

장대 강관말뚝의 경제적인 시공을 위한 무용접 장대 강관말뚝 공법의 개발

백 규 호*

1. 서 론

국가경제의 급속한 발전과 더불어 주택수요가 지속적으로 증가하고, 경부고속철도, 서해안 개발 및 영종도 신공항 건설 등과 같은 사회간접자본에 대한 투자가 확대되면서 말뚝기초의 사용물량은 더욱 증가할 것으로 전망된다. 더우기 향후에는 관련공사의 상당량이 비교적 지반조건이 양호한 내륙지방보다는 연약한 지반조건인 해안지역에서 수행될 것을 감안할 때 기초공사에 사용되는 말뚝은 대구경화 및 장대화 할 전망이다. 이에 따라 말뚝기초의 규격이나 설계 및 시공에 대한 개념도 현장상황에 맞게 바뀌어 갈 것으로 예상된다.

이처럼 많은 물량의 말뚝이 현재 여러 건설공사에 사용되고 있고 앞으로도 사용될 예정이지만 국내의 말뚝기초 관련 기술수준은 극히 낮은 실정이다. 특히 강관말뚝은 기본적으로 높은 재질강도와 품질의 균질성을 갖고 있을 뿐만 아니라 운반 및 이음시공의 용이성 등 설계와 시공, 품질관리 측면에서 다른 재료의 말뚝보다 많은 장점을 갖고 있다. 그럼에도 불구하고 관련 연구의 부족으로 인하여 강관말뚝 기초의 설계시 강관의 재질강도와 타입 특성(또는 폐색효과)을 고려하지 아니한 설계

기준을 사용하므로써 강관말뚝이 갖고 있는 재질특성을 시공에 제대로 반영하고 있지 못하는 것이 우리나라의 실정이다. 그 결과 지반에 타입된 동일 강관말뚝에 대하여 외국에서는 말뚝 재질강도의 거의 100%를 말뚝의 설계지지력에 반영하는데 반해 국내에서는 재질강도의 40~65%만을 설계지지력에 반영하므로써 국내의 강관말뚝 기초 설계기준은 기초의 과다설계를 유발시키고 있다.⁽²⁾

또한, 이러한 강관말뚝 기초의 과다설계는 강관의 재질강도와 타입특성을 고려하고 있지 않는 설계단계에서 뿐만 아니라 시공단계에서도 유발되고 있다. 시공단계에서 강관말뚝 기초의 과다설계를 유발시키는 요소들로는 말뚝의 재질강도에 비하여 상당히 작은 항타용력을 유발시키는 햄머의 사용, 용접이음을 행함에 따른 정밀도 저하에 의한 설계지지력의 감소 등을 들 수 있다.^(1,2) 특히 현재 사용되고 있는 장대 강관말뚝 공법은 강관말뚝의 설계 및 시공단계에서 많은 문제점을 내포하므로써 강관말뚝이 갖고 있는 재질강도를 지지력에 최대한 반영하고 있지 못할 뿐만 아니라 강관말뚝 기초의 경제성도 저하시키고 있다. 즉 말뚝의 이음시공을 위하여 현장에서 자동이나 반자동이 아닌 수동용접을 행함에 따른 신뢰도 저하로 인하여 강관말뚝의 설계지지력이 감소되고, 말

*정회원, 포스코개발(주) 기술연구소 주임연구원

뚝 길이의 증가로 인한 주변마찰력의 증가로 관입저항력이 증가되어 말뚝의 타입이 힘들어 지게 된다. 또한, 종래의 장대 강관말뚝 시공법은 용접이음이나 말뚝의 관입저항력 감소를 위하여 관내토를 굴삭하는 속파기작업이 행해지는 동안에 항타기의 작업이 불가능하게 되므로 항타기의 작업 효율성을 저하시켜서 공사비와 공기의 증가를 초래한다. 결국 이러한 강관말뚝 기초의 과다설계 요소들은 강관말뚝의 최적 설계 및 시공을 저해하므로써 강관말뚝의 가격 경쟁력 저하를 가져왔다. 그러므로 말뚝의 지지력 증대를 통한 강관말뚝 기초의 경제성 향상을 위해서는 지반의 지지력과 재료의 허용강도를 최대한 활용할 수 있고, 종래의 용접이음 방식이나 속파기 방식을 통한 장대 강관말뚝 공법이 갖는 문제점을 해결할 수 있는 경제적인 장대 강관말뚝 공법의 개발이 절실히 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 종래의 장대 강관말뚝 공법이 갖고 있는 여러 문제점들을 해결할 수 있는 동시에 강관말뚝의 재질강도를 최대한 지지력에 반영시키므로써 장대 강관말뚝 기초의 경제성을 향상시킬 수 있는 새로운 시공법인 무용접 장대 강관말뚝 공법을 제안하고자 한다.

