1. 신기술 적용성 검토

1.1 개요: 강재의 국제 원자재 가격 상승에 따른 강관말뚝 공사비 증가와 자재 수급 차질 등으로 공사추진에 지장이 예상되어 이에 대한 대응 방안으로 복합말뚝(HCP)의 적용성을 검토하고자 함

1.2 국내말뚝 적용 현황

구 분		토 목	건 축
계획자재		강관말뚝	PHC말뚝
설 계	개요	말뚝의 지중거동을 고려하여 지지력, 수평력, 휨모멘트등을 고려하여 말뚝 규격 및 본수 결정	말뚝에 작용하는 수평력 및 휨모멘트가 작아 주로 지지력에 의해 말뚝규격 및 본수 결정
	공법	항타, 매입	항타, 매입
	기준	◦항복응력 fy=2,400kgf/㎠ ◦허용응력 ·상 시 압축부(fca)=1,400kgf/㎠ 인장부(fsa)=1,400kgf/㎠ ·지진시 압축부(fca)=2,100kgf/㎠ 인장부(fsa)=2,100kgf/㎠	◦항복응력 fck=800kgf/㎠ ·프리스트레스(fce) A-type: 40kgf/㎠ B-type: 80kgf/㎠ C-type:100kgf/㎠ ◦허용응력 ·상 시 압축부(fca)=230kgf/㎠ 인장부(fsa)= 0kgf/㎠ ·지진시 압축부(fca)=306kgf/㎠ 인장부(fsa)=-30kgf/㎠
시공 관리 기준		◦항타 허용압축응력 0.9×fy=0.9×2,400 =2,160kgf/㎠	항타 허용압축응력 480kgf/㎠ =0.6×fck=0.6×800 항타 허용인장응력(A-type 경우) 62kgf/㎠ $=0.025\sqrt{fck}+fce$ $=0.02\sqrt{0.8}+0.04$

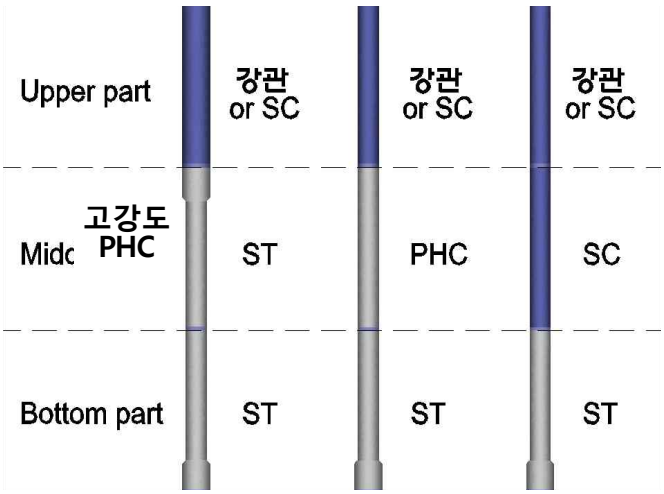
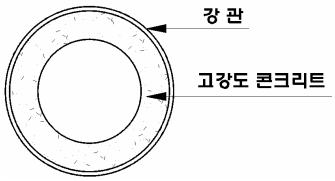
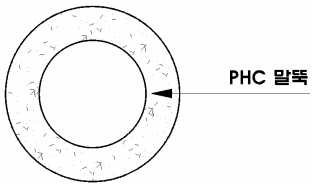
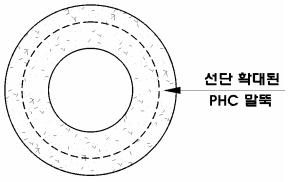
1.3 복합말뚝 이란

토질 및 하중특성, 말뚝의 거동을 고려하여 2개 이상의 이질재료를 조합하여 구성한 말뚝

(1) 해외의 복합말뚝 적용사례

Pipe + Concrete	Concrete + H-Pile	Pipe + H-Pile	Pipe + Concrete

(2) 일본의 복합말뚝 적용사례

<table>
<tr><th colspan="3">복합말뚝 적용 사례</th></tr>
<tr><td colspan="3"> 
</td></tr>
<tr><th colspan="3">단 면 특 성</th></tr>
<tr><th>Upper part</th><th>Middle part</th><th>Bottom part</th></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>· 강관말뚝이나 고강도 콘크리트로 채워진 SC(Steel concrete composite)말뚝

