

## 초장대말뚝의 동재하시험 해석방안

### A proposal for the analysis of the PDA testing results of the extra-long piles

이명환<sup>1)</sup>, Myung-Whan Lee, 홍헌성<sup>2)</sup>, Hun-Sung Hong, 김성희<sup>3)</sup>, Sung-Hoi Kim, 전영석<sup>3)</sup>, Young-Suk Jun

<sup>1)</sup> (주)파일테크 연구소장, Research Fellow, Piletech Consulting Engineers

<sup>2)</sup> (주)파일테크 대표이사, President, Piletech Consulting Engineers

<sup>3)</sup> (주)파일테크 부장, Manager, Piletech Consulting Engineers

**SYNOPSIS** : These days the construction of extra-long piles increases. It is not unusual to install piles whose length exceed 45m. In such cases, the estimated value of negative skin friction becomes larger, often larger than the design load. In order to be sure of the safety of the super structure, the magnitude of the positive skin friction and the base bearing capacity should be known. In practice dynamic pile loading tests using PDA is the only possible measure to meet this requirement. However the analysis of dynamic pile loading test for such extra-long piles requires a thorough understanding of the pile-soil behaviour. In this paper, a new method to evaluate the positive skin friction and end bearing capacity from the normally performed PDA test is proposed. The proposed method was verified by performing specially designed pilot testings.

**Key words** : Extra-long pile, Negative skin friction, Positive skin friction, End bearing capacity, PDA, Set up

## 1. 서 론

연약지반에서의 건설공사가 증가함에 따라, 초장대말뚝의 건설이 증가하고 있다. 초장대말뚝(extra-long pile)이라는 용어를 사용하였지만, 그 기준이 확립된 것은 아니다. 다만 기성말뚝의 경우, 45m가 넘으면, 용접이음개소수가 3개소 이상이 되며, 그러한 여건이 되는 경우라면 초장대말뚝이라고 칭하여도 좋을 것으로 보인다.

초장대말뚝은 연약지반이 매우 깊은 곳까지 발달한 지반조건에서 요구되며 대부분 큰 값의 부주면마찰력 발생이 예상된다. 이러한 지반조건에서는 말뚝에 발생할 것으로 예상되는 부주면마찰력 값이 설계 하중보다 크게 되는 것이 오히려 보편적이다. 심지어 설계하중의 3배 이상의 부주면마찰력 발생이 예상되는 지반조건에서도 건설공사가 진행되고 있다. 이러한 지반조건에서는 부주면마찰력 감소를 위해 SL말뚝을 채택하더라도, 상부구조물의 안전을 위해 큰 값의 [양의 주면마찰력+선단지지력]이 요구된다.

상부구조물의 안전을 확인하기 위해서는 [양의 주면마찰력+선단지지력] 값을 확인해야 하는데, 비록 SL코팅을 하였다 할지라도 연약지반 구간에서 발휘되는 상당한 주면마찰력을 배제하고 필요한 정보만을 확인하기란 지난한 과제이다. 이러한 조건에서 기술자로서 채택할 수 있는 유일한 대안은 PDA를 이용한 동재하시험밖에 없다. 왜냐하면 현재의 기술로 말뚝의 선단지지력과 주면마찰력을 구분하고, 게다가 주면마찰력 중에서 다시 연약지반의 부주면마찰력 발생이 예상되는 곳의 값을 제외한 하부의 양

의 마찰력 값을 얻을 수 있는 방안은 PDA시험결과를 CAPWAP분석하는 길 밖에는 없기 때문이다.

종종 이러한 지반조건에서도 동재하시험의 신뢰도를 운운하며 정재하시험을 고집하는 기술자들이 없지 않지만, 과연 말뚝 부재의 일정한 부분에 계측장치를 매설하여 고난도의 하중전이시험을 하지 않는다면, 정재하시험 실시로부터는 얻을 수 있는 것은 없다. 또 만약 많은 비용을 들여서 하중전이시험을 실시한다고 하더라도, 시간경과에 따라 변화하는 부주면마찰력, 양의 주면마찰력, 선단지지력을 확인하는 데에는 장기간에 걸친 계측이 요구되는 것인바, 실무적으로는 불가능하다.

그러나 실제 이러한 경우에 PDA를 이용한 동재하시험을 실시하더라도, 그 결과를 해석하여 필요한 정보를 가려내는 데에는 말뚝기초에 대한 폭넓은 이해와 경험이 필요하다. 왜냐하면 이런 조건에서는, 부주면마찰력 구간에서의 마찰저항 때문에 필요로 하는 것보다 훨씬 큰 타격력이 필요하기 때문이다. 그렇다고 해서 필요로 하는 것만큼 큰 타격력으로 동재하시험을 실시할 수도 없는 이유는, 그런 큰 타격력을 가하면 말뚝재료가 허용하는 범위를 초과하기 때문이다.

본 논문은 이런 초장대말뚝이 적용되는 조건에서, 동재하시험 결과를 해석할 수 있는 방안에 대한 것이다. 제시한 방안은 항타시 동재하시험(EOID, end of initial driving)결과와 같은 말뚝에 대한 일정한 시간이 경과한 후의 재항타시 동재하시험(Restrike) 결과를 지반조건 및 타격력의 전이과정과 연계하여 [양의 주면마찰력+선단지지력]을 평가하는 방안을 제시하였다. 제시된 방안은 특별히 고안된 시험시공을 실시하여 검증하였다.

