

강관말뚝을 PHC말뚝으로 변경시 판단절차서

글 | 송태언 | 토목기술부 과장 | 전화 : 02-3433-7765 E-mail : songtairn@ssyenc.com

1. 서론

최근 강재가격의 폭등에 따라 현장 원가절감 방안으로 강관말뚝을 PHC말뚝으로 변경하고자 하는 현장의 요구는 많으나 현장별, 구조물별 그 적용여부 판단에 일관성이 없어서 변경가능 여부를 판단하기 곤란하여 현장에서 손쉽게 판단할 수 있는 절차서가 필요하게 되었다. PHC말뚝은 수직력이나 모멘트는 강관말뚝과 대등한 반면 수평력(전단력)은 강관말뚝의 1/5~1/6에 불과하므로 강관말뚝을 PHC말뚝으로 변경시 지배적인 요인은 구조물의 수평력(말뚝의 전단력)이다. 따라서 현장에서는 손쉽게 본당 수평력을 계산하여 PHC말뚝으로 변경가능 여부를 판단해 볼 수 있다.

2. 강관말뚝을 PHC말뚝으로 변경 가능여부 판단

PHC말뚝은 강관말뚝에 비하여 탄성계수는 작으나, 단면 2차 모멘트는 커서 연직하중에 대하여는 그 차이가 적으나(강관말뚝 대비 0.94~1.35), 강재에 비해 허용 전단응력이 작으므로(강관말뚝 대비 0.15~0.22) 수평력에 의한 전단응력이 만족하는지 PHC말뚝으로 변경 가능 여부를 판단하는 데 열쇠가 된다.

2-1. 판단기준

1) 수평하중 만족여부 판단

구조계산서에서 '말뚝검토' 를 보고 '사용하중 조합' 에서의 최대 수평력을 찾아 말뚝수로 나누면 본당 수평력을 구할 수 있으며 상시뿐 아니라 지진시도 같이 검토하여야 한다. 본당 수평력이 다음 <표 1>의 허용 수평하중을 상회할 경우 동일한 말뚝수로는 변경이 불가능하다. 계산과정은 '3. 말뚝변경 판단예제' 를 참고하기 바란다.

<표 1> PHC말뚝별 허용 수평하중

PHC말뚝 (B종)	상시 본당 허용수평하중 (kN/본)	지진시 본당 허용수평하중 (kN/본)	비 고
φ 400x65t	61,455	92,183	1 tonf ≒ 10 kN
φ 450x70t	74,885	112,328	
φ 500x80t	94,690	142,035	
φ 600x90t	129,115	193,673	
φ 700x100t	168,895	253,342	

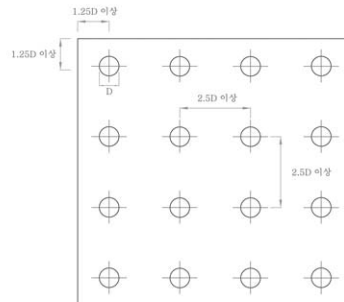
주) 허용 전단응력
· 상 시 : $v_a = 0.850 \text{ MPa}$ · 지진시 : $v_a = 1.275 \text{ MPa}$

2) 말뚝의 중심간격 및 연단거리 만족여부 판단

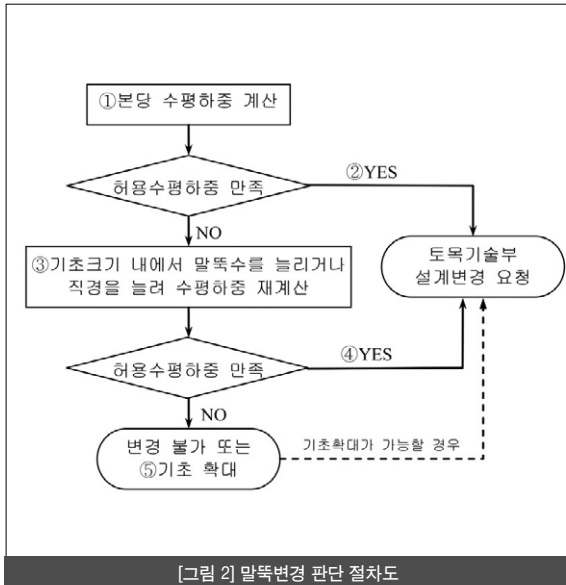
전단응력이 부족하여 말뚝 본수를 늘리거나 직경을 변경할 경우 말뚝의 최소 중심간격이나 연단거리를 다음 <표 2>의 값을 상회할 수 있도록 해야 한다. 기초 크기를 변경하는 경우가 아니라면 현재의 기초 크기 내에서 최대한 본수를 늘리거나 직경을 늘릴 수 있는지 검토해야 한다.

