

신기술·신공법을 이용한 예산절감사례 - 복합말뚝을 중심으로 -

Construction of Hybrid Composite Pile



정병현*
Byung-Heon Chung



김병규**
Byung-Gyu kim



이종관***
Jong-Kwan Lee

1. 개요

아산~천안 도로 건설공사는 국도21호선 중 충청남도 최대 상습 정체 구역인 천안시 신방동과 아산시 배방면 구령리 구간을 왕복 8차로로 확장하여 상습 정체를 해소하기 위한 사업으로써<그림 1>, 교량의 기초는 당초 강관말뚝으로 계획되어 있었으나 설계 당시에 비해 강재값이 급등(Ø500mm기준으로 m당 강관파일 가격이 PHC(고강도콘크리트말뚝)파일 가격의 4~5배)하여 예산 증대가 우려되었다. 이에 콘크리트와 강재를 복합한 신기술 복합말뚝을 적용하여 예산을 절감토록 하였다.

- (1) 사업명: 아산~천안 도로 건설공사
- (2) 발주청: 국토해양부 대전지방국토관리청
- (3) 시공사: (주) 벽산건설
- (4) 공사기간: 2007년 2월 15일 ~ 2013년 2월 13일
- (5) 복합말뚝 공사: 2009년 4월 ~ 2009년 5월
- (6) 복합말뚝 시행사: (주)파일테크

2. 복합말뚝의 계획

은수교(L = 45m) 및 장재교(L = 104.5m)의 기초는 당초 강관말뚝(직경 508mm, t = 12mm, 평균심도 16m)으로 설계되어 있었으나 예산절감과 재료의 효율성을 고려하여 복합말뚝으로 변경하는 것을 검토하였다.

아산~천안도로 건설공사 중 은수교와 장재교의 깊은 기초를 강관말뚝에서 복합

말뚝으로 변경함으로써 당초에 비하여 약 30~40% 해당 공사비를 절감하였다<표 1>.

3. 복합말뚝의 설계

3.1 개요

지중에서 말뚝 상부의 일정 심도까지는 수평력과 모멘트가 발생하지만 그 이하의 심도에서는 수직력이 지배적으로 작용한다. 강관말뚝은 연성 능력이 뛰어난 재질이므로 말뚝 상부에 작용하는 수평력과 모멘트에 대해서 충분한 저항능력을 가지지만 이를 수직력이 지배적인 말뚝 하부까지 설치하는 것은 비효율적이다.

표 1. 경제성 검토

(단위: 원)

| 구분 | | 강관말뚝 | 복합말뚝 | 절감비 | |
|-----|------|------|--------|-------|-------|
| 은수교 | 197공 | 자재비 | 8.52억 | 4.78억 | - |
| | | 시공비 | 1.61억 | 1.60억 | - |
| | | 계 | 10.23억 | 6.38억 | 62.3% |
| 장재교 | 213공 | 자재비 | 6.75억 | 4.20억 | - |
| | | 시공비 | 1.60억 | 1.57억 | - |
| | | 계 | 8.35억 | 5.76억 | 69.1% |

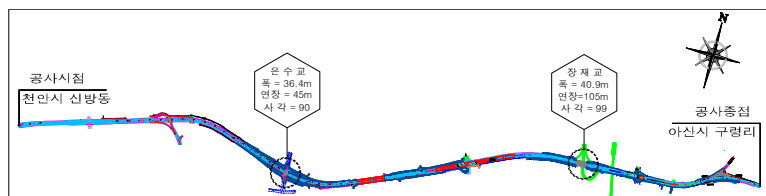


그림 1. 노선도

* 정희원, (주)파일테크 전무
dwallman@hanmail.net

** 정희원, (주)파일테크 이사

*** 정희원, (주)한택기술 기술연구소 전무

복합말뚝은 말뚝의 거동을 파악하여 수평력과 모멘트가 크게 작용하는 말뚝 상부는 강관말뚝으로 구성하고 압축력이 지배적인 말뚝 하부는 PHC로 구성하며, 이질적인 재료간에 원활한 하중 전이 및 안정성이 확보될 수 있는 연결 방법을 조합함으로써 말뚝 안정성을 확보하고 경제성을 향상시킨 말뚝이다<그림 2~4>.

