

훅타입 말뚝두부보강 기초의 안정성 평가

The Evaluation of Stability for Hook-type Bonding Method of Pile Foundation and Cap

이 흥 길¹⁾ · 오 세 옥[†]

Lee, Heunggil · Oh, Sewook

ABSTRACT : The typical bonding methods which connect steel pipe pile and spread footing is bolted bonding method using +type cover plate for reinforcing a head of steel pipe pile. In this paper, stability of spread footing in pile foundation have been evaluated by loading test of +type cover plate for reinforcing a head of pile and hook type bonding method. The presents results from a series of pilot model test on vertically loaded piles foundation of bolted bonding method and hook type bonding method, pile foundation is identified to safety due to pile foundation exceed 8.5~21% which more than yield stress of steel pipe pile. As the results of horizontal loading tests, peak load of piles foundation of hook type bonding method has estimated in 41.1tonf and it was exceed about 33% which more than pile foundation of bolted bonding method.

Keywords : Bonding methods, +type cover plate, Hook type bonding method, Pilot model test

요 지 : 강관말뚝과 확대기초를 연결하는 대표적인 두부보강공법은 +자 보강 덮개판을 이용한 볼트식 말뚝두부 보강방법이다. 본 논문에서는 실물 크기의 +자 보강 덮개판을 이용한 말뚝머리 보강방법과 훅타입의 새로운 말뚝 두부보강공법을 적용한 실물크기의 확대기초를 제작하여 연직재하시험과 수평재하시험을 수행하여 말뚝두부 결합부의 안정성을 평가하였다. 실물모형 기초의 연직재하 시험결과 볼트타입 및 훅타입으로 보강된 말뚝기초는 강관말뚝 재료의 항복내력을 8.5~21% 초과하는 것으로 나타나 압축력에 대해 충분한 안전성을 확보하고 있는 것으로 확인되었다. 수평재하 시험결과 훅타입 두부보강장치의 최대 파괴하중은 41.1tonf으로 볼트타입 두부보강 시험체에 비해 약 33%정도 크게 나타났다.

주요어 : 두부보강공법, +자보강덮개판, 훅타입두부보강, 실물모형시험

1. 서 론

말뚝기초는 인류가 가장 오랫동안 사용해온 기초형식중의 하나로, 최근 구조물의 대형화와 함께 악조건의 지반에 구조물을 시공하는 사례가 증가하면서 가장 효과적이고 경제적인 기초로 말뚝의 중요성이 커지고 있다. 말뚝기초는 상부구조물에 작용하는 하중을 말뚝을 통하여 지반으로 전달하는 역할을 담당하게 되므로 말뚝과 확대기초의 결합부는 단면적이 급변하여 응력이 집중하기 때문에 구조상 취약한 부분이다. 최근 상부구조물의 규모와 기능이 향상됨에 따라 하중의 형태가 다양하고 복잡하게 변화되어 말뚝기초와 기초콘크리트의 결합부의 구조적 중요성이 커지고 있다.

그러나 결합부는 상부구조와 하부구조와의 경계영역에 있기 때문에 설계·시공·연구 등 모든 면에서 소홀히 한 부분이 많았고, 특히 국내에는 지진 등에 의한 피해 사례

가 거의 없어 설계나 시공시 이를 경시하는 경우가 적지 않다. 최근 국내에서 결합방법에 관한 신공법도 계속적으로 제안되고 있으나 이를 검증할 만한 결과는 아직까지 미흡한 실정이다(박영호 등, 1998).

말뚝과 확대기초의 결합부는 말뚝본체와 기초콘크리트의 결합으로 말뚝이 연직지지력과 수평지지력을 충분히 발휘할 수 있도록 상부 구조물의 하중을 안전하고, 정확하게 말뚝에 전달하는 기능을 갖고 있어야 한다. 일반적으로 구조물의 완성 후에는 외력에 의해 말뚝에 발생하는 응력은 말뚝의 두부가 최대가 되며, 교대기초 등 수평토압을 받거나 지진하중에 의한 진동하중 등 말뚝과 확대기초의 결합부에 응력이 집중됨에 따라 말뚝과 기초의 결합방법에 대한 다양한 연구가 요구되고 있다.

현재 국내의 도로교 표준시방서에 규정된 속채움 콘크리트 방법은 역학적으로 많은 장점을 갖고 있으나, 강관말뚝의 경우 좁은 공간의 강관말뚝 내부에 미끌림방지

1) 정희원, 충주대학교 토목공학과 교수

† 정희원, 상주대학교 토목공학과 조교수(E-mail : osw2379@sangju.ac.kr)

와 합판 걸림턱을 용접해야 하기 때문에 시공과정이 다소 복잡하여 경제성과 품질관리가 어려운 점이 있다(건설교통부, 1996).

따라서 본 논문에서는 두부보강공법의 대표적인 공법 즉, +자 보강 덮개판을 이용한 볼트식 말뚝두부 보강방법에 대하여 내력시험을 수행하고, 새로운 흑타입의 말뚝 두부보강공법을 적용하여 동일한 시험을 수행하고자 한다. 특히, 기존에 사용되고 있는 두부보강 방법의 경우 미끌림 방지를 위한 절곡철근을 사용하고 있으나 이 경우 철근가공 등의 번거로운 단점이 있으므로 취급이 용이하고 경제 적이며 공정을 최소화할 수 있는 방안을 제안하여 안정성을 평가하고자 한다.

