

PHC말뚝의 경제성에 대한 연구

* 임 성 한

요 지

본 연구에서는 기존의 PC말뚝과 PHC말뚝의 시공성과 지지력에 대한 비교확인 시험의 결과를 근거로 하여 PHC말뚝의 시공상의 장점, 특성 및 경제성을 파악하였으며, SIP공법에 의하여 PHC말뚝을 사용시 기존 PC말뚝이나 강관말뚝보다 경제성이 우수함을 확인하였다.

또한 PHC말뚝은 압축강도와 지지력이 기존 PC말뚝보다 높을 뿐만아니라 강관말뚝과 같이 용접이음이 가능하고 말뚝의 심도가 깊은 경우에도 강관말뚝과의 대체시공이 가능하여 PHC말뚝의 성능을 극대화할 수 있는 적절한 항타장비를 사용하는 경우에는 혁신적인 원가절감이 가능함을 확인할 수 있다.

* 고려기초연구소 상무이사

1. 서 론

자료에 의하면 1991년도에 우리나라에서는 2백만개의 PC말뚝이 사용되었다. 강관말뚝의 경우 자료입수가 어려움이 있으나 1년간 약 1백만톤 정도가 사용되는 것으로 사료된다. 이 물량을 기준으로 말뚝 공사비를 산출하면 약 7,800억원 정도가 되며 이 규모는 전체 건설사업비의 약 3%정도가 된다.

현재와 같은 여건에서 우리나라의 경제성장이 계속될 경우 다가오는 2,000년에는 총 80조원의 건설시장 규모에 도달할 전망이다. 말뚝기초의 적용시장은 약 2조 4천억원 정도가 될 것으로 기대된다.

이와같이 전체 건설규모에 있어서 중요한 공정인 말뚝기초에 대하여 우리나라에서는 연구개발 실적은 극히 저조한 실정이다. 한국건설기술연구원에서 수행한 "말뚝기초의 설계 및 시공관리 개선방안"조사연구에 의하면 국내의 경우 대부분 디젤함마에 의한 항타공법이 채택되고 있으며 여기에서부터 여러가지 문제점들이 제기된다.

말뚝항타와 관련한 각종 문제점들중 공사비와 직접 관계되는 부분들만을 알아보면 다음과 같다.

첫째, 말뚝기초의 지지력은 말뚝재료의 허용강도와 지반의 지지능력(지지력)중 낮은 값에 의하여 결정된다. 또한 말뚝의 지지력은 말뚝선단부 하부 지반으로 부터의 선단지지력과 말뚝 몸체표면과 이를 둘러싸고 있는 주변지반간의 마찰력(주면마찰력)으로 구성된다. 현재 우리나라에서 적용되는 대부분의 항타공법들은 디젤함마의 낙하중량(램)이 말뚝 머리부분을 타격함으로써 지반중에 관입된다.

말뚝 머리부분에 타격에너지를 집중시켜 항타하는 방법은 항타에너지가 말뚝 머리부분에서 최대가 되며 말뚝 몸체에도 상당히 높은 타격 응력을 발생시키며, 입력 항타에너지는 말뚝의 주면마찰력과 선단지지력으로 저항된다. 여기서 문제가 되는 점은 입력 항타에너지(dynamic energy)는 (말뚝의 주면마찰력 + 선단지지력)과 비례하나, 일반적인 구조물 기초 설계에서 요구되는 정적(static)말뚝 지지력과는 같지 않다는 것이다. 이부분에 대해서는 계속 연구가 진행중이나 현재까지의 기술수준으로는 명쾌한 해석이 불가능한 실정이다.

입력되는 높은 항타에너지에 저항하여 말뚝재료가 구조재료로서의 안전성을 유지하기 위해서는 상대적으로 높은 재질강도를 유지하여야 한다. 콘크리트 말뚝의 경우 콘크리트 28일 강도의 0.5 - 0.6 이상의 항타 응력은 말뚝재료의 파괴를 유발하기 때문에 이보다 높은 항타에너지는 사용할 수 없다. 반면 구조물의 기초로서 설계에서 사용할 수 있는 콘크리트 말뚝의 재질허용 강도는 콘크리트 28일 강도의 0.154(스웨덴)로 부터 0.33(미국)까지

의 분포를 보여주며, 우리나라에서는 건설부 제정 “구조물 기초 설계기준”에서 0.25를 사용하도록 하고있다.

강관말뚝의 경우에는 허용 항타응력은 재질 극한 강도의 0.9인 반면, 설계에 있어서는 우리나라의 “구조물 기초 설계기준”을 기준으로 할때 0.583정도가 된다. 즉 동적에너지에 대한 기준과 실제 설계시 사용되는 정적 허용강도 상에는 재료에 따라 상당한 차이가 존재하고 있으며 현재로서는 설계관행에 따르는 방법 밖에는 없을 것이다.