3.2 설계 방법

복합말뚝은 말뚝 부위별에 따라 다른 재질을 조합하여 사용하므로 재질별 말뚝의 길이를 산정하는 일이 매우 중요하다. 말뚝의 부위별 길이를 산정하기 위해서는 각 부위별 말뚝의 작용력(수직력, 수평력, 모멘트)을 산출해야 한다.

말뚝의 부위별 길이를 산정할 때 가장 중요한 작용력인 말뚝의 모멘트는 말뚝의 수평 저항에 관계되는 지반에 많은 영향을 받기 때문에 실제 지반 조건을 고려한 해석이 필수적이라 할 수 있다. 그러나 현재 국내의 말뚝 설계는 수평 저항에 관한 지반반력계수 산정 시 설계 지반면으로부터 1/β까지 깊이의 평균값을 사용하고 있다.

실제로 지반은 깊이에 따라 지반의 종류, N치 등이 매우 다양하므로 말뚝의 수평 저항에 관계되는 지반을 설계 지반면으로부터 1/β까지 깊이의 평균값을 적용하는 현재의 설계방법은 동일

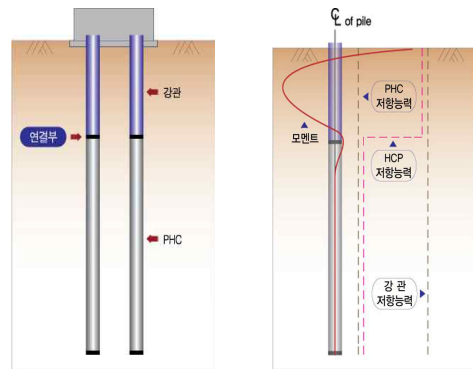
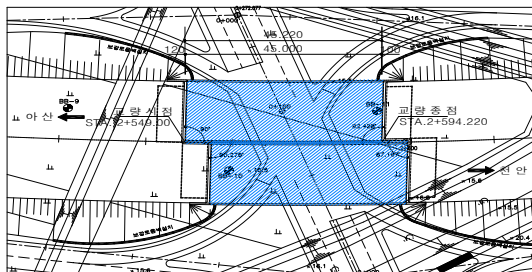


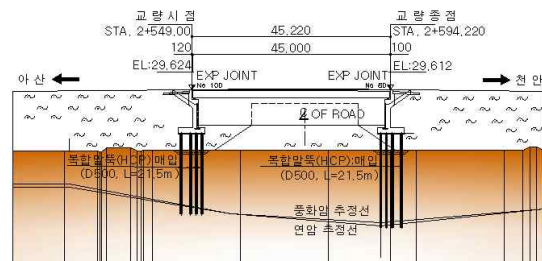
그림 4. 복합말뚝의 구성 및 말뚝의 거동

재료를 사용하는 말뚝의 경우에는 큰 문제가 없겠지만 복합말뚝처럼 재료의 물성이 다른 말뚝에서 그 해석법을 수용하기에는 문제가 있을 것이라 판단된다. 그렇기 때문에 복합말뚝에서는 말뚝 부위별 길이를 산정하기 위하여 변위법에 의한 해석 및 별도의 지반 해석프로그램을 병행하여 지반조건, 하중, 말뚝의 강성 등을 입력하고 실제의 말뚝 설치 현황을 모사하였다.

상기 <그림 5>와 <표 2>에 보듯이 해석으로 파악된 말뚝의 거동에 따라 말뚝의 조합(각 말뚝의 길이)을 결정하고 강관말뚝 및 PHC의 최대 작용력에 대한 응력 검토를 수행하여 안정성을 확보하였다.