2. 기존의 장대 강관말뚝 시공법

일반적으로 장대 강관말뚝은 항타기가 설치할 수 있는 말뚝길이의 제한으로 인하여 두개의 강관말뚝을 연결시켜 시공하게 되며, 말뚝의 연결방법에 따라서 용접이음방식과 충전재 이음방식⁽⁴⁾으로 구분된다. 먼저, 용접이음방식은 그림 1에 나타낸 것과 같이 직경이 동일한 두개의 말뚝을 용접으로 일체화시켜서 시공하는 것이며, 충전재이음방식은 그림 2와 같이 직경이 다른 두개의 강관말뚝을 용접하지 아니하고 말뚝의 내부에 시멘트 밀크를 충전하므로써 두개의 말뚝을 일체화 시키는 것이다. 이러한 두가지 장대 강관말뚝 공법의 시공순서와 각 공법이 갖고 있는 문제점은 다음과 같다.

먼저 용접이음방식의 경우는 그림 1에 보이는 바와 같이 일정 길이의 강관말뚝을 햄머를 이용하여 지반에 타입한 후 또 다른 동일 직경의 강관말뚝을 기 설치된 강관말뚝의 두부에 용접한다. 용접이음이 완료된 강관말뚝은 다시 햄머를 이용하여 지지층까지 타입하므로써 장대 강관말뚝의 설치는 완료된다.

그리고 충전재이음방식의 경우 시공과정은

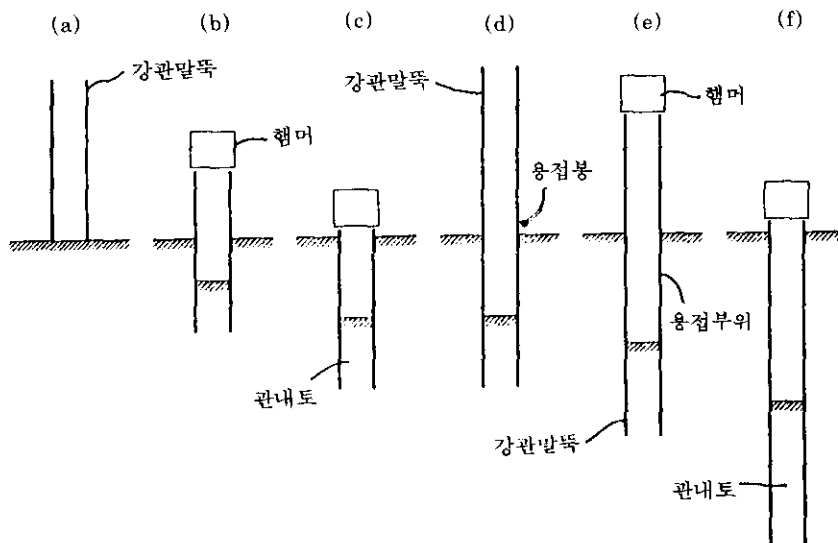


그림 1. 장대 강관말뚝 공법의 시공순서(용접이음 방식)

작업특성에 따라 크게 4단계로 구분될 수 있다. 1단계로 일정 길이의 강관말뚝을 해머로 이용하여 지반에 타입하고(그림 2(a)부터 2(c)까지), 기 설치된 강관말뚝의 내부에 굴삭액을 주입하면서 오거(auger)를 이용하여 관내토를 굴삭하는 속파기작업을 2단계로 행한다(그림 2(d)부터 2(f)까지). 이러한 속파기 작업은 먼저 설치된 강관말뚝의 내부에 다른 직경을 갖는 또 다른 강관말뚝을 타입할 때 말뚝의 관입 저항력을 감소시키기 위한 것이다. 속파기작업이 완료되면 3단계로 먼저 지반에 타입된 강관말뚝보다 작은 직경의 강관말뚝을 관내토가 완전히 제거된 강관말뚝의 내부에 삽입한다. 그