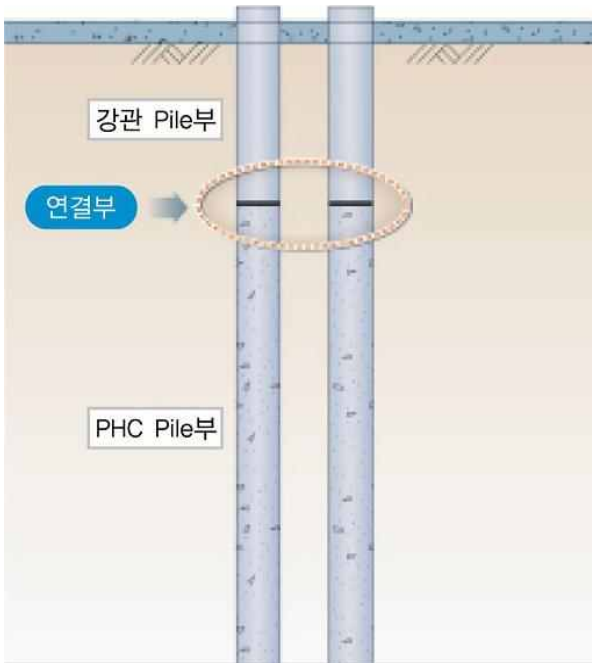
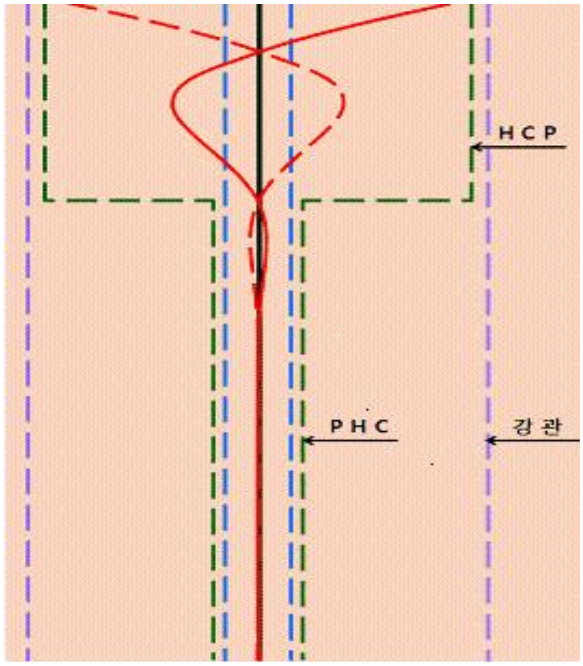
※ 큰 응력에 저항하기 위한 단면</td><td>· PHC말뚝
· 고강도 PHC말뚝</td><td>· 선단 확대된 ST(Step-Tapered)말뚝

