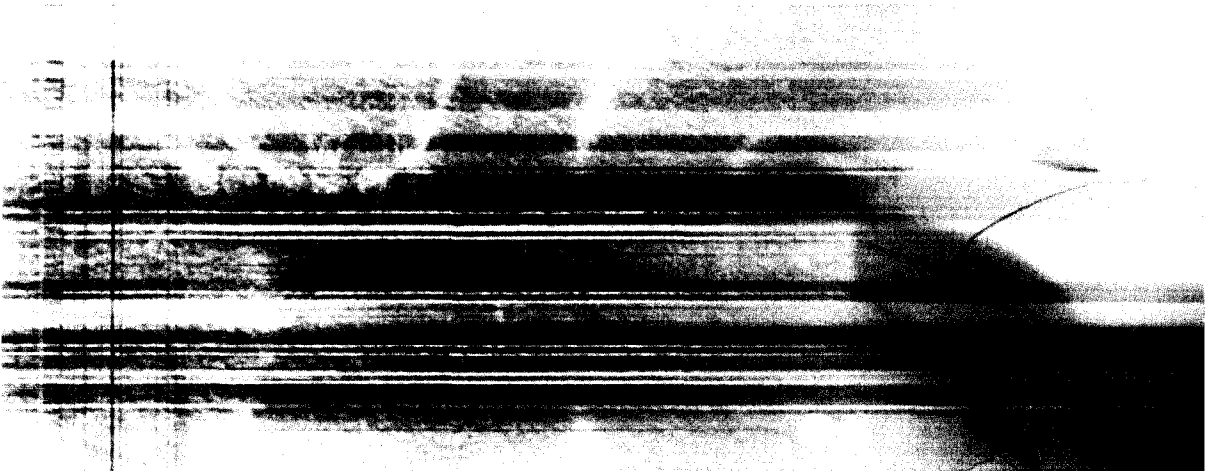


황영철*

지금까지 많은 연구자들에 의해 지반공학 분야는 괄목할 만한 기술발전이 이루어졌습니다. 또한 최근에는 전통적인 학문의 틀을 넘어, 다른 학문과의 상호연계를 통해 기술이 점차 고도화 되고 적용분야도 확대되고 있습니다. 이러한 시점에서 앞으로 다가올 미래의 지반공학기술을 예측하는 것도 매우 의미 있는 일이라 생각하기에 지반공학 각 분야의 전문가들을 모시고 「지반공학에 대한 현황과 전망」이라는 주제로 특집내용을 기획하였습니다. 2005년도 올 한 해 동안은 기초설계분야, 토목섬유분야, 오염토양복원분야, 지반정수의 결정분야, 지반구조물의 내진설계분야, 사면 및 터널분야 등을 다루고자 합니다. 지반공학 기술의 현재의 기술을 재조명하고 앞으로 발전해야하는 방향을 제시하게 되는 본 특집에 많은 회원 여러분의 관심을 부탁드립니다.

I. 국내 말뚝기초의 현황과 발전방향



조천환*2

*1 상지대학교 건설시스템공학과 교수

*2 삼성건설 T.A.팀 전문위원(chunwhan.cho@samsung.com)



I. 국내 말뚝기초의 현황과 발전방향

1. 서 언

근래 구조물은 대규모화되고 중량화되는 경향이 있으므로 구조물 기초로써 깊은기초가 많이 이용되고 있다. 최근에는 고층 건물의 직접기초를 암반위에 설치할 경우라도 흙막이 공법으로 SPS(Steel Permanent System) 공법을 채택함으로써 직접기초하부에 말뚝을 설치하여 이용하는 경우도 많이 있다. 국내에서 주로 적용되는 깊은기초는 말뚝기초와 케이슨기초이다. 말뚝기초 시공법은 타입말뚝, 매입말뚝, 현장타설말뚝으로 분류할 수 있으며 케이슨기초는 우물통 기초와 뉴메틱 케이슨 등으로 구분할 수 있다.

국내에서 주로 활용되는 말뚝기초의 재료는 기성말뚝과 현장타설말뚝으로 구분할 수 있다. 기성말뚝은 강재와 콘크리트, 합성재료로 나눌 수 있지만 국내의 경우 합성재료는 아직 적용되고 있지 않다. 강재는 일반강도(SPS400)가 주로 이용되고 있지만 근래에는 고강도(SPS490)를 활용하는 추세도 있으며, 콘크리트 말뚝은 고강도 콘크리트 말뚝인 PHC 말뚝이 주류를 이루고 있다. 현장타설말뚝의 재료는 최근에 보강재의 역할을 인정하는 설계가 이루어지고 있어 재료허용하중이 커지고 있으며, 이러한 특성을 이용하여 건축부문의 톱 다운공법(Top-down method)에서는 현장타설말뚝에 철근을 포함한 빔의 역할을 인정함으로써 재료허용하중을 크게 설계하고 있다.

말뚝기초의 설계분야는 근래에 큰 진전이 있었다. 여기에는 타입말뚝의 시간경과효과(time effect)의 실무적용, 현장타설말뚝의 암반근입(rock socketing) 설계기법 및 단일현장타설말뚝(single column drilled shaft)설계, 말뚝지지전면기초(piled raft foundation)의 연구 등이 있으며 특히 말뚝 재료 능

력을 최대한 활용하고자 하는 최적설계의 지향을 꼽을 수 있다.

건설환경에 대한 관심이 증대됨에 따라 근래에는 타입말뚝의 적용이 크게 퇴조하고 있으며 따라서 각종 매입말뚝공법과 현장타설말뚝의 적용이 증가되고 있다. 또한 기존 건물의 리모델링(remodelling)이 시도되고 근접시공이 증가하므로 마이크로 파일(micro pile)의 이용도 증가되고 있다.

말뚝기초의 품질에 대한 관심이 커져 각종 말뚝시험 기법의 도입과 개선, 그리고 이의 적용은 대단히 현저하다. 말뚝재하시험은 시공시 뿐만 아니라 설계시에도 적용되기 시작하였고 이를 바탕으로 말뚝기초의 최적화를 지향하고 있지만 아직 미흡하다고 생각된다.

상기 설명한 내용들이 대부분 최근 10여 년간 이루어진 것들이며 따라서 최근 10년간 국내의 말뚝기초기술의 진전은 대단히 크다고 하겠다. 그러나 이러한 커다란 진전이 있는 반면, 전반적으로는 불충분한 점도 없지 않다. 특히 최근에는 건설부문에도 원가절감이 절실해지면서 말뚝기초의 최적화에 대한 노력이 서서히 시도되고 있음에도 이를 뒷받침해야 할 시공의 품질은 변화가 없는 상태라 할 수 있다. 이에 대한 기술자들의 관심이 더욱 절실한 시기라 하겠다.