2. 실험방법 및 장치

2.1 시험방법

본 실험은 강관말뚝 기초의 내력 중에서 가장 중요한 성능이라고 할 수 있는 압축성능을 평가할 수 있도록 그림 1, 2와 같이 스트레인 게이지를 설치하였다. 실험변수로는 두부보강공법에 따른 거동특성을 분석하기 위해서 기존의 볼트타입과 신공법인 흑타입 보강공법을 고려하였으며, 연직재하시험과 수평재하시험을 위한 총 4개(볼트타입 2개, 흑타입 2개)의 실험체를 제작하였다. 실험체의 단면은 그림 1과 2에 나타난 것과 같이 실험체의 후팅부는 1.2m의 정방향 단면을 가지며, 높이는 0.8m로 하였다. 일반적으로 콘크리트의 편칭전단균열은 45도 이하의 각도로 발생하기 때문에 본 실험에서는 편칭전단균열이 실험체의 측면으로

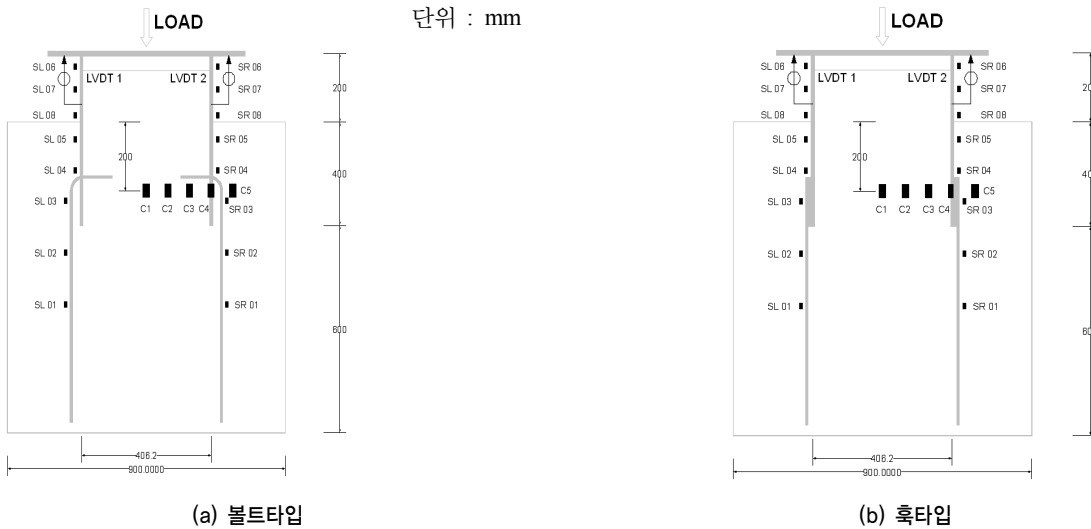


그림 1. 압축시험부재의 게이지 부착위치

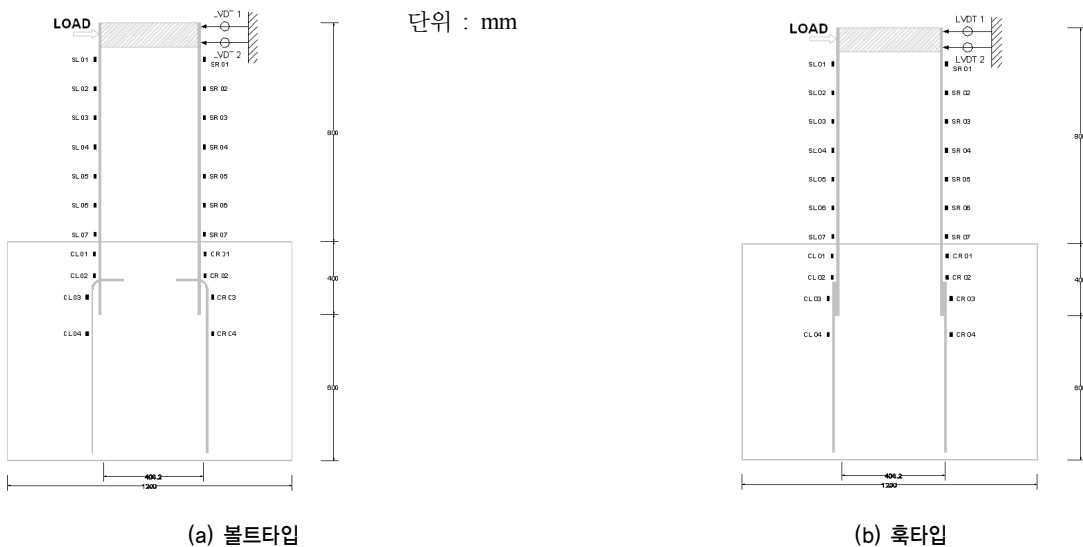


그림 2. 수평재하 시험부재의 게이지 부착위치

진전되지 않도록 단면의 크기를 설정하였다. 또한, 강관과 일은 모든 실험체에서 동일하게 $\phi 406\text{mm}$ 를 사용하였으며, 후타입의 주철근은 SD30을 사용하였다.

볼트타입 실험체는 그림 3에서 보는바와 같이 십자보강판에 붙어있는 나사보강블럭과 원형 덮개판에 볼트공을 천공하고 강관에도 천공하여, 측면은 8개의 고장력 볼트로 보강블럭과 체결하여 고정하였다. 그리고 원형덮개판의 볼트공에는 보강철근에 나사선을 만들어 직접 체결하였다. 후타입 실험체는 강관말뚝의 표면에 구멍을 내고, 8개의 절곡철근을 그림 4에 나타낸 것과 같이 강관말뚝의 측면 홈에 설치하고 원형 철근으로 고정시키는 방법으로 시공되었으며, 채움콘크리트를 타설할 수 있도록 원형판을 설치하였다. 실험체 제작에 사용된 콘크리트의 목표강도를 300kgf/cm^2 로 설정하였으나 $\phi 100 \times 200$ 크기의 공시체에 대한 압축시험결과 평균 152kgf/cm^2 의 압축강도를 나타내었다. 또한, 실험체 제작에 사용된 철근은 모두 SD30을 사용하였다.

