PHC 말뚝머리 규격별 최적보강량

Optinum reinforcement amount of PHC pile head by size

박종배[1], Jong-Bae Park, 천영수[1], Young-Soo Chun, 심영종[2], Sim, Young Jong, 박용부[1], Park, Yong-Boo

[1] 한국토지주택공사 토지주택연구원 수석연구원
[2] 한국토지주택공사 토지주택연구원 책임연구원

1. 서 론

토지주택연구원은 2009년 2월에 건축구조물에 사용되는 PHC 450 말뚝에 대한 말뚝머리 보강방법 개선에 대한 연구를 완료하였다. 본 연구에서 기존에 많이 사용하는 강선남김 방식이 시공성, 안전성 등의 많은 문제점이 있어서 원컷팅 후 철근망을 보강하는 방식을 제안하고 이들 방식에 대한 역학성능을 비교 시험하였다.

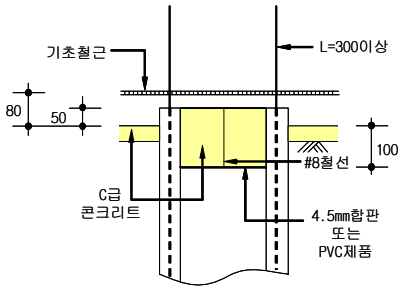

그림 1. 기존의 PHC 말뚝머리 보강법
(강선남김방식)

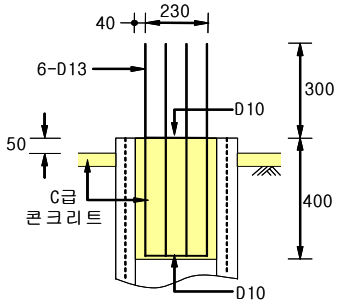

그림 2. LH의 신 PHC 말뚝머리 보강법
(철근보강방법)

역학성능실험은 실제 크기로 이루어졌으며 압축, 전단, 휨인발 및 순수인발 실험을 수행하였다. 실험결과 모든 항목에서 새로 제시한 철근보강방법의 역학성능이 기존의 강선남김 방식 보다 우수한 것으로 나타났다(박 2009).

그런데 실험결과를 설계요구치와 비교했을 때 철근보강 방식의 성능이 설계요구치 보다 필요 이상으로 크다는 것을 알게 되었는데 이때 주철근은 13mm 6가닥 이었다. 이에 보강철근량을 최적화하면 보강코스트를 절감할 수 있을 것이라 판단되었다. 또한, 2009년 발주 분부터 LH 공사의 건축용 말뚝으로 PHC 450뿐 아니라 PHC 500 및 PHC 600도 사용하게 되어 이들 말뚝에 대해서도 최적 보강상세를 개발하는 것이 필요하게 되었다. 이에 2차 연구를 2009년 6월부터 수행하게 되었으며 본 논문은 2차 연구의 일부 내용이다.

2. 말뚝머리 규격별 역학성능실험 개요

PHC 450, 500 및 600 말뚝의 머리부 최적 보강량을 결정하기 위하여 역학성능 실험을 실대형으로 수행하였다.

2.1 실험체 개요

PHC 말뚝의 최적 철근량을 산정하기 위하여 현장타설 말뚝에 일반적으로 사용하는 최대, 최소 철근량 기준을 참고하였다(표 1 참조)

표 1. 현장타설 말뚝의 최대・최소 철근보강량, ()안은 일본 국철기초표준 기준

항 목	최 대	최 소
철근량	6% (6%)	0.4% (0.2%)
직경	(32mm)	22mm (19mm)
순간격	(400mm)	철근지름의 2배, 또는 조골재 최대치수의 2배 이상
갯수		6개

표 1의 현장타설 말뚝의 최소 철근량 및 기존의 강선남김 방식에서 콘크리트 단면적 대 강선면적 비를 참고하여 규격별 말뚝머리 철근보강량을 0.3%로 하였으며 말뚝규격별 보강상세는 표 2와 같다.

표 2. 규격별 말뚝머리 철근보강 상세

말뚝규격	구분	철근면적(mm^2)	철근비(%)	보강심도(cm)
PHC 450 (159,043mm^2)	SD13 4가닥	530.9	0.33	40
	SD10 6가닥	471.2	0.3	40
PHC 500 (196,350mm^2)	SD10 8가닥	628.3	0.32	40
PHC 600 (282,743mm^2)	SD13 6가닥	796.4	0.28	40

표 1에서 보면 1차 연구에서는 PHC 450의 경우에 SD13 6가닥을 보강하였으나 철근비 0.3%에 맞추기 위해서는 SD13 4가닥이면 충분한 것으로 계산되었고 이는 SD10 6가닥도 유사한 철근비를 나타낸다. 역학적으로는 동일한 철근비에서 4가닥 보다는 6가닥으로 보강하는 것이 더 유리한 것으로 사료되었으며 실험을 통하여 최적철근 상세를 결정하기로 하였다.

