

□ 복합말뚝에 대한 주요 질의 내용

구분	내 용	답 변
현 황	1. 실적 부족으로 적용곤란	- 공인 기관 및 공공기관의 안정성 검토, 시험시공, 검증 시험 및 국토해양부 신기술 취득 등의 절차를 통하여 안정성에 대하여 검증 되었으며 다수(고속도로, 국도등)의 구조물에 시공완료 및 시공 중임.
	2. 설계 준공 단계로서 설계 기간 부족하여 적용곤란	- 구조물 수량에 따라 차이가 있지만 보통의 과업(교량 10개소)의 경우에는 7일내에 HCP설계가 가능. * 계획 단계에서 심도 있는 검토 과정 없이 기 사용되었던 형식으로 과업을 추진
구 조	1.수평력 큰 경우 적용곤란	- 말뚝은 하중 조건에 대한 지반과 말뚝 자체의 능력으로 계획·설계되고 말뚝에서 수평력 및 모멘트가 발생하는 부위는 상부의 일정구간 이므로 말뚝 작용력 및 거동에 따라 상부 강관 규격을 결정하므로 매우 효율적이며 강관말뚝 대비 본수 절감이 가능함.
	2. 연결부의 안정성 불확실	- 연결부는 수치해석(FEM), 휨·인발 파괴 시험, 항타 적용 시험, 하중전이 시험 등의 방법으로, 모재(강관 or PHC)가 파괴되기 전에는 연결부의 안정성이 확보되는 것이 검증되었음.
	3. 이질 재료의 하중 전달 불확실	- 복합말뚝의 상부에서 작용하는 하중은 강관을 통해 연결부에 도달하게 된다. 연결부는 강관말뚝과 PHC말뚝의 이질 특성 및 단면에 대한 구조적 보강을 위해 리브가 포함된 결합구가 존재한다. 이 결합구는 강관의 작은 단면적을 통해 하부로 전달된 응력과 하중을 단면적이 넓은 PHC말뚝에 효과적으로 전달하는 역할을 한다. 이런 이론적인 하중 전달 메커니즘은 동재하시험 및 하중전이시험을 통하여 확인되었다.
	4. 재하시험에서 분석방법	- 동재하시험은 동재하 시험기의 특성상 복합말뚝의 이질성에 대한 고려가 되지 않기 때문에 동질말뚝의 경우에 비해 현장에서의 운용상 다소 어려움이 있다. 그러나 동재하시험기의 기본이론과 사용법을 충분히 숙지한 기술자라면 특별히 문제될 것은 없으며, 보다 정밀한 분석 작업은 현장에서 측정된 데이터를 바탕으로 CAPWAP 프로그램을 이용하여 수행된다. CAPWAP에서 복합말뚝의 분석방법은 이질재료로 이루어진 말뚝의 모형을 각각의 특성에 맞게 재모델링을 통하여 분석하며 말뚝의 단면적, 탄성계수, 단위질량 등 각 말뚝 재료의 기본 적인 특성을 입력하여 HCP와 거의 유사하게 형상화시킬 수 있다. 따라서 복합말뚝이 이질 재료의 조합이지만 각 말뚝재료의 특성에 대한 자료를 이용한 분석 작업으로 HCP의 각 위치에서 발휘되는 주면마찰력의 크기와 선단지지력, 말뚝에 발생하는 응력, 말뚝의 건전도 등을 산정하여 말뚝의 관리기준 및 성능을 평가할 수 있다.

