벽식공동주택의 층수변화에 따른 최적 PHC말뚝 제안

Suggestion of Optimum PHC Pile for 15~40 Story Shear Wall Type Apartment Building

이범식¹ · 박종배² · 박용부³ · 김상연³ · 하영배⁴ · 최경륜⁵

Bum-Sik Lee¹, Jong-Bae Park², Yong-Boo Park³, Sang-Yeon Kim³, Young-Bae Ha⁴ and Geong-Ryun Choi⁵

(Received April 2, 2012 / Revised April 24, 2012 / Accepted April 24, 2012)

요 약

LH공사는 기초설계 시 지반의 종류와 벽식공동주택의 층수에 따라 획일화된 PHC말뚝을 적용하고 있다. 최근 LH공사의 사업여건이 다양화됨에 따라 30층 이상의 벽식공동주택의 건설이 예상되고, 건설사업의 경쟁력 제고의 일환으로 건설공사비 절감이 지속적으로 요구되고 있어, 이의 일환으로 기초공사의 효율성 제고를 위한 노력이 필요하다. 이 연구에서는 LH공사에서 공급하는 벽식공동주택의 층수를 세분화하여 상부구조물에 대한 구조해석과 기초설계를 수행하였다. 기초설계 결과를 반영하여 벽식공동주택의 층수에 따른 경제성 평가를 수행하고 최적 PHC말뚝 직경을 제안하였다. 이 연구에서 제안한 벽식공동주택의 층수별 PHC말뚝 직경은 공사의 공동주택 기초설계 시 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

주제어 : PHC말뚝, 대구경 말뚝, 기초설계, 벽식아파트, 원가절감

ABSTRACT

LH applies a uniformly standardized PHC Pile to 15~25 stories of Shear-wall type Apartment Building. Recently it is predicted that LH will construct over 30~40 story Apartment Building to keep varied project condition and faces urgent needs to save construction cost for improving its competitiveness. Therefore, structural analysis and design on the upper part and foundation of apartment building were carried out in this study by subdividing story of apartment building, e.g. 15, 20, 25, 30, 35, 40 stories. Reflecting the result of basement analysis and design, the economic evaluations are performed and the optimum diameters of PHC piles are suggested. The result of this paper is considered to be applied usefully for foundation design of LH apartment housing, and the suggested PHC Piles can be used effectively by increasing efficiency and saving the construction cost of foundation.

Keywords: PHC Pile, Large Diameter Pile, Foundation Design, Shear-wall type Apartment, Cost Save

1. 서 론

공사에서 공급하는 벽식공동주택의 기초는 PHC(Pretensioned spun High strength Concrete)말뚝이 주로 적용되며, 지반의 종류와 벽식공동주택의 층수에 따라 PHC말뚝의 직경을 차별화하여 일괄적으로 적용하고 있다(표 1 참조). 최근 공사의 사업여건이 다양화됨에 따라 중저층의 벽식공동주택이외에

도 30층 이상의 초고층 벽식공동주택의 건립이 예상되고 있고, 공사에서 공급하는 벽식공동주택의 건설공사비 절감 노력이 지속적으로 요구되고 있어, 공사에서 공급하는 중고층에서 초고층에 이르는 벽식공동주택의 층수별 최적 PHC말뚝 직경의 제안을 통한 기초설계의 효율성을 제고하는 것이 필요한 실정이다. 따라서 이 논문에서는 공사에서 공급하는 벽식공동주택(전용면적 74m², 84m²)을 대상으로 15층에서

본 논문은 토지주택연구원의 '말뚝기초의 설계법 선진화 및 시공법 다양화 연구'의 일부분을 정리한 내용입니다.