이상을 실제 설계상황과 연관하여 고려하여 보기로 하자. 국내에서 가장 많이 사용되는 외경 350 mm의 PC말뚝의 말뚝 중앙부에 직경 230 mm의 중공부가 있으며, 최근 KS규격에 의하면 콘크리트 28일강도는 500 kg/cm²로 제작된다.

중공부가 없는 외경 350 mm의 PC말뚝의 단면적은 962 cm²이며 따라서 중공부가 없는 속이 찬 말뚝을 건설하여 기대할 수 있는 최대 지지능력은 28일강도의 0.25를 적용할때 120 ton이 된다. 그러나 실제로 중공부의 단면적을 제외한 순단면적을 기준으로 하면 68.3 ton이 되며, 실무에서는 최대 45 ton의 설계를 하고 있다. 즉 말뚝 1본을 시공하여 기대할 수 있는 최대지지력의 37.5%, 중공부를 고려하였을 때는 65.9%만을 실제 설계에서는 활용하고 있는 셈이다.

강관말뚝에 있어서도 사정은 대동소이하다. 국내에서 가장 많이 사용되는 외경 406.4 mm, 두께 9 mm의 강관말뚝의 최대 허용지지력은 부식고려 2 mm를 제외하면 “구조물 기초 설계기준”에서 권장한 1400 kg/cm²를 적용할 경우 123.6 ton이 된다. 그러나 실제 설계시에는 80 ton정도의 지지력만을 고려하게 되며 재료가 갖고 있는 물성의 64.7%만을 활용하고 있다.

이처럼 원심력 콘크리트말뚝이나 강관말뚝에서 재료의 최대허용강도를 십분활용하지 못하고 그 일부만을 사용하는 주된 원인은 현재 국내의 대부분 공사에서 사용되고 있는 항타공법 때문이다. 설계에 반영할 수 있는 정적 지지력 값을 높여주기 위해서는 높은 재질 허용강도를 갖는 값비싼 고품질의 재료를 사용하여야 하며, 이 경우에는 말뚝재료비가 문제될 수 있다.

말뚝항타와 관련한 두번째 문제점은 최근 제기되고 있는 건설 환경 여건의 변화로부터 기인한다. 최근의 경제성장은 국민들의 의식수준에도 상당한 변화를 야기하며 건설위주, 성장위주의 양적 개념보다는 질적 생활환경이 고급화 욕구가 증대하고 있다. 따라서 보다 쾌적한 환경 여건에 대한 소위 환경권 요구가 양적 풍요로움보다 우위에 있는 여건으로 바뀌어 가고있다.

이러한 환경권 요구는 각종 건설행위에 민감한 반응을 보여주며, 특히 디젤합마를 사용하는 말뚝 항타작업은 대표적인 건설공해로 인식되어 이와 관련한 민원이 급증하고 있다. 한국건설기술연구원이 수행한 "항타진동과 말뚝-흙의 상호작용"에 대한 조사연구에 의하면 말뚝 항타시 발생하는 지반진동, 소음, 매연 등 공해원인들 중 소음과 관련한 민원이 가장 빈번하게 제기되며, 그 건수도 급증하는 추세에 있다.

이에따라 대도시에서의 항타작업은 이미 거의 금지된 상황이며 최근에는 중소지방도시 및 군지역에서도 항타와 관련한 민원이 제기되고 있어, 조만간 그 적용이 예외적인 벽지나 신개발지 등에 국할될 것으로 판단된다. 이와같은 건설환경 여건 변화에 대응하는 방법으로는 속파기공법, 선굴착공법 등 소위 저공해 말뚝공법으로의 전환일 것이다.

국내에서 주로 활용되는 선굴착(preboring)공법에는 오거를 이용한 단순 선굴착공법과 굴착공내에 시멘트 페이스트를 주입하여 soil-cement로 보강하여 주는 SIP공법 같은 것들이 있다. 단순 선굴착공법이나 SIP공법 모두에서 고려하여야 할 점은 공사비 증가와 말뚝지지력 변화이다.

선굴착공법을 채택하게 되면 오거를 이용한 굴착공정에 상당한 공사비가 소요되며 말뚝 재료비를 제외한 순 공사비가 900%까지 증대하게 된다. 이처럼 공사비가 증가한 반면 오거굴착 과정에서 불가피한 지반교란, 특히 선단부 부근에서의 지반교란은 말뚝지지력을 약화시키는 치명적 단점으로 작용하게 된다.

속파기공법, 선굴착공법 등이 가장 활발하게 적용되는 일본에서는 이러한 공법의 경우 항타말뚝에 비하여 상대적으로 낮은 지지력 산정 기준을 규정하고 있어, 지반교란으로 인한 지지력 약화를 실무에 고려하고 있다.