리고 내부에 삽입된 강관말뚝을 지반에 타입하기 위하여 내부 강관말뚝의 두부에 향타 보조말뚝을 결합한 후, 이 향타 보조말뚝을 해머로 타격하여 내부 강관말뚝을 지지층까지 타입한다(그림 2(g)부터 2(i)까지). 타입이 완료된 두개의 강관말뚝을 일체화 시키기 위하여 4단계로 말뚝의 내부를 시멘트 밀크로 채우므로써 장대 강관말뚝을 완성시키게 된다(그림 2(j)부터 2(l)까지).

그러나, 종래의 장대 강관말뚝 공법은 강관말뚝의 이음을 위한 용접작업이나 말뚝의 시공성 증진을 위한 속파기작업으로 인하여 많은 비경제적인 문제들을 야기시킨다. 즉 용접이음

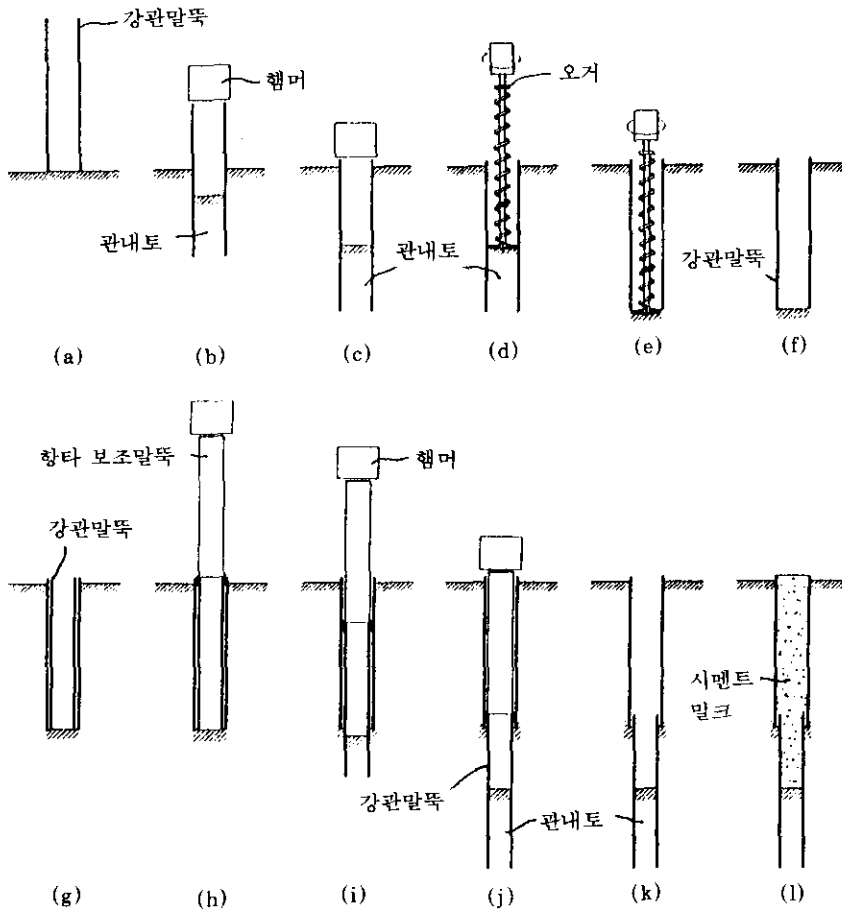


그림 2. 장대 강관말뚝 공법의 시공순서(총진재 이음 방식)

방식의 경우, 건설부가 제정한 구조물 기초 설계기준⁽¹⁾에서는 용접이음 1개소당 말뚝의 허용 지지력을 원래보다 5%씩 감소시켜서 설계하도록 규정하므로써 용접이음으로 인하여 강관 말뚝의 재질강도를 말뚝의 지지력에 최대한 반영하는 것은 거의 불가능해진다. 더우기 현재 사용되고 있는 대부분의 용접이음방식이 전자동이나 반자동이 아닌 수동으로 이루어지므로서 용접시공의 정밀도 저하로 인한 말뚝의 설계지지력 감소분을 구조물 기초 설계기준에서 정의하는 것보다 더욱 크게 하고 있는 것이 현실이다.