1) 토지주택연구원 수석연구원(주저자: bslee417@LH.or.kr)

2) 토지주택연구원 수석연구원(교신저자: jbpark@LH.or.kr)

3) 토지주택연구원 수석연구원

4) 한국토지주택공사 주택사업2처 구조설계부 부장

5) 한국토지주택공사 주택사업2처 구조설계부 차장

표 1. 말뚝기초 적용 기준 (LH)

지반 종류	25층 이하		26층 이상 35층 이하		35층 초과	
	규격	설계 지지력	규격	설계 지지력	규격	설계 지지력
SC ¹⁾	D450	1000 (kN/본)	D500	1200 (kN/본)	D600	1600 (kN/본)
SD ²⁾ ~SE ³⁾	지구여건에 따라 설계지지력 감 적용 가능					

1) 매우 조밀한 토사지반 또는 연암지반(전단파속도 VS,30 360~760m/s)

2) 단단한 토사지반(전단파속도 VS,30 180~360m/s)

3) 연약한 토사지반(전단파속도 VS,30 180m/s 미만)

40층으로 층수를 보다 세분화하고 기초설계를 수행하여 25층 이하의 벽식공동주택의 다양한 층수변화에 보다 효율적인 PHC말뚝직경과 30층 이상의 초고층 벽식공동주택에 적합한 PHC말뚝직경을 제안하였다. 이 논문의 연구결과는 공사에서 공급하는 벽식공동주택의 기초설계 시 유용하게 활용되어 기초설계의 효율성을 제고하고, 기초공사 공기와 공사비 절감에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 벽식공동주택 기초설계

2.1 개요

본 연구에서 검토한 공사의 공동주택 모델은 경기도 하남시에 공급예정인 하남 보금자리 A28BL의 적용예정인 전용면적 74m², 84m² 공동주택이다. 벽식구조의 공동주택 모델을 대상으로 층수를 15층, 20층, 25층, 30층, 35층, 40층으로 다양화하여 상부구조물에 대한 구조해석을 수행한 후, 동 해석결과에 기초하여 PHC말뚝의 직경별 배치를 수행하고 기초판 설계를 수행하였다.

15층~40층에 달하는 벽식구조 공동주택의 구조설계 시 적용한 기준은 건축구조기준(KBC 2009)이며, 공동주택의 구조해석에는 범용구조해석으로 공사 공동주택의 해석과 설계에 널리 사용되고 있는 MIDAS GEN을 사용하고, 기초판은 MIDAS SDS를 사용하여 해석하였다.

기초설계에 사용된 벽식공동주택의 기준층 평면도와 구조도는 그림 1과 같다. 구조물에 작용하는 고정하중과 활하중은 KBC 2009에서 정의하고 있는 하중을 반영하였다. 벽식공동주택의 구조해석 시 공사에서 정의하고 있는 층수별 철근과 콘크리트의 강도조합을 사용하였으며, 기초판의 설계에는 압축강도 24MPa의 콘크리트와 SD600인 D16, 19철근을 사용하였다(표 2 참조).

벽식공동주택의 상부구조와 기초판의 해석과 설계에 사용된 구조재료의 강도조합은 표 2와 같으며, PHC 말뚝 설계 시 사용한 PHC말뚝의 직경별 성능은 표 3과 같다.

(a) 기준층 평면도

(b) 기준층 구조도

그림 1. 최적 PHC 말뚝 선정을 위한 해석모델

표 2. 구조해석 시 사용한 콘크리트와 철근의 강도조합

구 분		층	구 분	강 도
콘크리트	공동주벽	16층~20층 이하	6층 벽체 이상	24N/mm ²
			6층 바닥~최하층 벽체	27N/mm ²
		21층~30층 이하	11층 벽 이상	24N/mm ²
			11층 바닥~최하층 벽체	27N/mm ²
		31층~40층 이하	21층 벽 이상	24N/mm ²
			21층 바닥~11층 벽체	27N/mm ²
	11층 바닥~최하층 벽체		30N/mm ²	
	최하층 바닥 및 기초	-	-	24N/mm ²
철 근		°D13 이하 : $f_y = 500 \text{ N/mm}^2$ (SD500)		
		°D16 이상 : $f_y = 600 \text{ N/mm}^2$ (SD600)		

표 3. 기초설계에 사용한 PHC 말뚝 제원(A종)

