

복합 말뚝(HCP)을 이용한 교량기초 적용
자 문 조 치 내 용

2007. 4.

목 차

연번	분야별		자문위원
1	구조분야	-----	김두환
2	구조분야	-----	주성문
3	구조분야	-----	김병석
4	기초분야	-----	김명모
5	기초분야	-----	정상섬
6	기초분야	-----	김용진
7	시공분야	-----	김상귀
8	내부위원	-----	전한철
9	내부위원	-----	신낙현
10	내부위원	-----	류지연

설계심의(자문)결과 조치내용

□ 건 명 : 복합말뚝(HCP)을 이용한 교량기초 적용

구 분	심 의(자 문) 의 견	조 치 내 용	비 고
o 자문위원 김두환	<p>1. 본 귀래교에 적용된 복합말뚝은 강관말뚝과 PHC말뚝이 혼합된 형식으로 말뚝의 기능적인 특성을 고려하여 모멘트가 지배적인 상부는 강관말뚝으로 저항시키고, 축력이 지배적인 하부는 선단 폐색효과가 우수한 PHC말뚝을 적용함으로써 각 재료의 구조적인 장점이 최대한 발휘 될 수 있도록 말뚝을 구성한 것은 타당한 것으로 판단됨.</p>	-	
	<p>2. 복합말뚝에서 강관말뚝과 PHC 말뚝의 이음부 상세해석(FEM) 결과 강관말뚝 및 결합구등 강재의 경우 최대 작용응력이 1118kgf/cm²로 재료의 허용응력 1400kgf/cm²을 만족하고 있고, PHC말뚝은 속채움을 시행한 경우 하중전달부에서 최대 압축응력이 151kgf/cm²로 허용 응력 200kgf/cm²을 만족하나 속채움이 없는 경우를 고려하면 197kgf/cm²로 허용응력 200kgf/cm²에 근접한 값을 보이므로 말뚝 이음부의 안전성 확보를 위해 하중 전달부에 대한 보강방안의 마련(이음부의 용접방법을 성능이 우수한 V용접으로 개선 등)이 필요한 것으로 판단됨.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 말뚝 이음부의 안전성 확보를 위해 강관말뚝 하부에 강관 결합구(리브)를 삽입하여 보강하였으며, - 이음부 용접은 구조적 안정성 등을 고려하여 V용접으로 개선 하겠음. 	반 영
	<p>3. 복합말뚝의 지지력에 대한 안전성 확인을 위해 전문기관에서 시행한 동재하 시험 및 CAPWAP 분석결과 풍화암에 근입된 시험체가 PHC말뚝의 재료강도인 165ton을 상회하는 지지력을 확보하고 있으므로 안전한 것으로 판단되나, 본 복합말뚝이 신공법으로 시공경험이 다소 부족한 점을 고려할 때, 추가로 정재하 시험을 수행하여 지지력 확보에 대한 보다 엄밀한 분석 및 확인이 필요한 것으로 판단됨.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 지지력 확보 등에 대한 분석 및 확인을 위하여 정재하 시험을 실시하겠음. 	반 영