## 2. 문제점의 개요

초장대말뚝이 요구되는 지반조건은 상당한 두께의 연약지반을 포함하게 된다. 말뚝은 연약지반을 관통하여 압밀침하의 우려가 없는 양호한 지지층(양의 주면마찰력 또는 선단지지력)까지 관입시킨다. 말뚝을 시공하는 시점에서는 부주면마찰력 구간 및 양의 주면마찰력 구간에서의 주면마찰저항은 그리 크지 않은 상태이기 때문에 깊은 곳까지 말뚝을 관입시킬 수 있다. 그러나 말뚝을 항타관입한 다음 일정한 시간이 경과하면 부주면마찰력 구간 및 양의 주면마찰력 구간에서의 주면마찰 저항이 증가하게 된다. 따라서 일정한 시간이 경과한 시점에 실시하는 재항타시 동재하시험 결과로부터 우리가 필요로 하는 정보, 즉 [양의 주면마찰력+선단지지력]을 확인하기가 용이하지 않다. 이러한 문제점을 실제 사례를 통해서 설명하기로 한다.

본 논문에서 소개하는 사례는  $\phi 508.0\text{mm} \sim \phi 558.8\text{mm}$ (두께 12.0mm)인 강관말뚝을 항타공법으로 시공한 경우이다. 지반조건은 지표면으로부터 10m 내외의 매립층이 있고 그 하부에 40m이상의 연약지반(실트질 점토층)이 나타나며 그 아래쪽에 대부분 모래자갈층이 존재하는 지반조건이다. 연약지반의 깊이가 깊어지게 됨에 따라 예상 부주면마찰력 값은 큰 값이 되며, 필요한 곳에는 SL코팅을 하기도 하였다. 말뚝의 항타는 램중량이 10~13ton인 유압해머를 사용하였으며, 대부분 최종 타격당 관입량이 2mm정도가 되도록 하였다. 항타시 동재하시험을 실시하고 1~14일 경과시 재항타 동재하시험을 실시하였다. PDA를 이용한 동재하시험결과는 CAPWAP분석을 실시하였으며, 하중-침하량 관계분석 및 관입깊이별 주면마찰력분포 관계를 도출하여 설계하중 만족여부를 검토하였다. 그림 1에는 대표적인 하중-침하량 분석결과를 도시하였다.

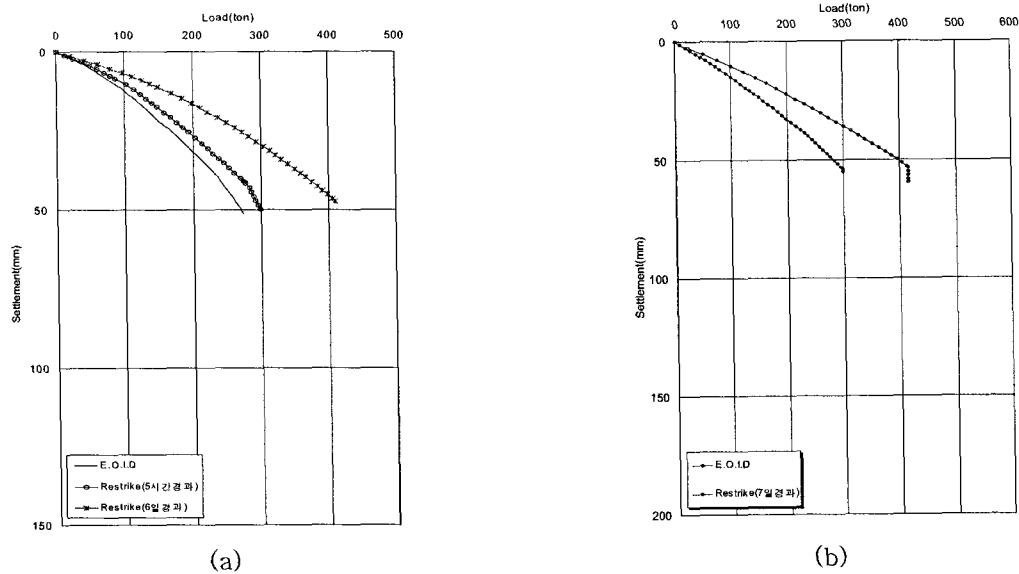


그림 1. 하중-침하량 관계(대표적 사례)

그림 1과 같은 하중-침하량 관계는 우리가 동재하시험 결과를 해석할 때 가장 기본적으로 활용하는 수단이다. 그림에서 나타나고 있듯이, 말뚝의 지지력은 시간이 경과함에 따라 증가한 것으로 볼 수 있다. 심지어 말뚝을 시공한지 5시간이 경과한 후 실시한 결과(그림 1(a))조차도 지지력의 증가를 나타내고 있다. 이러한 추세는 지반조건에 따라 큰 차이를 보여준다. 그렇지만 이런 하중-침하량 관계를 얻었다고 해도 본 논문에서 얘기하는 것같이 부주면마찰력이 발생하는 지반조건일 경우, 해당 말뚝이 설계조건을 만족시키는지 그렇지 않은지를 판단할 수 없다. 왜냐하면 이 그림에 표시한 하중(지지력) 중에서 어디까지가 부주면마찰력이고 [양의 주면마찰력+선단지지력]의 크기는 얼마가 되는지 알 수가 없기 때문이다.