결국 수많은 저공해 말뚝공법들은 공사비를 증가시키며 지지력은 약화시킴으로써 2중의 부담을 준다 할수 있다. 이러한 문제점을 해소시키기 위해서는 저공해 공법 채택시 공사비 증가를 억제하는 공법이나, 지지력을 증대시켜 주는 공법, 또는 두가지 목적을 동시에 충족시켜줄 수 있는 새로운 공법이 개발되어야 한다.

말뚝항타와 관련한 세번째 문제점으로는 지반조사 등으로 예측하는 말뚝길이와 실제 시공시의 차이점과 항타장비가 취급할 수 있는 최대 말뚝길이(보통 15 m)보다 긴 말뚝의 이음 시공 문제이다.

말뚝의 시공계획을 확정하기 위해서는 지반조사자료로 부터 말뚝 관입장을 예측하고 많은 경우 시항타를 하여 말뚝길이를 확정한다. 그러나 실제 말뚝을 시공하면 지반조건의 가변성을 사전에 충분히 예측할 수 없는 경우가 대부분이며, 지지층까지의 관입시 말뚝을 이

음시공하는 어려움을 피하기 위해 소요되는 것보다 긴 말뚝을 사용하는 경우가 많다.

이로 인한 손실 규모는 신뢰할 만한 자료는 없지만, 말뚝별로 평균 2 ~ 3 m에 달하는 것으로 보인다. 평균 2.5 m의 손실을 기준으로 할 경우 이로인한 손실은 연간 1,700억원 이상의 재료손실과 더불어 상당한 공사비의 손실이 있는 것으로 판단된다.

말뚝길이가 소요되는 깊이보다 긴 경우와는 반대로, 지지층이 예측한 깊이보다 깊어서 말뚝길이가 짧은 경우 및 항타장비가 취급할 수 있는 길이보다 긴 말뚝이 요구되는 지반조건에서는 말뚝의 이음시공이 불가피하다. 원심력 콘크리트 말뚝의 이음 시공은 현재 국내 대부분의 현장에서 말뚝의 외경보다 약간 큰 직경의 철제 밴드를 씌우고 이음말뚝을 단순 삽입하는 방법으로 시공된다. 이 경우 말뚝의 구조 재료로서의 안전성이 문제되며 특히 말뚝의 인장력이 작용하게 되면 구조물의 안전을 보장할 수 없게 된다.

따라서 상기에서 언급한 바와같이 말뚝재료의 최대허용강도를 십분활용하는 문제, 저공해공법 채택시의 경제적인 공법선정 문제 및 말뚝이음의 안전성에 대한 점등을 총체적으로 감안하여 PHC말뚝의 경제성에 대하여 논하고자 한다.

2. PHC말뚝의 경제성

1) 직항타로 인한 두부손상 시험

PC말뚝의 두부파손으로 인한 경제적 손실을 실증적으로 확인하고자 모델현장을 선정하여 PC말뚝과 PHC말뚝을 직항타에 의한 시험시공한 결과는 아래와 같다.

- 가. 시험현장 : 마포재개발아파트(삼성종합건설 시공)
- 나. 시험일자 : 1992. 6. 19. - 6. 27.
- 다. 사용말뚝 : PC말뚝 ϕ 350 mm, L = 5-14 M, 100본(평균 9.5 M)
PHC말뚝 ϕ 350 mm, L = 10 M, 8본
- 라. 항타장비 : K-25(중량 2.5 ton) 디젤함마
- 마. 두부파손 : PC말뚝 100% 두부파손, 파손평균높이 0.42 M
PHC말뚝 100% 두부파손없음
(별첨 # 2-1의 "108본 항타기록집계표" 참조)

2) 함마중량 증가에 따른 관입깊이 증가시험

PHC말뚝의 경우 K-25(중량 2.5 ton)로 항타시 두부의 파손이 없는 것이 마포 재개발아파트 현장에서 확인된 바 이를 근거로 하여 항타에너지를 한단계 증대하여도 두부의 파손없이 항타작업이 가능할 것으로 사료되어 K-35(중량 3.5 ton) 디젤함마로 PHC말뚝을 타입하고 동일한 장소에서 K-25(중량 2.5 ton) 디젤함마로 PC말뚝을 시험 항타한바 아래와 같은 결과를 얻게 되었다.

