

시공단계 및 온도변화에 따른 공동주택 동바리 하중변화

Load Changes of R/C Apartment under Construction according to Construction Stage and Temperature Changes



오 재 근*
Oh, Jae-Keun

1. 서론

일반적으로 층당골조공기를 6일 이상으로 시공하고 있는 국내의 공동주택은 고층화로 인하여 층당 3일~4일 공기에 대한 필요성이 대두되고 있다. 이러한 공기단축을 위해서는 골조공기 단축이 중요하다. 그런데 골조공기 단축 시 시방서에서 지정하는 거푸집 탈형 시기에 맞추어 가설계획을 세울 경우 거푸집 별수나 동바리 지지층수가 많아지므로 경제성이 떨어지게 된다. 그런데 철근콘크리트 공사에서 거푸집 공사가 차지하는 비율이 약 40%정도이므로 경제적인 시공을 위해서는 거푸집공사 비용을 줄이는 것이 필요하다. 따라서 보다 경제적인 시공을 위해서는 적은 거푸집 별수로 전용회수를 늘리는 것이 경제성에 유리하므로 설계강도 발현 이전에 거푸집을

탈형하고 동바리를 제거하며 이 때 콘크리트를 타설하게 되면 이를 지지하고 있는 슬래브는 아직 굳지 않은 상태에서 시공하중(타설하중, 작업하중, 거푸집하중 등)이 가해지게 된다. 이러한 시공하중은 <그림 1> 및 <그림 2>와 같이 시공 중인 구조물의 안전성과 사용성에 영향을 줄 수 있다.



<그림 1> 무리한 공사계획으로 인한 슬래브 붕괴

* 대림산업(주) 기술개발원 건축연구지원팀



〈그림 2〉 지주 조기제거로 인한 균열

건축물 시공 시, 보다 안전하고 경제적인 공기단축을 위해서는 시공하중에 대한 구조물의 안전성 및 사용성에 대한 검토가 선행되어야 한다. 그런데 시공 중인 건물은 시간의존 재질특성, 부재간 재령이 다르다는 점, 시공단계에 따른 하중 변화 등으로 인해 거동이 복잡해진다. 그러므로 안전성 및 사용성에 대한 검토를 올바르게 하기 위해서는 시공 중인 구조물의 시공단계에 따른 복잡한 거동을 잘 예측할 수 있어야 하고 이를 위해서는 시공 중인 구조물의 현장계측을 통하여 시공단계에 따른 거동에 대한 분석이 선행되어야 한다.

따라서 시공 중인 공동주택 현장의 현장계측을 수행하여 시공단계에 따른 구조물의 거동 변화에 대한 데이터를 수집하였다. 또한 현장계측에서 수집된 데이터를 바탕으로 시공단계에 따른 구조물의 거동을 분석하여 추후 시공 중인 구조물의 거동을 잘 예측할 수 있도록 도움을 주고자 하였다.

2. 대상현장 및 계측 계획

계측 대상현장은 골조 공기의 진행정도, 관리상의 편의성 등을 고려하여 골조공사가 진행 중인 공동주택 현장을 선정하였고 그 중에서 〈그림 3〉과 같이 바닥면적이 넓어 시공단계에 따른 시공하중과 처짐 변화 경향이 잘 나타날 것으로 예상되는 115동(57평형)을 대상 건물로 선정하였다. 대상현장의 기본 6일 공정표는 〈표 1〉과 같다. 현장계측은 실제 아파

트의 시공현황을 반영하기 위하여 〈표 2〉의 계측기간(8월 31일~년 10월 9일)동안의 일별 공정에 따라 진행되었다.