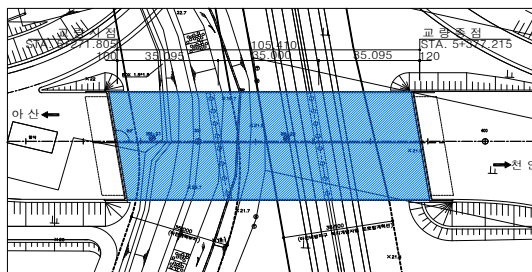


(a) 평면도

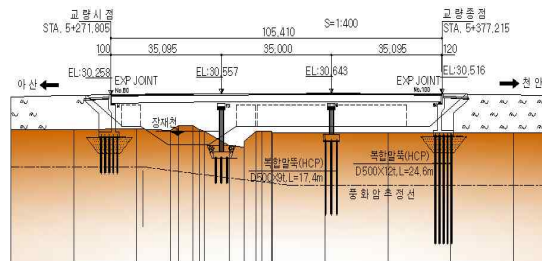


(b) 종단면도

그림 2. 은수교



(a) 평면도



(b) 종단면도

그림 3. 장재교

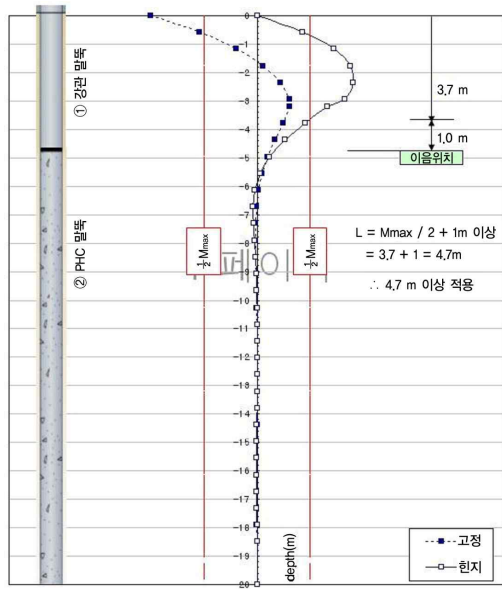


그림 5. 복합말뚝의 B.M,D

표 2. 복합말뚝의 응력 검토

| 구분 | 작용력 | | | 작용응력 (MPa) | 허용응력 (MPa) | 판정 |
|--------|-------|---------|-------|------------|------------|-----|
| | P(kN) | M(kN·m) | S(kN) | | | |
| 두부(강관) | 795 | 139 | 132 | 129 | 140 | O.K |
| 연결부 | 795 | 31 | 46 | 14 | 20 | O.K |

3.3 연결부 선정

복합말뚝은 이질적인 재료를 연결하여 구조적 성능이 발휘되어야 하므로 연결 방법이 매우 중요하다. 말뚝은 연결 시 말뚝의 능력(지지력)이 저감되고, 연결할 수 있는 최소한의 말뚝길이도 제한된다. 이는 말뚝 연결로 인한 응력집중 및 편심을 최소화하여 안정성을 확보해야 하기 때문이다. 복합말뚝의 연결 방법은 강관말뚝과 PHC 중간에 연결매개체를 설치하여 연결하는 방법과 강관말뚝과 PHC를 직접 연결하는 방법이 있다.

전자의 경우는 3개의 이질 재료(강관, 주강, PHC)를 연결하는 형태이고 연결 매개체가 직접 외력을 받는 주부재로 사용되며 말뚝을 연결할 때의 최소길이 규정(3m 이상)에도 위배된다. 그러므로 강관과 PHC를 직접 연결하여 응력집중을 최소화하고 하중 전이가 원활한 연결 방법을 선정하였다<그림 6, 사진 1>.