- 가. 시험현장 : 충주 새한콘크리트공업(주) 공장부지내
- 나. 시험일자 : 1992. 10. 26.
- 다. 사용말뚝 : PC말뚝 ϕ 350 mm, L = 15 M, 8본
PHC말뚝 ϕ 350 mm, L = 15 M, 2본
- 라. 사용장비 : PC말뚝의 경우 K-25 디젤함마
PHC말뚝의 경우 K-35 디젤함마
- 마. 관입깊이 : PC말뚝의 평균 관입깊이 11.5 M
PHC말뚝의 관입깊이 14.0 M

- 바. 쿠션 : PC말뚝은 쿠션없이 항타
(cushion) PHC말뚝은 모두 12 m/m 합판 5장을 두 부에 설치후 항타
- 사. 두부파손 : PC말뚝은 두부파손
 PHC말뚝은 파손없음
- 아. 최종관입량 : PC말뚝 10.0 mm
 PHC말뚝 3.0 mm

3) PC말뚝과 PHC말뚝의 지지력 비교

전항의 1992. 10. 26일 항타한 충주 새한콘크리트 공장부지내의 ϕ 350 m/m PHC말뚝을 재하시험한 결과 166 ton 재하시 두부의 부분파손으로 인하여 시험을 중단하였으나 이때의 총 침하량이 12.27 m/m였으며 말뚝의 항복하중은 144 ton이상, 극한하중은 200 ton정도로 판단되었다. 따라서, ϕ 350 m/m PHC말뚝은 쿠션 및 K-35 디젤함마를 사용시에는 설계하중을 80 ton까지도 가능한 것으로 판단된다.

4) PHC말뚝과 기존 말뚝과의 경제성 비교

이상의 직항타 시공방법에 따른 두부손상시험, 항마중량 증가에 따른 관입깊이 증가시험, PC말뚝과 PHC말뚝의 지지력 비교시험을 통하여 얻어진 결과로 종합적인 경제성을 비교하고자 한다.

또한 상기에 언급된 내용과 별도로 실사례를 근거로 하여 PC말뚝과 PHC말뚝을 각각 SIP공법으로 시공시에 그 경제성을 비교하고 말뚝을 이음시공해야 하는 경우에 SIP공법 적용시 강관말뚝과 PHC말뚝의 지지력에 따른 경제성을 대비하고자 한다.

4-1) 직항타시 PC말뚝과 PHC말뚝의 경제성비교

직항타 시공시 PC말뚝과의 대비표 (표 1)

| 구 분 | PC Pile | PHC Pile | 비 고 |
|------------|--|--|----------|
| 1. PILE 부분 | | | |
| 1) 규 격 | φ 350×12 M | φ 350×14 M | |
| 2) 수 량 | 190 본 | 110 본 | |
| 3) 전체길이 | 2,280 M | 1,540 M | 67.5% |
| 4) Pile자재비 | 190본×115,800원 =22,002,000원 | 110본×181,700원 =19,987,000원 | |
| 5) 쿠션비 | - | 1,200원/장×5장×110본 = 660,000원 | 절단가공비 포함 |
| 6) 항 타 비 | 2,280 M×1,600원 = 3,648,000원 | 1,540 M×2,500원 = 3,850,000원 | |
| 7) 두부정리비 | 190본×2,200원/본= 418,000원 | 110본×2,500원/본= 275,000원 | |
| 소 계 | 26,068,000원 | 24,772,000원 | 5.0%절감 |
| 2. 기초판 부분 | | | |
| 1) 레 미 콘 | 140 m ³ ×49,620원 = 6,946,800원 | 78 m ³ ×49,620원 = 3,870,360원 | |
| 2) 거 푸 집 | 157 m ² ×12,330원 = 1,935,810원 | 115 m ² ×12,330원 = 1,417,950원 | |
| 3) 철 근 | 4.5 ton×454,220원=2,043,990원 | 3.7 ton×454,220원=1,680,614원 | |
| 소 계 | 10,926,660원 | 6,968,924원 | 36.2%절감 |
| 합 계 | 36,994,660원 | 31,740,924원 | 14.2%절감 |
| 〈 전제조건 〉 | | | |
| 쿠션사용유무 | 사용무 | φ 350×12 m/m 합판 5매 사용 | |
| 항타장비 | K-25 디젤함마 | K-35 디젤함마 | |
| 설계하중 | 40 ton/본 | 70 ton/본 | |
| 기존말뚝수량 | 190 본 | 110 본 | |
| 기존건물규모 | 30평형(2열) 15층 APT (30세대) | 좌 동 | |
| PILE 자재비 | '92년 10월 실거래 평균가 (협정가의 약 85%) | '92년 10월 생산업체공급가 | |
| 기초판 자재비 | '92년 10월 현재 협정가 기준 | 좌 동 | |