외경 (D, mm)	두께 (mm)	기준휨모멘트 (Mcr, tf-m)		허용 축하중 (tf)	말뚝길이(15m) 및 중량(tf)
		균열	파괴		
500	80	10.5	15.8	173	4.11
600	90	17.0	25.5	236	5.62
700	100	27.0	40.5	309	7.35
800	110	40.0	60.0	391	9.29
900	120	55.0	82.5	483	11.46
1000	130	75.0	112.5	584	13.85
1100	140	95.0	142.5	693	16.46
1200	150	120.0	180.0	812	19.29

2.2 벽식공동주택 구조해석

건축구조설계기준(KBC 2009)에서 정의하고 있는 공동주택의 구조해석방법에 의거 공사에서 공급하는 전용면적 74m², 84m² 공동주택을 대상으로 15층에서 40층까지 층수를 달리하여 구조해석을 수행하고 층수별 기초판의 두께를 산정하였다.

벽두께 내벽 150 외벽/코아 200	벽두께 내벽 180 외벽/코아 200	벽두께 내벽 200 외벽/코아 250	벽두께 내벽 200 외벽/코아 300	벽두께 내벽 250 외벽/코아 300	벽두께 내벽 300 외벽/코아 300
기초두께 700	기초두께 900	기초두께 1100	기초두께 1300	기초두께 1600	기초두께 1800
(a) 74+84-15F	(b) 74+84-20F	(c) 74+84-25F	(d) 74+84-30F	(e) 74+84-35F	(f) 74+84-40F

그림 2. 벽식공동주택 층수별 구조해석 결과 및 기초두께(단위 : mm)

표 4. 벽식공동주택(74+84m²) 층수별 말뚝배치 결과

PHC말뚝	파일내력	15층	20층	25층	30층	35층	40층
D450	1000 (kN/본)	208본(100%) 905.2kN/본 (90.5%)	270본(100%) 915.6kN/본 (91.6%)	348본(100%) 916.2kN/본 (91.6%)	-	-	-
D500	1200 (kN/본)	175본(84.13%) 1075.8kN/본 (89.7%)	231본(85.58%) 1070.2kN/본 (89.2%)	298본(85.63%) 1069.9kN/본 (89.2%)	372본(100%) 1050.0kN/본 (87.5%)	-	-
D600	1600 (kN/본)	137본(65.87%) 1374.3kN/본 (85.9%)	171본(63.33%) 1445.8kN/본 (90.4%)	215본(61.78%) 1482.9kN/본 (92.7%)	277본(74.46%) 1410.1kN/본 (88.1%)	328본(100%) 1453.5kN/본 (90.8%)	-
D800	3000 (kN/본)	-	104본(38.52%) 2377.2kN/본 (79.2%)	121본(34.77%) 2636.7kN/본 (87.9%)	143본(38.44%) 2733.2kN/본 (91.1%)	182본(55.49%) 2629.9kN/본 (87.6%)	209본(100%) 2709.0kN/본 (90.3%)
D1000	4500 (kN/본)	-	-	88본(25.29%) 3626.0kN/본 (80.6%)	97본(26.08%) 4030.0kN/본 (89.6%)	118본(35.98%) 4029.8kN/본 (89.6%)	143본(68.42%) 3961.4kN/본 (88.0%)
D1200	6500 (kN/본)	-	-	-	78본(20.97%) 5033.6kN/본 (77.4)	86본(26.22%) 5563.0kN/본 (85.6%)	101본(48.33%) 5629.0kN/본 (86.6%)

그림 2는 벽식공동주택의 층수별 구조해석 결과 도출된 벽 두께와 기초판의 두께를 나타내고 있다.

2.3 벽식공동주택 층수별 말뚝설계

일반적으로 사용재료와 설계상의 안전율 등을 고려하여 85%~90% 정도의 효율로 PHC말뚝을 배치하고 있으므로 이를 반영하고, 층수에 따라 말뚝배치의 효율과 시공성 등을 고려하여 벽식공동주택의 층수별 PHC말뚝 배치를 수행하였다 (표 4 참조).