설계심의(자문)결과 조치내용

□ 건 명 : 복합말뚝(HCP)을 이용한 교량기초 적용

구 분	심 의(자 문) 의 견	조 치 내 용	비 고
o 자문위원 주성문	1. PHC 말뚝과 강관말뚝의 접합부에 대한 안전성 시험을 시행하여 문제 없음이 확인 되었으나 장기적인 안전을 고려하여 가급적 휨 모멘트가 작은 위치에 접합부를 두는 것이 바람직 할 것으로 생각됨.	<ul style="list-style-type: none"> - 이음부(1/2 Mmax+1m)에 작용하는 모멘트는 최대의 약 1/7 정도로 충분한 저항 능력이 확보된 것으로 판단되나 - 추가적으로 이음부의 작용 응력 검토를 수행하여 안전성을 확인 하겠음. 	반 영
	2. 도면 표기에서 용접기호는 흡용점으로 표기 되었으나, 시공시 확실성을 보장하기 위하여 V형 흡용점으로 보완을 요망함.	<ul style="list-style-type: none"> - 이음부 용접은 구조적 안정성등을 고려하여 V용접으로 개선 하겠음. 	반 영
o 자문위원 김병석	1. 하이브리드 말뚝이므로 연결부가 중요하고 특히 수평력에 대한 거동 분석이 필요함. 휨 실험을 하였으나 실제 시험 현장에서의 평가는 항타 시공성 평가를 통해 수직 거동에 대한 평가만 하였으나 이 말뚝의 경우에는 연결부 수평거동을 지반이 고려된 상태에서 횡적 가력을 통해 시험할 필요가 있음. 향후 이 시험을 통해서라도 관련 사항에 대한 검토가 요망됨.	<ul style="list-style-type: none"> - 횡력에 대한 저항력 확인을 위해 수평 재하시험을 시행토록 하겠음. 	반 영
	2. 구조계산에 있어 안전율이 과도한 부분은 보다 최적화 시키는 것이 바람직함.	<ul style="list-style-type: none"> - 구조 계산시 허용 응력에 대한 실하중 비율을 최적화 하여 효율적인 설계를 수행하겠음. 	반 영

설계심의(자문)결과 조치내용

□ 건 명 : 복합말뚝(HCP)을 이용한 교량기초 적용

구 분	심 의(자 문) 의 견	조 치 내 용	비 고
o 자문위원 김영모	1. 상부 강관 말뚝의 소요 길이는 말뚝 전체 길이와 지반상태에 따라 변화 할터인데 이에 대한 대처 방안이 필요하다. (비록 길이 20m 폭 35m인 교량이지만 말뚝 190개가 시공되고 복합말뚝 완성 후에는 길이 조정이 쉽지 않아 보인다)	- 천공후(SIP) 복합말뚝을 삽입하므로 지반 변화시 하부말뚝(PHC)의 길이 조정 등을 통하여 대처가 가능함	반 영
	2. 공사시방서에 포함된 말뚝공법은 항타를 비롯하여 제반 공법들이 나열되어 있는데 현재 보고서 상에 제시된 제한된 시험 자료로는 이들을 모두 수용하기 어렵다. 특히, 항타 말뚝의 경우에는 추가 검증 자료가 필요하다.	- 공법 특성(천공항타)에 맞게 공사 시방서를 보완하겠음. - 항타말뚝의 경우 현재 시험시공이 진행중이며, 추후 그 결과를 분석하여 항타에 대한 안전성 검증, 항타 관리 방안 등을 수립 하겠음.	반 영
o 자문위원 정상성	1. 기존 강관과 PHC 콘크리트 말뚝의 단점을 보완한 복합말뚝의 적용은 시기적으로 적절한 것으로 판단됩니다.	-	원인적용
	2. 이음부에 대한 신뢰성 확보차원에서 상세해석을 수행하였으나 하중(특히 상시, 지진시 수평력등)에 따른 말뚝부재의 탄성은 물론 inelastic 거동(항복강성)에 대한 부재력 및 변위에 대한 추가적인 검토가 필요한지 확인 바랍니다. 또한 이때 이음부의 응력집중도 해소되는지 검토가 필요합니다.	- 교량에 설치되는 말뚝은 영구 구조물이므로 설계기준에서 제시한 탄성 해석을 만족하는 것이 구조적 안전성 확보 측면에서 유리하다고 판단됨.	
	3. 귀래교에 대한 구조계산 검토결과는 적절하다고 판단됩니다.	-	반 영
	4. 항타 시공 관입성과 지지력 검증을 위한 동재하 시험 및 bending 시험은 양호한 것으로 나타났지만 특히 수평변위에 민감한 구조로 종합적인 검증 (상부하중+수평하중 동시 작용시) 이 필요하므로 현장 수평재하시험을 권장합니다.	- 횡력에 대한 저항력 확인을 위해 수평재하시험을 시행토록 하겠음.	