※ 지지력 확보가 용이한 단면</td></tr>
</table>

1.4 HCP (Hybrid Composite Pile)

(1) 개요

말뚝 상부는 수평력 및 모멘트 저항 능력이 우수한 강관말뚝, 말뚝 하부는 축하중을 지지할 수 있는 콘크리트 말뚝으로 구성

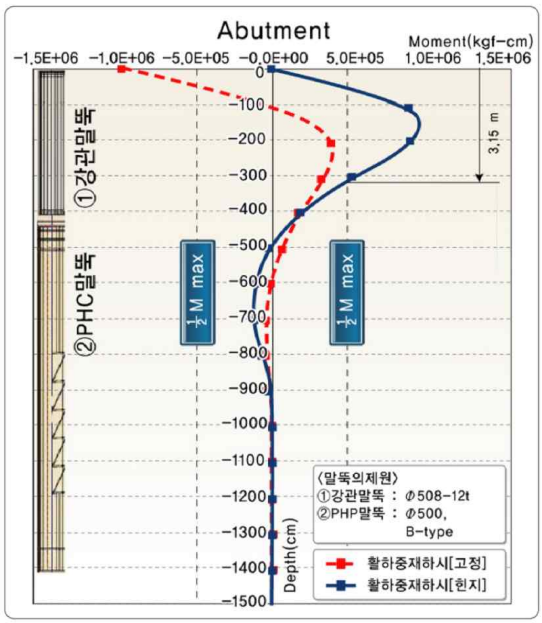
개요도	모멘트도 및 말뚝의 저항능력
	

(2) 연결부위치결정

모멘트가 큰 말뚝상부는 강관말뚝, 축하중만 작용하는 하부는 콘크리트말뚝으로 연결

▶ 지층구성, 하중조건을 고려한 복합말뚝으로 구조 검토하고, 현장여건에 적합한 상부 강관말뚝의 연결길이 결정

상부 강관말뚝의 길이는 상부 구조물에 작용하는 하중의 크기와 조합, 원지반의 지층구성 및 말뚝의 직경 등이 고려되는 S/W에 의해 결정



말뚝길이결정(예)

(3) 국내 복합말뚝(HCP) 개발 및 적용현황

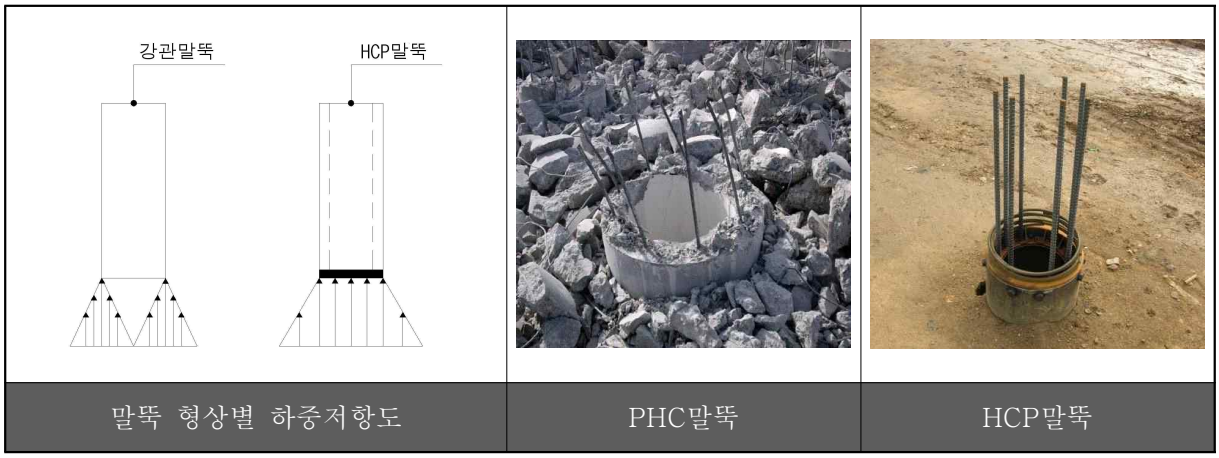
- 2006년에 구체적인 연결 방법을 구비한 복합말뚝 개발
- 2006, 2007년 시항타, 검증 시험
- 2007년 5월 특허등록 (특허 제10-0720946호 등록)
- 2007년 한국도로공사 자문 및 고속도로 본선교량 시공
- 2008년 강재값 상승으로 현장 설계변경 활발히 진행
- 2008년 6월 철도시설공단 신기술 등록 (경제성이 우수한 복합말뚝 HCP)
- 2008년 7월 건기평 신기술 등록 (신기술 제556호 등록)
- 2008년 8월 실용신안 등록
- 시공완료 실적

