

모형실험을 통한 사질토 지반에서의 무리말뚝 거동에 대한 상부기초 접촉 효과 연구

An Experimental Study of the Effect of Pile Cap on Behaviors of Group Piles

이수형¹⁾, Su-Hyung Lee, 진봉근²⁾, Bong-Keun Jin, 정충기³⁾, Choong-Ki Chung

¹⁾서울대학교 공과대학 토목공학과 박사수료, Ph. D. Candidate, Dept. of Civil Eng., Seoul Nat' l Univ.

²⁾(주)건화엔지니어링 연구원, Researcher, Kunhwa Engineering Company

³⁾서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 부교수, Associate Professor, Division of Civil, Urban and Geo-Systems Eng., Seoul Nat' l. Univ.

SYNOPSIS : In case that pile cap is in direct contact with underlying soil, the bearing mechanism for pile groups, including direct bearing effect of cap and its induced influence on pile-soil-cap interaction, should be properly considered. In this paper, the effects of pile caps on behaviors of pile groups in sandy soils were investigated by model tests, which consist of tests on 3 by 3 pile groups with/without contact on subsoil, single pile with/without contact and cap as a shallow foundation. Also, the influences of pile spacing in group piles on contact effects were investigated. The test results showed that the load carrying capacity of pile cap was large enough not to be ignored. However, the interaction effects due to contact between cap and subsoils were not revealed obviously in working load range. And in the design of pile groups, the bearing effect of pile cap when contacted with subsoils, can be reflected by simply summing up load settlement behaviors of each cap and group piles without contact.

Key words : pile groups, pile cap, interaction, model test, sandy soil

1. 서론

현재까지 무리말뚝의 지지거동을 파악하기 위한 많은 연구가 수행되어 왔으나, 아직까지는 말뚝, 상부기초(캡), 지반간의 상호작용에 대한 불확실성 그리고 시공 후 상부기초와 지반의 접촉상태 변화가능성으로 인해 상부기초의 지지효과를 무시하는 보수적인 설계가 이루어지고 있다. 상부기초의 지지효과를 포함한 설계를 위해서는 말뚝과 상부기초, 지반의 상호작용이 무리말뚝의 지지거동에 미치는 영향에 대한 정확한 파악이 요구된다. 근래에 수치해석을 통해 무리말뚝에서 상부기초의 효과를 분석하려는 연구가 많이 수행되고 있으나, 연구 결과를 검증할 수 있는 실제 현장의 계측 결과나 분석에 필요한 자료를 얻을 수 있는 상세한 모형실험 결과가 희소하기 때문에 현재까지의 연구는 대체로 미비한 상태이다.

본 연구에서는 조밀한 사질토 지반에 설치된 무리말뚝에서 상부기초의 지지효과와 상부기초가 말뚝의

지지력에 미치는 상호작용효과를 알아보기 위하여 9개의 모형 말뚝으로 구성된 무리말뚝과 강관으로 제작한 상부기초에 대하여 모형실험을 수행하였다. 상부기초와 지반의 접촉 여부와 말뚝간의 간격을 변화시킨 일련의 실험을 수행함으로써, 말뚝간의 간격 변화에 따른 지지 거동의 변화, 상부기초의 지지력 분담, 상부기초가 전체 기초의 지지거동에 미치는 영향 등을 분석하였다.

2. 연구 동향

기존의 무리말뚝에 관한 연구는 대부분 무리말뚝의 지지력에 관한 내용으로서, 단독말뚝과 무리말뚝 내의 한 말뚝 사이의 지지력비를 나타내는 무리말뚝효율에 관한 연구가 많이 수행되었다. 지금까지의 연구에 의하면 느슨한 정도에서 중간 정도까지의 상대밀도를 가지는 사질토 지반에서는 무리말뚝효율이 1보다 크고, 말뚝사이 간격이 말뚝직경의 2~3배일 때 최대 2까지 되었으며, 조밀한 사질토지반에서는 무리말뚝효율이 1보다 작은 경우와 큰 경우가 모두 나타났다(Vesić, 1969; Hanna, 1963). 그러나, 이러한 결과는 상부기초가 지반과 접촉하지 않은 경우로 상부기초가 무리말뚝의 거동에 미치는 두 가지 효과, 즉, 상부기초 자체에 의한 지지효과와 지반을 통해 말뚝들의 거동에 미치는 상호작용효과가 배제된 결과이다.