본고에서는 국내의 말뚝기초에 대한 현황을 정리해보고 앞으로의 전망을 통해 국내 말뚝기초기술이 더욱 발전할 수 있는 방향에 대해 논의하였다. 이를 위해 본고에서는 말뚝기초 관련 시방서, 말뚝기초의 재료, 설계, 시공, 품질 및 시험으로 구분하여 서술하였다.

말뚝기초의 현황과 전망에 대한 분석과 논의를 위해서는 각종의 정량적인 자료가 필요하지만 사실 국내에는 이러한 자료가 여의치 않은바 본고에서는 상

당의 내용이 필자의 경험과 주관에 의해 정리되었음을 밝힌다.

2. 말뚝기초 관련 기준 및 시방서

말뚝기초 관련 기준은 구조물기초설계기준(2002), 도로교설계기준(2000), 철도교설계기준(1999), 항만 및 어항 설계기준(1999), 도로교표준시방서(1997) 등이 있다. 도로교표준시방서는 도로교설계기준으로 변경이 되었지만 아직 실무에서 많이 활용되고 있다. 현재 도로교설계기준(2000)은 개정 작업 중에 있고 철도설계편람이 새로 제정 중에 있다.

최근에는 관련기관의 관심과 학회 및 협회의 활동에 힘입어 설계기준들의 갱신이 활발하게 이루어지고 있다. 특히 관련기준들은 설계기준과 해설편(또는 편람)으로 나누어지고 기준에는 주요한 내용을, 해설편에는 상세한 내용을 언급하고 있으며, 또한 기준 및 해설서의 단위(unit)도 SI체계로 통일해 나가는 등 국제화에 대비하고 있다.

그러나 각종 설계기준들이 기관별로 해당 구조물의 특성에 맞추어 작성된 것을 인정하지만, 기본적인 내용조차 서로 다른 부분들이 있어 기술자들을 혼란시키게 하는 점은 아쉬운 점이라 할 수 있다. 예로 말뚝기초설계에 대한 각종의 안전율이 해당 기준별로 달라 기술자들을 혼란스럽게 하는데, 드물게는 이러한 현상이 오용되는 경우도 있다. 또한 설계기준의 내용이 현장의 현실을 반영하지 못하기도 한다. 일례로 기성말뚝의 경우 현장에서는 다양한 저공해공법이 활용되고 있음에도 설계기준에는 이를 반영하지 못하고 있으며 재료허용하중 설계 방식도 기준별로 다르다.

말뚝 시공관련 공사용 표준시방서는 토목공사일반표준시방서(1996), 도로교표준시방서(1999), 건축공사표준시방서(1999), 항만공사표준시방서(1996)와 각종의 시방서가 있다. 토목공사표준시방서와 도로교표준시방서는 현재 개정 작업 중에 있다.

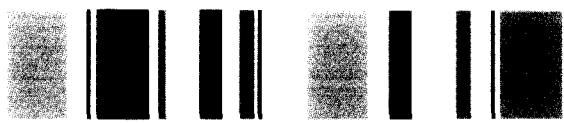
언급한 공사용 표준시방서는 대부분의 대규모 프로젝트가 자체 특별시방서를 갖고 있기 때문에 실무적으로는 크게 중요하지 않다. 다만 해당 프로젝트에 특별시방서가 없거나 아니면 주체 별로 내용과 해석이 다를 경우 표준시방서는 중요한 역할을 하게 된다.

일반적으로 현장에서 표준시방서를 인용하는 내용은 품질관리에 관한 것이 많다. 그러나 이에 대한 표준시방서의 내용은 불충분하거나 현실을 반영하지 못하는 경우도 있다. 또한, 시방서의 관련 내용이 현장에서 이용되는 공법을 제대로 반영하지 못하는 점도 있으며, 시방서 별로 말뚝기초 부문에서 내용 및 용어가 다른 부분이 많다. 이러한 내용들은 개정 시 보완되어야 할 부문이다.

3. 말뚝기초의 재료

강관말뚝은 운반 및 시공 시 여러 장점을 갖고 있기 때문에 공공성이 강조되는 구조물 기초로 널리 활용되어 왔다. 현재 국내에는 연간 67만톤 정도의 강관말뚝이 사용되고 있다. 강관말뚝은 다른 말뚝재료에 비하여 재료비가 고가이어서 경제성보다는 안전성이 우선되는 토목구조물 등에 주로 적용되어 왔다.

안전성보다는 경제성 논리가 우선 되는 건축구조물에는 PHC말뚝과 같이 상대적으로 저가의 말뚝재료가 선호되고 있다. 현재 국내에서 PC말뚝의 이용



I. 국내 말뚝기초의 현황과 발전방향

은 거의 사라졌고 PHC말뚝으로 대체된 상황이다. 1992년에 도입된 PHC말뚝은 현재 연간 약 400만 톤 정도 사용되고 있다.

국내에서 두 재료(강관말뚝과 PHC말뚝)는 경쟁적으로 이용되고 있으며 이러한 가운데 기술도 어느 정도 발전되고 있다고 생각된다. 1990년 초에 도입된 PHC말뚝은 급격히 수요가 증가하기 시작하였으며 1995년 고강도콘크리트말뚝의 설계와 시공 연구(한국지반공학회, 1995)를 통해 그의 이용성과 활용을 더욱 증진 시키고자 하였다. 1990년 초 PHC말뚝의 발전에 힘입어 위축되기 시작한 강관말뚝은 강관말뚝의 신공법개발 연구(한국강관협회, 1994), 개선된 강관말뚝의 설계와 시공(한국지반공학회, 1997) 연구 등을 통해 활용을 증진시키는 동시에 고강도 강관말뚝의 적용을 위한 연구(한국지반공학회, 1997)를 통해 강관말뚝의 경제성을 증진시키고자 하였으며 이후 강관말뚝의 설계와 시공가이드(한국지반공학회, 1999)를 통해 설계 및 시공법의 개선과 표준화를 시도 하였다.

2005년 현재 강관말뚝의 수요는 정체 또는 약간 증가하는 추세에 있고, PHC말뚝의 수요는 약간 감소하는 상태에 있는데 이는 주로 SOC 사업이 활발하고 주택시장이 위축되는 건설시장의 현상을 반영한 결과이기도 하다. 그러나 최근 강재의 가격이 급격하게 상승함에 따라 앞으로의 수요전망은 다른 양상을 보일 수 있을 것이다. 궁극적으로는 말뚝재료의 수요는 각 말뚝재료의 연구개발, 2005년 4월부터 최근 3층 이상 건물(연면적 1000m² 이상)에 내진설계를 도입하는 등 내진에 대한 관심, 환경문제에의 적응 등에 따라 달라질 것으로 보인다.