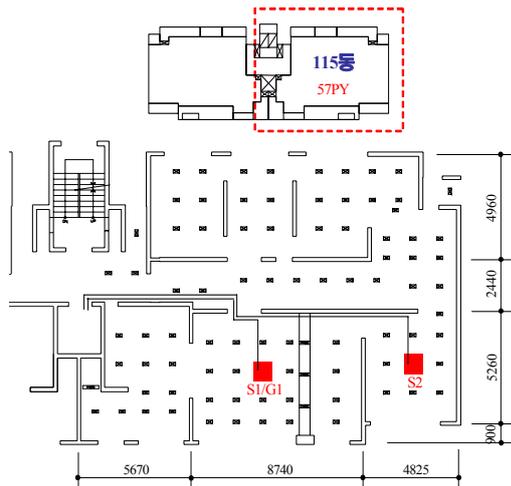
〈표 1〉 표준 6일 공정표(계측 대상현장)

		층		
		N	N-1	N-3
1일	오전	갱폼 인양		
	오후	벽 철근 배근	벽체 거푸집	
2일	오전	전기·설비	탈형	
	오후	벽체 거푸집	슬래브 거푸집	동바리 제거
3일	오전	슬래브 거푸집	탈형	
	오후	철근 인양		
4일	오전	슬래브 철근		
	오후	배근		
5일	오전	전기·설비		
	오후	검측		
6일	오전	타설		
	오후	떡매김		

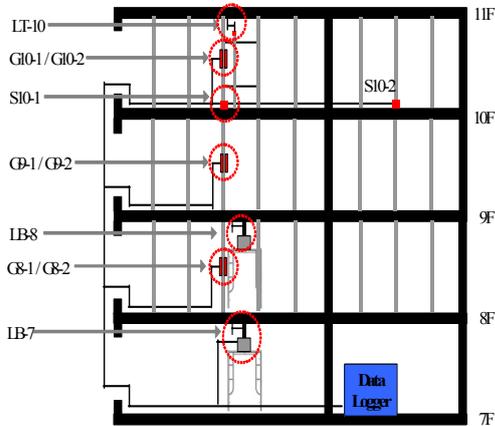
〈표 2〉 계측일별 공정

날짜	요일	시공 단계	작업
08/31	금	11-1	11층 바닥 배근
09/01	토	11-2	11층 콘크리트 타설(13:30~16:30)
09/02	일	×	작업 없음
09/03	월	11-3	10층 벽폼 탈형 및 11층 갱폼 인양
09/04	화	11-4	11층 벽 배근
09/05	수	11-5	11층 벽폼 조립
09/06	목	11-6	11층 벽/슬래브폼 조립, 8층 동바리 제거
09/07	금	11-7	11층 슬래브폼 조립
09/08	토	12-1	12층 바닥 배근
09/09	일	×	작업 없음
09/10	월	12-2	설비/검측, 12층 콘크리트 타설(16:00~19:00)
09/11	화	12-3	11층 벽폼 탈형 및 갱폼 인양
09/12	수	12-4	12층 벽 배근
09/13	목	×	작업 없음
09/14	금	12-5	12층 벽폼 조립
09/15	토	12-6	12층 벽폼 조립, 9층 동바리 제거
09/16	일	×	작업 없음
09/17	월	12-7	12층 슬래브 알폼 조립, 13층 바닥 배근
09/18	화	×	작업 없음
09/19	수	13-1	13층 바닥 배근
09/20	목	13-2	13층 콘크리트 타설(15:00~18:00)
09/21	금	13-3	12층 벽폼 탈형
09/22	토	13-4	13층 갱폼 인양
09/23	일	×	작업 없음

09/24	월	×	작업 없음
09/25	화	×	작업 없음
09/26	수	×	작업 없음
09/27	목	13-5	13층 갱폼 인양
09/28	금	13-6	13층 벽 배근
09/29	토	13-7	13층 알폼 조립 준비
09/30	일	×	작업 없음
10/01	월	13-8	13층 벽/슬래브폼 조립, 10층 동바리 제거
10/02	화	13-9	13층 슬래브폼 조립
10/03	수	14-1	14층 바닥 배근
10/04	목	14-2	14층 콘크리트 타설(13:30~16:30)
10/05	금	14-3	13층 벽폼 해체, 14층 갱폼 인양, 벽체 배근
10/06	토	14-4	벽 배근, 14층 벽폼 조립
10/07	일	×	작업 없음
10/08	월	14-5	14층 벽/슬래브폼 조립 및 11층 동바리 제거
10/09	화	15-1	15층 바닥 배근