무리말뚝에서 상부기초의 효과에 관한 연구는 몇몇 학자에 의해 수행되었으나, 아직까지 체계적으로 정립되어 있지는 않은 상태이다. Liu 등(1985)은 실트질 사질토 지반에서 천공말뚝으로 이루어진 무리말뚝에 대한 현장재하시험을 통해 캡-말뚝-지반간의 상호작용을 연구하였으며, 상부기초의 효과에 의해 말뚝의 주면 저항력은 감소되고, 선단저항력은 증가하는 것을 발견하였다. 상부기초의 지지효과에 대해서 Vesić(1969)은 사질토 지반에서의 모형실험 결과를 이용한 지지력계수 산정을 통해 말뚝으로 둘러싸인 구역의 바깥 부분에 해당하는 상부기초의 지지 효과가 있다고 주장하였다. 그러나 이러한 주장은 말뚝과 상부기초 간의 상호작용을 무시한 지지력 관점에서의 예측으로 신뢰성이 떨어지는 것으로 판단된다. Cooke(1981) 등은 실제 현장의 계측을 통해 상부기초가 하중단계에 따라 전체 하중의 25%~35%의 하중을 분담하는 것을 발견하였다.

3. 시험 방법

실내 토조에 조성된 지반에서 9개의 말뚝을 정방향으로 배치하여 이루어진 모형 무리말뚝을 이용하여 실험하였다. 실험은 무리말뚝의 지지거동에 영향을 미치는 두 가지 요소를 변화시켜 가면서 수행하였다. 첫 번째 요소는 상부기초와 지반의 접촉 여부이고, 두 번째는 말뚝간의 이격거리이다. 자세한 실험 방법은 다음과 같다.

3.1 시험 자원 및 측정 장치

시험에 이용한 말뚝, 상부기초, 토조의 자원은 다음의 표 1에 나타내었다.

표 1. 시험 자원

말뚝	상부기초	토조
재질 : 알루미늄 파이프 직경 : 32 mm 길이 : 600 mm 두께 : 1.2 mm 탄성계수 : $7.13 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$	재질 : 철판 두께 : 8 mm 크기 : 365 mm × 365 mm 탄성계수 : $2.00 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$	크기 : 1.2 m × 1.0 m × 2.5 m

모형 말뚝의 선단은 콘형 마개로 막고, 머리 부분을 상부기초와 연결할 수 있도록 볼트 구멍이 파여 있는 마개로 막았으며, 모형 말뚝의 머리부와 선단부에는 각각 대칭을 이루는 2개씩의 변형률 게이지를 파이프 안쪽 면에 부착하여, 말뚝에 전달되는 하중과 선단이 받는 하중을 분리하여 측정하였다. 침하량은 LVDT, 재하하중은 로드셀을 이용하여 측정하였다.

상부기초는 두께 8 mm의 강철판을 이용하였으며, 완전 강성이라고 가정한다. 실제 현장 조건에서 상부기초는 지반 및 말뚝에 비해 상대적으로 강성이 매우 크기 때문에 본 실험에서도 두꺼운 철판을 이용하여 완전 강성인 상부기초를 모사하였다. 말뚝은 해머로 타입하여 설치하였으며, 모든 말뚝이 설치된 후 볼트를 이용하여 상부기초와 말뚝 머리에 뚫린 구멍을 통해 서로 결합하였다.

3.2 지반 조건

지반은 토조에 건조한 사질토를 일정 높이에서 낙하시켜 50 cm씩 2층으로 나누어 조성하였다. 각 층의 조성 완료 시에 30 cm×30 cm의 판을 이용하여 3회씩 다짐하였다. 사용된 사질토는 비중이 2.66, 유효입경은 0.31 mm이고, 직접전단시험의 결과 내부마찰각은 35°로 나타났다. 조성된 지반의 상대밀도를 알아보기 위하여 캔을 묻어 상대밀도를 측정하였으며, 상대밀도가 65~75% 사이의 값으로 조밀한 (dense) 사질토로 분류되었다.

3.3 하중 재하

하중은 일정한 시간에 따라 일정 비율로 증가시키는 방법으로 재하하였고, 유압잭을 이용하여 캡 중앙에 직경 100 mm의 원형 판과 편심 재하 방지를 위한 ball bearing을 이용하여 재하하였다. 로드셀과 LVDT를 이용하여 측정된 하중과 침하량은 data acquisition board를 장착한 computer를 통해 동시에 측정하였다.