이러한 사정은 말뚝에 정재하시험을 실시한다고 해도 개선되지 않는다. 정재하시험을 실시하여 얻을 수 있는 결과 또한 하중-침하량 관계이기 때문이다. 더구나 정재하시험의 경우에는 시간경과에 따른 말뚝지지력 변화조차도 알 수가 없기 때문에, 설계하중조건 만족을 평가한다는 것은 더더욱 불가능하다. 만약 많은 비용을 들여서 하중계 또는 변형률계를 부착하고 하중전이시험을 실시한다면 유용한 결과를 얻을 수도 있겠지만, 그런 정도의 결과를 얻기 위해서는 큰 하중을 재하해야함은 물론 시간경과에 따른 지지력변화를 확인하기 위하여 장기간에 걸친 계측이 필요할 것이기 때문에, 실무적으로는 가능하지 않다고 판단된다.

결국 현재의 기술수준으로 유일한 해결방안은 동재하시험에 의존하는 수밖에 없다. 동재하시험을 실시하되, 아주 정밀한 동재하시험이 요구되며, 그 결과의 해석에는 지반공학 및 말뚝지지력에 대한 폭넓은 이해가 필요하다.

그림 2~그림 9에는 몇 개의 초장대말뚝에 대하여 실시한 동재하시험의 CAPWAP분석 결과로부터 말뚝 관입깊이별 주면마찰력 분포를 표시한 것으로서 항타시 측정된 결과와 재항타시 측정된 결과를 대비하여 나타내었다.

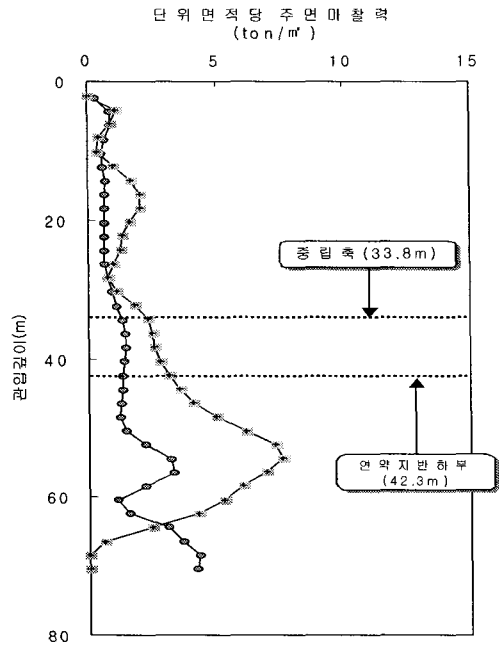


그림 2. 시간경과에 따른 말뚝관입깊이별 주면마찰력(사례 A)

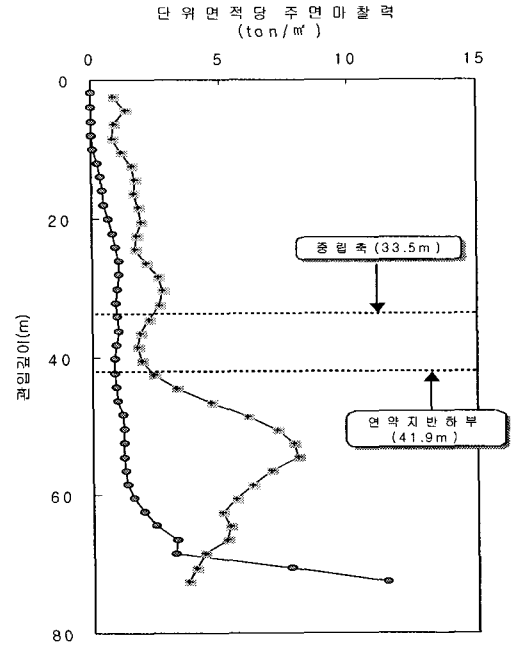


그림 3. 시간경과에 따른 말뚝관입깊이별 주면마찰력(사례 B)

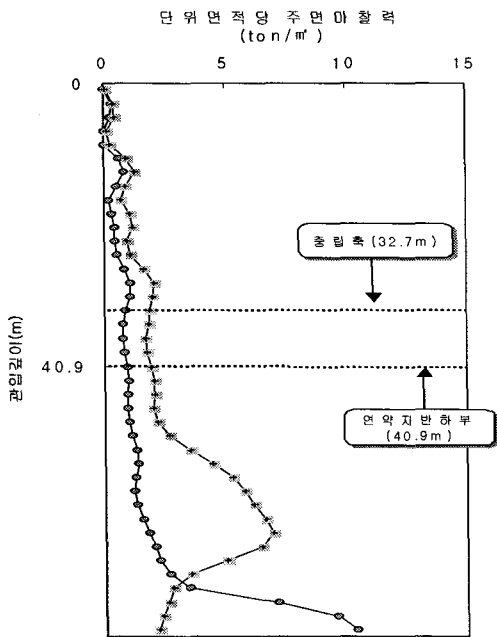


그림 4. 시간경과에 따른 말뚝관입깊이별 주면마찰력(사례 C)