각 하중단계에서의 강관, 철근 그리고 콘크리트에 발생하는 변형률을 측정하기 위해서 그림 1과 2에 나타낸 것과 같이 변형률게이지를 부착하였다. 강관에는 높이에 따른 거동과 대칭성을 평가할 수 있도록 총 4개의 철근게이지를 부착하였고, 철근에는 2개의 보강철근에 절곡부와 압축부에 2개씩 총 4개의 철근게이지를 부착하였다. 콘크리트

에는 단면의 중앙과 중앙으로부터 40cm 떨어진 위치에 3개의 콘크리트를 게이지를 부착하였다.

2.2 실험장치

실험은 700tonf 용량의 UTM을 사용하여 하중제어방식으로 재하실험을 수행하였으며, 그림 5는 재하시험과정을 보여주고 있다. 실험결과는 하중과 변위를 UTM으로부터 전송받아 데이터로그에 저장하였으며, 변형률게이지를 이용하여 각 구조체에 발생한 변형률을 실시간으로 데이터로그에 저장하였다. 또한, 각 하중단계에서 발생한 균열 및 파일의 변형상태를 눈으로 확인하여 기록하였다.

3. 실험결과

3.1 연직재하시험

3.1.1 하중-변위 관계

그림 6은 본 실험을 통해서 얻어진 각 실험체의 실험결과 및 하중-변위곡선을 나타내고 있다. 최대하중 시의 변위는 후타입(A2)이 볼트타입(A1)에 비해 약 3배 정도 크게 나타내고 있으나 동일하중에서의 변위는 큰 차이가 없



그림 3. 볼트타입(A1)

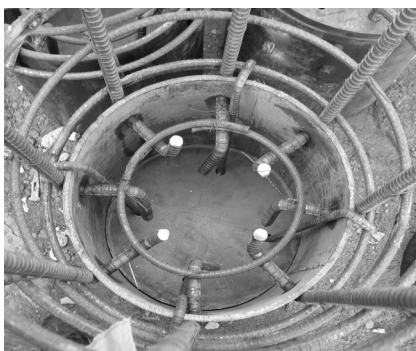
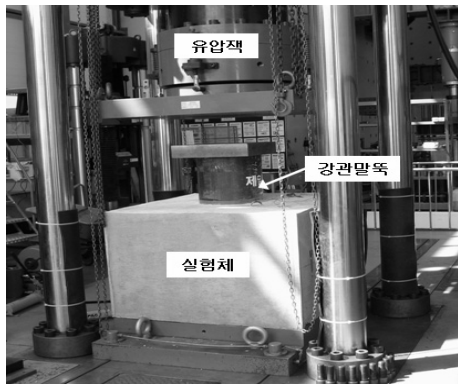
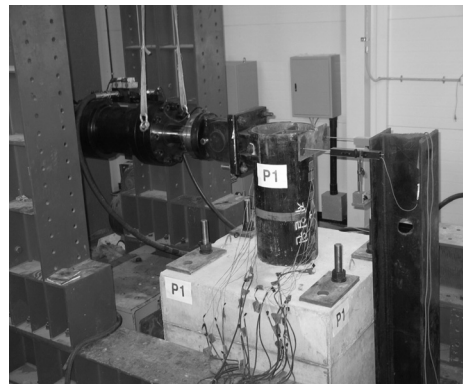


그림 4. 후타입(A2) 철근배근모습





(a) 연직재하시험



(b) 수평재하시험

그림 5. 하중재하장치

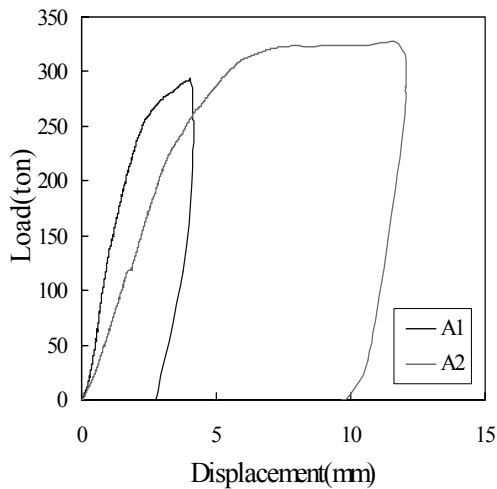


그림 6. 볼트타입(A1)과 흑타입(A2)의 하중-변위곡선

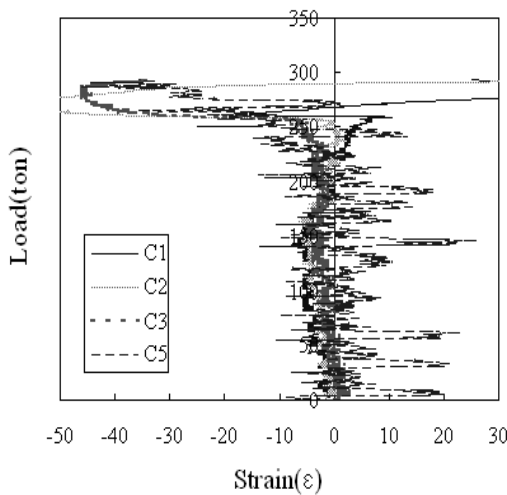
는 것으로 나타나 압축력에 대한 성능은 거의 동일한 것으로 판단할 수 있다. 또한 그림 6에서 보여주듯이 각 시험체의 하중-변위 거동은 최대하중에서는 차이를 보이나 전

체적인 거동은 거의 유사한 거동을 나타내고 있다. 즉, 본 시험에서 고려한 용접타입과 흑타입 두부보강 방법이 파일두부의 압축거동에 미치는 영향은 매우 미비한 한 것으로 시험결과를 통해서 확인할 수 있다.