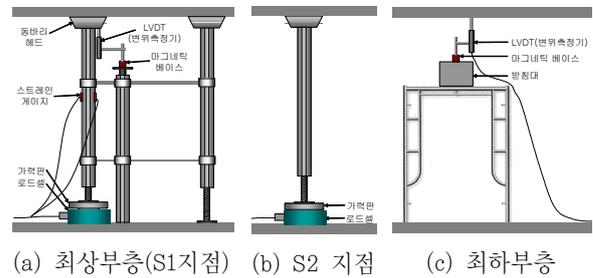


〈그림 3〉 대상건물의 동바리 위치도



〈그림 4〉 세팅상세도(11층 슬래브 타설)

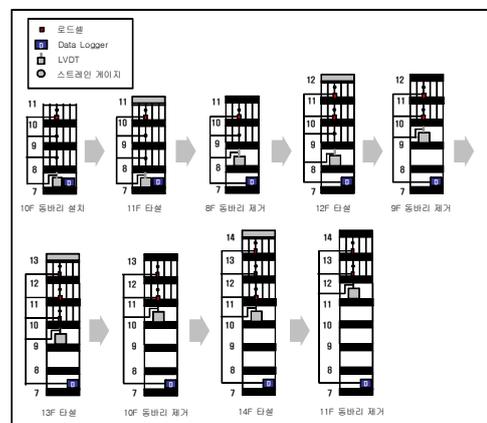
평면상 시공하중 및 처짐의 예측위치는 우선 대상 건물의 2세대 가운데 1세대를 선정하고 구조해석을 통하여 처짐이 가장 크게 발생될 것으로 예상되는 두 지점(S1, S2)의 동바리를 선정하여 〈그림 4〉~〈그림 6〉과 같이 동바리의 하부에 로드셀을 설치하여 시공단계에 따라 동바리에 전달되는 시공하중변화를 측정하였다. 그리고 〈그림 4〉의 S1구간의 동바리는 추가적으로 동바리의 중앙에 스트레인 게이지(G1, Wire Strain Gauge)를 부착하여 동바리의 변형률을 측정하였다.



〈그림 5〉 구간별 계측장치 설치 상황



〈그림 6〉 구간별 계측장치 설치 사진

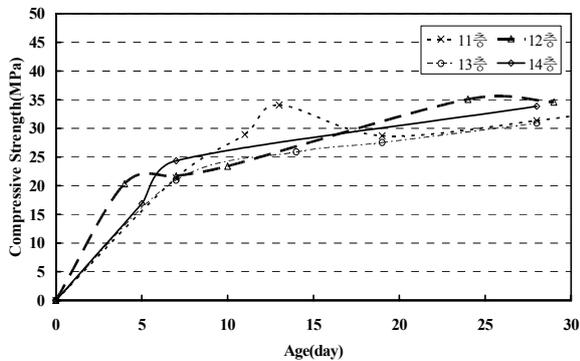


〈그림 7〉 계측 과정

또한 동바리의 변형률과 슬래브의 실제 처짐과의 관계를 파악하기 위하여 최상부층에는 <그림 4>, <그림 5(a)>, <그림 6(a)>와 같이 LVDT를 설치하였다. 당해층의 동바리가 제거된 슬래브를 기준점으로 하여 상부층 슬래브의 처짐을 산정하기 위하여 <그림 4>, <그림 5(c)>, <그림 6(c)>와 같이 동바리가 설치된 최하부층의 바로 아래층에 LVDT를 설치하여 슬래브 변위를 측정하였다. 계측은 <그림 7>과 같이 10층 거푸집 설치 과정부터 시작하여 11층 동바리가 제거되는 과정까지 측정하였다.

3. 재료시험

대상현장의 슬래브 설계강도는 24MPa이다. 각 층별로 타설일이 다르므로 각 층 슬래브는 시간별로 다른 강도를 발현하게 된다. 따라서 시공하중이 크게 변하는 시점에서 시공하중을 지지하는 모든 층의 압축강도를 측정하였다. 각 층별 공시체 압축강도 시험결과는 <그림 8>에 나타내었다.

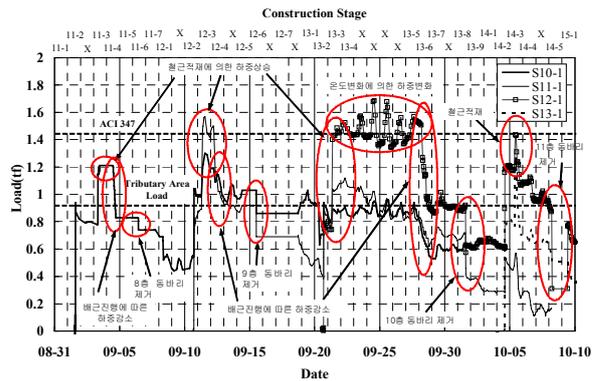


<그림 8> 각 층별 압축강도 시험결과

4. 계측결과 및 분석

<그림 9>는 10층~13층에 설치된 동바리 하부의 로드셀에서 계측된 시공단계에 따른 S1구간의 동바리 하중변화를 보여주고 있다.

각 그림의 상부에는 <표 2>의 시공단계를 나타내었다. <그림 9>의 S10-1~S13-1은 10층~13층에 설



<그림 9> 동바리 하중 변화(S1구간)

치된 동바리 가운데 S1구간의 동바리 하중변화를 나타내고 있다. 대체적으로 시공단계의 변화에 따라 큰 하중변화를 보이고 있다. <그림 9>에서 콘크리트를 타설하는 공정과 벽철근을 배근하기 이전에 벽철근을 최상층 슬래브에 적재하는 공정에서 하중이 가장 많이 상승하는 모습을 보이고 있고 적재되었던 벽철근을 배근하는 단계와 최하층의 동바리가 제거되는 단계에서 하중이 가장 많이 감소하는 것으로 나타났다.

<표 3>은 기준에서 제시하는 시공하중의 크기와 각 층 동바리의 로드셀에서 계측된 최대하중을 시공하중별로 나타낸 것이다.

<표 3> 동바리 하중 계측값 (단위 : tf)

	ACI 347	S10-1	S11-1	S12-1	S13-1
콘크리트 자중*	0.92	0.84	0.8	0.75	0.8
작업하중*	0.46	0.14	0.05	0.09	0.01
거푸집 하중*	0.07	-	-	-	-
철근 적재하중**	-	0.42	0.69	0.66	0.49

* : 동바리의 바로 상부층 콘크리트를 타설할 때 측정된 값.
예) S10-1의 콘크리트 자중은 11층 콘크리트 타설 시 측정된 값.

** : 동바리의 바로 상부층에 하중이 재하되었을 때 측정된 값.
예) S10-1의 철근 적재하중은 11층 슬래브에 철근이 적재되었을 때 측정된 값.

<표 3>의 ACI 347은 ACI 347에서 제시하는 시공하중에 따라 대상현장의 시공하중의 크기를 산정했을 때 1개의 동바리가 부담하게 되는 시공하중의 크

