KGS Fall '99 National Conference / October 30, 1999 / Seoul / Korea

소구경 현장타설 콘크리트 말뚝의 건전도 시험사례
Pile Integrity Test Examples for Displacement in-situ Concrete Piles

이 명환[1], Myung-Whan Lee, 홍 헌성[2], Hun-Sung Hong, 김 성회[3], Soung-Hoi Kim, 전 영석[4], Young-Suk Jun

[1] (주)파일테크 연구소장, Principal Researcher, Piletech Consulting Engineers
[2] (주)파일테크 사장, Principal, Piletech Consulting Engineers
[3] (주)파일테크 차장, Senior Researcher, Piletech Consulting Engineers
[4] (주)파일테크 과장, Researcher, Piletech Consulting Engineers

요지

PIT collector를 이용한 저변형률 건전도시험(low strain pile integrity test)은 충격에 의해 발생하는 응력파장의 특성을 분석하여 말뚝의 길이와 형상을 추정하는 방법이다. PIT시험(Pile Integrity Test)은 장말뚝인 경우와 지반저항이 큰 경우 선단부의 위치가 분명하게 확인되지 않아 해석이 불가능하다는 단점이 있으며 적용할 수 있는 대상말뚝에도 종류에 따라 제한된다. 그러나 이밖의 경우 간편성과 말뚝의 대략적인 단면형상을 파악할 수 있다는 점에서 다른 방법에 비하여 유리하다. 이 때문에 국내에서도 PIT시험의 적용 빈도가 증가하는 추세이며 지난 3 4년 동안 주로 대형 교량건설 현장의 대구경 현장타설말뚝에 대하여 적용되어 왔다. 최근 국내에서는 대구경 현장타설말뚝이 아닌 소구경 현장타설말뚝에 대하여 PIT시험을 실시하는 경우도 증가하고 있다. 현장 조건상 말뚝길이가 길지 않은 경우 시험분석결과 말뚝의 선단부가 분명하게 확인되었고 말뚝 중간부 및 하부의 necking 또는 bulging, 선단부의 단면이 확대되거나 축소되는 형상 등 다양한 단면형상을 나타내었다. 이 결과로부터 건전도시험의 효과적인 분석방안, 시간(양생)효과 등을 판단할 수 있음을 확인할 수 있었다.

1. 서론

과거 현장타설 콘크리트말뚝 공법은 대규모 교량 또는 대형 건물 기초 등 큰 하중이 재하되는 주요 구조물 기초에 주로 적용되어 왔다. 그 결과 우리나라의 대구경 현장타설 콘크리트말뚝은 말뚝의 선단부를 암반층까지 관입시키는 시공법이 거의 대부분의 공사에서 불문율로 지켜지고 있다. 말뚝의 선단부를 양질의 암반까지 관입시키는 시공법은 선단지지를 확신할 수 있다는 장점이 있지만 말뚝의 관입깊이를 불필요하게 길게하여 경제성이 저하되는 문제가 제기된다. 또한 양질의 암반에 선단부가 근입되는 경우에도 굴착공벽의 붕괴, 부유물질의 침전, 콘크리트 타설과 강관 케이싱 인발속도의 차질 등으로 타설된 콘크리트의 건전도가 문제되는 경우도 발생되고 있다.

근래에 들어 국내에서도 현장타설 콘크리트말뚝 건전도의 중요성에 대한 인식이 제고되고 있다. 현장타설 콘크리트말뚝의 건전도 시험방법에는 sonic logging test와 PIT의 두가지 방법이 존재한다. sonic logging test는 말뚝의 전길이에 걸쳐 건전도를 확인할 수 있다는 장점이 있으며 최근 국내에서의 적용이 급증하고 있다. 그러나 sonic logging test 방법은 실시에 많은 비용이 소요되기 때문에 시공되는 모든 말뚝에 적용되지 못하고 지반조건에 따라 10-30% 정도만이 실시된다. 또한 sonic logging test는 콘크리트 타설 이전에 매설된 튜브를 이용하기 때문에 튜브 경계면 안쪽의 건전도는 확인할 수 있으나 말뚝 전체의 형상은 확인할 수 없다는 한계가 있다. 반면 PIT 시험은 튜브 매설 등 사전준비가 필요하지 않기 때문에 불특정 다수의 시험말뚝을 선정할 수 있으며 소요 비용이 상대적으로 저렴하며 시험결과로부터 말뚝의 전체 형상을 판단할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 PIT 시험은 말뚝 길이별 각 부위의 건전도 파악에는 sonic logging test 보다 불리하다. 결국 현재의 기술수준으로 말뚝의 건전도를 100% 확신할 수 있는 시험방법은 없으며 sonic logging test와 PIT 시험을 적절히 조합하는 방안이 최선이라고 판단된다.