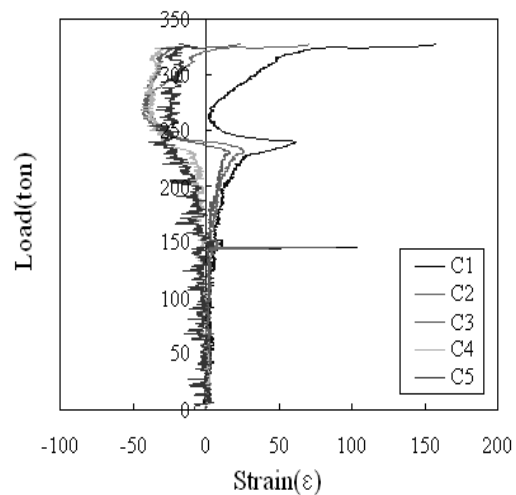
볼트타입으로 두부보강된 시험체들 모두의 압축내력이 강관말뚝 재료의 항복내력(270tonf)보다 21%이상 큰 것으로 나타나 볼트타입 두부보강방법은 압축력에 대해 충분한 안전성을 확보하고 있는 것으로 판단된다. 또한 흑타입으로 두부보강된 시험체의 압축내력이 강관말뚝 재료의 항복내력(270tonf)보다 8.7%이상 상회하는 것으로 나타나 흑타입 두부보강방법은 압축력에 대해 충분한 안전성을 확보하고 있는 것으로 보인다.

3.1.2 변형률-하중 관계

그림 7은 변형률-하중곡선을 나타내는 그림으로 그림에서 보여주듯이 최대하중에서의 변형률-하중관계는 거의



(a) 볼트타입의 변형률-하중 관계



(b) 흑타입의 변형률-하중 관계

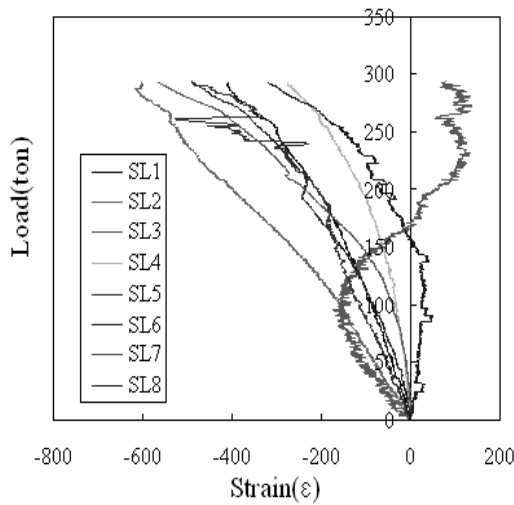
그림 7. 볼트타입과 흑타입의 변형률-하중곡선

유사하게 나타남을 알 수 있으며, 각 게이지의 위치에 따른 변형률-하중곡선도 유사한 것으로 나타났다. 그림 8은 말뚝두부의 변형률-하중관계 곡선을 보여주는 그림으로 흑타입에 비해 볼트타입의 변형률 거동이 비교적 일정한 형태로 나타나고 있다. 또한 하중증가에 따른 말뚝두부의 변형률은 흑타입 좌측게이지를 제외하고 모두 말뚝과 기초콘크리트 결합부 약간 하단부(SL2, SR2)에서 최대 변형률을 보이는 것으로 나타났다. 특히, 볼트타입 실험체의 경우 최대하중까지는 속채움 콘크리트가 없기 때문에 강관의 좌굴이 제어되지 못하고 큰 변위가 발행하였다. 흑타입 실험체는 최대하중이후 강관에 좌굴이 발생하기 시작하였으나 속채움 콘크리트에 의해 좌굴이 제어되면서 비교적 작은 양의 변위가 발생하였다. 따라서 결합부의 결합방법이 말뚝기초의 안정성에 많은 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

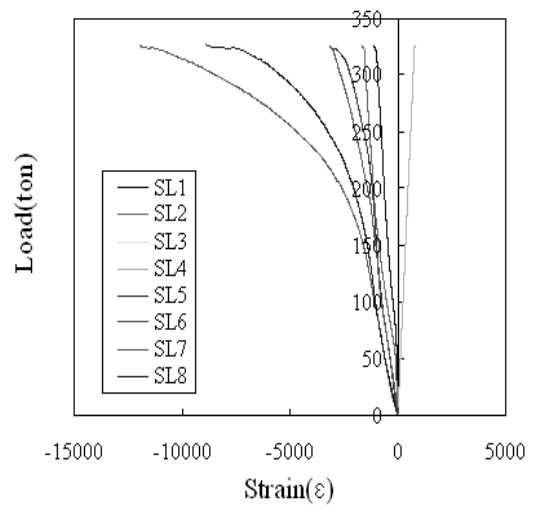
3.2 수평재하시험

3.2.1 하중-변위 관계

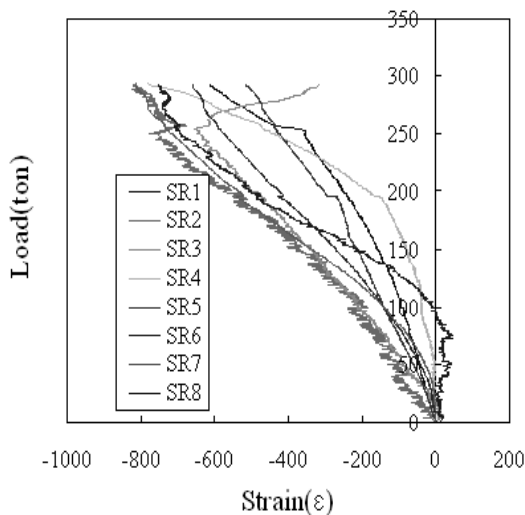
수평재하는 기초콘크리트를 바닥에 완전히 고정시킨 뒤 말뚝머리 부분에 축방향에 수평방향으로 일정하게 하중재하를 실시하였다. 그림 9는 볼트타입과 흑타입 두부보강장치에 대한 하중변위 곡선을 보여주고 있으며, 그림에서 보여주듯이 하중증가에 따른 하중변위 거동은 유사하게 나타났다. 또한 볼트타입(P1) 두부보강장치의 수평재하실험 결과 기초는 최대하중 30.9tonf에서 파괴되었으며, 흑타입(P2) 두부보강장치의 최대 파괴하중은 41.1tonf으로 볼트타입 두부보강 시험체에 비해 약 33%정도 크게 나타났다. 이는 볼트식에 비해 흑타입의 결합방법이 속채움을 이용하는 구조이므로 축방향 압입력과 수평력에 의한 말뚝의 휨응력도 작기 때문인 것으로 보인다(건설도서 편집부, 1996).