4-2) SIP공법적용시 PC말뚝과 PHC말뚝의 경제성 비교

SIP 공법 적용시 PC말뚝과의 대비표 (표 2)

| 구 분 | P C P i l e | P H C P i l e | 비 고 |
|------------|---|---|------------------------|
| 1. PILE 부분 | | | |
| 1) 규 격 | φ 400×15 M | φ 400×15 M | 평균관입깊이 13.5M |
| 2) 수 량 | 156 본 | 100 본 | |
| 3) 전체길이 | 2,340 M | 1,500 M | 64.1% |
| 4) Pile자재비 | 156본×179,900원=28,064,400원 | 100본×232,800원=23,280,000원 | |
| 5) 시 공 비 | 13.5 M/본×15,000원/M×156본 =31,590,000원 | 13.5 M/본×15,000원/M×100본 =20,250,000원 | 오거링+cement paste+항타 |
| 6) 시 멘 트 | 3,500원/포×10포×156본 = 5,460,000원 | 3,500원/포×10포×100본 = 3,500,000원 | |
| 7) 두부정리 | 156본×2,500원/본= 390,000원 | 100본×2,800원/본= 280,000원 | |
| 소 계 | 65,504,400원 | 47,910,000원 | 27.8% 절감 |
| 2. 기초판 부분 | | | |
| 1) 레 미 콘 | 115 m ³ ×49,620원= 5,706,300원 | 70 m ³ ×49,620원= 3,473,160원 | |
| 2) 거 푸 집 | 143 m ² ×12,330원= 1,664,550원 | 108 m ² ×12,330원= 1,331,640원 | |
| 3) 철 근 | 4.2 ton×454,220원 = 1,907,724원 | 3.45 ton×454,220원 = 1,567,059원 | |
| 소 계 | 9,278,574원 | 6,372,099원 | 31.3% 절감 |
| 합 계 | 74,782,974원 | 53,682,099원 | 28.2% 절감 |
| 〈전제조건〉 | | | |
| 항 타 장 비 | 2 ton drop hammer | 2 ton drop hammer | |
| 설 계 하 중 | 50 ton/본 | 80 ton/본 | |
| cement 사용량 | 400 kg/본 | 400 kg/본 | 약 0.7 포/m |
| 기준건물규모 | 30평형(2열) 15층 APT (30세대) | 좌 동 | |
| PILE 자재비 | '92년 10월 실거래 평균가 (협정가의 약 85%) | '92년 10월 생산업체공급가 | |
| 기초판 자재비 | '92년 10월 현재 협정가 기준 | 좌 동 | |

4-3) SIP공법적용시 강관말뚝과 PHC말뚝의 경제성 비교

SIP 공법 적용시 강관말뚝과의 대비표 (표 3)

| 구 분 | 강 관 P i l e | P H C P i l e | 비 고 |
|------------|--|--|---|
| 1. PILE 부분 | | | |
| 1) 규 격 | φ 406.4(t = 9 mm)×24 M | φ 400×24 M | 12m 강관 2본이음 강관Pile 430원/kg |
| 2) 수 량 | 100 본 | 100 본 | |
| 3) 전체길이 | 2,400 M | 2,400 M | |
| 4) Pile자재비 | 100본×912,000원/본=91,200,000원 | 100본×414,000원/본=41,400,000원 | |
| 5) 시 공 비 | 100본×24 M×15,000원 =36,000,000원 | 100본×24 M×15,000원/M =36,000,000원 | |
| 6) 이음용접비 | 100본×25,000원/본 = 2,500,000원 | 100본×25,000원/본 = 2,500,000원 | |
| 7) 시 멘 트 | 100본×3,500원/포×40포 =14,000,000원 | 100본×3,500원/포×17포 = 5,950,000원 | |
| 8) 두부정리 | 100본×6,000원/본 = 600,000원 | 100본×2,800원/본 = 280,000원 | |
| 소 계 | 144,300,000원 | 86,130,000원 | 40.3%절감 |
| 2. 기초판 부분 | | | |
| 1) 레 미 콘 | 70 m ³ ×49,620원 = 3,473,400원 | 70 m ³ ×49,620원 = 3,473,400원 | |
| 2) 거 푸 집 | 108 m ² ×12,330원 = 1,331,640원 | 108 m ² ×12,330원 = 1,331,640원 | |
| 3) 철 근 | 3.45 ton×454,220원= 1,567,059원 | 3.45 ton×454,220원= 1,567,059원 | |
| 소 계 | 6,372,099원 | 6,372,099원 | |
| 합 계 | 150,672,099원 | 92,502,099원 | 38.6%절감 |
| < 전제조건 > | | | |
| 항 타 장 비 | 2 ton drop hammer | 2 ton drop hammer | |
| 설 계 하 중 | 80 ton/본 | 80 ton/본 | |
| cement 사용량 | 1,600 kg/본(약 1.7포/m) | 680 kg/본(약 0.7포/m) | |
| 기준건물규모 | 30평형(2열) 15층 APT(30세대) | 좌 동 | |
| PILE 자재비 | '92년 10월 실거래 평균가 | '92년 10월 생산업체공급가 | |
| 기초판 자재비 | '92년 10월 현재 협정가 기준 | 좌 동 | |

3. 결 론

이상과 같이 현장의 실증적인 시험을 통하여 획득한 PHC말뚝의 재료적 특성과 지지력을 근거로 기존의 PC말뚝 및 강관말뚝과 여러가지 측면에서 비교 검토한 결과 아래와 같은 결론을 도출할 수 있다.