층수에 따른 벽식공동주택의 말뚝배치 결과, 15층 저층 공

공동주택의 경우 공사기준인 PHC 450 말뚝의 경우 208본으로 PHC 600 중구경 말뚝으로 대체할 시 137본으로 말뚝 본수가 약 34% 감소되는 것으로 나타났다. 20층 공동주택의 경우 PHC 600 중구경 말뚝으로 대체할 시 171본으로 PHC 450 말뚝의 270본과 비교하여 말뚝 본수가 약 36% 감소되며, PHC D800 대구경 말뚝으로 대체할 시 말뚝본수는 약 61% 감소하는 것으로 나타났다. 25층 공동주택의 경우 PHC 450 말뚝으로 설계할 시 348본의 말뚝이 필요하나, PHC 600, PHC 800 말뚝으로 설계할 경우 각각 215본과 121이 소요되어 약 38%, 65%의 말뚝본수가 감소되는 것으로 나타났다. 초고층

공동주택인 30층의 경우 PHC 500 대비 PHC 1000을 적용하였을 경우 말뚝본수는 약 73% 감소하며, 35층은 PHC 600 대비 PHC 1200을 적용하였을 경우 말뚝본수는 약 74% 감소하는 것으로 나타났다. 40층은 PHC 800 대비 PHC 1200을 적용하였을 경우 말뚝본수는 약 51%, 감소되는 것으로 나타났다.

PHC 말뚝의 배치효율과 시공성만을 고려한 층수별 벽식공동주택의 적정 말뚝직경은 15층의 경우 D450, D500, 20층의 경우 D500, D600, 25층의 경우 D500~D800, 30층의 경우 D800~D1000, 35층의 경우 D800~D1200, 40층의 경우는 D800~D1200로 평가되었다.

표 4는 PHC말뚝 직경에 따른 층수별 말뚝 본수와 말뚝본수 저감율 등 PHC말뚝 배치결과를 정리하여 나타내고 있다. 그림 3은 벽식공동주택의 층수별 공사의 말뚝배치 기준과 연구결과 도출된 대안 PHC말뚝의 배치현황을 비교하여 나타내고 있다. 공사 말뚝배치기준에 의하면 벽식공동주택의 층

수가 35층을 초과할 경우 D600인 PHC말뚝을 적용하여야 하나 말뚝배치 결과 D600인 PHC말뚝의 배치가 시공성이 어려울 것으로 판단되어 D800이상의 말뚝을 배치하였다.

2.4 벽식공동주택 층수별 기초판 설계 결과

15층에서 40층에 이르는 6종류의 벽식공동주택 층수와 25종류의 PHC말뚝 배치 결과 중 층수별 공사의 말뚝배치 기준과 말뚝의 배치효율과 표 4 등을 참고하여, 공사지침 상의 PHC말뚝과 대안 PHC말뚝 등 층수별 2종류의 말뚝을 대상으로 기초판 설계를 수행하고 콘크리트와 철근의 물량을 산출하였다. 35층과 40층의 경우는 시공성 등을 고려하여 공사기준인 PHC 600의 말뚝의 효율적인 배치가 어려울 것으로 판단되어 PHC 800 말뚝을 비교대상 기준모델로 선정하고 기초판 설계를 수행하였다.

6개 종류의 벽식공동주택(15층~40층) 기초판 모델 중 25

그림 3. 벽식공동주택 층수별 말뚝배치 비교

층 모델에 대한 기초판 콘크리트와 철근의 물량산출 내역은 다음과 같으며, 나머지 모델의 콘크리트와 철근물량도 다음 산출내역과 동일한 방법으로 산출하였다. 그림 4는 벽식공동

주택의 기초판 설계 시 사용한 기초판의 해석결과 중 X방향 기초판의 응력방향과 분포에 기초하여 철근을 배근한 배근도를 나타내고 있다.