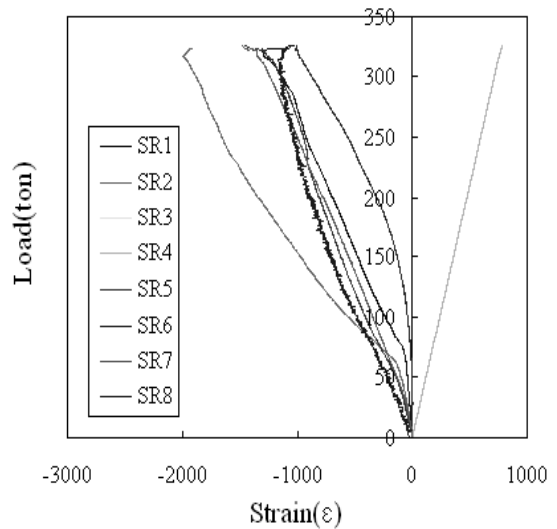
(a) 볼트타입(좌측)



(b) 흑타입(좌측)



(c) 볼트타입(우측)



(d) 흑타입(우측)

그림 8. 말뚝두부에서 볼트타입과 흑타입의 변형률-하중곡선

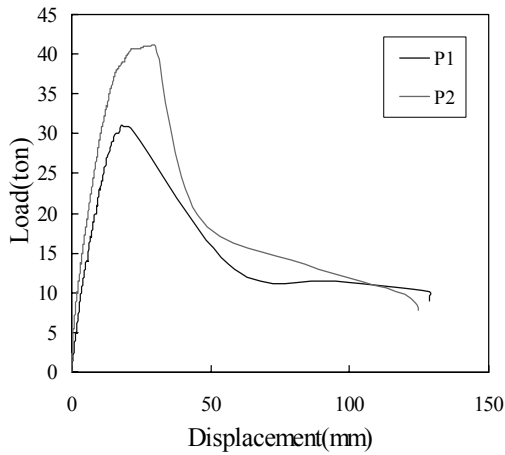


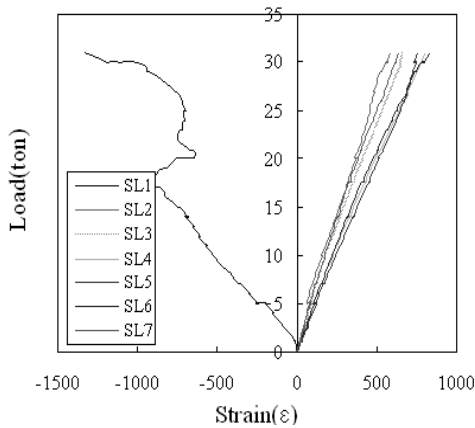
그림 9. 볼트타입과 흑타입 두부보강 기초의 하중-변위곡선

3.2.2 변형률-하중 관계

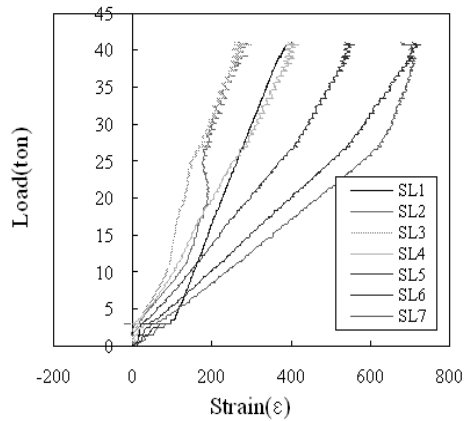
하중재하 방향과 하중재하 반대방향 말뚝두부의 하중-변형률 곡선은 하중의 증가에 따라 거의 선형에 가까운 경향을 보이고 있으며, 기초콘크리트 하중-변형률 곡선은 흑타입(P2) 시험체에 비해 다소 불규칙한 것으로 나타났다. 그러나 최대 하중에서의 변형량은 흑타입 두부보강 시험

체에 비해 약간 작은 것으로 나타났다. 그림 10은 말뚝두부의 변형률-하중관계 곡선을 보여주는 그림으로 볼트타입의 변형률 거동은 게이지의 위치에 관계없이 비교적 일정한 경향을 보이고 있으나 볼트타입의 경우 하중을 재하한 부위보다 결합부 약간 상단에서 변형률이 크게 나타났다. 또한 하중증가에 따른 말뚝두부의 변형률은 흑타입 좌측게이지(SL2)를 제외하고 모두 말뚝과 기초콘크리트 결합부 약간 하단부(SL2, SR2)에서 최대 변형률을 보이는 것으로 나타났다. 따라서 수평하중이 작용하는 말뚝기초에서 결합부의 결합방법이 말뚝기초의 안정성에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

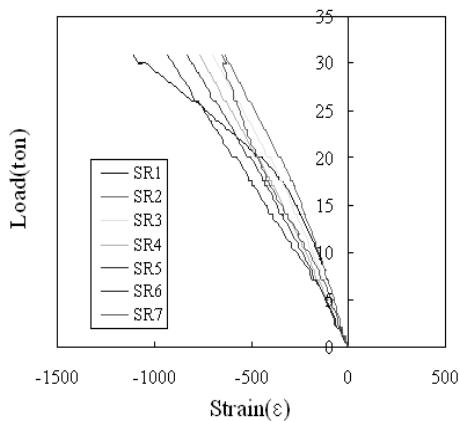
그림 11은 기초콘크리트에 전달되는 하중-변형률 곡선을 나타내 주는 것으로 흑타입으로 보강된 말뚝두부보강 기초콘크리트의 하중-변형률 곡선이 볼트타입 시험체에 비해 비교적 일정한 경향을 보이고 있는 것으로 나타났다. 또한 흑타입의 경우 기초콘크리트와 말뚝의 결합부에서 최대 변형률을 보이는 것으로 관측되었으나 볼트타입의 경우 기초콘크리트 중간부분에서 최대 변형률이 측정되었다. 최대하중에서의 변형량은 흑타입 기초콘크리트가 볼트