PIT 시험법은 현장타설 콘크리트말뚝의 건전도를 확인할 수 있는 두가지 시험법 중의 하나이다. sonic logging test의 경우 시험결과의 판정이 비교적 용이하여 국내에서 적용에 큰 문제는 없지만 PIT 시험법은 해석에 전문적인 지식과 경험이 요구되기 때문에 국내에서 보편적으로 활용되는데 한계가 있다. 특히 양호한 암반에 socketing된 대구경 장대말뚝의 경우 PIT 시험에서 적용되는 한정된 저변형률만으로는 경험이 많은 기술자까지도 해석이 곤란한 경우도 발생할 수 있다. 본논문에서는 비교적 관입깊이가 짧은 소구경 현장타설 콘크리트말뚝에서 시행하였던 PIT 시험사례를 대상으로 하여 PIT 시험결과를 설명하였다. 말뚝의 관입깊이가 짧기 때문에 선단부의 반사파가 분명하게 확인되고 있으며 깊이에 따른 단면 확대 또는 단면 감소 등 말뚝형상도 확인할 수 있었다. 이와같은 PIT 시험결과 분석은 추후 말뚝재하시험을 통하여 그 신뢰성이 확인되었다. 본 사례에서 나타난 바와같이 PIT 시험을 제대로 활용하면 현장타설 콘크리트말뚝의 단순한 건전도 확인 뿐만 아니라 지지력에 대한 평가까지 할 수 있는 유용한 것임을 알 수 있었다.

2. 시험개요

시험방법은 PIT collector를 이용한 저변형률 건전도시험(low strain pile integrity test)으로 일명 PIT시험으로 알려져 있다. 측정장치에는 중앙처리장치인 PIT collector와 함께 충격을 가하는 망치(hand hammer)와 파동을 감지할 수 있는 센서인 가속도계(accelerometer)를 포함한다. PIT 시험의 해석방법으로는 말뚝두부 속도를 시간의 함수로 나타낸 SPEM(sonic pulse echo method)과 말뚝두부의 속도와 힘의 진동수 spectrum의 비인 mobility의 함수로 나타낸 TRM(transient response method)방법이 있다. 본연구에서는 SPEM방법으로서 PITSTOP 프로그램(pile integrity tester sonic and transient output program)의 PITPLOT과 PILE PROPILE를 이용하여 분석하였다. 본논문에서는 분량이 제한된 관계로 PIT시험의 기본원리, 방법, 해석 등에 대해서는 생략하였으며 상세한 내용은 참고문헌을 참고하기 바란다.

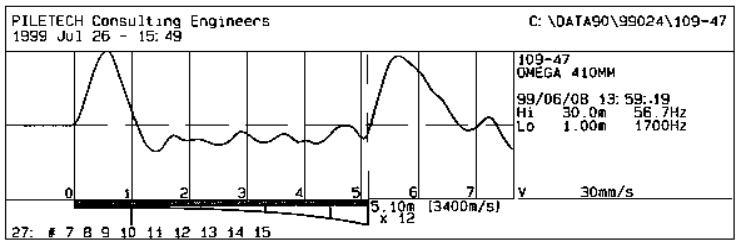
3. 대상말뚝

본 연구의 대상말뚝은 소구경(ø410mm)의 현장타설 콘크리트말뚝으로서 비배토공법, 즉 굴착시 배토를 하지 않아 배토공법의 취약점인 주면마찰력의 감소를 해결한 공법이다. 시공방법은 특수 오거를 사용하여 지반의 흙을 배출시키지 않는 상태에서 굴착을 실시한 다음 굴착공에 콘크리트를 타설한 후 내부에 보강재로 H-형강과 철근망을 근입시켜 마무리 된다. 현장의 지반조건상 말뚝의 근입깊이는 4m 7m정도로 짧게 시공되었다.