공 사 명	수 량	발 주 처	비 고
서수원~오산~평택 고속도로 귀래교	190공	국토해양부/민자고속도로(주)	매입(SDA)
전주-광양 고속도로 10공구	162공	한국도로공사	매입(SDA)
제3경인 고속도로 건설공사(1공구)	470공	경기도/민자고속도로(주)	직타
제3경인 고속도로 건설공사(2공구)	336공	경기도/민자고속도로(주)	직타
소래~논현 건설공사	122공	인천시	직타
인천국제공항 철도 건설공사	726공	인천공항철도	매입(SDA)
영동~추풍령 도로건설공사	50공	대전지방국토관리청	매입(SDA)
서산시 국도대체 우회도로 건설공사	394공	대전지방국토관리청	매입(SDA)
소사~녹산간 도로개설공사	585공	부산.진해자유구역청	매입(SDA+T4)
동해~송정 일반산업단지 조성공사	140공	강원도개발공사	매입(SDA+T4)
소 계	3,175공		

(4) 기대효과

▪ 구조적 안정성 확보

- 선단면 형상이 폐(막힘)단면이므로 개(열림)단면인 강관말뚝에 비하여 선단 지지력 확보가 용이함
- PHC말뚝 두부 정리시 발생되는 PHC말뚝의 균열, 프리스트레스 손실등의 문제점을 해결할 수 있음.

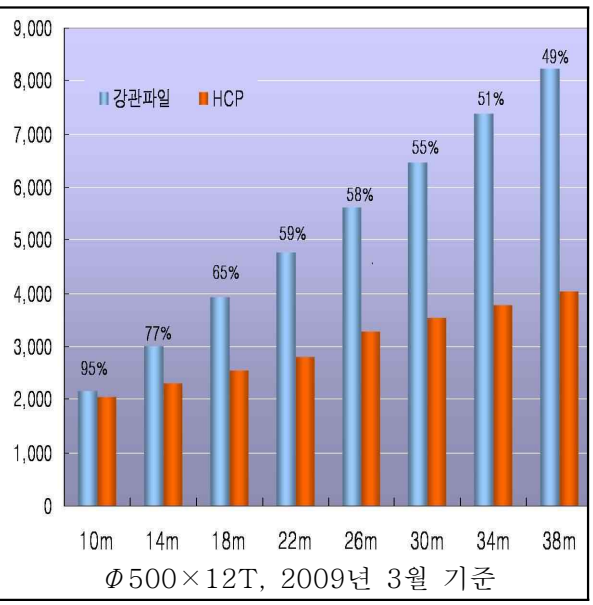


말뚝 형상별 하중저항도 | PHC말뚝 | HCP말뚝

▪ 경제성 향상

- 말뚝 상부 일정구간을 제외하고는 PHC말뚝을 사용함으로 강관말뚝에 비하여 뛰어난 경제성 확보
- 말뚝 상부의 강관말뚝 두께조절이 자유로워 수평력이 큰 기초에서 강관말뚝 대비 본수 감소

10	강관말뚝	HCP	강관대비
10m	1,938,000	1,886,000	97%
15m	2,882,000	2,181,000	76%
20m	3,915,000	2,476,000	63%
25m	4,859,000	2,987,000	61%
30m	5,803,000	3,282,000	57%
35m	6,836,000	3,577,000	52%
40m	7,780,000	4,088,000	52%
45m	8,724,000	4,383,000	50%