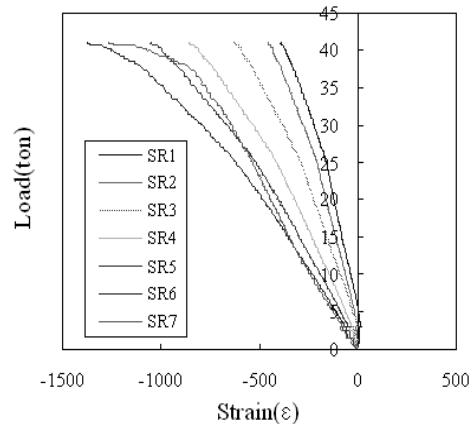
(a) 볼트타입(하중재하방향)



(b) 흑타입(하중재하방향)

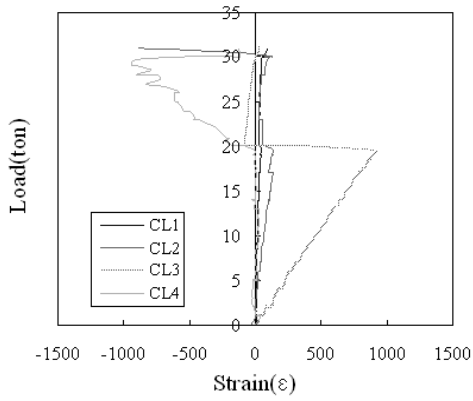


(c) 볼트타입(하중재하 반대방향)

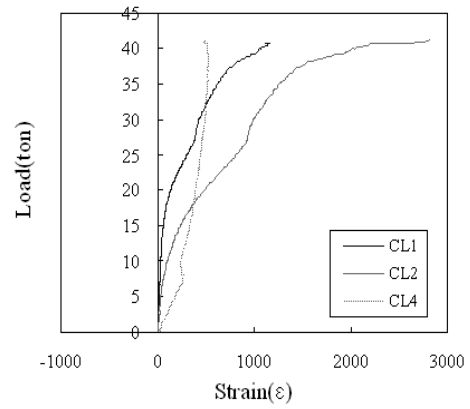


(d) 흑타입(하중재하 반대방향)

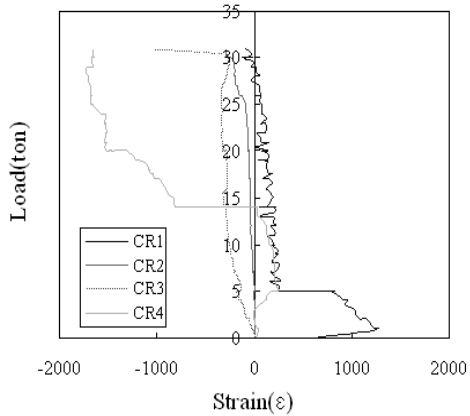
그림 10. 말뚝두부에서 볼트타입과 흑타입의 변형률-하중곡선



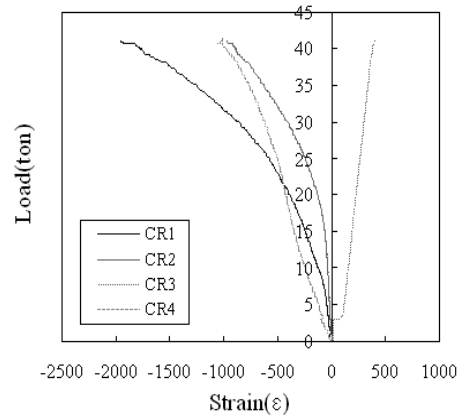
(a) 볼트타입(하중재하방향)



(b) 훅타입(하중재하방향)



(c) 볼트타입(하중재하 반대방향)



(d) 훅타입(하중재하 반대방향)

그림 11. 기초콘크리트 변형률-하중 관계

타입에 비해 약 2배가량 큰 상태에서 파괴가 발생하는 것으로 나타났다.

3.3 유한요소해석 결과

훅타입으로 보강된 강관말뚝 구조체의 각 부분에 전달되는 최대하중의 크기 및 위치를 분석하기 위하여 유한요소해석을 수행하였다.

3.3.1 모델링

강관말뚝의 유한요소 해석은 연직하중이 작용하는 경우와 수평하중이 작용하는 경우로 나누어 모델링하였으며 해석 모델은 그림 12와 같다.

유한요소모델링은 강관말뚝과 지지철근, 그리고 내부에 채워진 콘크리트로 나누어서 모델링하였다. 강관말뚝의 경우 8절점 shell 요소를 적용하였고 지지철근은 truss 요소를 사용하였으며, 콘크리트의 경우 4절점 고체요소(quad4 solid element)를 사용하였다. 하중의 재하는 쉘 요소(shell element)를 이용한 점재하방식(point load)을 채택하여 소정의 재하하중을 단계적으로 재하 하였다.