3.4 시험 종류

기초를 구성하는 개별 요소들의 지지 거동을 파악하기 위하여 단말뚝과 상부기초 각각에 대한 시험을 수행하였으며, 상부기초가 말뚝의 지지거동에 미치는 영향을 알아보기 위하여 상부기초가 설치되어 지반과 접촉하고 있는 단말뚝에 대한 시험도 수행하였다.

무리말뚝 시험에서는 말뚝간의 이격거리와 상부기초와 지반의 지반접촉 여부를 변화시키면서 시험을 수행하였다. 이격거리는 말뚝 직경의 2배, 3배, 4배, 5배가 되도록 변화시켰으며, 각각의 이격거리에서 상부기초와 지반이 접촉한 경우와 접촉하지 않은 경우에 대하여 실험을 수행함으로써, 총 8 종류의 실험을 수행하였다. 시험에 이용된 상부기초는 말뚝간의 이격거리에 상관없이 모두 동일한 크기로 하여 결과 분석에 있어서 상부기초의 크기에 따른 지지 거동의 변화를 배제할 수 있도록 하였다.

4. 결과 및 분석

분석에 있어서 항복하중은 $\log p - \log s$ 방법을 이용하여 산정하였다. 상부기초가 지반과 접촉한 경우 항복 이후에도 침하량증가에 따른 하중 증가가 발생하는 하중-침하 거동이 나타났으며, $\log p - \log s$ 방법을 제외한 다른 방법들로는 명확하고 일관된 항복하중 산정이 불가능하였다..

4.1 기초의 개별 요소들에 대한 시험 결과

4.1.1 단말뚝

그림 1은 단말뚝의 하중-침하 곡선을 나타낸다. 항복하중은 61 kg으로 나타났으며, 대부분의 하중을 말뚝 선단에서 받는 선단지지말뚝의 특성을 나타내었다.

4.1.2 상부기초

그림 2는 상부기초의 하중-침하 곡선을 나타낸다. 말뚝과 달리 침하량 증가에 따라 하중이 계속 증가하는 경화(hardening) 양상이 나타나고 있으며, 항복하중은 651 kg으로 산정되었다.

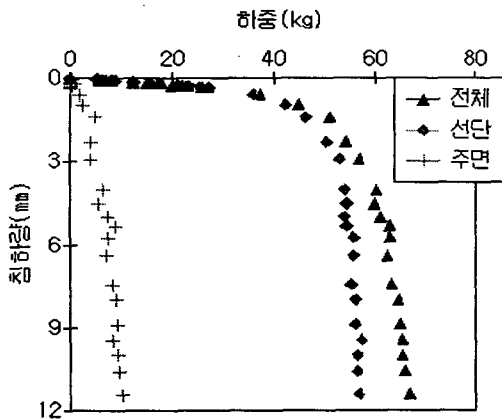


그림 1. 단말뚝의 하중-침하 곡선

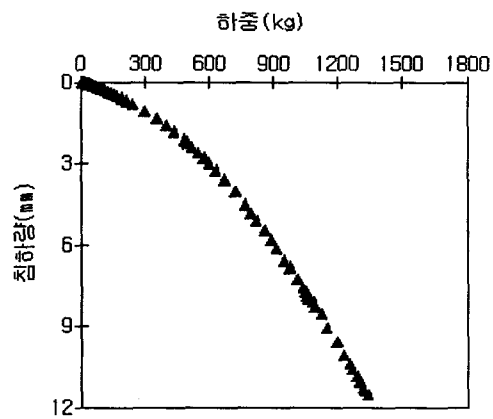


그림 2. 상부기초의 하중-침하 곡선

4.1.3 상부기초가 설치되어 지반과 접촉한 단말뚝

그림 3은 상부기초가 설치되어 지반과 접촉한 단말뚝의 시험 결과이다. 항복하중은 700 kg으로 산정되었으며, 말뚝이 설치되지 않은 경우에 비해 50 kg 정도 항복하중이 증가한 것으로 나타났다. 또한 초기 하중 영역에서는 말뚝의 하중-침하량 거동과 거의 유사하게 거동하였으나, 말뚝이 항복한 이후에는 상부기초만의 하중-침하량 곡선과 유사한 양상을 나타내었다. 상부기초의 지반 접촉이 말뚝의 거동에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 단말뚝과 상부기초가 설치되어 지반과 접촉한 경우 말뚝만의 하중-침하 거동을 서로 비교하여 보았으며, 그림 4는 말뚝 머리, 그림 5는 말뚝 선단에서의 하중-침하 곡선을 나타낸다.