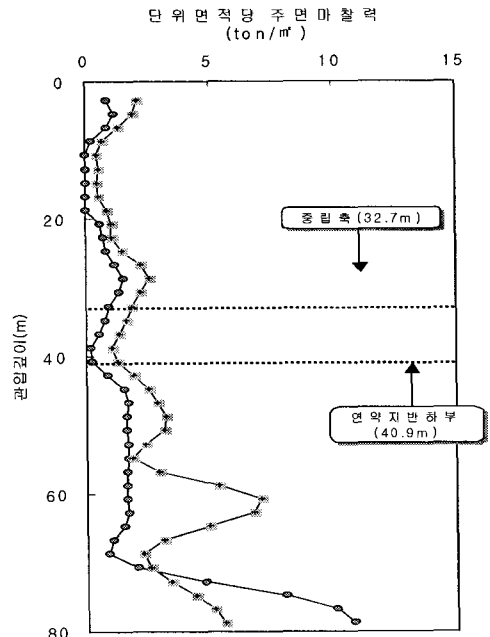


그림 5. 시간경과에 따른 말뚝관입깊이별 주면마찰력(사례 D)

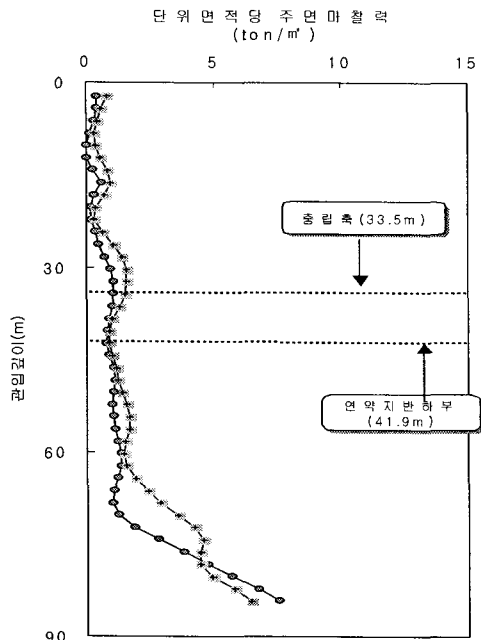


그림 6. 시간경과에 따른 말뚝관입깊이별 주면마찰력(사례 E)

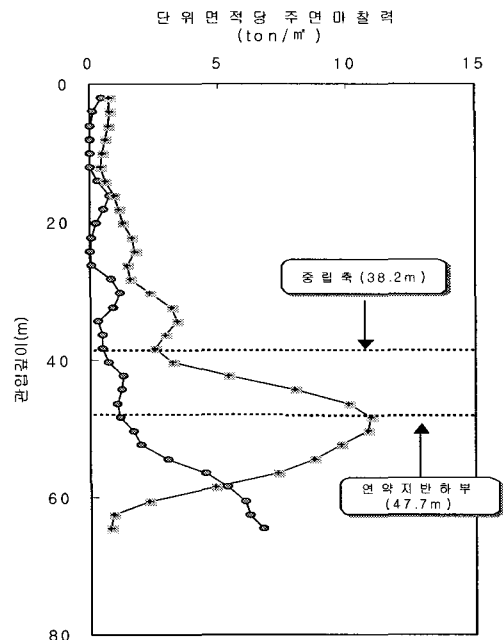


그림 7. 시간경과에 따른 말뚝관입깊이별 주면마찰력(사례 F)

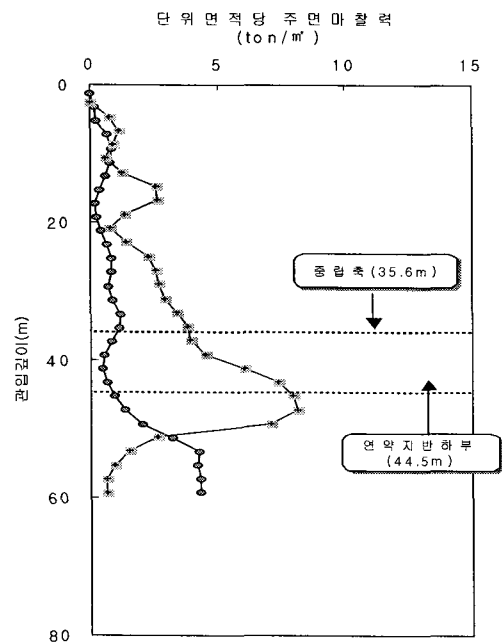


그림 8. 시간경과에 따른 말뚝관입깊이별 주면마찰력(사례 G)

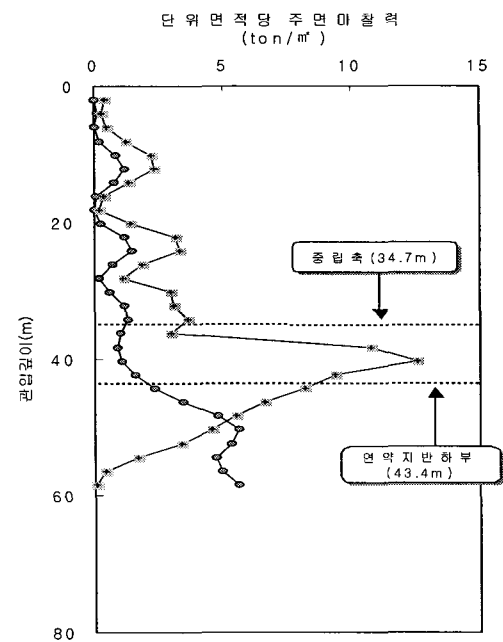


그림 9. 시간경과에 따른 말뚝관입깊이별 주면마찰력(사례 H)