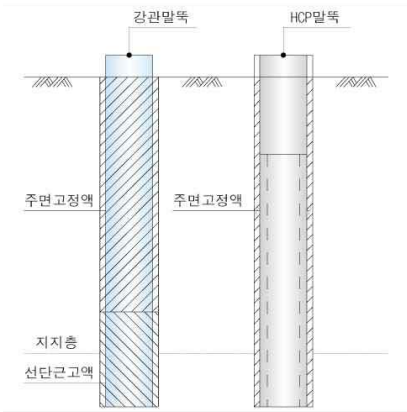
말뚝자재비 비교표

▪ 국가 경쟁력 향상

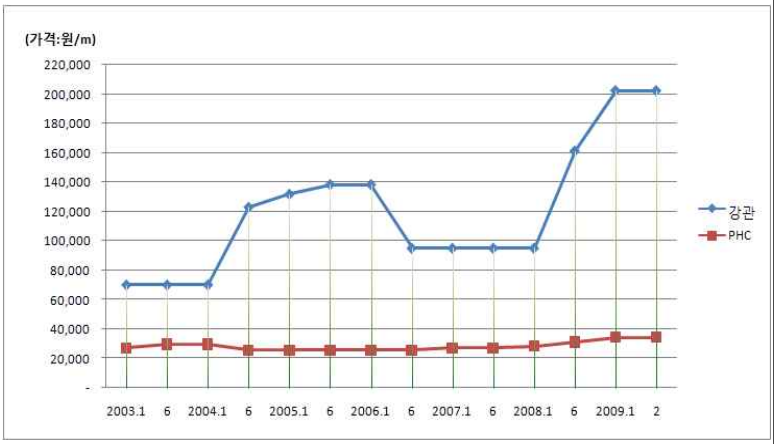
- 재료 대부분을 수입에 의존하는 강관말뚝 대체로 인한 국가 경쟁력 향상
- HCP는 재료의 대부분이 콘크리트이므로 국내 자원으로 자급자족이 가능하여 고용유발 및 산업 활성화 효과가 큼

▪ 환경훼손 최소화

- 매입 말뚝에서 선단폐색을 위한 선단 근고액이 필요치 않고 주면 마찰력확보를 위한 주면고정액 감소로 환경피해 최소화



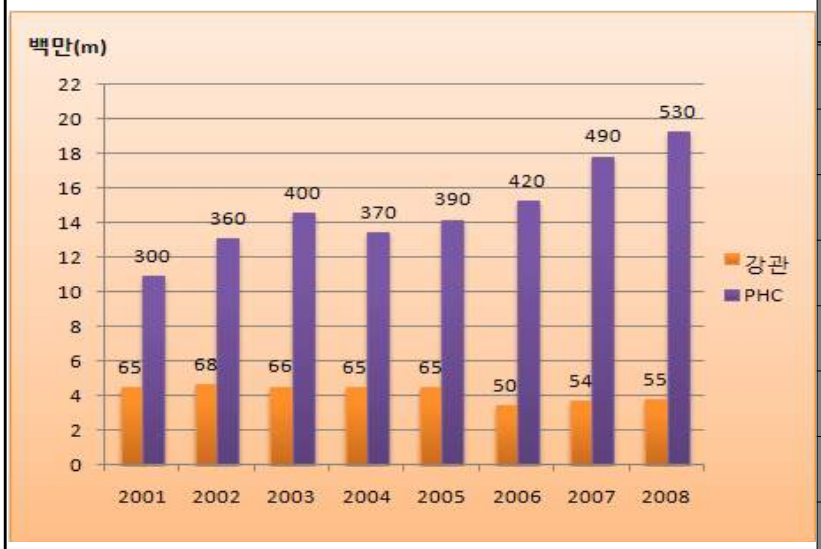
매입공법 시공도



말뚝 종류별 자재비 동향

▪ 국내말뚝 수요현황

년 간 사 용 량 (m)



년간 말뚝 자재비(억)

년도	강관	PHC
2001년	2,671	2,557
2002년	3,027	3,283
2003년	3,183	4,210
2004년	4,833	3,695
2005년	6,073	3,658
2006년	3,265	3,940
2007년	3,527	4,856
2008년	7,157	6,177

1.5 적용방안

▪ 설계는 최소한의 지반조사를 바탕으로 말뚝 심도를 예측하기 때문에 현장에서의 말뚝 심도와 상이하므로 말뚝 심도를 파악하기 위한 확인보링, 시항타 계획이 필요하고 구조적으로 필요한 강관길이에 지지층 심도 변화에 대응하기 위한 여유장이 필요함

▸ 매입말뚝

· 매입말뚝은 지반을 굴착한 후 말뚝을 삽입하므로 말뚝 심도 변화에 대해 대처가능하므로 최소한의 여유장(1.0m)으로도 시공가능
· 10m이상의 말뚝에 적용