기를 나타낸 값이다. 1개의 동바리가 부담하는 시공 하중의 크기는 동바리의 중심간격을 고려한 동바리의 하중분담면적(1.35m×1.35m)에 재하되는 하중의 크기이다. 우선 콘크리트 자중의 경우 ACI 347에 의한 값보다 계측값이 약 9% 정도 작은 값을 나타내고 있다. Rosowsky 등의 연구 결과에서 동바리나 거푸집의 설치 상태에 의해 타설이 완료된 이후에도 동바리마다 계측되는 하중이 큰 차이를 보이는 것으로 나타나고 있기 때문에 예상값과 계측값의 차이는 동바리나 거푸집의 설치상태에 따라 분배되는 시공하중이 달라지기 때문인 것으로 판단된다. 또한 Rosowsky 등의 연구와는 달리 대상현장의 경우 벽체 거푸집이 존재하므로 시공하중이 벽체거푸집으로도 분배되기 때문인 것으로 판단된다. 작업하중은 계측된 최대작업하중이 ACI 347에 의한 작업하중의 약 32%의 크기로 계측되었다. 이는 우선 동바리 1개로 계측할 수 있는 범위가 제한되어 있는 한계가 있고 국외의 경우와 달리 대상현장의 경우 타설 시 인원이나 장비가 많이 동원되지 않았으며 기준에서 제시하는 하중 자체에 어느 정도 안전율이 고려되었기 때문으로 판단된다. 거푸집 하중의 경우는 설계기준에 의한 값에서 제시하는 것과 같이 그 값이 다른 시공하중에 비하여 매우 작아 계측값에서 거의 나타나지 않았으므로 계측값에서 제외하였다.

타설 이후의 다른 공정에서도 기준에서 제시하는 타설단계에서의 시공하중 이외에 예상보다 큰 하중으로 철근 적재하중과 온도하중이 계측되었다. 철근 적재하중의 경우는 콘크리트 자중과는 달리 콘크리트가 어느 정도 강도발현이 이루어진 상태에서 재하가 이루어졌으므로 계측된 철근 적재하중은 최상층 슬래브에서 어느 정도 하중을 부담하고 남은 값이 계측된 값이다. 그러므로 실제 철근 적재하중은 <표 3>에 제시된 값보다 더 클 것으로 판단된다. 철근의 적재하중은 계측결과에서 나타난 바와 같이 콘크리트 자중의 약 75%이상의 값이 계측되었다. 기준에서 작업하중이 콘크리트 자중의 50%임을 감안할 때 이는 매우 큰 하중이라 판단된다. 대상현장과 같이 층당골

조공기가 8일 이상인 경우와 같이 슬래브의 강도가 많이 발현된 경우에는 큰 문제가 없을 수 있지만 층당골조공기를 2~4일로 시공할 경우 안전성 또는 사용성에 문제가 있을 수 있으므로 안전한 시공을 위해서는 가설계획 시 철근의 적재하중을 고려하거나 과도한 하중이 집중되지 않도록 적재량을 조절하는 등의 면밀한 양중계획이 반드시 필요하다고 판단된다.

<그림 9>에서 대체적으로 매일 규칙적으로 하중의 등락이 반복되는 현상이 계측되었다. 하중의 최고점과 최저점이 발생하는 시간과 낮과 밤의 시간별 온도변화를 고려했을 때 이는 온도변화에 의한 것이라고 예상된다.

<그림 9>에서 기준에 의한 시공하중과 계측된 시공하중의 비교를 위하여 타설단계만을 비교해 보았다. 각 층에서 계측된 하중과 ACI 347 설계하중값 및 Tributary Area Load(1개의 동바리가 부담하는 시공하중 중 콘크리트 자중)를 비교했을 때 Tributary Area Load는 계측값에서 최대 동바리 하중(콘크리트 자중+작업하중+거푸집 하중)과 대체적으로 일치하는 것으로 나타났고 ACI 347 설계하중은 최대 동바리 하중을 약 48~100%정도 과대평가하는 것으로 나타났다. 기준에 의한 시공하중과 실제 계측된 하중의 이러한 차이는 대상현장의 경우 약 4명 이상의 작업인원과 압송관을 받치는 분배기만이 재하되었으므로 실제 재하된 시공하중의 값이 기준보다 상당히 작기 때문인 것으로 판단된다. 또한 대상현장의 구조형식인 벽식구조에서의 거푸집의 특성상 재하된 시공하중이 어느 정도 벽체 거푸집으로 분배되어 스펠의 중앙부에 설치된 동바리 하부의 로드셀에 계측되는 양이 작았기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 기준에서 제시하는 시공하중은 벽식구조인 대상현장의 시공하중을 크게 과대평가하는 것으로 나타났다. ACI 347 기준에서 제시하고 있는 설계하중은 기둥식 구조와 같이 벽체가 없는 경우보다 유사한 값을 나타낼 것으로 예상되며 이에 대한 보다 정확한 예측을 위해서는 추가적인 계측이 필요하다고 판단된다.

