

바이모달 트램 운영을 위한 도심지 고가구조물 기초형식 개발 Development of Foundation of Urban Overpass for Bimodal Tram System

강태식* 배을호** 박영곤*** 윤희택***
Kang, Tae-Sik Bae, Eul-Ho Park, Young-Kon Yoon, Hee-Taek

ABSTRACT

The necessities of development of foundation having minimized occupying area and construction time are required for overpass in the downtown area by which bimodal tram will pass a crossway.

We are studying a single column drilled pier foundation which is continuous from pier to pile foundation.

Due to the increased resisting moment by reinforced steel which is ranged from the upper part of pile to lower part of column above ground, it can be possible to make a smaller pile-section and lessen the bar reinforcing. And for the excavation work is possible with smaller equipment, this foundation has a improved constructability and economical efficiency. This foundation needs smaller amount of concrete and has a small self-weight. It has an effect on improving resistance against earthquake due to improved ductility in addition to improved rigidity by interaction between concrete and steel.

1. 서 론

산업이 발전함에 따라 도시화에 의한 인구 집중이 심화되고 사회 기반시설물들의 효과적이고 효율적인 구축을 위해 각종 시설들의 고밀도화에 대한 요구가 급증하고 있는 반면 새로운 사회 기반시설물들의 구축이 주변의 시설이나 사람들의 생활에 주는 나쁜 영향 - 소음, 진동, 지반침하 등에 의한 주변 건물의 균열, 시공중 교통체증 유발 등을 줄 수 있으며 이로 인해 각종 민원뿐만 아니라 시업의 진행마저도 위협할 수 있다.

따라서 도시 고가교나 도심부 입체교차로의 기초는 교통흐름 방해 최소화와 급증하고 있는 교통량의 원활한 흐름을 유도하기 위해서 단면을 최소화한 하부구조에 적합한 형식이어야 한다. 또한 도심지에 설치되는 점을 고려할 때 기초의 형식은 부지점유 면적이 적으며 시공이 간편하고 상부구조로부터 전달되는 하중을 안전하게 지반까지 전달할 수 있는 구조이어야 한다.

이러한 요구조건에 부합하는 기초형식이 바로 단일 현장타설 말뚝기초이다. 이 기초형식은 앞서 언급한 저렴한 공사비와 상대적으로 작은 부지점유 면적 등으로 인해 미국 특히 캘리포니아의 고속도로 교량의 기초형식으로 널리 적용되어 왔으나 국내에서는 이제 연구가 시작되고 있는 실정이다.

단일 현장타설 말뚝기초는 교량의 하부구조와 지표면 아래에 묻히는 이와 같은 크기의 기초로 구성되기 때문에 과도한 지반절취 없이 다양한 지반조건에 적용이 가능하고, 지진에 대해서는 유연한 거동을 보이는 기초형식이다. 이런 형식의 기초를 설계하기 위해서는 수평하중에 의한 거동이 매우 중요한 고려사항이라 할 수 있다.

* 현대엔지니어링(주) 구조부 과장

E-mail : pioneer@hec.co.kr

TEL : (02)2166-8751 FAX : (02)2648-7809

** 현대엔지니어링(주) 구조부 이사

*** 한국철도연구원, 바이모달수송시스템연구단, 정희원

2. 해석방법

단일 현장타설 말뚝기초의 설계 및 해석을 위해서는 지반의 비균질성과 비선형성 뿐만 아니라, 계산의 효율적인 측면도 고려해야만 한다. 이를 만족하는 해석기법으로는 실무에서도 많이 사용되고 있는 Beam-Column방법이 있다. 이 방법을 사용하기 위해서는 기초와 지반 상호작용을 독립된 비선형 지반 스프링을 나타내는 하중전이 곡선인 $p-y$ 곡선이 필요하다.