첫째, 일반 PC말뚝을 직타시공시에 PHC말뚝으로 대체 사용할 경우 경제적인 효과도 있을 뿐아니라 말뚝간격이 조밀하지 않아서 설계의 융통성과 시공성이 좋다.

둘째, 저공해 공법인 SIP공법을 적용시에는 공법자체의 시공비가 고가인 관계로 PHC말뚝을 사용함으로써 원가절감을 크게 도모할 수 있다.

셋째, PHC말뚝은 압축강도와 지지력이 높고 선단부와 두부에 강판이 부착되어 있어서 용접에 의한 이음이 확실함으로 종전의 강관말뚝과 대체시공이 가능하며 말뚝자체의 가격차이가 현격한 관계로 말뚝의 심도가 깊을수록 대폭적인 원가절감이 가능하다.

넷째, PHC말뚝은 기존 PC말뚝보다 이음의 시공성과 신뢰성이 탁월하며 PC말뚝으로는 시공이 불가능한 여건에서도 시공이 가능하다.

다섯째, PHC말뚝의 사용영역을 확대 적용함으로써 작게는 시공자의 원가절감에 도움이 될뿐아니라 크게는 시멘트, 모래, 자갈, 철강 등 국가 건설자원의 낭비를 막을 수 있다.

108본 항타기록집계표

| 번호 | 길이 (m) | 관입깊이 (m) | 항타후길이 (m) | 두부파손 (m) | 최종 타격당 관입량 (mm) | 총타격회수 | 비 고 |
|----|-------------|---------------|----------------|---------------|--------------------|-------|-----|
| 1 | 14.0 | 9.6 | 13.3 | 0.7 | 8.3 | 229 | |
| 2 | 12.0 | 9.2 | 10.1 | 1.9 | 14.3 | 237 | |
| 3 | 11.0 | 9.6 | 10.6 | 0.4 | 14.3 | 173 | |
| 4 | 11.0 | 9.5 | 10.8 | 0.2 | 7.7 | 253 | |
| 5 | 10.0 | 8.9 | 10.0 | 0 | 5.3 | 277 | |
| 6 | 10.0 | 9.5 | 10.0 | 0 | 16.7 | 203 | |
| 7 | 10.0 | 9.5 | 10.0 | 0 | 25.0 | 197 | |
| 8 | 10.0 | 9.4 | 10.0 | 0 | 10.0 | 249 | PHC |
| 9 | 10.0 | 9.5 | 10.0 | 0 | 33.3 | 187 | |
| 10 | 10.0 | 9.5 | 10.0 | 0 | 14.3 | 261 | PHC |
| 11 | 10.0 | 8.8 | 9.5 | 0.5 | 12.5 | 185 | |
| 12 | 10.0 | 6.5 | 10.0 | 0 | 11.1 | 160 | PHC |
| 13 | 11.0 | 9.7 | 10.2 | 0.8 | 8.3 | 274 | |
| 14 | 8.0 | 5.0 | 7.2 | 0.8 | 4.0 | 131 | |
| 15 | 8.0 | 4.1 | 7.5 | 0.5 | 6.7 | 112 | |
| 16 | 8.0 | 3.1 | 7.7 | 0.3 | 9.1 | 67 | |
| 17 | 5.0 | 3.3 | 4.4 | 0.6 | 12.8 | 49 | |
| 18 | 5.0 | 3.5 | 4.9 | 0.1 | 11.1 | 58 | |
| 19 | 5.0 | 3.3 | 4.9 | 0.1 | 10.0 | 55 | |
| 20 | 5.0 | 3.6 | 5.0 | 0 | 10.0 | 61 | |
| 21 | 5.0 | 3.3 | 5.0 | 0 | 11.1 | 39 | |
| 22 | 5.0 | 3.2 | 4.8 | 0.2 | 6.7 | 57 | |
| 23 | 5.0 | 3.3 | 5.0 | 0 | 11.1 | 48 | |
| 24 | 5.0 | 3.3 | 4.9 | 0.1 | 7.1 | 63 | |