4. 복합말뚝의 시공

복합말뚝은 시공 완료 후에 구조상 필요한 강관말뚝 길이가 확보되어야 한다. 때문에 시공 계획 및 현장 관리가 매우 중요하다.

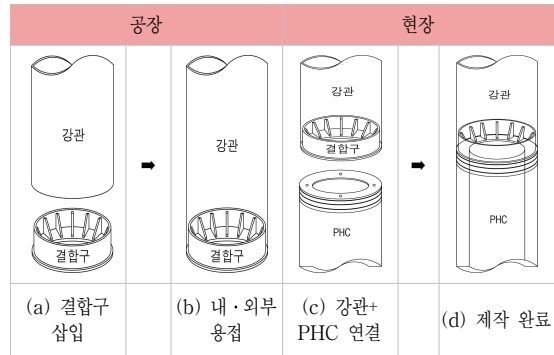


그림 6. 복합말뚝의 제작 개요

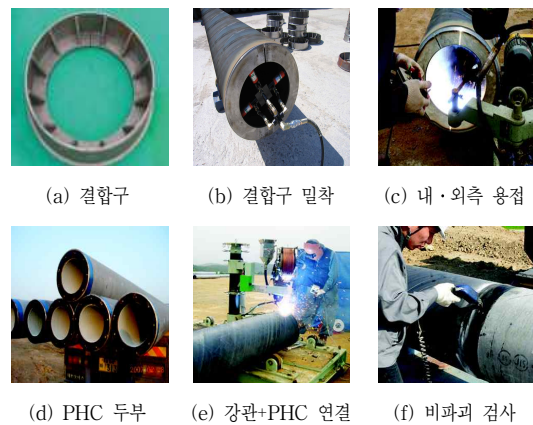


사진 1. 복합말뚝의 연결

당 현장에서는 사전에 복합말뚝에 대한 시공 및 시험 계획을 수립하여 시험타를 수행하였고 시험타시 동재하시험을 병행하여 본항타 관리 기준을 수립하여 성공적으로 시공 완료하였다<표 3>.

5. 결론


강관말뚝의 원료인 강재는 전량 수입에 의존하므로 국제원자재 가격 변동에 매우 민감한 반면 콘크리트는 국내 생산이 가능

표 3. 동재하시험 결과

| 위치 | 시험 말뚝 번호 | 설계 하중 (ton) | CAPWAP 분석결과 | | | | 허용지지력 (안전율 2.5) | |
|-----|----------|-------------|-------------|----------|----------|-------|-----------------|---------|
| | | | 주면 (ton) | 선단 (ton) | 전체 (ton) | | | |
| 장재교 | P1 | 아산 방향 | C-1 | 79.9 | 57.5 | 195.5 | 253.0 | 101 ton |
| | A1 | 천안 방향 | A-12 | 89.2 | 104.2 | 180.7 | 284.9 | 114 ton |
| 은수교 | A2 | 아산 방향 | D-1 | 96.2 | 97.5 | 228.5 | 326.0 | 130 ton |
| | | 천안 방향 | A-9 | 96.2 | 32.1 | 304.7 | 336.8 | 134 ton |

하고 가격이 안정적이다. 2005년까지의 강재 가격은 구조물의 깊은 기초에 적용하는데 큰 부담이 되지는 않았으나 2005년 이후 강재 가격이 급등함에 따라 강재를 대체할 수 있는 공법이 필요하게 되었다.

강관말뚝을 대체 할 수 있는 공법으로 복합말뚝이 개발, 적용되고 있으며 향후 예산 절감 및 강재 수입을 줄일 수 있는 공법으로써 활발한 적용 확대가 예상된다. 본 현장에서는 국토부 신기술 취득(2008. 7.) 후 다년간의 연구와 시험시공, 검증을 통하여 안정성이 확보된 HCP(hybrid composite pile)를 적용함으로써 공사비 절감을 실현하였다<사진 2>.