말뚝의 변위가 커지면 지반반력이 항복치에 도달하게 되므로 이러한 지반에서의 말뚝변위와 지반반력 사이의 일반적인 관계는 비선형성을 보이게 된다. 말뚝과 지반의 관계는 $p-y$ 곡선을 통해 나타낼 수 있다. 이 하중전이곡선($p-y$ 곡선)의 개념은 1956년 McClelland-Focht에 의해 도입되었다. McClelland등은 멕시코만 미시시피강 하구부근의 해저에 설치된 석유시추장비를 이용해서 강관말뚝을 타입하고 여러 종류의 수평재하시험을 실시하였다. 이 시험결과와 실내시험의 결과를 검토하여 수평하중을 받는 말뚝의 지반반력과 점토의 압밀비배수 삼축시험에 의한 응력-변형률관계를 비교하였다. Reese & Matlock, Reese & Cox는 그 연구를 확장해서 비선형 지반반력-변위관계($p-y$ 곡선)를 말뚝의 수평지지력계산에 적용하는 방법을 제안하였으며, 미국석유협회(API)의 해양구조물에 관한 지침서 API RP2A에 채택되어 주로 해양구조물분야에 널리 사용되었다. 이 방법은 지반의 비선형성, 깊이에 따른 스프링계수의 변화, 지반의 층상 구조를 고려할 수 있는 장점이 있는 반면, 지반을 대표하는 $p-y$ 곡선의 산정이 쉽지 않은 어려움이 있다. 이에 따라 수 십년에 걸쳐 $p-y$ 곡선 산정을 위한 많은 연구가 수행되었으며 지금까지 다양한 지반과 하중조건을 고려한 $p-y$ 곡선이 제안되었다.

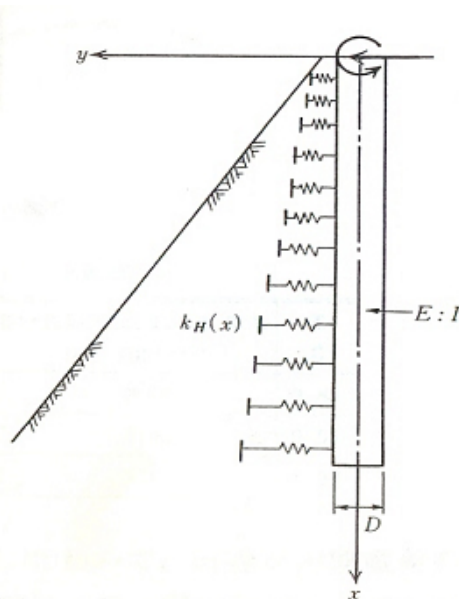


그림 1. Beam-Column방법에 의한 기초 모델링

$p-y$ 곡선과 같이 전통적인 극한 지지력과 하중-변위 모델의 대부분은 횡방향 하중을 받는 말뚝과 지반의 상호작용이 수평방향의 토압과 그에 상응하는 압력-변위 관계에 의해서만 정의된다는 가정에 근거하고 있다. 하지만 단일 현장타설 말뚝기초의 두부에 횡방향 하중과 모멘트가 작용할 때 말뚝의 주면에 수직으로 작용하는 수평방향의 힘 뿐만 아니라 주면에 작용하는 수직 주면 전단력, 말뚝의 저면에 작용하는 전단력 그리고 말뚝 저면에 수직 상향으로 작용하는 힘을 고려할 수 있다.

Davison(1982)은 횡방향 하중을 받는 말뚝과 지반 사이에 작용하는 힘들을 고려할 수 있는 해석 모델을 그림 2와 같이 제안하였다.

그림 2. Four-spring subgrade modulus model

이 모델은 횡하중과 모멘트를 받는 현장 타설 말뚝의 메카니즘에서 고려되는 네 가지 힘의 성분을 각각 횡방향 변위 스프링(lateral translational spring), 수직 주면 전단 모멘트 스프링(vertical side shear moment spring), 저면 전단 변위 스프링(base shear translational spring) 그리고 저면 모멘트 스프링(base moment spring)으로 구현하였기 때문에 좀 더 정확하게 기초거동을 해석할 수 있는 장점이 있다.

3. 단일 현장타설 말뚝기초의 개선

도심지에 적합한 단일 현장타설 말뚝기초는 그 특성상 횡하중 및 모멘트를 크게 받기 때문에 거동이 매우 비선형적이다. 작은 하중에서는 기초변형이 탄성 변형과 소성 변형으로 구성되다가 하중이 증가함에 따라 전체 변형에서 소성 성분이 증가하여 결국 기초지반이 극한 지지력에 도달하게 되고, 더 큰 하중이 말뚝에 가해지지 않은 상태에서 가해진 하중에서의 평형상태는 더 이상 유지될 수 없게 된다. 또한 문헌에 의하면 지표 부근에서 지반뿐만 아니라 구조물 자체도 비선형 거동을 보이기 때문에 지표면에서 측정되는 변위보다 상부구조에서 더 큰 변위가 나타나 구조물의 사용성에 큰 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다.