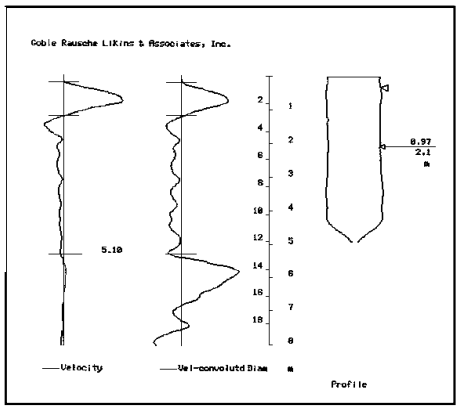
본 현장에서의 말뚝건전도시험은 해당 시방서에 의거하여 총시공물량의 5%정도인 80여본에 대하여 실시되었다. 본 논문에서는 이들 중 대표적인 사례를 선정하여 PIT 시험결과를 설명하였다.

4. 시험결과

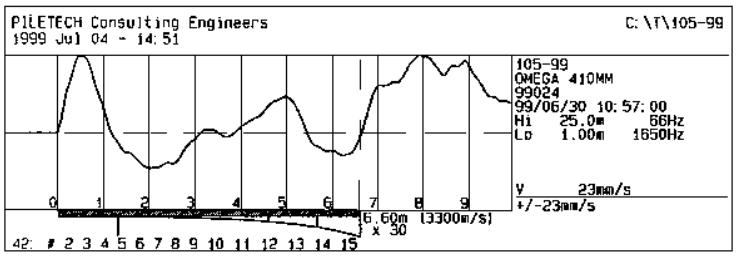
프로그램 분석 결과 단면 형상은 대략 7가지 유형으로 구분할 수 있었다. 이들의 PITPLOT프로그램 출력치와 유형별 분석내용 그리고 말뚝종단면도를 나타내는 PROFILE프로그램 출력결과를 그림 1에 나타내었다.



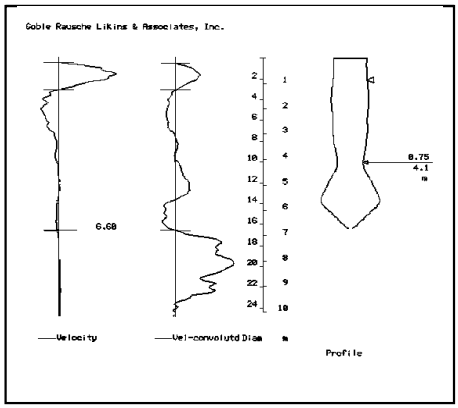
▶ 고른단면 유지



(a) Uniform

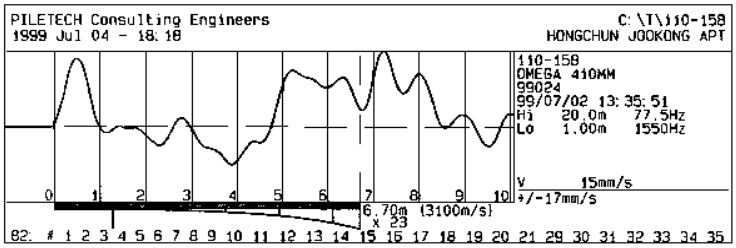


▶ 하부 심한 necking
→선단부 확대



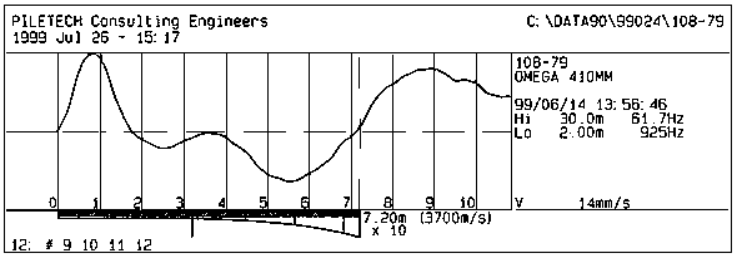
(b) Necking 후 선단부 확대형

그림 1. 대표적인 PIT 시험결과(계속)