H말뚝 재료도 H말뚝의 실무적용을 위한 연구(인천제철 등, 1997), 고강도 H형강말뚝의 지지력 특성 연구(대한주택공사 등, 1998)등을 통해 이의 사

용을 증진시키고자 하였으나 최근에 큰 진전은 없는 상태이다.

국내의 기초공법에 있어 큰 변화를 일으킨 요인 중 하나로 항타 공해문제를 들 수 있다. 현재 국내에서 항타는 매우 제한된 지역으로 한정되고 있다. 이와 같은 말뚝의 시공 여건의 변화는 말뚝재료의 선택에도 영향을 미쳤다. 항타 공해문제를 해결하는 방안으로 국내에서 가장 일반적인 공법으로 매입말뚝공법을 들 수 있다. 매입공법은 원리상 지반을 선 굴착하는 관계로 지반이 교란되기 때문에 말뚝의 품질 및 지지력 면에서 상대적으로 불리하다. 따라서 매입공법이 타입말뚝과 같은 지지력을 내기 위해서는 관입깊이가 증가되므로 재료가격에서 상대적으로 불리한 강관말뚝의 이용이 제한될 수밖에 없었다. 또한 매입공법의 사용 이후 강관말뚝의 사용이 줄어든 이유에는 국내의 경우 강관말뚝이 개단말뚝의 형태로 시공되는 것으로 인해 PHC 말뚝에 비해 매입공법의 종류가 제한된 것에도 원인이 있다.

최근에는 구조물기초설계기준 및 해설(한국지반공학회, 2003)에서 현장타설말뚝의 설계 시 철근의 역할을 고려하는 방향으로 설계법이 변경되어 현장타설말뚝의 경제성이 향상되었다. 또한 현장타설말뚝 자체로 저공해시공이 가능하므로 이의 적용은 더욱 활발해 질 것으로 보인다. 더욱이 최근에는 장비의 발전에 힘입어 직경이 크고 길이가 긴 현장타설말뚝의 시공이 용이해 짐에 따라 현장타설말뚝의 수요가 증가하였고 따라서 공사비에도 경쟁력이 있게 되었다. 결국 최근에는 강재의 가격이 급등하여 강관말뚝과 현장타설말뚝의 경제성 비교가 역전되기도 하는 현상이 나타나고 있다.

상기와 같이 말뚝재료에 대한 수요는 자체 재료의 발전, 시공법의 변화 등에 영향을 받는 것은 물론, 향후 전반적인 건설환경 문제 즉 원자재의 수급과

가격, 건물의 리모델링 및 재개발, 신소재 말뚝(콘크리트+강관, 폴리머 콘크리트, FRC 말뚝 등)의 개발, 건설잔토처리 등과 맞물려 말뚝의 수요 전망은 복잡해질 것으로 보인다.

장차 말뚝재료에 대한 기술개발 항목으로 1)말뚝 재료의 고강도화, 2)기존 재료의 개선과 신재료의 개발, 3)기초의 환경에 적응하는 재료 개발 등이 될 것으로 생각된다.

4. 말뚝기초의 설계

말뚝기초에 대한 국내의 설계기술은 최근 10여 년간 크게 발전하였다. 이는 기술자들의 노력에 기인한 것이며 또한 Turnkey 설계입찰제도도 많은 기여를 하였다고 본다. 해당 설계기술 중 발전이 두드러진 항목으로 타입말뚝의 시간경과효과의 실무적용, 현장타설말뚝의 rock socketing 설계기법 및 단일현장타설말뚝 설계, piled raft 기초의 연구, 하중저항계수 설계법(LRFD)의 도입 등이 있으며, 이러한 요소기술을 이용하여 말뚝의 재료능력을 최대한 활용하고자 하는 최적설계의 지향 등을 꼽을 수 있다.

말뚝지지력의 시간경과효과(그림 1 참조)에 대한

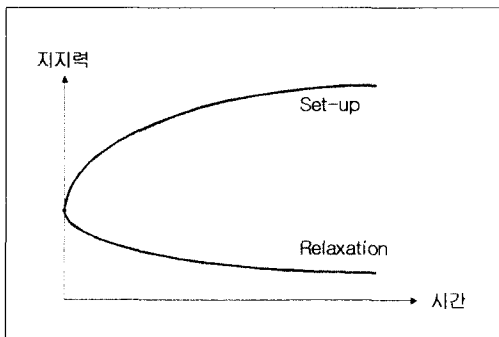
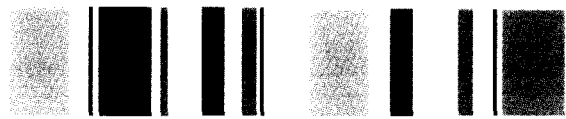


그림 1. 항타 후 말뚝지지력의 시간경과효과

연구는 해외에서도 1980년 말부터 활발히 연구되었으며 국내에서도 1990년 중반부터 이러한 연구(이명환 등, 1994; 조찬환 등, 1997)가 시작되어 근래에는 말뚝기초의 설계 시공 시 시간경과효과의 반영이 가능해 졌다. 국내에서 시간경과효과에 관한 연구는 동적측정기술의 도입 및 활용에 힘입어 짧은 기간 동안 비약적으로 이루어 졌으며, 이제는 이를 제대로 적용하는 관점이 보다 중요시되고 있다. 말뚝의 시간경과효과에 대한 국내의 기술은 국제적으로도 경쟁력이 있다고 생각되며 앞으로 이를 보편화시켜 현장기술자들에게 전달하는 것이 보다 중요하다고 사료된다.