2.2 실험 개요

표 2에서 제시한 말뚝규격별 철근보강상세의 적합성을 검증하기 위하여 표 3과 같이 수평전단 및 순수인발 실험을 실시하였다.

표 3. 순수인발 및 수평전단 실험의 실험체 일람

구분	PHC 450	PHC 500	PHC 600
순수인발실험	4-D13	8-D10	6-D13
	6-D10	-	-
수평전단실험	6-D10	8-D10	6-D13
수량	3	2	2

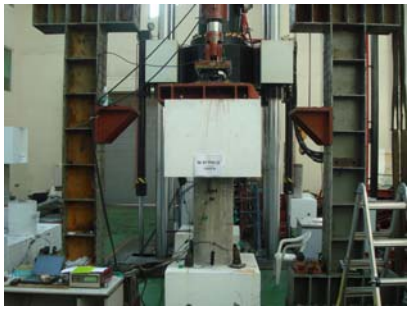

그림 3. 순수인발실험세팅 상황

그림 4. 전단실험 세팅 상황

3. 역학성능실험 결과

3.1 순수인발실험 결과

순수인발실험체별 실험결과일람을 표 4에 나타내었으며, 실험체별 하중-변위곡선의 비교그래프를 그림 5와 같다.

표 4. 순수인발실험결과일람

파일규격	보강방법	최대하중(tonf)	최대하중 시 변위(mm)
PHC450	6-D10	21.9	2.0
	4-D13	25.1	2.0
PHC500	8-D10	25.1	3.6
PHC600	6-D13	47.2	2.7

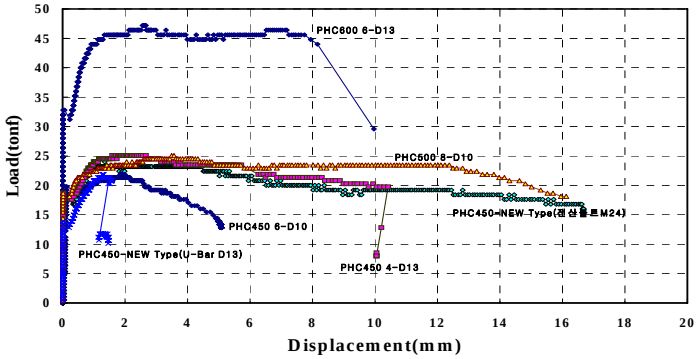

그림 5. 순수인발 실험체별 하중-변위곡선 비교

인발실험결과 그림 5의 하중-변위관계곡선을 보면 각 규격별 실험체가 모두 극한상태에 도달한 것을 볼 수 있다. 극한상태에서 PHC 450 말뚝에서 D10 6가닥의 인발 최대하중은 21.9tonf으로 D13 4가닥의 25.1tonf 보다는 작게 나왔지만 큰 차이는 아닌 것으로 나타났다. 1차 연구에서 PHC 450을 D13 6가닥으로 보강했을 때 최대인발하중은 25.2tonf를 나타내어 D13 4가닥을 사용했을 때와 동일한 인발내력을 나타내었다.

PHC 500의 D10 8가닥과 PHC 450의 D13mm 4가닥의 인발실험결과가 유사하게 나타났다. PHC 600의 D13 6가닥은 47.2tonf의 최대인발하중을 나타내어 다른 말뚝들에 비하여 2배 가까운 인발내력을 나타내었다.

3.2 수평전단실험 결과

순수전단 실험체별 실험결과일람을 표 5에 나타내었으며, 실험체 변수별 하중-변위곡선의 비교그래프를 그림 6에 나타내었다.

표 5. 순수전단실험 결과일람

파일규격	보강방법	최대하중 (tonf)	최대하중 시 변위(mm)
PHC450	6-D10	104.0	6.8
PHC500	8-D10	121.0	7.7
PHC600	6-D13	145.6	8.9