일반적으로 동재하시험 결과를 해석할 때에는, 시간경과에 따라 말뚝 지지력이 변화하는 현상을 감안한다. 그런데 지반조건상 시간경과에 따라 말뚝지지력의 증가율이 큰 경우에는 시험을 위한 타격력이 하중전이의 원리에 따라 말뚝의 하부로 전달되는 과정으로 인하여, 지지력이 충분하게 측정되지 못하는 경우가 많다. 그런 경우에는 항타시 동재하시험에서 측정된 선단지지력과 재항타시 측정된 주면마찰력을 합성하여 전체 지지력을 추정하는 방식이 큰 무리 없이 채택된다.

그러나 본 논문에서 취급하는 것과 같은 초장대말뚝이 되면, 이러한 방식마저도 한계에 봉착할 수가

있다. 그림 2의 사례 A를 예를 들어 보기로 한다. 그림에 나타난 바와 같이, 말뚝을 시공한지 14일이 경과하는 동안 말뚝 지지력이 크게 증가한 것을 알 수 있다. 이 사례에서 항타시 선단지지력은 158.0ton이었지만 14일이 경과한 후에는 74.9ton으로 감소한 것으로 분석되었다. 그렇지만 이는 앞에서 설명한 시간경과에 따라 주변마찰력이 증가함에 따라 선단부에 전달된 타격력이 감소한 현상에 의한 것이며, 실제 선단지지력이 감소한 것은 아니다. 따라서 말뚝의 [양의 주변마찰력+선단지지력] 평가시, 선단지지력은 EOID결과를 채택하고, 양의 주변마찰력은 Restrike결과를 채택하는 방법을 적용할 수 있다. 여기에 대해서는 이미 다수의 사례(홍헌성 등,1995/이원재 등, 1995)들이 보고 된 바 있기 때문에, 실무에서 이런 개념을 받아들이는데 큰 저항은 없다.

그렇지만 이러한 방법을 적용하더라도 요구되는 [양의 주변마찰력+선단지지력]값 조건을 만족시킬 수 없다는 문제가 발생한다. 이는 말뚝이 워낙 초장대말뚝조건이 되기 때문에, 양의 주변마찰력 발생 구간에서도, 그 구간에 전달되는 타격력으로는 충분한 주변마찰력을 측정할 수 있는 변위를 유발하지 못하기 때문이다. 이러한 현상은 그림 2~그림 9에서 알 수 있다. 예를 들면 그림 2에서 깊이 60m 아래쪽을 보면, EOID 결과에서도 하부로 내려가면 갈수록 단위면적당 주변마찰력이 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 지반조사결과와도 일치하는 내용이며, 일반적인 지반조건에서 나타나는 현상인 것이다.

그렇지만 말뚝을 시공한지 14일이 경과한 시점에 시행한 Restrike결과에서는 하부로 내려가면 갈수록 단위면적당 주변마찰력이 감소하는 것으로 나타나고 있다. 62.5m부터는 EOID 결과보다도 오히려 단위면적당 주변마찰력이 낮은 것으로 나타나고 있다. 이러한 현상은 이미 앞에서 설명한 내용대로, 동재하시험을 위한 타격력이 부족한 데에서 기인하는 것이기 때문이다. 따라서 타격력 부족으로 인한 주변마찰력의 과소평가를 유추할 수 있는 새로운 해석적 방안이 요구되는 것이다.

### 3. 새로운 해석방안

앞의 내용을 좀 더 상세하게 표시하기 위하여 양의 주변마찰력 부분만을 따로 떼어내 보기로 한다. 그림 10은 사례 A의 양의 주변마찰력의 상세이다. 그림 10에서 보면 60m 깊이까지는 14일이 경과하는 동안 주변마찰력이 증가하는 양상 또는 비율은 깊이에 따라 크게 다르지 않은 것을 알 수 있다. 그렇지만 60m를 경계로 하여 깊이가 더 깊어지면 재항타시 주변마찰력은 급격히 감소하는 것으로 해석된 것을 알 수 있다. 그렇지만 이미 앞에서 선단지지력에 대하여 설명한 것처럼, 60m보다 깊은 곳에서 측정된 주변마찰력 또한 동재하시험을 위하여 말뚝에 가한 타격력의 한계로 인한 것이지, 지반조건이 취약해진 때문이 아니란 것을 분명히 알 수 있다.