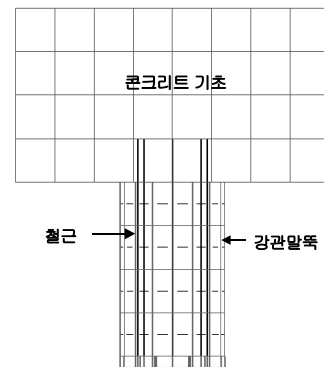
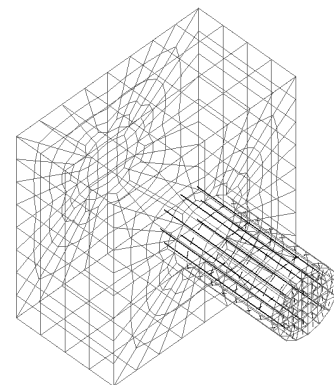


그림 12. 유한요소해석을 위한 모델링

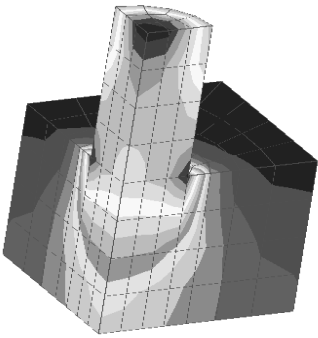
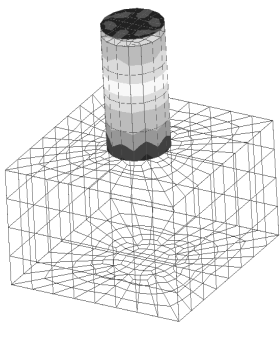
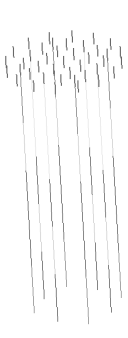
콘크리트	강관말뚝	철근
		
96.6(kgf/cm ²)	799.0(kgf/cm ²)	621.0(kgf/cm ²)

그림 13. 연직하중 200tonf 재하시 각 부재별 응력분포

본 연구에서는 모형실험에 사용했던 제원과 동일한 치수를 적용하였으며, 말뚝의 최상단면을 xy 평면으로 지정하고 z방향으로 투영하여 3차원으로 모델링하였다. 연직하중 재하의 경우 콘크리트 후텁부 밑면의 경계조건을 고정으로 하여 파일의 상부에서 연직하중을 재하하였다. 한편, 수평하중 재하의 경우 파일에 걸리는 지반지지력을 산정하여 파일의 각 절점에 스프링으로 모델링하고 후텁부 측면에서 하중을 재하 하였다.

3.3.2 연직재하 하중에 대한 해석결과

연직하중의 작용으로 인한 말뚝두부와 콘크리트 기초의 거동 및 응력분포를 분석하기 위하여 콘크리트로 채워진 말뚝의 상부에 등분포하중을 가할 수 있는 강성이 매우 큰 판을 모델링하여 단계적으로 하중을 50tonf에서 200tonf까지 재하 하였다.

또한 강관말뚝과 콘크리트, 지지철근이 분담하는 응력을 비교하고 강관과 콘크리트 기초 결합면의 응력을 분석하기 위하여 내부 응력분포를 관찰하였다.

그림 13은 재하하중 200tonf을 등분포로 재하 했을 때 콘크리트 표면 및 내부의 응력분포를 보여주고 있으며 이때, 콘크리트가 분담하는 최대 응력은 96.6kgf/cm², 강관말뚝이 분담하는 응력은 799kgf/cm², 지지철근이 분담하는 응력은 621kgf/cm²로 나타났다.

그림 14는 각 연직하중에 대한 부재에 작용하는 최대 응력을 보여주는 그림으로 재하하중 작용시 각각 그 허용응력(기초 콘크리트 150kgf/cm², 강관말뚝 1,400kgf/cm², 철근은 3,000kg/cm²)을 초과하지 않으므로 혹타입의 경우 유한요소 해석결과 말뚝과 기초콘크리트 결합부의 집중하

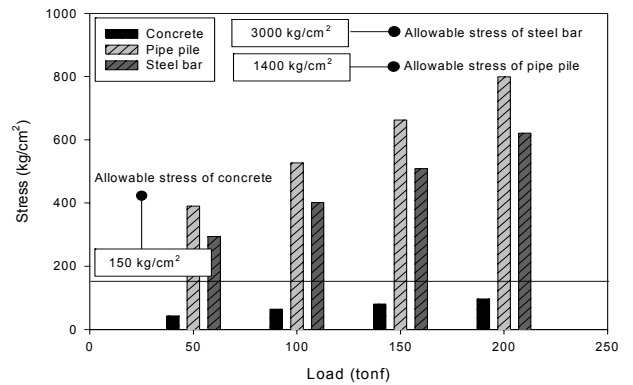


그림 14. 연직하중별 각 부재에 작용하는 최대응력

중으로 인한 파괴에 대해서 안정한 것으로 판단된다.

3.3.3 수평재하 하중에 대한 해석결과

수평하중의 작용으로 인한 말뚝두부와 콘크리트 기초의 거동 및 응력분포를 분석하기 위하여 경계조건에서 하부 말뚝을 고정하고 상부 기초콘크리트에 하중을 단계적으로 50tonf에서 200tonf까지 재하하였다.

그림 15는 재하하중 200tonf을 등분포로 재하 했을 때 콘크리트 표면 및 내부의 응력분포를 보여주고 있으며 이때, 콘크리트가 분담하는 최대 응력은 9.4kg/cm², 강관말뚝이 분담하는 응력은 162.4kg/cm², 지지철근이 분담하는 응력은 110.3kg/cm²로 나타났다.

그림 16은 각 연직하중에 대한 부재에 작용하는 최대 응력을 보여주는 그림으로 재하하중 작용시 각각 그 허용응력(기초 콘크리트 150kg/cm², 강관말뚝 1,400kg/cm², 철근은 3,000kg/cm²)을 초과하지 않으므로 혹타입의 경우 유한요소 해석결과 강관말뚝과 기초콘크리트 결합부의 수평하중으로 인한 파괴에 대해서 안정한 것으로 판단된다.