복합말뚝은 현재 도로, 철도, 항만, 발전소 등에 짧은 기간 동안 수만 공이 설계 및 시공되어 국가 예산 절감에 이바지하고 있다. 복합말뚝의 출현은 그동안 획일적으로 강재에만 의존한 말뚝 계획 및 시공으로 인한 경제적, 구조적 손실에 대해 자각할 수 있는 계기가 되었고, 기능에 맞도록 합리적이고 효율적인 재질을 결합함으로써 경제적이고 효율적인 구조를 창출할 수 있다는 것을 보여주었다. 따라서 이종의 재질을 결합함으로써 경제적, 구조적, 효율성을 증진시킬 수 있는 공법이 말뚝뿐만 아니라 다양한 분야에 적용되어 국내 기술의 지속적인 발전으로 이어질 것 기대한다. 

참고문헌

1. 이장덕, 이홍수, 'HCP(hybrid composite pile)말뚝의 연결부 성능 평가', 강구조학회지, Vol. 19, No. 3, 2007. 9, pp. 51 ~ 56.
2. 이장덕, 박수용, 김재수, 이명환, '복합말뚝의 국내현장 적용', 지반과 기술 Vol. 4, No. 3, 2007. 9, pp. 40 ~ 49.
3. 김동수, 백한식, 최영수, 송화영, '강관말뚝과 PHC말뚝을 결합구조로 용접시킨 매입형 복합말뚝(HCP: hybrid composite pile)의 설계 및 시공방법', 지반과 기술, Vol. 5, No. 3, 2008. 9, pp. 33 ~ 37.
4. 김재수, '복합말뚝(HCP) 시공현장 방문', 지반과 기술 Vol. 6, No. 2, 2009. 6, pp. 35 ~ 39.
5. 이명환, 김동수, 김병규, '강관말뚝과 PHC말뚝으로 구성된 복합말뚝', 한국향만협회지 Vo. 106, 2008, pp. 70 ~ 87.
6. 강명찬, '복합말뚝의 수평거동 분석을 통한 현장적용성 평가', 한화건설 기술지 Vol. 1, 2008, pp. 130 ~ 134.
7. 이승호, 김동민, '복합말뚝 거동에 대한 실험적 연구', 한국지반환경공학회 논문집 Vol. 11, No. 2, 2010, pp. 23 ~ 32.
8. 이장덕, 박수용, 김재수, 이명환, '복합말뚝의 국내현장 적용', 한국토질및기초기술사회, 가을기술발표회 논문집, 2007, pp. 237 ~ 245.
9. 선석운, 박노경, 이승, '복합말뚝의 수평 거동 분석', 한국지반공학회, 춘계 학술발표회 논문집, 2008, pp. 1195 ~ 1205.
10. 이장덕, 박수용, 김재수, 이명환, '복합말뚝의 국내현장 적용', 2008년 제34회 대한토목학회 정기학술대회, 전문학회 및 국책연구단 세션, 2008, pp. 39 ~ 49.



사진 2. 복합말뚝의 시공

11. 김동수, 김병규, 이홍수, '복합말뚝의 정·동적 거동에 관한 실험적 연구', 한국강구조학회 2009년도 학술발표대회 논문집, 2009, pp. 89 ~ 90.
12. 이명환, 김재수, 김병규, 'HCP(hybrid composite pile, 복합말뚝)의 특성 및 실무적용', 울산시 공무원 직무교육 교재, 2009, pp. 93 ~ 121.
14. 선석운, '복합말뚝의 수평거동 분석', 서울시립대 산업대학원, 2007. 8.
15. 이진웅, '복합말뚝(hybrid composite pile)의 교량기초 적용성 연구', 성균관대학교 과학기술대학원, 2009. 8.
16. 김동민, '현장시험을 통한 복합말뚝의 수평거동특성에 관한 연구', 상지대학교 일반대학원.

담당 편집위원 :
박동규(삼성물산(주) 건설부문) dk2.park@samsung.com