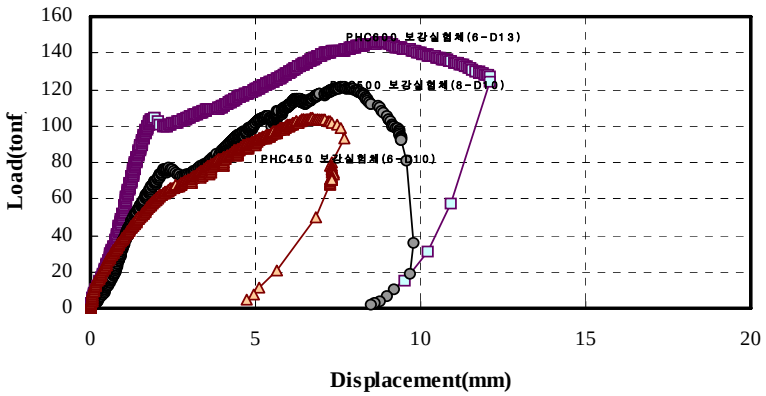

그림 6. PHC파일 규격별 순수전단실험 결과 비교

수평전단실험결과 1차 연구결과 보다 매우 큰 수평내력값을 나타내었다. 말뚝규격별로 극한수평하중은 104.0 ~ 145.0tonf를 나타내었는데 1차 연구에서 PHC 450 D13 6가닥으로 보강했을 때의 극한수평하중인 30.0tonf 보다 3배 이상 큰 값을 나타내었다. 2차 연구에서 수평내력이 이렇게 크게 증가한 이유는 1차 연구에서는 전단실험시 말뚝머리에 아파트의 자중에 해당하는 연직하중을 가하지 않았고 2차 연구에서는 실제 상황을 반영하여 말뚝머리에 아파트 자중에 해당하는 하중을 가한 상태에서 수평전단실험을 하였기 때문이다.

4. 건축물 말뚝머리에 작용하는 설계하중과 역학성능실험 결과 비교분석

4.1 아파트 말뚝에 작용하는 설계하중

LH공사의 아파트 규격별 표준층에 대해서 아파트 자중과 지진하중을 고려했을 때 말뚝머리에 작용하는 설계하중을 해석하면 표 6과 같다. 설계사정상 PHC 450의 사용한 아파트 단면은 PHC 500 및 PHC 600을 사용한 아파트 단면과 다른 것을 해석에 사용하였다.

표 6. 아파트에 의해 말뚝머리에 작용하는 설계하중

분류	25층	30층	35층	
	Φ450 (fp=100tonf)	Φ500 (fp=120tonf)	Φ500 (fp=120tonf)	Φ600 (fp=160tonf)
파일갯수 (ea)	283	249	304	226
연직하중합(tonf)	27,282	26,136	29,503	29,503
연직하중시 파일수직반력 (tonf/ea)	96.4	110	100	140
지진하중 작용시 파일수직반력 (약측/강측)(tonf/ea)	78.9/113.8	92/128	70/130	122/158
지진하중시 수평반력합 (tonf)	1,104	631	641	641
지진하중에 의한 파일수평반력 (tonf/ea)	3.9	2.5	2.1	2.8

해석결과 지진하중과 아파트 자중이 작용하는 상황에서 모멘트와 인발력은 작용하지 않고 연직압축하중과 수평하중이 말뚝머리에 작용하는 것으로 나타났다. 실무에서 인발에 대한 염려를 하는 것은 지하층이 있는 아파트의 저층 공사 중이나, 지하주차장 공사 중 지하수위 상승에 의한 부력이 발생하는 경우 때문이며 지진하중에 의해서는 말뚝머리에 인발하중이 작용하지 않는다.

4.2 말뚝 규격별 머리부 철근보강상세의 설계조건 충족성 검토

말뚝머리 규격별 역학성능실험결과와 아파트를 지지하는 말뚝에 작용하는 설계하중을 정리하면 표 7과 같다.

표 7. 말뚝머리 타입별 역학성능실험결과 (단위 : tonf)

말뚝 규격	보강상세	역학실험 결과		설계해석 결과	
		극한 인발내력	극한 수평내력	최대 인발작용하중	최대 수평작용하중
PHC 450	D10-6	21.9	104.0	0	3.9
	D13-4	25.1	-		
PHC 500	D10-8	25.1	121.0	0	2.5
PHC 600	D13-6	47.2	145.6	0	2.8

통상적인 아파트 설계조건에서는 표에서 보듯이 최소 철근비로 말뚝머리를 보강을 하여도 충분히 설계조건을 만족시키는 것으로 나타났다.

단, 4.1에서 언급했듯이 집중호우 시에 아파트 저층공사나 지하주차장 공사 시 구조물에 부력이 발생하여 말뚝에 인발력이 작용하는 경우가 있을 수 있다. 이럴 경우 현장에서도 부력이 발생하지 않도록 조치를 하지만 부득이한 경우는 각 경우에 대해서 인발력을 체크하는 것이 필요하다.

5. 결 론

1. 기존의 강선남김 방식에 비하여 시공이 간편하고 공기단축 및 안전성 증대효과가 있는 철근보강 방식에 대하여 최

소철근비를 적용한 철근보강상세를 제시하였다.

2. 제시한 말뚝규격별 철근보강상세에 대하여 실대형 역학성능실험을 실시하고 그 결과를 아파트의 말뚝머리에 작용하는 설계하중과 비교한 결과 충분히 안전한 것으로 나타났다.
3. 본 연구에서 제시한 철근보강량은 1차 연구의 철근 보강량 보다 최고 40.8% 감소하는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 대한건축학회, “건축구조설계기준(KBC2005)”, 2005
2. 대한주택공사(2009), 건축물 말뚝기초에서의 기초판과 말뚝두부 접합부 설계에 관한 연구, 5-78.
3. 대한주택공사, “공사감독 핸드북-건축”, 2004
4. 박종배 외 2인(2009), “건축구조물 PHC 말뚝머리 보강방법에 대한 연구”, 한국지반환경공학회 봄학술발표회 논문집