설계심의(자문)결과 조치내용

□ 건 명 : 복합말뚝(HCP)을 이용한 교량기초 적용

구 분	심 의(자 문) 의 견	조 치 내 용	비 고
○ 자문위원 김용진	<p>1. 말뚝에 작용하는 하중에 부합하는 재료를 선정하여 경제성을 추구한다는 측면에서 복합말뚝(HCP) 적용의 기본 취지는 합당한 것으로 판단됨. 다만, 이음위치에서 이질 재료간 이음품질확보가 자문 자료에 언급되어 있는대로 가장 중요한 요소 이므로 이음위치의 건전성 판단이나 확인방법이 구체적으로 제시 되어야 함.</p>	<p>- 본 교량의 복합 말뚝 건전성을 확인하기 위하여 용접부 비파괴 검사, 동재하, 정재하, 수평재하 시험을 수행 하겠음.</p>	반 영
	<p>2. 항타공법을 적용할 경우 PDA분석으로 평가한 말뚝재료의 응력분포는 강관부분에서 획득한 가속도와 변형으로 평가 되었으나 하부말뚝 재료인 콘크리트 부품 에 대하여도 측정기를 설치하여 PDA기법 적용에 대한 타당성 정립이 필요함.(복합재료 말뚝에 대한 Quake, damping 및 항타 가능 기준 정립도 구체화 되어야 할것임.)</p>	<p>- 천공후(SIP) 경타에 의해 복합말뚝을 삽입함에 따라 하부말뚝의 PDA 기법 적용에 한계가 있으므로, 추후 항타공법 적용시 콘크리트에 Gauge 설치 및 PDA기법 도입하여 타당성 정립과 항타 관리기준 등을 수립토록 하겠음.</p>	반 영
	<p>3. 강관말뚝적용 길이를 정함에 있어 (이음위치선정) 비선형 해석에 의하여 모멘트에 따라 $L=M_{max}/2+1m$ 이상으로 정하고 있는데, 이와 같이 정한 구조 설계적, 지반공학 적 타당성에 대한 구체적인 근거 제시가 필요함.</p>	<p>- 이음부 위치는 “도로설계요령(제3권 P.490)”의 강관말뚝 단면 변화시의 위치를 준용 하였으며, 구조적 안전성 검증을 위하여 이음부 응력 검토를 수행하였음.</p>	반 영

설계심의(자문)결과 조치내용

□ 건 명 : 복합말뚝(HCP)을 이용한 교량기초 적용

구 분	심 의(자 문) 의 견	조 치 내 용	비 고
○ 자문위원 김용진	4. 이음부 해석결과 (자문자료P.10~P.14)에 따르면 작용응력 (최대압축응력)이 과다하여 이음부에 별도의 속채움을 실시하는것으로 되어 있는데 이 경우가 항타 응력이 과다하여 속채움을 실시하는 것인지, 또는 설계하중 조합상 사용중에 과다응력이 발생하는 것인지가 불분명하므로 확인이 필요하고, 만약 항타중 과다응력이 발생하는 경우라면 속채움을 하더라도 강도 발현시간이 필요하므로 별도의 대안이 필요함.	- 속채움 CON'C 타설시 품질확보 및 시공성 측면의 문제점 해소를 위해 강재보강(리브 및 두께 증가)을 실시토록 하겠음.	반 영
	5. 교대에 적용하는 말뚝기초이므로 허용 수평지지력에 대한 검토가 누락된 것으로 보이므로 이론식으로 산정하여 설계하중과 비교하기 바람, 장래 시공이 이루어질 경우 수평재하시험을 수행하여 일반적인 동일 강성말뚝과의 거동 차이점에 대하여 확인 및 검증이 필요함.	- 수평지지력에 대한 검토를 추가적으로 실시하였음. - 추후 시공시 수평 재하시험을 시행하여 수평 저항능력 등 동일 강성 말뚝과의 차이점을 분석하겠음.	반 영
	<기 타> ※ 적용구간의 SIP공법 선정 사유가 언급되어 있지는 않으나 인근 목장과와 거리가 가깝기 때문인 것으로 보이므로 최종경 타시에도 민원의 소지가 있어 보이므로 주의가 요망됨.	-	