상부기초가 설치되어 지반과 접촉된 경우 말뚝은 58 kg에서 항복하였으며, 상부기초가 설치되지 않은 단말뚝의 항복하중(61 kg)과 유사하게 산정되었으며 항복 이전까지는 단말뚝과 거의 유사한 하중-침하 거동을 나타내었다. 그러나, 단말뚝의 경우 항복하중 이후 침하량 증가에 따른 하중 증가가 거의 없는 것과 달리 상부기초가 설치되어 지반과 접촉한 경우는 말뚝이 항복 이후에도 하중이 계속 증가하는 경향이 나타났다. 즉, 그림 4에서 상부기초가 설치되어 지반과 접촉한 경우 침하량이 2 mm 정도 되었을 때 말뚝이 항복하는 양상을 보이다가 계속되는 침하량

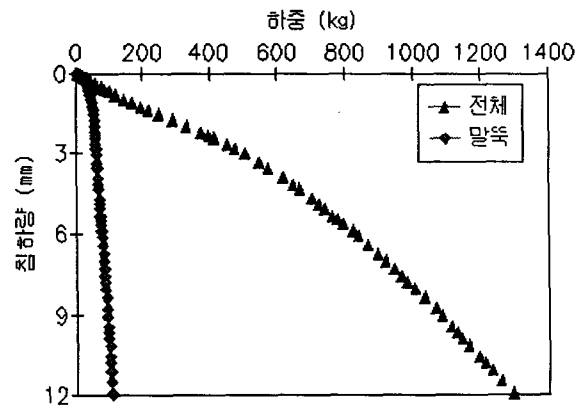


그림 3. 상부기초가 설치된 단말뚝의 하중-침하곡선

증가와 함께 하중이 계속해서 증가하였다. 선단하중의 경우는 항복하중까지는 상부기초가 설치되어 지반과 접촉한 경우와 말뚝만 설치되어 있는 경우의 거동이 거의 유사하게 나타났으나, 상부기초와 지반의 접촉 효과가 있는 경우는 항복 이후에 선단이 받는 하중이 감소하는 것으로 나타났다.

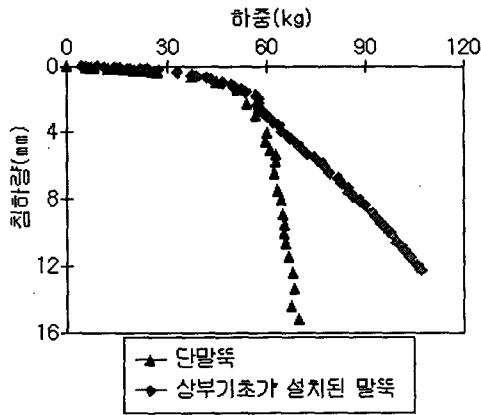


그림 4. 말뚝머리의 하중-침하 곡선

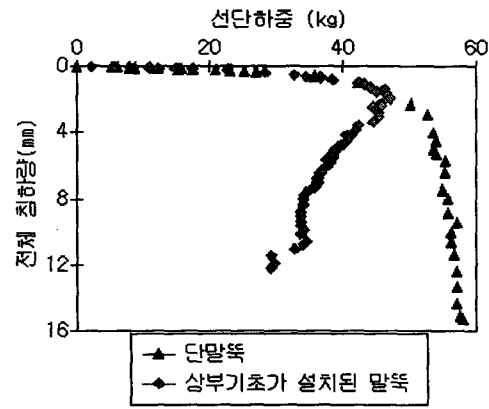


그림 5. 말뚝선단의 하중-침하 곡선

이러한 경향으로부터 상부기초가 설치되어 지반과 접촉한 경우 항복 이전까지는 대체로 말뚝만 설치된 경우와 거의 유사한 거동을 나타내지만 항복 이후에는 상부기초의 지반 접촉에 의해 거동이 크게 달라지는 것을 알 수 있다. 즉, 항복 이후에도 말뚝이 받는 하중이 증가하는 반면 선단이 받는 하중은 감소하는 현상이 나타났다. 이와 같이 항복 이후에 선단하중의 감소에도 불구하고 전체적인 말뚝이 받는 하중이 증가하는 것은 재하 초기에는 비록 상부기초와 지반의 접촉압으로 말뚝 주변 작용압이 증가하지만, 상부기초의 영향으로 주변저항력 발현에 필요한 충분한 말뚝 상대변위가 발생하지 않다가 항복 이후에 효과가 나타남기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 결과는 상부기초의 지반 접촉에 의해 주변 저항력이 감소한다는 Liu 등(1985)의 연구 결과와 상충되는 결과이다. 그러나, 본 연구에서 나타난 상부기초의 접촉에 의한 주변 저항력 증가는 단말뚝의 항복 이후의 거동으로 항복 이전에 상부기초의 지반 접촉이 말뚝의 지지 거동에 미치는 효과는 미소한 것으로 나타났다.