그림 4. 벽식공동주택 층수별 기초판 해석결과 및 철근배근 비교

그림 4. 벽식공동주택 층수별 기초판 해석결과 및 철근배근 비교(계속)

2.4.1 LH공사 기준 (PHC 500)

① 콘크리트(24MPa) 물량

◦기초판 면적 : 924.07m², 기초판 콘크리트 물량 : 924.07m²

$$\times 1.1\text{m} = 1,016.48\text{m}^3$$

② 철근물량

◦기본 철근량 : $924.07 \times 4 \times 2 \times 2 \times 1.56 = 23,064.79\text{kg}$

- X방향 보강근 : (면적 × 1m폭 내 철근 대수 × 상하 × 가로세로 × D16 철근중량)
 $(30.17 + 9.38 \times 2 + 9.0 \times 2 + 19.42 + 6.57 + 3.13 + 6.25 + 9.73 + 10.06) \times 4 \times 1 \times 1.56 = 761.84\text{kg}$
- Y방향 보강근 : (면적 × 1m폭 내 철근 대수 × 상하 × 가로세로 × D16 철근중량)
 $(6.42 + 9.0 \times 2 + 8.1 \times 3 + 7.03 + 6.25 + 7.96 \times 2) \times 4 \times 1 \times 1.56 = 536.76\text{kg}$
- 전체 철근량 : $23064.79 + 761.84 + 536.76 = 24,530.15\text{kg}$
 (D16, 24.53ton)

2.4.2 대안 PHC말뚝 (PHC 800)

① 콘크리트(24MPa) 물량

- 기초판 면적 : 934.93m^2 , 기초판 콘크리트 물량 : $934.93\text{m}^2 \times 1.1\text{m} = 1,028.42\text{m}^3$

② 철근물량

- 기본 철근량 : $934.93 \times 4 \times 2 \times 2 \times 1.56 = 23,335.85\text{kg}$
- X방향 보강근 : (면적 × 1m폭 내 철근 대수 × 상하 × 가로세로 × D16 철근중량)
 $(6.81 + 6.9) \times 4 \times 2 \times 2.25 + 6.81 \times 4 \times 1 \times 2.25 = 308.07\text{kg}$
- Y방향 보강근 : (면적 × 1m폭 내 철근 대수 × 상하 × 가로세로 × D16 철근중량)
 $(5.41 \times 2 + 8.0 \times 2 + 6.75 + 9.33) \times 4 \times 2 \times 2.25 = 772.20\text{kg}$
- 전체 철근량 : $23,335.85 + 308.07 + 772.20 = 24,416.12\text{kg}$
 (D16, 24.42ton)

벽식공동주택의 층수별 기초판 설계결과, 15~20층까지의 공동주택에서 대안 PHC말뚝이 콘크리트와 철근의 물량이 기준 PHC말뚝 대비 약 2% 증가하는 것으로 나타났다. 25층

표 5. 벽식공동주택의 층수별 기초판 콘크리트와 철근 물량

층 수	콘크리트 (m ³)			철근 (ton)		
	공사기준	대안	비율	공사기준	대안	비율
15층	D450	D600	102.36	D450	D600	101.96
	635	650		14.25	14.53	
20층	D500	D800	102.92	D500	D800	102.61
	822	846		19.16	19.66	
25층	D500	D800	101.18	D500	D800	99.55
	1,016	1,028		24.53	24.42	
30층	D600	D1000	99.75	D600	D1000	93.00
	1,222	1,219		36.58	34.02	
35층	D800	D1200	102.35	D800	D1200	111.21
	1,575	1,612		41.39	46.03	
40층	D800	D1200	104.73	D800	D1200	130.64
	1,820	1,906		49.96	65.27	

※ 철근 : D16, SD600(15층~ 30층), D19 SD600(35층, 40층)

의 경우 15층과 20층 보다 대안 PHC말뚝의 콘크리트와 철근 물량이 기준 PHC말뚝 대비 점진적으로 감소하여, 30층의 경우는 콘크리트와 철근물량 모두 기준 PHC 말뚝보다 작게 산출되었다. 35층 이상 초고층 공동주택의 경우, 비교대상 PHC 말뚝이 직경 800mm인 대구경 PHC말뚝으로 직경 1200mm인 대안 PHC말뚝과 비교하여 콘크리트 물량은 약 4% 증가하며, 기초판의 X방향, Y방향의 추가적인 보강근의 증가로 인하여 철근물량은 약 30% 증가하는 것으로 나타났다.