108본 항타기록집계표

| 번호 | 길이 (m) | 관입깊이 (m) | 항타후길이 (m) | 두부파손 (m) | 최종 타격당 관입량 (mm) | 총타격회수 | 비고 |
|----|-----------|-------------|--------------|-------------|--------------------|-------|-----|
| 25 | 5.0 | 3.4 | 4.9 | 0.1 | 7.1 | 72 | |
| 26 | 5.0 | 3.2 | 4.4 | 0.6 | 2.6 | 107 | |
| 27 | 5.0 | 3.1 | 4.7 | 0.3 | 12.5 | 41 | |
| 28 | 5.0 | 3.4 | 4.7 | 0.3 | 14.3 | 65 | |
| 29 | 5.0 | 3.3 | 4.5 | 0.5 | 5.9 | 54 | |
| 30 | 5.0 | 3.4 | 4.5 | 0.5 | 7.1 | 90 | |
| 31 | 11.0 | 8.2 | 9.7 | 1.3 | 12.5 | 218 | |
| 32 | 11.0 | 9.8 | 10.8 | 0.2 | 12.5 | 213 | |
| 33 | 11.0 | 9.4 | 10.2 | 0.8 | 14.3 | 221 | |
| 34 | 11.0 | 10.0 | 10.9 | 0.1 | 12.5 | 251 | |
| 35 | 10.0 | 9.6 | 10.0 | 0 | 7.1 | 246 | PHC |
| 36 | 11.0 | 10.4 | 10.9 | 0.1 | 14.2 | 287 | |
| 37 | 11.0 | 9.4 | 10.5 | 0.5 | 5.0 | 243 | |
| 38 | 11.0 | 9.2 | 11.0 | 0 | 10.0 | 224 | |
| 39 | 11.0 | 9.7 | 11.0 | 0 | 25.0 | 174 | |
| 40 | 11.0 | 10.1 | 10.9 | 0.1 | 12.5 | 266 | |
| 41 | 11.0 | 10.1 | 10.9 | 0.1 | 10.0 | 277 | |
| 42 | 11.0 | 9.6 | 11.0 | 0 | 11.1 | 229 | |
| 43 | 11.0 | 9.1 | 11.0 | 0 | 11.1 | 261 | |
| 44 | 11.0 | 8.2 | 11.0 | 0 | 7.1 | 234 | |
| 45 | 11.0 | 9.0 | 10.1 | 0.9 | 9.1 | 222 | |
| 46 | 11.0 | 9.1 | 10.2 | 0.8 | 14.2 | 198 | |
| 47 | 12.0 | 9.5 | 10.7 | 1.3 | 16.7 | 225 | |
| 48 | 11.0 | 9.6 | 10.2 | 0.8 | 14.2 | 235 | |

108본 향타기록집계표

| 번호 | 길이 (m) | 관입깊이 (m) | 향타후길이 (m) | 두부파손 (m) | 최종 타격당 관입량 (mm) | 총타격회수 | 비 고 |
|----|-------------|---------------|----------------|---------------|--------------------|-------|-----|
| 49 | 11.0 | 9.9 | 10.4 | 0.6 | 16.7 | 296 | |
| 50 | 11.0 | 8.5 | 9.8 | 1.2 | 14.2 | 213 | |
| 51 | 11.0 | 9.5 | 10.9 | 0.1 | 16.7 | 261 | |
| 52 | 11.0 | 9.9 | 11.0 | 0 | 16.7 | 233 | |
| 53 | 11.0 | 8.0 | 10.1 | 0.9 | 12.5 | 239 | |
| 54 | 11.0 | 7.2 | 10.2 | 0.8 | 6.7 | 217 | |
| 55 | 11.0 | 9.5 | 10.6 | 0.4 | 7.1 | 272 | |
| 56 | 10.0 | 9.4 | 10.0 | 0 | 16.7 | 216 | |
| 57 | 10.0 | 9.4 | 9.8 | 0.2 | 11.1 | 202 | |
| 58 | 10.0 | 9.4 | 10.0 | 0 | 5.0 | 247 | PHC |
| 59 | 10.0 | 9.4 | 10.0 | 0 | 12.5 | 231 | PHC |
| 60 | 10.0 | 9.7 | 10.0 | 0 | 5.3 | 233 | PHC |
| 61 | 12.0 | 9.3 | 11.2 | 0.8 | 12.5 | 247 | |
| 62 | 11.0 | 7.9 | 10.6 | 0.4 | 11.1 | 191 | |
| 63 | 12.0 | 10.0 | 11.2 | 0.8 | 16.7 | 302 | |
| 64 | 12.0 | 10.8 | 12.0 | 0 | 11.1 | 284 | |
| 65 | 12.0 | 10.4 | 11.6 | 0.4 | 7.1 | 259 | |
| 66 | 12.0 | 8.1 | 11.6 | 0.4 | 12.5 | 189 | |
| 67 | 12.0 | 8.7 | 11.2 | 0.8 | 6.3 | 228 | |
| 68 | 10.0 | 8.4 | 9.9 | 0.1 | 12.5 | 188 | |
| 69 | 10.0 | 7.0 | 9.5 | 0.5 | 7.1 | 213 | |
| 70 | 10.0 | 9.4 | 10.0 | 0 | 12.5 | 269 | |
| 71 | 10.0 | 8.0 | 10.0 | 0 | 12.5 | 191 | |
| 72 | 10.0 | 9.5 | 10.0 | 0 | 16.7 | 226 | |