4.2 무리말뚝의 시험결과

4.2.1 지지력

그림 6은 상부기초와 지반이 접촉하지 않은 경우 말뚝간의 이격거리에 따른 무리효율의 변화를 나타낸다. 상부기초와 지반의 접촉효과가 없는 경우, 무리효율은 1.03~1.11로 1보다 조금 큰 것으로 나타났다. 말뚝간의 거리가 말뚝직경의 3배인 경우에 무리효율이 가장 크고, 이격거리가 증가함에 따라 효율이 1로 접근하는 것으로 나타났으며, 이는 기존의 연구결과와 대체로 일치한다. 즉, 말뚝 설치시의 타입에 의한 다짐효과 또는 침하에 따른 말뚝 사이의 구속압 증가(settlement hardening, Liu, 1985)에 의한 주변지지력 증가로 무리효율이 1보다 크게 나타났으며, 말뚝간의 거리가 커질수록 말뚝간 상호작용의 감소로 무리효율이 1로 접근하는 것으로 나타났다.

그림 7은 상부기초와 지반이 접촉한 경우의 이격거리에 따른 항복하중의 변화를 나타낸다. 이 경우 항복하중이 단

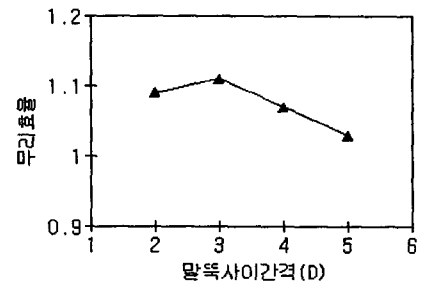


그림 6. 상부기초와 지반이 접촉하지 않은

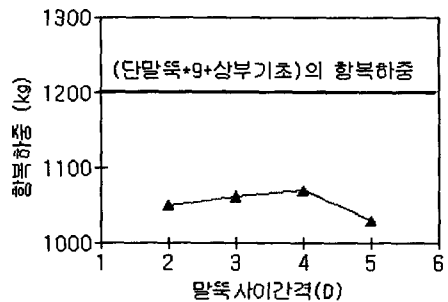


그림 7. 상부기초와 지반이 접촉한 경우의 이격거리에 따른 항복하중

말뚝 9개의 항복하중과 상부기초의 항복하중을 단순히 합한 값(1200 kg)의 85%~90% 정도가 발휘되는 것으로 나타났다. 또한, 상부기초와 지반이 접촉하지 않은 경우와 달리 말뚝간의 이격거리가 말뚝 직경의 4배(4D)인 경우에 지지력이 가장 큰 것으로 나타났으며, 이격거리가 증가함에 따라 4D까지 지지력이 증가하다가 이격거리가 5D로 되면서 다시 감소하는 것으로 나타났다.