그리고 용접이음에 의한 말뚝 길이의 증가로 말뚝의 주면마찰저항이 증가하므로써 말뚝의 타입이 어려워지게 되며, 동시에 말뚝의 좌굴 위험성도 증가하게 된다. 또한 말뚝의 이음을 위하여 용접작업이 행해지는 동안에는 말뚝 항타장비의 작업이 불가능해지므로써 경제적 손실이 발생하게 되며, 용접이 행해지는 동안에 발생하는 말뚝과 지반간의 마찰력 증가, 즉 시간효과로 인하여 말뚝의 관입저항력이 증가하기 때문에 말뚝의 재항타시 햄머에 의한 말뚝 두부의 손상이 발생하기도 한다. 특히 시간경과에 따른 지지력의 증가는 점성토 지반과 불포화 사질토 지반에서 크며, 선단지지력보다는 주면마찰력이 항타종료 후 단시간내에 매우 크게 증가하는 것으로 나타난다.⁽³⁾ 따라서 장대 강관말뚝이 점성토 지반이나 불포화 사질토 지반에 시공되는 경우에 타입작업의 일시 정지가 발생하면 시간효과에 의한 말뚝의 주면마찰저항 증가로 인하여 말뚝의 타입길이가 감소하여 말뚝의 폐색정도가 저하될 수도 있다.

한편, 충전재이음방식의 경우에는 오거에 의한 관내토 굴삭작업이 이루어지므로써 말뚝의 설치에 소요되는 공기는 물론 공비도 증가하게 되며, 속파기작업이 행해지는 동안 말뚝을 설치하는 장비의 작업이 불가능해지므로써 경제적 손실도 발생하게 된다. 그리고 관내토가 제거되면서 강관말뚝 선단부근 지반의 응력이 이완되기 때문에 말뚝의 선단지지력이 감소

하고 침하량은 커지게 된다. 또한, 충전재 이음 방식에서 말뚝의 연결부를 제외한 다른 부분으로 전달되는 인발력은 강관과 시멘트 밀크에 의하여 지지되지만, 연결부에 작용하는 인발력은 인장강도가 매우 작은 시멘트 밀크에 의해서만 지지되므로 말뚝의 연결부가 인발력에 상대적으로 약하게 된다. 따라서 충전재 이음 방식의 장대 강관말뚝은 압축력에는 강한 반면, 말뚝의 연결부가 갖는 취약성으로 인하여 인발력에는 상대적으로 취약할 수 있다.

3. 무용접 장대 강관말뚝의 시공법

본 연구에서 제안된 무용접 장대 강관말뚝 공법은 직경이 다른 두개의 강관으로 이루어진 이중 강관말뚝과 항타 보조말뚝을 이용하여 용

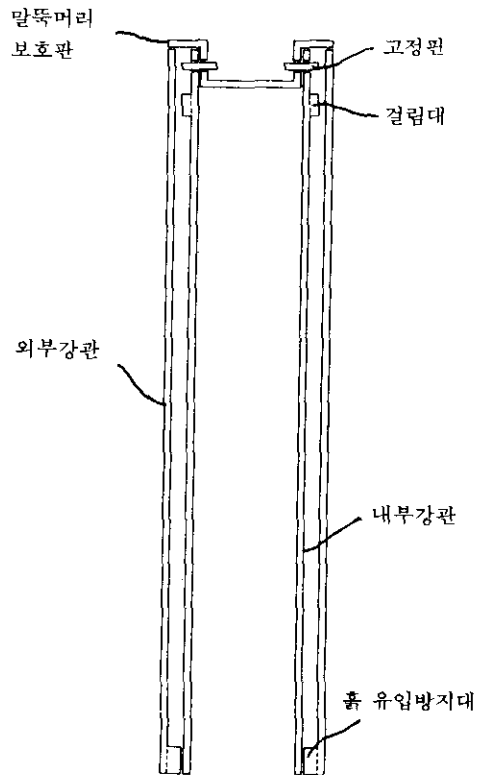


그림 3. 이중 강관말뚝의 개략도

접이음이나 속파기작업을 행하지 않고, 심도가 깊은 지지층까지 강관말뚝을 설치하므로써 종래의 용접이음방식이나 충전재이음방식이 갖는 많은 비경제적인 문제점들을 제거할 수 있는 공법이다. 이 공법의 시공순서 및 장점과 이 공법에 사용되는 이중 강관말뚝이 갖는 특징은 다음과 같다.