설계심의(자문)결과 조치내용

□ 건 명 : 복합말뚝(HCP)을 이용한 교량기초 적용

구 분	심 의(자 문) 의 견	조 치 내 용	비 고
○ 자문위원 김상귀	<p>1. 직경 500mm PHC말뚝은 A-Type과 B-Type으로 구분되며, B-Type이 A-Type보다 압축강도가 크고, 자재비도 1.3배 정도 비싸다. 자문자료 검토결과 PHC말뚝의 종류에 대한 구분이 언급되지 않았으므로 복합말뚝을 적용하기 위해서는 PHC말뚝의 적용 Type을 언급해야 할 것으로 사료된다.</p>	<p>- 적용 Type(A)을 도면에 표기 하겠음.</p>	반 영
	<p>2. 일반적으로 말뚝 선단부가 위치하는 지지 지반은 불규칙하게 경사져서 분포한다. 따라서 지반에 근입되지 않은 강관말뚝은 부득이 절단기로 절단해야 한다. 이로 인해 강관말뚝과 PHC말뚝의 연결부 위치가 일정하지 않아 최대 모멘트 발생 위치에 연결부가 위치할 수 있으므로 이에 대한 검토가 필요할 것으로 사료 된다.</p>	<p>- 천공후(SIP) 복합말뚝을 삽입하므로 지반 변화시 하부말뚝(PHC)의 길이 조정으로 이음부 위치 유지가 가능함.</p>	반 영
	<p>3. 강관말뚝과 PHC말뚝에 가속도계와 변형율계를 설치한 뒤 동재하 시험을 실시하여 항타응력과 지지력을 확인하였으나 연결부를 통한 변위와 축하중 분포의 연속성은 확인되지 않았다. 따라서 정재하 시험과 하중전이 해석을 실시하여 축하중 분포의 연속성을 파악해야 할 것으로 사료된다.</p>	<p>- 정재하 및 동재하 시험과 하중전이 해석을 실시하여 축하중 분포의 연속성을 파악토록 하겠음.</p>	반 영
	<p>4. 연결부의 신뢰성을 확보하기 위하여 부식, 강도, 용접시험 등의 현장 시험 규정에 대하여 구체적인 지침이 작성되어야 할 것으로 사료된다.</p>	<p>- 공법특성에 맞게 공사시방서를 보완 하겠음. - 이음부는 강판과 강판을 용접 연결하는 PHC말뚝 이음 방법과 동일하고 재료의 재질과 용접 등의 규정은 기존의 시방(지침)에 따라 관리가 가능함.</p>	반 영

설계심의(자문)결과 조치내용

□ 건 명 : 복합말뚝(HCP)을 이용한 교량기초 적용

구 분	심 의(자 문) 의 견	조 치 내 용	비 고
o 자문위원 김상귀	<p>5. 복합말뚝은 $\varnothing 500\text{mm}$ 강관말뚝과 $\varnothing 500\text{mm}$ PHC 말뚝을 사용하므로 적용 말뚝의 국내 생산량 및 단가 등 제품조달에 대하여 경제성 분석이 필요할 것으로 사료된다.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - PHC말뚝($\varnothing 500\text{mm}$)은 전국적으로 30여개의 공장에서 생산되고 있고 - 강관말뚝($\varnothing 500\text{mm}$) 또한 전국적으로 7개의 공장에서 생산되고 있어 단가 및 제품 수급 측면의 문제는 없을 것으로 판단됨. 	반 영
	<p>6. 장대말뚝은 연직으로 곧게 세우기 어려워서 편심 되던가 휨이 일어날 가능성이 많다. 따라서 장경비(L/d, L : 말뚝길이, d : 말뚝직경)가 큰 말뚝은 말뚝 재료의 허용응력을 감소시켜 적용한다. 그러나 복합말뚝의 경우에는 장경비의 상한값이 상이하므로 (PHC 말뚝 : 85, 강관말뚝:100) 이에 대한 명확한 값의 제시가 필요할 것으로 사료된다.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 복합말뚝에서 PHC말뚝이 차지하는 비율이 크므로 상대적으로 안전측인 PHC말뚝의 장경비 기준을 적용토록 하겠음. 	반 영