<표 2> 말뚝의 중심간격 및 연단거리

PHC말뚝	최소중심간격 (mm)	최소연단거리 (mm)	비 고
φ 400x65t	1,000	500	최소 중심간격 : 2.5D 최소 연단거리 : 1.25D
φ 450x70t	1,125	563	
φ 500x80t	1,250	625	
φ 600x90t	1,500	750	
φ 700x100t	1,750	875	



2-2. 판단 후 조치사항



[그림 2] 말뚝변경 판단 절차도

1) 동일한 말뚝수로 만족하는 경우

강관 ϕ 406은 PHC ϕ 400으로, 강관 ϕ 508은 PHC ϕ 500으로 본당 수평력이 <표 1>보다 작은 경우는 말뚝 본체의 응력이 만족하는지에 대한 검토와 말뚝반력에 대하여 기초가 안전인지 기초 검토를 하여야 하므로 토목기술부에 말뚝변경 검토를 요청하시기 바란다.

2) 말뚝 수나 직경을 늘려 기초크기 내에서 만족하는 경우

기초크기 내에서 말뚝의 수를 늘리거나, 직경을 키워서 만족하는 경우에도 말뚝 본체의 응력이 만족하는지에 대한 검토와 말뚝 반력에 대하여 기초가 안전인지 기초 검토를 하여야 하므로 토목기술부에 말뚝변경 검토를 요청하시기 바란다.

3) 말뚝수나 직경을 키워도 만족하지 못하는 경우

기초크기의 변경은 다른 여러 가지 문제를 야기할 수 있으므로 특별한 상황이 아니라면 권할 수 없는 방법이므로 원설계와 같이 강관말뚝으로 시공하거나 타공법(HCP말뚝 등)으로 변경 검토할 수 있다.

3. 말뚝변경 판단 예제

3-1. 동일한 말뚝수로 만족하는 경우

15.1 시공측 기초 말뚝검토

1) 설계조건

말뚝 종류	직경(mm)	두께(mm)	부식두께(mm)	길이(m)
내부굴착강관말뚝	508	12	2	9.600

* 말뚝길이는 기초평면에 평행 100mm는 제외한 길이로 계산한다.

말뚝의 탄성계수 $E = 210000.0 \text{ MPa}$
 말뚝의 단면2차모멘트 $I = \pi/64 \times (0.504^4 - 0.484^4) = 0.0004736 \text{ m}^4$
 말뚝 머리와의 평균 N차 $N = 10$
 말뚝 선단의 평균 N차 $N = 30$
 말뚝 선단의 간격길이 $Df = 1.5 \text{ m}$
 평치반으로부터 돌출된 길이 $h = 0.9 \text{ m}$

2) 말뚝의 배치

3) 말뚝도상에서의 작용하중

구분	Vo(kN)	Vo(kN)	Mo(kN.m)	비고	
사용하중	COMBO 1	19287.890	1376.089	-4908.548	평상시(축력 최대)
	COMBO 2	19020.835	3893.429	5585.144	평상시(부압연트 최대)
	COMBO 3	16050.292	-696.740	-17842.909	평상시(항압연트 최대)
	COMBO 4	15613.843	3177.264	1848.864	지진시
계수하중	COMBO 1	30172.027	-729.507	-22966.288	평상시(축력 최대)
	COMBO 2	26620.022	6693.437	11461.278	평상시(부압연트 최대)
	COMBO 3	21788.359	-975.436	-23656.419	평상시(항압연트 최대)
	COMBO 4	15613.843	3177.264	1848.864	지진시

[그림 3] 당초 구조계산서(교각) 내용

1) 본당 수평력 계산 [그림2의 ①]

강관말뚝 및 PHC말뚝의 본체응력 검토는 허용응력 설계법으로 설계하므로 사용하중 단면력으로만 판단한다. 계수하중 단면력은 기초 설계시에 필요한 단면력이다.

상시 최대 수평력은 하중조합 COMBO 2에서 3893.429 kN이고, 지진시 최대 수평력은 하중조합 COMBO 4에서 3177.264 kN 이므로 본당 수평력은

상시 : $3893.426 \text{ kN} / 43\text{본} = 90.5 \text{ kN/본} < 94.690 \text{ kN/본} (\phi 500 \times 80)$
 \therefore 만족

지진시 : $3177.264 \text{ kN} / 43\text{본} = 73.9 \text{ kN/본} < 142.035 \text{ kN/본} (\phi 500 \times 80)$
 \therefore 만족 따라서 동일한 본수의 말뚝으로 교체가 가능하다.

2) 토목기술부 설계변경 요청 [그림2의 ②]

미르넷의 기술지원관리 시스템을 통하여 기술지원요청서에 구조물 현황과 구조계산서를 첨부하여 요청하면 검토 담당자가 지정되어 모든 하중조합에 대한 검토 및 기초 단면력 검토를 수행하게 된다. 경우에 따라서는 말뚝 본체의 인장응력이 부족하여 변경이 불가능한 경우도 있을 수 있으며, 기초 단면력이 변경되어 철근배근이 변경되는 경우도 발생할 수 있다.

3-2. 말뚝수를 늘려 기초크기 내에서 만족하는 경우

1) 설계조건

① 말뚝의 일반

말뚝 종류	직경 (mm)	두께 (mm)	부식두께 (mm)	길이 (m)
내부공작강관말뚝	508	12	2	17.000

* 말뚝길이는 기초장면에 관한 100%는 제외한 길이로 계산한다.

말뚝의 탄성계수 E = 21000.00 MPa

말뚝의 단면치오연트 $I = \pi/64 \times (504.0^4 - 484.0^4) = 473607596.1 \text{ mm}^4$

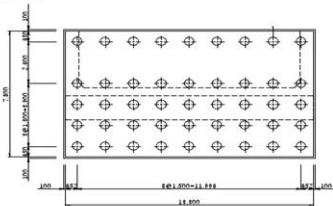
말뚝 머리연의 용량 지지 N = 5

말뚝 선단의 용량 지지 N = 40, N값은 40을 상한으로 한다.

말뚝 선단의 근일깊이 Of = 1.0 m

관지반으로부터 출몰된 길이 h = 0.0 m

② 말뚝의 배치



2) 말뚝도상에서의 작용하중

구분	Vo(kN)	Ho(kN)	Mo(kN.m)	비고	
사용하중	COMBO 1	13374.281	2384.089	-10169.026	고정하중+토압
	COMBO 2	25575.169	2853.796	-4963.053	고정하중+토압
	COMBO 3	32543.578	3470.315	-2355.181	고정하중+활하중+빙하중
	COMBO 4	32543.578	1656.370	-5669.539	고정하중+활하중+교량받침(대칭적)
	COMBO 5	32543.578	4040.459	793.727	고정하중+활하중+토압+교량받침(대칭적)
	COMBO 6	32543.578	4038.382	727.032	고정하중+활하중+토압+사일링(대칭적)
	COMBO 7	32543.578	4568.539	3875.930	고정하중+활하중+토압+사일링(대칭적)
	COMBO 8	25575.169	7800.049	20180.169	고정하중+토압+지진영향
계수하중	COMBO 1	19198.803	4252.951	-11738.967	1.40 + 1.7H
	COMBO 2	36290.046	5538.655	-484.289	1.40 + 1.7H + 1.4E
	COMBO 3	19219.805	5899.535	512.862	1.40 + 2.0H + 1.7H
	COMBO 4	55798.892	5899.535	-3445.114	1.70 + 1.7L + 1.7H
	COMBO 5	46035.819	6968.781	5878.704	1.40 + 1.4L + 1.7H + 1.70
	COMBO 6	46035.819	7479.033	8249.124	1.40 + 1.4L + 1.7H + 1.43E + 1.4E
	COMBO 7	46035.819	8277.035	13657.509	1.40 + 1.4L + 1.7H + 4.5B + 1.43H + 1.4E
	COMBO 8	25575.169	7800.049	20180.169	1.00 + 1.0H + 1.0E

[그림 4] 당초 구조계산서(교대) 내용

1) 분당 수평력 계산 [그림2의 ①]

상시 최대 수평력은 하중조합 COMBO 7에서 4598,526 kN이고 지진 시 최대 수평력은 하중조합 COMBO 8에서 7800,049 kN 이므로 분당 수평력은

상시 : $4598,526 \text{ kN} / 45\text{본} = 102,2 \text{ kN/본} > 94,690 \text{ kN/본}$

($\phi 500 \times 80$) ∴ 불만족

지진시 : $7800,049 \text{ kN} / 45\text{본} = 173,3 \text{ kN/본} > 142,035 \text{ kN/본}$

($\phi 500 \times 80$) ∴ 불만족

따라서 동일한 분수의 말뚝으로 교체가 불가능하므로 분수나 직경을 늘려야 한다.

2) 말뚝 분수 늘려서 재계산 [그림2의 ③]

필요분수를 계산한후 연단거리나 중심간격 기준을만족하는지 검토한다.

상 시 : $4598,526 / 94,690 = 49\text{본}$

지진시 : $7800,049 / 142,035 = 55\text{본}$

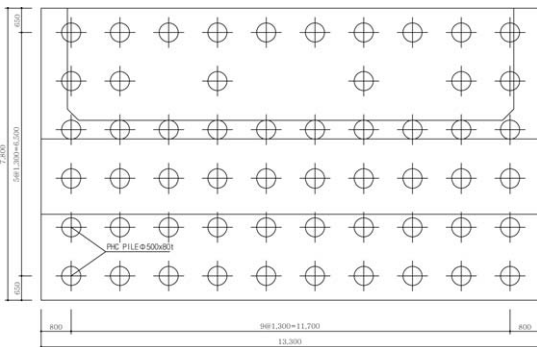
∴ $\phi 500 \times 80$ - 55본 이상의 배치가 필요하다.

9본 x 5본의 배치에서 한 행을 추가할 수 있으나 이 경우 54본만 배치가 가능하므로 행당 한 본씩 추가하여 10본 x 6본 배치에서 5행에서는 4본을 제외하여 56본 배치한다.

중심간격은 1,300m로 최소 중심간격 1,250m를 만족하며, 연단거리 0,650m로 최소 연단거리 0,625m를 만족한다.

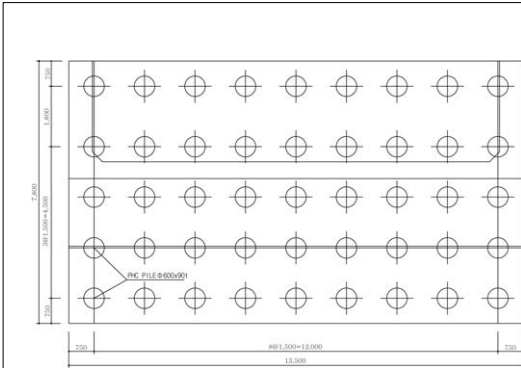
3) 토목기술부 설계변경 요청 [그림2의 ④]

미르넷의 기술지원관리시스템을 통하여 기술지원요청서에 구조물 현황과 구조계산서를 첨부하여 요청하면 검토 담당자가 지정되어 모든 하중조합에 대한 검토 및 기초단면력 검토를 수행하게 된다.