4.2.2 말뚝간의 상호작용

그림 8은 상부기초와 지반이 접촉하지 않은 경우의 이격거리에 따른 하중-침하곡선과 단말뚝의 하중에 9배를 한 하중-침하량 곡선을 함께 나타낸 것으로 말뚝간의 상호작용이나 말뚝 설치에 따른 다짐효과를 알아보기 위하여 단말뚝과 무리말뚝의 하중-침하 거동을 비교한 것이다. 대체로 항복 이전의 초기 하중 영역에서는 이격거리 4D의 경우를 제외하면 단말뚝과 무리말뚝의 하중-침하 거동이 거의 유사하게 나타났다. 항복 하중 부근과 항복 이후의 하중에서는 이격거리 2D와 3D의 경우 무리말뚝이 단말뚝에 비하여 동일 침하량에서 좀 더 큰 하중을 받는 것으로 나타났으며, 이격거리 4D와 5D의 경우는 무리말뚝과 단말뚝의 하중-침하 거동이 거의 유사한 것으로 나타났다. 초기 하중 영역에서 단말뚝과 무리말뚝의 하중-침하 거동이 유사하고 항복 하중 부근에서부터 차이를 나타내는 것으로 보아 무리효율이 1보다 크게 나타나는 원인이 말뚝 타입 시의 다짐효과보다는 침하량 증가에 따른 구속압의 증가로 인한 주변지지력 증가에 따른 것으로 판단할 수 있다. 이격거리 4D의 경우는 초기하중영역에서의 하중-침하곡선의 기울기가 다른 경우에 비해 크게 나타났으며, 이는 말뚝들 간의 변위장이 중첩되는 말뚝간의 상호작용이 크게 나타났기 때문인 것으로 판단된다. 이격거리가 4D보다 작은 경우는 말뚝 설치시의 다짐효과와 말뚝간의 상호작용에 의한 변위장 중첩이 동시에 발생함으로써 서로 효과가 상쇄되어 단말뚝과 유사한 하중-침하 거동을 나타낸 것에 비해, 이격거리 4D의 경우는 다짐효과보다 말뚝간의 상호작용이 크게 나타난 것으로 보이며, 말뚝의 타입에 의한 다짐효과가 미치는 영향 범위가 말뚝들간의 변위장이 중첩되는 영향 반경에 비해서 작기 때문에 이러한 현상이 발생된 것으로 판단된다. 즉, 다짐에 의한 효과가 미치는 영향범위가, 말뚝 변위장의 중첩에 의한 상호작용의 영향범위보다 작은 것을 예측할 수 있으며, 이러한 결과는 독립된 두 개의 말뚝의 상세한 실험이나 수치해석 등을 통해 확인되어야 할 것이다. 이격거리 5D의 경우는 모든 하중 영역에 걸쳐 단말뚝과 매우 유사한 하중-침하 거동이 나타났으며, 이격거리가 말뚝 직경의 5배 이상으로 증가하면 말뚝 설치시의 다짐효과나 말뚝간의 상호작용 그리고 침하량 증가에 따른 구속압의 증가 효과 등이 모두 나타나지 않으며, 무리말뚝내의 각 말뚝이 거의 단말뚝과 동일하게 거동하는 것을 알 수 있다.

이러한 결과로부터 지지력 관점에서의 설계가 아닌 정확한 상호작용을 토대로 한 침하량 관점의 설계가 필요하다는 것을 알 수 있다. 이격거리 4D의 경우 전체적인 지지력에서는 큰 문제가 되지 않으나 다른 경우에 비해 설계하중 영역에서의 하중-침하량 곡선의 기울기가 크기 때문에 설계하중에서 예측보다 큰 침하량이 발생할 수 있다.

4.2.3 상부기초에 의한 상호작용

그림 9는 상부기초와 지반이 접촉한 경우의 이격거리에 따른 하중-침하량 곡선을 나타낸다. 대체로 하중-침하 거동은 이격거리에 상관없이 유사한 것으로 나타났으나, 상부기초와 지반이 접촉하지 않은 경우와 마찬가지로 이격거리 4D의 경우 초기 하중 영역에서의 하중-침하 곡선의 기울기가 다른 경우에 비해 큰 것으로 나타났다.

그림 10은 상부기초에 의한 상호작용 효과를 알아보기 위하여 이격거리 3D의 경우에 대해서 상부기초와 지반이 접촉한 경우(곡선a), 접촉하지 않은 경우(곡선c), 상부기초(곡선d), 그리고, 동일 침하량에서 상부기초와 지반이 접촉하지 않은 무리말뚝의 하중-침하 관계에 상부기초의 하중을 더하여 구한 하중-침하 곡선(곡선b)을 함께 비교한 것이다. 즉, 상부기초와 지반이 접촉하지 않은 무리말뚝과 상부기초의 지지거동을 단순히 합한 곡선과, 상부기초와 지반이 접촉한 경우의 지지 거동 비교를 통해 상부기초의

지반 접촉에 의한 상호작용효과를 알아보기 위한 것이다.