108본 항타기록집계표

| 번호 | 길이 (m) | 관입깊이 (m) | 항타후길이 (m) | 두부파손 (m) | 최종 타격당 관입량 (mm) | 총타격회수 | 비 고 |
|----|-------------|---------------|----------------|---------------|--------------------|-------|-----|
| 73 | 10.0 | 9.0 | 9.3 | 0.7 | 16.7 | 200 | |
| 74 | 10.0 | 9.5 | 9.6 | 0.4 | 28.6 | 278 | |
| 75 | 10.0 | 7.4 | 9.5 | 0.5 | 16.7 | 187 | |
| 76 | 10.0 | 8.6 | 9.7 | 0.3 | 5.0 | 270 | |
| 77 | 10.0 | 8.9 | 9.8 | 0.2 | 7.7 | 270 | |
| 78 | 10.0 | 8.6 | 9.3 | 0.7 | 10.0 | 202 | |
| 79 | 10.0 | 7.2 | 10.0 | 0 | 8.3 | 225 | PHC |
| 80 | 12.0 | 9.4 | 11.6 | 0.4 | 8.3 | 325 | |
| 81 | 12.0 | 7.5 | 10.9 | 1.1 | 2.7 | 273 | |
| 82 | 10.0 | 7.5 | 9.5 | 0.5 | 3.2 | 249 | |
| 83 | 10.0 | 9.0 | 9.6 | 0.4 | 9.1 | 243 | |
| 84 | 10.0 | 8.6 | 9.1 | 0.9 | 12.5 | 197 | |
| 85 | 10.0 | 6.3 | 9.3 | 0.7 | 11.1 | 200 | |
| 86 | 10.0 | 8.0 | 9.3 | 0.7 | 10.0 | 228 | |
| 87 | 10.0 | 6.3 | 9.1 | 0.9 | 12.5 | 184 | |
| 88 | 10.0 | 6.8 | 10.0 | 0 | 14.2 | 157 | |
| 89 | 10.0 | 6.2 | 9.2 | 0.8 | 9.1 | 166 | |
| 90 | 10.0 | 9.2 | 9.2 | 0.8 | 11.1 | 177 | |
| 91 | 8.0 | 6.5 | 7.4 | 0.6 | 14.2 | 151 | |
| 92 | 8.0 | 5.2 | 7.7 | 0.3 | 10.0 | 143 | |
| 93 | 8.0 | 7.3 | 7.8 | 0.2 | 14.2 | 172 | |
| 94 | 8.0 | 6.7 | 7.6 | 0.4 | 12.5 | 182 | |
| 95 | 8.0 | 6.9 | 7.5 | 0.5 | 12.5 | 152 | |
| 96 | 8.0 | 5.8 | 7.8 | 0.2 | 20.0 | 110 | |

108본 향타기록집계표

| 번호 | 길이 (m) | 관입깊이 (m) | 향타후길이 (m) | 두부파손 (m) | 최종 타격당 관입량 (mm) | 총타격회수 | 비고 |
|-----|-----------|-------------|--------------|-------------|--------------------|-------|----|
| 97 | 8.0 | 6.0 | 7.3 | 0.7 | 12.5 | 163 | |
| 98 | 8.0 | 6.0 | 6.7 | 0.3 | 16.7 | 140 | |
| 99 | 8.0 | 5.7 | 7.6 | 0.4 | 14.2 | 117 | |
| 100 | 8.0 | 6.5 | 7.9 | 0.1 | 14.2 | 162 | |
| 101 | 8.0 | 7.0 | 7.7 | 0.3 | 12.5 | 140 | |
| 102 | 8.0 | 6.4 | 7.8 | 0.2 | 14.2 | 147 | |
| 103 | 8.0 | 7.1 | 7.9 | 0.1 | 12.5 | 141 | |
| 104 | 8.0 | 7.5 | 7.9 | 0.1 | 20.0 | 178 | |
| 105 | 8.0 | 5.1 | 7.3 | 0.7 | 10.0 | 138 | |
| 106 | 8.0 | 6.4 | 7.2 | 0.8 | 11.1 | 178 | |
| 107 | 8.0 | 5.7 | 7.6 | 0.4 | 11.1 | 161 | |
| 108 | 8.0 | 5.2 | 7.7 | 0.3 | 14.2 | 79 | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |