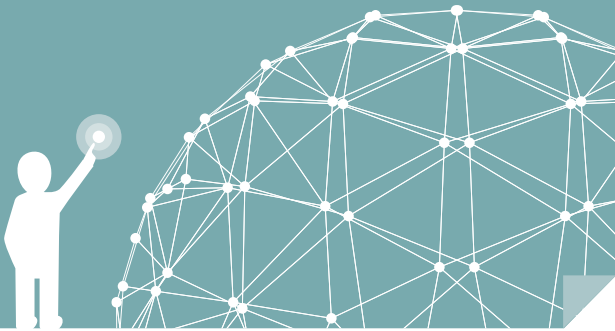


강관말뚝 머리보강 공법 현황 및 새로운 기술 소개

Introduction of Current States of Steel-Pipe Pile Cap Connectin and DISC Connector Method



1. 머리말

기술 개발과 사용부지의 제한 등 다양한 사회적 니즈에 의해 건축, 토목구조물의 대형화가 진행되고 있으며, 한편 이러한 상부구조물을 안전하게 지지하기 위해서는 얇은 기초 형식보다는 깊은 기초 형식이 대다수 채택되고 있다. 또한 초고층화, 대형화되고 있는 건축구조물의 경우, 증가된 수직하중과 내진성능 개선의 필요성과, 상대적으로 횡하중이 크게 발생하는 토목구조물에서 외부하중에 대한 안전한 지지성능 확보를 위하여 PHC 말뚝보다는 강관말뚝의 사용빈도가 증가하고 있다.

상부구조물에서 발생하는 외부하중을 지반 내 설치된 강관말뚝에 안전하게 전달하기 위해서는 강관말뚝과 확대기초 간의 결합방법이 필요하고 관련 토목설계 기준에서는 결합부에 대하여 말뚝머리 고정으로 거동하고 결합부에 생기는 모든 응력들에 대해 안전하도록 설계하도록 규정하고 있다.

도로교 설계기준해설(2008)에서는 말뚝머리부의 결합 방법에 대하여 확대기초 속에 말뚝을 일정한 길이, 즉 말뚝직경 이상 매입시키고 매입된 부분이 말뚝머리에 작용하는 휨모멘트에 저항하는 방법인 ‘방법A’와 확대기초 속으로 매입되는 말뚝의 길이를 10 cm 정도로 최소한으로 하고 철근을 말뚝머리에 보강하여 말뚝머리에 작용하는 휨모멘트를 철근이 저항하는 방법인 ‘방법B’로 나뉘어 설명하고 있다.

‘방법A’의 경우, 확대기초 내 매입되는 말뚝에 의해 철근 배근 공정 진행에 지장이 있기 때문에 현장에서는 대부분 ‘방법B’를 채택하고 있다.

국내에서는 ‘방법B’규정을 준용한 다수의 말뚝머리 보강방법이 제안되었는데, 대부분 현장 용접이 필요하거나, 강관말뚝과 철근을 고정하는 장치의 부착에 필요한 천공작업 및 볼팅 작업이 요구되어 이로 인해 공정 진행상 현장에서의 작업 지연과 시공품질 불량 등이 야기되어 왔다. 따라서 현장 용접과 볼팅 작업 등의 필요성

장일영 Il Young, Jang
금오공과대학교 토목공학과
교수, 공학박사

박만호 Man Ho, Park
대보건설(주), 부장

구정민 Jeong Min, Goo
(주)동명기술공단 부설연구소
차장, 공학박사
jmgoo@dmecc.co.kr

신종섭 Jong Sup, Shin
대보건설(주), 차장

정충열 Chung Yeol, Jung
(주)동명기술공단 부설연구소
차장

이보형 Bo Hyeong, Lee
(주)두산건설, 부장

을 최소화하여 신속하게 공법을 적용하면서도 효율적으로 외부하중에 안전하게 지지능을 발휘할 수 있는 새롭게 개발된 무용접/무볼트 강관말뚝 공법(디스크 커넥터 공법)을 소개하고자 한다.

2. 강관말뚝 머리보강 공법 현황

2.1 기본 개념 및 관련 규정

국내 현장에서는 지반 내 설치된 강관말뚝과 확대기초 간 체결을 위해 확대기초 철근 배근 공정의 신속함과 용이함 등의 이유로 '방법B'를 대다수 적용하고 있다. 설치된 강관말뚝 머리부의 노출길이를 10 cm 정도 남겨두고 절단한 후 구조계산에 의해 결정된 철근을 연결하여 외력에 저항하는 방법으로 강관말뚝 뿐만 아니라 PHC 말뚝과 현장타설 말뚝에서도 적용가능하다.

적용되는 주철근의 제원은 말뚝 머리에 발생하는 압입력, 인발력, 수평력 등에 대하여 안전하게 지지되고, 주철근을 포함하여 형성되는 가상 철근콘크리트 기둥의 휨저항 성능이 확보되도록 종합적으로 고려하여 결정하게 된다.

토목분야에서는 강관말뚝 머리결합 방법 규정으로 일반적으로 철도교 설계기준이나 도로교 설계기준을 준용하고 있는데 검토 항목은 유사하나, 철근정착길이에 관한 규정에 있어 차이가 있으며, 현재 국내 대부분의 현장에서는 각 검토항목에 대하여 허용 범위 내에 분포되

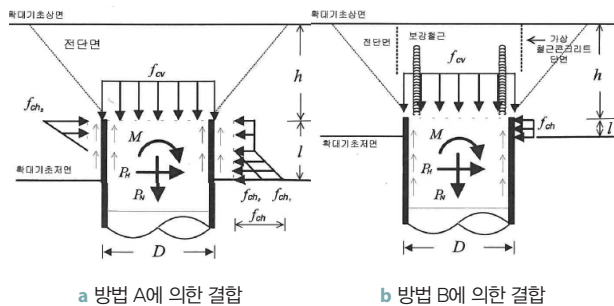


Fig. 1 말뚝머리부의 결합(2008, 도로교 설계기준해설)

외력	검토항목
압축력에 대한 검토	- 확대기초 콘크리트의 수직지압응력 - 확대기초 콘크리트의 압발전단응력
인발력에 대한 검토	- 말뚝 외주와 확대기초 콘크리트 전단저항력 ※강관말뚝의 경우, 원칙적으로 검토하지 않아도 됨.
수평력에 대한 검토	- 확대기초 콘크리트의 수평지압응력 - 확대기초 단부 말뚝에 대한 수평압발전단응력
철근 정착	- 인발에 대한 이형철근 부착력과 파단 검토
가상철근콘크리트 단면응력	- 콘크리트 휨압축응력 - 보강철근의 휨인장응력

Table. 1 강관말뚝 머리보강 공법 검토 항목

도록 설계값을 산정하는 허용응력 설계법으로 공법을 검토하고 있다.

다음 표 1은 강관말뚝 머리보강 설계시 일반적으로 검토하는 항목들에 대하여 정리한 것으로 적용되는 철근 제원들은 철근과 기초콘크리트 간 합성작용으로 형성되는 가상 철근콘크리트 단면응력 산정결과에 가장 큰 영향을 받는다.

일반적으로 상부구조물에 외력이 발생되면 각 열의 말뚝머리에 작용하는 하중의 상태는 축방향 최소압입력($P_{N\ min}$)-설계휨모멘트(M) 및 축방향 최대인발력($P_{U\ max}$)-설계 휨모멘트(M) 조합으로 검토할 수 있으며, 여기서 가상철근콘크리트 단면의 직경은 말뚝직경에 20 cm를 더한 길이로 한다.

이때 교량의 경우, 상시와 지진시에 대하여 교축 및 교직 방향에 대하여 발생하는 외력에 대하여 검토하여야 한다. 계산시 이용되는 콘크리트의 휨압축응력계수(C)와 보강철근의 휨인장응력계수(S)는 $e/r - np$ 의 관계에 대하여 철근콘크리트 단면 형상별로 인발하중과 모멘트, 그리고 압축하중과 모멘트 하중조합에 대하여 결과를 도표로 정리한 R-G도표를 이용하여 왔으나 최근 컴퓨터 성능이 발전함에 따라 관련 산식을 프로그래밍하여 가상철근콘크리트 단면응력을 간편하게 검토하고 있다.

2.2 관련 공법 개발 현황

국내 강관말뚝 머리보강 공법 적용 현장에서의 공사 진행의 신속성과 용이함, 경제성 등에 대한 새로운 공법 개발의 요구로 ‘방법B’에 대한 다양한 관련 공법들이 제안되어왔으며, 현장 선호도가 높은 대표적인 공법들 중 건설신기술로 지정된 공법 리스트는 다음 표 2와 같다. 관련 기술들은 현장 용접 작업을 배제하는 방향으로 기술개발이 이루어지고 있으나 여전히 현장에서의 볼팅 작업이 필요하거나 구조적인 성능 발휘에 있어 부분적으로 문제점들이 지적되고 있어 공법 개선에 대한 필요성이 있다.

‘볼트식 속채움 공법’이나 ‘강재 결합구 속채움 공법’의 경우, 사전 제작된 강재절편이나 체결구의 중량이 상당하거나 제작비용이 상대적으로 고가이기 때문에 경제성에서 불리할 수 있다. 또한 현장 볼팅 작업이 필요하기 때문에 현장 작업지연 발생가능성이 높으며, 고장력 볼트가 구조재로 구성되기 때문에 볼트토크에 대한 철저한 관리가 필요한 것으로 알려져 있다.

강관말뚝에 장방향으로 천공을 한 후 LU형으로 주철근을 가공하여 천공된 구멍에 삽입하여 외력에 저항하는 ‘L&U 합성형 공법’은 현장 볼팅이나 용접을 배제한 공법으로 현장공기 단축이나 경제성 부분에서 비교

적 우수한 공법으로 알려져 있다. 그러나 주철근을 3차원 가공함에 있어 철근 구부리기 규정을 준수해야 하므로 실제 구조적으로 유의미한 정착길이를 제외한 주철근 사용량의 낭비가 발생된다.

또한 도로교설계기준해설(2008)에서는 위험단면에 대한 표준갈고리와 구부리기에 대한 철근제작 상세를 제시하고 있는데, 철근 직경이 증가함에 따라 철근 가공의 어려움과 함께 소요철근량이 증가되는 것으로 판단되어 개선의 여지가 필요하다. 또한 주철근의 강관말뚝 배치에 있어 방사형의 등각 배치가 이루어지지 않아 외력에 저항하는 철근과 콘크리트의 합성 거동에 있어 다소 불리한 것으로 판단된다. ‘일체식 두부보강 공법’은 현재 소개하는 디스크 커넥터 공법보다 건설신기술을 뒤에 취득하였으나, 본 공법 건설신기술 취득과정에서 관련 특허가 공개되었고, 공개된 특허에 기반하여 해당 공법을 현장공급 중이던 강관말뚝 머리보강공법이다. 대부분의 강관말뚝 머리보강공법은 이형철근으로 강관말뚝과 확대기초와 연결하는 방법을 사용하지만, 전단돌기가 형성된 유공강판 연결재를 강관말뚝에 거치하고 사방으로 천공된 구멍에 전단연결재를 사용한다. 따라서 특수제작된 구성품을 사용하기 때문에 부품 분실에 대한 철저한 현장관리가 필요한 것으로 판단된다.

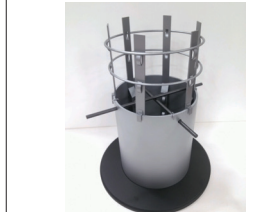
구분	볼트식 속채움 공법	강재결합구 속채움 공법	L&U 합성공법	일체식 두부보강 공법
개념도				
공법 특징	<ul style="list-style-type: none"> - 다수의 강재 절편과 고장력 볼트 조립 - 현장 용접 배제 - 고장력 볼트 시공후 볼트토크에 대한 관리 필요 	<ul style="list-style-type: none"> - 사전제작된 강재결합구를 현장 볼팅 작업으로 일체화 - 현장 용접 배제 - 고장력 볼트 시공후 볼트토크에 대한 관리 필요, 기초 주철근과의 간섭현상 발생 	<ul style="list-style-type: none"> - LU형으로 3차원 제작된 주철근을 강관말뚝에 천공된 구멍에 삽입, 설치 - 현장 볼팅작업 및 용접 작업 배제 - 강관말뚝에 장방향 천공에 따른 유격 가능성 	<ul style="list-style-type: none"> - 전단돌기가 있는 유공강판 연결재를 강관말뚝 전단면에 고정걸쇠로 수직, 방사형으로 배치하고 고정용 링철근으로 결합 - 현장 볼팅작업 및 용접 작업 배제 - 철근 대신 특수 유공강판 연결재 사용

Table 2 강관말뚝 머리보강 공법 비교표(건설신기술 인증 공법 중심으로)

2.3 강관말뚝 머리보강 공법 개선 착안사항

강관말뚝 머리보강 공법은 토목공사 진행과정에서 메
인공정이 아니기 때문에 공법 적용 과정에서 지연으로
인한 타공법 진행에 영향을 최소화할 필요성이 있다. 강
관말뚝은 교량의 교각이나 교대 공사에 많이 적용되는데,
이러한 공사부지의 경우 전원공급이 어렵거나, 공사
조건이 열악한 경우가 많다. 따라서 전기를 동력원으로
사용하는 용접이나 볼팅 작업이 필요할 경우 동력원의
고장 등이 발생될 경우 공정진행의 불가피한 차질이 발
생되므로 가능한 현장 용접이나 볼팅 작업을 배제하여
공법을 구성하는 것이 바람직하다. 또한 일반화된 자재
를 사용하여 공법을 단순하게 구성하여 공법 적용시 숙
련공이나 고가의 시공장비의 필요성을 최소화하여 시장
경쟁력을 가져야 한다.

다양한 외력 및 강관말뚝 종류에 적용가능할 수 있어
야 하며, 해당 규정에 준하여 설계가능한 공법을 개발하
는 것이 중요하다.

3. 디스크 커넥터 공법 소개

3.1 공법 원리 및 구성

동명기술공단에서는 앞서 언급하였듯이 다양하게 개
발된 강관말뚝 머리보강 공법들의 특징 및 개선사항들
을 면밀하게 분석하였으며, 현장 용접이나 볼팅 작업을
최소화하고, 단순하고 일반화된 자재를 사용하여 신속
하게 적용할 수 있으며 구조적으로 안정하면서도 경제
적으로도 경쟁력이 있는 공법을 개발할 필요성이 있는
것으로 분석하였다.

따라서 강관말뚝을 따라 등각으로 천공하여 사전 제
작된 L자형 주철근을 관통시켜 임시체결장치인 철근체
결구(디스크 커넥터)로 고정하는 방식의 강관말뚝 머리보
강 공법을 개발하였으며 개념도는 다음 그림 2와 같다.

외력에 대하여 사전 설계된 정착길이 등을 고려하여



Fig. 2 디스크 커넥터 공법

주철근을 L자 형태로 가공하여 강관말뚝에 방사형으로
동일한 간격으로 천공된 구멍을 관통시켜 원형체결판
에 밀어넣어 주철근을 고정하기 때문에 개발된 관련 공
법들 중 가장 단시간에 주철근 조립이 가능한 공법이다.
또한 주철근을 방사형으로 등각배치하기 때문에 하중을
안전하게 분산할 수 있고, 타 공법 대비 말뚝 중심과 주
철근 중심 거리 또는 주철근 중심간 거리가 증가하여 외
력에 대한 가상 철근콘크리트 단면 저항성능을 개선시
켰다.

일반화된 부품으로 공법을 구성하여 자재의 가격 변
동 영향을 최소화하였으며, 용접이나 볼팅 공정을 배제
함으로써 시공성과 경제성 및 친환경성을 갖춘 공법이
라 할 수 있다.

개발 기술의 구조안정성을 검증하기 위하여 압축, 인
발, 휨 및 전단에 대하여 실물모형체(각 하중별 4개 이상
공시체 제작 및 실험 수행)를 제작하고 각 하중별 거동실험
을 수행하였고 구조해석 프로그램인 Midas Civil로 외력
에 대한 저항성능을 분석하였다.

실물재하 실험 및 구조해석 결과, 외부하중에 대한 저
항력 및 구조거동 특성은 타 공법 대비 동등 또는 우수
한 것으로 분석되었다. 압축재하의 경우, 약 4,000 kN
의 하중에도 변위가 2.9 mm 정도 발생되었고, 추가적인
하중 재하에도 파괴에 도달하지 않아 충분한 여유력을
확보한 것으로 판단된다. 구조해석 결과, 항복하중 재하

구분	압축	인발재하	전단	휨
실험 결과				
구조 해석 결과				

Table 3 실험 실험 및 구조해석 결과

시에도 보강철근 및 말뚝 천공부에 이상이 없는 것으로 나타났다.

원칙적으로 강관말뚝의 경우, 인발 특성은 검토할 필요성은 없으나, 약 1,600 kN의 인발하중에 대하여 약 14.7 mm 정도의 변위가 발생되었으며, 철근에서 파단이 발생되지 않았다. 또한 강관말뚝이나 철근에 분포된 응력은 현저하게 낮은 값으로 대칭적으로 발생된 것으로 나타났다.

전단 및 휨 실험의 경우에도 기존에 제안된 공법 대비 우수한 저항성능을 가지는 것으로 나타났는데 구조해석 결과 외부하중에 대하여 응력분포가 대칭적으로 나타나는 것으로 분석되었는데 주철근을 방사상으로 균등하게 배치한 결과로 판단된다.

3.2 설계 및 적용 사례

해당공법은 압축, 인장 하중 및 전단, 휨 하중에 대하여 구조적으로 안전하게 설계 및 적용되어야 한다. 앞서 디스크 커브터 공법은 철근 중심간 간격이 넓어짐에 따라 타 공법(주철근 강관내부 위치) 대비 구조안정성이 개선되는 사실에 대하여 언급하였는데, 외력, 즉 최대축력 (P_{nmax})-휨모멘트(M)에 대한 가상 철근콘크리트 단면 겹

토 과정에서 기존 공법 대비 적용되는 철근량이 절감됨을 간단히 소개하고자 한다.

가상 철근콘크리트의 응력 검토는 가상 철근콘크리트 단면반경(r)과 철근-콘크리트 탄성계수비(n), 보강철근 중심간 거리(r_s) 및 이때 발생하는 콘크리트 휨압축응력 계수(C) 또는 보강철근 휨인장응력계수(S)등을 고려하여 결정하게 되는데 콘크리트 휨압축응력계수와 관련된 식은 다음과 같다.

$$f_c = \frac{M'}{r^3} \times C \quad (식 1)$$

여기서, $M' = M_{max} + P_{nmax}r$

말뚝머리 축방향력, $P_{nmax} \neq 0$ 인 경우,

$$\beta = \frac{\frac{\phi}{4} - \sin\phi \cos\phi \left(\frac{5}{12} - \frac{1}{6} \cos^2\phi \right) - \frac{\pi n p}{2} \alpha^2}{\sin \frac{\phi}{3} (2 + \cos^2\phi) - \phi \cos\phi - \pi n p \cos\phi}$$

$$\text{여기서 } \beta = \frac{e}{r}, \quad e = \frac{M_{max}}{P}$$

r ; 가상단면 반경

p ; 철근비

n ; 탄성계수비

$$\alpha = \frac{f_s}{r}$$

r_s ; 말뚝중심에서 철근중심까지 거리(= r - 0.1 × $\frac{D}{2}$ + 10)

D ; 말뚝직경

$$C = 1 - \cos\phi \left\{ \frac{3\sin^3\phi}{3} \phi \cos\phi + \sin\phi \cos^2\phi + \frac{\phi}{4} - \frac{\sin\phi \cos\phi}{4} - \frac{\sin^3\phi \cos\phi}{6} + \pi n p \left(\frac{\alpha^2}{2} - \cos\phi \right) \right.$$

콘크리트 휨압축응력계수(C)는 식 1과 같은 원형 단주 계산식을 이용하여 구하거나, RG도표를 활용하여 구할 수 있는데, 본 기사에서는 계산식을 프로그래밍하여 자동계산할 수 있는 방법을 활용한다.

강관말뚝 직경(D)=508 mm, 두께(t)= 12 mm에 대하여 사용되는 주철근은 SD400 재질의 직경(D)=19 mm, 8개 적용 하기로 한다. 이에 대한 외부하중 입력값 및 이에 대응하는 기존 공법 및 디스크 커넥터 공법 간 출력값은 다음 표 4와 표 5와 같다.

검토 결과 외부하중에 대하여 디스크커넥터 공법은 주철근 직경 19 mm, 8 개를 적용할 경우 구조적으로 안

구분	P _{nmax} (kN)	P _{hmax} (kN)	M _{max} (kN-m)
상 시	1,839.63	222.235	271.148
지 진 시	626.50	233.200	176.930

Table. 4 외부하중 입력값

구분	기존 공법	디스크커넥터 공법
r(가상단면 반경, mm)	354	354
rs(보강철근 중심간 거리, mm)	218	321
e(=M/P)	147	147
C	0.600	0.558
M'(=M _{max} + P _{nmax} × r, kN-m)	922.377	922.377
fc(=(M'/r ³) C, MPa)	12.468	11.603
fca(MPa)	12.000	
검토결과	NG	OK

Table. 5 기존 공법 대비 가상 철근콘크리트 응력 검토 결과

전한 것으로 나타났으나, 일반 공법인 경우 허용값 이상으로 가상 철근콘크리트 응력이 분포됨에 따라 직경 21 mm의 주철근을 사용해야 한다.

한편, 도로교인 경우 확대기초 내에 주철근의 정착길이(L, mm)는 다음 식 2로 계산한다.

$$L \geq \text{MAX} \left(\frac{f_{sa} \cdot A_{st}}{\tau_{oa} \cdot U}, 35d_l \right) + \frac{D}{2} \quad (\text{식 2})$$

여기서, f_{sa} : 이형철근 허용인장응력(MPa)

A_{st} : 이형철근 공칭단면적(mm²)

U : 이형철근 공칭둘레길이(mm)

τ_{oa} : 콘크리트 허용부착응력(MPa)

d_l : 이형철근 공칭직경(mm)

D : 강관말뚝직경(mm)

따라서 표 4와 같은 외부하중에 대하여 식 2로 계산하여 적용되는 주철근 정착길이는 기존 공법의 경우, 1,031 mm가 소요되는 반면, 디스크 커넥터 공법은 923 mm 만 적용해도 된다. 또한 확대기초 내로 정착되는 주철근을 따라 수직간격 150 mm 마다 띠철근을 배근해야 하는데, 디스크 커넥터 공법의 경우 일반 공법 대비 적용갯수가 1개 절감되는 효과가 있다. 기존 공법 대비 구조적 안정성을 확보하면서도 소요 철근량을 절감할 수 있는 디스크 커넥터 공법은 무용접 무볼트 공정으로 구성되기 때문에 용접으로 발생하는 이산화탄소 및 용접 흠 저감이 인정되어 2015년 2월에 국토교통부로부터 녹색기술인증(GT-15-00019, 00020, 00021)을 획득하였다. 또한 국토교통부로부터 2015년 7월에 건설신기술(NET 768)로 지정되어 기술의 우수성을 대외적으로 인정받았다.

디스크 커넥터 공법은 비교적 최근에 개발된 기술이기 때문에 강관말뚝 머리보강 공법 시장에서 인지도가 떨어지기는 하지만, 뛰어난 시공성 및 경제성을 기반으로 관련 시장에서 영향력을 확대해 가고 있는 중이다.

4. 맺음말

강관말뚝 머리보강 방법과 관련하여 다양한 신기술 및 특허 공법들이 제시되고 있으며, 기술 개발 방향은 현장 용접 및 볼팅 작업이 배제된 방향으로 기술개발이 진행 중에 있다. 최근 건설신기술 및 녹색기술 인증이 된 디스크 커넥터 공법의 경우, 기존 공법 대비 단순한 시공 방법으로 구성되고 신속한 현장 적용이 가능하며, 배근되는 주철근 간 간격이 커짐에 따라 외력에 대한 저항 성능을 개선하여 소요 철근량을 저감시킬 수 있다.

설치된 지진가속도계측기가 항상 정상적으로 작동하도록 관리하고 의미 있는 데이터를 확보하기 위해서는 설치 및 운영에 있어서의 문제점을 지속적으로 개선해 나갈 필요가 있다. ■

● 참고문헌 references ●

- 1 도로교설계기준해설 (2008), 대한토목학회 교량설계핵심기술연구단.