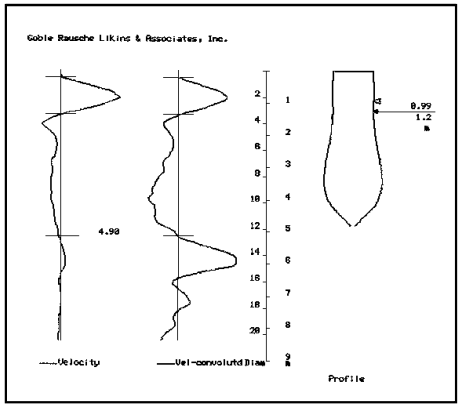


▶ 중하부 확대
→하부 necking
→ !단부 축소

(c) 확대후 선단부 축소형

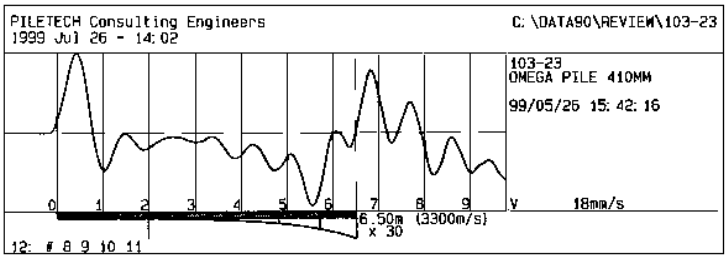


▶ 하부로 점차 증가
→선단부로 점차 감소

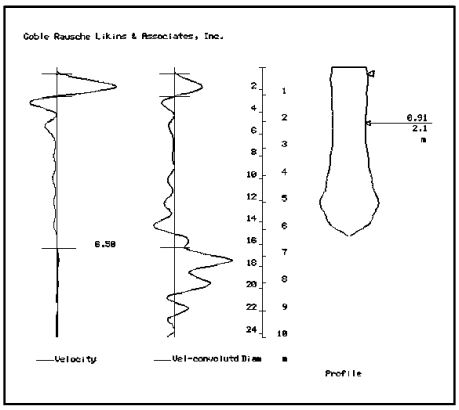


(d) 확대후 선단부 점차 감소형

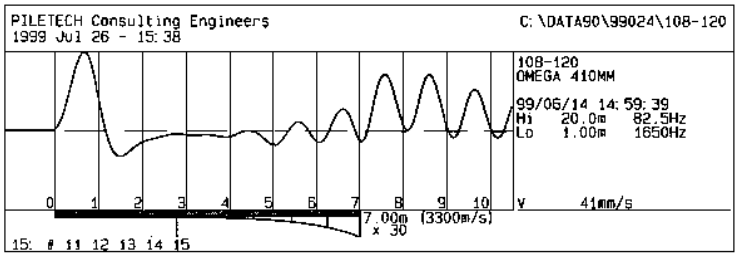
그림 1. 대표적인 PIT 시험결과(계속)