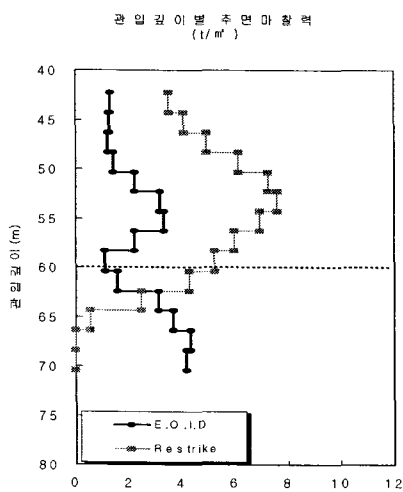


그림 10. 시간경과에 따른 말뚝관입깊이별 주변마찰력 상세(사례 A)

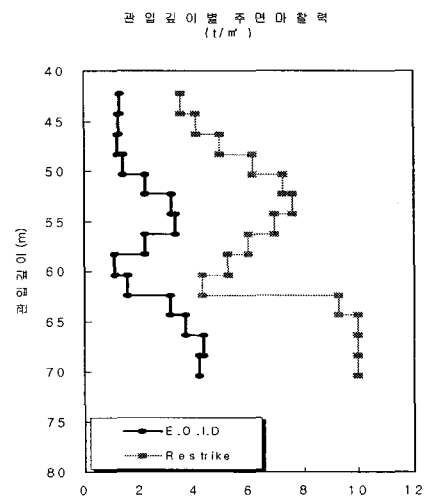


그림 11. 시간경과에 따른 말뚝관입깊이별 주변마찰력 상세-재해석(사례 A)

그렇다고 해서 이러한 현상을 해석할 수 있는 방안이 현재까지 제시된 것은 찾아볼 수 없는 실정이다. 이에 타격력 부족으로 저평가되는 주변마찰력 해석을 위해서 다음과 같은 방안을 제안하였다.

- ① 양의 주변마찰력 구간에서 깊이별로 단위면적당 주변마찰력의 EOID와 Restrike 결과를 비교한다.
- ② Restrike에서 주변마찰력이 증가하는 구간과 감소하는 구간으로 구분한다.
- ③ Restrike에서 주변마찰력이 증가하는 구간에서의 주변마찰력 증가율을 산정한다.
- ④ Restrike에서 주변마찰력이 감소하는 구간에도 ③에서 산정한 주변마찰력 증가율을 적용한다.
- ⑤ ④의 계산시 계산결과에는 단위면적당 주변마찰력이 설계에서 일반적으로 고려하는 최대값,  $10t/m^2$ 를 초과하지 않도록 한다.

이러한 방안을 적용하여 그림 10의 내용을 재해석하면 그림 11과 같다.

그림 12는 사례 F에서 양의 주변마찰력 구간만의 상세 주변마찰력 분포이다. 58m를 경계로 하여 Restrike 결과가 EOID 결과보다도 작은 것으로 나타난다. 그렇지만 이미 이 시험에서는 50m 깊이부터 Restrike 결과 단위면적당 주변마찰력이 관입깊이가 깊어짐에 따라 증가하지 않고(EOID 결과에서는 분명한 증가가 확인됨) 감소하는 것으로 분석되었다. 그렇지만 이러한 부분까지 재평가할 수 있는 분명한 증거는 없는 형편이기 때문에, 50m에서 58m까지의 구간에서 주변마찰력 증가율을 계산하기로 한다. 이 증가율을 EOID 결과에 적용하면 단위면적당 주변마찰력의 크기가  $10t/m^2$ 를 초과하지만, 역시 검증이 되지 않은 추론에 의한 재평가이기에  $10t/m^2$ 를 적용하기로 하는 것이다.

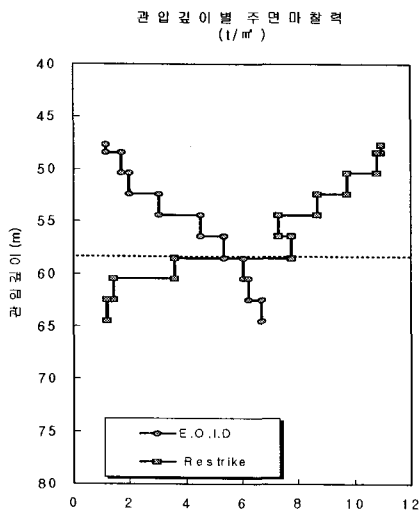


그림 12. 시간경과에 따른 말뚝관입깊이별 주변마찰력 상세(사례 F)

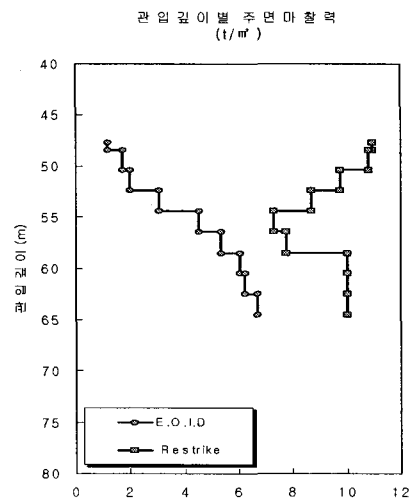


그림 13. 시간경과에 따른 말뚝관입깊이별 주변마찰력 상세-재해석(사례 F)

이처럼 제안하는 방법은 실제로 양의 주변마찰력의 재평가에 있어서 상당히 보수적인 입장을 유지하는 것이다. 따라서 제안하는 방법을 적용함에 따른 위험은 없다고 확신한다. 그렇지만 아주 깊은 곳에서 지반조건이 깊이가 깊어짐에 따라 느슨하고 약해지는 경우라면, 당연히 이러한 방법을 적용할 수 없을 것이다. 하지만 그러한 경우는 동재하시험이 제대로 시행되고 해석된다면 EOID에 대한 CAPWAP해석 결과로부터 그러한 지반조건을 확인할 수 있기 때문에, 그런 우려는 사실상 기우라고 할 수 있을 것이다.