▸ 항타말뚝

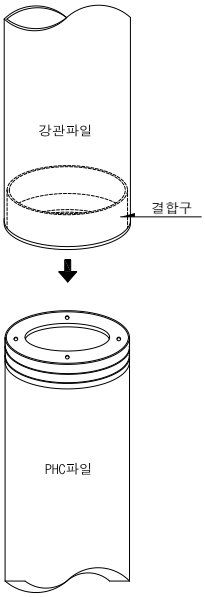
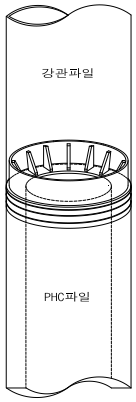
· 지반조사 결과를 분석하여 지지층 심도 변화가 크지 않는 기초에 항타말뚝 적용
· 지지층 심도가 예상 심도보다 높을 경우 상부 강관말뚝을 이어 붙여서 대처(기존 강관말뚝 방법과 동일)
· 지지층 심도가 예상 심도보다 얕을 경우 상부보강 방안(ex.철골 콘크리트 충진 or 보강타)이 필요하며 지지층 변화에 대응하기 위하여 강관말뚝의 여유장(2.5m)을 많이 확보하여 시공
· 13m이상의 말뚝에 적용

1.6 말뚝 경제성 비교

• D=500m/m

규 격	연 장 (m)	단 위	말뚝자재비 비교					비 고
			강관말뚝	H C P		대 비		
				매 입	항 타	매 입	항 타	
HCP D500 강관 D508x12T	10	원/본	1,938,000	1,886,000	-	97%	-	-
	11	원/본	2,127,000	1,945,000	-	91%	-	-
	12	원/본	2,315,000	2,004,000	-	87%	-	-
	13	원/본	2,504,000	2,063,000	2,294,000	82%	92%	-
	14	원/본	2,693,000	2,122,000	2,353,000	79%	87%	-
	15	원/본	2,882,000	2,181,000	2,412,000	76%	84%	-
	16	원/본	3,160,000	2,240,000	2,471,000	71%	78%	-
	17	원/본	3,348,000	2,299,000	2,530,000	69%	76%	-
	18	원/본	3,537,000	2,358,000	2,589,000	67%	73%	-
	19	원/본	3,726,000	2,417,000	2,648,000	65%	71%	-
	20	원/본	3,915,000	2,476,000	2,707,000	63%	69%	-
	21	원/본	4,104,000	2,535,000	2,765,000	62%	67%	-
	22	원/본	4,292,000	2,594,000	2,824,000	60%	66%	-
	23	원/본	4,481,000	2,869,000	2,883,000	64%	64%	-
	24	원/본	4,670,000	2,928,000	2,942,000	63%	63%	-
	25	원/본	4,859,000	2,987,000	3,218,000	61%	66%	-
	26	원/본	5,048,000	3,046,000	3,277,000	60%	65%	-
	27	원/본	5,236,000	3,105,000	3,336,000	59%	64%	-
	28	원/본	5,425,000	3,164,000	3,395,000	58%	63%	-
	29	원/본	5,614,000	3,223,000	3,454,000	57%	62%	-
	30	원/본	5,803,000	3,282,000	3,512,000	57%	61%	-
	31	원/본	6,081,000	3,341,000	3,571,000	55%	59%	-
	32	원/본	6,269,000	3,400,000	3,630,000	54%	58%	-
	33	원/본	6,458,000	3,459,000	3,689,000	54%	57%	-
	34	원/본	6,647,000	3,518,000	3,748,000	53%	56%	-
	35	원/본	6,836,000	3,577,000	3,807,000	52%	56%	-
	36	원/본	7,024,000	3,636,000	3,866,000	52%	55%	-
	37	원/본	7,213,000	3,695,000	3,925,000	51%	54%	-
	38	원/본	7,402,000	3,754,000	3,984,000	51%	54%	-
	39	원/본	7,591,000	3,813,000	4,043,000	50%	53%	-
	40	원/본	7,780,000	4,088,000	4,102,000	53%	53%	-

1.7 복합말뚝(HCP) 제작 개요

작업장소	공장	현장	
공정및순서	결합구를 강관파일에 설치	결합구가 부착된 강관파일을 PHC파일에 용접	HCP 접합완료
개요도			

• 제작공정

HCP결합구

PHC말뚝 연결부

PHC말뚝 선단부

결합구 밀착

결합부 내부용접

결합구 외부용접

결합구 조립완료

강관말뚝과 PHC말뚝연결

용접부 검사