무용접 장대 강관말뚝 공법에 사용되는 이중 강관말뚝은 그림 3과 같이 직경이 다른 두개의 강관과 말뚝 머리 보호판을 구성된다. 먼저, 외부강관의 선단부 외벽에는 이중 강관말뚝이 지반에 타입되는 동안 내부강관과 외부강관 사이로 흙이 유입되는 것을 방지하기 위하여 흙 유입 방지대를 부착하였다. 그리고 내부강관의 상부 외벽에는 걸림대를 설치하므로써 충전재 이음방식과 같이 말뚝이 인발력에 대해서도 취약하지 않도록 하였다. 즉 내부강관의 전 길이가 타입되었을 때에는 걸림대가 흙 유입 방지대와, 그리고 내부강관의 전 길이가 타입되지 아니하고 걸림대와 흙 유입 방지대가 떨어져 있을 경우에는 압축력이 작용하게 되는 시멘트 밀크를 통하여 걸림대와 흙 유입 방지대를 맞물리게 하므로써 내부강관과 외부강관이 확실히 일체가 되도록 하였다(그림 4). 또한

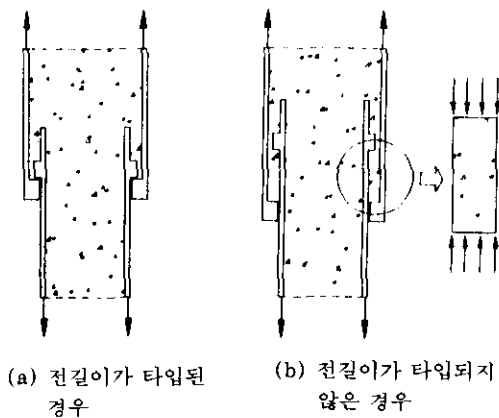


그림 4. 내부강관의 타입길이에 따른 걸림대의 인발력 전이방법

말뚝의 항타시 항타에너지의 편중으로 인한 말뚝 머리의 파손을 방지하기 위하여 이중 강관말뚝의 두부에 말뚝머리 보호판을 설치하였으며, 이것은 고정편을 이용하여 내부강관과 결합시켰다.

이상과 같이 제작된 이중 강관말뚝을 이용하여 무용접 장대 강관말뚝 공법의 시공과정은 작업특성에 따라서 크게 3단계로 구분될 수 있다. 1단계는 직경이 서로 다른 두개의 강관과 말뚝머리 보호판으로 구성된 이중 강관말뚝을 햄머로 타입함에 의하여 두개의 강관을 동시에 소정의 깊이까지 박아 넣는 것이다(그림 5(a)부터 5(d)까지). 2단계는 말뚝머리 보호판을 제거하고 내부강관의 두부에 항타 보조말뚝을 결합시킨 후 햄머로 항타 보조말뚝을 타격함에 의해 내부강관을 지지층까지 도달시키는 것이다(그림 5(e)부터 5(h)까지). 마지막 3단계로 내부강관의 설치가 완료되면 항타 보조말뚝을 내부강관으로부터 분리하여 제거한 후 내부강관과 외부강관이 완전히 일체가 되도록 연속된 두개의 강관 내부에 시멘트 밀크를 주입하므로써 무용접 장대 강관말뚝을 완성하게 된다(그림 5(i)부터 5(j)까지).