#### 4. 현장 확인 시험

이상과 같은 방안은 사실 새로운 시도라고 할 것도 없다. 그냥 말뚝기초의 원리에 따라, 말뚝 두부가해지는 압축하중이 지표면으로부터의 마찰저항력을 극복하고 아래쪽으로 전달되어 가듯이, 말뚝 두부

에 가해진 타격력이 말뚝주면부의 마찰저항을 극복하고 하부로 전달되어간다는 기본 원리를 이해한다면, 누구라도 같은 방안을 만들어 낼 수 있을 것이다. 그렇지만 제안한 방안의 취약점이라면 실제로 그와 같은 상황이 말뚝 하부, 그것도 지표면에서 40~50m 깊은 곳에서 발생하는지를 확인한 실적이 없다는 점이다.

혹자는 그림 2~그림 9에서 Restrike시의 주면마찰력이 EOID때의 주면마찰력보다 작은 값을 갖는 것이, 말뚝기초에서 진행성파괴(progressive failure)와 관계는 없는 것인지(?) 또는 지반조건상 하중-변위량의 관계에서 변위량의 크고 작음에 따라 나타나는 고유의 현상인지(?) 아니면 실제로 그 깊이에 특별한, 주면마찰력이 작은 지반조건이 존재하기 때문은 아닌지(?) 같은 의문을 제기할 수 있을 것이며, 이에 대해 분명 그렇지 않다는 점을 확인시켜줄 증빙이 없다는 점이다.

그러한 의구심을 해소하기 위하여, 실제 상황에서 현장 시험을 실시하기로 하였다. 이에 사례 F와 사례 G 조건에서 시험시공을 실시하였다. 시험시공의 목적은, EOID때보다 Restrike에서의 주면마찰력이 낮은 것으로 해석되었다고 하더라도 실제로 지반조건 때문이 아니라 단순히 타격력의 한계에서 비롯한다는 사실을 확인하는 것이 주목적이었다.

이를 확인하기 위해서는 무엇보다도 양의 주면마찰력이 나타나는 아주 깊은 곳까지 시험을 위한 타격력이 전달되는 조건이 조성되어야 한다. 그렇지만 이미 앞에서 설명한 것처럼, 양의 주면마찰력이 발생하는 지반보다 위쪽의 구간에서의 주면마찰력 및 그 구간에서의 시간경과에 따른 set up 효과가 크기 때문에 시공시 동재하시험에 사용한 것보다 훨씬 큰 타격력이 필요하였다. 이를 위하여 시공에 사용한 램중량이 10ton인 해머보다 훨씬 용량이 큰 해머를 사용하고자 하였으나, 장비 수배문제로 램중량이 13ton인 해머를 사용할 수 있었다.

해머의 용량이 제약되는 문제는 ①연약지반 구간에 대한 선굴착 실시, ②시험말뚝 재질을 SPS490 고강도인 것을 사용, ③말뚝 두께를 16mm인 것을 사용(원래 말뚝 두께는 12mm)하여 문제가 된 구간에서도 지지력을 평가하기에 충분한 변위를 유발할 수 있도록 조치하였다. 시험말뚝들은 원래 본공사용 말뚝들이 관입된 깊이 정도만 관입시킨 상태에서 짧은 시간 간격을 두고 5~6차례의 재향타 시험을 실시하였다.

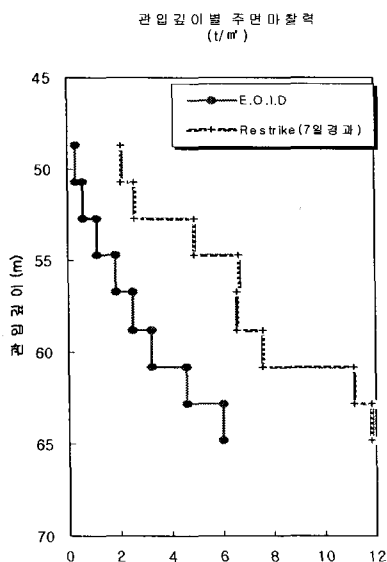


그림 14. 시간경과에 따른 말뚝관입깊이별 주면마찰력 상세(시험시공 F)

그림 14에는 사례 F에서 측정한 결과를 도시하였다. Restrike는 향타 후 1일, 2일, 3일, 5일, 7일, 총 5회에 걸쳐 시행하였으나, 그림 14에는 7일의 결과만을 표시하였다.

대체적으로 시간이 경과함에 따라 EOID 상태에 비례하여 주면마찰력이 증가한 것을 확인할 수 있었다. 이 결과를 그림 12와 비교하면, EOID 상태는 거의 유사한 것을 알 수 있다. 해당 깊이에서의 단위면적당 주면마찰력의 크기도 유사하고, 깊이가 깊어짐에 따라 증가하는 양상도 거의 유사한 것을 알 수 있다. 그렇지만 Restrike에서는 매우 상이한 결과를 나타내 준다. 그림 12로 보자면 양의 주면마찰력 구간이 시작되는 위치(GL-50m 부근)에서 단위면적당 주면마찰력이 매우 큰 값으로 나타났는데 비하여 시험시공에서는 그렇지 않은 것으로 나타난다. 이는 시험시공시 선굴착의 영향일 것으로 판단되지만, 여기에 대해서는 보다 정밀한 조사가 필요할 것으로 사료된다.