설계심의(자문)결과 조치내용

□ 건 명 : 복합말뚝(HCP)을 이용한 교량기초 적용

구 분	심 의(자 문) 의 견	조 치 내 용	비 고
o 자문위원 전한철	1. 말뚝의 동재하시험은 CAPWAP 프로그램으로 해석한 결과를 토대로 말뚝의 지지력 등을 산출하는 간접적인 방법이므로 말뚝의 지지력을 확실하게 파악할 수 있는 정재하 시험을 실시할 필요가 있음.	- 지지력 확인을 위해 정재하 시험을 실시토록 하겠음.	반 영
	2. 이음부의 구조적 안정성 검증을 위하여 이음부 휨시험을 실시하였으나, 말뚝에는 압축력과 수평력이 작용하므로 이를 반영한 '일정 압축력하에서의 휨 시험'을 수행하여 이음부의 안정성을 검증할 필요가 있음.	- 수평재하 및 동·정재하 시험을 실시하여 이음부의 안전성을 검증토록 하겠음. - 말뚝에 압축력이 작용시 휨인장 저항능력은 압축력 미작용시 보다 증대됨.	반 영
	3. 이음한계 심도를 'L=1/2Mmax+1.0m이상'으로 계산한 근거가 필요하며, 지지층의 예상심도 변경시 다음과 같은 문제점이 예상되는 바 이에 대한 대책수립을 요함. - 심도가 낮아졌을 때 : 강관파일 이음 - 심도가 올라갔을 때 : PHC파일 절단	- 이음부 위치는 "도로설계요령(제3권 P.490)"의 강관말뚝 단면 변화시의 위치를 준용하였음. - 천공후(SIP) 복합말뚝을 삽입하므로 지반 변화시 하부말뚝(PHC)의 길이 조정 등을 통하여 대처가 가능함.	반 영

설계심의(자문)결과 조치내용

□ 건 명 : 복합말뚝(HCP)을 이용한 교량기초 적용

구 분	심 의(자 문) 의 견	조 치 내 용	비 고
○ 자문위원 신낙현	<p>1. 시공성 측면</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 동일 기초 내에서 말뚝의 근입심도 차이가 현저할 경우 선단 지지력 확보 문제 검토 - 허용 잔류침하 초과 우려 - 시험항타로 결정된 말뚝 길이와 천공후 길이 차이가 클 경우에 시공성 저하 ▪ 말뚝 시공시(경타) 인접 말뚝의 양생 영향 등 시공 관리 대책(시방) 요구 ▪ 말뚝이음 내부 속채움 Con'c 수밀성 확보방안 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 항타말뚝의 경우 근입 심도의 현저한 차이에 따른 잔류침하등의 우려가 있으나 - 본 공법의 경우 천공후(SIP) 복합 말뚝을 삽입하므로 지반 변화시 대처가 가능함. - 지반 변화시 하부말뚝(PHC)의 길이 조정 등을 통하여 대처토록 하겠음. ▪ 속채움 CON'C 타설시 품질확보 및 시공성 측면의 문제점 해소를 위해 강재보강(리브 및 두께 증가)을 실시토록 하겠음. 	반 영
	<p>2. 기타 설계</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 실제투입 공사비 측면 - 시공 단계가 복잡한 복합 말뚝(HCP)의 실제와 설계상 투입비 비교 검토(ex : 설계상은 저렴하나, 실제 투입비가 고가가 요구될 경우 민원발생) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 본 교량의 복합말뚝(HCP) 공사 완료 후 실투입 및 설계 공사비를 비교, 분석토록 하겠음. 	반 영
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 본 설계자문 건은 국내수급이 불안정하고 고가인 강자재의 대체효과와 새로운 토목 기술의 시험적 도입 등의 긍정적 측면이 있으나, 국내시공 경험이 없는바 상기 사항에 대하여 일부 검토 보완이 요구될 것으로 판단됨. 	-	반 영