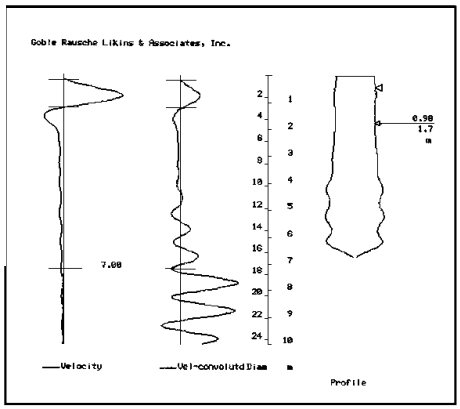
▶ 중상부 약간 necking
→하부 확대



(e) 하부 확대형

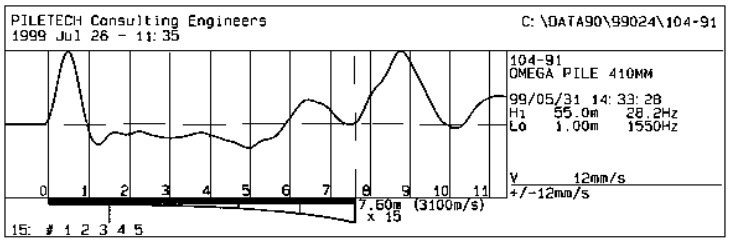


▶ 하. 선단부 확대 돌기형

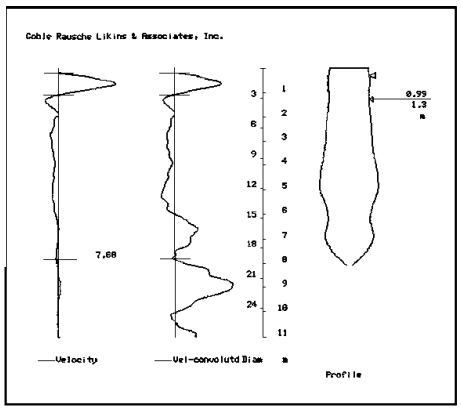


(f) 확대 돌기형

그림 1. 대표적인 PIT 시험결과(계속)



▶ 상부에서 중하부로 점차 증가
→하부로 점차 감소
→선단부로 점차 증가



(g) 기타

그림 1. 대표적인 PIT 시험결과

5. 결과고찰

5.1 선단부 반사파(toe reflection signal)

PIT시험의 해석 및 결과의 신뢰도를 높이기 위해서는 측정 파형으로부터 선단부의 반사파가 분명하게 나타나는 것이 요구된다. 이를 위한 수단으로 분석시 지수증폭(exponential amplificatiom)을 수행하게 되는데 측정파형에 대해 시간축을 따라 지수함수적으로 신호의 증폭비를 증가시켜 선단부 반사파의 진폭을 크게하는 방법이다. 그러나 이를 통해서도 선단부 반사파를 확인하지 못하는 경우도 간혹 경험한다. 말뚝선단부가 현무암(basalt), 화강암(granite), 사암(sandstone)등 단단한 암층에 지지된 경우와 말뚝 근입장이 길거나 주면마찰력성분이 상당히 큰 경우에는 지수증폭을 크게(100배이상) 하더라도 선단부를 확인하는 것이 거의 불가능하다. 단단한 암에 지지된 경우 강도, 파의속도(3000m/sec내외)등 말뚝재질과 유사한 특성을 지니고 있기 때문이다(Morgano, 1997). 또한 주면마찰력이 큰 경우 마찰저항력으로 인하여 전달되는 탄성파의 에너지가 소산되기 때문이다. 본논문의 연구대상 말뚝의 경우 대부분 지수증폭을 30배 이내, 일부 말뚝에서 대해서는 50배까지 적용하였으며 대상말뚝 모두 선단부 반사파가 분명하게 나타났다.

5.2 파의속도(wave speed)

본시험에서 측정된 파의속도(wave speed)는 말뚝에 따라 3100m/sec 3850m/sec로 상이하게 나타났으며 선단부 위치가 분명하게 확인된 점을 감안할 때 각 말뚝의 파의속도는 대체로 정확한 것으로 평가된다.

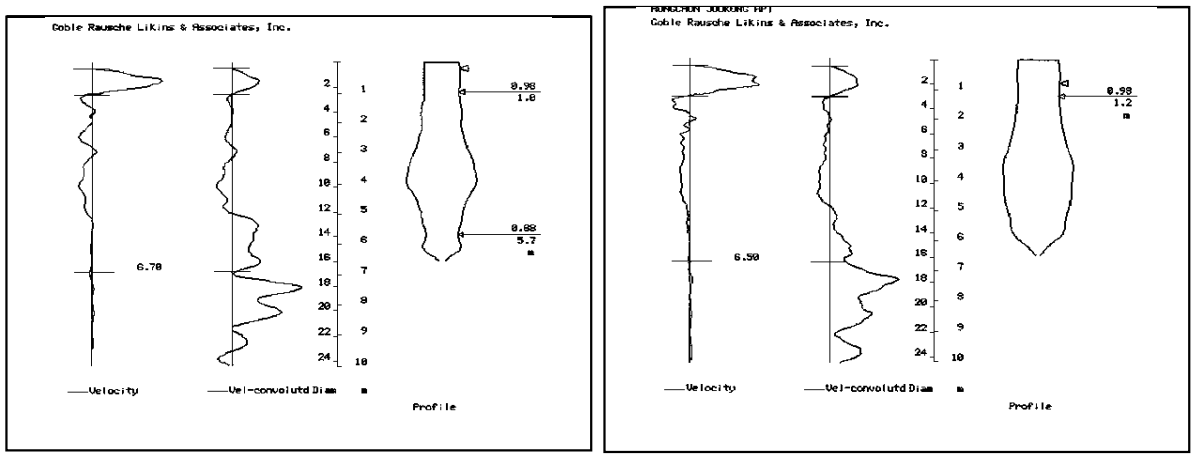
파의속도가 가장 느린 3100m/sec로 측정된 말뚝은 시공후 5일 8일이 경과한 시점에 시험이 실시되었고 2주 이상의 양생을 거친 말뚝의 경우 3600m/sec 내외의 비교적 정상적인 파속도를 갖는 것으로 나타났다. 이로 미루어볼 때 말뚝에 따라 파의 속도가 상이한 것은 시험시점의 차이