지금까지 암반에 근입된 현장타설말뚝의 주변지지의 예측식은 주로 암석의 일축압축강도만을 이용하는 경험적인 방법에 의존하였다. 그러나 이러한 경험식 들은 현장상황을 충분히 반영할 수 없는 관계로 신뢰도가 작고 불안정성이 내포되어 있다는 것이 지적되었다. 따라서 Seidel 등(2001)은 실험 및 이론적인 분석을 통해 암반에 근입된 현장타설말뚝의 주변지지에 영향을 미치는 주요 변수(일축압축강도 외에 암반의 변형계수, 응력상태, socket 직경, 암반과 콘크리트면의 잔류마찰각, socket roughness 등)를 분석하고 이를 SRC(shaft resistance factor)로 나타내어 설계방법에 이용하였다. 국내에서도 Seidel과 공동연구(건교부, 2004)를 통해 국내 주요 암반조건에 대한 설계법(그림 2 참조)을 제안하였다. 이러한 설계법은 전술한 기존의 경험설계법의 문제를 보완해 줄 수 있을 것으로 평가된다. 또한 현장타설말뚝 설계 시 풍화암의 물성치 결정에 대한 부분이 설계자들의 고민거리였는데, 99-FHWA 설계법 내용을 참고하여 국내에서도 IGM(intermediate geo-material)에 대한 연구가 시작되었다. 앞으로 이러한 연구는 국내 풍



I. 국내 말뚝기초의 현황과 발전방향

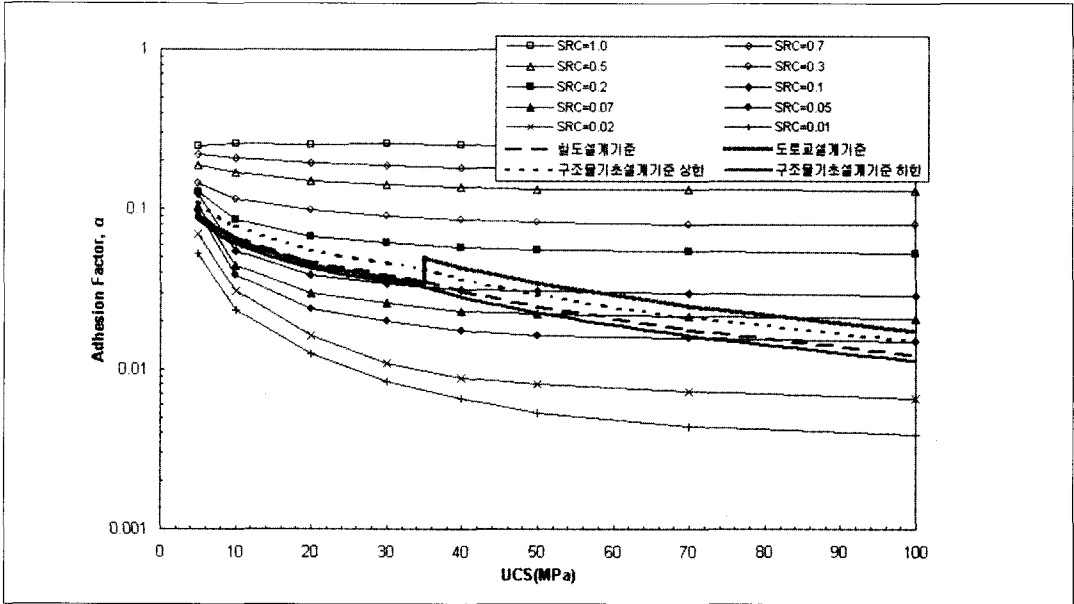
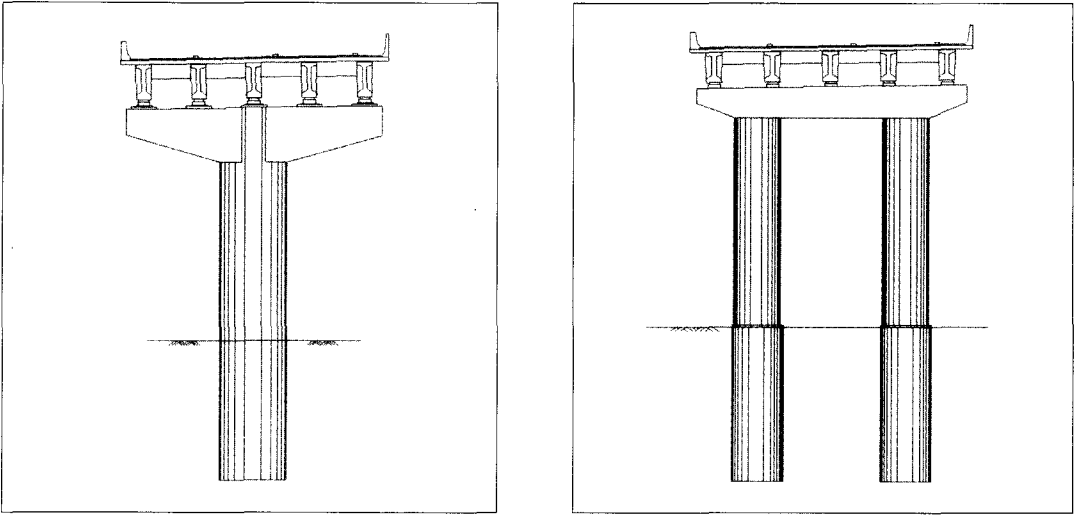


그림 2. 새로운 설계도표와 기존 경험식의 비교(건설교통부, 2004)



(a) T형 교각에 적용된 경우

(b) π형 교각에 적용된 경우

그림 3. 단일현장타설말뚝의 개념도

화암에 대한 현장성 있는 정리를 통해 보다 신뢰도 있는 말뚝기초의 설계법의 제시에 기여할 것으로 기

대된다. 최근에 도로교설계기준에서는 그림 3과 같은 단

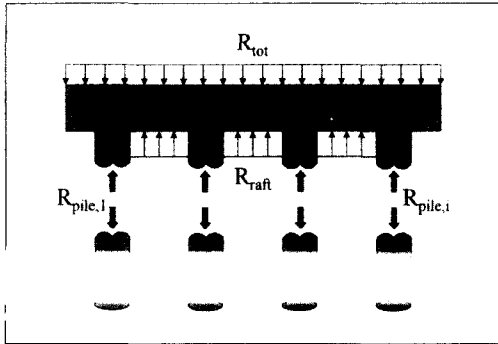


그림 4. 복합구조체로서의 말뚝지지 전면기초
(Katzenbach & Reul, 1997)

일현장타설말뚝기초를 채택하였다(한국도로공사, 2003). 단일현장타설말뚝 기초는 푸팅을 설치하지 않고 현장타설말뚝을 직접 코핑부까지 연장하여 상부구조물을 설치하는 것으로 기존의 설계법에 비해 경제적인 설계방안이라 볼 수 있다. 다른 측면에서 보면 그만큼 설계 및 시공에 대한 신뢰도가 요구되며 이에 대한 대안이 뒷받침되어야 하겠다. 이러한 내용을 바탕으로 최근에는 소수 현장(전주-광양고속도로, 제2연육교)에서 단일현장타설말뚝기초의 설계법을 실시설계에 반영하였다.