표 5는 기초판의 설계결과 산출한 층수별 콘크리트와 철근 물량을 나타내고 있다.

3. 벽식공동주택 기초공사 경제성 평가

3.1 말뚝공사비

벽식공동주택의 층수별 말뚝공사비는 표 4에 기초하여 말뚝공사에 소요되는 자재비와 시공비, 장비의 1일 시공량에

표 6. PHC 말뚝 직경별 공사비 비교

(단위 : 천원)

층수	말뚝 직경	자재비+시공비		자재비+시공비+장비비	
		공사비	비율(%)	공사비	비율(%)
15층	450*	261,522	100	263,122	100
	500	252,170	96.4	253,837	96.5
	600	247,193	94.5	248,793	94.6
20층	450※	339,476	100	341,476	100
	500	332,864	98.1	335,031	98.1
	600	308,541	92.7	310,540	92.7
	800	305,500	90.0	309,167	90.5
25층	450※	437,547	100	441,414	100
	500	429,409	98.1	440,381	99.8
	600	387,931	90.3	390,331	88.6
	800	355,437	81.2	359,771	81.5
	1,000	371,405	84.9	375,738	85.2

※ LH 말뚝배치 기준

층수	말뚝 직경	자재비+시공비		자재비+시공비+장비비	
		30층	비율(%)	공사비	비율(%)
30층	500*	536,041	100	539,541	100
	40층	499,800	93.2	502,000	93.2
	800	420,062	78.4	425,062	78.8
	1,000	409,390	76.4	414,156	76.8
	1,200	433,483	80.8	439,483	81.5
35층	600※	591,821	100	595,621	100
	800	534,625	90.3	540,958	90.8
	1,000	498,020	84.2	504,087	84.6
	1,200	477,943	80.1	484,443	81.3
40층	800	613,937	100	620,937	100
	1,000	603,533	98.3	610,467	98.3
	1,200	561,305	91.4	568,805	91.6

표 7. 공동주택 기초공사비 중 말뚝공사비 비율

층수	말뚝 직경	말뚝공사비 (A)	기초공사 재료비 합계 (천원, B)	비율 (A/B, %)
15층	D450	263,122	313,277	83.99
	D600	248,793	300,102	82.90
20층	D500	335,031	400,646	83.62
	D800	309,167	378,630	82.09
25층	D500	440,380	522,074	84.35
	D800	359,771	442,225	81.35
30층	D600	502,999	607,614	82.78
	D1000	414,156	516,372	80.20
35층	D800	540,958	670,719	80.65
	D1200	484,443	620,510	81.24
40층	D800	620,937	772,772	80.35
	D1200	568,805	739,247	76.94

※ 말뚝공사 재료비 = 말뚝자재비 + 시공비 + 장비설치비 + 간접비 요율

※ 기초공사 재료비 합계 = 말뚝공사 재료비 + 기초판 철근 + 콘크리트 재료비

표 8. 벽식공동주택 층수별 기초판 공사비

층수	말뚝 직경	철근 (A)			콘크리트 (B)			재료비 합계 (천원, A+B)	비율(%)
		중량(t)	재 료 비	비율(%)	체적(m ³)	재 료 비	비율(%)		
15층	D450	14.25	12,540	100	635	37,614	100	50,154	100
	D600	14.53	12,786	101.9	650	38,522	102.4	51,308	102.3
20층	D500	19.16	16,861	100	822	48,756	100	65,617	100
	D800	19.66	17,391	102.6	846	50,162	102.9	67,552	102.9
25층	D500	24.36	21,437	100	1,016	60,257	100	81,694	100
	D800	24.42	21,490	100.2	1,028	60,965	101.2	82,455	100.9
30층	D600	36.58	32,190	100	1,222	72,424	100	104,614	100
	D1000	34.02	29,938	93.0	1,219	72,278	99.80	102,216	99.7
35층	D800	41.39	36,423	100	1,575	93,338	100	129,761	100
	D1200	46.03	40,506	111.2	1,612	95,560	102.4	136,066	104.9
40층	D800	49.96	43,965	100	1,820	107,870	100	151,835	100
	D1200	65.27	57,438	130.6	1,906	113,004	104.8	170,442	112.3