4. 무용접 장대 강관말뚝의 장점

무용접 장대 강관말뚝은 종래의 용접이음방식의 장대 강관말뚝에 비해 상당히 짧은 길이의 강관말뚝들을 지반에 개별적으로 타입하므로써 말뚝의 설치시 발생하는 마찰저항력을 상당히 감소시켜 말뚝의 설치가 매우 용이하게 되며, 마찰저항력의 감소로 인하여 말뚝의 관입깊이가 깊어지므로 말뚝의 지지력도 증가하는 효과를 가져오게 된다. 또한 용접이음 과정이 생략되기 때문에 말뚝의 설계지지력을 감소시키지 않아도 되므로 말뚝 재료의 허용하중 내에서 설계지지력을 극대화 할 수 있으며, 말뚝의 연속적인 타입이 가능하게 되므로 말뚝 설치장비의 작업 효율성을 증대시키므로써 장

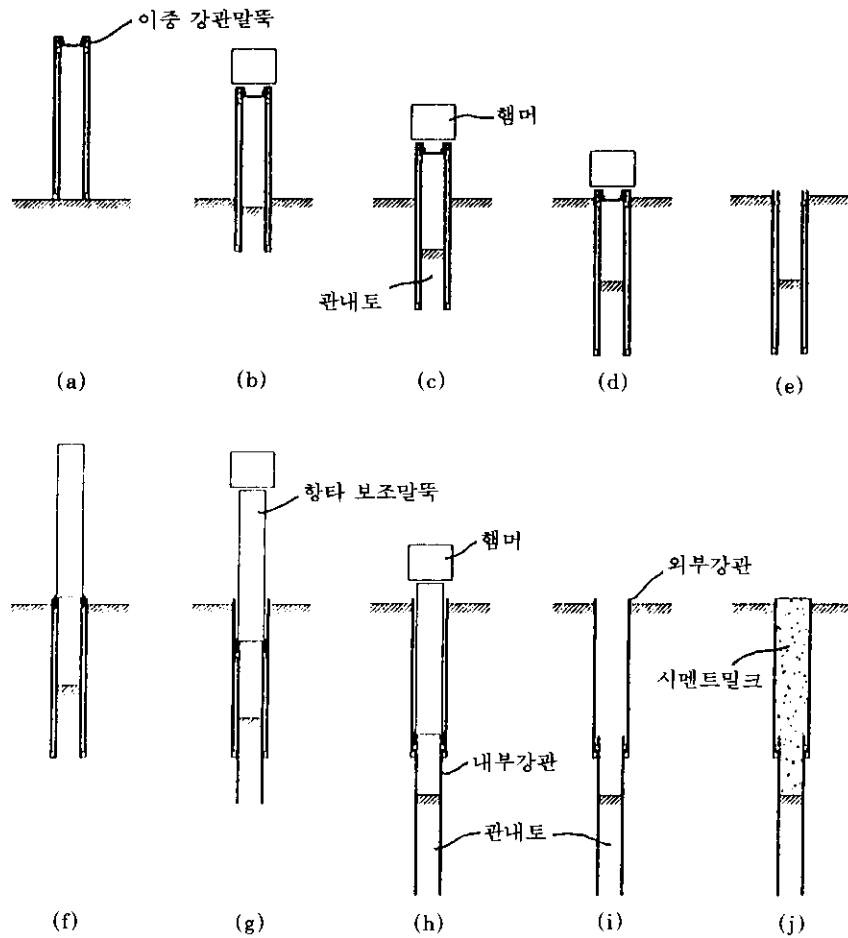


그림 5. 무용접 장대 강관말뚝의 시공순서

대 강관말뚝 기초의 경제성을 증대시킬 수 있다.

그리고 연구 보고에 의하면 강관말뚝은 말뚝 선단부에서 발생하는 폐색현상이 커질수록 말뚝의 외부로 밀리는 흙의 양이 증가해서 주변 지반이 다져지므로 말뚝의 지지력은 커지며^(4, 6), 말뚝의 선단부가 막힌 강관말뚝의 선단지 지력이 선단부가 열린 강관말뚝의 선단지 지력보다 크다고 알려져 있다.^(6, 7) 무용접 장대 강관말뚝에서는 최종적으로 지지층에 도달되는 강관의 직경이 종래의 공법에 비해 작아지므로

인한 폐색현상의 증가와 내부말뚝과 외부말뚝의 사이에 흙 유입 방지대의 설치로 인하여 종래의 장대 강관말뚝 공법에 비하여 말뚝 외부로 밀려나는 흙의 체적이 증가하게 된다. 따라서 말뚝 주변지반의 밀도 증가로 인하여 무용접 장대 강관말뚝의 지지력은 종래의 방법으로 시공된 장대 강관말뚝보다 상당히 증가할 것으로 기대된다.