상부기초와 지반이 접촉한 경우와 접촉하지 않은 경우를 비교하면(곡선a-곡선c), 하중 초기 영역에서 하중-침하 곡선의 기울기가 상부기초와 지반의 접촉에 의해 50% 정도 감소한 것으로 나타났다. 동일 침하량에서 상부기초와 지반이 접촉하지 않은 무리 말뚝과 상부기초의 하중을 더한 하중-침하 곡선과 상부기초와 지반이 접촉한 경우의 하중-침하 곡선을 비교하면(곡선a-곡선b) 말뚝 항복 이전의 초기 하중 영역에서는 두 경우의 기울기가 거의 유사하게 나타났으며, 항복 이후에는 침하량이 증가할 수록 후자의 경우가 전자의 경우에 비해 동일 침하량에서 더 작은 하중을 받는 것으로 나타났다.

Butterfield와 Banerjee(1971)의 수치해석을 이용한 연구에 의하면 상부기초와 지반의 접촉으로 상부기초가 상당한 크기의 하중(30%~50%)을 부담하지만, 기초의 하중-침하 곡선의 기울기, 즉 침하량은 매우 작게(15%이하) 감소하는 것을 발견하였다. 이것은 말뚝 상부의 지반이 상부기초로 인하여 말뚝과 함께 침하하기 때문에 말뚝과 지반의 상대변위가 작아서 주면 저항력이 발휘되지 못하기 때문인 것으로 보고 있다. 본 실험의 결과에서는 하중 초기 영역에서 상부기초와 지반의 접촉에 의해 하중-침하 곡선의 기울기가 Butterfield와 Banerjee(1971)의 결과 보다 상당히 큰 50% 정도 감소하는 것으로 나타났으며, 곡선a와 곡선b가 거의 동일한 것으로 나타나 상부기초의 상호작용으로 인한 주면 저항력의 감소 효과는 거의 없는 것으로 보인다. Butterfield와 Banerjee(1971)의 결과는 탄성연속체에 대한 해석 결과로 주로 점성토 지반에 적용이 가능하며, 본 실험의 경우와 같은 사질토 지반에서 특히 선단지지 말뚝의 특성을 갖는 경우 상부기초에 의한 상호작용 효과는 항복하중 이전에는 전체 기초의 거동에 거의 영향을 미치지 못하는 것으로 보인다. 반면에 항복 이후에 침하량이 증가하면서 곡선a의 기울기가 곡선b의 기울기 보다 작아지는 것으로 나타나 4.1.3항에서 설명한 상부기초에 의한 지중 구속압 증가로 인한 말뚝의 주면저항력 증가가 발생하는 것으로 보이나 이는 기초가 파괴된 후 상당한 침하량이 발생한 상태에서 나타나는 현상으로 실질적인 문제에서는 큰 의미를 갖지 못하는 결과이다.