에서 비롯한 콘크리트 양생정도의 차이가 주원인인 것으로 분석된다. 이밖에도 콘크리트 생산단계에서 강도 및 품질에 이미 차이가 발생했을 가능성과 시공기록부상의 말뚝 근입깊이의 오차 가능성 또한 파의 속도가 상이할 수 있다.

5.3 시간경과 효과

시간경과에 따라 말뚝의 건전도가 변화할 수 있는 가능성을 확인하기 위하여 동일한 말뚝에 대하여 시공후 상이한 시점에 건전도 시험을 실시하였다. 그림 2에 표시한 말뚝은 시공후 5일이 경과한 시점에 1차 PIT시험을 실시하였다. 이 때 측정된 파의속도는 비교적 느린 3100m/sec였으며 말뚝의 형상은 하부가 necking 된 상태이고 선단부 또한 축소된 형태로서 말뚝 하 · 선단부의 결함이 심각한 것으로 분석되었다. 이후 6일이 경과한 시점에 실시한 2차시험시 측정된 파의속도는 3600m/sec로 증가하였고 말뚝 하 · 선단부의 상태는 설계단면 이상을 유지하는 것으로 호전되었다.

이상의 결과로부터 현장타설 콘크리트말뚝의 경우 말뚝형상이 완전히 갖추어져 제 강도를 발휘하기 위해서는 최소한의 양생기간이 필요함을 알 수 있었다.



--1차시험(시공후 5일경과)--　　--2차시험(시공후 11일경과)--

그림 2. Pile Profile 비교

6. 결론

소구경 현장타설말뚝에 대한 저변형률 건전도시험의 적용결과 그동안 주면저항력이 크고 근입심도가 깊은 대구경말뚝에 적용했던 것과는 달리 선단부반사파가 모든 대상말뚝에서 분명하게 확인됨에 따라 선단부 근처의 건전도 해석에 높은 신뢰도를 얻을 수 있었다.

본 논문에서 나타난 바와같이 PIT 시험결과는 말뚝의 설계조건 만족여부 판단에 큰 도움을 준다. 그러나 PIT 시험결과는 콘크리트 타설시점으로부터 시험시점 까지 경과한 시간에 따라서도 상

이한 결과를 나타낼 수 있음을 유의하여야 할 것이다. 저자들의 경험에 의하면 현장타설 콘크리트 말뚝의 건전도 시험은 시공후 최소 2주이상 경과한 시점에서 실시하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

본 논문에서 나타난 바와같은 여러가지 형태의 PIT 시험결과는 말뚝의 전체적인 형상을 파악하는 유용한 자료이다. 그러나 말뚝의 최종적인 설계조건 만족여부 판단을 위해서는 건전도상 이상이 있는 것으로 판단된 말뚝에 대해서 지지력시험을 수행하여야 할 것이다.

참고문헌

1. 파일테크 기술자료, “말뚝 건전도시험(Low Strain Pile Integrity Testing)"
2. C. Michael Morgano(1997), "Determining Embedment Depths of Deep foundations Using Non－Destructive Methods" : KOREAN PDA USERS DAY/SEOUL/KOREA/6－7 May 1997.