6. 결론

건축물 시공에 있어서 보다 안전하고 경제적인 공기단축을 위해서는 시공하중에 대한 구조물의 안전성 및 사용성에 대한 검토가 선행되어야 한다. 이를 위해서는 시공 중인 구조물의 시공단계에 따른 거동을 잘 예측할 수 있어야 한다. 이에 따라 시공하중에 대한 시공 중 구조물의 거동을 예측하는데 도움을 줄 수 있도록 현장계측을 수행하여 시공 중 구조물의 시공단계에 따른 거동을 분석하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 콘크리트를 타설하는 공정과 벽철근을 배근하기 이전에 벽철근을 최상층 슬래브에 적재하는 공정에서 하중이 가장 많이 상승하고 적재되었던 벽철근을 배근하는 단계와 최하층의 동바리가 제거되는 단계에서 하중이 가장 많이 감소하는 것으로 나타났다.
- (2) 콘크리트 자중의 경우 ACI 347에 의한 예상값보다 계측값이 약 9%정도 작은 값을 나타냈다. 이는 동바리나 거푸집의 설치상태에 따라 분배되는 시공하중이 달라질 수 있고 시공하중이 벽체거푸집으로 어느 정도 분배되기 때문인 것으로 판단된다. 작업하중은 ACI 347에 의한 값에 비하여 최대 약 32%의 하중이 계측되었고 거푸집 하중은 거의 계측되지 않았다. 따라서 ACI 347에서 제시하는 시공하중은 대상현장의 시공하중을 크게 안전측으로 평가하는 것으로 나타났다.
- (3) 철근의 적재하중은 콘크리트 자중의 약 75%에 해당하는 값이 계측되었다. 이는 작업하중이 콘크리트 자중의 50%임을 감안할 때 매우 큰 하중이라 판단된다. 따라서 층당골조공기를 2~4일로 시공할 경우 구조물의 안전성 및 사용성에 문제가 발생할 수 있으므로 안전한 시

공을 위해서는 가설계획 시 철근 적재하중에 대한 추가적인 고려가 필요하다고 판단된다.

- (4) 대체적으로 규칙적으로 하중의 등락이 반복되는 현상이 계측되었다. 하중의 최고점과 최저점이 발생하는 시간과 낮과 밤의 시간별 온도변화를 고려했을 때 이는 온도변화에 의한 것이라고 예상된다.

참고문헌

1. American Concrete Institute, "Formwork for Concrete," SP-4, Detroit, Mich.
2. American Concrete Institute, "Guide to Formwork for Concrete," ACI 347-04, Detroit, Mich.
3. 한국콘크리트학회, 콘크리트 표준시방서 해설, 2003
4. Pericles C. Stivaros and Grant T. Halvorsen, "Shoring/Reshoring Operations for Multistory Buildings," ACI Structural Journal, V.87, No. 5, September~October 1990, pp.589~596
5. Rosowsky, D. V., Philbrick Jr., T. W., and Huston, Dryver R., "Observations from Shore Load Measurements during Concrete Construction," Journal of Performance on Constructed Facilities, Vol.11, No.1, February 1997, pp.18~23
6. 강수민, 오재근, 김옥중, 이도범, "현장계측을 통한 RC 벽식아파트의 시공 중 하중 및 거동변화 분석," 대한건축학회 논문집, v.25, n.02, 02월 2009년, pp.37~48
7. 김선영, 김진근, 이수근, "시공단계를 고려한 동바리 및 기둥의 시간 의존적 축력변화에 관한 연구," 대한건축학회 논문집, v.18, n.12, 12월 2002년, pp.51~58