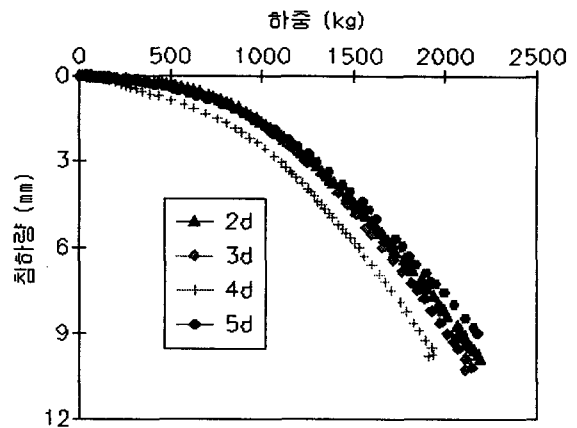


그림 8. 상부기초와 지반이 접촉한 경우의 하중-침하 곡선

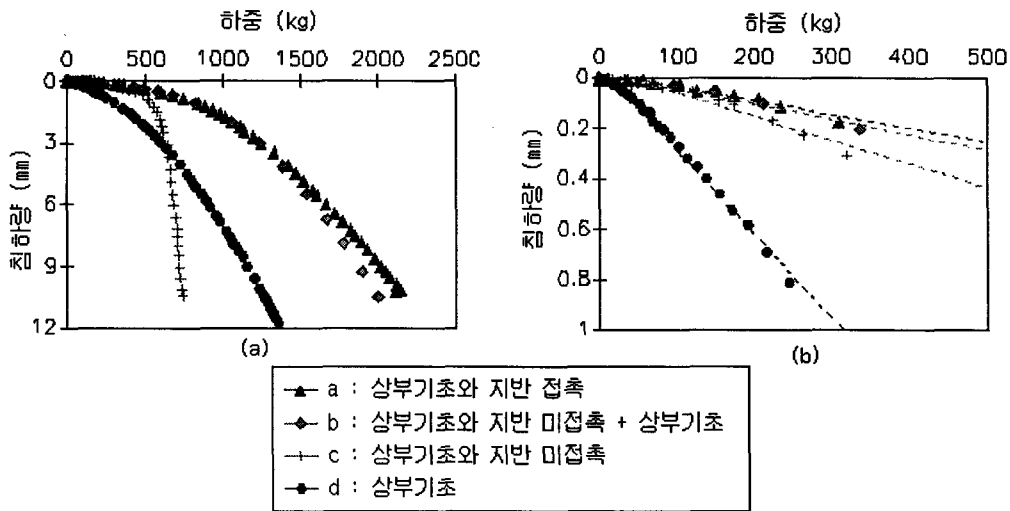


그림 9. 하중-침하 곡선의 비교 (이격거리 : 3D)
(a) 전체 (b) 초기 하중 영역

다른 이격거리의 경우에도 초기 하중 영역에서 하중-침하 곡선의 기울기가 크게 감소하는 것으로 나타났으며, 상호작용의 영향은 대체로 미소한 것으로 나타났다. 따라서, 설계에 상부기초의 지지효과를 고려하는 경우 상부기초와 지반이 접촉하지 않은 상태의 무리말뚝과 상부기초의 하중-침하 곡선을 동일 침하량에서 하중을 더하여 구한 하중-침하량 곡선을 이용하여 설계 하중에서의 상부기초의 지지력을 고려하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 조밀한 사질토지반에서 상부기초와 지반의 접촉 여부와 말뚝간의 이격거리를 변화시킨 모형실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 상부기초와 지반이 접촉한 경우는 말뚝간의 이격거리가 3배인 경우, 접촉하지 않은 경우는 4배인 경우 각각 최대 지지력이 나타났다. 그러나, 최대의 지지력이 최소의 침하를 의미하지 않으며 침하량 중심의 설계에서는 지지력 보다는 설계하중영역에서의 전체기초의 하중-침하 거동에 대한 고려가 필요하다.
- 2) 말뚝의 타입에 의해서 발생하는 다짐 효과의 영향 범위는 말뚝의 변위장이 중첩되는 영향 범위 보다 작은 것으로 예측된다.
- 3) 사질토 지반에서 선단지지 말뚝의 특성을 보이는 무리말뚝에서는 상부기초의 지반 접촉이 말뚝의 지지 거동에 미치는 영향은 항복 이전의 초기 하중 영역에서는 미소하며, 기초가 파괴되어 침하가 크게 발생할 경우, 지중 구속압의 증가로 인해 말뚝의 주변 저항력이 증대된다.
- 4) 상부기초와 말뚝의 하중-침하 거동의 차이로 인해 상부기초의 지지효과는 하중 단계에 따라 변화하며, 따라서, 각각의 정확한 하중-침하 거동과 상호작용을 토대로 한 설계하중에서의 지지효과에 대한 합리적인 고려가 필요하다. 즉, 설계에 상부기초의 지지효과를 고려하는 경우 상부기초와 지반이 접촉하지 않은 상태의 무리말뚝의 하중-침하 곡선과 상부기초에 대한 하중-침하 곡선의 동일 침하량에서 하중을 더하여 구한 하중-침하 관계를 이용하여 설계 하중에 해당하는 상부기초의 지지효과를 산출하는 것이 합리적이다.

감사의 글

이 논문은 1998년 학술진흥재단의 학술연구비에 의하여 지원되었음.

참고문헌

1. Butterfield, R. and Banerjee, P. K.(1971), "The problem of pile group-pile cap interaction", *Geotechnique*, 21. No.1, pp.43~60.
2. Cooke, R.W., Bryden Smith, D. W., Gooch, M. N., and Siller, D. F.(1981), "Some observations of the foundation loading and settlement of a multi-storey building on a piled raft foundation in London clay", *Proc. of ICE*, 107, part 1, pp.433~460
3. Hanna, T. H.(1963), "Model studies of Foundation groups in sand", *Geotechnique*, Vol.13, pp.334~351
4. Liu, J. L., Yuan, Z. L. and Shang, K. P.(1985), "Cap-pile-soil interaction of bored pile groups", *Proc. of 11th ICSMFE*, San Francisco, Vol.3, pp.1443~1436.
5. Vesić, A. S.(1969), "Experiments with instrumented pile groups in sand", *Performance of Deep Foundations*, ASTM, STP 444, pp.177~222.