기존의 전통적인 기초설계법에서는 푸팅(footing, 혹은 raft라고 함) 또는 말뚝이 구조물의 하중을 지지 지반에 전달하는 것으로 생각하여, 푸팅이나 말뚝이 구조물 하중을 지지하는 것으로 설계한다. 그러나 말뚝지지 전면기초(piled raft foundation)의 설계에서는 푸팅과 말뚝 모두 지지력을 부담하는 것으로 본다(그림 4 참조). 말뚝지지 전면기초의 장점으로서는 기존 말뚝기초와 비교하여 말뚝개수의 최적화, 침하 및 부등침하의 감소로 기초의 공용성 증대 등을 들 수 있다는 것이다. 국내에서도 정충기 등(1998), 김홍택 등(1999), 이활(2003) 등의 연구가 수행되었다. 그러나 아직까지 말뚝과 푸팅, 푸팅

과 지반 사이의 복합적인 거동특성이나 이질지반에서의 거동 등은 정확히 파악이 되지 않고 있는 실정 이므로 보다 많은 현장실험과 지속적인 연구를 통하여 말뚝지지 전면기초의 설계방법을 발전시켜 나가야 할 것이다. 또한 SPS공법에서는 기초바닥까지 굴착하는 동안의 하중(상부층 및 지하층의 하중)을 현장타설말뚝(CFRC FRP)에 의한 말뚝이 지지하도록 하고 이후 시공되는 전 하중을 기초바닥에 푸팅을 설치하여 지지하는 방법을 이용하고 있다. 이 경우 기초에의 하중전달은 설계가정에서와 같이 이원적으로 되는 것은 아니고 푸팅이 설치된 이후에도 말뚝의 영향이 계속될 것이므로, 이러한 거동을 보다 면밀히 관찰해 보는 것은 경제성과 위험성을 고려할 수 있다는 점에서 필요하다고 생각된다.

기초의 설계에는 안전율을 바탕으로 탄성론에 근거한 허용응력설계법(WSD, Working Stress Design), 신뢰성이론과 탄소성론적 개념의 한계상태설계법(LSD, Limit State Design)이 있다. 근본적으로 기초설계는 설계공용기간 중에 상부구조물을 안전하게 지지하고 유해한 변위를 발생하지 않도록 설계해야 한다. 한계상태설계법의 경우에는 하중이나 토질정수에도 안전계수나 저항계수가 존재하기 때문에 허용지지력의 산출은 저항계수만을 이용하여 행해지는 것은 아니다. 예를 들면, AASHTO(2000)에서는 하중저항계수설계법(LRFD, load resistance factor design)에 의해 한계상태를 다음 식으로 나타내었다.

$$\phi R_n \geq \sum r_i Q_i \quad (1)$$

식(1)에서 R 과 ϕ 는 각각 저항치와 저항계수, r 과 Q는 각각 하중계수와 하중이다.

한계상태설계법을 적용하기 위해서는 말뚝과 같

I. 국내 말뚝기초의 현황과 발전방향

표 1. 국내에서 많이 사용되는 말뚝의 재료의 축방향력 설계효율(이명환, 2004)

강관(D400T9)	119.8(162.5)*	80.0	67.3(49.2)*
강관(D508T12)	213.8(290.1)*	100.0	46.7(34.5)*
강관(D609T12)	257.7(349.8)*	120.0	46.5(34.3)*
PHC400	105.0	80.0	76.2
PHC400	165.0	90.0	54.5
PHC400	255.0	120.0	47.0

주: () * 안은 고강도강재(SPS490)임

은 깊은기초의 설계에 근본적인 요소가 되는 적절한 저항계수의 결정이 중요하다. 그러나 국내에서는 아직 이러한 준비가 없다. 그럼에도 외국 설계기준에 준하여 하중저항계수설계법이 이미 설계(인천 제2연육교)에 반영되기도 하였다. 한계상태설계법은 허용응력설계법에 비해 일관성이 있고 체계적이며 합리적인 방법으로 인정되고 있고 또한 향후 국제적인 기초설계법으로 광범위하게 사용될 것으로 전망된다. 따라서 국내에서도 신뢰도 있는 저항계수 선정을 위한 연구 등이 이루어지는 것이 필요하다.

근래에는 건설부문에서도 원가절감이라는 목표로 절실해짐에 따라 상기의 여러 요소 연구 들을 바탕으로 말뚝재료의 허용하중을 최대한 이용하고자하는 설계, 즉 최적설계에 대한 관심과 노력이 이루어지고 있다. 특히 설계단계에서의 시험시공 및 시험을 바탕으로 설계하중을 최적화 하려는 시도가 이루어지고 있으며 지지력 결정시 과거와는 다르게 각종의 예측 방법들이 이용되고 있다. 그러나 이러한 노력은 입찰을 위한 전시용 설계로 흐르는 경우도 없지는 않은 것 같으며, 또한 설계내용의 현장 적용 측면(표 1 참조)에서 보면 국내에서의 최적설계는 아직 시간이 필요할 것으로 평가된다. 그럼에도 전체적으로 볼 때 동일 조건에서의 설계하중은 점차 증가하고 있는 추세라 볼 수 있다. 따라서 최적설계를 달성하기 위해

서는 설계부문은 물론 향상된 품질과 이를 뒷받침하는 제도적 노력도 필요하다고 생각된다.

5. 말뚝기초의 시공

건설시 환경문제에 대한 관심이 증대됨에 따라 근래에는 타입말뚝의 적용이 크게 퇴조하고 있으며 따라서 각종의 매입말뚝공법, 현장타설말뚝(마이크로파일 포함)과 같은 저소음 저진동 공법의 적용이 증가되고 있다. 그렇지만 소음진동의 문제가 없는 경우 여전히 타입말뚝공법도 많이 활용되고 있다. 타입말뚝은 소음진동문제로 인해 해상 또는 임해지역에서 주로 계획되는 경우가 많아 장대말뚝이 시공되기도 한다. 예로 최근에는 남동해안의 진해 지역에서 최대 88m 길이에 이르는 강관말뚝(부산신항) 그리고 최대직경이 1852mm에 이르는 강관말뚝도 부산남항대교에서 시공되었다. 또한 60m에 이르는 PHC말뚝(직경 600mm)도 진해 지역(부산신항)에서 시공되고 있다.