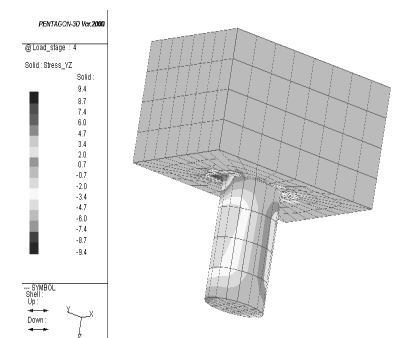
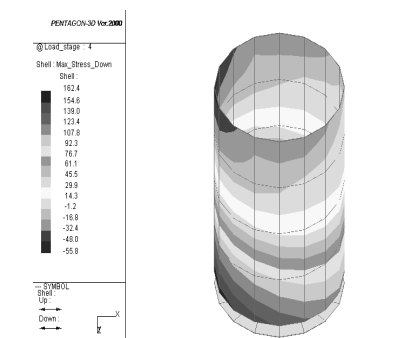
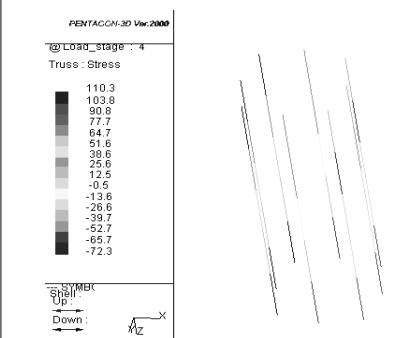
콘크리트	강관말뚝	철근
		
9.4(kg/cm ²)	162.4(kg/cm ²)	110.3(kg/cm ²)

그림 15. 연직하중 200 TON 재하시 각 부재별 응력분포

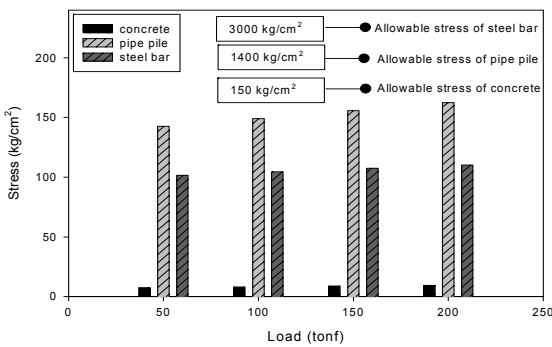


그림 16. 연직하중별 각 부재에 작용하는 최대응력

부분에서 최대 변형률이 측정되었다. 이는 볼트식에 비해 흑타입의 결합방법이 속채움을 이용하는 구조이므로 축방향 압입력과 수평력에 의한 말뚝의 휨응력이 작기 때문인 것으로 판단된다.

- (5) 흑타입 두부보강 기초의 유한요소해석 결과 일반적으로 파일 설계시 고려하는 축하중의 2.5배인 200ton의 압축하중을 재하시었을 때 콘크리트의 최대응력은 96.6kgf/cm², 강관의 경우 799.0kgf/cm², 지지철근의 경우 621.0kgf/cm²로 나타나 각 재료의 허용압축강도보다 작은 값을 나타내 안전한 것으로 판단된다.

4. 결 론

- 볼트타입의 경우 흑타입에 비해 초기 변형량은 작게 나타나지만 파괴까지의 거동은 흑타입이 연성적인 거동을 보이고 있다. 이는 큰 하중의 재하시 기초의 소성파괴를 방지하는데 유리하게 작용할 것으로 기대된다.
- 연직재하시험 결과 하중증가에 따른 말뚝두부의 변형률은 말뚝과 기초콘크리트 결합부 부근에서 최대 변형률을 보이는 것으로 나타나 말뚝두부의 결합방법이 기초의 안정성에 많은 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.
- 연직재하시험 결과 볼트타입과 흑타입으로 두부보강된 실험체의 압축내력이 강관말뚝 재료의 항복내력 270ton을 8.5~21% 초과하는 것으로 나타나 볼트타입 및 흑타입 두부보강방법은 압축력에 대해 충분한 안전성을 확보하고 있는 것으로 확인되었다.
- 볼트타입 두부보강장치의 수평재하시험 결과 흑타입 두부보강장치의 최대 파괴하중은 41.1tonf으로 볼트타입 두부보강 시험체에 비해 약 33%정도 크게 나타났다. 흑타입 두부보강장치의 경우 수평재하시 기초콘크리트와 말뚝의 결합부에서 최대 변형률을 보이는 것으로 관측되었으나 볼트타입의 경우 기초콘크리트 중간

감사의 글

“이 논문은 1차년도 충주대학교 대학구조개혁지원사업비의 지원을 받아 수행한 연구임” 이에 충주대학교 관계자 여러분에게 감사를 드립니다.

참고 문헌

- 신방웅, 허열, 오세욱(1999), 원심모형실험에 의한 H말뚝과 원형말뚝의 지지력특성, *대한토목학회논문집* 제 19권 제 III-3호, pp. 851~862.
- 박영호, 김성환, 장용채(1998), 볼트식 강관말뚝 머리보강 방법, *한국지반공학회지*, 제14권, 제6호, pp. 57~71.
- 건설교통부(1996), 도로교 표준시방서, 도로공사, pp. 117~185, pp. 404~411, pp. 680~734, pp. 759~798.
- 건설도서 편집부 역(1996), *말뚝기초의 설계* 건설도서, pp. 1~39.
- 한국지반공학회(1993), 깊은기초, 지반공학 시리즈 4, 구미서관, pp. 278~285.
- 박영호(2000), 강관말뚝의 볼트식 머리보강 최적화 설계법과 프로그램 개발, *대한토목학회논문집*, 제14권, 제6호, pp. 57~71.
- 岡原美知夫, 中谷昌一, 田口敬二(1991), 杭頭部とフーチングの結合部の設計法の合理化, *土木技術資料*, Vol. 33~38, pp. 41~48.
- Tomlinson M.J.(1994), *Pile Design and Construction Practice*, E&FN SPON, pp. 280~289.

(접수일: 2007. 3. 15 심사일: 2007. 3. 16 심사완료일: 2007. 5. 11)