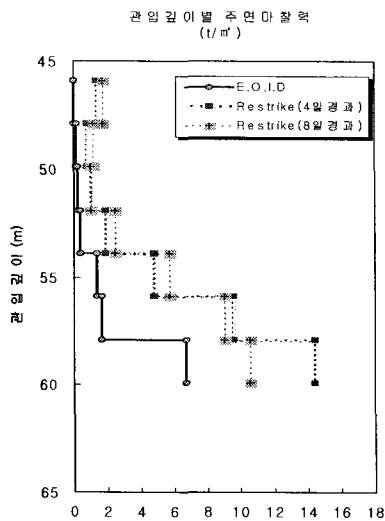


그림 15. 시간경과에 따른 말뚝관입깊이별 주변마찰력 상세(시험시공 G)

사례 G에 대한 시험시공 결과는 그림 15에 나타내었다. Restrike는 항타 후 1일, 2일, 3일, 4일, 6일, 8일, 총 6회에 걸쳐 시행하였으나, 그림 15에는 4일과 8일의 결과만을 표시하였다.

이 사례에서도 대체적으로 시간이 경과함에 따라 EOID 상태에 비례하여 주변마찰력이 증가한 것을 확인할 수 있었다. 그렇지만 이 사례에서는 깊이 56m 정도에서부터 8일후 주변마찰력이 4일 Restrike에서 측정된 값보다 작아지기 시작하는 것을 알 수 있다. 즉 선굴착 등 조치를 취하였지만, 양의 주변마찰력 구간에서 이미 타격력이 한계에 다다른 현상을 보여준다. 이 사례에서도 양의 주변마찰력 구간이 시작되는 위치(GL-45m 부근)에서 단위면적당 주변마찰력이 매우 큰 값으로 나타났는데 비하여 시험시공에서는 그렇지 않은 것으로 나타난다. 여기에 대해서는 앞서 언급한 바와 같이 보다 정밀한 조사가 필요할 것으로 사료된다.

이와 더불어 시험시공의 성과로는 선단지지력에 대한 확인을 들 수 있다. 사례 F와 G(그림 7 및 그림 8)에서 항타시 측정된 선단지지력은 각각 145ton과 180ton이었다.

반면 선굴착, 고강도 재질, 두께 증가, 해머용량 증가 등으로 보완한 시험시공에서 측정된 선단지지력은 278ton과 300ton이었다. 물론 말뚝은 바로 근처에 시공하였으며 관입깊이가 같도록 한 결과이다. 이러한 차이가 발생한 것은 결코 지반조건이 변화한 것은 아니다. 그 이유는 동재하시험을 실시할 때의 변위량에서 찾을 수 있다. 낮은 선단지지력이 측정되었을 때, 항타시 측정된 최종 타격당 관입량은 3mm 및 2mm였으나, 시험시공시에 측정된 최종 타격당 관입량은 7.5mm 및 9mm였다.

이를 계기로 우리가 지지력이라고 부르는 의미는 지지력(하중) 단독으로는 아무 의미가 없다는 것을 다시 한번 확인할 수 있었다. 즉 동재하시험 분석으로 선단지지력이 145ton이라는 의미는 사실상 절대적인 것이 되지 못한다. 거기에는 반드시 그 측정(시험)에서의 변위(관입량)가 함께 고려되어야 한다는 것을 의미한다.

## 5. 결론

초장대말뚝에서 설계하중 조건 만족을 확인하기 위해서는 [양의 주변마찰력+선단지지력]을 알아야 한다. 이를 알 수 있는 방법은 현재의 기술로는 동재하시험 밖에는 없다. 그렇지만 동재하시험을 실시하더라도 두꺼운 층의 연약지반에서 나타나는 주변마찰력(부주면마찰력) 및 양의 주변마찰력 구간 내에서의 set up 효과 등으로 인하여, 양의 주변마찰력을 제대로 확인하기란 대단히 어렵다. 이 논문에서는 타격력이 하중전이 현상으로 인하여 양의 주변마찰력 구간에 제대로 전달되지 못하는 현상에 대하여, EOID 및 Restrike 결과를 합성할 수 있는 새로운 방안을 제시하였다. 제시된 방안은 시험시공을 통하여 그 타당성을 확인하였다.

## 참 고 문 헌

1. 이명환, 홍헌성, 이장덕, 조천환, 이원제(1996) “부마찰력 고려시 동재하시험결과를 이용한 말뚝의 허용지지력 평가(I),” ‘96년도 봄 학술발표회 논문집, 한국지반공학회, pp. 145-152.
2. 이원제, 전영석, 홍헌성, 이명환(1995) “시간경과에 따른 항타말뚝의 지지력 변화 연구,” ‘95년도 봄 학술발표회 논문집, 한국지반공학회, pp. 69-90.
3. 홍헌성, 이원제, 김성희, 이명환(1995) “동재하시험 결과로부터 말뚝의 허용지지력 결정방법에 대한 연구,” ‘95년도 봄 학술발표회 논문집, 한국지반공학회, pp. 43-53.