현재 국내외에서 적용되고 있는 대표적인 저소음 저진동 말뚝공법을 종합하면 표 2와 같다. 저소음 저진동 말뚝에는 국내와 일본에서는 지반을 굴착한 후 기성말뚝을 삽입하는 공법과 기성말뚝의 중공부

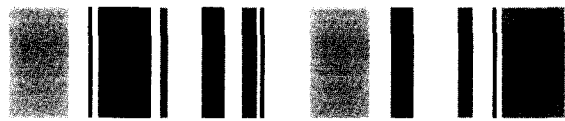
특집

표 2. 국내의 대표적인 저소음·저진동 말뚝공법

현장타설말뚝	공법명	시공법	장·단점
소구경 현장타설말뚝	SIP공법 (침설방식)	굴착공에 시멘트 밀크를 충전한 후 말뚝을 삽입	소음 진동이 없음. 선단지지력 불량, 공벽붕괴 시 곤란
	SIP공법 (경타방식)	기본적으로 침설방식과 같으나 말뚝 삽입후 최종경타	상대적으로 선단지지력 큼, 약간의 소음 진동 발생, 공벽붕괴시 곤란
	SDA(DRA) 공법	내부 오거와 외부 케이싱으로 동시에 지반을 천공한 후 시멘트 밀크를 충전한 후 말뚝을 삽입하고 경타 마무리	공벽붕괴 방지 및 시공성 우수, 약간의 소음 진동 발생
	PRD공법	는 공법	공벽붕괴방지, 전압중까지 시공가능, 품질관리 요구
	중굴공법	중공말뚝 내부에 오거 또는 소형굴착기삽입으로 굴착한 후 말뚝설치	두부손상이 없고 소음, 진동영향 적음. 모래자갈층 곤란
	ACIP공법	지반 천공후 고압 그라우팅하면서 오거 인발한 후 케이싱을 삽입	설치속도 및 경제성이 유리함, 고도의 품질관리 요구
	Atlas공법	비배토 굴착공법이며 굴착날개가 일정 간격을 갖고 지반을 굴착하고 케이싱 인발시에도 굴착시의 궤적을 그대로 따라 인발	주면마찰력이 우수, 고도의 품질관리 요구
	Fundex공법	비배토 굴착공법으로 강관케이싱을 이용 굴착한 후 콘크리트 타설 하면서 인발. 강관케이싱의 직경보다 큰 직경의 선단부용 마개를 사용	선단부 단면적이 크고 지지특성이 우수한 것으로 평가, 고도의 품질관리 요구
	Omega공법	선단마개와 중공부를 갖는 오거를 사용하여 굴착한 후 콘크리트를 타설하고 오거를 인발한 후 보강재(철근이나 H빔)을 삽입	굴착시 지반을 압축시켜주므로 주면 마찰력 증대, 고도의 품질관리 요구
대구경 현장타설말뚝	RCD, All casing	굴착장비 및 공벽보호 장치(슬러리 또는 케이싱)을 이용하여 굴착한 후 철근케이싱을 넣고 콘크리트 타설	대구경의 큰 하중지지능력에 유리, 품질관리 요구
마이크로파일	마이크로파일	굴착후 강봉을 삽입하고 시멘트 밀크를 충전하는 공법	소규모하중의 말뚝으로 적절하며 기존구조물의 보수 보강에 많이 적용, 고가임

에 오거를 삽입하고 지반굴착과 동시에 말뚝을 압입하는 속파기공법 등이 주로 사용되고 있다. 반면에 유럽에서는 케이싱을 이용하여 지반을 굴착하고 굴착공 내에 콘크리트를 타설하면서 케이싱을 인발하는 소구경 현장타설말뚝(직경이 300~600mm 정도)이 주로 사용되고 있다. 한편 북미에서는 소구경 현장타설말뚝인 ACIP공법(Augered Cast-In-Place piles)이 주로 사용되고 있는데 이 공법은 오거를 이용하여 굴착하고 오거 중공부를 통해 콘크리트를 압입하는 방식이다.

앞서 언급한 소구경 현장타설말뚝은 지역별로 약간의 차이가 있다. 즉 유럽에서 사용하는 방식은 주로 비배토형 말뚝(displaced pile)이며 북미에서 사용하는 말뚝은 배토형 말뚝(non-displaced pile)이라는 점에서 차이가 있다. 국내에는 일본과 마찬가지로 배토형의 매입말뚝공법이 주류를 이루고 있다. 1997년 비배토형의 소구경 현장타설말뚝(Omega 공법)이 유럽에서 국내에 도입된 적이 있지만 품질관리 및 적용성 등에서 국내의 건설조건과는 거리가 있는 것으로 평가되어 현재 적용은 거의 없다.



I. 국내 말뚝기초의 현황과 발전방향

한편, 근래에는 구조물이 대규모화, 중량화되면서 대구경 현장타설말뚝도 많이 이용되고 있다. 최근 급작스런 강재의 가격 인상과 현장타설말뚝의 상대적 저공해 장점이 부각되어 이러한 경향은 증가하고 있는 것 같다. 국내의 현장타설말뚝은 주로 암반에 근입되어 설치되고 있으며 RCD공법, All casing 공법 또는 두 공법이 조합된 방법이 주로 이용되고 있다. 근래에는 기계 장비의 발달로 직경이 3.0m, 설계하중 7,000 여 톤에(인천 제 2연육교)이르는 현장타설말뚝이 계획되고 있으며, 2.0m 직경에 깊이가 70m(부산신항 진입철도)에 이르는 현장타설말뚝도 시공되고 있다.

근래에는 근접시공이 자주 발생하고 기존 건물의 리모델링이 시도되고 있으므로 마이크로파일의 적용이 증가하고 있다. 그러나 이러한 추세는 최근에 리모델링의 증가평수가 최대 9평으로 제한되면서 약간 주춤할 것으로 보이지만 근접시공의 보강방법으로는 계속 활용될 것으로 보인다.

장차 기존 건물에 대한 재개발의 확장은 피할 수 없을 것으로 전망된다. 이 경우 기존 건물의 말뚝에 대한 재사용 또는 제거에 대한 결정을 위해 기술자들은 적지 않은 고민을 해야 할 것으로 생각되며 이러한 현상은 현재의 시공법의 선정에도 영향을 줄 것으로 보인다. 이미 일본에서는 신설구조물 시공시 기존 말뚝을 제거하는 방법이 개발되어 활용되고 있다.