구분	내 용	답 변
구 조	5. 말뚝과 지반의 강도(K_v , K_h)산정 방법:강관과 콘크리트 말뚝의 복합인데 강관의 강도를 적용	<p>- 일반적인 말뚝의 설계는 기초를 강체로 보고 기초의 변위를 고려한 탄성 해석법(변위법)으로 해석하여 말뚝의 작용력 및 반력을 산출한다. 변위법에서는 말뚝의 강성(K_v, K_h)에 따라 해석 결과가 달라지게 된다.</p> <p>HCP 해석에서 사용되는 스프링 중 축방향력을 결정하는 K_v는 이질 재료의 조합을 고려하여 공학적으로 산출된 K_v를 사용하고 있으며 말뚝의 수평방향 거동(수평력, 모멘트)을 결정하는 $K_h(K_1, K_2, K_3, K_4)$는 말뚝 머리에서 회전을 구속하는 K_1, K_3 와 말뚝머리에서 변위를 구속하는 K_2, K_4 이므로 HCP의 말뚝머리 재질인 강관의 물성치로 산출한다.</p>
	6. 선단 근고액을 사용하지 않는 이유	<p>- 말뚝 선단이 열려있는 개단 말뚝에서 말뚝의 지지력 중 지반의 지지력은 말뚝 선단이 폐합되어 있다고 가정하여 실제의 말뚝 재료의 단면적이 아닌 전체 단면으로 지반 지지력을 산출한다. 이런 가정은 말뚝 선단이 폐색(폐합)효과가 발휘되어야만 되기 때문에 항타 말뚝에서는 지지층에서 5D 정도를 관입 시키고 매입 말뚝에서는 5D 정도를 선단근고액으로 채워서 폐색 효과를 유도한다.</p> <p>HCP는 말뚝 선단이 폐합 되었으므로 폐색 효과를 위한 별도의 선단 근고액이 필요치 않다 .</p>
	7. 용접 비파괴 시험방법의 기준은? (강관 기준 : UT, RT, PHC기준:MT)	<p>- HCP의 용접은 결합구 내측, 결합구 외측, 강관+PHC, PHC+PHC 용접이 발생하는데 비파괴 검사 특성상 결합구 외측 용접은 UT 및 MT 검사가 가능 하지만 나머지 부위는 MT 검사만 가능하므로 정밀한 MT 검사로 용접 품질을 확인한다</p>
	8. 해석 방법시 설계기준과 상이(변위법, Group에 의한 해석)	<p>- HCP 해석은 기본적으로 기 말뚝 해석법인 변위법에 의해 수행된다. 하지만 변위법은 $1/\beta$ 심도의 지반 물성치가 전 지반에 유효하다는 가정에 해석이 수행되지만 일반적인 말뚝의 최대 작용력은 말뚝 두부 위치이므로 단일말뚝에서는 문제가 되지 않지만 이질 재료의 연결부 위치를 결정해야 되는 복합말뚝에서는 문제가 될 수 있다. 때문에 연결부 위치 결정을 위해 전체 지반의 물성을 고려할 수 있는 별도의 프로그램(ex)group)을 사용하여 연결부의 위치를 결정하고 연결부에서의 말뚝의 작용력으로 응력 검토를 수행하여 안정성을 확보한다.</p>
	9. 직타는 강관에 비해 관입성불리(지지력 확보 불리)	<p>- 일반적으로 우리나라에서 강관말뚝 선단은 개단 단면으로 계획 및 시공 되기 때문에 기반암까지 관입되는 것으로 간주한다. 하지만 개단 강관말뚝의 지지력 관련 연구에 의하면 선단부의 폐색 효과가 확실치 않다. 따라서 개단 강관말뚝의 경우 폐색 단면말뚝과 동등한 지지력을 얻기 위해서는 더 깊은 곳까지의 관입이 불가피하다.</p> <p>말뚝 선단이 개단 단면은 관입성에서는 유리하나 침하 및 지반 지지력 확보, 시공길이에서는 불리하다.</p>