또한 상부구조와 말뚝기초가 단일체로 구성되는 단일 현장타설 말뚝기초의 경우 상부구조의 직경에 영향을 받으므로 말뚝기초가 상부구조의 직경과 같은 크기이거나 단면력이 부족할 경우에는 상부구조보다 큰 직경을 적용해야 하므로 상부구조의 직경이 큰 경우 현장타설 말뚝기초의 직경도 증가할 수밖에 없다. 말뚝기초의 직경이 증가함에 따라 지반을 굴착하기 위한 기계장비의 규모가 기하급수적으로 커져야 할 뿐만 아니라 이 장비의 운전에 필요한 동력도 커지게 되기 때문에 직경 3.0m 이상의 대구경 현장타설말뚝 기초는 육상구간에서는 적용이 불가하고 대부분은 운반이나 작업공간의 제약이 적은 해상구간에만 한정되어 적용되고 있는 실정이다. 또한 도심지 공사 등과 같이 공간상의 제약에 의해 현장타설 말뚝기초의 직경에 제한을 받는 경우에도 그 적용에 제약이 있는 등의 문제점이 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 말뚝 상단 및 교각 하단에 강관 또는 원형으로 가공된 파형강판을 삽입함으로써 최대하중을 받는 말뚝 상단 및 교각의 단면성능을 향상시킨 보강형 단일 현장타설 말뚝기초는 단면 및 사용 철근량을 절감할 수 있어 시공성 및 경제성 측면에서 장점을 가질 수 있다.

이러한 기초형식은 기존 형식에 비해 강성이 우수하여 기초단면을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 소규모 굴착장비 사용이 가능하여 시공성이 우수하며, 주로 말뚝기초 상부 및 교각 하단에 작용하는 최대하중까지 강관 또는 원형으로 가공된 파형강판을 삽입하므로 철근량 감소가 가능할 뿐만 아니라 철근조립이

용이하므로 경제성 및 시공성이 우수하고, 강재와 콘크리트의 상호보완 작용으로 강성뿐만 아니라 연성이 우수하여 내진성능을 향상시킬 수 있다.

또한 강관을 삽입한 경우 중공형 단일 현장타설말뚝 기초 형태로 기초 및 교각의 콘크리트 타설 물량 절감 및 자중감소가 가능하며, 필요시 강관 내부를 콘크리트로 충전하여 내하력을 쉽게 향상시킬 수 있는 장점이 있다.