6. 말뚝기초의 시험 및 품질관리

현재까지 개발되어 이용되고 있는 말뚝기초의 주요 재하시험방법은 정재하시험, 정동적재하시험(statnamic loading test), 동재하시험(high strain dynamic loading test), 오스터버그셀(osterberg

cell)시험, 유사정적재하시험(pseudo static loading test) 등이 있다. 국내에서는 유사정적재하시험을 제외한 사용실적이 있으며, 정동적재하시험은 1990년 초 도입되어 초기에 사용된 실적이 있으나 이후 거의 이용되고 있지 않다.

국내에서 가장 보편적으로 사용되고 있는 재하시험방법은 동재하시험이며 이는 경제성과 시험으로부터 얻어지는 다양하고도 유용한 정보에 기인한다고 생각된다. 특히 동재하시험은 1994년 국내에 본격적으로 도입되어 말뚝기초의 품질관리, 말뚝기초의 연구 등에 지대한 역할을 하였다고 평가된다. 그러나 현재까지도 동재하시험은 신뢰도 문제가 지적되고 있는데 이는 시험자체의 신뢰도라기보다 분석자의 능력과 관계되는 것이다. 따라서 근래에는 국제적으로 동재하시험자에 대한 검정을 통해 자격증을 제공하는 시스템도 있지만 아직 국내에는 관심이 없다. 국내에서도 동재하시험의 신뢰도에 대한 점이 자주 지적되자 구조물기초설계기준해설(1993)에서는 일정 규모이상의 현장의 경우 정재하시험과 동재하시험을 동일말뚝에 실시하여 동재하시험자의 능력을 평가한 후 전체적으로 동재하시험을 적용하도록 제안하고 있다. 그러나 이러한 제안은 대단히 바람직함에도 불구하고 아직 현장에서 받아들이지 못하는 면이 있으므로 전술한 시험자의 자격기준의 채택을 고려해 볼 필요가 있다고 생각된다. 동재하시험은 시공전 본시공의 관리기준을 주고 시공후 품질을 확인해 준다는 점에서 시험자의 신뢰도는 대단히 중요한데, 이것이 실패할 경우 현장에 심각한 문제를 초래할 수 있으므로 시험자의 신뢰도에 대한 관심이 보다 강조되어야 할 때이다.

올림픽이 개최되는 해마다 최대 규모의 국제 말뚝 학회가 개최되어 있다. 따라서 2004년에는 말뚝기초에 관한 최대 국제학회가 2개나 개최되었다. 하나

는 2004년 1월에 미국의 올랜드에서 개최된 Geo-Support 2004 이며 다른 하나는 2004년 8월에 말레이시아에서 개최된 Stresswave 2004이다. 이들 2개의 학회에서 발표된 내용을 보면 동재하시험의 활용은 점차 확장되고 강조되고 있는 것 같다. 특히 동재하시험과 가장 관련이 깊은 Stresswave 2004

에서는 동재하시험 결과의 상호 체크 및 D/B화, 측정기의 검증 등에 대한 구체적인 체크 시스템에 대해 토론이 있었다. 국내에서도 이러한 내용에 관심을 가질 필요가 있다고 생각된다.

국내에서 말뚝의 정재하시험도 많이 이용되고 있다. 근래에는 정재하시험시 스트레인게이지 등을 통해 아중선이 측정이 시도 되고 있으며 이러한 결과는 설계 시 유용한 자료를 제공할 수 있을 것이다. 또한 정재하시험의 시험하중도 커지고(광안대교 2000 톤 재하), 시험시 자동화 측정 시스템도 도입되어 이용되고 있다.

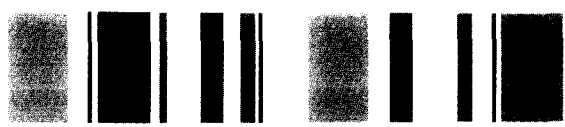
최근에는 정재하시험의 하중이 점차 커짐에 따라 재래식 방법보다 오스터버그셀시험(또는 선단유압재하시험)방법의 활용이 국내에서도 증가하고 있다. 대구경 말뚝은 재하용량을 증가시키는 것이 용이한 오스터버그셀시험의 활용이 증가할 전망이다. 특히 큰 하중을 사용하는 고층건물 말뚝기초나 시험환경이 어렵고 복잡할 수 있는 해상 말뚝기초에서 적극 활용할 수 있을 것이다. 다만 이 시험은 많은 장점에도 불구하고 순수한 품질시험은 아니라는 점에서 시공 후 품질 시험보다는 설계 시 설계하중 및 시공계획을 위해 보다 적극적인 활용을 고려해야 할 것이다.

현재 국내에서는 동재하시험의 사용이 증가함에 따라 상대적으로 정재하시험이 과거에 비해 활용도가 작은 것으로 보인다. 그러나 정재하시험은 모든 시험의 기준이 될 수 있는 시험으로서 그 가치와 중

요성을 이해하는 것이 필요하다고 생각한다. 아직 국내에는 기술자에 따라 시험방법(정재하시험 및 동재하시험)에 대한 고정관념을 갖는 경우가 자주 있으며 현장에서는 이와 관련된 마찰도 종종 있다.

상기에 언급된 모든 시험방법은 국제적으로 인정된 방법들이므로 기술자는 임의 시험방법에 대해 고정관념을 가질 필요는 없다고 생각한다. 오히려 각 시험법의 효용성에 따른 현장별 선정에 더욱 관심을 갖고 기술자간에 이를 인정하는 것이 중요하다고 생각된다. 다만 이러한 시험방법들의 개선 및 발전에 대한 것은 물론 시험 결과에 대한 신뢰도에 대해서는 항상 관심을 가져야 할 것이다.

말뚝기초의 품질관리항목으로 재하시험에 의한 지지력확인 외에도 말뚝 본체의 건전도 확인이 중요하다. 건전도 확인을 위해서는 기성말뚝의 경우 동재하시험의 적용이 가능하며, 현장타설말뚝의 경우 공대공 초음파 검사(Crosshole Sonic Logging, CSL), 충격반향기법(Impact Echo, IE) 등이 이용되고 있다. 특히 현장타설말뚝의 경우 건전도 확인이 가장 중요한 품질관리 항목인데, 국내(한국도로공사 시방 기준)에서는 공대공 초음파 검사기법을 권장하고 있으며 검사수는 총 말뚝의 약 30% 이내 정도를 시행함을 원칙으로 하고 있다. 그러나 나머지 70% 이상의 말뚝에 대해서도 충격반향기법과 같은 방법을 이용해서 품질관리를 할 필요가 있다는 의견도 있다. 국내에서 현장타설말뚝 설계 시 설계가정은 선단지지력도 이용하므로 본체의 품질 외에도 선단부의 품질확인도 중요한데, 이를 건전도 시험 방법으로 검사하는 것은 아직 한계가 있는 것이 현실이고, 특히 장대 말뚝의 경우 문제가 심각해 질 수 있으므로 전통적으로 이용되어온 코어링(coring) 방법의 적극 활용도 필요하다.