구분	내 용	답 변
구 조	9. 직타는 강관에 비해 관입성 불리(지지력 확보 불리)	<p>말뚝의 지지층은 기반암이 아니며 구조물의 하중을 견딜수 있는 지반 이면 충분하다.</p> <p>설계에서도 선단 지지력은 30·N·AP를 적용하고 있으며 N치 상한을50으로 제한하고 있다.</p> <p>실제로 국내에서 조사한 개단 강관말뚝의 선단지지력은 이 공식으로 계산한 값들 보다는 크게 낮은 수준이며 대략 1000t/m² 정도라면 양호한 선단지지가 되었다고 볼 수 있다. 이 값을 선단지지력공식으로 역산하면 말뚝의 지지층은 N치 40이상이면 충분한 것이다.</p> <p>실제로 이런 이유 때문에 강관말뚝 선단을 개단으로 계획하는 나라는 소수의 국가에서만 이루어 진다.</p> <p>HCP의 하부는 PHC이며 말뚝 선단이 폐단면이지만 지반조건이 문제가 없는 경우 지반의 지지력을 기대할 수 있는 지지층(N치 50)까지 관입은 충분하다.</p> <p>또 지지층과 말뚝의 지지 면적이 커서 침하에 대한 저항이 크고 선단지지력 확보가 용이하므로 말뚝 시공길이와 타격 시간이 적어지는 장점이 있다.</p>
시 공	1. 시공성이 불리하다	- 당사의 HCP 현장 운용은 실제 말뚝 심도에 맞게 공장에서 결합구를 설치한 강관말뚝과 PHC를 현장에서 연결하여 제공하는 시스템(직원 및 장비 상주)이며 시공(항타, 매입)과 별도로 진행되므로 시공(항타, 매입)에 영향이 거의 없음.
	2. 강관소요 길이 확보가 불확실	- 강관 소요길이 확보를 위한 자재(여유길이 계산) 및 시공계획 수립후, 시항타를 통하여 말뚝 심도, 슬라임, 지하수위, 장비 및 케이싱 길이의 적정성 등을 분석하여 현장 전문가 주도로 분항타를 수행하여 강관 필요길이 이상을 확보하고 있음.
	3. 긴 말뚝 시공 방법	- 기성말뚝의 시공법은 유사하고 HCP는 PHC 시공법과 거의 유사하다. 항타말뚝은 말뚝을 항타하면서 말뚝 두부쪽이 지반 아래로 관입되기 전에 말뚝을 연결한 후 항타를 진행하며(강관, PHC, HCP 동일) 매입말뚝은 말뚝 조합에 따라 서비스 홀과 서비스 크레인을 이용하여 말뚝을 연결 및 근입시킨다. 이런 시공 방법은 PHC 장대 말뚝에서 관용화된 방법이며 국내에도 60m정도의 시공 실적이 있다.
	4. 심도 변경시 PHC말뚝의 조달이 어렵다 - 장비 대기 시간 및 공사공사시간 지연	- HCP는 시항타시 말뚝 심도 파악을 위한 위치 및 개소가 포함된 계획에 의하여 시항타를 수행하여 말뚝 심도를 파악하고 시항타 결과를 분석하여 중간 보고서를 제출한 후 발주처의 승인을 득하여 분항타를 수행하게 되어 통상 시항타 후 분항타까지는 2~3일이 소요된다. 이 기간에 실제 말뚝 심도에 맞는 PHC를 현장에 반입(국내 PHC 공장 30여개)시켜 분 항타를 수행하게 되므로 심도 변경으로 인한 시공 지연은 거의 발생하지 않는다.

구분	내 용	답 변
적용성	1. 항타 공법의 적용성 불리	<ul style="list-style-type: none"> - 항타로 인한 말뚝 자체의 건전도는 문제가 없으나 지지층 심도 변동으로 인한 강관 소요길이 미 달성의 가능성이 상존 하는바 항타 말뚝에 HCP 적용시에는 지반조사 결과(심도 변화, 기반암 종류, 지역등)를 분석하여 적용 여부를 결정하고 강관 여유길이를 충분히 반영하며 지지층 심도 파악을 위한 시험타 계획, 맵핑 작업과 본항타 계획으로 강관 소요길이를 확보하며 만약 강관 소요길이가 확보되지 않으면 PHC보강(철골 콘크리트)으로 안정성 확보
	2. 공사비 절감효과 미흡	<ul style="list-style-type: none"> - HCP는 강관말뚝에 비하여 자재비가 저렴하지만 그 절감 폭은 말뚝의 길이에 따라 달라진다. 일반적으로 말뚝 길이가 15m일때는 강관대비 25% 20m일때는 30%의 자재비가 절감 된다.
	3. 무용접 말뚝에 비하여 불리 - 시공성, 시공시간 - 장비 대기시간 발생 - 현장용접으로 인한 품질확보	<ul style="list-style-type: none"> - 강관과 PHC를 조합하는 복합말뚝의 직접 연결은 재료의 단면적 및 강성이 다르기 때문에 하중의 분산 및 응력 집중 방지를 위한 구조적 보강이 필요하기 때문에 용접이 수반 될 수밖에 없다. - 삼표의 NCP는 연결부의 구조적 보강을 위한 구조체를 강관에 고정 시키기 위한 2개소의 용접이 발생되고 구조체가 보강된 강관과 PHC를 연결할 때 볼트를 이용하여 연결하는 구조이다. (용접 2개소, 볼트 1개소) 볼트를 이용한 말뚝의 연결은 말뚝체내의 강판과 말뚝 외측의 강판을 볼트로 연결하는 구조로 연결을 위한 재료비(강판)가 증가 되는 구조이다.(용접:약 3만원/개소, 볼팅:약 20만원/개소) 또한 볼트 연결이 상용화된 일본에서는 모멘트가 크지 않고 같은 단면을 가진(PHC+PHC) 말뚝의 연결에 사용된다. 구조적으로 이상적인 용접은 용접부가 모재 강도 이상이 확보되며 용접으로 인한 말뚝 능력 저감이 적다. (용접:5%/개소, 볼트 10%/개소) HCP는 결합구 설치(용접 2개소)를 공장에서 수행하고 있고 현장에서의 용접(1개소)은 당사가 개발한 용접 시스템을 현장에서 가동하여 공장 용접과 유사한 시공성, 품질등이 달성된다.