나설돌기형

여기서 알 수 있듯이 나선돌기형과 선단확대형 매입말뚝의 극한지지력은 침설방식 매입말뚝보다 약 44% 가량 증가되었으며, 각 말뚝의 선단지지력에는 큰 차이가 없음을 볼 때 나선돌기형과 선단확대형 매입말뚝의 지지력 증가는 주변마찰력의 증가에 기인한 것으로 생각된다. 그리고 침설방식의 매입말뚝은 전체지지력에서 주변마찰력이 차지하는 비중이 약 77%인데 반하여, 나선돌기형이나 선단확대형 매입말뚝의 주변마찰력은 각각 전체지지력의 82%와 86%를 차지하므로써 굴착공 벽면에 형성된 미세 돌기가 주변마찰력을 상당히 증대시킴을 알 수 있다.

반면 나선돌기형이나 선단확대형 매입말뚝은 교반빔을 이용하였음에도 불구하고 침설방식의 매입말뚝에 비해 선단지지력이 증가되지 않은 것은 침설방식의 매입말뚝에는 끝이 막힌(closed-end) 강관을 사용한 반면 나선돌기형이나 선단확대형 매입말뚝에는 끝이 열린상태의 강관이 사용되었을 뿐만 아니라 교반빔이 굴착공 저면 이하로 관입되어 말뚝 선단부가 시멘트밀크와 완전히 분리되므로써 선단지지력을 유발시키는 면적이 작게 되었기 때문으로 생각된다. 또한 선단확대형 매입말뚝의 경우에는 선단지반의 지반강도가 커서 말뚝의 역회전시 말뚝에 작용하는 축력이 커야만 확대날이 떨어져서 선단부에 확대구근이 형성되지만 본 시험의 경우에는 선단지반의 강도부족으로 확대날이 떨어지지 못함으로써 선단지지력이 더욱 약하게 되었다. 따라서 이들 나선돌기형과 선단확대형 매입말뚝공법들은 말뚝 선단부가 지반강도가 큰 풍화암이나 연암에 도달하게 되면 교반빔에 의하여 슬라임이 제거되고, 선단확대형 매입말뚝의 경우에는 확대날에 의한 구근의 형성도 기대되므로 침설방식의 매입말뚝보다 선단지지력 또한 상당히 크게 될 것으로 기대된다.

6 결론

기존의 SIP 공법보다 소음과 진동은 감소되고 지지력은 증대되는 나선돌기형 매입말뚝과 선단확대형 매입말뚝공법을 개발하여 현장시험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 나선돌기형과 선단확대형 매입말뚝공법에서는 시공과정에서 항타공정이 생략되기 때문에 타격방식의 매입말뚝공법에 비하여 소음과 진동을 상당히 저감시킬 수 있었다.
2. 나선돌기형과 선단확대형 매입말뚝의 극한지지력은 침설방식 매입말뚝에 비해 약 44% 증가하였으며, 이 증가분의 대부분은 말뚝 주변에 성형된 돌기에 의한 주변마찰력의 증가에 기인한 것으로 생각된다.
3. 말뚝 선단부가 암반층에 지지되는 경우에 침설방식의 매입말뚝은 굴착공 저면의 슬라임에 의하여 말뚝의 선단부가 취약할 수 있으나 새로 개발된 매입말뚝의 경우에는 굴착공 저면의 슬라임을 교반빔을 이용하여 시멘트밀크와 혼합시키므로써 말뚝의 선단지지력을 크게 할 수 있을 것으로 생각된다.
4. 말뚝이 암반층에 지지되는 경우 선단확대형 매입말뚝은 말뚝의 선단부에 성형되는 확대구근에 의하여 선단지지력과 주변마찰력, 인발저항력이 상당히 증가할 것을 사료된다.

참고문헌

1. 대한민국법령집 (1994), 소음·진동 규제법 시행규칙, 제 39편 환경, 제 2장 환경보전.
2. 대한주택공사 부설 주택연구소 (1996), 말뚝의 저소음·저진동 시공법에 관한 연구.
3. 이인모, 최유중, 이우진, 권장혁 (1995), "SIP 말뚝의 지지력 특성", 대한토목학회 가을학술발표회 논문집, pp. 399~402.
4. 홍성완, 이명환, 이원제 (1995), "말뚝기초 기술강좌(XI)", 한국지반공학회지, 제 11권, 제 1호, pp. 166~185.
5. Kusakabe, O., Kakurai, M., Ueno, K. and Kurachi, Y. (1994), "Structural Capacity of Precast Piles with Grouted Base", *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 120, No. 8, pp. 1289-1305.
6. 永見晃一 등 (1986), "特集 : 鋼管杭-特質と利用狀況-", *基礎工*, Vol. , No. 10, pp. 21-109.