설계심의(자문)결과 조치내용

□ 건 명 : 복합말뚝(HCP)을 이용한 교량기초 적용

구 분	심 의(자 문) 의 견	조 치 내 용	비 고
o 자문위원 류지연	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 복합말뚝은 강관말뚝 보다 경제성 측면에서 유리하나, 구조적 측면에서는 이음부에 대한 상세한 검토가 필요하며 시공성 측면에서는 주의가 요구된다. ▪ 말뚝은 축력과 휨을 동시에 받는 부재이므로 축력에 따른 휨강도 검토 필요함 - 축력이 없는 경우에 대해서는 해석 및 시험을 통하여 검증되었으나, 축하중에 따른 강관말뚝, PHC말뚝, 이음부의 휨강도 비교가 필요함 ▪ 이음한계심도 결정에 대한 명확한 설명 필요 - 기초지반의 토질별 이음한계심도 비교 - 이음한계심도를 1/2 M_{max}로 결정하게 된 근거 - 이음한계심도내 이음부가 위치할 경우 안정성 여부 ▪ 말뚝시공시 시험말뚝과 깊이 차이가 종종 발생하여 이음한계 심도내 이음부가 위치할 가능성 많음. 따라서 공사시방기준은 구조검토결과보다 여유있게 이음부 위치를 지반 아래에 위치하도록 하는 것이 좋을 것 같음 	<p style="text-align: center;">-</p> <ul style="list-style-type: none"> - 이음부에 작용하는 하중(축력, 수평력, 모멘트, 프리스트레스)으로 응력 검토를 수행하였음 - 이음한계심도는 지반종류, N치, C(점착력), 작용력 등에 따라 결정됨 - 이음부 위치는 “도로설계요령 (제3권 P.490)”의 강관말뚝 단면 변화시의 위치를 준용하였음 - 이음한계 심도내 위치시 휨모멘트 저항능력은 여유가 있으나 모멘트 증가에 따른 발생응력의 상승으로 허용압축응력 초과 우려 - 천공후(SIP) 복합 말뚝을 삽입하므로 지반 변화시 하부 말뚝(PHC)의 길이 조정 등을 통하여 대처가 가능함. 	반 영

설계심의(자문)결과 조치내용

□ 건 명 : 복합말뚝(HCP)을 이용한 교량기초 적용

구 분	심 의(자 문) 의 견	조 치 내 용	비 고
○ 자문위원 류지연	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 말뚝심도가 깊어(20m 이상) PHC말뚝을 연결하여 사용할 경우 이에 대한 시방기준 마련 ▪ 복합재질로 구성된 HCP말뚝의 최종 관입량 적용 기준 제시 ▪ 유지관리 측면 <ul style="list-style-type: none"> - 공용중 예상치 못한 지반여건의 변화로 파일의 수평변위 발생시 기존 강관파일보다 불리(취성 파괴 발생)하므로 적용에 신중을 기하여야 할 것으로 판단됨. 	<ul style="list-style-type: none"> - 기존의 PHC말뚝과 연결방법(용접)이 동일하므로 PHC 말뚝의 시방을 준용하겠음. - 복합말뚝의 하부를 구성하는PHC말뚝을 기준으로 최종 관입량을 관리하는 것이 타당할 것으로 판단됨. <ul style="list-style-type: none"> · 최종관입량(PHC) : 5mm이하 	