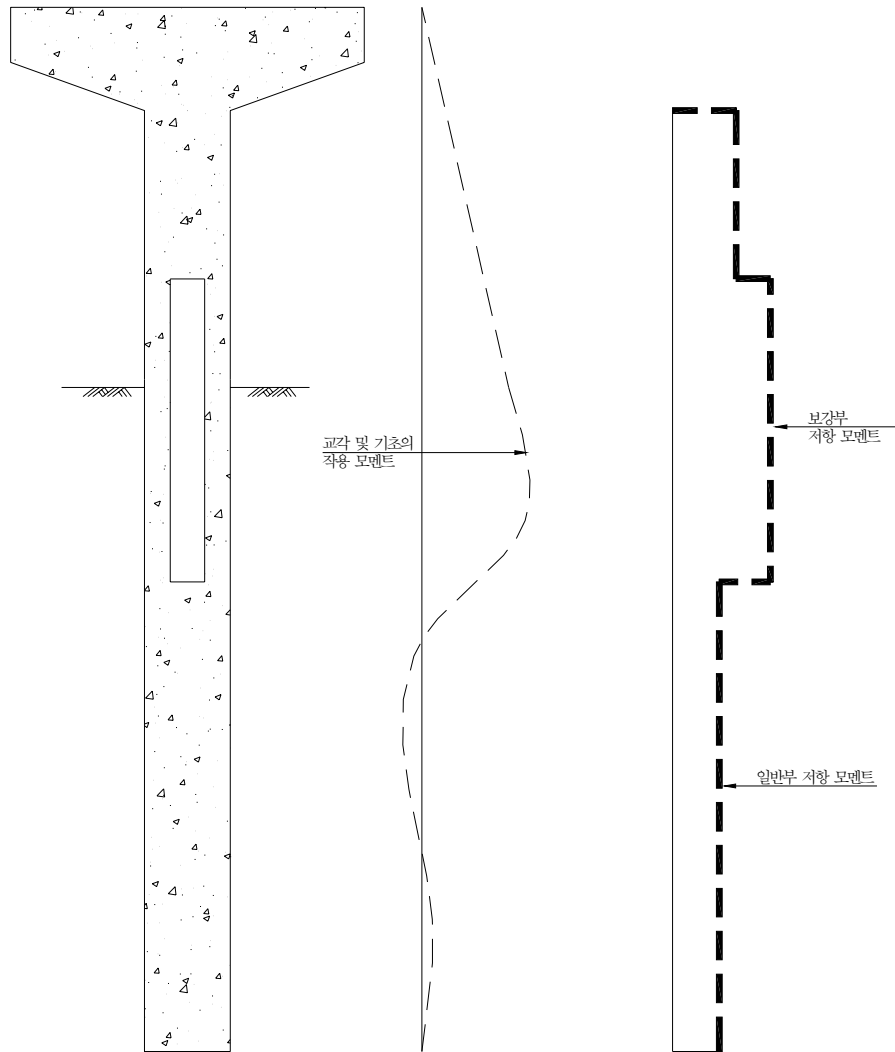


그림 3. 보강형 단일 현장타설 말뚝기초의 작용모멘트 및 저항모멘트

4. 결론

단일 현장타설 말뚝기초는 그 특성상 공사비가 저렴하고 부지점유 면적이 작아 도심지에 적합한 기초 형식이다. 하지만 횡하중 및 모멘트를 크게 받아 거동이 매우 비선형적이며 이에 대한 해석방법도 다양하기 때문에 해석 및 설계를 함에 있어 매우 신중해야 한다.

현재까지는 p-y곡선에 의한 Beam-Column방법에 의한 해석이 주로 적용되었으나 그 특성상 횡하중 및 모멘트를 크게 받아 거동이 매우 비선형적이며 구조물 자체도 비선형 거동을 보이기 때문에 상부구조의 사용성에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 말뚝의 주변에 수직으로 작용하는 수평방향의 힘 뿐만 아니라 주변에 작용하는 수직 주변 전단력, 말뚝의 저면에 작용하는 전단력 그리고 말뚝 저면에 수직 방향으로 작용하는 힘을 고려하는 것이 좀 더 정확하게 기초의 거동을 예측할 수 있다.

또한 현장타설 말뚝기초는 주로 RCD공법에 의해 시공되어지는 것이 일반적인데 말뚝직경이 증가함에

따라 필요 동력이 기하급수적으로 커지고 필요장비도 대형화되어 말뚝직경이 클 경우 도심지에 적용하는 것이 불가하기 때문에 이에 대한 대안으로 보강형 단일현장 타설말뚝기초를 개발하였다.

본 연구는 향후 바이모달 트랩 차량용 도심지 입체고가 계획시 구조물의 안전성, 경제성, 시공성 향상 및 민원예방에 크게 일조할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2007년도 국가교통핵심기술개발사업(06교통핵심B01)의 지원으로 이루어졌습니다.

참고문헌

1. American Petroleum Institute. 1987. "Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed offshore Platforms, API Recommended Practice 2A (RP 2A)" 7th Edition.
2. Broms, B.B. 1964. Lateral resistance of piles in cohesive soils. *Journal of Soil Mechanics and Foundation*. Div., V. 90, No. 2
3. Cox, W. R., Reese, L.C. and Grubbs, B. R. 1974. "Field Testing of Laterally Loaded Piles in Sand" Proceedings, 6th Annual Offshore Technology Conference Paper No. OTC 2079, Houston, TX.
4. Davison, H.L. 1982. Laterally Loaded Drilled Pier Research Vol. 2 : Research Documentation. GAI Report EL-2197. Research Project 1280-1, Prepared for Electrical Power Research Institute, Palo Alto, Calif.
5. Janoyan, K. D. 2001. "Interaction between Soil and Full Scale Drilled Shaft under Cyclic Lateral Load" Ph.D Dissertation. UCLA.
6. Lermite, S. P. 2001. "Analytical Studies of Drilled Shaft Bridge Columns" Ph.D Dissertation. UCLA.
7. Matlock, H., Bogard, D. and Lam, I. P. 1981. BMCOL76 : A Computer Program for the Analysis of Beam-Columns under Static Axial and Lateral Loading
8. O'Neill, M.W. and Murchinson, J.M. 1983. An Evaluation of p-y Relationships in Sands. American Petroleum Institute
9. O'Neill, M.W. and Hassan, K.H. 1994. Drilled Shafts: Effects of Construction on Performance and Design Criteria. *Proc. of International Conference on Design and Construction of Deep Foundations, U.S. Federal Highway Administration, V. 1*
10. Prasad, Y. V. S. and Chari, T. R. 1999. Lateral capacity of model rigid piles in cohesionless soil. *Soil and Foundations, V. 39*
11. Reese, L.C. and Nyman, K.J. 1978. Field Load Test of Instrumented Drilled Shafts at Islamorada, Florida. a report to Girder Foundation and Exploration Coporation, Clearwater, Florida
12. Reese, L.C. 1997. Analysis of Laterally Loaded Piles in Weak Rock. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Division, ASCE, V. 123*