※ 철근 : HD16, HD19, SD600, 880,000원/T

※ 콘크리트 : 25-24-15, 59,280원/m³

따른 동당 소요 장비비만을 고려하여 산정하였으며, 말뚝공사비 산정 시 말뚝본수의 절감으로 인한 기초공사 공기단축 효과는 반영하지 않았다. 표 6에 의하면 직경 700mm 이상 대구경 PHC말뚝의 경우, 장비사용료가 직경 450mm, 500mm 인 기성말뚝의 장비사용료 보다 2배 이상 비싸며, 1일 시공량이 40~60%에 불과하다.

말뚝공사 시 소요되는 장비비의 포함 유무에 따른 말뚝공사비는 20층까지는 차이는 없으나, 25층의 경우 말뚝의 직경이 증가할수록 장비비 비율이 증가하여 장비비가 말뚝공사비의 0.3%에서 최대 1.7%까지 분담하는 것을 알 수 있다. 30층 이상 초고층 공동주택의 말뚝공사비 중 장비비의 비율은 25층보다 감소하여 0.1%에서 0.4% 정도인 것으로 판단된다(표 6 참조).

말뚝공사비 중 장비사용료의 비중이 말뚝공사비의 0.1%에서 1.7%에 불과하나, 건설현장의 구조물별 다양한 직경의 PHC말뚝의 적용은 장비비의 증가와 함께 현장전체의 기초공사 공기에 미치는 영향이 클 수 있으므로 기초공사 말뚝설계 시 효율적인 말뚝선정에 대한 노력이 요구된다. 벽식공동

주택 층수별 말뚝공사시의 자재비와 시공 및 장비비를 반영한 층수별 적정 말뚝직경은 앞서 기술한 말뚝의 배치효율을 고려한 말뚝직경과 큰 차이가 없는 것으로 판단된다.

그리고 PHC말뚝의 직경이 증가함으로 인하여 발생하는 재료비가 전체 기초공사 재료비의 80~85%에 달하는 것을 알 수 있다. 곧, PHC 말뚝의 대구경화가 공동주택 기초공사비에 주된 영향을 미치므로 공동주택 층수별 PHC말뚝의 선정 시 유의하여야 함을 알 수 있다(표 7 참조).

표 7은 전체 기초공사 재료비 중 말뚝공사 재료비가 차지하는 비율을 나타내고 있다.

3.2 기초판 공사비

기초설계 결과에 기초한 벽식공동주택의 층수변화에 따른 기초판에 대한 해석과 설계를 수행하여, 기초판 공사비(철근, 콘크리트 재료비)를 산정하였다. 15층에서 25층까지 대안말뚝(PHC 600, PHC 800) 적용 시의 기초기초판 재료비는 기준말뚝(PHC 450, PHC 500) 대비 2% 전후 증가하는 것으로 나타났다. 30층인 경우 대안말뚝(PHC 1000)의 재료비는 기준

그림 5. PHC 말뚝의 대구경화에 따른 벽식공동주택 층수별 기초(말뚝+기초판)공사비 비교

말뚝(PHC 600)의 재료비의 약 99.7%로 기준말뚝(PHC 600)과 유사하며, 35층, 40층인 경우, 대안말뚝(PHC 1200)의 재료비는 기준말뚝(PHC 800) 대비 약 4%, 12% 정도 상승하는 것으로 나타났다. 40층 벽식공동주택을 제외하면 말뚝의 대구경화에 따라 기초판의 철근과 콘크리트 재료비는 최대 5% 정도 증가하는 것으로 나타났다.

이러한 결과는 층수별 기준이 되는 말뚝과 비교하여 대구경 PHC말뚝이 적용됨에 따라 기초판 면적의 증가와 이와 연계하여 콘크리트와 철근의 물량의 증가에 기인한 것으로 판단된다.

표 8은 벽식공동주택의 층수별 기초판의 철근과 콘크리트 공사비를 나타내고 있다.