[그림 5] 말뚝변경 배치도

3-3. 직경을 키워 기초초기 내에서 만족하지 못하는 경우



[그림 6] 말뚝변경 배치도

1) 기초 확대 [그림2의 ⑤]

3-2의 경우에서 말뚝 본수를 늘리지 않고 말뚝의 직경을 ø 600x90t로 늘려서 검토해 보면

상 시 : $4598,526 / 129,115 = 36$ 본

지진시 : $7800,049 / 193,673 = 41$ 본

∴ ø 600x90t - 41본이상 배치가 필요하다.

따라서 당초와 같이 9본 x 5본을 배치한다면 최소 기초폭 13,500m가 필요하다.

$0,750 + (8@1,500 = 12,000) + 0,750 = 13,500$ m

[그림 6]과 같이 기초폭을 13,300m에서 13,500m 로 확대하여야 하며 확대가 가능한 구조물일 경우 토목기술부에 설계변경 요청을 하면 된다.

4. 결론

PHC말뚝은 수직력이나 모멘트는 강관말뚝과 대등한 반면 수평력(전단력)은 강관말뚝의 1/5~1/6에 불과하므로 강관말뚝을 PHC말뚝으로 변경시 지배적인 요인은 수평력(말뚝의 전단력)이다.

따라서 현장에서는 간단하게 분당 수평력을 계산하여 PHC말뚝으로 변경가능 여부를 판단해 볼 수 있다.

현시점에서 강관말뚝의 시공비가 PHC말뚝의 2.8배에 달하므로 다소 번거롭더라도 현장원이 절감방안으로 적극적으로 활용하는 것이 좋을 것이라고 판단된다.

수평력으로 판단한 결과 PHC말뚝으로 변경이 가능하다고 판단되더라도 연직, 수평지지력에 대한 만족여부, 말뚝반력에 대한 기초 단면력 검토, 기초 결합부 검토 등등 모든 사항에 만족하여야 PHC말뚝으로 변경이 가능한 것이므로 토목기술부에서는 이에 대한 검토와 구조계산서를 만들게 된다.

토목기술부는 현장 요청시 최선을 다해서 변경하는데 협조하도록 노력할 것이다. **SS**

5. 참고자료 : 강관말뚝과 PHC말뚝의 성능 비교표

<표 3> 허용수평력 비교

강관말뚝	허용수평력 (kN/본)		PHC말뚝 (B종)	허용수평력 (kN/본)		PHC/강관
	상시	지진시		상시	지진시	
ø 406x9.5t	372.2	558.3	ø 400x65t	61.5	92.2	0.17 0.12
ø 406x12t	493.1	739.7				
ø 508x9t	437.2	655.8	ø 500x80t	94.7	142.0	0.22 0.15
ø 508x12t	620.8	931.2				

<표 4> 허용수직력 비교

강관말뚝	허용수직력 (kN/본)		PHC말뚝 (B종)	허용수평력 (kN/본)		PHC/강관 (M=0)
	상시	지진시		상시	지진시	
ø 406x9.5t	1,303	1,954	ø 400x65t	1,364	2,046	1.05 0.79
ø 406x12t	1,726	2,589				
ø 508x9t	1,530	2,295	ø 500x80t	2,074	3,111	1.36 0.94
ø 508x12t	2,173	3,259				

<표 5> 허용 모멘트 비교

강관말뚝	허용수평력 (kN · m/본)		PHC말뚝 (B종)	허용수평력 (kN/본)		PHC/강관 (P=0)
	상시	지진시		상시	지진시	
ø 406x9.5t	126.3	558.3	ø 400x65t	99.0	148.6	0.79 0.60
ø 406x12t	165.2	739.7				
ø 508x9t	187.5	281.3	ø 500x80t	189.4	284.0	1.01 0.72
ø 508x12t	263.1	394.7				

참고문헌

1. 대한토목학회, 「도로교설계기준(하부구조편)」, 2001
2. 한석주, 「PHC말뚝의 설계(일본)」, 2004