종래의 증진재이음방식과 비교할 때 무용접 장대 강관말뚝 공법에서는 속파기작업이 생략되기 때문에 말뚝 항타장비의 작업효율 극대

화를 통한 시공비의 절감과 시공기간의 단축이 가능하며, 관내토의 굴삭으로 말뚝 선단지반의 응력이 완료되므로써 발생하는 말뚝의 선단지력 감소를 방지할 수 있다. 또한 두개의 강관이 설치 완료되면 흙 유입 방지대와 걸림대가 직접 혹은 시멘트 밀크를 통하여 간접적으로 맞물리게 되므로써 말뚝의 허용인발력이 충전재이음방식에 비하여 상당히 증가할 생각된다.

이처럼 무용접 장대 강관말뚝 공법은 말뚝이 갖는 재료의 허용강도를 최대한 활용함과 동시에 말뚝의 시공성을 향상시키므로써 경제적이고 확실한 시공이 가능하도록 하여 궁극적으로는 공비의 절감과 공기의 단축은 물론 구조물의 안정성에도 크게 기여할 것으로 기대된다.

5. 결론

본 연구에서 제안된 무용접 장대 강관말뚝 공법은 직경이 다른 두개의 강관이 서로 맞물리도록 제작된 이중 강관말뚝을 이용하는 것으로 동일 위치에 직경이 다른 두개의 강관을 연속적으로 설치한 후 강관의 내부를 시멘트 밀크로 채워서 장대말뚝을 완성시키는 공법이다. 이 공법은 종래의 방법보다 지반에 타입되는 말뚝의 길이를 작게 해서 관입저항력을 감소시키므로써 장대 강관말뚝의 시공성을 향상시키는 물론 관입깊이의 증가로 인하여 지지력도 향상시키는 효과가 있다. 또한 종래의 일반 장대 강관말뚝 공법에 비하여 용접이음이나 속파기작업이 생략되므로 용접이음과 속파기로 인하여 유발되는 문제들을 해결하므로써 장대 강관말뚝 시공법의 경제성을 향상시키는 효과도 기대할 수 있다.

그러나 무용접 장대 강관말뚝 공법이 건설현장에서 실용화되기 위해서는 현재까지 사용되고 있는 두가지 방식의 장대말뚝 공법과의 비

교 시공을 통한 시공성 및 경제성 분석, 그리고 지지력 검증 등이 뒤따라야 할 것으로 사료된다. 따라서 본 기관에서는 본 연구에서 제안된 장대말뚝 공법의 지반조건에 따른 시공성과 경제성 분석을 위하여 사질토 지반과 점성토 지반에서의 시험시공을 계획하고 있다.

참고 문헌

1. 대한토질공학회(1986), 건설부 제정 구조물 기초 설계기준 해설, pp. 185~309.
2. 이명환, 홍현성, 이원제(1994), "강관말뚝의 적용 사례", 한국강관협회·대한토목학회 주최 강관말뚝 및 구조용 강관에 관한 세미나, pp. 45~85.
3. 이원제, 전영석, 홍현성, 이명환(1995), "시간경과에 따른 항타말뚝의 지지력변화 연구", 한국지반공학회 봄 학술발표회, pp. 69~90.
4. Akagi, T., Miura, K., Kawakami, K. and Saeki, E.(1985), "On the Embedded Length of Long Steel Pipe Piles with Large Diameter", Proceedings of the International Symposium on Penetrability and Drivability of Piles, San Francisco, Vol. 1, pp. 69~72.
5. API(1991), "Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platform", American Petroleum Institute Recommended Practice 2A(RP2A), API, 19th Ed. Washington, D.C.
6. Carter, J.P., Randolph, M.F. and Nauroy, J.F. (1991), "Some Aspects of the Performance of Open- and Closed-Ended Piles", Numerical Method in Offshore Piling, London, pp. 165~170.
7. Nauroy, J. F. and Le Tirant, P.(1983), "Model Tests of Calcareous Sands", Proceedings of the Conference on Geotechnical Practice in Offshore Engineering, ASCE, pp. 356~369.
8. Paikowsky, S.G.(1989), "A Static Evaluation of Soil Plug Behavior with Application to the Pile Plugging Problem", Sc. D. Thesis, Dept. of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 523p.