3.3 벽식공동주택 기초공사 경제성 평가 결과

벽식공동주택을 대상으로 층수별 말뚝공사비와 기초판 재료비를 종합한 기초공사비를 산정한 결과, 15층 공동주택의 경우, 기존 PHC 450 대비 PHC 600이 약 4%정도 저렴하며, 고층 공동주택인 20층, 25층의 경우 PHC 450 대비 PHC 800, PHC 1000의 적용 시 공사비는 약 5%, 15% 절감되는 것으로 나타났다. 초고층 공동주택의 경우, 30층은 기존 PHC 600 대비 PHC 1000은 약 15% 정도 절감되며, 35층, 40층은 PHC 800 대비 PHC 1200은 약 7%, 4%정도 절감되는 것으로 평가되었다(그림 4 참조).

35층 이상 초고층 공동주택의 경우 직경 1200mm인 대구경말뚝(PHC 1200)의 적용 시 직경 800mm인 대구경말뚝보다 기초공사비가 절감되는 것으로 나타났으나, 대구경말뚝의 생산 현황, 이의 시공에 필요한 장비수급 여건 및 현장기술자의 작업여건 등을 종합적으로 고려하면 현재는 직경 800mm의 대구경말뚝의 적용이 타당한 것으로 판단된다.

본 장에서 기술한 벽식공동주택의 층수에 따른 기초공사비는 기초공사 수행 시 소요되는 말뚝공사비와 기초판의 재료비만 평가한 것으로, 층수에 따른 적정 PHC말뚝의 적용 시 말뚝본수의 저감으로 인한 공기단축 효과를 고려하면 대구경 PHC말뚝의 적용효과는 보다 더 클 것으로 기대된다. PHC 말뚝의 대구경화에 따라 기초공사비가 전반적으로 감소하므로, PHC 말뚝의 대구경화가 공동주택 기초공사비에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

4. 결론

벽식공동주택의 층수별 최적 PHC말뚝을 제안하기 위하여, 15층에서 40층에 이르는 벽식공동주택의 상부구조물에 대한 구조해석을 수행하고 해석결과에 기초하여 층수별 기초설계를 수행하였으며, 연구결과 도출된 결론은 다음과 같다.

1. 15층 벽식공동주택의 경우 PHC 450 대비 PHC 600의 기초공사비가 약 4%정도 경제적이며, 고층 벽식공동주택인 20층, 25층의 경우 PHC 500 대비 PHC 800의 적용 시 기초공사비가 약 5%, 15% 절감되는 것으로 나타났다.
2. 30층 벽식공동주택의 경우 PHC 600 대비 PHC 1000의 기초공사비가 약 15% 경제적이며, 35층이상의 경우 PHC 800 대비 PHC 1200의 기초공사비가 약 7.5%, 4.5% 경제적인 것으로 나타났다. 30층이상 초고층 공동주택의 경우 PHC 1000이상의 대구경 PHC말뚝의 경제성이 우수한 것으로 나타났으나, 대구경 말뚝의 생산 현황, 시공을 위한 장비수급과 기술자의 작업여건 등을 고려하면 현재는 PHC 800의 대구경 말뚝의 적용이 적절한 것으로 판단된다.
3. 벽식공동주택의 층수별 제안된 PHC말뚝의 적용 시 말뚝본수의 저감으로 인한 공기단축 효과를 고려하면 기초공사비 절감효과는 더욱 클 것으로 기대된다.
4. 벽식공동주택이 고층화 될수록 대구경 PHC말뚝의 경제성이 우수한 것으로 판단되므로 이의 실용화를 위한 설계, 시공 및 품질관련 분야의 기술기반 구축 및 지침수립이 조속히 필요한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 국토해양부(2009), 「건축구조설계기준(KBC 2009)」, 대한건축학회, pp. 63~116.
2. LH공사(2010), 「건축구조설계지침 2010」, LH공사, pp. 13~18.
3. 박종배, 김상연, 이범식, 박용부, 임해식, 최정륜, 김동수, 김범주(2011), 「말뚝기초의 설계법 선진화 및 시공법 다양화」, 토지구택연구원, pp. 90~173.