I. 국내 말뚝기초의 현황과 발전방향

7. 결론

1998년 통계자료(조천환, 1998)에 의하면 국내의 타입말뚝의 경우 설계하중은 재료허용하중의 평균 61% 정도로 활용하고, 시공된 말뚝의 허용하중은 재료허용하중의 평균 85% 정도가 되며 지지력이 미달한 말뚝도 16.5% 정도로 보고 되었다. 따라서 국내 타입말뚝의 설계는 전반적으로 보수적이며 시공능력은 설계보다 약간 높지만 여전히 품질의 문제를 보여준다고 볼 수 있다.

필자는 최근에 여러 해외 현장을 다녀본 적이 있었는데 그곳에서 적용하는 설계하중 등이 우리의 평균적인 설계하중과 비교할 때 큰 차이가 있음을 알 수 있었다. 예로 두바이에서는 직경 1500mm의 현장타설말뚝을 3,000톤, 호주에서는 350mm RC말뚝으로 180톤, 말레이시아에서는 500mm PHC(두께 11cm) 말뚝으로 250톤을 설계하는 것을 보았다. 각 지역마다 재료 및 품질 등 우리와 다른 점이 있었지만 근본적인 차이는 설계방식에 대한 차이가 있었다. 즉, 그들 지역에서는 재료의 허용하중을 목표로 이를 최대로 이용할 수 있는 지반조건과 공법을 선정하는 것이 설계의 과정으로 인식하고 있는 것이 우리와 차이가 있었다.

상기의 극단적인 예는 향후 우리 기술자들의 숙제가 무엇인지를 보여주는 것이라고 생각한다. 이러한 상황을 극복하기 위해서는 말뚝에 대한 설계, 시공 기술의 향상 및 새로운 기술의 개발이 더욱 요구된다 하겠다. 특히 앞으로 노력해야할 기술항목으로 1)보다 구체적이고 정확한 설계, 2)재료를 최대로 활용하는 최적설계를 달성하기 위한 말뚝의 시공기술 및 품질관리기술 향상, 3)고강도 재료 및 신소재의 이용, 4)국내에 맞는 저공해 기초공법의 도입 및 개발 등이라 생각한다. 2)번의 항목이 이루어지기

어려운 큰 이유 중의 하나는 최적설계에 가까울수록 설계자들은 위험측이라고 생각하고 시공자는 공사비가 줄어든다는 고정관념이 현업에서 엄연히 있는 바 이러한 것을 보다 효율적으로 극복하기 위해서는 인센티브 등 제도적인 부분의 보완도 필요하다고 생각된다.

말뚝의 시공과 설계는 단순한 건설환경문제를 포함하여 향후 전체적인 지구환경(global environment)의 상황에 따라 새로운 변화를 맞지 않을 수가 없을 것이다. 하지만 기본적인 방향은 친환경적이며 경제적인 쪽으로 발전할 것이라고 생각된다. 따라서 크게는 우리기술자들이 이에 대한 사고와 준비가 필요한 때이다.

참고문헌

1. 건설교통부 등(2004), 암반층에 근입된 현장타설말뚝의 새로운 설계기법 개발 연구보고서
2. 대한주택공사(1998), 고강도 H형강말뚝의 지지력 특성연구 보고서
3. 대한토목학회(2001), 도로교 설계기준해설
4. 이명환(2004), "국내 말뚝 기초의 현황 및 향후 전망", 2004 기초기술위원회 워크샵 한국지반공학회, pp165~177.
5. 이명환, 홍현성, 이원제(1994), "말뚝기초의 최적설계", Keynote Lecture, 한국지반공학회, '94 가을 학술발표회 논문집, pp.60~70.
6. 인천제철, 강원산업(1997), H말뚝의 실무적용을 위한 연구 보고서
7. 조천환(1997), "시간경과효과의 실무적용", 한국지반공학회 가을학술발표회
8. 조천환(1998), "시간경과에 따른 타입말뚝의 지지력

특집

- 증대특성에 관한 연구”, pp.199.
9. 철도청(1999), 철도교 설계기준
 10. 한국도로공사(2003), 단일현장타설말뚝 설계기준
 11. 한국지반공학회(1995), 고강도 콘크리트 말뚝의 설계와 시공
 12. 한국지반공학회 등(1997), 개선된 강관말뚝의 설계
 13. 한국지반공학회 등(1998), 강관말뚝의 설계와 시공
 14. 한국지반공학회(2002, 2003), 구조물기초설계기준 및 해설
 15. 한국지반공학회(2002), 깊은기초(지반공학시리즈 4 개정판), 구미서관
 16. 한국지반공학회(2004), 한국지반공학발자취
 17. 해양수산부(1999), 항만 및 어항 설계기준
 18. POSCO(1994), 강관말뚝 설계와 시공
 19. AASHTO(2004), AASHTO LRFD Bridge Design Specifications II (SI Units, 3rd Ed.)
 20. AASHTO(2000), Standard Specification for
 21. FHWA(1999), “Drilled Shaft”
 22. Seidel J.P. and Collingwood B.(2001), “A new socket roughness factor for prediction of rock socket shaft resistance”, Canadian Geotechnical Journal, 38.1., pp.138~153.

회비 납부 안내 (지로 및 온라인)

학회 사무국에서는 연중 수시로 학회비를 수납하고 있으나, 회원여러분의 적극적인 협조를 부탁드립니다. 문의사항이 있으면 사무국으로 연락하여 주시기 바랍니다.

• 은행 무통장(타행) 입금

국민은행 계좌번호 : 534637-95-100979 예금주 : 한국지반공학회

• 지로용지 납부

2003년 5월 20일부터 금융결제원에 승인을 받아 한국지반공학회 회비도 지로용지 납부를 할 수 있게 되었습니다.

• 지로용지 기입시 유의점

- 지로 장표상의 금액과 납부자 관련정보(회원번호, 성명, 납입금 종류 등)는 흑색볼펜으로 글씨체는 정자로 표기해 주시기 바랍니다.
- 납부금액란에는 정확한 위치에 정자로 아라비아 숫자만 기입합니다.
납부금액 앞뒤에 특정기호(W, -, * 등)를 표시 할 수 없습니다.)

※ 지로용지를 못 받으신 분은 지반공학회 사무국(02-3474-4428/양윤희)으로 전화주세요